ENAA2010－プA

平成22年度
低炭素社会・安全安心社会実現のための
エンジニアリング産業技術戦略
に関する調査研究報告書

平成23年3月

財団法人　エンジニアリング振興協会

KEIRIN

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

http://ringring-keirin.jp

序

本報告書は、財団法人ＪＫＡより機械工業振興資金の補助を受け、財団法人エンジニアリング振興協会 研究開発企画委員会の平成２２年度事業として、調査研究を行った成果を取りまとめたものであります。

2010年の世界経済は、ゆるやかな回復基調にあるものの、米国の不確実性の高まりや欧州の一部の信用不安を受けて、低迷が長引く結果となりました。我が国においても、歴史的な円高水準が継続しており、日中のＧＤＰが逆転し、日本が世界第３位になるなど、厳しい状況が続いています。

その中にあっても、中国、インド、ブラジルといった新興国において力強い成長が見られ、成長市場への投資機会の増加など明るい兆しも見えています。

また、エネルギー・環境分野への世界的な関心の高まりから、環境配慮型製品の需要の拡大やインフラ関連投資の活発化が大きな話題となるなど、この分野でのビジネスチャンスが拡大していることも事実です。

このように、世界環境が変化する中で、エンジニアリング業界は社会に対する役割と使命を認知し、自ら進むべき方向を示す必要があります。そのためには技術競争力の強化がますます重要となっています。

当協会は、創立以来、研究開発企画委員会を設置し、今日的な社会的諸問題の解決、将来の望ましい社会システムの構築等に資することを目的として、公共的かつ先導的・共通基盤的な課題等について幅広く産・学・官の英知を結集して新技術・各種システムに関する調査研究を実施しております。

平成２２年度は、これまでの成果の蓄積等を踏まえながら、「低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業技術戦略に関する調査研究」に取り組みました。調査の実施にあたっては、当協会財団本部の常設委員会組織である「研究開発企画委員会」の「循環型社会システム研究部会」、「エネルギー・環境研究部会」、「都市・地域研究部会」、「新産業研究部会」が中心となって、特に社会的ニーズが高いサブテーマについて調査を行い、その結果を報告書として取りまとめました。

これらの成果がわが国エンジニアリング業界の競争力強化のために多少とも示唆、指針を与えることができれば望外の喜びであります。

最後に本調査研究にご協力いただいた関係各位に対し心から謝意を表します。

平成２３年３月

財団法人エンジニアリング振興協会
会　長　　増　田　信　行

平成 22 年度
低炭素社会・安全安心社会実現のための
エンジニアリング産業技術戦略に関する調査研究報告書
構　　成

資源とリサイクル分野

第Ⅰ部　資源(マテリアル・エネルギー・水)循環社会の実現
（担当：循環型社会システム研究部会 ＷＧ１）

第Ⅱ部　CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築
（担当：循環型社会システム研究部会 ＷＧ２）

第Ⅲ部　マテリアル・スチュワードシップ実現に向けたアジア版 WEEE
（担当：循環型社会システム研究部会 ＷＧ３）

環境とエネルギー分野

第Ⅳ部　バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定
（担当：エネルギー・環境研究部会 ＷＧ１）

第Ⅴ部　非化石･省エネ･高効率化による低炭素エネルギーシステムの確立
（担当：エネルギー・環境研究部会 ＷＧ２）

第Ⅵ部　企業活動・気候変動による生物多様性消失と社会・経済の対応方策
（担当：エネルギー・環境研究部会 ＷＧ３）

都市と地域分野

第Ⅶ部　都市・地域における水害被害の傾向と対策
（担当：都市・地域研究部会）

人間と社会生活分野

第Ⅷ部　生活支援分野のサービスロボットなどＲＴ(ロボット技術)の活用並びに健康・福祉系医療機器等の活用
（担当：新産業研究部会）

－資源とリサイクル分野－

平成 22 年度
低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業
技術戦略に関する調査研究報告書
－資源とリサイクル分野－

目　　次

循環型社会システム研究部会名簿
まえがき …… 1

第Ⅰ部 資源（マテリアル・エネルギー・水）循環社会の実現

第１章　調査研究の経緯と目的 …… 3
1.1　はじめに …… 3
1.2　調査研究の内容 …… 4
1.2.1　本年度の調査研究の範囲 …… 4

第２章　各種バイオマスの再資源化に関する調査 …… 5
2.1　家畜排せつ物 …… 5
2.1.1　家畜排せつ物の分類 …… 5
2.1.2　家畜排せつ物量の推計 …… 5
2.1.3　家畜排せつ物処理対象と農業環境三法 …… 11
2.1.4　家畜排せつ物管理法施行後の施設整備状況 …… 12
2.1.5　家畜排せつ物の再資源化方法 …… 13
2.1.6　家畜排せつ物処理 …… 15
2.1.7　家畜排せつ物の高度利用施設整備状況 …… 16
2.1.8　家畜排せつ物処理と利用状況 …… 18
2.1.9　家畜排せつ物利活用率 …… 19
2.1.10　まとめ …… 24
2.2　下水汚泥 …… 25
2.2.1　下水汚泥について …… 25
2.2.2　下水汚泥の発生量（利用可能量） …… 25
2.2.3　下水汚泥のリサイクル率、下水道バイオマスリサイクル率 …… 25
2.2.4　エネルギー利用 …… 27
2.2.5　リンの回収・利用 …… 31
2.2.6　各地における取り組み …… 32
2.2.7　まとめ …… 37
2.3　廃棄紙（古紙） …… 38
2.3.1　古紙について …… 38

2.3.2　古紙の推計方法 …… 40
2.3.3　古紙の地域別動向、地域間移動の把握 …… 47
2.3.4　古紙の再生利用の動向 …… 50
2.3.5　まとめ …… 53
2.4　食品廃棄物 …… 54
2.4.1　食品廃棄物の分類 …… 54
2.4.2　食品廃棄物の推計方法 …… 54
2.4.3　賦存量、利用可能量 …… 57
2.4.4　食品産業の物質移動 …… 62
2.4.5　食品廃棄物の再生利用状況 …… 63
2.4.6　まとめ …… 66
2.5　農作物非食部 …… 68
2.5.1　バイオマス利活用の課題 …… 68
2.5.2　農作物非食部のエネルギー利用 …… 68
2.5.3　農作物非食部の賦存量と利用可能量 …… 69
2.5.4　都道府県別の賦存量と利用可能量 …… 72
2.5.5　農産物非食部の収集・運搬に係わる課題 …… 72
2.5.6　燃料利用する場合の検討 …… 74
2.5.7　まとめ …… 76
2.5.8　今後の課題 …… 77
2.6　建設発生木材 …… 78
2.6.1　建設発生木材について …… 78
2.6.2　建設発生木材の実態調査方法 …… 78
2.6.3　建設発生木材の賦存量、利用可能量 …… 82
2.6.4　建設発生木材の再資源化 …… 85
2.6.5　北海道における資源化率向上の取組 …… 87
2.6.6　まとめ …… 90
2.7　林地残材 …… 91
2.7.1　森林・林業の現状 …… 91
2.7.2　林地残材とは …… 97
2.7.3　林地残材の賦存量、および利用可能量 …… 100
2.7.4　林地残材の利用率 …… 106
2.7.5　まとめ …… 108

第３章　現地調査訪問先 …… 109
3.1　(独)農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 …… 109
＜養豚で発生するリンの再利用技術＞
3.2　福岡市東部水処理センター …… 114
＜下水汚泥からのリン回収（MAP）技術＞

3.3　中部水処理センター福岡県福岡市 …… 119
＜下水汚泥からのガスエンジンによるバイオガス発電技術＞
3.4　熊本北部浄化センター …… 124
＜下水汚泥からの燃料電池によるバイオガス発電技術＞

第４章　講演内容 …… 128

第５章　まとめ …… 129
講演資料 …… 132

参考文献 …… 140

第Ⅱ部　CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築

第１章　調査研究の経緯と目的 …… 144
1.1　はじめに …… 144
1.2　調査研究の経緯 …… 144
1.3　調査研究の目的 …… 145

第２章　CO_2削減に向けた高度静脈物流システム …… 146
2.1　物流によるCO_2削減 …… 146
2.2　静脈物流システムの現状と課題 …… 151
2.2.1　静脈物流の特徴について …… 151
2.2.2　静脈物流システムの現状と課題 …… 154
2.2.3　静脈物流部門から排出される温室効果ガス（CO_2）の現状について …… 155
2.3　CO_2削減に向けた高度静脈物流システム …… 160
2.3.1　車両運行の効率化 …… 160
2.3.2　運搬方法の変更 …… 162
2.3.3　化石燃料の代替 …… 162

第３章　高度静脈物流システムにむけた取組み事例 …… 164
3.1　現地実態調査 …… 164
3.1.1　北清企業 …… 164
3.1.2　トヨタ自動車北海道 …… 166
3.1.3　苫小牧港管理組合 …… 170
3.1.4　苫小牧ケミカル …… 176
3.1.5　王子製紙 …… 179

第４章　講演会報告 …… 185

4.1　講演内容 ……185
4.1.1　リサイクル事業の要因 ……185
4.1.2　廃棄物処理法改正等の特徴 ……187
4.2　主な質疑応答 ……189
4.3　所感 ……190

第５章　まとめ ……191

参考文献 ……194

第Ⅲ部　マテリアル・スチュワードシップ実現に向けたアジア版WEEE

第１章　調査研究の経緯と目的 ……195
1.1　はじめに ……195
1.2　今年度の目的 ……195
1.3　課題 ……196
1.3.1　国内での課題 ……196
1.3.2　海外での課題 ……196

第２章　マテリアル・スチュワードシップとは ……198
2.1　マテリアル・スチュワードシップとは ……198
2.2　私たちが考えるマテリアル・スチュワードシップとは ……199
2.3　マテリアル・スチュワードシップと３Ｒと拡大生産者責任の区分け ……200
2.4　部品・製品への物質情報の付加 ……200

第３章　国内関係機関と有識者へのヒアリング ……202
3.1　日本貿易振興機構アジア経済研究所(以下、IDE-JETRO) ……202
3.2　JX日鉱日石金属（株） ……205
3.3　株式会社リーテム ……207
3.4　3R先進事例発表会 ……211

第４章　各国地域のまとめ ……215
4.1　アメリカ合衆国の状況 ……215
4.1.1　スチュワードシップ ……215
4.1.2　廃電気・電子機器の製品スチュワードシップ ……216
4.2　EU ……225
4.2.1　ELV指令 ……226
4.2.2　RoHS指令 ……226
4.2.3　WEEE指令 ……227

4.2.4　REACH規則 …… 227
4.3　アジア …… 228
4.3.1　中国 …… 228
4.3.2　ベトナム …… 230
4.3.3　韓国 …… 231
4.3.4　台湾 …… 235
4.3.5　アジア版WEEEについて …… 236

第５章　まとめ …… 240
5.1　アジア圏における資源循環システム構築の課題 …… 240
5.2　マテリアル・スチュワードシップの提言 …… 241
5.3　今後の検討予定 …… 244

参考文献 …… 245

あとがき …… 246

平成22年度「循環型社会システム研究部会」委員名簿

部会長　板谷真積　三井造船㈱　環境・プラント事業本部　本部長補佐

第１ワーキンググループ
資源（マテリアル・エネルギー・水）循環社会の実現

委員名	企業名	所属・役職
主査　富内　芳昌	メタウォーター㈱	Ｒ＆Ｄセンター 低炭素技術開発部 汚泥処理開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ　主任
副主査　石川　光祥	㈱フジタ	技術センター 環境研究部
副主査　齋藤　洋平	ＪＦＥ環境㈱	事業開発本部 戦略部　課長
小西　正郎	㈱奥村組	東日本支社 環境技術部　環境課長
中原　清志	コスモエンジニアリング㈱	設計本部　プロセス研究部 環境・新ｴﾈﾙｷﾞｰｸﾞﾙｰﾌﾟ　担当部長
田島　孝敏	㈱大林組	技術研究所 環境技術研究部　副主任研究員
遠山　正幸	三井造船㈱	技術本部　技術総括部 課長補佐

第２ワーキンググループ

ＣＯ$_2$削減に向けた高度静脈物流システムの構築

委員名	企業名	所属・役職
主査　見角　一郎	東洋建設㈱	土木事業本部 営業第二部　課長
副主査　加藤　利崇	㈱竹中工務店	環境・エネルギー本部 資源循環エンジニアリング担当
浜田　耕史	㈱大林組	技術研究所 生産技術研究部　上席研究員
市場　教嗣	新明和工業㈱	統括営業本部 環境システム営業部　部長代理
柳楽　毅	戸田建設㈱	本社　環境ソリューション部 課長
竹尾　健一	大成建設㈱	環境本部　環境開発部 資源循環開発室　課長
土居　洋一	三井住友建設㈱	ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部 環境営業部　部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ井上　護	循環物流システム研究所	所長　（元新明和工業㈱）

第３ワーキンググループ

マテリアル・スチュワードシップ実現に向けたアジア版WEEE

委員名	企業名	所属・役職
主査　酒井　孝正	東芝プラントシステム㈱	社会インフラ事業部 技術統括
副主査　植野　修一	東急建設㈱	建築総本部 建築本部　建築技術部　部長
水野　成夫	㈱日立製作所	公共システム事業部 官公システム統括部　技師
齋藤　洋平	ＪＦＥ環境㈱	事業開発本部 戦略部　課長

事務局　永野　宏雄　　㈶エンジニアリング振興協会　技術部　研究主幹

まえがき

2000年に「循環型社会形成推進基本法」が制定されてから10年以上経過し、循環型社会の構築に関しては、資源生産性や循環利用率等において一定の成果が得られてきている。また、2002年の「バイオマス・ニッポン総合戦略」の閣議決定、および2006年のその見直しと、2009年に我国が世界に向けて発信した「2020年までに温室効果ガスを25％削減(1990年比)する」との目標達成のために、「循環型社会と低炭素社会の同時達成」に向けて新たな取り組みが必要になってきている。また、尖閣諸島問題に端を発したレアアースの逼迫等、資源循環や環境保全に関する国内外の状況変化にも素早く対応した取り組みが益々望まれてきている。昨年は各省庁から、「再生可能エネルギーの全量買取制度、ＣＯ２国内クレジット制度／経産省」、「地球温暖化対策に係わる中長期ロードマップ／環境省」、「低炭素都市ガイドライン／国交省」等が策定あるいは公表され、地球温暖化防止、低炭素社会構築に向けた取り組みがより明確になり、かつ加速されてきている。また自治体においても、東京都では「カーボンマイナス東京１０年プロジェクト」による積極的な取り組みが開始され、各企業においても様々な取り組みがなされ、地球温暖化防止に対する市民の意識も益々高まってきている。

しかしながらその実現に向けては、環境保全と経済の両立、法規制の制約、地域特性、情報開示の徹底等まだまだ解決しなければならない課題、新たな取り組みの必要性があるのも事実である。

このような背景のもと本研究部会では、2008～2009年度の活動成果を更に発展させる形で、「低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業技術戦略に関する調査研究」の一環として、今年度より新たに2ヵ年計画で、下記３つのワーキンググループ(WG)で調査研究を開始した。

①第１WG：資源（マテリアル・エネルギー・水）循環社会の実現

昨年度までの調査研究で、資源作物、未利用バイオマスを中心とした、バイオマスの利活用、および技術の現状調査と課題の抽出を実施した。その成果を受けて、今年度からは新たに水資源(リン、窒素)の視点も踏まえて、地球温暖化防止と資源(マテリアル、エネルギー、水)の国内自給率の向上を目的としたシナリオ構築を検討する。特に大都市、地方都市＋中山間地の循環シナリオを検討する。

②第２WG：CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築

昨年度までの調査研究で、静脈物流の現状と課題を整理しその対応策を検討した。今年度からは、「静脈物流におけるCO_2排出量の削減」を目的として、現状のCO_2排出量調査及び業界におけるCO_2排出量削減への取り組み事例を調査し、静脈物流におけるCO_2削減シナリオを検討する。

③第３WG：マテリアル・スチュアートシップ実現に向けたアジア版WEEE

昨年度までの調査研究で、資源安全保障としてレアメタルリサイクルを中心としたアジア圏の資源循環システムを調査し、望まれる姿に向けた課題とその方策について検討した。今年度からは、アジア諸国の廃棄物処理、リサイクルに関する法規制と現状を調査し、アジア圏内の資源循環システムの構築への課題を抽出し、マテリアル・スチュア

ートシップ実現に向けたアジア版WEEEの検討を実施する。

本年度は２年間の調査研究の初年度にあたり、文献等による調査、施設見学、関連部署へのヒアリング等、現状把握に重点をおいた調査研究を実施し、次年度には課題の解決策、望まれる姿等についても提案していきたい。

循環型社会、低炭素社会構築のためには、技術革新とベストミックス、地域連携、適正なコスト負担、国の施策による動機付け、市民一人ひとりの意識向上等いろんな要素を考慮して組み合わせることが肝要である。更に今後は、「情報の共有」、「整合性のある評価指標の確立」が重要になってくる。情報を共有することで、モチベーションが向上し、各省庁、各業界のCO_2削減やリサイクル等に関する評価指標の整合性をとることで、より正確で効果的な施策をとることが出来てくる。

本調査研究が、「エンジニアリング産業」としての役割の一翼を担い、循環型社会、低炭素社会構築に少しでも貢献できることを願っている。

循環型社会システム研究部会長　板谷　真積

第Ⅰ部 資源(マテリアル・エネルギー・水)循環社会の実現

第１章　調査研究の経緯と目的

1.1　はじめに

「地球温暖化防止」にかかわる京都議定書の発効により、バイオ燃料への関心が高まっている。また、2010年12月17に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」では、バイオマス活用推進基本法（2009年9月施行）に基づき、バイオマス活用促進に関する施策についての基本的な方針、国が達成すべき目標、技術の研究開発に関する事項についてまとめている。

目標では、国は2020年までに、①600市町村においてバイオマス利活用推進計画を策定すること、②バイオマスを活用する約5,000億円規模の新産業を創出すること、③炭素量換算で約2,600万tのバイオマスを活用すること、などを目指すことにしている。

バイオマスの利用拡大については、バイオマスの種別特性に応じた高度利用を推進し、政府として講ずべき施策の対象を明確にする観点から、バイオマスの種類ごとに全国平均の利用率目標を設定することしている（**表1.1-1**）。

表1.1-1 バイオマス種類別の利用目標

バイオマスの種類	現在の年間発生量	現在の利用率	2020 年の目標
家畜排せつ物	約 8,800 万トン	約 90 %	約 90%
下水汚泥	約 7,800 万トン	約 77 %	約 85 %
黒液	約 1,400 万トン (※ 1)	約 100 %	約 100%
紙	約 2,700 万トン	約 80 %	約 85 %
食品廃棄物	約 1,900 万トン	約 27 %	約 40 %
製材工場等残材	約 340 万トン(※ 1)	約 95 %	約 95%
建設発生木材	約 410 万トン	約 90 %	約 95 %
農作物非食用部	約 1,400 万トン	約 30 % (すき込みを除く)	約 45 %
		約 85 % (すき込みを含む)	約 90 %
林地残材	約 800 万トン (※ 1)	ほとんど未利用	約 30 %以上 (※ 2)

※１　黒液、製材工場等残材、林地残材については乾燥重量。他のバイオマスについては湿潤重量。

※２　数値は現時点の試算値であり、今後「森林・林業再生プラン」（2009 年 12 月 25 日公表）に掲げる木材自給率 50 %達成に向けた具体的施策とともに検討し、今後策定する森林・林業基本計画に位置づける予定。

出典：農林水産省ホームページ

1.2 調査研究の内容

1.2.1 本年度の調査研究の範囲

これまで、本WGにおいては、廃棄物系バイオマスと未利用バイオマス、資源作物からのバイオマスを調査研究の対象としてきた。　本年度はバイオマスの調査対象を、「バイオマス活用推進基本計画」で、あげられた種類から、利用率が高い黒液と製材工場等残材を除いた、家畜排泄物、下水汚泥、紙、食品廃棄物、農作物非食用部、建設発生木材、林地残材の７種類のバイオマスについて分類して調査した。また本年度からは水循環の視点を加えて、窒素・リンの再利用についても調査した。

1)　対象地域と調査項目

対象地域としては、日本国内とし、都市と田舎（農村部）に区分けして、それぞれの有効利用を把握した。また、都市と田舎との循環量を把握することで、新たに再利用率が向上できないかについても調査した。

また、調査項目は、上述したバイオマスそれぞれの賦存量（発生量)、利用率（リサイクル率）もしくは利用可能率と、物質移動の実態把握とした。その上で、利用率向上を阻むボトルネックの抽出を試みた。

また、マテリアル利用、エネルギー利用の面から分けて把握するように努めた。

2)　現地調査訪問先と講演会の一覧

次に本年度、視察調査した訪問先と、講演会の内容を示す。

(1)　現地調査訪問先

今年度は畜産廃液、下水汚泥を中心に下記施設を訪問し、技術動向とその実態について調査した。

①　畜産草地研究所　茨城県つくば市
　＜養豚で発生するリンの再利用技術＞
②　東部水処理センター 福岡県福岡市
　＜下水汚泥からのリン回収（MAP）技術＞
③　中部水処理センター　福岡県福岡市
　＜下水汚泥からのガスエンジンによるバイオガス発電技術＞
④　熊本北部浄化センター　熊本県熊本市
　＜下水汚泥からの燃料電池によるバイオガス発電技術＞

(2)　講演会

「バイオマス資源循環社会の実現に向けて」
　（独）農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所　柚山義人　氏

平成22年12月1日に財団法人エンジニアリング振興協会の会議室にて講演会を開催した。講師の柚山義人氏は、わが国におけるバイオマス利活用に関する調査研究の第一人者であり、千葉県香取市の山田バイオマスプラントの運営にも携わられている。

第２章　各種バイオマスの再資源化に関する調査

2.1　家畜排せつ物

2.1.1　家畜排せつ物の分類

畜産経営から発生する廃棄物としては、①牛ふん尿、②豚ふん尿、③鶏ふん、④羽毛、⑤血液、⑥不可食内臓、皮、骨等がある。

本章ではこれらの内、家畜排せつ物、すなわちふん尿を取り上げた。羽毛、血液、不可食内臓等は食品系廃棄物動植物性残渣に分類されるので関連する章を参照願いたい。

2.1.2　家畜排せつ物量の推計

1)　推計法

家畜排せつ物発生量は各畜種毎に、ふん尿発生原単位と飼養頭羽数を掛けて算出した。

表2.1.2-1　バイオマス量の計算

畜種	原単位		頭羽数		バイオマス量
乳用牛	a_1	x	n_1	=	a_1n_1
肉用牛	a_2	x	n_2	=	a_2n_2
豚	a_3	x	n_3	=	a_3n_3
採卵鶏	a_4	x	n_4	=	a_4n_4
肉用鶏	a_5	x	n_5	=	a_5n_5
合計					総バイオマス量

ふん尿発生原単位はさまざまな指標がある。堆肥化施設の設計用には一般的に社団法人中央畜産会発行の堆肥化施設設計マニュアルの数値を使用している。本報告書では、各畜種毎の全国のふん尿発生量を把握するためのふん尿発生原単位として独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）農村工学研究所が取りまとめた「地域バイオマスの賦存量を把握するための基礎データ一覧」を採用した。

(1)　乳牛ふん尿原単位

乳牛は成長に伴い体重が増し、ふん尿発生量も増加してゆくので、成長の過程に従って表のように分類されている。発生原単位に敷料は含まれておらず、生ふんの湿潤重量を示す。パーラー排水は含まない。

(2)　肉牛ふん尿原単位

肉牛は、もともと食用肉のために育成される肉牛と、乳牛としての役割を終えて、肉牛用に転用された肉牛がある。それぞれ、成長過程や出自によってふん尿発生量は下表のように分類されている。通常、肉牛は牛舎内に敷料を敷き詰め、尿を吸い取らせる方式をとっている場合が多いが、発生原単位に敷料は含まれておらず、生ふんの湿潤重量を示す。

表2.1.2-2　乳牛ふん尿発生原単位

分類	区分	t/頭/年
搾乳牛	ふん	13
	尿	5.8
乾乳牛	ふん	7.3
	尿	2.2
2歳未満	ふん	6.5
	尿	2.4
未経産牛	ふん	1.2
	尿	2.4

表2.1.2-3　肉牛ふん尿発生原単位

分類	区分		t/頭/年
肉牛	雌	1歳未満	3.6
		1歳	11.0
		2歳以上	10.0
	雄	1歳未満	3.6
		1歳	8.7
		2歳以上	0.2
乳用種			8.1
交雑種			8.0
肥育用牛			3.6
黒毛和種			10.0
褐毛和種			10.0

(3)　養豚ふん尿原単位

養豚の飼養形態は、母豚、種おす、出荷用の肥育豚に分けられる。最も頭数の多いのは肥育豚で、平均的に母豚の年間の分娩回数は2.3回とされ、１回あたり10頭の子豚を産み、約半年生育後出荷される。(母豚一貫経営) 発生原単位は生ふん湿潤重量である。

表2.1.2-4　養豚ふん尿発生原単位

分類	区分	t/頭/年
子取り用	ふん	0.62
	尿	2.6
種おす	ふん	1.1
	尿	1.8
肥育豚	ふん	0.58
	尿	1.8
その他豚	ふん	0.15
	尿	0.73

(4)　養鶏ふん原単位

鶏はふんの中に尿が含まれており、分離できない。鶏ふんは、鶏舎の構造やふんの回収頻度によるが、ふんの水分率は大きく異なる。

養鶏ふんの発生原単位は乾燥前の生ふんの湿潤重量である。

表2.1.2-5　養鶏ふん発生原単位

分類	区分	t/羽/年
採卵鶏	ふん	0.016
ブロイラー	ふん	0.016

2)　家畜排せつ物量の都道府県別および全国の発生量

農林水産省が毎年発表している畜産統計には都道府県別に畜種毎の飼養戸数、頭数データがあるので、頭羽数に上記のふん尿発生原単位を掛けて、全国の家畜ふん尿の発生量を推算した。各畜種毎の全国の年間の排せつ物量および各都道府県別の詳細排せつ物量は下記に示すとおりである。

乳牛　21,160,181t/年　平成22年(2010年)2月1日現在　詳細は**表2.1.2-6**参照。
肉牛　46,889,685t/年　平成22年(2010年)2月1日現在　詳細は**表2.1.2-7**参照。
養豚　22,995,362t/年　平成20年(2008年)2月1日現在　詳細は**表2.1.2-8**参照。
養鶏　1,109,968t/年　平成21年(2009年)12月　現在　詳細は**表2.1.2-9**参照。
合計　92,155,196t/年

表2.1.2-6　乳牛飼養戸数、頭数、ふん尿発生量

全国農業地域都道府県		飼養戸数	成畜（2歳以上）												2歳未満（未経産牛）				全頭数				全国農業地域・都道府県
			経産牛								未経産牛				2歳未満（未経産牛）				頭数合計	ふん尿量合計			
			搾乳牛				乾乳牛																
		戸	頭数 頭	ふん量 t/年	尿量 t/年	ふん尿量合計 t/年	頭数 頭	ふん量 t/年	尿量 t/年	ふん尿量合計 t/年	頭数 頭	ふん量 t/年	尿量 t/年	ふん尿量合計 t/年	頭数 頭	ふん量 t/年	尿量 t/年	ふん尿量合計 t/年	頭 頭	ふん量 t/年	尿量 t/年	ふん尿量合計 t/年	
全国	1	21,944	829,880	10,788,440	4,813,304	15,601,744	134,130	979,149	295,086	1,274,235	65,640	78,768	157,536	236,304	454,820	2,956,330	1,091,568	4,047,898	1,484,470	14,802,687	6,357,494	21,160,181	1
（農業地域）																							
北海道	2	7,690	415,000	5,395,000	2,407,000	7,802,000	74,200	541,660	163,240	704,900	35,000	42,000	84,000	126,000	302,700	1,967,550	726,480	2,694,030	826,900	7,946,210	3,380,720	11,326,930	2
都府県	3	14,300	414,700	5,391,100	2,405,260	7,796,360	59,900	437,270	131,780	569,050	30,600	36,720	73,440	110,160	152,200	989,300	365,280	1,354,580	657,400	6,854,390	2,975,760	9,830,150	3
東北	4	3,520	72,300	939,900	419,340	1,359,240	10,700	78,110	23,540	101,650	6,550	7,860	15,720	23,580	34,000	221,000	81,600	302,600	123,550	1,246,870	540,200	1,787,070	4
北陸	5	474	12,000	156,000	69,600	225,600	1,640	11,972	3,608	15,580	570	684	1,368	2,052	3,750	24,375	9,000	33,375	17,960	193,031	83,576	276,607	5
関東	6	4,540	136,600	1,775,800	792,280	2,568,080	19,800	144,540	43,560	188,100	10,800	12,960	25,920	38,880	46,000	299,000	110,400	409,400	213,200	2,232,300	972,160	3,204,460	6
東海	7	1,000	42,400	551,200	245,920	797,120	5,820	42,486	12,804	55,290	2,620	3,144	6,288	9,432	12,300	79,950	29,520	109,470	63,140	676,780	294,532	971,312	7
近畿	8	812	23,500	305,500	136,300	441,800	3,210	23,433	7,062	30,495	1,150	1,380	2,760	4,140	7,780	50,570	18,672	69,242	35,640	380,883	164,794	545,677	8
中国	9	1,070	32,500	422,500	188,500	611,000	4,880	35,624	10,736	46,360	1,770	2,124	4,248	6,372	14,000	91,000	33,600	124,600	53,150	551,248	237,084	788,332	9
四国	10	568	15,900	206,700	92,220	298,920	2,380	17,374	5,236	22,610	1,270	1,524	3,048	4,572	4,940	32,110	11,856	43,966	24,490	257,708	112,360	370,068	10
九州	11	2,190	76,300	991,900	442,540	1,434,440	11,100	81,030	24,420	105,450	5,650	6,780	13,560	20,340	28,800	187,200	69,120	256,320	121,850	1,266,910	549,640	1,816,550	11
沖縄	12	90	3,250	42,250	18,850	61,100	460	3,358	1,012	4,370	190	228	456	684	730	4,745	1,752	6,497	4,630	50,581	22,070	72,651	12
（都道府県）																							
北海道	13	7,690	415,000	5,395,000	2,407,000	7,802,000	74,200	541,660	163,240	704,900	35,000	42,000	84,000	126,000	302,700	1,967,550	726,480	2,694,030	826,900	7,946,210	3,380,720	11,326,930	13
青森	14	284	8,390	109,070	48,662	157,732	1,300	9,490	2,860	12,350	230	276	552	828	3,940	25,610	9,456	35,066	13,860	144,446	61,530	205,976	14
岩手	15	1,370	24,500	318,500	142,100	460,600	3,610	26,353	7,942	34,295	3,480	4,176	8,352	12,528	16,000	104,000	38,400	142,400	47,590	453,029	196,794	649,823	15
宮城	16	744	14,800	192,400	85,840	278,240	2,040	14,892	4,488	19,380	1,200	1,440	2,880	4,320	6,360	41,340	15,264	56,604	24,400	250,072	108,472	358,544	16
秋田	17	153	3,860	50,180	22,388	72,568	600	4,380	1,320	5,700	410	492	984	1,476	1,250	8,125	3,000	11,125	6,120	63,177	27,692	90,869	17
山形	18	395	9,580	124,540	55,564	180,104	1,510	11,023	3,322	14,345	400	480	960	1,440	2,440	15,860	5,856	21,716	13,930	151,903	65,702	217,605	18
福島	19	567	11,200	145,600	64,960	210,560	1,600	11,680	3,520	15,200	830	996	1,992	2,988	3,940	25,610	9,456	35,066	17,570	183,886	79,928	263,814	19
茨城	20	537	19,400	252,200	112,520	364,720	2,880	21,024	6,336	27,360	1,810	2,172	4,344	6,516	6,850	44,525	16,440	60,965	30,940	319,921	139,640	459,561	20
栃木	21	998	33,700	438,100	195,460	633,560	4,840	35,332	10,648	45,980	3,280	3,936	7,872	11,808	12,100	78,650	29,040	107,690	53,920	556,018	243,020	799,038	21
群馬	22	736	25,900	336,700	150,220	486,920	3,510	25,623	7,722	33,345	1,410	1,692	3,384	5,076	8,970	58,305	21,528	79,833	39,790	422,320	182,854	605,174	22
埼玉	23	352	8,690	112,970	50,402	163,372	1,230	8,979	2,706	11,685	580	696	1,392	2,088	2,860	18,590	6,864	25,454	13,360	141,235	61,364	202,599	23
千葉	24	960	26,100	339,300	151,380	490,680	3,870	28,251	8,514	36,765	1,900	2,280	4,560	6,840	7,760	50,440	18,624	69,064	39,630	420,271	183,078	603,349	24
東京	25	59	1,250	16,250	7,250	23,500	210	1,533	462	1,995	80	96	192	288	470	3,055	1,128	4,183	2,010	20,934	9,032	29,966	25
神奈川	26	314	6,450	83,850	37,410	121,260	960	7,008	2,112	9,120	550	660	1,320	1,980	1,680	10,920	4,032	14,952	9,640	102,438	44,874	147,312	26
新潟	27	294	6,640	86,320	38,512	124,832	930	6,789	2,046	8,835	290	348	696	1,044	1,760	11,440	4,224	15,664	9,620	104,897	45,478	150,375	27
富山	28	67	1,850	24,050	10,730	34,780	250	1,825	550	2,375	40	48	96	144	510	3,315	1,224	4,539	2,650	29,238	12,600	41,838	28
石川	29	76	2,530	32,890	14,674	47,564	360	2,628	792	3,420	150	180	360	540	1,170	7,605	2,808	10,413	4,210	43,303	18,634	61,937	29
福井	30	37	950	12,350	5,510	17,860	100	730	220	950	90	108	216	324	310	2,015	744	2,759	1,450	15,203	6,690	21,893	30
山梨	31	89	2,800	36,400	16,240	52,640	400	2,920	880	3,800	210	252	504	756	850	5,525	2,040	7,565	4,260	45,097	19,664	64,761	31
長野	32	491	12,400	161,200	71,920	233,120	1,900	13,870	4,180	18,050	1,040	1,248	2,496	3,744	4,450	28,925	10,680	39,605	19,790	205,243	89,276	294,519	32
岐阜	33	184	5,440	70,720	31,552	102,272	680	4,964	1,496	6,460	330	396	792	1,188	1,740	11,310	4,176	15,486	8,190	87,390	38,016	125,406	33
静岡	34	314	10,300	133,900	59,740	193,640	1,460	10,658	3,212	13,870	770	924	1,848	2,772	3,350	21,775	8,040	29,815	15,880	167,257	72,840	240,097	34
愛知	35	427	21,800	283,400	126,440	409,840	3,040	22,192	6,688	28,880	1,140	1,368	2,736	4,104	6,130	39,845	14,712	54,557	32,110	346,805	150,576	497,381	35
三重	36	79	4,880	63,440	28,304	91,744	640	4,672	1,408	6,080	380	456	912	1,368	1,050	6,825	2,520	9,345	6,950	75,393	33,144	108,537	36
滋賀	37	80	2,490	32,370	14,442	46,812	330	2,409	726	3,135	190	228	456	684	1,120	7,280	2,688	9,968	4,130	42,287	18,312	60,599	37
京都	38	89	3,560	46,280	20,648	66,928	530	3,869	1,166	5,035	90	108	216	324	1,150	7,475	2,760	10,235	5,330	57,732	24,790	82,522	38
大阪	39	44	1,430	18,590	8,294	26,884	210	1,533	462	1,995	20	24	48	72	190	1,235	456	1,691	1,850	21,382	9,260	30,642	39
兵庫	40	517	12,500	162,500	72,500	235,000	1,580	11,534	3,476	15,010	740	888	1,776	2,664	4,710	30,615	11,304	41,919	19,530	205,537	89,056	294,593	40
奈良	41	65	2,980	38,740	17,284	56,024	480	3,504	1,056	4,560	90	108	216	324	490	3,185	1,176	4,361	4,040	45,537	19,732	65,269	41
和歌山	42	17	570	7,410	3,306	10,716	80	584	176	760	20	24	48	72	120	780	288	1,068	790	8,798	3,818	12,616	42
鳥取	43	194	5,830	75,790	33,814	109,604	910	6,643	2,002	8,645	320	384	768	1,152	3,520	22,880	8,448	31,328	10,580	105,697	45,032	150,729	43
島根	44	168	6,200	80,600	35,960	116,560	1,180	8,614	2,596	11,210	340	408	816	1,224	2,500	16,250	6,000	22,250	10,220	105,872	45,372	151,244	44
岡山	45	404	11,500	149,500	66,700	216,200	1,650	12,045	3,630	15,675	610	732	1,464	2,196	4,900	31,850	11,760	43,610	18,660	194,127	83,554	277,681	45
広島	46	217	6,650	86,450	38,570	125,020	860	6,278	1,892	8,170	430	516	1,032	1,548	1,940	12,610	4,656	17,266	9,880	105,854	46,150	152,004	46
山口	47	86	2,390	31,070	13,862	44,932	280	2,044	616	2,660	60	72	144	216	1,140	7,410	2,736	10,146	3,870	40,596	17,358	57,954	47
徳島	48	171	4,440	57,720	25,752	83,472	740	5,402	1,628	7,030	360	432	864	1,296	1,190	7,735	2,856	10,591	6,730	71,289	31,100	102,389	48
香川	49	137	3,860	50,180	22,388	72,568	530	3,869	1,166	5,035	260	312	624	936	830	5,395	1,992	7,387	5,480	59,756	26,170	85,926	49
愛媛	50	168	4,490	58,370	26,042	84,412	730	5,329	1,606	6,935	500	600	1,200	1,800	1,770	11,505	4,248	15,753	7,490	75,804	33,096	108,900	50
高知	51	92	3,070	39,910	17,806	57,716	380	2,774	836	3,610	160	192	384	576	1,150	7,475	2,760	10,235	4,760	50,351	21,786	72,137	51
福岡	52	313	10,400	135,200	60,320	195,520	1,320	9,636	2,904	12,540	1,040	1,248	2,496	3,744	4,050	26,325	9,720	36,045	16,810	172,409	75,440	247,849	52
佐賀	53	102	2,800	36,400	16,240	52,640	440	3,212	968	4,180	160	192	384	576	1,060	6,890	2,544	9,434	4,460	46,694	20,136	66,830	53
長崎	54	209	6,360	82,680	36,888	119,568	870	6,351	1,914	8,265	400	480	960	1,440	2,420	15,730	5,808	21,538	10,050	105,241	45,570	150,811	54
熊本	55	729	26,100	339,300	151,380	490,680	3,860	28,178	8,492	36,670	1,710	2,052	4,104	6,156	10,700	69,550	25,680	95,230	42,370	439,080	189,656	628,736	55
大分	56	206	10,300	133,900	59,740	193,640	1,910	13,943	4,202	18,145	600	720	1,440	2,160	2,420	15,730	5,808	21,538	15,230	164,293	71,190	235,483	56
宮崎	57	353	10,300	133,900	59,740	193,640	1,460	10,658	3,212	13,870	330	396	792	1,188	3,920	25,480	9,408	34,888	16,010	170,434	73,152	243,586	57
鹿児島	58	276	10,000	130,000	58,000	188,000	1,220	8,906	2,684	11,590	1,420	1,704	3,408	5,112	4,160	27,040	9,984	37,024	16,800	167,650	74,076	241,726	58
沖縄	59	90	3,250	42,250	18,850	61,100	460	3,358	1,012	4,370	190	228	456	684	730	4,745	1,752	6,497	4,630	50,581	22,070	72,651	59

出典：農林水産省統計資料にふん尿量を追記した

表2.1.2-7　肉牛飼養戸数、頭数、ふん尿発生量

全国農業地域 都道府県		飼養戸数	肉用種																乳用種										全合計		全国農業地域・都道府県
			肥育用牛		黒毛和種		褐毛和種		その他		めす						おす						ホルスタイン種他			交雑種						
			頭数	ふん尿量	頭数	ふん尿量	頭数	ふん尿量	頭数	ふん尿量	1歳未満	ふん尿量	1歳	ふん尿量	2歳以上	ふん尿量	1歳未満	ふん尿量	1歳	ふん尿量	2歳以上	ふん尿量	おす	めす	合計ふん尿	おす	めす	合計ふん尿量	頭数	ふん尿量	
		戸	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	t/年	頭	頭	t/年	頭	頭	t/年	頭	t/年	
全国	1	74,474	844,160	3,038,976	1,853,300	18,533,000	26,030	260,300	44,690	446,900	244,410	879,876	262,770	2,890,470	727,310	7,273,100	264,350	951,660	299,300	2,603,910	125,990	25,198	421,120	9,830	3,490,695	547,180	264,770	6,495,600	5,935,210	46,889,685	1
(農業地域)																															
北海道	2	3,020	58,400	210,240	190,900	1,909,000	2,870	28,700	6,540	65,400	34,900	125,640	21,200	233,200	91,400	914,000	34,400	123,840	13,300	115,710	5,000	1,000	228,700	3,480	1,880,658	109,600	54,300	1,311,200	854,990	6,918,588	2
都府県	3	71,400	785,700	2,828,520	1,662,000	16,620,000	23,200	232,000	38,200	382,000	209,600	754,560	241,500	2,656,500	635,700	6,357,000	229,900	827,640	286,000	2,488,200	121,000	24,200	192,400	6,350	1,609,875	437,600	210,400	5,184,000	5,079,550	39,964,495	3
東北	4	21,200	131,600	473,760	305,600	3,056,000	880	8,800	7,930	79,300	37,500	135,000	46,500	511,500	124,000	1,240,000	41,400	149,040	44,500	387,150	20,500	4,100	37,900	710	312,741	60,300	32,000	738,400	891,320	7,095,791	4
北陸	5	531	7,310	26,316	11,500	115,000	0	0	40	400	1,240	4,464	1,590	17,490	3,000	30,000	1,700	6,120	3,020	26,274	1,050	210	4,520	190	38,151	8,790	4,840	109,040	48,790	373,465	5
関東	6	4,490	96,600	347,760	149,900	1,499,000	180	1,800	1,200	12,000	14,400	51,840	22,500	247,500	38,500	385,000	18,900	68,040	39,400	342,780	17,600	3,520	48,000	2,180	406,458	128,700	60,700	1,515,200	638,760	4,880,898	6
東海	7	1,600	55,800	200,880	75,600	756,000	50	500	300	3,000	8,210	29,556	19,900	218,900	21,000	210,000	7,580	27,288	14,700	127,890	4,490	898	16,200	160	132,516	52,800	26,900	637,600	303,690	2,345,028	7
近畿	8	2,290	43,100	155,160	68,600	686,000	40	400	2,920	29,200	6,750	24,300	13,900	152,900	22,600	226,000	7,690	27,684	13,800	120,060	6,780	1,356	4,920	170	41,229	14,900	8,080	183,840	214,250	1,648,129	8
中国	9	4,250	40,300	145,080	77,900	779,000	20	200	3,600	36,000	9,640	34,704	12,500	137,500	29,800	298,000	10,500	37,800	13,100	113,970	6,090	1,218	20,500	1,360	177,066	35,200	21,600	454,400	282,110	2,214,938	9
四国	10	1,110	20,700	74,520	26,500	265,000	3,330	33,300	60	600	2,920	10,512	7,290	80,190	8,200	82,000	3,290	11,844	5,860	50,982	2,280	456	11,300	140	92,664	29,300	12,100	331,200	133,270	1,033,268	10
九州	11	32,800	383,400	1,380,240	862,400	8,624,000	18,700	187,000	22,000	220,000	114,500	412,200	111,900	1,230,900	342,200	3,422,000	127,200	457,920	148,600	1,292,820	58,900	11,780	48,800	1,430	406,863	106,800	43,700	1,204,000	2,390,530	18,849,723	11
沖縄	12	3,110	6,880	24,768	84,400	844,000	0	0	80	800	14,500	52,200	5,570	61,270	46,400	464,000	11,700	42,120	2,990	26,013	3,360	672	220	0	1,782	840	520	10,880	177,460	1,528,505	12
(都道府県)																															
北海道	13	3,020	58,400	210,240	190,900	1,909,000	2,870	28,700	6,540	65,400	34,900	125,640	21,200	233,200	91,400	914,000	34,400	123,840	13,300	115,710	5,000	1,000	228,700	3,480	1,880,658	109,600	54,300	1,311,200	854,990	6,918,588	13
青森	14	1,330	10,600	38,160	27,200	272,000	10	100	1,510	15,100	3,930	14,148	2,760	30,360	12,800	128,000	4,420	15,912	3,170	27,579	1,660	332	24,300	160	198,126	9,360	6,020	123,040	107,900	862,857	14
岩手	15	7,570	31,800	114,480	90,100	901,000	90	900	4,650	46,500	12,300	44,280	11,500	126,500	40,600	406,000	14,300	51,480	11,100	96,570	5,070	1,014	4,920	120	40,824	13,100	3,990	136,720	243,640	1,966,268	15
宮城	16	5,720	30,300	109,080	79,500	795,000	580	5,800	1,060	10,600	9,910	35,676	9,210	101,310	30,000	300,000	11,600	41,760	14,000	121,800	6,470	1,294	2,910	90	24,300	12,000	5,660	141,280	213,290	1,687,900	16
秋田	17	1,310	6,930	24,948	18,400	184,000	120	1,200	320	3,200	2,410	8,676	2,030	22,330	7,130	71,300	2,840	10,224	3,110	27,057	1,280	256	450	140	4,779	1,750	1,050	22,400	47,960	380,370	17
山形	18	972	30,700	110,520	38,900	389,000	30	300	30	300	3,750	13,500	14,100	155,100	12,500	125,000	2,180	7,848	4,230	36,801	2,180	436	1,120	0	9,072	1,960	980	23,520	112,660	871,397	18
福島	19	4,300	21,200	76,320	51,500	515,000	50	500	360	3,600	5,200	18,720	6,900	75,900	21,000	210,000	5,990	21,564	8,970	78,039	3,830	766	4,210	190	35,640	22,100	14,300	291,200	165,800	1,327,249	19
茨城	20	865	23,300	83,880	29,600	296,000	60	600	360	3,600	2,110	7,596	4,680	51,480	6,100	61,000	2,950	10,620	9,610	83,607	4,570	914	6,010	70	49,248	20,800	10,300	248,800	120,520	897,345	20
栃木	21	1,360	24,000	86,400	46,800	468,000	10	100	140	1,400	5,350	19,260	5,640	62,040	13,800	138,000	6,780	24,408	10,800	93,960	4,620	924	17,600	790	148,959	34,600	7,940	340,320	178,870	1,383,771	21
群馬	22	755	20,000	72,000	31,300	313,000	10	100	40	400	3,320	11,952	5,000	55,000	9,110	91,100	4,110	14,796	6,880	59,856	2,900	580	7,020	390	60,021	29,800	16,900	373,600	136,780	1,052,405	22
埼玉	23	218	5,970	21,492	7,980	79,800	90	900	270	2,700	480	1,728	1,010	11,110	1,730	17,300	880	3,168	2,860	24,882	1,370	274	5,360	190	44,955	7,030	4,080	88,880	39,300	297,189	23
千葉	24	380	4,760	17,136	8,470	84,700	0	0	300	3,000	960	3,456	1,660	18,260	2,310	23,100	1,150	4,140	1,870	16,269	820	164	10,200	540	86,994	21,300	12,100	267,200	66,440	524,419	24
東京	25	31	430	1,548	760	7,600	0	0	0	0	110	396	190	2,090	240	2,400	90	324	110	957	20	4	120	20	1,134	150	100	2,000	2,340	18,453	25
神奈川	26	86	1,820	6,552	2,340	23,400	0	0	10	100	170	612	470	5,170	390	3,900	250	900	740	6,438	330	66	160	20	1,458	2,420	1,910	34,640	11,030	83,236	26
新潟	27	298	3,160	11,376	5,260	52,600	0	0	30	300	560	2,016	740	8,140	1,390	13,900	760	2,736	1,370	11,919	470	94	2,940	110	24,705	5,360	2,950	66,480	25,100	194,266	27
富山	28	62	1,540	5,544	2,460	24,600	0	0	10	100	250	900	260	2,860	690	6,900	360	1,296	660	5,742	240	48	450	10	3,726	1,600	790	19,120	9,320	70,836	28
石川	29	115	1,310	4,716	2,100	21,000	0	0	0	0	270	972	300	3,300	580	5,800	340	1,224	460	4,002	150	30	650	30	5,508	420	220	5,120	6,830	51,672	29
福井	30	56	1,300	4,680	1,720	17,200	0	0	0	0	150	540	280	3,080	350	3,500	230	828	530	4,611	180	36	490	50	4,374	1,400	880	18,240	7,560	57,089	30
山梨	31	80	2,430	8,748	3,270	32,700	10	100	10	100	230	828	320	3,520	570	5,700	540	1,944	1,120	9,744	510	102	660	30	5,589	3,580	2,900	51,840	16,180	120,915	31
長野	32	716	13,900	50,040	19,400	194,000	0	0	70	700	1,640	5,904	3,510	38,610	4,270	42,700	2,200	7,920	5,410	47,067	2,460	492	910	140	8,505	9,090	4,420	108,080	67,420	504,018	32
岐阜	33	718	19,600	70,560	32,500	325,000	10	100	130	1,300	3,280	11,808	4,120	45,320	8,370	83,700	4,630	16,668	9,580	83,346	2,690	538	450	0	3,645	2,900	2,180	40,640	90,440	682,625	33
静岡	34	199	7,740	27,864	8,710	87,100	30	300	60	600	1,040	3,744	3,650	40,150	2,100	21,000	560	2,016	1,120	9,744	330	66	4,850	70	39,852	11,900	4,770	133,360	46,930	365,796	34
愛知	35	442	8,730	31,428	11,700	117,000	10	100	90	900	1,210	4,356	2,280	25,080	3,040	30,400	1,570	5,652	2,760	24,012	950	190	10,300	90	84,159	34,000	17,300	410,400	94,030	733,677	35
三重	36	241	19,800	71,280	22,600	226,000	20	200	10	100	2,680	9,648	9,840	108,240	7,520	75,200	820	2,952	1,280	11,136	520	104	620	0	5,022	3,950	2,670	52,960	72,330	562,842	36
滋賀	37	107	11,000	39,600	12,600	126,000	0	0	10	100	1,210	4,356	3,940	43,340	3,090	30,900	890	3,204	2,250	19,575	1,220	244	1,380	20	11,340	3,500	800	34,400	41,910	313,059	37
京都	38	114	4,450	16,020	5,830	58,300	0	0	110	1,100	480	1,728	780	8,580	1,110	11,100	700	2,520	1,730	15,051	1,140	228	280	30	2,511	650	560	9,680	17,850	126,818	38
大阪	39	24	690	2,484	700	7,000	0	0	0	0	60	216	170	1,870	130	1,300	70	252	140	1,218	130	26	20	0	162	240	210	3,600	2,560	18,128	39
兵庫	40	1,910	22,700	81,720	43,600	436,000	0	0	2,750	27,500	4,370	15,732	6,970	76,670	16,400	164,000	5,520	19,872	9,040	78,648	4,010	802	2,990	90	24,948	8,770	5,190	111,680	132,400	1,037,572	40
奈良	41	69	2,560	9,216	3,130	31,300	30	300	50	500	310	1,116	1,350	14,850	830	8,300	200	720	380	3,306	130	26	120	20	1,134	1,090	930	16,160	11,130	86,928	41
和歌山	42	68	1,750	6,300	2,810	28,100	0	0	0	0	330	1,188	680	7,480	1,060	10,600	320	1,152	270	2,349	160	32	130	10	1,134	660	400	8,480	8,580	66,815	42
鳥取	43	454	6,000	21,600	11,000	110,000	10	100	0	0	1,170	4,212	2,140	23,540	3,920	39,200	1,180	4,248	1,690	14,703	930	186	6,100	110	50,301	4,160	2,110	50,160	40,520	318,250	43
島根	44	1,530	12,700	45,720	24,200	242,000	10	100	2,360	23,600	3,200	11,520	3,490	38,390	9,730	97,300	3,340	12,024	4,340	37,758	2,440	488	1,500	90	12,879	5,080	2,220	58,400	74,700	580,179	44
岡山	45	711	7,360	26,496	15,200	152,000	0	0	160	1,600	1,880	6,768	2,780	30,580	5,940	59,400	1,830	6,588	2,110	18,357	870	174	6,300	250	53,055	15,200	9,780	199,840	69,660	554,858	45
広島	46	869	6,940	24,984	13,300	133,000	0	0	30	300	1,540	5,544	1,920	21,120	4,840	48,400	1,750	6,300	2,470	21,489	840	168	6,020	770	54,999	8,040	5,380	107,360	53,840	423,664	46
山口	47	694	7,300	26,280	14,200	142,000	0	0	1,050	10,500	1,850	6,660	2,130	23,430	5,380	53,800	2,350	8,460	2,490	21,663	1,000	200	570	140	5,751	2,690	2,130	38,560	43,280	337,304	47
徳島	48	284	7,760	27,936	9,650	96,500	660	6,600	0	0	930	3,348	2,960	32,560	2,760	27,600	1,120	4,032	1,750	15,225	790	158	3,380	40	27,702	14,100	6,230	162,640	52,130	404,301	48
香川	49	276	5,260	18,936	7,450	74,500	40	400	0	0	700	2,520	1,840	20,240	1,840	18,400	820	2,952	1,670	14,529	620	124	2,010	40	16,605	9,060	3,170	97,840	34,520	267,046	49
愛媛	50	292	5,190	18,684	7,160	71,600	30	300	50	500	680	2,448	1,780	19,580	1,850	18,500	770	2,772	1,550	13,485	610	122	4,730	60	38,799	5,770	2,420	65,520	32,650	252,310	50
高知	51	253	2,500	9,000	2,200	22,000	2,600	26,000	0	0	610	2,196	700	7,700	1,750	17,500	580	2,088	880	7,656	260	52	1,170	0	9,477	370	260	5,040	13,880	108,709	51
福岡	52	233	16,200	58,320	12,300	123,000	540	5,400	5,950	59,500	980	3,528	2,520	27,720	3,090	30,900	1,710	6,156	7,260	63,162	3,190	638	2,750	110	23,166	5,810	2,650	67,680	65,060	469,170	52
佐賀	53	942	43,800	157,680	61,000	610,000	10	100	120	1,200	5,360	19,296	12,700	139,700	14,300	143,000	6,710	24,156	16,300	141,810	5,770	1,154	20	10	243	2,500	980	27,840	169,580	1,266,179	53
長崎	54	3,830	29,300	105,480	75,100	751,000	810	8,100	610	6,100	6,980	25,128	7,160	78,760	30,100	301,000	9,890	35,604	14,300	124,410	8,080	1,616	3,960	100	32,886	10,800	2,530	106,640	199,720	1,576,724	54
熊本	55	3,520	44,000	158,400	78,200	782,000	17,200	172,000	2,320	23,200	11,500	41,400	11,000	121,000	37,400	374,000	13,900	50,040	18,400	160,080	5,600	1,120	14,000	430	116,883	38,100	12,800	407,200	304,850	2,407,323	55
大分	56	1,990	13,900	50,040	47,600	476,000	50	500	350	3,500	5,960	21,456	4,540	49,940	22,900	229,000	6,750	24,300	5,450	47,415	2,420	484	9,830	430	83,106	7,680	4,850	100,240	132,710	1,085,981	56
宮崎	57	9,550	100,300	361,080	248,200	2,482,000	10	100	9,840	98,400	37,000	133,200	29,900	328,900	102,700	1,027,000	37,900	136,440	36,600	318,420	14,000	2,800	10,600	90	86,589	24,500	11,900	291,200	663,540	5,266,129	57
鹿児島	58	12,800	135,900	489,240	340,000	3,400,000	30	300	2,850	28,500	46,600	167,760	44,100	485,100	131,800	1,318,000	50,400	181,440	50,200	436,740	19,800	3,960	7,640	260	63,990	17,400	8,040	203,520	855,020	6,778,550	58
沖縄	59	3,110	6,880	24,768	84,400	844,000	0	0	80	800	14,500	52,200	5,570	61,270	46,400	464,000	11,700	42,120	2,990	26,013	3,360	672	220	0	1,782	840	520	10,880	177,460	1,528,505	59

出典：農林水産省統計資料にふん尿量を追記した

表2.1.2-8　養豚飼養戸数、頭数、ふん尿発生量

平成20年(2008年)2月1日現在

都道府県		飼養戸数	子取り用めす豚				種おす豚				肥育豚				その他				合計				都道府県
			頭数	ふん量	尿量	合計	頭数	ふん量	尿量	合計	頭数	ふん量	尿量	合計	頭数	ふん量	尿量	合計	頭数	ふん量	尿量	合計	
		戸	頭数	t/年	t/年	t/年	頭数	t/年	t/年	t/年	頭数	t/年	t/年	t/年	頭数	t/年	t/年	t/年	頭数	t/年	t/年	t/年	
全国	1	7,228	909,960	564,175	2,365,896	2,930,071	57,410	63,151	103,338	166,489	8,116,460	4,707,547	14,609,628	19,317,175	660,940	99,141	482,486	581,627	9,744,890	5,434,014	17,561,348	22,995,362	1
北海道	2	297	49,800	30,876	129,480	160,356	2,700	2,970	4,860	7,830	466,000	270,280	838,800	1,109,080	32,100	4,815	23,433	28,248	550,600	308,941	996,573	1,305,514	2
青森	3	171	35,600	22,072	92,560	114,632	1,410	1,551	2,538	4,089	352,700	204,566	634,860	839,426	13,000	1,950	9,490	11,440	402,800	230,139	739,448	969,587	3
岩手	4	162	42,000	26,040	109,200	135,240	2,410	2,651	4,338	6,989	349,600	202,768	629,280	832,048	31,400	4,710	22,922	27,632	425,400	236,169	765,740	1,001,909	4
宮城	5	276	22,500	13,950	58,500	72,450	1,540	1,694	2,772	4,466	185,400	107,532	333,720	441,252	12,300	1,845	8,979	10,824	221,800	125,021	403,971	528,992	5
秋田	6	140	21,300	13,206	55,380	68,586	870	957	1,566	2,523	193,000	111,940	347,400	459,340	15,600	2,340	11,388	13,728	230,800	128,443	415,734	544,177	6
山形	7	164	16,700	10,354	43,420	53,774	920	1,012	1,656	2,668	148,000	85,840	266,400	352,240	6,790	1,019	4,957	5,975	172,300	98,225	316,433	414,657	7
福島	8	145	18,000	11,160	46,800	57,960	1,100	1,210	1,980	3,190	158,800	92,104	285,840	377,944	22,500	3,375	16,425	19,800	200,400	107,849	351,045	458,894	8
茨城	9	570	56,000	34,720	145,600	180,320	4,220	4,642	7,596	12,238	564,800	327,584	1,016,640	1,344,224	6,570	986	4,796	5,782	631,700	367,932	1,174,632	1,542,564	9
栃木	10	180	37,600	23,312	97,760	121,072	2,360	2,596	4,248	6,844	279,000	161,820	502,200	664,020	50,800	7,620	37,084	44,704	369,800	195,348	641,292	836,640	10
群馬	11	382	51,300	31,806	133,380	165,186	3,410	3,751	6,138	9,889	561,400	325,612	1,010,520	1,336,132	15,400	2,310	11,242	13,552	631,500	363,479	1,161,280	1,524,759	11
埼玉	12	171	12,100	7,502	31,460	38,962	970	1,067	1,746	2,813	112,000	64,960	201,600	266,560	4,270	641	3,117	3,758	129,300	74,170	237,923	312,093	12
千葉	13	430	62,500	38,750	162,500	201,250	3,140	3,454	5,652	9,106	538,800	312,504	969,840	1,282,344	21,600	3,240	15,768	19,008	626,000	357,948	1,153,760	1,511,708	13
東京	14	18	320	198	832	1,030	50	55	90	145	3,440	1,995	6,192	8,187	180	27	131	158	3,990	2,276	7,245	9,521	14
神奈川	15	69	7,120	4,414	18,512	22,926	510	561	918	1,479	64,900	37,642	116,820	154,462	4,300	645	3,139	3,784	76,800	43,262	139,389	182,651	15
新潟	16	191	19,700	12,214	51,220	63,434	1,450	1,595	2,610	4,205	170,900	99,122	307,620	406,742	20,600	3,090	15,038	18,128	212,600	116,021	376,488	492,509	16
富山	17	30	3,560	2,207	9,256	11,463	300	330	540	870	28,600	16,588	51,480	68,068	6,980	1,047	5,095	6,142	39,500	20,172	66,371	86,544	17
石川	18	23	3,560	2,207	9,256	11,463	290	319	522	841	30,100	17,458	54,180	71,638	3,790	569	2,767	3,335	37,800	20,553	66,725	87,277	18
福井	19	9	450	279	1,170	1,449	30	33	54	87	3,250	1,885	5,850	7,735	1,290	194	942	1,135	5,020	2,391	8,016	10,406	19
山梨	20	32	2,390	1,482	6,214	7,696	240	264	432	696	15,400	8,932	27,720	36,652	1,530	230	1,117	1,346	19,600	10,907	35,483	46,390	20
長野	21	117	9,200	5,704	23,920	29,624	640	704	1,152	1,856	70,500	40,890	126,900	167,790	8,260	1,239	6,030	7,269	88,600	48,537	158,002	206,539	21
岐阜	22	65	9,530	5,909	24,778	30,687	550	605	990	1,595	86,400	50,112	155,520	205,632	7,120	1,068	5,198	6,266	103,600	57,694	186,486	244,179	22
静岡	23	187	14,500	8,990	37,700	46,690	1,360	1,496	2,448	3,944	106,500	61,770	191,700	253,470	19,600	2,940	14,308	17,248	142,000	75,196	246,156	321,352	23
愛知	24	284	34,700	21,514	90,220	111,734	2,410	2,651	4,338	6,989	322,200	186,876	579,960	766,836	19,000	2,850	13,870	16,720	378,300	213,891	688,388	902,279	24
三重	25	67	11,200	6,944	29,120	36,064	580	638	1,044	1,682	95,700	55,506	172,260	227,766	14,100	2,115	10,293	12,408	121,600	65,203	212,717	277,920	25
滋賀	26	18	1,130	701	2,938	3,639	80	88	144	232	8,930	5,179	16,074	21,253	890	134	650	783	11,000	6,102	19,806	25,907	26
京都	27	14	1,230	763	3,198	3,961	100	110	180	290	13,500	7,830	24,300	32,130	100	15	73	88	14,900	8,718	27,751	36,469	27
大阪	28	9	740	459	1,924	2,383	10	11	18	29	7,070	4,101	12,726	16,827	10	2	7	9	7,830	4,572	14,675	19,247	28
兵庫	29	43	1,830	1,135	4,758	5,893	130	143	234	377	18,700	10,846	33,660	44,506	1,600	240	1,168	1,408	22,200	12,364	39,820	52,184	29
奈良	30	13	950	589	2,470	3,059	70	77	126	203	9,790	5,678	17,622	23,300	30	5	22	26	10,800	6,349	20,240	26,589	30
和歌山	31	13	430	267	1,118	1,385	50	55	90	145	1,780	1,032	3,204	4,236	490	74	358	431	2,750	1,428	4,770	6,197	31
鳥取	32	48	6,860	4,253	17,836	22,089	330	363	594	957	63,500	36,830	114,300	151,130	1,640	246	1,197	1,443	72,400	41,692	133,927	175,619	32
島根	33	15	3,620	2,244	9,412	11,656	150	165	270	435	35,300	20,474	63,540	84,014	700	105	511	616	39,700	22,988	73,733	96,721	33
岡山	34	38	4,250	2,635	11,050	13,685	250	275	450	725	27,000	15,660	48,600	64,260	10,300	1,545	7,519	9,064	41,900	20,115	67,619	87,734	34
広島	35	41	5,250	3,255	13,650	16,905	330	363	594	957	54,500	31,610	98,100	129,710	880	132	642	774	61,000	35,360	112,986	148,346	35
山口	36	22	2,410	1,494	6,266	7,760	250	275	450	725	15,000	8,700	27,000	35,700	6,020	903	4,395	5,298	23,700	11,372	38,111	49,483	36
徳島	37	47	3,930	2,437	10,218	12,655	280	308	504	812	33,400	19,372	60,120	79,492	2,960	444	2,161	2,605	40,600	22,561	73,003	95,563	37
香川	38	49	4,110	2,548	10,686	13,234	310	341	558	899	30,200	17,516	54,360	71,876	7,240	1,086	5,285	6,371	41,900	21,491	70,889	92,380	38
愛媛	39	140	19,800	12,276	51,480	63,756	1,420	1,562	2,556	4,118	179,800	104,284	323,640	427,924	15,900	2,385	11,607	13,992	216,900	120,507	389,283	509,790	39
高知	40	33	3,360	2,083	8,736	10,819	230	253	414	667	29,800	17,284	53,640	70,924	1,840	276	1,343	1,619	35,300	19,896	64,133	84,029	40
福岡	41	69	7,460	4,625	19,396	24,021	480	528	864	1,392	67,200	38,976	120,960	159,936	6,330	950	4,621	5,570	81,400	45,079	145,841	190,920	41
佐賀	42	86	8,170	5,065	21,242	26,307	570	627	1,026	1,653	71,000	41,180	127,800	168,980	4,670	701	3,409	4,110	84,400	47,573	153,477	201,050	42
長崎	43	167	19,000	11,780	49,400	61,180	1,320	1,452	2,376	3,828	190,100	110,258	342,180	452,438	3,970	596	2,898	3,494	214,400	124,086	396,854	520,940	43
熊本	44	292	26,000	16,120	67,600	83,720	1,730	1,903	3,114	5,017	238,600	138,388	429,480	567,868	15,000	2,250	10,950	13,200	281,300	158,661	511,144	669,805	44
大分	45	90	13,700	8,494	35,620	44,114	790	869	1,422	2,291	129,500	75,110	233,100	308,210	5,190	779	3,789	4,567	149,200	85,252	273,931	359,182	45
宮崎	46	645	86,000	53,320	223,600	276,920	5,680	6,248	10,224	16,472	733,800	425,604	1,320,840	1,746,444	75,100	11,265	54,823	66,088	900,600	496,437	1,609,487	2,105,924	46
鹿児島	47	826	122,100	75,702	317,460	393,162	7,100	7,810	12,780	20,590	1,094,000	634,520	1,969,200	2,603,720	109,000	16,350	79,570	95,920	1,332,000	734,382	2,379,010	3,113,392	47
沖縄	48	330	26,000	16,120	67,600	83,720	2,290	2,519	4,122	6,641	156,600	90,828	281,880	372,708	52,000	7,800	37,960	45,760	236,900	117,267	391,562	508,829	48

出典：農林水産省統計資料にふん尿量を追記した

表2.1.2-9　養鶏飼養羽数、ふん発生量

平成21年(2009年)12月調査

都道府県	採卵用めす		ブロイラー用		合計	
	羽数	ふん量	羽数	ふん量	羽数	ふん量
	千羽	t/年	千羽	t/年	千羽	t/年
全国	8,634	138,144	60,739	971,824	69,373	1,109,968
北海道	322	5,152	2,908	46,528	3,230	51,680
青森	430	6,880	3,552	56,832	3,982	63,712
岩手	91	1,456	9,522	152,352	9,613	153,808
宮城	198	3,168	1,007	16,112	1,205	19,280
秋田	73	1,168	36	576	109	1,744
山形	8	128	240	3,840	248	3,968
福島	518	8,288	415	6,640	933	14,928
茨城	320	5,120	746	11,936	1,066	17,056
栃木	97	1,552	83	1,328	180	2,880
群馬	263	4,208	743	11,888	1,006	16,096
埼玉	617	9,872	2	32	619	9,904
千葉	626	10,016	702	11,232	1,328	21,248
東京	1	16	－	－	1	16
神奈川	3	48	3	48	6	96
新潟	402	6,432	415	6,640	817	13,072
富山	91	1,456	6	96	97	1,552
石川	85	1,360	17	272	102	1,632
福井	4	64	42	672	46	736
山梨	71	1,136	324	5,184	395	6,320
長野	44	704	274	4,384	318	5,088
岐阜	220	3,520	354	5,664	574	9,184
静岡	215	3,440	478	7,648	693	11,088
愛知	515	8,240	552	8,832	1,067	17,072
三重	125	2,000	308	4,928	433	6,928
滋賀	5	80	46	736	51	816
京都	35	560	222	3,552	257	4,112
大阪	－	－	－	－	－	－
兵庫	320	5,120	1,249	19,984	1,569	25,104
奈良	37	592	15	240	52	832
和歌山	4	64	517	8,272	521	8,336
鳥取	2	32	690	11,040	692	11,072
島根	35	560	100	1,600	135	2,160
岡山	399	6,384	1,255	20,080	1,654	26,464
広島	366	5,856	385	6,160	751	12,016
山口	283	4,528	591	9,456	874	13,984
徳島	78	1,248	1,731	27,696	1,809	28,944
香川	338	5,408	810	12,960	1,148	18,368
愛媛	54	864	473	7,568	527	8,432
高知	2	32	162	2,592	164	2,624
福岡	96	1,536	737	11,792	833	13,328
佐賀	15	240	1,434	22,944	1,449	23,184
長崎	62	992	909	14,544	971	15,536
熊本	138	2,208	1,380	22,080	1,518	24,288
大分	64	1,024	1,105	17,680	1,169	18,704
宮崎	309	4,944	11,337	181,392	11,646	186,336
鹿児島	608	9,728	12,586	201,376	13,194	211,104
沖縄	45	720	276	4,416	321	5,136

出典：農林水産省　畜産統計資料を基にふん尿量を計算した

3) 家畜飼養頭羽数の推移

表2.1.2-10に全国の家畜飼養戸数および頭羽数の年度別推移を示す。乳用牛は昭和60年(1985年)をピークとして暫時飼養頭数は減少している。肉用牛は平成2年(1990年)以降およそ2,700千頭～2,970千頭で推移している。豚は平成4年(1992年)のおよそ11,000千頭のピーク以来減少を続けている。採卵鶏は平成2年(1990年)から平成11年(1999年)ごろまでは180,000千羽前後で推移しているが、平成12年(2000年)から21年(2009年)にかけては140,000千羽で推移している。ブロイラーは昭和55年(1980年)以降飼養羽数が増え続け、平成21年(2009年)は44,800千羽でピークとなっている。

表2.1.2-10　家畜飼養戸数と頭羽数の年度別推移

区分		乳用牛		肉用牛		養豚		採卵鶏		ブロイラー	
		戸数	頭数	戸数	頭数	戸数	頭数	戸数	羽数	戸数	羽数
		千戸	千頭	千戸	千頭	千戸	千頭	戸	千羽	戸	千羽
昭和55年	1980年	115	2,091	364	2,157	141	9,998	－	－	－	－
60	1985	82	2,111	298	2,587	83	10,718	123,100	166,710	7,025	21,400
平成2年	1990	63	2,058	232	2,702	43	11,816	86,500	176,980	5,529	27,200
3	1991	60	2,068	221	2,805	36	11,335	10,100	178,452	5,083	28,100
4	1992	55	2,082	210	2,898	30	10,966	9,160	187,411	4,720	29,000
5	1993	51	2,086	199	2,956	25	10,783	8,450	188,704	4,451	30,400
6	1994	48	2,018	184	2,971	22	10,621	7,860	186,617	4,131	30,800
7	1995	44	1,951	170	2,965	19	10,250	7,310	184,364	3,853	31,100
8	1996	42	1,927	155	2,901	16	9,900	6,800	181,221	3,606	32,800
9	1997	39	1,899	143	2,851	14	9,823	6,530	183,765	3,516	32,500
10	1998	37	1,860	133	2,848	13	9,904	5,390	182,644	3,367	－
11	1999	35	1,816	125	2,842	13	9,879	5,070	179,781	3,192	33,600
12	2000	34	1,765	117	2,823	12	9,805	4,890	140,287	3,084	35,300
13	2001	32	1,726	110	2,804	11	9,785	4,720	139,423	2,986	35,600
14	2002	31	1,726	104	2,838	10	9,612	4,530	137,925	2,900	36,400
15	2003	30	1,719	98	2,804	9	9,725	4,340	137,272	2,839	37,000
16	2004	29	1,690	94	2,788	9	9,724	4,090	137,216	2,778	38,000
17	2005	28	1,655	90	2,747	－	－	－	－	2,654	38,600
18	2006	27	1,635	86	2,755	8	9,620	3,610	176,955	2,593	40,200
19	2007	25	1,592	82	2,806	8	9,759	3,460	142,765	2,583	40,800
20	2008	24	1,533	80	2,890	7	9,745	3,300	142,523	2,456	41,900
21	2009	23	1,500	77	2,923	7	9,899	3,111	139,910	2,392	44,800

出典：ののむらＦＣ事務所　畜産統計情報

2.1.3　家畜排せつ物処理対象と農業環境三法

家畜ふん尿処理対策の強化のため、平成11年（1999年）7月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進にかかる法律」（家畜排せつ物管理法）が制定された。同時に成立した「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」（持続農業法）、「肥料取締法の改正」と合わせて「農業環境三法」と呼ばれており、これらは、家畜ふん尿の適正な管理と処理を義務付けるとともに、土づくりのために有機質肥料の利用を促進し、環境と調和した農業を推進することを目的にしている。

このうち「家畜排せつ物管理法」は、国が利用促進の基本方針、都道府県が利用計画を策定し、施設整備計画の認定を受けた畜産経営体に対してふん尿処理施設設置のための公庫資金融資を行うとともに、国が定める管理基準に基づいて不適切な処理をしている経営

体を指導し、勧告に従わなかった場合の罰則も設けている。

「持続農業法」は、都道府県が定めた持続的農業の導入指針に基づいて農業者が導入計画を作成し、その農業者を支援するため農業改良資金の償還期限延長と課税の特例を行うというものである。また「肥料取締法の改正」は、特殊肥料（堆肥等）の品質表示を規定したものである。

このように、農業環境三法は、これまでの公害対策的発想から一歩踏み出し、政府が環境保全型農業を推進することを明らかにした。

これらは先に成立した「食料・農業・農村基本法」における環境保全型農業の推進という方針に沿うものである。

2.1.4　家畜排せつ物管理法施行後の施設整備状況

平成11年(1999年)7月22日成立、同年11月1日施行となった家畜排せつ物管理法の平成21年（2009年）12月1日現在の施行状況は下記のとおりである。

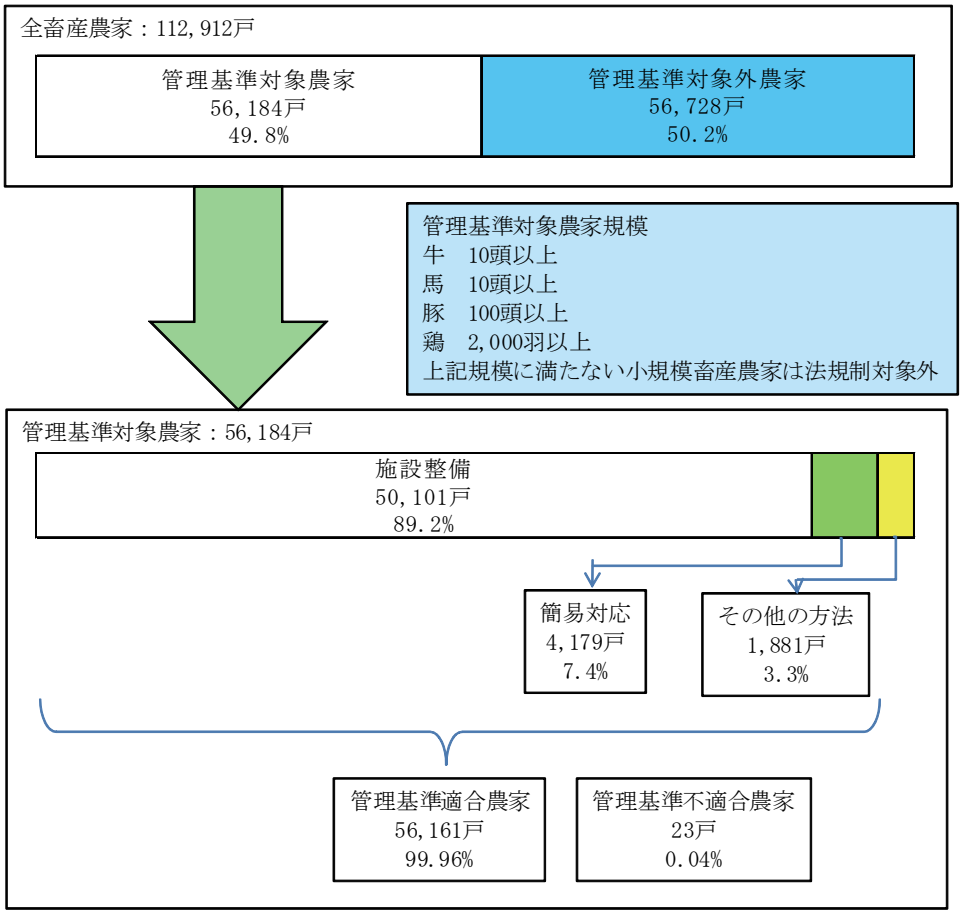


図2.1.4-1　法施行状況調査結果の概要（平成21年(2009年)12月1日時点）

出典：畜産環境をめぐる情勢　農林水産省　平成23年(2011年)2月

図2.1.4-1から、管理基準対象農家の99.96%の農家は家畜排せつ物法に定める管理基準に合格しており、その内、89.2%は施設整備済み、7.4%は簡易対応済み、残り3.3%はその他の対応を行い、管理されていることになっている。

全畜産農家のほぼ半数の畜産農家が法に基づく管理基準に適合したことを受け、今後はたい肥舎等によるたい肥化を基本的な処理方式とし、畜産農家と耕種農家が連携することによって家畜排せつ物の有効利用を図っていくことが重要である。

施設整備とは下記を基準とする。

① ふんの処理・保管施設は、床をコンクリートその他の不浸透性材料で築造し、適当な覆いおよび側壁を有するものとする。

② 尿やスラリーの処理・保管施設は、コンクリートその他の不浸透性材料で築造した構造の貯留槽とすること。

簡易対応とは本格的な施設整備ではなく、ふん尿に覆いを掛けただけの被覆シートやふん尿からの汚水の流出を防止するための遮蔽シート等で簡易的な対応をする方法が認められている。

一方、管理対象基準に満たない管理基準対象外農家は、56,728戸あり、全畜産農家112,912戸の50.2%である。小規模畜産農家は施設整備対象外であり、小規模農家の家畜排せつ物の管理は進んでいない。

2.1.5 家畜排せつ物の再資源化方法

1) 乳牛および肉用牛の飼養形態の分類と排せつ物の再資源化および利用システム

乳牛および肉用牛の飼養形態の分類と排せつ物の再資源化および利用システムは下図に示すとおりである。固形物は乾燥または堆肥化が主流であり、尿は汚水浄化施設で処理後、放流するケースが多い。

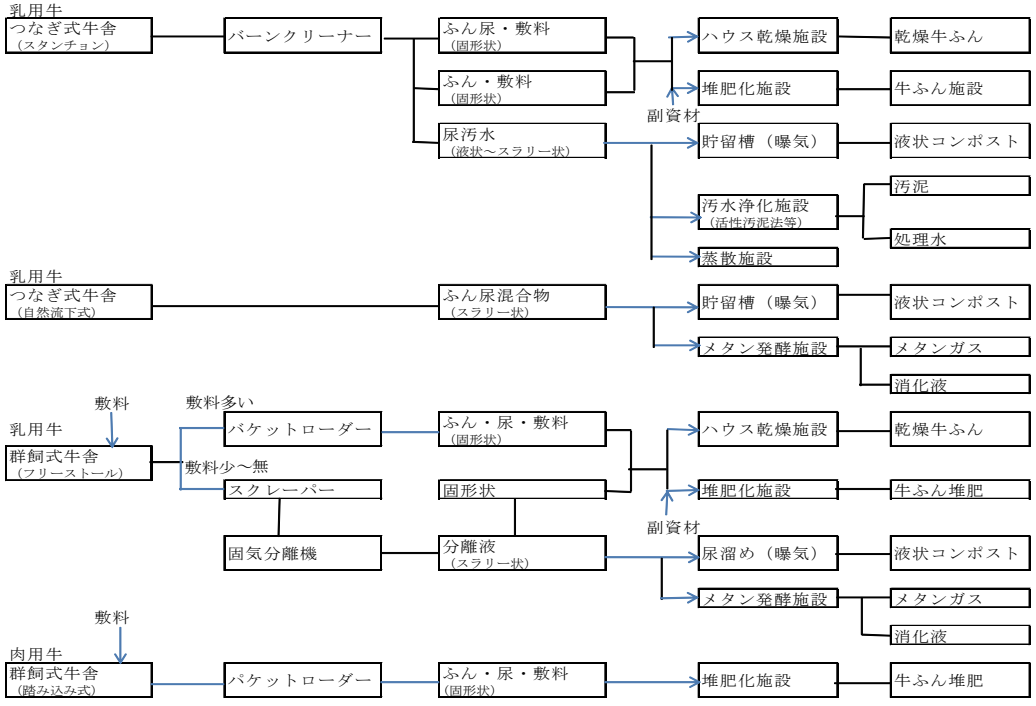


図2.1.5-1 牛舎構造とふん尿処理方式

出典：農林水産研究情報総合センター（AFFRIT）

乳牛ふん尿混合物のように水分率が高いふん尿の場合は、大量の水分調整材を必要とするので、堆肥化するのは困難であり、経費がかかるため一部農家で行われているにすぎない。ここ近年、水分率の高いふん尿の処理方式としてメタン発酵方式が普及し始めている。

2) 養豚排せつ物の再資源化および利用システム

養豚排せつ物は豚舎の構造によって処理方式が異なる。おがくず等で水分を吸収させ、さらに天日等で水分を低減させて堆肥化したり、分離豚舎方式や固液分離機によってふん尿を分離した場合には、ふんは堆肥化、尿は蒸散させたり浄化処理する場合が多い。

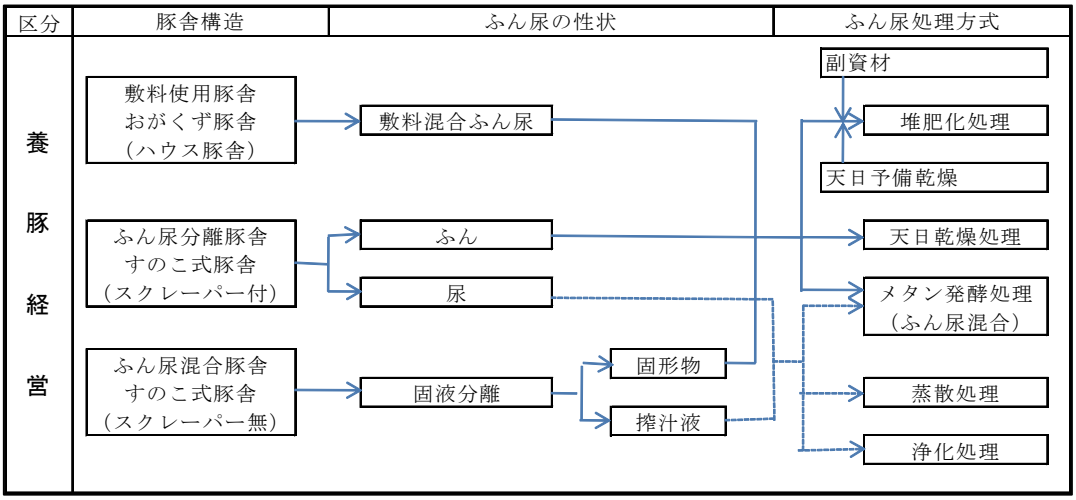


図2.1.5-2 豚舎構造とふん尿処理方式

出典：畜産環境対策大事典 社団法人農山漁村文化協会

3) 養鶏排せつ物の再資源化および利用システム

鶏舎の構造やふんの回収頻度などによって鶏ふんの水分率は種々異なるが、基本的には、できるだけ水分を下げて乾燥処理したり堆肥化処理する場合が多い。まだ少数ではあるが炭化処理する事例も見られる。

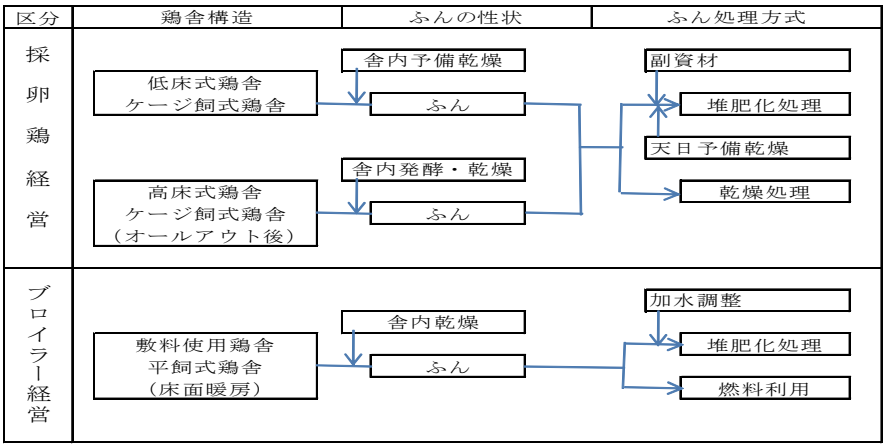


図2.1.5-3 鶏舎構造とふん尿処理方式

出典：畜産環境対策大事典 社団法人農山漁村文化協会

2.1.6　家畜排せつ物処理

1)　家畜ふん尿処理施設の種類別整備数

平成18年(2006年)3月31日現在のこれまで整備された家畜ふん尿処理施設は**表2.1.6-1**のとおりであるが、エネルギー高度利用施設は除いてある。

表2.1.6-1　家畜ふん尿処理方式と整備実績数

施設の種類	整備実績（件数）
堆肥舎	21,946
強制発酵施設	2,050
乾燥施設	806
貯留槽	1,405
液肥化施設	1,172
浄化施設	1,107
その他	3,122
合計	31,608

出典：家畜排せつ物の利用促進に関する論点整理メモ　農林水産省作成
（家畜排せつ物の利用促進のための意見交換会用資料）

2)　家畜ふん尿堆肥化施設

堆肥化装置や施設は良質な堆肥生産のために重要な役割を果たす。施設の型式は下図に示すように、大きく堆積方式（通気装置のあるものと無いもの）と攪拌方式の２つに分類され、攪拌方式はさらに密閉型（縦型または横型攪拌装置付き）、開放型（ロータリーやスクープなどの攪拌装置付き）に分類される。どの畜種でも堆積方式はよく利用されるが、牛ふんでは堆積型と開放型が一般的に多く、豚ふんや鶏ふんでは、開放型や密閉縦型が多い。

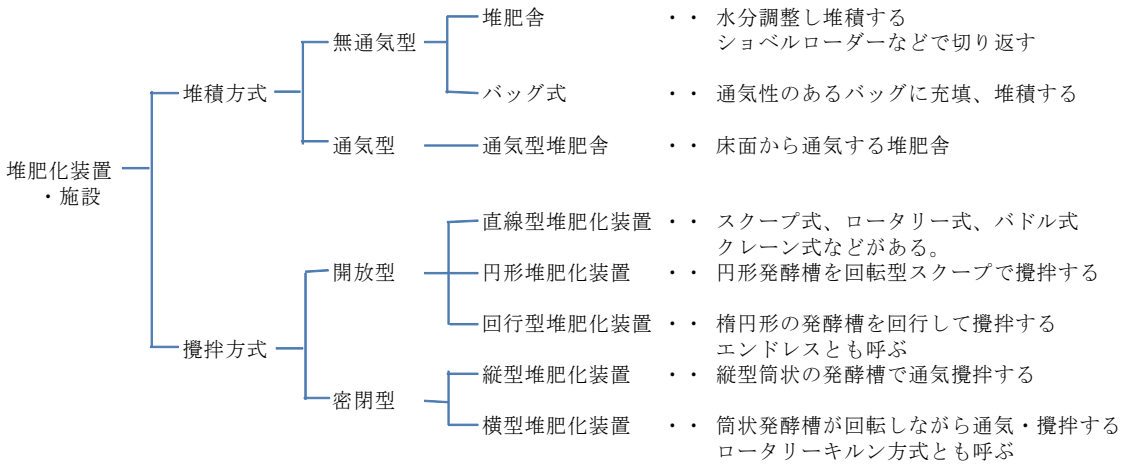


図2.1.6-1　堆肥化装置の分類、特長

出典：有機廃棄物のリサイクル及びバイオマス利用　独立行政法人農研機構　羽賀清典

全国の堆肥化施設数23,996施設の生産方法は、91.5%が堆積・切り返し、8.5%が強制発酵施設となっており、簡易で低コストな施設建設が多い。

3) 排水処理施設

畜産経営から排出される汚水としては、家畜排せつ物、畜舎洗浄水、パーラー廃水などがあるが、これらの汚水には窒素やリン等が多く含まれ、公共用水域への放流や地下浸透させた場合には水質汚濁の原因となる。このため、水質汚濁防止法によって、一定規模（**表2.1.6-2**参照）以上の畜産事業所から排出される汚水については、所定の水質を満たすように処理することが義務付けられている。

水質汚濁防止法における硝酸性窒素等の暫定排水基準（900mg/l）が、平成25年(2013年)6月末まで、さらに延長されたが、今後、一層の排水基準の強化に対応していくことが課題である。

表2.1.6-2 排水放流基準を適用する規制対象

規制対象施設	規制対象規模
豚房の総面積	50m^{2}以上
牛房の総面積	200m^{2}以上
馬房の総面積	500m^{2}以上

出典：家畜ふん尿処理利用の手引き2004年

2.1.7 家畜排せつ物の高度利用施設整備状況

1) 家畜排せつ物の高度利用施設

堆肥化施設以外の家畜ふん尿のエネルギー高度利用施設整備状況が進んでいる。

平成22年(2010年)2月農水省が調査した家畜排せつ物のエネルギー高度利用施設の整備状況を**表2.1.7-1**に示す。

表2.1.7-1 家畜排せつ物エネルギー高度利用施設整備状況

施設の種類		実験・実証施設	商用施設	整備中	合計
メタン発酵		33	34	4	71
	発電施設	7	7	0	14
	熱利用施設	9	12	0	21
	発電及び熱利用施設	17	15	4	36
焼却施設		1	16	1	18
	発電施設	0	1	1	2
	熱利用施設	0	14	0	14
	発電及び熱利用施設	1	1	0	2
炭化施設		0	11	1	12
	熱利用施設	0	1	0	1
	その他	0	10	1	11

出典：畜産環境をめぐる情勢　平成18年(2006年)6月　農林水産省

エネルギー高度利用設備の70%はメタン発酵施設であり、その内50%は発電と熱利用のコジェネレーション施設となっている。焼却施設では大部分の施設が熱利用だけであり、発電を伴う施設は2件しかない。これは家畜ふんを焼却し、発電するためには大規模施設にする必要があり、原料の収集コストが大きな負担となり、施設建設が進まない

からである。

2) メタン発酵

スラリー状の家畜ふん尿を、発酵槽でメタン生成菌によって嫌気発酵させ、発生したバイオガスを燃焼させることによって、熱や電力等のエネルギーとして利用することが可能で、下記特長がある。

① メタン発酵方式では、熱や発電によるエネルギー利用が可能であり、悪臭が外部に漏れないことや消化液を肥料として利用可能である。

② 処理施設の建設費が高く、また消化液を還元する十分な農地確保が必要である。

家畜ふん尿がもつ発熱量と灼熱減量を**表2.1.7-2**に示す。これは乾物ベースのデータなので、実際のふん尿は水分率が90%程度あるので、低位発熱量は表中数値の1/10程度となる。乳牛ふん尿を例にとれば、水分率90%の低位発熱量は4,180/10=418kcal/kg程度となる。

表2.1.7-2 家畜ふん尿の発熱量と減量率（乾物ベース）

畜種	低位発熱量	灼熱減量
	kcal/kg	%
乳牛	4,180	85.6
肉牛	4,080	84.3
肥育豚	4,340	87.8
採卵鶏	2,750	74.7
ブロイラー	3,910	87.9

出典：家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用の現状と課題
独立行政法人 農業・食品産業技術総合機構 薬師堂謙一

このように400kcal/kg程度の低カロリーのふん尿をメタン発酵させて、5,000～6,000kcal/m^{3}程度の可燃性ガスに変換・回収し、熱および電気エネルギーとして利用する高度利用施設が増加している。堆肥化施設に比べて建設費が高いが、堆肥化施設は曝気するための電力消費が大きく、エネルギー消費型処理であり、有機物を分解する際に炭酸ガスを発生する。メタン発酵施設はふん尿を密閉状態で発酵させ、回収したバイオガスを燃料として発電し、同時に熱も利用できるので、応用が期待されている。

3) 炭化、焼却

炭化処理とは家畜ふん尿を炭化炉で不完全燃焼させることによって炭化処理する方法である。余熱や得られたガスを燃焼させることによってエネルギー利用が可能である。

焼却処理とは家畜ふんを炉内で完全燃焼させ、得られた熱をエネルギーとして利用するほか、蒸気タービンを利用することによって電気エネルギーの利用が可能である。

炭化および焼却処理の特長は下記の通り

① 熱や電気等のエネルギー利用が可能であり、焼却灰は肥料として利用可能である。炭化によって生成された製品は土壌改良材や吸着剤、脱臭剤などの多角的利用が可能である。

② 処理施設の建設費が高く、水分含有量が多い家畜排せつ物に適用することは困難である。

4) エネルギー利用における課題

回収されたエネルギーを利用することによって、施設の維持経費の低減が可能であるが、売電を行う場合、売電価格が買電価格よりも安価に抑制されており、コスト

低減効果は低い。「電気事業法によるエネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）の施行」の適用によって、売電価格が上昇した例もある。

2.1.8　家畜排せつ物処理と利用状況

化学肥料の代替えとして堆肥による土づくりを行う農家のみの割合を都道府県別に示すと下図に示すとおりとなった。これによると、長崎県、東京都、宮崎県、鹿児島県、山梨県、長野県、北海道、群馬県の順に高い割合を示した。堆肥による土づくりを行う農家の割合は、南関東から甲信にかけての首都圏周辺部と、北海道や九州地域で高いことが分かる。家畜ふん尿の堆肥化利用の普及指導については、各県内や各地域内に耕畜連携推進協議会を設置し、家畜堆肥の流通促進を図っている。堆肥化施設建設は家畜ふん尿の適正処理と密接に結び付いており、建設促進のため農水省および各都道府県が補助金を交付している例が多い。

家畜ふん尿堆肥の全国的な流通ネットワークは無く、ほとんどが各都道府県内や狭い地域内で流通しているのみである。全国に流通させるには大量の家畜ふん尿や副資材を調達しなければならない。また製品堆肥を全国に配送するための物流コストがかかるが、堆肥は単価が安く、重量物でしかもかさばるので、採算を考えると非常に難しい。このように堆肥の特性から基本的には地域内流通が多い。

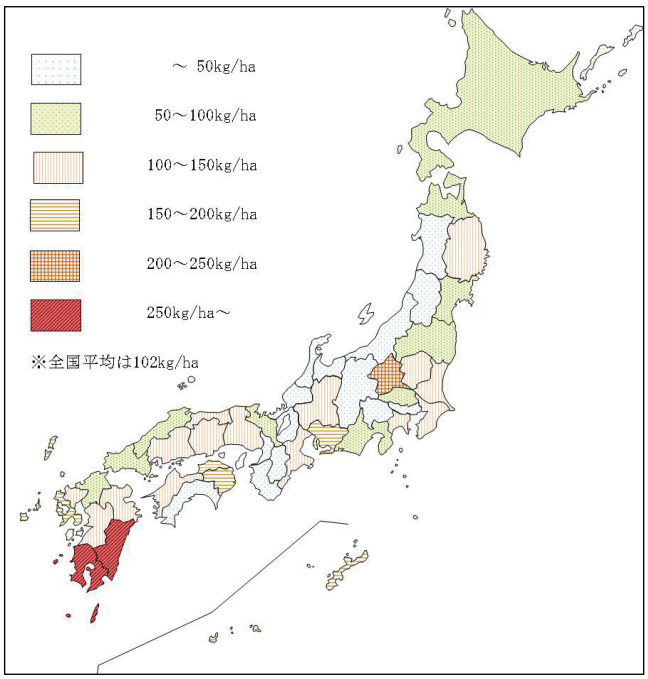


図2.1.8-1　都道府県別堆肥による土づくりに取り組む農家の割合（2000年）

出典：畜産環境をめぐる情勢　平成23年(2011年)2月　農林水産省

各都道府県では域内の堆肥生産量や流通量を把握していることが多いが、残念ながら全国規模の実態を表す統計資料は得られなかった。

全国規模での堆肥センターの運営実態と耕種農家との連携に関する調査は行われていないと思われ、従って堆肥流通の実態も不明である。

独立行政法人農畜産産業振興機構内に全国堆肥センター協議会事務局があるが、堆肥化

施設の全国一覧表や各都道府県別、市町村別の自家消費を含む堆肥生産量および流通量等は把握しておらず、それらのデータも公表されていない。平成16年(2004年)度調査事業として「堆肥流通の実態調査」を行ったが、国内の先進的な７つの堆肥センターを調査しただけである。

2.1.9　家畜排せつ物利活用率

1)　全国の家畜排せつ物の利活用状況

家畜ふん尿は、畜種や飼養形態によって密度や含水率が異なるため、見かけの有機物量（湿潤重量）だけでは利活用状況を正確に把握できない。地球温暖化の原因物質である温暖化ガス（二酸化炭素、メタンなど）の主成分である炭素（元素記号Ｃ）量に着目し、できるだけ炭素換算量で利活用率を表すこととした。

炭素量換算は下記参照

家畜排せつ物の炭素量換算＝家畜排せつ物重量（湿潤重量）ｘ(1-含水比)ｘ炭素割合
家畜排せつ物の含水比　：0.83
家畜排せつ物の炭素割合：牛ふん0.346、豚ふん0.413、鶏ふん0.347

出典：鹿児島県バイオマス利活用指針　平成17年(2005年)3月鹿児島県策定
（原典：農林水産省農村政策課）

表2.1.9-1　全国の家畜排せつ物発生量と利用状況（炭素換算）

年度	年間発生量	未利用量	利用率
	C万t/年	C万t/年	%
2002年	543.0	108.6	80.0
2009年	525.1	47.8	90.9
2020年（推定値）	525.1	47.8	90.9

出典：主なバイオマスの発生量と利用状況から作成
第3回バイオマス活用推進専門会議配布資料　農水省

平成23年(2011年)2月発表された畜産環境をめぐる情勢（農林水産省）によれば、平成16年(2004年)12月時点で堆肥化および液肥化された量は約8,000万t/年（湿潤重量）とされている。

今回本報告書で試算した全国の家畜ふん尿発年間生量は9,216万tなので、年度は若干違うが、およそ86.8%が堆肥化ないし液肥利用されたことになる。

裏付けをとるため、全国の堆肥化施設で処理される家畜排せつ物量を推算してみた。農林水産省が平成11年(1999年)度に行った「家畜排せつ物等のたい肥化施設の設置・運営状況」調査によれば、全国にある3,571施設を対象に平成10年(1998年)1月から12月までの１年間の実態調査を行った。アンケートの回答数は2,326施設で、回答率は65%であった。

調査対象は、ＪＡなどの農業団体や第三セクター、営農集団などが運営する家畜排せつ物などの堆肥化施設である。

この調査結果によると、回答のあった2,326施設に搬入された原料（家畜排せつ物＋水分調整材）量は、383万tであった。中央畜産会発行の堆肥化施設設計マニュアルの事例から、水分調整材の添加割合を18.2%として、全国の3,571施設規模に換算すると481万tの家畜ふん尿を堆肥化処理したことになる。年間搬入量の内訳は、牛ふんが66.5%、豚ふんが17.0%、鶏ふんが15.0%となっている。全国の家畜排せつ物量は約9,216万tなので、3,571施設に適用すると堆肥化された家畜ふん尿は約5.2%となる。

平成7年(1995年)6月調査時点で、これまで農林水産省の補助事業や都道府県単独事業で導入した全国の堆肥化施設数は約2,500施設なので、その後15年間に施設数が増加したとしても、調査対象とした堆肥化施設数3,571施設は妥当と思われる。販売目的でなく、自家処理し経営内で消費される分はこの年間搬入量に含まれていないと思われるが、全国の自家処理を含む全堆肥化施設や量の実態を示す資料は見当たらなかった。全国規模での堆肥化の実態は十分把握されていないと思われる。

全国で最も乳牛の飼養頭数が多い北海道と肉牛の飼養頭数が多い鹿児島県の家畜排せつ物の利活用状況を調査した。

2) 北海道における家畜排せつ物の利活用状況

(1) 家畜排せつ物利用の現状

道内で経営農地へ還元されている家畜排せつ物は、糞の6割、尿およびスラリーの4割程度にとどまっている。また、家畜排せつ物の管理状況は、糞については8割の農家が堆肥盤を有しているものの、屋根など雨水の流入防止対策が不十分な状況にあり、尿およびスラリーについては2割の農家が素掘り貯溜となっている。このため、地下水や河川の汚染、悪臭・病害虫の発生など、家畜排せつ物に起因する環境問題が顕在化しつつあり、最近では、クリプトスポリジウムなどの病原性微生物による水道水源の汚染なども懸念されている。

表2.1.9-2 家畜排せつ物利用状況

単位:%

畜種	ふん処理			
	農地還元	販売	交換・譲渡	利用率
乳牛	51	1	5	57
肉牛	45	4	7	56
養豚	28	11	17	56
採卵鶏	15	14	20	49
馬	53	0	2	55
小計	48	2	6	57
	尿・スラリー処理			
	農地還元	販売	交換・譲渡	利用率
乳牛	46	0	1	46
肉牛	45	0	1	45
養豚	19	0	1	20
採卵鶏	20	1	8	30
馬	27	0	1	28
小計	38	0	1	39

出典：北海道家畜排せつ物利用促進計画　平成12年(2000年)10月　北海道

(2) 家畜排せつ物利用の道の方針

道庁は、「北海道酪農・肉用牛生産近代化計画」、および「第3次北海道長期総合計画」を推進しており、 今後も家畜の飼養頭羽数の維持ないし増加が見込まれ、排

せつ物も増加が見込まれる。一方、北海道には、耕種部門も含めると120万haもの恵まれた土地資源を有しており、家畜排せつ物を資源として有効活用可能な基盤を持っている。今後、堆肥や液肥として経営内や地域への還元利用を図るため、次の取り組みを推進している。

(a) ふん尿処理施設の計画的な整備

畜産環境保全および家畜排せつ物の利用を促進するためふん尿処理施設の整備を推進する。

(b) ふん尿処理技術の確立

家畜排せつ物の利用を促進するため、国・道の試験研究機関の技術開発を推進し、民間の技術を取り入れながら、低コストで効率的なふん尿処理技術の確立を図る。

環境保全や家畜排せつ物の有効利用に関する農家の意識の向上や家畜ふん尿処理の利用技術の普及や定着を図る。

(c) 家畜排せつ物の利用の促進

家畜排せつ物の流通や利用の促進を図るため、畜産農家と耕種農家の連携を強化するとともに、市町村、農業関係機関と協力し、良質な堆肥の製造や堆肥の需給動向に関する情報提供を行う。また、良質な堆肥や液肥を製造するため、集中処理方式の堆肥センター建設を推進する。

(3) 堆肥化施設の推進

北海道では、地域内および広域的な堆肥の流通促進に不可欠な畜産農家と耕種農家の連携強化を図っている。資源循環型農業の確立やクリーン農業確立の観点から、道内各地の堆肥センターの機能強化のための情報交換を進めている。道では環境保全や家畜排せつ物の有効利用に関する意識啓発活動を行い、以下の取り組みを進めている。

① 堆肥センターに関する調査、情報の収集

② 堆肥センター機能強化のための支援・情報の提供

③ 堆肥センター計画マニュアルの作成

表2.1.9-3 北海道における堆肥生産量

単位 t/年

支庁		堆肥利用化可能資源量(1)				堆肥生産量(2)			
		農産物残渣	家畜ふん尿	バーク等	小計①	現物	緑肥から換算	小計②	堆肥化資源利用率 ②/①x100
1	石狩	353	216	33	602	130	3	133	22.1
2	空知	913	151	45	1,109	188	14	202	18.2
3	上川	882	425	139	1,446	579	48	627	43.4
4	留萌	79	257	15	351	271	0	271	77.2
5	渡島	108	253	21	382	265	7	272	71.2
6	檜山	98	76	17	191	85	1	86	45.0
7	後志	273	139	21	433	157	14	171	39.5
8	胆振	210	233	48	491	438	10	448	91.2
9	日高	79	319	16	414	338	1	339	81.9
10	宗谷	9	437	16	462	617	0	617	133.5
11	網走	1,280	1,096	151	2,527	1,207	88	1,295	51.2
12	十勝	2,311	1,760	105	4,176	1,623	47	1,670	40.0
13	釧路	46	944	45	1,035	791	2	793	76.6
14	根室	25	1,218	16	1,259	1,406	0	1,406	111.7
合計		6,666	7,524	688	14,878	8,095	235	8,330	56.0

出典：北海道における堆肥センター協議会の活動について ＪＡ北海道中央会

農作物残渣や家畜ふん尿、バーク等有機物の堆肥化資源利用率は全道平均では56%で、その内訳をみると、道北や道東の酪農専業地帯では利用率が100%を超えているが、道央部の水稲地帯では20%前後に過ぎない。さらに耕種農家を対象に実施した堆肥や緑肥等の利用状況調査によれば、作物別では水稲が2割、畑作物が3割、野菜が5割となっているなど、いずれの調査でも、地域間や作物間で大きな差があった。またこの調査から、耕種農家が安心して使える良質な堆肥の生産が出来ない畜産農家の実態も指摘されている。

しかし、耕種経営にも課題がある。クリーン農業（環境調和型農業）への関心が高まるなか、基礎的な「土づくり」に欠かせない堆肥の潜在的な需要は強いが、耕種農家が自ら作る堆肥は、例え堆肥盤があっても、堆肥製造に使用する保有機械が十分でなく、また、労働力の高齢化や作業の専門化が進み、有機物の腐熟を促進させるための切り替えしなどの管理が不十分等によって耕種農家における堆肥の生産が年々困難になってきている。さらに生産物価格の低迷による収益性の低下や堆肥に関する情報が偏在化しているなど、耕地への堆肥投入は関係者の期待通りには進展していない。

道内では、堆肥づくりや堆肥の原料となる有機物の確保が困難になるなど個々の農家の自助努力だけでは対応が難しい状況になってきている。

こうした状況に対応するため、地域が一体となった「土づくり」を推進し、不足する有機物を継続的に確保するため、耕種・畜産農家との連携による有機物の利活用や耕種農家が希望する良質な完熟堆肥を供給できる「堆肥センター（堆肥製造施設）」設置の動きが道内各地で進められている。

(4) 課題

大規模化した畜産農家では、大量に排出される家畜ふん尿を自家経営内では処理しにくく、とりわけ、敷料の確保に困っている。一方、大規模機械化した耕種農家は、堆肥原料の窒素源を欠き、かつ、麦作やてん菜の収益性が低いため、理想的な輪作が組みにくく、このため、炭素原料の稲わらや麦稈まで不足しがちとなっている。

堆肥生産に必要な原料の確保、すなわち、圃場からの収集、堆積やふん尿の輸送、堆肥盤（舎）において発酵を促すための水分調整や切り返し用の農業機械のコスト、労働時間を考慮すると、畜産農家や耕種農家それぞれの農業経営にとっては、堆肥生産と圃場散布はコスト面から重い課題であるといえる。

3) 鹿児島県における家畜排せつ物の利活用状況

(1) 家畜排せつ物利用の現状

鹿児島県の2001年の家畜排せつ物の利活用量は、有機物量ベースで約4,619,999t、炭素量換算ベースで約275,616t（県畜産有機物有効利用推進調査事業より）で、年間を通して発生する。そのほとんどが肥料として利用（堆肥や生利用）されているが、耕種農家の作付体系から春作・秋作向けの需要が増加する傾向がある。

また、家畜排せつ物法の管理基準の適用に合わせて、その保管・管理および処理に必要な堆肥舎や汚水処理施設等の整備が進んでいる。

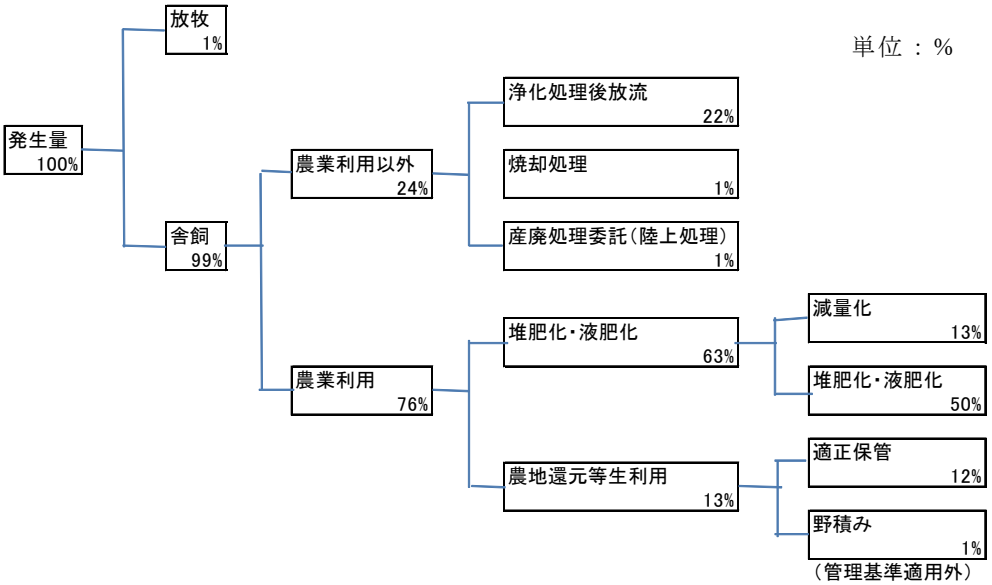


図2.1.9-1　家畜排せつ物の利用状況

出典：平成21年(2009年)度環境と調和した農業の取組実績　鹿児島県畜産課

(2)　家畜排せつ物利用の県の方針

2010年のバイオマスの利活用量は、単位当たりの排せつ量の削減研究を続けており、これが実用化されると、農家数の減少を考慮しても約10%減少する予定である。

用途の中心は、堆肥化・液肥化であり、さらに炭化や燃料としての用途が増え、利用率100%を目指して取り組んでいる。

利活用の中心が堆肥化であるため、堆肥利用を促進する必要がある。そのために「県環境保全型畜産推進協議会」の推進体制に基づき、「鹿児島県良質堆肥生産利用推進協議会」と連絡を取りながら。

①堆肥コンクール、堆肥生産利用研修等による良質堆肥生産技術の向上

②腐熟度判定手法の確立と堆肥の品質向上

③ペレット化等堆肥の利用しやすい形態への改良

④良質堆肥と化学肥料を組み合わせた形態への改良

⑤堆肥散布機の導入促進や受託組織育成による散布体制の条件整備

等を進めてゆくとしており、堆肥以外については、

①処理・利用技術の開発および実用化

②処理経費に見合ったエネルギー供給可能な技術の開発支援

等を進めてゆくとしている。

なお、家畜排せつ物の適正処理については、「家畜排せつ物法」に基づき、「家畜排せつ物の利用を図るための県計画」によって「野積み」、「素掘り」の解消がなされてきているが、今後も引き続き、畜産農家への不適切な保管等に対し、指導・助言を行うこととしている。

表2.1.9-4　家畜排せつ物の用途別利活用率　現状と目標

単位：t/年

用途	有機物量（湿潤重量）		炭素量換算値		炭素量換算利活用比率(%)
	現状 2001年	目標 2010年	現状 2001年	目標 2010年	
堆肥化・液肥化	2,314,817	3,987,527	138,127	237,936	96.4
メタン発酵	80,460	80,460	4,801	4,801	1.9
燃料	0	42,000	0	2,506	1.0
焼却処分（廃熱利用）	0	0	0	0	0.0
焼却処分（廃熱未利用）	13,000	0	776	0	0.0
生利用	2,209,000	0	131,811	0	0.0
炭化	1,693	25,013	101	1,493	0.6
合計	4,618,970	4,135,000	275,616	246,736	100.0
うち利活用量	2,410,000	4,135,000	143,805	246,735	
利活用率(%)	52.2	100	52.2	100	

出典：鹿児島県バイオマス利活用指針　平成17年(2005年)3月鹿児島県策定

(3)　課題

堆肥の利用促進を進めるための課題は下記のとおりである。

①耕種農家が求める良質堆肥を製造する。

②堆肥を利用する技術向上が必要である。

③高齢化が進み、耕種農家段階での散布労力が不足している。

堆肥化以外については、炭化が一部導入されているが、その他の用途については導入が進んでいない。

2.1.10　まとめ

畜産農家は全国に広く分布しているが、北海道、東北、関東、九州地方には多数集中している。各畜種毎にふん尿発生量を計算すると、肉牛ふん尿量が最も多く、次いで養豚ふん尿、乳牛ふん尿の順である。飼養頭羽数では養鶏が最も多いが、個体が小さいため１羽当たりのふん発生量は少なく、全養鶏ふん発生量は養豚ふん尿の半分ほどである。畜種や飼養形態によって回収するふん尿の水分率の違いが大きく、ふん尿の回収方法も多種多様である。

家畜排せつ物法の施行によって、管理対象農家の99.96%は、ふん尿処理施設の建設または簡易対応処理が行われている。都道府県別の家畜排せつ物の利用状況を見ると、ふん尿処理の80～90%は堆肥化処理され、農業利用（農地還元）されている。各都道府県や市町村等は個々にふん尿の処理の実態を発表しているので、個別に参照されたい。

堆肥は価格にばらつきがあるものの、全体的に低く、流通コストを掛けられず、かつ産業廃棄物の県外受入れについては各都道府県によっては原則受入禁止や事前協議制などの制限を設けている場合があり、越境して流通する量には限りがある。農水省や都道府県では耕種農家と畜産農家を連携させ、ふん尿由来の堆肥とわらやもみ殻等の敷料を交換させる仕組み作りを進めているが、市町村内または隣接市町村等の狭い地域で流通しているだけである。従い、全国的な流通は無いものと思われる。

2.2　下水汚泥

2.2.1　下水汚泥について

水道の整備進展に伴って下水汚泥の発生量が増加してきており、リサイクルの推進が求められている。これまで、下水汚泥は緑農地利用や建設資材利用が行われており、マテリアル利用のリサイクル率は78%となっている。この値は相当高いといえるが、下水汚泥の発生量が莫大なために、より一層、リサイクル率を上げる必要がある。また、2009年3月に社会資本整備重点計画が改定され、新たに下水汚泥リサイクル率に代わり、下水道バイオマスリサイクル率が指標に設定された。ここでいう下水道バイオマスリサイクル率とは、下水汚泥の有機物のうち、ガス発電等エネルギー利用や緑農地利用等、有効利用された割合を指す。下水汚泥はドライベースの8割が有機物であるため、バイオマスとしての特性を活かした緑地利用やエネルギー利用を推進するためにできた指標でもある。

2.2.2　下水汚泥の発生量（利用可能量）

下水道の整備進展に伴って、下水汚泥の発生量は増加してきており、2007年度の発生量は78,400千tで、産業廃棄物排出量419,130千tの19%に達している。また、バイオマス発生量290,000千tのうち、約30%を占めている。発生した下水汚泥の内、固形分は約3%で、そのうち約8割が有機物、約2割が無機物である。固形物（DS）ベースの発生量は2,210千t（221万t）である。

2.2.3　下水汚泥のリサイクル率、下水道バイオマスリサイクル率

下水道は、都市活動から発生する下水や熱を収集しており、大きな資源･エネルギーポテンシャルを保有しているが、利用状況は低い水準にとどまっている。**図2.2.3-1**に下水道における資源・エネルギー利用の現状（2005年度）を示す。

また、**図2.2.3-2**に下水汚泥のマテリアル利用の推移を示す。下水汚泥のマテリアル利用は着実に進展し、リサイクル率は78%に至っている。減少傾向にあるとはいえ、リサイクルされずに大量の下水汚泥(約22%)が埋め立て処理されている。

下水汚泥の利用形態としては、マテリアル利用、エネルギー利用に分けられる。現在は、マテリアル利用の割合が高く、セメント原料(約40%)とセメント化以外(約23%)の建設資材利用が大半を占め、これに加えてコンポスト等としての緑農地利用(約14%)といった現状になっている。近年、埋め立て処分の割合が減少し、建設資材利用の割合が増加する傾向にある。特にセメント化の伸びが著しい。

一方で、下水汚泥の消化過程で発生するメタンガスを主とするバイオガスまたは下水汚泥を加工して燃料とするなどによるバイオマスエネルギーとしての利用の割合は約1 割という低い水準であり、汚泥中の有機物のエネルギーとしての利用は一部に限られている。

ポテンシャルの区分	賦存量		利用状況
下水汚泥	下水汚泥発生量: 223万トン/年 （乾燥ベース）	発電可能量:36億kWh/年 →約67万世帯の 年間電力消費量に相当	エネルギー利用 された割合は約1割
下水熱	下水処理量: 140億m^3/年	7,800Gcal/h →約1,500万世帯の 年間冷暖房熱源に相当	下水熱を利用した 地域熱供給は3箇所
リン	流入するリン: 6万トン/年	我が国の農業・食糧に関わる リン輸入量の約1割に相当	利用されたリンの 割合は約1割

太陽光発電、 風力発電、 小水力発電	処理場数: 2,023箇所	発電可能量:23億kWh/年 →約43万世帯の 年間電力消費量に相当	エネルギー利用された 割合は約0.2%

(2005年度)

出典:下水道統計等に基づき国土交通省下水道部が作成

図2.2.3-1下水道における資源・エネルギー利用の現状

出典：国土交通省ホームページ

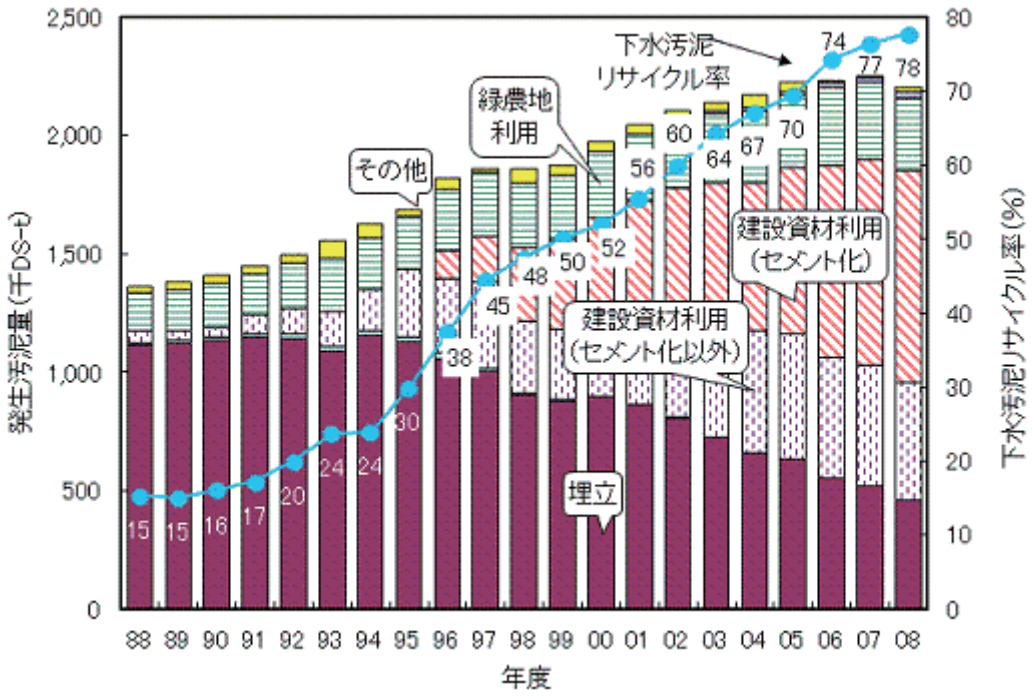


図2.2.3-2 下水汚泥のマテリアル利用の推移

出典：国土交通省ホームページ

図2.2.3-3に汚泥中のバイオマスの利用を示す。下水道バイオマスリサイクル率を指標とした場合、バイオマスとしての利用率は23.4%に留まっている（バイオマスとして未利用が76.6%）ため、一層の利活用の推進が必要である。

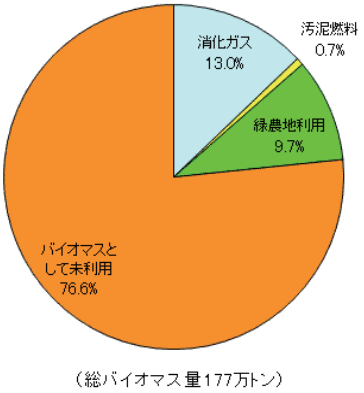


図2.2.3-3 汚泥中のバイオマスの利用（2008年度）

出典：国土交通省ホームページ

図2.2.3-4に循環型社会の形成に向けた今後の下水道のあり方を示す。

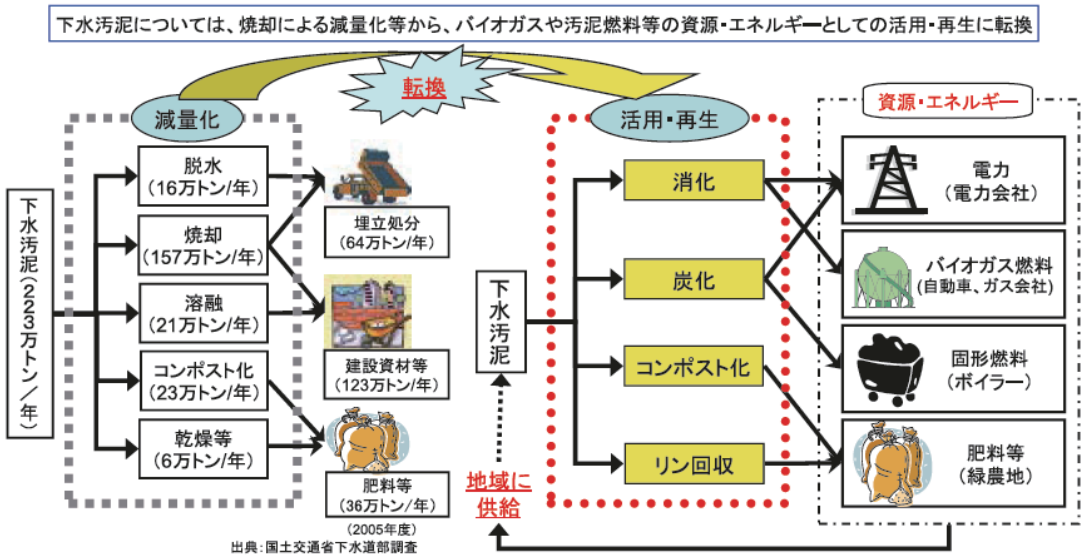


図2.2.3-4　循環型社会の形成に向けた今後の下水道のあり方

出典：国土交通省ホームページ

2.2.4　エネルギー利用

下水道の有するエネルギー活用については、下水道事業自体における活用と外部供給の両面から推進する必要がある。下水道事業における活用という面では、下水道が大きなエネルギーを消費しており、これに併せてCO_2の310倍もの温室効果ガスがあるN_2Oを大量に排出することから、地方公共団体の事業の中では温室効果ガスの排出が多い。京都議定書目標達成計画で、下水道事業で2010 年度に約216万tの温室効果ガスを削減するとされている。ポスト京都に向けて一層の削減を進める上でも下水道のエネルギーを活用していくことが重要である。一方で、バイオマスである下水汚泥や下水熱といったカーボンニュートラルなエネルギー資源を外部に供給することについては、その供給先の温室効果ガスの削減につながるという意義がある。下水汚泥のエネルギー利用形態には、下水汚泥の嫌

気性消化過程において発生するメタンを主成分とする下水道バイオガスの利用、汚泥自体の燃料化、下水汚泥焼却廃熱の利用がある。下水道の終末処理場約2,000 箇所のうち、メタン発酵を行っているものは約300箇所である。バイオガスを活用した発電を行っているものは、そのうち27箇所である。

1) バイオガス

下水道のバイオガス発生量の内訳をみると約７割が利活用されており、残り約3割は焼却処分されている。下水道バイオガスの発生量の約2割はガス発電に利用されているが、約3割は消化槽の加温用としての利用にとどまっている。

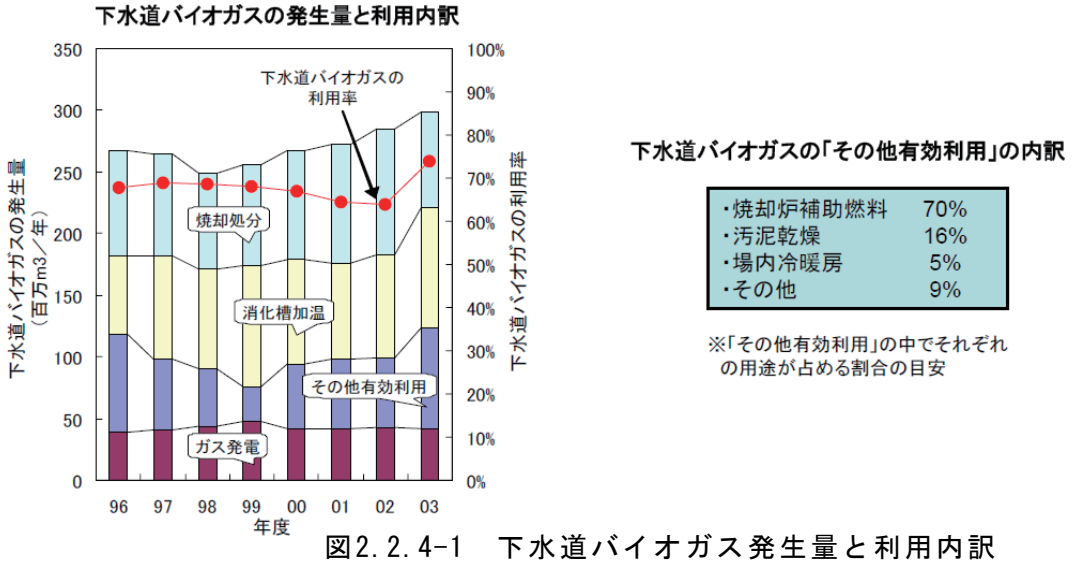
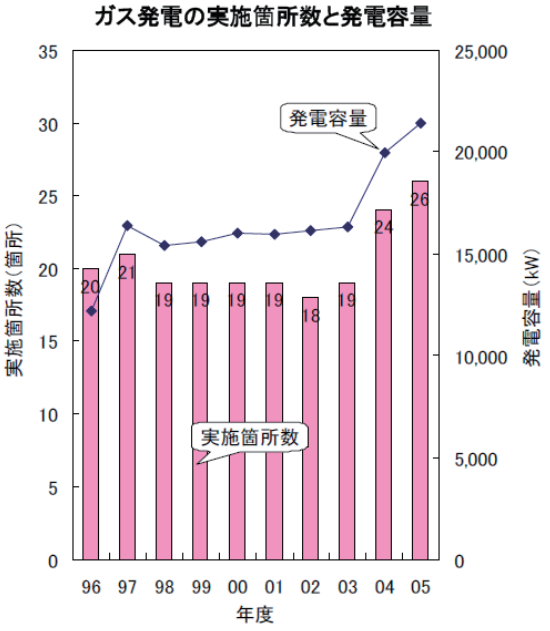


図2.2.4-1　下水道バイオガス発生量と利用内訳

出典：下水道統計



処理場別のガス発電の詳細

黄色は2004年度以降に導入した処理場

	処理場名			消化ガスの発電実績(2004年度)					
				導入時期	発電方式	発電容量(kW)	発生ガス量(万m3)	発電用ガス量(万m3)	発電量(万kWh)	場内の電力消費に占める割合
1	北海道	函館市	南部下水終末処理場	1989年1月	ガスエンジン	500	217	104	189	21%
2	北海道	江別市	江別浄化センター	2000年4月	ガスエンジン	250	166	101	179	28%
3	北海道	旭川市	旭川下水処理センター	2002年4月	ガスエンジン	700	254	54	191	13%
4	北海道	苫小牧市	西町下水処理センター	2005年3月	ガスエンジン	240	268	0	－	
5	青森県	八戸市	東部終末処理場	2005年10月	ガスエンジン	510		－		
6	岩手県	北上川上流	都南浄化センター	1990年1月	ガスエンジン	135	410	62	106	9%
7	山形県	山形市	山形市浄化センター	1988年11月	ガスエンジン	178	147	70	112	18%
				2002年5月	燃料電池	200		78	264	41%
8	茨城県	日立市	池の川処理場	1991年3月	ガスエンジン	500	74	39	94	18%
9	茨城県	日立・高萩広域下水道組合	伊師浄化センター	2005年3月	ガスエンジン	280	－	－	－	
10	群馬県	伊勢崎市	伊勢崎浄化センター	2004年12月	ガスタービン	30	42	3	5	16%
11	東京都	東京都区部	小台処理場	1988年10月	ガスエンジン	2,040	528	528	813	19%
12	東京都	東京都区部	森ヶ崎水処理センター	2004年4月	ガスエンジン	3,200	1,202	1,185	1,798	16%
13	神奈川県	横浜市	北部汚泥資源化センター	1987年8月	ガスエンジン	4,780	1,649	1,100	2,226	69%
				1999年12月	燃料電池	200		63	150	5%
14	神奈川県	横浜市	南部汚泥資源化センター	1989年9月	ガスエンジン	2,400	1,351	692	1,371	43%
15	石川県	加賀沿岸	大聖寺川浄化センター	2004年5月	ガスタービン	60	17	13	17	13%
16	京都府	木津川	奈南浄化センター	2005年4月	ガスエンジン	990		－		
17	大阪府	大阪市	中浜下水処理場	1996年4月	ガスエンジン	1,200	318	264	496	28%
18	大阪府	猪名川	原田処理場	1997年4月	ガスエンジン	400	712	155	293	6%
19	大阪府	大阪市	海老江下水処理場	2003年4月	燃料電池	200	357	35	76	3%
20	広島県	広島市	西部浄化センター	1988年3月	ガスエンジン	200	599	79	141	4%
				2000年4月	ガスエンジン	450		187	306	9%
21	福岡県	北九州市	日明浄化センター	1984年5月	ガスエンジン	200	511	11	11	1%
22	福岡県	福岡市	中部水処理センター	1984年4月	ガスエンジン	240	178	70	150	5%
23	宮崎県	宮崎市	宮崎処理場	1994年3月	ガスエンジン	250	183	125	200	22%
24	宮崎県	延岡市	妙田下水処理場	1995年3月	ガスエンジン	250	65	41	75	20%
25	沖縄県	中部	那覇浄化センター	1984年3月	ガスエンジン	810	465	392	621	34%
26	沖縄県	名護市	名護下水処理場	1994年4月	ガスエンジン	50	－	29	36	12%

図2.2.4-2　下水道バイオガス発電の詳細

出典：下水道統計

バイオガスの下水道施設からの供給による外部利用例を図2.2.4-3に示す。

図2.2.4-3 バイオガスの下水道施設からの供給による外部利用例

出典：下水資源の利用の動向、国土交通省都市・地域整備局、田辺義貴

下水道のバイオガスを用いた発電は、下水道施設の総電力消費量の約3%を賄っている。下水汚泥から発生するバイオガスで発電した電力の外部供給については、東京都の森が崎水再生センターでPFI 事業としてバイオガスを用いて発電を行い、電力及び温水を供給しており、グリーン電力証書システムを活用して、全国の自治体で初めて環境付加価値を売却する契約を企業と締結するといった取組が行われている。

バイオガスの下水道施設からの供給による外部利用については、神戸市においてバイオガスを精製して、天然ガスに替わるバスの燃料として年間約70万m³（１日50km走行する市バス40台分）供給し、CO_2 の削減効果は1,200tと計算されている。

また、石川県金沢市、新潟県長岡市の終末処理場では、近隣の都市ガスの工場に都市

ガスの原料としてバイオガスを供給しており、長岡市の例では、約1,000世帯分にあたる年間59 万m^3供給し、CO_2の削減効果は1,200 tと計算されている。

2009年9月に施行されたエネルギー供給構造高度化法でエネルギー事業者に非化石エネルギー源の利用が義務づけられ、ガス事業者にはバイオガスの利用が義務づけられた。バイオガスの供給源としては、下水処理場が主要な存在である。

こうした中で、神戸市の下水処理場でバイオガスを精製して都市ガスの規格に調整し導管に直接供給する実証試験が関係企業と連携して取り組まれており、年間約2,000 戸分の消費量に当たる80万m^3のガス供給で約1,200 tのCO_2の削減につながるとされている。

2) 汚泥燃料

下水汚泥の燃料化は、現在、炭化、油温減圧乾燥及び造粒乾燥によるものが考えられる。下水汚泥を原料とする燃料の外部への供給は、3事例にとどまるが、温室効果ガス削減への取組の強化という要請の下で、これ以外にも複数の具体的な整備計画が動き始めている。

東京都の東部スラッジプラントにおいては、年間99,000 tの下水汚泥から8,700tの炭化物を製造し、いわき市にある常磐共同火力発電所に石炭に替わる燃料として供給されている（**図2.2.4-4**）。この取組における温室効果ガスの削減効果は年間約3,700万tと計算されている。

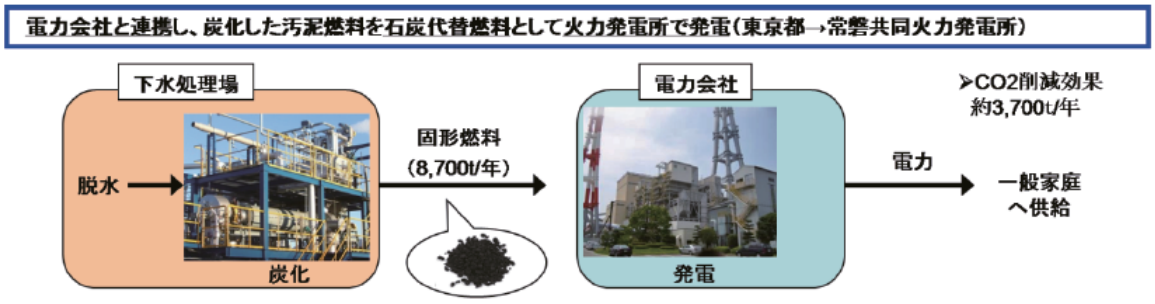


図2.2.4-4 炭化物製造から発電所に利用

出典：下水資源の利用の動向、国土交通省都市・地域整備局、田辺義貴

宮城県では、下水汚泥から造粒乾燥物を製造し、汚水処理場に近接する製紙工場に石炭の代替燃料として供給する取組を事業化しており、この事例においては年間16,500 tの下水汚泥から、4,500 tの燃料化物質を製造する計画とされる。

石川県珠洲市では、下水処理場に浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥、事業系生ごみを受け入れてメタン発酵させ、バイオガスを発生させて、エネルギーとして利用するとともに、そのバイオガスを利用して汚泥を乾燥し肥料として地域に還元しており、温室効果ガスの削減のほか廃棄物処理費の大幅な削減が可能になるなどの効果も見込まれている。

国土交通省としても、下水、下水処理水の熱やバイオマスを有効利用するための施設整備の支援、PFI 事業者等の民間事業者が整備する施設についての補助を行うこととしている。下水汚泥等のエネルギー利用には、需要と供給を結びつけることが必要であること、流通に廃棄物処理法が適用され、運賃コストを下水道管理者が負担して流通さ

せることが制約されるなどの課題に関する環境整備が必要である。生ごみ等地域のバイオマスを幅広く集約して、活用することがより大きな成果に結びつくものであり、幅広い関係者との連携を進めていくことも重要である。

2.2.5リンの回収・利用

肥料の主要原料であるリン鉱石は、全量を輸入に依存している。近年、需要の増加と主要原産国の輸出規制があって国際取引価格が乱高下しており、安定的なリン資源の確保について懸念されている。次に**図2.2.5-1**にリン輸入量の利用状況を示す。下水道には我が国のリンの輸入量の14%が流入しており、下水及び下水汚泥中からリンを回収し、肥料や肥料原料として活用することが注目されている。しかし、下水道に関わるリンのうち回収・活用されている割合は、約1割に過ぎない。国土交通省としても、下水汚泥中からのリンを回収し資源化する事業を進めるための方策についての検討を進めている。

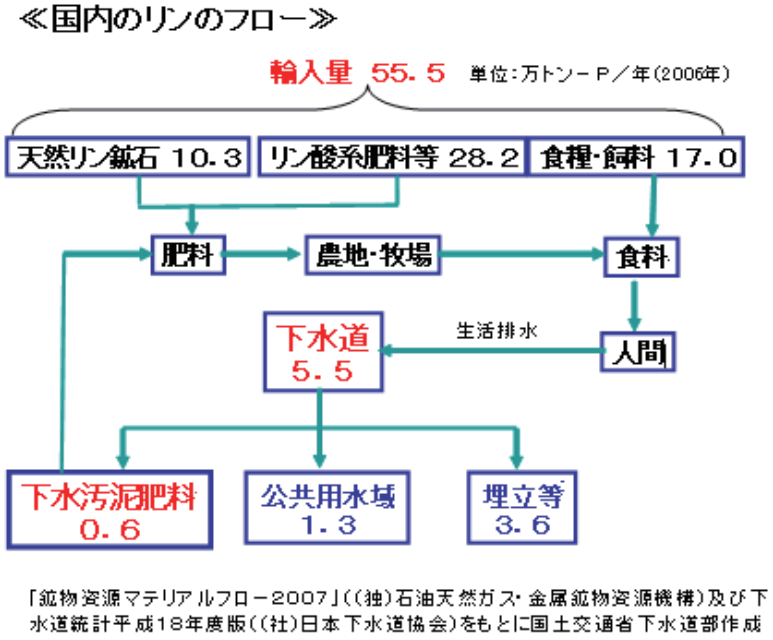


図2.2.5-1 リン輸入量の利用状況

出典：国土交通省ホームページ

下水汚泥中には、将来の枯渇が心配されているリンが高濃度に含まれている。汚泥を嫌気性消化すると高濃度のリンが液側に放出されるため、これを不溶化し回収する方法としてMAP法や晶析脱リン法が検討されている。汚泥焼却灰中に含まれるリンについては、アルカリ溶出の後に、溶媒によりリンとアルミニウムを分離し、リンは最終的にヒドロオキシアパタイトとして、また、アルミニウムは硫酸アルミニウムとして回収する方法が提案されている。この他、焼却灰にマグネシウムやカルシウムを添加して溶融し、リン肥料として利用する方法や、焼却灰を還元溶融し、揮発した黄リンを回収する方法、生物学的リン除去法の汚泥から、熱抽出とカルシウム凝集によりリンを回収する方法が検討されている。これらの技術の適応例はまだ少なく、再利用にはそのほとんどがコンポストとしての利用に留まっている。

岐阜県岐阜市では、下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクトでメタウォーター（株）と共同で開発された汚泥焼却灰からリンを回収する技術（**図2.2.5-2**）を活かして、肥料を供給するための施設の建設が、現在行われている。

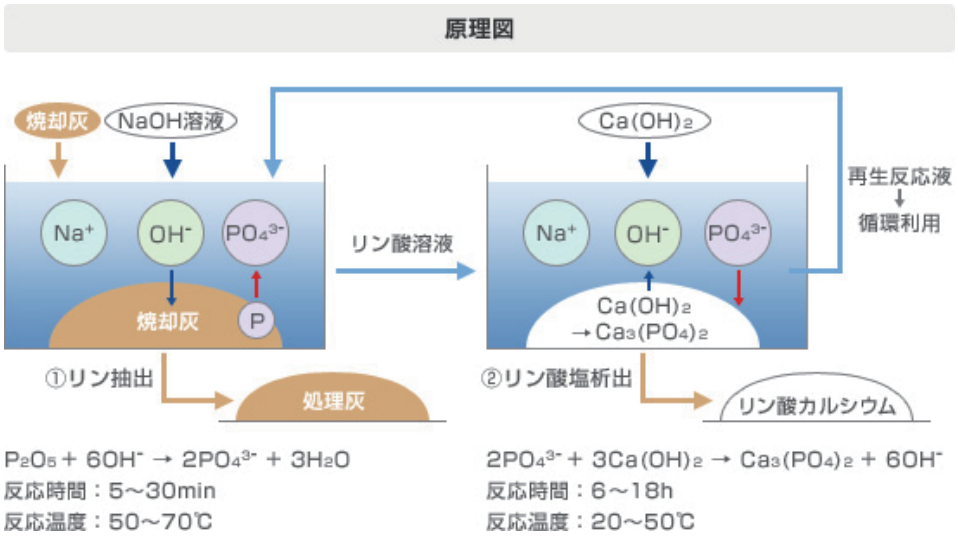


図2.2.5-2　リン回収システムの原理図

出典：メタウォーター(株)ホームページ

2.2.6　各地における取り組み

1)　全国

下水汚泥は、質量ともに安定していて、収集するまでもなく集約されている。下水道は、エネルギーの需要地である都市部に存在するので、ほぼ人口分布、産業構成比によってその利用形態が変化する。ここでは、都市部の代表として東京都、農村部の代表として東北地方をピックアップして、そのリサイクルの現状を確認する。

2)　東京都

図2.2.6-1に東京都を含む関東地方の汚泥賦存量の分布を示す。

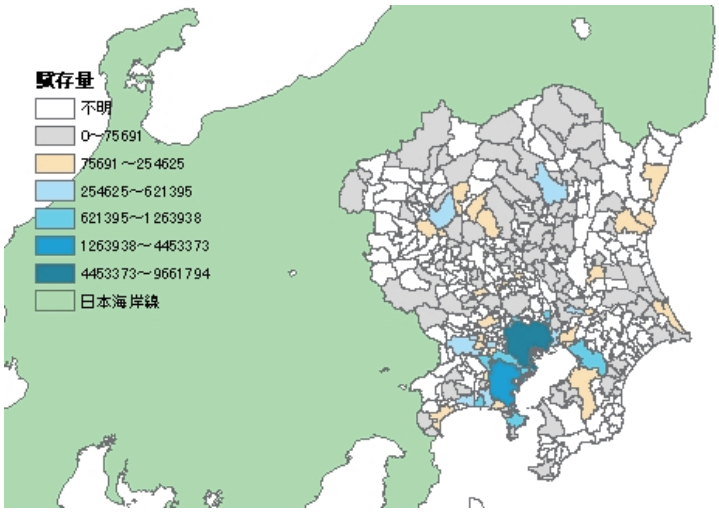


図2.2.6-1　関東地方（東京都を含む）の汚泥賦存量の分布

出典：NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」

東京都では、下水道事業から排出されるCO_2排出量が、都の事業活動の約4割を占めている。下水道局では、2020年度までに温室効果ガス排出量の25％削減（2000年度比）に取り組む「アースプラン2010」を策定し、温暖化防止対策に取り組んでいる。

東京都区部では約480万m^3/日の下水を処理し、そこから発生する下水汚泥の量は、脱水汚泥にして約2,700t/日、これを焼却した焼却灰は約120t/日である。この膨大な量の汚泥のリサイクルを進めるため、東京都では以前から脱水汚泥を全量焼却した上で焼却灰をセメント原料や建設用資材へ活用するなどの資源化を行ってきており，資源化率は約7割となっている。

しかしながら，公共事業の落ち込みや類似製品との競合などの問題から，大幅な資源化の促進が望めない状況にある上、汚泥焼却の過程で排出される温室効果ガスの量は，下水道事業全体の約4割を占めており、大幅な削減が求められている。

(1)　汚泥の処理実績

少し古い資料になるが、東京都の処理場別の下水および汚泥処理の実績を**図2.2.6-2**に示す。これからわかるように、汚泥のほとんどが焼却処理されている。

処理量	下水処理量(m^3)		汚泥処理量(m^3)		脱水汚泥発生量(t)		汚泥焼却量(t)	
処理場名	年　間	一日平均	年　間	一日平均	年　間	一日平均	年　間	一日平均
芝浦処理場	255,319,400	699,505	南ブラへ圧送(森ヶ崎(セ)を経由、汚泥の一部は森ヶ崎(セ)にて処理)					
三河島処理場	162,949,250	446,436	砂町(セ)へ圧送					
中川処理場	69,422,460	190,199	葛西(処)へ圧送(小菅(処)を経由)					
小台処理場	89,452,880	245,076	6,081,000	16,660	104,619	286.6	104,619	286.6
有明処理場	3,769,080	10,326	砂町(セ)へ圧送					
小菅処理場	74,404,670	203,848	葛西(処)へ圧送					
葛西処理場	124,361,060	340,715	12,278,220	33,639	176,009	482.2	176,009	482.2
落合処理場	136,429,560	373,780	小台(処)へ圧送					
中野処理場	10,755,740	29,468	小台(処)へ圧送(落合(処)を経由)					
新河岸処理場	213,426,550	584,730	6,008,840	16,463	142,854	391.4	142,854	391.4
砂町水処理センター	153,899,470	421,642	17,314,080	47,436	33,403	91.5	33,403	91.5
東部スラッジプラント	－	－			175,417	480.6	175,407	480.6
森ヶ崎水処理センター	444,441,950	1,217,649	9,697,770	26,569	238,887	654.5	南ブラで焼却	
南部スラッジプラント	－	－	9,302,420	25,486	226,837	621.5	401,170	1,099.1
計	1,738,632,070	4,763,376	60,682,330	166,253	1,098,026	3,008.3	1,033,462	2,831.4

図2.2.6-2 処理場別下水および汚泥処理の実績（2000年度末）

出典：東京都下水道局ホームページ

(2)　汚泥炭化施設

東部スラッジプラントの汚泥焼却炉の新設に伴い，新たな汚泥資源化のメニューを導入するとともに、環境対策も考慮した汚泥炭化事業を実施することとし、一般公募型プロポーザル方式で事業者を募集した。その結果、バイオ燃料（株）と東京電力（株）のグループと基本協定を締結して、国内初の施設が2007年に設置され、年間約8万tの脱水汚泥を再資源化している。

この汚泥炭化事業では、東京都が事業者に対し、施設の設計・建設から、向こう20年間の運営・維持管理、炭化燃料の販売までを一括して委託している。事業者は、

東京都から年間99,000tの脱水汚泥の供給を受け、約8,700tの炭化燃料を製造し、電力会社に販売する計画であったが、国内で初めての取り組みということもあり、計画目標値を達成できていない。製造されたバイオ燃料は、常磐共同火力発電所の勿来発電所（福島県いわき市）に運ばれ、石炭や重油と混ぜて発電に使われている。

電力会社は、火力発電所で使用する石炭に炭化燃料を約1%（発熱量ベース）混合して発電するという仕組みになっている。これまで行われてきた汚泥の炭化では，製造した炭化物を肥料や水処理などに使用するのが一般的だったが、東部スラッジプラントの汚泥炭化施設で使われている新技術では、汚泥を中高温で蒸し焼きにして発熱量の低減を抑えるのが特徴で、発電燃料として使用できる品質を確保したことが特徴となっている。

写真2.2.6-1汚泥炭化施設の全景

出典：東京都下水道局ホームページ

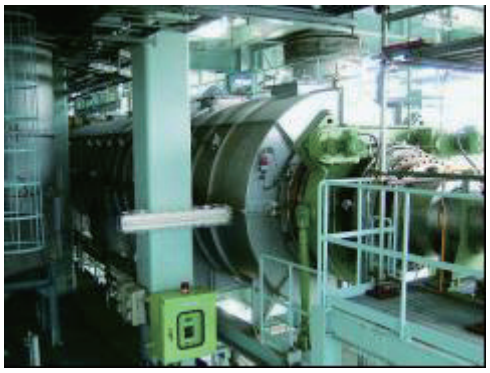


写真2.2.6-2汚泥投入口側から見た炭化炉

出典：東京都下水道局ホームページ

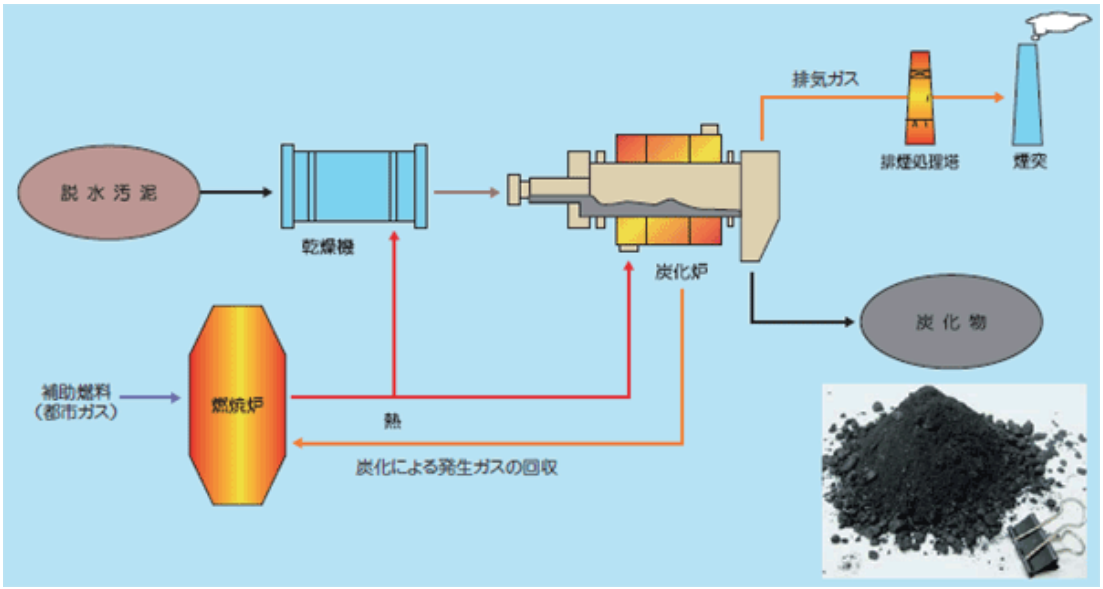


図2.2.6-3　発電所に燃料を供給する汚泥炭化事業

出典：東京都下水道局ホームページ

炭化施設では、炭化処理と同時に温室効果ガスであるN_2Oを高温加熱処理できるため、温室効果ガスの発生を抑制する。汚泥から製造されたバイオ燃料を発電に利用するため、化石燃料の使用も減らすことができる。

東部スラッジプラントは、砂町・三河島・有明・落合・中野・みやぎ水再生センタ

一の水処理過程から発生する汚泥を受け入れ、炭化して再資源化するか、焼却処分している。水分を含んだ状態の汚泥を脱水するための濃縮槽や脱水機、汚泥焼却炉、汚泥炭化炉が設置されている。汚泥焼却炉は流動層式3炉で1日最大処理能力は300t。廃熱は蒸気発電や地域冷暖房事業に有効利用している。炭化施設は、下水道汚泥を約1時間、500度程度の高温で低酸素状態の蒸し焼きにして、粒状に加工する。炭化炉はロータリーキルン式3系列で、1日最大処理能力300tの能力である。元請は東京電力子会社のバイオ燃料、1次建設は三菱重工業、2次建設工事は東京エネシスが担当した。

東京都下水道局はこのバイオマス燃料を製造する「汚泥炭化事業」をさらに拡大する。東部スラッジプラント（東京都江東区）に2基目の炭化施設を建設し2013年4月から稼働を開始する。事業予定者にバイオ燃料、東京電力グループを選定している。

東京都の下水汚泥の再資源化率が約9%向上すると試算されている。バイオ燃料グループが提案する新設炉は、設計・建設費用に約58億円、2013年度から20年間の運営費を含めると156億円がかかる見込みとなっている。

(3)　下水汚泥ガス化炉

東京都は、2010年7月、清瀬水再生センターに日本初となる下水汚泥ガス化炉が完成し、稼働を開始したと発表した。本施設は、従来は焼却処分にしていた下水汚泥を、ガス化して熱源と発電に有効利用するもので、従来の焼却炉と比べると温室効果ガス（N_2O）を87%削減できる。

下水汚泥ガス化炉は、1日100tの下水汚泥を蒸し焼きにして可燃性のガスを生成し、施設内の汚泥の乾燥とガス化に必要な熱源として使用するとともに、残りの可燃性ガスを発電に利用する施設だ。汚泥の燃焼処分時には、CO_2の310倍の温室効果をもつN_2Oが多量に発生するが、蒸し焼きにすることで、N_2Oの大幅削減を実現した。さらに、可燃性ガスを電力として活用することで、従来の焼却炉に比べて、トータルで年間12,500tのN_2Oを削減できると試算している。

本事業は、公共が資金を調達し、設計・建設、運営を民間に委託するDBO方式で行われ、メタウォーター(株)が事業を受注している。事業の期間は、2008年度～2029年度末までの予定である。

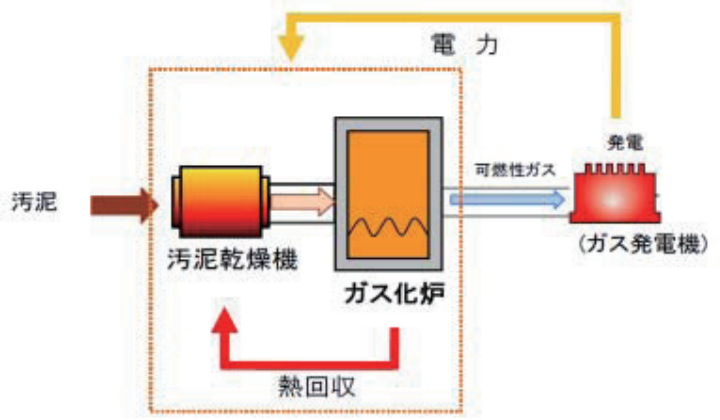


図2.2.6-4　下水汚泥ガス化炉

出典：メタウォーター(株)ホームページ

3)　東北地方

下水汚泥発生量は年々増加しているが、大部分は埋め立て処分され、下水汚泥リサイクル率は2005年度で、49%（東北全体を100%とした場合、緑農地利用41.2%、建設資材利用58.8%）と低い状況にある。東北各県でみると、青森県が最もリサイクル率が高く100%、次いで岩手県の96%の順であり、宮城県が最も低い10%となっている。

特に青森県、山形県で、緑農地への利用量が大きく、山形県の有効利用はそのほとんどが、緑農地への利用となっているのが特徴的である。

表2.2.6-1 汚泥の有効利用状況（2005年度）

（単位:DS-t/年）

県名	埋立処分 ①	緑農地 ②	建設資材 ③	その他 ④
青森県	0	9,389	8,413	7
岩手県	560	3,138	10,643	0
宮城県	46,333	88	4,938	0
秋田県	6,372	1,159	3,880	0
山形県	7,754	9,180	7	0
福島県	6,304	3,649	10,068	0
東　北	67,323	26,604	37,949	7
全　国	678,644	308,334	1,228,128	12,265

県名	汚泥総量 ⑤=①+②+③+④	有効利用量 ⑥=②+③+④	有効利用率 ⑦=⑥/⑤×100
青森県	17,808	17,808	100%
岩手県	14,341	13,781	96%
宮城県	51,358	5,026	10%
秋田県	11,411	5,039	44%
山形県	16,941	9,187	54%
福島県	20,022	13,718	69%
東　北	131,882	64,559	49%
全　国	2,227,371	1,548,727	70%

資料：東北地方整備局データ

出典：国土交通省　東北地方整備局「東北地方の汚泥有効利用状況」

また、宮城県の汚泥発生量は、東北地区全体の汚泥発生量の69%を占めている上に、リサイクル率（有効利用率）が10%と低いので、東北地区のリサイクル率を49%にまで、下げている。宮城県は、仙台など人口の多い都市を有していることから、汚泥発生量が多い理由だと予想されるが、リサイクル率が低い原因を確認する必要がある。

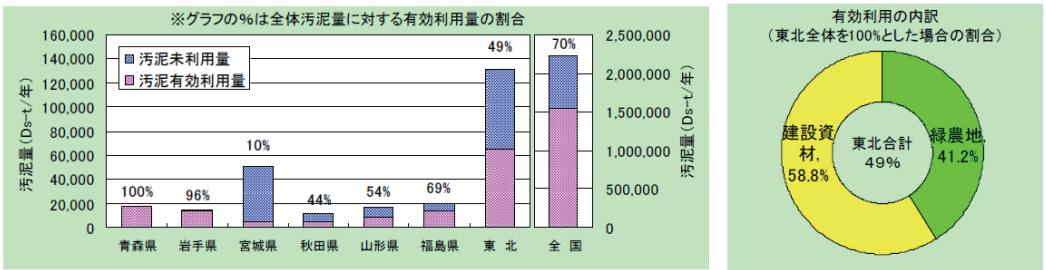


図2.2.6-5　汚泥の有効利用状況（2005年度）

出典：国土交通省　東北地方整備局「東北地方の汚泥有効利用状況」

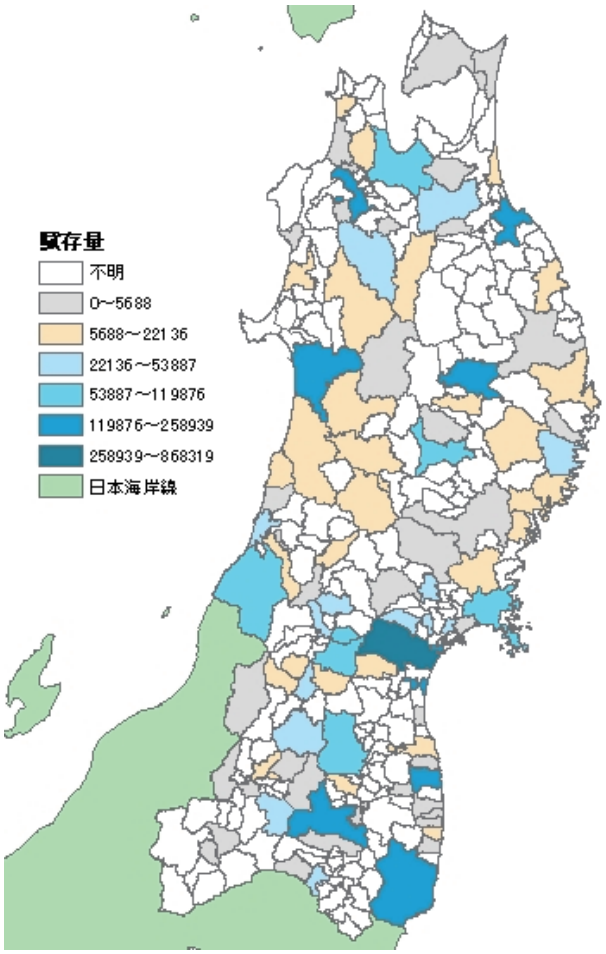


図2.2.6-6　東北地方の汚泥賦存量の分布

出典：NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」

2.2.7　まとめ

下水汚泥のリサイクルを進めることは、社会の要請である。このため、更なるリサイクル技術の発展が望まれる。

それと同時に、リサイクル技術を検討するにあたっては、下水汚泥の成分、性状、特性を十分に把握し、また、社会的条件も加味して、下水汚泥の特徴に適合した技術となるようにすることが必要である。

下水汚泥は、質量ともに安定していて、収集するまでもなく集約されている。下水道は、エネルギーの需要地である都市部に存在するなどその資源、エネルギー活用における大きな可能性を有している。その活用に当たって民間事業者との連携が有効に機能している例もある。循環型社会の構築、低炭素型社会の実現の観点からその活用を進めて、下水道が多面的な貢献をしていくための様々な可能性を模索していくことが求められている。

2.3 廃棄紙（古紙）

2.3.1 古紙について

各種バイオマスの都道府県別発生量、地域間輸送量を把握し、都市部/地方部/生産部での循環量（再資源化率）を推計した。

1) 古紙の定義

ここで言う古紙とは、製紙原料として回収されたものを指し、通常は紙ごみと区分される。日本工業規格（JIS）紙・製紙及びパルプ用語（JIS P0001 番号2058）によれば、「使用済み又は加工工程から回収した紙又は板紙。再パルプ化して紙又は板紙を製造する時に再利用する（対応英語：waste paper)」とあり、また法令（経産省　再生資源の利用の促進に関する法律　3生局第343号）によれば、「紙、紙製品、書籍等その全部又は一部が紙である物品であって、一度使用され、又は使用されずに収集されたもの、又は廃棄されたもののうち、有用なものであって、紙の原料として利用することができるもの（収集された後に輸入されたものも含む。）又はその可能性があるもの。ただし、紙製造事業者の工場又は事業場における製紙工程で生じるもの及び紙製造事業者の工場等において加工等を行う場合に生じるものであって、商品として出荷されずに当該紙製造事業者により紙の原材料として利用されているものは除く」とある。

2) 古紙の分類

古紙とは、発生源別には回収古紙と産業古紙に分類され、さらに品種分類別に細分される。**図2.3.1-1**に古紙の種類を示す。財団法人古紙再生促進センターによれば、古紙の主要5品目（新聞、段ボール、雑誌、雑がみ、オフィスペーパー）に対して標準品質規格が規定されており、古紙取引の際の規格となっている。さらに雑がみについては別途分別排出基準が定められており、本基準以外の事項や細部の取り扱いに関しては、古紙の排出者と取引業者の双方の協議により取引されている。**表2.3.1-1**に古紙の標準規格を示す。

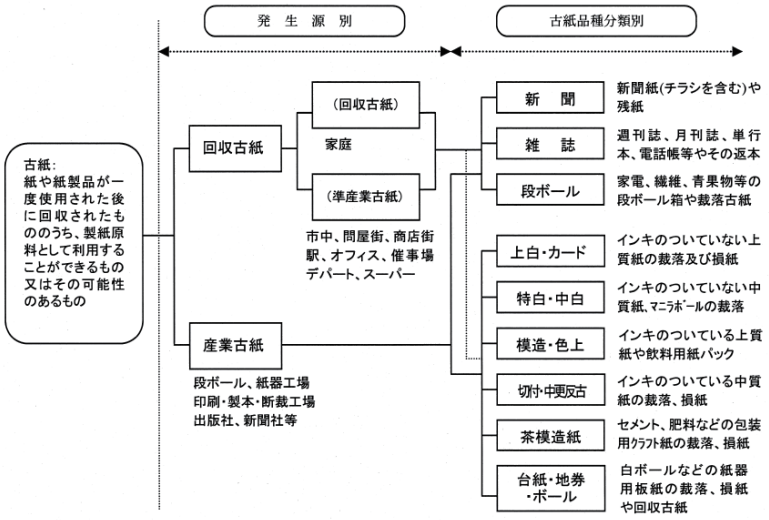


図2.3.1-1　古紙の分類

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』第1章

表2.3.1-1　古紙の標準規格

銘柄	禁忌品Ａ類※1	禁忌品Ｂ類※2	他の銘柄品の混入	水分許容水準
新聞	認めない	＜0.3%	＜1%	＜12%
段ボール	認めない	＜0.3%	＜3%	＜12%
雑誌	認めない	＜0.5%	＜5%	＜12%
雑がみ	認めない	＜0.5%	各々の排出基準※3	＜12%
オフィスペーパー	認めない	＜0.5%	各々の排出基準※3	＜12%

※１：禁忌品Ａ類　製紙原料とは無縁な異物、並びに混入に寄って重大な障害を生じるもの
1)　石、ガラス、金もの、土砂、木片等
2)　プラスチック類
3)　樹脂含浸紙、硫酸紙、布類
4)　ターボリン紙、ロウ紙、石こうボード等の建材
5)　捺染紙、感熱性発泡紙、合成紙、不織布
6)　医療関係機関等において感染性廃棄物と接触した紙
7)　その他工程あるいは製品にいちじるしい障害を与えるもの
※２：禁忌品Ｂ類　製紙原料に混入することは好ましくないもの
1)　カーボン紙
2)　ノーカーボン紙
3)　ビニール及びポリエチレン等の樹脂コーティング紙、ラミネート紙
4)　粘着テープ（但し、段ボールの場合、禁忌品としない）
5)　感熱紙、芳香紙、臭いのついた紙
6)　その他製紙原料として不適当なもの
※３：古紙の排出者と取引業者と協議

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』第1章より作成

3)　全国の古紙の発生、流通経路

古紙はその発生源により回収ルートが様々である。**図2.3.1-2**に全国の古紙の発生、流通経路を示す。一般家庭からの古紙は自治体などの集団回収や、新聞販売による回収、行政による直接回収が行われ、小規模商店、市場、オフィスビルなどの小規模発生場所は回収業者を仲介し、また紙器工場、印刷製本工場、新聞社などの大規模発生場所からの古紙は専門業者を介し、再生資源業者を通じて直納業者に集約される。直納業者では、分別や製紙原料とならない異物を除去後、大半を製紙メーカーに出荷し、製紙メーカーにてバージンパルプと混合、紙・板紙として再生される経路をたどる。現在では、古紙の回収方法は効率的に、大量に、低コストなプロセスが発展してきており、そのため、古紙回収は70%を超える高収率となっているのが現状である。

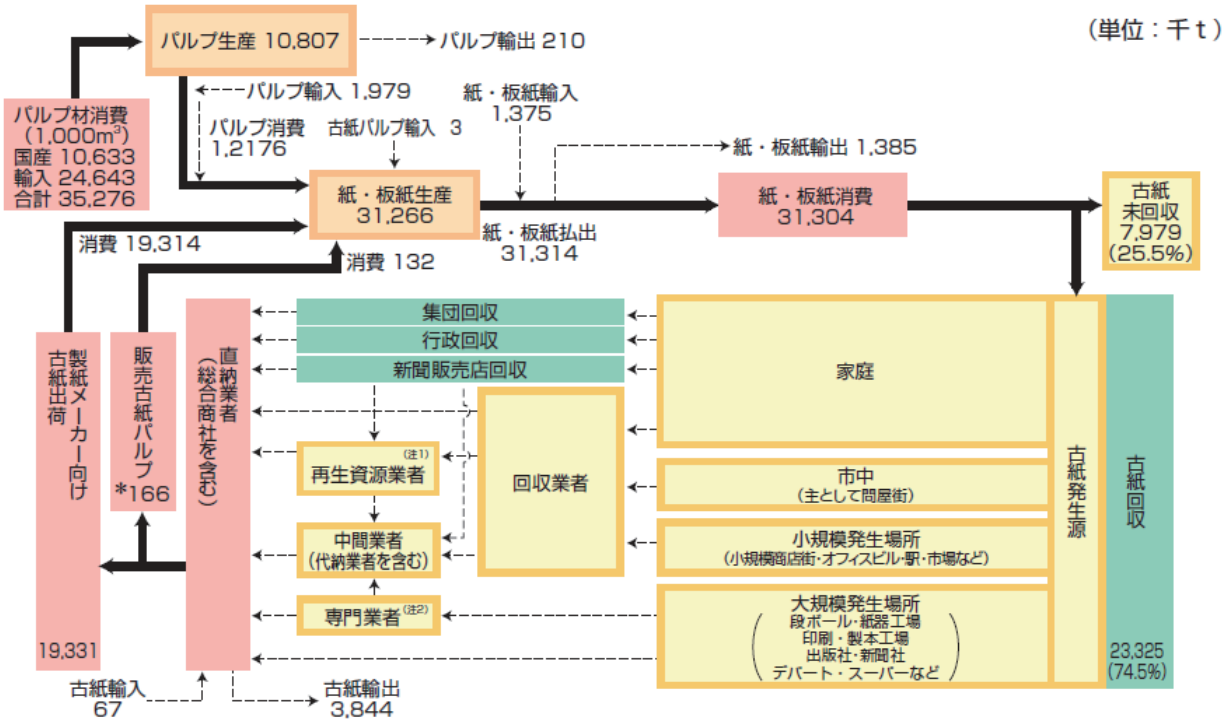


図2.3.1-2　全国の古紙の発生、流通経路

出典：財団法人クリーンセンタージャパン：『リサイクルデータブック2009』

4)　古紙の回収率、利用率の定義

古紙の利用、再資源化を定義づける上で、多くの場合では古紙利用率と古紙回収率の二つが用いられる。ここでは、一般に定義されている、以下の式に従ったものを用いることにした。

・古紙回収率（%）＝｛古紙国内回収量（メーカー入荷※＋輸出－輸入）｝/
｛紙・板紙国内消費量（メーカー払い出し－輸出＋輸入）｝×100

・古紙利用率（%）＝（古紙消費量＋古紙パルプ消費量）/｛繊維原料合計消費量（パルプ＋古紙＋古紙パルプ＋その他）｝×100

※メーカー古紙入荷には、古紙パルプ入荷量を古紙換算した数値を含む

2.3.2　古紙の推計方法

古紙についての全国的な流通・輸出入に関しての情報は、（財）古紙再生促進センター発行の『古紙ハンドブック2008年度版』第5章に記載されており、本資料の参照により全体の循環状況は本資料にておおむね把握することが可能であるものの、他のバイオマス資源のように、詳細な推計が実施可能なデータベースが存在しないため、市町村別などの詳細な地域間別にて推計することは困難である。『古紙ハンドブック』には、**図2.3.2-1**に示

すように古紙の発生量および国内購入量の地域別の大まかな内訳が記載されており、地域間別の発生についてもある程度把握できるものの、本資料の発生量については、同センターから発行されている**図2.3.1-2**の全国発生量との間で開きがあることに加え、都道府県別の発生量及び購入量データが無く、また地域間の輸送量についても具体的な移出先が無い。このため本検討では、紙リサイクルに関する同様の検討を行った、和歌山大吉田准教授による既報『環境システム研究論文集 Vol.33、2005年10月「紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送量及びエネルギー消費に及ぼす影響の分析」』の方法を参考に、以下の手順に従い、古紙の発生量および地域間移動量を推計することとした。また古紙の総発生量および地域別発生量については、より詳細なデータである**図2.3.2-1**のものを用いた。

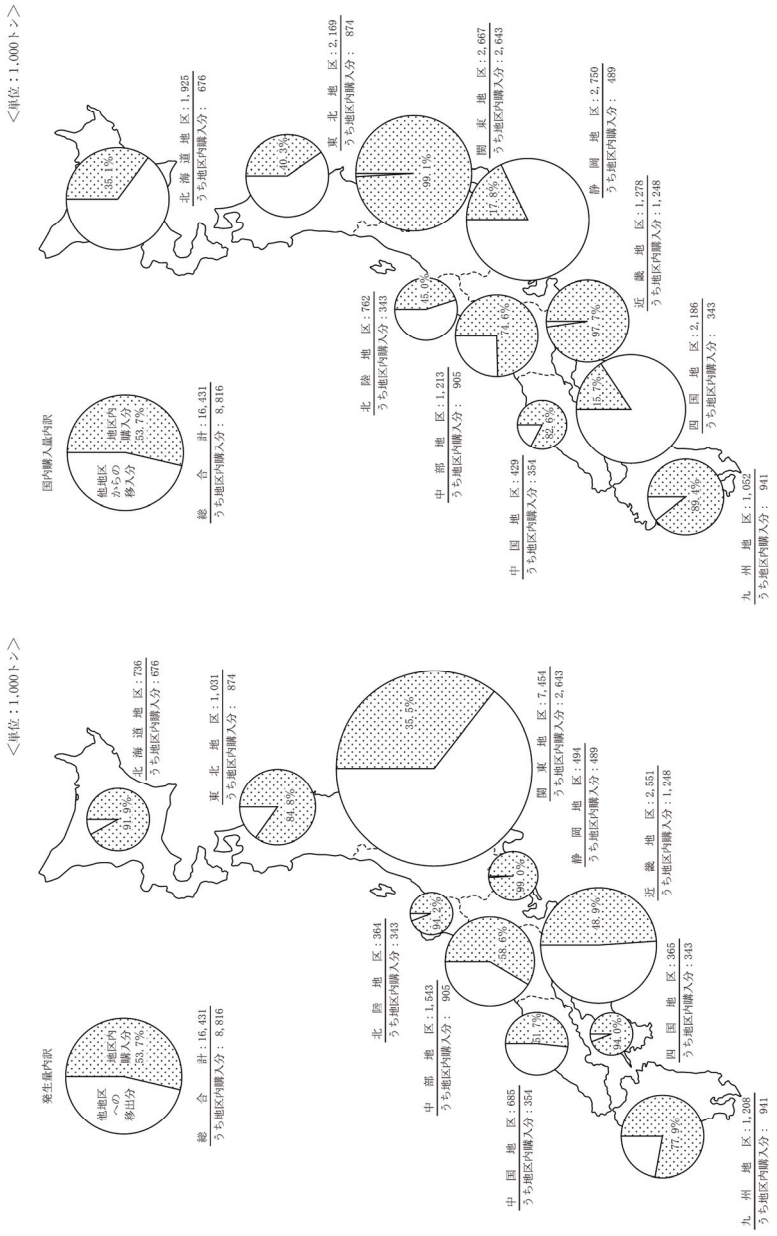


図2.3.2-1　古紙の発生量および国内購入量（2008年度）

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』第5章

1)　都道府県間の古紙発生・購入量

図2.3.2-1の地域間古紙発生・国内購入量を基本として、これを都道府県別間の発生・購入量に再配分した。発生量については、地域別発生量を地域内都道府県別の一般廃棄物（環境省平成20年度　一般廃棄物処理調査結果、紙類の項目)、および産業廃棄物（環境省平成19年度　産業廃棄物排出・処理状況調査、紙パルプの項目）の発生量の合計に対する、各都道府県の発生量の比により配分することとした。また購入量については、地域別購入量を紙パルプ産業の製造品出荷額（経産省平成20年度工業統計、紙パルプ産業）に記載されている都道府県別集計値の地域合計に対する各都道府県別集計値の比により配分した。

2)　都道府県間の古紙の輸送重量

古紙の輸送重量は、1)　で推計した都道府県別間古紙発生・購入量から他地域からの推計購入量を基礎として、『国土交通省平成20年度貨物地域流動統計　府県相互間輸送トン数表（32品目分類)』のうち、古紙の物流を含む「排出物」の輸送量の比率で配分した。ただし、「排出物」の項目には、古紙の他に廃プラなどの廃棄物を含むため、精度の面で矛盾が生じる可能性はある。

3)　古紙の賦存量、利用可能量、および再資源化率

上記の手法に従って推計を行うに当たり、まず**図2.3.2-1**の地域別データを元に都道府県別における古紙の発生量と古紙の購入量を推計した結果を**表2.3.2-1**に示す。表内の地域内購入率以降に示した推計値については、以下に定義されるものとした。

・地域内購入率（%）＝　域内購入分/購入量配分　×　100

・他地域への移出率（%）＝｛1－（域内購入量分/発生量）｝×　100

・地域内再利用率（%）＝　域内購入分/発生量配分　×　100

次に域内で発生した古紙の域外への移送を推計するため、物流センサスの各都道府県別の古紙が該当する移送データを元に、地域間移送推計を行った結果を**表2.3.2-2**から**表2.3.2-4**に示す。なお、平成20年度の物流センサスのデータでは移動が確認できなかった高知県については、同様の調査を実施した平成12年度の物流センサスのデータにて代用し推計を行った。

表2.3.2-1　都道府県別の古紙利用の状況

地域	都道府県名	発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	地域内再利用率（%）
北海道	北海道	736	1925	676	35.1	8.2	91.8
	地域合計	736	1925	676			
東北	青森県	128	414	109	40.3	15.2	84.8
	岩手県	145	232	123			
	宮城県	307	745	260			
	秋田県	110	152	93			
	山形県	126	103	107			
	福島県	215	522	182			
	地域合計	1031	2169	874			
関東	茨城県	542	385	192	99.1	64.5	35.5
	栃木県	343	353	122			
	群馬県	296	152	105			
	埼玉県	1699	814	602			
	千葉県	1071	265	380			
	東京都	2024	267	718			
	神奈川県	1479	431	524			
	地域合計	7454	2667	2643			
北陸	富山県	166	486	156	45.0	5.8	94.2
	石川県	122	81	115			
	福井県	76	194	71			
	地区合計	364	762	343			
静岡	静岡県	494	2750	489	17.8	1.0	99.0
	地域合計	494	2750	489			
中部	新潟県	247	260	145	74.6	41.3	58.7
	山梨県	80	25	47			
	長野県	217	94	127			
	岐阜県	191	291	112			
	愛知県	808	544	474			
	地域合計	1543	1213	905			
近畿	三重県	224	111	110	97.7	51.1	48.9
	滋賀県	160	129	78			
	京都府	284	144	139			
	大阪府	876	411	429			
	兵庫県	801	387	392			
	奈良県	143	71	70			
	和歌山県	63	25	31			
	地域合計	2551	1278	1248			
中国	鳥取県	82	97	43	82.5	48.3	51.7
	島根県	69	15	36			
	岡山県	203	81	105			
	広島県	178	123	92			
	山口県	153	113	79			
	地域合計	685	429	354			
四国	徳島県	72	318	67	15.7	6.0	94.0
	香川県	95	269	90			
	愛媛県	150	1471	141			
	高知県	48	128	45			
	地域合計	365	2186	343			
九州	福岡県	494	244	385	89.4	22.1	77.9
	佐賀県	81	193	63			
	長崎県	89	17	69			
	熊本県	154	230	120			
	大分県	111	85	87			
	宮崎県	126	141	98			
	鹿児島県	109	129	85			
	沖縄県	44	13	35			
	地域合計	1208	1052	941			
全国計		16431	16431	8816	59.7%	26.4%	73.6%

表2.3.2-2　古紙の都道府県間物流量推計（1）

輸送量（千t）

発＼着	発生量（千t）	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
北海道	736		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.5	0.0	17.7	4.7	224.6	0.0	0.0	0.0
青森	128	0.6		0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	95.2	2.7	0.0
岩手	145	0.0	53.7		83.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宮城	307	0.0	0.0	56.1		0.0	49.7	73.5	0.0	0.0	0.0	0.0	93.7	0.0	0.7	0.0	0.0
秋田	110	0.0	0.0	0.0	84.4		25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山形	126	0.1	0.0	2.5	114.7	2.8		0.8	1.4	2.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
福島	215	0.0	3.7	8.7	100.0	0.9	10.7		25.8	21.9	0.0	13.2	4.1	0.0	0.0	14.5	0.0
茨城	542	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	366.7		5.7	0.0	66.7	45.1	30.2	0.0	0.0	0.0
栃木	343	79.2	0.0	0.0	67.3	0.0	0.0	0.4	0.7		0.2	186.6	2.4	0.0	0.0	5.1	0.0
群馬	296	0.0	0.0	0.0	25.5	0.0	99.9	0.0	43.0	25.3		76.5	0.0	2.4	0.6	0.0	0.0
埼玉	1699	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.4	341.9	132.6		401.0	9.2	37.2	0.8	0.0
千葉	1071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	780.4	11.0	0.0	176.0		54.7	35.9	0.0	0.0
東京	2024	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	472.2	69.8	0.0	609.9	380.2		193.9	57.8	0.0
神奈川	1479	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	220.9	54.5	0.3	98.3	742.9	46.5		0.0	0.0
新潟	247	0.0	0.0	63.3	0.0	2.0	1.5	4.7	0.0	0.5	0.3	2.5	59.6	0.0	0.0		57.4
富山	166	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
石川	122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.2
福井	76	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山梨	80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	10.2	0.0	14.0
長野	217	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	122.2	0.0	0.0	0.0	40.1	0.0
岐阜	191	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
静岡	494	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
愛知	808	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	3.3	0.0	1.3	1.9
三重	224	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.4	0.0
滋賀	160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
京都	284	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
大阪	876	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0
兵庫	801	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	25.9	0.0	0.0
奈良	143	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
和歌山	63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鳥取	82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
島根	69	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
岡山	203	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
広島	178	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山口	153	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
徳島	72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
香川	95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
愛媛	150	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高知	48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
福岡	494	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
佐賀	81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
長崎	89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
熊本	154	0.0	0.0	0.0	0.0	71.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0
大分	111	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
宮崎	126	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鹿児島	109	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
沖縄	44	44.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	16431	124	66	152	476	78	187	537	1622	660	133	1380	1744	373	405	236	189

表2.3.2-3　古紙の都道府県間物流量推計（2）

発＼着	発生量(千t)	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
北海道	736	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	25.3	0.0	17.2	23.3	239.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
青森	128	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
岩手	145	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
宮城	307	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
秋田	110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山形	126	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
福島	215	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
茨城	542	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
栃木	343	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
群馬	296	0.0	13.6	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
埼玉	1699	0.0	0.0	0.0	14.2	0.0	688.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
千葉	1071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
東京	2024	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	107.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
神奈川	1479	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	242.3	0.0	0.0	0.0	0.0	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
新潟	247	0.0	0.0	0.0	21.9	0.0	5.3	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
富山	166	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石川	122		54.5	0.0	0.0	0.3	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	3.7	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0
福井	76	28.3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山梨	80	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	51.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
長野	217	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	26.6	0.0	0.0	0.0	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
岐阜	191	0.0	0.0	0.0	0.0		5.3	105.4	2.3	0.0	0.0	73.8	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
静岡	494	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0		475.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
愛知	808	0.0	156.6	0.0	0.0	179.0	235.3		3.4	0.0	0.0	1.2	34.7	0.0	0.0	36.4	0.0
三重	224	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4		0.0	0.0	11.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
滋賀	160	0.0	1.3	0.0	0.0	1.1	0.0	4.6	19.7		16.7	103.8	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0
京都	284	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	29.7	0.0		117.4	124.9	1.0	0.0	0.0	0.0
大阪	876	0.0	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	2.1	0.9	0.1	2.2		222.5	1.4	0.0	0.0	0.0
兵庫	801	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	3.9	2.9	3.6	705.9		0.0	0.0	0.0	0.0
奈良	143	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108.7	0.0	0.0	13.7	0.0		0.0	0.0	0.0
和歌山	63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	0.0	0.0	1.6	0.0	11.2		0.0	0.0
鳥取	82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		82.3
島根	69	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	
岡山	203	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.1	53.1	50.5	0.0	0.0	0.0	7.6
広島	178	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山口	153	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	0.0	0.0	28.3	0.0
徳島	72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0
香川	95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
愛媛	150	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
高知	48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
福岡	494	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
佐賀	81	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
長崎	89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
熊本	154	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
大分	111	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	22.0	0.0	5.9	0.0	1.6
宮崎	126	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鹿児島	109	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
沖縄	44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	16431	32	229	0	56	185	1334	754	228	20	48	1549	673	14	6	65	91

表2.3.2-4　古紙の都道府県間物流量推計（3）

輸送量（千t）

発＼着	発生量（千t）	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
北海道	736	0.0	0.0	0.0	0.0	47.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	736
青森	128	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128
岩手	145	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	145
宮城	307	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	307
秋田	110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110
山形	126	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126
福島	215	7.1	0.0	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	215
茨城	542	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	542
栃木	343	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	343
群馬	296	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	296
埼玉	1699	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1699
千葉	1071	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1071
東京	2024	0.0	0.0	0.0	34.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	2024
神奈川	1479	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1479
新潟	247	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	247
富山	166	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166
石川	122	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	122
福井	76	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76
山梨	80	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80
長野	217	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	217
岐阜	191	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	191
静岡	494	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	494
愛知	808	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	151.9	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	808
三重	224	0.0	0.0	78.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	224
滋賀	160	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160
京都	284	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	284
大阪	876	0.0	0.0	584.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	876
兵庫	801	30.4	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	801
奈良	143	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143
和歌山	63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63
鳥取	82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82
島根	69	38.9	3.4	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69
岡山	203		59.1	0.0	6.6	0.2	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	203
広島	178	175.0		0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	178
山口	153	19.5	44.2		0.0	0.0	42.1	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	2.4	7.6	0.0	0.0	153
徳島	72	0.0	0.0	0.0		18.5	38.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72
香川	95	23.7	0.7	0.0	1.8		13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95
愛媛	150	11.0	74.2	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.8	0.0	0.0	0.0	150
高知	48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48
福岡	494	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0		63.2	1.3	298.9	104.5	0.0	0.0	0.0	494
佐賀	81	0.0	0.0	40.9	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4		2.0	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	81
長崎	89	0.0	0.0	44.4	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	26.4		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89
熊本	154	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.3	0.2	1.3		32.9	0.0	0.0	0.0	154
大分	111	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	66.2	0.0	4.8	2.1		0.0	0.0	0.0	111
宮崎	126	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	10.1	5.7	0.0	0.0	103.6		2.3	0.0	126
鹿児島	109	0.0	0.0	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	0.0	69.2	0.0	0.0		0.0	109
沖縄	44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		44
合計	16431	329	198	774	45	67	334	2	227	95	9	392	304	8	3	0	16431

2.3.3 古紙の地域別動向、地域間移動の把握

古紙の発生量、および購入量を各地における古紙の需給バランスと考え、さらに域内の人口を考慮したうえで、古紙の利用状況を以下に示す区分で分類することにした（括弧内は2008年度の人口）。

① 都市部：廃棄紙の大消費地 ⇒ 人口大 & 発生量大
　代表例：東京（1,256万）※、埼玉（708万）、神奈川（892万）
② 生産地：再生紙の大生産量 ⇒ 購入量大
　代表例：北海道（558万）※、静岡（378万）※、愛媛（147万）
③ 中間部：物流量、発生/消費量が中程度の規模 ⇒ 人口中 & 発生/購入量中
　代表例：茨城（299万）、栃木（201万）、宮城（234万）※、福島（207万）
④ 地方：物流、人口共に少ない ⇒ 発生/購入量 少 & 人口 少
　代表例：沖縄（140万）、高知（78万）、和歌山（104万）※

上記①～④のうち、※印の都市について、地域内の古紙循環量を県別に調査することとした。なお、生産地については、上記で挙げた要素の他に、大都市圏からの距離の大小に応じて2種類に分類されると考え、調査対象を2件に拡張した。以下、それぞれの地域における古紙の循環について分析を行った結果について示す。

1) 都市部の分析結果（東京都）

表2.3.3-1に東京都の分析結果を示す。東京都における古紙の発生量は全国1位となっており、関東地区全体でも発生量は最も多くなっている。発生した古紙の64.5%は他県に移出しており、自地区での再利用率は35.5%と低くなっている。東京からの移出の大部分は、埼玉（609.9千t）、茨城（472.2千t）、千葉（380.2千t）と関東地区内への移出となっているものの、これらの地域から直接ないしは栃木を経由して宮城、北海道、静岡などへと移出されている状況となっている。また地域内住民一人当たりの古紙発生量についても一大消費地であるため、全国で最大となっている。

2) 生産地の分析結果 その1（北海道）

表2.3.3-2に北海道の分析結果を示す。北海道における古紙の発生量は全国8位となっており、全国の中でも比較的発生量の多い地域となっている。同地区内で発生した古紙の大半は地区内での再利用が行われており（91.8%）、他県への移出の割合は8.2%と非常に低い。また紙の生産拠点であることから、他県からの古紙の移入が多く、全国2位の古紙購入量（1,925千t）を誇るのも特徴的である。北海道への移入は、栃木（79.2千t）、沖縄（44.4千t）、青森（0.6千t）からであり、RORO船や鉄道等の長距離大量輸送により移入されていることが伺える。地域内住民一人当たりの古紙発生量は平均的な値となっており、これは古紙が長距離、長時間の輸送に耐えうる製品であることに起因するもので、古紙については、生産地が消費地と同一拠点とはならないことを示唆するものである。

3) 生産地の分析結果 その2（静岡県）

表2.3.3-3に静岡県の分析結果を示す。静岡県における古紙の発生量は全国8位となっており、北海道同様、全国の中でも比較的発生量の多い地域となっている。同地区内

で発生した古紙の大半はほぼ全て地区内にて再利用されている（99%）。一大消費拠点である関東圏に近いため、全国最大の古紙購入量（2,750千t）を誇り、その移入元も埼玉（688.1千t)、神奈川（242.3千t)、東京（107.3千t）だけにとどまらず、宮城（33.3千t)、北海道（9.5千t）といった他の生産地からも移入されている。また地域内住民一人当たりの古紙発生量については北海道と同様、全国平均値程度であり、生産地が消費地と同一拠点とはならないことを裏付ける結果となっている。

4) 中間部の分析結果（宮城県）

表2.3.3-4に宮城県の分析結果を示す。宮城県における古紙の発生量は全国13位となっており、発生量的には全国平均をやや下回る値である。発生した古紙の84.8%を同一地域で利用しており、再利用率は高い水準である。移入については山形（114.7千t)、秋田（84.4千t)、岩手（83.8千t）等からであり近隣の県からの移入が大半を占める。一方、移出に関しては福島（114.7千t)、千葉（114.7千t）などの古紙集積拠点の他、一部は静岡（33.3千t）などの生産拠点への直接移出もされている。地域内住民一人当たりの古紙発生量はほぼ全国平均である。

5) 地方の分析結果（和歌山県）

表2.3.3-5に和歌山県の分析結果を示す。和歌山県における古紙の発生量は全国46位となっており、発生量は全国で最も少ない部類となっている。発生した古紙の48.9%は自地区での再利用となっており、残りの半数は他県への移出となっている。県外へ移出される古紙は、三重（50.6千t)、奈良（11.2千t)、大阪（1.6t）となっており、近隣の県への移出が大半を占めている。移入に関しては、今回の調査では確認できなかったことから、極めて少数であることが推測される。地域内住民一人当たりの古紙発生量については、大都市圏の約半分（60.8kg）と非常に少なく、消費活動が少ないことが伺える。

表2.3.3-1　東京都の古紙利用状況

発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	人口（人）	地域内再利用率（%）	1人当たりの古紙発生量（kg）
2024	267	718	99.1	64.5	12564409	35.5	161.1

（単位：千トン

着地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
東京発	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	83.0	472.2	69.8	0.0	609.9	380.2		193.9	57.8	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	107.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	34.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	2024

（単位：千トン

発地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
東京着	224.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.2	0.0	2.4	9.2	54.7		46.5	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	373.3

表2.3.3-2　北海道の古紙利用状況

発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	人口（人）	地域内再利用率（%）	1人当たりの古紙発生量（kg）
736	1925	676	35.1	8.2	5577797	91.8	132.0

（単位：千トン）

着地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
北海道発		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.5	0.0	17.7	4.7	224.6	0.0	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	25.3	0.0	17.2	23.3	239.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	47.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	736

（単位：千トン）

発地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
北海道着		0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	79.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.4	124

表2.3.3-3　静岡県の古紙利用状況

発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	人口（人）	地域内再利用率（%）	1人当たりの古紙発生量（kg）
494.0	2,750.0	489.0	17.8	1.0	3781220	99.0	130.6

（単位：千トン）

着地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
静岡発	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0		475.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	494

（単位：千トン）

発地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
静岡着	9.5	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	688.1	0.0	107.3	242.3	5.3	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3		235.3	0.0	0.0	3.9	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1334

表2.3.3-4　宮城県の古紙利用状況

発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	人口（人）	地域内再利用率（%）	1人当たりの古紙発生量（kg）
306.9	745.2	260.2	40.3	15.2	2340427	84.8	131.1

（単位：千トン）

着地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
宮城発	0.0	0.0	56.1		0.0	49.7	73.5	0.0	0.0	0.0	0.0	93.7	0.0	0.7	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	306.9

（単位：千トン）

発地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
宮城着	0.0	0.0	83.8		84.4	114.7	100.0	0.0	67.3	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	475.6

表2.3.3-5　和歌山県の古紙利用状況

発生量配分（千トン）	購入量配分（千トン）	域内購入分（千トン）	地域内購入率（%）	他地域への移出率（%）	人口（人）	地域内再利用率（%）	1人当たりの古紙発生量（kg）
63.4	24.8	31.0	97.7	51.1	1044307	48.9	60.8

（単位：千トン）

着地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
和歌山発	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	0.0	0.0	1.6	0.0	11.2		0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.4

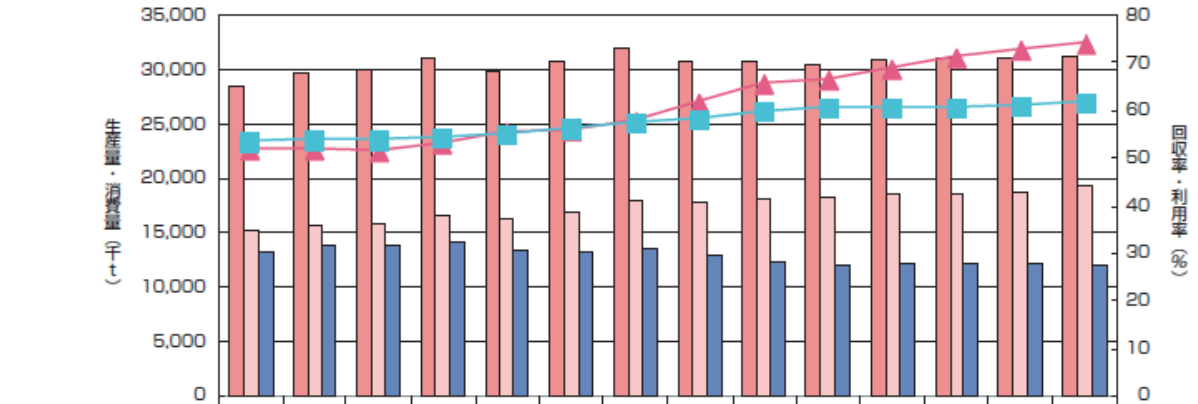
（単位：千トン）

発地	北海道	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山
和歌山着	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知	三重	滋賀	京都	大阪	兵庫	奈良	和歌山	鳥取	島根
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0
	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島	沖縄	合計
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	5.9

2.3.4　古紙の再生利用の動向

1)　古紙の回収・利用率の推移

図2.3.4-1に国内の古紙の回収・利用率の推移を示す。日本の古紙回収率は集団回収や行政回収などの定着により2000年頃から上昇傾向にあり、2007年時点で回収率74.5%、利用率61.4%にまで到達しており、世界的にもドイツ、韓国と並ぶ最高水準を達成している。特に古紙利用率の向上については、これまでにも促進のための様々な取り組みが進められてきたが、古紙として回収できる範囲では、古紙の品質に応じたカスケード利用や、印刷情報用紙などの上質紙以外の古紙のリサイクルが進められたとしても、紙としての強度が維持できないなどの問題から物理的・技術的な限界はおおむね65%程度であると言われており、現行の処理技術や回収システムのうえでは、ほぼ限界に近付きつつある状況にあるといえる。



	94年	95年	96年	97年	98年	99年	00年	01年	02年	03年	04年	05年	06年	07年
紙・板紙生産量	28,518	29,659	30,012	31,014	29,886	30,631	31,829	30,717	30,686	30,457	30,892	30,952	31,108	31,266
古紙消費量	15,137	15,689	15,920	16,498	16,210	16,905	17,918	17,780	18,164	18,242	18,536	18,596	18,778	19,314
パルプ消費量	13,306	13,734	13,842	14,134	13,364	13,294	13,541	12,929	12,375	12,118	12,227	12,281	12,263	12,176
古紙回収率（%）	51.7	51.5	51.3	53.0	55.2	55.7	57.7	61.5	65.4	66.1	68.5	71.1	72.4	74.5
古紙利用率（%）	53.3	53.4	53.6	54.0	54.9	56.1	57.0	58.0	59.6	60.2	60.4	60.3	60.6	61.4

図2.3.4-1　古紙の回収・利用率の推移

出典：財団法人古紙再生促進センター（紙・印刷・プラスチック・ゴム製品統計月報）

2)　法整備

古紙のリサイクルに関する法律としては、1991 年に「再生資源の利用の促進に関する法律」、いわゆる資源リサイクル法があり、本法は2000年に同法の一部改正により「資源の有効な利用の促進に関する法律」となった。それぞれ、1991年の廃棄物処理法の大改正、2000 年の循環型社会形成推進基本法制定と軌を一にしている。現行のリサイクル法にもとづき、パルプ製造業及び紙製造業が特定省資源業種（副産物の発生抑制などに取り組むことが求められる業種）に、紙製造業が特定再利用業種（再生資源・再生部品の利用に取り組むことが求められる業種）に指定されている。紙製造業に属する事業を行う者の古紙の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令（最終改正2006年3月）では、古紙利用率目標ほか、紙製造事業者の取組内容を**表2.3.4-1**のように定めている。

表2.3.4-1　リサイクル法省令

条	内容
第１条：古紙利用率の向上	● 紙製造業に属する事業を行う者（以下「事業者」という。）は、色、強度、吸水性、印刷適性その他の紙の品質に対する紙の需要者の要求に対応しつつ、技術的かつ経済的に可能な範囲で、製造する紙の古紙利用率（紙の原料に占める古紙の重量の割合をいう。以下同じ。）を向上させるものとする。 ● その際、事業者は、印刷用紙、情報用紙及び包装用紙の古紙利用率が低いことその他の紙の種類ごとに異なる古紙の利用の状況を勘案するとともに、紙の需要者、国及び地方公共団体と協力しつつ、国内で製造される紙の古紙利用率が平成 22 年度までに 62 パーセントに向上することを目標とするものとする。
第２条：設備の整備等	● 事業者は、工場の敷地内において必要な古紙の置場を設けるとともに、古紙を利用するため、次に掲げる設備を整備するものとする。 ➢ 一　パルパー及びリファイナー ➢ 二　スクリーン及びクリーナー ➢ 三　脱墨装置 ➢ 四　洗浄機 ➢ 五　漂白装置 ➢ 六　その他の古紙を利用するために必要な設備
第３条：技術の向上	● 事業者は、古紙を利用するために必要な機械又は薬品の製造を行う者と協力して、次に掲げる技術を向上させるものとする。 ➢ 一　パルプの強度を維持しつつ、接着剤その他の異物を細粒化しない離解技術 ➢ 二　接着剤その他の異物を効率的に除去する技術 ➢ 三　脱墨を効率的に行う技術 ➢ 四　紙の強度を高めるために薬品を効率的に配合する技術 ➢ 五　その他の古紙を利用するために必要な技術
第４条：古紙利用計画	● 事業者は、古紙の利用を計画的に行うため、毎事業年度開始前に、その事業年度の古紙の利用に関する計画（以下「古紙利用計画」という。）を作成するものとする。 ● 古紙利用計画には、次に掲げる事項を記載するものとする。 ➢ 一　紙の種類ごとの古紙利用率の目標 ➢ 二　古紙を利用するために必要な設備の整備に関する事項 ➢ 三　古紙を利用するために必要な技術の向上に関する事項 ➢ 四　前三号に掲げるもののほか、古紙の利用に関する事項 ● 事業者は、古紙利用計画の実施の状況について、記録を行うものとする。
第５条：情報の提供	● 事業者は、紙の需要者の古紙の利用に関する理解を深めるため、製造する紙の品目ごとの古紙利用率及び品質その他の必要な情報の提供を行うものとする。

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』第1章

3)　世界の動向

古紙リサイクルにおける主要国の達成目標、およびその設定目標の算出根拠についてまとめたものを**表2.3.4-2**に示す。古紙のリサイクルについての定義が各国で様々であるため、ここで示した目標値をそのまま比較検討することはできないが、中国を除く主要国ではおおむね60%以上の再利用率を設定しており、積極的なリサイクルへの取り組みがなされていることが伺える。主要国における古紙リサイクルの取り組みについて比較するため、**表2.3.4-3**に主要国の古紙回収量、消費量、輸入量、輸出量、利用率、回収率を示す。古紙の回収や消費にバランスのとれた取り組みのされている日本、ドイツ、古紙の回収はあまり高くないものの、自国内での生産能力が高いため古紙輸出が可能な米国、消費が著しく需要の大半を輸入で賄っている中国と、統計データから各国の古紙利用状況を大よそ推測が可能である。

表2.3.4-2　主要国の古紙関連の達成目標値と算出根拠

各国の達成目標の算出計算式	日本	62%（古紙利用率、2010年度） ※「資源有効利用促進法」に基づく再生資源利用率の目標値
		平成3年12月24日付け通産省立地公害局長、生活産業局長通達『紙製造業に属する事業を行う者の古紙の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令等の運用について』の中で、古紙利用率の算出方法を次のように定めている。 古紙利用率（%）＝ （古紙消費量＋購入古紙パルプ消費量）／（パルプ消費量＋古紙消費量＋購入古紙パルプ消費量＋その他繊維原料消費量）×100 ただし、その他繊維原料とは、紙パルプ統計によると古紙以外の合成繊維、ビスコース・スフ、ノットスクリーンかす、マニラ麻、みつまた等の非木材パルプの繊維消費合計値で1%未満の数値である。
	中国	なし
	韓国	72%（古紙利用率、2008年） ※「資源の節約と再活用促進に関する法律施行令」に基づき、政府主導で定められた目標率。
		古紙利用率（%）＝ 古紙使用量（国内回収分＋輸入分）／原料使用総量（古紙＋パルプ）×100
	欧州	66%（欧州で利用される紙・板紙のリサイクル率、2010年） ※2006年9月にＣＥＰＩが設定した欧州圏域全体での目標値。
		欧州で利用される紙・板紙のリサイクル率（%）＝ （製紙メーカーの古紙域内消費量）／（紙・板紙生産量－紙・板紙輸出量＋紙・板紙輸入量）×100 ≒ （古紙消費量）／（紙・板紙域内消費量）×100
	米国	55%（国内で消費される紙・板紙の回収率、2012年） ※全国森林製紙協会（業界団体）が、2005年に定めた目標値。
		国内で消費される紙・板紙の回収率（%）＝ （製紙メーカーの古紙国内消費量＋古紙輸出量－古紙輸入量）／（紙・板紙生産量－紙・板紙輸出量＋紙・板紙輸入量）×100 但し、古紙国内消費量には製紙以外の用途であるパルプモールド、古紙断熱材、動物用の敷料、法面種子吹付養生材等の生産量を含む。 ≒ （古紙回収量）／（紙・板紙国内消費量）×100

注：計算式及び目標値の名称は各国の発表を日本語に直訳したもの。

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』第11章

表2.3.4-3　主要国の古紙回収量、消費量、輸入量、輸出量、利用率、回収率（2007年）

国名	回収（千t）	消費（千t）	輸入（千t）	輸出（千t）	利用率※（%）	回収率※（%）
ドイツ	15,362	15,822	3,464	3,004	68.3	73
米国	47,594	30,160	1,896	18,127	36.1	54
中国	27,650	50,210	22,560	1	68.3	38
日本	23,325	19,314	67	3,844	61.8	75
韓国	7,998	8,964	1,149	116	82.0	89

※表2.3.4-2の各国の算出方法に従い計算された数値

出典：財団法人古紙再生促進センター『古紙ハンドブック2008年度版』より一部抜粋

2.3.5　まとめ

本調査では、国内における古紙の発生状況、および地域間物流を調査し、古紙のマテリアルとしての循環状況を把握した。本調査では、種々の統計資料からこれらの物量を推計するデータを作成し、分析を行った。以下にその結果をまとめる。

①全国では約2,300万t前後の古紙が回収、関東、近畿、中部の大都市圏での発生が大半をしめている。
②人口に対しての古紙発生量は、都市部であれば大きくなり、人口の少ない地域では小さくなる傾向にあるが、全国的にはおおむね同じレベルを維持しており、地域の経済活動の動向が顕著でない場合、その影響は少ない。
③古紙回収は複雑な経路を経ることが多いが、おおむね埼玉や宮城などの都市部から若干離れた近郊県にて一端収集され、そこから製紙工場のある県（北海道や静岡県）へ輸送されるケースが大半である。一部の一大消費地や人口の少ない地域を除き、おおむね再資源化率は全国平均で73.6%と非常に高く、他のバイオマスに見られる様な余剰の処理問題には発展していない。
④高い回収率の一方で、国内で処理しきれない古紙を中国など海外へ販売する動きも出てきている。また中国への古紙物流の集中は世界的な動向でもある。

バイオマスタウンなどの実証事業でも古紙は別枠に捉えられていることが多く、資源循環の観点から独自に詳細な分析を行うことは困難である。また現在、国内全体における古紙の循環については、需給状況は古紙余りの状況に陥っており、余剰については中国など海外の大口需要に対しての輸出が活発化しているという現状から、循環型社会の構築を考えた場合、経済的な理由のみでマテリアルの安易な海外流出は問題視されるべき問題である。自国内でのマテリアル循環、エネルギーとしての自国内消費といった観点からの調査については、次年度以降の課題である。

2.4　食品廃棄物

2.4.1　食品廃棄物の分類

食品廃棄物は、食品素材の収穫時、食品の製造過程、流通過程、消費の各過程で発生する動植物性の残さ等で、以下の3つに分類される。

1)　動植物性残渣

野菜果物穀物類・肉類・魚類等の残渣をいい、製品（商品）が売れ残り、返品および食べ残しによって廃棄されたものを含む。

2)　事業系厨芥類

食品卸売業、食品小売業、飲食店等から排出される動植物性の固形状不要物、厨芥類である。これらは事業系一般廃棄物になる。

3)　生活系厨芥類

家庭から出る厨芥類で、家庭系一般廃棄物になる。

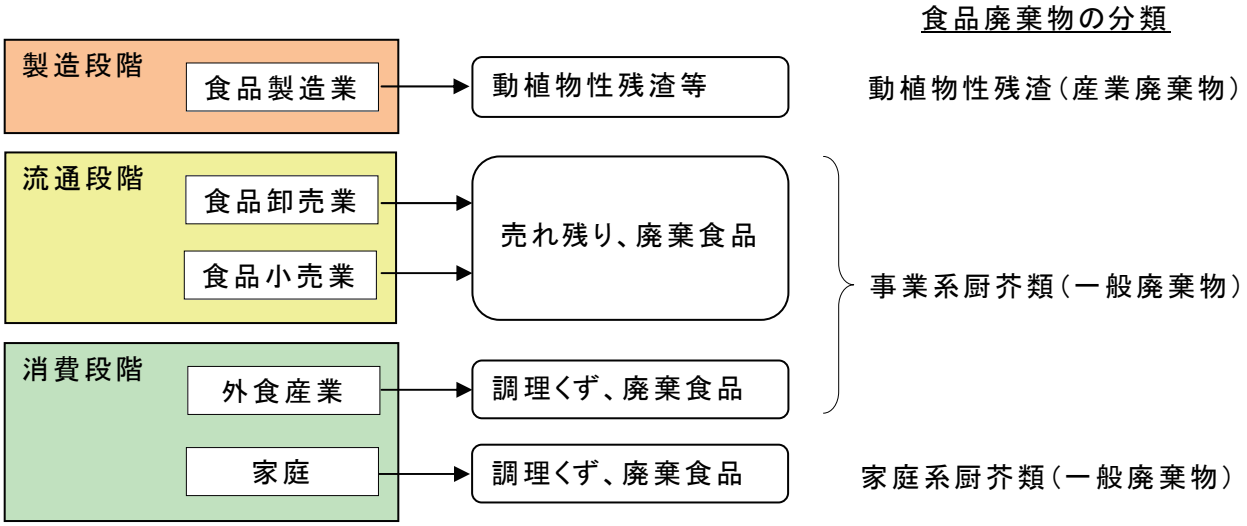


図2.4.1-1　食品廃棄物の分類

2.4.2　食品廃棄物の推計方法

NEDOデータベースでは３種類の食品廃棄物について、バイオマス賦存量、利用可能量を推計している。全国規模のデータを基本にして、これを各自治体の規模に応じて按分する方法が採用されている。各廃棄物の推計方法を以下に記載する。

1)　動植物性残渣（賦存量・利用可能量）

推計には、「農林水産省大臣官房統計部　平成16年食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要」（2004年）が用いられている。

(1)　賦存量の推計方法、算出式

食品製造業における動植物性残渣の全国年間発生量を、工業統計市町村別、「食料品製造業」「飲料・たばこ・飼料等製造業」の製造品出荷額等の和にて按分している。

食品製造業とは、「食料品製造業」と、「飲料・たばこ・飼料製造業」のうち「清涼飲料製造業、酒類製造業及び茶・コーヒー製造業」のことをいう。

「動植物性残渣」とは野菜果物穀物類肉類魚類等の残渣をいい、製品が売れ残り(賞味期限切れを含む)、返品及び食べ残しによって廃棄されたものを含む。具体的には、魚及び動物の皮・内臓・血液等、うらごしかす、缶詰・瓶詰不良品、乳製品精製残渣、羽毛、しょう油・ソースかす、こうじかす、酒・ビールかす等の発酵・醸造かす、でんぷんかす、豆腐かす、あんかす、茶かす、米・麦粉、大豆かす、不良豆、果物の皮・種子、野菜くず、卵の殻、動物及び魚の骨、貝殻等をいう。

市町村別賦存量Dt（t/年）＝Sy÷(Sz＋Iz)×(Sr＋Ir)

Sy：全国食品製造業における動植物性残渣の年間発生量
Sz：全国食料品製造業製造品出荷額等
Iz：全国飲料・たばこ・飼料等製造業製造品出荷額等
Sr：市町村別食料品製造業製造品出荷額等
Ir：市町村別飲料・たばこ・飼料等製造業製造品出荷額等

(2) 利用可能量の推計方法、算出式

食品製造業における動植物性残渣の全国年間発生量から、食品廃棄物（動植物性残渣）再処理量を差し引いた値を工業統計市町村別産業中分類、食料品製造業、飲料・たばこ・飼料等製造業の製造品出荷額等の和にて按分している。

「再生利用」とは、自らまたは他人に委託して食品循環資源を肥料、飼料等の製品の原材料に利用すること、または利用するために譲渡することをいう。

市町村別利用可能量Dt（t/年）＝(Sy－Ss)÷(Sz＋Iz)×(Sr＋Ir)

Sy：全国食品製造業における動植物性残渣の年間発生量
Ss：全国食品製造業における動植物性残渣の再処理量
Sz：全国食料品製造業製造品出荷額等
Iz：全国飲料・たばこ・飼料等製造業製造品出荷額等
Sr：市町村別食料品製造業製造品出荷額等
Ir：市町村別飲料・たばこ・飼料等製造業製造品出荷額等

2) 事業系厨芥類（賦存量・利用可能量）

推計には、「農林水産省大臣官房統計部　平成16年食品循環資源の再生利用等実態調査結果の概要」（2004年）が用いられている。

(1) 賦存量の算出方法

「食品循環資源の再生利用等実態調査報告」(農林水産省大臣官房統計部)に記載している食品廃棄物等の年間発生量の推定値を「事業所・企業統計調査」(経済産業省)に記載している産業中分類別(食品卸売業・食品小売業・外食産業)データにおける市町村別事業所数にて按分している。

賦存量(t/年)＝食品廃棄物等の年間発生量×当該市町村事業所数÷全国の事業所数

(2) 利用可能量の算出方法

「食品循環資源の再生利用等実態調査報告」(農林水産省大臣官房統計部) に記載している食品廃棄物等の年間発生量の推定値と再生利用の差を「事業所・企業統計調査」(総務省統計局統計調査部事業所)に記載している産業中分類別(食品卸売業・食品小売業・外食産業)データにおける市町村別事業所数にて按分している。

利用可能量(t/年)＝ (食品廃棄物等の年間発生量－再生利用量)×当該市町村事業所数÷全国の事業所数

3) 生活系厨芥類　賦存量・利用可能量の算定方法

(1) 賦存量の算出方法

環境省「平成14年度一般廃棄物処理実態調査結果」（2005年）に記載されている、市町村別ごみ総排出量に生ごみ等の排出率（30%）の積算により算定している。

なお、生ごみ等の排出率は、八都県市(埼玉県、千葉県、千葉市、東京都、東京都(区部)、東京都(多摩地域等)、神奈川県、神奈川県(横浜市)、神奈川県(川崎市)、神奈川県(その他))の平均値が用いられている。

賦存量(t/年) ＝ ごみ総排出量×生ごみ等の排出率(30%)

(2) 利用可能量の方法

賦存量から有効利用分（コンポスト等）を差し引いた量を利用可能量としている。

利用可能量(t/年) ＝ 賦存量－有効利用量

2.4.3 賦存量、利用可能量

1) 全国推計量

食品廃棄物の賦存量、利用可能量を各都道府県別に集計した結果を**表2.4.3-1**に示す。

表2.4.3-1 食品廃棄物の賦存量、利用可能量の推計

県名	市町村名	生活系厨芥類 賦存量	生活系厨芥類 利用可能量	事業系厨芥類 賦存量	事業系厨芥類 利用可能量	動植物性残渣 賦存量	動植物性残渣 利用可能量
北海道	札幌市	146,452	146,452	105,246	72,161	37,658	8,359
		483,627	476,265	282,964	194,504	300,517	66,706
青森県		122,056	122,056	69,998	47,267	37,423	8,003
岩手県		94,835	90,079	58,624	40,061	69,988	15,535
宮城県	仙台市	77,991	77,991	68,001	46,405	17,969	3,989
		180,950	180,950	125,402	85,497	109,117	24,221
秋田県		93,795	93,795	52,404	35,678	17,240	3,827
山形県		84,416	80,801	54,204	37,056	44,099	9,789
福島県		164,647	164,647	92,027	63,094	87,512	19,425
茨城県		241,966	241,966	134,451	93,180	170,803	37,913
栃木県		161,061	159,331	88,117	61,021	119,327	26,269
群馬県		170,730	169,917	96,895	66,911	120,092	26,657
埼玉県	さいたま市	99,262	99,262	56,606	38,984	17,538	3,893
		576,637	576,462	294,103	205,521	199,970	44,388
千葉県	千葉市	74,966	74,966	44,344	30,728	34,343	7,623
		484,748	484,748	263,120	183,245	201,928	44,822
東京都	東京23区	807,130	807,130	708,488	492,206	18,170	4,033
		1,132,796	1,132,796	897,861	625,744	22,729	5,045
神奈川県	横浜市	292,037	292,037	162,087	113,749	937	208
	川崎市	118,722	118,722	58,115	40,823	477	106
	相模原市	46,949	46,949	29,049	20,500	82	18
		737,376	737,376	411,025	288,889	2,558	568
新潟県	新潟市	71,780	71,780	40,487	27,597	29,788	6,612
		213,763	213,763	110,582	76,048	82,343	18,278
富山県		82,139	82,139	51,286	35,295	22,263	4,942
石川県		92,881	92,881	60,042	41,156	35,661	7,916
福井県		64,734	64,734	38,741	26,677	9,201	2,042
山梨県		71,398	71,398	43,464	30,229	28,018	6,219
長野県		165,670	161,295	99,534	68,658	83,520	18,539
岐阜県		151,351	151,351	96,825	67,742	43,582	9,674
静岡県	静岡市	65,405	65,405	43,819	29,789	40,467	8,983
	浜松市	52,991	52,991	37,621	25,950	25,068	5,564
		306,130	306,130	192,825	132,680	292,167	64,853
愛知県	名古屋市	139,925	139,925	159,420	109,900	62,359	13,842
		542,514	539,650	383,665	266,524	254,286	56,444
三重県		160,538	160,538	84,212	58,196	65,649	14,572
滋賀県		99,342	99,342	54,085	37,831	27,321	6,064
京都府	京都市	95,924	95,924	100,315	69,394	80,258	17,815
		185,768	185,750	144,281	99,988	131,712	29,236
大阪府	大阪市	194,807	194,807	250,399	173,431	44,524	9,883
	堺市	62,588	62,588	35,611	25,044	11,508	2,554
		670,402	670,402	516,902	359,541	170,708	37,892
兵庫県	神戸市	182,175	182,175	95,694	66,496	96,509	21,422
		492,861	492,780	273,994	190,305	262,002	58,157
奈良県		113,199	113,199	54,088	37,670	26,945	5,724
和歌山県		96,310	96,310	46,241	31,669	27,357	6,073
鳥取県		49,231	49,231	27,152	18,395	32,624	7,242
島根県		54,332	54,332	31,493	21,461	10,384	2,305
岡山県	岡山市	54,887	54,887	34,411	23,505	15,578	3,458
		147,437	147,437	82,633	56,756	71,559	15,884
広島県	広島市	71,987	71,987	64,265	43,597	32,935	7,311
		200,441	200,441	137,295	93,771	82,566	18,327
山口県		123,462	123,462	70,197	48,028	36,375	8,074
徳島県		63,589	63,589	36,197	24,868	38,024	8,440
香川県		79,811	79,811	46,203	31,533	59,338	13,171
愛媛県		128,044	128,044	68,780	46,920	55,808	12,388
高知県		68,774	68,517	42,281	28,996	11,689	2,595
福岡県	北九州市	100,131	100,131	55,545	38,316	14,792	3,283
	福岡市	98,669	98,669	104,506	71,705	43,599	9,678
		404,502	404,502	273,369	188,479	148,837	33,038
佐賀県		59,833	59,833	40,545	27,885	35,494	7,879
長崎県		119,301	119,301	70,364	47,845	32,652	7,248
熊本県		126,057	125,793	85,553	58,412	47,618	10,570
大分県		94,526	94,201	58,739	40,363	28,480	6,322
宮崎県		95,763	93,641	56,422	38,548	48,714	10,813
鹿児島県		134,460	132,961	80,952	55,111	25,128	5,578
沖縄県		98,222	98,222	71,666	49,769	37,119	8,239
全国合計	t	10,286,425	10,256,169	6,451,803	4,465,014	3,868,446	857,906
	万t	**1029**	1026	**645**	447	**387**	86

各都道府県ごとの推計値を合計した全国推計値を**表2.4.3-2**にまとめる。賦存量は、動植物性残渣が387万t、事業系厨芥類が645万t、生活系厨芥類が1,029万tである。利用可能量は、動植物性残渣が86万t、事業系厨芥類が447万t、生活系厨芥類が1,026万tである。賦存量に対する利用可能量の百分率を利用可能率として計算した。

賦存量から利用可能量を差し引いた量が利用量であると見なし、賦存量に対する百分率を利用率として計算した結果を表に併記する。

表2.4.3-2　全国の食品廃棄物の賦存量、利用可能量

	動植物性残渣	事業系厨芥類	生活系厨芥類	合計
賦存量(万t)	387	645	1,029	2,061
利用可能量(万t)	86	447	1,026	1,559
利用可能率	22.2%	69.2%	99.7%	－
利用率	78.8%	30.8%	0.3%	－

利用率は、動植物性残渣が78.8%、事業系厨芥類が30.8%、生活系厨芥類が0.3%である。動植物性残渣は他の廃棄物に比べて再利用が進んでいる。この理由として、成分が安定して、排出量の季節変動が少ないことから再利用品の品質を確保しやすいこと、さらに、排出元が食品製造工場に限定されるため、リサイクル業者への輸送効率が高く、物流面で有利であることが考えられる。

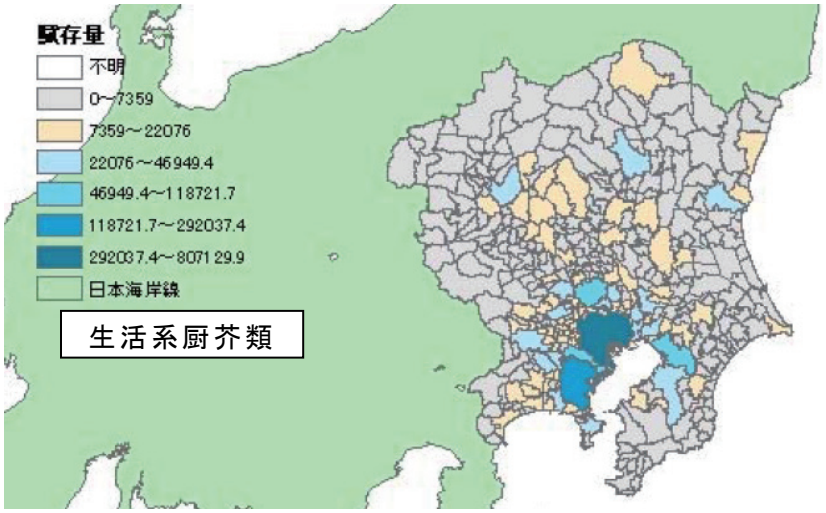
事業系厨芥類の利用可能量は447万tと、動植物性残渣に比べて約5倍と多い。食品卸業や小売業から排出される廃棄物は、食品が包装もしくは容器に入った形で排出されることが多く分別に手間がかかる。外食産業から排出される事業系厨芥類は、さまざまな食品廃棄物が混在していることに加えて、容器、箸、紙などの異物が混入し、分別に一層手間がかかる。これらの要因が再資源化を妨げていると考えられる。

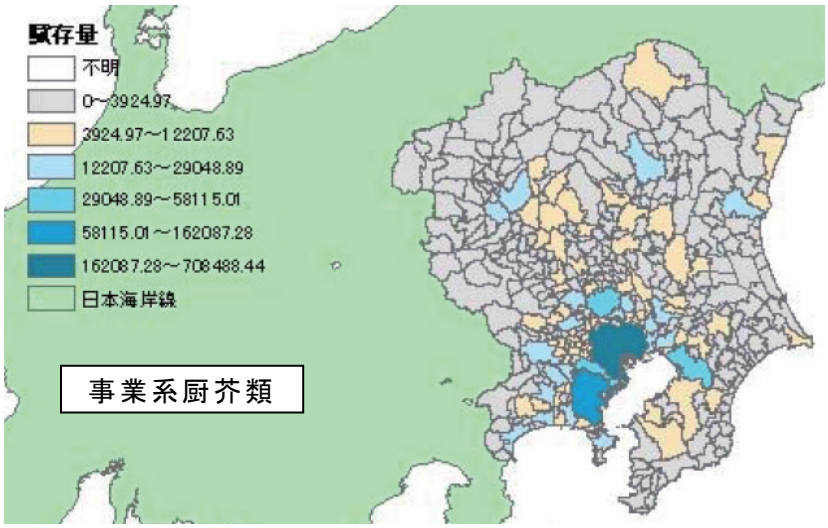
一方、家庭から排出される生活系厨芥類はほとんど利用されていない。この原因として、外食産業の厨芥と同様に異物を含んでいること、さらに、自治体がごみ収集・処理を行っており、廃棄物処理業者が参入しにくいことが再資源化を妨げていることが考えられる。

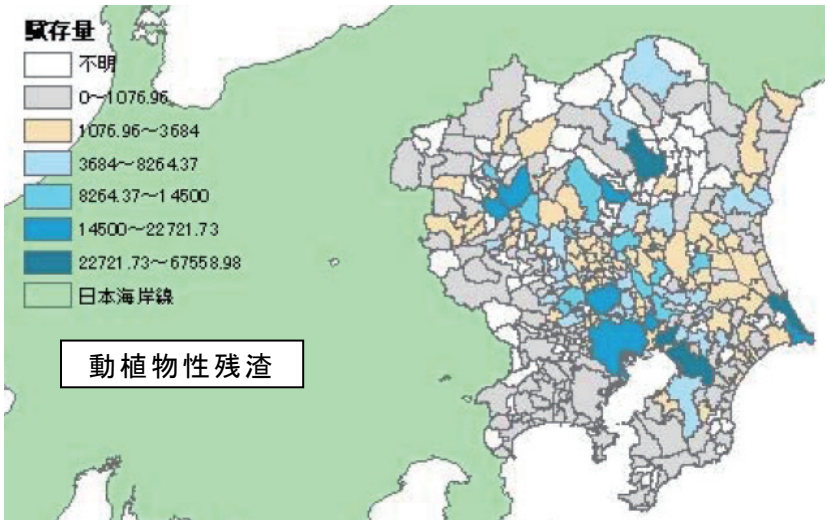
2)　賦存量の全国分布

NEDOは、地域別にバイオマス賦存量と利用可能量の全国分布図を公開している。一例として、関東地区の食品廃棄物の賦存量分布を**図2.4.3-1**に示す。

一般家庭から排出される生活系厨芥と、食品卸売業・食品小売業・外食産業から排出される事業系厨芥類は大都市に集中していることがわかる。これに対し、食品製造業から排出される動植物性残渣については、大都市周辺（埼玉、千葉、群馬、栃木、茨城）の賦存量が多いことが見てとれる。







動植物性残渣賦存量の多い都市

茨城県
　神栖市：36,610t
栃木県
　宇都宮市：67,559t
群馬県
　高崎市：22,721t
千葉県
　船橋市：35,342t
　千葉市：34,343t
　松戸市：21,718t
　銚子市：21,189t
　野田市：14,500t

図2.4.3-1　食品廃棄物の賦存量の分布図（関東地区）

出典：NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」

3)　人口と賦存量との関係

都道府県別の推計データを基に、人口と食品廃棄物の賦存量の関係について調べた。

(1)　大都市

東京23区および政令指定都市（19都市）の大都市について、人口と賦存量の関係を調べた結果を**図2.4.3-2**に示す。

生活系厨芥類、事業系厨芥類の賦存量は人口に比例して多い。一般家庭からの生活系厨芥類と、流通・消費段階で排出される事業系厨芥類は、人口と密接に関係していることがわかる。

一方、食品製造業から排出される動植物性残渣は、人口との相関性は認められない。食品製造業は人口の多い大都市よりも、周辺の市町村に多く分布していることが推察される。

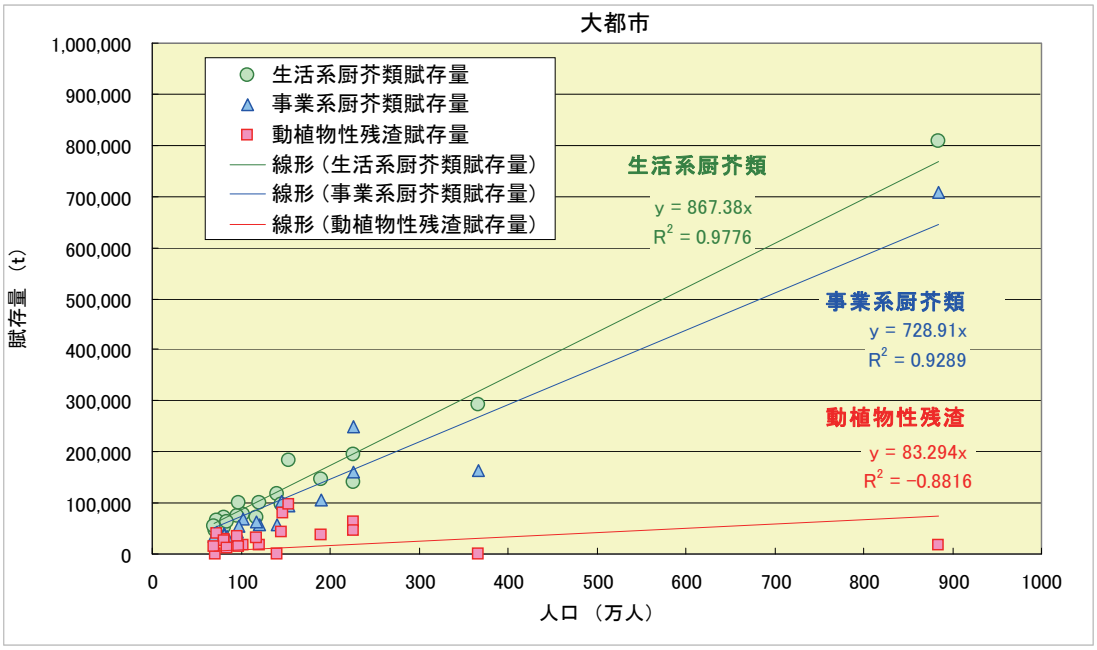


図2.4.3-2　人口と賦存量の関係（大都市）

(2)　中都市

上記の大都市を除く県庁所在地について調査した。人口規模は20万～70万人である。人口と賦存量の関係を**図2.4.3-3**に示す。

生活系厨芥類、事業系厨芥類の賦存量は、大都市と同様、人口に比例している。

一方、食品製造業から排出される動植物性残渣については、人口との相関性は低い。人口の割に動植物性残渣の賦存量が多い都市として、宇都宮市（人口50万人、賦存量6.8万t）、盛岡市（人口29万人、賦存量2.7万t）がある。豊富な地域特産物に恵まれている、大都市への流通拠点となっている等の特色を活かした食品製造業が盛んなことが推察できる。

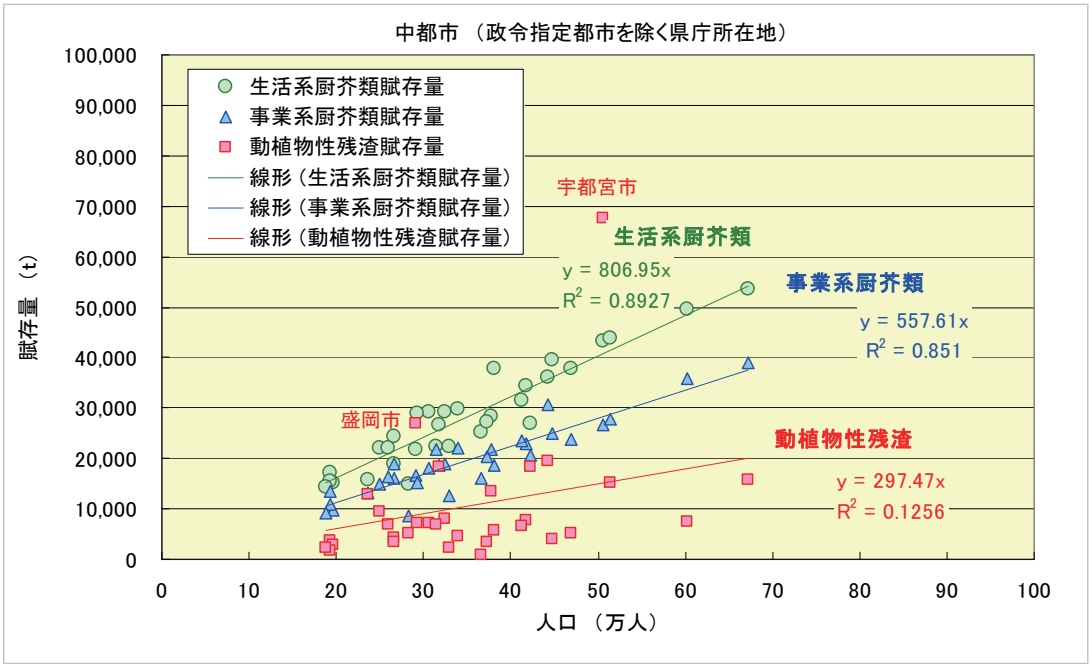


図2.4.3-3　人口と賦存量の関係（中都市）

(3)　市町村

動植物性残渣の賦存量が比較的多く分布している千葉県の市町村について調査した。千葉県の市と町村について、人口と賦存量の関係を図2.4.3-4、5にそれぞれ示す。

市部の生活系厨芥類、事業系厨芥類は、大都市、中都市と同様に人口と比例しており、相関性も比較的高い。一方、動植物性残渣については人口との相関性は低い。

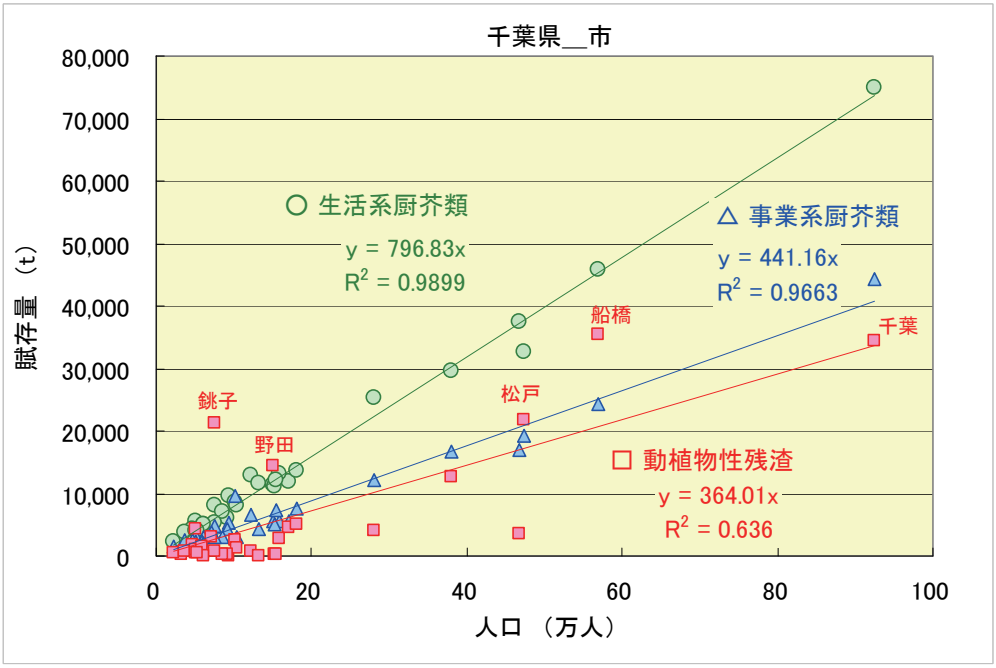


図2.4.3-4　人口と賦存量の関係（千葉県市部）

次に、調査対象を町村（人口0.5万～5万人）に絞ると、人口と生活系厨芥、事業系厨芥の賦存量との相関性はさほど高くない。動植物性残渣の賦存量については、事業系厨芥類や生活系厨芥類を上回る町村、あるいは動植物残渣の賦存量がほとんどない町村があることがわかる。

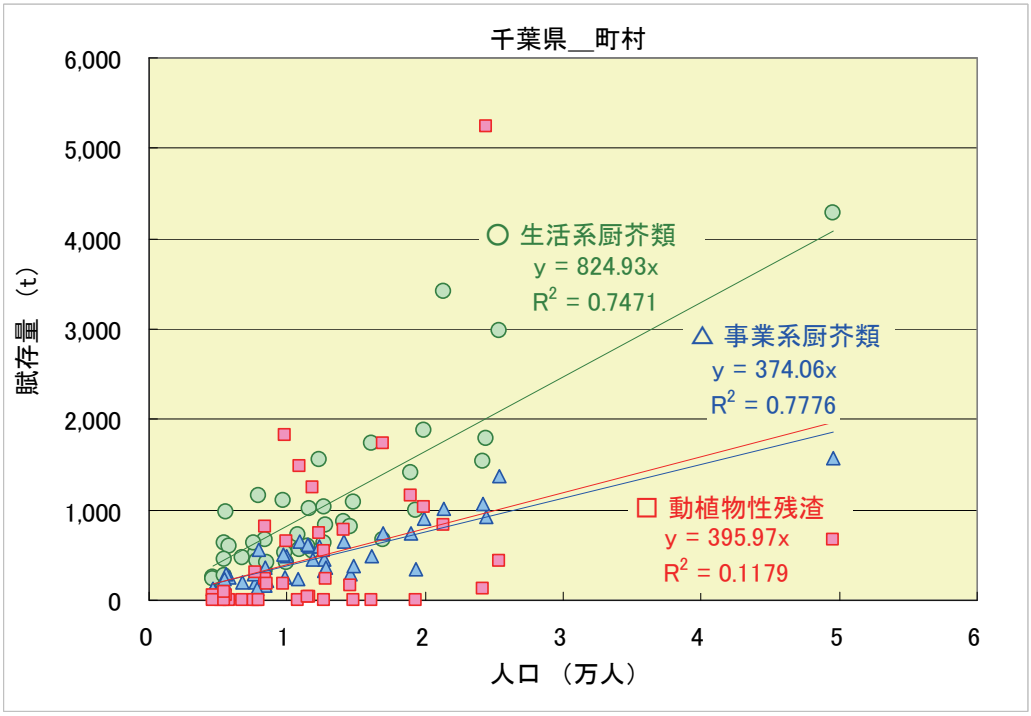


図2.4.3-5　人口と賦存量の関係（千葉県町村部）

2.4.4　食品産業の物質移動

独立行政法人食品総合研究所の宮竹氏らは、官庁統計などの既存データを用いて食品産業の物質フローを解析している。

物質フロー図は、「域内」、「域外」、「食品製造業」、「食品流通業」、「外食産業」、「人間（消費）」および「環境（食品廃棄物）」の７つのコンパートメントから構成され、次の要領でそれぞれの物量（移入、移出）を推定している。

①　農畜水産物の生産量と重量単価の把握（農林水産統計年報のデータを使用）

②　「モノ」の流れの把握

都道府県の産業連関表に基づいて各食品産業への投入金額を算出し、重量単価（例えば食料品1t当たり238,095円に設定）から物量へ変換する。

③　調査データによる物質フローの推計

産業連関表では把握できない物質（例えば食品廃棄物）のフローを各種調査データに基づいて算出する。

1995年の茨城県における食品産業の物質フローを**図2.4.4-1**に示す。食品廃棄物は約69万tで、内訳は食品製造業が約39万t、食品流通業と外食産業がそれぞれ4万t弱、家庭ごみ

が23万tと推計されている。食品製造業からの廃棄物が全体の56%と多くを占めている。

この手法によれば、既存統計を用いて各都道府県レベルの食品物質フローを推定し、食品製造と食品廃棄物のフローの実態を明らかにできることを示している。なお、本法によれば生産物の移動量と廃棄物の発生量は推定できるものの、廃棄物の再資源化率を推定するまでに至っていない。再資源化の量的ポテンシャルを把握するためには、廃棄物のフローまで調査対象を拡張して、廃棄物の発生から再資源化に至る物質移動量を推計できる手法の開発が望まれる。

,

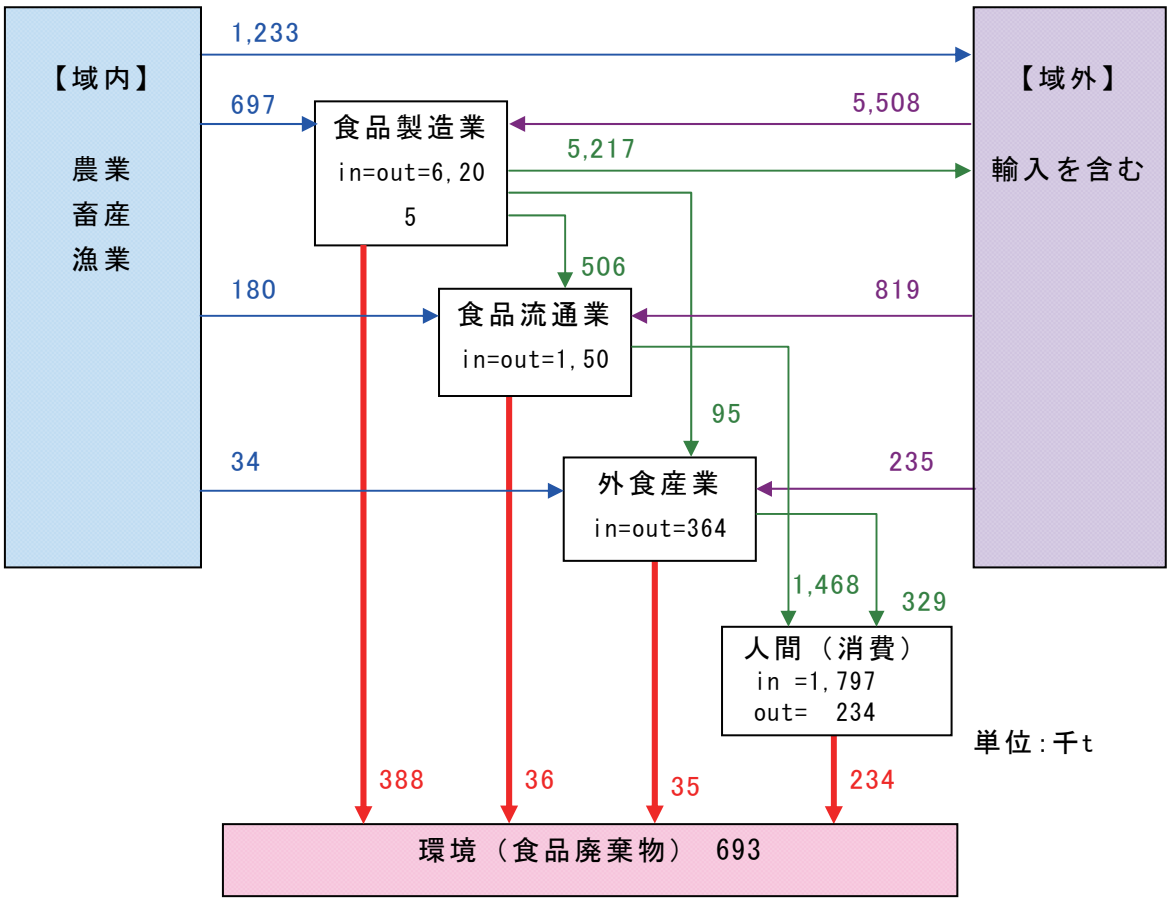


図2.4.4-1　茨城県における食品産業の物質移動（1995年）

出典：農村工学研究所「バイオマス利活用システムの設計と評価」

2.4.5　食品廃棄物の再生利用状況

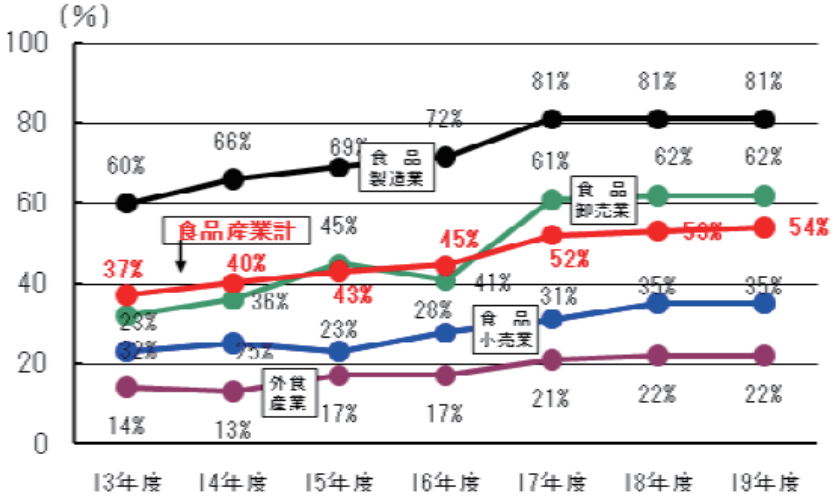
農林水産省は、生活系厨芥を除く食品廃棄物について、食品循環資源の再生利用等実態調査を行っている。2007年度（平成19年度）の調査結果を以下に示す。

1)　食品循環資源の再生利用等実施率

食品リサイクル法では「食品循環資源の再生利用等」として、①食品廃棄物等の発生抑制、②食品循環資源の再生利用、③熱回収、および④食品廃棄物等の減量が定義されている。

平成13年度から平成19年における食品産業全体の再生利用等実施率は37%から54%に

上昇しており、食品リサイクル法制定の効果が表れている。平成19年度を個別に見ると、食品製造業81%、食品卸売業62%、食品小売業35%および外食産業22%と、食品流通の川下ほど実施率が低下している。これは、食品廃棄物の形態が少量分散型になるとともに、多種多様な食品廃棄物が混在し、その結果、肥料や飼料に再生する際に均質性が低下して再生利用しにくくなるためである。家庭系厨芥類に対しては、一部の自治体では堆肥化等に取り組んでいるものの全国的に普及していないのが現状である。



資料：「食品循環資源の再生利用等実態調査報告」(農林水産省統計部)により計算

図2.4.5-1　食品循環資源の再生利用等実施率の推移

出典：農林水産省ホームページ

2)　再生利用の用途別仕向割合

食品産業全体の用途別仕向割合は、肥料46%、飼料43%、油脂7%、メタン4%となっている。肥飼料化が89%と大部分を占める。

表2.4.5-1　食品循環資源の再生利用等の実施率（平成19年度）

	年間発生量（千t）	業種別実施率目標（%）	再生利用等の実施率(%)							
				発生抑制（%）	減量（%）	再生利用（%）	(用途別仕向量)			
							肥料	飼料	油脂	メタン
食品製造業	4,928	85	81	5	3	73	41	50	3	6
食品卸売業	736	70	62	4	1	56	69	23	7	—
食品小売業	2,630	45	35	4	2	30	67	26	7	—
外食産業	3,048	40	22	3	2	15	28	31	40	—
食品産業計	11,343	—	54	4	3	47	46	43	7	4

資料:「平成19年食品循環資源の再生利用等実態調査報告」(農林水産省統計部)より計算

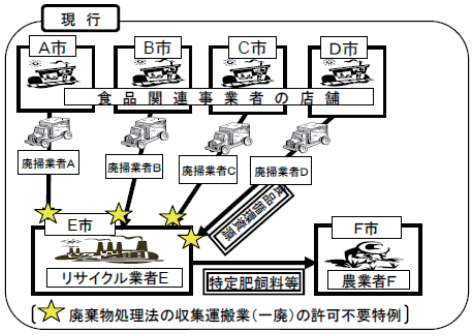
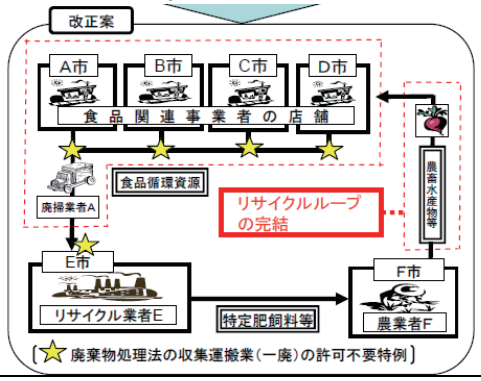
出典：農林水産省ホームページ

3)　食品リサイクル法の改正

食品関連事業者の中で、食品小売業、外食産業の食品流通の川下ほど再生利用が進ん

でいない。このような現状に対して2007年に「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」（食品リサイクル法）の改正が行われた。法改正の概要を**表2.4.5-2**にまとめる。

表2.4.5-2　食品リサイクル法の改正の概要

	食品リサイクル法 （平成13年5月施行）	改正食品リサイクル法 （平成19年12月施行）
趣旨	食品廃棄物の発生抑制と減量化により最終的に処分される量を減少させるとともに、飼料や肥料等の原材料として再生利用するため、食品関連事業者（製造、流通、外食等）による食品循環資源の再生利用等を促進する。	法施行後、一定の効果を上げているが、食品産業の「川下」に位置する小売業、外食産業の取組が低迷している。 これらの食品関連事業者に対する指導監督の強化と再生利用等の取組の円滑化措置を講ずる。
基本方針の策定等	主務大臣は、食品資源循環の再生利用等を総合的かつ計画的に推進するため、基本方針を定める。 再生利用等：再生利用、発生抑制、減量（乾燥、脱水等）	・再生利用等に、熱回収を加える。 （再生利用が困難な場合であって、食品循環資源を焼却して得られる熱を電気等のエネルギーとして高い効率で利用する場合に限定される）
食品関連事業者による再生利用等の実施	①食品関連事業者は、主務大臣が定める再生利用等の基準に従い、再生利用等に取り組むものとする。 ②主務大臣は、食品関連事業者に対し、必要があると認めるときは、指導、助言を行うことができる。 ③主務大臣は、再生利用等が基準に照らして著しく不十分であると認めるときは、食品関連事業者（発生量が一定量以上のもの）に対し、勧告、公表及び命令を行うことができる。	・食品廃棄物等の発生量が一定規模（年間100t）以上の食品関連事業者は、毎年度、主務大臣に定期報告を行う措置を創設。 ・フランチャイズチェーン事業を行う食品関連事業者の食品廃棄物等の発生量に、その加盟者において生じる発生量を含めて多量発生事業者であるかを判定する。
再生利用を促進するための措置	①食品循環資源の肥飼料化等を行う事業者についての登録制度を設け、委託による再生利用を促進する。この場合、廃棄物処理法の特例等（運搬先の許可不要、料金の上限をやめ事前の届出制を採用、差別的取扱いの禁止）及び肥料取締法・飼料安全法の特例（製造・販売の届出不要）を講ずる。	
	②食品関連事業者が、肥飼料等製造業者及び農林漁業者等と共同して、再生利用事業計画を作成、認定を受ける仕組みを設け、計画的な再生利用を促進する。この場合、廃棄物処理法の特例等及び肥料取締法・飼料安全法の特例を講ずる。 	再生利用事業計画（食品廃棄物由来の肥飼料により生産された農畜水産物を食品関連事業者が引き取る計画）が主務大臣の認定を受けた場合、一般廃棄物に係る収集運搬の許可を不要とする。 

出典：農林水産省ホームページ

主な改正点は以下の3点である。

① 食品関連事業者に対する指導監督の強化

食品廃棄物等の多量発生事業者（年間100t以上）に対して、食品廃棄物等の発生量及び再生利用等の状況に関する定期報告を義務づける。また、フランチャイズチェーン事業を行う食品関連事業者の食品廃棄物等の発生量に、加盟者の発生量を含めて多量発生事業者であるかを判定する。

② 食品関連事業者の取組の円滑化

食品廃棄物由来の肥飼料を利用して生産された農畜水産物を食品関連事業者が引き取る『再生利用事業計画』が主務大臣の認定を受けた場合、食品廃棄物の収集・運搬について、一般廃棄物に係る廃棄物処理法上の許可を不要とする。

③ その他

再生利用等の手法に「熱回収」を追加する。

②の再成利用事業計画制度は、食品関連事業者が排出した食品廃棄物を肥飼料等に再生し、これを利用した農畜水産生産品を食品関連事業者が使用する取り組みである。認定事業の一部を**表2.4.5-3**に示す。

この制度によりリサイクルループが形成され、食品廃棄物の資源循環の円滑化が期待できる。

表2.4.5-3　再生利用事業計画認定の一部

食品関連事業者	特定肥飼料等製造業者	特定肥飼料等の利用者	再生利用の内容	認定年月日
ユニー㈱	ヒラテ産業(有)	愛知県経済農業協同組合連合会	食品残渣の肥料化	2007.1.26
イオン㈱	(有)ブライトピック千葉	(有)ブライトピック千葉 (有)ブライトピック	食品残渣の液体飼料化	2008.5.30
小田急電鉄㈱ 小田急商事㈱ ㈱小田急百貨店	㈱小田急ビルサービス	朝霧ヨーグル豚販売協同組合 ㈱あずみ野エコファーム (有)亀井畜産	食品残渣の液体飼料化 (リキッド発酵飼料)	2008.9.4

2.4.6　まとめ

NEDO『バイオマス賦存量/利用可能量』データベースに基づいて、食品廃棄物の賦存量および利用可能量を調べた。次に、農林水産省の統計や資料に基づいて、再生利用の用途と食品リサイクルの動向を調べた。結果を以下にまとめる。

1)　人口と食品廃棄物賦存量の関係

(1)　大都市、中都市

・生活系厨芥および事業系厨芥は、人口が多いほど賦存量が多い。

・動植物性残渣は、人口との相関性が低い。

・関東圏の場合、生活系厨芥と事業系厨芥は人口集中地域での賦存量が多いのに対し、動植物性残渣は大都市周辺の市町村での賦存量が多いという特徴が見られる。

(2)　市町村（千葉県を例にとって）

・人口が多いほど、生活系厨芥と事業系厨芥の賦存量が多い。

・動植物性残渣の賦存量は市町村の差が大きく、人口との相関性は認められない。

2) 食品産業の物質移動

食品総合研究所の宮竹氏らは、既存統計を用いて農畜水産物→食品製造→流通→消費→廃棄物までの物質移動量を推計できることを示している。ただし、食品廃棄物の再生利用等の地域間移動量は調査対象外である。

3) 食品廃棄物の利用状況

利用率は、動植物性残渣79%、事業系厨芥類31%、生活系厨芥類0.3%と推計された。

動植物性残渣の利用率は高く再資源化は進んでいる。一方、事業系厨芥と生活系厨芥の利用率はさほど高くなく、特に生活系厨芥はほとんど利用されていない。理由は、ごみの発生場所が点在して発生量も少ないため収集に手間がかかること、さらに、内容物が多種多様で食物以外の異物も混入しており、品質の安定した肥料や飼料を製造するための原料として利用しにくいためである。

4) 再生利用の用途

主な用途は、肥料、飼料、油脂、メタンで、肥飼料化が全体の約9割を占める。

5) 食品リサイクル法の動向

・食品関連事業者の中で、食品卸業や外食産業の食品流通の川下ほど再生利用が進んでいなかった。この状況を改善すべく、2007年に食品リサイクル法が改正された。

・改正では、民間業者が再成利用事業計画に参画しやすくなるように制度の見直しが行われた。これは食品循環資源のリサイクルループの形成推進を意図している。

6) 今後の課題

① 食品廃棄物の賦存量

NEDOデータベースにより、食品廃棄物の賦存量の地域性を把握できた。

・食品卸業、小売業および外食産業から排出される事業系厨芥と、一般家庭から排出される生活系厨芥の賦存量は、地域の人口に比例する。

・食品製造業から発生する動植物性残渣の賦存量は、人口との相関性は認められない。関東地区を例に挙げると、大都市よりも賦存量の多い市町村が千葉県や茨城県等の周辺地域に偏在している。

② 食品廃棄物の再生利用

食品関連事業者のうち、食品製造業の再利用は進んでいる。一方、卸売業・小売業・外食産業の事業系厨芥類の利用可能量は450万t程度あり、再利用はさほど進んでいない。生活系厨芥の利用可能量は約1,000万tと大量であるにも関わらず、ほとんど利用されていない。

食品産業全体の食品循環資源の利用率の向上のためには、事業系厨芥と生活系厨芥の再利用の促進が重要である。そのためには、次の課題を解決する必要があると考える。

・発生場所が多く、発生量が少ない。
→効率的な収集、運搬

・多種多様の内容物を含んでおり、成分がばらつく。
→成分のばらつきに依存しない処理技術の確立

・再生利用品の品質低下を招く異物が混入している。
→分別回収の徹底、異物除去技術、異物を含んだ状態での処理技術
・輸送を含めた処理コストの低減

2.5 農作物非食部

2010年に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」において、稲わら、もみ殻等の農作物非食部は、「2020年にすき込みを除いた利用率を約45%（すき込みを含めた利用率は約90%）まで拡大することを目指す」としている。

現在、稲わら、もみ殻等の農作物非食部は、年間約1,400万tが発生しており、そのうち約85%が利用（すき込み含む）されている。すき込み以外の利用方法は、たい肥、飼料、畜舎敷料、燃料等で全体の約30%を占め、稲わらの農地へのすき込みが残りの55%を占めている。農地へのすき込みは、土壌が有する炭素貯留量を増加させることにより、地力増進のみならず、地球温暖化の防止に貢献するものであるが、同推進計画では、すき込みからたい肥、飼料、燃料等への転換を進めるものとしている。

ここでは転換目標の一つである、燃料利用を念頭においた場合の課題を調査した。

2.5.1 バイオマス利活用の課題

木質系バイオマスや家畜糞尿を利用したバイオマスプラントは多数建設されており、2005年時点で86施設が存在することが（財）電力中央研究所の井内氏により報告されている。さらに井内氏は、プラント建設費は補助金制度の活用等より事業者負担が少なくて済むが運用段階では補助金が期待できないこと、バイオマス燃料調達コスト高、処理過程で必要となる薬品やメンテナンス費用が増大すること、熱や電力の需要先が得られない、低価格での供給となるなど、事業の黒字化に向けて苦戦しているプラントが多いことを指摘している。これらのことから、事業の円滑な運営において重要な視点として次の点を挙げている。

- 燃料となるバイオマスを安定的にかつ低価格で購入する仕組み構築
- 直接燃焼や生物・熱化学的変換により生成された商品としての電力・熱をどこに、どのような方法で供給するかの検討を十分にしておくこと

即ち、バイオマスの「入口」部分となるバイオマス資源収集・運搬コストの最小化、そして「出口」に当たる発生エネルギーのマーケット対応・販売力を十分に検討しておくことが重要であるとしている。

2.5.2 農作物非食部のエネルギー利用

稲わら、もみ殻等の農作物非食部の燃料利用としては、エタノールプロセスでの利用もあるが、バイオマス燃料ボイラ利用が主流と考えられる（**図2.5.2-1**）。長野県信濃町等においても、地域の燃料源として利用されている事例がある（**図2.5.2-2**）。

以下では、稲わら、もみ殻等の農作物非食部の収集・運搬に係わる課題とそれらを燃料利用する場合の課題について調査した。

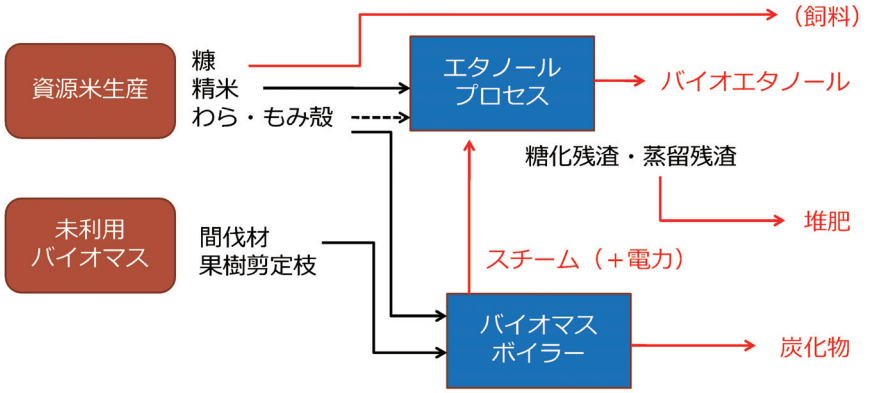


図2.5.2-1　地産地消バイオリファイナリーにおける稲わら、もみ殻の利用

出典：望月和博、バイオエネルギーとバイオマスリファイナリー、東京大学エネルギー工学連携研究センター設立記念講演会資料、2008.1.16

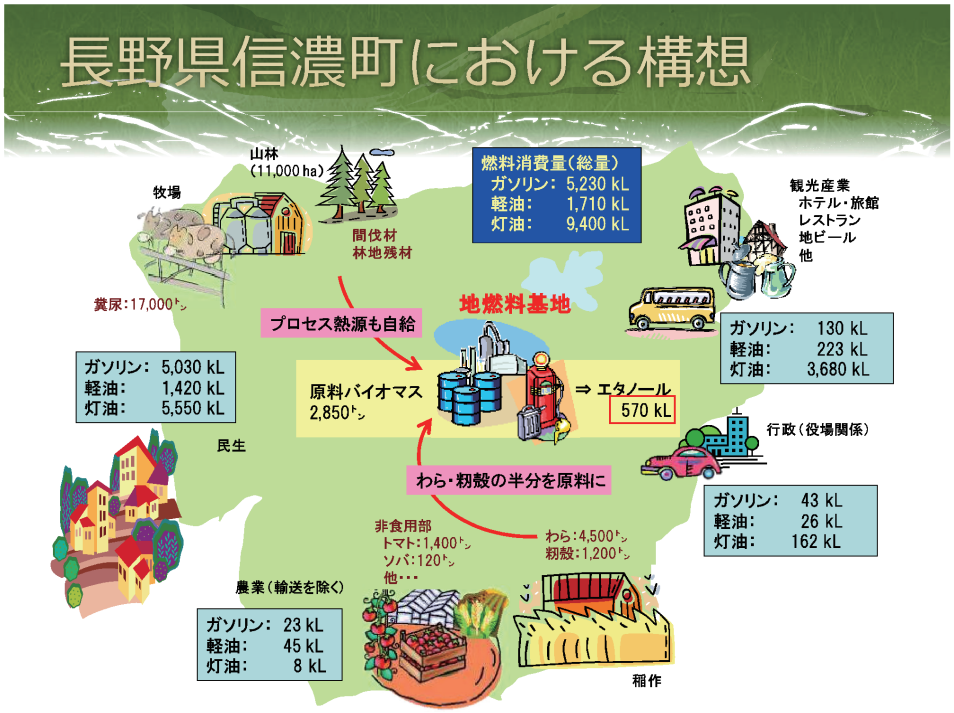


図2.5.2-2　長野県信濃町における稲わら、もみ殻の利用事例

出典：望月和博、バイオエネルギーとバイオマスリファイナリー、
東京大学エネルギー工学連携研究センター設立記念講演会資料、2008.1.16

2.5.3　農作物非食部の賦存量と利用可能量

燃料利用が可能な対象バイオマスとして、稲わら、もみ殻及び麦わらを抽出し、NEDOデータベースを基に利用可能量（2006年）を整理･算定した。

1)　稲わら

(1)　賦存量の算出方法

稲わらの賦存量は、農林水産省統計情報部が公表している「農林水産関係市町村別データ(年産)」(農林水産省大臣官房統計部)に記載されている市町村別水稲、陸稲の

作付面積（1,674千ha）に稲わら発生原単位(5,410kg/ha)を乗じる方法（下式）で算出されている。また、利用可能量は前述のNEDOエクセルデータの賦存量合計である9,196千tを基にして算出されている。

稲わら賦存量(t/年)＝水稲・陸稲の作付面積(ha)×5,410(kg/ha)÷1,000

(2) 利用可能量の算出方法

稲わらの利用可能量は、**表**2.5.3-1に示した用途別利用状況(2001年出来秋分)より「飼料用」、「敷料用」、「堆肥用」、「加工用」等の積極的な利用を除いた、すき込み・その他：6,888千t(74.9%)の消極的利用から算出（下式）されている。即ち、賦存量=利用量＋利用可能量となっている。そのため、稲わらの利活用率を捉えるためには、その他の内訳が何かということ、そしてそこに未利用量が含まれているか、あるいは賦存量自体がもっと大きな量で未利用量が別途存在するかを調査する必要がある。

稲わら利用可能量(t/年)＝賦存量(t/年)×利用可能量割合(すき込み・その他：74.9%)

表2.5.3-1 国産稲わらの用途別利用状況(2001年出来秋分)

用途	賦存量（千t）	利用割合（%）	利用量;推定数量(千t)	利用可能量（千t）
すき込み･その他	9,196	74.9	－	6,888
飼料用		12.1	1,113	－
敷料用		4.7	468	－
加工用		1.1	101	－
堆肥用		7.2	662	－
合計		100	9,196	

2) もみ殻

(1) 賦存量の算出方法

もみ殻賦存量は、平成16年市町村別収穫量から平成16年産水稲収量構成要素（全国農業地域別・都道府県別）粗玄米粒数歩合・玄米粒数歩合を用いて全もみ量を推計し、この値にもみ殻発生量を乗じて算出している。なお、玄米収穫量やもみ殻の発生量は作付品種や気象条件等により毎年変化する。このためNEDOデータベースでは、従来の全国一律の原単位ではなく都道府県ごとに原単位を設定している。

(2) 利用可能量の算出方法

農林水産省推計日本における主要なバイオマスのフローに掲載されているもみ殻の利用状況によると、日本全国のもみ殻産出量は208万t、そのうち67%はマルチ、床土代替、暗渠資材、畜舎敷料、堆肥、くん炭に利用されている。この点から、残りの37%(燃料、焼却その他・不明)を利用可能量として推計（下式）されている。

一方、農林水産省推計日本による産出量は合計2,080千tであり、前述のNEDOの県

別エクセルデータの賦存量合計は1,263千tと大きな差があるが、ここではNEDOデータを基にした利用可能量等を示した。

これらの差が生じている理由、および用途のその他等について稲わら同様に調査が必要である。

もみ殻利用可能量(t)＝もみ殻賦存量(t)×37%

表2.5.3-2　もみ殻の用途別利用状況(2001年作物統計)

用途	賦存量（千t）	利用割合（%）	利用量;推定数量(千t)	利用可能量（千t）
その他･不明	1,263	21.6	－	462 (=273+13+176)
燃料		1.0	－	
焼却		13.9	－	
マルチ		5.3	67	－
床土代替		3.9	49	－
暗渠資材		7.7	97	－
畜舎敷料		20.7	261	－
堆肥		21.6	273	－
くん炭		4.3	54	－
合計		100	1,263	

3)　麦わら

(1)　賦存量の算出方法

2004年度の小麦・六条大麦・二条大麦・裸麦の作付面積の和に麦わらの発生原単位を乗じることで、市町村単位の麦わらの賦存量（下式）が算出されている。

麦わら賦存量(t/年)Mt＝(w+rb+nb+r+h)×3.0(t/ha)

w：小麦作付面積

rb：六条大麦作付面積

nb：二条大麦作付面積

h：裸麦作付面積

発生原単位：3t/ha 出典：三重県(2004)

(2)　利用可能量の算出方法

麦わら利用状況を**表2.5.3-3**に示す。農林水産省(2002)循環型社会形成に関する取組について.中央環境審議会循環型社会計画部会ヒアリング資料によると、日本全国の麦わらの発生量は91万t、うち66%が再利用、34%(その他・焼却)が未利用である。NEDOデータベースでは、この未利用分の割合を用いて麦わらの利用可能率が推定されている。但し、農林水産省(2002)循環型社会形成による麦わら発生量は910千t、前述のNEDOの県別エクセルデータの賦存量合計は806千tと幾分の差があるが、ここではNEDOデータを基にした利用可能量等を示した。

表2.5.3-3　麦わらの用途別利用状況

用途	賦存量（千t）	利用割合（%）	利用量;推定数量(千t)	利用可能量（千t）
すき込み	806	36	290	－
堆肥･敷料		30	242	－
焼却		24	－	274 (=193+81)
その他		10	－	
合計		100	806	

出典：　農林水産省(2002)循環型社会形成に関する取組について
中央環境審議会．循環型社会計画部会.ヒアリング資料

2.5.4　都道府県別の賦存量と利用可能量

都道府県別の稲わら、もみ殻及び麦わらの賦存量と利用可能量およびその合計量を算出した集計結果を**表2.5.4-1**に示す。また、収集効率を念頭において、その集計結果を都道府県単位の分布密度（合計量を都道府県面積で除した値）の大きい順で整理した。その結果、最も高密度で分布する県が佐賀県、第二位が茨城県、第三位が岩手県となった。

2.5.5　農産物非食部の収集・運搬に係わる課題

1)　稲わら、もみ殻及び麦わら等の収集・運搬

稲わら、もみ殻及び麦わら等をバイオマス資源として利用する際の運搬、移送情報は十分に整備されていない。ネット情報において運搬コストに関する情報は散見されるが、運搬動態に関する情報は限られている。

ここでは、井内氏による調査結果を抜粋する。

- 農業生産廃棄物は排出量が多いが、その処理は農地還元（すき込み等）、自己処分（焼却等）が主流である。
- 現在の稲刈り機械は、稲を刈り取る→もみとわらの分別→わらはカッターで粉砕→田んぼに排出する機能となっており、わら自体の回収が困難である。
- 農家から発生するもみ殻は、田畑に散布あるいは野焼きされて回収率が低い。
- 稲わら等は密度が薄いために、輸送効率を高めるために、チップや固形化等を行うことが望ましいが、調査事例の 66%が発生した時と同じ形状・量のまま運搬されている。
- 農業系有機廃棄物のバイオマス施設への搬出事例調査では、発生場所（水田、農家、カントリーエレベーター・ライスセンター・精米所、果樹園等）からの輸送の主体は、排出者（ケース 1)、バイオマス施設から委託を受けた収集・運搬業者（ケース 2)、バイオマス施設従事者（ケース 3）であり、農業系有機廃棄物に係わる事例 10 件における内訳はそれぞれ 3 件、6 件及び 1 件である。
- 井内氏が調査対象とした 86 事例におけるバイオマス収集・運搬ルートについて、

上記の 3 ケースの採用状況は、ケース 1 が 36%、ケース 2 が 25%及びケース 3 が 25%である。

表2.5.4-1　農産物非食部の都道府県別の賦存量と利用可能量　　【単位；t】

県名	面積	人口('10.4.1)	稲わら		もみ殻		麦わら		合計量		分布密度	
	km^2	人	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	t/km^2	t/人
佐賀県	2,440	852,825	158,383	118,629	34,350	12,710	64,745	21,987	257,478	153,326	63	0.18
茨城県	6,096	2,967,404	441,748	330,869	67,648	25,030	33,379	11,336	542,775	367,235	60	0.12
岩手県	5,157	6,183,743	326,759	244,742	32,728	12,109	11,691	3,876	371,178	260,728	51	0.04
栃木県	6,408	2,010,732	375,108	280,956	38,867	14,381	46,019	15,620	459,994	310,957	49	0.15
宮城県	7,286	2,340,029	428,715	321,108	47,269	17,490	9,554	3,143	485,539	341,740	47	0.15
埼玉県	3,797	7,170,362	202,610	151,755	19,381	7,146	23,744	8,007	245,735	166,908	44	0.02
福岡県	4,977	5,066,856	227,626	170,492	48,791	18,053	58,459	19,803	334,876	208,348	42	0.04
富山県	4,248	1,095,217	221,112	165,613	15,686	5,804	4,410	1,480	241,209	172,897	41	0.16
滋賀県	4,017	1,402,132	189,891	142,228	32,003	11,841	22,600	7,671	244,494	161,740	40	0.12
新潟県	12,584	2,383,650	648,670	485,854	45,092	16,684	1,905	410	695,667	502,948	40	0.21
香川県	1,877	1,000,169	83,493	62,536	15,229	5,635	6,778	2,272	105,499	70,442	38	0.07
秋田県	11,636	1,097,626	507,188	379,883	52,952	19,592	812	151	560,952	399,627	34	0.36
山形県	9,644	1,382,637	382,471	286,471	33,705	12,471	109	−135	416,285	298,807	31	0.22
福井県	4,190	808,589	152,784	114,435	16,540	6,120	14,057	4,753	183,381	125,308	30	0.15
千葉県	9,323	1,179,964	341,420	255,723	47,108	17,430	2,489	602	391,017	273,756	29	0.23
愛知県	5,165	7,417,098	170,182	127,467	30,255	11,194	17,164	5,565	217,602	144,226	28	0.02
石川県	4,186	1,166,656	139,280	104,321	20,189	7,470	3,787	1,255	163,257	113,046	27	0.10
熊本県	7,406	1,815,985	228,675	171,278	43,071	15,936	19,834	6,651	291,581	193,865	26	0.11
福島県	13,783	2,042,816	444,572	332,985	47,548	17,593	1,464	201	493,585	350,778	25	0.17
三重県	5,777	1,862,575	174,743	130,883	27,795	10,284	16,534	5,509	219,072	146,676	25	0.08
岡山県	7,113	1,943,655	190,075	142,366	29,395	10,876	8,283	2,737	227,753	155,979	22	0.08
兵庫県	8,396	5,588,359	217,060	162,578	33,255	12,304	6,233	1,974	256,548	176,856	21	0.03
大分県	6,340	1,197,220	141,699	106,132	30,061	11,123	14,653	4,969	186,413	122,224	19	0.10
山口県	6,114	1,456,800	133,135	99,718	20,131	7,449	2,519	731	155,785	107,898	18	0.07
鳥取県	3,507	591,150	77,558	58,091	8,474	3,135	284	31	86,315	61,257	17	0.10
長崎県	4,106	1,432,236	78,229	58,593	15,834	5,859	5,869	1,844	99,931	66,295	16	0.05
青森県	15,279	1,340,852	290,198	217,358	53,097	19,646	7,210	2,300	350,505	239,304	16	0.18
京都府	4,613	2,631,441	89,898	67,334	10,389	3,844	1,041	196	101,328	71,373	15	0.03
徳島県	4,147	789,269	76,292	57,143	12,775	4,727	264	−69	89,331	61,801	15	0.08
大阪府	1,898	8,840,372	34,727	26,010	4,575	1,693	−430	−430	38,872	27,273	14	0.00
島根県	6,363	2,006,903	112,387	84,178	16,253	6,014	1,394	408	130,034	90,600	14	0.05
広島県	8,479	2,866,571	147,352	110,367	21,852	8,085	116	−86	169,320	118,366	14	0.04
愛媛県	5,678	1,437,549	87,090	65,231	16,358	6,052	6,347	2,112	109,795	73,395	13	0.05
鹿児島県	9,189	1,711,746	140,887	105,525	24,213	8,959	124	−268	165,224	114,215	12	0.07
宮崎県	7,735	1,132,768	117,267	87,833	18,585	6,876	74	−100	135,926	94,609	12	0.08
静岡県	6,708	720,112	99,896	74,830	13,899	5,143	3,162	917	116,957	80,889	12	0.11
奈良県	3,691	1,400,951	53,175	39,828	10,383	3,842	63	−196	63,621	43,473	12	0.03
長野県	13,562	2,160,602	196,264	147,002	23,546	8,712	6,393	1,817	226,203	157,531	12	0.07
岐阜県	10,621	2,086,590	142,456	106,700	25,233	9,336	7,881	2,561	175,570	118,596	11	0.06
群馬県	7,780	3,787,982	104,218	78,059	14,261	5,277	28,951	9,751	126,338	80,418	10	0.02
北海道	78,420	5,517,449	649,469	486,490	122,840	44,972	348,139	117,938	1,120,448	649,400	8	0.12
高知県	7,105	767,520	74,182	55,562	8,411	3,112	−307	−349	82,286	58,326	8	0.08
和歌山県	4,726	1,005,710	42,225	31,627	6,999	2,590	−390	−390	48,834	33,826	7	0.03
神奈川県	2,416	9,005,176	17,999	13,481	1,945	720	−103	−200	19,841	14,001	6	0.002
山梨県	4,465	869,132	29,755	22,287	3,841	1,402	−55	−204	33,541	23,485	5	0.03
沖縄県	2,276	1,385,725	5,857	4,417	387	118	−410	−430	5,834	4,105	2	0.003
東京都	2,188	12,988,797	1,261	944	131	48	−183	−240	1,208	752	0.3	0.0001
合計			9,196,040	6,887,909	1,263,332	466,885	806,656	267,478	11,244,936	7,609,602		

2)　収集・運搬コストと採算性

バイオマスエネルギー利用における収集・運搬コストは、現状のエネルギー効率においては、300～500円/t以下が採算ラインであると言われている。これは、バーク類についての調査事例において、運搬距離とコストの関係は、資源発生地から1～3km以内の場合で300円/t、3km以上で既存の運搬ルートが確保されていない場合には1,000円/t

となり、この想定条件においては、1～3km以内の場合だけが事業採算性を確保できると言う報告によるものである。

一方、デンマークや英国においては、発電所で受け入れてエネルギー利用がなされている。受け入れ価格の調査によれば、デンマークでは石炭の2～3倍の価格でわらが受け入れられている。しかし、木材チップとの比較で言えば、容積重量が木材チップ（0.5AD-t/m³；AD=空気乾燥）より大きく（0.16t/m³）、発熱量は木材チップより小さいため（木材チップが15GJ/AD-tに対し稲わらは12.15GJ/AD-t）、実質的な輸送コストが木材チップより相当嵩んでいる実状もあるようである。

3) 収集・運搬に関する課題

バイオマス資源の収集・運搬の課題として次のような点が指摘されている。

① 発生者が輸送している事例が 3 分の 1 を占め、発生者側の事情でバイマス受け入れ量に変動が生じる。

② 既存の廃棄物運搬ルート（廃棄物処分場、堆肥施設等への運搬）を活用することが難しく、新規にルートを設定せざるを得ない事例が多い。

③ 汎用の輸送車両ではかさ密度が大きいバイオマスに適せず、運送効率化を図るための粉砕・固形化等の中間処理が実施されていない事例が多い。

④ 採算性の合う輸送コストが確保できていない。

2.5.6 燃料利用する場合の検討

稲わら、もみ殻及び麦わら等のバイオマスは生産地区で必ず発生する地域資源である。ところが、上記の調査結果によれば、それらを利活用するシステムが十分整っていない状況にあると推定される。例えば、効率化された農機であるためにわら等の回収が困難であること、受け入れ先が存在しないこと、仮に存在してもそこまでの運搬ルートが整備されていないこと等の課題があることが分かった。

一方、デンマークや英国では、石炭価格よりも高い価格で発電所に受け入れて燃料利用している実績もある。わが国においても同様の制度設計による受け入れ価格の設定や火力発電所での受け入れ可能性について検討しておくことが必要と考えられる。

以下では、火力発電所への搬出を想定し、その場合の課題を検討する。

1) 火力発電所

1都2府43県にそれぞれ所在しているわけではないが国内の火力発電所は全国に点在している。主なものだけでも63施設がある。

2) 茨城県における検討

表2.5.4-1に示した都道府県別の農産物非食部の賦存量と利用可能量において、都道府県単位の分布密度（合計量を都道府県面積で除した値）の大きい順で整理した結果、最も高密度で分布する県が佐賀県、第二位が茨城県、第三位が岩手県であることを示した。佐賀県には松浦発電所があるが、現在稼動を停止している。第二位の茨城県には常陸那珂火力発電があり稼働中である。その点を考慮して、茨城県内及び常陸那珂火力発電周辺の農産物非食部の存量と利用可能量についてNEDOデータを基に算出した値を**表2.5.6-1**に示す。表中の白抜き市町村は、常陸那珂火力発電所から半径約20km圏内の自治体である。また**図2.5.6-1**には、常陸那珂火力発電所位置と半径約20km圏の自治

体の存在状況を示す。

表2.5.6-1　茨城県内市町村における賦存量と利用可能量　【単位；t】

茨城県内市町村	稲わら		もみ殻		麦わら		合計量	
	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量	賦存量	利用可能量
水戸市	22,035	16,504	3,323	1,229	798	271	26,156	18,005
日立市	3,046	2,281	437	162	6	2	3,488	2,445
土浦市	3,982	2,982	607	225	18	6	4,607	3,213
古河市	10,706	8,019	1,526	565	993	338	13,226	8,921
石岡市	13,482	10,098	2,084	771	774	263	16,340	11,132
結城市	7,141	5,349	996	369	861	293	8,999	6,010
竜ケ崎市	11,215	8,400	1,739	643	93	32	13,046	9,075
下妻市	8,737	6,544	1,401	518	1,338	455	11,476	7,517
水海道市	12,346	9,247	1,956	724	1,878	639	16,179	10,609
常陸太田市	15,500	11,609	2,353	870	426	145	18,278	12,625
高萩市	2,294	1,718	313	116	45	15	2,652	1,849
北茨城市	4,885	3,659	715	264	-10	-10	5,590	3,913
笠間市	5896.9	4416.78	859.32	317.95	303	103.02	7059.22	4837.75
取手市	10,230	7,663	1,614	597	45	15	11,889	8,275
牛久市	2,645	1,981	387	143	150	51	3,183	2,176
つくば市	21,137	15,832	3,330	1,232	2,115	719	26,582	17,783
ひたちなか市	6,222	4,660	925	342	198	67	7,344	5,069
鹿嶋市	5,599	4,194	876	324	60	20	6,535	4,538
潮来市	8,629	6,463	1,390	514	84	29	10,103	7,006
守谷市	1,715	1,285	262	97	531	181	2,508	1,562
常陸大宮市	11,269	8,441	1,523	563	408	139	13,200	9,143
那珂市	11,880	8,898	1,649	610	615	209	14,145	9,718
筑西市	33,239	24,896	5,391	1,995	7,392	2,513	46,022	29,404
坂東市	12,513	9,372	1,858	687	489	166	14,860	10,226
稲敷市	33,104	24,795	5,309	1,964	1,773	603	40,185	27,362
かすみがうら	8,553	6,406	1,312	485	48	16	9,913	6,908
桜川市	13,163	9,859	2,041	755	3,423	1,164	18,626	11,778
神栖市	7,168	5,369	1,083	401	252	86	8,503	5,855
行方市	14,196	10,633	2,224	823	381	130	16,801	11,585
茨城町	11,458	8,582	1,817	672	576	196	13,851	9,450
小川町	3,452	2,585	517	191	27	9	3,996	2,786
美野里町	3,251	2,435	462	171	15	5	3,729	2,612
大洗町	1,396	1,045	220	81	9	3	1,625	1,130
城里町	7,120	5,333	929	344	276	94	8,325	5,770
友部町	3413.71	2556.87	499.49	184.81	234	79.56	4147.2	2821.24
岩間町	2964.68	2220.55	431.06	159.49	15	5.1	3410.74	2385.14
東海村	2,261	1,694	314	116	213	72	2,789	1,882
大子町	4,631	3,469	603	223	18	6	5,252	3,698
旭村	1,818	1,362	270	100	-10	-10	2,078	1,451
鉾田町	5,442	4,076	826	306	102	35	6,371	4,417
大洋村	2,153	1,613	325	120	21	7	2,499	1,740
美浦村	4,025	3,015	625	231	114	39	4,765	3,285
阿見町	3,879	2,905	562	208	24	8	4,465	3,121
河内町	12,714	9,522	2,033	752	798	271	15,544	10,546
玉里村	995	746	160	59	6	2	1,162	807
新治村	2,635	1,973	409	152	198	67	3,242	2,192
伊奈町	7,801	5,843	1,252	463	855	291	9,908	6,597
谷和原村	5,518	4,133	889	329	204	69	6,611	4,531
八千代町	6,952	5,207	1,080	400	1,614	549	9,646	6,155
千代川村	3,614	2,707	581	215	444	151	4,639	3,073
石下町	7,736	5,794	1,234	456	393	134	9,363	6,385
五霞町	4,003	2,999	616	228	621	211	5,240	3,438
境町	4,782	3,582	705	261	621	211	6,108	4,054
利根町	5,204	3,898	805	298	504	171	6,514	4,367
県内総量	441,748	330,869	67,648	25,030	33,379	11,336	542,775	367,235
常陸那珂約20km圏内量※	80,728	78,242	15,279	5,653	4,077	1,386	100,084	85,281

※白抜き市町村

その結果、半径約20km圏内で利用可能な農産物非食部の量は、85,281tと茨城県内総量の24%となった。

これらは概算値であり、より詳細な検討を行う必要はあるが、燃料利用を前提とした場合に検討すべき数値であると考えられる。

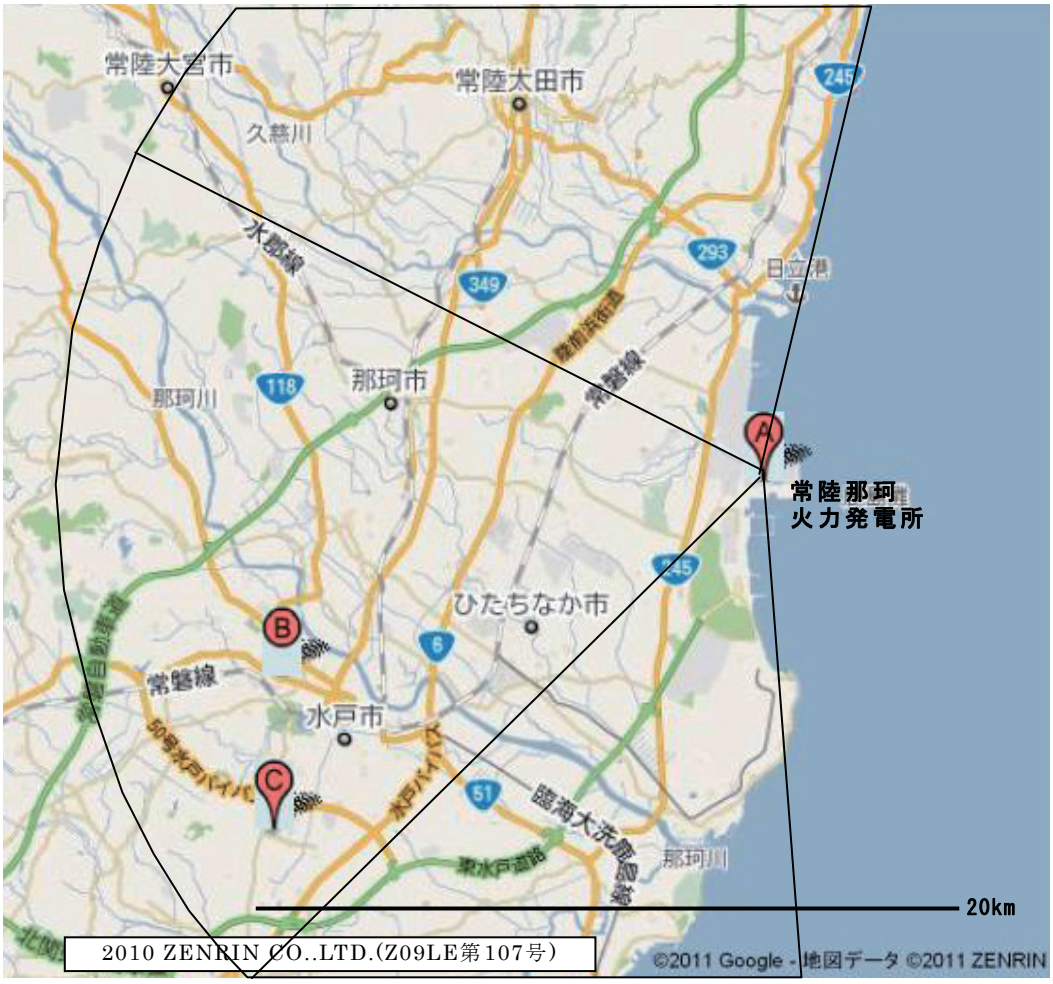


図2.5.6-1　常陸那珂火力発電所の位置と周辺約20km圏

株式会社 奥村組 提供

2.5.7　まとめ

バイオマス資源の円滑な利活用促進においては「入口」と「出口」の整備が重要な要素である。資源の循環を実現するためには、これらを繋ぐ収集・運搬が重要な役割を担っている。

本節では、バイオマス資源として稲わら、もみ殻及び麦わらを対象として、その収集・運搬における課題を中心に調査した。

さらに、これらバイオマス資源密度が高い茨城県を取り上げ、半径20km程度の区域内でどの程度の利用可能量が存在するかをNEDOデータベースから推計した。その際には半径の中心となる利活用施設として火力発電所を想定した。

その結果、概略的な検討に留まるものの、次のような結果が得られた。

①稲わら、もみ殻及び麦わら等の農作物非食部の運搬・収集に関する情報は少ない。

②農作物非食部の収集・運搬上の課題としてかさ密度が大きく運搬効率が悪い。

③収集・運搬コストは、現状のエネルギー効率においては、300～500円/t以下が受け入れ側バイマス施設の採算ラインである。
④茨城県内の利用可能量の24%に相当する85,281tが常陸那珂火力発電所の20km圏内に存在する。

2.5.8 今後の課題

1) データベースに関する課題

NEDOデータベースを基にして農作物非食部の利活用状況とそれらの移動等における課題を調査した。

その結果、NEDOデータベースで定義している賦存量と利用可能量の関係などについては、次のような事項等についてさらに調べる必要があること等が分かった。

① 稲わらの NEDO データベースにおける賦存量は、利用量と利用可能量の和となっているため、賦存量全体に対する利活用率が正確には明らかになっていない。そのため、稲わらの利活用率を捉えるためには、「その他」として分類されている内訳を明らかにすること、また、賦存量自体が 9,196 千tより大きな数量で、未利用量が別途存在するかを調査する必要がある。

② もみ殻については、農林水産省推計日本による産出量は合計 2,080 千 t であり、前述の NEDO の県別エクセルデータの賦存量合計は 1,263 千 t と大きな差がある。ここでは NEDO データを基にした利用可能量等を示したが、これらの差が生じている理由、および用途の「その他等」について稲わら同様に調査が必要である。

③ NEDO のデータベースにおいて用いられている「その他の用途」を明らかにして、「バイオマス活用推進基本計画」の農作物非食部において目標としている「2020 年にすき込みを除いた利用率を約 45%（すき込みを含めた利用率は約 90%）まで拡大することを目指す」ことに寄与する方向性明らかにすることが必要と考えられる。

2) 茨城県内利用を想定した場合の調査課題

ここでは、茨城県内の稲わら、もみ殻及び麦わら等の農作物非食部を火力発電所にて燃料活用することを想定した検討も実施した。その想定の下に今後必要となると考えられる調査課題は以下のような事項がある。これらの点を明らかにすることは、農作物非食部の燃料利用実現性を明確にするためのアプローチの一つと考えられる。

(1) 出口側に係る調査課題

① 燃料利用等の利活用に対して意欲的な取り組みを示す農作物非食部の発生農家が想定収集可能範囲内に一定戸数存在するか？
② 受け入れ先や中間処理施設が存在すれば搬出運搬する意欲はあるか？あるいは収集業者が存在すれば委託する意向があるか？
③ その場合の適正なコストはどの程度か？
④ 稲わらの搬出を容易にするためには農機等の回収機構の改良が必要になるか？

(2) 入口側に係る調査課題

① 火力発電所が燃料利用の受け入れ施設として適切か？
② より適切な受け入れ施設はないか？あるいは競合施設はないか？
③ 受け入れ量として現実的な数量はどの程度か？

④ 受け入れ形態は中間処理等で処理した形態が必須か？
⑤ 受け入れ時の購入コストとして、どの程度まで支払い可能か？
⑥ 発生量の季節変動に対する受け入れ許容度はあるか？

2.6 建設発生木材

2.6.1 建設発生木材について

1）建設発生木材とは

建設発生木材は、建設リサイクル法の対象となっており、新・増築時に発生する廃棄物および解体時に発生する廃棄物の二つに分類される。建設リサイクル法においては、「一定規模以上の建設工事を受注する者は、分別解体等及びこれに伴い生じる特定建設資材廃棄物の再資源化等を行うこと」が義務付けられている。

一定規模とは以下のとおりである。

・建設物の解体工事：床面積の合計が80 m²以上のもの
・建設物の新築・増築工事：床面積の合計が500 m²以上のもの
・建築物の修繕・模様替等（リフォーム等）：請負代金が1億円以上のもの
・その他の工作物に関する工事（土木工事等）：請負代金が500万円以上のもの

「再資源化」および「再資源化等」を次のように定義する。

・「再資源化」とは、資材または原材料として利用することが可能の状態、あるいは熱を得ることに利用することができる状態を指す。
・「再資源化等」とは、再資源化および縮減を指す。縮減とは、特定建設資材廃棄物の中で建設発生木材のみに認められているものであり、焼却、脱水等によって、大きさを減量することを指す。

2） 建設発生木材の現状

建設発生木材は、再資源化施設の不足、再資源化に要するコストと再生資材の販売価格等の問題があり、リサイクルが進んでいない状況である。また、他の建設副産物と異なり、排出者と再生資材の利用者が異なることも要因である。周辺地域の産業の立地状況によってマテリアルリサイクル、サーマルリサイクルと用途が多岐にわたっているのも特徴である。サーマルリサイクルのようにコンスタントに利用されるものから、季節的に利用されるものがあり、再生資材の需給バランスが崩れ、不適正処理に繋がっている事例もある。このことから、コンクリート塊やアスファルト・コンクリート塊と比較して建設発生木材のリサイクル率は低くとどまっている状況である。

2.6.2 建設発生木材の実態調査方法

「建設副産物実態調査」は、建設副産物対策の具体的な政策立案に必要な排出量や再資源化等の動向に関する実態を把握するため、全国の建設工事（公共土木工事、民間土木工事、建築工事（新築・増改修工事、解体工事、修繕工事））を対象に実施している統計調査である。

国土交通省では、関係各位の協力のもと全国の建設工事から発生する建設副産物の再利用状況等に関する「建設部区産物実態調査」を1995年度、2000年度、2005年度と基本的

に5年毎に実施している。本項では、建設リサイクル推進計画の見直し後の実態を把握するために行われた平成20年度副産物実態調査（H20センサス）を用いた。

1)　建設副産物の定義

建設副産物とは、建設工事にともなって副次的に得られる物品であり、建設廃棄物（コンクリート塊、建設発生木材など）および建設発生土（建設工事の際に搬出される土砂）の総称である（**図2.6.2-1**）。

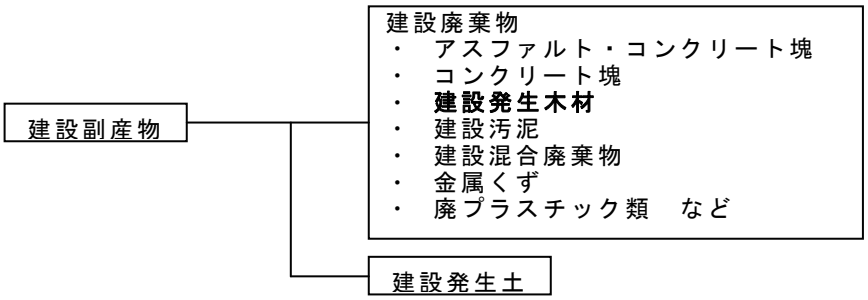


図2.6.2-1　建設副産物

2)　調査方法

(1)　調査実施方法

国土交通省において、各地方ブロック毎に設置されている地方建設副産物対策連絡協議会等(建設副産物の有効利用および再利用等を促進し、建設事業の円滑な推進を図るために、必要な情報の収集・交換を行うことを目的として、全国の各地方ブロック毎に地方整備局等、都道府県、政令市、特殊法人等、建設業団体等を構成員として設置された組織)を通じて、公共工事発注機関、民間公益企業、民間企業の発注工事について、元請業者を対象に調査を実施している。

(2)　調査実施内容

建設副産物実態調査は、以下の2つの調査から構成されている。

(a)　利用量・搬出先調査

建設副産物の再資源化施設等への排出量を推計するための調査である。

発注機関別、工事施工場所別、工事種類別に建設資材のうち再生資材利用の割合・供給元、建設副産物の再資源化の割合・搬出先などを調査している（**図2.6.2-2**）。この調査より、推計後の全体量（場外搬出量など）から各搬出先への搬出量を推計するための割合を算定する。調査票回収工事件数は、約20万件である。

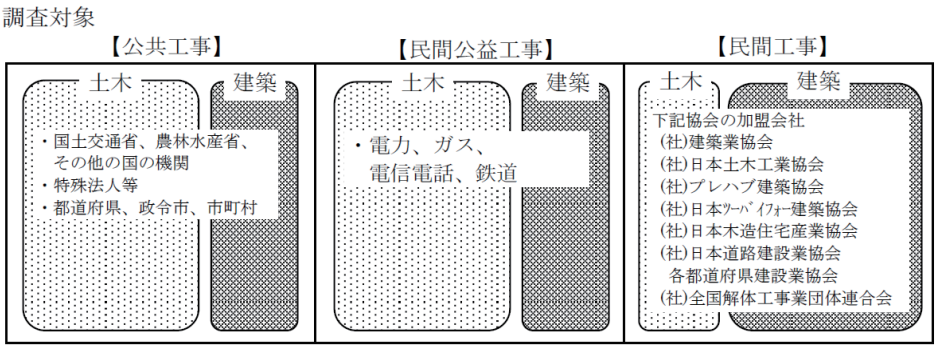


図2.6.2-2　建設副産物実態調査の調査対象

出典：建設副産物実態調査【実施概要】（国土交通省）

(b)　施設調査

再資源化等施設での処理の実態を把握するための調査である。

建設副産物の再資源化施設等の保有業者のリストアップを行い、この施設保有業者に対して、施設の概要等（施設搬入後の処理･処分方法･量等）を調査した（**図2.6.2-3**）。この調査より、再資源化施設等での処理・処分フロー（再資源化率、縮減化率、最終処分率）を算定する。調査票回収工事件数は、約7千件である。建設資材の処理の流れを**図2.6.2-4**に示す。

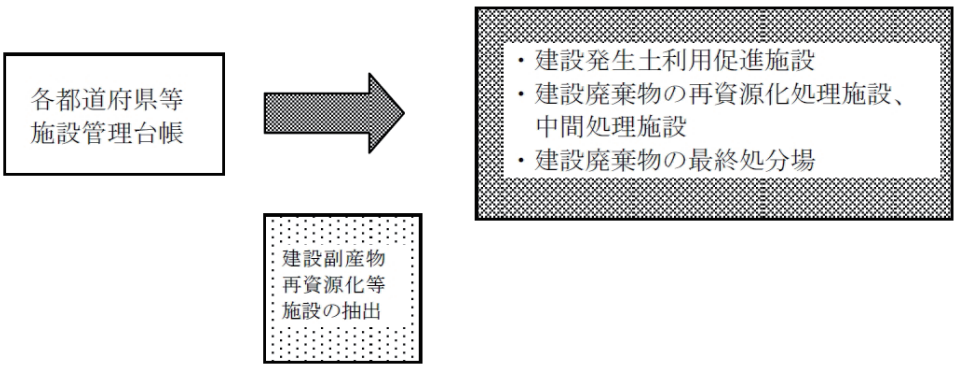


図2.6.2-3　建設副産物実態調査の施設調査

出典：建設副産物実態調査【実施概要】（国土交通省）

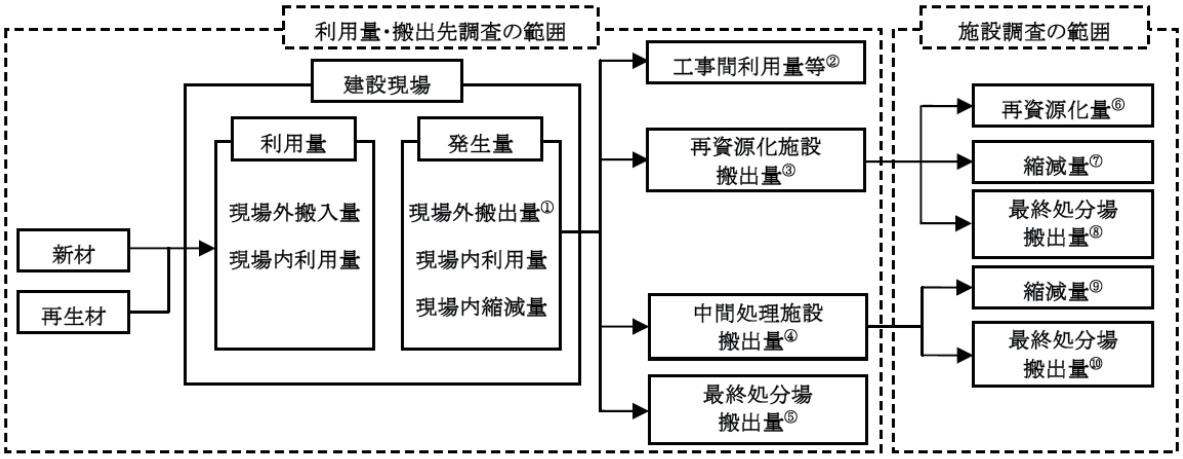


図2.6.2-4　建設資材の処理の流れ

出典：建設副産物実態調査【実施概要】（国土交通省）

(3)　拡大推計について

建設副産物実態調査のとりまとめにおいては、調査により回収したデータを集計

（以下、「単純集計」という。）した後、調査データ回収状況を踏まえて、母集団（注1）に対する補足率（注2）を元に、原単位法（注3）による推計（以下、「拡大推計」という。）を実施している。発注区分別の建設廃棄物排出量の単純集計、拡大推計を**表2.6.2-1**にまとめる。

表2.6.2-1　発注区分別の建設廃棄物排出量の単純集計、拡大推計結果（全国）

（単位：万トン）

建設廃棄物排出量			単純集計結果	拡大推計結果	拡大推計に用いる指標
発注区分	土木	公共土木	2,012	3,105	「公共事業施行対策協議会[注4]」資料による工事契約額
		民間土木	213	541	国土交通省「建設工事受注動態統計調査」による工事額
	建築	新築・増改築	73	1,128	国土交通省「建築物着工統計」による床面積
		解体	200	1,585	国土交通省「建築物除却統計」による除却床面積

出典：建設副産物実態調査【実施概要】（国土交通省）

注1：母集団

拡大推計を行う際に、全体量の指標となる統計データ。公共土木工事は「公共事業施行対策協議会」による工事契約額、民間土木工事は「建設工事受注動態統計調査」による工事額、建築工事は「建築物着工統計」による床面積、解体工事は「建築物除却統計」による除却床面積を母集団としている。

注2：捕捉率

母集団に対するアンケート回収のあった工事額、または延床面積の割合。建設副産物実態調査での回収状況の指標。

注3：原単位法

サンプルによる原単位（一定工事額（または延床面積）あたりの量）が全体の原単位と近似していると仮定して、サンプルから全体量を推計する手法。

全体量＝サンプル原単位×母集団

注4：公共事業施行対策協議会：

公共事業の執行に関し、各執行機関が相互に情報交換を行い事業の円滑な実施に寄与するため、各地法整備局管内に所在する関係機関（農林水産省・経済産業省・厚生労働省・国土交通省の地方支分部局等、特殊法人等、都道府県、政令市）で構成している協議会。

2.6.3 建設発生木材の賦存量、利用可能量

建設発生木材における平成20年度建設副産物実態調査結果を**表2.6.3-1**に示す。全国での建設発生木材の発生量は4,141.5千tのうち、4,098.8千tが場外へ搬出された。この差は、発生した現場内で利用されたためであり、再資源化されたことと同等であるとし、本項では発生量を賦存量とした。各地方ブロック毎の賦存量は、北海道363.0千t、東北地域420.8千t、関東地域1,157.4千t、北陸地域200.0千t、中部地域573.7千t、近畿地域406.1千t、中国地域396.4千t、四国地域102.0千t、九州地域493.7千t、沖縄県28.4千t、である。最も賦存量の多い都道府県は、北海道363.0千t、次いで、愛知県259.3千t、神奈川県266.6千t、東京都229.9千tである。

本データを基に賦存量、利用可能量を以下の計算式を用いて算出した。

・賦存量
　発生量＝賦存量
・利用可能量
　利用可能量＝発生量（賦存量）－再資源化量
・利用可能率
　利用可能率＝利用可能量÷発生量（賦存量）

都道府県別および全国の賦存量、資源化等量・率、資源化量・率および上記式を用いて算出した利用可能量・率を**表2.6.3-2**にまとめる。

全国における利用可能量および利用可能率はそれぞれ、808.8千t、19.5%である。最も利用可能量の多い都道府県は、神奈川県55.2千t、次いで、埼玉県44.8千t、愛知県41.8千t、東京都41.8千tである。発生量が多い県ほど利用可能量も多いことが示唆される。利用可能率は都道府県で大きく差があり、利用可能率が最も高いのは、栃木県の45.3%、最も低いのは、北海道の5.7%である。

表2.6.3-1　建設発生木材の発生量・再資源化等量

工事場所別－建設廃棄物の再資源化等率
建設廃棄物分類:【建設発生木材計(伐木材・除根材等を含む)】
発注区分:【建設工事合計】

工事場所	発生量(千t)															発生量ベース				搬出量ベース			
		現場内利用量	現場内減量化量	搬出量	再資源化				減量化(縮減)			最終処分				再資源化等(縮減を含む)		再資源化(縮減を除く)		再資源化等(縮減を含む)		再資源化(縮減を除く)	
					有償売却	直接	再資源化施設	小計	再資源化施設	焼却	小計	直接	再資源化施設	焼却	小計	量	率	量	率	量	率	量	率
都道府県	(1)	(2)	(3)	(4)	①	②	③	(5)	④	⑤	(6)	⑥	⑦	⑧	(7)	(8)	(8)/(1)	(9)	(9)/(1)	(10)	(10)/(4)	(11)	(11)/(4)
北海道	363.0	2.4	0.0	360.7	9.8	3.8	326.2	339.9	0.0	7.0	7.0	13.0	0.0	0.8	13.8	349.3	(96.2%)	342.2	(94.3%)	346.9	(96.2%)	339.9	(94.2%)
青森県	55.4	0.6	0.0	54.8	0.1	0.3	38.9	39.3	3.6	8.9	12.5	2.0	0.4	0.6	2.9	52.5	(94.7%)	39.9	(72.1%)	51.9	(94.7%)	39.3	(71.8%)
岩手県	61.9	0.4	0.0	61.5	1.1	0.3	52.0	53.4	0.3	2.4	2.7	4.9	0.3	0.3	5.4	56.5	(91.2%)	53.8	(86.9%)	56.1	(91.2%)	53.4	(86.8%)
宮城県	122.5	0.8	0.0	121.7	4.8	3.3	90.3	98.4	8.0	6.6	14.6	6.1	0.3	2.3	8.7	113.8	(92.9%)	99.2	(81.0%)	112.9	(92.8%)	98.4	(80.8%)
秋田県	49.0	0.2	0.0	48.8	0.0	0.0	37.6	37.6	0.3	3.8	4.2	6.0	0.1	0.9	7.0	42.0	(85.6%)	37.8	(77.1%)	41.8	(85.6%)	37.6	(77.0%)
山形県	53.6	0.8	0.0	52.8	0.1	0.2	35.4	35.7	2.2	11.0	13.2	2.6	0.2	1.2	4.0	49.6	(92.5%)	36.4	(67.9%)	48.9	(92.4%)	35.7	(67.5%)
福島県	78.5	1.0	0.0	77.5	1.7	0.3	40.8	42.7	4.6	6.7	11.3	12.9	9.8	0.8	23.4	55.0	(70.1%)	43.7	(55.7%)	54.0	(69.7%)	42.7	(55.2%)
東北地域計	420.8	3.7	0.0	417.1	7.9	4.3	294.9	307.1	18.9	39.5	58.5	34.5	11.1	6.0	51.5	369.3	(87.8%)	310.9	(73.9%)	365.6	(87.6%)	307.1	(73.6%)
茨城県	126.2	0.1	0.0	126.1	0.3	0.1	116.7	117.1	0.2	5.9	6.1	1.9	0.0	0.9	2.9	123.3	(97.7%)	117.2	(92.9%)	123.2	(97.7%)	117.1	(92.9%)
栃木県	39.5	0.1	0.0	39.4	1.2	0.3	20.1	21.5	0.5	4.6	5.1	11.6	0.5	0.7	12.7	26.7	(67.7%)	21.6	(54.7%)	26.7	(67.7%)	21.5	(54.6%)
群馬県	89.0	0.4	0.0	88.6	0.6	0.2	71.2	71.9	1.8	7.7	9.5	5.7	0.2	1.2	7.1	81.9	(92.0%)	72.3	(81.3%)	81.5	(91.9%)	71.9	(81.2%)
埼玉県	141.2	0.1	0.0	141.1	1.3	0.2	94.9	96.3	1.4	25.4	26.8	14.5	0.3	3.1	17.9	123.3	(87.3%)	96.5	(68.3%)	123.2	(87.3%)	96.3	(68.3%)
千葉県	140.3	1.6	0.0	138.6	1.1	0.0	117.2	118.3	0.2	11.9	12.1	7.2	0.0	0.9	8.2	132.1	(94.2%)	119.9	(85.5%)	130.4	(94.1%)	118.3	(85.3%)
東京都	229.9	0.9	0.0	229.0	2.0	1.5	183.7	187.2	2.4	11.2	13.7	25.9	0.6	1.6	28.1	201.8	(87.8%)	188.1	(81.8%)	200.9	(87.7%)	187.2	(81.8%)
神奈川県	266.6	0.4	0.0	266.2	0.0	0.6	210.3	211.0	2.2	27.3	29.4	20.9	0.4	4.4	25.7	240.8	(90.3%)	211.4	(79.3%)	240.4	(90.3%)	211.0	(79.3%)
山梨県	29.2	0.1	0.0	29.1	0.0	0.0	16.6	16.7	7.8	2.6	10.4	1.3	0.3	0.4	2.0	27.2	(93.3%)	16.8	(57.5%)	27.1	(93.2%)	16.7	(57.3%)
長野県	95.7	0.4	0.0	95.3	0.6	0.0	71.8	72.4	2.2	4.3	6.5	15.9	0.4	0.1	16.4	79.2	(82.8%)	72.8	(76.1%)	78.9	(82.7%)	72.4	(76.0%)
関東地域計	1,157.4	4.1	0.0	1,153.3	7.0	2.9	902.4	912.4	18.8	101.0	119.8	104.9	2.7	13.5	121.1	1,036.3	(89.5%)	916.5	(79.2%)	1,032.2	(89.5%)	912.4	(79.1%)
新潟県	125.0	0.5	0.0	124.6	0.5	0.7	89.2	90.4	7.7	11.0	18.7	12.9	0.9	1.7	15.5	109.6	(87.6%)	90.9	(72.7%)	109.1	(87.6%)	90.4	(72.6%)
富山県	37.3	0.3	0.0	37.0	0.2	0.5	25.6	26.3	0.3	6.6	6.8	2.5	0.3	1.0	3.8	33.5	(89.8%)	26.7	(71.5%)	33.2	(89.8%)	26.3	(71.3%)
石川県	37.7	0.5	0.0	37.2	1.4	0.8	26.6	28.9	3.6	1.2	4.7	2.6	0.8	0.2	3.6	34.1	(90.5%)	29.3	(77.9%)	33.6	(90.3%)	28.9	(77.6%)
北陸地域計	200.0	1.3	0.0	198.7	2.1	2.0	141.5	145.6	11.5	18.8	30.3	17.9	2.0	2.9	22.9	177.1	(88.6%)	146.9	(73.4%)	175.9	(88.5%)	145.6	(73.3%)
岐阜県	90.5	5.7	0.0	84.8	0.3	0.3	68.0	68.6	2.6	2.1	4.8	10.9	0.1	0.4	11.4	79.1	(87.5%)	74.4	(82.2%)	73.4	(86.6%)	68.6	(81.0%)
静岡県	146.2	0.8	0.0	145.4	0.6	2.2	112.6	115.4	0.2	8.7	8.9	20.0	0.2	1.1	21.2	125.0	(85.5%)	116.2	(79.4%)	124.2	(85.4%)	115.4	(79.3%)
愛知県	259.3	0.4	0.0	258.9	7.3	7.8	202.0	217.1	1.3	5.6	6.9	32.1	0.1	2.6	34.9	224.4	(86.5%)	217.5	(83.9%)	224.0	(86.5%)	217.1	(83.9%)
三重県	77.7	0.5	0.0	77.3	1.2	0.0	59.6	60.8	0.4	2.2	2.6	12.4	0.1	1.4	13.9	63.9	(82.2%)	61.3	(78.8%)	63.4	(82.1%)	60.8	(78.7%)
中部地域計	573.7	7.4	0.0	566.4	9.4	10.3	442.2	461.9	4.5	18.7	23.1	75.4	0.4	5.4	81.3	492.4	(85.8%)	469.3	(81.8%)	485.1	(85.6%)	461.9	(81.6%)
福井県	26.5	0.1	0.0	26.4	1.5	0.0	19.1	20.6	0.0	2.3	2.3	3.3	0.0	0.2	3.5	23.0	(87.0%)	20.7	(78.3%)	22.9	(86.9%)	20.6	(78.2%)
滋賀県	54.1	1.4	0.0	52.7	0.0	0.2	43.4	43.5	1.3	2.8	4.0	4.3	0.6	0.2	5.2	48.9	(90.5%)	44.9	(83.1%)	47.5	(90.2%)	43.5	(82.6%)
京都府	46.0	0.1	0.0	45.9	2.7	0.1	38.5	41.3	0.8	1.0	1.7	2.4	0.4	0.1	2.9	43.2	(93.8%)	41.4	(90.0%)	43.1	(93.8%)	41.3	(90.0%)
大阪府	116.4	0.6	0.0	115.8	0.4	0.4	94.7	95.6	7.3	1.8	9.1	10.6	0.3	0.1	11.1	105.3	(90.5%)	96.1	(82.6%)	104.7	(90.4%)	95.6	(82.5%)
兵庫県	104.4	0.4	0.0	104.0	1.1	0.9	77.4	79.4	1.7	8.0	9.7	12.3	2.4	0.3	14.9	89.5	(85.7%)	79.8	(76.5%)	89.1	(85.7%)	79.4	(76.4%)
奈良県	30.1	0.1	0.0	30.0	0.2	0.1	23.9	24.2	1.4	0.6	2.0	3.3	0.4	0.0	3.8	26.3	(87.5%)	24.3	(80.9%)	26.2	(87.5%)	24.2	(80.8%)
和歌山県	28.6	0.1	0.0	28.5	3.3	0.0	20.8	24.2	1.0	1.6	2.7	1.5	0.0	0.1	1.6	26.9	(94.3%)	24.3	(84.9%)	26.8	(94.2%)	24.2	(84.9%)
近畿地域計	406.1	2.8	0.0	403.2	9.3	1.7	317.9	328.9	13.6	18.0	31.5	37.7	4.1	1.0	42.8	363.2	(89.5%)	331.7	(81.7%)	360.4	(89.4%)	328.9	(81.6%)
鳥取県	44.2	0.1	0.0	44.1	1.1	1.3	34.1	36.5	0.0	4.4	4.4	2.0	0.2	1.0	3.2	41.0	(92.7%)	36.6	(82.8%)	40.9	(92.7%)	36.5	(82.8%)
島根県	97.4	1.7	0.0	95.7	1.4	0.1	83.4	84.9	4.9	2.4	7.3	2.3	0.7	0.4	3.5	93.9	(96.4%)	86.6	(88.9%)	92.2	(96.4%)	84.9	(88.7%)
岡山県	72.1	0.2	0.0	71.9	0.8	0.0	56.1	56.9	7.5	1.2	8.7	6.1	0.0	0.3	6.4	65.7	(91.2%)	57.0	(79.1%)	65.5	(91.1%)	56.9	(79.1%)
広島県	113.7	0.2	0.0	113.5	4.0	1.9	92.4	98.3	2.3	5.8	8.1	5.0	0.5	1.6	7.1	106.6	(93.8%)	98.6	(86.7%)	106.4	(93.7%)	98.3	(86.6%)
山口県	69.0	0.2	0.0	68.8	0.8	0.0	50.5	51.3	0.0	6.9	6.9	8.9	0.0	1.7	10.6	58.4	(84.7%)	51.5	(74.7%)	58.2	(84.6%)	51.3	(74.6%)
中国地域計	396.4	2.4	0.0	394.0	8.1	3.4	316.4	327.9	14.8	20.5	35.3	24.4	1.4	5.0	30.8	365.7	(92.2%)	330.3	(83.3%)	363.2	(92.2%)	327.9	(83.2%)
徳島県	21.8	0.3	0.0	21.4	0.1	0.0	13.4	13.5	0.0	4.7	4.7	2.7	0.1	0.4	3.2	18.5	(85.1%)	13.9	(63.7%)	18.2	(84.8%)	13.5	(63.1%)
香川県	21.0	0.3	0.0	20.7	0.0	0.2	11.9	12.1	0.4	2.3	2.7	5.5	0.2	0.2	5.9	15.1	(71.9%)	12.4	(59.0%)	14.8	(71.5%)	12.1	(58.3%)
愛媛県	30.6	0.3	0.0	30.3	0.2	0.2	17.9	18.3	2.8	4.4	7.2	4.3	0.1	0.3	4.8	25.8	(84.4%)	18.6	(60.8%)	25.5	(84.3%)	18.3	(60.4%)
高知県	28.6	0.6	0.0	28.0	1.1	0.0	20.1	21.2	0.3	2.6	2.9	3.6	0.2	0.2	3.9	24.7	(86.3%)	21.8	(76.2%)	24.1	(86.1%)	21.2	(75.7%)
四国地域計	102.0	1.5	0.0	100.4	1.4	0.4	63.3	65.1	3.6	13.9	17.5	16.1	0.7	1.0	17.8	84.1	(82.5%)	66.6	(65.4%)	82.6	(82.3%)	65.1	(64.8%)
福岡県	108.2	8.4	0.0	99.8	0.4	7.3	76.7	84.4	0.8	5.0	5.8	9.3	0.0	0.4	9.7	98.5	(91.0%)	92.7	(85.7%)	90.1	(90.3%)	84.4	(84.5%)
佐賀県	31.5	1.6	0.0	29.9	1.7	0.9	21.3	23.9	0.8	3.2	3.9	1.7	0.0	0.3	2.1	29.5	(93.5%)	25.5	(81.0%)	27.8	(93.1%)	23.9	(79.9%)
長崎県	63.7	0.9	0.0	62.8	2.0	0.1	51.5	53.6	0.4	2.3	2.7	6.4	0.0	0.2	6.6	57.2	(89.7%)	54.5	(85.5%)	56.2	(89.5%)	53.6	(85.3%)
熊本県	59.8	0.6	0.0	59.2	1.7	0.4	38.1	40.2	0.7	7.2	7.9	10.4	0.2	0.5	11.1	48.8	(81.5%)	40.8	(68.3%)	48.1	(81.3%)	40.2	(68.0%)
大分県	73.6	1.6	0.0	72.0	0.7	0.0	54.2	55.0	1.7	7.6	9.3	6.6	0.1	1.0	7.7	65.9	(89.6%)	56.6	(76.9%)	64.3	(89.3%)	55.0	(76.4%)
宮崎県	80.6	2.6	0.0	78.0	1.4	0.5	64.2	66.0	3.6	3.3	6.9	4.6	0.1	0.3	5.1	75.5	(93.7%)	68.6	(85.1%)	72.9	(93.5%)	66.0	(84.6%)
鹿児島県	76.2	0.9	0.0	75.3	2.1	1.0	56.8	59.9	1.2	9.5	10.6	4.4	0.0	0.3	4.8	71.4	(93.7%)	60.8	(79.7%)	70.5	(93.6%)	59.9	(79.5%)
九州地域計	493.7	16.7	0.0	477.0	9.9	10.2	362.8	382.9	9.1	38.1	47.1	43.4	0.5	3.0	46.9	446.7	(90.5%)	399.6	(80.9%)	430.0	(90.2%)	382.9	(80.3%)
沖縄県	28.4	0.3	0.0	28.0	0.1	0.0	18.3	18.3	0.5	4.2	4.7	4.6	0.0	0.4	5.0	23.4	(82.3%)	18.7	(65.8%)	23.0	(82.1%)	18.3	(65.4%)
全国計	4,141.5	42.7	0.0	4,098.8	65.1	39.1	3,185.9	3,290.0	95.2	279.7	374.9	372.0	22.9	39.1	434.0	3,707.6	(89.5%)	3,332.7	(80.5%)	3,664.9	(89.4%)	3,290.0	(80.3%)

出典：平成20年度建設副産物実態調査結果詳細データ（抜粋：建設発生木材【建設工事合計】）（国土交通省）

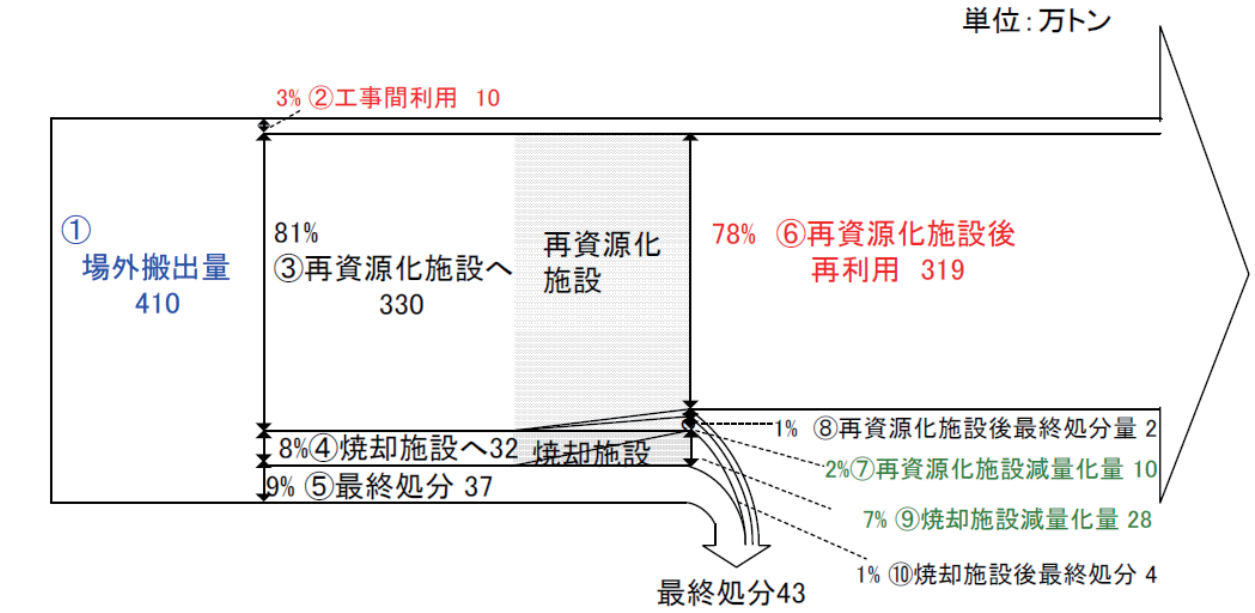
表2.6.3-2　建設発生木材の賦存量、再資源化量、利用可能量

	賦存量	再資源化等		再資源化		利用可能量	
都道府県	(千t)	量(千t)	率	量(千t)	率	量(千t)	率
北海道	363.0	349.3	(96.2%)	342.2	(94.3%)	20.8	(5.7%)
青森県	55.4	52.5	(94.7%)	39.9	(72.1%)	15.4	(27.9%)
岩手県	61.9	56.5	(91.2%)	53.8	(86.9%)	8.1	(13.1%)
宮城県	122.5	113.8	(92.9%)	99.2	(81.0%)	23.3	(19.0%)
秋田県	49.0	42.0	(85.6%)	37.8	(77.1%)	11.2	(22.9%)
山形県	53.6	49.6	(92.5%)	36.4	(67.9%)	17.2	(32.1%)
福島県	78.5	55.0	(70.1%)	43.7	(55.7%)	34.7	(44.3%)
茨城県	126.2	123.3	(97.7%)	117.2	(92.9%)	9.0	(7.1%)
栃木県	39.5	26.7	(67.7%)	21.6	(54.7%)	17.9	(45.3%)
群馬県	89.0	81.9	(92.0%)	72.3	(81.3%)	16.7	(18.7%)
埼玉県	141.2	123.3	(87.3%)	96.5	(68.3%)	44.8	(31.7%)
千葉県	140.3	132.1	(94.2%)	119.9	(85.5%)	20.3	(14.5%)
東京都	229.9	201.8	(87.8%)	188.1	(81.8%)	41.8	(18.2%)
神奈川県	266.6	240.8	(90.3%)	211.4	(79.3%)	55.2	(20.7%)
山梨県	29.2	27.2	(93.3%)	16.8	(57.5%)	12.4	(42.5%)
長野県	95.7	79.2	(82.8%)	72.8	(76.1%)	22.9	(23.9%)
新潟県	125.0	109.6	(87.6%)	90.9	(72.7%)	34.2	(27.3%)
富山県	37.3	33.5	(89.8%)	26.7	(71.5%)	10.6	(28.5%)
石川県	37.7	34.1	(90.5%)	29.3	(77.9%)	8.3	(22.1%)
岐阜県	90.5	79.1	(87.5%)	74.4	(82.2%)	16.1	(17.8%)
静岡県	146.2	125.0	(85.5%)	116.2	(79.4%)	30.1	(20.6%)
愛知県	259.3	224.4	(86.5%)	217.5	(83.9%)	41.8	(16.1%)
三重県	77.7	63.9	(82.2%)	61.3	(78.8%)	16.5	(21.2%)
福井県	26.5	23.0	(87.0%)	20.7	(78.3%)	5.8	(21.7%)
滋賀県	54.1	48.9	(90.5%)	44.9	(83.1%)	9.2	(16.9%)
京都府	46.0	43.2	(93.8%)	41.4	(90.0%)	4.6	(10.0%)
大阪府	116.4	105.3	(90.5%)	96.1	(82.6%)	20.2	(17.4%)
兵庫県	104.4	89.5	(85.7%)	79.8	(76.5%)	24.6	(23.5%)
奈良県	30.1	26.3	(87.5%)	24.3	(80.9%)	5.8	(19.1%)
和歌山県	28.6	26.9	(94.3%)	24.3	(84.9%)	4.3	(15.1%)
鳥取県	44.2	41.0	(92.7%)	36.6	(82.8%)	7.6	(17.2%)
島根県	97.4	93.9	(96.4%)	86.6	(88.9%)	10.8	(11.1%)
岡山県	72.1	65.7	(91.2%)	57.0	(79.1%)	15.1	(20.9%)
広島県	113.7	106.6	(93.8%)	98.6	(86.7%)	15.2	(13.3%)
山口県	69.0	58.4	(84.7%)	51.5	(74.7%)	17.5	(25.3%)
徳島県	21.8	18.5	(85.1%)	13.9	(63.7%)	7.9	(36.3%)
香川県	21.0	15.1	(71.9%)	12.4	(59.0%)	8.6	(41.0%)
愛媛県	30.6	25.8	(84.4%)	18.6	(60.8%)	12.0	(39.2%)
高知県	28.6	24.7	(86.3%)	21.8	(76.2%)	6.8	(23.8%)
福岡県	108.2	98.5	(91.0%)	92.7	(85.7%)	15.5	(14.3%)
佐賀県	31.5	29.5	(93.5%)	25.5	(81.0%)	6.0	(19.0%)
長崎県	63.7	57.2	(89.7%)	54.5	(85.5%)	9.2	(14.5%)
熊本県	59.8	48.8	(81.5%)	40.8	(68.3%)	19.0	(31.7%)
大分県	73.6	65.9	(89.6%)	56.6	(76.9%)	17.0	(23.1%)
宮崎県	80.6	75.5	(93.7%)	68.6	(85.1%)	12.0	(14.9%)
鹿児島県	76.2	71.4	(93.7%)	60.8	(79.7%)	15.4	(20.3%)
沖縄県	28.4	23.4	(82.3%)	18.7	(65.8%)	9.7	(34.2%)
全国計	**4,141.5**	**3,707.6**	**(89.5%)**	**3,332.7**	**(80.5%)**	**808.8**	**(19.5%)**

注：発生量＝賦存量とした。

2.6.4　建設発生木材の再資源化

平成20年度建設副産物実態調査より算出された建設発生木材の再資源化フローを**図2.6.4-1**に示す。



再資源化等率 $\frac{(②+⑥+⑦+⑨)}{①}$ ＝89.4%

再資源化率 $\frac{(②+⑥)}{①}$ ＝80.3%

図2.6.4-1　建設発生木材の再資源化フロー

※四捨五入の関係上、合計が合わない場合がある。

出典：平成20年度建設副産物実態調査結果参考資料

場外搬出された建設発生木材は、工事間利用、再資源化施設での再資源化により、80.3%が再資源化されている。場外搬出量、最終処分量、再資源化率、再資源化率等の推移を**図2.6.4-2、図2.6.4-3**に示す。建設需要の低迷により、場外搬出量が減少しているが、それ以上に最終処分量が減少している。これは、建設リサイクル法の施行による影響が大きいと推察される。2012年度の建設発生木材の再資源化率、再資源化率等の達成目標はそれぞれ、77%、95%以上となっており、それに向けた取組の成果と考えられる。再資源化率は年々上昇して2012年度の目標を達成しているのに対し、再資源化等率に関しては、2000年度から約90%と頭打ちの状態である。これは発生している廃棄物の質にも関係していると考えられるが、再資源化等率の低い都道府県の取組によるものがあると考えられる。本項では、発生量が363千tと多いのに対し、再資源化等率が94.3%と高い北海道の取組に着目することとした。

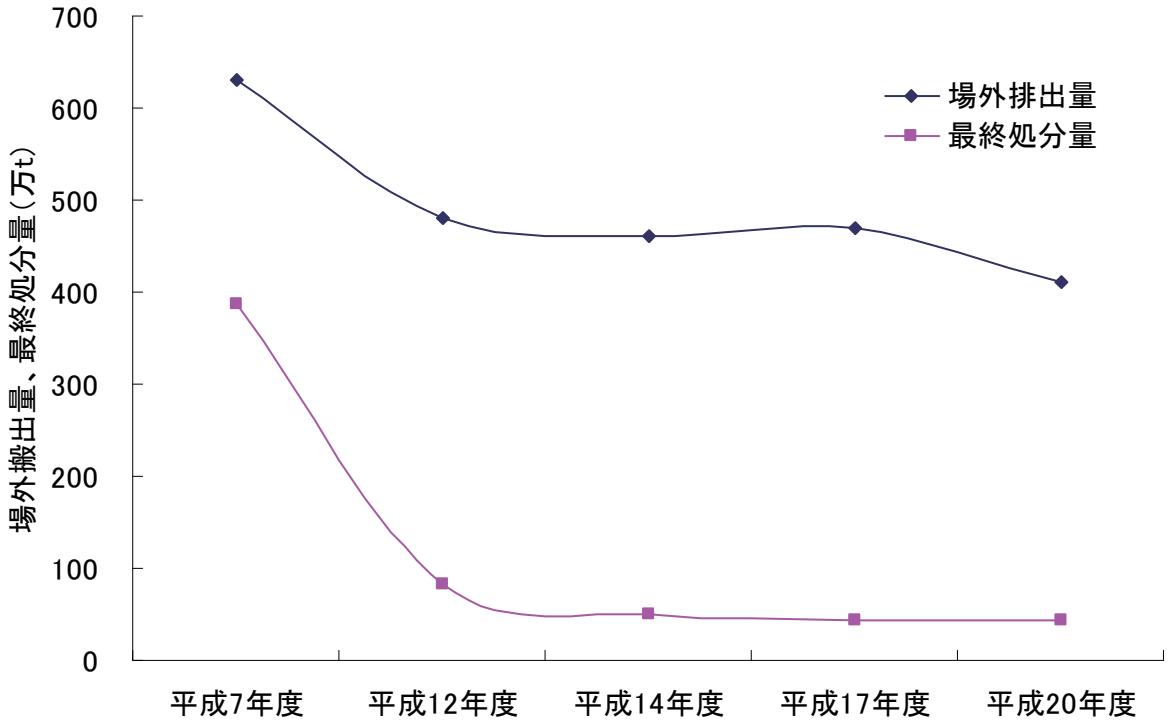
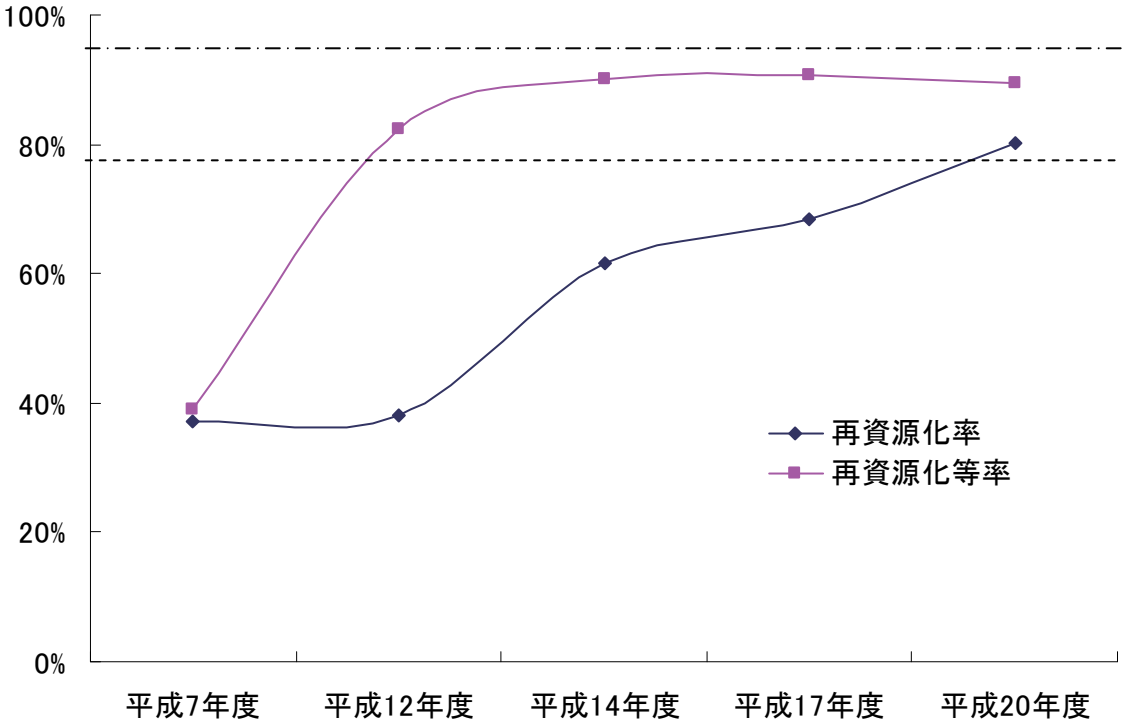


図2.6.4-2　場外搬出量、最終処分量の推移



平成24年度目標 ------- 再資源化率（77%）、－・－・－・ 再資源化等率（95%）

図2.6.4-3　再資源化率、再資源化率等の推移

2.6.5　北海道における資源化率向上の取組

1)　北海道における取組について

2005年度の北海道における建設発生木材の再資源化率は72%であり、全国平均の68%と比較して高いものの、他の建設副産物（コンクリート塊95%、アスファルト・コンクリート塊97%）と比較すると低い。その内訳として伐木・除根材を除く建設発生木材の再資源化施設への搬出率は79%と全国値である75%と比較して高いものの、伐木・除根材については再資源化施設への搬出率は低く北海道71%、全国80%となっている。その反面、直接最終処分率は北海道11%、全国6%と高くなっている。2012年度の再資源化率目標は77%であり、より一層のリサイクルおよび適正処理を推進するために、「北海道地方建設副産物対策連絡協議会」の幹事会の下に「北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画策定検討部会」を設置し、2007年3月に「北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画」を策定している。

2)　建設発生木材の処理施設立地状況

北海道地域における建設発生木材の再資源化施設の立地図を**図2.6.5-1**、焼却施設の立地図を**図2.6.5-2**に示す。建設発生木材の再資源化施設について、北海道内には十分な数が立地しており、道内ほぼ全域が50 km圏内に収まっている。また、その処理能力に関しても排出量に対して十分にある。それに対して、北海道内には建設発生木材の焼却施設は非常に少ないことがわかる。

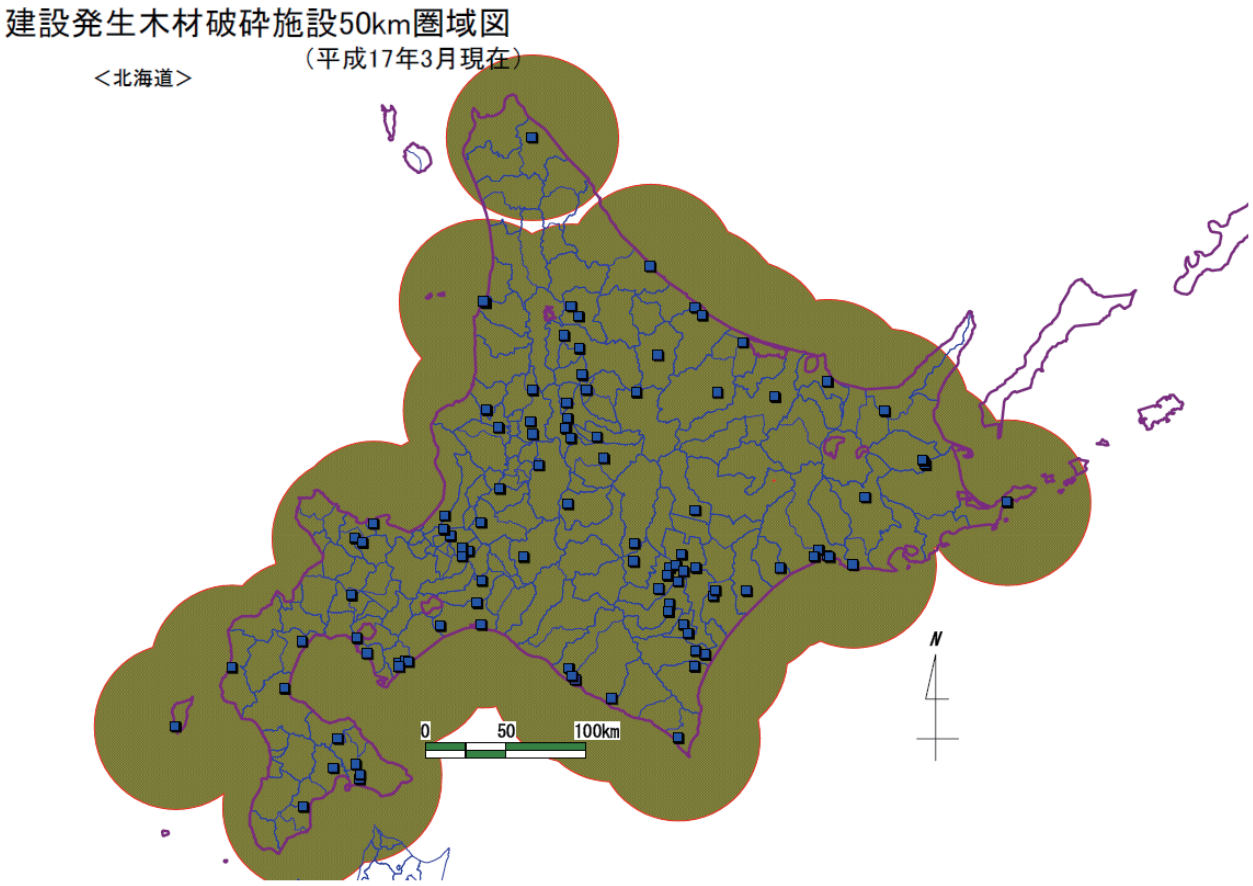


図2.6.5-1　建設発生木材の再資源化施設立地図（H17センサス施設調査）

出典：北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画

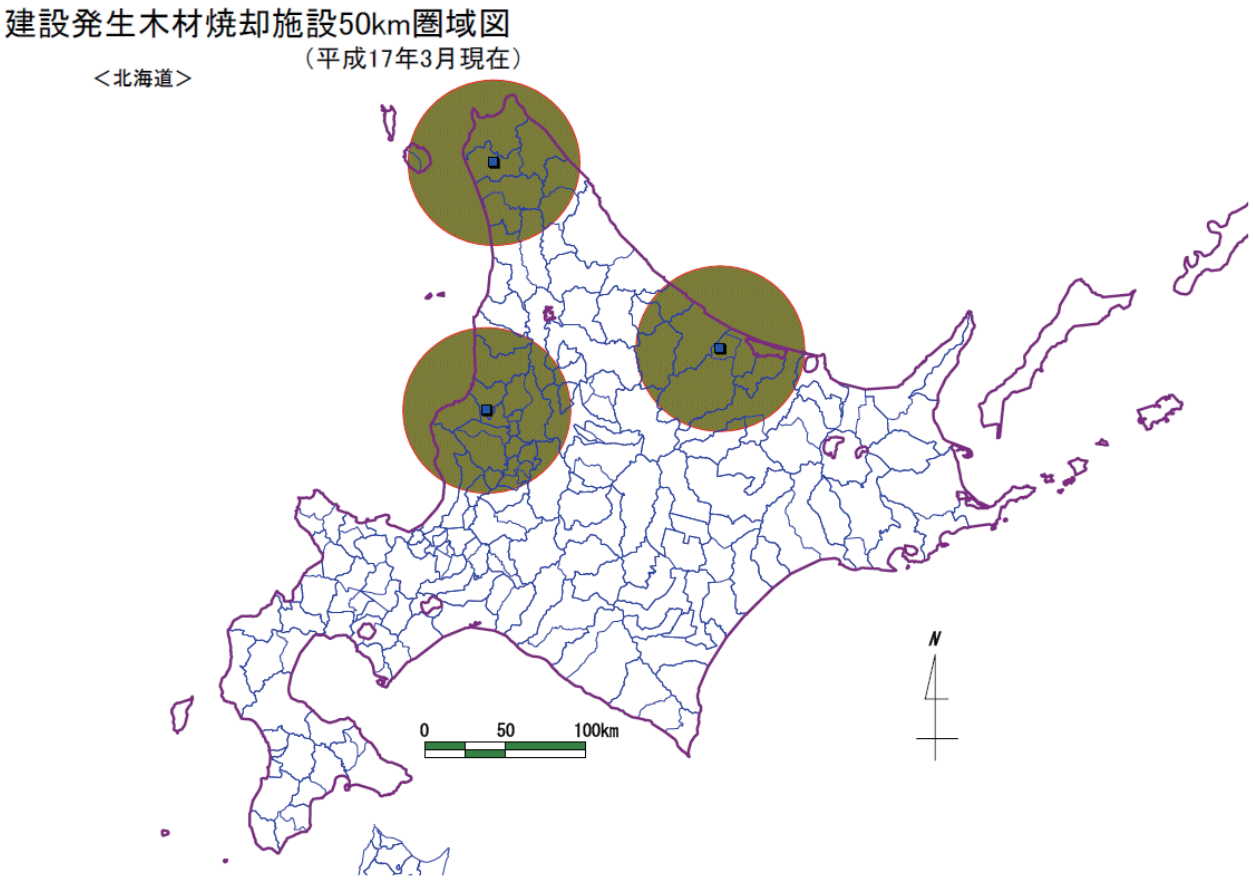


図2.6.5-2　建設発生木材の焼却施設立地図（H17センサス施設調査）

出典：北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画

3)　再資源化率低迷の原因追及

再資源化施設が近郊にあるにも関らず、再資源化率が低迷している原因を追究するため、国土交通省が現場から焼却施設または最終処分場へ直接搬出した工事の発注担当者に対して調査した結果を図2.6.5-3に示す。

それによると、焼却施設へ直接搬出した理由としては、「近くに再資源化施設が無かったため」が約38%を占め最も多く、最終処分場に直接搬出した理由としては、「コスト的に有利であるため」が約55%を占めて最も多かった。また、建設発生木材の正常が再資源化施設での受入基準に合わなかったためとしたのが、焼却施設、最終処分場へ直接搬出したケースでそれぞれ約24%、20%であった。

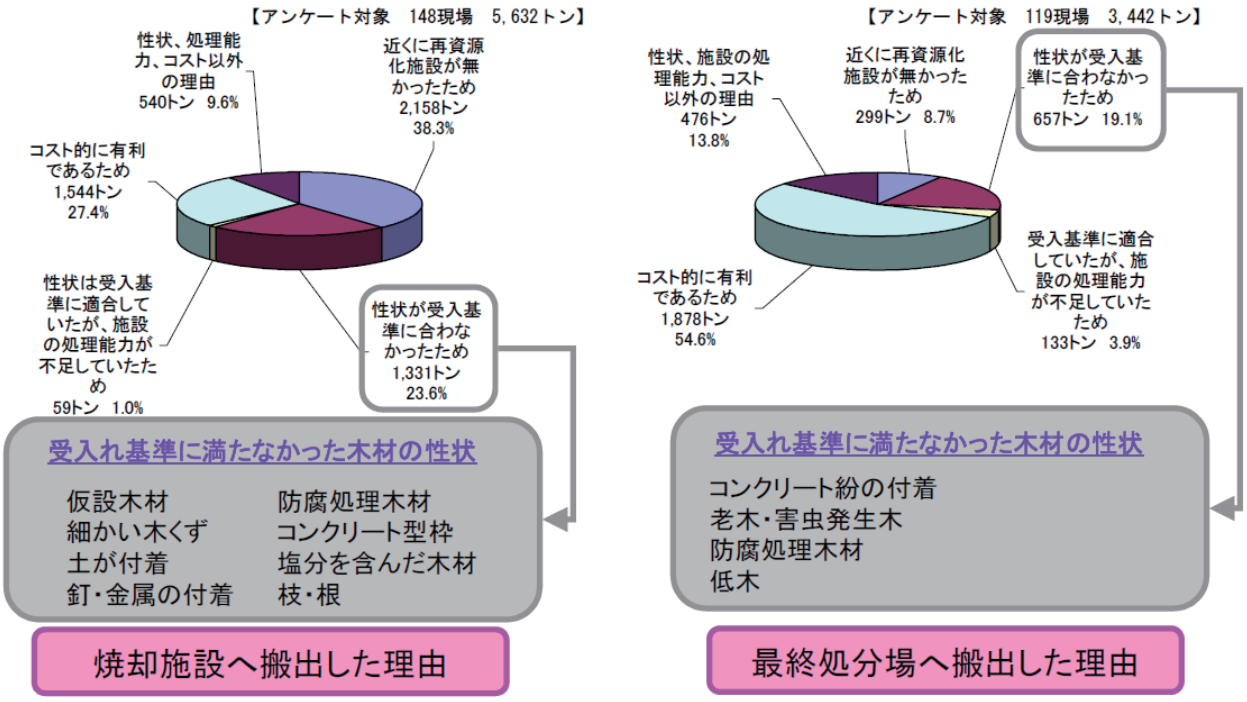


図2.6.5-3　焼却施設または最終処分場へ直接搬出した理由

出典：建設発生木材リサイクル推進マニュアル（北海道版）

4)　建設発生木材の木材チップの移動状況

建設発生木材から製造された木材チップの移動状況および北海道外から持ち込まれた木材チップの搬入量を図2.6.5-4に示す。

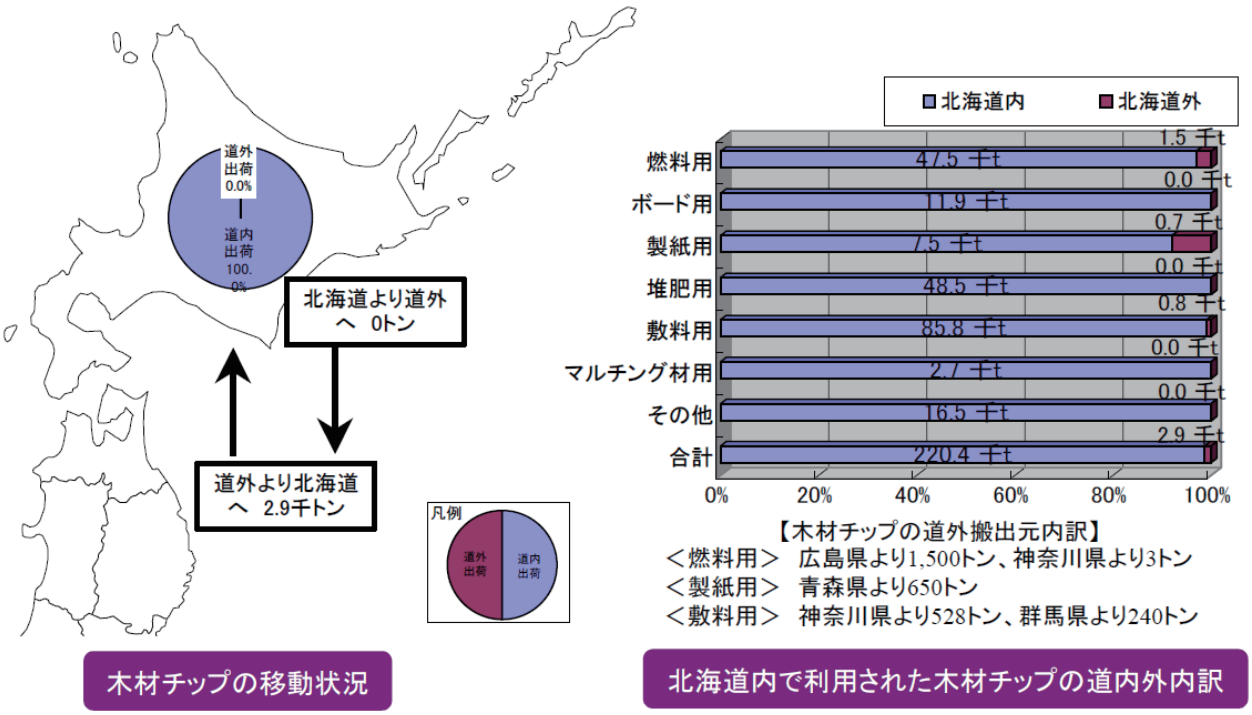


図2.6.5-4　建設発生木材の木材チップの移動状況（H17センサス施設調査）

出典：北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画

北海道内で発生した建設発生木のうち、再資源化処理施設で破砕された木材チップは全量が道内で処理されており、北海道外からの破砕施設からもわずかであるが、需要家に供給されている。その量としては、全量で2.9千t搬入されており、内訳として燃料用が広島県1,500t、神奈川県3t、製紙用が青森県650t、敷料用が神奈川県528t、群馬県240tである。

5) 建設発生木材の再資源化率向上への対策

上記データを基に課題点を抽出し、北海道に適した対策を検討している。課題として、「建設発生木材の排出量の削減」、「木材チップの需給に関するミスマッチの調整」、「建設発生木材の適正処理の確認」を挙げている。木材チップの利用に関しては、敷料や堆肥として農畜産業で多く利用されると共に、燃料として製紙業や石膏ボード製造業、製紙原料として製紙業、パーティクルボード原料としてボード製造業等多種多様な産業で利用されている。このように排出者と利用者が異なる建設発生木材のリサイクルを促進し、木材チップの需要量を増大するためには、木材チップの品質の基準化、供給時期と需要時期の水マッチの解消等、排出者と利用者の調整が必要であると課題を挙げている。この対策として、「再資源化率の向上」、「公共工事での率先利用」、「需要量の拡大」という方針を立て、具体的な施策を設定している。設定された施策を以下にまとめる。

①リデュース・リサイクルの促進およびリサイクルの促進のための施策

・建設発生木材リサイクル促進マニュアルの策定

・植生基材吹付工において木材チップ利用を原則化

②適正処理の推進のための施策

・排出事業者での再資源化の確認

・処理施設に 100m³以上処理委託する場合は発注者が再資源化を確認

③リサイクル促進等のための支援策

・バイオマスの利活用の推進

これらの施策は、全国版を北海道版に修正したり、独自に設定しているもので、地域にあった施策になっている。目標値においても再資源化等率は全国と同等に対し、再資源化率に関しては、平成22年度目標である70%を達成していることから、独自に82%に設定している。

本計画の実施状況や目標達成の状況について毎年度チェックし、具体的施策について追加等の見直しを行う機能を持たせている。

このように、国土交通省が策定している全国版を地方の行政、関連団体で地方版に修正することで、地域にあった利用方法、資源化方法が明確になり、再資源化率が向上することが示唆された。

2.6.6 まとめ

国土交通省「平成20年度建設副産物実態調査結果」に基づいた建設発生木材の賦存量および利用可能量の調査結果を以下にまとめる。

- 建設発生木材の賦存量は、全国で 4,141.5 千 t であり、再資源化量は 3,332.7 千 t、率は 80.5%である。縮減を含めた再資源化等量は 3,707.6 千 t、率は 89.5%である。
- 建設発生木材の発生量は人口が多い都道府県ほど多い傾向がある。

・ リデュースへの取組、建設需要の低迷から年々、建設発生木材量が減少している。
・ 再資源化率は地方によって差があり、北海道が 94.3%で最も高く、栃木県が 54.7%と最も低い。
・ 再資源化率は年々、上昇傾向にあるが、再資源化等率は 2002 年度で約 90%を達成してからはほぼ横ばい状態である。
・ 再資源化率の高い北海道の事例では、北海道に合った施策を講じて、再資源化を推進している。

2.7 林地残材

2.7.1 森林・林業の現状

林地残材の利用状況調査の前に、まずはわが国の森林および林業の現状を簡単にまとめておく。

1) 天然林と人工林

わが国の森林を成立過程にて分類した場合、大きく天然林と人工林に分類することができる。

天然林とは、主に自然の推移に委ね、自然の力によって生育されている森林である。天然林は、周囲の樹木から運ばれてきた種子が発芽・成長して森林が形成・維持されているため、一般的には多様な種類や年齢の樹木が入り交じっている。

これに対し、人工林とは、苗木の植栽、種子のまき付け、挿し木等の人為的な方法により造成された森林であり、人手により品種・品質が整えられる為、工業材料としての木材供給に適した樹木群となる。

2) 広葉樹林と針葉樹林

樹種に注目をすると、大きく広葉樹林と針葉樹林に分類することができる。広葉樹林とは、ケヤキ、サクラ、キリ、カシ、クリ、タモ、ブナなどの広葉樹で構成される森林である。広葉樹は、針葉樹よりも進化した樹種であり、広葉樹の高木の生育が困難な寒冷地域などの環境下を除くと、先駆樹種である針葉樹林は遷移により次第に広葉樹林になってゆく。そのため、比較的、温暖な地域が多いわが国においては、天然林の多くは広葉樹林となっている。

一方、針葉樹林は、スギ ・ヒノキ ・マツ ・ツガ・モミ・ヒバなどの針葉樹で構成される森林である。広葉樹に比べ、針葉樹は、幹が通直である、枝が少ない、繊維が長く緻密であるといった特徴より、建材としての収量が望めるため、人工林として造林されてきた。よって、わが国においては、人工林のほとんどが針葉樹林となっている。

3) 森林面積

表2.6.1-1に各都道府県の森林面積（天然林、人工林、広葉樹林、針葉樹林別）を示す。天然林は約1,330万haに対し、人工林は1,030万haであり、人工林の比率は、43.7%である。また、人工林に対する針葉樹の比率は、97.3%である。

表2.7.1-1　各都道府県の森林面積（天然林、人工林、広葉樹林、針葉樹林別）

（単位：ha）

	人工林				天然林				人工林＋天然林	人工林割合	天然林割合
	小計Ⓐ	針葉樹ⓐ	広葉樹	針葉樹率 ⓐ/Ⓐ	小計Ⓑ	針葉樹	広葉樹ⓑ	広葉樹率 ⓑ/Ⓑ	Ⓒ	Ⓐ/Ⓒ	Ⓑ/Ⓒ
北海道	1,502,979	1,459,782	43,196	97.1%	3,688,598	902,726	2,785,872	75.5%	5,191,577	29.0%	71.0%
青森県	273,243	269,861	3,381	98.8%	336,741	74,967	261,774	77.7%	609,983	44.8%	55.2%
岩手県	501,967	496,373	5,594	98.9%	613,460	65,346	548,114	89.3%	1,115,427	45.0%	55.0%
宮城県	200,367	197,708	2,659	98.7%	197,884	13,901	183,983	93.0%	398,251	50.3%	49.7%
秋田県	410,172	397,974	12,197	97.0%	406,071	24,380	381,692	94.0%	816,243	50.3%	49.7%
山形県	184,294	180,587	3,708	98.0%	439,434	18,592	420,841	95.8%	623,728	29.5%	70.5%
福島県	341,962	326,152	15,811	95.4%	577,822	64,524	513,297	88.8%	919,784	37.2%	62.8%
茨城県	114,934	113,034	1,900	98.3%	63,764	2,406	61,358	96.2%	178,698	64.3%	35.7%
栃木県	156,536	151,392	5,144	96.7%	177,866	32,739	145,127	81.6%	334,402	46.8%	53.2%
群馬県	180,664	169,447	11,217	93.8%	214,810	28,397	186,413	86.8%	395,474	45.7%	54.3%
埼玉県	59,962	59,714	248	99.6%	58,874	8,996	49,878	84.7%	118,836	50.5%	49.5%
千葉県	61,576	60,434	1,142	98.1%	74,796	631	74,165	99.2%	136,372	45.2%	54.8%
東京都	35,118	33,169	1,949	94.5%	38,944	1,972	36,972	94.9%	74,062	47.4%	52.6%
神奈川県	36,040	35,341	699	98.1%	49,546	732	48,814	98.5%	85,586	42.1%	57.9%
新潟県	163,811	159,564	4,248	97.4%	561,353	17,003	544,350	97.0%	725,164	22.6%	77.4%
富山県	52,874	52,146	728	98.6%	169,170	16,776	152,394	90.1%	222,044	23.8%	76.2%
石川県	101,723	99,523	2,199	97.8%	164,519	17,825	146,694	89.2%	266,241	38.2%	61.8%
福井県	125,434	123,520	1,914	98.5%	177,171	8,556	168,614	95.2%	302,605	41.5%	58.5%
山梨県	153,214	148,826	4,388	97.1%	173,727	45,147	128,580	74.0%	326,941	46.9%	53.1%
長野県	444,386	441,798	2,589	99.4%	542,080	180,117	361,964	66.8%	986,467	45.0%	55.0%
岐阜県	386,561	376,319	10,242	97.4%	434,945	87,611	347,334	79.9%	821,506	47.1%	52.9%
静岡県	281,053	274,994	6,058	97.8%	186,254	38,661	147,593	79.2%	467,307	60.1%	39.9%
愛知県	141,287	140,281	1,006	99.3%	71,648	14,211	57,437	80.2%	212,935	66.4%	33.6%
三重県	230,691	228,414	2,277	99.0%	133,366	13,364	120,002	90.0%	364,057	63.4%	36.6%
滋賀県	84,210	82,761	1,449	98.3%	110,570	35,589	74,980	67.8%	194,780	43.2%	56.8%
京都府	129,995	129,463	532	99.6%	200,056	65,337	134,719	67.3%	330,050	39.4%	60.6%
大阪府	27,782	25,950	1,832	93.4%	25,989	13,167	12,822	49.3%	53,771	51.7%	48.3%
兵庫県	240,466	235,772	4,694	98.0%	305,126	84,030	221,096	72.5%	545,592	44.1%	55.9%
奈良県	172,751	170,267	2,484	98.6%	105,342	12,782	92,560	87.9%	278,093	62.1%	37.9%
和歌山県	221,108	219,738	1,370	99.4%	136,127	10,242	125,885	92.5%	357,235	61.9%	38.1%
鳥取県	139,136	135,803	3,333	97.6%	109,814	10,160	99,654	90.7%	248,950	55.9%	44.1%
島根県	207,342	204,202	3,140	98.5%	297,106	33,350	263,756	88.8%	504,448	41.1%	58.9%
岡山県	198,279	194,527	3,752	98.1%	268,006	109,979	158,026	59.0%	466,284	42.5%	57.5%
広島県	199,230	193,539	5,691	97.1%	397,522	184,902	212,620	53.5%	596,752	33.4%	66.6%
山口県	197,131	192,914	4,217	97.9%	223,224	56,096	167,128	74.9%	420,355	46.9%	53.1%
徳島県	192,110	188,549	3,561	98.1%	111,398	12,474	98,923	88.8%	303,508	63.3%	36.7%
香川県	27,043	25,527	1,517	94.4%	53,489	16,427	37,061	69.3%	80,532	33.6%	66.4%
愛媛県	246,101	242,046	4,055	98.4%	139,176	24,764	114,412	82.2%	385,277	63.9%	36.1%
高知県	392,141	382,313	9,828	97.5%	195,602	16,147	179,455	91.7%	587,743	66.7%	33.3%
福岡県	142,604	138,245	4,359	96.9%	55,392	4,474	50,918	91.9%	197,996	72.0%	28.0%
佐賀県	73,545	71,881	1,664	97.7%	27,360	985	26,375	96.4%	100,904	72.9%	27.1%
長崎県	104,766	102,595	2,171	97.9%	125,232	2,993	122,239	97.6%	229,999	45.6%	54.4%
熊本県	281,783	271,699	10,084	96.4%	149,423	5,416	144,008	96.4%	431,207	65.3%	34.7%
大分県	238,271	226,142	12,129	94.9%	170,861	6,438	164,423	96.2%	409,132	58.2%	41.8%
宮崎県	356,246	329,934	26,313	92.6%	214,231	11,633	202,598	94.6%	570,477	62.4%	37.6%
鹿児島県	300,375	283,287	17,088	94.3%	255,100	22,288	232,812	91.3%	555,475	54.1%	45.9%
沖縄県	12,361	7,680	4,681	62.1%	82,764	11,259	71,506	86.4%	95,125	13.0%	87.0%
計	10,325,626	10,051,189	274,437	97.3%	13,311,750	2,430,512	10,881,238	81.7%	23,637,376	43.7%	56.3%

注）本表の森林面積は森林法第5条及び第7条の２に基づく森林計画対象森林の「立木地」である。

出典　林野庁　樹種別齢級別面積（計画対象森林、計画対象国有林、計画対象民有林）（平成19年(2007年)3月31日現在）より作成

4)　林業の変遷

第二次世界大戦中および直後は、軍需用資材や戦災復興資材の旺盛な需要に対応するため、森林の成長能力を超える過伐が行われた為、森林が荒廃し、水害、土砂災害が多発するようになった。これに対応するため、「復旧造林」を進めた結果。1950年代中頃までには、森林荒廃はほぼ解消するに至った。

1950年代後半に入ると、高度経済成長に伴って旺盛な需要が続いたため、当時森林資源が比較的残っていた奥地の天然林の伐採が行われた。天然林を伐採した跡地には、長期的な供給力を高めるために、スギ、ヒノキ等の針葉樹の「拡大造林」が行われた。また、この時期は、家庭で使用する燃料が、天然林由来の木炭や薪から、電気、ガス、石油に大きく切り替わっていく「燃料革命」の時期と重なる。薪炭源としての天然林の価値が下落した背景もあり、拡大造林は急速に広がった。この結果、人工林面積は、1951年には497万haに過ぎなかったが、15年後の1966年には793万haにまで造成された。

1964年には、旺盛な需要に対応するため、国内林業の近代化、効率化を図り、林業生産力増大、林業従事者の所得増大を目指した「林業基本法」が制定された。他方、国内林だけでは賄えないため、1960年には丸太輸入自由化を皮切りに、木材輸入の自由化が段階的に開始され、1964年には木材輸入完全自由化となった。国内材を補完する位置づけで開始した外材輸入であったが、予想に反して輸入量は急速に拡大し、1960年には13%だった外材率（＝1－国内需給率）が1969年には51%に達し、国内林業の発展を目指した林業基本法による政策は、施行直後から矛盾を抱える続けることになった。

スギ、ヒノキの主伐期は、一般的に苗木から30~50年である。1960年代～1980年代は、戦後造林した平均林齢が若い人工林が多く（例えば、スギの総面積に対する標準伐期齢以上の面積割合は1980年で11%、1990年で17%）、保育、間伐費用がかかる一方、1973年の変動相場制への移行、1985年のプラザ合意により円高が進み、外材輸入は益々増加し、林業経営は厳しい時代が続いた。1995年以降は、国内需給率が20%前後で推移している。

現在、多くの人工林が**図2.7.1-1**に示すように造林・保育期から主伐期に入ってきている。2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」においても、林業は成長産業と位置づけされており、農林水産省では、2009年12月に「森林・林業再生プラン」を公表している。今後の林業の持続的な経営が期待されている。

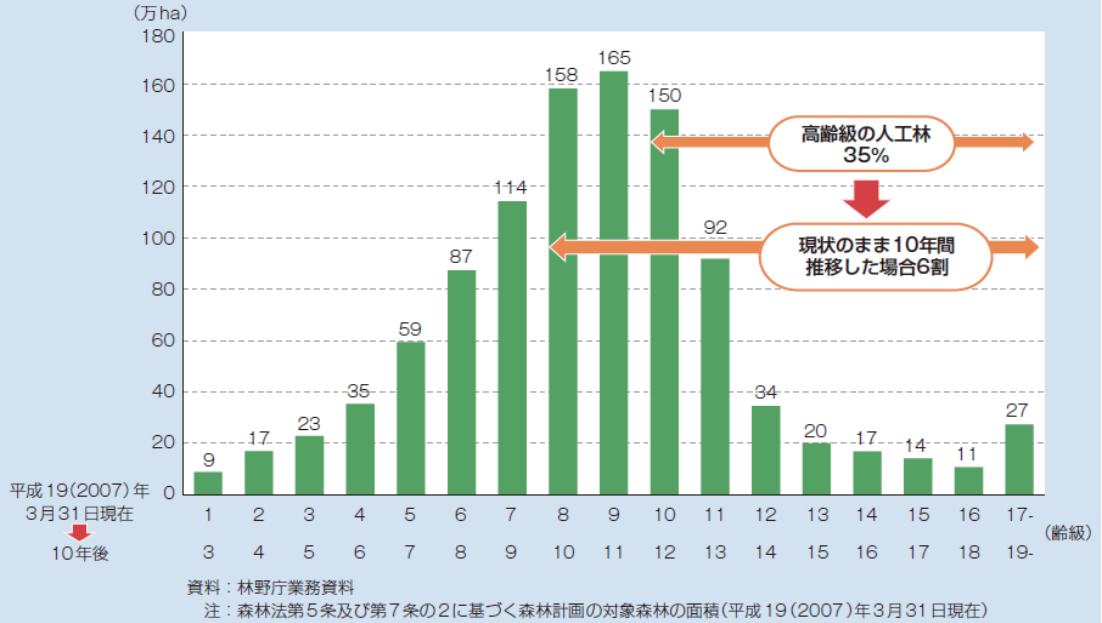


図2.7.1-1　人工林の樹齢構成（2007年現在）

出典　森林・林業白書（平成22年(2010年版）

5)　木材の需給状況

図2.7.1-2にわが国の2009年の木材需給量をまとめる。

山林から切り出すバージン材ベースでは、全生産量についての国内自給率は27.8%である。このとき、建築用資材の国内自給率43.6%であるが、パルプ・チップ用材の国内自給率17.3%である。

工場残材、解体材、廃材などのリサイクル材は、チップに加工されて消費されている。リサイクル材を考慮すると、全生産量の国内需給率は33.7%、パルプ・チップ用材の国内自給率は30.8%に上昇する。

林地残材は、リサイクル材と同様、チップにのみ利用されているが、その量はわずかであることが分かる。林地残材の利用状況の詳細は後述する。

6)　丸太素材の需給状況

丸太素材の需要状況を**表2.7.1-2**にまとめる。

国産の丸太市場においては、自県比率が全国平均で81.0%である。また、同じように国産の丸太市場における針葉樹の流通割合は、製材用で98.4%、合板用で99.6%、木材チップ用で43.8%であり、合計では81.0%である。

国産材と外材を合計した丸太需要は、北海道が2,937千m³で1位、広島県が1,777千m³で2位、宮崎県が1,251千m³で3位となっているが、国産材に限ると北海道が2,813千m³で1位、宮崎県が1,220千m³で2位、岩手県が1,120千m³で3位となる。広島県の丸太素材市場では、約80%が外材であり、最も丸太を輸入している県であることが分かる。

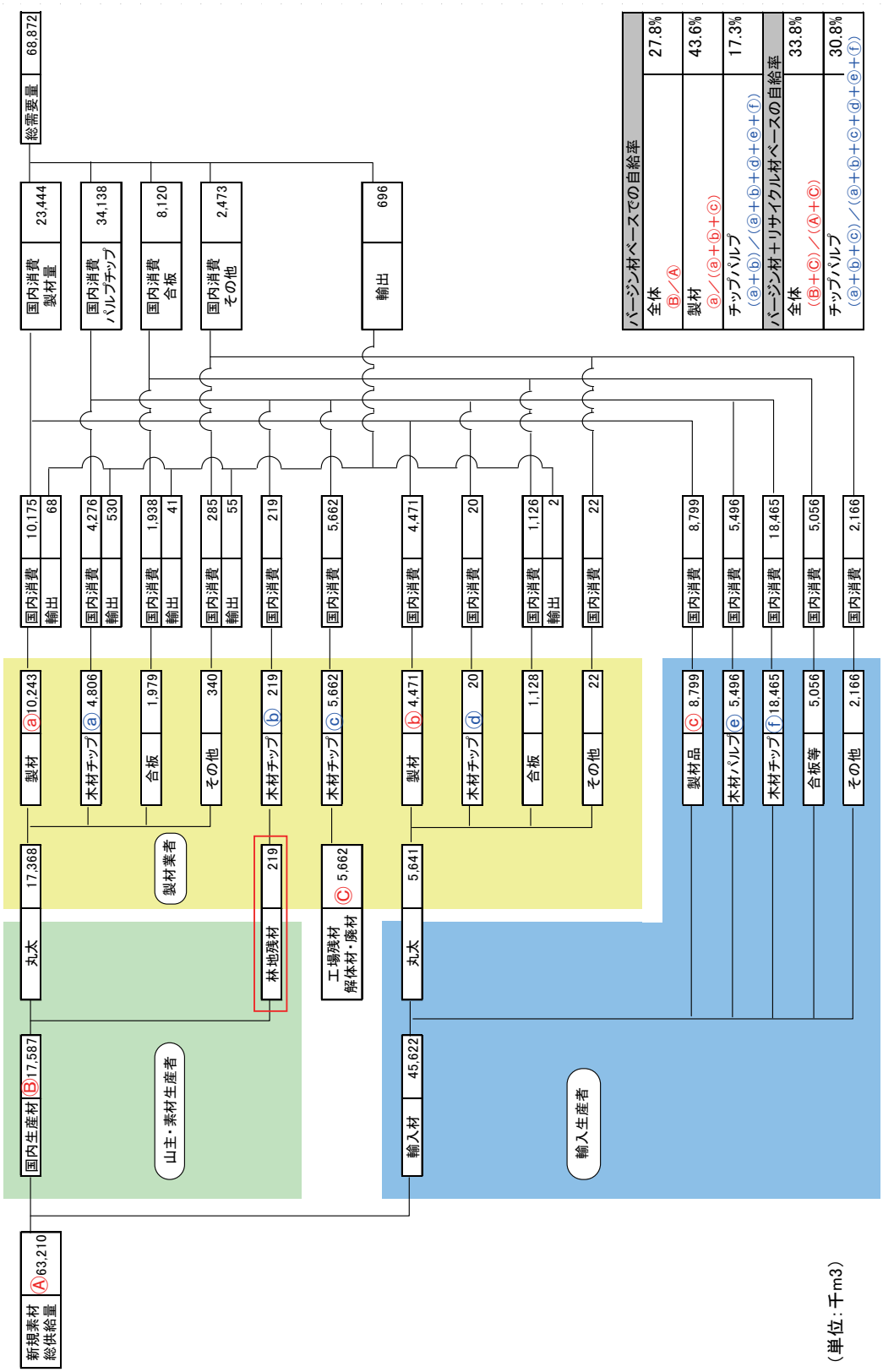


図2.7.1-2　木材需給状況（2009年度）

林野庁、平成21年(2009年)木材需給表（用材部門）より作成

表2.7.1-2　丸太素材の材種別需要状況（2009年度）

単位：千m^3

都道府県	国産材＋外材				国産材																	外材			
	小計	製材用	合板用	木材チップ用	国産材小計	自県材	他県材	自県材比率	針葉樹	広葉樹	針葉樹比率	製材用 小計	製材用 針葉樹	製材用 広葉樹	製材用 針葉樹比率	合板用 小計	合板用 針葉樹	合板用 広葉樹	合板用 針葉樹比率	木材チップ用 小計	木材チップ用 針葉樹	木材チップ用 広葉樹	木材チップ用 針葉樹比率	外材小計	製材用	合板用	木材チップ用
全　国	22 803	15 279	3 107	4 417	16 619	13 460	3 159	81.0%	13 976	2 643	84.1%	10 243	10 077	166	98.4%	1 979	1 972	7	99.6%	4 397	1 927	2 470	43.8%	6 184	5 036	1 128	20
北海道	2 937	1 633	322	982	2 813	2 813	0	100.0%	2 215	598	78.7%	1 552	1 489	63	95.9%	281	274	7	97.5%	980	452	528	46.1%	124	81	41	2
青　森	430	173	x	x	412	347	65	84.2%	303	109	73.5%	158	156	2	98.7%	x	−	x	x	x	147	x	x	18	15	x	x
岩　手	1 233	469	344	420	1 120	1 003	117	89.6%	777	343	69.4%	456	434	22	95.2%	244	244	−	100.0%	420	99	321	23.6%	113	13	100	−
宮　城	922	209	544	169	814	465	349	57.1%	725	89	89.1%	192	191	1	99.5%	453	453	−	100.0%	169	81	88	47.9%	108	17	91	−
秋　田	1 032	378	x	x	919	736	183	80.1%	830	89	90.3%	373	360	13	96.5%	x	x	−	x	x	x	76	x	113	5	x	x
山　形	292	188	−	104	273	242	31	88.6%	199	74	72.9%	169	168	1	99.4%	−	−	−	−	104	31	73	29.8%	19	19	−	−
福　島	788	524	−	264	677	553	124	81.7%	510	167	75.3%	413	411	2	99.5%	−	−	−	−	264	99	165	37.5%	111	111	−	−
茨　城	995	937	−	58	196	112	84	57.1%	146	50	74.5%	138	137	1	99.3%	−	−	−	−	58	9	49	15.5%	799	799	−	−
栃　木	461	408	−	53	431	311	120	72.2%	409	22	94.9%	378	376	2	99.5%	−	−	−	−	53	33	20	62.3%	30	30	−	−
群　馬	168	152	−	16	140	128	12	91.4%	121	19	86.4%	124	119	5	96.0%	−	−	−	−	16	2	14	12.5%	28	28	−	−
埼　玉	79	65	−	14	75	56	19	74.7%	60	15	80.0%	61	56	5	91.8%	−	−	−	−	14	4	10	28.6%	4	4	−	−
千　葉	168	78	x	x	93	75	18	80.6%	77	16	82.8%	46	46	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	16	x	75	32	x	x
東　京	21	19	−	2	10	10	0	100.0%	10	0	100.0%	9	9	0	100.0%	−	−	−	−	1	1	−	100.0%	11	10	−	1
神奈川	19	9	x	x	16	14	2	87.5%	10	6	62.5%	6	6	0	100.0%	x	x	x	x	x	x	x	x	3	3	−	−
新　潟	400	240	x	x	135	121	14	89.6%	121	14	89.6%	104	104	0	100.0%	x	x	x	x	x	x	x	x	265	136	x	x
富　山	403	350	−	53	90	49	41	54.4%	66	24	73.3%	38	37	1	97.4%	−	−	−	−	52	29	23	55.8%	313	312	−	1
石　川	266	84	x	x	213	104	109	48.8%	199	14	93.4%	58	58	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	14	x	53	26	x	x
福　井	119	79	−	40	99	72	27	72.7%	94	5	94.9%	59	59	0	100.0%	−	−	−	−	40	35	5	87.5%	20	20	−	0
山　梨	169	31	−	138	160	144	16	90.0%	113	47	70.6%	22	22	0	100.0%	−	−	−	−	138	91	47	65.9%	9	9	−	−
長　野	237	172	−	65	204	188	16	92.2%	193	11	94.6%	139	136	3	97.8%	−	−	−	−	65	57	8	87.7%	33	33	−	−
岐　阜	302	274	−	28	260	211	49	81.2%	233	27	89.6%	232	211	21	90.9%	−	−	−	−	28	22	6	78.6%	42	42	−	−
静　岡	352	309	x	x	248	234	14	94.4%	243	5	98.0%	216	214	2	99.1%	−	−	−	−	32	29	3	90.6%	104	93	x	x
愛　知	237	140	96	1	62	50	12	80.6%	62	0	100.0%	61	61	0	100.0%	0	0	0		1	1	0	100.0%	175	79	96	0
三　重	426	388	−	38	346	226	120	65.3%	341	5	98.6%	310	310	0	100.0%	−	−	−	−	36	31	5	86.1%	80	78	−	2
滋　賀	86	51	−	35	54	29	25	53.7%	37	17	68.5%	24	24	0	100.0%	−	−	−	−	30	13	17	43.3%	32	27	−	5
京　都	428	169	x	x	216	109	107	50.5%	182	34	84.3%	30	30	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	34	x	212	139	x	x
大　阪	19	19	x	x	6	4	2	66.7%	6	0	100.0%	6	6	0	100.0%	x	−	x	x	x	−	x	x	13	13	x	x
兵　庫	325	286	−	39	125	101	24	80.8%	113	12	90.4%	89	88	1	98.9%	−	−	−	−	36	25	11	69.4%	200	197	−	3
奈　良	228	228	−	0	139	124	15	89.2%	139	0	100.0%	139	139	0	100.0%	−	−	−	−	0	0	−	100.0%	89	89	−	0
和歌山	319	309	−	10	169	136	33	80.5%	166	3	98.2%	162	162	0	100.0%	−	−	−	−	7	4	3	57.1%	150	147	−	3
鳥　取	282	48	x	x	92	71	21	77.2%	68	24	73.9%	42	42	0	100.0%	−	−	−	−	50	26	24	52.0%	190	6	x	x
島　根	546	112	318	116	346	259	87	74.9%	257	89	74.3%	82	82	0	100.0%	148	148	−	100.0%	116	27	89	23.3%	200	30	170	−
岡　山	408	370	−	38	391	285	106	72.9%	369	22	94.4%	353	353	0	100.0%	−	−	−	−	38	16	22	42.1%	17	17	−	−
広　島	1 777	1 512	0	265	339	261	78	77.0%	117	222	34.5%	77	75	2	97.4%	0	−	0	0.0%	262	42	220	16.0%	1 438	1 435	0	3
山　口	293	259	−	34	122	109	13	89.3%	80	42	65.6%	88	79	9	89.8%	−	−	−	−	34	1	33	2.9%	171	171	−	−
徳　島	409	282	x	x	287	183	104	63.8%	266	21	92.7%	183	183	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	21	x	122	99	x	x
香　川	56	56	−	0	5	0	5	0.0%	5	0	100.0%	5	5	0	100.0%	−	−	−	−	0	−	0	0.0%	51	51	−	−
愛　媛	725	702	−	23	411	344	67	83.7%	409	2	99.5%	388	387	1	99.7%	−	−	−	−	23	22	1	95.7%	314	314	−	−
高　知	476	340	−	136	359	311	48	86.6%	336	23	93.6%	223	223	0	100.0%	−	−	−	−	136	113	23	83.1%	117	117	−	−
福　岡	382	350	x	x	298	82	216	27.5%	296	2	99.3%	266	265	1	99.6%	x	−	x	x	x	31	x	x	84	84	x	x
佐　賀	135	116	−	19	128	52	76	40.6%	117	11	91.4%	109	109	0	100.0%	−	−	−	−	19	8	11	42.1%	7	7	−	−
長　崎	73	30	−	43	62	57	5	91.9%	21	41	33.9%	19	19	0	100.0%	−	−	−	−	43	2	41	4.7%	11	11	−	−
熊　本	913	633	x	x	857	648	209	75.6%	777	80	90.7%	606	606	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	80	x	56	27	x	x
大　分	704	682	−	22	680	526	154	77.4%	673	7	99.0%	658	658	0	100.0%	−	−	−	−	22	15	7	68.2%	24	24	−	−
宮　崎	1 251	1 125	−	126	1 220	1 098	122	90.0%	1 133	87	92.9%	1 094	1 087	7	99.4%	−	−	−	−	126	46	80	36.5%	31	31	−	−
鹿児島	508	288	x	x	505	405	100	80.2%	352	153	69.7%	285	285	0	100.0%	x	x	−	x	x	x	153	x	3	3	−	−
沖　縄	4	3	x	x	2	2	−	100.0%	0	2	0.0%	1	0	1	0.0%	x	x	x	x	x	x	x	x	2	2	−	−

凡例：－は事実のないもの。　×は秘匿事項により公表されていないもの。　0は1千m^3未満のもの。

出典　農林水産省　平成21年(2009年)木材統計より作成

2.7.2 林地残材とは

1) 林地残材とは

林地残材について確認しておく。林地残材とは、農林水産省によれば「立木を丸太にする際に出る枝葉や梢端部分、森林外へ搬出されない間伐材等、通常は林地に放置される残材」とされる。つまり、林地残材は、主伐の際に発生する端材で林地に放置される主伐残材と、間伐によって林地に放置される間伐残材の大きく2種類に分けられる。

2) 主伐と間伐

主伐と間伐について、**表2.7.2-1**にまとめるので参照にされたい。

表2.7.2-1 主伐、間伐の種類

主伐		・一定の林齢に生育した立木（スギ、ヒノキならば苗木から30～50年程度）を、用材等で販売するために伐採すること。 ・林業の主たる収入源。 ・主伐には、一度に全面積を伐採する「皆伐」と、何度かに分けて抜き切りする「択伐」とがある。
	皆伐	・対象とする区画のすべての木を一斉に伐倒し、造材、集材して木材を収穫する方法。 ・人工林では、皆伐後に新しく苗木を植える再造林をする。 ・天然林や低質の広葉樹林では、これを皆伐して木材を収穫し、跡地を人工林に仕立てる（いわゆる「拡大造林」）。
	択伐	・林内の伐期に達した木を適量ずつ数年から数十年おきに抜き切りして、造材、集材して木材を収穫する方法。 ・主に天然林で行われる主伐の一手法。 ・皆伐に対する方法であり、持続的な林業が図れるといわれる。
間伐		・樹木の生長に伴って混み合ってきたが主伐期には至らない人工林（スギ、ヒノキならば苗木から15～20年）や、人手の入った天然林で、樹木の生育を促すために間引くための伐採。 ・将来的に主伐する立木の保育上の為だけでなく、水源涵養力、土壌保全力にも繋がることから、重要視される。 ・将来木材としての利用価値が高いと思われる樹木を残すなどする「定性間伐」と、伐採経費を抑えるために機械的に一定量を伐採する「定量間伐」とに大別される。 ・従来、間伐材は販売によって収入を得られるものであり、その利益をもとに間伐が行われていた（いわゆる「利用間伐」）。 ・しかし近年は間伐材の需要が低迷しており、間伐材を林業地に山積みにしたまま放置する「切捨て間伐（未利用間伐）」が多くなっている。

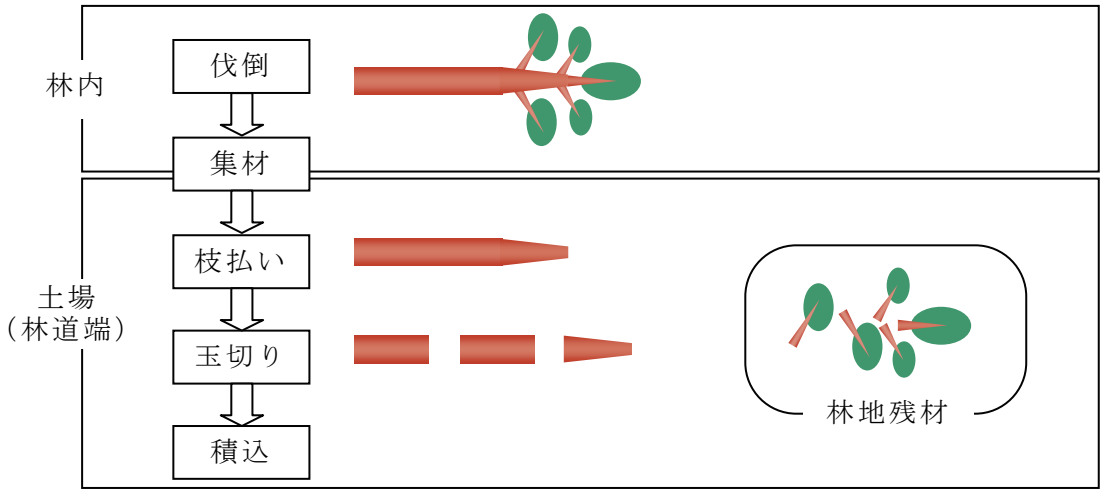
3)　林地残材の発生過程

丸太素材の育成・生産現場に着目して、林地残材の発生過程を整理しておく。

主伐残材については、全木集材、全幹集材、短幹集材という３つの主伐の造材・集材方法に分けて整理する。

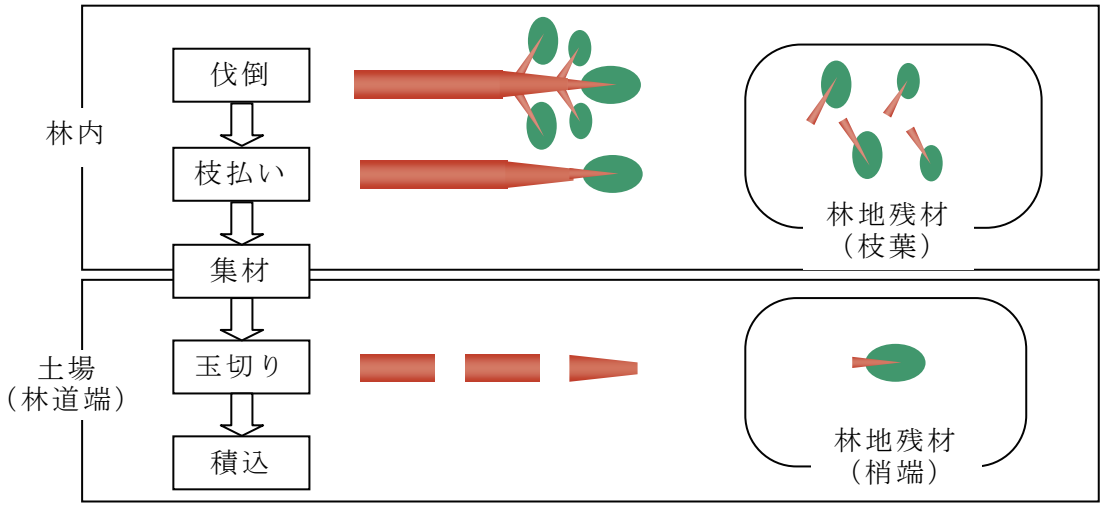
a)　全木集材における主伐残材

全木集材とは、林内で伐倒した伐倒木を、林道沿いの土場に集材してから、枝払い・玉切りなどの造材を行って丸太原木にする生産方法である。この場合、土場に集積される枝葉や梢端部分が林地残材となる。



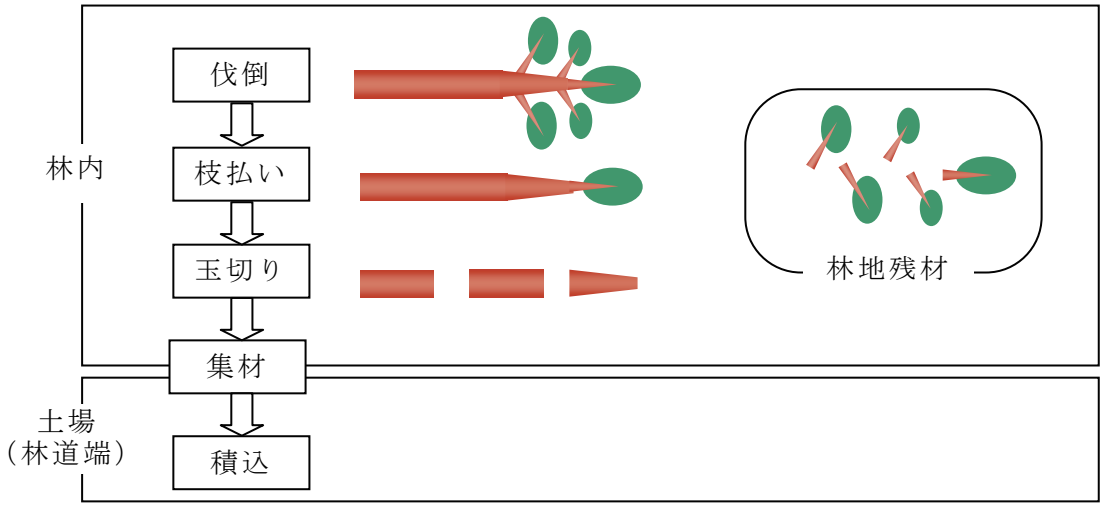
b)　全幹集材における主伐残材

全幹集材とは、林内で伐倒した伐倒木をその場で枝払いした後、土場に集材して、玉切りなどの造材を行って丸太原木にする生産方法である。この場合、枝葉部分は林地に広く拡散し、梢端部分は土場に集積される。



c)　短幹集材における主伐残材

短幹集材とは、林内で伐倒した伐倒木をその場で枝払い、玉切りなどの造材で丸太原木にした後、土場に集材する生産方法である。この場合、林地に広く拡散する枝葉や梢端部分が林地残材となる。



d)　間伐残材

間伐で発生する林地残材であるが、利用間伐の場合は、基本的には主伐に準じた方法で伐採するので、林地残材は、枝葉や梢端部分が林内に拡散したものになるか、もしくは土場に集積したものになる。

一方、切捨て間伐の場合は、伐採木そのものが林地残材となる。それらは、伐倒されたその場に放置されるか、もしくは枝払い、短尺に切られて整理されるが、いずれにせよ林内に拡散した状態となる。

4)　林地残材の特徴

林地残材の樹種は、針葉樹が大方であると推測される。まず、主伐由来の林地残材の場合、丸太市場に流通している針葉樹と広葉樹に比率に近い割合で、発生すると考えられるからである。針葉樹の流通割合は81.0%であることは、**表2.7.1-2**でも示した通りである。また、間伐由来の林地残材の場合、基本的には人工林で発生するが、人工林での針葉樹比率は97.1%であることは、**表2.7.1-1**に示した通りである。

次に林地残材の形状であるが、枝葉、梢端部分、大きなものでも建材には到底適さない短尺、小径の幹であると推測される。まず、主伐由来の場合は、前述したとおり、枝葉、梢端部分が林地残材となる。また、間伐由来の場合は、幹部分も林地残材になり得るが、そもそも間伐は、主伐期には至らない未成熟の立木を伐採したものであるので、建材にはなり得ないはずである。形状的な特徴については、**図2.7.1-2**にしめしたように、林地残材がチップにのみ利用されていることからも、裏付けられると言えよう。

2.7.3 林地残材の賦存量、および利用可能量

未利用バイオマスに共通していることであるが、林地残材は、そもそも林地に残されて、市場に流通していない為に統計が不足しており、賦存量および利用可能量は、推計に頼る部分が大きい。

推計は多くの林業関連機関等で実施されているが、そのアプローチとしては、後述するNEDOの推計方法のように、丸太素材生産量の統計データから、演繹的に算出する方法が一般的である。(他には、北海道、岩手県などが実施。)

ここでは、代表的な推計方法として、NEDOがインターネットを通じてバイオマス賦存量・利用可能量を試験的に提供しているサイト「バイオマス賦存量、利用可能量の推計」で行っている推計方法を紹介する。

1) NEDOによる賦存量の推計方法

NEDOでは、市町村単位で林地残材の賦存量を次式のように、主伐・利用間伐の際に発生する端材と、切り捨て間伐の際に林地に放置される伐採木に分けて、それぞれ推計し合計している。

> 市町村別林地残材賦存量（t/年）
> ＝市町村別林地残材(主伐・利用間伐)賦存量（t/年）
> ＋ 市町村別未利用間伐立木伐採材積（t/年）

a) 主伐・利用間伐の際に発生する端材

はじめに、主伐・利用間伐の際に発生する端材の賦存量についてだが、NEDOでは、まず次式で都道府県単位での推計を行っている。

> 都道府県別林地残材(主伐・利用間伐)賦存量（t/年）
> ＝（国産材の素材需要量(m^3/年）÷利用率(%))×林地残材率(%)×木材比重

素材需要量は、農林水産省による木材統計（都道府県別で公表されている）を一次データとしている。木材統計調査は、素材生産並びに木材製品の生産及び出荷等に関する実態を明らかにし、林業行政の資料を整備することを目的として行われているものであり、農林水産省のホームページで公開されている。調査方法は、オンライン、郵送または統計調査票が調査客体の代表者に調査票を配布して行う自計申告調査方式が採られている。

利用率とは、根株、樹皮、枝条等立木全体の材積量に対して、素材として利用部分の割合である。つまり、素材需要量を利用率によって割り戻すことにより、立木の材積量を算出している。また、林地残材率とは、素材として利用する立木材積量に対する林地残材量の割合である。NEDOでは、利用率、残材率を**表2.7.4**に示す値を採用している。

表2.7.3-1　NEDOで用いている利用率、林地残材率

	利用率	林地残材率
針葉樹	85.99%	15%
広葉樹	79.51%	35%

出典　NEDOホームページ　「バイオマス賦存量、利用可能量の推計」

利用率、林地残材率の値については、北海道、岩手県など他の機関では、それぞれの事例調査に基づき、別の値を採用している。将来的には、今後、事例の積み重ねで精度を上げることが求められている。特に宮崎県は、枝条、抹消部分、切捨て丸太部分、それぞれの賦存量を算出している。

次にNEDOでは、上記で求めた都道府県別の賦存量から、次式により市町村別の賦存量を算出している。

市町村別林地残材(主伐・利用間伐)賦存量（t/年）
＝都道府県別林地残材賦存量（t/年）
×　当該市町村別人工林面積(m²)　÷　当該都道府県別人工林面積(m²)

市町村別賦存量の推計に関しては、人工林面積で按分する点が、精度が粗いように思われる。なぜならば、主伐・利用間伐由来の林地残材量は、素材生産量との相関が高いと思われるが、素材生産量と人工林面積の相関は低いからである。都道府県別であるが、**表2.7.1-1**に示した人工林面積と、**表2.7.1-2**の丸太素材量（自県材ベース）の関係を、**表2.7.3-1**に示した。この表で分かるように、NEDOの賦存量推計では、人工林面積に対して丸太素材量が少ない東京都、大阪府、沖縄県などでは賦存量が過大に算出され、人工林面積に対して丸太素材量が多い北海道、宮城県、宮崎県などでは賦存量が過小に算出される傾向があると考えられる。

しかし、NEDOが市町村別賦存量を推計した目的は、地理情報システム（GIS）を活用して、林地残材の賦存量を視覚的に表示し、把握させることにあるので、精度向上は今後の課題として理解すべきである。

表2.7.3-1人工林面積と素材量（自県材ベース）の関係

	人工林面積Ⓐ		素材量(自県材ベース)Ⓑ		指標
	(ha)	割合	(千m3)	割合	Ⓐ／Ⓑ
北海道	1,502,979	14.6%	2,813	20.9%	534
青森県	273,243	2.6%	347	2.6%	787
岩手県	501,967	4.9%	1,003	7.5%	500
宮城県	200,367	1.9%	465	3.5%	431
秋田県	410,172	4.0%	736	5.5%	557
山形県	184,294	1.8%	242	1.8%	762
福島県	341,962	3.3%	553	4.1%	618
茨城県	114,934	1.1%	112	0.8%	1,026
栃木県	156,536	1.5%	311	2.3%	503
群馬県	180,664	1.7%	128	1.0%	1,411
埼玉県	59,962	0.6%	56	0.4%	1,071
千葉県	61,576	0.6%	75	0.6%	821
東京都	35,118	0.3%	10	0.1%	3,512
神奈川県	36,040	0.3%	14	0.1%	2,574
新潟県	163,811	1.6%	121	0.9%	1,354
富山県	52,874	0.5%	49	0.4%	1,079
石川県	101,723	1.0%	104	0.8%	978
福井県	125,434	1.2%	72	0.5%	1,742
山梨県	153,214	1.5%	144	1.1%	1,064
長野県	444,386	4.3%	188	1.4%	2,364
岐阜県	386,561	3.7%	211	1.6%	1,832
静岡県	281,053	2.7%	234	1.7%	1,201
愛知県	141,287	1.4%	50	0.4%	2,826
三重県	230,691	2.2%	226	1.7%	1,021
滋賀県	84,210	0.8%	29	0.2%	2,904
京都府	129,995	1.3%	109	0.8%	1,193
大阪府	27,782	0.3%	4	0.0%	6,945
兵庫県	240,466	2.3%	101	0.8%	2,381
奈良県	172,751	1.7%	124	0.9%	1,393
和歌山県	221,108	2.1%	136	1.0%	1,626
鳥取県	139,136	1.3%	71	0.5%	1,960
島根県	207,342	2.0%	259	1.9%	801
岡山県	198,279	1.9%	285	2.1%	696
広島県	199,230	1.9%	261	1.9%	763
山口県	197,131	1.9%	109	0.8%	1,809
徳島県	192,110	1.9%	183	1.4%	1,050
香川県	27,043	0.3%	0	0.0%	－
愛媛県	246,101	2.4%	344	2.6%	715
高知県	392,141	3.8%	311	2.3%	1,261
福岡県	142,604	1.4%	82	0.6%	1,739
佐賀県	73,545	0.7%	52	0.4%	1,414
長崎県	104,766	1.0%	57	0.4%	1,838
熊本県	281,783	2.7%	648	4.8%	435
大分県	238,271	2.3%	526	3.9%	453
宮崎県	356,246	3.5%	1,098	8.2%	324
鹿児島県	300,375	2.9%	405	3.0%	742
沖縄県	12,361	0.1%	2	0.0%	6,181
計	10,325,626	100.0%	13,460	100.0%	767

b)　切捨て間伐の際に林地に放置される伐採木

切り捨て間伐の際に発生する林地残材賦存量については、林野庁が平成5年から平成10年の森林・林業白書で発表していた全国の間伐材の利用：未利用比率の平均値から、全国の未利用間伐材賦存量を計算し、それを都道府県別の旱魃実施面積、さらには市町村別に人工林面積で按分することによって、算出している。

全国の未利用間伐材積（m^3）＝　全国の利用間伐材積（m^3）÷46%×54%

全国の未利用間伐立木伐採積（m^3）
＝全国の未利用間伐材積（m^3）÷　針葉樹の利用率

単位変換(m^3)→（ｔ）:　針葉樹の気乾比重平均値（0.45）を利用

都道府県別未利用間伐立木伐採積（t）＝全国の未利用間伐立木伐採積（t）
×　当該都道府県間伐実施面積(m^2)　÷　全国間伐実施面積(m^2)

市町村別未利用間伐立木伐採積（t）＝都道府県別未利用間伐立木伐採積（t）
×　当該市町村別人工林面積(m^2)　÷　当該都道府県別人工林面積(m^2)

また、**表2.7.3-2**にNEDOで利用している間伐材の利用率、未利用率をしめす。

表2.7.3-2　NEDOで用いている間伐材の利用率、未利用率

		平成 5年度	平成 6年度	平成 7年度	平成 8年度	平成 9年度	平均値
間伐面積(千ha)		235	196	215	215	209	214
間伐材積(万m3)		395	348	405	431	453	406
利用されたもの	計	202	172	183	185	193	187
	製材	142	124	125	130	132	131
	丸太	40	33	34	33	32	34
	原材料	20	15	24	22	29	22
未利用のもの		193	176	222	246	260	219
利用間伐材積率		51%	49%	45%	43%	43%	46%
未利用間伐材積率		49%	51%	55%	57%	57%	54%

出典　NEDOホームページ　「バイオマス賦存量、利用可能量の推計」

しかし、森林・林業白書における間伐材の利用率、未利用率の算出方法については詳細が公表されておらず、そもそもの精度は評価しがたいところである。

また、森林・林業白書における全国の利用間伐材積量の算出方法についても詳細が不明である。もし、都道府県別のデータから積み上げているのであれば、NEDOのようにわざわざ全国の未利用間伐材を基に間伐実施面積で按分することによって都道府県別、さらには市町村別に算出する必要はないはずである。

切捨て間伐由来の林地残材については、精度向上の前に、根拠となる一次データの集計方法を明らかにする必要があろう。

2)　NEDOによる利用可能量の推計方法

NEDOでは、林地残材の収集・運搬の観点から、**図2.7.3-1**に示すように、林道の片道25m（両側50m）範囲の林地にある残材のみ利用可能であると想定し、林地残材賦存量から森林面積で按分して推計している。林道延長は、林野庁の森林・林業統計要覧に記載されている値（市町村別）を使用している。

市町村別林地残材利用可能量（t/年）＝　市町村別林地残材賦存量（t/年） ×（市町村別林道延長(m)×50（m））÷　市町村別人工林面積（m²）

利用可能量の推計に関しては、林道の片道25mの範囲が利用可能範囲として妥当かどうか今後議論が必要になってくるであろう。傾斜勾配の大小、使用する建設機械によって、その範囲は随時、見直しが必要になってくると思われる。

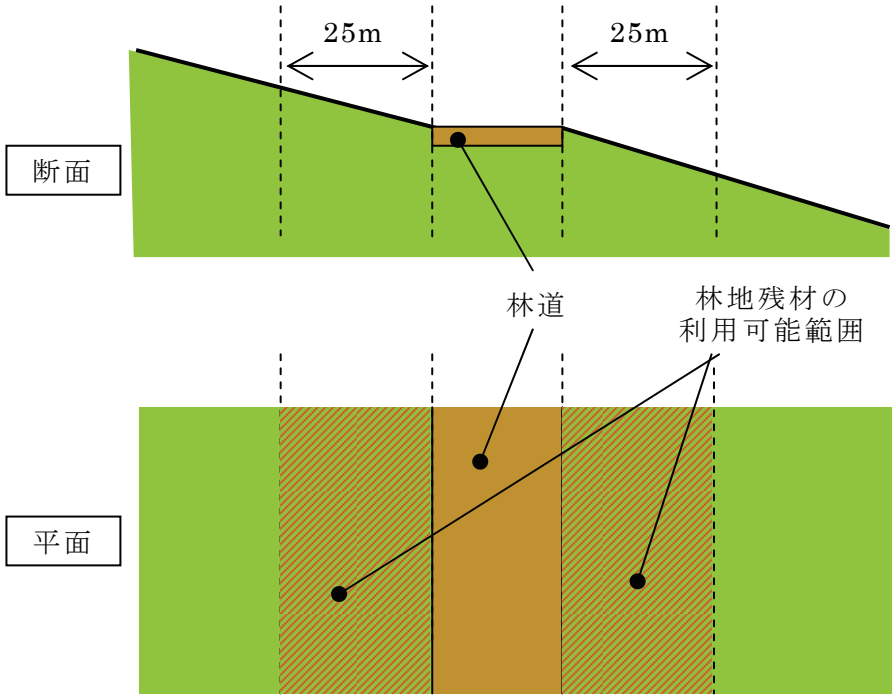


図2.7.3-1　林地残材の利用可能な範囲

出典　NEDOホームページ　「バイオマス賦存量、利用可能量の推計」

3)　NEDOによる賦存量および利用可能量の推計結果

NEDOで市町村毎に林地残材の賦存量、利用可能量を推定しているが、その精度を考慮し、都道府県単位で**表2.7.3-3**にまとめ直す。賦存量に対して利用可能量は全国で5.9%のみである。なお表中網掛部分は賦存量、利用可能量の多い上位3都道府県を示す。

表2.7.3-3　林地残材の賦存量、利用可能量の推計結果

（単位：t）

	賦存量Ⓐ		利用可能量Ⓑ		利用可能量／賦存量Ⓑ/Ⓐ
全国	3,356,216	100.0%	198,612	100.0%	5.9%
北海道	558,671	16.6%	35,944	18.1%	6.4%
青森県	96,280	2.9%	6,086	3.1%	6.3%
岩手県	234,567	7.0%	12,419	6.3%	5.3%
宮城県	73,849	2.2%	3,898	2.0%	5.3%
秋田県	135,133	4.0%	7,519	3.8%	5.6%
山形県	54,866	1.6%	4,208	2.1%	7.7%
福島県	110,979	3.3%	9,600	4.8%	8.7%
茨城県	32,846	1.0%	1,395	0.7%	4.2%
栃木県	65,168	1.9%	3,933	2.0%	6.0%
群馬県	30,046	0.9%	2,020	1.0%	6.7%
埼玉県	16,456	0.5%	1,163	0.6%	7.1%
千葉県	13,998	0.4%	802	0.4%	5.7%
東京都	69,407	2.1%	4,570	2.3%	6.6%
神奈川県	8,316	0.2%	798	0.4%	9.6%
新潟県	31,294	0.9%	3,114	1.6%	10.0%
富山県	9,955	0.3%	1,710	0.9%	17.2%
石川県	21,069	0.6%	2,121	1.1%	10.1%
福井県	30,172	0.9%	2,095	1.1%	6.9%
山梨県	14,938	0.4%	961	0.5%	6.4%
長野県	73,899	2.2%	5,554	2.8%	7.5%
岐阜県	107,552	3.2%	7,629	3.8%	7.1%
静岡県	70,817	2.1%	3,674	1.9%	5.2%
愛知県	62,516	1.9%	3,325	1.7%	5.3%
三重県	73,636	2.2%	3,271	1.6%	4.4%
滋賀県	17,534	0.5%	1,283	0.6%	7.3%
京都府	37,492	1.1%	2,322	1.2%	6.2%
大阪府	28,645	0.9%	2,100	1.1%	7.3%
兵庫県	68,073	2.0%	2,597	1.3%	3.8%
奈良県	43,151	1.3%	1,129	0.6%	2.6%
和歌山県	58,039	1.7%	2,058	1.0%	3.5%
鳥取県	30,872	0.9%	1,523	0.8%	4.9%
島根県	64,072	1.9%	3,000	1.5%	4.7%
岡山県	74,306	2.2%	4,268	2.1%	5.7%
広島県	67,708	2.0%	5,397	2.7%	8.0%
山口県	61,521	1.8%	2,554	1.3%	4.2%
徳島県	41,721	1.2%	1,979	1.0%	4.7%
香川県	10,800	0.3%	996	0.5%	9.2%
愛媛県	103,287	3.1%	5,242	2.6%	5.1%
高知県	109,214	3.3%	4,453	2.2%	4.1%
福岡県	46,175	1.4%	2,729	1.4%	5.9%
佐賀県	23,369	0.7%	2,055	1.0%	8.8%
長崎県	30,068	0.9%	2,099	1.1%	7.0%
熊本県	126,461	3.8%	5,532	2.8%	4.4%
大分県	96,423	2.9%	4,437	2.2%	4.6%
宮崎県	141,940	4.2%	8,045	4.1%	5.7%
鹿児島県	78,834	2.3%	4,994	2.5%	6.3%
沖縄県	79	0.0%	10	0.0%	12.1%

2.7.4　林地残材の利用率

1)　林地残材の利用量

林地残材は、そのほとんどが木チップとして利用されていることは前述したとおりだが（**図2.7.1-2**参照）、農林水産省の木材統計では都道府県別の林地残材による木チップ生産量が公表されているので、**表2.7.4-1**に示す。林地残材の利用は、愛知県、岡山県が比較的多い。

表2.7.4-1　木材チップ生産量（外材含む）

単位：千ｔ

都道府県	計	針葉樹	広葉樹	素材	工場残材	林地残材	解体材・廃材
全　国	5 129	2 598	1 597	2 398	1 689	108	934
北海道	758	457	301	499	259	0	－
青　森	163	92	71	139	24	－	－
岩　手	304	106	197	245	58	－	1
宮　城	156	93	56	94	55	0	7
秋　田	144	81	52	82	51	－	11
山　形	98	47	40	53	33	1	11
福　島	220	99	100	148	47	4	21
茨　城	75	23	25	32	16	－	27
栃　木	91	75	16	33	58	－	－
群　馬	54	8	10	9	9	－	36
埼　玉	93	11	6	8	9	－	76
千　葉	25	16	8	13	11	0	1
東　京	6	6	0	2	4	－	－
神奈川	x	x	x	x	x	－	－
新　潟	74	16	9	10	3	12	49
富　山	76	49	15	35	29	－	12
石　川	19	10	9	12	7	－	－
福　井	37	23	6	20	3	6	8
山　梨	70	46	24	67	3	－	－
長　野	43	39	4	31	12	－	－
岐　阜	62	43	3	18	27	1	16
静　岡	116	74	5	17	58	4	37
愛　知	191	15	15	1	4	25	161
三　重	78	60	5	16	47	2	13
滋　賀	24	8	13	19	2	－	3
京　都	102	41	24	48	12	5	37
大　阪	250	12	33	－	45	－	205
兵　庫	116	27	31	22	28	8	58
奈　良	17	16	1	0	17	－	－
和歌山	85	46	3	5	39	5	36
鳥　取	32	16	16	27	5	－	－
島　根	78	18	60	76	2	－	－
岡　山	66	52	14	14	36	16	0
広　島	398	235	151	172	211	3	12
山　口	48	28	20	20	28	－	－
徳　島	44	32	11	13	29	1	1
香　川	8	4	0	0	4	－	4
愛　媛	147	140	1	16	124	1	6
高　知	98	84	11	63	32	－	3
福　岡	129	43	4	9	31	7	82
佐　賀	14	6	8	10	0	4	0
長　崎	25	1	24	25	0	0	－
熊　本	123	77	46	65	58	－	0
大　分	72	68	4	12	57	3	－
宮　崎	160	111	49	72	88	－	－
鹿児島	136	43	93	122	14	－	－
沖　縄	x	x	x	x	x	－	－

注：針葉樹、広葉樹別には、解体材・廃材を含んでいない。
凡例：－は事実のないもの。　×は秘匿事項により公表されていないもの。　0は1千ｔ未満のもの。

出典　農林水産省　平成21年(2009年)木材統計

2)　林地残材の利用率

林地残材からの木チップ生産量を分子に、NEDO推計の賦存量および利用可能量をそれぞれ分母に、利用率を算出すると**表2.7.4-2**になる。全国では、賦存量ベースでは3.2%しか利用していないが、利用可能量ベースでは54.4%も利用している。

なお、都道府県別では愛知県、岡山県、新潟県の利用率が高い。

表2.7.4-2　林地残材の利用率（賦存量ベースおよび利用可能量ベース）

（単位：千t）

	賦存量Ⓐ		利用可能量Ⓑ		木チップ利用量Ⓒ		Ⓒ／Ⓐ	Ⓒ／Ⓑ
全国	3,356	100.0%	199	100.0%	108	100.0%	3.2%	54.4%
北海道	559	16.6%	36	18.1%	0	0.0%	0.0%	0.0%
青森県	96	2.9%	6	3.1%	－	0.0%	0.0%	0.0%
岩手県	235	7.0%	12	6.3%	－	0.0%	0.0%	0.0%
宮城県	74	2.2%	4	2.0%	0	0.0%	0.0%	0.0%
秋田県	135	4.0%	8	3.8%	－	0.0%	0.0%	0.0%
山形県	55	1.6%	4	2.1%	1	0.9%	1.8%	23.8%
福島県	111	3.3%	10	4.8%	4	3.7%	3.6%	41.7%
茨城県	33	1.0%	1	0.7%	－	0.0%	0.0%	0.0%
栃木県	65	1.9%	4	2.0%	－	0.0%	0.0%	0.0%
群馬県	30	0.9%	2	1.0%	－	0.0%	0.0%	0.0%
埼玉県	16	0.5%	1	0.6%	－	0.0%	0.0%	0.0%
千葉県	14	0.4%	1	0.4%	0	0.0%	0.0%	0.0%
東京都	69	2.1%	5	2.3%	－	0.0%	0.0%	0.0%
神奈川県	8	0.2%	1	0.4%	－	0.0%	0.0%	0.0%
新潟県	31	0.9%	3	1.6%	12	11.1%	38.3%	385.3%
富山県	10	0.3%	2	0.9%	－	0.0%	0.0%	0.0%
石川県	21	0.6%	2	1.1%	－	0.0%	0.0%	0.0%
福井県	30	0.9%	2	1.1%	6	5.6%	19.9%	286.4%
山梨県	15	0.4%	1	0.5%	－	0.0%	0.0%	0.0%
長野県	74	2.2%	6	2.8%	－	0.0%	0.0%	0.0%
岐阜県	108	3.2%	8	3.8%	1	0.9%	0.9%	13.1%
静岡県	71	2.1%	4	1.9%	4	3.7%	5.6%	108.9%
愛知県	63	1.9%	3	1.7%	25	23.1%	40.0%	751.8%
三重県	74	2.2%	3	1.6%	2	1.9%	2.7%	61.1%
滋賀県	18	0.5%	1	0.6%	－	0.0%	0.0%	0.0%
京都府	37	1.1%	2	1.2%	5	4.6%	13.3%	215.3%
大阪府	29	0.9%	2	1.1%	－	0.0%	0.0%	0.0%
兵庫県	68	2.0%	3	1.3%	8	7.4%	11.8%	308.0%
奈良県	43	1.3%	1	0.6%	－	0.0%	0.0%	0.0%
和歌山県	58	1.7%	2	1.0%	5	4.6%	8.6%	242.9%
鳥取県	31	0.9%	2	0.8%	－	0.0%	0.0%	0.0%
島根県	64	1.9%	3	1.5%	－	0.0%	0.0%	0.0%
岡山県	74	2.2%	4	2.1%	16	14.8%	21.5%	374.9%
広島県	68	2.0%	5	2.7%	3	2.8%	4.4%	55.6%
山口県	62	1.8%	3	1.3%	－	0.0%	0.0%	0.0%
徳島県	42	1.2%	2	1.0%	1	0.9%	2.4%	50.5%
香川県	11	0.3%	1	0.5%	－	0.0%	0.0%	0.0%
愛媛県	103	3.1%	5	2.6%	1	0.9%	1.0%	19.1%
高知県	109	3.3%	4	2.2%	－	0.0%	0.0%	0.0%
福岡県	46	1.4%	3	1.4%	7	6.5%	15.2%	256.5%
佐賀県	23	0.7%	2	1.0%	4	3.7%	17.1%	194.7%
長崎県	30	0.9%	2	1.1%	0	0.0%	0.0%	0.0%
熊本県	126	3.8%	6	2.8%	－	0.0%	0.0%	0.0%
大分県	96	2.9%	4	2.2%	3	2.8%	3.1%	67.6%
宮崎県	142	4.2%	8	4.1%	－	0.0%	0.0%	0.0%
鹿児島県	79	2.3%	5	2.5%	－	0.0%	0.0%	0.0%
沖縄県	0	0.0%	0	0.0%	－	0.0%	0.0%	0.0%

2.7.5　まとめ

NEDO推計によると賦存量は3,356千t、利用可能量は198千tとなっており、利用可能量がそもそも少ないことが分かる。

林地残材は、そのほとんどが木チップとして利用されており、全国では108千tが利用されている。都道府県別では愛知県、岡山県、新潟県が比較的多い。

利用率は、賦存量ベースでは3.2%に過ぎないが、利用可能量ベースでは54.4%に達している。これは林道整備することにより林地残材がアクセス上利用しやすい資源にすれば、利用が拡大する可能性があることを示唆していると考える。

なお、賦存量については、NEDOによる推計では3,356千tである一方、2010年12月に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」では約8,000千tとされている。（**表1.1-1**および**図2.7.5-1**を参照のこと。）利用量を108千ｔとした場合、賦存量8,000千tの利用率は1.4%に低下する。2002年度に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」では林地残材の賦存量は約3,900千tと、NEDO推計値と近い値が採用されており、少なくても2006年あたりまで公表されている各種資料では、その値が利用されている。ここ数年で賦存量が2倍になることは現実としては考えにくく、推計方法がなんらか変更されたと考えられるのだが、8,000千tの根拠になる推計方法は、今回調査しても分からないままであった。引き続き調査を続ける予定である。

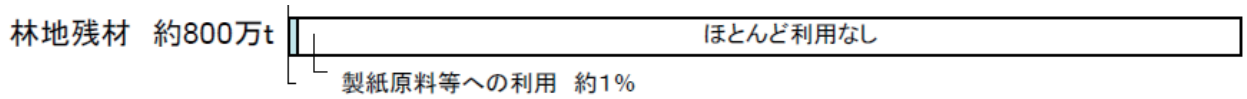


図2.7.5-1　林地残材の賦存量・利用率（2008年）

出典：農林水産省　バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザリーグループ第12回会合配布資料

なお、ボトルネックについては、次の3点があるのではないかと考えている。

①賦存量に対し利用可能量がそもそも低い

②林地残材の発生場所から工場着までの輸送費が高い

③間伐材の利用用途が少ない

①については、今回の前述してきた通りである。これを解消するには、林道の更なる整備が必要であろう。

来年度は、②、③を中心に林地残材の利用率向上を阻むボトルネックについて現地調査・考察を進めて行きたい

第３章　現地調査訪問先

3.1　(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所
＜養豚で発生するリンの再利用技術＞

調査対象：豚舎汚水からのMAP反応等によるリン除去・回収システム

調査日：2010年11月17日

場　所：茨城県つくば市池の台2

1)　訪問先

（独）農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所

2)　入手資料

・プレスリリース（2008.6.18）　養豚で発生するリンの再利用技術を開発

・報文：結晶化反応を用いた豚舎汚水中リンの再利用技術の開発、農林水産ジャーナル，32(3)2009

・報文：養豚で発生する汚水に含まれるリンを除去回収し再利用する技術、tokugikon,No256,2010

・畜産草地研究所パンフレット

・成果発表ペーパー

3)　概要

(1)　研究の背景と要旨

豚舎汚水の中には、高濃度のリンが含まれており、放流時には排水基準以下に処理する必要がある。また、枯渇資源であるリンは、回収して再利用を図ることが望ましいが、一般的に用いられている凝集沈殿処理では、凝集剤との分離が困難という課題がある。本技術は、豚舎汚水にリン酸イオン、マグネシウムイオン、アンモニウムイオンなどがMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）反応に適した濃度で含まれていることが多いという特性を利用するものである。即ち、曝気によって炭酸ガスを追い出して弱アルカリ環境を醸成し（pH8～8.5)、そこに、必要に応じニガリ液（塩化マグネシウム液）を添加することで、豚舎汚水中のリンをMAP結晶として効率的に回収する方法である。なお、技術開発にあたり、養豚農家でも設備の導入や運転が可能となるよう、簡易で低コストな技術となるように留意したとのことである。

(2)　施設の概要

①事業・運営主体：（独）農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所

②事業費：10m³/日処理用（母豚100頭程度）のMAPリアクターで250～300万円程度/式。但し、既設の最初沈殿槽などを改造して簡易MAPリアクターを構築する場合は100～150万円/式。なお、畜産草地研究所に設置されている設備（**写真4.1-3**）は実証試験用のMAPリアクターである。

③処理対象：豚舎汚水

④処理能力：約4m³/日（MAPリアクター曝気筒での滞留時間＝3.6ｈ）

⑤処理方式：汚水をMAPリアクターに導入⇒曝気で弱アルカリ化⇒設置金網にMAP結晶付着⇒金網を引き上げて付着MAPを回収

⑥竣工：2008年6月18日に開発成果をプレスリリース

⑦運転員：特になし(定期的にMAP付着金網を引き上げ・設置・MAP結晶回収)

⑧稼働率：－

⑨農林水産省の委託プロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル研究」（2002～2005年度)、および同省の競争的研究資金「先端技術を利用した農林水産研究高度化事業」（2006～2008年度）として実施。高度化事業の方は神奈川県畜産技術センター、佐賀県畜産試験場、沖縄県農業研究センターなど６つの公設研究機関と協力実施。

4) 回収プロセス

(1) 処理対象物

豚舎汚水（150～400mg/l程度のリン酸イオンを含むもの）

(2) 回収効率

1m³の豚舎汚水から最大で約170gのMAPを回収できる。肥育豚1,000頭規模の一貫経営の養豚場（発生汚水量がおよそ10m³/日）を想定すると、最大で1日におよそ1.7kgのMAPが回収できる計算となる。但し、回収できるMAP量は豚舎汚水の性質（リン酸イオン濃度など）により異なる。簡易MAPリアクターを構築して実施した農家実証試験におけるサイト毎の除去率を**表3.1-1**に示す。

表3.1-1　実証サイトにおける水溶性リンの除去率

実証サイト	原水　　処理水(除去率)	備考
A養豚	33.8mg/l → 5.0mg/l（85%）	
B養豚	68.3mg/l → 20.9mg/l(69%)	
C養豚	186mg/l → 90mg/l （52%）	ニガリの代わりに海水使用

(3) プロセスの概要

処理プロセスのフローおよび回収装置状況を、それぞれ**図3.1-1**および**写真3.1-1～5**に示す。またMAP回収の手順を次に示す。

① 汚水処理施設のうち汚水原水が流入する部分に、汚水中に空気を送る「曝気部」と、汚水中の固形分を沈殿分離する「沈殿部」を併せて有する MAP リアクターを設置し、曝気処理により汚水の pH を 8～8.5 まで上昇させる。

② 汚水の pH が上昇すると結晶化反応である MAP 反応が進行。

③ 曝気槽内に金網などの回収用部材を沈めることで、その表面に MAP を付着・成長させる。（**写真 3.1-1～6**）

④ 付着・成長した MAP は回収用部材を引き上げた後に剥落させて回収する。（MAP 付着回収法）（特許第 4129953 号：畜舎汚水からの燐回収装置）

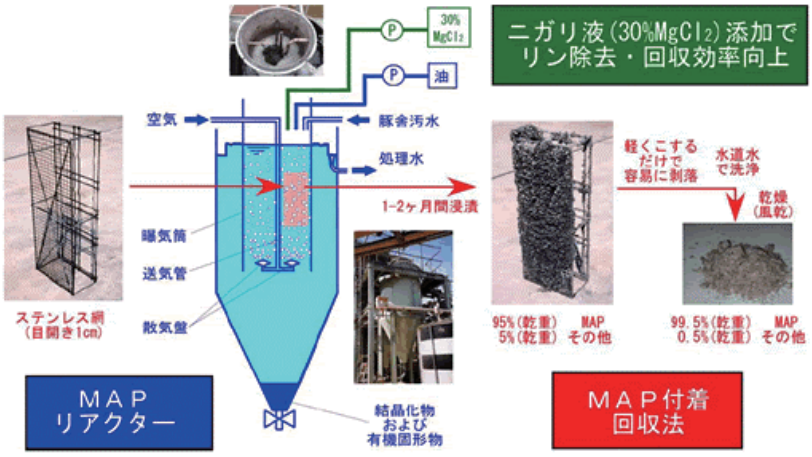


図3.1-1　　結晶化法による豚舎汚水中リンの除去回収技術の概要図

出典：(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所、養豚で発生するリンの再利用技術を開発、プレスリリース、2008.6.18

写真3.1-1　回収したMAP結晶

左：回収結晶（MAP95%）

右：洗浄後結晶（MAP98.5%）

写真3.1-2　添加剤（ニガリ）

左：粉末ニガリ

右：ニガリ液（$MgCl_2$30%）

写真3.1-3　MAPリアクター

処理量：約4m^3/日（MAPリアクター曝気筒での滞留時間＝3.6ｈ）

写真3.1-4　MAP回収金網とMAP

写真3.1-5　回収したMAP結晶

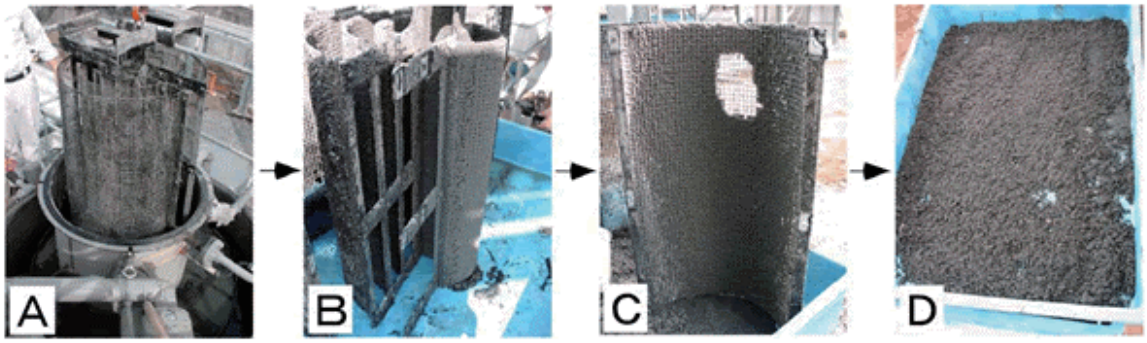


写真3.1-6　MAP付着回収法の実証試験の様子（畜産草地研究所にて実施）
Ｂ：曝気部中へ１月間浸漬後に引上げ解体中の回収用部材
出典：(独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所、養豚で発生するリンの再利用技術を開発、プレスリリース、2008.6.18

(4)　循環利用用途

- 剥落させて回収した MAP は、天日乾燥後、肥料会社等における加工を経ることなく、直ちに肥料等として利用できる。但し、現状では排出者の自家利用に限られ、肥料として第三者へ販売するには肥料登録が必要となると考えられる。
- 市販のリン酸肥料よりもゆっくりと溶出すること、土壌の pH により MAP 中リン酸の溶出のパターンが異なること、市販のリン酸肥料に比べタマネギ栽培に MAP が優れていること、などが明らかになりつつある。
- 釉薬（茶系色）などの陶磁器原料としての利用も可能。

(5)　経済性の概略的試算

本技術は、元々、リン含有排水を排水基準に適合させることと同時にリンの再利用を図るものであり、リンの回収効果だけの経済性を取り出して評価することは妥当と言えない。しかしながら、当部会の目的である資源循環性を測る一つの指標とし

て、概略の試算を下記のように行ってみた。

その結果、リンの再利用という観点だけからは経済合理性は得られないものとなるが、簡便な再利用技術という位置付けで幅広く利用されることで資源再利用に寄与する技術と言える。

設備を設置して10年間稼動させるときの費用（下記①）　　約325万円
1ha圃場に10年間リン肥料を散布する際の肥料費（下記②）　約157万円

①リン回収装置関係の費用試算条件
- 10年間の設置・稼動を想定する
- リン回収装置設置費用　　100～150万円/式→125万円/式
- ランニングコスト
  - 電気代　　5～9万円/年×10年→70万円
  - 薬剤費（ニガリ他）　3～9万円/年×10年→60万円

②リンを購入して圃場に施肥する際の肥料費の算定
- 下記条件下ではリン購入費用は15.7万円/(年･ha)となる
  - ｱ)溶リン散布量を60～100kg/10a→800kg/haとする
    （散布量 : http://www.mame.or.jp/saibai/azu_kyoto.html）
  - ｲ)リン酸液肥市販価格を1,300円/660g＝1,970円/kgとする
    （http://www.nou.co.jp/item_search.php）

5)　所感

豚舎排水からリン酸が見事にMAP結晶として晶析し、その量の多さにも驚かされた。また、曝気という簡便な方法でアルカリ化を図る方法や海水をニガリとして利用する方法、釉薬としての利用および畜産農家に如何にして低コストで利用してもらうかという観点からの開発など、工夫と利用用途開発を視野に入れていること等に使命感を持って開発を行っている印象を受けた。

一方、リン資源の再利用という点では、経済合理性の点で課題があるものの、1m³の汚水から170gのMAPが回収できるという回収効率を考慮し、さらに、養豚農家全戸（6,890戸；鈴木一好、養豚で発生する汚水に含まれるリンを除去回収し再利用する技術、tokugikon、No.256、2010、p.44より）にMAPリアクターを設置できると想定した場合には、一定量のリン回収が可能となる理想状態もあり得ることが類推された。この点からは、少量分散する資源を効率的に回収して資源とする技術が資源循環型社会形成において必須技術であることを痛感した。

3.2 福岡市東部水処理センター ＜下水汚泥からのリン回収（MAP）技術＞

調査日：2010年11月24日

場　所：福岡市東区松島6丁目16番1号

1) 訪問先

福岡市道路下水道局　東部水処理センター

2) 入手資料

東部水処理センターパンフレット「水の行方」：1部

下水処理方法〔AO法、A_2O法〕の概要（A4）：1枚

MAP処理施設の概要（A4）：1枚

東部水処理センター　MAP法処理装置フローシート（A4）：1枚

3) 概要

(1) 取り組みの背景と経緯

東部水処理センターは福岡市内の6ヵ所の下水処理場の一つで、処理人口は約24万人である。処理水の放流先である博多湾は閉鎖性内湾であるため、リンなどの栄養塩類の流入によって赤潮が発生するなどの富栄養化現象が進行している。福岡市は博多湾の水質保全のため、リン除去を目的とした高度処理を行っている。

高度処理施設は、リン除去が可能な嫌気・好気活性汚泥法（AO法）が採用されており、一部リンと窒素の除去が可能な嫌気・無酸素・好気活性汚泥法（A_2O法）も採用され、下水中のリンを活性汚泥中に取り込んでいる。さらに、下水汚泥を嫌気分解し、脱水ろ液に含まれるリンをリン酸マグネシウムアンモニウム（**M**agnesium **A**mmonium **P**hosphate：MAP）として取り出し、リンの回収を行っている。

(2) 施設概要

①処理開始　　：1975年（昭和50年）

②計画処理能力：195,300m³/日

③現有施設能力：145,300m³/日

④計画処理面積：3,640ha

⑤計画処理人口：235,000人

⑥処理方式　　：分流式（一部合流式）

⑦水処理方法　：嫌気・好気活性汚泥法（1系列は嫌気・無酸素・好気法）

⑧汚泥処理工程：濃縮→消化→脱水→焼却

⑨MAP製造工程：消化汚泥脱水ろ液からリンを回収（1997年～）

東部水処理センターの平面図を**図3.2-1**に示す。

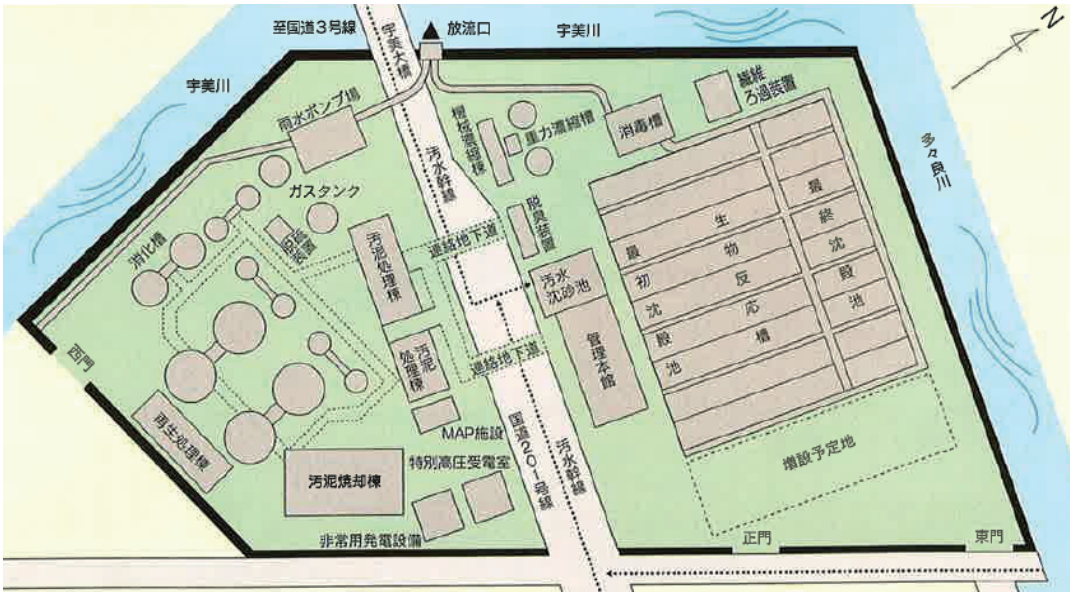


図3.2-1　東部水処理センター平面図

出典：東部水処理センターパンフレット

4)　下水処理プロセス

福岡市東部水処理センター全体のプロセスフローを**図 3.2-2** に、プラント設備の写真を**写真 3.2-1** に示す。

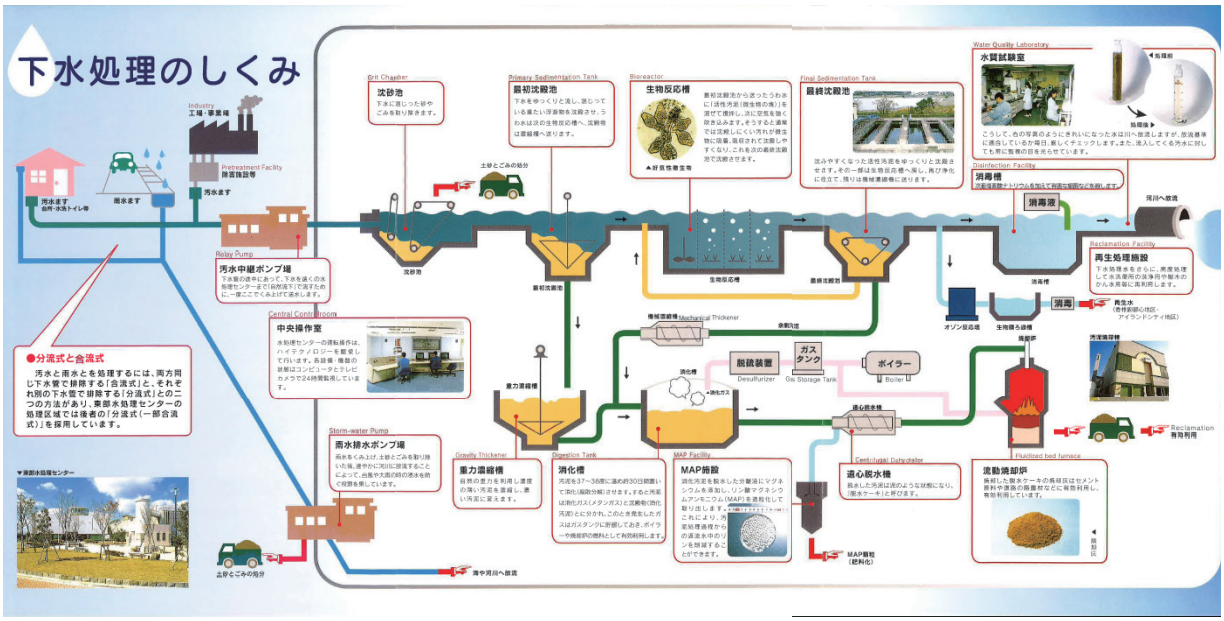


図3.2-2　下水処理プロセス

出典：東部水処理センターパンフレット

嫌気槽　→　無酸素槽　→　好気槽

写真3.2-1　活性汚泥処理施設　嫌気・無酸素・好気法（A_2O法）

・高度処理（AO法、A_2O法）を行っている。放流水の窒素（A_2O法のみ）とリンの目標水質はそれぞれ9ppm以下、0.4ppm以下である。
・A_2O法の好気槽に樹脂製の担体を入れている。循環水やスクリーン目詰まり防止用の曝気のため、AO法に比べて動力費が20%ほど高い。
・初沈汚泥および活性汚泥処理の余剰汚泥は濃縮後消化槽に送られ、ここで発生したメタンガスはボイラや焼却炉の燃料として有効利用している。

写真3.2-2　担体

・消化汚泥は脱水され、脱水ケーキは、流動床焼却炉（850℃）で焼却している。焼却灰は福岡市全体で年間4,300t弱発生し、セメント原料に約2割、土質安定材に約8割と、全量が有効利用されている。
・脱水ケーキを堆肥化して利用する方法もあるが、福岡市では近年需要が減り、経済ベースに乗らなくなってきている。

5)　ＭＡＰ法の処理プロセス

消化汚泥の脱水ろ液に含まれるリンを、化学反応によりMAP（$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$）として回収する。プロセスフローを**図3.2-3～4**に、プラント設備の写真を**写真3.2-3～4**にそれぞれ示す。

(1)　MAP法処理

・原水をアルカリ性（pH8.3前後）に調整するためのNaOH溶液（20%）と、Mg供給のための$MgCl_2$溶液（30%）をそれぞれ造粒塔下部から供給し、造粒塔内部を循環させている（循環速度1m/min）。
・MAP造粒塔は6基あり、そのうち3基が稼動している。製造量は年間約40t（3～4t／月）。
・原水のリン濃度は160ppm前後で、処理後は20～30ppmに低下する。

(2)　MAPの利用法

・回収されたMAPはリン酸分約30%、窒素分約5%、マグネシウム分約15%を含んでおり、化学肥料としてそのまま利用できる。

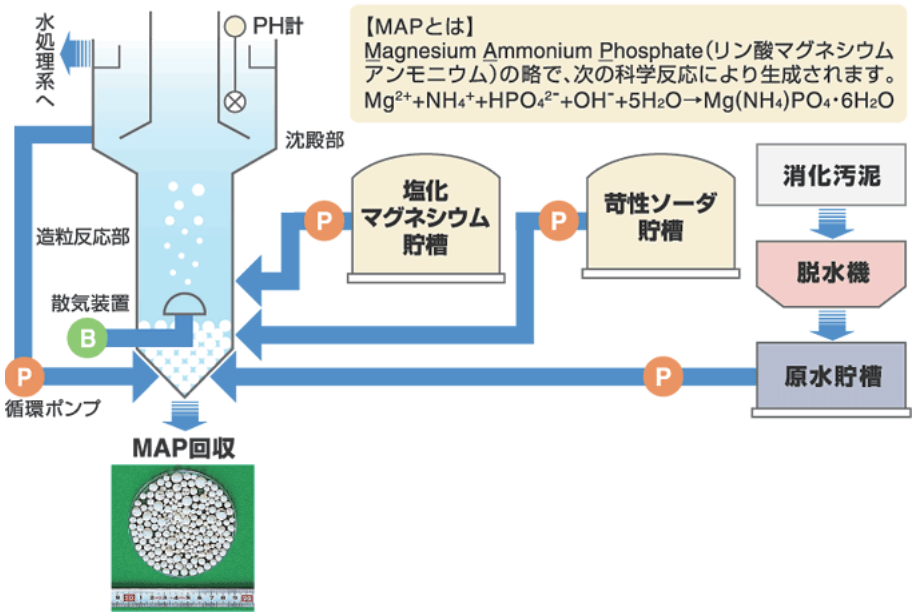


図 3.2-3　ＭＡＰ製造フロー

出典：福岡市道路下水道局ホームページ

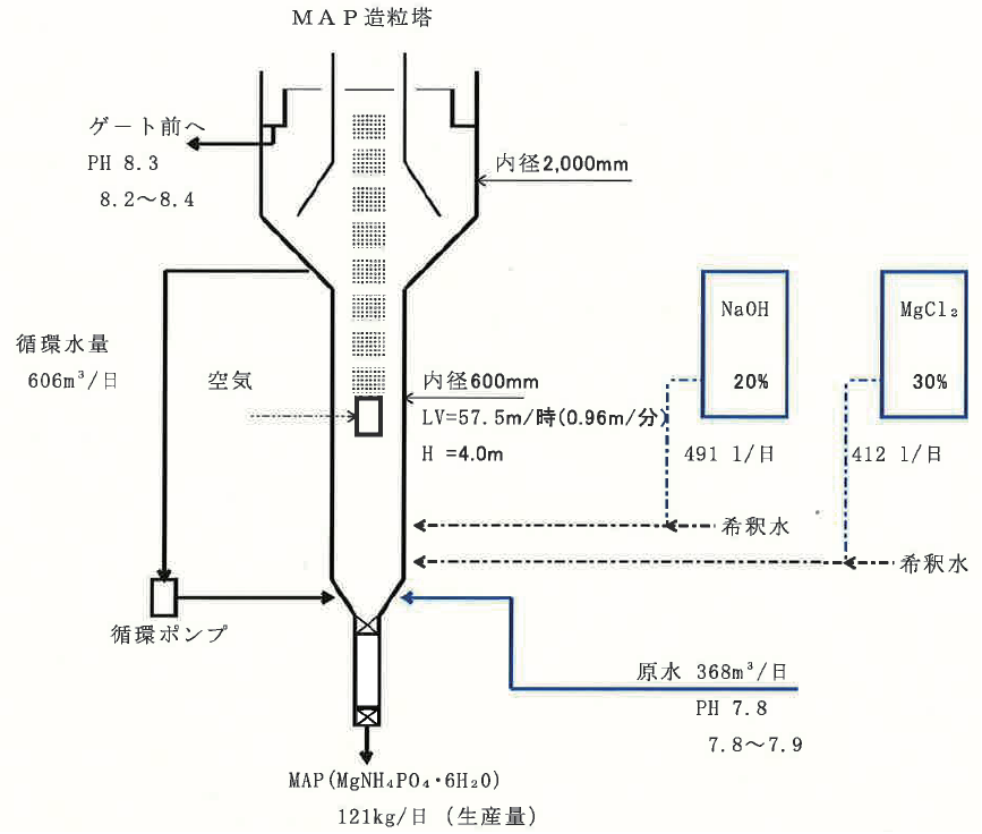
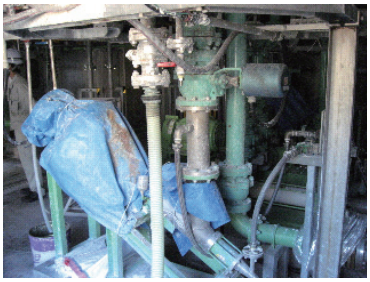


図3.2-4　ＭＡＰ法処理装置フロー（平成21年度運転実績）

出典：東部水処理センター MAP法処理装置フローシート

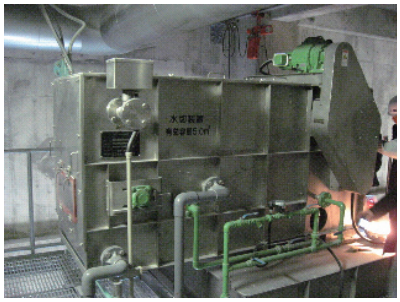
pH測定

MAP生成状況をモニタリング

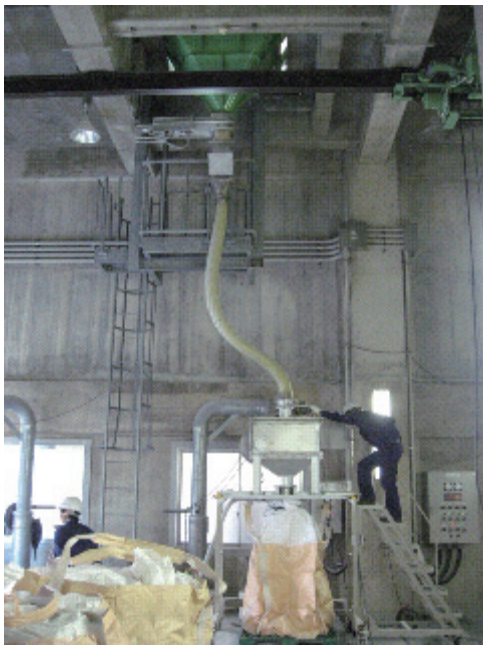


下部から原水、薬剤を供給するとともに、MAPを回収

写真3.2-3　ＭＡＰ造粒塔



水切り施設



乾燥後、袋詰め

MAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）

写真3.2-4　ＭＡＰ製造

6) 課題

・MAPを顆粒で回収する予定であったが、実際には粉状が多くを占めている。
・粒子が硬いため、移送ポンプ保全（部品交換等）にかかる負担が大きい。
・反応塔はステンレス製で耐腐食性はあるが、清掃と維持管理が大変。
・処理費が高価である。現在5,000円/tで販売しているが、リンの市場価格が高騰しない限り収益が上がらない。
・MAP法を導入したきっかけは、場内循環水に含まれるリンを削減し、配管の閉塞を解消することで、これに対しては効果が得られている。さらなるリンの有効利用は次の課題とのこと。

7) 所感

当センターにおいてMAP法処理が稼動してから10年以上経過している。生成したMAPの移送等、運転効率を改善する余地は残っているものの、リン回収の基本技術は確立されている。現在は、ランニングコストが高く、肥料価格に見合わないのが難点ではあるが、今後、リン資源の枯渇により価格が高騰した場合は有望な技術となる可能性がある。

リンの資源循環の視点に立つと、消化汚泥の脱水ケーキの有効利用も重要である。MAP法では消化汚泥の脱水液に含まれているリンを除去・回収しているが、脱水ケーキにもリンが多く残っているため、脱水ケーキの堆肥利用もある。しかしながら、今のところ農地還元の需要が少なく、資源として十分循環していない。

農林水産省の資料によれば、年間223万ｔ発生する下水汚泥中には、5.6万ｔのリンが含まれ、これは、肥料用として１年間に輸入されるリン(約35万ｔ)の16%に相当すると試算されている。我が国はリンのほぼ全量を輸入に頼っているが、世界的な穀物増産で肥料用リン鉱石の価格が急騰している現状を勘案すると、MAP法によるリン回収技術の低コスト化と普及が期待される。

3.3 中部水処理センター福岡県福岡市＜下水汚泥からのガスエンジンによるバイオガス発電技術＞

調査日：2010年11月24日

場　所：〒810-0076福岡市中央区荒津2丁目2-1

1) 訪問先

福岡市道路下水道局中部水処理センター

2) 入手資料

福岡市中部水処理センター　施設案内パンフレット　水のゆくえ
消化ガス発電施設メタックス’09　施設案内パンフレット

3) 概要

(1) 取り組みの背景と経緯

福岡市中部水処理センターは、1966年より処理を開始した、市内で最も古くからある処理施設であり、天神・博多地区など市の中心部からの下水（日量約21万t）を対象に市内最大の処理を担っている。本センターでは、資源の有効利用と二酸化炭素ガス削減の観点から、下水汚泥の減容化および有効利用を目的とした消化ガス発

電と、再生水利用の2事業に取り組んでおり、消化ガス発電設備は1984年に初号機を導入後（メタックス’84)、2009年に設備を更新（メタックス’09）すると共に発電量の増強も図られており（出力240kW⇒500kW)、下水処理施設のエネルギー使用量削減に大きく寄与している。

(2) 水処理センター施設概要（2010 年3月現在）

①処理面積：2,715 ha

②処理人口：332,705 人

③処理能力：300,000m³/日

④敷地面積：73,378m³

⑤処理方式：合流方式

⑥水処理方法：嫌気・好気活性汚泥法

⑦処理開始：1966年7月1日

(3) 消化ガス発電設備（メタックス’09）施設概要

①消化ガス発生量：7,000～12,000Nm³/日

②消化ガス使用量：2,000～5,000Nm³/日

③消化ガス発電量：340万kWh/年（一般家庭の約940戸分、場内電力の13%に相当）

④CO_2削減量：2,400t/年（ヤフードーム約59個分の広さの森林が吸収する量）

(4) 発電機器仕様

発電装置（発電端効率：39.5%）

発電機

定格出力：500kW（最大出力585kW）

定格電圧：3φ3,300V（60Hz）

回転数：1,200rpm/分

発電機効率：96.6%（力率98%時）

ガスエンジン

形式：V型水冷4サイクル火花点火希薄燃焼式ガスエンジン

消化ガス消費量：243.5Nm³/h（最大出力時）

エンジン効率：40.9%

排熱回収装置

蒸気回収

ボイラ形式：多管式貫流型排ガス蒸気ボイラ

定格蒸気圧力0.78MPa

蒸気量417kg/h

温水回収

熱交換形式：プレート式熱交換器

4) プロセス

図3.3-1に福岡市中部水処理センターのプロセスフローを示す。

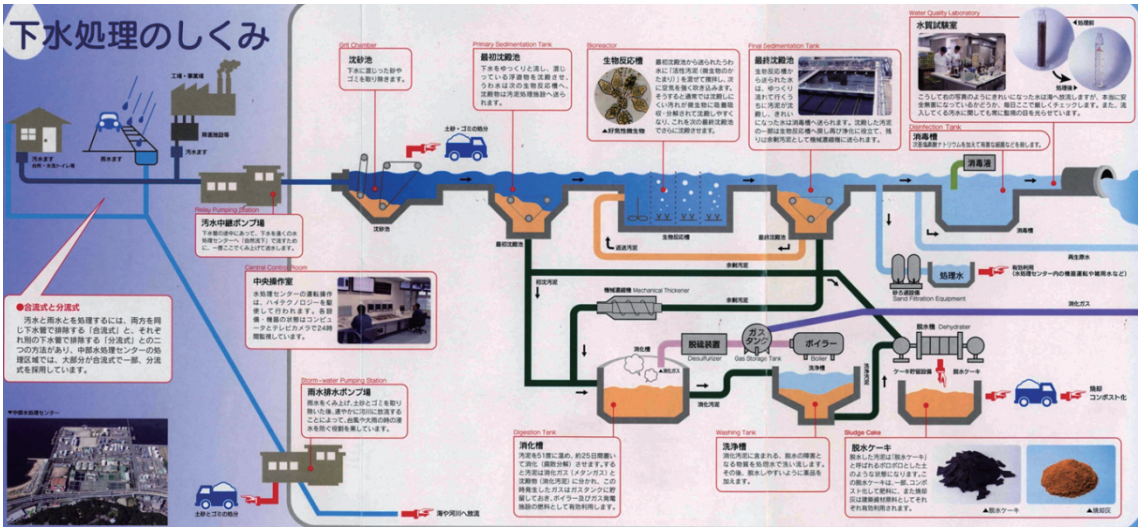


図3.3-1　水処理プロセスフロー

出典：福岡市水処理センターパンフレット

図3.3-2に消化ガス発電のプロセスフローを、プラント設備の写真を写真3.3-1～3.3-6に示す。

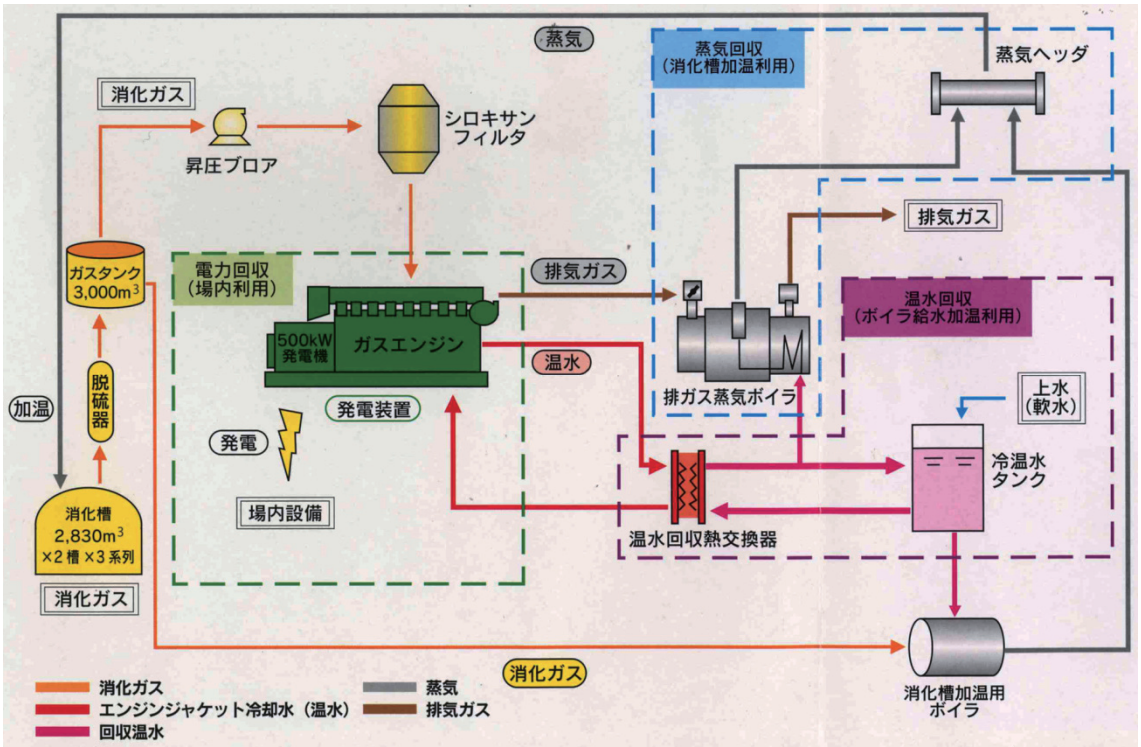


図3.3-2　消化ガス発電設フロー

出典：消化ガス発電施設メタックス’09パンフレット

写真3.3-1 汚泥ケーキサイロ
（脱水機等の機器は屋内に設置）

写真3.3-2 消化タンク

写真3.3-3 消化ガスタンク

写真3.3-4 消化ガス前処理

写真3.3-5 ガスエンジン

写真3.3-6 ガス発電状況

処理の概要は以下の通り

・活性汚泥法の最終沈殿池より発生した余剰汚泥（発生汚泥の約半分量。1槽あたり最大で、日量250m³を投入）を濃縮後、消化タンクにて高温（50℃）メタン発酵。生成した消化ガス（日量7,000～12,000Nm³）のうち、半分（4,600Nm³）をボイラに、残りの半分（5,500Nm³）を発電に利用する。消化の際の加温にはボイラの他に、発電の排熱も利用されている。2012年より高温・高濃度での一段消化が行えるように、3系列（6槽）ある消化槽のうち、1系列（2槽）を改装中（訪問時点では2系列（4槽）にて運転されていた）。

・前処理（脱硫および活性炭によるシロキサン除去）されたメタンガスは、ガスエンジン（ガスエンジンGE Jenbacher製）1基にて発電（出量580kW）。

・発電端効率は約40%、2009年度の発電実績は370万kWh/年、一般家庭の約940戸分、場内電力の13%を賄っている計算となり、これにより年間2,400tのCO_2削減（ヤフードーム約59個分の広さの森林が吸収する量）を行った計算となる。

・経済効果としては、発電による処理場内電力料金の削減が見込まれ、平成21年度実績で3,800万円（電力1kWhあたり約10円での試算）のランニングコスト削減を達成。施設メンテナンス費用（2010年度の年間で約1,500万円、2,000h毎の点検が必要）を差し引いても、発電による収益が確保されている。ガスエンジンのシステム寿命は約10年、工事費（契約額）は出力500kWで約3億5,000万円とのこと。

5) 課題

・下水処理による発電事業の意味づけ。下水を処理すること、資源の循環リサイクル、CO_2削減のどこに主眼を置くかが重要。公共設備でなければ出来ない性質の事業では、必ずしも利益重視の観点を重要視するだけであってはならない。加えて下水処理システムの複雑化が必ずしも資源循環や省エネに繋がる訳ではない点も考慮のうえ、目的と照らし合わせた上で適切なシステムを選択、運用して行く必要がある。

・汚泥の利用は、廃棄物の有効利用と最終処分の狭間に位置するものであり、市民の十分な理解を得た上での処理法の選択を行うべき。

6) 所感

市内最大の処理水量を非常に限られた敷地内で処理しており、また余剰汚泥の有効利用対策としての消化ガス発電や、また今回の訪問の対象とはならなかった再生水供給など多岐に渡る処理技術が採用されていた。将来的な処理能力を増強させる対策としても、下水の分流化や消化ガス発電能力の増強などが図られている。

新規更新された消化ガス発電システムについては、訪問現在、メーカー保証期間とのことで、ランニングコストの正確な値は掴めなかったものの、年間数千万の収益が期待できる点など、導入費用との兼ね合いはあるものの、メリットの多い水処理プロセスであると言える。

3.4 熊本北部浄化センター
＜下水汚泥からの燃料電池によるバイオガス発電技術＞

調査日：2010 年 11 月 25 日

場　所：熊本県熊本市鶴羽田町 12 番地の 1

1) 訪問先

熊本県　土木部　下水環境課

九州テクニカル・熊環技研委託業務共同企業体

2) 入手資料

熊本北部浄化センターパンフレット 1 部

燃料電池システムパンフレット 1 部

プレゼン資料 1 部

3) 概要

(1) 取り組みの背景と経緯

熊本北部浄化センターは、熊本市北東部、合志市の一部、菊陽町の下水処理を一括して行っている熊本北部流域下水道の下水処理場で、熊本県が管理を行っている。下水汚泥の消化により発生する消化ガスを利用して燃料電池で発電を行うことで、下水処理コストを減らすだけでなく、地球温暖化要因の二酸化炭素の発生量を低減することに貢献している。

2006 年 12 月に燃料電池が稼動し、2007 年から 2009 年にかけての年間発電量は 260～278 万 kWh である。

また、企業等の環境改善活動への支援と新たな収入確保を目指して、消化ガスの燃料電池発電システムを利用した「グリーン電力価値」を、(株)九電工に、2009 年 4 月～2012 年 3 月の 3 年間に渡って売却中である。

(2) 熊本北部流域下水道　概要

①事業期間：1982 年～2020 年

②総事業費：416 億円

③全体計画能力：128,700m^3/日

④平成 21 年度末供用施設能力：94,760m^3/日

⑤全体計画処理面積：4,256ha（内、2009 年末の整備済 3,564ha）

⑥全体計画処理人口：193,600 人

⑦処理方式：分流式

⑧水処理方法：凝集剤添加ステップ流入 2 段硝化脱窒法＋急速濾過法

現況施設は標準活性汚泥法処理を実施しているが、2009 年度に策定された「有明海流域別下水道整備総合計画」に基づき、今後の増設及び改築は窒素、リンの除去が可能な標記の処理法へと移行予定。

⑨汚泥処理工程：濃縮→消化→脱水→搬出

⑩運転管理人員：35 名（2 交代）

(3) 燃料電池施設概要

①事業総括責任者：熊本県

②事業期間：2007 年～

グリーン電力契約：2009 年 4 月～2012 年 3 月（3 年間）

③施行：富士電機システムズ(株)、メタウォーター(株)

④受入バイオマス：消化用濃縮汚泥（約 10 万 m^3/年）

⑤消化ガス発生量（処理能力）：約 180 万 Nm^3/年

⑥発電量：260～278 万 kWh（場内使用電力量の約 40%をまかなう）

⑦排熱：新設の消化槽の加温に利用中

⑧発電方式：りん酸形燃料電池発電システム(100kW×4 台)

⑨排ガス性状：NOx(5ppm 以下)、SOx(検出限界以下)

⑩稼働率： 75～80%(400kW×24h×365 日稼動に対して)

4) プロセス

熊本北部浄化センターのプロセスフローを**図 3.4.1** に示す。

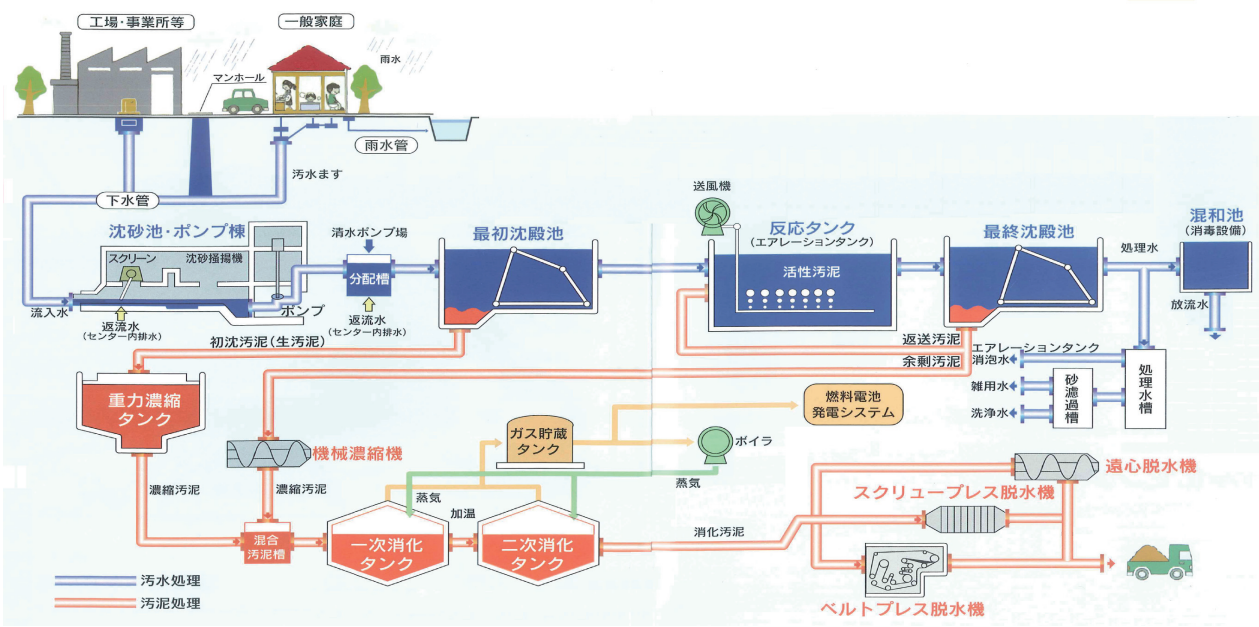


図 3.4.1 熊本北部浄化センターのプロセスフロー

（入手パンフレットより引用）

燃料電池のプロセスフローを**図3.4.2**に、プラント設備の写真を**写真3.4.1～4**に示す。

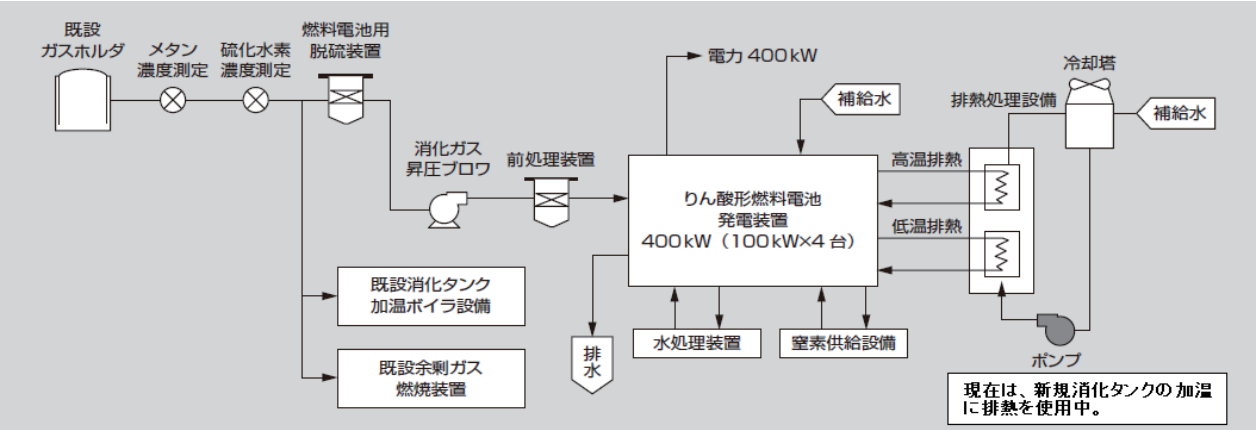


図 3.4.2 熊本北部浄化センターのプロセスフロー　　（web 資料より引用）

写真3.4.1消化タンク

写真3.4.2 ガス貯蔵タンク

写真 3.4.3 燃料電池発電システム

写真 3.4.4 スクリュープレス式汚泥脱水機

(1)　バイオマス原料

消化（メタン発酵）の原料となる初沈汚泥と余剰汚泥の消化タンクへの投入量はおよそ 300m³/日で内訳は下記である。

初沈汚泥：ベルトプレス濃縮(TS 6%) 100m³/日＋重力濃縮(TS 3%)100m³/日

余剰汚泥：機械濃縮(TS 4%) 100m³/日

(2) 分解性能

投入汚泥は消化タンクでは中温発酵され、第一発酵槽で滞留時間 20 日、第二発酵槽での滞留時間は 10 日の計 30 日かけて処理される。消化率は 60%である。消化ガス発生量は約 4,600m³/日で、80%以上を燃料電池発電に利用する。

(3) 燃料電池での変換効率と発電量

発電効率：38%、熱出力効率：40%

2007 年度の年間発電量は 278 万 kWh、2008 年度は 268 万 kWh、2009 年度は 260 万 kWh である（場内使用電力量のおよそ 40%をまかなっている)。経済効果として、電気代削減効果と消化槽の加温に用いる燃料の削減効果が見込まれる。また、2009 年 4 月から始まったグリーン電力証書システムにより、3 年間で約 3,600 万円（1,200 万円/年）の収入が見込まれている。燃料電池の寿命はおよそ 60,000h(約 7 年)。セルの交換を 1 度実施すれば 14～15 年の稼動が可能となる。

(4) 消化汚泥

年間発生量：8,906t/年（2009 年度実績)、含水率：約 80%

約半数が堆肥化などに、残りが焼却処理され焼却灰をセメントなどに利用している。

(5) 温室効果ガス削減効果

2008 年度 1 年間発電(発電量 268 万 kWh)したことで、計算上 1,487t の二酸化炭素発生を削減できたことになる。この削減量は熊本城(約 9.8ha)の 23 倍の広さの森林が 1 年間に吸収する量に相当する。

5) 課題

消化汚泥の処分費として、廃棄物処理費（12,000円/t）が発生している。消化汚泥の利用に関して、焼却灰のリサイクル利用はできているが、バイオマスとしての堆肥利用は、受け入れ先が減少している状況である。

6) 所感

熊本北部浄化センターは、消化ガスからの燃料電池発電等によって、購入電力使用原単位(1m³ の下水処理に要した購入電力量)が 2008 年度実績で 0.17kWh/m³ であり、全国平均の値（2005 年度実績 0.50kWh/m³)に比べて、電力購入量が少ない処理場となっている。電気代及び消化槽の加温に用いる燃料費の削減効果が見込まれる上に、2009 年 4 月から始まったグリーン電力証書システムの追い風もあり、経済的にも優れたシステムになっている。

消化ガス発電以外にも、小水力発電について導入可能性調査の結果を踏まえて検討されるとのことで、クリーンエネルギーの導入に対する積極性を強く感じた。

今後、下水消化汚泥のリン・窒素の循環を目的とした肥料利用の経路が確保されることによる汚泥処理費の削減（逆有償がベター）と、燃料電池のさらなる低コスト化によって、本システムが普及することを期待したい。

第４章　講演内容

1)　テーマ　:「バイオマス資源循環社会の実現に向けて」
2)　講演月日：2010年12月1日15:00～17:00
3)　場所　　:財団法人エンジニアリング振興協会
4)　講演者　:（独）農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
　　資源循環システム研究チーム チーム長　柚山義人　氏
5)　講演概要（講演資料は巻末に添付）

(1)　様々な目的をもつバイオマス資源循環

バイオマスがエネルギー・環境問題軽減に貢献できると認識されるのは、①再生可能である、②貯蔵性、代替性がある、③膨大な賦存量を有する、④カーボン・ニュートラルである、という特長を持つからである。

(2)　認識すべき情勢と情報

・「食料・農業・農村基本計画」、「農林水産研究基本計画」等が公表され、「バイオマス活用推進基本法」が施行された。
・総合科学技術会議有識者議員が平成23年度科学技術重要施策アクション・プランを公表。グリーン・イノベーションが柱。バイオマスを含む再生可能エネルギーへの転換の促進を目指す。
・小沢（元）環境大臣が地球温暖化対策の試案を公表した。
・経産省は農水省、環境省とともに「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」での議論を踏まえてバイオ燃料の持続可能性基準の方向性を示す報告書を公表した。
・農水省や環境省が交付金等の形でバイオマス利用の事業を支援している。

(3)　健全なバイオマス資源の循環とは、安全が脅かされたり、環境悪化につながるようなことが無いこと。

(4)　バイオマスプロジェクト研究事例

・農村工学研究所では、農水省の委託プロジェクト研究の中で、物質循環の診断ソフトである「地域バイオマス利活用診断ツール」を開発した。
・メタン発酵を軸とするバイオマス利用の地域実証研究を、千葉県香取市の山田バイオマスプラントを拠点に進めている。

(5)　資源循環社会実現へのアプローチとして、本格的なバイオマスタウンの構築と運営には下記要素が重要である。

①地域経済の発展を含めて地域活性化につなげる
②循環型社会形成、エネルギーの地産地消に貢献する
③物質・エネルギー収支の面から持続性を成立させる
④生産基盤整備とリンクし、地域環境を保全し地球温暖化を抑制する
⑤創意工夫で成長し続ける

第５章　まとめ

本年度はバイオマスの調査対象を、「バイオマス活用推進基本計画」であげられた種類から、利用率が高い黒液と製材工場等残材を除いた、家畜排せつ物、下水汚泥、紙、食品廃棄物、農作物非食用部、建設発生木材、林地残材の７種類のバイオマスについて分類して調査した。調査項目は、上述したバイオマスそれぞれの賦存量（発生量）、利用率（リサイクル率）もしくは利用可能率と、物質移動の実態把握とした。その上で、利用率向上を阻むボトルネックの抽出を試みた。

対象地域としては、日本国内とし、都市と田舎（農村部）に区分けして、それぞれの有効利用を把握した。また、都市と田舎との循環量を把握することで、新たに再利用率が向上できないかについても調査した結果、以下のことが明らかになった。

1)　家畜排せつ物

現在の利用率は堆肥化を主として約90%となっている。未利用量は約880万t/年となっている。畜産農家は全国に広く分布しているが、北海道、東北、関東、九州地方には多数集中している。家畜排せつ物法の施行によって、管理対象農家の99.96%は、ふん尿処理施設の建設または簡易対応処理が行われている。都道府県別の家畜排せつ物の利用状況を見ると、ふん尿処理の80～90%は堆肥化処理され、農業利用（農地還元）されている。堆肥は価格にばらつきがあるものの、全体的に低く、流通コストを掛けられないため、都道府県を超えて流通することはほとんど見られない。

2)　下水汚泥

下水汚泥は、質量ともに安定していて、集約されている。発生量はエネルギーの需要地である都市部に存在するので、人口分布、産業構成比によってその利用形態が変化する。下水汚泥のマテリアル利用は着実に進展し、利用率は78%に至っている。減少傾向にあるとはいえ、リサイクルされずに大量の下水汚泥1,700万t/年（約22％）が埋め立て処理されている。下水汚泥の利用形態としては、マテリアル利用、エネルギー利用に分けられる。現在は、マテリアル利用の割合が高く、セメント原料（約40％）とセメント化以外（約23％）の建設資材利用が大半を占め、これに加えてコンポスト等としての緑農地利用（約14％）といった現状になっている。一方で、下水汚泥の消化過程で発生するメタンガスを主とするバイオガスまたは下水汚泥を加工して燃料とするなどによるバイオマスエネルギーとしての利用の割合は約1 割という低い水準であり、汚泥中の有機物のエネルギーとしての利用は一部に限られていることが課題である。

3)　紙

全国では約2,300万t前後の古紙が回収、関東、近畿、中部の大都市圏での発生が大半をしめている。一部の一大消費地や人口の少ない地域を除き、利用率は全国平均で73.6％と非常に高く、未利用量は607万t/年である。他のバイオマスに見られる様な余剰の処理問題には発展していない。人口に対しての古紙発生量は、都市部であれば大きくなり、人口の少ない地域では小さくなる傾向にあるが、全国的にはおおむね同じレベルを維持しており、地域の経済活動の動向が顕著でない場合、その影響は少ない。古紙

回収は複雑な経路を経ることが多いが、おおむね埼玉や宮城などの都市部から若干離れた近郊県にて一端収集され、そこから製紙工場のある県（北海道や静岡県）へ輸送されるケースが大半である。

4) 食品廃棄物

現在の発生量は約1,900万t/年で、現在の利用率は約27%となっている。未利用量は1,400万t/年である。種類別の利用率は、動植物性残渣79%、事業系厨芥類31%、生活系厨芥類0.3%と推計される。動植物性残渣の利用率は高く再資源化は進んでいる。一方、事業系厨芥と生活系厨芥の利用率はさほど高くなく、特に生活系厨芥はほとんど利用されていない。理由は、ごみの発生場所が点在して発生量も少ないため収集に手間がかかること、さらに、内容物が多種多様で食物以外の異物も混入しており、品質の安定した肥料や飼料を製造するための原料として利用しにくいためである。主な用途は、肥料、飼料、油脂、メタンで、肥飼料化が全体の約9割を占める。食品関連事業者のうち、食品製造業の再利用は進んでいる。一方、卸売業・小売業・外食産業の事業系厨芥類の利用可能量は450万t程度あり、再利用はさほど進んでいない。生活系厨芥の利用可能量は約1,000万tと大量であるにも関わらず、ほとんど利用されていない。食品産業全体の食品循環資源の利用率の向上のためには、事業系厨芥と生活系厨芥の再利用の促進が重要である。

5) 農作物非食用部

農作物非食用部の発生量約1,400万t/年の利用率（すき込みを含む）は、約85%となっており、未利用量は、210万t/年である。稲わら、もみ殻及び麦わらを対象として、その収集・運搬における課題を中心に調査した。稲わら、もみ殻及び麦わら等の農作物非食部の運搬・収集に関する情報は少ない。農作物非食部の収集・運搬上の課題としてかさ密度が大きく運搬効率が悪い。収集・運搬コストは、現状のエネルギー効率においては、300～500円/t以下が受け入れ側バイマス施設の採算ラインである。

6) 建設発生木材

建設発生木材の賦存量は、約410万t/年であり、利用率は約90%である。未利用量は約41万t/年である。建設発生木材の発生量は人口が多い都道府県ほど多い傾向がある。リデュースへの取組、建設需要の低迷から年々、建設発生木材量が減少している。源化率は地方によって差があり、北海道が94.3%で最も高く、栃木県が54.7%と最も低い。利用率は年々、上昇傾向にあるが、平成14年度で約90%を達成してからはほぼ横ばい状態である。利用率の高い北海道の事例では、北海道に合った施策を講じて、再資源化を推進している。

7) 林地残材

賦存量に対して利用率は1.4%のみであり、未利用量は約790万t/年となっている。林地残材は、そのほとんどが木チップとして利用されてており、林地残材の利用は、愛知県、岡山県が比較的多い。

家畜排せつ物、下水汚泥、紙、食品廃棄物、農作物非食用部、建設発生木材、林地残材の７種類のバイオマスのうち、未利用量が大きいのは、下水汚泥(1,700万t/年)、食品廃棄物（1,400万t/年)、家畜排せつ物（880万t/年)、林地残材（750万t/年)、紙（607万t/年)、

農作物非食用部（210万t/年)、建設発生木材（41万t/年）である。

家畜排せつ物、建設発生木材の利用率それぞれ90%以上を越えているので、さらなる利用率の向上は困難だと考えられる。

来年度、焦点を当てるバイオマスは、下水汚泥（未利用量が大きく、エネルギー利用率が小さい)、食品廃棄物（未利用量が大きく、生活系厨芥の利用率が1%以下)、林地残材（利用率は5.9%）としたい。下水汚泥は、バイオマスとしてエネルギー利用に加え、窒素・リンの循環の面からも利用率の向上を目指す方法を考える。また、食品廃棄物においては現在ほとんど利用されていない生活系厨芥の利用率向上を図るシナリオ策定を検討する。最後に、採算性が厳しいゆえに、利用率が少ない林地残材については、林業再生とバイオマス利用の観点から回収方法を模索したい。

最後に、今回の調査研究に取り組むに当り、訪問させていただいた企業、地方自治体の皆様のご協力に対し、報告書の紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

また、(独）農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所、資源循環システム研究チーム チーム長　柚山義人氏に、「バイオマス資源循環社会の実現に向けて」という演題で、ご講演いただき、貴重な意見を頂戴いたしました。この場をお借りして重ねてお礼申し上げます。

講演資料

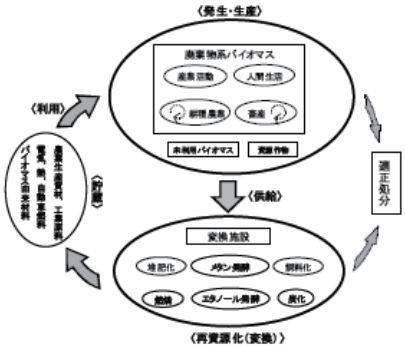
エンジニアリング振興協会講演会

バイオマス資源循環社会の実現に向けて

2010年12月1日

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所

柚山義人



バイオマス利活用システム

本日の内容

1. 様々な目的をもつバイオマス資源循環
2. 認識すべき情勢と情報
3. バイオマスプロジェクト研究事例
4. 持続的な資源循環と安全性等の確保
5. 資源循環社会へのアプローチ

1. 様々な目的をもつバイオマス資源循環

(1)付加価値のついた商品，機能物質をつくって儲けたり楽しんだりする仕組づくり(生産者・消費者のマッチング，先行利益の取得を含む)

(2)行政が中心となって外部不経済の解消，外部経済の発揮という観点から，公共の利益に資する社会資本の整備の一環として進めるべきもの(国のいう「バイオマスタウン」の概念に一致)

(3)ビジネスとして，国益として，国際公約を守るという観点から進めるべきもの(京都議定書目標達成計画など)

2. 認識すべき情勢と情報

(1)食料・農業・農村基本計画(2010.3)
(2)農林水産研究基本計画(2010.3)
(3)バイオマス活用推進基本計画(策定中)
(4)技術戦略マップ(経済産業省)(2009.4)
(5)小沢(元)環境大臣の温暖化対策(試案)(2010.3)
(6)バイオ燃料の持続性基準(2010.3)
(7)バイオマス利用の事業
(8)様々な設定目標

食料・農業・農村基本計画

＜基本的な方針＞
○気候変動をはじめとする地球環境問題の進行
○6次産業化による活力ある農山漁村の再生

＜農村の振興＞
○バイオマスを基軸とする新たな産業の振興
○農村における再生可能エネルギーの生産・利用の促進

＜横断的施策＞
○地球温暖化対策への貢献
○循環型社会形成への貢献

農林水産研究基本計画

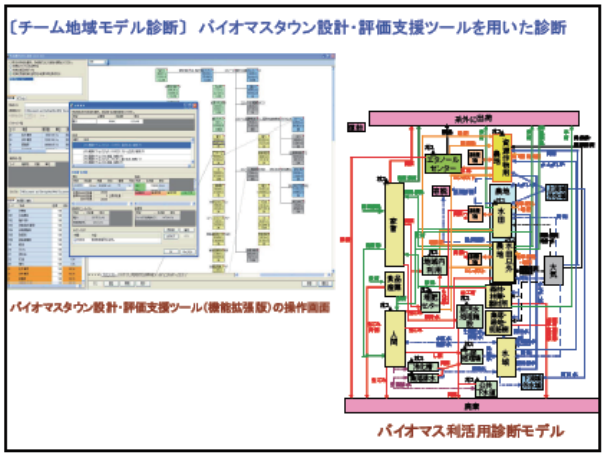
＜重点目標＞
○地球温暖化への対応とバイオマスの利活用
○新分野への展開
○地域資源活用

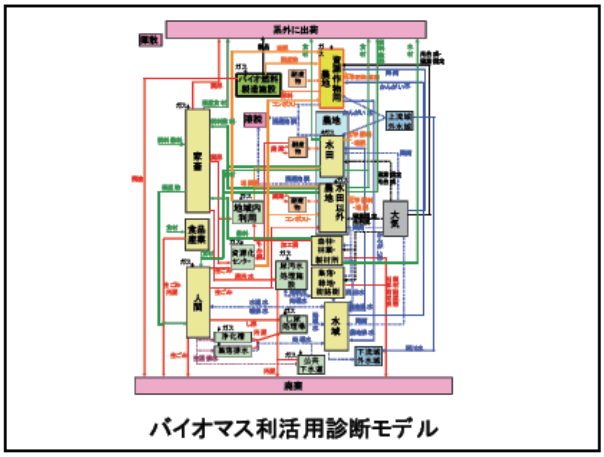
＜期別達成目標＞
○国産バイオ燃料・マテリアル生産技術の開発とバイオマスの地域利用システムの構築
（1）食料供給と両立できるバイオマスからの燃料生産技術の開発
（2）バイオマスの多様な燃料利用技術の開発
（3）バイオマスからのマテリアルの開発
（4）地域バイオマス利用システム設計・評価手法の開発

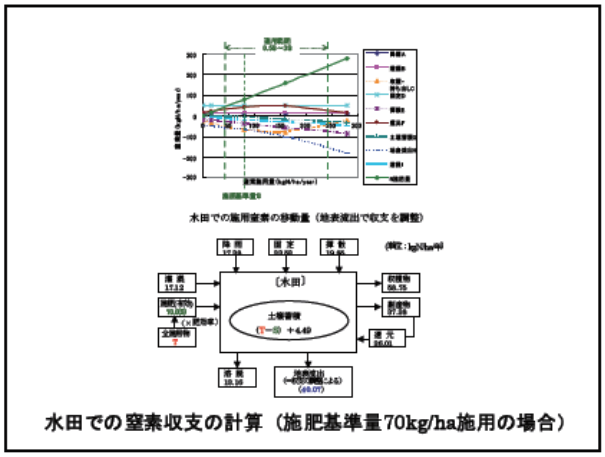
3．バイオマスプロジェクト研究事例

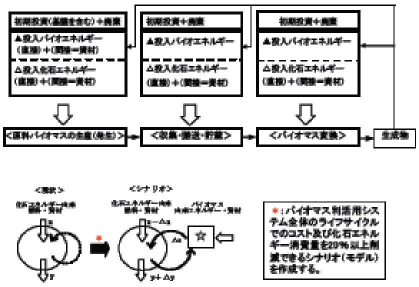
（1）地域バイオマス利活用診断ツールの開発

（2）バイオマス利用の地域実証研究

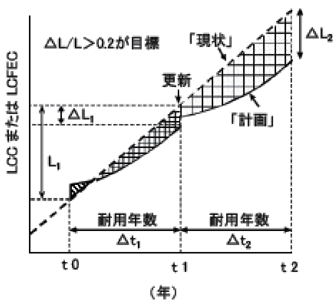




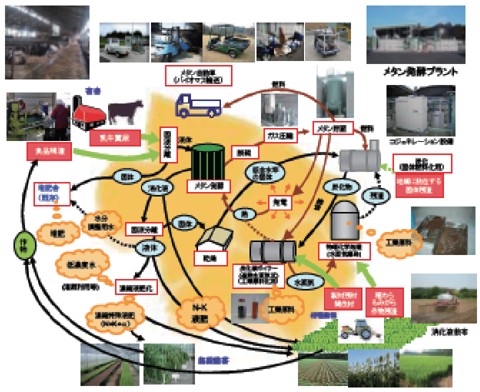




ライフサイクルでのコスト及び化石エネルギー消費量の削減に貢献するバイオマス利用モデルの提示

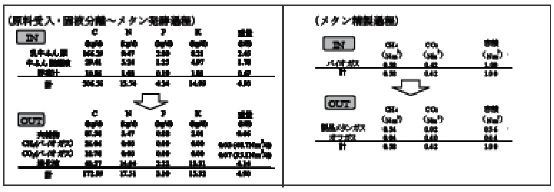


ライフサイクルでコスト（LCC）と化石エネルギー消費量（LCFEC）の削減イメージ



山田バイオマスプラントを核とするバイオマス多段階利用システム（2010年度版）

メタン発酵プラントの物質収支



注）メタン発酵過程の物質収支は、安定運転期間である2007年3月～2009年8月のうち、夾雑物脱水機が故障していた2008.12.24-2009.3.8を除いた期間のデータ。

メタンガスの貯蔵と車両での利用

	容量	フィルター	圧力（kgf/cm²）	貯蔵可能量（m³）	貯蔵能力*（倍）
貯蔵タンク	20m³	活性炭	6	500	25
移動式ボンベ	120L(30×4)	-	120	14.4(0.12×120)	120
軽トラック	50L(25×2)	-	120	6	120
フォークリフト	162L	活性炭	9.9	8.1	50
構内作業車	75.4L(37.7×2)	活性炭	9.9	3.77	50
バイク	20L(14+6)	活性炭	9.9	1	50

（注）：10kgf/cm2（at）=0.98Mpa.； ＊：メタン貯蔵可能量/タンク容量

山田バイオマスプラントで発生したトラブル

	年	原因*（分類）	事象・原因
1	[illegible]（1年目）	オガ	牛ふん中のオガクズ含有量が想定より大きかったため、設計値と比べてバイオガス発生量が少ない。
2		オガ	牛ふん中のオガクズ含有量が想定より大きかったため、[illegible]
3		オガ	牛ふん中のオガクズ含有量が想定より大きかったため、[illegible]内でオガクズが詰まった。
4		オガ	牛ふん中のオガクズ含有量が想定より大きかったため、メタン発酵槽の配管が詰まった。
5		他	[illegible]
6		凍結	降雪によりライン[illegible]が凍結し、配管が破損した。
7	[illegible]（2年目）	凍結	バイオガス中の水蒸気が結露、凍結し、流量計が破損した。
8		凍結	バイオガス配管の[illegible]から脱硫塔までの部分が凍結し、閉塞したため、水封水が吸引され、PSA装置内により、PSA装置の[illegible]
9		他	メタン濃度の指示値が50～65%の範囲で[illegible]
10		他	原料受入ピットにハナアブの幼虫（ウジ虫）が発生した。
11		他	[illegible]
12		硫水	[illegible]
13		他	製品メタンガスが使い切れず、メタンガスの貯留量がタンクいっぱいとなった。
14	[illegible]（3年目）	部品	[illegible]ヒーター4本にピンホールが発生、ショートして[illegible]
15		部品	[illegible]
16		部品	PSA装置の真空ポンプのダイヤフラムが破損した（1回目）。
17		部品	[illegible]
18	[illegible]（4年目）	部品	[illegible]
19		部品	受入ピットの[illegible]が腐食した。
20		部品	PSA装置の[illegible]のシール材が消耗した。
21		部品	脱硫塔の底部に設置されているパンチングメタルが腐食した。
22		部品	PSA装置の[illegible]のダイヤフラムが破損した（2回目）。
23		部品	[illegible]
24		部品	受入ピット底部に堆積した夾雑物により、[illegible]が不調となった。
25	[illegible]（5年目）	部品	原料受入ピットの清掃を行った結果、原料以外の異物（[illegible]、石、釘、工具等）が混入していた。
26		硫水	[illegible]
27		硫水	硫化水素により流量計が損傷し、流量計が正確な数値を示さない。
28		部品	脱硫塔の上部のマンホールのパッキンの劣化により、バイオガスが漏れた。

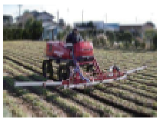
※オガ：オガクズ、凍結：凍結、硫水：硫化水素、部品：部品の消耗・長期運転の影響、他：その他

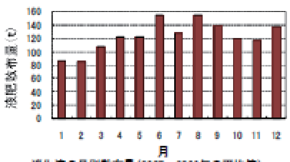
消化液を利用し尽くすための研究開発（実証）

○原料搬入・固液分離
○製造（メタン発酵）
○濃縮（試験段階）
○貯蔵
○搬送
○農地施用（散布）
○全体管理・評価

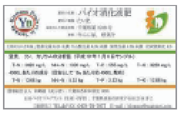
農家圃場での消化液の実証試験

山田バイオマスプラントで生成する消化液（年間約1350t）のほぼ全量を農事組合法人和郷園の生産農家を中心に25種類以上の作物で栽培実証試験を行っています。生育不良は報告されていません。





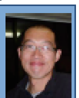
消化液の月別散布量（2007～2009年の平均値）



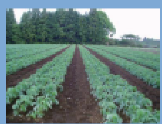
消化液の情報を記したカードを作成し、農家や散布圃場周辺の住民への説明用に使用している。

消化液の情報カード（農家への説明用）

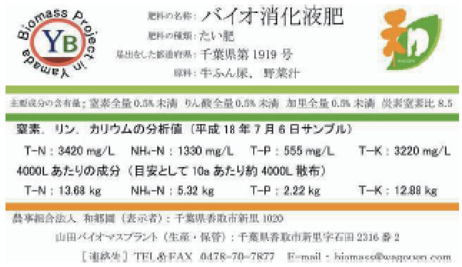
農家から見た消化液の特徴



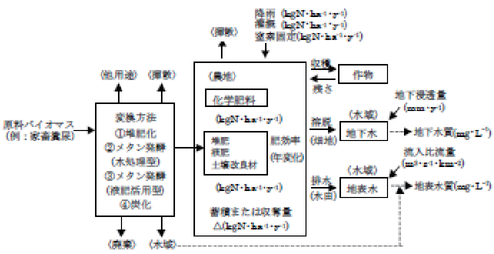
この消化液を肥料として、ほうれん草、小松菜、枝豆、ブロッコリーなどの栽培をしています。事前に土壌分析をして、この液肥と鶏糞、動物性有機肥料などを組み合わせて施肥をしています。液肥の肥料成分を考慮し、施肥量を決めれば、通常の肥料と同様に活用できると感じています。



消化液で育った枝豆



消化液情報カード



バイオマス利活用に伴う窒素の挙動

土壌モニタリング→土壌診断→施肥設計

メタン発酵システムを成立させるための留意点

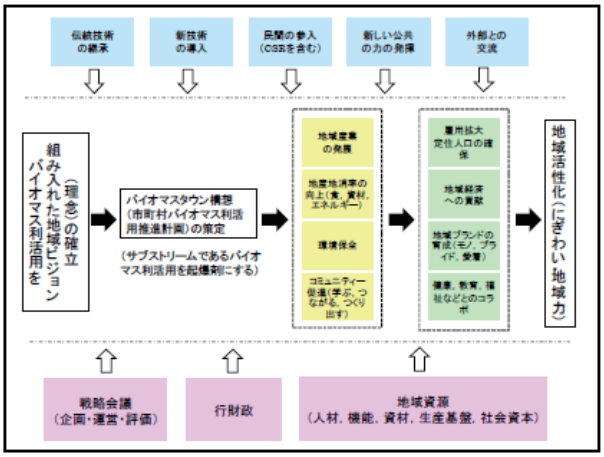
- 家畜の飼養形態までも考える，どこで固液分離するか，どこでつくる，どこで仕上げるか
- よい消化液，求められる品質は様々（需要対応）
- 連用による肥効特性，肥効率の変化の理解
- 需要と供給の量的，時間的，場所的バランス
- 衛生，安全性問題，臭気，取り扱いの難しさをあなどるな

堆肥や消化液を利用することのプラスの効用の評価

○N, P, Kの他, ミネラル・有機物を含むため, 化学肥料を越えた効果あり(土壌改良, 土壌の持続性)
○枯渇リンの回収・利用の重要性
○GHG排出量削減(?)
○水環境保全
○耕畜連携, 農工商連携, 消費者との連携
○地域3E(環境, エネルギー, 経済)への貢献

バイオマス利活用推進のポイント

・持続的な地域資源の管理
・信頼で結ばれた運営組織
・再生資源の安定的な需要の確保
・原料と製品・エネルギーの貯蔵・輸送
・適切な変換技術(群)の採用



バイオマス利活用における再資源化技術の環境負荷および安全特性

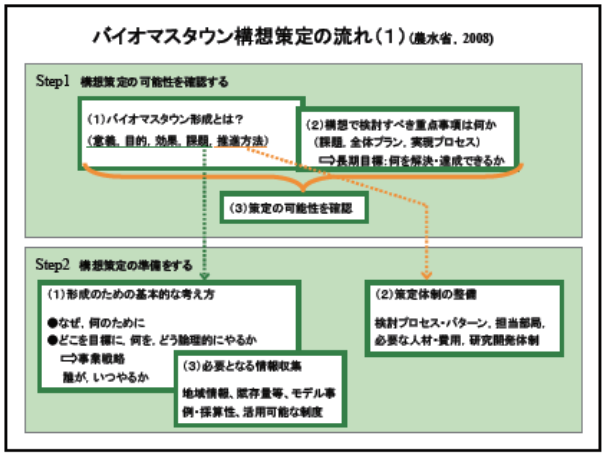
項 目	懸念される環境負荷	安全特性	
		再生資源/副産物の安全性	重金属の動態
堆肥化	発酵に伴う臭気の発生。酸性雨の原因となるNH₃。地球温暖化の原因となるCH₄, N₂Oの揮散。農地に施用した堆肥の溶脱による地下水の硝酸汚染。	堆肥: 発酵過程で65℃, 48時間以上を確保し, 病原菌, 寄生虫卵, 雑物種子などを死滅させる必要がある。	発酵の過程で重金属が濃縮される。含有量は, 肥料取締法で定められた基準値の遵守が必要。農地への施用に際しては土壌管理基準を満たす必要がある。
バイオガス化	消化液の利用先が確保できない場合は排水処理が必要。農地に施用した消化液の流出・溶脱による水域の富栄養化及び地下水の硝酸汚染。臭気の発生。液肥貯留槽からのCH₄の揮散。	消化液: 病原菌等を死滅させるため, 中温メタン発酵では, 殺菌工程を設ける必要がある。	消化液中へ重金属が移行する。
炭 化	排ガスの発生。加熱方式や排ガスの処理方式によってはダイオキシンの発生。プラントの運転エネルギー生成に伴うCO₂の発生。	炭: 炭化の過程で高温となるので安全。貯蔵に際して自然発火に留意する必要がある。	炭化の過程で重金属が濃縮される。
飼料化	処理工程で発生する臭気。	飼料: 乾燥過程で高温になるので安全。発酵による方法では温度管理が重要である。品質を保持期間が短いことに注意する必要がある。	飼料は家畜などが直接食べるので, 原料中に混入しないようにする必要がある。
焼却(燃燒)	CO_2及びダイオキシンの発生。 建立に伴う負荷。	灰: 焼却の過程で高温となるので安全。	減容率が他の再資源化技術と比較し大きいため重金属の含有率が最も高くなる。焼却灰などは重金属が溶出しないように対策を取り埋立処分する必要がある。

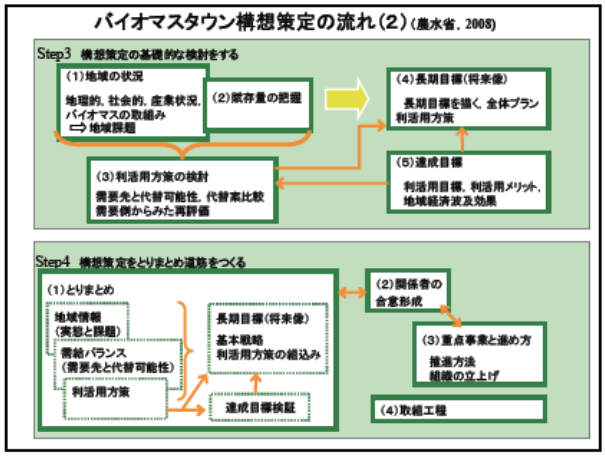
5. 資源循環社会へのアプローチ

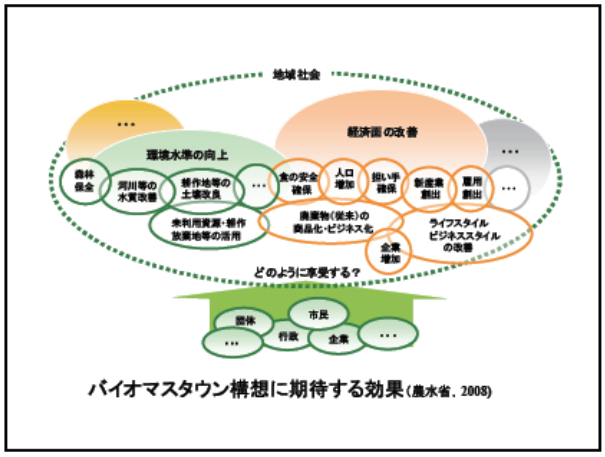
(1)本格的なバイオマスタウンの構築と運営
(2)アグリ・バイオマスタウン
(3)エネルギー生産型農業システムの構築
(4)展望を拓く駆動力

本格的なバイオマスタウンとは
(目指すべきものはそれぞれでよい)

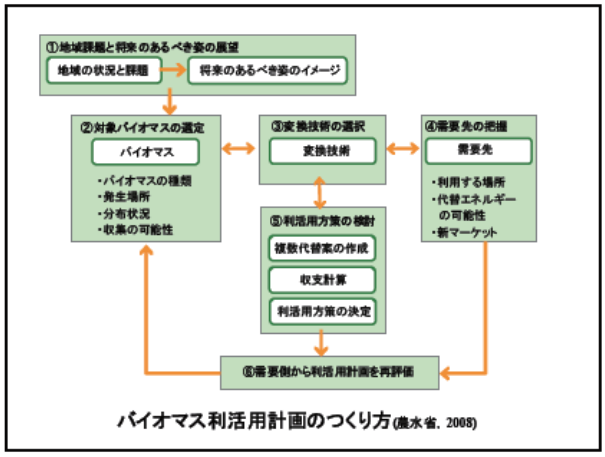
① Vision-Scenario-Programが描かれている。
②地域活性化(子どもたちの歓声, 協働による達成感)。
③地域経済への貢献。
④基盤整備とリンクされている。
⑤地域環境保全+温暖化抑制。
⑥循環型社会形成。
⑦エネルギーの地産地消。
⑧物質・エネルギー収支の持続性の成立。
⑨創意工夫で成長し続ける。
⑩地域ブランドと結びついている。
⑪システム化の効果が発揮されている。







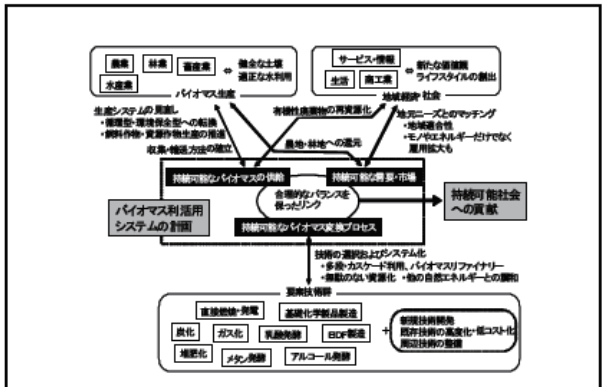
バイオマスタウン構想に期待する効果（農水省，2008）



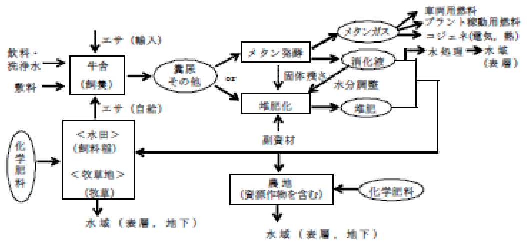
バイオマス利活用計画のつくり方（農水省，2008）

バイオマスの利活用の持続可能性に係わる諸問題と解決方策

	問題点の所在の認識	解決方策
農地・農畜産業	現在の農業システムは石油に大きく依存している。必要量以上の肥料・農薬の投入は環境悪化を招く。持続性のある営農である水稲作がコメの生産過剰で大幅に制限されている。畜産のための飼料は大部分を輸入に頼っている。現時点では，農作物の見栄えの良さを重視せざるを得ない状況にある。中山間地域を中心に担い手不足が深刻である。	マテリアル・エネルギーバランス，生態系への影響を理解した生産活動の展開。食品の安全は最低要件とし，品質とサービスで競争するシステムの整備。地域で得られる農業生産資材やエネルギーを利用する環境保全型農業への飛躍的転換。飼料稲の栽培による耕畜連携，資源作物生産の推進。バイオマスの循環的利活用を可能にする基盤づくり。
林地・林業	木材をその成長量以上に採取することはできない。適切な伐採を行わない植林は森林環境の悪化を招く。間伐材の収集・運搬には相当のコストがかかる。	森林機能の保全を念頭に置いた木質系バイオマス利活用計画の策定。材木の生産，エネルギー利用など利用目的に応じた樹種の選定，伐採方法の検討。
地域・ライフスタイル	大量生産・大量消費・大量廃棄に基づく経済合理主義の価値観は，近々通用しなくなる。生活系ゴミの処分も限界に近づいている。環境保全に関わる地域住民，地球市民としての役割がより一層不可欠になって来ている。	食やエネルギーの地産地消の推進。使い捨て社会から循環型社会への移行。見かけだけを重視しない農作物の購入によるコストと廃棄物発生量の軽減。省エネ，社会コスト低減への市民としての貢献。
バイオマス利活用事業	バイオマスから得られる価値以上のエネルギー投入はすべきでない。実際に収集可能な原料バイオマス量，実際に利用可能なバイオマス再生資源量と一致しない事業計画は破綻する。交付金や補助金がプラントの建設に限定されている。	廃棄物処理の延長からの脱却。バイオマスの発生・生産，収集・輸送から変換技術の選定・設計，得られる製品・エネルギーの需要までを考慮した一貫した計画策定。プラントの運転管理への公的支援。



持続可能なバイオマス利活用システムの構築に向けて（迫田ら，2006）



耕種農家と畜産農家の連携

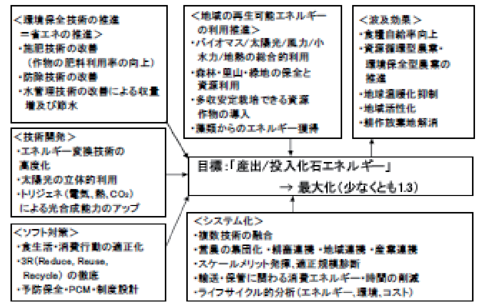
作物の収量と施肥量の例

作物名（品種名）	収量(t·ha⁻¹) 乾物収量	収量(t·ha⁻¹) 炭素換算	栽培期間（日）	施肥量(kg·ha⁻¹) N	施肥量(kg·ha⁻¹) P	施肥量(kg·ha⁻¹) K	参考資料
サイレージ用ソルガム（KSS02：ビッグシュガーソルゴー）	26.3	11.05	95～105	120～150	120～150	40～60	長野県の主要大型飼料作物の標準施肥量（化肥十元肥として堆肥40～50t/ha）
青刈り用ソルガム（ターザン型2011：スダックス系）	14.0	6.82	170～180	350	150	300	宮崎県主要作物の施肥基準（平成11年）（化肥十元肥として堆肥30t/ha）
サイレージ用ソルガム（KSS05：スーパーシュガーソルゴー，1回刈り）	14.4～21.6	6.05～9.07	130～140	250	280	350	千葉県施肥基準(平成16年)
水稲（飼料用多収品種：関東飼228号）	16.3～20.9	5.67～6.95	約170	160～260	160～240	160～260	作物研究所栽培試験（平成18年）
水稲（食用：コシヒカリ）	11.6～13.4	4.31～5.31	約140	40～90	60～110	80～120	千葉県施肥基準(平成16年)
サトウキビ株出（農林8号：NiF8）	12.8～16.7	5.46～7.08	375～445	300	90	120	鹿児島県施肥設計指針（平成15年）（化肥十元肥として堆肥施用20t/ha）

（注）水稲の収量は稲わら及びもみ殻等を含む収穫全量．栽培期間は本田のシロカキから収穫まで。

農林水産省が推進しようとしているCO_2削減対策（例）

- ○窒素施用量の1～2割削減
- ○堆積発酵から強制発酵への転換
- ○水稲への堆肥施用倍増
- ○ハウス加温へヒートポンプを導入
- ○緑肥の作付面積拡大
- ○未利用の食品廃棄物を利用したメタンガスのエネルギー利用
- ○稲わら・麦わらや果樹剪定枝を利用したバイオ燃料エネルギー利用
- ○藻類のバイオ燃料利用
- ○太陽光，風力・小水力の活用



エネルギー生産農業システムへの展開

GAP（Good Agriculture Practice）の普及

○農産物の安全性や品質について，消費者及び食品事業者の信頼を確保するため，統一された生産管理手法の規範のこと

○農作物生産における改善活動とその記録により，適切な生産方法を実施するもの

- ・食品の安全性に悪影響を及ぼす要因
（病原微生物やカビ毒，残留農薬，重金属等の汚染物質など）
- ・その影響をできるだけ抑える生産方法
（周辺の状況確認，農薬の適正使用，水管理期間の延長，収穫機の洗浄など）

○2007年9月にGLOBAL-GAPが整備され，高品質で安全・安心な農産物を提供する機運が世界的に広がり，日本においても普及を始めている。

＜GAPの経緯＞

1997　EUREP-GAPが始まる
2001　BSE感染牛国内で確認
2004　農水省が「生鮮農産物安全性確保対策事業」を創設し，日本版GAPの導入，確立を始める
2005　欧州では，GAP認証がない農産物を取り扱わない販売店も出てくる
2005　日本GAP協会設立
2006　輸入農産物でﾎﾟｼﾞﾃｨﾌﾞﾘｽﾄ違反が相次ぐ
2007　Global-GAPが始まる

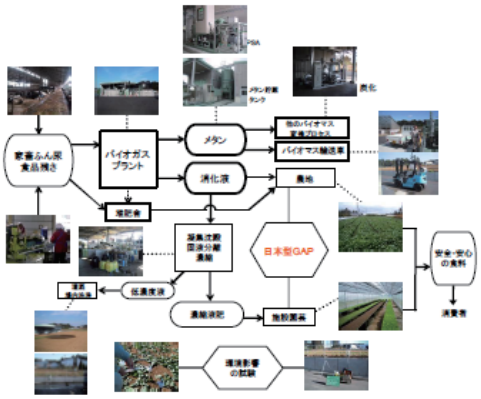
GAPの動向

農林水産省は4月21日に「農業生産工程管理（GAP）の共通基盤に関するガイドライン」を公表しました。今までは国内に様々な農業生産工程管理（GAP）が存在するため、取組内容の共通基盤を整理することが課題となっていました。また、科学的知見や消費者・実需者のニーズを踏まえた取組への対応も十分に進んでいない状況にありました。

このような実態を踏まえ、このガイドラインは、食品安全に加え、環境保全や労働安全のように幅広い分野を対象とする、高度な取組内容を含む農業生産工程管理（GAP）の共通基盤となる内容です。

農業生産工程管理（GAP）の共通基盤に関するガイドライン

http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/gizyutu/100421.html



バイオマス利活用による資源循環型農業(GAPの適用)

何から何がどのくらいできるか

牛ふん尿　1t　　メタンガス　13m^3

生ごみ　1t　　メタンガス　118m^3

ヒマワリ種子　1t　　バイオディーゼル燃料　480L

ナタネ種子　1t　　バイオディーゼル燃料　472L

玄米　1t　　バイオエタノール　430L

サツマイモ　1t　　バイオエタノール　170L

トウモロコシ 約100粒　プラスチック製たまごパック1つ

トウモロコシ　約20粒　　プラスチック製ボールペン1本

緑藻類*Botryococcus*　　オイル　○○！(ミラクル？)

まとめ

①バイオマスの利活用は，これまで環境へ悪影響を及ぼしていた外部不経済を解消するという側面があり，利益の追求にはなじまない。しかし，持続可能な社会システム構築のために不可欠である。

②バイオマス資源の利活用は，気運が高まり，産学官の連携が強化されつつある今，一気に制度設計を行い，道筋をつけたい。

③バイオマス資源の利活用に係わる施策や活動が，地域活性化，心の豊かさ，時間のゆとりの確保，健康増進につながり，循環型社会の形成に貢献することを祈る。

夢見る世界

澄んだ広い空，清らかな水，緑の大地。自然の恵みが巧みに利用され，行き交う人の微笑みが輝いている。

輝く未来には，技術革新により機能・効率を徹底的に追及した部分と，心の豊かさを重視した部分が共存している。お金が第1とは誰も思わなくなっている。朝から午後4時までは目いっぱい仕事をし，その後は趣味と社会貢献に精を出す。種(しゅ)を存続させるという生命体の本能が人間にもよみがえった。協力して信頼しあうことを実体験で学んだからだ。市民が身の丈にあった健康的な暮らしの中で，自らの役割を果たすことに喜びと達成感を得た。平和維持やリスク管理に浪費していた社会コスト，エネルギー，マンパワーが，新しい価値観，環境スタイルによって，自立力があり，子供たちの歓声が響き渡る社会づくりに向けられている。

21世紀初頭に悩まされていた食料，エネルギー，環境，貧困，衛生，紛争の問題が解決され，学者たちが期待を込めて呼んだ「水と農の時代」が実現されている。バイオマス・リファイナリーが達成され，さらに太陽光(熱)，風力，小水力，地熱などとのベストミックスによる自然エネルギータウンが誕生する。車はすべてクリーンエネルギーを燃料に自動制御で動き，交通事故が無くなった。

モノは，必要な量が必要な時期に，環境への悪い影響を小さくする方法が選ばれて製造され，使われている。微生物の力による自浄作用が強化され，水と土が健全な状態になっている。江戸時代のよきところを科学と人類の叡智で再現した。現代社会の機能を維持して，化石資源由来のモノがバイオマスを含む自然エネルギー由来のものに置き換わったのだ。

参考文献

1. 農林水産省 HP（http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kihonho/index.html）
2. 農林水産統計データ、農林水産省
3. 地域バイオマスの賦存量を把握するための基礎データ一覧、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
   (http://nkk.naro.affrc.go.jp/soshiki/soshiki04-sogo/07_shigenjyunkan/pdf/basic_data.pdf)
4. 家畜飼養頭羽数・戸数の推移、株式会社ワイピーテック、畜産統計情報
   (http://www.ytech.co.jp/nonomura/data/data07.pdf)
5. 農林金融　1999 年 9 月号
6. 畜産環境をめぐる情勢　平成 23 年(2011 年)2 月　農林水産省
7. 畜産環境をめぐる情勢　平成 18 年(2006 年)6 月　農林水産省
8. 有機廃棄物のリサイクルおよびバイオマス利用、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、羽賀清典
9. 第Ⅴ部第１章　畜産バイオマスに係るモデルと国レベルの窒素循環モデル、農林水産研究情報総合センター(ＡＦＦＲＩＴ)、農林水産省
10. 畜産環境対策大事典　社団法人農山漁村文化協会
11. 家畜排せつ物の利用促進に関する論点整理メモ、農林水産省、家畜排せつ物の利用促進、意見交換会資料
12. 水質汚濁防止法
13. バイオマス利活用システムの設計と評価、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所
14. 家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用の現状と課題、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、薬師堂謙一
15. 北海道家畜排せつ物利用促進計画、平成 12 年(2000 年)10 月、北海道
16. 北海道における堆肥センター協議会の活動について、ＪＡ北海道
17. 鹿児島県バイオマス利活用指針、鹿児島県
18. 平成 21 年度環境と調和した農業の取組実績、鹿児島県
19. 畜産統計情報、ののむらＦＣ事務所
20. 国土交通省 web 下水道資源・エネルギー循環の形成
   (http://www.mlit.go.jp/crd/crd_sewerage_tk_000124.html)
21. 東京都下水道局 HP、数字で見る東京の下水道－処理場別下水および汚泥処理の実績
   (http://www.gesui.metro.tokyo.jp/gijyutou/fukyu/fukyu_d.htm)
22. 東京都下水道局 HP、東部スラッジプラント
   (http://www.gesui.metro.tokyo.jp/odekake/syorijyo/05_01.htm)
23. 東京都下水道局 HP、おしらせ・下水汚泥ガス化炉完成式が行われました
   (http://www.gesui.metro.tokyo.jp/oshi/infn0466.htm)
24. 東北地方の汚泥の有効利用状況

(http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b06111/kenseibup/gesuido/michinoku_gesui/shorisui_odei/03.pdf)
25. 下水資源の利用の動向、国土交通省都市・地域整備局下水道部下水道企画課、田辺義貴（www.kenkocho.co.jp/pdf/144_01ty.PDF）
26. メタウォーター（株）HP リン回収システム
(http://www.metawater.co.jp/product/sewer/rin_collection/index.html)
27. バイオマスバイオマス賦存量及び利用可能量の全国市町村別の推計
(http://www.nedo.go.jp/library/biomass/mapgif/databio/BioOdei/Gesui.html#All)
28. 財団法人古紙再生促進センター:『古紙ハンドブック 2008 年度版』
(http://www.prpc.or.jp/menu05/pdf/handbook2008-5.pdf)
29. 財団法人クリーンセンタージャパン:『リサイクルデータブック 2009』
(http://www.prpc.or.jp/menu05/pdf/handbook2008-5.pdf)
30. 環境省:『一般廃棄物処理調査結果』
(http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h20/data/shori/total/01.xls)
31. 環境省:『産業廃棄物排出・処理状況調査』
(http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo/sangyo_h19a.pdf)
32. 経済産業省:『工業統計調査』
(http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/result-2/h20/kakuho/hinmoku/excel/h20-k2-data-j.xls)
33. 国土交通省:『貨物地域流動統計』
(http://www.mlit.go.jp/k-toukei/17/prompt03/kam3.xls)
34. 「紙リサイクル原料古紙の地域間物流が輸送量及びエネルギー消費に及ぼす影響の分析」環境システム研究論文集 Vol.33、2005 年 10 月
(http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00013/2005/33-0259.pdf)
35. 「平成 20 年度国際リサイクルシステム構築基礎調査事業報告書」財団法人古紙再生促進センター　平成 21 年 3 月
(http://www.prpc.or.jp/menu05/cat11/cat17/index.html)
36. 井内正直：バイオマス賦存量の市町村別推計とＧＩＳによる地理的分布の把握、電力経済研究、No.53（2005.4）
37. (独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所：バイオマス利活用システムの設計と評価、ｐ.50-54
38. 農林水産省：食品リサイクルの現状
(http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syokuhin/s_about/pdf/genzyou.pdf)
39. 農林水産省：食品リサイクル法関連
(http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syokuhin/index.html)
40. 国立国会図書館　農林水産課：食品リサイクル法の見直し　―食品リサイクルの現状と法改正（平成 19 年）―、調査と情報－ISSUE BRIEF－ No.583（2007）
41. 古市徹監修、有機系廃棄物資源循環システム研究会編著：循環型社会の廃棄物系バイオマス、環境新聞社（2010）
42. 井内正直：バイオマス資源の収集・運搬及び利用の現状と利用、電力中央研究所報告、

調査報告、Y04016、2005.4
43. 望月和博：バイオエネルギーとバイオマスリファイナリー、東京大学エネルギー工学連携研究センター設立記念講演会資料、2008.1.16（http://www.energy.iis.u-tokyo.ac.jp/html_seminar/20080118/20080118mochizuki.pdf）
44. http://www.nedo.go.jp/library/biomass/kinds/no1.pdf
45. http://www.nedo.go.jp/library/biomass/kinds/no2.pdf
46. http://www.nedo.go.jp/library/biomass/kinds/no3.pdf
47. 農林水産省(2002)循環型社会形成に関する取組について.中央環境審議会. 循環型社会計画部会.ヒアリング資料
48. (社)日本エネルギー学会編、バイオマスハンドブック、オーム社、2002、pp.338-339
49. 国土交通省のリサイクルホームページ
(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/hasseimokuzai/index.htm)
50. 平成 20 年度建設副産物実態調査結果詳細データ（建設廃棄物）
(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/jittaichousa/H20sensus_detail01.xls)
51. 平成 20 年度建設副産物実態調査結果参考資料
(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/jittaichousa/H20sensuskekka_sankou.pdf)
52. 建設発生木材リサイクル推進マニュアル（北海道版）　平成 20 年 4 月
(http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_jigyou/gijyutu/mokuzai_suisinn.pdf)
53. 北海道地方における建設発生木材リサイクル促進行動計画
(http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_jigyou/gijyutu/mokuzai.pdf)
54. 農林水産省　農林水産関係用語集、
(http://www.maff.go.jp/j/use/tec_term/index.html)
55. Wikipedia 伐採
(http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%90%E6%8E%A1)
56. Wikipedia 間伐材
(http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%96%93%E4%BC%90%E6%9D%90)
57. 平成 18 年度　滋賀県森林のエネルギー地域循環トータル・システム調査（中間報告概要版）
(http://www.pref.shiga.jp/d/new-energy/woodresearch/file/h18fygaiyou.pdf)
58. イワフジ工業株式会社ＨＰ
(http://www.iwafuji.co.jp/lineup/high/fellerbuncher.htm)
59. 平成 21 年度　森林・林業白書（HTML 版）
(http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/21hakusyo_h/index.html)
60. （社）林業機械化協会 HP
(http://www.rinkikyo.or.jp/)
61. 農林水産省　平成 20 年木材統計
62. 農林水産省　平成 21 年木材統計

63. NEDO、バイオマス賦存量・利用可能量の推計
(http://www.nedo.go.jp/library/biomass/)
64. 北海道、平成 20 年度　林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業報告書、平成 21 年 4 月
65. NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク、バイオマス白書 2010
66. 富士通ジャーナル、日本の「林業」を「森林経営」へ成長させるために
67. 我が国のバイオマス賦存量・利用率（2008 年)、農林水産省　バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザリーグループ　第 12 回会合配布資料
68. 栗栖　祐子、農林中金総合研究所 『調査と情報』1999 年 05 月号
69. 特許第 4129953 号：畜舎汚水からの燐回収装置
70. (独)農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所：養豚で発生するリンの再利用技術を開発、プレスリリース、2008.6.18
（http://nilgs.naro.affrc.go.jp/press/2008/0618/shosai.html#menu）
71. (財)日本豆類基金協会ＨＰ
（http://www.mame.or.jp/saibai/azu_kyoto.html）
72. 日本農業システムＨＰ
（http://www.nou.co.jp/item_search.php）
73. 鈴木一好、養豚で発生する汚水に含まれるリンを除去回収し再利用する技術、tokugikon、No.256、2010、p.44
74. 福岡市道路下水道局：福岡市の下水道と河川　高度処理
(http://gesui.city.fukuoka.lg.jp/business/about/transaction.html)
75. 農林水産省生産局：肥料価格の現状等について（2008.7）
(http://www.maff.go.jp/chushi/seisan/hiryou_koutou/)

第Ⅱ部 CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築

第１章　調査研究の経緯と目的

1.1　はじめに

2009年のCOP15において、わが国は温室効果ガス削減の中期目標として2020年までに1990年比で25%削減を目指すことを表明。既存の産業構造の積極的かつ革新的な変化が求められており、静脈物流分野においてもさらなる効率化が求められている。

現状の廃棄物処理分野からの温室効果ガス排出量は、わが国全体の排出量の概ね3%弱であり、この数値は、廃棄物処理分野の経済規模に比べて相対的に高い値となっていると報告されている。京都議定書目標達成計画（2008年3月28日改定）において、廃棄物処理における取り組みに関して、『エネルギー期限CO2：上下水道・廃棄物処理における取り組み～ごみ収集運搬車へのBDFの導入などの車両対策の推進～』の方向性が打ち出されており、さらに温暖化対策の一覧表では以下の項目が示されている。

①車両の運転に伴う燃料消費を直接削減する～エコドライブ等の省燃費対策～
②より温室効果ガスの排出の少ない燃料へ転換する～バイオ由来燃料の導入、クリーンエネルギーへの転換～
③収集運搬の効率化を図る～モーダルシフト～

温室効果ガスの発生プロセスの説明においても、収集・運搬時に温室効果ガスが排出されており、収集・運搬時における省CO_2対策が強く求められている社会的背景がある。

1.2　調査研究の経緯

これまでエンジニアリング振興協会では、静脈物流について調査を行い、トラック・鉄道・船等・輸送形態に着目した調査、医療系廃棄物・水銀等を含む特定有害廃棄物、広域再生利用について調査を実施した。

これらの調査において、静脈物流における問題点を以下のように整理した。

①静脈物流と動脈物流が、資源循環における物流の輪で裏表になっていない。このため、非効率、運搬費が高い等の問題が生じていると考えられる。

動脈物流では動脈物流の帰り便を動脈物流で利用している場合が多くあり、空便での走行が少なく、効率的な運搬が取り入れられている。一方で、動脈物流の帰り便を静脈物流で利用する、静脈物流の帰り便を静脈物流で利用するという取り組みはほとんどなされていない。静脈物流では同一の廃棄物が基本で、異種の廃棄物の混載が基本的に不可能である、発生単位が小さく動脈物流のような大量輸送が発生しにくい、また、廃棄物毎に専用車を用いる事例もあり、動脈物流のような効率的な輸送を困難としている。

②廃棄物処理法の壁があり、効率のみを追求した自由な物流ができない。

廃棄物の輸送には廃棄物処理業の許可を必要とし、使用できる車両、積載できる廃棄物の種類が固定されてしまう。また、この許可は廃棄物の積み下ろしを行う場所を管轄する都道府県の許可がそれぞれ必要であり、政令市は都道府県とは別に許可を取得する必要があり、許可を受けている車輌でなければ運搬できない。全都道府県、政令市での許可取得

は手間、費用も相当かかるものであり、現実的ではない。したがって、日常行き来する都道府県及び政令市としての運行となるため、動脈物流のように全国を対象とした需要に応じた自由な往来が静脈物流においては不可能である。

③廃棄物処理法の特例措置である産業廃棄物広域認定制度を利用した広域再生利用についても、システム面（管理的要素）と適正処理＆リサイクル面（技術的要素）から課題がある。

認定後の会社変更や会社事情（代表者交代等）による手続きが大変、排出者による異物の混入、他社製品の混合、リサイクルする会社にとってのメリットがないという管理的要素、製品への混入率が限られてしまう、付着物の処理が困難という技術的課題がある。

処理に適した分別と収集体制の確立、排出者による理解（コスト、分別）の取得、運搬方法の効率化、省CO_2化が課題として潜在すると考える。

④輸送については、廃棄物の特性からトラック輸送が大部分を占めており、CO_2削減等を考慮した環境型の輸送が未発達である。

静脈物流では輸送ロットが小さい、発生が不規則、処理専門業者が遠隔地である等の理由から中長距離トラック輸送が多く存在している。

CO_2削減の観点からはトラック輸送による環境負荷を軽減するために、モーダルシフトが望まれるが、そのための積替保管施設の貨物駅、港湾への設置が法的に難しい状況がある。リサイクルポートも処理設備の整備にとどまっており、廃棄物処理法の特例措置など、積替保管施設とモーダルシフトをトータル的に考えた施策が求められる。

1.3 調査研究の目的

静脈物流にとって省CO_2は急務であり、静脈物流の効率化は即省CO_2につながるものである。本調査研究では、静脈物流において省CO_2を推進するための問題点を抽出し、その課題を整理し施策的提言を行うことを目的とする。

第1年度として、CO_2削減に向けた静脈物流について先行事例なども含めた調査を広く行い、次年度に向けた基礎情報を整理する。

第２章　CO_2削減に向けた高度静脈物流システム

2.1　物流によるCO_2削減

2008年度の温室効果ガス排出量(確定値)によると、CO_2排出量は12億1,400万トンであり、京都議定書規定による総排出量(11億4,400万トン)を6.1%上回っている。そのうち運輸部門からの排出量は全体の19.4%を占めている(**図2.1-1**参照)。また、本図にはないが、運輸部門のうち貨物のみでみると、1990年比で13.6%削減を達成している。

物流分野ではCO_2削減に向けた取り組みとして、経済産業省･国土交通省･日本ロジスティクスシステム協会等により2004年12月に発足した、グリーン物流パートナーシップが代表的である。グリーン物流パートナーシップとは、CO_2排出削減に向け、新技術の導入やビジネスモデルの再構築を通じて、燃料消費を削減する産業界の自主的取り組みを拡大するため、荷主企業（発荷主・着荷主)と物流事業者の幅広い連携の促進を目的とした組織である。現在では、会員数は3,000社以上にものぼっている。活動内容としては、荷主･物流事業者の協働によるCO_2排出削減プロジェクトへの支援、ロジスティクス分野におけるCO_2排出量算定方法共同ガイドラインを作成するなどのCO_2排出量算定方法の標準化、そして、グリーン物流の普及拡大に向けた広報･企画等として、シンボルマーク･ロゴマークの作成や優良事業への大臣表彰制度の創設などである。

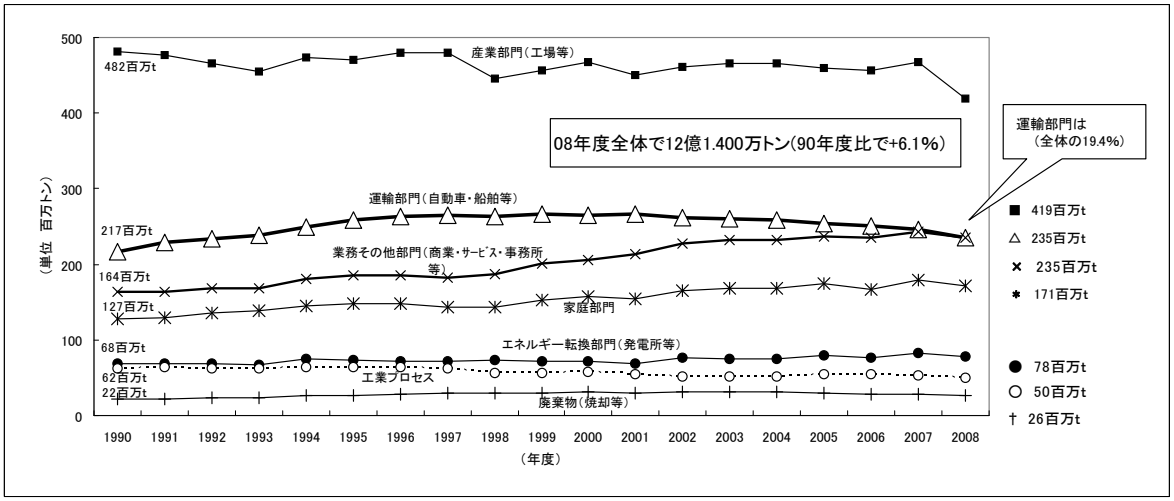


図2.1-1 CO_2の部門別排出量(電気･熱配分後)の推移

出典:環境省HP、2008年度温室効果ガス排出量(確定値)について
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2008ghg.pdf

また、グリーン物流パートナーシップ推進事業の類型別推進決定件数を**表2.1-1**に、主な取り組み事例については**表2.1-2**に示す。**表2.1-1**では、複数の類型にまたがるものは代表的な類型に分類しているが、240件のうち鉄道へのモーダルシフトが58件で最も多く、次に拠点集約化、共同輸配送、車両等の大型化と続いている。モーダルシフト関連案件に特化すると、輸送容器や充填設備、補助器具等の開発や導入によりモーダルシフトを導入した例が多くみられる。加えて、さらなるCO_2削減に関しては、企業の意識改革のみでは

限界がみえているため、2009年12月に開催された第8回グリーン物流パートナーシップ会議において、着荷主である「消費者の意識改革」にも目を向けた議論がなされている。

表2.1-1 グリーン物流パートナーシップ推進事業 類型別推進決定件数一覧

類　　型	2005年から2009年度　合計 (モデル事業･普及事業･ソフト支援事業含む)
拠点集約化	41
共同輸配送	34
鉄道へのモーダルシフト	58
海運へのモーダルシフト	31
車両等の大型化	34
電子タグ等活用	3
その他(ラック利用等による積載率向上、特殊コンテナ･シャーシの利用等)	39
合　　計	240

出典:グリーン物流パートナーシップHP、グリーン物流パートナーシップ推進事業 推進決定事業一覧
http://www.greenpartnership.jp/index.html

そして、**表2.1-2**は主な取り組み事例として、優良事業への大臣表彰等の受賞事例を抜粋したものである。2009年度の受賞事例では、共に鉄道モーダルシフトの事例であるが、No.6でみられる事例において、鉄道貨物に移行するために必須条件となる、衝撃振動を防止するための専用コンテナや専用架台の開発等により、製品ダメージを低減し品質を確保していることが特徴的である。また、No.7でみられる事例では、10tや14tトラックで行ってきた輸送を31フィートコンテナ(私有)による往復輸送にシフトすることにより、年間306tCO_2を削減することに成功している。

表2.1-2 グリーン物流パートナーシップでの主な取り組み事例

No.	事業名または事業概要	提案者(代表)または事業者	備　考
1	商品納入後の帰り便を利用した調達物流(商品価格と物流費の分離)を鉄道及び海運にモーダルシフト等を行うことによるCO_2削減	パナソニック電工香川(株)、(株)朝日通商、日本通運(株)、日本貨物鉄道(株)、ジャンボフェリー(株)	**海運モーダルシフト** 2007年度グリーン物流パートナーシップ事業国土交通大臣表彰受賞
2	十勝産馬鈴薯の輸送をトラックから鉄道へモーダルシフトする省エネ事業	士幌町農業協同組合、日本通運(株)帯広支店、日本貨物鉄道(株)北海道支社	**鉄道モーダルシフト** 2007年度グリーン物流パートナーシップ事業国土交通省政策統括官表彰受賞
3	部品調達から製品配送まで一貫した集中配車コントロールによるCO_2削減の取り組み	富士通(株)	**拠点集約化** 2007年度グリーン物流パートナーシップ事業経済産業大臣表彰受賞
4	循環型物流センターシステムの構築～RFID活用によるクレート(通い箱)循環型管理システム～	(株)菱食	**電子タグ等活用** 2007年度グリーン物流パートナーシップ事業経済産業省商務流通審議官表彰受賞

5	荷主及び運送事業者共同による「環境負荷管理低減システム」の構築	K&K国分(株)、開真産業(株)、(株)紀文フレッシュシステム	**共同輸配送** 2008年度グリーン物流パートナーシップ事業経済産業大臣表彰受賞
6	トラックによる携帯電話基地局輸送を、耐震･耐衝撃機器を導入した鉄道輸送へモーダルシフトすることによる省エネルギー事業	日本通運(株)、パナソニックモバイルコミュニケーションズ(株)、パナソニックロジスティクス(株)、日通商事(株)、日本貨物鉄道(株)	**鉄道モーダルシフト** 2009年度グリーン物流パートナーシップ事業国土交通大臣表彰受賞
7	パートナーシップによる電線ドラム輸送の大型コンテナを利用した鉄道輸送へのモーダルシフトによる省エネルギー事業	筑後運送(株)、住電日立ケーブル(株)、タツタ電線(株)、大電(株)、(株)合通、日本貨物鉄道(株)	**鉄道モーダルシフト** 2009年度グリーン物流パートナーシップ事業国土交通省政策統括官表彰受賞

出典:グリーン物流パートナーシップHP、グリーン物流パートナーシップ推進事業推進事業事例集　より抜粋
http://www.greenpartnership.jp/pdf/proposal/result_list/case.pdf

これらさまざまな事例の特徴をまとめると、CO_2削減に向け効率的な大量輸送方法としてのモーダルシフトの拡大、低公害車の活用、エコドライブの推進、異業種間共同輸送の推進、バイオ燃料トラックの活用等に加え、単に輸送方法を変更するだけでなく、それを達成させるための機械装置等の補助装置の開発なども必要であることがわかる。

1) 動脈物流と静脈物流の連動

物流分野における取り組みにおいて、動脈物流のみならず静脈物流との連動で検討するケースも多くなっている。生産から販売にいたる動脈分野と消費から廃棄･リサイクルなどの静脈分野を一体化させることで、より効率化･高度化させる取り組みである。

動脈物流に関しては、企業活動の中での生産活動、物流活動の効率化といったところに主眼がおかれ、それらを解決するために3PL(サードパーティロジスティクス:受託物流事業)やITを活用したネットワーク構築(物流の五大機能としての輸送･保管･荷役･流通加工･包装の情報化)、そして、環境問題等を考慮したさまざまな取り組みがなされているところである。

一方、静脈物流に関しては動脈物流のそれらと異なる特性や制約があることを忘れてはならない。特に、法律に基づく収集･運搬業の許可が必要なことや、運搬車両からの飛散･流出･悪臭の漏れなどを防止する措置が必要なこと、そして、不法投棄を抑止するためのマニフェストの運用が必要であるなどの制約である。同時に、動脈物流と比べ緻密性や時間的制約も少なく、廃棄物の種類や混合割合と共に、収集･運搬の輸送量や重量などを予測することが難しい点なども特性としてあげることができる。

また、最近ではサプライチェーン全体のグリーン化をおこなう動きが強まっている。いわゆるグリーンサプライチェーンマネジメント(グリーンSCM)である。グリーンSCMとは、従来の動脈部分の情報共有やプロセスの最適化に対し、循環型ロジスティクスや環境マネジメントなどの視点を加え、静脈部分の情報共有やプロセスの最適化を

併せて推進する次世代型のSCMモデルである。設計･調達から最終廃棄にいたるまでの環境負荷低減やライフサイクルコストの削減もこれらの動きによって可能となる。

参考までに、**表2.1-3**は鈴木邦成氏(エコノミスト･日本物流学会理事ほか兼任)がまとめたグリーンSCMとコストメリットについてまとめた表である。サプライチェーン全体のグリーン化を促進することで、製品の調達から廃棄物処理までのそれぞれのステージにおいて、環境面･コスト面共にメリットが見出せることがわかる。

また同時に、ロジスティク全体の戦略として考えた場合に、輸配送の効率化に向けたモーダルシフトの推進や共同物流が、動脈分野･静脈分野に関わらず共通の対策として有効であることがわかる。

表2.1-3 グリーンSCMとコストメリット

	イメージアップ	環境面でのメリット	ロジスティクス戦略	コストメリット
グリーン調達	肯定的なメディア報道などによる一般消費者、顧客企業などへの支持拡大。	有害物質の使用削減による環境負荷の低減。	標準部品の購入、共同調達システムの構築。	共同物流の導入などで実現。
グリーン包装	リターナブルコンテナや通い箱を用いることによる、公共的イメージの改善。	資源の有効活用、廃棄物の減少。	積載効率の向上、容積率アップなどの促進。	包装の簡略化などの推進で実現。
リユース	一般消費者、顧客企業、機関投資家などの支持を拡大。	原料の採掘･採取の減少。	効率的な循環型システムの構築、共同物流、モーダルシフト。	リユース部品の販売、再使用などを促進。
回収･リサイクル	製品の品質や信用に関する顧客の関心を高める。	資源の有効利用の促進。	共同物流化、モーダルシフトの導入。	リサイクル品の販売、再使用などを推進。
リデュース	肯定的なメディア報道などによる一般消費者、顧客企業などへの支持拡大。	包装のごみ化を回避。	在庫削減の推進、輸配送システムの効率化。	輸送コスト、保管コストの低減を実現。
廃棄物処理	地域社会からの反発を回避し、公共イメージの向上。	有害物質の使用削減による環境保全。	廃棄物量の削減、廃棄物輸送の効率化。	ごみを出さないことで従来かかっていたコストを節約。

出典:鈴木邦成　絵解き　すぐわかる産業廃棄物処理と静脈物流、P.19日刊工業新聞社より

2) 静脈物流の事例紹介

上述にも紹介した、グリーン物流パートナーシップ事業以外の取り組み事例について、静脈物流事例を中心に**表2.1-4**に示す。本表以外にも一般的な取り組み事例として、全国で展開されている①エコタウン事業、②リサイクルポートによる取り組み、③鉄道輸送による各種廃棄物の運搬、④通い箱(リターナブルボックス)を活用した梱包資材関連の廃棄物削減事例、⑤気泡緩衝材等の包装資材削減のためのPPバンド等による製

品固定事例、⑥木製パレットの燃料チップ化への再資源化やプラスチック製パレット変更による再使用事例、⑦工場内のダンボール使用量削減のためのレイアウト検討と固定ラックの導入事例、⑧ICタグを活用した梱包資材管理システムや車両追跡管理システム事例など、さまざまな取り組みがされている。なお、**表2.1-4**でまとめた主な事例についての具体的な内容は後述にて紹介することとする。

これら静脈物流におけるCO_2削減策や効率的な取り組みとして全般的な動向をまとめると、拠点を集約し効率的な共同輸送や処理をおこなう事例(動脈物流との連携を含む)、車両運行や運搬方法を工夫し、容器の変更や広域認定制度などを活用した事例(3PLの活用含む)、オリジナル梱包資材等を活用したリユース物流の事例、ITを活用し廃棄物のトレーサビリティの強化やデジタルタコグラフ(運行記録表)を活用した省エネ運転支援策、バイオ燃料の活用事例、そして、これらを複数組み合わせた取り組みなど、それぞれの事例において状況に応じたリバースロジスティクス(戦略的な静脈物流)を展開している。

表2.1-4 主な静脈物流の取り組み事例(順不同)

No.	事業名または事業概要	提案者(代表)または事業者	備　考
1	既存工業団地(神奈川県厚木市内)におけるゼロエミッション事業への取り組み事例	神奈川県内陸工業団地協同組合	2000年から検討開始。 工業団地全体での共同回収・リサイクル等の取り組みを実施。
2	川崎市の廃棄物鉄道輸送事例	川崎市、日本貨物鉄道(株)	1995年10月から開始。 一般ごみ、焼却灰、粗大ごみ、缶、びんを輸送。
3	瀬戸内静脈物流事業	瀬戸内静脈物流事業化推進協議会	2004年から事業実施に向けて取り組み中。 関西から九州の瀬戸内海域で実施する廃棄物の共同輸送。
4	廃棄物発生抑制の取り組み事例	ユニー(株)	容器包装リサイクルシステムの中で、商品配送トラックが空容器類を持ち帰る。
5	食品リサイクルシステム事例	(株)日本アクセス、(株)ベイシア	食品リサイクルシステムの中で、商品配送トラックが食品残さを持ち帰る。
6	バイオディーゼル燃料の原料となる廃食油等の回収・精製・販売等を実施。	北清企業(株)	今年度調査対象 (後述に報告あり)
7	周辺企業とのタイアップによる共同回収等を含めたゼロエミッションの実施	トヨタ自動車北海道(株)	今年度調査対象 (後述に報告あり)
8	苫小牧港のリサイクルポートの取り組み事例	苫小牧港管理組合	今年度調査対象 (後述に報告あり)

9	新日鉱グループの高度な金属精錬技術を基に、産業廃棄物処理･リサイクル･硫酸関連事業を実施。フェリーによる海上輸送網に強み。	苫小牧ケミカル(株)	今年度調査対象 (後述に報告あり)
10	RPFを工場のボイラで利用。本州への製品運搬船(自社専用)を利用し、帰り便に古紙･RPFの運搬を実施。	王子製紙(株)苫小牧工場	今年度調査対象 (後述に報告あり)
参考1 ＊	東海道物流新幹線(ハイウェイトレイン)構想 (計画中の新東名･新名神高速道路の中央分離帯に物流専用鉄道の開設を目指す動き)	東海道物流新幹線構想委員会	動脈･静脈共の対策。09年12月に最終構想を発表。物流全体の効率化等の効果を期待。必要予算は1.5～2兆円。
参考2	静脈チェーンマネジメント事例 (統合的な廃棄物処理事業の取り込みによるコスト削減と効率化)	Waste Management社	アメリカでの参考事例

＊:日本ビジネス出版、環境ビジネス10年3月号、P.12からP.14まで、それ以外は委員の調査に基づく

2.2 静脈物流システムの現状と課題

2.2.1 静脈物流の特徴について

動脈物流の多くは商品を各店舗に分配する分散型の輸送形態であるが、これに対して静脈物流は廃棄物の発生地からリサイクル施設あるいは処分場に集まるいわゆる集中型の輸送形態となる。

「到着時間の指定が緩い」「輸送ロットが小さい」「集中型の輸送形態（短・中距離の輸送）の割合が大きい」「欠品問題がない」等の特性が考えられ、このことから静脈物流は動脈物流に比べてリードタイムの制約が少ないと特徴づけられる。

実際に上記のことに関して、2005年度物流センサスデータを用いて検証する。

まず、「到着時間指定が緩い」といった特性について「品類品目・到着日時指定の有無別流動量（3日間調査)」のデータを確認すると、排出物についてはおおよそ8割が到着時間の指定がない貨物であることが明らかである。

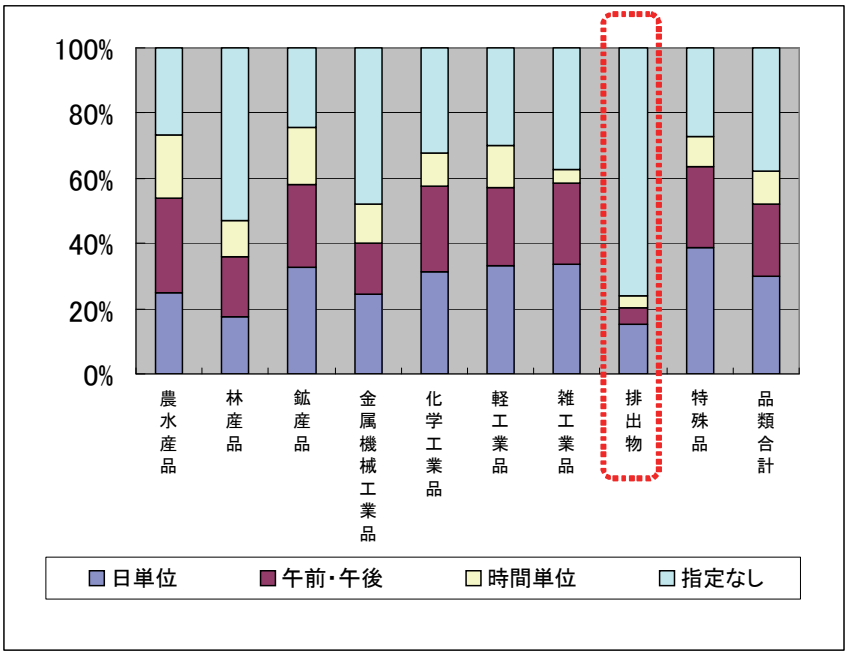


図2.2.1-1　品類・到着日時指定の有無別流動量（件数）

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室
2005年物流センサス調査（3日間調査）

中でも、廃家電、金属スクラップ、古紙は9割以上が到着時間の指定がない（**図2.2.1-2**参照）。また、汚泥、鉱さいについても8割以上が時間指定のない貨物となっている。

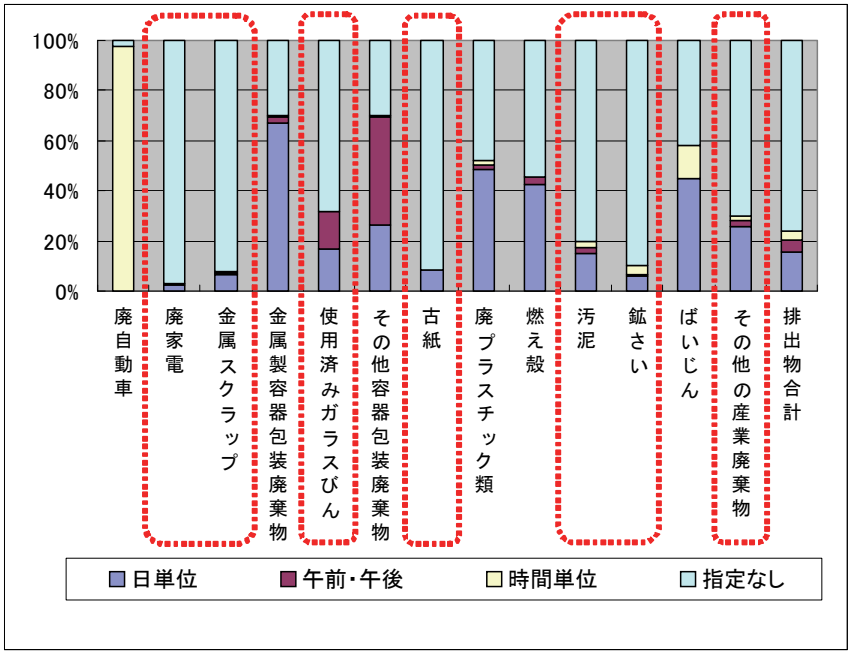


図2.2.1-2　排出物の品目・到着日時指定の有無別流動量（件数）

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室
2005年物流センサス調査（3日間調査）

動脈物流については時間制約が厳しくなっているが、静脈物流については到着日時指定なしの割合が多く時間の制約が緩い。「急がない物流」であることがわかる。

次に「輸送ロットが小さい」について検証する。これまで静脈物流におけるロットについては他の品類・品目と比較してロットが小さいと考えられているが、3日間調査データを集計値からは輸送ロットは決して少なくはない。むしろ、静脈物流品目は全品目の平均以上となっている。

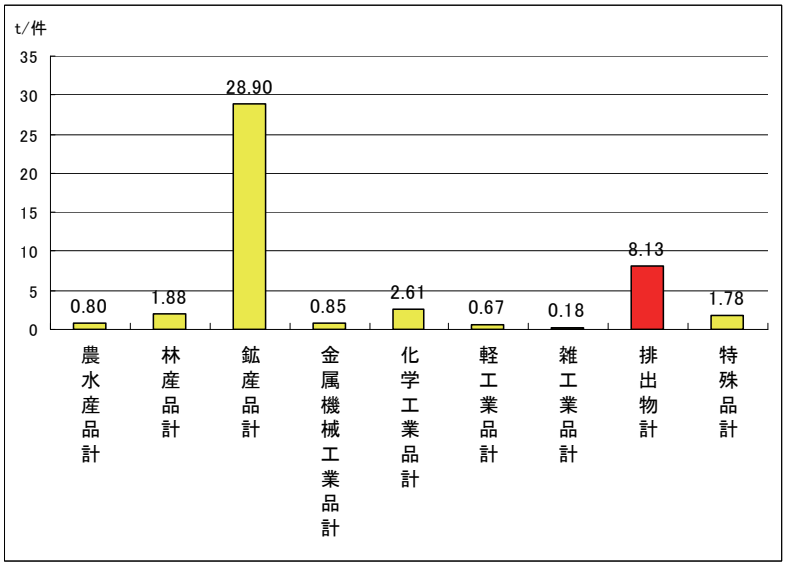


図2.2.1-3　品類別の流動ロット（重量/件数）

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室
2005年物流センサス調査（3日間調査）

品類品目の流動ロットについて、物流センサスデータでは貨物重量と貨物件数の調査データをもとに（t／件）の単位で算出されている。物流に関しては車両の積載量が決められているため、重量換算データで集計することは有効であると考えられるが、比重の大きな品類品目と小さなものでは、同じ容量のモノを運搬する場合に大きな差異となってデータに反映されてしまう。

例えば比重の大きな金属と発泡スチロールを4tトラックで運搬する場合、4tの金属を積込むと荷台に空きができるが、発泡スチロールを荷台に満載しても最大積載荷重には達しないため、流動ロットとしては非常に小さなものとなる。

同様のことが様々な製品の梱包（ダンボールと緩衝材と製品本体のパッケージ等）についてもいえる。

また一方で、排出物はある一定の物量がストックされてから回収される。ごみ収集車両等のミルクラン（巡回集荷）部分は統計上表面化しておらず、幹線集約輸送分のみが統計値に反映されていることも考えられる。

静脈物流の「ロットが小さい」とは、排出物は発生する時期や場所が分散しているため、一定量の物量を確保できないことに対する非効率あるいは定期的な発生次期を推定することが困難といった場合に引き合いに出されることが多く、単に発生ロット自体が小さいことを指すものと考えられる。

最後に「集中型の輸送形態（短・中距離の輸送）の割合が大きい」について検証する。以下に示す図は排出物の代表輸送機関別（鉄道、トラック、海運、航空、その他）の流動

量を表している。件数割合のデータ（**図2.2.1-5**）より全ての排出物についてその95%以上がトラックによる輸送であることがわかる。また、重量割合のデータ（**図2.2.1-4**）をみると、鉱さいについては海運が34%を占めるが、これを除いた排出物全てについて95%以上がトラックによる輸送であることがわかる。

これより、静脈物流は短中距離の輸送であるトラック輸送に依存しているといえる。

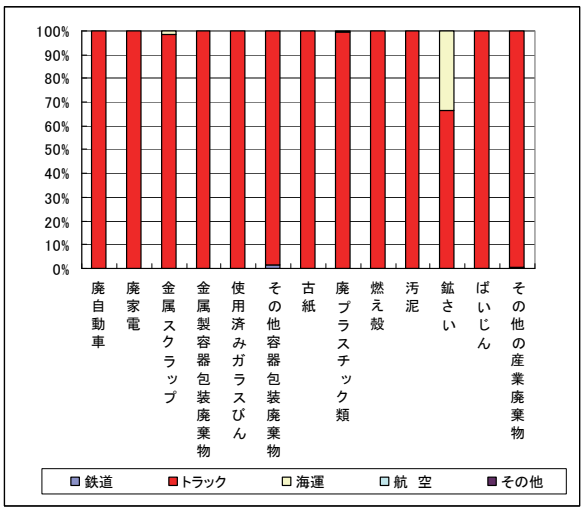


図2.2.1-4 排出物代表輸送機関流動(重量)

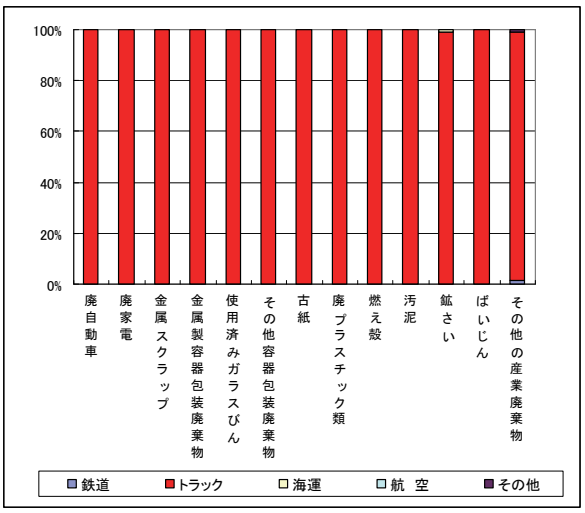


図2.2.1-5 排出物代表輸送機関流動(件数)

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室

2005年物流センサス調査（３日間調査）

2.2.2 静脈物流システムの現状と課題

産業全業種の売上高に対する平均物流コスト比率は約5.3%であり、輸送コストは売上高の約3%を占めている。しかしながら、静脈産業における輸送コストは売上高の20～50%として考えられ、非常に高い割合を占めている。

これは、動脈物流に比べて静脈物流ではモノの価値が低いため、物流コストが相対的に大きな割合を占めることになるからである。

また、排出物の循環を考えた場合、指定取引場所までの収集・運搬料金（1次輸送費）とリサイクル料金（指定取引場所の運営費、リサイクル工場での処理費、指定取引場所からリサイクル工場までの2次輸送費）を支払うことになるからである。

リサイクル技術が高く、処理費が安価な優良リサイクル企業でも、遠方に立地する場合は輸送コストがかかるため、近隣の焼却施設や埋立等の処理が選択される。すなわち、リサイクルするか、それとも非効率な処分を選択するかは物流コストが大きな要因となっている。静脈物流の効率化が循環型社会の構築には必須となっている。

「品類品目・代表輸送機関別輸送単価」のデータを整理すると下記に示すように排出物の輸送単価は他の品類と比較して非常に高いことがわかる。

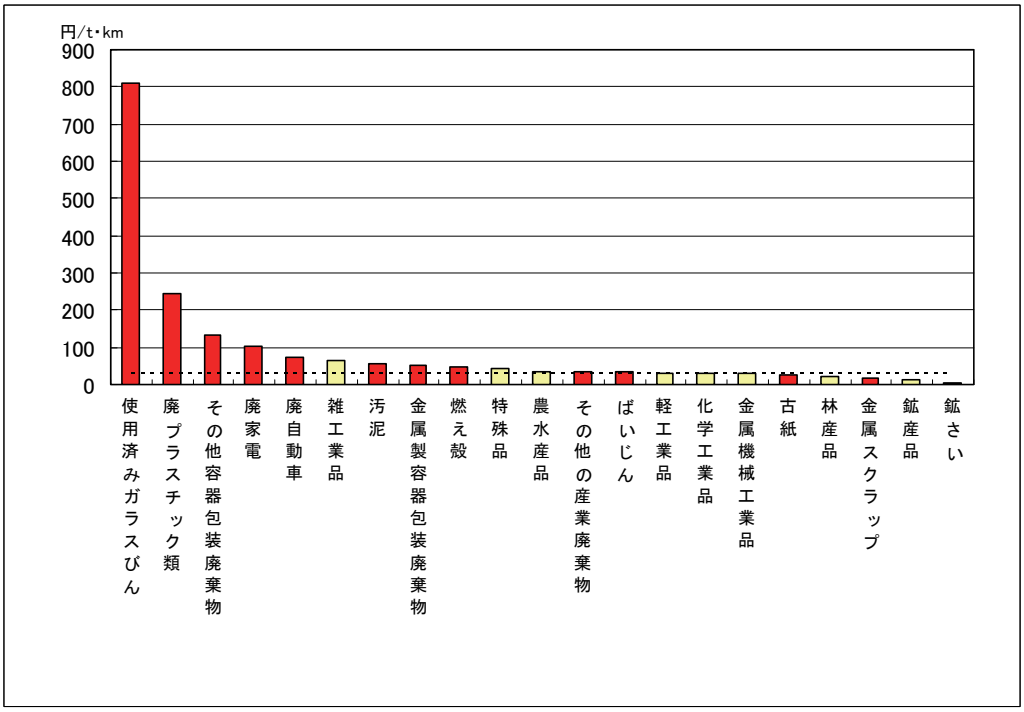


図2.2.2-1　品類・排出物品目の輸送単価（円/t・km）

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室
2005年物流センサス調査（3日間調査）

廃棄物の輸送時の不法投棄や不適正処理に対応するため、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」により再契約（再委託）が規制されており、そのため、静脈物流業者相互間の連携による共同輸送は規制されている。また、ミルクラン方式の共同輸送の場合には、共同輸送を行うための排出者ネットワークが必要であるが、静脈物流においては、このような排出者のネットワークが欠如しており、共同輸送を行うためのパートナーが見つけられない状況である。上記のように静脈物流においては、共同輸送が殆ど行われていない。

静脈物流の効率化を考える際に、これまでの特性を考慮すると、短距離においてはミルクラン方式による共同輸送が、中長距離においてはモーダルシフトにより物流の効率化が図りやすいと考えられる。

2.2.3　静脈物流部門から排出される温室効果ガス（CO_2）の現状について

静脈物流の殆どがトラックによる短中距離輸送で占められていることはこれまでに述べた。代表輸送機関となるトラック、鉄道、海運(船舶)を考えた場合、CO_2の排出量は多い順に自家用貨物車（945gCO_2/t･km）、営業用貨物車（135gCO_2/t･km）、船舶（39gCO_2/t･km）、鉄道（22gCO_2/t･km）となる。

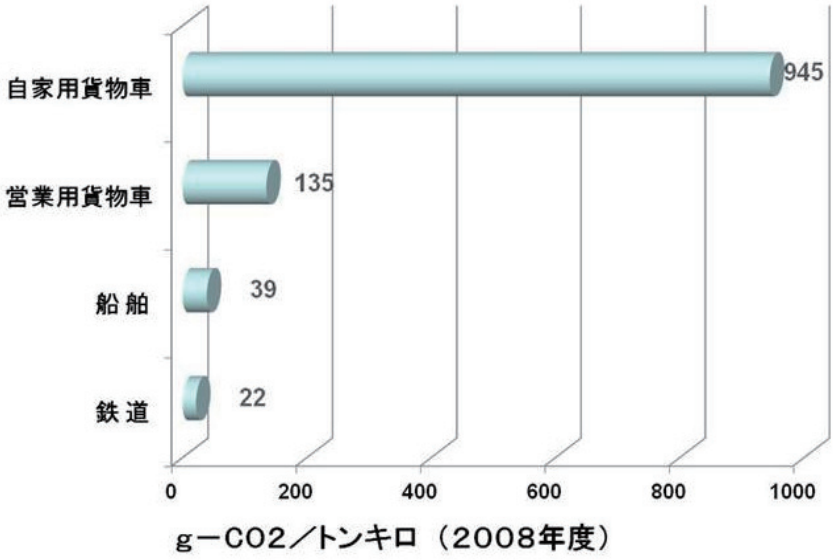


図2.2.3-1　輸送量当りのCO_2排出量(2008年度)

出典：国土交通省　運輸部門における二酸化炭素排出量

以下に2008年度のわが国のCO_2排出量確定値を示す。直接排出量は全体で12億1400万トンとなっており、排出量全体の19.4%にあたる。この数値は発電に伴う二酸化炭素をエネルギー転換部門に計上しているものである。

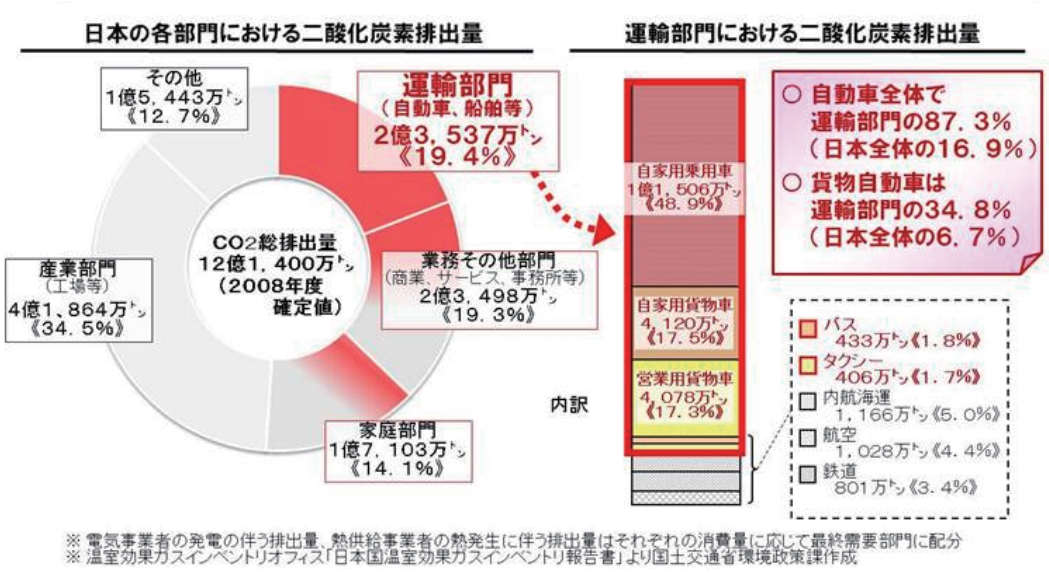


図2.2.3-2　運輸部門における二酸化炭素排出量(内訳)

出典：国土交通省　運輸部門における二酸化炭素排出量

このうち運輸部門(自動車・船舶等)のCO_2排出量は全体量の19.4%にあたる2億3500万トンとなっており、1990年度から2001年度まで増加傾向にあったが、その後は減少傾向が続いている。

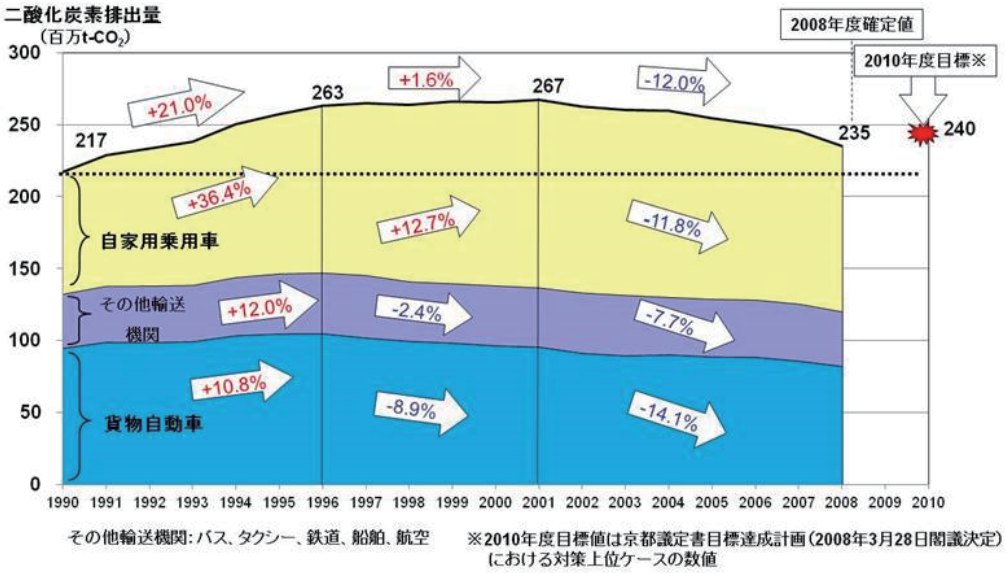


図2.2.3-3　日本の部門別二酸化炭素排出量の割合

出典：国土交通省　運輸部門における二酸化炭素排出量

この数値から静脈物流部門が排出した二酸化炭素の総量の概算値を求め、静脈物流部門が全体の排出量に対してどの程度寄与しているかを検討する。

下記に示すのは運輸部門のエネルギー消費構成である(**図2.2.3-4**参照)。これより、運輸部門のエネルギー消費構成比は、旅客部門6に対して貨物部門4であることがわかる。

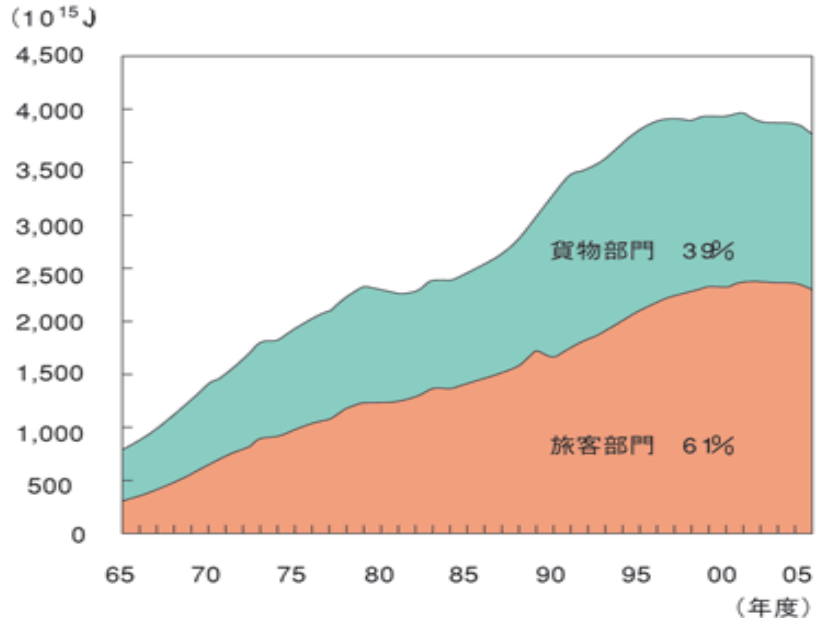


図2.2.3-4　運輸部門のエネルギー消費構成

出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

上記のことから、運輸部門のなかで旅客分野を差し引いた残りの4割、すなわち日本全体の排出量12億1400万トン×19.4%×40%≒1億トンが物流分野のCO_2排出量となる。これ

はわが国が排出するCO_2全体の約8%に相当する。

また、以下に示す2005年度の物流センサスの品類別年間出入荷量(重量)（**表2.2.3-5**参照）より、排出物は全体構成比の約5%を占めていることがわかる。

（年間調査　単位:トン, %）

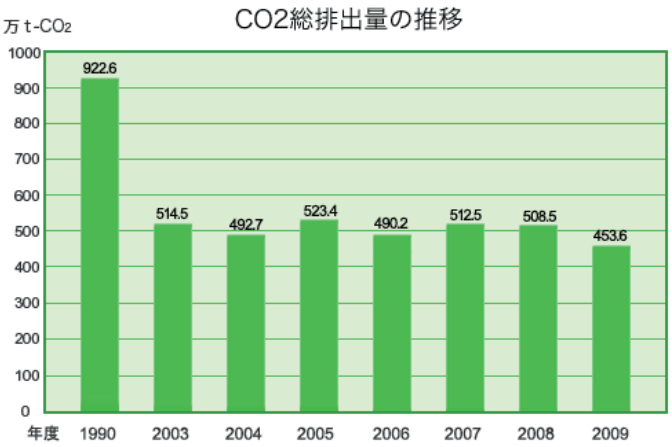
	出荷量	構成比	入荷量	構成比	出入荷量	構成比
農水産品	148,903,984	4.9%	206,622,457	6.9%	355,526,441	5.9%
林産品	55,532,886	1.8%	83,832,264	2.8%	139,365,150	2.3%
鉱産品	637,915,450	20.8%	1,100,975,275	36.7%	1,738,890,725	28.7%
金属機械工業品	513,785,119	16.8%	465,382,703	15.5%	979,167,822	16.1%
化学工業品	1,160,572,468	37.9%	604,050,903	20.1%	1,764,623,371	29.1%
軽工業品	260,472,018	8.5%	235,174,008	7.8%	495,646,026	8.2%
雑工業品	117,800,151	3.8%	85,369,898	2.8%	203,170,049	3.4%
排出物	111,180,491	3.6%	191,212,208	6.4%	302,392,699	5.0%
特殊品	55,580,106	1.8%	28,863,123	1.0%	84,443,229	1.4%
合計	3,061,742,673	100.0%	3,001,482,839	100.0%	6,063,225,512	100.0%

図2.2.3-5　品類別年間出入荷量(重量)

出典：国土交通省・政策統括官付参事官（物流政策）室
2005年物流センサス調査(年間調査)

物流分野のCO_2排出量約1億tに5%を乗じると500万t－CO_2となり、これが静脈物流による概算排出量となる。これは、わが国が排出するCO_2全体の約0.4%に相当する。

この数字は、2008年の建設業界全体のCO_2排出量（**図2.2.3-6**参照）に匹敵し、一般家庭に置き換えると4人家族100万世帯分の年間排出量に相当する。500万t－CO_2という排出量は決して少ない数字ではない。



2009年度実績：CO_2総排出量 453万t-CO_2
1990年度比CO_2総排出量50.8%減
（2008年度日本経団連CO_2総排出量の約0.9%）

図2.2.3-6　CO_2総排出量の推移

出典：日本建設業団体連合会HPより

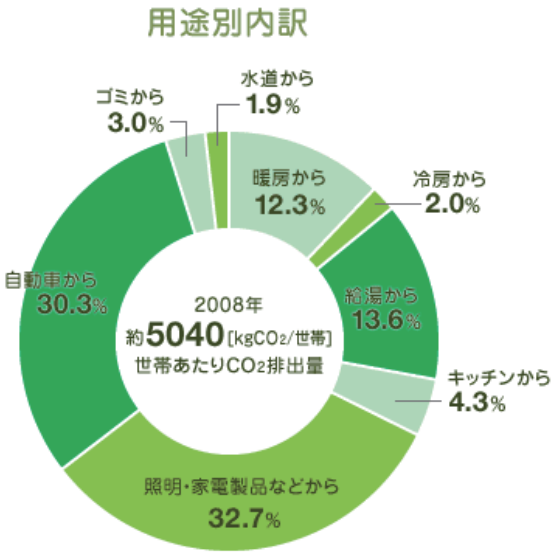


図2.2.3-7　日本の家庭からのCO_2排出量

出典：日刊温暖化新聞HPより

2.3　CO_2削減に向けた高度静脈物流システム

物流におけるCO_2削減対策は、運搬量と運搬距離の積で表されるトンキロ（ｔ×km）数をいかに大きくするか、あるいはCO_2排出の原因となる化石燃料の消費量をいかに少なくするかという方策に集約される。しかし、前述のように、静脈物流は運用上様々な制約を受けるため、動脈物流で実施されているような様々な対策を容易に採用することが困難であり、動脈物流と比較すると極めて不効率な運用にならざるを得ないのが現状である。したがって、動脈物流で行われている様々な効率化を静脈物流に適用するためには、廃棄物処理法をはじめとするそれぞれの法律に則った手続きを踏襲した上で、高レベルな管理技術を取り入れ、システム化を進めていく必要がある。

本項ではCO_2削減が可能となる、下記に示す1)～3)の基本方策ごとに、具体的な対応モデルを提案し、その運用についての課題を抽出する。

2.3.1車両運行の効率化

1）小口共同回収

複数の排出事業場が共通の廃棄物回収エリア内に存在する場合に、それらの排出事業場から排出される廃棄物を共通の車両で運搬するように調整を行い、車両台数の削減を実現する物流方式である。通常の静脈物流の場合、それぞれの排出事業場と収集運搬業者が個別の収集運搬委託契約を締結しており、共通の車両で共同回収する場合は、特定の一社との委託契約に集約する必要がある。また、排出の日程、時間や排出量をリアルタイムに調整していくことが必要である。

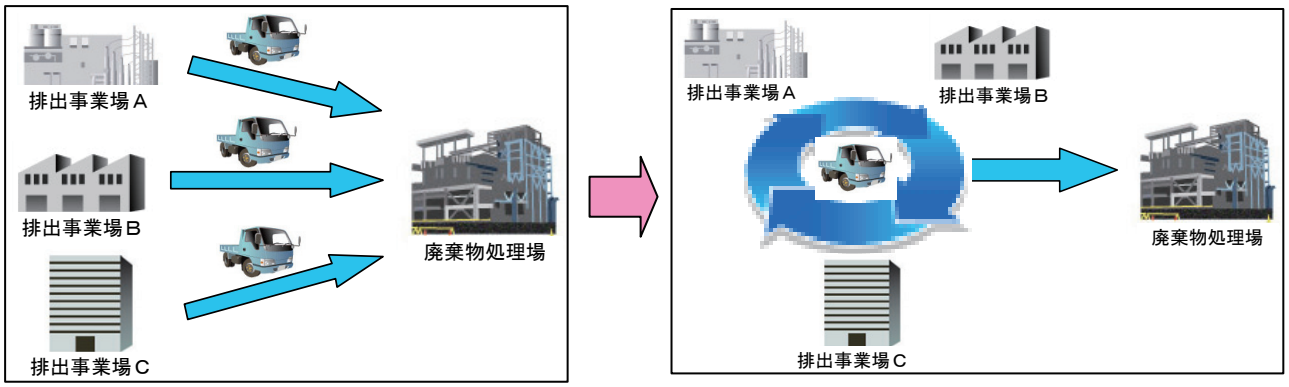


図2.3.1-1　小口共同回収方式

小口共同回収を実施する際に必要となる諸条件および検討項目を以下に示す。

① 複数の排出事業場が個別に契約していた収集運搬業者を統一
② 排出スケジュールおよび排出量の調整
③ 排出当日のリアルタイムな道路交通情報による最適運搬ルートの情報提供
④ 排出当日の空荷状態の把握と追加運搬要請への対応ルールの策定
⑤ 上記の情報を制御、発信するための IT インフラ、管理システムの構築

2）動脈物流と静脈物流の一体化

動脈物流（資材の搬入）の車両の復路を利用し、廃棄物の排出を行う物流方式である。資材メーカーや物資の供給元と協力し、資材の搬入スケジュールに合わせて廃棄物を排出する。この方式は動脈物流車両の運行に静脈物流のタイミングを合わせる必要があるため、廃棄物の排出については余裕のあるスケジュール管理が導入のポイントとなる。また、運搬業者は収集運搬の許可を取得している必要があるとともに、廃棄物が車体の汚れ・傷みの原因とならないよう対処が必要である。

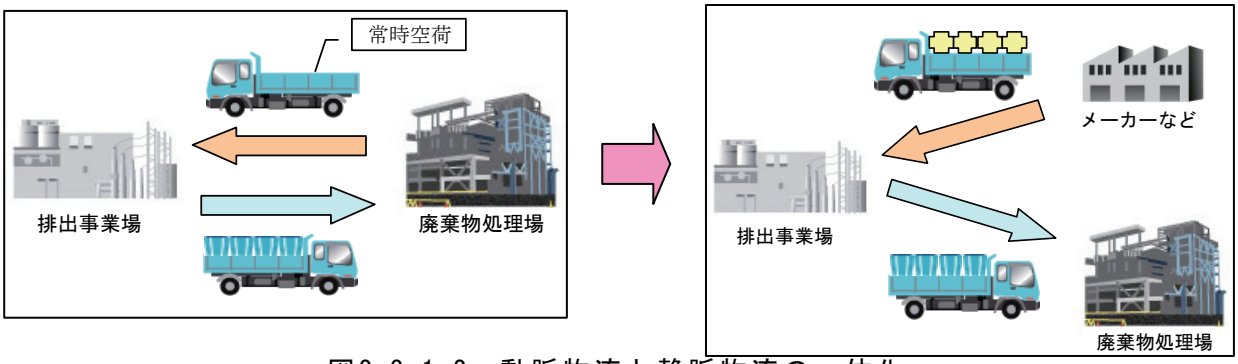


図2.3.1-2　動脈物流と静脈物流の一体化

動静脈物流の一体化を実施する際に必要となる諸条件および検討項目を以下に示す。

① 動脈物流を構成する運搬企業、資材メーカーなどによる協力体制の構築
② 収集運搬許可を保有する資材搬入業者との協力体制の構築
③ 資材搬入予定と廃棄物排出予定の調整
④ 動脈物流と共通化するための廃棄物の荷姿、容器の工夫

3）積替保管施設の共同利用による長距離輸送の大型化

廃棄物の積替保管施設は収集運搬業者が占有する施設であり、その利用については廃掃法に収集運搬業の許可要件として規定されている。一般的に大型車に積替えるために利用されている。積替保管施設を所有している一企業としては車両の運行の効率化を図ることが可能であるが、その効果は限定的である。法整備に関わる問題を解決する必要があるが、複数の収集運搬業者が共同で運営できる積替保管施設が整備されることにより、その効果を広範囲に広げることができると考えられる。

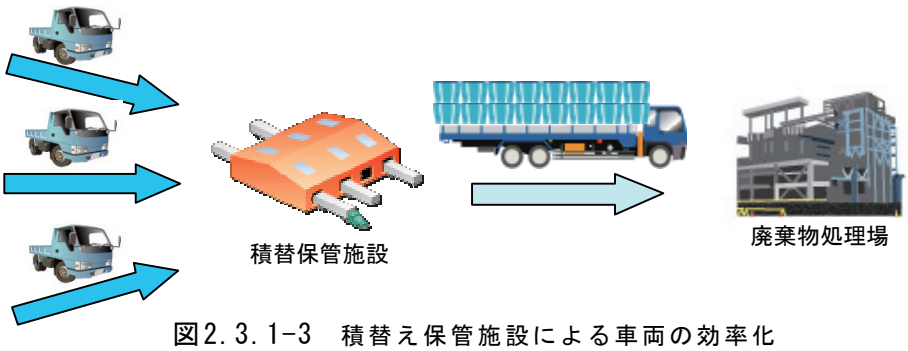


図2.3.1-3　積替え保管施設による車両の効率化

積替保管施設の共同利用を実施する際に必要となる諸条件および検討項目を以下に示す。

① 替保管施設の共同保有を可能とする収集運搬事業者の連合体の設置
② ①を可能とする法整備、法改正

③ 長距離輸送の拠点となる積替保管施設設置場所の確保
④ 長距離輸送を必要とする廃棄物（特別管理廃棄物など）の特定
⑤ 長距離輸送を必要とする有価物（セメント材料としてのプラスチックなど）の特定

2.3.2 運搬方法の変更

1)モーダルシフト

長距離の輸送部分を運搬効率の高い運搬方法に変更する運搬方式である。具体的には、トラックによる長距離輸送を積載量が多く運搬効率の高い貨物列車・貨物船に代替する方式が実用化されている。静脈物流においては、特殊な再資源化（廃棄物をセメント原材料として再資源化など）を目的とした輸送や、地方の安価な最終処分場への輸送として実績がある。

トラック輸送　　船舶輸送　　鉄道輸送

図2.3.2-1 モーダルシフトの採用

出典（鉄道輸送）：社団法人全国通運連盟パンフレット

モーダルシフトによる静脈物流を実施する際に、必要となる諸条件および検討項目を以下に示す。

① 距離輸送が必要な廃棄物の選定
② 多くの場合、定期便の利用となるため、安定的な輸送量の確保が必要
③ 同様に時間的な制約があり、定刻に輸送が可能となる管理が必要
④ 港湾、貨物ターミナル駅における積み替えが容易な容器を利用
⑤ 便数自体に制限があり、輸送便の確保が問題となる
⑥ 港湾、貨物ターミナル駅に積替施設が必要になり、運搬費が増大する

2.3.3 化石燃料の代替

1)BDF（Bio Diesel Fuel）の利用

各種廃食用油（てんぷら油など）から作られる軽油代替燃料。カーボンニュートラルであり排ガス規制にも有効なことから、通常は軽油に混合しCO_2排出量の削減とともに大気汚染などの環境問題の解決に貢献する燃料として採用が増加している。

BDFを静脈物流に採用する際に、必要となる諸条件および検討項目を以下に示す。

① 自動車に導入する BDF は品格法の適応を受ける
② 品格法では、BDF の混合率 5%までが軽油と同等の扱いとされている
③ 軽油と混合する時点で軽油引取税（地方税）が課税される
④ BDF の品質と安定的な供給について留意する必要がある

写真2.3.3-1　ＢＤＦ製造装置

北清企業株式会社提供

2)その他の代替燃料

① バイオエタノールの利用

バイオエタノールは、植物が作りだす糖、でんぷん、セルロースなどを原料として製造されたエタノールであり、ガソリンに混ぜて自動車用燃料として使用できる。我が国のバイオエタノール混合ガソリンは、バイオエタノールの比率がガソリンの3%のものが認可されている。

② エコ軽油

植物性油脂等を水素化精製して得られる炭化水素油。軽油代替利用、または軽油との任意の濃度での混合利用が可能。

第３章　高度静脈物流システムにむけた取組み事例

3.1　現地実態調査

第2章で述べた内容について実際の取り組み事例をもとに企業を訪問し、現状を確認した。

3.1.1　北清企業

1)　現地調査内容

一般廃棄物及び産業廃棄物の収集運搬を主たる業務とし、産業廃棄物の中間処理及びBDFの製造販売を行っている。

事業主体	北清企業（株）
資本金	3,000万円
会社設立	1969年4月
従業員	135人（2010年6月1日現在）
主要事業	一般廃棄物及び産業廃棄物の収集運搬業 建設廃棄物等の産業廃棄物の処分業（中間処理）

2)　ヒアリング内容

(1)　BDFの利用

①　BDFは基本自社の運搬車両に入れて走らせている。

②　揮発油等の品質の確保等に関する法律（品確法）が2009年3月に改正されBDFを混合した軽油の販売ができなくなった。(利用方法によっては可能)

③　今はBDF100%の燃料で自社、販売先ともに利用してもらっている。

④　2010年5月に特定加工業者登録を行ったため、5%混合したB5燃料は製造販売できるようになった。

⑤　B5燃料での事業はまだおこなっておらず、今後FSを混合、貯蔵、供給を行う会社と協力して実施する予定である。

⑥　BDFの製造コストは70～80円／リットルであり、軽油価格が高騰しているときは安価な代替燃料として捕らえられていたが、最近は環境配慮で導入することが増えてきている。

⑦　バイオディーゼル燃料を利用して、廃棄物の収集運搬においてカーボンオフセットを提案している。(**図2.3.2-1**参照)

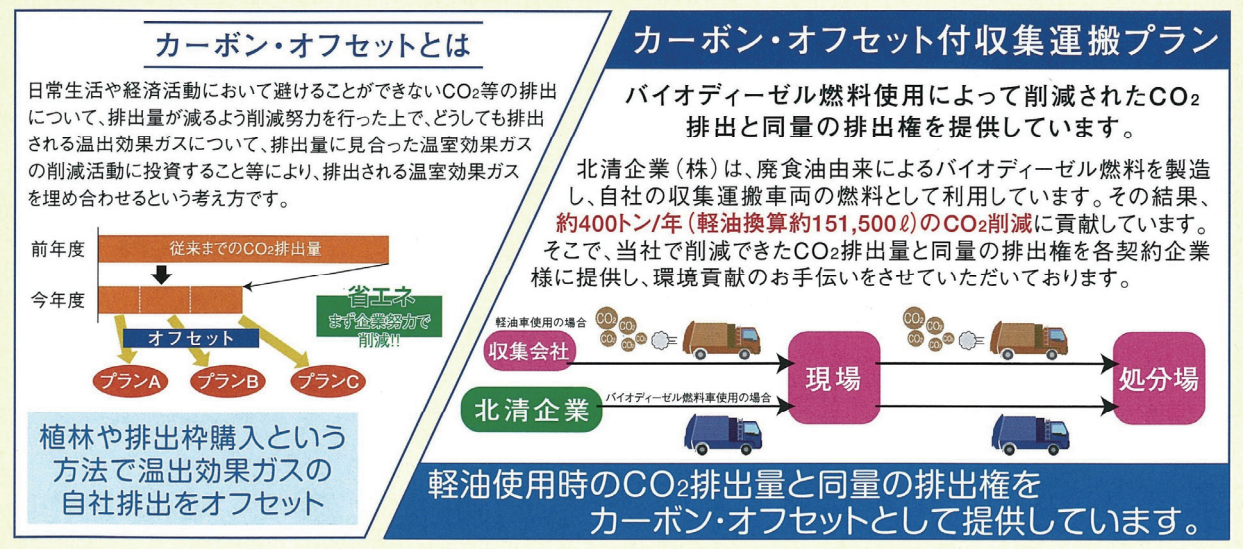


図3.1.1-1　カーボンオフセット収集運搬の仕組み

出典：北清企業株式会社パンフレット

(2)　BDF製造装置

①　製造装置の基本部分は㈱セベックのものである。品質向上の為の周辺機器は自社開発のものである。

②　BDFは冬場に粘度が高くなり北海道では使用することができなかったため、技術開発を行い、-18℃、最高-8℃の日でも使用できるよう技術開発を行った。

③　釧路の会社に依頼し、-34℃での使用を確認したが初動のみ問題があったがその後は問題なかった。

写真3.1.1-1　ＢＤＦ製造装置

(3)　BDF使用の問題点

①　BDF100%燃料に切り替えた直後は、軽油で走らせていたときに蓄積していたものが溶け出してしまいトラブルが起きることがある。このトラブルを一度経験すると、あとは問題なくBDF100%で走行できるようになる。ただし新型車両になればなるほど、BDF使用には不適な車両が増えてきている。

②　品確法の影響で軽油が残っている車にはBDFを入れることができない。

③　BDF100%の利用によりNOxが増加するのが問題。

(4)　製造残渣

①　BDF製造後のグリセリンは重油ボイラーや船の燃料として活用されている。

(5)　油の回収

①　会社の食堂、外食産業等の業務用から出てくるものが多い。省CO_2や環境配慮の流れで最近は増加傾向にある。

②　札幌市内の腑存量として家庭系で10ｔ／日、事業系で11～12ｔ／日の排出があり、特に家庭系を中心にどれだけ収集できるかが事業の鍵である。

(6)　その他

①　BDFの利用についてJ-VERの考え方を適用した場合、誰が享受できるか明確でない。

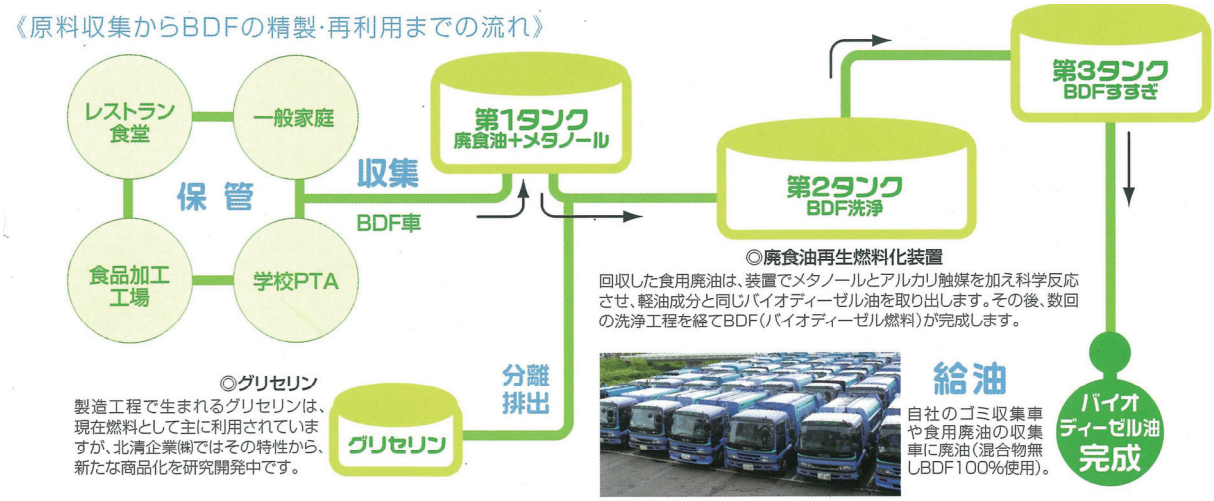


図3.1.1-2 原料収集からバイオディーゼル精製・再利用までの流れ

出典：北清企業株式会社パンフレット

3.1.2　トヨタ自動車北海道

1)現地調査内容

トヨタ自動車株式会社100%出資の子会社として、トヨタ車のオートマチックトランスミッション(自動変速機)、Continuously Variable Transmission（CVT：無段変速

機)、トランスファー（四輪駆動車のエンジンからの力を前輪と後輪に分ける装置）といった部品を製造している（**表3.1.2-1**)。**写真3.1.2-1**に工場の全景を、**図3.1.2-1**に工場のレイアウトをそれぞれ示す。

表3.1.2-1　トヨタ自動車北海道（株）

事業主体	トヨタ自動車北海道（株）
資本金	275億（トヨタ自動車株式会社100%出資）
会社設立	1991年2月8日
敷地面積	103万㎡（約31万坪）
建物面積	30.5万㎡（約9.2万坪）
売上高	1,616億円（2010年3月期）
従業員	3,203人（2010年8月1日現在）
主要事業	自動車部品の製造（生産品目：オートマチックトランスミッション、CVT、トランスファー）

写真3.1.2-1　全景写真

出典：トヨタ自動車北海道（株）環境・社会報告書2010

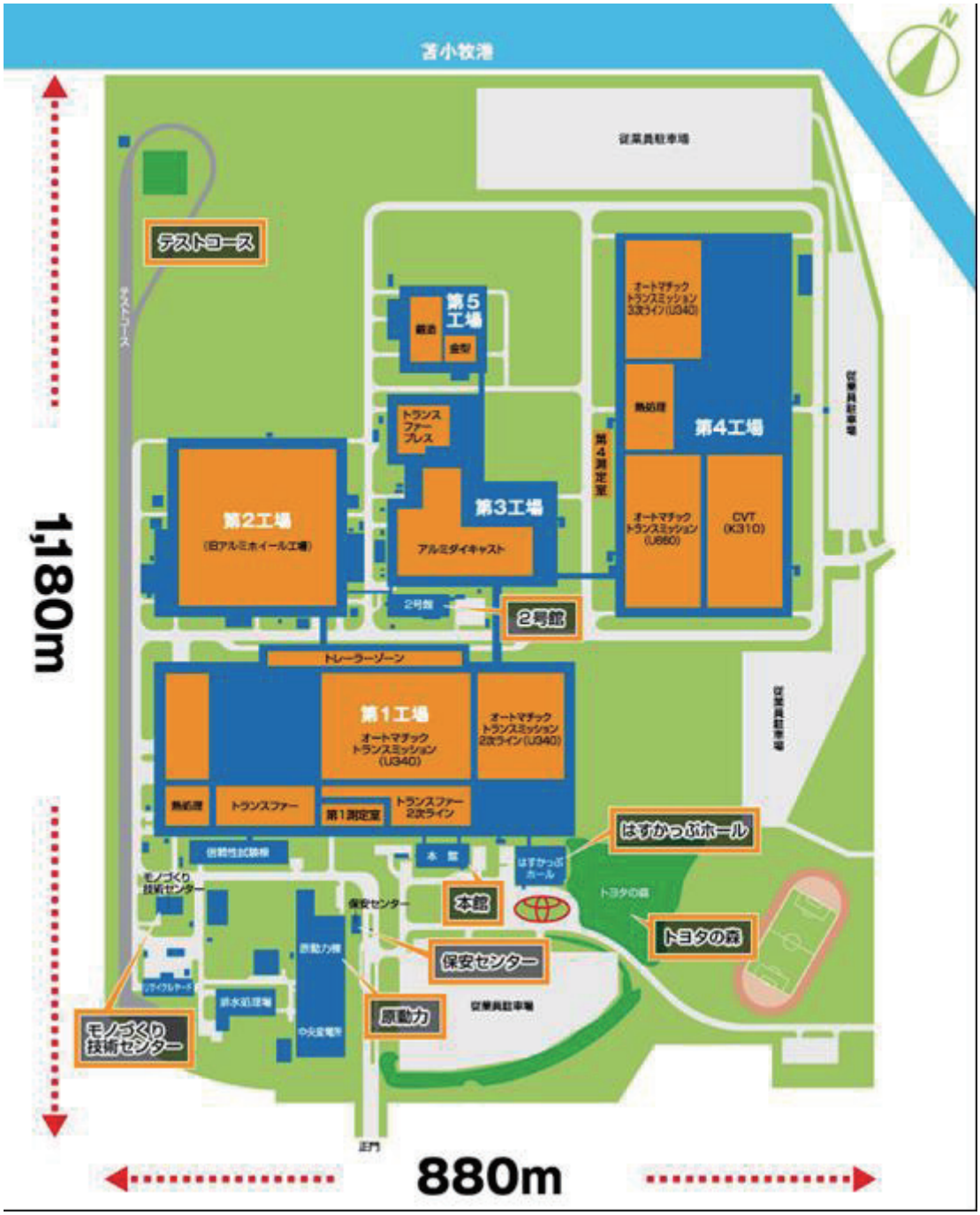


図3.1.2-1　工場レイアウト

出典：トヨタ自動車北海道（株）ホームページ
http://www.tmh.co.jp/company/company.html

2)ヒアリング内容

(1) 環境への取組み

「自動車を通じて豊かな社会づくりに貢献する」というトヨタ方針のもと、地域に愛され信頼される企業として、「環境のリーディングカンパニー」を実現するための活動をしている。2009年度、『グリーンファクトリープラン ～地球にも人にもやさしい企業 環境への負荷を最小限に～』を改定、将来のあるべき姿を、あらゆる角度から検討し、従業員全員が自覚と責任を持ち、地域社会へ配慮しながら、改善活動に取組んでいる。**図3.1.2-2**にグリーンファクトリープランの全体像を示し、以下に個々の取り組みを示す。

[工場環境]

エネルギー消費の少ない工場を目指し地球温暖化対策を展開、埋立て廃棄物ゼロを維持し循環社会の形成を推進、生産活動の環境影響を評価し環境負荷物質の排出量を低減

[製品環境]

高品質・高効率・軽量で燃費向上に寄与する製品を生産

[作業環境]

働く人と家族の幸せのため、明るく静かで働きやすい職場づくりを追求

[地域環境]

北海道の豊かな自然を活かし緑に囲まれた工場づくりを通して生物多様性の保全に勤めるとともに、工場見学や環境イベント等で小中学生・一般市民・各種団体へ広く開放し、地域の人々と一体になり環境教育、保全活動を実施

図3.1.2-2　グリーンファクトリープラン

出典：トヨタ自動車北海道（株）　環境・社会報告書2010

(2) 苫小牧ゼロエミッションネットワーク

苫小牧エリアの循環型社会をめざし、トヨタ自動車北海道（株）が事務局となって、以下に示す異業種8社で廃棄物ゼロ化の情報交換を実施（2001年9月発足）。

①いすゞエンジン製造北海道(自動車部品)

②出光興産(石油精製)
③清水鋼鐵(鉄鋼材料)
④ダイナックス(自動車部品)
⑤苫小牧ケミカル(環境リサイクル)
⑥トヨタ自動車北海道(自動車部品)
⑦日本軽金属(金属加工他)
⑧日本製紙(製紙)

１社では困難な活動をメンバー会社間で共有し解決することで地域の循環型社会構築を目指している。このネットワークは、苫小牧リサイクルポート周辺で操業している上記の異業種間で、リサイクルなどの情報交換に端を発し、協力体制を徐々に築いていった。この中で、発生量が少ないために輸送効率の悪い蛍光灯や乾電池を共同回収している（**写真2.3.2-2**)。各社それぞれで取引のある収運業者を一社にまとめることで、運搬の効率を図っている。この他、北海道条例に基づき、廃棄処理業者の現地確認なども共同で実施している。

写真3.1.2-2　蛍光灯・電池の共同回収

出典：トヨタ自動車北海道（株）　環境・社会報告書2010

3.1.3　苫小牧港管理組合

現地調査内容：

北海道の物流の玄関口である苫小牧港の港勢について調査を実施した。

1)苫小牧港の概要

苫小牧港は北海道の南西部太平洋岸に位置し、臨港地区1,965ha、海岸延長24km、港湾区域14,340haの広大な区域を有する特定重要港湾である。苫小牧港周辺は、樽前山の噴出物で覆われた痩せ地であり、農業には不向きな土地柄であったことから、平坦で広大な土地を利用して、港湾を核とした工業開発を進めるべく、1951年砂浜を掘り込む港造りが始まり、1963年に第一船を就航している。

現在では国内主要港のほか、北米、東南アジア、中国、韓国を結ぶ多数の定期航路を持ち、年間取扱貨物量はおおむね1億トンの北日本最大の港湾となっている。

また、陸上の交通については、苫小牧を中心とした放射状に伸びるネットワークが構築され、道内各都市まで渋滞を回避して輸送が可能である。札幌までのトラック・鉄道による移動時間は約1時間圏内である。

港湾と鉄道駅が近接しているため船から鉄道貨物への積替え輸送もスムーズである。冬季でも積雪がないため、1年を通じて荷役作業が可能であることも道内では有利な条件が揃っている。

港の背後には、広大な平地を有しており、北海道随一の大規模な工業団地が形成されている。

【取扱量】

札幌圏を中心とする背後圏への活発な物流や臨海工業地帯における生産活動などにより、年々取扱貨物量を増やしている。苫小牧港は、全国屈指の貨物量を取扱う北日本最大の港湾である。これらの多くの貨物を受け入れるための対応もしており、苫小牧港管内には、1万台以上のシャーシを保有している。

【国際航路】

約30カ国の国々と結ばれ、年間約1,000隻の外航船が寄港している。北米航路の玄関口として安定した国際定期航路を確保している。また、上海・高雄との定期航路や世界のハブ港である釜山とも定期便が就航している。船舶の大型化に対応した港湾整備も行われている（大水深連続バースの整備）。

【国内航路】

日本一の中距離内航定期・定航RORO船の運行便数を確保しており、毎日路線バスのように輸送船舶の入出港が行われている。日本海側の定期航路は秋田、新潟、敦賀。太平洋側の定期航路は八戸、仙台塩釜、常陸那珂、大洗、東京、川崎、横浜、名古屋、大阪、水島。

これらの航路は殆どがフェリーあるいはRORO船である（コンテナ貨物は東京、横浜、大阪、水島、仙台、石巻、高松の７港）。

※RORO船：岸壁から車両によって直接船内に荷物を積み込む方式の輸送船。ロール・オン・ロール・オフを略してRORO船と呼んでいる。

2)西港区

勇払原野を掘り込んで造られた臨海部には北日本最大の物流を支える多数の埠頭と、地域の特性を活かした多種多様な企業が立地する北海道随一の工業地帯がある。掘り込みの延長距離は港奥まで約6.5km。

【本港地区】

〈南ふ頭〉

北米からのチップ、パルプを中心に鋼材なども扱う埠頭。

〈西ふ頭〉

東京、名古屋、大阪などと結ばれる定期航路の拠点。自動車、紙製品、日用雑貨等を多く取扱う埠頭。

〈北ふ頭〉

港が良く見え、憩い、遊ぶことのできる海辺の空間を整備している。

〈東ふ頭〉
背後にあるセメント基地に関連する船舶が利用する埠頭。内航コンテナ船も就航する。
〈フェリーふ頭〉
1974年の供用開始以来、多数のフェリーが就航し、賑わいを見せている。北海道への第一歩となるフェリーターミナルは近代的な設備を整え、利用者はもとより一般市民にも親しまれている。

【真古舞地区】
〈晴海ふ頭〉
石炭・鋼材等が扱われているほか、内航定期船による紙製品・日用雑貨も扱っている。
〈王子製紙晴海ふ頭〉
苫小牧～東京間を運航する専用船の拠点。東京からは古紙や日用雑貨等が運ばれ、苫小牧からは紙製品等が出荷されている。
〈中央北ふ頭〉
主に木材・鋼材・非金属鉱物等が扱われている。背後に木材団地が形成されていることから、主として、木材埠頭として利用されている。
〈中央南ふ頭〉
背後に穀物サイロや飼料工場が立地しているため、主に輸入穀物と飼肥料が扱われている。

【勇払地区】
〈勇払ふ頭〉
70,000㎡のコンテナヤードで内貿コンテナを扱っている。また、南アフリカなどからチップや、自動車・日用雑貨も取扱っている埠頭。

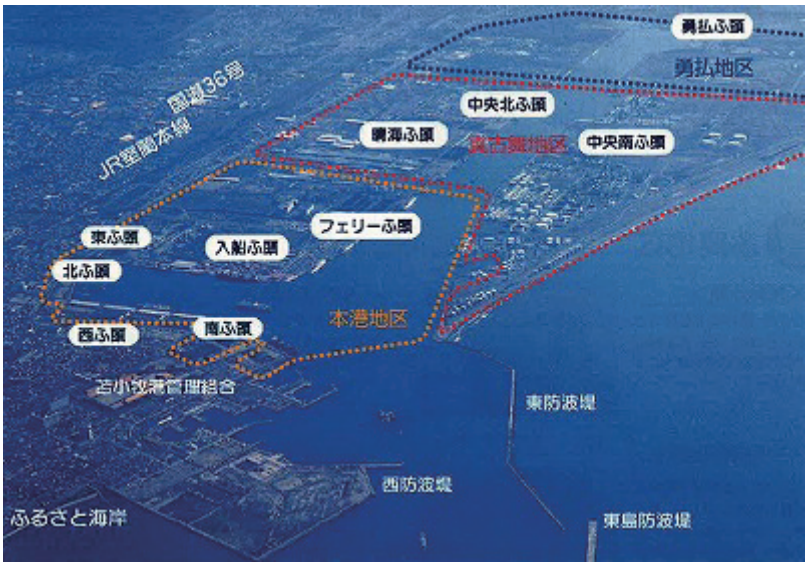


写真3.1.3-1　苫小牧港（西港区）全景

出典：苫小牧港利用促進協議会　パンフレット

3)東港区

東港区は11,000haに及ぶ広大な開発用地を背後に有しており、現在ではフェリーの就航や苫小牧国際コンテナターミナルの供用開始による外貿コンテナ船就航など物流港として運営されている。

写真3.1.3-2　苫小牧港（東港区）全景

出典：苫小牧港利用促進協議会　パンフレット

【弁天地区】

中央埠頭・苫小牧国際コンテナターミナルは、多様な外貿貨物を取扱う北海道貿易の拠点として活躍が期待されている。

岸壁の水深が14mあり、外貿コンテナを取扱う苫小牧国際コンテナターミナルです。充実した施設と連続する耐震強化岸壁の整備により、効果的なターミナル運営が可能となった。今後は、東港区の広大な用地を活用し、発展著しい東アジア経済圏とのコンテナ航路ネットワークの充実を図ることで、北海道の物流・産業の拠点となることが期待されている。

表3.1.3-1　ターミナル施設概要

ターミナル施設概要

施設名	施設概要
岸　壁	延長280m(570m)、水深14m(14m、12m)
コンテナヤード	面積:13.0ha(19.5ha) 年間取扱計画数量:162千TEU(273千TEU)
ガントリークレーン	基数:2基 吊上荷役:コンテナ30.5t　重量貨物40.0t
その他	冷凍電源設備:440v　224プラグ 歩廊3段×7列 トランスファークレーン:5基 トップリフター:5機

※()内は平成24年度完成予定

写真3.1.3-3中央埠頭の国際コンテナターミナル

出典：苫小牧港利用促進協議会　パンフレット

【浜厚真地区】

日本海航路フェリーが就航する周文埠頭の周文フェリーターミナルでは、港湾貨物の物流拠点として発展している。1992年に-12m岸壁が完成し、1998年に１号上屋が供用開始している。さらに1999年には、初の日本海航路のフェリーが就航し、背後の企業はもとより、道内における港湾貨物の物流拠点として発展している。

写真3.1.3-4　周文ふ頭フェリーターミナル

出典：苫小牧港利用促進協議会　パンフレット

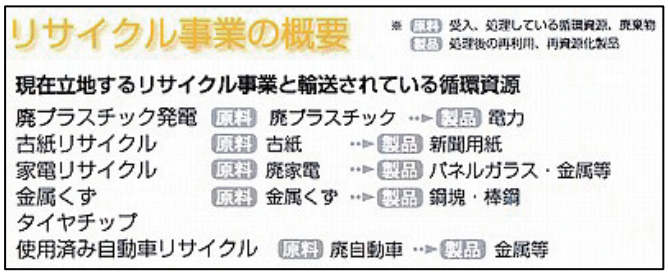
4)リサイクルポートの取組みについて

総合静脈物流拠点港（リサイクルポート）は、広域的なリサイクル施設の立地に対応した静脈物流ネットワークの拠点となる港湾である。

苫小牧港は東港区背後に広大な開発用地を保有しており、既存のリサイクル施設が集積していることからリサイクルポートに一次指定された経緯がある。

表3.1.3-2に苫小牧港のおけるリサイクル事業の概要を示す。

表3.1.3-2　苫小牧港におけるリサイクル事業の概要



出典：リサイクルポート推進協議会　リサイクルポート要覧

前述のような経緯から、苫小牧港がリサイクルポートとして新たな施設を整備する等の動きはない。従来の苫小牧港周辺の企業間で副産物を横持ちして利活用する・物量の少ない廃棄物を共同で回収する等の活動が行われている。

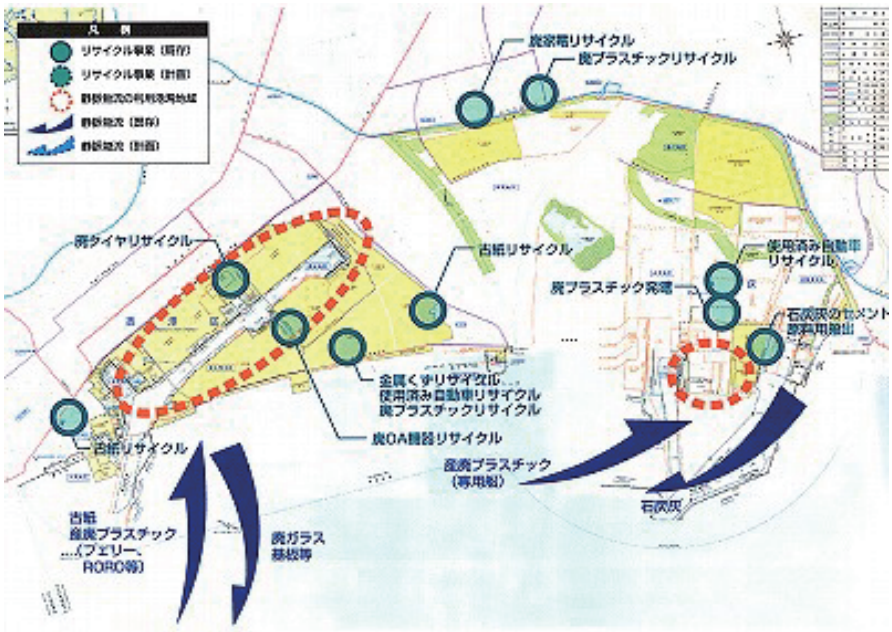


図3.1.3-3　苫小牧港で取扱われているリサイクル品目

出典：リサイクルポート推進協議会　リサイクルポート要覧

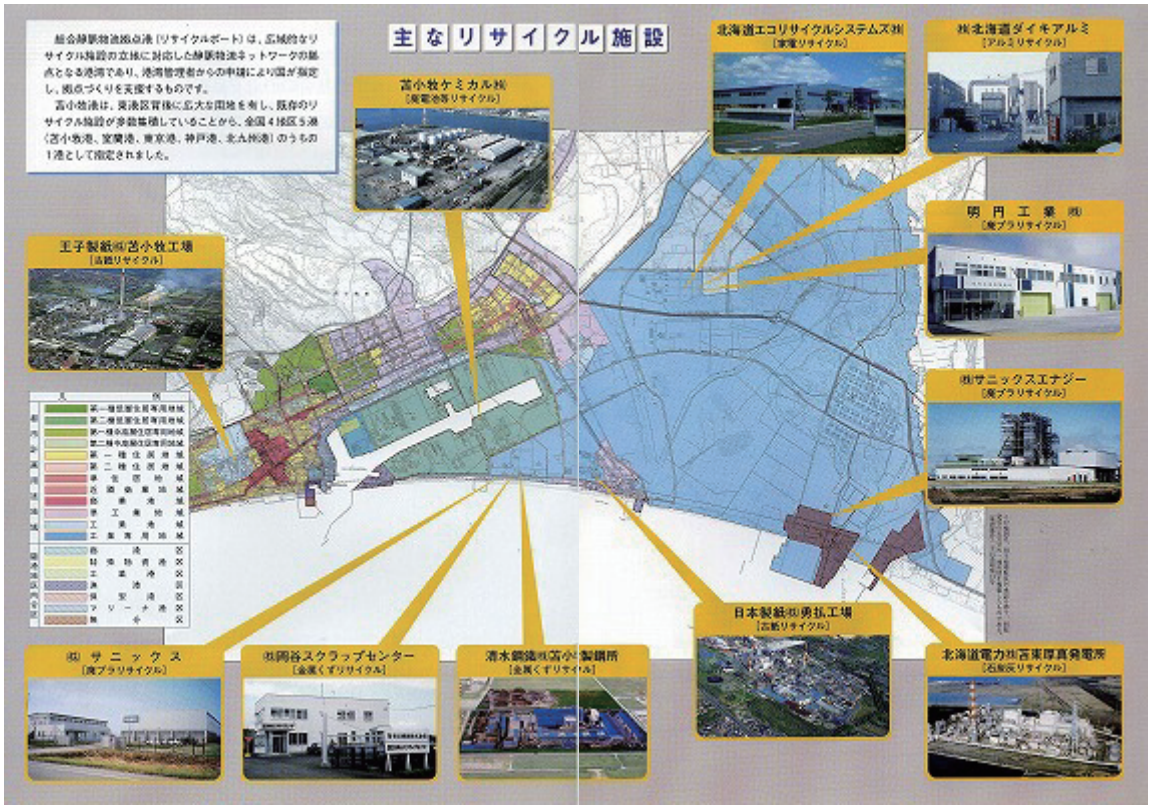


図3.1.3-4　主なリサイクル施設

出典：苫小牧港管理組合　港湾を核とした静脈物流ネットワークの構築

3.1.4　苫小牧ケミカル

1)　現地調査内容：

JX日鉱日石金属グループの高度な金属製錬技術を基に、産業廃棄物処理事業、リサイクル事業、硫酸関連事業を行っている。

表3.1.4-1　苫小牧ケミカル（株）

事業主体	苫小牧ケミカル（株）
資本金	1億円（JX日鉱日石金属㈱100%出資）
会社設立	1971年4月21日
敷地面積	31.3万m²
従業員	72名
主要事業	①環境リサイクル業（産廃処理及び廃OA機器リサイクル） ②硫酸製造・物流

2)ヒアリング内容

① 以前は硫化鉄鉱から硫酸を製造していた。その設備を利用して産廃処理事業を行っている。この他に廃 OA 機器等からの貴金属等の回収を目的とした、資源リサイクル業を行っている。

② 焼却設備は大型のロータリーキルン(50m)、小型ロータリーキルン（6m)、定置炉2基（3号炉、Z炉）がある。

③ 廃 OA 機器等から回収した基盤等は焙焼した後、パンパシフィック・カッパー（株）佐賀関製錬所にて製錬を行っている。

④ 産業廃棄物の処理量は 100t／日程度。廃酸、廃アルカリ、廃油等を取り扱っている。

⑤ 北海道は他県からの産業廃棄物の受け入れを原則許可していない。道内の景気動向の悪化等の影響もあり、集荷に苦労している。

⑥ 昨年はエコポイント制度の影響でテレビ等のリサイクルが多くなり、当社で受け入れている基盤類も増量となった。

⑦ 基盤類は焙焼すると体積が 70%程度になり、焙焼した有価物はフェリーでトラック輸送している。

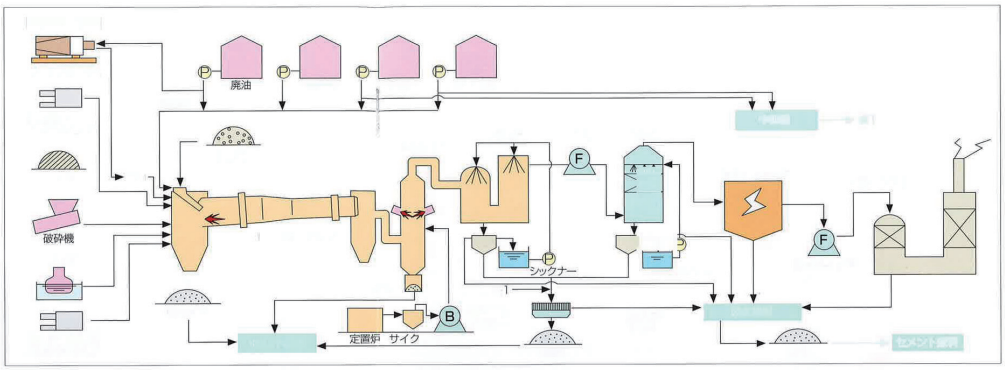


図3.1.4-1　産業廃棄物処理プロセス　出典：苫小牧ケミカルパンフレット

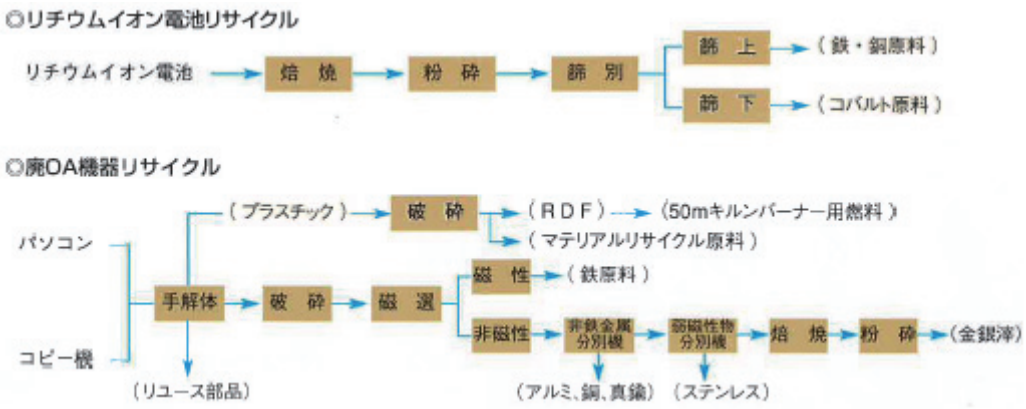


図3.1.4-2　電池・ＯＡ機器リサイクル処理プロセス

出典：苫小牧ケミカルパンフレット

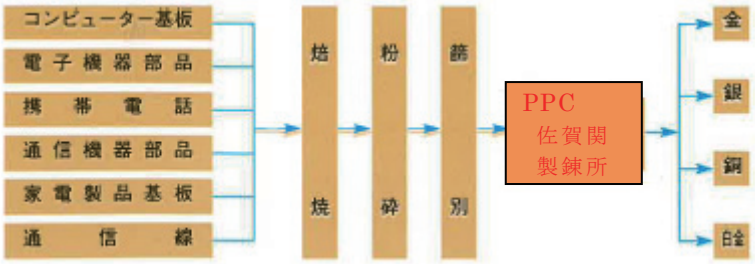


図3.1.4-3　貴金属リサイクル処理プロセス

出典：苫小牧ケミカルパンフレット

写真3.1.4-1 大型キルン

写真3.1.4-2　定置炉（焙焼）

写真3.1.4-3　硫酸積み込み施設

写真3.1.4-4　金属リサイクル製品

3.1.5　王子製紙

1)現地調査内容

王子製紙苫小牧工場は1910年に創業し、現在は世界最大の新聞用紙生産工場として、国内需要の4分の1を供給している。原料の60%程度に古紙を使用しており、紙の再資源化に貢献している。また水力発電所、火力発電所を所有し電力の自給を行っている。

表3.1.5-1　苫小牧工場概要

事業主体	王子製紙（株）
創業年	1873年　（苫小牧工場創業1910年）
敷地面積	約146万㎡（工場構内61.7万㎡、置場84.4㎡）
従業員	629名（2009年7月）
主要事業	製紙事業（新聞用紙、出版本文用紙、中質紙、微塗工紙）
パルプ	自製パルプ能力2170ｔ／日、古紙脱墨パルプ能力1950ｔ／日
電力	水力発電40,350KW、火力発電268,150KW、購入電力（認可）135,000KW
用水	取水河川（６河川）取水量　482,000ｔ／日
紙生産量	1,224,000ｔ／日（新聞用紙　約80%）

図3.1.5-1　苫小牧工場レイアウト

出展：王子製紙苫小牧工場パンフレット

1)　ヒアリング内容

①　工場の創業は1910年、発祥は1906年に支笏湖の水権益を獲得したことがきっかけである。
②　ＲＰＦの採用は当初、ボイラのコスト削減を目的に検討したものであるが、それが結果的に化石燃料削減に繋がり、世の中のニーズにマッチした。
③　紙の原料の約60%を古紙で賄っており、１日に約2,400tの古紙を使用し1,950tの古紙脱墨パルプを生産している。
④　敷地の北部に原材料をストックしており、ＪＲの線路を跨いで工場エリアに供給されている。丸太については水路を流れて工場内に運ばれる。
⑤　工場エリアには火力発電所を始め、排水処理設備、パルプ設備、抄紙設備があり、最も新しい抄紙設備は1998年に構築されたN-6マシンである。（最も新しい大型設備は2004年設置の新燃料ボイラ）
⑥　使用している電力については、千歳の水力発電を含めて100%の自給能力があるが、コストの関係で夜間は電力を購入している。
⑦　地域への社会貢献の一環として、廃食油と割り箸を回収し燃料の一部に利用している。
⑧　古紙は道内だけでなく、本州からも回収しており、その中でも首都圏からのものが最も多い（5割強）。
⑨　本州への製品運搬用に3隻の専用船を使用し、週に3往復程度の運行をしている。

帰り便に古紙、RPFを運搬しており、空いたスペースに雑貨等を搭載している。

⑩　ボイラ燃料の内訳はRPF・石炭（50%）、チップのリグニン由来の黒液（30%）、重油（20%）程度である。

⑪　RPFの購入先は、道内を含めて日本全国から運搬しており、購入先は50社程度ある。（補足：苫小牧工場向け集荷圏は基本的には中部以東。西日本の工場の使用状況により、近畿圏から苫小牧に送るケースはある。）

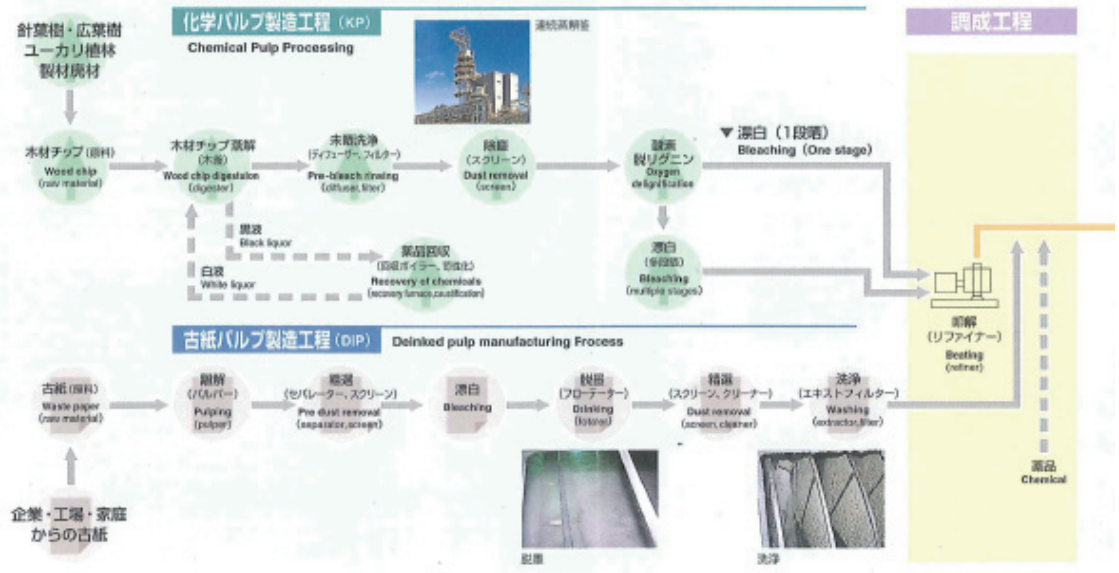


図3.1.5-2　調成工程

出典：王子製紙苫小牧工場パンフレット

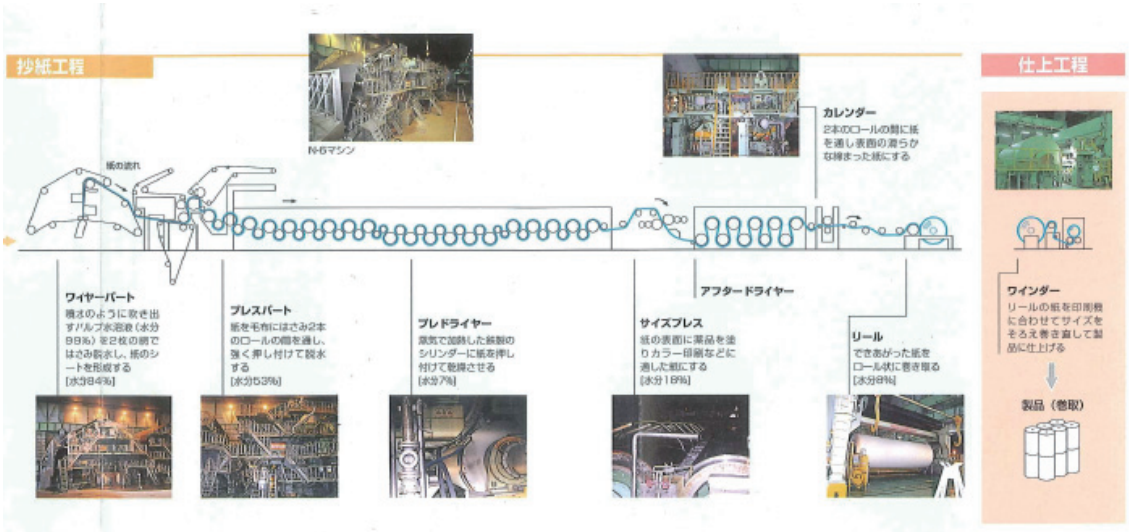


図3.1.5-3　抄紙工程

出典：王子製紙苫小牧工場パンフレット

写真3.1.5-1　木チップストック状況

写真3.1.5-2　丸太ストック状況

写真3.1.5-3　ＲＰＦの搬入

写真3.1.5-4　投入された廃タイヤ

写真3.1.5-5　古紙から除去した廃プラ

写真3.1.5-6　火力発電所の煙突

写真3.1.5-7　古紙の処理ライン

写真3.1.5-8　ライン投入前の古紙

写真3.1.5-9　工場内の見学

写真3.1.5-10　水路を運搬される丸太

写真3.1.5-11　Ｎ－６マシン

写真3.1.5-12　仕上げ工程

写真3.1.5-13　サイズをそろえるカッター

写真3.1.5-14　カットされた製品

写真3.1.5-15　見学歓迎の電光掲示板

写真3.1.5-16　製紙ラインの説明

第４章　講演会報告

実施日時：　2010年8月30日(月) 15時から17時
開催場所：　エンジニアリング振興協会6階C･D･E会議室
講 演 者：　BUN環境課題研修事務所　所長　長岡 文明
演　　題：　廃棄物処理法とリサイクル
出 席 者：　28名

4.1 講演内容

廃棄物処理法の考え方やそれを巡る問題について、まずは、廃棄物処理法マスターのための3つの基礎知識(排出者･業許可･廃棄物の区分)や、廃棄物の区分は「物」の区分を知ることがまずは基本であること、さらには産業廃棄物の区分20種類のうち、11種類は品目さえ分かれば産業廃棄物に位置づけられる物(指定業種無し)と、それ以外の9種類は指定業種に基づき産業廃棄物かどうかを判断することになるなどの説明が冒頭にあった。

以下、リサイクル事業の要因とそれに基づく諸問題やその考え方、また、廃棄物処理法における法改正の概要などについての説明があったので順に紹介していく（**写真4.1-1**講演風景写真)。

写真4.1-1 講演風景写真

4.1.1 リサイクル事業の要因

リサイクル事業の要因として、**表4.1.1-1**のとおり4つの要因を示している。そして、その４つの要因全てが揃わないとリサイクル事業は成立しない（優れたリサイクル技術のみを保有していても他が満たされないと成り立たない)。

また、リサイクル業をする場合において特に許可が重要であり、あくまでも禁止行為の解除が「許可」という考え方に基づくものである。さらに、業の概念としては、営利目的･反復継続･不特定多数の3つが交わる部分が業であるとの説明があった。

表4.1.1-1 リサイクル事業の４つの要因とその内容

リサイクル事業の要因		内　　容
1.	インプットの課題	・原料(インプット)が有価物なら単なる加工業。 ・また、原料(インプット)が廃棄物だからこそリサイクルであり、リサイクルとは間違いなく廃棄物の処理。 ・排出されない物(廃棄物)をあてにして、プラントの規模や 種類を決定すると失敗に陥る。 ・誰がどの廃棄物を、どの程度排出しているのかを知ることが必要。 ・特に、国や自治体が実施･公表している廃棄物実態調査や循環型社会形成(廃棄物)処理計画が有用。 ・さらに、産業廃棄物のうち、全体の８割を占める物が、①汚泥(44.3%)、②家畜ふん尿(20.9%)、③がれき類(14.5%)である。しかも、①と②のほとんどが原料となりにくい水分が占めている。 ・このように、一言で｢産業廃棄物｣といっても、それが｢何｣であり、現状では｢どのように｣｢誰によって｣扱われているかを知らないと市場調査の意味が無い。
2.	アウトプットの課題	・製造した｢製品｣が有価物なのかどうか。 ⇒｢有価物｣か｢廃棄物｣かは｢総合判断説｣に基づく。一方的な認識は不法投棄(廃棄物処理法では一番罪が重い)とみなされる場合もある。 ・｢総合判断説｣として、廃棄物処理法第２条第１項の文言そのものよりも、総合判断説こそが、法の趣旨を踏まえた廃棄物の｢定義｣と言える。 ・行政処分指針によると、廃棄物とは占有者が自ら利用し、または、他人に有償で譲渡することができないために不要になったものとされており、以下の事項から総合的に判断することとなっている。 ① 物の性状（環境保全、客観基準、品質管理） ② 排出の状況（需要、計画、管理） ③ 通常の取り扱い形態（市場の形成） ④ 取引価値の有無（有償譲渡、経済合理性） ⑤ 占有者の意志（社会通念上の認定） ⑥ その他 ・また、散乱ごみの０円取引の概念として、例えば、同じ空き缶でもその状態によって有価か廃棄物かの判断がわかれることになるため、総合判断が必要。
3.	リサイクル技術	講演時間の関係で省略
4.	法律の規制	講演時間の関係で省略

表4.1.1-1のアウトプットの課題の補足として、総合判断説の6つの要因に対する比重(重み付け)が必要との見解である。特に、①物の性状、④取引価値の有無の2つについて、他の４つの要因よりずば抜けて大きいと考えている。①に関しては、｢有害性のあるもの｣、｢悪臭の強い物｣等のマイナス要因(物の性状)は廃棄物であることの大きな要因である。また、④に関しては、｢買っている｣は有価物であることの大きな要因である。同様に、｢処理料金を払っている｣は廃棄物であることの大きな要因である。例えば、｢物の性状｣につ

いて、「有害性」「悪臭」等があれば40点、「排出の状況」については5点、「通常の取扱い形態」については５点、「取引価値の有無」について、「0円取引」ならば40点、「処理料金有り」ならば50点、「占有者の意志」については5点、「その他」については5点とした場合、点数を加算していき50点を超える場合は、まずは「廃棄物」と考えて対応することが妥当ではないかとの見解を示されている。参考に、バッテリー充填液に関する具体例を**表4.1.1-2**に示す。

表4.1.1-2 総合判断説６つの要因の比重（バッテリー充填液に関する具体例）

事例 ＼ 要因・コメント	バッテリー製造会社が原料として購入しているバッテリー充填液の場合	バッテリー製造会社が不良品となったため、長期間保管しているバッテリー充填液の場合
① 物の性状	４０点 （強酸、鉛含有から有害性あり）	４０点 （強酸、鉛含有から有害性あり）
② 排出の状況	０点 （該当なし）	５点 （意図したものでなく、計画性なし）
③ 通常の取り扱い形態		５点 （不良品バッテリー充填液の市場が形成されているとはいいがたい）
④ 取引価値の有無		４０点 （長期間保管し続けていることにより、 取引先が無く、うまくいっても無料（０円）なら引き取るという状態）
⑤ 占有者の意志		０点（該当なし）
⑥ その他		０点（該当なし）
合 計 点 数	４０点	９０点
長岡 文明氏のコメント	実際、バッテリー製造会社が原料として購入しているバッテリー充填液を「廃棄物」と主張する人はいないだろう。	極めて廃棄物性が高い「物」である。 ただし、このような不良品であっても、実際に裏取引が無く、市場が既に形成され、有価で取引がなされているなら、物の性状としての「有害性」の４０点、「排出の状況」の５点程度でとどまるので、廃棄物の該当性は「薄い」ものとなる。

4.1.2 廃棄物処理法改正等の特徴

1) 平成17年3月 規制改革通知 第4「輸送費の取扱い等の明確化」について

有償譲渡により再生利用として判断できる状況が整理されている、第4「輸送費の取り扱い等の明確化」について、廃タイヤを原料としたサンダルの製造例をもとにした説明があった。サンダル製造工場が廃タイヤを買い取りし、サンダルを製造すればその工場は中間処理施設の設置許可を必要としないが、廃タイヤを運ぶと許可が必要になるなどの話に基づき、許可が不要な場合の整理分類を分かりやすく説明された。

また、改めてなぜ「区分」が必要だったのかという問題に対し、本来、「区分」は「許可」と「処理基準」とで結びついていたが、社会が発展していき、当初予定していた一般廃棄物、産業廃棄物20種類ではおさまらなくなった。さらには、有価物か廃棄物かが不明瞭な「0円取引」「輸送費逆転」等の形態が常態化している中、法律上では一般廃棄物や産業廃棄物の別と産業廃棄物20種を堅持しているために、「区分」は「許可」と「処理基準」に乖離が生じ、今となっては何のための「区分」かがわからなくなりつつあるという問題である。

これは、あるべき「定義」、「区分」として、「適正な処理」、そしてそれを達成するべく設定された「処理基準」「「許可制度」であり、これに結びつかない「区分のための区分」では意味がなくなってしまう。それゆえに、廃棄物処理法の「目的」に立ち返り、「生活環境の保全」「公衆衛生の向上」が達成できる「定義」「区分」とするべきであり、本来の趣旨を踏まえた「定義」「区分」の運用が望まれるとの説明であった。

2)廃棄物処理法改正の特徴について

平成22年５月19日に公布された廃棄物処理法の改正点についての説明があった。主な特徴は**表4.1.1-3**に示す。

表4.1.1-3 廃棄物処理法改正に関する主な特徴

●廃棄物の適正な処理への対応について	主な特徴（特筆すべき点）
① 排出事業者責任の強化･徹底	新制度「ギブアップ通知」について ・委託業者がギブアップの時に、排出事業者への文書通知制度の創設。 ・排出事業者が文書通知を受けたときは「措置」を義務化。 ・行政が措置命令を発出する「ワンステップ」前を想定か。
② 廃棄物処理施設の維持管理対策の強化	・廃棄物処理施設の設置者に対し、都道府県知事による当該施設の定期検査の義務付け等。 ・検査内容によっては、職員の対応等の問題がある。
③ 廃棄物処理業許可制度と優良化	欠格要件(連鎖)事案の細分化について ・廃棄物処理法上、特に悪質な場合を除いて、許可の取り消しが役員を兼務する他の業者の許可の取り消しにつながらないような措置。 ・「許可を取り消さねばならない(第７条の４第１項)」と「許可してはならない(第７条第５項)」の条文の組み合わせが極めて複雑である。 ・今後、運用通知や実際事案での裁判例がでてみないと不明な点も多い。
●廃棄物の適正な循環的利用の促進	主な特徴（特筆すべき点）
① 排出抑制の徹底	・多量排出事業者処理計画を作成、提出しない者に対する担保措置として、20万円以下の過料を新たに規定。 ・事業者の自主的な取り組みを推進し、減量等を促す趣旨でもいいのではないか。
② 適正な循環使用の確保	・廃棄物の輸入の許可申請をおこなえる者の枠を実質的に拡大(メーカー等主導による廃棄物輸入が可能となる)。

	・途上国の環境汚染を防止し、廃棄物(循環資源)が日本国内に還流し、国際資源循環の活性化が図られるのではないか。
③ 焼却時の熱利用の促進	・熱回収を行う事業者の知事認定制度の創設。 ・第20条の２に規定する「廃棄物再生事業者(登録)」制度が似ているが、登録メリットが見えにくいという声もある。

また、新政令改正で検討中とのことであるが、収集･運搬に関し、政令市で積み、非政令市で降す場合の産業廃棄物処理業許可について、積み込みが政令市でも、降ろす場所が同一県内の場合、収集運搬の許可は県の許可だけで可能にするかどうか、また、逆の場合も県の許可だけで可能とするかどうかを検討中であるとのことであった。

4.2 主な質疑応答

講演終了後に、事前質疑と当日の質疑の回答をして頂いた。主な内容は**表4.2.1-1**に示す。

表4.2.1-1　主な質疑応答

	質 疑 内 容	応 答 内 容
1	廃棄物をとりまく問題点･課題(トピックス等)をご教授願います。特に、廃棄物の「収集・運搬」に関わる問題点･課題(トピックス等)をご教授願います。	今年は、なんといっても「廃棄物処理法改正」でしょう。その中でも物流に大きく関わるのが、産業廃棄物収集運搬業の許可制度です。 ① 政令市の許可を実質、都道府県許可に集約 ② 優良業者は許可年限を５年から７年へ延長
2	積替保管施設の効果と悪徳業者の問題点についてご教授願います(積替保管に対する規制緩和の際の問題点)。	積替保管に関し、規制が緩和される方向には今のところありません。むしろ、今回の法改正で、排出事業者自らによる「保管」行為も、都道府県に対して届出が必要になりました。
3	静脈物流の効率化と法的制約について(行政マンとして相談等を受けた経験から)、ご教授下さい。廃棄物処理法はリサイクル目的で運用すると、かなりのコストがかかってしまいますが、法的な緩和措置として考えられるメニューがありましたらご教授願います。また、容器を工夫することによって、適正な処理とリサイクル廃棄物を静脈物流にのせることは可能でしょうか。	即効性のある具体策を提示できるものではありませんが、やはり、大臣による広域認定、再生利用認定制度は検討に値すると思います。現在、省令で「容易に腐敗、揮発等により性状が変化し、生活環境保全上の支障」のおそれがあるものは、対象外としていますが、容器の活用等によりこの規制をクリアできれば、個々の自治体毎の許可が不要になることは大きなメリットと思われます。
4	解体現場にて移動式破砕機等で破砕処理する場合は、中間処理業の許可が必要でしょうか。	工作物の解体業のみの場合や、中間処理業としての許可が必要な場合など、自治体によって判断がわかれるところです。
5	廃タイヤの有効活用(公園の遊具利用)やスラグの有効活用は有償･無償関わらずリサイクルと見なしてよいでしょうか。	そう見なしてよいと思われます。 ただし、需要や通常の取り扱い形態等を勘案して総合的に判断することになります。

4.3 所感

長岡文明氏は、山形県職員時のご経験をいかされ、難解な廃掃法を中心に、我々が知っているようで意外と分からない法律運用の考え方を大変分かりやすくご説明を頂いた。さらには、(財)日本環境衛生センター専任講師や、栃木県環境審議会専門委員などを兼任され、ますます廃棄物分野等、多岐にわたるご活躍が期待されるところである。

講演の中にもあったが、2010年5月19日に廃棄物処理法改正案が公布されたが、その傾向としては排出事業者への規制強化や、処理業者への規制緩和等の傾向である。

これらの状況に対し、今後は、排出事業者としてのコンプライアンス管理へ向けた効率的管理に向けた取り組みや、処理業者やプラントメーカーなどの新たな事業機会の創出が期待される。

第５章　まとめ

エンジニアリング振興協会では、静脈物流の種々の問題とその解決に関する調査研究を数年間実施してきた。これら検討の中で、従来の輸送の慣習や各分野の権益、輸送形態や方式の問題、そして法律面での規制等を指摘してきた。

そして、新たな課題として、世界的な温暖化対策が叫ばれる中、廃棄物分野でも温暖化対策が求められている。3Rに始まる廃棄物の削減や低減が基本であるが、どのような産業においても廃棄物は発生する、そしてその廃棄物を有効利用する際にも廃棄物の輸送は生じる。このような問題を本年は課題として取り扱ってきた。

静脈物流におけるCO_2削減に関しては、直接的な削減と間接的な削減がある。直接的な削減では、化石燃料の使用量の削減やBDF等の燃料への切り替えやエコドライブの推進、あるいはハイブリッドカーや電気自動車等の利用があり、間接的な削減では、海運や鉄道を活用したモーダルシフトや収集・運搬の共同輸送等の運行回数の削減等がある。

産業の全業種の対売上高に対する平均物流コスト比率は5.3%であり、そのうち輸送コストのみを見ると、輸送コストは売上高の約3%を占めている。一方、静脈物流では、輸送コストの実態があまり明らかになっていないが、少ない資料から事例を示すと建設汚泥リサイクルの場合、その輸送距離が50kmのケースでは輸送コストは40%を占める、また、食品リサイクルにおいては、輸送コストは約25%、使用済み自動車リサイクルでは約40%であるとの事例が得られている。

静脈物流の特徴は本WGの報告にも示すように、①短・中距離の輸送が多い、②輸送ロットが小さい、③急がない輸送、この他、リードタイムの制約が少ない、各工場などから廃棄物がリサイクル施設に集中する「集中型」の輸送形態を持っている、営業上の秘密が少ない、欠品問題が無い等の特徴を持っている。

この結果、基本的な解決策としては、短距離においてはミルクラン方式の回収による共同輸送、中長距離においてはモーダルシフトによることが効率的であることが示されている。

しかし、現状ではこれらの理論や実際の問題を反映した結果とはなってない。貨物の共同輸送のタイプは、「共同集配送型」、「交換配送型」、「帰り荷確保型」、「便乗型」の四つに分けられる。しかしながら、廃棄物の輸送では廃掃法による再契約の禁止により、「交換配送型」、「便乗型」の二つのタイプの共同輸送は規制されており、また、「共同集配送型」の共同輸送の場合には、共同輸送のパートナーが見つけられない、すなわち、共同輸送に参加する排出者のネットワークが構築されていないことから現状においては殆ど共同輸送が行われていない状況にある。

物流センサスの調査結果によると、動脈品目のトラック輸送は約83%であり、鉄道及び海運による輸送は約13%占めている。ところが、鉄スクラップを除いた静脈品目の場合には、約99%がトラックによる輸送であり、モーダルシフトは行われてない状況にある。

静脈物流に於いて共同輸送が行われない原因としては、廃掃法による再契約の禁止も一つの原因であるが、一番大きな原因は、共同輸送のパートナーが見つけられないこと、言うなれば、排出者のネットワークが構築されていないことが挙げられる。

解決策としては、排出者ネットワークを構築し、ミルクラン方式の共同輸送を積極的に採用することが一番大きな解決方法である。

モーダルシフトの課題としては、海運による輸送の場合、輸送ロットの小さい静脈物流では、海運により大量輸送を行うためには、小口廃棄物を集積・保管する公共のストックヤードが必要である。しかしながら、海運業者や港湾運送事業者で保管施設の所有率を調査すると、約9割が保管施設を所有していない。また、公共埠頭を利用して廃棄物やリサイクル品を輸送する場合、港湾管理者の許可が取り難い点もあり、廃棄物関連の輸送として利用が低調なことが考えられる。

鉄道による輸送の場合、全国のJR貨物コンテナの取り扱い駅内、約７割弱が産業廃棄物も取り扱っている。この状況からも分かるが、鉄道による廃棄物輸送は全国でネットワーク化されている。鉄道での問題点は、他の輸送と同じでやはり帰り便の問題である。この問題は、どの輸送に於いても解決するにはネットワークの構築が不可欠であり、日本国内の輸送業者と排出者あるいは生産者間の調整が必要である。また、鉄道輸送では、急がない物流であり、週末や休日の有効利用による効率的な運用が必要であると考えられる。

以上より、CO_2削減に資する静脈物流の解決策としては、基本的な考えに示したように短距離においてはミルクラン方式の回収による共同輸送、中長距離においてはモーダルシフトを活用することが、従来言われているように効果があると認識した。

本年度の課題である、「CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築」に関して、この１年間の調査結果に合わせ、意見を含めてまとめると以下となる。

① 構築する静脈物流システムとしては、短距離輸送の場合にはミルクラン方式の採用が良い。また、長距離輸送の場合にはモーダルシフトによる海運や鉄道の活用が効果的である。

② 上記のミルクラン方式やモーダルシフトによる輸送形態での問題は従来と同様で、廃棄物の排出者と輸送業者そして動脈側の生産者間とのネットワークを構築することが重要である。また、モーダルシフトでは従来の輸送と同様に、空荷対策（帰り便対策）や空いている時間帯の活用等、更に海運の場合には埠頭整備（廃棄物の保管の促進）が重要な要素となる。これら問題の解決により、CO_2 削減が成された新たな静脈物流システムの道が開けると考える。

③ 効果的であると推奨されるモーダルシフトに於いても、排出者側と処理業者側で最低限のトラック輸送は発生する。このトラック輸送では、化石燃料の使用量削減やエコドライブの推進、更には BDF 燃料への切り替え等が今後の課題である。究極的には、ハイブリッドカーや電気自動車等の新エネルギー利用のトラック輸送時代が来ることも想像される。

④ 温暖化対策は、個人や企業単独では効果ある対策を実施することが非常に難しい。CO_2 削減に向けた静脈物流システムの基本は、共同、そして協調が重要であり、急を要しない廃棄物の輸送を「安価に」、「安全に」、そして「確実に」を念頭に考えると、おのずと解決策は得られるものであると考える。

しかしながら、現在の物流関連の施設や考え方は動脈物流のみを対象に考えており、静脈物流ではその適応性が無い施設や考え方に合わせるような輸送が行われている。

今後の静脈物流の施設等は、基本的には動脈物流施設の流用や転用であると考えるが、静脈物流では動脈物流と異なる流れや考え方があり、静脈物流としての効果を得るためには、今後、廃掃法や道路運送法、海上運送法及び貨物自動車運送事業法等の改正も視野に入れた、静脈物流独特の政策や改革が求められるものである。

最後に、今回のヒアリングに於いて貴重な時間を割き対応して頂いた、北清企業株式会社、トヨタ自動車北海道株式会社、苫小牧港管理組合、苫小牧ケミカル株式会社、王子製紙株式会社の皆様に御礼を申し上げます。

参考文献

1.環境省HP:08年度温室効果ガス排出量(確定値)について
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2008ghg.pdf
(最終アクセス日2010年12月 7 日)

2.グリーン物流パートナーシップHP:グリーン物流パートナーシップ推進事業 推進決定事業一覧および推進事業事例集
http://www.greenpartnership.jp/index.html (最終アクセス日2010年12月 7 日)

3.鈴木邦成:絵解きすぐわかる産業廃棄物処理と静脈物流、P.19、日刊工業新聞社、2009年6月30日

4.日本ビジネス出版:環境ビジネス2010年3月号、P.12からP.14まで

5.運輸政策研究 Vol.10 No,1 2007 Spring 第83回運輸政策コロキウム循環型社会形成のための静脈物流システム構築に関する研究
http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/pdf/no36-05.pdf

6.国土交通省 全国貨物純流動調査（物流センサス）－総務省承認統計－
http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/census/census.html

7.港湾 2010･8 特集●港湾の環境最先端は、今静脈物流システムの現状と課題

8.経済産業省 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2007energyhtml/html/2-1-2-3.html

9.国土交通省 運輸部門における二酸化炭素排出量
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

１０.エコ燃料利用推進会議「輸送用エコ燃料の普及拡大について」（2006年5月）

１１.講演会資料「廃棄物処理とリサイクル(エン振協編)」、2010年8月30日、長岡文明

１２.財団法人運輸政策研究機構：第83回運輸政策コロキウム「循環型社会の形成のための静脈物流システムの構築に関する研究」運輸政策研究 Vol.10 No.1 2007年Spring P.67～73

１３.エコ燃料利用推進会議「輸送用エコ燃料の普及拡大について」（平成18年5月）

第Ⅲ部 マテリアル・スチュワードシップ実現に向けた
アジア版 WEEE

第１章　調査研究の経緯と目的

1.1　はじめに

ここ数年の特定のレアメタルの調達不安や、特に昨年の尖閣諸島問題を機に明らかになった中国による資源外交カードへの対抗策の検討など、リサイクルにおける資源性の拡大について注目が集まってきている。

そして、これをビジネスチャンスと捉える動きとして、特にこれまで天然資源の生産を主産業としてきた鉱業事業者を中心に再資源化についての事業推進の流れが加速してきている。この背景には、リサイクルニーズの拡大に加え、従来の天然資源の採掘に際しては環境破壊への懸念が問題視されつつあることも大きく影響しているといえる。

さらに、これまでは直接資源確保のニーズがなかった製品製造事業者においても、省エネ製品などに必要不可欠な高機能部品の原材料であるレアメタルなどの希少資源の確保について懸念を持ち始め、中には商社などを通じて対象物質の鉱山確保などの積極的な動きを始める企業も出てきている。これは、これまでのEPRへの対応という受身的な取り組みとは別に、各社の資源調達戦略という経営リスク対策の意味を持ち、特にレアメタルへの依存度が大きな自動車や電気・電子製品の製造事業者において顕著になってきており、すでに大手各社においては独自の資源確保戦略を立て、対策を実行しだしている。これは、単に資源の早期確保というレベルではなく、再資源性を高めた環境配慮設計から、製品の販売方式まで含めた包括的な事業戦略まで視野に入る可能性を含んでいる。このように各製造事業者が自発的に管理対象を広げることで、従来EPRで定義されている生産者の責任範囲を超える場合が想定される。

一方で、これまでの研究で明らかになってきたように、アジア諸国においては、その特異な市場性から、アジア地域において国際資源循環システムを構築する上では、やはり従来のEPRの適用が合わないことが予想される。

これらの背景を踏まえ、各国をはじめ、生産者、リサイクル業者も含めたアジア地域における最適な国際資源循環のあり方を検討する必要がある。これは、これまでも国の主催で検討されていたが、その中身はEU型のEPRを前提としたものであり、地域の特性を踏まえた仕組みの考察はされておらず、今回の検討は有意義であると考えている。

1.2　今年度の目的

これまで循環型社会システム研究部会第3WG（以下、第3WG）では、平成17年度から、主にレアメタルに代表される、使用済み電気・電子製品からの希少資源の循環システムについて研究を行い、以下のような成果を得てきた。

当初の「アジア圏循環型社会形成における廃棄物の適正処理」テーマにおいて、アジア圏全体での国際資源循環システムの必要性について提唱し、続いて「国際循環型社会形成を目指した資源循環システムの構築」テーマでは、国内外の資源循環システムの状況を調べ国際協調システムとしてのあるべき姿を考察、さらに「資源安全保障としてのレアメタルリサイクル」テーマにおいては、特に資源循環の対象とすべき物質を明確にする中でシステムの有効性についての考察を行った。

以上の各テーマは、国内、あるいは国際間の社会システムとしての国際資源循環を目指した視点からの調査、提言であったが、それに対し今回は国際資源循環システムの重要なステークホルダーである事業者の視点から、システムのあり方、さらには国際資源循環への参加者としての関わり方を考察し、さらに提言したシステムが円滑に運営されるための仕組みについて検討する。

具体的には、今回新たな資源管理責任の概念として「マテリアル・スチュワードシップ（資源の受託管理責任)」を定義し、これまで第3WGで検討してきたアジア圏における国際資源循環システム（アジア版WEEE）の実現を前提とした事業者のあり方について、今年度と来年度の2ヵ年で検討を行う。

今年度は、まず現在世界的に認識されている生産者責任、資源管理責任に類する概念について整理し、これまで得られたアジア圏における資源循環の特徴に照らし、アジア圏における「マテリアル・スチュワードシップ」のあり方について考察することとする。

1.3 課題

1.3.1 国内での課題

小型廃家電は、一般ごみの扱いになり、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下、廃掃法）では、自治体が処理することになっている。市町村単位では、回収できるボリューム規模が小さすぎて経済的にビジネスが成り立たない。廃掃法の規定を変えないと、処理できないのは、わかっているが、具体的な動きになっていない。今の特定家庭用機器再商品化法（以下、家電リサイクル法）に携帯電話を含めれば、廃掃法から外れることになり越境して運送できることになる。

昨年行ったJOGMECへの聞き取り調査で、すべてのレアメタルに対してリサイクル技術が存在している訳では無いことが分かった。レアメタルは、色々な用途に使われているため、その用途により量、使用形態が大きく異なっている。それゆえレアメタルのリサイクルについてまとめて論じることはできないといえる。レアメタルによってはコスト低減努力も含め技術開発を行っているものもある。ベースメタルの銅や価値が高い貴金属類が現状のリサイクルの中心となっている。しかし、退蔵されて家電リサイクルの回収ルートに載ってこない携帯電話や小型音響製品などに含まれる金属は、本当はどの程度の量なのか。それは新規材料（以下、バージン材）の割合で言うとどの程度なのかを確認する必要がある。レアメタルが非常に値段の高い状態の時にはビジネスが成り立つが低い時ではビジネスが成り立つのか、成り立たせるために必要なコストはいくらかなど実際にリサイクル可能なシステムの構築が必要になる。

1.3.2 海外での課題

アジア圏でのE-wasteのリサイクル現場においては、インフォーマル・セクターが主体を占めている。これはアジア圏では、リサイクルにおいての規制が少なく、小規模で、比較的単純な技術を使用し、正規教育を必要とせず、資本もそれほど必要ではなく、新規参入が容易なためである。

家電リサイクル法対象にもかかわらず多くの中古の家電機器やそれ以外の中古のパソコ

ン、中古自動車用およびその鉛蓄電池なども含む製品が、中古品と称して日本から中国、東南アジアに流れており、国際資源循環の実態把握は非常に難しい問題になっている。

また、特にレアメタルについては、タングステンが中国に偏在しているように生産地域が偏在し、生産国が南アフリカや中国など数カ国に限られているという特徴がある。またレアメタル供給を取り巻く状況は、供給国の輸出規制、付加価値の高い製品への加工、資源ナショナリズムの台頭など深刻なものが多くなっている。また、資源が偏在しているためにアフリカ諸国や南米の国々で起こっている供給元の政情や天災などに影響されることがあることと、中国が供給国から消費国へ変化したことが国際的な背景としてあげられる。

レアメタルが抱える課題は、安定供給懸念、価格不安定、需要増大対応、新たな需要の発生などであるが、この課題に対して、現在国としては、新規鉱山開発、備蓄、代替技術開発、リサイクルの４政策を掲げ、おのおのの政策を推進している。

本論文では、この中のリサイクルについての研究を行っているが、昨年までの調査より下記項目のような課題があることが分かった。

①海外での回収ルート整備と東南アジア諸国のリサイクルガバナンス能力の不足。

②アジア各国では、廃小型電気・電子機器の輸入禁止措置や、バーゼル条約の煩雑な手続きなどにより再資源の円滑な移動の障害になっている場合がある。

③先進国から廃小型電気・電子機器が途上国に輸出され、現地で環境上不適正な処理・資源回収が行われ、環境を汚染している。

④再資源化されている場合でも、銅や貴金属が対象であり、レアメタル回収事例はほとんどない。

第２章　マテリアル・スチュワードシップとは

2.1　マテリアル・スチュワードシップとは

マテリアル・スチュワードシップとは、鉱業界で発生した概念である。国際金属鉱業評議会　(The International Council on Mining and Metals : ICMM)が掲げる「持続可能な開発の10原則」のうち、特に「責任ある製品設計、使用、再利用、リサイクル、廃棄の奨励・推進」(原則8)、「環境パフォーマンスの継続的改善」(原則6)、「安全衛生パフォーマンスの継続的改善」(原則5) を補完するコンセプトとして、ICMMが設置した統合的材料管理タスクフォースにより、2004年3月に提唱された。

マテリアル･スチュワードシップの実践ガイダンスによると、「素材の供給を責任ある形で行い、社会への価値創造を最大化する一方で人類や環境への影響を最小限に留めるようマテリアルフローを管理すること」を意味する。概念図を図2.1-1に示す。

具体的には、鉱業事業者は下記の3つを実践することが求められる。

①移動する素材の、採掘から使用、廃棄に至るライフサイクルにおける社会・環境・経済への影響を理解する。

②素材の有益かつ適切な利用を促進し、人体や環境へのリスクを最小化するために、ライフサイクル上の各ステークホルダーと関係を築く。

③ライフサイクル上で直接管理する部分において、適切な総合管理活動を実践する。直接管理していないが影響力のある部分については、ライフサイクル上のほかの関係者と協働し、彼らが責任を担うことを奨励する。

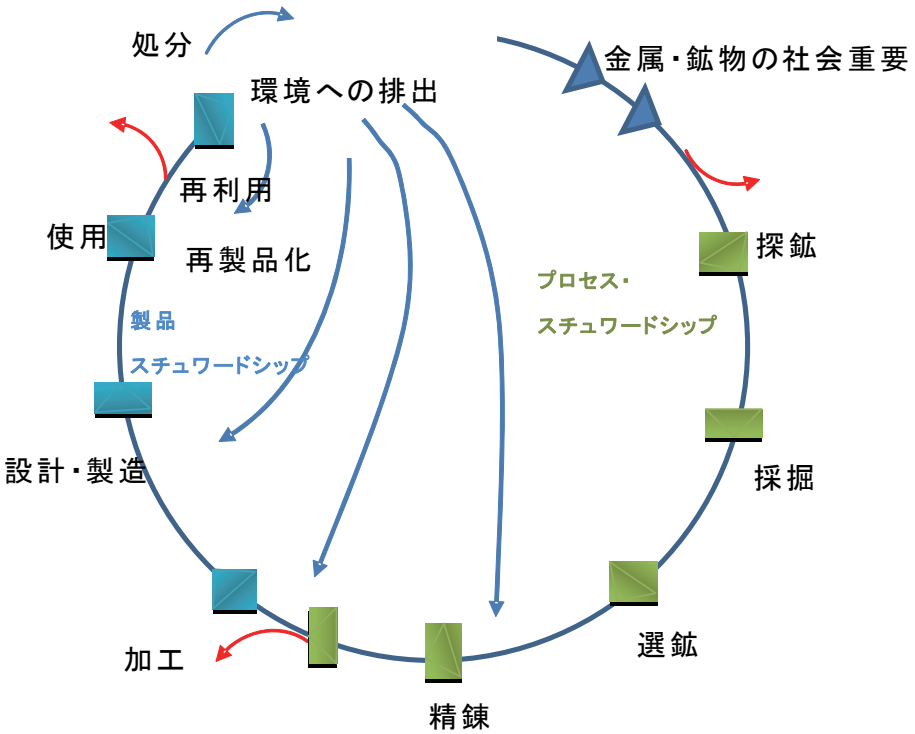


図2.1-1　マテリアル・スチュワードシップ概念図

出典:ICMM

2.2　私たちが考えるマテリアル・スチュワードシップとは

本論文では、前項のマテリアル・スチュワードシップの概念を基に、製造業者、リサイクル業者、消費者など、ライフサイクル全てにまで拡大して考えることとする。マテリアル・スチュワードシップという概念は、鉱業事業者のみが主体的に取り組むだけでは不十分であると考えるからである。

私たちが考えるスチュワードシップとは、ライフサイクルを通して、商品への配慮や管理が含まれている。ライフサイクルの考えにおいて、マテリアルでは、レアメタルであり、レアアースを使った製品の探査、採鉱、処理、精錬、加工、使用、回収、再利用そして廃棄をさす。下記**図2.2-1**を参照。

マテリアル・スチュワードシップの考え方や仕組みは、3Rを考える上で、今後必要なビジネス動向となり、その流れにおける企業としてのビジネスモデルの点検と革新が必要になる。**図2.2-1**に示す通り、スチュワードシップは、すべての原料、処理、製品およびサービスがそのライフサイクル全体を通して、社会的そして環境的に責任のある方法で管理されることを目指す。この意味で、ジェトロ・アジア経済研究所主任研究員の小島道一さんが、2010年11月23日の朝日新聞で「国際資源循環　レアメタル回収をアジアで」と題した投稿文で、“鉱石からの金属の採取は森林を破壊し、有害物質を出すなど環境負荷が高く、中国のレアアースの採掘・製錬過程でも、廃液などの処理が不適切であるといわれている。リサイクルによるレアメタルの回収利用は環境負荷を低減し、資源の利用効率を高めることにつながる。“と述べており、これが、より具体的なマテリアル・スチュワードシップいう考え方になっている。

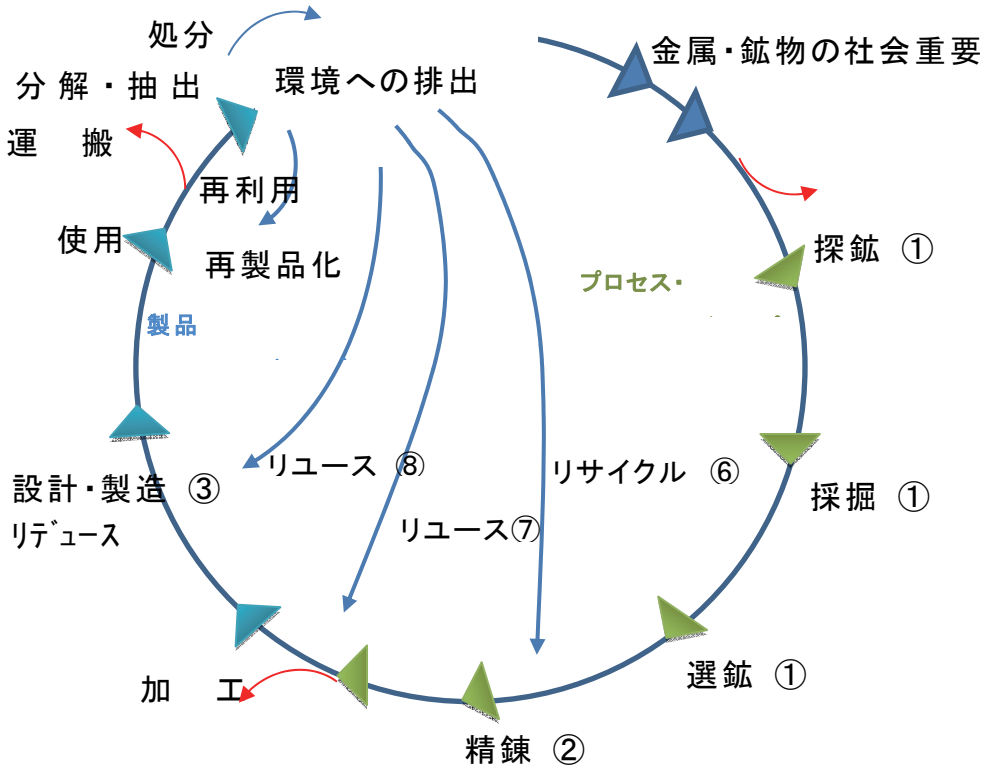


図2.2-1　マテリアル・スチュワードシップの考え方

出典：ICMMに加筆

2.3　マテリアル・スチュワードシップと3Rと拡大生産者責任の区分け

下記の図2.3-1にマテリアル・スチュワードシップと化学物質管理（RoHS、REACH対応）との関連を示した。化学物質管理は、公害問題から始まり、多くの健康被害が出て、多くの訴訟を経てうまれた背景がある。そのため多くの国では製品における含有化学物質管理は、その背景の上に成り立っている。カドミウム(Cd)、水銀（Hg)、鉛（Pb)、砒素(As)などの金属類にも、同様の歴史が見られるものの、特定物質の使用制限での取り扱いになっている。現状の電機電子機器に含まれるレアメタル、レアアースは、調味料的な使用になっているため、個々の部品・製品には、極微量にしか含まれず、含有量自体が生産者のノウハウにつながっていると言うこともあり、含有物質の情報管理が進んでいない状況を生んでいる。地上資源とか、都市鉱山とか言われるが、その中身が明確にわからなければただの廃棄物の山になる。拡大生産者責任は、行政が行なっていた各種廃家電品の処理やリサイクル等に係る費用を、その製品の生産者に負担させるものであるが、その場合にもその製品が持っている含有物質情報をどのようにライフサイクル上で伝達していくかが重要になる。また中古品を含め、輸入品の場合のリサイクルの責任は、生産者ではなく、輸入業者に負う場合、情報が無いばかりに名目だけに終わる可能性がある。密輸品の場合には、輸入業者にも、責任を負わすことができないため、EPR制度が機能しなくなる。アジア圏、特に中国になるが、模造品の場合にも廃棄段階の部品にだけでも情報を付加できれば、適正処理、適正リサイクルに結びつくことになる。

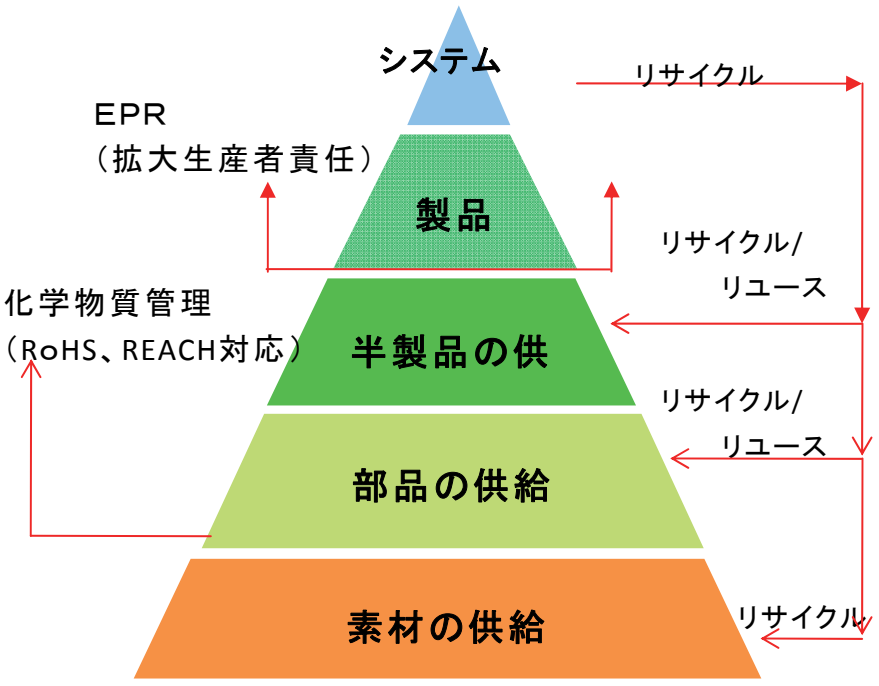


図2.3-1　マテリアル・スチュワードシップ

2.4　部品・製品への物質情報の付加

これまでの調査で、レアメタルを含む各種鉱物原料の輸出入と鉱物含有製品の輸出入が

明示され、マテリアルフローの状況が以前よりは把握できるようになった。その中で、物質情報の付加は、製造時に付加するのがベストであるが、現実は製品が出荷され、使用された廃棄製品の処理になるため、その廃電機電子機器に対し、何時の段階で物質情報を廃部品・廃製品に付加するかが課題になる。

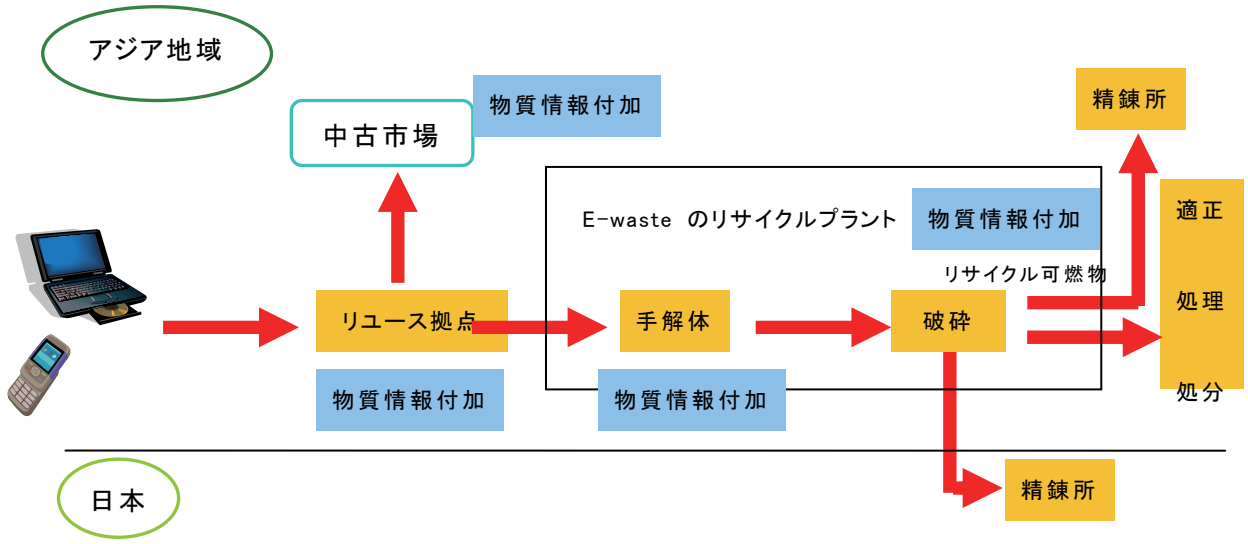


図2.4-1　国際的なリサイクルネットワークシステム上での情報付加

第３章　国内関係機関と有識者へのヒアリング

3.1　日本貿易振興機構アジア経済研究所（以下、IDE-JETRO）

日本貿易振興機構アジア経済研究所　主任研究員　小島道一　氏

1)　調査概要

アジア域内でのマテリアル・スチュワードシップをキーワードにレアメタルリサイクル構築に向け、E-wasteを中心としてアジア版WEEEの可能性について、各国（中国、韓国、台湾、東南アジア諸国）の拡大生産者責任（以下EPR）を含む法令状況、E-wasteの発生状況、その処理およびリサイクルの現状をヒアリングした。各国のE-wasteリサイクルのポテンシャル、および、リサイクルを実現するための各国の課題、そして、日本型家電・小型家電リサイクルシステムがアジア広域WEEEとして機能するかの可能性を、これまでの調査研究から情報と知見を頂いた。

2)　調査結果

中国・韓国・台湾におけるE-wasteのリサイクルの方向性や状況は、各国がそれぞれの方法で取組始めている。しかし、我が国の制度とは大きく異なっており、アジア版WEEEを確立するためには、我が国の環境に考慮したレアメタル等の抽出技術を活かすように解体後の再生資源の管理システムを各国へ支援することを通して、アジア域内でE-wasteリサイクルシステム構築を図ることが重要である。

アジア各国のEPRの状況を**図3.1-1**に示す。日本、韓国、台湾ではEPRを既に適用している。中国、タイ、ベトナム、マレーシア、インドネシア、フィリピンなどはEPRに向けた検討が進んでいる状況で、中国は2011年に施行を目指しており、マレーシアは規定中であるが、タイはまだ時間が掛る。シンガポールや香港は製造業者、流通業者などとの自主協定に基づいた回収プログラムが始まっている。

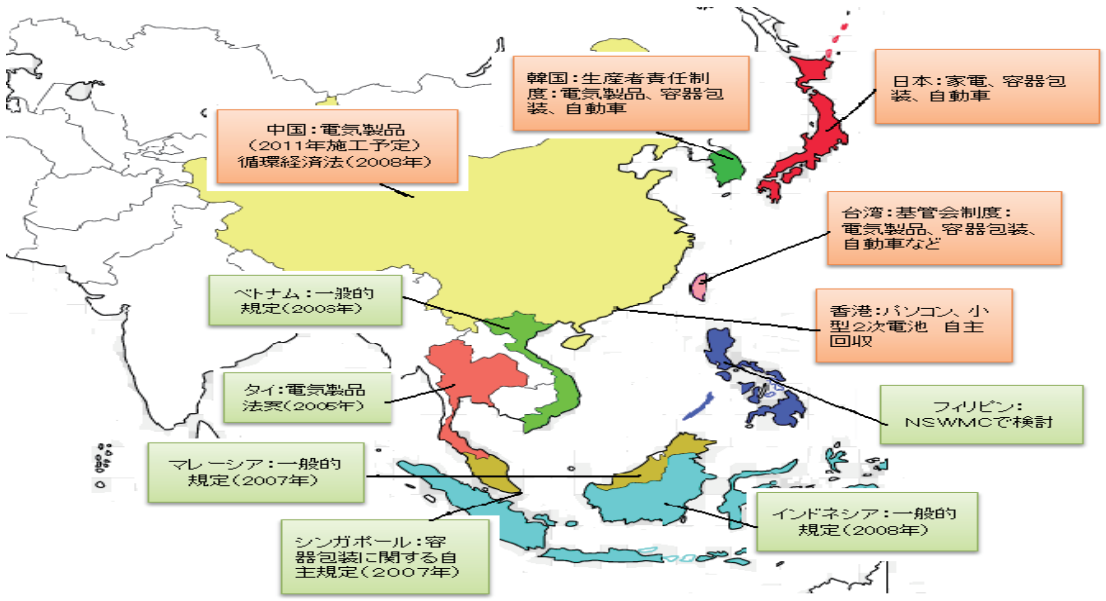


図3.1-1　アジア地域における拡大生産者責任

出典：小島道一氏　資料

(1)　韓国の状況

韓国のEPRは2000年に政府が生産者と協定を結び、回収・リサイクルの努力を促し、2003年に生産者に一義的な責任を負わせる生産者責任活用制度を導入し、容器包装・家電・自動車に売り上げに合わせた回収量を目標とする、物理的責任のあるEPRが適用され、リサイクルの仕組みができ上がった。今後の方向性としては、より共有責任（Shared Responsibility）の考え方を採用する可能性があり、日本の制度に近づくと思われる。家電の対象品目は、洗濯機、テレビ、エアコン、冷蔵庫、オーディオ、携帯電話、プリンター、コピー機、ファックスとなっている。韓国のE-wasteフローを**図3.1-2**に示す。韓国は経済論理を優先として、中古品の輸出も認めているが、リサイクルとしては、パソコンのモニターのみが輸出可能となっている。韓国内でリサイクル材からレアメタルなどを精錬できる工場は2社あり、6種類の鉱物を抽出できる。

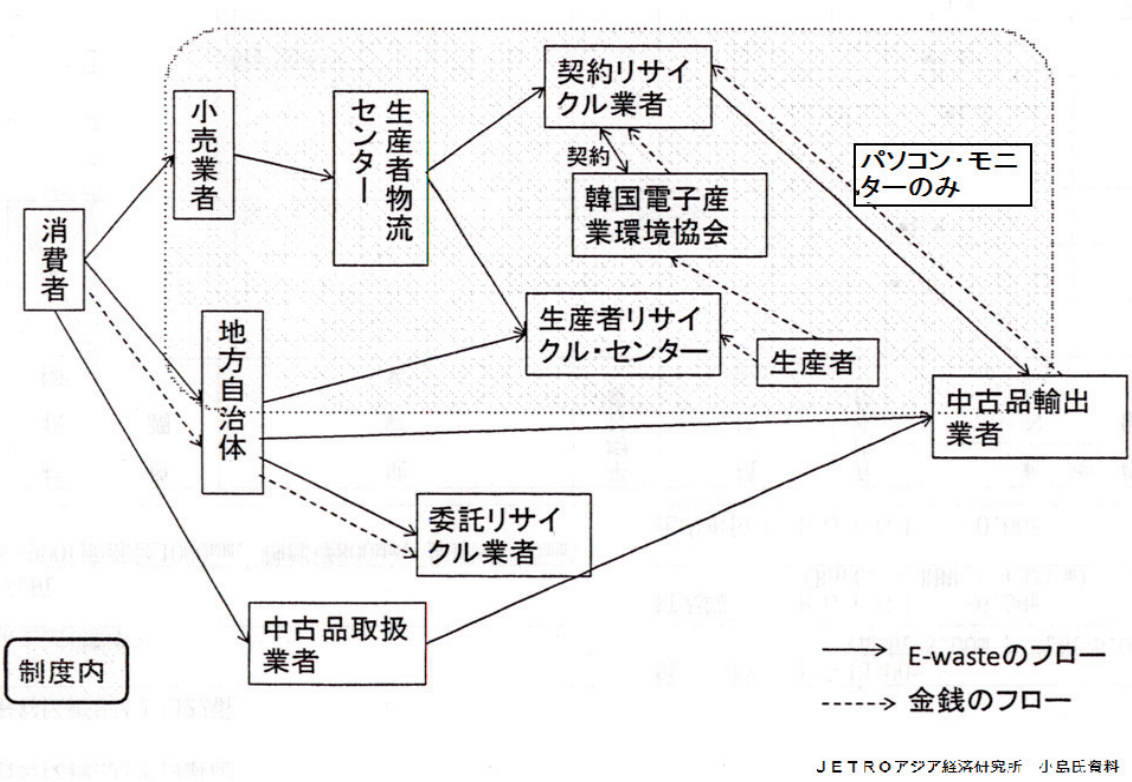


図3.1-2　　韓国のE-wasteフロー

出典：小島道一氏 資料

(2)　中国の状況

中国のE-wasteリサイクルの方向性は台湾とかなり似ている仕組みと考えられる。生産者と輸入者がリサイクル費用を基金に支払い、基金が正規のリサイクル業者に補助を出す方式を考えているが、細則は準備中で、省単位で運用予定。中国ではWEEEが無くても経済論理で、廃家電がリユース・リサイクル市場に廻っているが、不適切な処理を行うリサイクル業者があり、環境対策として汚染防止を行う必要性が出てきている。このため、日本のエコポイントのような経済浮揚策および環境対策として、顧客が使用済みの家電を指定販売店に引き渡すと、新品の価格が10%（上

限あり）割引され、販売店に補助金が出される仕組みの「以旧換新」政策を行い、環境対策を行える適正なリサイクル工場に廃家電を集め、適正なリサイクルをさせることを進めている。しかし、使用済みの家電と新規購入家電が同じ物でなくても割引可能なため、市民は保有している家電を中古市場で売却し、代わりにより安い使用済み家電を購入して販売店に引き渡すことも起きている。それでも、指定リサイクル工場に月に2~4万台程度、廃家電が集まってきている。台湾の企業が中国からこれらの廃家電を台湾に輸入したい意向があり、中国も有害物を含む廃棄物の輸出を可能としている。しかし、金を含む廃棄物は禁輸しているため、基板を持つ廃家電は輸出できない。

(3)　台湾の状況

台湾は対象廃棄物のリサイクル・処理に業認可を必要とする廃棄物清理法が1974年に、また、廃棄物輸出入越境管理規則が1993年に制定されている。さらに、有害事業廃棄物認定基準が2001年に、対象廃棄物のリサイクルに業認可が不要となる資源回収再利用法が2002年に制定されるなど、法整備は整えられている。また、1998年に基金管理委員会制度ができ、容器包装、家電、自動車に関して生産者にリサイクル費用を基金に支払わせ、その基金をリサイクル業者の補助に廻す仕組みを構築している。家電の対象品目は、乾電池、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン、ノートパソコン、マザーボード、モニター、プリンター、蛍光灯となっている。これらのリサイクル品は、回収業者が経済論理に基づき海外へ輸出するリユース、国内でリサイクルの二通りがある。また、台湾にはリサイクル材から、レアメタル等を取りだす精錬所がないため、日本へも輸出されている。台湾のE-wasteフローを**図3.1-3**に示す。

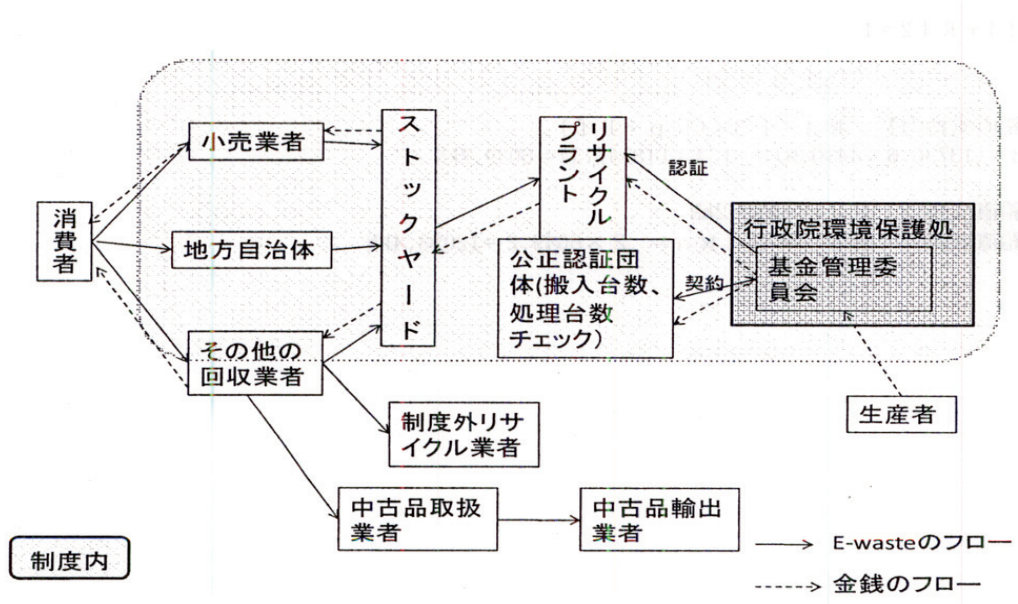


図3.1-3　台湾のE-wasteフロー

出典：小島道一氏 資料

(4) アジア広域WEEEの可能性

日本、韓国、台湾の制度は大きく異なっており、統一は難しいと考えられる。しかし、台湾・中国は、日本の制度の中で、容器包装リサイクルに近い仕組みを計画しているため、制度設計の手順、関係者の調整などのノウハウを提供することで制度の統一化を図れる可能性がある。また、基板などのリサイクルの際の汚染防止としてEUと同じレベル（リサイクル率、リカバー率）での評価が行える廃電気・電子機器の解体後の 2 次処理先まで情報を把握する仕組みをアジアで作れば、アジア広域 WEEE の実現性があると思われる。一方、日本側でもアジアで広く行われている有価で廃家電をリユースとして、販売店が買い取る制度の確立も必要と思われる。

3.2 JX日鉱日石金属株式会社

環境リサイクル事業本部企画部

1) 調査概要

スチュワードシップをキーワードに、リサイクル原料の輸出入動向や海外からのリサイクル原料の輸入の詳細な状況、レアメタル、貴金属のリサイクルおよび今後の日本のあり方などの他、管理ソフト面で、民族的な文化の違いが判るなど多種多様な調査を行なうことできたほか、非鉄業界に関するさまざまな知見を得ることができた。

2) 調査内容

以下ヒアリング事項をまとめる。

(1) 中国へのリサイクル原料の流出について

①金属(ベースメタル）のリサイクルを考えると、鉄、アルミ、銅などは相当な割合で、日本国内でリサイクルされていると認識している。

②中国に流れているのは、主に複合素材。複合素材は分離・選別にコストがかかるので、人件費の安い中国に流れている状況である。特にモーター類等は中国に流れやすい。

③よって、JX日鉱日石金属としては、低コストの分離・選別技術の開発が重要であると考えている。

④製錬段階では、どこまで環境対策コストを考慮するかによって、若干、評価は変わってくるが、基本的に日中でコスト差はない。少なくても、自然鉱石からの製錬では、大きなコスト差はないと思われる。また、製錬段階（電気銅の製造）の基本的な技術は、日中で大きな違いはない。強いて言えば、日本の電気銅は純度が99.999%（ファイブナイン）に近いと思われるが、中国の電気銅は99.99%（フォーナイン）以上といった程度の違い。

⑤日中の技術力の差は、電気銅より下工程の銅加工の分野にある。

⑥製錬コストの差がないにも関わらず、国内でナゲットにした後に中国に流れてしまう理由としては、日中の製品規格の違いが挙げられる。

⑦例えば、電線の製品規格について、日本の場合、規格が1種類しかないのに対して、中国の電線規格はA級、B級、C級と数種類あり、電線の使用用途によっては低品位の製品も流通をしている。

⑧一方、銅のリサイクル原料の使用先は、①電線、②伸銅品、③精錬所の原料の3つがあるが、市中くず由来の低品位ナゲットをリサイクルする場合、日本においては、電線などの製品規格を達成できない可能性があるので製錬するしかないが、中国においては、A級電線規格を達成できなくても、C級電線規格を達成できる為、日本よりリサイクルコストが低く、より有利な条件で購入できる違いがある。
⑨日本は、何から何まで高品質な製品規格となっているが、過剰品質になっている可能性がある。

(2) 海外からのリサイクル原料の輸入について

①JX日鉱日石金属では、年間12万トンの国内外のリサイクル原料を処理している。
②12万トンの種類別の内訳は、銅スクラップ（主に市中廃棄物の解体品由来）が5万トン、めっきくず（主に工程くず由来）が2万トン、樹脂など付着・混合した混合物（基板も含む）が5万トンである。
③また12万トンのうち、3割（4万トン弱）は、海外からの輸入である。
④東アジア諸国からのリサイクル原料は、市中発生の廃棄物よりも産業系が多い。
⑤日系企業が海外進出する際には、たいてい日系の産廃処理企業とセットで進出する。JX日鉱日石金属は、そういった産廃処理企業からバーゼル条約の手続きにて、輸入している。
⑥国別では、タイ、シンガポールからの輸入が多い。
⑦マレーシアからは近年、輸入が難しくなった。資源ナショナリズムが背景にあると思われる。
⑧台湾に関しては、日本と正式な国交がないので、バーゼル条約が締結されておらず、事実上、有害廃棄物等の輸出入できなかった。しかし、2006年にバーゼル条約に準じて民間の取り決めが成立した。また、台湾には日系リサイクル企業があまり進出していなかった背景もあり、JX日鉱日石金属が、リサイクル原料を自ら集荷している。
⑨中国は、金銀の含有されているリサイクル原料は、法令で輸出を禁止しているため、中国からは輸入できない。銅については法令上は輸出禁止されていないが、税関でストップがかかる場合が多いと聞いている。
⑩北米、ヨーロッパでは、基板等の発生量が域内の処理能力を超えていると思われ、日本に流れてきている。
⑪今後、資源ナショナリズムが益々高まると、リサイクル材料を日本に輸入するというのは、困難になっていく可能性がある。そんな状況下では、日本の製錬業が受託加工するというのも、循環型社会の一つの有り様だと思う。

(3) アジアでのリサイクル事業展開について

①JX日鉱日石金属では、中国に常州金源銅業有限公司（銅荒引線の製造・販売事業）を保有しているが、そこでは中国で発生するスクラップは使用していない。（生産品の規格が高いため？）
②現在のところ、JX日鉱日石金属が中国にリサイクル原料の製錬設備を投資することは考えていない。
③中国以外の東アジアの国々は、設備投資をするほどのマーケット（リサイクル原

料発生量）が見込めないと考えている。今のところ、東アジアで新たに製錬所を建設することは考えていない。

(4) レアメタル、貴金属のリサイクルについて

①JX日鉱日石金属でリサイクルできるレアメタルは、親銅性、親亜鉛性、親鉛性のレアメタルである。親鉄性のレアメタルは、製錬プロセスの中でスラグになるので、リサイクルが難しい。（即ち、価値の高いコバルト、中国リスクの高いタングステン、レアアースや、タンタルは回収できない。）

②基本的に、現在の製錬プロセスで回収できるレアメタルのリサイクルを、今後も行っていく。ただし、敦賀では、使用済みリチウムイオン電池からコバルト、ニッケル、マンガン、リチウムをリサイクルする実証化試験を行っている。

③貴金属を含有している部品、基板類は購入している。評価指標としては、銅＞10%、金＞10ppmならば、購入対象となる。

④感覚としては、パソコン基板ならば購入対象、テレビ基板でぎりぎりの線、車の基板は購入対象外といったところ。ただし、受入れ時には、水銀、砒素等の環境に大きな負荷を与える物質の含有量も確認している。その量によっては、逆有償にすることもある。

(5) その他について

①管理ソフト面においては、日、中、韓で相違がある。具体的にいうと、貴金属製錬工程において、日本では、金を窃盗する従業員はまずいない。しかし、日本と同じ管理方法では、中国では従業員による金の盗難が多発し、ビジネスが成り立たないと聞いている。韓国では、日本と同じ管理方法でビジネスは成立するが、トラブルの発生件数が日本よりも多くなる傾向にある。

②金属（ベースメタル）におけるリサイクルで、未開拓の分野は国内にはほぼ残っていないと認識している。強いて言うならば、一般廃棄物の溶融メタルを挙げる。溶融メタルは、一般的に鉄8割、銅2割といったところ。溶融炉に投入する前に、焼却灰から磁選機等で鉄、銅を分離すれば、良質なリサイクル原料になるだろう。

③バーゼル条約の手続きは非常に時間がかかる。要する時間は4～6ヶ月といったところである。海外の輸出業者が作成した申請書に、処理先であるの住所欄に「字」が入っていないとかのレベルの書類不備で受理されないこともあった。

④ポリシーとして、埋め立ては行っていない。発生スラグ等は、セメント原料等にリサイクルをしているため、セメント業界の動向を注視している。

3.3 株式会社リーテム

1) 調査概要

使用済小型家電のリサイクル、中国での事業展開などの分野で、リサイクル企業の中でも先駆的な取組みで知られる株式会社リーテムを訪問し、OA機器等の中間処理施設である東京工場の見学と、小型家電からのレアメタルリサイクルの状況、中国での状況についてのヒアリングを行った。

小型家電リサイクルでは、中間処理段階、金属回収段階では事業採算が取れる可能性が高いこと、中国から貴金属等の循環資源を日本に持ってくることは非常に困難である

ことなどの有用な知見を頂くことができた。

2) 調査内容

(1) 会社概要

①売上高： 26.2億円（2008年度）

②従業員： 148人（2009年7月末）

③沿革：

1909年、創業。

※現在の会長は4代目、社長は5代目になる

1951年、（株）中島商店として、法人化。

1970年、現水戸工場を茨城県に建設。

1996年、PCリサイクル事業にてクリーン・ジャパン・センター会長賞受賞。

※当時、パソコンは廃自動車と一緒に破砕、埋立されていた。有価金属を多く含むパソコンに着目、リサイクル技術を確立。

1997年、（株）リーテムに社名変更。

※Recycle Technology & Management が由来。現在は、Resource Technology & Management と再定義している。

2005年、東京工場を大田区城南島に建設。

※東京スーパーエコタウン事業。但し、建設補助の対象外であった。

2005年、情報セキュリティマネジメントシステム（BS7799/ISMS）認証取得。

※現在はISO27001へ移行。

(2) 東京工場について

①所在地：東京都大田区城南島3-2-9（東京スーパーエコタウン内）

②敷地面積：5,293m²

③処理対象物：OA機器（主にパソコン、サーバー類）、ATM、自動販売機、厨房機器等。（家電リサイクル工場ではなく、家電6品目は対象外。）

④対象物排出元：メーカー、リース会社（リースアップ品）、銀行（ATM）が主。

⑤処理フロー：機械設備は、破砕機→風力選別機→磁力選別機→回転篩→振動篩が1系列。**図3.3-1**を参照のこと。

⑥処理能力は、破砕機の能力である864t/日が上限。大型トラックで約100台/日に相当する。

⑦破砕機にかける前に、人手でどこまで細かく解体するのかは、「顧客の希望」、さらに「収益性の判断」から決めている。

⑧ATMは、全国各地から処理依頼がある。ATMは、紙幣感知装置が秘密事項なので、銀行は処理業者の指定制度をとっている。銀行からの視察が度々入る。

⑨工場の稼動は、通常、昼間のみ。24時間連続運転ではない。

⑩作業員は、通常15人/日である。

⑪作業員は、全員、日本人である。少量多品種の処理が多いため、作業員に解体ノウハウの習得が求められる。それを考えると、日本人を長期的に雇用した方が、

結局はコスト安になる。

⑫破砕機に入れてから、一連の機械的処理を終えるまでは、3分程度。

⑬破砕機は、ドイツ製。日本製よりドイツ製の方が、耐久性がある。

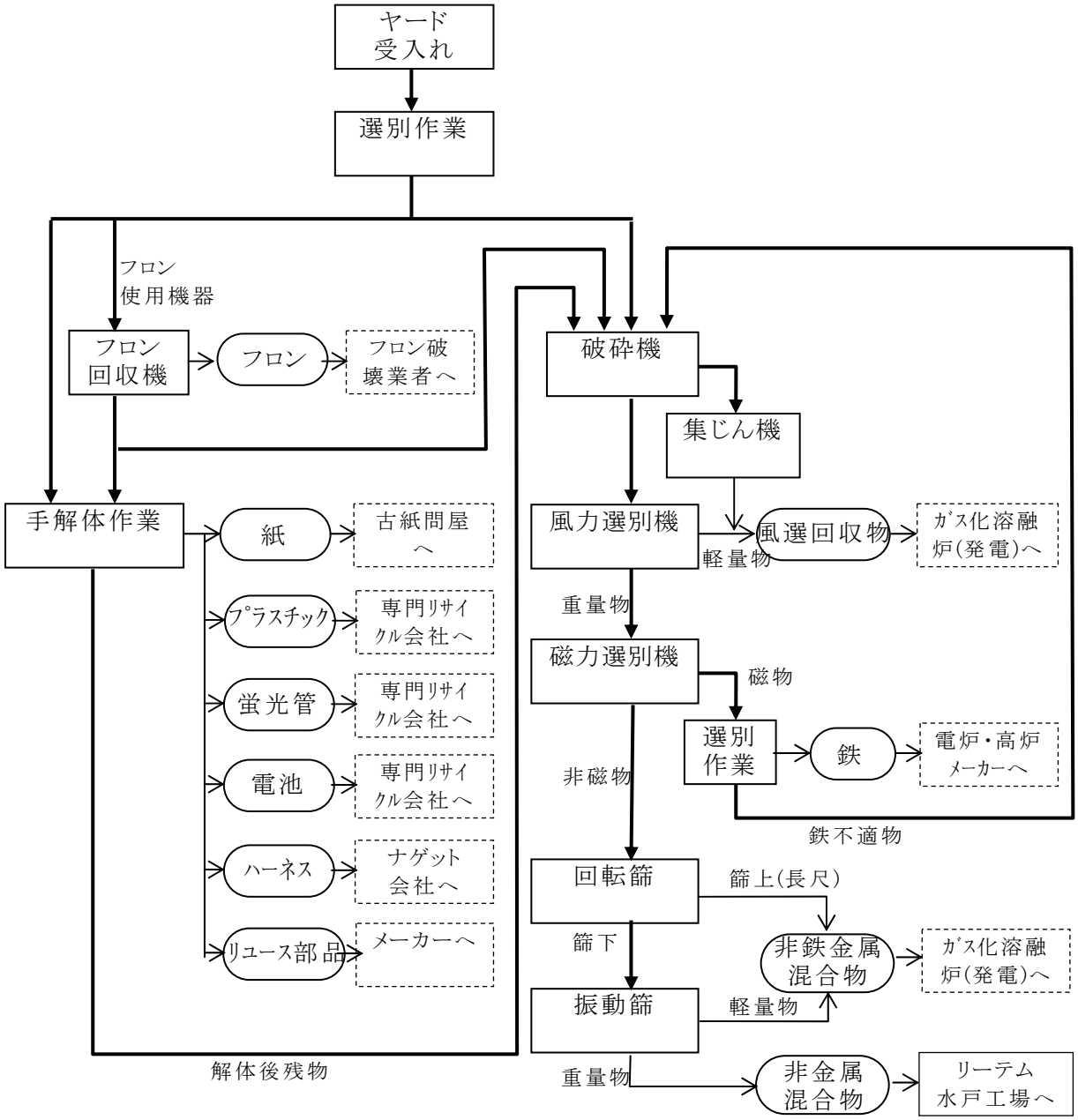


図3.3-1　東京工場の概略処理フロー

出典：(株) リーテム社パンフレットに加筆

(3)　レアメタルリサイクルの取り組み

①同社の中島会長が委員をされている「使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会」(環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長、お

よび経済産業省大臣官房審議官（産業技術・環境担当）の研究会）の中間とりまとめ結果で主なものは以下である。

以下2つのシナリオともに、小型家電の回収率が20%を超えると、両者ともに費用便益費（B/C）＞1になる。 ①従来型レアメタル回収シナリオ 基板を非鉄製錬業者に売却するシナリオ ②レアメタル重点回収型シナリオ 基板から更にタンタルコンデンサ、偏心モーター、マイクスピーカー、液晶パネル等の特定部品を中間処理業者が選別し、基板は非鉄製錬業者、特定部品はレアメタル専門メーカーに売却するシナリオ
小型家電の回収段階、中間処理段階、金属回収段階の3段階について、採算性を見ると2ケースともに、回収段階は赤字、中間処理段階と金属回収段階は黒字であることが分かった。
非鉄金属業者にヒアリングした結果、貴金属のリサイクルのついでに、リサイクルされていたと一般的には考えられていたレアメタルも、鉱種とその含有率によっては非鉄金属業者が有償で購入する可能性があることが分かった。 その条件は以下。 In＞1.5%、Co＞20%、Ta＞15%（as Ta_2O_5）、Bi＞50%、Pt＞20ppm

②（株）リーテムは、環境省および経済産業省の「使用済小型電気電子機器の回収モデル事業（平成20年度)」において、茨城県モデル事業の中間処理試験を受託、調査をしている。

③さらに（株）リーテムは、経済産業省の「レアメタル等高効率抽出・分離技術開発事業（携帯電話からのレアメタルリサイクル)」を受託し、（独）物質・材料研究機構（原田幸明元素戦略センター長ら）と携帯電話をボールミルで粉砕し、コバルトと金を湿式抽出する技術を研究した。

④現在は、（独）産業技術総合研究所の大木達也センター長と開発を進めている。

⑤小型家電からのレアメタルリサイクルシステムについて、小型家電の回収については自治体に負担してもらい。中間処理の拠点は、全国6箇所程度にするのが、よいのではないだろうか。

⑥しかし、小型家電などの資源を、どうやって海外に流出させないようにするか、といった課題は残る。バーゼル条約を利用するのも、一つの手段ではある。

⑦日本は、確固たるレアメタル戦略がないのが問題。経産省が発表した「レアメタル確保戦略」というものはあるが、中身が薄い。

⑧一方、アメリカ、EUはより深い戦略が策定されている。例えば、EUは、４１鉱種を詳細に分析し、本当にEUにとって不可欠な重要鉱種14鉱種の選定をおこなっている。日本の場合は、レアメタル31鉱種のどれが重要なのか分析されていない。また、EUでは、バージン材には課税し、リサイクル材を普及させる具体

的な動きもある。

(4) 中国について

①中国の非鉄製錬は、廃棄物の利用について、日本の非鉄製錬に比べ、技術力はまだ低い。例えば、銅製錬で発生する銅スライムには貴金属が含まれるが、それを適正に処理・売買するシステムが中国にはない。よって、中国の銅製錬会社は、貴金属を含めて基板の受入れは避けたがっている。

②中国の環境保護部は、廃棄物を中国から日本に輸出することに対して、比較的寛容な判断をしているが、国家発展改革委員会は、中国国外には資源は出さない方針なので、日本へ資源を持ってくるのは、まず不可能。

③逆に、日本で話題になっているブラウン管を中国に輸出することについては、許可されなかった。放射性物質が含有されているというのが、中国側の理由であった。実際には、問題視されるような放射性物質は含有されておらず、中国側の言いがかりに過ぎない。

④中国で行われている（環境・人体に悪影響を与える）不適正な基板リサイクルなどの現場は、以前は簡単に見学させてもらえたが、ここ2年くらいは見学させてもらえない。何らかの事情で中国側の対応に変化があった。

⑤最近、尖閣諸島の件で、中国がレアメタルの輸出を禁止したとのことだが、習近平の権力基盤である軍務部に判断と思われる。国家主席が胡錦濤から習近平へ代わる時期が近づいており、胡錦濤も軍務部の意向を意識せざるを得ないのではないか。

⑥レアメタルに関しては、2004年から中国から輸出の際の増値税還付率が下がり始めていた。今にして見れば、この辺りから、中国のレアメタル確保戦略は始まっていたと思われる。

⑦（株）リーテムは、この秋には、中国工場を竣工させる計画でいる。場所は江蘇省。この取り組みは10年程前に始めたが、中国での工場建設はなかなかすんなりとはいかない。やっとここまで辿りついたという印象である。

⑧（株）リーテムの中国工場の意図は、循環資源の需要地に近いところで、工場を持ちたいという考えである。中国の循環資源を日本に持ってくることではない。

⑨最近の中国は、沿岸部の労働者賃金が上がることを容認している様子である。そのため、最近の労働者、および企業は、重慶や成都に集まってきている。

3.4 3R先進事例発表会

2010年10月19日（火）、科学技術館サイエンスホールにおいて「3R先進事例発表会」が開催され、下記の発表が行なわれた。

1) 岡田俊郎　経済産業省産業技術環境局リサイクル推進課長「3Rへの取組の進展と今後の展望」

①3Rへの取組の歴史

②3R政策の法体系

③資源有効利用促進法の施行状況①

④資源有効利用促進法の施行状況②

⑤資源有効利用促進法の施行状況③
⑥資源有効利用促進法の施行状況④
⑦容器包装リサイクル法（平成12年4月施行）
⑧容器包装リサイクル法の現状
⑨家電リサイクル法（平成13年4月施行）
⑩家電リサイクル法の現状
⑪自動車リサイクル法（平成17年1月施行）
⑫自動車リサイクル法の現状
⑬最終処分場の現状
⑭レアアースのリサイクルの必要性①
⑮レアアースのリサイクルの必要性②
⑯レアアースのリサイクルの必要性③
⑰事業者間連携によるリサイクル推進体制の抜本的強化
～家電製品からのレアアース・リサイクル～
⑱環境配慮設計の深化

2) 岡部徹　東京大学生産技術研究所教授に「レアメタルの現状とリサイクルについて」

講演内容を下記に示す。

①東大の生技研の岡部研では、レアメタルリサイクルを一環して研究している。

②日本には、レアメタル資源はないが、人的資源と生産技術が日本にはある。

③レアメタルは、主として電子材料や磁性材料として利用され、製品中の部品の素材として利用されていたため、通常の生活では直接目にすることがなく、馴染みの少ない元素であったが、デジタル機器の高性能化と普及に伴ってレアメタルの用途が拡大した結果、「電子材料用レアメタル」の中には価格が高騰するものも多くなり、レアメタルの重要性は一般にも認識される様になった。

「空飛ぶレアメタル」では、今後も一層発展し、ジェットエンジンのタービンブレードに利用されるレニウム（Re）やマイナーな白金族金属など、資源的に稀少で大幅な増産が困難なレアメタルの供給動向は益々注目を集める。

④自動車産業の発展に伴い、電子材料や合金用の「走るレアメタル」の需要も増大し、自動車に使われる電子部品は、同じ機能であっても携帯電話やPCなどに使われる電子部品よりも、はるかに高い信頼性が要求されるため、自動車用の電子部品には、一般の家電製品より多くのレアメタルが必要となる。ハイブリッド自動車や燃料電池自動車が増産されるようになると、高出力モータや触媒材料の需要が大幅に拡大する。特に、高性能磁石の素材として不可欠なネオジム（Nd）やジスプロシウム（Dy）などのレアアース（希土類金属、Rare Earth Metals：REMs)、排ガス浄化触媒や燃料電池の触媒として不可欠な白金（Pt）やロジウム（Rh）などの白金族金属（Platinum　GroupMetals：PGMs）などの必要性は、さらに増大する。

⑤太陽電池をはじめとする、エネルギー関連のレアメタルも注目を集めている。

高純度シリコンを主原料とする多結晶シリコン太陽電池や周辺の制御装置も基幹材

料として多くのレアメタルが使われる。また、今後発展が期待される新型太陽電池も多種多様なレアメタルを使用する。太陽光発電には、蓄電や変換（インバータ）、送電などの設備も不可欠であるが、これらの機器の基幹部品には、レアメタルやその化合物を多量に使用する。そのため、太陽光、バッテリーでは今後もっとレアメタルが必要になる。

⑥ジスプロシウム（Dy）は、中国の1人勝ちである。ただし取り出すために膨大な土砂が廃棄される。中国で産出されるジスプロシウムは、地球が精製したイオン吸着鉱であるため、ただ同然で取り出せる。しかしそれでも取り出すために車1台で必要とするジスプロシウムに対し、見かけ4トン程度の土砂を掘り出す必要がある。それは環境にとっていいことでしょうか。

⑦岡部研の注目点は、夢のある研究として塩酸や塩水で白金の抽出を行なう研究を行なっている。スカンジウムは、無尽蔵に資源があるが値段が高いためこれに注目している。

⑧大根の葉っぱ理論を紹介する。

主産物と副産物の関係をわかりやすくした理論で、例えば、インジウムは、主産物である亜鉛の副産物であるため亜鉛と一緒に議論する必要がある。埋蔵量は銀や水銀等より多いといわれている。ジスプロシウムの重希土類は、中国南部のイオン吸着型鉱床と呼ばれる特殊な風化鉱床でしか生産されていないレアアースである。ルテニウムも白金の副産物であるため、供給量は一定して算出される。供給は一定で需要が大きく振れる。レアメタルの需要と供給では、透明性が高いマーケットが無いため価格が触れる。

⑨レアメタルが取り出されているところに注目しなければならない。

ニオブの資源としては埋蔵・産出とも世界の90%以上をブラジルが占めている。

世界のニオブの8割を１つの国が押さえるのは、異常である。

タスマニアの高純度シリカ（SiO2）は、40%純度の白い雪のようなパウダーになって露出している。

タンタル鉱石の世界の埋蔵量の80%がコンゴに存在すると推算されている。そこの住民は川底から鉱石を取り出せたり、拾えたりする採掘現場に殺到し、資源を採掘している。そのことで自然環境が破壊され、航跡が取れる場所が、マンテンゴリラの生息地域であるため、ゴリラが住めなくなるという環境問題が起きている。ただし実際の供給では豪州が最大で世界全体の40%を占めていて、それもオーストラリアの鉱山1つで供給している。

⑩生活が豊かになればなるほど車、電気・電子機器でレアメタルは必要になる。

インジウムのリサイクルは経済合理性、資源合理性　社会合理性など合理性がない。それは暗黙のうちに主産物と副産物の関係を認識しているからで、そこに“大根の葉っぱ”理論が成り立っている。インジウムは葉っぱで、大根が亜鉛になる。液晶パネルからインジウムをリサイクルするのではなく、亜鉛鉱山の捨てられたものの中にインジウムが多く含まれる。だからといって、リサイクルを否定するものではない。インジウムの価格が乱高下する理由は、液晶パネル1億ユニットの全量回収でも回収量は100トンしかない。液晶パネル1ユニット作るのに必要とする量の30

倍のインジウムが必要になり、目の前からインジウムのストックが消えている様な状況が生まれ、必要数が見えにくくなるためである。レアメタルのリサイクルについて論じる場合、最終製品のスクラップからの回収が議論されることが多い。しかし、副産物のレアメタルのリサイクルを考える場合は、最終製品からの回収のみを考えても経済的に不合理あるいは無意味な場合が多い。マテリアルフローが複雑でロスが多いレアメタルについては、鉱石から最終製品に至るまでのプロセスフローを詳細に解析し、ロスが最も小さく、かつ、回収に関わるエネルギーやコストが小さく高効率な回収プロセスを構築する必要がある。

⑪自動車関連のレアメタル（走るレアメタル）と太陽光発電に必要なレアメタル（エネルギー関連レアメタル）は、今後、需要の飛躍的な増大が見込まれる。

ハイテクや省エネ機器には、多種多様のレアメタルが不可欠であり、人々が豊かで快適な生活を追及するかぎり、また、電子機器の省エネを推進するかぎり、多量のレアメタルが必要となることは間違いない。レアメタルの用途および需要は、今後も拡大の一途を辿り、レアメタルに関連する産業は大きな発展が期待されるが、その一方で不安要素も多い。一部のレアメタルについては、産業インフラの不全、鉱山事故やストライキ、環境汚染などが引き金となって、供給障害が生じる可能性が高い。多くのレアメタルは供給量が少なく、大きく安定した市場が存在しないため、政治的、経済的な思惑により、供給メカニズムや価格が大きく変動する。

第４章　各国地域のまとめ

本章では、アメリカ、EU、アジアにおける、E-wasteのリサイクル制度、実施状況についての調査内容をまとめる。

4.1　アメリカ合衆国

4.1.1　スチュワードシップ

アメリカ合衆国においては、環境負荷低減へのアプローチとしては、スチュワードシップという概念もしくは用語が一般的には用いられる。

1)　環境スチュワードシップ

環境スチュワードシップ（Environmental Stewardship）とは、個人、企業、コミュニティ（非政府組織、自治体、宗教的団体、学区)、政府など各々が行動する際に、持続可能な未来のために行う環境的な配慮のことである。これは、誰かが提唱した概念もしくは言語というわけではなく、自然発生的な概念・言語である。

環境スチュワードシップという概念の特徴としては、従来型の環境配慮（例えば、汚染物を管理することにより公害を防止するといったもの）に比べて、より広範的・包括的な配慮であることが挙げられる。具体的に述べると、配慮の対象が、大気汚染、水質汚染、気候変動、省エネルギー等であり、配慮の手段も技術的だけなものではなく、金融支援やグリーン購入などを範囲に含んでいる。つまりは、日本でいうところの環境配慮という言葉と大よそ意味合いは似ていると言えよう。

前述のように自然発生的な概念のため、個人、企業などのそれぞれの主体が、いわば銘々勝手に判断を行っていたが、アメリカ環境保護庁（Environmental Protection Agency。以下EPA。）では、各々の主体の環境配慮努力を統一し、明確な優先順位を構築し、更にはそれぞれの主体の活動を有機的に結びつけるために、2005年に、「毎日の選択－環境配慮のチャンス（Everyday Choices—Opportunities for Environmental Stewardship)」というレポートを発表している。

2)　製品スチュワードシップ

製品スチュワードシップ（Product Stewardship）とは、製品のライフサイクルにおいて関与する製造者、小売業者、消費者（ユーザー)、処理業者、政府等が環境負荷を減らすために、責任を分担するという概念である。環境スチュワードシップの理念を、より具現化した一つの概念に位置づけられると言える。

製品スチュワードシップにおいても、経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development。以下、OECD）が提唱した拡大製品者責任（Extended Producer Responsibility。以下EPR）と同様に、製造者に責任を課すことは必須と考えられているが、製造者だけに責任を課しても、実際問題として環境負荷の提言には至らないという認識の下、小売業者、消費者、処理業者、政府等の協力が必要としている。また、製品毎に解決の形は違うとも認識しており、EPRと比較して、より広範かつ柔軟性をもつ概念と言えよう。

具体的には、小売業者が、製品販売時に消費者に対して環境負荷の低い製品に選び方を教育することが製品スチュワードシップの一つの形と見なされていることなどは、製品スチュワードシップの広範かつ柔軟性を示すと言えよう。

4.1.2 廃電気・電子機器の製品スチュワードシップ

1) 連邦政府による法規制の状況

連邦政府で廃電気・電子機器について統一的な法規制は、現状、存在しない。しかし、廃電気・電子機器がもたらす環境影響は問題視されており、EPAでは、**表4.1.2-1**に示す3点を廃電気・電子機器についての製品スチュワードシップの目標とし、具体的には**表4.1.2-2**に示すような施策を行っている。その中でも、使用済み製品を対象とした施策は、**表4.1.2-2**網掛け部の「Plug-In to eCycling（以下、eCycling)」のみである。

表4.1.2-1 E-Waste製品スチュワードシップの目標

①環境配慮設計および製造の普及
②環境的に持続可能性な製品の購入および使用の増加
③使用済み電気・電子機器の安全かつ環境的にも健全なリユース、リサイクルの増加

表4.1.2-2 E-Waste製品スチュワードシップの具体的施策

施策名	概要
Design for the Environment Program	電気・電子機器の製造業者に、環境配慮設計を促進させるための施策
Electronic Product Environmental Assessment tool	デスクトップPC、ノート型PC、モニターの環境特性を金、銀、銅にランク付けすることにより、公的機関および私的機関が、それを購入する際に利用できるツールを整備する施策
Energy Star Program	教育と製品へのラベリングによって高エネルギー効率の電気・電子機器を普及させる施策
Plug-In to eCycling	EPA、電気・電子機器製造者、小売業者の間で連携し、消費者に対して使用済み製品の寄付、リサイクルの機会をより多く提供する施策
Federal Electronics Challenge	連邦政府機関に対してグリーン購入、使用時の環境負荷低減、旧式の製品のやりくりを奨励する施策
WasteWise Program	助成対象者に対して、廃電気・電子機器を削減させる施策

2) eCycling

eCyclingとは、EPA、電気・電子機器製造者、小売業者、携帯電話キャリアが連携し、消費者に対して使用済み製品の寄付、リサイクルの機会をより多く提供するEPAによる施策である。寄付行為をリデュース、リユースの一環として捕らえるところは、我が国にはない発想で、アメリカ合衆国の特徴的なものと言えよう。寄付行為が成立しない場合、次にリサイクルという選択肢になる。

eCyclingが対象とする機器は、大きく分類すると携帯電話、コンピューター、テレビの3種である。

(1) 携帯電話のeCycling

携帯電話、PDA、充電器、充電式電池を対象にしている。これらの使用済み製品は、携帯電話の製造者、小売業者、携帯電話キャリア、チャリティ団体、州政府、地方自治体といった様々な組織が回収、寄付もしくはリサイクルの仕組みを提供している。

様々な組織によって提供されている回収の仕組みは、置き去り（Drop Off）方式と郵送(Mail in)方式に分けられる。置き去り方式では、回収機関が常設している置き去り拠点か、開催されるイベントに、消費者が使用済み携帯を持っていく回収法である。EPAのホームページで紹介されている本方式を採用している機関を、**表4.1.2-3**にまとめる。

一方、郵送方式では、消費者が使用済み製品を、回収機関に郵送する制度である。EPAのホームページで紹介されている本方式を採用している機関を、**表4.1.2-4**にまとめる。

これらの方法で回収された使用済み製品は、寄付もしくはリサイクルされることになる。

表4.1.2-3 使用済み携帯電話の置き去り方式の実施機関

業種分類	会社名
携帯電話キャリア	AT&T、Tーモバイル、ベライゾン・ワイヤレス
製造業者	ソニーエリクソン、LGエレクトロニクス
小売業者	ベストバイ（家電量販店)、スプリント（携帯電話の小売店)、オフィス・デポ、ステイプル（以上、オフィス用品の小売業者）

表4.1.2-4　使用済み携帯電話の郵送方式の実施機関

業種分類	会社名
携帯電話キャリア	Tーモバイル、ベライゾン・ワイヤレス
製造業者	ソニーエリクソン、LGエレクトロニクス、サムスン、ノキア、モトローラ
小売業者	スプリント（携帯電話の小売店）

(2)　コンピューターのeCycling

デスクトップPC、ノート型PCを対象にしている。

活動予算が限られた非営利団体、学校、チャリティー団体は、使用済みコンピューターの寄付を非常に必要としている。EPAのホームページで紹介されている、使用済みコンピューターの寄付を募っている機関を、**表4.1.2-5**にまとめる。

また、**表4.1.2-6**に示す製造業者、小売業者では、寄付でなく、リサイクルを行っている。

表4.1.2-5　使用済みコンピューターの寄付受け入れ機関

機関名	概要
全米クリスティナ基金（the National Cristina Foundation）	1984年に設立された非営利団体。 アメリカ合衆国の全州にて、個人、または企業からの使用済みコンピューター等の寄付を募っている。 これらのコンピューター等は、身体障害者、落ちこぼれの学生、経済的に不利な状況にある人などの教育を施す非営利団体、学校、公的機関などに提供される。
テックスープ（TechSoup）	非営利団体のIT支援を目的として、ソフトウェアなどのIT製品を提供するほか、ITのサポートを行う非営利団体。 2009年には日本でも活動を開始しており、資格条件を満たした団体に対して、アドビ システムズ 株式会社、株式会社シマンテック、マイクロソフト株式会社等のソフトウェア製品を市場価格の4～8%の事務手数料で寄贈している。
StRUT (Students Recycling Used Technology)	1995年にインテルによって設立。 コンピューター等を学ぶ学生が、寄付された使用済みの旧式コンピューターを修理、ブラッシュアップし、学校へ提供する活動を行っている。

表4.1.2-6　使用済みコンピューターのリサイクル機関

業種分類	会社名
製造業者	ソニー、NEC、富士通、東芝、ヒューレッド・パッカード、DELL
小売業者	ベストバイ（家電量販店)、オフィス・デポ、ステイプル（以上、オフィス用品の小売業者）

(3)　テレビのeCycling

使用済みテレビを対象にしている。

テレビのeCyclingにおいて、寄付行為こそが最も有効な選択であるとの位置づけである。しかし、アメリカ合衆国では2009年6月にアナログテレビ放送からデジタルテレビ放送に切り替えられた為に、近年では、アナログ方式の使用済みテレビの寄付の受け取りを辞退するチャリティ団体が多い。

一方、表4.1.2-7に示す小売業者、製造業者では、リサイクルを行っている。

表4.1.2-7　使用済みテレビのリサイクル機関

ベストバイ（家電量販店）	全米の店舗にて、32インチ以下のテレビであれば、メーカーに関わらず、10ドル/台の手数料にて使用済みテレビを引き取っている。ただし世帯あたりの1日の持ち込み数は、2個が上限である。 またベストバイでは、10ドル/台の手数料の徴収する代わりに、利用者に対して10ドルの割引券を提供している。
パナソニック、シャープ、東芝	全米280箇所の拠点で、自社ブランドのテレビを回収し、無償でリサイクルしている。
ソニー	全米274箇所の拠点で、自社ブランドのテレビをリサイクルしている。また他社ブランドのテレビでも、有償であればリサイクルをしている。
ＬＧエレクトロニクス	全米で最大手の廃棄物処理会社であるウェイストマネジメント社と提携し、置き去り方式の拠点整備と、リサイクルを行っている。 Zenith、GoldStarを含む自社ブランドのテレビは無償でリサイクルしている。
サムスン	全米218箇所の拠点で、自社ブランドのテレビを無償でリサイクルしている。また他社ブランドのテレビでも、有償であればリサイクルをしている。

2)　州政府による法規制の状況

アメリカ合衆国では、現在24の州でWEEE関連の法律が制定されている。**図4.1.2-1**にて　に着色した州が該当州である。なお、同図にて　で着色した州は、埋立を禁止している州である。また、各州で法律が制定された年を**表4.1.2-8**にまとめる。

以下、2008年までにWEEE関連法案が成立した州について、WEEE関連法案の概要を簡単にまとめる。

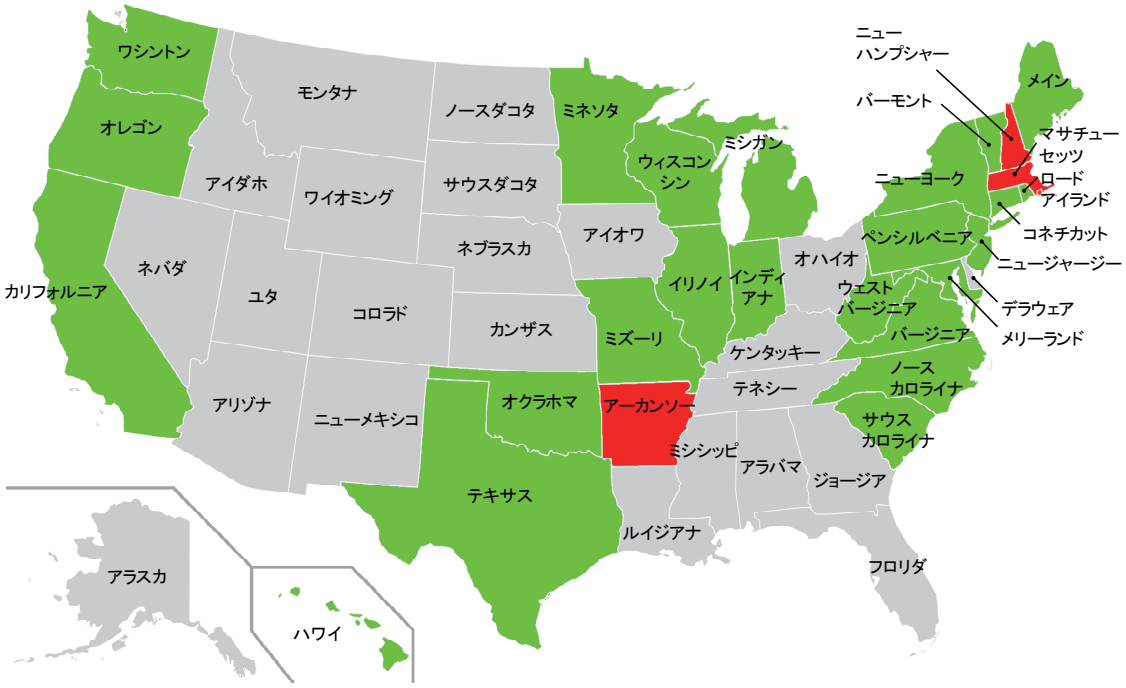


図4.1.2-1　WEEE関連法案が成立している州

出典　National Center for Electronics Recycling ホームページ

表4.1.2-8　WEEE関連法案の成立年

2003年	カルフォルニア
2004年	メイン
2005年	メリーランド
2006年	ワシントン
2007年	コネチカット、ミネソタ、オレゴン、テキサス、ノースカロライナ
2008年	ニュージャージー、オクラホマ、バージニア、ウェストバージニア、ミズーリ、ハワイ、ロードアイランド、イリノイ、ミシガン
2009年	インディアナ、ウィスコンシン
2010年	バーモント、サウスカロライナ、ニューヨーク、ペンシルベニア

出典　National Center for Electronics Recycling ホームページ

(1) カルフォルニア州

カルフォルニア州では、廃電気・電子機器の集荷、リサイクルのための財源拠出を制度化する法律を制定した。この制度は、カルフォルニア州の資源リサイクル回収省（CalRecycle：the California Department of Resources Recycling and Recovery）および有害物質統制省（DTSC：Department of Toxic Substances Control）によって実施されている。

この制度は、小売業者が消費者に製品を販売する際にリサイクル料金を課すものであり、2009年1月現在での料金は以下となっている。

画面サイズ（対角寸法）	リサイクル料金
4インチより大きく15インチ未満	8ドル
15インチ以上35インチ未満	16ドル
35インチ以上	25ドル

(2) メイン州

製造業者は、コンソリデイター（consolidator　：使用済み電気・電子機器を一時的に保管し、40フィートコンテナーに満載してからリサイクル施設、処理施設、もしくは埋立場に運ぶ設備をもつ収集業者。）に配送された自らのブランド製品（場合によっては製造元が不明の製品）をリサイクルするコストに対して責任を持つ。

対象となる電気・電子機器は、テレビ、デスクトップコンピューター及びモニター、ノートブックコンピューター、デジタルピクチャーフレーム、デスクトッププリンター、携帯DVDプレイヤー、テレビゲーム機（携帯ゲーム機は除く。）である。

製造業者のコスト負担は、マーケットシェアに基づいて、割り当てられる。また、製造業者は上記の対象機器を販売する前に、指定様式でメイン州環境保護庁（the Maine Department of Environmental Protection。）に登録をしなければならない。登録料は年間3,000ドルである。

コンソリデイターがメイン州の使用済み電気・電子機器リサイクルプログラムに参加するには、メイン州環境保護庁による承認が必要である。

市町村が第一に担保すべき責任は、コンソリデイターによる収集システムを居住者にとって利便性の高い状態にすることである。

(3) メリーランド州

対象機器は、コンピューター、ディスプレー（対角4インチ以上のもの）である。これらを年間1,000ヶ以上製造する製造業者は、州に登録し、毎年5,000ドルの登録料（但し、登録初年は10,000ドル）を支払わなければならない。この登録料は運用され、各市町村の収集プログラムを支援する補助金に拠出されている。

製造業者は、コンピューター引取りプログラムを行うことにより、登録料は500ドルにすることもできる。

(4) ワシントン州

対象機器は、テレビ、デスクトップコンピューター、ラップトップコンピューター、コンピューターディスプレイである。これらの製造業者は、製品にラベルを貼り、製造者名を表示しなければならない。また、ワシントン州エコロジー庁（the

Department of Ecology）に毎年、登録と登録料の納付を行わなければならない。さらに、ワシントン州のリサイクルプランに参加しなくてはならない。

リサイクルプランでは、まず、エコロジー庁が製造業者ごとに“リターンシェア”を割り当てる。リターンシェアは、リサイクルのために集められた使用済み電気・電子機器を重量ベースでサンプリングし、決定される。リターンシェアに基づいて、製造業者は、州が実施したリサイクルプランに要した費用を負担しなければならない。但し、製造業者は独自のリサイクルプランを実施することにより、州のプランに参加しないこともできる。

集荷作業は、家庭、小規模事業者、学校・学区、小規模自治体、特別区、チャリティー団体など、州の許可を持っていれば行うことができる。集めた使用済み電気・電子機器は、州のプランに引き渡せば、対価を得ることが出来る。

輸送業者も、エコロジー庁に登録することによって、州のリサイクルプランに参加し、使用済み電気・電子機器の輸送の対価を得ることが出来る。

処理業者は、リサイクルプランについて州と契約し、エコロジー庁に承認され、登録（毎年更新）する必要がある。また、州の定める最低限のパフォーマンスを満たすことを毎年監査される。また、リターンシェアを決定する際のサンプリングに協力する必要がある。

小売業者は、製造者名が分かるラベルの貼っていない製品を売ることはできない。

(5)　コネチカット州

製造業者は、リサイクル業者に配送された自らのブランド製品（場合によっては製造元が不明の製品）をリサイクルするコストに対して責任を持つ。対象機器は、テレビ、デスクトップコンピューター、ラップトップコンピューター、コンピューターディスプレイ、プリンターである。対象機器の製造業者は、コネチカット州環境保護庁（the Department of Environmental Protection）に毎年登録する必要がある。

市町村は、回収場所を設置したり、イベントを開催するなどして、家庭から発生する対象の使用済み電気・電子機器を集めなければならない。

(6)　ミネソタ州

ビデオディスプレー装置の製造業者は、重量ベースで販売量の80%をリサイクルすることが求められる。また、ビデオディスプレー装置の販売数量が100ヶ以上の製造業者は毎年2,500ドルの登録料を、100ヶ未満の製造業者は1,250ドルの登録料を州に払う必要がある。

また、CRTモニター、テレビの埋立は禁止されており、かならずリサイクルされる必要がある。

(7)　オレゴン州

対象機器は、テレビ、デスクトップコンピューター、ラップトップコンピューター、コンピューターディスプレイである。これらの製造業者は、製品にラベルを貼り、製造者名を表示しなければならない。また、オレゴン州環境品質庁（the Department of Environmental Quality）に毎年、登録と登録料の納付を行わなければならない。さらに、オレゴン州のリサイクルプログラムに参加しなくてはならない。

住民は、オレゴン州の集荷場に、製造者名、製造年代関係なく、一人あたり７つ以下の対象機器を一度に持ち込むことが出来る。これらの集荷場は、州内各地にあり、年中稼動している。

リサイクルプログラムに参加するリサイクラーは、環境品質庁の環境マネジメントプラクティス（Environmental Management Practices）を満たさなければならない。環境マネジメントプラクティスは、使用済み電気・電子機器が、人体および環境を守る方法でリサイクルされていることを確かにする。

(8)　テキサス州、

対象機器は、新品のコンピューター（デスクトップコンピューター、ラップトップコンピューター、モニター（チューナがないディスプレー)、付随するキーボード、マウス）である。コンピューターをテキサス州の中で販売する、もしくはテキサス州の中へ販売する製造業者は、消費者に無料のリサイクルプログラムを提供し、テキサス州環境品質委員会（Texas Commission on Environmental Quality : TCEQ）の製造業者リストに掲載されなければならない。

製造業者は、告知文と検証可能な形の回収計画を手出しなければならない。複数者で行う場合は、それぞれの製造業者が同様のことを行わなければならない。また、製造業者は、家庭から出される使用済み製品を集め、リサイクルしなければならない。

(9)　ノースカロライナ州

対象機器は、コンピューター装置とテレビである。2010年1月以後は、これらの製造業者は、使用済み製品の回収を義務付けられている。

また、製造業者は、製品に製造者名が分かるラベルを貼り、製造者名を表示しなければならない。さらに、ノースカロライナ州環境天然資源庁（the Department of Environment and National Resources）に登録と登録料の納付（初回登録料10,000ドル、その後毎年1,000ドル）を行わなければならない。但し、販売数量が年間1,000ヶ以下の製造業者は登録義務を登録料の支払いは免除される。製造業者は、登録後120日以内に使用済み製品の再使用もしくはリサイクルの計画を提出しなければならない。

(10)　ニュージャージー州

対象機器は、コンピューター、モニター、テレビである。

テレビ製造業者は、ニュージャージー州環境保護庁（the Department of Environmental Protection）に毎年、登録と5,000ドルの登録料の納付を行わなければならない。また、単独で、もしくは合弁で使用済みテレビの回収、輸送、リサイクルシステムを作り上げなければならない。さらに毎年マーケットシェアに基づいた使用済みテレビの回収、輸送、リサイクル計画を環境保護庁に提出しなければならない。

テレビ以外の製造業者は、テレビ製造業者と同様に、環境保護庁に毎年、登録と5,000ドルの登録料の納付を行わなければならない。また、単独で、もしくは合弁で使用済み製品の回収、輸送、リサイクルシステムを作り上げなければならない。さらに重量ベースのリターンシェアに基づいた、使用済み製品の回収、輸送、リサイ

クル計画を環境保護庁に提出しなければならない。テレビとそれ以外の製品を双方製造している業者は、登録料は二重に支払う必要がある。

さらにニュージャージー州では、2011年1月より、対象機器の埋立禁止となった為、全量リサイクルが必須となっている状況である。

(11) オクラホマ州

対象製品はコンピューター、およびモニターである。これらを年間50ヶを超えて製造販売する、もしくは輸入販売する業者は、製造者名が分かるラベルを貼って販売しなければならない。また、これらの業者は使用済み製品の回収サービスを消費者に提供する必要がある。さらには毎年3月1日までの、毎年の回収プログラム、回収重量の報告書を提出する必要がある。

(12) バージニア州

対象製品はコンピューターである。これらを年間500ヶを超えて州内で販売する製造業者は、消費者に無償で、使用済みコンピューターの回収・リサイクルを実施しなければならない。製造業者は、製品に製造者名が分かるラベルを貼り、リサイクルプログラムの情報をウェブサイトで公開しなければならない。

バージニア州では、多くの製造業者が郵送(Mail in)方式による回収を採用している。

(13) ウェストバージニア州

対象製品はディスプレーである。年間1,000ヶを超えた製造販売する製造業者は、州に登録すると共に、登録料を納付しなければならない。登録料は、対象電気機器テイクバック基金（Covered Electronic Devices Takeback Fund）という州の公庫に預けられる。この基金からは、市町村やその他のリサイクルプログラム実施者に交付金が出されている。

登録料は、初回が10,000ドルで次年度以降が5,000ドルである。但し前年にリサイクルプログラムを実施している製造業者の場合、初回が3,000ドルで次年度以降が500ドルに減額される。製造業者がリサイクルプログラムを実施している場合は、消費者に対して通話無料の電話や、ウェブサイトにて情報提供を行わなければならない。

登録された製造業者は、州のウェブサイトで公開されている。全ての小売業者は、登録されていない製造業者の製品があった場合は、州に報告しなければならない。

(14) ミズーリ州

コンピューターに関しては、製造業者が費用を負担し、回収、リサイクルを行っている。リサイクルでコンピューターの製造業者は、製品に製造者名が分かるラベルを貼らなければならない。回収に関しては多くの企業が郵送(Mail in)方式を採用している。

一方、廃電気・電子機器のリサイクラーが自発的にミズーリ州自然資源庁(the Department of National Resources)に登録するプログラムもある。登録基準には4つのレベルがあり、レベルが上がるほど、リサイクラーが遵守すべき基準が増える。リサイクラーの登録レベルは公開されており、排出者は自らの要求に合致したリサ

イクラーを選択することができる仕組みになっている。

(15) ハワイ州

対象機器はコンピューター、プリンター、モニター、テレビである。テレビの製造業者は、ハワイ州保険庁（the Department of Health）への登録と毎年2,500ドルの登録料を納めなければならない。また、コンピューター、プリンター、モニターの製造業者は、同様の登録と毎年5,000ドルの登録料を納めなければならない。但し、製造販売数が100ヶ以下の製造業者は、登録義務を免除される。

(16) ロードアイランド州

対象機器はコンピューター、モニター、ノートパソコン、テレビ、対角で9インチ以上のディスプレーである。これらの製造業者は、家庭、初等学校、中等学校から廃棄された対象機器について、独自に回収、リサイクルを行うか、RIRRC（Rhode Island Resource Recovery Corporation）が行う回収、リサイクルプログラムに参加しなければならない。製造業者はロードアイランド州環境マネジメント庁（the Department of Environmental Management）に毎年5,000ドルの登録料とRIRRCに料金を支払わなければならない。また毎年、環境マネジメント庁に実施状況の統計データと、次年度の計画を提出しなければならない。

一方、小売業者は、法に違反する製造業者の製品を売ることが禁止されている。

なお2009年1月よりある種類の廃電気・電子機器は埋立が禁止されている。

(17) イリノイ州

対象機器はコンピューター、モニター、テレビ、プリンターである。

家庭から廃棄される対象機器について、製造業者と小売業者にはリサイクルに参加することが求められている。製造業者には施行後3年以内に60%以上、4年以内に75%のリサイクルが義務付けられ、達成できない場合は罰則対象になる。また2010年1月以降は、イリノイ州環境保護庁（Environmental Protect Agency）に5,000ドルの登録料なしの事業は禁止されている。環境保護庁では、排出者に対し、無料もしくは新規購入時の割引クーポンと引き換えに、対象機器を回収する業者を紹介している。

(18) ミシガン州

新規にコンピューター、テレビを購入する家庭もしくは従業員が10人以下の会社に対して、製造業者は無料の回収プログラムを提供しなければならない。また50ヶ以上の製品を製造販売する製造業者は、ミシガン州環境品質庁(the Department of Environmental Quality)に毎年3,000ドルの登録料を納めなければならない。

また2010年4月以降、小売業者は登録された製造業者の製品のみ販売ができる。

リサイクル業者も環境品質庁に毎年2,000ドルの登録料を納めなければならない。またデータ消去方法など定められたルールに則る義務がある。更に、二次的に他のリサイクル業者に渡した場合の記録等、記録の保管、提出が義務付けられている。

4.2 EU

EUにおいては、製品ごとに製造からリサイクル・廃棄に至るまでのライフサイクルを考慮した概念であるIPP（統合製品政策）の下に政策を打ち出してきている。

代表的なものとして、自動車を対象としたELV指令、電気・電子製品を対象とした

RoHS／WEEE指令、多くの製品で使われる化学物質のリスク情報の管理を義務付けたREACH規則などがある。各々の法令の概要について以下にまとめる。

なお、EUの法令には「規則(regulation)」「指令(directive)」「決定(decision)」「勧告(recommendation)」「見解(opinion)」の5 種類の体系がある。

これらは、各々その拘束力や有効性について違いが定義されており、厳密に使い分けが必要になるが、特に今回提示した「規則」と「指令」については、次のような違いがある

①「規則」は、法令を通じてEU域内に直接的に拘束力を有する（例：REACH規則)。

②「指令」は、原則として法令を受けた加盟国内での法整備が前提となる。

さらに「指令」においては、欧州共同体（EC）設置条約の条項により、さらに拘束力の違う2通りの手続きが選択される。

①EC条約第95条

EU域内市場の統一を目的とする場合に選択され、EU指令よりも厳しい国内法は制定できない（例：RoHS指令)。

②EC条約第175条

環境保全を目的とする場合に選択され、各国の状況に合わせて国内法の制定ができ、EU指令よりも厳しい基準の採択もあり得る（例：ELV指令、WEEE指令)。

EUにおいては、このように体系の組み合わせを変えることで、法規制の目的と効力を明確にしている。

以上を踏まえて、各法令の説明を下記に示す。

4.2.1 ELV指令

1) End-of Life Vehicles：廃自動車指令
2) EC設置条約第175条による
3) 使用済み自動車から発生する廃棄物による環境汚染の防止を目的とする
4) 2000年10月施行
5) 該当自動車メーカーは、上記目的に際し次の責務を負う
   ①上記以降EU域内において上市する乗用車、商用車において、Cd、Pb、Hg、Cr6+の原則使用禁止（一部適用除外あり）
   ②使用済み自動車の回収・解体・リサイクル、処理を適切に行うシステムを構築
   ③使用済み自動車のリサイクル実効率を、2006年度以降：85%、2015年度以降：95%とする
   ④上記に必要なコストを負担する
   ⑤上記に必要な情報の提供を行う

4.2.2 RoHS指令

1) Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment：電気電子機器に含まれる特定有害物質使用制限指令
2) 電気・電子製品の廃棄物による環境汚染防止を目的とした製品設計を促す
3) EC設置条約第95条による
4) 2003年2月施行

5) 対象製品は、 大型家電をはじめとする電気・電子機器8品目
（大型家電、小型家電、ICT機器、消費者用機器、照明機器、電気・電子工具、娯楽・スポーツ用品、自動販売機）
6) 該当電気・電子メーカーは、上記目的に際し次の責務を負う
2006年7月以降EU域内において上市する上記対象製品において、Cd、Pb、Hg、Cr6+、PBB、PBDEの原則使用禁止（一部適用除外あり）

4.2.3 WEEE指令

1) Waste Electrical and Electronic Equipment：廃電気電子機器指令
2) 電気・電子製品から発生する廃棄物による環境汚染防止を目的とする
3) EC設置条約第175条による
4) 2003年2月施行
5) 対象製品は、 大型家電をはじめとする電気・電子機器10品目
（大型家電、小型家電、ICT機器、消費者用機器、照明機器、電気・電子工具、娯楽・スポーツ用品、自動販売機、医療関連機器、監視・制御機器）
6) 該当電気・電子メーカーは、上記目的に際し次の責務を負う
①廃電気・電子機器の発生抑制
②回収、解体、リサイクル、又は処理を適切に行うためのシステム構築
③上記に必要なコストを負担する
④上記に必要な情報の提供を行う

特に、処理設備に関する情報においては同指令第11条に「WEEE の再使用や、そのメンテナンス、改良、磨き直し、及びリサイクルを含む処理が正しく、かつ環境に無害な方法で行われることを容易にするために、加盟国は、新しく上市されるEEEの各々のタイプごとの再使用や処理のための情報を、製品の上市から1 年以内に、製造業者が提供することを保証するために必要な方策をとる。

この情報は、再使用センター、処理やリサイクルの施設が、本指令の規定を遵守するために必要とする限りの、様々なEEE 構成部品や材料、並びにEEE 中の有害物質や調剤の位置を特定できるものとする。この情報は、再使用センター、並びに処理やリサイクルの施設が、マニュアル又は電子メディアによる手段を通じて利用できるように、EEE 製造業者によって整備されなければならない。＜2 項は省略＞（出典「JETRO ユーロトレンド 2003.5」）」と明記されており、リサイクル事業者に対しての、製造事業者による製品含有物質情報の提供を義務付けている。

なおRoHS指令とWEEE指令は、廃電気・電子製品の発生を予防し、最終処分量の削減、人や環境への汚染防止を目的として、2つの指令の要求により、生産からリサイクル、廃棄までのライフサイクル全体を網羅するように制定されているため相補的な存在とされている。そのため同時に説明される場合が多く、また表記も「RoHS／WEEE指令」などと併記されることがある。

4.2.4 REACH規則

1) the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals :

化学物質の登録・評価・認可・制限に関する規則

2) 2007年6月施行

3) EU域内に上市される製品に含まれる化学物質のリスク情報について、事前に登録・評価・認可・制限が義務付けられたもので、これまでの化学物質管理制度に対し次のような特徴をもつ

①既存と新規の化学物質を、ほぼ同等に規制対象とした

②これまで行政側の責任で実施していたリスク評価を事業者の義務とした

③サプライチェーンを通じた情報共有を、チェーンの川上、川下の双方向で強化した

④成形品に含まれる化学物質についても情報の把握を要求した

REACH規則は、前述した各指令のようにリサイクルを前提としたものではないが、製品に含まれる物質の情報一元化がなされるという点と、その物質のリスク評価の義務を製造事業者に負わせることで、出荷後の製品に対して有害性の観点でEPRを要求している点が特徴である。

4.3 アジア

4.3.1 中国

1) 中国における廃棄物原料輸入規制

1980年代から中国は廃棄物原料を輸入しているが、1990年代初めに海外からの不適正な廃棄物原料の輸入事件が発生し環境への影響が懸念されたことから、中国政府は1991年に「国外有害廃棄物の中国への越境移動を厳しく規制する通知」、1994年に「欧州共同体（EC）からの輸入廃棄物への厳格な規制に関する暫定規定」を公布して、海外からの輸入を一時停止し、国内の法規制の整備を進めた。

1995年に廃棄物を規制する法律「固体廃棄物環境汚染防止法」（以下、固体法）ができ、輸入廃棄物を管理する法規として、1996年の「輸入廃棄物の環境保護管理に関する暫定規定」（以下、暫定規定）が施行された。固体法は、中国における固形廃棄物の管理に関する基本法であると同時に輸入廃棄物に関する規定も整備した法律であり、海外の固形廃棄物の投棄、保管、処分目的での輸入を禁止し、原料として利用できない廃棄物の輸入禁止、利用可能な廃棄物についても輸入の制限を課し、有害廃棄物が中国を経由することも禁止した。

暫定規定において中国政府は、

①加工能力がある企業のみ輸入を可能とすること

②環境保全と汚染防止

という2つの原則を示している。この観点から、廃棄物原料を輸入しようとする事業者は国家環境保護総局（当時）からの許可を必要とする「輸入許可証制度」や、輸出国から輸出前に中国政府の指定機関による廃棄物原料の品質検査を受ける「船積み前検査制度」が実施されることとなった。

輸入できる廃棄物原料は、「国家が輸入を制限する原料として利用可能な廃棄物リスト」に記載されたものに限られ、リスト外のものは原則として輸入禁止とされた。2001年にはリストの大幅な改訂がなされ、環境へのリスクが比較的低い、鉄くずなど

の廃棄物原料を自動輸入許可管理類とした。同時に輸入禁止廃棄物リストを公布し、21品目の電気・電子機器廃棄物（部品を含む）を輸入禁止にした。その後、輸入禁止・輸入制限・自動輸入の3種類のリストに分けて管理する方法が定着し、規制対象物の明確化が図られた。

2002年に微修正したリストの第7番目の廃モーター、廃電線・ケーブル、廃電気機器・器具などの廃五金電器を輸入する企業は、環境に与える影響が大きいため、一定地区に集中・立地させてリサイクルと環境保全の両立を図る政策が推進された。2003年以降、沿海部の数カ所に加工園区（工業団地）の建設が進められた。

輸入されてきた物の中には中国の国内基準を満たさないものも含まれており、シップバックもされずに中国国内の税関倉庫等に放置される事態が生じていたが、このような悪質な輸入会社の取締が困難であったことから、中国政府は2004年1月1日から中国大陸向けに再生資源を輸出する国外供給企業に対し、臨時的な管理登録措置をとることを公布した。

2007年3月、中国政府が国内の輸入廃棄物原料の受取人（以下、国内荷受人）の登録の実施を公告した背景には、

①実際に輸入される廃棄物原料は多くの場合、中国の業者が海外で直接買い付けて中国向けに輸出しており、海外輸出企業のみ規制しても効果が低いと考えられたこと

②中国国外に所在する輸出企業を中国政府が規制するのは内政干渉とも受け取られかねないことから、中国に拠点を有する国内荷受人が中国の規制を守る必要性があると当局が判断したこと

以上の2点が挙げられる。

1996年の暫定規定から14年余りがたち、中国政府は暫定規定を「固体廃物輸入管理弁法」として近く公布する予定である。これにより、一連の規定が整理・明確化され、中国独自の輸入規制が体系的に整備されることになると考えられる。

2009年12月には、「輸入廃鉄鋼環境保護管理規定（試行）」公告が公布され、国内の産業政策との整合性がとられたガイドラインが示された。廃棄物原料輸入後の輸入・加工選別後の精錬・溶解プロセス等について業界ごとの要望に対応する必要が生じたと考えられ、今後さらに紙・プラスチックなど業界ごとのガイドラインが示されていく予定である。

2)　中国の方向性

中国は、急速な経済成長に伴い多くの資源を確保するため、バーゼル条約との関係が不明確な独自の規制管理制度を導入して、廃棄物原料の輸入規制強化、環境汚染防止策を講じてきたといえる。

1995年以来、中国は環境保護部、税関、国家質検総局などの部門の廃棄物輸入許可証、海外輸出企業登録制度、国内荷受人登録制度、船積み前検査などの政策を執行し、国外からの廃棄物原料の輸送から中国への輸入・リサイクルに至る全過程にかかる管理システムを構築した。環境保護部はこれら一連の管理制度を「クローズドループの管理システム」と総称している。廃棄物原料の輸入リサイクル業者の許可証制度や船積み前検査制度のみならず、不適正リサイクルの監視対策として、廃五金電器の加工利用企業

をひとつの輸入廃棄物加工園区に集約し、統一管理を実施した。さらに、海外輸出企業および国内荷受人の登録制度を導入し、不合格貨物の減少や不適正な業者の登録抹消、不適正貨物のシップバックにもある程度の成果を上げたといえる。中国国内の法的規制は明確に整理されてきており、ベトナムは中国の制度に似た制度を導入する動きがみられる。

日本国内においては、2003年の廃プラスチック輸出禁止措置を教訓として、中国の輸入規制動向の把握および国内の輸出事業者に対する中国の輸入規制情報の普及・啓発を重視した取組みが展開されてきた。両政府の努力により、双方の輸出入規制に対する情報共有が促進され、事業者に対する周知徹底においても一定の効果があったことは成果といえる。しかしながら、中国の輸入規制の変動が日本の貿易量・行き先に大きな影響を及ぼしている現状に鑑みると、安定的な廃棄物原料の貿易や輸出国としての日本の利益の確保のための積極的な対応が求められる。たとえば、中国の船積み前検査制度や海外輸出企業登録制度などの中国の輸入規制が、国際条約やその他国際規定との観点から整合するものであるのか、過剰な規制となっていないか等を確認し、日本のリサイクル業者・輸出業者のビジネスが不利益を被らないよう中国政府やその関係機関へ働きかけることも対策のひとつとして求められる。また、第２の青島事件を予防するためにも、日本の国内法制上どのような廃棄物原料であれば問題ないといえるか、どのような不適正・不法な輸出事案については国内法規を適用して事業者を摘発できるかについて、より明確な判断基準を内外に示す必要があると同時に、不法な中古および廃電気・電子機器や再生資源の輸出入の抑止力を働かせる、独自の仕組みの導入も求められる。

4.3.2 ベトナム

1) 執行体制の整備と制度的問題

ベトナムでは、環境保護法の規制の執行を厳格化するため、2007年3月に公安省内に「環境警察」が設置された。環境警察が設置されてから、港湾における輸入品の環境保護法違反は、当該地域の資源環境局、環境警察、そして税関（財務省管轄）の3者が参加し摘発を行うこととなった。環境警察設立前の体制では資源環境局が立入検査を行うことになっていたが、立入りを強制する権限がなく、検査が非常に困難であった。環境警察が参加することで、強制捜査の立入りをスムーズに行えるようになっている。

しかし、環境警察は全国のすべての省に設置されたものの、まだ規模は小さく、もっとも人数が多いハノイでもスタッフの数は60人、ホーチミンでも30人しかおらず、資源環境省と環境警察が規制を行える範囲は、サイゴン港、ハイフォン港などの一部のポイントに限られている。また、公安省内の「経済警察」から分かれた組織であるため、ほとんどのスタッフは経済警察出身で、環境に関する知識に乏しい。ホーチミン環境警察でも専門家は3人のみであった。

また、環境保護法違反の摘発に複数の省庁の機関が参加することになり、摘発が複雑な作業となった弊害も生じてきた。港湾における取締の場合、通常は税関が常時監視し、適宜サンプリング調査を行い、その結果環境上問題があると判断された場合に、当該地域の資源環境局と環境警察に連絡し、検査と摘発を行う。また、資源環境局は汚染の程度や違反のレベルに応じて、罰金の水準を定める。このため、検査や違反の確定により

長い時間がかかるようになり、その間荷を保管しておかねばならず、保管料の高額化を招いている。

ベトナムが直面しているもうひとつの制度的な問題は、輸入された再生資源が違法なものかどうかを決める基準が曖昧ということである。2006年の資源環境省決定は輸入可能な品目を明確に示しているものの、輸入可能なスクラップを規定した環境保護法に示された「危険なスクラップ、夾雑物を含んでいない」の具体的な基準は示されていない。そのため、輸入できる「清潔な」スクラップかどうかの判断は、検査の現場における資源環境局や環境警察の職員にゆだねられていることになる。しかし、上述のように環境警察職員の知識・経験や検査機材の装備など組織としての能力は十分ではなく、輸入業者の反発を招く要因となっている。

2) ベトナムの方向性

再生資源貿易の急増という世界的な流れの中で、ベトナムはその輸入を拡大し、国家の発展に役立ててきた。近年のベトナムの再生資源輸入の特徴は、単に輸入量が増えているだけでなく、その供給源が多様化していること、雑品や低級品の輸入が増加しているという点にある。またそれに伴い、環境保護法に違反する輸入のケースも増えている。2005年の新環境保護法公布以降は、政令が整備され、違反物の定義や違反の際の罰則も明確になるとともに、水際での取締を強化すべく環境警察の設置などの体制が整えられている。環境保護法違反に対する摘発の件数が増加しているのは、規制の執行能力が向上している証であるととらえることもできるが、それでもその能力は不足しており、制度的な課題がまだ残っている。

制度設計のプロセスという側面に注目すれば、ベトナムの特徴は、トップダウン型の制度設計プロセスにあるといえるだろう。「民主集中性」を原則とし、少数の国会常務委員により起草され国会を通過した環境保護法を根拠に、資源環境省、さらにその傘下の政府系専門機関により、規制とその執行体制が整備されてきた。

目の前にある問題に対処するための迅速な決定という観点からは、トップダウン型の制度設計にはメリットも多い。しかし、さらなる規制の整備やその修正、執行体制の改善のためにはボトムアップ型の情報収集、意見調整、意思決定が必要であり、その点でベトナムにはまだ課題が多い。一般的に規制の整備過程における業界団体の影響力が小さいベトナムでは、業界団体が業界内のコンセンサス形成を探り、規制に反映させるよう働きかけるという経験が少ない。さらに、リサイクル業者の業界団体は存在していないのが現状である。業界からのボトムアップによる規制整備のためには、業界内の情報共有や相互協力、相互監視体制の確立が必要となってくると思われる。

また、現実の法の執行に際しては、それぞれのケースにおいて状況が異なるため、担当者レベルでの判断が重要な鍵となる。資源環境局や環境警察職員の教育の拡充が必要である。そのためには、さまざまなケースの情報収集と共有を行い、収集された情報が規制整備や執行体制の改善のためにフィードバックされるメカニズム作りも必要となる。

4.3.3 韓国

1) 廃棄物の輸出入「申告」制度

2000年代後半から廃棄物輸入が急増し、それに伴い廃棄物の不適正処理による環境

汚染への懸念も徐々に強まった。そこで、廃棄物の不法な輸出の予防および輸入廃棄物の適正処理の保証を目的とし、2008年8月から25種類の廃棄物を対象に輸出入申告制度が導入された。廃電気・電子機器類は、申告対象廃棄物の一品目として位置づけられている。規定上、中古品としての使用済み電気・電子機器と許可対象廃棄物の使用済み電気・電子機器を除いたものが、申告対象の使用済み電気・電子機器類に当てはまる。輸出入申告制度自体が、中古家電の輸出入を直接コントロールするわけではないが、今後拡大が予想される中古家電の国際リユースと関連し、韓国では輸出入申告制度の施行状況が大きく影響を与えると考えられる。

申告対象廃棄物を輸出する者は、輸出価格がFOB（Free on Board）で記載されている輸出契約書または注文書のコピー、輸出廃棄物の運搬計画書、そして廃管法により認定されている試験・分析機関が発行する輸出廃棄物の分析結果書を、廃棄物が発生した地域を管轄する地方環境庁長に申告しなければならない。変更が発生した場合には、変更がわかる書類の提出が求められる。輸出廃棄物の量に変更がある場合には、一定の条件（指定廃棄物は30%以上、その他の廃棄物は50%以上増加）のもとで認められる。

一方、廃棄物を輸入する者は、輸入価格がCIF（Cost、Insurance and Freight）で記載されている輸入契約書または注文書のコピー、輸入廃棄物の運搬計画書、輸入廃棄物の処理計画書、輸入廃棄物の分析結果書を、廃棄物の処理施設が設置された地域を管轄する地方環境庁長に提出しなければならない。輸入された廃棄物を処理せずに、そのままの状態で再輸出することは禁止されている。

輸入された申告対象廃棄物は、事業場廃棄物に関する基準および方法に従い、運搬、保管および処理される。運搬および処理に関する引受・引継に関する内容は、事業場廃棄物のマニフェストシステムへ入力しなければならない。

申告制度の実効性を高めるために、罰則規定と課徴金規定も設けられている。輸入された申告対象廃棄物を埋立処理する者とそのまま輸出する者には、3年以下の懲役または2000万ウォン以下の罰則が科される。また、申告対象廃棄物の運搬・保管および処理の過程で周辺環境を汚染した者には、2年以下の懲役または1000万ウォン以下の罰金が科されることとなっている。

申告制度は、あくまで許可制度ではないため、廃棄物の輸出入を停止または禁止するなど、廃棄物の輸出入を直接的にコントロールすることはできない。ただ、廃棄物の運搬計画と成分に関する書類の提出義務と輸入後マニフェストシステムによる管理は、輸出入廃棄物の適正処理の確保という面では、一定の役割を果たすことが期待される。しかし、中古品と申告対象廃棄物とを区別する基準が明確ではないため、手続き費用が必要とされる申告対象廃棄物が中古品として偽って輸入される可能性は依然として残っていると考えられる。

2008年後半から2009年11月までの状況では、輸出は毎月1件程度が、輸入は2009年の場合毎月4件程度が申告されている。使用済み電気・電子機器類のうち基板（中国）と廃合成高分子化合物（中国）が主に輸出されおり、石炭灰（日本）と自動車廃触媒（アメリカとコロンビア）が多く輸入されている。

2)　中古家電の輸出入規制

韓国では、2003年から拡大生産者責任を盛り込んだ「改正再活用法」により、使用

済み製品および包装材の管理が図られており、使用済み電気・電子機器も対象品目のひとつとして位置づけられている。その後2008年には、それぞれ「廃自動車管理法」と「改正再活用法」により管理されていた廃車と使用済み電気・電子機器が、製品という共通点から資循法に統合され、同法の下に管理が行われている。この資循法に基づいて、電気・電子機器の製造業者および輸入業者は、「再活用義務比率」により算出される「再活用義務量」を達成しなければならない。「再活用義務比率」は、環境部長官によって毎年告知される指標である。実際、生産者責任機構として「電子産業環境協会」（以下、協会）が設立され、この機関を中心に再活用義務が果たされている。

一方、資循法では再活用義務量を達成する方法のひとつとして、再使用および再活用を目的とした輸出が規定されている。資循法は中古家電を直接的には規制していないが、中古家電の輸出は、製造業者の再活用義務遂行との関連で間接的に規制が行われている。つまり、中古家電の越境移動と資循法という国内制度が連携しているといえる。

規制内容については、環境部の2003年告示により、再使用を目的とした中古パソコンCRTモニタの輸出が、製造業者の再活用実績として認定されたことが挙げられる。このような例外規定が設けられた背景としては、2003年頃には中古品輸出業者によって、有償買取に基づいた中古パソコンCRTモニタの輸出が活発に行われていたことや、製造業者による無料回収のみでは再活用義務量を達成するのが容易ではなかったことが挙げられる。そこで、製造業者側の要求により再使用を目的とした中古パソコンCRTモニタの輸出が、再活用実績として認定されるようになった。2009年現在でも、製造業者は中古パソコンCRTモニタを直接回収するよりも、中古パソコンCRTモニタ輸出業者と連携を図り、実績を買い取るかたちで製造業者の再活用責任を遂行している。製造業者は、輸出業者に一定の「委託処理費」を支払っており、これが中古パソコンCRTモニタの輸出を促進している。しかし、輸出された中古パソコンCRTモニタが再使用されるか、解体処理され有価物のみが回収され、その後不適正処理に回されるか否かをモニタリングする仕組みはいまだ構築されていない。

さらに、2006年の告示では、上記の再使用に関する例外規定に加えて、再活用まで含む大幅な告知の改正が行われた。これにより、すべての対象品目（冷蔵庫、テレビ、洗濯機、エアコン、パソコン類、オーディオ機器、携帯電話、プリンタ、コピー機、ファックスなどの10品目）に対しても、輸出先における再活用を条件とした輸出も製造業者の再活用実績として認定されるようになった。ただし、この場合は「輸出許可書」に加え、韓国における「再活用証明書」に相当すると相手国が認可したことを示した書類も共に提出しなければならない。告示改正の背景としては、義務再活用量を円滑に達成するための製造業者の要求というより、製造業者の責任を拡大する方法としての輸出の認定という環境NGOの意見が強く影響を与えたといわれている。なお2009年現在までに、海外での適正再活用を条件とした輸出による再活用義務量の達成は報告されていない。

製造業者のモニタリング下で行われる中古家電の輸出との関連で、最近の政策変化としては、第１に、環境部告知により、2012年を目途にした長期再活用目標が公表された。特に、個人用パソコンに関しては、高い中期目標が設定されるにつれ、協会は従来どおりに輸出業者から買取量を増やす方法で再活用義務量を達成する可能性がもっとも

高い。これは製造業者のモニタリング下で、輸出業者による中古パソコンの輸出が促進されることを示している。また、他の品目に対しては、中古品としてではないが、再活用を目的とした輸出が増加する可能性は指摘できる。なぜなら、無料回収のみでは長期目標を達成することはほぼ不可能であり、自治体との連携で回収量を増やすことにも相当の費用が発生するためである。そのため、今後製造業者が再活用を目的とした使用済み電気・電子機器の輸出に積極的に取り組む可能性は高いと考えられる。

第２に、2008年から電気・電子機器の再活用実績の認定が品目基準から製品群へ変更されたことが挙げられる。再活用実績は、従来の10品目から5製品群ごとに管理されるようになり、同一製品群では、超過達成した品目の再活用実績を未達成の品目の再活用実績としてカウントすることができる。その限度は未達成品目の再活用義務量の20%以内に限って認められるものの、この規定も中古品としての個人用パソコンCRTモニタの輸出を促進する要因として働く可能性が高い。

現在、テレビは国内リサイクルにより、個人用パソコンCRTモニタは再使用を目的とした輸出により、製造業者の再活用義務が遂行されている。この現状下で、徐々に増加する「オーディオ・ビデオ応用機器群」に対する再活用義務量を達成する方法は、テレビの国内リサイクルを増やすことと、再使用向けに個人用パソコンCRTモニタの輸出増大を図ることが挙げられる。しかし、製造業者による最近のテレビ再活用量はほぼ横ばい状態であり、新しい長期目標を達成することは容易ではない。一方、個人用パソコンの場合は、輸出業者との契約により、高く設定された再活用義務量の達成に迅速に対応できる。結果的に、「オーディオ・ビデオ応用機器群」に課された再活用義務量の多くは、個人用パソコンCRTモニタの中古品としての輸出で賄われると予想される。

3)　韓国の方向性

韓国は有害廃棄物の貿易に対し、バーゼル条約に基づいた国内実施法を速やかに制定し、それに基づき、リストを中心に管理を図ってきた。そして中古家電の貿易に対しては、資循法に基づいて、パソコンCRTモニタの輸出を製造業者の再活用義務の遂行方法として位置づける方法で対応している。そして、有害廃棄物ではないものの、越境移動する廃棄物に対しては、廃棄物申告制度による申告を義務づけるなど、中古品を除き越境移動するすべての廃棄物に対し管理が強化されてきている。韓国では越境移動廃棄物の適正処理および中古家電の国際リユースに対して、かなり積極的な取組が講じられていると評価できる。しかし、このような制度的な仕組みと実際の施行状況の間には、依然として多様な形態のギャップが存在していることも同時に指摘できる。

始めに、有害廃棄物の貿易規制において、廃管法および国移法における有害廃棄物分類や取扱と、輸出入廃棄物の管理方式には統一性が確保されていない。輸出入の際、許可が必要な86種の廃棄物にはHSコードが指定されていないため、税関の段階では有害廃棄物の輸出入管理が容易ではない。また、許可対象廃棄物86種のうち、廃管法上の指定廃棄物11種に含まれていない廃棄物に対する管理可能な仕組みが構築されていない。

次に、中古家電の輸出規制に関しては、資循法に基づいて、製造業者のモニタリング下で使用済み電気・電子機器が輸出される場合でも、輸出先における再生資源の適正使用を損なう可能性がある。中古家電の判断基準が明確ではないため、委託輸出業者によ

り電源の作動など任意の基準で中古品の判断が行われている。また、製造業者が行うモニタリングの範囲が使用済み電気・電子機器の輸出量全体の一部にしか及んでいないことも問題である。さらに、中古家電として輸出されたとしても、輸入国で中古品としての利用を確認する仕組みが設けられていない。

有害廃棄物の貿易規制と中古家電の貿易規制における共通の課題として、許可対象廃棄物および中古品であるか否かの判断が、輸出入業者に基本的に一任されていることが挙げられる。実効性のある事前相談の強化と中古品に対する明確な基準など、判断段階での取組をより充実する必要がある。

4.3.4 台湾

1) 台湾の状況

台湾では、急速な産業発展における資源需要を満たすために、特に金属スクラップが大量に輸入されるようになった。しかしそれらは適性とは言い難い方法で処理されていたことから、その処理過程に由来する大気汚染、水質汚濁、土壌汚染などの環境負荷が引き起こされた。このため、まず金属スクラップの輸入を制限および禁止するようになった。さらに、工業化の進展により、排出される廃棄物が量的に増加し、質的にも多様化したが、処理施設や処理技術は後れをとっていたことに由来して、廃棄物の行き場がなく不法投棄が多発したことが、さらなる汚染の原因となっていた。

このため、その有用性にかかわらず、金属スクラップを中心とした再生資源の輸入を段階的に制限し、最終的には輸入自体を禁じることによって、台湾内の資源需要よりも環境負荷の低減を優先しようとした時期もあった。ただし、動脈産業から排出される廃棄物に由来する環境汚染は改善されず、台湾内での不法投棄も深刻化していた。

対策として台湾では、廃棄物を排出者の責任で適正処理するしくみを整備しつつあったが、台湾プラスチック事件が発覚したため、2000年頃からは、自国独自ではなく、世界的な動向も踏まえたうえでの有害事業廃棄物の基準や輸出入の管理規制を整備し、多くの再生資源の輸入を禁止した。しかしそれでは、台湾の急速な産業発展に必要な資源需要を満たすことができないという判断から、先進的なリサイクル産業の発達と技術育成に注力するとともに、2005年以降、リサイクル技術が構築されたものについては、廃棄物の資源としての有用性に鑑みた方策に転換している。こうして近年では、台湾内でリサイクルする技術があるものは積極的に輸入して再生原料として活用し、技術がないものは適正なルートで輸出して処理を依頼する方針になっている。

しかし、有害廃棄物等の不適正な移動を防ぎ適正な国際資源循環を進めるためには、現状では、批准の有無にかかわらず、基本的にバーゼル条約という枠組みに頼らざるをえない。そして台湾のように批准できないにもかかわらず、批准国との取引が多い場合には、現状では、自らの規制を批准国の規制に準じたものにするとともに、各国と協定を結ぶほかに方策がない。

そこで台湾では、国際的な動向に鑑みつつ、かつ台湾内での資源需要を満たすために、有害事業廃棄物の基準や廃棄物輸出入に関する規制等を全面改定するとともに、その後も度重なる改訂を続けている。台湾内でもリサイクル技術が進展し、かつて先進国に処理を依頼するために輸出していたものを輸出する必要がなくなったことや、むしろ処理

技術がない途上国から廃棄物を受け入れることも可能となっているため、有害とみなされて輸入を禁止される品目は、たびたび改定されている。

ただし台湾にとっての課題は、国際枠組みに署名できないことである。有害事業廃棄物を適正に輸出入するためには、台湾と相手国との民間協定に頼るほかなく、また、整備された国内法（「台湾版バーゼル法」、「有害事業廃棄物認定基準」、それらに関連する各種公告や規則など）は、相手国に強要することができず、協定に基づいて協力を要請するしかない。国対国としての協定は締結できないため、形式上は、台湾も相手国も、民間組織を通じて協定等を締結するほかなく、法的拘束力がない。また、近年台湾のリサイクル企業は、台湾から中国への有害廃棄物輸出を行ったり、自ら中国に移転して台湾から廃棄物を輸入するなど、中国を目指した事業開拓を進めている。しかし、有害廃棄物に関して民間協定を締結しているのは、日本との間に限られており、台湾に処理技術がないために有害廃棄物を輸出している他の諸国との協定は締結していないため、その都度の取引に頼るしかない不安定な状況である。相手国の制度に左右されてしまう可能性や、取引を打ち切られた際には有害廃棄物の処分に困る可能性もある。

2) 台湾の方向性

このような状況の中で台湾が安定するための課題は、外国に頼らずに自国で発生した廃棄物は自国で処理できるよう、リサイクル技術を開発することと考えている。一方、現実的には、国土が狭く、産業に従事する人口も限られる台湾では、あらゆる有害廃棄物のリサイクル技術を開発するよりも、得意な部分での技術開発に尽力し、他の部分はそれが得意な国に任せたほうがよい、という見方もある。ただしそれは、国際資源循環が滞らないことを前提として、という条件が必要になる。台湾の方策は、現段階では適正な国際資源循環を行うための唯一の世界的な枠組みであるバーゼル条約を批准できないことをカバーするためにも、他の批准国同様に自国の制度をバーゼル条約に近いものに整備しておくことと、安定性を確保するための民間協定を締結する、という方策なのである。今後、台湾が他国の制度変更に左右され、有害廃棄物の処分に困る状況に陥らないで済む方策が期待される。

4.3.5 アジア版WEEEについて

アジア各国は、独自の貿易規制やEPRの制度設計、さらには公害規制等行っている。国際リユースの問題に対処するための施策について、貿易規制での対応、輸出国のEPR制度で対応、輸入国でのEPR制度での対応、公害規制での対応の4つに分けて、各国独自にどのような対応ができるかをまとめる。

1) 貿易規制での対応

中古品の名目でリサイクルに回されるものや、すぐに廃棄されるようなもの、また、使用段階での環境負荷が大きい中古品の貿易を抑制するため、各国では、さまざまな貿易規制で対応を行おうとしている。

輸入中古品に対して、新品と同様の基準を満たすことを輸入条件としている場合もある。このような措置も、古い中古品の輸入を抑制する効果が高いと考えられる。基準の設け方によっては、実質的に中古品の輸入禁止に近い措置になると考えられる。

中古品の輸入に関して、事前通告を求め、政府の同意を条件としている国もある。フ

ィリピンでは、中古電気製品を有害廃棄物と同様に、事前通告・同意の対象としている。

すべての中古車や中古家電の輸入を禁止する措置が一番厳しい措置である。禁止対象を一定の製造年より古いもののみに適用し、最近製造されたものについては、輸入を許可しているケースもある。自動車ではインドが製造後3年以内、ケニアが8年以内のものを輸入できるとしている。家電では、タイがコピー機は5年、それ以外の電気製品は3年以内に製造したものであれば、輸入できることとなっている。マレーシアも3年以内の電気製品に輸入を限定している。

製造年に応じて関税の額を変える、あるいは製造年が古いものには特別税をかけるという方法もある。モンゴルでは、中古自動車の輸入に関して、車齢の古いほど輸入税がかかる仕組みとなっている。バングラデシュやタンザニア、スリランカなどのように、中古自動車の輸入について、輸出国での輸出前検査を求めている国もある。

輸出国でも、対策が取られている。質の低い使用済み製品の輸出を抑制する方法として、輸出時に中古製品の品質を検査するという制度を作るということも考えられる。中古自動車については、日本では1971年から1995年まで「輸出中古自動車検査基準適合証」を交付されたもののみが輸出できることを主な内容とする「輸出車検制度」が施行されていた。この制度の背景には、品質の劣る中古自動車の輸出増大で、タイやシンガポールが日本製中古自動車の輸入を禁止したことと、輸出商品としての中古自動車の品質維持が必要となったことがあった。輸入国側からの輸出前検査の義務づけにつながる制度であった。

家電についても、日本では、製造年から15年以内と通電確認などを含む中古CRTテレビの輸出入の基準が2009年に環境省より発表されている。輸出に関する事前相談で通電検査の結果、梱包に関する写真などの提出が求められている。

2) 輸出国のEPR制度内での対応

リサイクル制度の設計の仕方によっては、使用済み製品の輸出を抑制する政策手段を用意しておくことも可能である。韓国のリサイクル制度設計では、パソコン・モニターの輸出については、生産者が回収・リサイクルを行う義務を満たす行為と判断されているが、中古品輸出の義務を果たすことと認めないことで、国内でのリサイクルを促進できる。また、中古品の輸出は生産者責任を果たしたとみなさないという前提のもと、生産者が回収しリサイクルを行わなければならない量を高く設定することで、比較的、価格の低い中古品の製造業者による回収および再活用を促すことができる。台湾の基管会制度では、製造業者による基金納入額を増加させ、使用済み製品のリサイクルへの補助金を増額させることで、中古品が輸出に回されることを抑制することができる。

3) 輸入国のEPR制度内での対応

中古品の輸入を行っている発展途上国で、EPRに基づくリサイクル制度を構築しているところはない。それぞれの輸入者に物理的責任を負わせるためには、輸入者に対して販売する製品に物理的責任をだれが負うのかを表示させる必要がある。ただし、零細な輸入者が、倒産、廃業する場合も少なくないと考えられ、物理的責任を負わせるのも難しいと思われる。

零細な中古輸入業者が多い場合、経済的責任についても、廃棄時に生産者・輸入者の責任でリサイクル費用を徴収することは難しい。輸入時あるいは出荷時にリサイクル料

金を輸入者・生産者に負担させる仕組みが、現実的な制度設計となると思われる。集めたリサイクル料金で基金をつくり、リサイクル業者の補助に回す仕組みであるが、その場合でも、密輸品の量が大きければ、リサイクル費用を十分に徴収することができない可能性がある。密輸品の取締を行うことが、輸入者に費用負担させる前提条件となると考えられる。

4) 公害規制での対応

リサイクルの過程での汚染については、輸入国での公害規制で対応することが、市場に歪みをもたらさない政策と考えられる。実際に、家電製品や自動車のリサイクルの段階での汚染の発生に対して、公害規制を適用したり、公害規制に対応できない施設を閉鎖させたりするなどの措置が取られてきている。たとえば、E-wasteが世界中から集まっている中国の広東省の貴嶼鎮でも、小規模の酸を使った金属回収施設を地元政府が破壊したりしている。ただ、農家の庭先で行われるリサイクルなど、汚染を引き起こす作業の場所を特定することが難しい場合も少なくない。適切にリサイクルできると考えられる業者の要件を定め、ライセンスを付与し、排出者にもライセンス業者への使用済み製品の引き渡しを義務づけるといった政策も必要である。

5) 国際的な対応の必要性

国際リユースには、輸入国の消費者にとって低価格で製品を使用できるというメリットがある。中古パソコンでインターネットにアクセスし市場情報を得る、中古トラックで商品の輸送手段を確保するなどの所得の向上につながる要素もある。環境面でも、パソコンなどは、製造段階での環境負荷が大きく、製品の長期使用によって、環境負荷を低減できる。中古品の越境移動を全面的に禁止するのは望ましくない。

また、さまざまな政策を適切に実施すれば、国際リユースに伴う負の側面を抑えることができると考えられる。輸出国、輸入国双方でEPRの制度が導入されている状況では、輸出国と輸入国の双方から二重の負担を課せられないように「輸出前に金銭的負担を負っている場合には、輸出時に負担を解除すること」が求められる。

しかしながら、現在の発展途上国のガバナンス能力に照らすと、輸入規制、公害規制のどちらも、十分に機能していない国が多い。また、密輸中古品、中古品を基に製造された模造品などもあり、生産者が特定できない商品が少なくなく、EPRを適用したリサイクル制度を作ったとしても十分に機能しない可能性がある。

さらに、フェードアウトしていく物質に関する処理コストを最後に廃棄する者、特に、廃棄される処理能力の乏しい中、低所得国で負担させるという形で、結果的に、不適切なリサイクルや処理につながるのは問題と考えられる。すでに、中古品の輸出国による資金負担を求める意見は、国際会議での発言等でも散見される。

環境コストの負担ルールのあり方として、支払い能力に応じて負担を行うという応能原理、享受する便益に応じて負担を行うという応益原理、問題の費用の発生原因を作り出した原因者に、その原因に応じて費用負担を求めるという応因原理などの考え方がある。これらの原理を当て嵌めると、新品のユーザーが何らかの高い負担を行うことが求められる。新品のユーザーは、所得が高く、支払い能力も、中古品のユーザーより高いと考えられる。応能原理から考えると、新品のユーザーが、中古品のユーザーよりも高い負担を行うことが求められる。また、新品での利用の効用が、中古品の利用の効用よ

りも高いとみなせるので、新品のユーザーが中古品のユーザーよりも負担を行うことは、応益原理に沿ったものといえる。新品のユーザーが購入しなければ、その製品を廃棄する必要は生まれないと考えられることから、応因原理からも新品のユーザーによる費用負担が求められることになる。したがって、中古品の輸出国は、中古品として利用された後のリサイクルに関して、何らかの資金負担を行う責任があると考えられる。

しかし、個別製品のライフサイクル全体を管理し、最終的なリサイクルが行われる所で、適切なリサイクルができるように資金を配分するといった仕組みは、モニタリングコストも高く、難しい。輸出国、輸入国ともにリサイクル基金を作り、中古品の輸出先にリサイクル費用を移転するといった考え方もあるが、輸出先が中継地でしかない場合や携帯品として越境移動、密輸が行われるといった場合には、資金移転が容易ではない。輸出国で集めたリサイクルの基金を、輸入国側の対応策を途上国が実施できるように、政府のガバナンス力の向上、政策形成に対する支援などにあて、また、フェードアウトする物質の適正処理にあてるべきである。

6) WEEEの可能性

中古品貿易が拡大していくなか、国際リユースに伴う問題点をどのようにコントロールしていくかについて、EPRを適用したリサイクルの制度および中古品貿易規制のあり方を考えると、中古品を輸入している発展途上国の貿易規制やその他の規制能力を踏まえると、国際リユースに伴う問題を各国任せにしておくと、所得の低い地域で最終的に廃棄する際に環境汚染などの問題を引き起こしかねない。

一方、中古品輸出により、輸出国は、その製品の廃棄、リサイクルのコスト負担を免れている。輸出国国内で廃棄する場合と同様、中古で輸出される場合にも、何らかの形でリサイクル費用を集め、中・低所得国でのリサイクル制度の構築、フェードアウトされる物質の処理などの費用にあてることが、世界全体の家電製品や自動車由来の汚染物質の拡散、環境負荷の増大を抑えるために、望ましいと考えられる。新たな国際的な枠組みを検討することで、アジア版WEEEの形が見えてくる。

第５章　まとめ

5.1　アジア圏における資源循環システム構築の課題

本報告では、これまで第3WG で調査してきたアジア各国の状況および前章の調査結果を踏まえ、アジア圏において有効と考えられる国際資源循環システムのあり方についての検討を行った。

最近の資源循環に関する国際的な背景として、資源循環システムにおいて重要な役割が期待されているのは、リサイクルや廃棄物業者よりもEPRの概念に代表されるように電気・電子や自動車などの製品製造事業者であった。これは、製品中の物質について、その有害性や再資源可能性についての情報を把握可能であり、製品の使用中や使用後において人および環境への汚染を最小限にでき得る立場であること、またその責任を有すると位置付けられるためである。本報告でも、実際にEUにおいてこのEPRに基づいた各種法規制が制定されたことで、世界中の製造事業者に大きな影響を与えていることに触れているが、これらの法規制は、有効な資源循環を目的として施行されたのではなく、製品に含有される有害化学物質管理の強化、すなわち汚染性の最小化が主目的であった。これは当時の世界的な環境問題の関心が、資源の再利用よりも有害化学物質対策に重きを置かれていたためであった。逆にいえば、現行のEUのEPR関連施策は、必ずしも資源循環において有効なものではないとも考えられる。

一方で、これまで第3WGにて調査してきた結果より、アジア圏においての資源循環の特徴として、リユースやリペアが主体のカスケード型社会であることが分かった。これはかつての我が国と同様であり、貧しい中でも新しい技術や機能を利用するための有効な手段である。

発展途上国が多いアジア圏においては、所得に対して非常に高価といえる電気・電子製品であるが、近年の各国の経済成長に伴い普及率は上昇傾向にある。しかし、高価な新品を購入できる世帯はごくわずかであるため、多くの場合は、各国内や、我が国などの先進諸国から輸入された中古製品が利用されている。これらの中古製品は、故障や機能障害などがあっても多少の修理を施され再販されている。東南アジア地域などでは、この修理業者が多数存在し、修理に必要な部品の流通も盛んであるため、大抵の製品であれば最低限の機能を回復し、流通させてしまう。中には修理不可能になった製品もあるが、これは分解され、部品市場に流されリペア市場を支えている。結果的に、リユース、リペアが主体の巨大な再販市場が成立しているのが現状である。これは一見すると環境的には最も負荷が少ない経済システムとも考えられるが、実はいくつかの問題があることもこれまでの調査から分かった。

一つは、最終的な廃棄物の適正処理の問題である。カスケード型の経済システムにより無駄が最小限まで削減されているとはいえ、再利用には限界があり、特に工業製品である電気・電子製品に使用されている部品には有害物質が含まれている可能性があるため、最終的には有害廃棄物としての適正処理が必要になる。しかし、アジア圏の中には政府レベルでもその存在を重要視しておらず、対策の必要性を認識していない例もあった。現状では大きな影響が発生するだけの量がないことも考えられるが、後述する経済成長に伴う需

要の変化による新たな弊害も想定されることから、今の段階から対応策の検討は不可欠であるといえる。

二つ目は、再販製品の品質や安全性の保証の問題である。前述した修理業者はほとんどの場合製品メーカーとは無関係な技術者であり、修理・販売した製品の動作や安全性を保証することはない。さらに市場そのものに再販製品に対して保証するという概念もルールもないため、現状で製品メーカーが自ら中古製品の保証をすることは考えられない。それ以前に、再販されている製品の中には、パッケージと内蔵部品の違う製品を組み合わせたもの、何度も再販されたものや、模造品まで流通しており、メーカーが把握できる責任範囲を逸脱しているのが実情であり、現実的に品質管理は不可能である。これは、EPRの適用範囲に直結する問題でもあり、特に慎重な検討が必要である。

そして、アジア圏での資源循環システムを検討する上で懸念される三つ目の問題として、これからのアジア地域の経済発展による価値観の変化が考えられる。現状、ほとんどのアジア諸国がカスケード型のリユース、リペア市場であることを述べたが、かつての我が国がそうであったように、今後各国の経済発展により所得が増えることで、より高付加価値な製品、中古品から新品へと国民志向が変化することが想定される。その場合、リユース、リペア市場が縮小し、現在の我が国のようなリサイクル社会へと円滑な移行が必要になると考えられ、アジア圏における国際資源循環システムを検討する上では、この点の考慮も重要になってくる。

今後、各国の経済成長と、同時に懸念が広がる環境対応を踏まえ、省エネ製品や環境対応型自動車など、我が国の戦略的製品の市場機会が増加することが予想される中、現在有害物質の適正処理を発端としたアジア圏での国際資源循環システムについての検討が始まっている。このアジア地域の国際資源循環システム構築において、EU型のEPRを前提とした規制が実施された場合、我が国の戦略的製品の輸出に際し、環境対応の名目で大きな足かせが課されることが懸念される。具体的には、メーカーは最終処分までの製品ライフサイクルを見届け、その費用と管理責任の負担が求められることになるが、これは前述したように現状のリユース、リペア社会のアジア圏においては実質的に実現不可能である。EUにおいてのEPRは、このようなカスケード型の製品ライフサイクルではなく、先進諸国の消費型を想定したものだったが、この点を考慮されずにEU型のEPRをモデルにアジア地域での国際資源循環システムを検討することは、結果的に円滑な運用がされない危険がある上に、実現困難な規制を実施することで、これまで以上にインフォーマルな流通が活発化することが予想され、結果的には環境負荷低減の実現も困難になると考えられる。

5.2 マテリアル・スチュワードシップの提言

上記のような各種課題に対し、今回アジア圏の特徴に即した国際資源循環システムを検討し、製品のライフサイクル全体に渡る資源循環の再利用を実施するための仕組み作りの基本的概念として「マテリアル・スチュワードシップ」の実現を提言する。元々のマテリアル・スチュワードシップの概念は、前述したように鉱業界において提唱されたものであるが、本論文では、これを広義に解釈し、さらにEUのEPR、アメリカのプロダクツ・スチュワードシップの各概念を調査することで、アジア圏での適用を前提とした新たな概念として検討したものである。**図5.2-1**から**図5.2-3**にその概念図を示す。

ＥＵ型ＥＰＲ

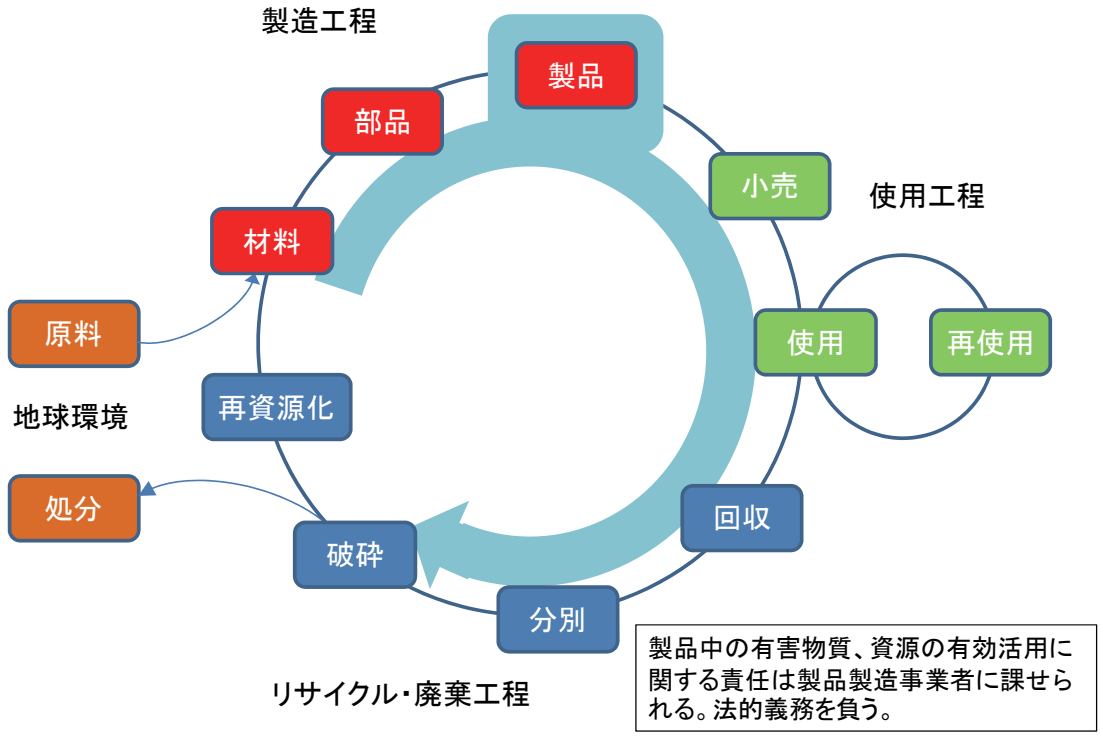


図5.2-1　EU型EPR

アメリカのプロダクツ・スチュワードシップ

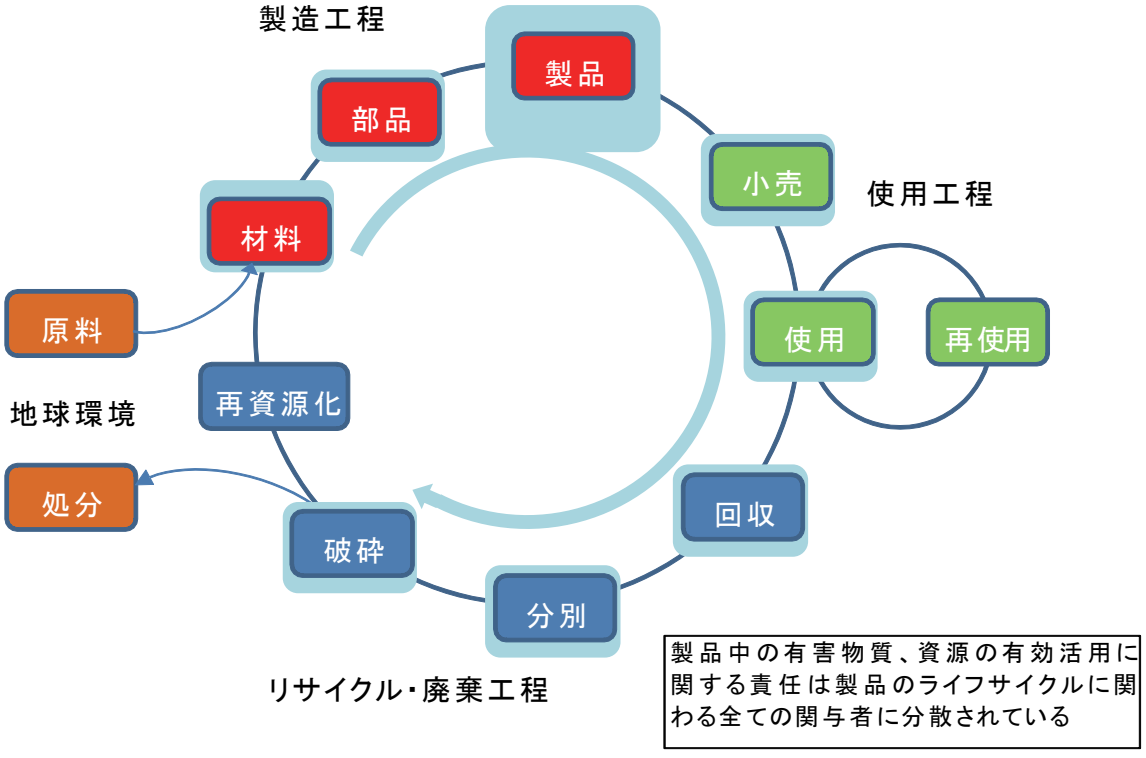


図5.2-2　アメリカ型プロダクツ・スチュワードシップ

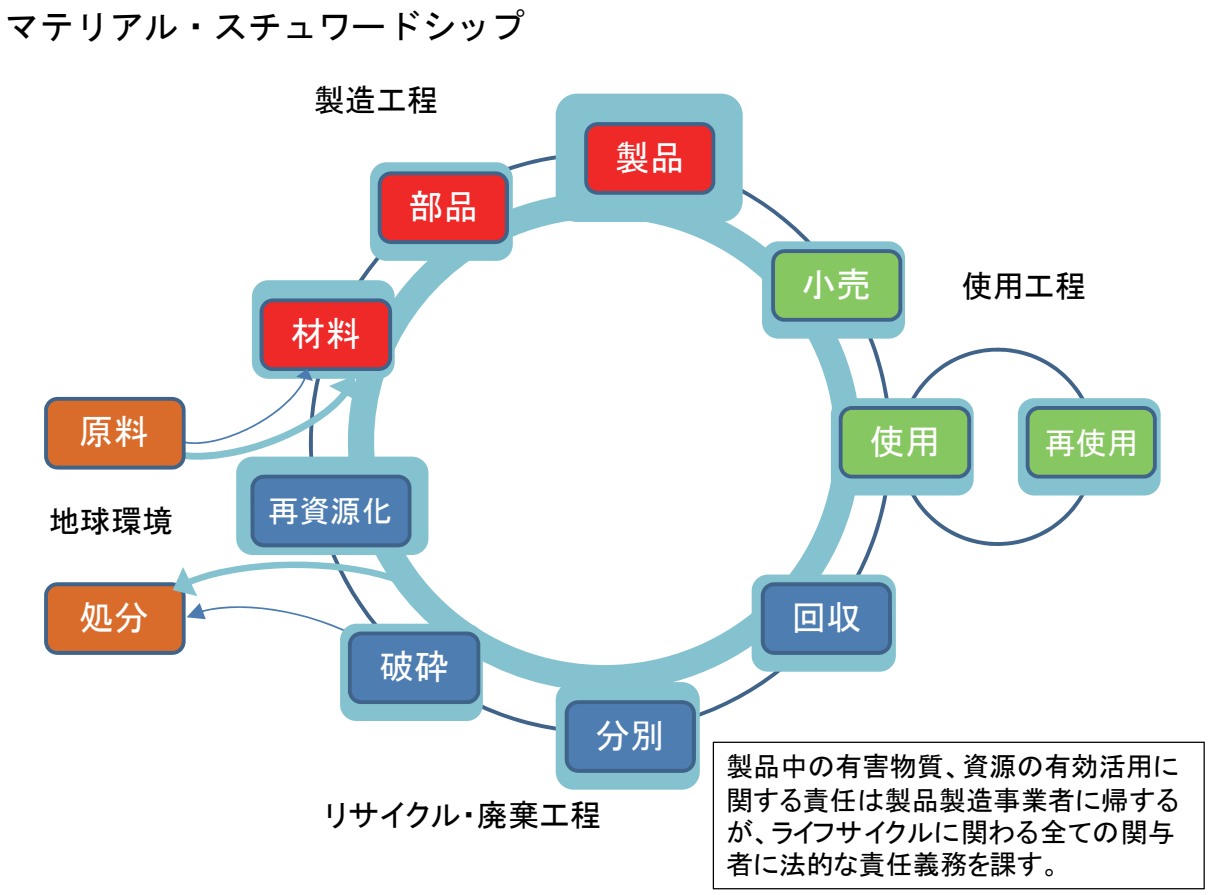


図5.2-3　マテリアル・スチュワードシップ

本概念の特徴として次の２点が挙げられる。一つは資源循環における管理責任を、EPRのような製造者のみでなく、製品のライフサイクルの全工程に関わるステークホルダーに割り振って考えることである。製品として流通する資源の回収については、これまで通り再資源化業者がリサイクルスキームの中で再資源化工程での環境負荷の低減など重要な役割を担うことになるのはもちろんだが、同時に、流通業者や資源回収業者、さらには使用者まで含め、製品ライフサイクル全てに関わる者にも各々の立場での責任が発生するものという考え方が基本になっている。これはアメリカのプロダクツ・スチュワードシップの概念に近いが、各々の果たすべき責任事項を定義することで、製品ライフサイクル全工程での管理責任のバトンタッチを円滑に行うことを目的としている。

もう一つの特徴は、製品のライフサイクルの各工程における管理責任の所在を、販売形態によりモデル化することである。EPRやプロダクツ・スチュワードシップでは、製品ごとの販売形態による管理責任は分けていないが、例えば家電などの売り切り製品と、コピー機や建設機械などのレンタル、リース品では、その管理範囲に明確な違いがあり、一様なシステム化では把握は困難である。工程に参加するステークホルダーは、市場規模が大きくなるに従い増加することが考えられるが、その数は多いほど、さらにその果たすべき責任事項の負担が大きいほど、管理責任の円滑な受け渡しが滞るリスクも増大する。こ

れは製品の特性にもよるため、最終的には製品の市場投入に際し、この相反するといえる市場機会の拡大と、管理責任の遂行リスクの双方を事前に考慮し、自社の事情に適したモデルを製造事業者が選択することになる。

すなわちライフサイクルの各工程においての責任は、その工程における各ステークホルダーの責任になるが、製品を市場投入する際にどの販売形態かを選択するかにより、製品のライフサイクルモデルと、ステークホルダーおよびその責任範囲が決まることになり、その点で最終的に資源の管理責任はモデルの選択者である製造者に帰することになる。

5.3 今後の検討事項

今年度は、これまで調査してきた情報をまとめることで、アジア圏における資源循環システムの特徴を整理し、さらに現状世界的に認識されている資源循環に関わる概念を整理した。さらに、これらの情報を踏まえ、アジア圏に即した資源循環システムの概念を検討し、前述した「マテリアル・スチュワードシップ」のイメージを考察した。

来年度は、このイメージを具体化することを目的に、既存の製品販売形態を調査・分類・モデル化することで、マテリアル・スチュワードシップの概念をシステムイメージとして示したい。また、さらにシステムの運用に必要になると考えられる国際ルールと、必要不可欠になると考えられる情報基盤システムについても示していきたい。

参考文献

1．US Environmental Protection Agencyホームページ
2．National Center for Electronics Recycling ホームページ
3．ウィキペディア　“Extended Producer Responsibility“
4．National Cristina Foundation ホームページ
5．「国際リサイクルをめぐる制度変容」小島道一編：アジア経済研究所
6．ENAA　平成18年度、平成19年度「地球温暖化問題と廃棄物問題に対応した新エネルギー技術・リサイクル技術等関連エンジニアリングの動向と今後のあり方に関する調査報告書＜環境とリサイクル分野＞」
7．ENAA　平成20年度、平成21年度「エコ・ヒューマン・エンジニアリングに関する調査研究報告書＜循環型社会関連分野＞」

あとがき

２年間の調査研究の初年度にあたり、各WGともに現状調査に重点をおいた調査研究を実施し、現状把握と幾つかの課題を抽出することが出来た。

本年度の成果概要と次年度の計画は下記のとおりである。

①第１WG

家畜廃せつ物、下水汚泥、紙、食品廃棄物、農作物非食用部、建設発生木材、林地残材の７種類のバイオマスについて、賦存量、利用率、物質移動の現状等を把握し、利用率向上を阻むボトルネックを抽出した。次年度は、下水汚泥、食品廃棄物、林地残材に焦点をあて、利用率向上のシナリオ策定を検討する。

②第２WG

物流センサスデータをベースに静脈物流におけるCO_2排出量を算出し、また現地実態調査や講演会開催等により、CO_2削減における現状の課題や今後の対策、望まれる姿等について提案した。次年度は更に現地実態調査により現状分析を深め精査する。

③第３WG

アジア圏における資源循環システムの特徴と、アジア圏以外の地域で認識されている資源循環システムに関わる概念を整理し、アジア圏資源循環システムとしての、「マテリアル・スチュアートシップ」の概念を考察した。次年度は、既存の製品販売形態を調査・分類･モデル化することで「マテリアル・スチュアートシップ」の概念をシステムイメージとして示すことを検討する。

次年度は、今年度の成果を踏まえて更に掘り下げた形での課題の抽出や解決策の提案に加えて、循環型社会、低炭素社会構築に向けてエンジニアリング産業としてどのような形で貢献できるか、その役割についても考察したい。

本研究部会の今後の課題としては、本調査研究で取り上げた課題、提案等について、どのようにアクションし解決してゆくかである。昨年度の成果については、(独)国立環境研究所を訪問して意見交換をさせてもらいアドバイスを頂いたが、今後も出来る限り成果を外部に報告する場をもち、アドバイスを頂きながら更にブラッシュアップして今後の調査研究に生かしてゆきたい。

最後になりますが、施設見学、個別ヒアリング、講演会等で貴重なご意見、ご指導、アドバイスを頂いた関係者の方々に深く感謝いたします。

－環境とエネルギー分野－

平成 22 年度
低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業
技術戦略に関する調査研究報告書
- 環境とエネルギー分野 -

目　　次

エネルギー･環境研究部会名簿
まえがき …… 247

第Ⅳ部　バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定

第１章　目的と概要 …… 249

第２章　バイオコミュニティネットワーク構想 …… 250
2.1　炭素循環資源としての森林等バイオマスのポテンシャル …… 250
2.2　バイオマス資源の課題と解決方法 …… 250
2.3　バイオマス資源利用の具体的方法の提言 …… 252
2.3.1　バイオコミュニティネットワーク構想 …… 252
2.3.2　バイオコミュニティネットワークを実現するための考え方 …… 255

第３章　ボトルネック解消のための炭素還流 …… 257
3.1　輸送流通網 …… 257
3.1.1　木質バイオマス利用の現状 …… 257
3.1.2　収集拠点 …… 260
3.1.3　内航海運による輸送 …… 263
3.1.4　輸送流通網整備の必要性 …… 266
3.2　林業における運材の環境負荷低減 …… 266
3.2.1　運材の歴史－木曽を例にして …… 266
3.2.2　輸送モードと環境負荷 …… 269
3.2.3　環境負荷低減を志向した軌道系運材の可能性 …… 270

第４章　バイオマスによる炭素固定と炭素利用 …… 273
4.1　木材輸出による海外での炭素固定の是非 …… 273
4.1.1　木材輸出の可否と是非 …… 273
4.1.2　海外における炭素固定 …… 276
4.1.3　提案 …… 277
4.2　都市緑化と炭素固定 …… 278
4.2.1　都市緑化推進の現況 …… 278
4.2.2　都市緑化樹木によるCO_2 固定量 …… 281
4.2.3　提案 …… 284
4.3　炭素固定先進事例の現地調査 …… 284
4.3.1　木曽谷の営林概要 …… 285
4.3.2　炭素固定としての屋外資材利用 …… 286

4.4 炭素循環系としてのバイオリファイナリー …… 291
4.4.1 セルロース系原料バイオリファイナリーとは …… 292
4.4.2 セルロース系原料バイオリファイナリーの意義 …… 292
4.4.3 セルロース系原料バイオリファイナリーの実現性 …… 293
4.5 微細藻類 …… 294
4.5.1 概要 …… 294
4.5.2 歴史 …… 295
4.5.3 製品付加価値と生産コストの現況 …… 296
4.5.4 生産工程 …… 296
4.5.5 今後の取り組みに向けて …… 302

第５章 まとめ …… 303

参考文献･引用文献 …… 304

第Ⅴ部 非化石･省エネ･高効率化による低炭素エネルギーシステムの確立

第１章 目的と概要 …… 307

第２章 CO_2 削減に向けた取組み …… 310
2.1 日本のCO_2 排出量削減に向けた動向 …… 310
2.1.1 日本のCO_2 排出量の推移 …… 310
2.1.2 日本の各部門CO_2 排出量の割合 …… 311
2.1.3 CO_2 排出量削減に向けた諸対策 …… 312
2.2 日本のCO_2 排出量削減対策の見込みと課題 …… 313
2.2.1 民生部門の諸対策に対する見解 …… 313
2.2.2 産業部門、運輸部門の諸対策に対する見解 …… 314
2.2.3 転換部門の諸対策に対する見解 …… 314
2.2.4 今後の課題 …… 314

第３章 低温度差エネルギーの活用技術 …… 315
3.1 海洋温度差発電の原理 …… 316
3.2 海洋温度差発電の問題点 …… 317
3.3 海洋温度差発電の複合メリット …… 318
3.4 海洋温度差発電導入に向けて …… 318
3.4.1 淡水化 …… 319
3.4.2 低熱源回収技術利用 …… 319
3.4.3 深層水に溶存するリチウム等のレアメタル採取 …… 319
3.4.4 深層水を利用した水産養殖や漁場生成 …… 320
3.4.5 深層冷海水の冷熱源の利用 …… 320
3.4.6 海洋温度差発電はCO_2 排出量が少ない …… 321
3.4.7 EEZ内での海洋権益確保 …… 321
3.5 冷水取水管の敷設方法の提案 …… 321

3.6　今後に向けて …… 323

第４章　太陽熱の活用技術 …… 324
4.1　太陽熱利用を取り巻く現状 …… 324
4.2　太陽熱システム …… 324
4.2.1　CSPの方式 …… 326
4.2.2　CSPの適地 …… 328
4.3　将来展望 …… 329
4.3.1 海外の大型プロジェクト事例 …… 330
4.3.2 我が国の取り組み …… 331
4.4　今後の取り組みに向けて …… 331

第５章　家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望 …… 332
5.1　家庭部門におけるCO_2 排出量の現状 …… 332
5.1.1　家庭部門における主要なCO_2 排出要因の構成 …… 333
5.2　給湯市場におけるエコ機器の普及動向 …… 334
5.2.1　ガス給湯器「エコジョーズ」 …… 335
5.2.2　ガスコージェネレーションシステム「エコウィル」 …… 336
5.2.3　ヒートポンプ式電気給湯器「エコキュート」 …… 337
5.2.4　家庭用燃料電池コージェネレーションシステム「エネファーム」 …… 338
5.2.5　エコタイプ給湯機器４種比較 …… 338
5.3　エコ給湯器の普及状況とCO_2 削減効果の試算 …… 339
5.4　家庭部門におけるCO_2 削減策の今後の課題 …… 341

第６章　エネルギー利用の高効率化とエクセルギー視点 …… 342
6.1　エネルギーの高効率化とエクセルギー …… 343
6.2　エクセルギー概念の導入 …… 344
6.2.1　エクセルギーとは …… 344
6.2.2　エクセルギーを用いることの利点 …… 345
6.3　発電効率とエクセルギー …… 345
6.3.1　IGCCと発電効率 …… 345
6.3.2　エクセルギー再生型IGCC …… 346
6.4.　住宅の省エネルギーとエクセルギー …… 347
6.4.1　暖房とエクセルギー …… 347
6.4.2　照明とエクセルギー …… 348
6.5　今後へ向けて …… 349

第７章　低炭素エネルギー社会に向けたエネルギー転換方策 …… 351
7.1　温暖化の現状 …… 351
7.2　化石エネルギー資源と温暖化 …… 351
7.3　世界の持続可能性 …… 352
7.4 提案の骨子 …… 352
7.4.1　徐々に削減するには限界 …… 353
7.4.2　資源量、変化速度、必要時間 …… 354
7.4.3　一次エネルギー …… 355

7.4.4　一次エネルギー随伴のCO_2処理 …… 355
7.4.5　資源の観点 …… 356
7.4.6　実現させるためのポイント …… 356
7.4.7　主要な技術 …… 357
7.5　今後に向けて …… 357

第８章　地球温暖化対策とエネルギー構造転換の展望 …… 358
8.1　地球温暖化対策における国内外の動向と見通し …… 358
8.1.1　地球温暖化の進行と世界の状況 …… 358
8.1.2　我が国の温暖化対策の動きと今後の取り組み …… 359
8.1.3　次世代エネルギーの活用について …… 361
8.2　スマートグリッドと再生可能エネルギーの未知なる可能性 …… 362
8.2.1　スマートグリッド実証の目的 …… 362
8.2.2　再生可能エネルギーの導入ポテンシャル …… 363
8.2.3　電力送配電網の構造転換の方向性 …… 364
8.3　エネルギー供給の非化石燃料への転換シミュレーション …… 366
8.3.1　非化石燃料の絶対エネルギー必要量の算出 …… 366
8.3.2　絶対エネルギー必要量に対する再生可能エネルギーの比較 …… 368
8.3.3　我が国のCO_2 排出量を50%削減する為の対策案 …… 369
8.3.4　水素利用社会の普及･拡大について …… 371
第９章　まとめ …… 373

参考文献･引用文献 …… 376

第Ⅵ部　企業活動･気候変動による生物多様性消失と社会･経済の対応方策

第１章　目的と概要 …… 381
1.1　生物多様性損失の背景 …… 381
1.1.1　世界の生物多様性の問題 …… 381
1.1.2　我が国の生物多様性保全に関する法体系 …… 382
1.1.3　わが国の生物多様性の問題 …… 383
1.2　地球温暖化と生物多様性問題 …… 385
1.2.1　地球環境問題とは …… 385
1.2.2　地球温暖化とCO_2 問題 …… 385
1.2.3　ポスト京都議定書とIPCC第四次評価報告書 …… 386
1.2.4　地球環境問題と国際条約の経緯 …… 386
1.3　生物多様性問題（生物多様性の危機） …… 388
1.3.1　生物多様性とは …… 389
1.3.2　地球温暖化による生物多様性の危機 …… 389
1.3.3　温暖化が生態系に及ぼす影響と変化 …… 390
1.3.4　温暖化に対する生物の脆弱性 …… 390
1.4　生物多様性条約とCOP10（第10回締約国会議） …… 391
1.4.1　生物多様性条約発効後の流れ …… 391
1.4.2　生物多様性条約と締約国会議 …… 391

1.4.3　COP10の問題点（生態系保全と開発途上国問題） …… 391

第２章　生物多様性条約第10回国際会議の成果と今後の動き …… 393
2.1　COP10の成果 …… 393
2.1.1　COP10とは …… 393
2.1.2　現地視察 …… 393
2.1.3　COP10の主な議題とその成果 …… 395
2.2　企業に求められる取り組み …… 396
2.2.1　COP10の結果が及ぼす変化 …… 397
2.3　生物多様性と金融 …… 398
2.3.1　日本政策投資銀行の環境格付 …… 398
2.3.2　生物多様性株式投資 …… 399

第３章　これでいいのか？生物多様性 …… 400
3.1　違和感の正体 …… 400
3.2　アニマルパスウェイ …… 402
3.3　都会に住むミツバチ …… 403
3.4　里山保全運動 …… 403

第４章　企業と生物多様性 …… 405
4.1　各企業の生物多様性への取組み調査 …… 405
4.1.1　CSR環境報告書 調査結果 …… 406
4.1.2　各業界と企業の生物多様性への取り組み事例 …… 407
4.2　認証制度 …… 409

第５章　まとめ …… 411
5.1　「生物多様性保全」はビジネスチャンスになるか …… 411
5.2　生物多様性をビジネスへ展開するためには …… 412

参考文献･引用文献 …… 413

あとがき …… 415

平成22年度 「エネルギー・環境研究部会」委員名簿

部会長　　広松　　猛　　広島国際大学　　工学部　住環境ﾃﾞｻﾞｲﾝ学科　教授

副部会長　矢野　　歳和　　宮城大学　　食産業学部　環境システム学科　教授

第１WG　バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定

NO	職　務	氏　名	会社名	所属・役職
1	主 査	岡　辰哉	㈱IHI	プラントセクター　企画管理部 事業推進グループ 主査
2	副主査	小関　多賀美	三機工業㈱	技術開発本部　研究開発部 環境システムグループ
3	委 員	高橋　浩也	スチールプランテック㈱	技術開発センター　技術開発推進室 主任技師
4	委 員	吉田　耕治	金城学院大学	薬学部　非常勤助教
5	前委員	吉田　光徳	千代田化工建設㈱	ｴﾈﾙｷﾞｰ・環境ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ部　副主幹
6	新委員	安田　洋一	千代田化工建設㈱	ｴﾈﾙｷﾞｰ・環境ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ部　主任

第２WG　非化石・省エネ・高効率化による低炭素エネルギーシステムの確立

NO	職　務	氏　名	会社名	所属・役職
1	主 査	田中　貴雄	芝浦工業大学	工学部　機械工学第二学科　非常勤講師
2	副主査	中嶋　昇	千代田工商㈱	技術本部　技術部　電気計装グループ 担当部長
3	副主査	吉田　昌司	三井住友建設㈱	ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ本部　ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ推進部 ｿﾘｭｳｼｮﾝｸﾞﾙｰﾌﾟ課長
4	委 員	石井　祥章	住友重機械工業㈱	ｴﾈﾙｷﾞｰ環境事業部　ｴﾈﾙｷﾞｰﾌﾟﾗﾝﾄ技術部 技術ｸﾞﾙｰﾌﾟ　主任技師
5	委 員	岡　利博	飛島建設㈱	土木事業本部　機電部　課長
6	委 員	亀井　健治	川崎重工業㈱	技術開発本部　技術企画推進センター プロジェクト部
7	委 員	武市　征英	出光エンジニアリング㈱	技術部　主任部員
8	委 員	土屋　貴史	㈱大林組	技術研究所　環境技術研究部　研究員

第３WG　企業活動・気候変動による生物多様性消失と社会・経済の対応方策

NO	職　務	氏　名	会社名	所属・役職
1	主 査	田中　ゆう子	東亜建設工業㈱	技術研究開発ｾﾝﾀｰ　水圏・環境技術ｸﾞﾙｰﾌﾟ ｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ　主任研究員
2	副主査	無津呂　大輔	東急建設㈱	技術研究所 基盤技術開発部　構工法グループ
3	委 員	赤松　佑介	前田建設工業㈱	ﾃｸﾉﾛｼﾞｰｾﾝﾀｰ　技術研究所　環境技術ｸﾞﾙｰﾌﾟ 建設環境ﾁｰﾑ　主任研究員
4	委 員	菅原　玲子	㈱フジタ	技術センター環境研究部　主任
5	ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	道木　英之	㈱レック・アール・ディ	環境技術部　部長

事務局　　玉手　　文彦　エンジアリング振興協会　技術部　主幹

まえがき

2009年12月に開催されたCOP15（第15回機構変動枠組み条約締約国会議）では2013年以降（第一約束期間後）の地球温暖化対策の方向性を示す「コペンハーゲン合意を留意する」に留められた。それに続く2010年10月のCOP16のメキシコの「カンクン合意」でも、発展途上国の温暖化対策を支援する「グリーン気候基金」の設立などを盛り込んだが、期待された成果は見られず、2013年からの「ポスト京都」については、殆ど進展が望めない状況に至っている。「グリーン･ニューディール政策」を掲げる米国オバマ大統領、「環境大国」を標榜するＥＵ各国首脳、日本も民主党政権交代で鳩山政権の「1990年比25％削減宣言」、それを引き継いだ管政権も期待された程の成果には至っていない。

この原因には、2008年10月、米国発の先進国における「金融バブル崩壊：リーマン･ショック」と、それに伴う新興国の目覚しい経済発展の陰り、途上国における貧困脱却の停滞など、世界経済的な側面に負うところが大きい。つまり、米国民の旺盛な消費意欲の恩恵を得て、GDPで2桁成長を誇った中国をはじめ、先進国、新興国共に深刻な経済不況へと巻き込まれた形である。「ものづくり：技術」を標榜してきた我が国も当初はさほど影響はないと考えられてきたが、相対的リスク回避の思惑からの円高シフト、輸出の激減などの悪循環で、遂には「派遣切り」などという経済失速が昨今の重大ニュースまでになっている。つまり、各国首脳は「気候変動」よりも「経済危機」への対応に追われているのが現実であろう。

我が国は高度経済成長による公害問題を克服した貴重な経験を持つ。しかし、気候変動などの地球環境問題は単なる固有技術のみでは解決できないことは明白である。子孫に対する責務を負う我々にとっても、「経済大国」から「環境大国」への変身を標榜する我が国にとっても切実な事態であり、エネルギー対策などの喫緊の具現化が望まれる。

また、我が国の産業界に対しても生き残りを懸けた企業リスクヘッジと環境経営へのシフトは、大きなうねりとなって押し寄せてきている。つまり、従来のように固有技術（ハード･エンジニアリング） のみでの企業サバイバルは不可能であり、「京都メカニズム」などの市場経済システムの正しい理解と的確な資金調達･経営戦略などのソフト･エンジニアリング力の養成が不可欠の時代となっていることも強調したい。

周知のとおり地球環境問題は極めて多面的、広範囲であり、これらの問題への取組みには様々な切り口から検討、実施されてきている。しかるに、環境経済学分野では自然の持つ「環境機能」を、以下の４項目に定義されている。

（A）供給機能：石油･石炭、木材･鉱物、食料など、太古より我々人類に生存を保障するために自然が与える機能

（B）同化機能：廃棄物分解、樹木･海洋のCO_2吸収･固定など、自然が本来持つ浄化能力であり、長い年月をかければ回復できる機能

（C）公共財機能：大気･水、自然景観など、自然の素晴らしさを私有財産ではなく、誰でもが享受することのできる機能

（D）サービス機能：森林の災害防止、河川の栄養素運搬など、我々人類に対し結果的に利益をもたらす、あるいは損害を最小限に抑制する機能

これらの機能の中で、特に大量生産･大量消費･大量廃棄の観点から、リサイクルの必要性が叫ばれるのは自然の持つ（B）同化機能が追いつけないので人為的な同化を行う努力をしていることに過ぎない。それは大変意義のあることではあるが、この「環境機能」のすべてを網羅することにはならいことを念頭におくべきであろう。

本研究部会｢エネルギー･環境研究部会｣の活動においても、この「環境機能」の位置付けと文頭で述べた世界的･社会的背景の下に、以下の３つのＷＧ（ワーキンググループ）により、それぞれ精力的に調査研究活動を行い、本報告書にまとめた。

第Ⅳ部（第１WG担当）:「バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定」･･･････着眼した環境機能：(A)、(B)、(C)、(D)

概要：昨年度までに当研究部会が提言した「バイオコミュニティーネットワーク」構想が、当協会の「低炭素都市ソリューションメニュー」に採択された。今年度はこの構想を更に深耕し、実現するための①ボトルネック解消（木材輸送流網、森林運搬の環境負荷低減）と、②バイオマスによる炭素固定（都市緑化、バイオリファイナリー、微細藻類）の諸課題を検討した。

第Ⅴ部（第２WG担当）:「非化石･省エネ･高効率化による低炭素エネルギーシステムの確立」･･･････着眼した環境機能：(A)、(C)

概要：最初に非化石エネルギーの活用技術として、①CO_2削減に向けた複合技術のLCA、エネルギー効率の視点から概観し、②低温度差エネルギーの複合システム、③太陽熱プロジェクトへの参入可能性について検討した。またエネルギー消費量総量を削減する技術として、③家庭部門におけるヒートポンプ、潜熱利用、熱交換器利用の効果、展望を述べ、④エネルギーの１次から最終に至る全体利用システムを「エクセルギー概念」から、若干の事例を考察した。最後に、⑤製油所機能活用による水素生成システムで、水素利用社会を実現する構想を提案した。

第Ⅵ部（第３WG担当）:「企業活動･気候変動による生物多様性消失と社会･経済の対応方策」･･･････着眼した環境機能：(C)、(D)

概要：2010年10月名古屋で開催された生物多様性条約締約国会議(COP10)に因み、外来生物、温暖化や人的影響による生態系の異常、絶滅種･絶滅危惧種の実態を明らかにしつつ、生物多様性損失による今後の世界経済に与える被害を検証すると共に、新薬開発や農林水産業などの個々の産業に与える影響、生物多様性の保全と持続可能な利用の面から企業の役割を検討した。

なお、この報告書は2年間に渡る調査研究の初年度と位置付けている。したがって、今年度は敢えて問題点･課題発掘に傾注した。今年度は総勢20名の部会員が参加し精力的な活動を行った。

エネルギー･環境研究部会長　　広松　猛

第Ⅳ部 バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定

第１章　目的と概要

本調査研究の目的は、「低炭素で持続可能な循環型社会」の構築のために本ワーキンググループが提唱する「バイオコミュニティネットワーク」の中で、我々エンジニアの視点から提言している具体的な技術開発項目や期待される資金還流制度について、「バイオマスのボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定」という切り口によってさらに深化させることである。「バイオコミュニティネットワーク」とは、平成20年・平成21年に森林等バイオマスを対象として当研究部会第1ワーキンググループが行った「炭素循環系としてのバイオマスの保全経営と機能拡張」調査研究での成果として提唱した社会のあり方である。

本報告書は２年間の調査研究の初年度の中間検討報告であるので、検討内容を示す形とした。まず、第２章では「バイオコミュニティネットワーク」について検討過程を俯瞰し概要についてまとめた。次に、第３章で「バイオマスのボトルネック解消のための炭素還流」の検討項目として「輸送流通網」と「林業における運材の環境負荷低減」について検討した。そして第４章で「バイオマスによる炭素固定と炭素利用」として国内外での炭素固定の具体的検討を行い、炭素循環のための新しい利用法についての調査結果をまとめ、最後に第５章を全体のまとめとした。

1）低炭素で持続可能な循環型社会を構築するために

低炭素で持続可能な循環型社会を地球上に形成していくためには、炭素の循環と適正な固定が必要であり、このためには将来にわたって人類が地球上の炭素量を監視し、空気中に蓄積されるCO_2の総量をコントロールしていくことが重要であると考える。

人類が炭素の循環を管理するためのツールとして使うことができるもののひとつが、カーボンニュートラルという特性を持つバイオマスであることは広く認識されており、バイオマスをかしこく使うことによって炭素を循環させること、そしてカスケード利用することによって炭素を固定することが可能となる。

2）持続可能な社会とは

ものづくりに携わるエンジニアの視点で検討した結果、社会を持続可能な社会として発展させるためには、金融経済至上主義的な価値観から脱却し、人間同士の関係や自然との協調を重視する新たな価値観が必要であると考えた。この新たな価値観は調査研究の中で、実は従来から日本において、また世界の多くの地域文化においてあたり前に行われてきた自然の恩恵に感謝して生活するという価値観であり、古来より言い古されてはいるが八百万の神という万物や自然現象に感謝して生活する、そのような価値観であるという思いに至った。

3）バイオコミュニティネットワークとは

こうした価値観こそがバイオマスによる炭素の循環と固定を実現する上で重要なのではないかと考え、自然の恩恵を持続させうる具体的な技術開発と循環型社会を成り立たせる業態構造転換や業種連携、資金還流制度を含む社会経済システムを提案するのが「バイオコミュニティネットワーク」である。

第２章　バイオコミュニティネットワーク

平成20年、平成21年度の調査研究によりなされた具体的提言は、以下３点の切り口から整理したものである。すなわち、

・炭素循環資源としての森林等バイオマスのポテンシャル
・バイオマスの課題と解決方法
・バイオマス資源利用の具体的方法の提言

本章ではこの「バイオコミュニティネットワーク」の発想へ至った経緯を俯瞰する。

2.1 炭素循環資源としての森林等バイオマスのポテンシャル

バイオマスとしての森林の多面的利用価値および利活用に向けた基本方針について**図2.1-1**に示した。

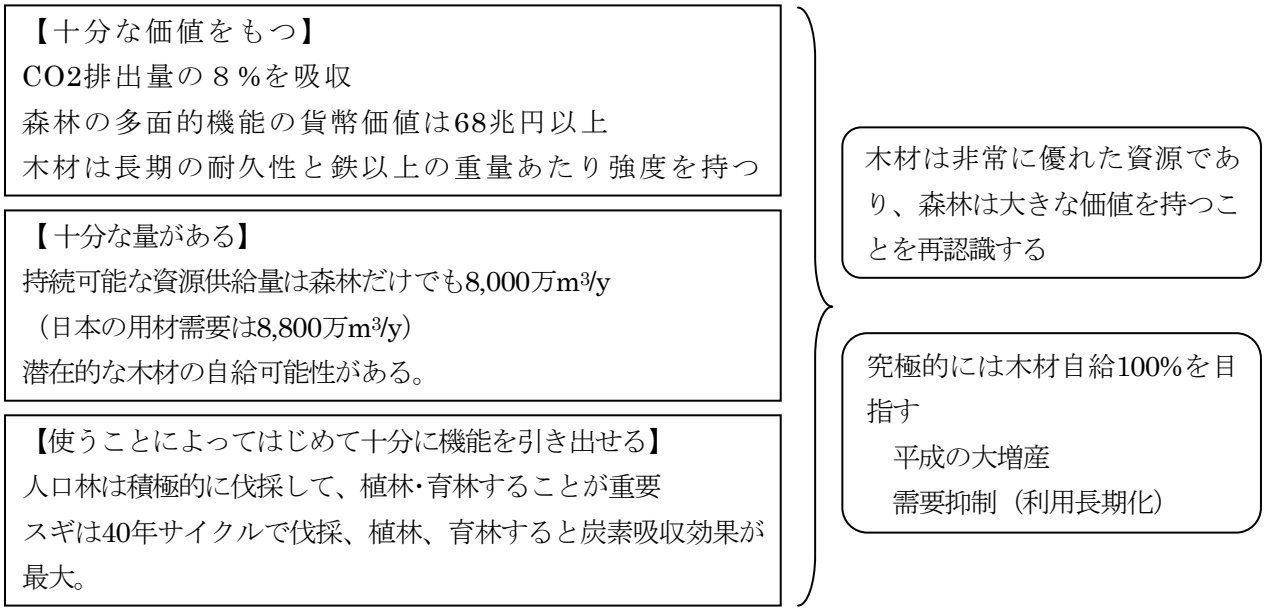


図2.1-1　森林等バイオマスの利活用に向けた基本方針

資源量の点では、日本の用材需要量8,800万m³/年に対し持続可能な資源供給量(人口林の年間成長材積量)は8,000万m³/年であり、潜在的な自給可能性を秘めている。貨幣価値は試算できる範囲内で68兆円と莫大で、生産物である木材は耐久性と強度に富む優れた素材であることは言うまでもない。一般に十分認識されていないが、森林および森林等バイオマスは多面的に非常に価値の高い財産なのである。森林は我が国の面積の67%を占め、資源小国の我が国にあって数少ない潤沢資源である。また、森林のCO2吸収量は日本の排出量の8%に相当し、炭素循環資源としての観点からもその価値が見直されるべきである。

2.2 バイオマス資源の課題と解決方法

前節では日本文化に深く根ざした森林に着目しそのバイオマスとしての資源性を取り上

げた。森林等バイオマスは潜在的な賦存量が多いにも関わらず供給可能量が少ない。現在(平成20年)のエコ燃料需要538万t/yに対し、2015年の需要見通しはリサイクルワン社推計値で1,024万t/yであり、供給量が本格利用のボトルネックになると予想される。そこで本節では、**表2.2-1**「バイオマスの課題と解決方法」に示すように、バイオマス資源の有効利用に向けた現状と課題について、バイオマス資源の供給サイドと需要サイドという切り口に着目し整理する。例えば森林資源の生産方式では、路網整備から機械化、担い手育成まで多数の小課題が連なり、各技術要素を結びつけながら全体を統合化しシステム化するエンジニアリングが必要である。またバイオマスは地産地消の小規模分散型から大規模集中型まで様々な規模でのカスケード利用が可能であり、地域や流域に広く多面的な恩恵を供与する特徴がある。

表2.2-1　バイオマスの課題と解決方法

分類		項目
課題	供給サイドでの保全経営	･安価、大量、安定な資源供給 資源不足の解消
		･同化作用による炭素吸収の最大化 気候変動対策への寄与
		･財やサービス等の多面的機能維持 生物多様性や治山･治水機能等とのバランス
		･食糧等他の供給機能とのバランス 競合関係にならない方策の検討
	需要サイドでの機能拡張	･従来製品の需要拡大（新用途開拓） 製品形態に合わせた新規の需要開拓
		･利用しにくい資源の利用 未利用率の高い資源の使われない原因（使いにくさ、コスト、生産量等）の解消
		･機能付加による新用途開発 従来型で無かった炭素長期固定等の付加による需要拡大
		･大量利用時の灰利活用 将来の本格利用時代で問題顕在化が予想される灰の処理
解決策	供給サイドでの保全経営	･未活用資源の利用 産業系木質バイオマスの焼却･縮減分、下水汚泥、食品廃棄物等
		･潜在的資源の利用体制構築 安価･大量･安定かつ持続可能な森林資源生産方式への転換
		･未活用空間での高効率生産 河川･湖沼･海域、耕作放棄地･休耕地等を利用した水生バイオマスや資源作物による高効率･低コストでの資源大量供給
	需要サイドでの機能拡張	･従来型製品の利用手法拡張による需要増大 木炭等の大規模集中型施設（発電所等石炭ボイラ）での利用
		･利用しにくい資源のハイブリッド利用 下水汚泥と木屑の混合処理等による効率的処理
		･炭素長期固定機能の付加 木質による炭素の長期固定効果を明確にしたうえで、用途、技術、事業を開拓

		･木灰有効利用システムの確立 有害物が混入しないような処理システムを構築したうえでの山元還元等有効利用システムを確立

2.3 バイオマス資源利用の具体的方法の提言

バイオマス資源を効率的かつ持続的に利用するためには、インセンティブ構造の変革と意識改革が不可欠であり、産官学が一体となって発想や産業構造の転換を促す社会制度設計を行いながら、技術開発や事業開拓を進めていく必要がある。具体的には、利活用と循環するバイオマスの領域と人の生活圏がなるべく合致する方向が望ましい。すなわち、バイオマスを利活用し循環させる範囲を検討する場合には、その検討範囲自身がコンパクトシティやコンパクトタウンの施政域となることを想定する必要がある。

2.3.1 バイオコミュニティネットワーク構想

図2.3.1-1に、「地域内単位～流域全体におけるバイオマス主体のネットワーク形成のイメージ」を示す。本調査結果では、コンパクトシティやコンパクトタウンと言うバイオマス循環社会の理想的方向性の延長に、域間連携や流域レベルにおけるバイオマスの位置づけについて検討を加え、**図2.3.1-2**に示すようなイメージを掲げ、これを「バイオコミュニティネットワーク構想」として提案した。

1) 域内循環

市町村レベルなどで域内に発生するバイオマスは、その域内で処理し利活用することが基本となる。「バイオマスコミュニティネットワーク構想」では、バイオマス発生の上流側となる生産製造段階から最下流側の生活系バイオマスの処理と利活用にまで域内循環の枠組みを広げた仕組みづくりを行う。基本的には生ごみや下水汚泥などの生活系バイオマスや農畜産系バイオマスは域内での循環利用を効率的に実施できる方策を講じる。

2) 県内循環

市町村単位では当該地域のバイオマス発生状況によっては域内で完全に閉じたサイクルで完結することは難しい場合もあり得る。この場合は隣接市町村を巻き込んで、あるいは県内全体における取組み課題としてバイオマス循環･利活用が効率的になるような仕組みづくりを行う。

林産系バイオマスは中山間地を背後に抱える地域において、農畜産系バイオマスは平野を抱えた農村地域において、水産系バイオマスは臨海域において各々特徴的に多量発生するため域内の循環や利活用が困難となる場合がある。この場合は県内の消費基地となる中核都市への流通を考慮に入れた利活用の方策を積極的に取り込む。また、受益者である県内の都市部消費者が、バイオマス処理費用負担やバイオマスの背後にある森林資源や水資源の整備に必要なコストを負担するような仕組みを作ることにより、バイオマス発生域内での負担が減じられる効果が期待できる。

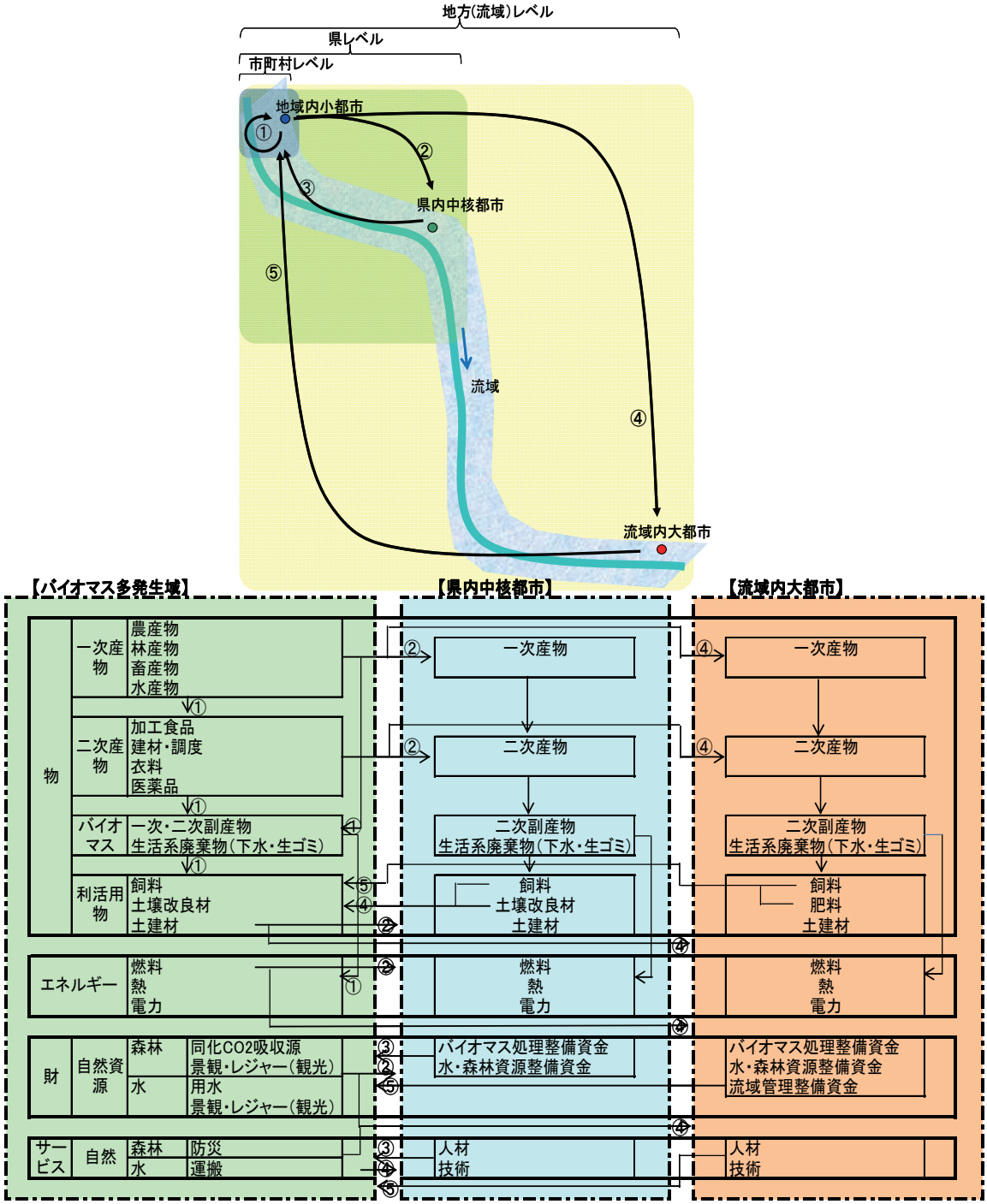


図2.3.1-1　地域内単位～流域全体における
バイオマス主体のネットワーク形成のイメージ

3)　流域内循環

中山間地から臨海部まで県をまたがって比較的大きな河川の流域を形成するような領域を考えると、海産物が河川水源の整備状態によって左右されるなど流域間での利害関係に及ぶ。この場合、発生するバイオマスのみに着眼した見方ではなく、森林や河川流域の持つ諸機能を考慮に入れ流域の適正な整備・管理を踏まえたバイオマスの循環が必要となる。そこで受益者となる臨海部大都市の消費者から流域整備に関わる資金

を徴収できるようなシステムを形成する必要がある。

なお、近年になって水循環や流域という概念を統合的に整備していくための「水循環基本法」制定や「水循環庁」の設置、「流域連合」への水管理権限委譲など、法制度化に向けた具体的な動きが活発になっている。このような流域管理的な思想をバイオマスにも適用できるように以下の施策を講じることを提言したい。

① 「流域連合」内における水循環に密接に関わるバイオマス利活用を水循環基本法の中に明確に位置づける。

② 「流域連合」の管理範囲として、水のみならず森林や農地とそれらの運用に伴って発生するバイオマスをも管理の対象とし、流域内のバイオマス循環を促すための法的措置を講じる。

③ 域内でバイオマス循環が効率よく行われるための税制措置を講じる(例えば流域住民に水とバイオマス循環税を課し、それを水とバイオマス利活用資金に充当する)。

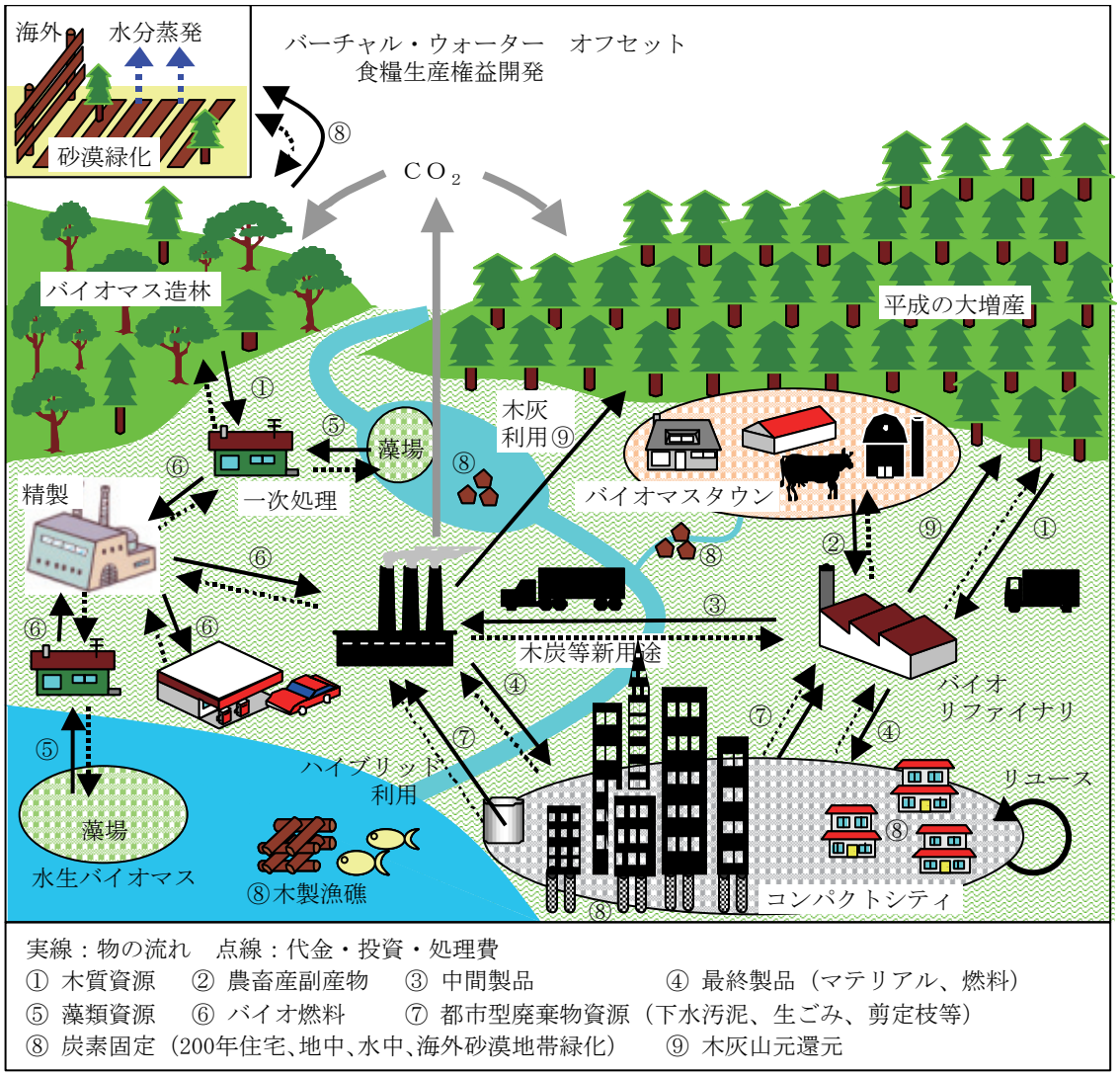


図2.3.1-2　バイオコミュニティネットワークでのカスケード利用と炭素循環

2.3.2 バイオコミュニティネットワークを実現するための考え方

本調査結果では「バイオコミュニティネットワーク構想」とともに、実現に向けて不可欠な資金策の考え方について、世界の先行モデルとなるような「森林等の陸海バイオマス資源」を持続循環させる生活スタイルを提案した。

具体的には「森林等の陸海バイオマス資源」を持続循環させる制度として「バイオコミュニティネットワーク」という場を通して、ネットワークの下流側に住む人々が上流側の恩恵に対して資金的に上流側を支える税制と補助事業についての提案である。考え方の基本は従来からある利益や消費などの金銭に対する課税方式ではなく、いわば恩恵に対して供出する受益者負担を原則とする税制への変革である。

1) 税制を変革するための考え方

本項は「バイオコミュニティネットワーク」における下流側に住む人々が資金的に上流を支える原資となる部分を考え方として提案する。

(1) 酸素供給システム支援資金税**（おいしい空気支援資金）**

酸素を供給するシステムの維持と発展のため、酸素を受益する全ての人はこれを等しく支援するという思想によるもので、個人および法人を対象とした制度設計を提案するものである。ただし、課税主旨が重複する炭素税(消費課金型)については廃止を検討すべきと考える。

(2) 植林事業の支援資金税**（持続的森林への支援資金）**

輸入木材に対して、海外伐採地の植林事業を支援する資金として一律に関税として課税し、この資金をODAとして海外植林事業に活用してカーボンオフセットするもので目的税として提案するものである。

国内木材に対しては植林事業が既に一般化しており、また次項で述べる連携自治体制度の中でも取り上げているので、次項の連携補助事業費を充てることによってカーボンオフセットするという考え方を提案する。

(3) 水とバイオマス循環資金支援税**（バイオコミュニティネットワークへの支援）**

即効的な方法として、前節で述べたバイオコミュニティネットワーク内で、水とバイオマスを循環させるための資金として、水循環基本法にバイオマス規定を組み込むことを提案する。

(4) 木材の非カスケード利用税**（もったいないへの支援）**

カスケード利用(マテリアル利用とエネルギー利用の両方)を促進するため、カスケード利用されずに廃棄されるバイオマスに課税することを提案する。(マテリアル利用のみ、エネルギー利用のみ、廃棄のみなど)

(5) 森林木材の肖像権意匠権使用税**（景観への支援資金）**

森林や山並み、河川や海岸を題材とするか、もしくは木材の持つ特性を利用した絵画･彫刻･建物･構造物を創造し商業利用した場合、そこから得られた利益の一部を意匠権使用税とするもので、制度設計に工夫が必要であるが、目的税として提案するものである。

2) 補助事業の考え方

「バイオコミュニティネットワーク」における森林資源の維持発展のための補助事業として、必要とする資金を予算化し、その事業を実施するための2つの連携制度につ

いて示す。2つの連携制度とは連携補助事業制度と連携自治体制度であり、**表2.3.2-1**に示す。

(1) 連携補助事業制度

森林機能を受益するすべての行政機関は連携して森林資源の維持発展のための補助事業を実施するための予算を組む。

(2) 連携自治体制度

農林水産省(林野庁)の作成する指針の下に、流域自治体が連携して森林維持のための補助事業を実施する。

表2.3.2-1 森林資源の維持･発展のための連携制度

	森林機能	国民･省庁が受益する効果	予算化省庁
予算化	同化	CO2吸収	環境省
	供給	バイオマスエネルギー･バイオケミカル	経産省
	供給	建築材料･家具材料	経産省・国交省
	供給	公共事業用建材（コンクリートから木へ）	国交省
	サービス	水源涵養	国交省･総務省
	サービス	治山･治水（洪水対策）	国交省
	サービス	大気浄化	環境省
	サービス	土壌浄化	環境省
	サービス	生物多様性保全	環境省
	サービス	森林･農地などの土壌の保全	農水省
	公共財	観光資源	国交省
	公共財	レクリエーション	厚労省･文科省
	公共財	体力増進･保健	厚労省
	公共財	教育･人間性の育成	文科省
	公共財	芸術の題材	文科省
	種類	補助対象事業	事業実施者
実施	森林管理	林地集約（証券化と林業実施法人）	連携自治体
	森林管理	林道･作業道整備	連携自治体
	森林管理	新林業機械導入（グリーンサイビサイジング）	連携自治体
	森林管理	植林（国内）	連携自治体
	森林管理	間伐･下刈（主伐は木材生産事業として除く）	連携自治体
	公園管理	公園樹木剪定	連携自治体
	河川管理	河川管理･下草刈り	連携自治体
	湖沼管理	溜池整備･下草刈り	連携自治体

第３章　ボトルネック解消のための炭素還流

この章では、現在、森林資源の主たる輸送手段となっているトラックとは異なった利点を有する船舶や鉄道を使った輸送について検討する。一般にバイオマス資源は、広範囲に小量ずつ分布しているために集約性が悪い。また、単位量当たりに得られるエネルギー量は化石燃料等よりも低いため、実用に当たっては相当量の確保が必要とされる。このため、運搬に要するコストを引き上げバイオマスの利用単価を押上げる主要因となっている。のみならず、輸送に要する化石燃料量も多くなり、バイオマス利用によるCO_2削減効果を減少させかねない。このように、バイオマスの運搬に様々なボトルネック要因が考えられ、低コストで省エネルギーである輸送技術が求められる。

森林バイオマスは他のバイオマスと比べて比較的集約的ではあるが、現在は他のバイオマスと同様にその輸送手段の大部分を化石燃料多消費型のトラックが担っている。しかし、森林バイオマスは他のバイオマスと比較して難腐食性、ハンドリングの良さや、荷積み･移し変えの容易さ等から短距離に留まらず鉄道や船舶を使った中･長距離の輸送にも適していると考えられる。鉄道や船舶を使った森林バイオマスの輸送は、トラックによる輸送と比較して移動距離あたりのコストが低く、化石燃料の使用量が少なくなるためCO_2排出量が少なくなる。

このように、森林バイオマスに関してはコスト、距離、時間要因を検討した場合、様々な輸送手段を組合わせることで、ベストミックスの輸送が選択できる可能性を有する。そこで、**第３章**では、現在国内でほとんど実施されていない森林バイオマスの船舶および鉄道輸送の各々可能性について様々な視点から検討を行った。

3.1　輸送流通網

RPS法(電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法)を背景として再生可能エネルギー由来の発電電力量が増加している。2014年には173 億kWhに達する予定であり、これは国内発電総量（2008年度9,915 億kWh）の約1.7 %に相当する。このうち一般廃棄物、黒液、木質バイオマスの燃焼によるものが約7割弱を占め、近年では木質バイオマスの専焼、混焼が大きく増加している。しかしながら、一部の石炭火力発電所では燃料を海外からの輸入に頼るなど、近隣地域からの木質バイオマスの調達が高コストで大量安定供給が確保されない状況も存在する。国内には林地残材など大量の未利用資源がありながら、バイオマス資源として供給する体制や流通網が未整備な状況である。本項ではバイオマス資源の活用に不可欠な輸送流通網について検討した。

3.1.1　木質バイオマス利用の現状

1)　石炭火力発電所でのバイオマス混焼

石炭火力発電所での木質バイオマス混焼の実績（予定も含む）を**表3.1.1 - 1**に示す。石炭火力発電所は大型化、高圧化により40 %近い発電効率を達成しており、

石炭燃焼量の2～3% 分の木質バイオマスを混焼しても同程度の発電効率が得られる。中小規模のバイオマス専焼発電効率の20 %程度に比べ、資源の有効利用の観点からも優れた利用方法である。

各発電所で木質バイオマスの混焼利用は増加しているが、輸入ペレットによる原料調達が増えている状況は、発電所周辺からの原料収集の限界の現れでもある。収集量にして年間3万t、収集範囲は発電所から50 km圏内が国内調達の限界の目安と考えられる。調達コストについてはRPS法の買取価格調査によれば6 円/kWh程度の実績であり、その他条件を**表**3.1.1-2のように仮定すれば、4,800 円/tが原料調達価格の限界と算出される。

輸入ペレットはカナダ、オーストラリアなどの大規模ペレット工場で製造され海上輸送される。調達価格は前述の価格以下を満足していると考えられるが、海上輸送距離が長いため、船舶輸送によるエネルギー損失が大きい。カナダから日本へ7500 kmの船舶輸送では、**表**3.1.1-3に示すように原料ペレットの3割程度の熱量に相当するC重油を消費する。将来的には原料の輸入を国内資源で賄うえるように供給体制を整備しなければならない。

表3.1.1-1　**石炭火力発電所の木質バイオマス混焼**

発電所名	混焼率／木質バイオマス種類／利用量
四国電力西条発電所	2～3 %／間伐材、伐採木／ 1.5 万t/y
北陸電力敦賀発電所	2～3 %／製材所木屑／ 1～2 万t/y
中国電力新小野田発電所	2～3 %／間伐材、伐採木／ 2～3 万t/y
宇部興産微粉炭火力発電所	9 %／建築廃材、伐採木／ 8 万t/y
関西電力舞鶴発電所	3 %／輸入ペレット／ 6 万t/y
中部電力碧南発電所	3 %／輸入ペレット／ 30 万t/y
北陸電力七尾大田発電所	- %／製材所木屑／ 2 万t/y
常磐共同火力勿来発電所	3 %／輸入ペレット／ 9 万t/y（2011年予定）
相馬共同火力新地発電所	3 %／輸入ペレット／ 14 万t/y（2012年予定）
東京電力常陸那珂発電所	3 %／輸入ペレット／ 7 万t/y（2012年予定）

（電力各社HPより作成）

表3.1.1-2　RPS法買取価格から求める原料調達価格

RPS法買取発電単価*	6 円/kWh	a
発電単価に占める原料費割合	80 %(想定)	b
発電効率	0.35	c
原料の熱量単価	0.3 円/MJ	d=a×b÷(3.6MJ÷c)
原料の発熱量	10 MJ/kg	e
原料の調達価格	4.8 円/kg	f=d×e

*出典：資源エネルギー庁「RPS法下における新エネルギー等電気等に係る取引価の調査結果について」　平成22年7月30日

表3.1.1-3　ペレット船舶輸送の損失熱量

ペレット発熱量	15 GJ/t	a
船舶輸送のCO_2排出原単位*1	39 gCO_2/t･km	b
船舶燃料C重油のCO_2排出係数*2	71.6 gCO_2/MJ	c
輸送距離	7500 km	d
トン当り輸送熱量	4 GJ/t	e=b×d÷c
ペレット発熱量に対する輸送熱量比	27 %	f=e÷a

出典：*1国土交通省「運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移」平成18年11月
*2環境省「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案ver1.5)」

2)　未利用資源量

林野庁の資料によると国内の森林資源の蓄積量は年々増加し約44 億m³に達している。平成21年の年間木材供給量が約0.6 億m³であることから、約70 年分に相当する。これは輸入材の供給が8割近くを占め、国内材の利用が進まないために森林が伐採されず蓄積された結果である。今後この膨大な資源を有効に活用することが必要となる。

一方、木質バイオマス資源としては林地残材、製材所残材、建築廃材が利用可能であるがその発生量と利用の状況を**図**3.1.1-1に示した。つまり、総量として年間3,100 万m³の発生量に対し、約6割に相当する1,800 万m³が利用されていることになる。また製材所残材は所内の熱源や堆肥として9割近くが再利用され、建築廃材は都市部の廃棄物発電に利用され再利用率が高い。一方、林地残材は860 万m³のほとんどは収集コストが高くなることから利用されていない。この量はA重油換算で約48 万kLに相当し、有効利用が望まれる。

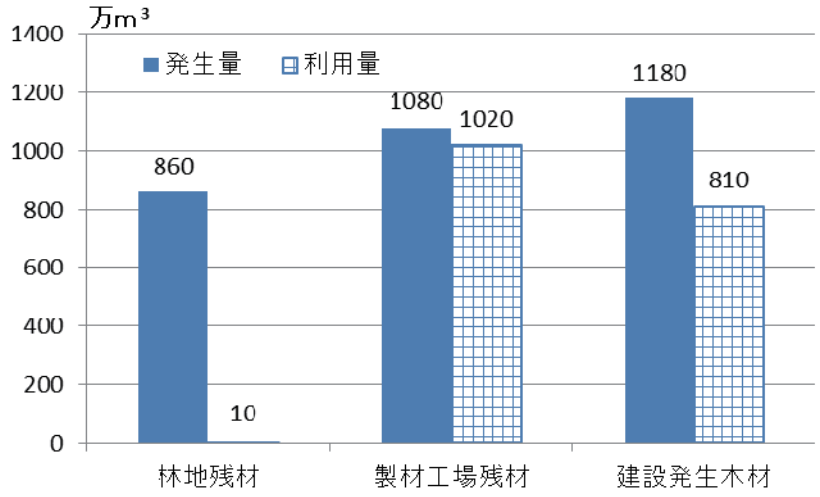


図3.1.1-1　木質バイオマス発生量

出典：林野庁「森林・林業の現状と木質バイオマスの利用」平成20年5月20日

3.1.2　収集拠点

木質バイオマスのエネルギー密度は低いため、供給側の収集単位は小量とならざるを得ない。一方需要側でスケールメリットを活かすには大量利用が前提となる。供給と需要の基本的な矛盾を解消するには小量を受け入れ、大量を供給する機能として収集拠点が必要となる。

1）収集拠点の効果

収集拠点を設けることで以下の効果が期待できる。

(a)　拠点周辺からの収集が容易となるため、小量発生分も収集可能となり、収集量が増加する。

(b)　相当量の保管容量を確保することでバッファー効果が得られ、不定期に発生する資源を受け入れ、安定的に利用先に供給可能となる。

(c)　安定供給が確保されることにより、利用先の増加が見込まれる。

(d)　利用先の増加により木質バイオマスの市場価値が安定し、拠点周辺および収集地域経済が活性化する。

2）　収集拠点の候補

エネルギー密度が低く広く分散する森林資源の特質上、収集は広範囲に及ばなければならない。収集先が山間部であることから収集はトラック輸送となるが、輸送費に占める人件費が高いことから、収集範囲はトラックが1日で往復できる距離とするのが経済的である。運転手の実働時間を8時間、荷積み、荷下ろし、その他作業を除けば実質走行時間は5時間程度となる。輸送速度を平均20 km/hとすれば、走行可能距離は100 km、片道50 kmとなる。つまり拠点から50 km圏内が収集範囲となる。半径50 kmの面積は日本の国土の1/50程度であり、理想的な分布が可能であれば50カ所で国土をカバーできる。ただし拠点間の流通を考慮すれば、主要道

路、鉄道、港湾の既存インフラが整っている臨海部が適している。拠点の候補としては、需要先である石炭火力発電所、大規模製材工場、製紙用チップの受け入れ貯留設備を有する製紙工場、石炭の受け入れ貯留設備を有する製鉄所およびコールセンターがあげられる。**図3.1.2**は約50カ所の候補地を中心とした半径50 km圏の分布を示す。分布の少ない内陸部は中規模製材工場、合板工場等の50カ所程度を追加すれば、合計約100カ所の拠点により国土の大半を網羅可能となる。

① 火力発電所位置図

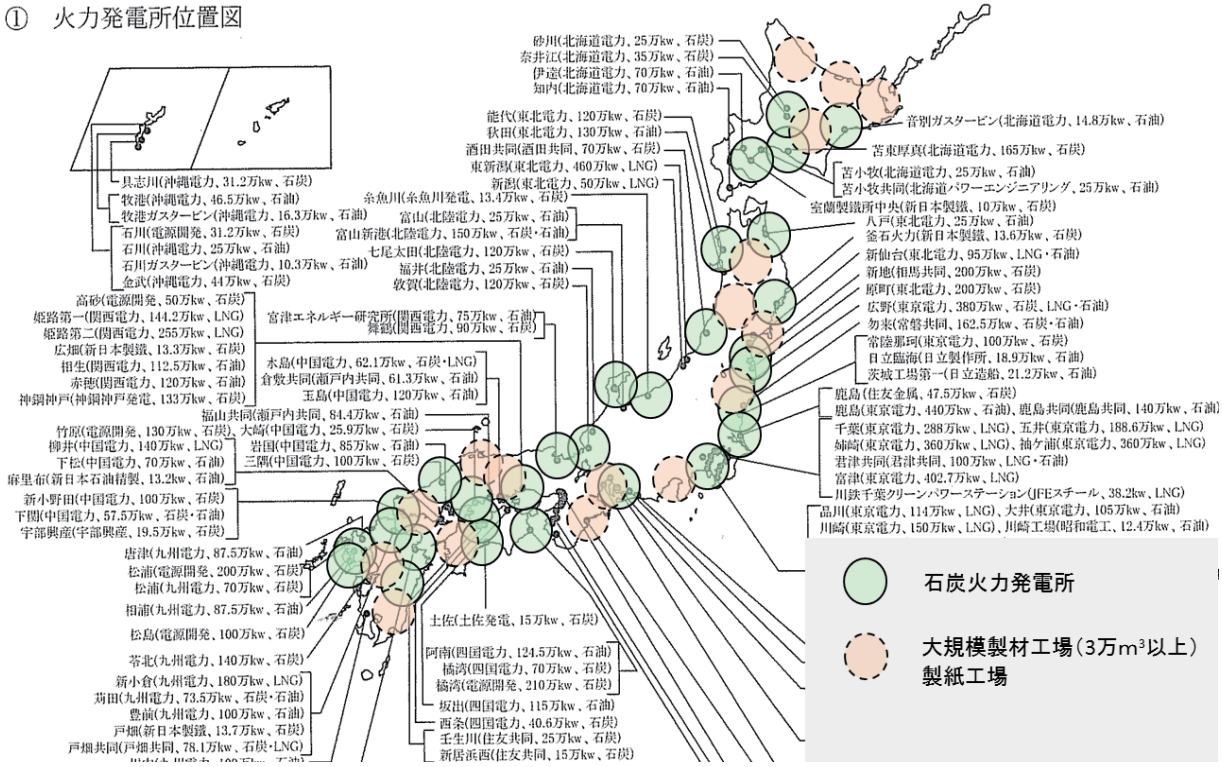


図3.1.2　収集拠点候補地分布

（（社）日本港湾協会「数字でみる港湾2010」に林野庁「森林・林業の現状と木質バイオマスの利用」平成20年5月20日の大規模製材工場・製紙工場を追記作成）

3) 収集拠点の施設概要

前述の収集範囲を条件に検討した収集拠点の規模、施設概要を**表3.1.2**に示す。拠点から半径50 km圏で収集可能な森林面積は、多くの拠点が沿岸部に位置していることから50 %を陸地とし、そのうち森林面積は50 %として算出した。森林面積にバイオマス年間成長量を乗じ、その10 %を収集可能とし、拠点当たりの年間収集量はおよそ15.7 万tと予想される。

山間地からは基本的に丸太で収集されトラック輸送されるため、収集拠点にはチップやペレットの製造施設が必要となる。単位重量あたりの発熱量で比較すればペレットはチップの1.5倍と優れているが、製造装置の安価さや、輸入チップでの取扱実績からチップが適していると考える。貯留容量は約1年分、設備としては原木ストックヤード、原木搬送車両、チップ製造用破砕機、チップ搬送コンベヤ、チップ貯留ヤード、船積出荷設備が必要となる。

表3.1.2　収集拠点の施設概要

収集範囲	半径50 km	
収集対象面積	1963 km²	沿岸部立地50 %、森林率50 %
バイオマス成長量	400 t/km²･y	4～8 t/ha*
年間収集量	15.7 万t/y	成長量の10 %
貯留容量	15 万t	
設備構成		
原木ストックヤード	10 万t容量（15 万m³容量　300×300×2m高）	
原木搬送車両	グラップル等	
チップ製造施設	125 t/h（15万t÷300日÷8時間＝62.5 t/hの2倍）	
チップ搬送コンベア	125 t/h（積付、払出出荷用）	
チップ貯留ヤード	5 万t容量（10万m³容量　40×350×8m高）	
船積荷役設備	125 t/h	

*出典：森林総合研究所 平成16年度 研究成果選集「間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか」

4)　収集拠点のコスト

収集拠点の建設費および運転費用は木質バイオマスのコストに転化される。設備仕様に基づく積算は困難であることから、文献調査や新聞報道等から得られる情報をもとにコストを概算で求めた。

(a) 施設建設費

チップ製造施設費は10 t/hの能力で1.2 億円の施設費とする文献データ(*1)をもとに、本条件125 t/hへのスケールアップに対し、プラント機器概算手法として一般的に用いられる0.7乗則を適用し約7.1 億円と算出される。チップ搬送コンベア、チップ貯留ヤード、船積荷役設備の合計費用は、製紙工場のチップヤードに相当することから、10 万t貯留チップヤードの工事費を5.5 億円とする新聞報道(*2)をもとに、本条件5 万t貯留へのスケールダウンに対し0.7乗則を適用し約3.4 億円と算出される。以上よりチップ製造およびチップ貯留施設費の合計は10.5 億円となる。その他に原木ストックヤード、原木搬送車両、電気、水道等ユーティリティの施設費として　100 %を加算し総額21 億円と算出される。

*1: 岩手県林業技術センター 研究報告No.14 2006
「製紙用チップ工場で生産した土場残材チップの供給コスト試算」表-5

*2: 南紀州新聞　2007/8/26「新宮港埠頭株式会社チップ保管施設のしゅん工式」

(b) 運転費

施設の運転費として、維持修繕費、人件費、電気水道燃料費等が必要であり年

間の運転費を建設費の10 %と想定し2.1 億円とする。また、施設建設費の原価償却期間を15年間とすると、チップコストへの転化分は以下のとおり約2,400 円/t となる。

[（施設建設費／原価償却年数）＋年間運転費]÷バイオマス年間収集量＝

[　（21 億円／15 年）　＋　2.1 億円]÷　15 万t/y ＝ 2,333 円/t

3.1.3　内航海運による輸送

収集拠点間で木質バイオマスを流通させることにより地域による偏在を解消し、相互供給により資源の安定確保が可能となる。国内流通の担い手は輸送効率が高く大量輸送が可能な船舶輸送が適している。

1)　船舶輸送の特性

図3.1.3-1に国内における船舶輸送の内訳を示す。物流総量は重量ベースで年間57億トンに達し、9割をトラック輸送が占め、船舶輸送は8 %に過ぎない。しかしながら、これに距離を乗じたトンキロ（t･km）ベースではトラック輸送は6割に低下し、船舶輸送が4割に増加する。トンキロから重量を除して求められる平均輸送距離はトラックが60 km、船舶が490 kmであり、長距離輸送には船舶輸送が適していることが裏付けられる。

船舶輸送の二酸化炭素排出係数は**図3.1.3-2**に示すとおり、鉄道の2倍、トラックの4分の1程度であり、環境性能に優れた輸送方法である。国内の船舶輸送を内航海運とよび、鉄鋼製品、セメント、石油製品等の産業基礎物資の多くが内航船（約5,600 隻）で輸送されている。内航船の輸送速度は20ノット（37 km/h）程度で九州～関東の約1000 km航路を約１日（27 時間）でつなぐ。

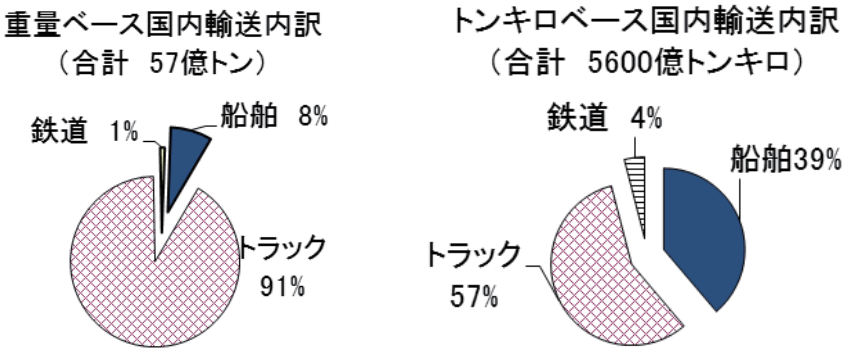


図3.1.3-1 国内輸送内訳

出典：国土交通省Webサイト「内航船舶輸送統計調査、鉄道輸送統計調査、自動車輸送統計調査」
鈴木暁･古賀昭弘著「現代の内航海運」

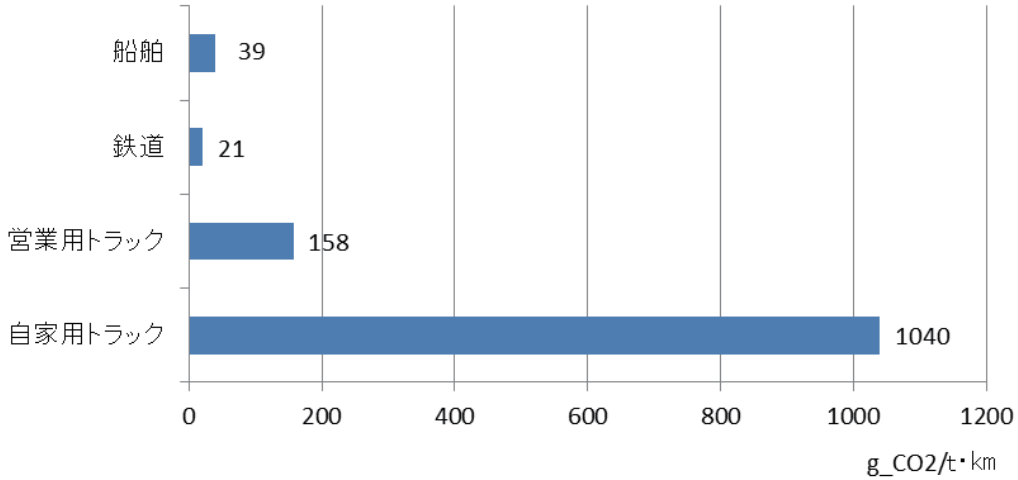


図3.1.3-2 輸送機関のCO_2排出係数

出典：国土交通省「運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移」平成18年11月

2) 収集拠点間の船舶輸送

森林資源が豊富な地方の収集拠点から都市圏の収集拠点への内航海運による輸送を想定する。内航海運の運賃には運航人件費、燃料費の他、船舶経費より構成される。船舶経費とは船舶取得の原価償却費、修繕維持費等からなり船舶の耐用年数から算出される固定費である。内航船のうち199総トン（最大積載700 トン）、499総トン（最大積載1,600 トン）は用船料が比較的安定しており、ここでは内航ジャーナル株式会社の海運ガイドに掲載されている内航運賃を採用した。**表3.1.3**の試算からチップ輸送単価は約1,200 円/tと算出される。

表3.1.3-1 船舶輸送コスト試算

輸送距離	500 km	九州～近畿間を想定
速度	37 km/h	20ノット
航行時間	13 h	
荷役時間	13 h	1600 t÷125 t/h=12.8 h
拠点間往復日数	3 日	航行時間×2＋荷役時間×2＋α
月間輸送回数	8 回	3日×8回＋6日（点検修繕他）
月間輸送量	1.28 万t	1600 t×8回
月間輸送トンキロ	6.4 百万t･km	1.28 万t×500 km
内航運賃（月間）*	15 百万円/月	
トンキロ単価	2.3 円/t・km	15 百万円÷6.4 百万t･km
チップ輸送単価	1,172 円/t	15 百万円÷1.28 百万t

*出典：内航ジャーナル株式会社　海運ガイドhttp://www.naikouj.com/

3) 収集拠点と内航海運輸送による供給コスト

平成20年、21年の調査報告書にて検討した各種木質バイオマス燃料の供給コストと今回試算を**図3.1.3-3**に示す。縦軸は燃料トン当たりの供給コストを発熱量（チップの場合10 GJ/t）で除して熱量当りのコストに換算したものである。収集拠点までの伐採、運搬費用は原木調達価格(10,400 円/t→1.04 円/MJ)に含まれるとした。横軸に輸送距離をとり、50 km地点の収集拠点において、先に算出した収集拠点コスト(2,400 円/t→0.24 円/MJ)を加えた。50 kmからは内航海運による輸送コストを示すが、先に求めた内航海運トンキロ単価(2.3 円/t･km)を熱量単価に換算すると0.00023 円/MJ･kmであり、コスト増加は無視できる程度である。内航海運では一度に1,600 t程度の大量輸送が可能なため、トラックに比べ輸送コストの大幅な圧縮が可能である

地方の収集拠点より都市圏の大口需要先への内航海運による供給コストは1.5 円/ MJ程度と試算されるが、このコストは**表3.1.1-2**に示したRPS法買取価格から求める原料調達価格4.8 円/kg(0.485 円/MJ)より1 円/MJほど高く、採算確保は困難である。その差額を埋めるには公的補てんが必要となる。国内の収集拠点100カ所から得られる年間資源量を1,500 万t(1.5×10^{11} MJ)とした場合、1 円/MJで補てんする総額は年間1,500 億円となる。これから石炭500 万t削減による利益250 億円（5 千円/t_石炭換算）、1,500 万tのCO_2 削減による利益450 億円（3 千円/t_CO_2 換算）を差し引けば実質負担額は800億円となる。しかしながら、収集拠点での原木調達費総額1,560 億円（10,400 円/t_原木換算)は山間地域の経済活性化、雇用維持に寄与し、チップ運輸送費総額　180 億円（1,200 円/t換算)は内航海運へのモーダルシフトを促進するものであり、有益な公共投資と考えられる。

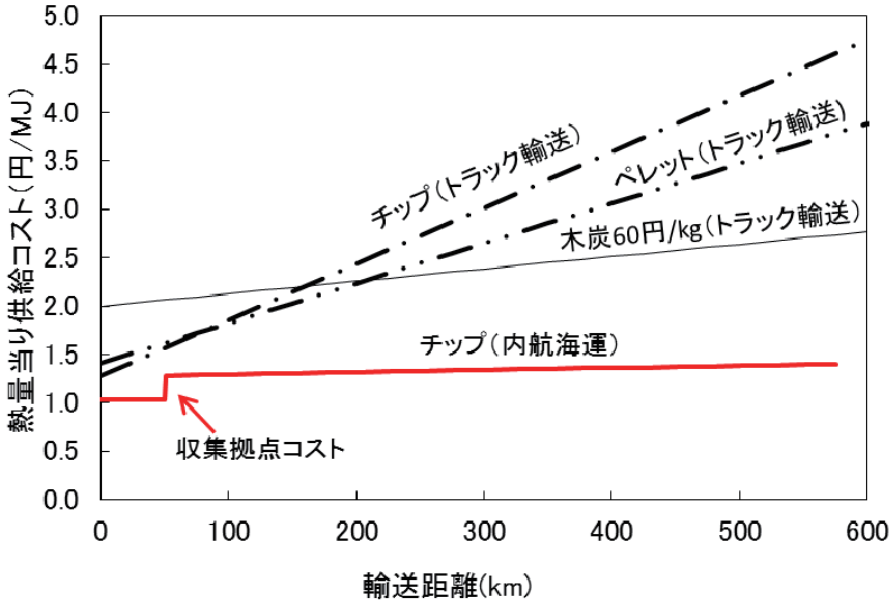


図3.1.3-3 供給コスト

出典：（財）エンジニアリング振興協会平成20年度、21年度「エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究」報告書

3.1.4　輸送流通網整備の必要性

火力発電所での石炭混焼の原料として輸入されるペレットの量は前述の**表3.1.1-1**における合計だけでも70 万t/yに達し、今後も増加すると予想される。現在の木質バイオマス利用はあくまで建築用材生産過程、廃棄過程から発生する余剰材の処理という位置づけであるが、石炭混焼の燃料としてこれだけ大量の利用量が確保されたことで燃料用の木質バイオマス生産を検討する段階にあると言える。木質バイオマス燃料の生産と流通体制を整えることにより、輸入から国産への切り替えを促し、かつ、小規模施設や一般家庭での暖房用燃料としての需要も喚起できるものと考える。

国内林業は安価な輸入材との価格競争にさらされ、事業縮小、就労人口の減少、高齢化などの問題に直面し、結果として森林資源の適切な維持管理が困難な状況になっている。農林水産省はこうした状況を打破しようと10年後の国内木材自給率を現状の２倍近い50 %に引き上げる「森林･林業再生プラン」を掲げている。自給率の増加により木質バイオマスの発生量も増加すると予想される。

木質バイオマスによる再生可能エネルギー需要の拡大と、国内森林の復興は、木質バイオマスの需要と供給という関係にあり同一の目標を指向するものであり、両者をつなぐ効率的な流通網の構築が今後ますます必要となっている。

3.2　林業における運材の環境負荷低減

環境負荷の低減はどの産業や業種を問わず喫緊の課題である。その中で林業は山間地で樹木の保育を行うため、適切な管理が行き届いている限り環境負荷は比較的低いと考えられる。しかし管理のためには林道が必要であり、林道の設置には地形の改変が伴う。また林道を利用した作業箇所へのアクセスや伐倒した木材の運搬にはトラックが使用され、排気ガスなどによる環境負荷が発生する。そこで本節では特に運材に焦点を当て、その歴史や現状を取りまとめたのち、環境負荷低減に向けた方策を検討する。

3.2.1　運材の歴史－木曽を例にして

運材なくして林業は成立しない。まず、ヒノキの美林で知られる木曽地域を中心に運材の歴史を振り返る。

江戸時代初め、城郭およびそれを中心とした都市の建設が各地で進められ、必要とされる大量の用材をその周辺地域からだけでは賄えず、遠隔地からも供給する必要が生じた。もともとこれらの地域には高度な伐木･運材技術があったわけではなく、木曽地域では伐木･造材を担当する杣（そま）や運材を担当する日用（ひよう）と呼ばれる林業労働者が近畿地方から移入するとともに、それらの技術が導入された。木曽地域で産出した木材は現地で造材され、「山落し」と呼ばれる木材を木曽川支流の谷や沢まで下ろす工程、「小谷狩」と呼ばれる、支流に堰を作って川の水と下ろされた木材を溜めておき、堰を決壊させて流出させる工程を経て、木曽川本流に流された。これらは続いて、管流し（またはバラ流し）といって一本ずつ水流にのせ、現在の岐阜県加茂郡八百津町に設けられた錦織綱場まで送られた（大川狩）。この綱場でいったん木材を貯留し、筏を組んで木材の集散地である尾張国の白鳥湊（しろとりみなと、現在の名古屋市熱田区）まで輸送された。これを

木曽式伐木運材法という。

この方法は、陸上における大量輸送機関がないからこそ編み出されたものであり、人工的な鉄砲水を発生させるなど、今日では受け入れられない点もあるが、水流と重力を利用した省エネルギー型輸送手段と言える。しかし、伐出した木材のおよそ半分は流失や盗難により回収できなかったり、損傷などで商品としての価値を失ったりしたともいわれる。また、運材には相当な労働と時間が投下され、経済性の面では決して優れた方法ではなかったと考えられる。

明治期になると、近代産業の勃興に伴って各地で電源開発がすすめられた。木曽川流域でも八百津発電所（岐阜県加茂郡八百津町）を筆頭に、日本初のダム式発電所となる大井発電所（岐阜県恵那郡大井町・蛭川村）などが次々と計画され、これによって従来の送流による運材が困難になることが予想された。加えて明治以降の木材需要の増大に対しては、木曽川送流による輸送力では対応しきれないことも明らかであった。折しも明治42年には、津軽半島の国有林を網羅する津軽森林鉄道が、日本初の大規模森林鉄道として開通した。また、明治43年には国鉄中央本線が名古屋方面から上松駅まで伸延し、東京と名古屋間が全線開通すれば、木曽から東京方面へ直接木材を輸送できることが期待された。そこで大正2年に上松駅を起点とする小川森林鉄道の工事が着手され大正5年に全通し、その後王滝森林鉄道など路線が拡充され、最盛期には木曽地域だけで400 kmもの路線で輸送が行われた。

鉄道輸送に転換されたことによって輸送力は飛躍的に増大し、運材のみならず奥地の集落への物資の輸送や住民の足としても利用された。しかしトラックの改良が進むと、軌道を必要としない機動性で森林鉄道よりも優位に立ち、木曽地域では昭和30年代以降鉄道路線の建設が中止され、在来路線も順次軌道を撤去して林道に転換された。これには、木曽ヒノキの主伐材収穫量が天然ヒノキの大径木の減少や、外材の輸入などの要因によって以後収穫量が減少し、大量輸送機関としての鉄道の優位性が薄らいだことも鉄道廃止へ押し進める原因になったと考えられる。**図3.2.1-1**に示すように、木曽ヒノキの収穫量は昭和39年に30万m^3であったのが、昭和50年に約11万m^3、平成8年には約4万m^3に減少した。木曽地域全体の国有林収穫量（全樹種）でも昭和39年に56万m^3、間伐材を加えると約70万m^3とピークを迎えた以降は、収穫量が急減した。

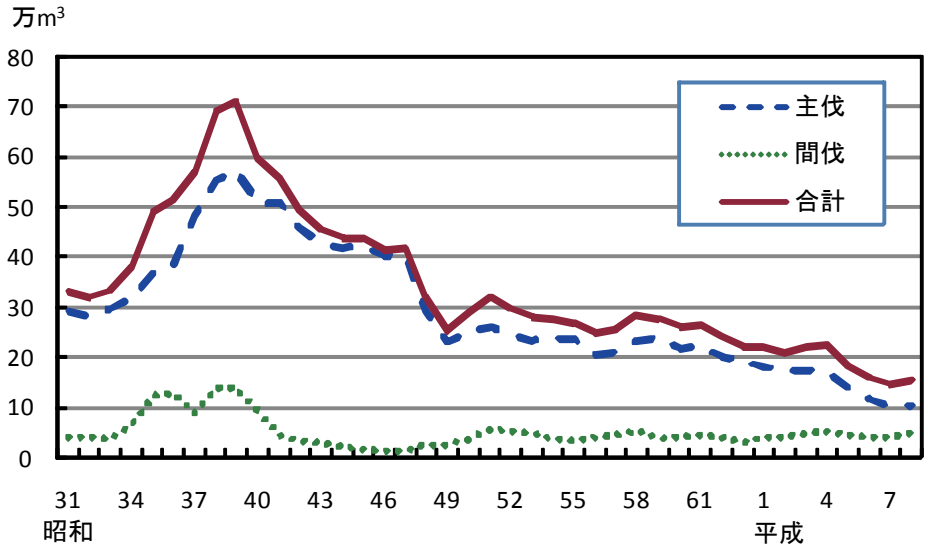


図3.2.1-1　木曽谷の年度別、主間伐別収穫量の推移

木曽地域の奈良井･薮原･福島･王滝･上松･野尻･三殿･妻籠･坂下各営林署の全樹種収穫量の合計値

（平成9年長野営林局販売課資料を基に作図）

それでも木曽地域での森林鉄道の全線廃止は他地域に比べて遅く、昭和50年であった。この時点で運行を継続していた森林鉄道は屋久島のものが唯一であり、現在でも屋久杉の切り株（土埋木）の搬出のために利用されている。小川森林鉄道、王滝森林鉄道と接続し、木材の全国発送の拠点となっていた上松駅の貨物扱いが国鉄末期の昭和59年に廃止されたことで、山元から集散地を経由して需要先までの全体を通して鉄道輸送が担う部分が消滅した。

森林鉄道による輸送が終了した現在の運材の主力はトラックであるが、1970年代から一部ではヘリコプターによる集材が導入された。ヘリコプター集材は林道や架線で課題となる地形の制約を受けにくく、大規模な設備を必要としないなどの利点がある反面、気象条件による影響を受けやすく、吊上能力が低いために大径長尺材でも分割せざるを得ず、販売に不利になる場合があること、ヘリコプターの賃借料が高いなどの欠点がある。そのため一般的には、運賃負担力の高い高価格材の搬出で用いられる。

図3.2.1-2 木曽･赤沢自然休養林で復元され、観光用に使用されている森林鉄道

3.2.2 輸送モードと環境負荷

上述のように伐採木の輸送は送流から鉄道、鉄道からトラックやヘリコプターとモードが変化した。貨物輸送が鉄道からトラックに転移したのは伐採木に限らず、物流全体において言えることである。**表3.2.2-1**に示すように、貨物輸送のシェアは平成14年現在、輸送量ベースで自動車（トラック）がほとんどを占め、輸送量に距離を乗じたトンキロベースでも自動車が半数以上のシェアを占める。

表3.2.2-1　平成14年度の輸送機関別貨物輸送分担率（%）

	自動車	鉄道	内航海運	国内航空
トン数	90.6	1.0	8.4	0.0
トンキロ	54.7	3.9	41.3	0.2

（国土交通省　平成15年版陸運統計要覧より抜粋して作成）

林産品（原木･製材･薪炭･樹脂類･その他林産品の合計）についてみると、2004年度の年間出荷量は5,553万t（国土交通省調査）である。**表3.2.2-2**は、同じく国土交通省による2005年10月18日から20日までの3日間の出荷貨物について、出荷1件ごとに品目、荷受人業種、届先地、重量、輸送経路（輸送機関、利用輸送施設)、出荷時刻、所要時間、輸送費用などを調査した「3日間調査」より林産品を抜粋して示したものであり、林産品のほとんどはトラック輸送に依存していることがわかる。

表3.2.2-2 林産品の代表輸送機関分担（重量ベース）　単位%

	鉄道			トラック						海運				航空	その他	合計
					営業用トラック											
	鉄道コンテナ	車扱その他	計	自家用トラック	宅配便等混載	一車貸切	トレーラー	フェリー	計	コンテナ船	RORO船	その他船舶	計			
原木				25.6	0.1	46.3	16.0	0.29	88.3			9.80	9.80		1.9	100.0
製材	0.22		0.22	40.7	0.5	42.0	11.3	2.14	96.6		0.17	2.30	2.40		0.7	100.0
薪炭	0.14		0.14	94.6	0.3	4.2		0.66	99.9						0.0	100.0
樹脂類				34.0	1.7	32.0	32.3		100.0							100.0
その他の林産品				55.9	0.1	29.2	7.0	1.03	93.3			2.30	2.30		4.5	100.0
計	0.15		0.15	44.7	0.4	38.2	10.3	1.71	95.3		0.11	2.70	2.80		1.7	100.0

（国土交通省　第8回全国貨物純流動調査報告書（平成19年）の「表3-2-6 品類品目別にみた代表輸送機関分担（重量ベース)」より林産品の部を抜粋して作成）

ところで近年、輸送モードのシフトが様々な場面で進行している。その多くは自家用車の利用を公共交通機関の利用へ誘導したり、トラックによる物流を鉄道輸送や船舶輸送に転移させたりしようとするものである。これを「モーダルシフト」と呼ぶ。モーダルシフトが求められる理由として、鉄道や船舶の輸送単位が大きく、輸送効率が高いという特性から、**表3.2.2-3**のように、二酸化炭素排出量、化石燃料消費量、大気汚染物質（硫黄酸化物・窒素酸化物など）排出量の抑制が期待されることのほか、道路上の交通量が減少するため、交通渋滞の緩和、交通事故の減少も期待されている。

表3.2.2-3 各輸送機関別の二酸化炭素排出係数［g/(t・km)］
（貨物1トンを1km輸送する場合の二酸化炭素排出量）

トラック（一般道）	86
トラック（高速道路）	73
船舶	35
鉄道	24

（社団法人日本物流団体連合会「モーダルシフトに関する調査報告書」より作成）

3.2.3 環境負荷低減を志向した軌道系運材の可能性

3.2.1項で述べたように現在の木材の流通は山元から集散地まで、集散地から需要先までトラック主体の輸送体系となっている。集散地から需要先までの幹線道路上のトラック輸送は、一定量の貨物のまとまりがあれば鉄道コンテナや海岸地域であれば船舶へモーダルシフトもあり得る。では、山元から集散地までの林道上のトラック輸送を、かつての森林鉄道のような軌道系の輸送へシフトすることは可能であろうか。これまで見たように、歴史的には河川流下→鉄道→トラックと、エネルギー投入量の大きい輸送モードへ変化している。また、河川流下でも支流では人為的に鉄砲水を発生させて伐採木を流すなど、「環境負荷低減型」と必ずしも言えない面はあるとはいえ、全体の環境負荷の面でも、河川流下＜鉄道＜トラックであると考えられる。

そこでまず、**表3.2.3-1**の木曽地域の森林鉄道の規格を参考にして、林業に関する各種作業が可能かどうか検討した。

表3.2.3-1 木曽地域の森林鉄道（森林軌道、作業軌道）の規格
（カッコ内は昭和28年以降適用された呼称・規格）

項目	単位	森林鉄道（一級線）	森林軌道（二級線）	作業軌道
幅員	m	2.4 ～ 2.73	2 ～ 2.4	1.5
軌条	kg	10 ～ 12 (10 ～ 22)	8 (9)	6 ～ 8
最小半径	m	20 (30)	15 (10)	4
最急勾配	‰	50 (40)	60 (50)	80
入線機関車	トン	6 ～ 12	3 ～ 5	3 ～ 5 または人力

（「木曽森林鉄道について」Webサイト記載記事より作成）

林業の篤志家で、大阪府で約100 haの森林経営を行う大橋慶三郎氏は247 m/haの高密度路網を実践している。この路網密度では平均集材距離は約20 mであり、伐倒した木材の長さを考慮すればすべて最寄りの林道に届く計算であり、実際にクレーンやグラップルを装着した小型パワーシャベル（バケット容積0.1 m^3程度のものと思われる）と、木材を搬送する2トントラックだけを用い、架線なしで集材が成立することを示している。この林業機械とトラックが作業や通行ができる道幅は2.5 mで充分であると述べており、森林

鉄道規格の軌道幅でも問題なく末端まで作業が行えると考えられる。木材の運搬には運材台車（**図3.2.3-1**）が用いられるが、木材の搬出時は運材台車を伐採木の長さに合わせて連結棒で2輌一組とし、小型パワーシャベルなど資材の運搬には平型の荷台を2輌に跨いで設置することで対応可能である。

図3.2.3-1 赤沢自然休養林で保存されている運材台車

運材時は2輌一組とし、車体上（ビニールシートで覆われている部分）に、材木を固定する回転式の柵柱を取り付ける

軌道系がエネルギー消費の点で優位である要因は、その走行抵抗が小さいことによる。それを最大限利用した運材が、現在日本で唯一現役の森林鉄道である屋久島の安房（あんぼう）森林鉄道で伝統的に実施されている。屋久杉の新規伐採が禁止されている屋久島では、屋久杉を使った工芸品や家具などはかつて伐採された屋久杉の根株を使って作られている。これを土埋木という。山中から掘り起こされた土埋木を運搬するのが安房森林鉄道の役目であり、運搬用に土埋木を積載する運材台車と、それを牽引する機関車がある。機関車は麓から運材台車を牽引して山中を登り、積載地点まで向かうが、土埋木を積載した運材台車を牽引することはない。運材台車には作業員が添乗し、ブレーキを扱いながら重力に従って山を下っていくため、下りでは機関車を必要としないのである。機関車は運材台車とは別に単独で山を下ることになる。この方法は最小のエネルギー投入で運材ができるものの、運材台車のブレーキ操作には熟練を要するといわれ、大きな危険を伴う方法でもあり、どこでも容易に導入できるものではない。しかし、それは運材台車の保安性能を向上させることで解決が可能である。例えば、運材台車に発電機を設けて下りでは車輪の回転で発電を行うことによって、位置エネルギーを電気エネルギーに変換できるだけでなく、ブレーキとしても機能することになる。さらにこの電気を蓄電し、登坂時に補助動力として使用することもできる。

これまで軌道系の輸送の可能性について、開削幅や省エネルギーの面から検討したが、軌道系の輸送を行うためには、林道に比べて軌道敷設など高い初期投資や、軌道や車輌のメンテナンスが必要となる。軌道系の走行抵抗が小さく省エネルギー性に優れる点は、**表**

3.2.3-1に示すように、裏を返せば登坂力が弱く勾配が限られるというデメリットでもある。以上のことから、路線配置の地形上の制約が小さく、路盤の保守のみで済み、汎用品であるトラックを用いる車輌系よりもコストが高くなることが予想される。これについては上記の環境負荷面での優位性を考慮しつつ、運材以外の用途にも利用することが必要になる。すなわち治山、砂防や水源林の保全のための作業に必要な作業員や資材の輸送手段として活用したり、森林を素材生産、バイオマス生産や水源の場のみとみなすのではなく、レクレーションの場として旅客輸送行ったりすることで安定的な運行を志向すべきと考えられる。

第４章　バイオマスによる炭素固定と炭素利用

バイオマスは大気中から炭素を吸収するばかりでなく、長期にわたって炭素を固定可能であり、気候変動対策として有益である。本章では気候変動対策の観点を踏まえつつ、炭素循環系におけるバイオマスの利用について検討した。

まず、我が国の森林を健全かつ持続可能な状態に維持するために大量の間伐等を実施した場合、余剰材を炭素固定資材として海外に輸出することの是非について検討した。また、都市域の樹木による炭素吸収と固定効果を検証し、立体的な緑化を含め、多面的な機能を発揮する緑化方策について論じた。これらの炭素固定では腐朽による炭素放散や工作物としての機能劣化について考慮する必要があるため現地調査を実施した。調査地の木曽谷赤沢地区は治山治水工や林道保護工として間伐材を用いており、機能劣化や腐朽の進行が少ないことを確認した。

一方、炭素循環の効率的な利用方法として、近年、バイオリファイナリーや微細藻類が注目されている。今後の実用化が期待される分野であるため、これらについても概要を整理し、その意義や効果、実用化に向けた課題等を明らかにした。

4.1　木材輸出による海外での炭素固定の是非

我が国の数少ない潤沢資源である木材は海外に輸出して炭素固定に用いることが可能であるが、輸出の妥当性については検討の余地がある。ここでは我が国の資源状況を検証して輸出の是非を論じると共に、今後の林業のロードマップと海外での炭素固定を提案する。

4.1.1　木材輸出の可否と是非

現時点では我が国は需要の8割近く（7,000万m^3/y）を輸入している木材輸入大国である。一方で国内では利用及び管理されていない大量の森林を抱え、国土保全等多面的な機能維持の観点からも利用拡大が急務である。このような状況下で国産材の生産拡大を国策的に実施した場合、どのような現象が生じるか、また、木材を輸出することが可能か、その妥当性を検討する。

1)　木材生産拡大の是非

我が国の森林、林業および木材需給の状況から、生産拡大の是非を整理する。

(1)　木材は潜在的に自給可能

平成20年の調査報告によると、木材は潜在的に自給可能な資源である。すなわち、現在の木材消費量8,800万m^3/yに対し、国内の人工林の材積増加量は8,000万m^3/yであるため、木材利用の歩留まり向上やリサイクルにより消費量を１割減らし、国策により生産量を8,000万m^3/yまで拡大すれば、計算上は自給可能となる。勿論、奥山や伐採困難な急峻地もあるため実現は容易ではないが、潜在的には自給が可能な資源といえる。

(2)　人工林は積極的に伐採しないといけない

現在、伐採されない人工林が増えて全国で山が荒廃しており、危惧されている。人工林は適度に伐採を行わないと木が成長しないばかりでなく、表土層の崩壊、流

出や渓谷の荒廃、下流域の河床上昇や洪水の危険増大など、国土保全と生活の安全に大きな影響がある。過去３年間の現地調査でも、林業関係者の間では早急に大々的な間伐等の抜本的対策を施さないと取り返しがつかないとの危機意識が広く共有されている。山が荒れるとCO_2の吸収効果も落ちるため、適度に間伐を行い、材積増加量がピークを越す40～50年生前後で伐採を行うことが望まれる。

(3) 生産拡大は必須

これらの状況を勘案すると、究極的な目標として生産量（伐採量）を持続可能な生産量（＝年間材積増加量）8,000万m³/yまで拡大するのが望ましい。平成21年12月に策定された林野庁の森林･林業再生プランでも2020年までに自給率50%、生産量4,000～5,000万m³/yにまで拡大する方針が掲げられている。

2) 海外輸出の是非論

国内生産量が8,000万m³/yにまで拡大すると仮定した場合、全てを国内で消費するのか、あるいは海外に輸出するかについて、以下の二つの考え方が想起される。

(a) 全てを国内消費する。外材輸入を全廃し、100%自給すべき。エネルギーとコストをかけて輸出すべきでないし、海外での森林破壊を助長すべきでない。

(b) 一部を海外輸出し、砂漠の緑化資材等として活用する。緑化による国際貢献と権益確保の効果は計り知れない。つまり積極的に輸出すべきである。

両者の主張に一長一短はあるが、究極的には(a)の自給100%を目指す方向性が望ましいと思われる。そうであれば、100%自給の可能性検証が必要であろう。

3) 100%自給の可能性

国内生産8,000万m³/y体制を構築した場合、100%自給が可能か検討した結果、現状のままでは自給不可能であることが判明した。供給資源内容に問題があり、自給には樹種構成の転換が必要なためである。以下にその概要を示した。

(1) ロードマップ仮説

仮に20年間で8,000万m³/yの生産体制が国策で構築できたとした場合、100%自給は**図4.1.1-1**のようになると考えられる。

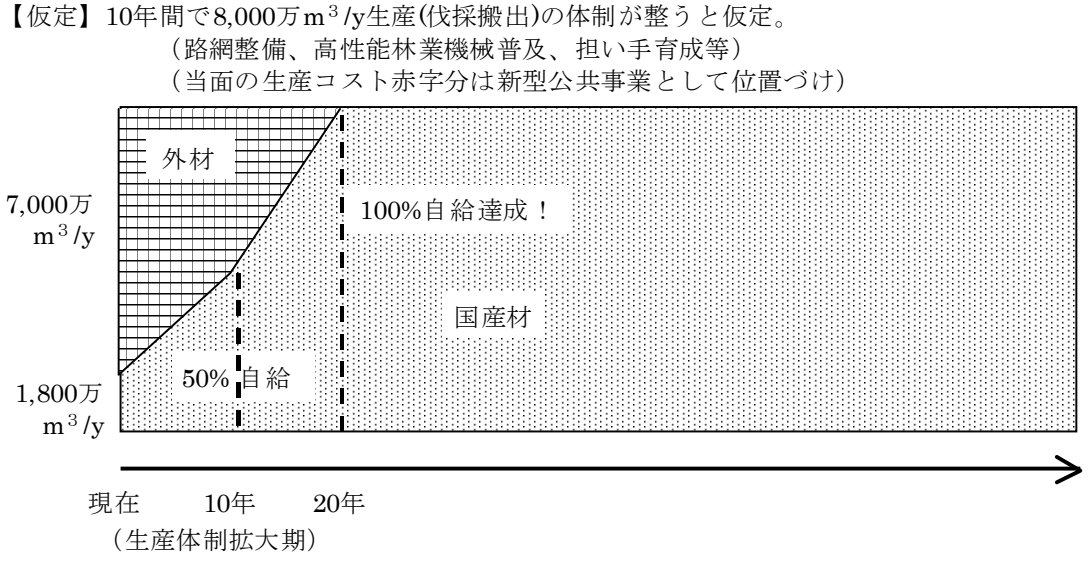


図4.1.1-1 100%自給のロードマップ仮説

(2)　樹種由来の需給ギャップ問題

単純に生産量が8,000万m³/yまで拡大しても、残念ながら国内消費は賄えない。以下のように樹種による用途の違いがあり、需給ギャップが存在するためである。

国内消費の主要な用途の一つに製紙原料がある。強度を求める段ボール用には強くて長い繊維が採れる針葉樹チップが用いられる。一方、需要の多い印刷用紙にはきめの細かい広葉樹チップが用いられる。針葉樹の繊維は印刷滲みやペンの滑りの悪さがあるため、印刷用紙には不向きである。このため、製紙原料としては広葉樹チップの需要が多く、建築材等も含めた全体消費量としては、1/3が広葉樹、2/3が針葉樹となっている。

しかし、**図4.1.1-2**に示すように国内の人工林の樹種は84%が針葉樹であるため、需給ギャップが生じる。現状の樹種構成のままの場合、国産材生産量8,000万m3/yを達成したとしても、広葉樹が約1,700万m3/y不足することとなる。

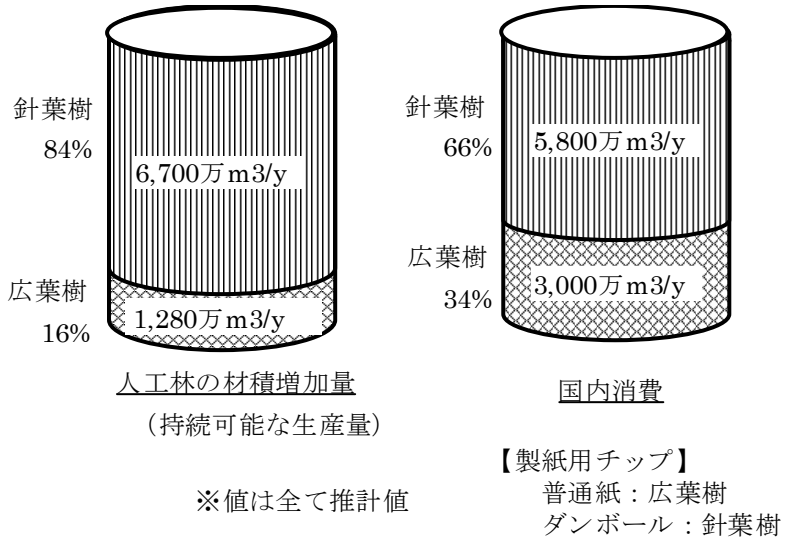


図4.1.1-2　需給ギャップ

需給ギャップの根本的な解決には、人工林の一部を広葉樹に転換することであるが、樹種転換には伐採･植林後、成長するまでに40～50年を要する。このため、8,000万m3/yの生産体制が整ったとしても、当面は広葉樹を輸入する必要がある。

4)　自給100%までのロードマップ

前項のように当面の自給100%達成は不可能であるため、**図4.1.1-3**に示すように、まずは短期的に8,000万m³/yの生産体制を整え、中期的に徐々に樹種転換を行い、長期的に自給100%を目指すことが望まれる。この間、国産針葉樹の一部が余剰となる。

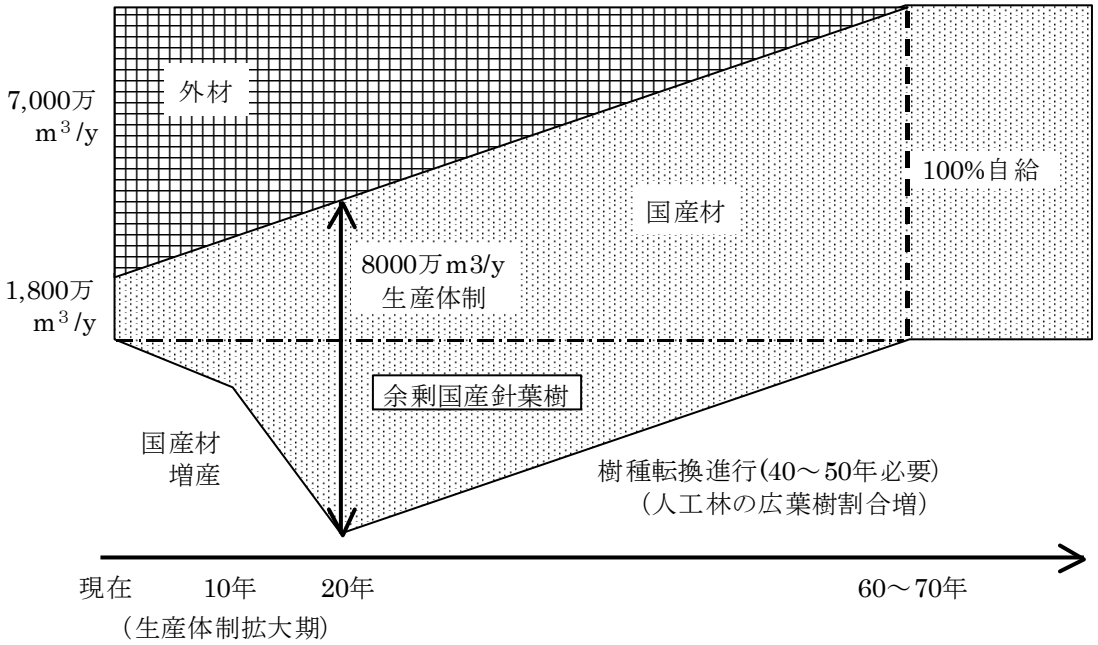


図4.1.1-3　樹種を考慮した自給ロードマップ

5)　自給100%までのつなぎの策

図4.1.1-3に示されるように、国内人工林の樹種転換が完了するまでは広葉樹チップをある程度輸入せざるを得ない。一方、国産針葉樹は8,000万m³/y生産体制の達成時をピークに、その40～50年後まで余剰となる。この余剰針葉樹の活用策が必要である。その一つとして、海外に木材を輸出して乾燥地帯で資材化し、かつ炭素を木材のまま長期固定する手法が考えられる。バイオ燃料として国内で消費する方策もあるが、直ちに炭素を大気中に放散してしまうため、気候変動対策の観点からは長期固定が望ましい。海外での炭素固定効果とバイオ燃料の化石燃料代替効果の比較が必要であろう。

4.1.2　海外における炭素固定

前節に示されるように、森林を保全し多面的機能を維持するためには人工林を持続可能な規模8,000万m³/yで伐採する必要がある。そして、その規模の伐採を行うと、当面は国産針葉樹が余剰となる。

一方、気候変動対策の観点から、持続可能な量で伐採して国内でのCO_2吸収量を増加させると共に、海外で長期にわたり炭素を固定する、あるいは新規のCO_2吸収源として砂漠の緑化を行うことが重要である。このための材料として、余剰となる国産針葉樹を用いることは有効であろう。

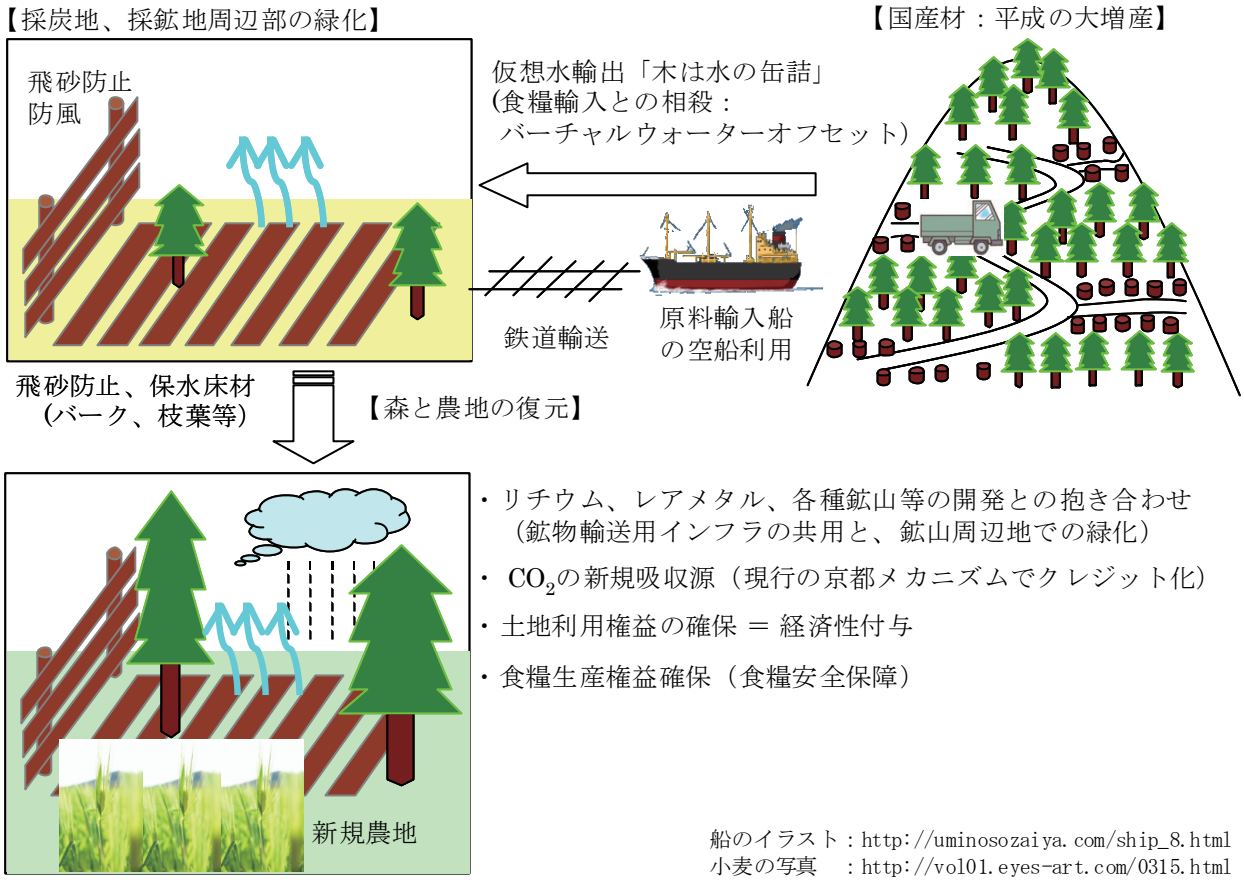


図4.1.2-1　炭素固定機能を併せ持つ砂漠緑化資材化

砂漠での植林の障害の一つとして飛砂による幼苗の埋没や苗床の保水がある。このため、針葉樹の原木を輸出し、現地で挽き割りして板状に製材し、飛砂防止柵としたり、樹皮を敷き詰めて床固めによる飛砂防止や保水材料として用いることが考えられる。

また、平成21年度の調査研究で試算されたように、1m³の木質は4,300 m³近い降水の賜物であり、いわば「木は水の缶詰」である。日本は食糧の仮想水（バーチャル・ウォーター）輸入で非難される立場にあるが、木材を輸出することは仮想水を輸出することでもあり、木材輸出によって食糧輸入を相殺するバーチャル・ウォーター・オフセットの効果も期待できよう。

CDM案件としてクレジットを取得するほかに、緑化により生まれる耕作地の権益確保、炭鉱やレアメタル鉱山、塩湖でのリチウム採掘等の開発と抱き合わせて資源搬出インフラの逆方向利用を図り、食糧を含めた各種資源のセキュリティ向上策ともなり得る。

4.1.3　提案

以上の観点より、我が国の森林保全および利用について、以下のように提案する。

1）短期的(20年程度)には「平成の大増産」を実施する。

国産材生産量を持続可能な生産量である材積増加量（8,000万m³/y）まで増やす体制を構築する。

2）中期（60～70年間）には、余剰針葉樹を海外の砂漠緑化資材として輸出する。

余剰針葉樹を砂漠緑化資材かつ炭素固定資材として活用し、国際貢献と同時に各種の権益確保を行う。

3) 長期（70年後以降）の究極目標として、国産材による自給100%を達成する。

これらの方策により、国土の保全を保障しつつ、気候変動対策と資源セキュリティ向上を同時に実現することが可能と考える。

4.2 都市緑化と炭素固定

都市の緑にはヒートアイランド現象の緩和、大気浄化、騒音や振動の防止に代表される都市の環境を改善する機能の他に、都市の安全性･防災性を高める機能、美しい都市景観をつくる機能、レクリエーションや安らぎの場を与える機能、生物多様性を確保する機能等を有している。つまり、大気中のCO_2削減には、排出量を減らす一方で、吸収と固定を推進することが必要である。従来、CO_2の吸収と固定源として都市域外の森林が注目されてきた。しかしながら、CO_2発生は主として都市における電力などのエネルギー需要や材料と物質の要求に起因することから、都市部においてもCO_2吸収と固定の一端を担うための緑化推進が望ましい。

都市の緑によるCO_2吸収固定の可能性の検討に当たっては、都市部の緑化推進の方向性と、樹木のCO_2吸収固定能の把握が重要となる。そのため、ここでは、都市部における緑化推進の現状と都市樹木のCO2吸収固定能について示す。これらが今後の都市緑化推進の方向を見通し、CO_2吸収固定の可能性を検討する一助としたい。

4.2.1 都市緑化推進の現況

京都議定書上の吸収源対策としての都市緑化等の扱いは、下に示すような国際的な動向を経た後に、開発地におけるCO_2吸収源対策（植生回復）という分野で計上することが可能となった。まずは、この動向を年代順に示すと

･1997年12月：COP3（京都議定書）締約国が適用可能な吸収源対策について、土地利用変化及び森林分野における追加的な人為的活動の規定がなされる

・2001年７月：COP6.5（ボン合意）京都議定書での「新規植林」「再植林」「森林減少」及び「森林経営」「植生回復」「耕作地管理」「牧草地管理」の内容がより明らかにされる。

・2001年11月：COP7（マラケシュ合意） 植生回復の定義、森林経営の計上の上限値（対基準年排出量比3.9%）が固まる。吸収源計上方法のガイドライン作成をIPCC（気候変動に係る政府間パネル）に要請

・2003年12月：COP9（ミラノ） IPCCが作成した吸収源の計上方法ガイドライン「土地利用，土地利用変化及び林業に関する良好手法指針(LULUCF-GPG)」を承認。吸収量算定の詳細ルール、条約事務局への報告様式固まる

となる。

これらの国際的な動向を受けて2007年（平成17年４月）に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」に、都市緑化等の推進には「CO_2吸収源」「身近な吸収源対策としての啓蒙効果」「ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた省CO_2化」の効果があることが盛り込まれ、CO_2対策としての機能が期待されることとなった。

ここで、植林等によるCO_2吸収源対策については、「森林経営」によって吸収固定される4,767万t- CO_2（対基準年量比約3.9%）とは別枠となり、都市緑地化等は「植生回復」として計上することが出来る。このことから、国土交通省は、都市公園の整備、道路、河川、港湾等の緑化、既存の緑地の保全、民有地の緑化等の公共公益施設における高木の植栽を積極的に促進することにした。

国土交通省による京都議定書目標達成計画（2008年３月改訂）では、都市緑化の推進よって2008～2010年間のCO_2吸収量を72万t- CO_2（対象基準年である1990年の総排出量比0.06%程度）と推計している。

ここで、国土交通省による「都市公園面積の推移」を**図4.2.1-1**に示す。都市緑地化推進の一例として、実際の都市公園の整備では、1990年度（平成2年度）末に面積約68,000 haが2008年度（平成20年度）末には約115,000 haとなり、18年間で約47,000 haが増加した。これを国土交通省の計算方法に当てはめて、高木本数に換算すると18年間で約4,560万本の増加に相当することになる。また、この内訳を「平成20年度末種別毎都市公園等整備現状」を**表4.2.1-1**に示す。

今後の都市緑地化推進については

・都市公園、道路、河川等における緑地等の吸収量の報告と検証体制確立に向けた検討を継続
・公共公益施設等における緑化を推進し、吸収量の見込量の精査と確保に努める
・緑地保全地域の創設による里山等の緑地の保全、緑化地域の創設による緑化率規制の導入、立体都市公園制度の導入による市街地内の緑地の創出方策の充実等を措置する

としている。

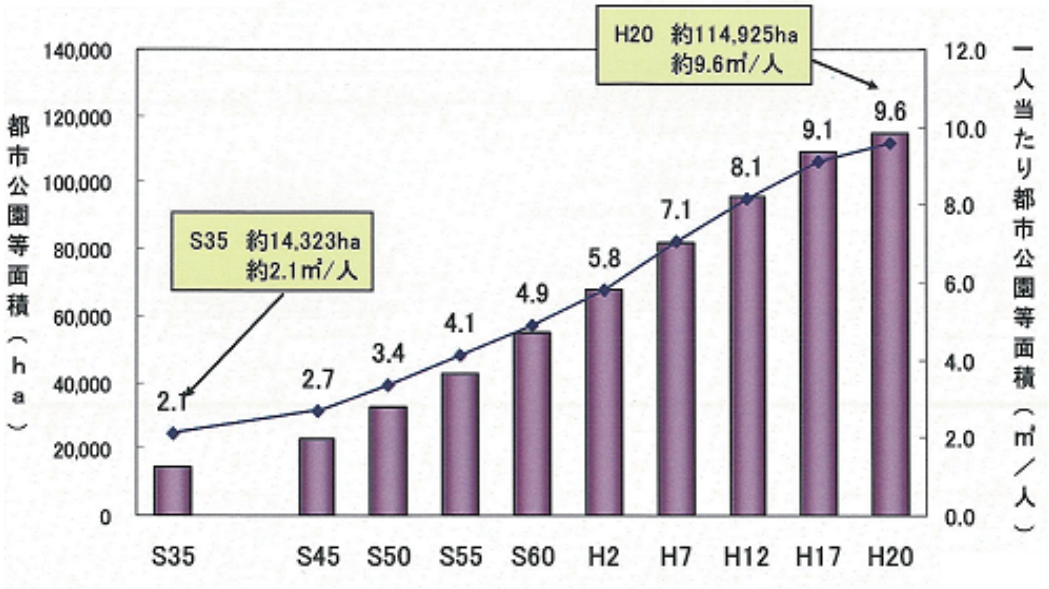


図4.2.1-1　都市緑化等面積の推移

出典：国土交通省Webサイト　http://www.mlit.go.jp/

表4.2.1-1　平成20年度末種別毎都市公園等整備状況（平成21年3月31日現在）

	平成20年度末		平成19年度末(参考)		整備量(H20-H19)	
	箇所数	面積[ha]	箇所数	面積[ha]	箇所数	面積[ha]
住区基幹公園	84,506	31,504	83,145	31,144	1,361	360
街区公園	77,569	12,857	76,272	12,673	1,297	184
近隣公園	5,276	9,429	5,215	9,361	61	68
地区公園	1,661	9,218	1,658	9,110	3	108
	(174)	(1,363)	(174)	(1,360)	(0)	(3)
都市基幹公園	2,054	36,330	2,039	35,865	15	465
総合公園	1,275	24,155	1,266	23,872	9	283
運動公園	779	12,175	773	11,993	6	182
大規模公園	207	14,395	207	14,093	0	303
広域公園	201	13,855	201	13,554	0	301
ﾚｸﾘｴｰｼｮﾝ都市	6	540	6	539	0	2
緩衝緑地等	10,084	30,115	9,800	29,610	284	505
特殊公園	1,276	12,999	1,271	12,916	5	83
緩衝緑地	189	1,656	188	1,590	1	66
都市緑地	7,402	13,774	7,174	13,452	228	322
都市林	110	426	104	415	6	11
広場公園	288	357	269	350	19	7
緑道	819	903	794	887	25	16
国営公園	16	2,581	16	2,495	0	86
合計	96,867	114,925	95,207	113,207	1,660	1,719

※都市公園等とは、「都市公園法」に基づき国又は地方公共団体が設置する都市公園、及び都市計画区域外において都市公園に準じて設置されている特定地区公園（カントリーパーク）を指す。

※地区公園にはカントリーパークを含む。

※（　）内の数字はカントリーパークを示す。

出典：国土交通省Webサイト　http://www.mlit.go.jp/

ここで立体都市公園とは、国土交通省都市･地域整備局による「都市公園法運用指針（平成16年12月）」から引用すると、「市街地中心部等では、都市公園の整備は必要とする一方で、他の目的による土地利用を図ることも必要であるため、土地の有効利用を図りつつ、他の施設と都市公園とを一体的に整備することによって効率的に都市公園の整備を進めるためには、都市公園と他の施設による立体的土地利用を図ってゆくことが望ましい。（略）」と有り、具体的には、都市公園の地下利用、建物の屋上への都市公園設置、人工地盤上への都市公園の設置などが挙げられている。

また、国土交通省では「緑の政策大綱」を策定し、この目的として「環境問題の高まりを踏まえ、緑豊かな国土の形成を図るうえで、特に緑の多様な機能を活かした生活環境づくりの推進と、国民の身近な緑に対するニーズの高まりへの対応が課題である。このため建設省として生活者重視の視点に立ち、緑の保全、創出、活用にかかる諸施策の基本方向と基本目標を明確にし、施策の総合的展開を図ることを目的として緑の政策大綱を制定するものである。」と掲げている（国土交通省Webサイト:http://www.mlit.go.jp/crd/park/joho/seisaku/index.html）。

そして、この施策の基本方向を

・緑の保全と創出による自然との共生

・緑豊かでゆとりと潤いのある快適な環境の創出、美しい景観の形成

・緑を活用した多様な余暇空間づくりの推進
・市民の参加、協力による緑のまちづくりの推進

と定め、この基本目標と施策の総合的展開として

・道路、河川、公園等の緑の公的空間量を3倍、所管の公共施設等の高木本数を3倍（21世紀初頭を目途）
・市街地における緑地の占める割合を3割以上確保
・市町村による「緑の基本計画」の策定を推進

また、これらの具体的施策として、

・緑の保全、創出、活用に関する総合的な計画の策定
・緑の創出と活用
・緑の保全＝生態系配慮した人間と自然が共生する緑のエコ・ネットワーク
・技術開発と国際協力の推進
・緑の情報発信

を掲げている。

このように、国土交通省では国際的な経緯を踏まえ、今後、都市緑化を積極的に推進して行き、ひいてはCO_2吸収･固定の一助とする方針であることが伺える。

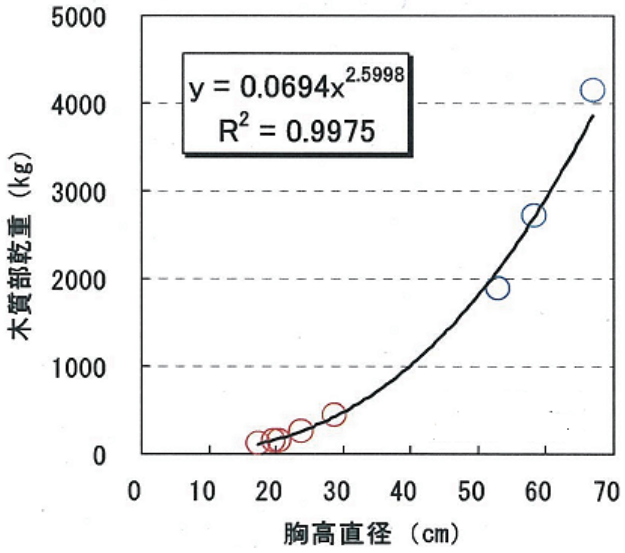


図4.2.2-1　胸高直径と木質部乾重の関係（ｹﾔｷ）

出典：松江ら，都市緑化樹木のCO_2ストック変化量把握に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.489（2008）

4.2.2　都市緑化樹木によるCO_2固定量

都市緑化等の推進はCO_2対策の一つとして重要な役割を担っていると考えられることから、このCO_2吸収･固定量を定量的に把握することで、その効果が明らかになり、都市緑化の計画と促進に貢献する。

ここで、国際的には吸収源に対する計上と報告について、上述のLULUCF-GPGによる方法を採用することが合意された。これによると、炭素ストック量の変化は一般に成長量から損失量を差し引いて求めることとし、成長量の算出に当たって３つの階層の算出方法が示されている。しかしながら、成長量や損失量の算出に当たって

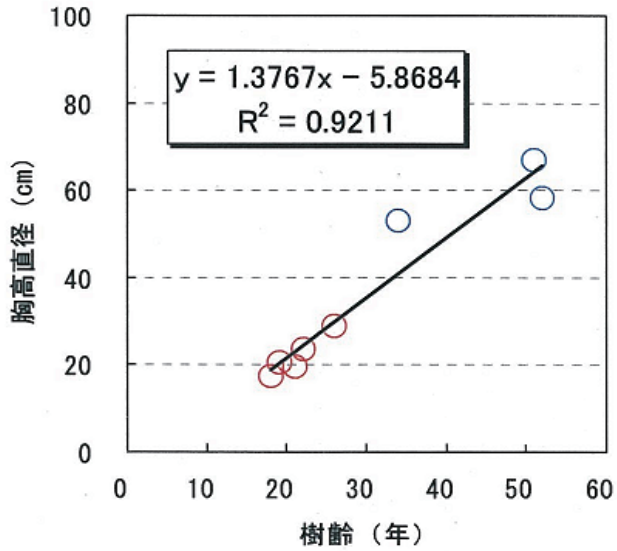


図4.2.2-2　樹齢と胸高直径の関係（ｹﾔｷ）

出典：松江ら，都市緑化樹木のCO_2ストック変化量把握に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.489（2008）

世界共通のデフォルト値を使用するため制度が低くなる等の問題点も抱えている。

そこで、松江らは日本の条件に即した算出方法の作成を試みた。一般に植物体に含まれる炭素（C）は、ほぼ全てが大気中のCO_2に由来し、様々な植物種に係わらず、その乾燥重量の50%程度がC含有量であるとされている。そのため、木質部重量の増加量からCO_2固定量が推定できることに着目し、街路樹や都市公園などの多用されている樹木の部位毎の乾燥重量の測定・樹齢判読等を行い、胸高（地上1.2m）直径を基にした樹木一本当たりの年間木質部乾燥成長量の算定式と、これを基にしたCO_2固定量算定式を作成した。調査対象木の樹種はクスノキ、シラカシ、ケヤキ、イチョウ、アメリカスズカケノキ、ソメイヨシノ、ヤマザクラの樹齢50年前後で最低でも30年以上である樹木である。

調査の一例としてケヤキにおける胸高直径と木質部乾燥重量の関係を**図4.2.2-1**に、樹齢と胸高直径の関係を**図4.2.2-2**に示す。図中の丸印は、調査によって得られた値である。ここ図には、調査値から求められた算定式も実線として示されている。

樹齢60年までの範囲では、胸高直径や樹齢が高くなるほど年間成長量が大きくなる傾向が示された。この傾向は、他の樹木についても同様であった。

これらを基に求められた各樹木の年間CO_2固定量の予測式を**表4.2.2-1**に示す。ここで、固定量の算定対象は、木質化することで長期間固定が継続する幹、枝および根からなる木質部とし、葉は一時的には固定するものの、落葉によって短期間で失われるため常緑樹も含めて算定対象からは除外されている。

表4.2.2-1　年間CO2固定予測式

ケヤキ	$Y=0.127\ \{(X+1.4)^{2.5998}-X^{2.5998}\}$
イチョウ	$Y=0.0667\ \{(X+1.0)^{2.7122}-X^{2.7122}\}$
プラタナス	$Y=0.0796\ \{(X+1.2)^{2.7773}-X^{2.7773}\}$
クスノキ	$Y=0.0691\ \{(X+1.4)^{2.64}-X^{2.64}\}$
シラカシ	$Y=0.218\ \{(X+1.3)^{2.4875}-X^{2.4875}\}$
マテバシイ	$Y=0.0665\ \{(X+0.7)^{2.8665}-X^{2.8665}\}$

Y：年間CO2固定量（kg/年）
X：胸高直径（ｃｍ）
出典：松江ら，都市緑化樹木のCO_2ストック変化量把握に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.489（2008）

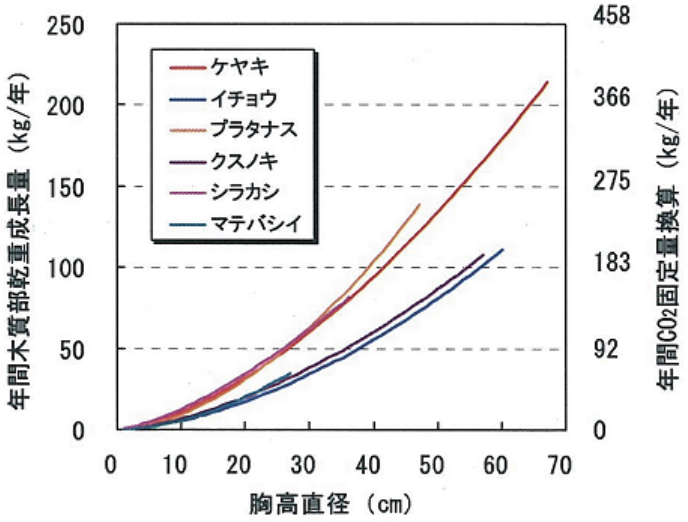


図4.2.2-3　胸高直径と年間木質部乾重量成長率および年間CO_2固定量換算との関係

出典：松江ら，都市緑化樹木のCO_2ストック変化量把握に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，No.489（2008）

また、都市部の樹木は剪定されるのが前提であるが、たとえ樹高や枝張りは同じ大きさに剪定されても剪定毎に樹形を小さくしていかない限り、取り込まれたCO_2の多くは幹等の肥大成長のかたちで固定されるために、全体の成長率は剪定等による損失量を上回ると考える。

年間の木質部乾重量成長量およびCO_2固定量換算と胸高直径の関係を**図4.2.2-3**に示す。胸高直径が70cmまでの範囲では、どの樹種においても胸高直径が大きくなるほど年間成

長率は大きくなる。また、同じ胸高直径ではケヤキ、プラタナス（アメリカスズカケノキ）類、シラカシが他の樹種より成長量が大きいことが示された。この例では樹木の葉に吸収されるCO_2の量は、意図的に省いていた。公害保険被害補償予防協会が示す樹木の葉1m²が1年間に吸収するCO_2量を**表4.2.2-2**に示す。この値は葉に取り込まれたCO_2量から葉、茎と根の呼吸によって再び外部に放出される量を差し引いた値である。これによると中低木４種類による平均値が3.0kg/(m²･y)と最も多く、全10種類の平均値は2.6 kg/(m²･y)となった。

公園などの公共施設以外での緑化としては、ビルの屋上などの屋上庭園等が広く一般に知られ、実際に多く施工されている。しかし、屋上庭園は建築物の平面部分を利用するため、その施工場所も屋上面積に限られる。

表4.2.2-2　樹木の葉１m²が1年間に吸収するCO_2の量

樹木名	樹木の種類	樹木の葉１m2が1年間に吸収するCO2量		
		樹木毎 [kg/(m²･y)]	種類毎平均 [kg/(m²･y)]	全平均 [kg/(m²･y)]
ユリノキ	落葉広葉樹高木	1.9	2.3	2.6
オオシマザクラ		2.3		
エノキ		2.8		
クスノキ	常緑広葉樹高木	2.3	2.4	
アラカン		2.3		
トウネズミモチ		2.7		
サンゴジュ	中低木	2.8	3.0	
ヒイラギモクセイ		3.2		
トベラ		2.8		
シャリンバイ		3.3		

出典：国土交通省による公害健康被害補償予防協会
＜改訂版＞大気浄化植樹マニュアル(1995)の引用

ここでは都市緑化方法の新規的な例として一般に屋上面に対して大きな面積を有する建築物の壁面を利用する一例を紹介し、そのCO_2吸収と固定量を示す。

近江窯業㈱は建築構造物の壁面緑化用資材として「壁面緑化陶板」を開発し、これに植生するスナゴケのCO_2固定量を算出している。スナゴケは、コケ植物の中でも生命力が強く、－20℃～70℃までの耐寒・耐熱性を備え、自然界では、無機質で乾燥した基盤にも先駆けて着生できる植物である。このため、建物壁面の緑化には最適の植物として、採用されている。また、スナゴケは自重の約20倍もの保水力があり、その蒸散作用による微気象の緩和によって、冷房機器による電力需要の削減にも効果が期待できる。

室内における80日間の実験の結果、約656から944 g/m³程度のCO_2が固定できた。樹高7.0 m、胸高直径20.4 cmのケヤキによるCO_2固定量は28.1から34.5 kgであるため、これと同様のCO_2吸収と固定には、約43～53 m²程度の面積で補えることになる。壁面緑化陶板の構造を**図4.2.2-4**に、この施工例を**図4.2.2-5**に示す。

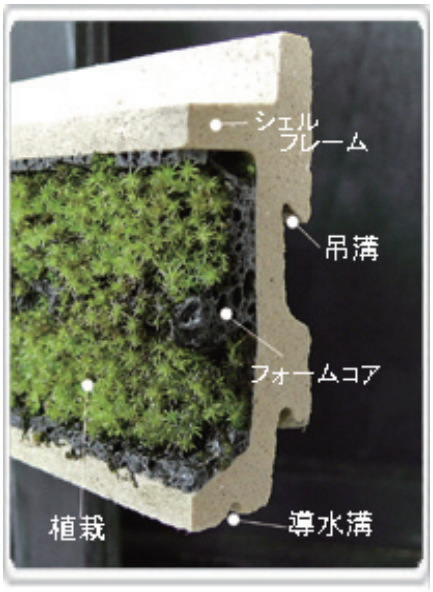


図4.2.2-4　壁面緑化陶板の構造
出典：近江窯業㈱Webサイト
http://www.gif-t.jp/

図4.2.2-5　壁面緑化陶板の施工例
（千里中央駅・面積10m²）
出典：近江窯業㈱Webサイト
http://www.gif-t.jp/

都市における緑化に当たって平面的な緑化地の確保が困難である。そこで、この技術を駆使して緑化可能地を立体的に捕らえ、より密度の高いCO_2吸収と固定の場が創造できると考える。

4.2.3　提案

産業界では、CO_2排出量の削減は乾いた雑巾を絞るようなものと言われる昨今、都市緑化によるCO_2吸収固定は、微力ながらこの一助になる。

現在、都市緑化は、その事業の多くが公的機関から発生することから、官庁における費用対効果の正確な算出と評価が必要である。これにはCO_2の吸収と固定効果の他に、ヒートアイランド現象の緩和等、都市の環境を改善する機能、都市の安全性と防災性を高める機能、美しい都市景観をつくる機能、レクリエーションや安らぎの場を与える機能等の恩恵から受けるコストの算出方法を確立し、総合的に検討できる評価方法が望まれる。このため、多くの樹木について信頼性のあるCO_2吸収固定量の推測の方法の確立と一般化が必要であり、さらに詳細な植生とその分布の調査も重要である。また、都市の緑地の密度を高くするために、建築物壁面等も利用した立体的な検討も行う必要がある。

4.3　炭素固定先進事例の現地調査

中部森林管理局木曽森林管理署所管の長野県木曽郡上松町赤沢自然休養林に隣接する約27haの赤沢木材利用等展示エリア（モデル林）は、国土の保全、水源かん養、二酸化炭素の吸収など森林の持つ多くの公益機能を発揮させる望ましい森林の姿と同時に、人工林の間伐材を有効利用した治山･林道工事における、環境にやさしい木材利用工法等が見られることを目的として平成13年に設置された。

９年を経た現時点でそれら工種の機能維持状況や劣化状況を調査し、炭素固定目的で木

材を土木･治山用資材とする場合の有効性を確認した。

4.3.1　木曽谷の営林概要

木曽谷中央部の上松町南西部に位置する赤沢地域には青森ヒバ、秋田スギとともに日本三大美林の一つとして知られている樹齢約300年生の木曽ヒノキ天然林からなる「赤沢自然休養林」がある。**図4.3.1-1**のように赤沢地域は林相も生態系も豊かさを感じられる森林である。沢も水量豊かな清流であり、水源涵養、保健休養等の多面的機能が十分に働いているものと推察された。

木曽谷の営林の歴史は戦国時代に遡る。戦国から江戸初期に城郭建築等による乱伐で資源の枯渇が懸念された。このため、1665年からの留山･巣山制度や、1708年からの木曽五木停止木（ちょうじぼく）制度と呼ばれる禁伐制度により資源の保護が図られてきた。

近代になると、「森林浴発祥の地」となるなど多面的機能を考慮した先駆的な営林が行われてきた。また、森林鉄道が発達していたこと、伊勢神宮の遷宮用木材を生産するなど銘木の産地ということでも知られている。

今回確認した木曽川右岸の赤沢自然休養林の周辺地域は、ヒノキ等の人工林が存在しており、既に間伐等の森林整備がされた林分が多く、木曽川左岸に比較して人工林率も高い。気候条件等から他の地域に比較して成長率はやや遅いものの、その分、年輪が緻密で良質の素材が生産されていることから地元の公共建築物への使用はもとより、国内外を問わず建築材等として高い評価を得ている。

図4.3.1-1　木曽谷赤沢自然休養林内　（現地調査時に撮影）
左写真　：人工林ヒノキの複層林林相
中央写真：天然更新（切り株からの木曽ヒノキの稚樹発生）
右写真　：天然更新（倒木からの木曽ヒノキの稚樹発生）

木曽谷の素材生産事業については、木曽谷特有の急峻な地形が多いことから架線（ワイヤ）集材が主流であるが、近年、高性能林業機械等の普及により低コスト･高効率な集材作業が導入されてきている。

特に間伐においては、**図4.3.1-2**に示すように架線下を直線状に伐採する「列状間伐」が主流となってきている。列状伐採は効率が良く、作業の危険も少ない上、間伐率（間伐割合）も解かり易い等利点が多い。点状伐採では伐倒した木が隣接木に引っ掛かる「掛かり木」が発生し易く、「掛かり木」の処理は労働災害が発生し易い危険な作業であるため、安全面でも列状伐採が勧められている。

図4.3.1-2　列状伐採　（現地調査時に撮影）
左写真　：人工林ヒノキの立木状況（伐採前）
中央写真：列状伐採後（平成17年度実施）
右写真　：列状伐採後（平成10年度実施）

搬出方法は古資料である木曽式伐木運材図会等によれば鉄砲水（仮堰に水を溜め破壊することにより水流で原木を一気に下流に流す）で搬送していたが、堰堤やダムの設置により衰退した。代わって森林鉄道が発達したが、モータリゼーションの進展により現在では作業道、林道、一般道を利用した一貫トラック輸送が通常となっている。なお、赤沢自然休養林では現在でも観光用に森林鉄道が現存して運転されている。

4.3.2　炭素固定としての屋外資材利用

海外の砂漠地帯では2000年以上残存する木材があり、日本でも法隆寺のように常に管理されている人工環境下では千数百年以上経っても原形に近い姿を保っている。一方、湿潤な日本の自然環境下では早期に風化と腐朽が懸念されるため、工作物の機能維持や、炭素を放散せずに固定している期間の確認が必要である。

今回現地調査した赤沢木材利用等展示エリアでは、９年前の施工以降手を加えていない間伐材利用の工作物を見学できたので、炭素固定の参考事例とした。

1）経年変化の状況

施工９年目を迎えるが、**図4.3.2-1～5**に示すように工作物の大部分が機能を維持している。一部、細い広葉樹でしがら（粗朶）を組んだ法尻安定工（編柵工）は網部分がなくなっているが、法面には既に植生が根付いており、法面安定化の所期の目的を達している。また、林道路側の流路工や沢の横断部等の湿潤部は腐朽しやすい環境であるが、ほとんどの工種が原型を留めており、機能を十分維持している（**図4.3.2-2**）。

なお、路面排水溝の代わりに、木材とゴム板による路面排水板が設置されている。これは未舗装道の侵食･荒廃の原因である路面流下水を、路側排水溝や林内に導くものである。従来のU字溝＋パンチングメタル等に比べ安価なうえ効果的であり、土砂堆積による溝詰まりも無く、優れた工法である（**図4.3.2-4**）。

工種	H13竣工時(出典:木曽森林管理署パンフレット)	9年経過後（現地調査時に撮影）
床固工	 	 丸太表面に多少の損傷はあるが十分機能
護岸工		

図4.3.2-1　間伐材工作物の経年変化状況（その1：治水対策工）

工種	H13竣工時(出典:木曽森林管理署パンフレット)	9年経過後（現地調査時に撮影）
法尻 土留工 木製ブ ロック 積工		 植生繁茂し既に安定。工作物は原型保持。
法尻 土留工 編柵工		 のり縦杭(矢印)のみ残存(粗朶部は無くなるが法面は既に安定化)
法尻 土留工 木製 篭枠工		 小段を維持

図4.3.2-2　間伐材工作物の経年変化状況（その2：林道法尻工）

工種	H13竣工時(出典:木曽森林管理署パンフレット)	9年経過後（現地調査時に撮影）
法面保護工		 丸太の表面風化は多少あるものの、十分原型を保持。
木製法枠工		 原型保持しつつ、植生が侵入し安定化

図4.3.2-3　間伐材工作物の経年変化状況（その3：林道法面工）

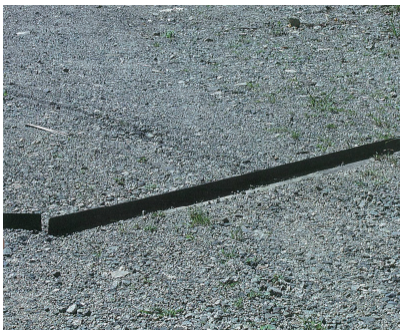
工種	H13竣工時(出典:木曽森林管理署パンフレット)	9年経過後（現地調査時に撮影）
路面排水工	 木部は埋設され、ゴム板が止水板となる。	 原型を保持し、排水機能を有する。

図4.3.2-4　間伐材工作物の経年変化状況（その4：路面排水工）

工種	H13竣工時(出典:木曽森林管理署パンフレット)	9年経過後（現地調査時に撮影）
水路工		一部損壊あるも、流路は保持。
暗渠呑口保護工		湿潤部が若干腐食
流木除け工		乾燥状態であり、ほぼ原型保持
桟道	（近年の施工でありH13ではない）	

図4.3.2-5　間伐材工作物の経年変化状況（その5：流路工他）

2) 材料加工方法について

赤沢木材利用等展示エリアは実験的事業であるため、丸太を3種類を利用して耐久性を比較している。現時点でその状況を観察すると、焼き丸太、皮無し丸太、皮付き丸太の順で腐朽しにくい（**図4.3.2-6**）。皮付き丸太は雨で濡れた後が乾きにくく、加えて樹皮の裏に虫が入りやすいため、比較的劣化しやすい。一方、コストは皮付き丸太、皮無し丸太、焼き丸太の順に安い。

所感として、皮無し丸太を標準材料とし、特に腐朽が懸念される箇所あるいは腐朽を嫌う箇所では焼き丸太を利用することが望ましい。また、現地で自動的に間伐材の皮剥ぎ、玉切り（一定長さに切断）する林業機械を開発･普及し、コストダウンをする必要がある。焼き丸太も現地で機械的に生産しないと利用は難しい。

赤沢木材利用等展示エリアの場合、木材の太さを均一に揃える円柱加工を施すために一旦山から下して製材し、再び山に上げて利用しているため材料費も安くない。実用上は丸太径が一定しないと組みにくいという施工上の支障がある。ラフな現地加工材料でも効率的に施工できるように、工法や束帯等補助材料を工夫する必要がある。

焼き丸太

皮付き丸太

図4.3.2-6　表面処理による劣化の差

今回の現地調査では10年弱の期間、屋外かつ湿潤な環境下においても木材は一定の姿で残存し、多くは原型を保持して工作物としての機能を維持していることを確認した。また、腐朽や損壊により原型を留めていない一部の法尻工（編柵工）においても、原型を保持している期間内に法面に植生が繁茂し安定化したため、所期の目的を達成していた。

今後はコンクリート構造物との特性の違いを考慮しつつ、可能な場所には木製工作物を設置することで、屋外でも炭素固定手法の一手法として活用可能である。

4.4　炭素循環系としてのバイオリファイナリー

本節は、バイオコミュニティネットワーク構想におけるバイオマスのカスケード利用の最終段階に位置づける炭素循環としてのバイオリファイナリー、特に非可食で食料供給に影響を与えないセルロース系原料バイオリファイナリーについて述べる。

4.4.1　セルロース系原料バイオリファイナリーとは

セルロース系原料バイオリファイナリーとは、セルロースをバイオ燃料やグリーン化学品に変換することで、石油製品によるリファイナリーの代替技術として期待されるものである。石油コンビナートに対比してバイオコンビナートと呼ばれることもある。

セルロース系原料バイオリファイナリーの製造プロセスは、**図4.4.1-1**に示すように石油製品のナフサをエチレンやプロピレンなどの化成品原料に変換し、これを重合してポリエチレン等のプラスチック製品とする石油変換プロセスと同様に、セルロース系バイオマスをグルコースなどの単糖類に糖化し、発酵などによってエタノール、エチレンやプロピレン等のバイオ燃料やバイオベースマテリアル（バイオ化成品原料）に変換するプロセスである。さらにグリーン化学品への変換プロセスを含める場合もある。

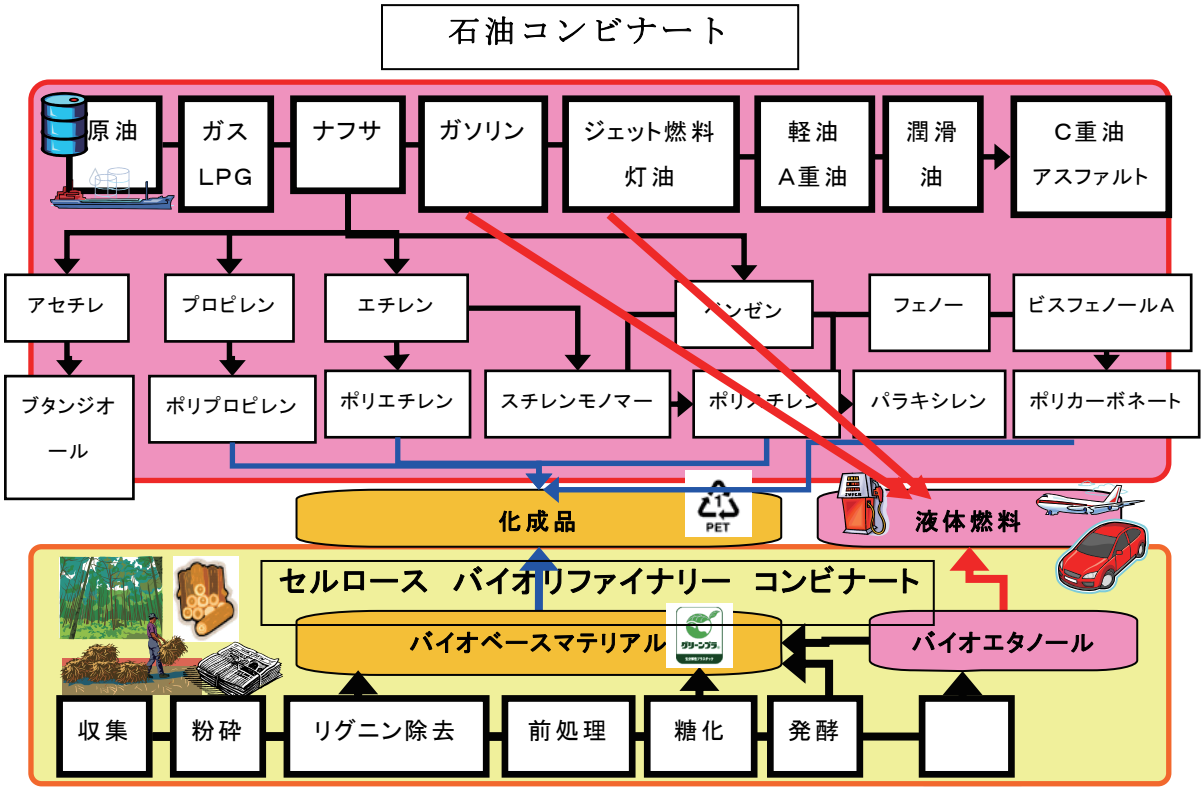


図4.4.1-1　石油リファイナリープロセスとセルロース系原料バイオリファイナリープロセスの比較

4.4.2　セルロース系原料バイオリファイナリーの意義

セルロース系原料バイオリファイナリーの意義は、以下のようにまとめられる。

1)　CO_2削減

CO_2の削減の意義は、石油の代替品としてカーボンニュートラルなバイオマスを使用することによって、CO_2の正味排出量を削減できることである。

2)　炭素循環

炭素循環系（バイオマスのカスケード利用）の最終段階で使用することで炭素をより長く固定し、次の世代のバイオマスの成長でCO_2吸収の時間を稼ぐことが期待できる。

3) 安全保障

現代社会に欠かすことのできないプラスチック等の原料を石油だけに頼ることは、非産油国の産業および国民生活には、大きなリスクである。同時に世界の警察たる米国にとって産油国に対する弱みとなる。この打開策としてバイオリファイナリーへの期待は大きく、米国の目標では2020年にプラスチック原料の10%、2050年に50%を賄う。

4) 社会福祉と雇用拡大

バイオマスは栽培植物、農業廃棄物、間伐材や下草などその性質上、薄く広く分布する特徴がある。この特徴は、バイオマスの収集･運搬などバイオマス利用のコストを押し上げ、バイオマスの本格利用の最大のボトルネックとなり、バイオコミュニティネットワークのような受益者負担の支援制度を適用することで、多くの雇用を提供する強みになる。この特徴は、途上国において人間と刃物、牛と荷車がある地域では初期投資をほとんど必要としない作業として低所得者層の雇用機会を大きく増やす。

石油資源は地球上のある地域に集中的に偏在し安価に収集できる点で雇用を生まない資源であるが、バイオマス資源は反対の特性を持つ資源である。

4.4.3 セルロース系原料バイオリファイナリーの実現性

セルロース系原料バイオリファイナリーの実現性はその可能性とシェアについて以下にまとめる。

1) バイオリファイナリープロセスの開発可能性

現在、バイオリファイナリープロセスを成立させるためのキーテクノロジーは低コストで効率のよいセルロース糖化プロセスを開発することである。セルロース糖化は硫酸を使用する硫酸糖化法が小規模ながら実用化されているが、環境とコスト面で問題があるため工業プロセスとして成立しておらず、これに代わるプロセスとして酵素法などさまざまな技術開発に取組まれ、国による補助も活発に行われている。

また、糖化によって得られるグルコースやキシロースなどの単糖類からエタノールやブタノール、プロパノールなどのアルコールを低コストで製造するプロセスの開発やアルコールをさらにエチレンやプロピレン等の化成品の原料となる物質に変換するプロセスの開発、そして単糖類をフルフラールやハイドロキシメチルフルフラール（HMF）などの中間体に変換するプロセスの開発などが世界中で盛んに行われている。

現在、生分解性のポリ乳酸（PLA）やポリヒドロキシアルカノエート（PHA）が実用化されているだけのグリーン化学品分野であるが、数年の内には上記の各プロセスが実用化段階に入り、これらを連結してバイオコンビナートと呼べるプラントが建設されることも夢ではない。

2) セルロース系原料バイオリファイナリーのシェア

いいことずくめのバイオリファイナリーではあるが、原料のバイオマスが多量に必要であるという欠点がある。例えば、年産10万kℓのバイオエタノールプラントには、2毛作を前提としても山手線の内側の面積以上のプランテーションが必要である。

石油や石炭などは化石バイオマスと捉えると数億年の濃縮期間を経たバイオマス由来物質であるが、バイオマスそのものは濃縮期間を経ていない希薄な原料である。そのため主力原料として産業を支えるには非常に大量のバイオマスが必要となる。

今後の新興国の旺盛な化成品原料や液体燃料の需要を賄うだけのバイオマスを確保することは簡単には実現しない。そのため、世界的なバイオマス循環システムが確立するまでの相当の期間、バイオリファイナリー製品は石油代替製品ではなく石油補完製品として位置づけるべきである。

4.5 微細藻類

バイオ燃料生産でトウモロコシ等陸生植物より高い生産性を持つ微細藻類は2009年頃より急速に注目浴びており、海外では加熱気味とも言えるブームの様相を呈している。その一方、国内の研究者や事業者の間では、three tenとでも表現できる認識が共有化されている。すなわち、微細藻類によるバイオ燃料が実用化されるには、効率が10倍に、コストが1/10となることが必要であり、実用化には10年は要すると言われる。エンジニアリング産業として実態を冷静に俯瞰するが必要あるため微細藻類の現状を整理した。

4.5.1 概要

一般に藻類、水草類など水生バイオマスはリグニンを含有しないか含有しても少なく、陸生バイオマスと比べて燃料変換が容易という特徴を持つ。大型藻類ではコンブ等の褐藻類のほか、テングサ等の紅藻類、アオサ等の緑藻類などがあり、ポセイドン構想などバイオエタノール化やメタン発酵によるエネルギー回収が検討されている。しかし、デンプンやセルロース等の多糖類からエタノールを回収するには、酵母の阻害物質である塩を淡水で洗って除去する必要があり、これが課題である。

一方、微細藻類は増殖速度が速く脂質を直接生産するため、バイオ燃料資源として注目されている。微細藻類から油脂をはじめとする各種の有用成分を得るには、一般的に**図4.5.1-1**に示すようなプロセスを経る。株種の収集や培養等では生物学や生物工学が、培養装置や濃縮･抽出装置では機械工学が、濃縮･抽出プロセスでは熱化学工学が必要になるなど、総合エンジニアリング技術の分野である。

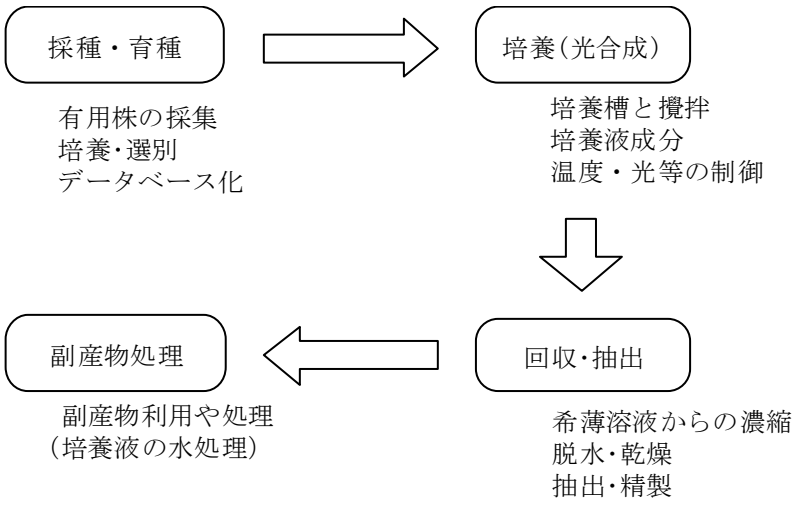


図4.5.1-1 プロセスの概要（液体燃料生産の場合）

4.5.2　歴史

微細藻類は**図4.5.2-1**に示すように過去に10～20年毎の開発ブームを繰り返してきた。その一部は健康食品や化粧品の原料として実用化され、一部は普及することなく開発が下火となった。まず1950年代、食糧難を背景に代替食品として開発が進められた。本格化するには至らなかったが、後に普及するクロレラの培養や東京大学発ベンチャーであるユーグレナ社によるユーグレナ（ミドリムシ）の食品素材化等につながっている。1960年頃からは、より高付加価値な製品として生理活性成分を含むスピルリナ等が開発され、近年では抗酸化物質アスタキサンチンを含有するヘマトコッカスの生産が盛んである。

一方、時々の時代要請を受け、水処理や燃料生産、CO_2吸収等が研究開発されてきたが、コスト等の課題があるため実用化には至らず、現在に至っている。

現在注目のバイオ燃料分野では2010年のNEDO再生可能エネルギー技術白書で**図4.5.2-2**のロードマップのごとく2020年までの研究開発計画が示されている。

年代	当初目的	実用化された主な藻類
1950	食糧難で蛋白源生産目的	
		クロレラ（健康食品原料）
1960	生理活性成分（機能性成分）に注目	
		スピルリナ（健康食品原料）
1970	排水処理 オイルショックでの燃料生産	ドナリエラ（βカロチン）
1990	CO_2固定、副産物利用 ニューサンシャイン計画	ヘマトコッカス（抗酸化物質原料） ユーグレナ（ミドリムシ）（食糧等）
2010	バイオ燃料ブーム（バブル気味）	

図4.5.2-1　微細藻類の開発の変遷　（各種資料･情報を集成して作成）

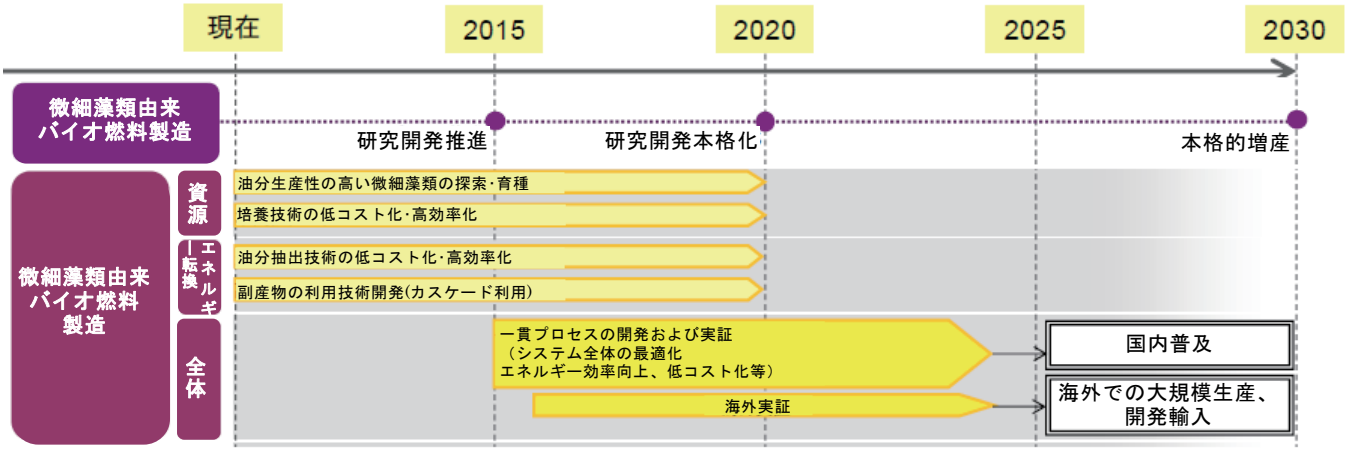


図4.5.2-2　微細藻類由来バイオ燃料　開発ロードマップ

（出典: NEDO再生可能エネルギー技術白書）

4.5.3 製品付加価値と生産コストの現況

現状では、微細藻類を用いた事業は薬品、化粧品、機能性食品および健康食品等の高付加価値品で採算が取れる程度であり、燃料生産での事業採算性確保は遠い。このため、まずは高付加価値品からの参入が必要な市場である。米国のベンチャー企業GreenFuel Technology社は燃料だけでなく単価の高いペットフードを並産したが倒産に至っており、慎重な取り組みが必要である。

各事業のコストは明らかでないが、**図4.5.3-1**のように屋外開放型培養槽（open pond）で数百から千円/製品kg程度、屋内密閉型培養槽で数千円/製品kg程度と推測される。コスト情報は培養プロセス等の局所的な数値と全プロセスにわたる数値が混在し、注意が必要である。このコストに見合う市場は、屋外開放型で機能性食品や健康食品の原料、屋内密閉型では医薬品や化粧品の原料である。なお、付加価値が高く製品が高価になるほど需要量は少ないため、スケールメリットは見出し難くなる。

藻類はエネルギー生産効率が陸生バイオマスより高いと注目されたが、単位面積あたりのエネルギー生産量は微細藻類が360～2,300GJ/ha/yであるのに対し、太陽光発電は日本で3,600 GJ/ha/yであり、エネルギー生産のみが目的であれば太陽光発電のほうが優れている。バイオマスの特徴を活かし、食品や飼料、医薬原料等の物質と燃料を並産する事業が現実的である。

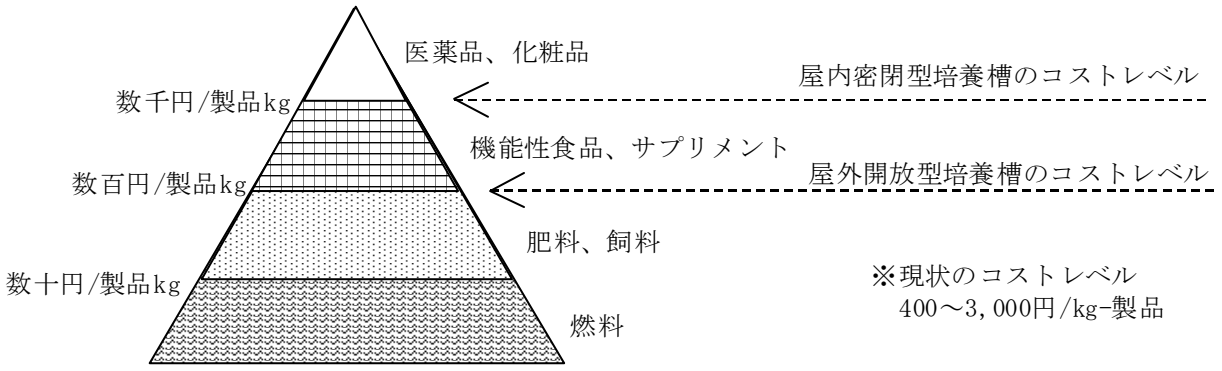


図4.5.3-1 製品の付加価値と生産コストの現状（イメージ図）

4.5.4 生産工程

生産工程は自然界より採集し、培養して有用な株種を分離し選別する採種と育種に始まり、その株を増殖させる培養、増殖後の培養液からの藻類回収、有用物質の抽出、発生残さと培養液の処理あるいはリサイクルで構成される。以下にその概要を整理する。

1) 採種と育種

藻類は非常に多くの種類があり、その中から有用かつ効率の良い株種を選択することが重要である。一般に株種の優劣として以下の特性が考慮される。

- 生成物質の種類と含有割合
- 増殖速度
- 耐環境性（pH、温度、CO_2濃度、光強度等）
- 回収、抽出のしやすさ

これらが重視されるのは以下の理由による。

(1) 有用性：
燃料生産目的であれば軽油質か重油質か、不純物の含有量等、生産される物質の種類や含有割合が重要となる。

(2) 安定性：
最も大きな課題は原生動物等のコンタミネーションによる培養株の捕食であり、耐コンタミ性が重要である。また、培養液の pH、温度、CO_2 濃度等の許容範囲が広いほど運転制御がしやすく、実用的なシステムとなる。

(3) 生産効率：
増殖速度や有用成分の含有量、有用成分の抽出しやすさが生産効率に影響する。

実際にはこれらの特性は両立しないことが多い。例えば、増殖速度が速いということは細胞分裂と個体成長にエネルギーを消費し、そのぶん個体内に蓄える油脂等有用成分が少なくなることを意味する。また、捕食生物のコンタミ対策として、捕食動物が生存できないpHや温度など過酷な環境でも生存できる藻類を用いることが早道であるが、このように過酷な環境下では増殖速度が遅くなることが多い。強アルカリ性環境でも育成できる株が温泉水から発見されているが工業的な大量高効率培養は難しい。つまり、株種探しでは両立困難な特性が多くあるため、現在でも多くの労力を割いて営々と採種と育種が続けられている。

株の研究開発では、人為的な突然変異や遺伝子操作によるアプローチもある。遺伝子操作については大豆やトウモロコシ、青カビ等と異なって藻類は未解明な部分が多いため、現時点では効率的な方法ではない。このため、自然に起こる突然変位を利用する技術が使われており、バイオテクノロジー企業であるネオモルガン研究所では増殖時の突然変異を起こりやすくして、優良株種の効率的育種に取り組んでいる。また、慶應義塾大学先端生命科学研究所ではメタボローム解析と呼ばれる生理学的手法で優良株を収集している。メタボローム解析では、藻類の代謝物質を分析して生理機構を理解する。その理解のうえで、バイオ技術による突然変異を利用して優良株種を効率的に育成している。

なお、微細藻類内部での代謝と油脂生成の機構は不明な点が多いが、アミノ酸や色素、遊離脂肪酸等が油脂に転換すると見られており、窒素をはじめとした周辺環境との関係の解明が待たれている。**表4.5.4-1**に現在良く知られている代表的な微細藻類について、その特徴を示す。

表4.5.4-1　主な微細藻類

主な用途	名称　（括弧内は有用成分）	生育環境や特徴
健康食品、化粧品、飼料、色素等	クロレラ	酸に強いうえ増殖が早いため、コンタミに強い(捕食生物よりも増殖が早い)
	スピルリナ	強アルカリ環境でも生育できるためコンタミ耐性あり。
	ドナリエラ（βカロチン）	高い塩濃度でも生育するためコンタミ耐性有り。
	ヘマトコッカス（抗酸化物質アスタキサンチン）	
	ユーグレナ　：別名ミドリムシ	半日程度で倍増する。強酸性でも生存するのでコンタミ耐性良好。 脂質は軽油相当分のC14が多く航空機燃料に適する。
燃料	ボトリオコッカス	重油質が多い。増殖は比較的遅いが細胞外に油脂を出すため抽出しやすい。
	シュードコリシスティス	軽油質が多い。
	アオコ	湖沼やダム湖等で大量発生して臭気問題となる。電中研が研究。

2)　培養

培養は一夜にして全滅することがあるほど難しい工程である。制御要素も多く、生産効率でネックとなりやすい。

(1)　共通要素

培養には屋外･屋内、開放型培養槽･密閉型培養槽等の種別があるが、ここでは共通の培養要素について整理する。

(a)　コンタミネーション対策

雑菌や原生動物等捕食動物の混入により培養株が壊滅的な打撃を蒙ることが起こりがちであり、コンタミネーション（以下コンタミ）対策が最も重要である。対策として密閉があるが、栄養塩類の補給でもコンタミが発生することがある。もう一つの方法として、捕食動物等が増殖できないように培養液を強酸や強アルカリ、高塩濃度など特殊環境にする方法があるが、培養可能な株種が限られる。

(b)　培養条件

温度条件は株種により異なる。現在実用化されている株種では30℃前後を好むことが多い。後述の屋外型培養槽の場合、日本では宮古島付近で辛うじて生産可能な状況である。適正温度の幅が５℃程度と狭いものも多く、ハワイの施設でも通年生産はできないと言われる。廃熱利用による加温は有効な手法である。

光強度には最適な照度条件があり、午前９時頃に増殖が最大になるが、照度の強い南中時ころには増殖速度が落ちる光強度阻害も報告されている。

CO_2耐性が大きな株の場合、培養液が接触する空気をCO_2で充填して嫌気環境にすることにより、捕食生物の増殖を抑制するコンタミ対策とする特許も存在する。発電所の排ガス利用では、排ガスがCO_2濃度15%前後、温度40～50℃であるほか、溶解すると培養液が酸性に傾くため微細藻類の選択が課題である。

また、光合成の進行により培養液中のO_2濃度が上がって阻害要因となるため、

適度なO_2除去が必要である。

(c)　栄養塩類

栄養源には陸上の植物と同様に窒素、リン、カリ等の三大栄養素に加え、微量元素を投入する。クロレラ等の耐酸性の株種であれば、酢酸投入により培養液を酸性として、コンタミ耐性効果も持たせることが出来る。その他の栄養塩類は企業秘密が多く明らかでない。栄養塩類の投入時に伴い雑菌が混入するため注意が必要である。水処理と兼ねて下水を培養液とする考えもあるが、雑菌等のコンタミが激しいうえ、栄養成分が一定せずコントロールが難しいなどの課題がある。

(d)　循環と攪拌

培養では何らかの機械的駆動により培養液を循環させ、光照射を均一にするのが普通である。この駆動エネルギーの省エネ化も課題の一つである。攪拌の場合、増殖中の細胞に機械的ダメージを与えることがあり、増殖への影響が大きい。攪拌は翼等で機械的に攪拌する場合とバブリングによる対流のみの場合がある。なお、コンタミ被害を最小限にするため通常はバッチ式処理が採用される。

一般に少量の培養で成功しても、10倍規模の培養にスケールアップするだけで効率よく増殖しなくなることが多い。原因が解明できないことも多く、培養技術開発の困難さがある。

(2)　屋外開放型培養槽

図4.5.4-1には屋外培養槽の例を示している。コストが安いのが特徴で、現在商用化されているクロレラ等はオープンポンドと呼ばれる大型の屋外培養槽で生産される。設備コストとランニングコストは安いが広大な土地を必要とするため、地価の高い日本では用地コストが莫大となり難しい。世界的には水温を保ちやすい低緯度地方で実施されている例が多く、多くが中近東や米国の砂漠地帯、ハワイや東南アジア等に立地する。日本では南西諸島の一部で実用化されているに過ぎない。構造は円形あるいはレースウェイと呼ばれる周回路を設置し、攪拌機や水流により培養液を循環させるのが一般的である。屋外培養槽の深さは光の有効透過深度を考慮して十ないし数十cm程度が多いようである。

図4.5.4-1　屋外開放型培養槽

(出典：左:八重山殖産 Webサイト、右：米NREL Webサイト)

屋外開放型培養槽の最大の課題はコンタミ対策である。鳥の糞をはじめ様々なコンタミ発生の防止は難しいため、培養液を強酸性や強アルカリ性、高塩分濃度などの特殊環境にして、それに耐える特殊な株種を利用する。または捕食生物である原生動物以上に増殖が早い高増殖型株種で、捕食に負けない培養を行う。このように生産可能な株種が限られる。また雨期や台風時には日射減、水温低下、雨水による培養液希釈など様々な問題が発生する。

(3)　屋外密閉型培養槽

図4.5.4-2に示すようにコンタミ耐性を得るため、屋外に設置するが、樹脂チューブやガラス等の透明容器で密閉する培養槽である。適用株種が拡がるためバイオ燃料用の株種でも生産が可能となるが、設備コストとランニングコストが高くなる。光源は太陽光であり、培養工程でのエネルギー消費は培養液循環の駆動系が中心である。ただし、容器壁の接液面にバイオフィルムと呼ばれる藻類の膜が付着して光の透過を阻害するため、頻繁に清掃が必要である。これを回避するために使い捨ての樹脂チューブを採用している米国ベンチャーがあるが、最終的にランニングコストが高くなる。また、屋外密閉型でも栄養塩類補給時にコンタミが発生する。

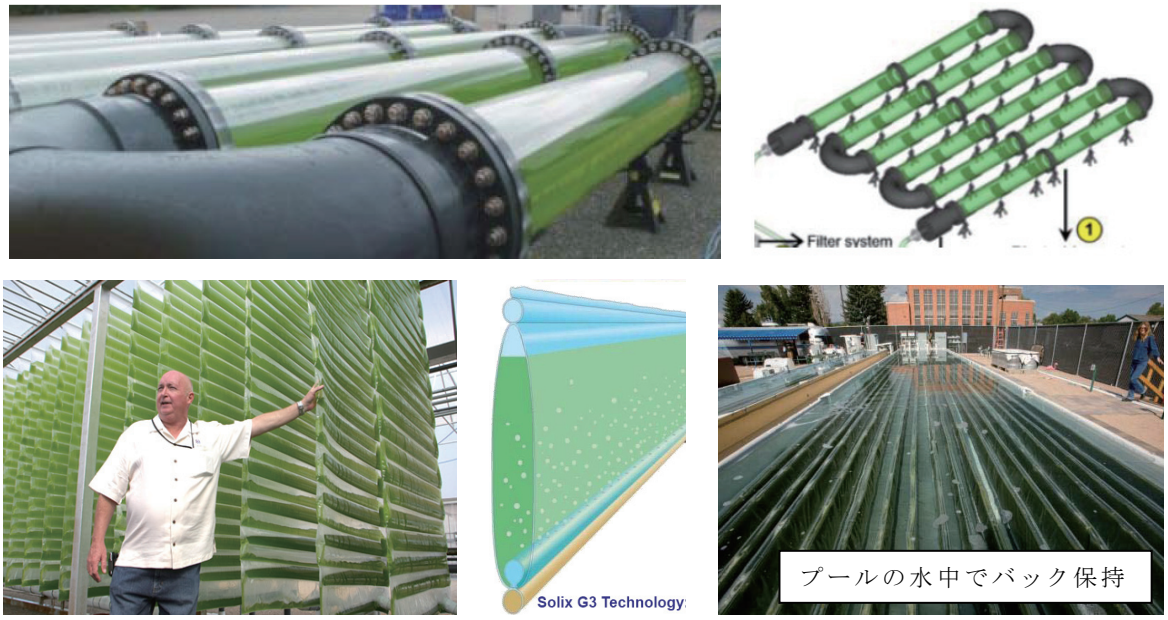


図4.5.4-2　屋外密閉型培養槽（米SOLIX社）

（上段：初期のチューブ型、下段：現在のバック型）

（出典：下左: renewablepowernews Webサイト、その他：Ascension Knowledge Community Webサイト）

屋外密閉型は様々な形式の培養槽が検討され、土地の有効利用を図るため縦型培養槽も考案されたが、縦長は隣接槽の日陰になる部分が生じ、水平槽に比べ大幅な効率アップは実現できない。集光装置と光ファイバを用いた光伝送装置により縦型槽に広く光を照射する技術も開発されたが、コスト面で実現しなかった。培養槽の厚さは光の透過を考えると数cm～10cm程度であるが、メンテナンスの作業性からあ

る程度厚くする必要がある。

(4)　屋内培養槽

フォトバイオリアクターと呼ばれる人工光源付の屋内培養槽を**図4.5.4-3**に示す。コンタミ耐性は最も高いが、それでもヤマハ発動機の施設ではクリーンルーム並みの清浄環境下で生産している。バイオフィルムの問題が発生するのは屋外密閉型と同じである。光源にLED等の人工光源を用いるため、季節、天候、時間等に左右されることなく最適照度と最適波長の光を照射可能で増殖効率は最も良く、土地利用が限定される日本に適する。また温度等の培養条件も制御しやすく、立地を選ばない。その反面エネルギーコストが高く設備費も高額であり、1kℓクラスの培養槽で数千万円と言われる。高付加価値の医薬品原料以外は事業採算性が厳しい。

図4.5.4-3　屋内密閉型培養槽（左：ヤマハ発動機、右：ヤンマー）

（出典：左:ヤマハ発動機Webサイト、右：ヤンマー Webサイト）

3)　回収･抽出･精製

回収や抽出はエネルギー消費が多く、ランニングコストのネックとなる工程である。回収のプロセスは水処理の余剰汚泥処理プロセスを応用している。一般的に遠心分離等の濃縮、ベルトプレスやスクリュープレス等の脱水および乾燥工程を経る。

回収は増殖が頭打ちとなる培養液中の藻類濃度が5g/ℓ程度になると実施される。藻類濃度が高いほど回収は容易だが、濃度が高いほど光の透過が難しく、増殖が抑えられるため、ある程度のレベルで回収する。回収濃度の最適化は増殖速度と回収エネルギーの最適条件だけでなく、全プロセスのLCA評価で決める必要があるが、最適化は工業的に高度に実用化されデータが蓄積された後と思われる。

回収作業は、主として遠心分離による濃縮後にフィルタープレスなどで脱水される。培養液中の存在濃度が希薄なため、回収に要する時間と投入エネルギーが大きく、コスト高の主要な要因である。また、フィルタープレスは目詰まりの問題があり効率的な生産が難しい。新しい技術として中空糸膜が一部で利用されており今後の低コスト化が期待される。

脱水工程後の乾燥工程でもエネルギー消費とコストが課題である。通気乾燥は揮発分のロスが少ないため燃料生産向けの開発に多いが、乾燥時間を要するのが欠点である。次に粉砕を行う。ボトリオコッカス以外は脂質が細胞膜内に存在するため抽出には粉砕して細胞膜を破壊する。この後、クロロホルムやヘキサン、アセトン等の有機溶媒に藻

類内で生成した油分を溶解し、最後に有機溶媒を蒸発させて脂質を得る多段階プロセスが必要で、投入エネルギー、コストおよび環境負荷の問題がある。これら工程の省エネ化や簡略化を図る研究開発が各機関で行われ、東京大学では90℃10分間の水熱反応による抽出方法を開発している。また、電力中央研究所ではDMEを利用して脱水と乾燥工程の負荷を減らす抽出方法を開発している。

なお、これらの工程では粘性多糖類も扱いにくさの一因である。粘性多糖類は高付加価値の有用成分を含む場合があるが、回収プロセスでは付着や脱水不良等のトラブル要因である。

4) 副産物

一般に食料、飼料、燃料には微細藻類の細胞やその含有物が利用され、機能性成分は培養液の上澄みから採れるため併産の可能性もある。また燃料を抽出した後の残さを飼料やペットフードに使用可能である。

副産物処理の参考例として、大型藻類のエネルギー回収がある。東京ガスではコンブ等からメタン発酵でバイオガスを得る実証試験を行い、都市ガスとの混合燃焼を模索している。一般にメタン発酵ではNaClが発酵阻害要因となるほか、生産エネルギーの7割程度をプラントで自家消費する場合が多い。微細藻類の残さ処理にメタン発酵を用いる場合も留意が必要である。また、発酵後の消化液の液肥利用では需要確保に留意する必要がある。

4.5.5 今後の取り組みに向けて

現状では採種、育種から培養、回収、抽出、残さ処理に至るまで開発途上の要素が多数あるため、全体のLCA評価はまだ困難である。燃料生産の場合、事業採算性が問題になるばかりでなくエネルギー収支やCO_2吸収効果の評価が重要であるが、確度の高い評価は今後の課題である。ニュー・サンシャイン計画の「細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」では、高濃度で大規模な発生源である100万kW級石炭火力発電所から発生するCO_2を少量低速の光合成で固定することは現実的でないとの結論である。

藻類の利用は冷静な判断に基づいた開発と事業化を行うように、まずは情報の整理、吟味と評価、そして関係者の情報共有化が最も求められる。

第５章 まとめ

本報告書は２年間の調査研究の１年目の中間検討報告であるため検討内容を示す形とした。

第２章では「バイオコミュニティネットワーク」について整理した。本年度は「バイオコミュニティネットワーク」を低炭素で持続可能な循環型社会として実現可能とする制度や資金還流についての検討に踏み込むことは出来なかったが、それらを来年度の調査研究テーマに引き継ぐ。続いて**第３章**は「ボトルネック解消のための炭素還流」として、特にバイオマスのもつ薄く広く分布する特徴によってバイオマス活用のボトルネックとなっている物流システムの具体的な検討を行なった。**第４章**は「バイオマスによる炭素固定と炭素利用」についてのべ、すぐに効果がある方法や将来的に大きな効果を期待でき何らかの制度と政策が必要な項目について、その技術開発の方向を示した。

本年度の未検討項目である制度や資金還流については、来年の調査研究で提言に結び付けるべく実施したい。また新たな視点として次の点を調査研究の対象になるかどうか検討する。

「バイオコミュニティネットワーク」によってバイオマスを有効に活用することは、人類が低炭素で持続可能な循環型社会を構築するうえで雇用を維持するという重要な効果が期待できる。一例をあげると、バイオマスは薄く広く分布するため、その栽培、伐採、収集、運搬、保管に多くの手間が掛かる。しかしこの作業は途上国において人と刃物と牛と荷車があれば初期投資をほとんど必要とせずに多くの労働者に雇用を提供することが可能である。途上国における黎明期の雇用として大変導入しやすい。また「バイオコミュニティネットワーク」のカスケード利用や恩恵という考え方は、日本のみならず地球全体に応用することが可能であり、さらに言えばこの考え方で炭素を循環することは、遠い将来の人類による惑星進出やスペースコロニーの建設時に社会の基本理念として期待できる。

参考文献･引用文献

［第２章］

エンジニアリング振興協会：「平成21年度　エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究報告書　第２分冊　＜エネルギー･環境関連分野＞第Ⅱ部」

［第３章］

［3.1節］

1）経済産業省資源エネルギー庁：「日本のエネルギー2010」

2）RPS法Webサイト「平成22年度発電形態別新エネ等電気相当量記録量」
http://www.rps.go.jp

3）資源エネルギー庁：「RPS法下における新エネルギー等電気等に係る取引価の調査結果について」平成22年7月30日

4）資源エネルギー庁：「バイオマスエネルギーの現状について」平成21年2月

5）国土交通省：「運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移」平成18年11月

6）環境省：「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン(試案ver1.5)」

7）林野庁：「森林･林業の現状と木質バイオマスの利用」平成20年5月20日

8）(社)日本港湾協会：「数字でみる港湾2010」

9）森林総合研究所：平成16年度研究成果選集
「間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか」

10）岩手県林業技術センター：　研究報告No.14　2006
「製紙用チップ工場で生産した土場残材チップの供給コスト試算」表-5

11）南紀州新聞：2007/8/26「新宮港埠頭株式会社チップ保管施設のしゅん工式」

12）国土交通省：Webサイト「内航船舶輸送統計調査、鉄道輸送統計調査、自動車輸送統計調査」

13）鈴木暁･古賀昭弘：「現代の内航海運」成山堂書店

14）国土交通省：「運輸部門における温室効果ガス排出量等の推移」平成18年11月

15）内航ジャーナル株式会社：海運ガイドhttp://www.naikouj.com/

16）エンジニアリング振興協会：「平成20年度エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究報告書第２分冊エネルギー･環境関連分野」1.4.5

17）エンジニアリング振興協会：「平成21年度エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究報告書第２分冊エネルギー･環境関連分野」3.1

［3.2節］

1）脇野 博：日本林業技術史の研究，清文堂刊，2006年

2）フォレストフォーラムWebサイト　http://www.wood.co.jp/forestforum/index.html

3）長野営林局販売課：木曽谷の年度別、主間伐別収穫量の推移，平成9年
「木曽檜の流通の今と昔」木の文化と造形フォーラムWebサイト
http://uwamuki.com/kinobunka/

4）徳島県林業課：「ヘリコプター集材の結果と実用化に向けて」，林業通信 No.22
http://www.pref.tokushima.jp/files/00/01/22/94/system/ringyotusin22.pdf
5）桂川裕樹：「禿げ山がなくなると砂浜が消える」，いちもん第80号，2009年11月
http://ichimon.main.jp/no80/10.html
6）国土交通省：平成15年版陸運統計要覧
7）国土交通省：第8回全国貨物純流動調査報告書，平成19年
8）社団法人日本物流団体連合会：モーダルシフトに関する調査報告書
9）木曾森林鉄道についてWebサイト　http://carthago.a.la9.jp/newpage193.htm
10）大橋慶三郎：道づくりのすべて，社団法人全国林業改良普及協会刊，2001年

[第４章]
[4.1節]
1）製紙連合会：パルプ材統計
2）財団法人エンジニアリング振興協会：平成20年度エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究報告書　第2分冊＜エネルギー･環境関連分野＞
3）財団法人エンジニアリング振興協会：平成21年度エコ･ヒューマン･エンジニアリングに関する調査研究報告書　第2分冊＜エネルギー･環境関連分野＞
[4.2節]
1）国土交通省Ｗｅｂサイト　http://www.mlit.go.jp/
2）国土交通省Ｗｅｂサイト　http://www.mlit.go.jp/crd/park/joho/seisaku/index.html
3）松江ら,都市緑化樹木のCO_2ストック変化量把握に関する研究,
国土技術政策総合研究所資料,No.489（2008）
4）国土交通省による公害健康被害補償予防協会＜改訂版＞大気浄化植樹マニュアル(1995)の引用
5）近江窯業㈱Webサイト http://www.gif-t.jp/
[4.3節]
1）中部森林管理局木曽森林管理署：赤沢木材利用等展示エリア（パンフレット）
2）中部森林管理局木曽森林管理署：Webサイト
http://www.rinya.maff.go.jp/chubu/kiso/index.html
3）上松町観光協会：赤沢自然休養林Webサイト
http://www.avis.ne.jp/~hinoki/page3_1_2_1.html
[4.4節]
出光興産株式会社：Webサイト
http://www.idemitsu.co.jp/factory/chiba/profile/f_process.html
[4.5節]
1）渡邉信編：藻類バイオマス，みみずく舎，2010
2）NEDO再生可能エネルギー技術白書
「細菌･藻類等利用二酸化炭素固定化･有効利用技術研究開発」（ニュー･サンシャイン計画）1990～
3）（社）日本海洋開発産業協会：海洋バイオマスによる燃料油生産に関する調査、1984

4）株式会社メガセミナー･サービス：“藻類系バイオマスエネルギー利用”の市場･技術動向とビジネスチャンス,セミナー資料,2010年8月24日～27日
5）株式会社ユーグレナWebサイト　http://www.euglena.jp/whats/
6）株式会社ネオモルガン研究所Webサイト　http://www.neo-morgan.com/
Michele Greque de Moraisa and Jorge Alberto Vieira Costa : Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide, Energy Conversion and Management Vol48,pp.2169-2173,2007
7）（財）電力中央研究所ニュースリリース
http://criepi.denken.or.jp/press/pressrelease/2010/03_17.pdf
8）八重山殖産株式会社 Web サイト　http://www.yaeyamachlorella.com/
9）株式会社日健総本社 Web サイト　http://www.chlostanin.co.jp/
10）NREL(米 National Renewable Energy Laboratory) Web サイト
http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/benamotz.pdf
11）Ascension Knowledge Community Webサイト（SOLIX社資料）
http://www.ascension-publishing.com/BIZ/Solix.pdf
renewablepowernews Webサイト（SOLIX社資料）
http://www.renewablepowernews.com/archives/1211
12）武田紙器株式会社Webサイト　http://www.takedashiki.co.jp/body.html
13）ヤマハ発動機株式会社Webサイト　http://www.astivo.jp/introduction/bio.html
http://www.yamaha-motor.jp/bio/factory/index.html
14）ヤンマー株式会社Webサイト
http://www.yanmar.co.jp/prod/marine/ocean_facility/content04/

第Ⅴ部 非化石･省エネ･高効率化による低炭素エネルギーシステムの確立

第１章　目的と概要

総務省統計局の「世界の統計2010」によれば2007年の全世界の燃料燃焼によるCO_2排出量は略290億tであり、世界人口は66.7億人になっているので1人当たり4.34t／y程度の排出量となる。 また、同年度の我が国のCO_2排出量を見ると景気低迷の影響で12億3,600万t-CO_2に止まったものの、京都議定書基準年の燃料燃焼によるCO_2排出量10億6,500万tを16％程度も上回っている。 **表1-1**に主要国の燃料燃焼によるCO_2排出量、GDP、人口とGDP10億$当たりの$CO_2$排出量および1人当たりの$CO_2$排出量を示す。

表1-1　各国の燃料燃焼によるCO_2排出量、GDP、人口（2007年）

順位	国名	排出量		GDP		人口		万t/10億$	排出量t/人
		100万t-CO_2	割合（%）	(10億$)	割合(%)	(万人)	割合(%)		
1	中国	6,027.9	20.8	3,460.3	6.26	132,909.0	19.9	174.2	4.54
2	アメリカ	5,769.3	19.9	13,741.6	24.86	30,867.4	4.6	42.0	18.69
3	ロシア	1,587.4	5.5	1,294.4	2.34	14,194.1	2.1	122.6	11.18
4	インド	1,324.0	4.6	1,142.3	2.07	116,467.0	17.5	115.9	1.14
5	日本	1,236.3	4.3	4,380.4	7.92	12,777.1	1.9	28.2	9.68
6	ドイツ	798.4	2.8	3,316.1	6.00	8,234.3	1.2	24.1	9.70
7	イギリス	523.0	1.8	2,802.3	5.07	6,089.9	0.9	18.7	8.59
8	カナダ	572.9	2.0	1,429.7	2.59	3,294.5	0.5	40.1	17.39
9	韓国	488.7	1.7	1,049.2	1.90	4,796.2	0.7	46.6	10.19
10	メキシコ	437.9	1.5	1,019.4	1.84	10,748.7	1.6	43.0	4.07
	その他	10,196.6	35.2	21,640.9	39.15	326,701.9	49.0	47.1	3.12
	世界の合計	28,962.4	100.0	55,276.7	100.00	667,080.1	100.0	52.4	4.34

出典:総務省統計局ウェブサイト

この**表1-1**によれば我が国のGDP10億$当たりの$CO_2$排出量は28.2万t-$CO_2$とイギリス、ドイツに次いで低い値である。一方、中国･ロシア･インドは各々174.2万t-CO_2、122.6万t-CO_2、115.9万t-CO_2と為替レートの関係もあるが、我が国の4倍以上となっている。また、1人当たりの排出量を見てみると世界平均で4.34t-CO_2と我が国の半分以下である。ところが、大気中のCO_2濃度は2ppm/y以上の増加を示しており、これはとりもなおさず世界の排出量290億t-CO_2の半分以上が大気中に残存していること示している。したがって現在の排出量を即時半減しても現状の濃度を維持できるか？否か？きわどいところである。昨年、メキシコのカンクンで開催された気候変動枠組み条約第16回締約国会議（COP16）では、CO_2排出量の40％以上を占める中国･米国の参加しない「枠組み」は不自然であり、また中国･インドに代表される途上国の大気中に蓄積されたCO_2に関しては歴史的に見ても先進国の責任との主張により、採択された決議の要旨は以下のごとくである。

1. 発展途上国の温室効果ガス削減策を支援する「グリーン気候基金」や、温暖化の影響への対応を手助けする「カンクン適応フレームワーク（枠組み）」を設立する。

2. 京都議定書の第 1 約束期間と 2013 年以降の第 2 約束期間の間に空白ができないよう、作業部会はできる限り早く作業の完了と採択を目指す。
3. 地球温暖化の被害を限定的なものにするためには、20年までに先進国全体で温室効果ガス排出量を1990年比で25～40%削減しなければならないことを認識し、先進国に削減目標の数値を上げるよう促す。
4. 京都議定書の第2約束期間の基準年は90年とする。
5. 途上国は全体で、20年に排出総量の伸びを抑制することを目指す。
6. 途上国の温室効果ガス削減を検証する仕組みをつくる。
7. 50年までの世界全体の削減目標を第17回締約国会議で検討する。
8. 世界全体の排出量ができるだけ早く減少に転じるよう締約国は協力する。

つまり、各国の国益を最優先させた外交交渉の結果となった。ポスト京都議定書は先送りされるなど、喫急を要する温暖化問題が疎かになっているとしか思えない決議である。**表1-2**に京都議定書延長に対する各国のスタンスを示す。

表1-2　各国の交渉スタンス

各国の交渉スタンス	京都議定書延長への賛否	理由・主張
中国、インドなどの途上国	賛成	先進国には過去に大量に排出した歴史的責任がある
EU	条件付き賛成	交渉決裂よりはまし
グレナダなど島嶼国	反対に理解	災害対策が喫緊の課題、先進国からの資金・技術移転が重要
豪州、ニュージーランド	基本的に反対	米中が法的な拘束力のある枠組みに参加しない限り反対
日本、ロシア、カナダ	反対	米国、中国抜きの枠組みは不公平で無意味
米国	意見表明なし	議定書を批准していないため

こうした状況の中でもエンジニアリング産業が今後目指すべき方向性は、発展途上国でのエネルギー消費が拡大する折、限られた化石エネルギー資源の高度活用であると同時に低炭素エネルギーシステムの産業社会構築であり、それをもって国際貢献することである。

そこで、限られた化石エネルギー資源の高度活用を図ると同時に低炭素エネルギーシステムの産業社会を構築するため、個別技術分野･業種分野で研究開発された低炭素エネルギー技術を横断的視点で捉え、エンジニアリング産業の強みを活かし、種々の個別技術分野･業種分野の個別システムを統合し、産業社会の将来像を描き出すことにより、新ビジネス領域･新市場の開拓を図るために調査研究を進めた。以下、3つのくくりで、その目的と概要をまとめた。

1)　非化石エネルギーの活用技術

低炭素エネルギーシステムは、とりもなおさず自然エネルギーの活用である。**第２章**

では、我が国のCO_2排出量の推移と各部門の排出量割合から「エネルギー基本計画」に掲げられているCO_2排出量削減に向けた諸対策とその見込みと課題について述べる。自然エネルギーの活用である風力発電、太陽光発電、波力発電、海洋温度差発電、太陽熱利用などの中から、**第３章**では「エネルギー白書2010」を基づき作成された「NEDO再生可能エネルギー技術白書」にも取りあげられ、エネルギー賦存量は莫大であるが高温と低温との温度差が小さく効率が低い難点を持つ海洋温度差発電に関し、①原理、②問題点、③メリット、④導入の促進策について述べる。**第４章**では「NEDO再生可能エネルギー技術白書」にも有望なエネルギー源の1つとされており、集熱により効率を上げることができ、かつ蓄熱を行えば太陽が沈んでからも発電ができる太陽熱システムに関し①太陽光発電との比較、②集熱方式、③設置に適する地域、④海外プロジェクト例、⑤我が国の取り組み、⑥将来展望について述べている。

2)　エネルギー消費量の総量を削減する省エネルギー技術

省エネルギーは今までにも多くの取り組みがなされてきた。そのなかで**第５章**では、なかなか省エネルギーが浸透しない家庭部門の取り組みに関し機器当たりのエネルギー消費の大きい給湯にスポットを当て①ヒートポンプ、②潜熱利用、③コージェネレーション利用ついて述べる。**第６章**では熱はエクセルギーの高い高温から低温に向けてカスケードに用いるのが効率的であるので、この観点から①エクセルギーとは、②発電効率とエクセルギー、③住宅の省エネルギーとエクセルギー、④展望について述べている。

3)　エネルギー利用の高効率化システム

化石エネルギーは有限であり、資源としても重要な物質であるので、石炭、原油などのエネルギー資源を残渣がでないように無駄なく高度活用することが求められる。**第７章**では、CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）を含め可採年数の長い石炭のクリーンエネルギー化に関し①温暖化の現状、②化石エネルギー資源と温暖化、③世界の持続可能性、④本システムの骨子、⑤今後の課題について述べる。**第８章**では、水素社会へ向けての再生可能エネルギー導入のポテンシャルに関し、①地球温暖化対策における国内外の動向と見通し、②スマートグリッドと再生可能エネルギーの未知なる可能性、③エネルギー供給の非化石燃料への転換シミュレーションなど2次エネルギーではあるが、貯蔵ができ媒体に有機ハイドライドなどを用いる方法あるいは導管によりハンドリングも可能な水素システムについて述べている。

グリーン・ニューディール等の新しい価値観に基づく社会経済システムの観点から、種々の個別技術分野･業種分野の個別システムを統合し、産業社会の将来像を描き出すことにより、新ビジネス領域･新市場の開拓を期待したい。

第２章　CO_2削減に向けた取組み

我が国では地球温暖化対策としてCO_2削減が強く叫ばれているが、社会生活の質の維持、経済、社会の持続的な成長、発展と共存させることを前提におくとその道のりは容易ではない。CO_2削減に向けて現在掲げられている諸対策の実効性と今後の課題について述べる。

2.1　日本のCO_2排出量削減に向けた動向

ウェブサイトの掲載情報に基づいて、日本のCO_2排出量の実態と、現在掲げられているCO_2排出量削減対策について整理する。

2.1.1　日本のCO_2排出量の推移

日本ではCO_2削減に向けて諸対策が掲げられ実行に移されてきているが、**図2.1.1-1**に示される通り、総排出量、一人当たりの排出量ともに増加の一途である。2007年の総排出量は13億tにのぼっているとのことである。

2008年は減少しているが、これは金融危機や景気後退の影響でエネルギー需要が減少した影響がその原因であり、諸対策の実効性ではないと考えられている。**図2.1.1-2**は、日本の部門別CO_2排出量の推移を示している。部門別でみると、排出量の割合は産業部門、運輸部門が多くを占めているがこれらは近年、維持あるいは減少傾向にある。一方、民生部門（業務その他部門、家庭部門）は増加し続けている。

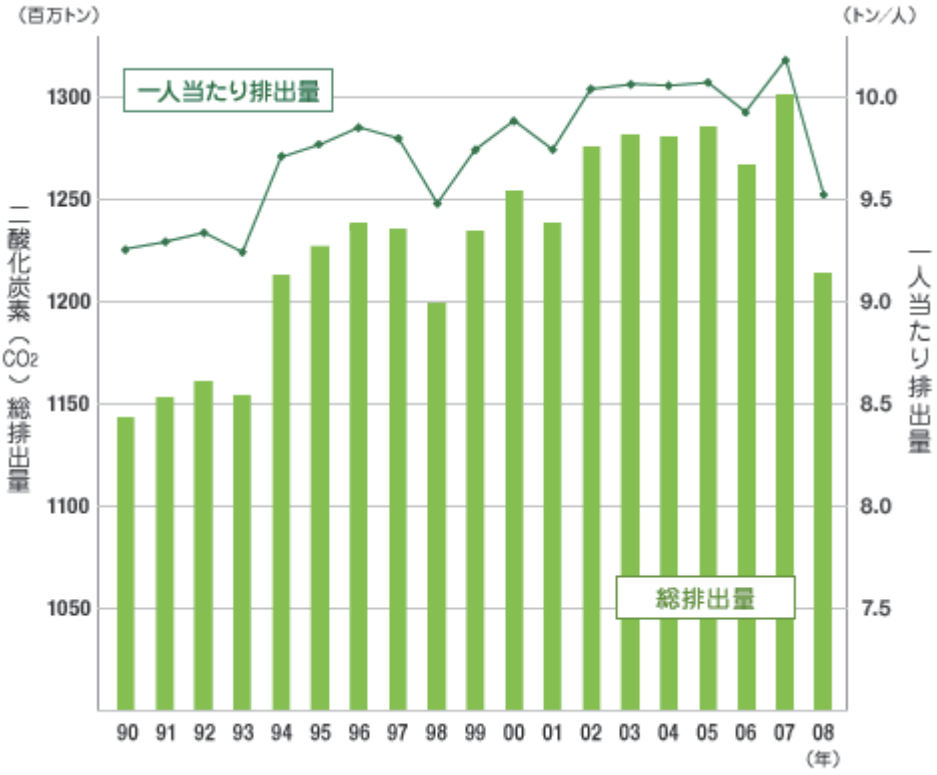


図2.1.1-1 日本のCO_2排出量の推移

出典：JCCCAウェブサイトより

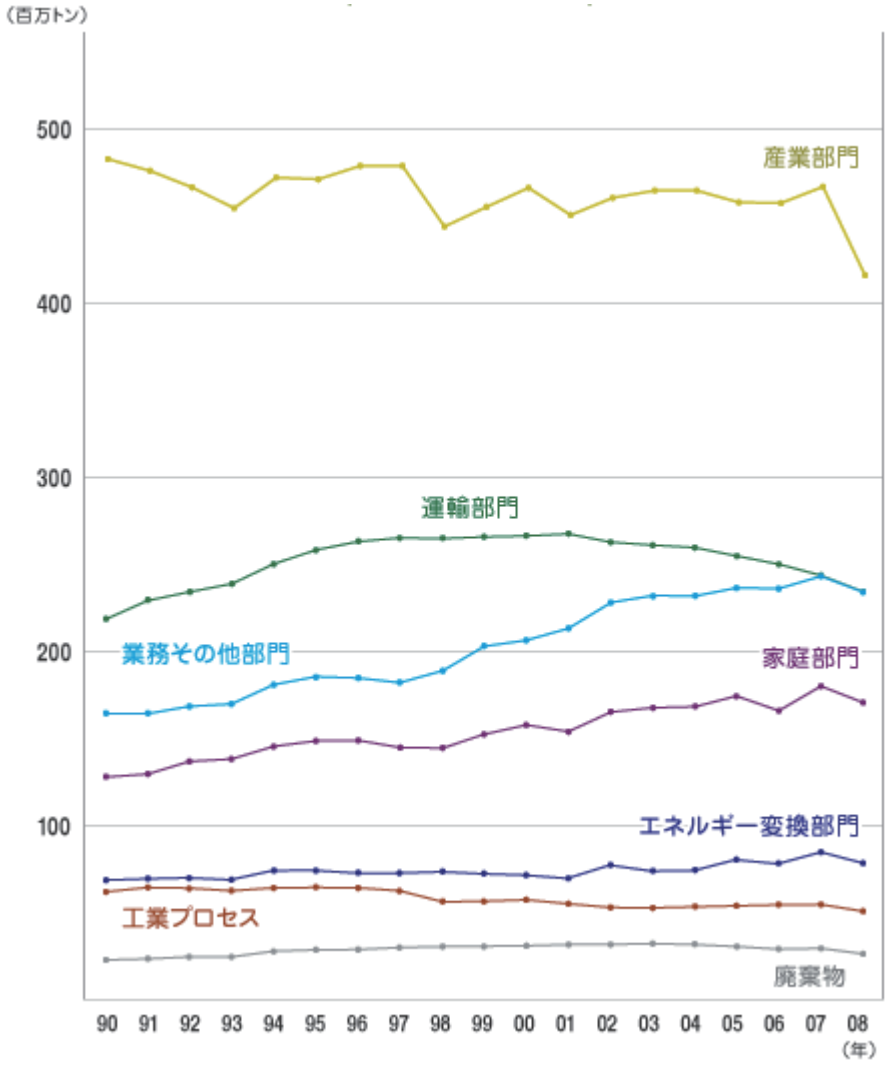


図2.1.1-2 日本の部門別CO_2排出量の推移

出典：JCCCAウェブサイトより

2.1.2　日本の各部門CO_2排出量の割合

図2.1.2-1に日本の各部門のCO_2直接排出量の割合、図2.1.2-2に各部門のCO_2間接排出量の割合を示す。間接排出量とは、発電した電力を使う最終ユーザーに発電に伴うCO_2排出量を計上したものである。

直接排出量でみると、エネルギー転換部門が全排出量の1/3を占めているが、実質的な指標となる間接排出量でみると、運輸部門の半数は自家用車でありこれらも民生部門とみなすことができるが、民生部門の占める割合が非常に高いことが分かる。

以上、CO_2排出量の推移と部門別排出量の割合から、我が国でCO_2削減の実効性をあげていくためには、民生部門のCO_2排出量削減に焦点を強くあてて効果的な諸対策を実行していくべきである。

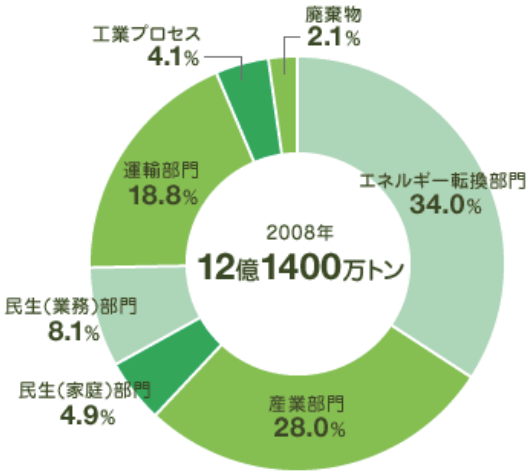


図2.1.2-1 各部門のCO_2直接排出量の割合

出典：JCCCAウェブサイトより

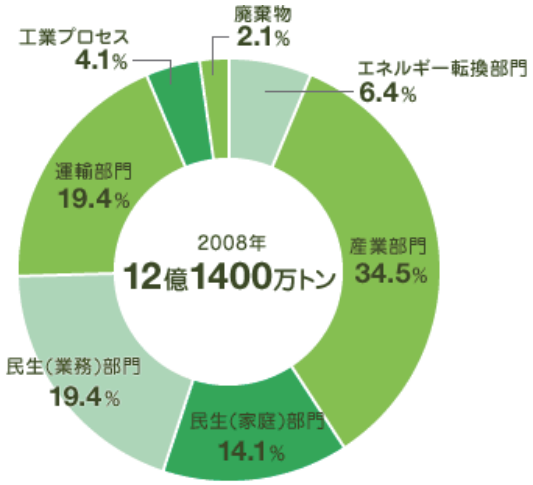


図2.1.2-2 各部門のCO_2間接排出量の割合

出典：JCCCAウェブサイトより

2.1.3 CO_2排出量削減に向けた諸対策

エネルギー基本計画で掲げられている各部門の主なCO_2排出量削減対策は**表2.1.3-1**、その削減効果と累積投資額の試算結果は**表2.1.3-2**の通りである。この試算によると掲げた対策を実行すると2030年には2007年対比でCO_2排出量を5億t（40%）削減できるとされている。主要な削減対策は、民生部門における省エネ機器の導入、普及と転換部門における原子力発電の増設、設備利用率向上であり、各々の削減見込み量は全体の1/3を占めている。また、投資効率（投資額当たりの削減量）の観点では、転換部門の原子力発電の増設が際立って高く、一方、転換部門の再生可能エネルギー利用設備の増設や民生部門の住宅、建築物の省エネ機器の導入は非常に低くなっている。

表2.1.3-1 各部門の主なCO_2削減対策

	主な削減対策	2030年の絵姿
民生部門	住宅、建築物の省エネ	新築住宅の平均でZEH（ゼロエミッションハウス）、 新築建築物の平均でZEB（ゼロエミッションビル）を実現
	高効率給湯器（家庭用）	全世帯の8～9割に導入
	高効率照明	普及率100%
	IT機器の省エネ（グリーンIT）	普及率100%
	その他省エネ家電等	
産業部門	製造部門の省エネ	設備更新時に最先端技術を最大限導入 （次世代コークス炉13基導入等）
	革新的技術開発	水素還元製鉄、高炉ガスCO2分離回収技術等の実用化
	ガス転換	燃料消費に占めるガスの比率を倍増
運輸部門	次世代自動車の普及、燃費向上	新車の最大7割が次世代自動車
	バイオ燃料	輸送用燃料への最大限の導入拡大
	交通流対策、モーダルシフト等	中長距離輸送に占める鉄道、内航海運比率の向上等
転換部門	再生可能エネルギー	全量買収制度の実施
	原子力	新増設14基、設備利用率90%

（経済産業省「 2030年のエネルギー需給の姿」ウェブサイトより作成）

表2.1.3-2 各部門の主なCO_2削減対策の効果と累積投資額の試算結果

	主な削減対策	削減量	投資総額
民生部門	住宅、建築物の省エネ	59百万t	50.3兆円
	高効率給湯器（家庭用）	19百万t	4.6兆円
	高効率照明	28百万t	4.2兆円
	IT機器の省エネ（グリーンIT）	30百万t	6.0兆円
	その他省エネ家電等	30百万t	11.4兆円
	小計	166百万t	76.5兆円
産業部門	製造部門の省エネ 革新的技術開発 ガス転換	39百万t	6.6兆円
	小計	39百万t	6.6兆円
運輸部門	次世代自動車の普及、燃費向上 バイオ燃料	54百万t	13.6兆円
	小計	54百万t	13.6兆円
転換部門	再生可能エネルギー	60百万t	26.1兆円
	原子力	160百万t	5.6兆円
	火力発電の効率化	25百万t	2.5兆円
	小計	245百万t	34.2兆円
合計		504百万t	130.9兆円

（経済産業省「2030年のエネルギー需給の姿」ウェブサイトより作成）

2.2 日本のCO_2排出量削減対策の見込みと課題

現在掲げられている日本におけるCO_2排出量削減対策に関して、対策効果の見込みと今後に向けた課題について述べる。

2.2.1 民生部門の諸対策に対する見解

民生部門における諸対策には、新築住宅においてZEHを実現や高効率給湯器、高効率照明、省エネIT機器、省エネ家電の導入、普及等あるが、技術的には既に実用レベルに達している、あるいは実用レベルに近いものが多いと考えられる。例えば高効率照明の代名詞となっているLED照明は、年々発光効率が向上し照明用途への商品化が急速に拡大している。現状ダウンライト器具として発光効率は蛍光灯に迫っており、全光束や直下照度はまだ低い状況にあり、技術的な課題が残っているものの、近い将来に蛍光灯に置き換わると期待している。照明器具の場合、LCA（ライフサイクルアセスメント）の観点で分析しても動作時のエネルギー消費が大半を占めていることから、やはり解決が急がれる技術的な課題は発光効率の向上であると言えよう。

さて、民生部門において実質的な対策効果を上げる鍵は、実用レベルにある技術、機器の普及率の向上にかかっており、その普及率は経済性如何であると思われる。世間では、エコロジーを略してエコと叫ばれ、エネルギー消費量の低減、CO_2排出量の削減を志向する動きが拡大してきているものの、もう一つのエコ、つまりエコノミーが共存しないと効果が限定的になり、一過性の動きに終わってしまうものと考える。また、普及が高じて実質的なエネルギー消費量を増加させない社会の定着も重要である。例えばブラウン管テレビから省エネ型の液晶テレビに買い換える際、大画面仕様のテレビを求めるあまり、実質的な電気使用量が増加すれば実効性を失う。

2.2.2 産業部門、運輸部門の諸対策に対する見解

産業部門はCO_2排出量の推移から読み取れる通り、既に相当の対策が実行に移されている。これまでの経験より、省エネ技術の導入と技術開発を継続していくことで一定の成果を発揮し続けるが、より実効性を高めるには経済、社会の発展と調和させつつも環境を最優先するような国家的な施策が必要になる。

運輸部門は車社会を前提にすれば、現在の潮流にのって低燃費型のハイブリッド車、電気自動車へシフトしていくことでCO_2削減効果を確実に見込めるが、抜本的には電車等の大量輸送サービス網の整備、充実などにより車の利用を縮小するような社会に導いていくことが望ましい。

2.2.3 転換部門の諸対策に対する見解

エネルギー転換部門では、CO_2削減のみに焦点をあてると、再生可能エネルギー利用の促進と原子力発電の増設が実効性の高い対策となるが、太陽光発電に代表されるように再生可能エネルギーの利用を促進するには経済性とともに、敷設可能エリアを視野に入れた総供給能力のポテンシャルを十分に考慮する必要がある。また原子力発電に関しては安全性の懸念に加えて、総合的に環境負荷低減を見極めていく必要がある。

電源供給の構成を考える場合、CO_2削減を第一義とすると、原理的かつ実用的な供給能力のポテンシャルから原子力発電の増設が優位に立つことになる。多面的な意見が乱立する中、総合的な環境負荷を低減する観点から、原子力発電が本当に優位であるか否かの結論には未だ達していない。

例えばエネルギー効率という観点から議論すると、現在稼動中の火力発電の平均的なエネルギー効率40%に対し、原子力発電は30%程度である。これは同発電量当たりの排熱量という指標でみると、原子力発電は火力発電の1.5倍排熱している。この排熱量の違いが地球規模の温暖化にどう影響するかは明確でないが、少なくとも周囲の環境への負荷増加は必然であり、排熱先の近海でもなんらかの影響があると考える。

2.2.4 今後の課題

現在、本当に地球は温暖化しているのか、温暖化しているとしてその主要因は本当に大気中のCO_2濃度であるのか等、諸説があり結論に至っていない中で、CO_2削減だけに焦点をあてた近視眼的な計画の立案と対策の実行は、大きな危険が潜んでいる可能性を否定できない。地球温暖化に限らず種々の環境問題を複合的に捉えて、LCA、エネルギー効率といった様々な視点で検証しながら、冷静な判断が求められている。

そのような中で、現在脚光を浴びている技術の開発や普及は無論のこと、例えば地球温暖化対策としてのCO_2削減で象徴的な石油利用の縮小という流れが本当に必然であるのか、ベストミックスという考え方は成立しないのか、画期的なあるいは有効な利用方法はないのか、を追求することも重要ではないかと考える。

第３章　低温度差エネルギーの活用技術

図3-1に新エネルギーにおける代替えエネルギーの位置づけを示している。我が国では第一次オイルショック（1973年）以降、石油代替再生可能エネルギーの実用化が切望された。通産省（当時）は、自然エネルギーの積極的導入促進を図るべくサンシャイン計画を立ち上げ、代替エネルギーの実現を掲げ計画を推進した。その後、代替エネルギーのなかでは地熱、太陽光、風力等実用域に近づいたエネルギーもある。

我が国では再生可能エネルギーは、一次エネルギー供給量の5%、電力供給量の9%を占めているに過ぎないが、これからはエネルギー問題のみならず低炭素社会システム構築へ向けて温室効果ガス削減の柱として本格的に導入を進める必要がある。

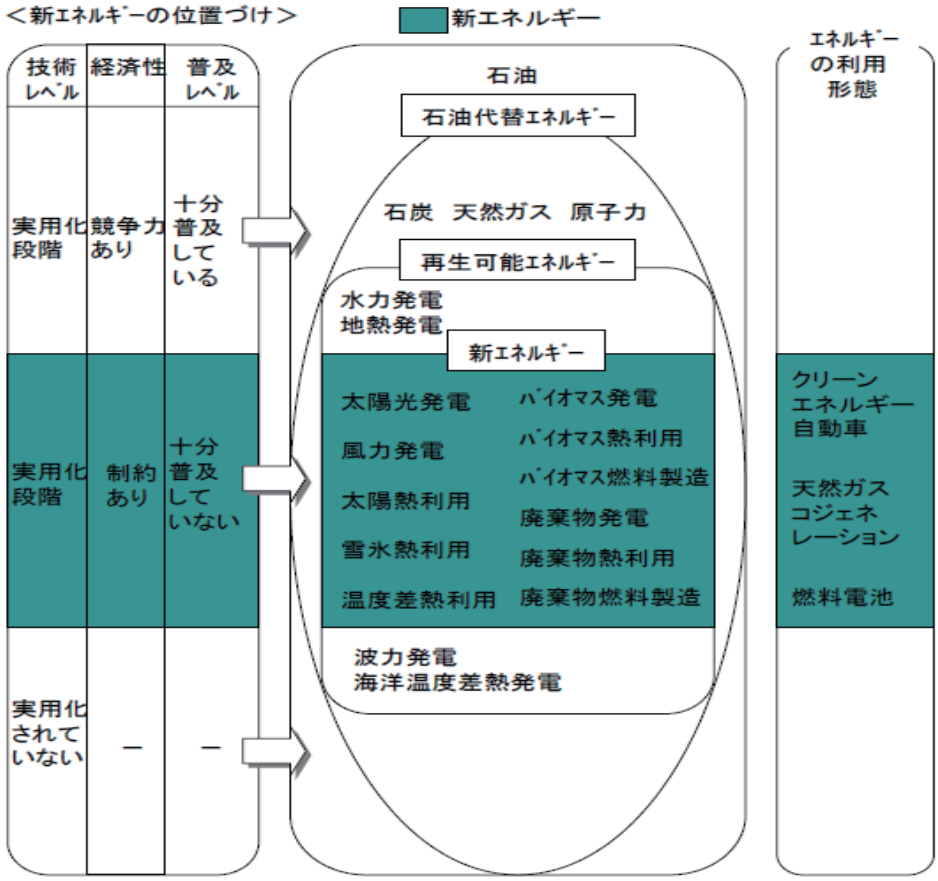


図3-1　新エネルギーの位置づけ

出典：資源エネルギー庁ウェブサイト

新たな取り組みとして、2030年までに太陽光発電を現状の40倍にすることや洋上風力を推進する計画が掲げられているが、未だ経済性に劣る新エネルギーの導入は困難がある。そのような状況のもと、経済産業省は「平成21年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書2010）を策定し、平成22年6月15日に同報告書は閣議決定され国会報告された。この白書に基づきNEDOは、技術ロードマップを策定し「NEDO

再生可能エネルギー技術白書」を発表した。平成22年の技術ロードマップが対象とする技術には、以下のものが揚げられている。

1．太陽光発電
2．風力発電
3．バイオマスエネルギー
4．太陽熱発電
5．波力発電
6．海洋温度差発電
7．その他・・・・・・・・・・・

太陽熱冷暖房、中小水力発電、地熱発電、温泉熱発電/熱利用、雪氷熱利用、海流･潮流発電、潮汐力発電、熱電発電、圧電発電、工場等排熱利用、温度差熱利用

この白書では、再生可能エネルギーの主役となる太陽光発電、風力発電、バイオマスエネルギー等の他に、今年度より海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC）も新たな担い手として期待されている。

本節では、第一次オイルショック当時から提唱されていた再生可能エネルギーのひとつである海洋温度差発電を取り上げ調査した。海洋温度差発電の問題点および実用化のための提言を試みたい。

3.1　海洋温度差発電の原理

海洋海水の表層と深層温度を測定すると、その間には温度差がある。**図3.1-1**に、海水表層と深層1,000mの温度差分布を示す。赤道近くでは温度差が24℃と高くなっている。この温度差を日本の経済水域360km（沿岸 200カイリ）の範囲に限って、発電量を計算すると、年間約1,011 MWhになる。これは石油換算すると約86億トンに相当し、この内１％でも利用可能であれば、日本の消費エネルギーは、石油換算約5億1,500万トンが賄えることになる。

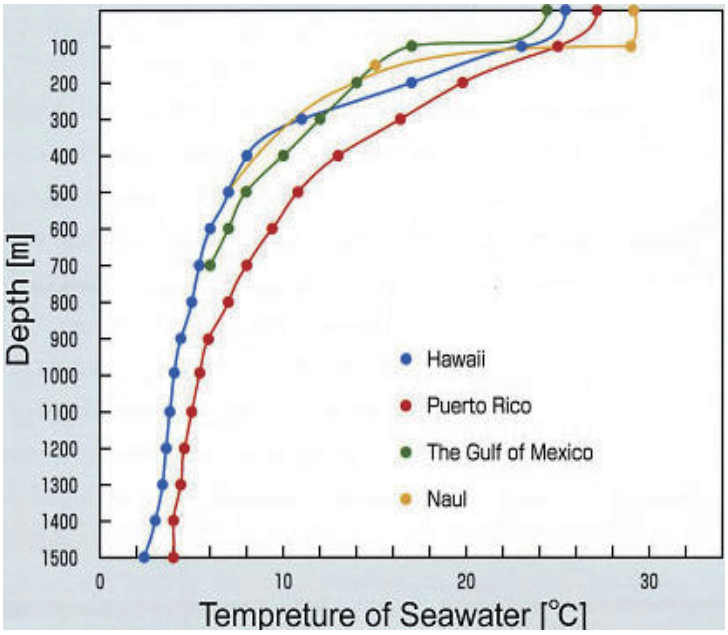


図3.1-1　海水温度分布図

出典：佐賀大学ウェブサイト

図3.1-2に海洋温度差発電の原理図を示す。海洋温度差発電の主な構成機器は、蒸発器、凝縮器、タービン、発電器、ポンプからなる。発電のための作動流体として、アンモニア等が封入されている。作動流体は、ポンプで蒸発器に送られ、そこで、海洋表層の温かい海水で暖められ蒸気になる。その蒸気によりタービンを回し発電機で発電される。タービンを出た蒸気は凝縮器に入り、深海から汲み上げられた冷たい海水で冷やされ液体に戻り、クローズドサイクルを形成する。クローズドサイクルの区分として、従来技術であるランキンサイクルに対して、新技術であるウエハラサイクルがあ

る。ランキンサイクルでは作動流体として純アンモニアを利用するが、**図3.1-3**のウエハラサイクルではアンモニアと水の混合液を利用することで、正味出力を従来の55%から85%へ向上させた。

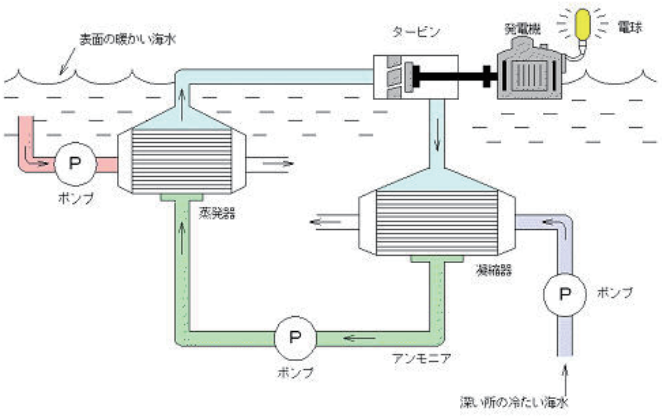


図3.1-2　海洋温度差発電の原理

出典：(株)ゼネシスウェブサイト

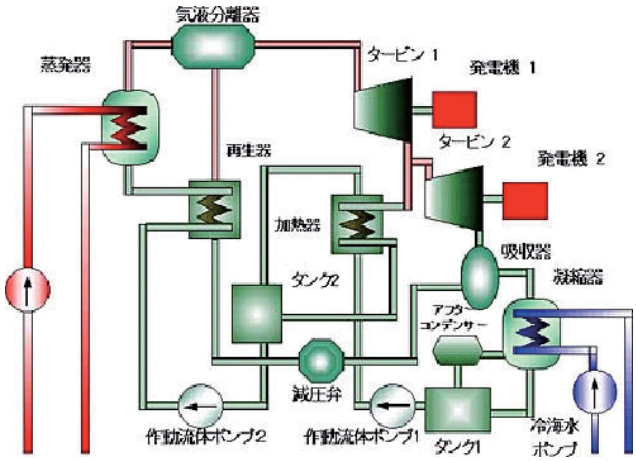


図3.1-3　　ウエハラサイクル

出典：(株)ゼネシスウェブサイト

3.2　海洋温度差発電の問題点

海洋温度差発電普及の阻害要因として、発電効率が低いという課題がある。たとえば、海面付近の水温を25℃、海底の水温を5℃として、この熱機関の理想効率を求めると、$\eta = 1 - T_2/T_1 = 1 - (273+5)/(273+25) = 0.067$となる。これは、最新の火力発電の熱効率の1/10程度、標準的な火力発電に比べても1/5以下という低い効率である。

表3.2に発電方式の違いに依る発電コストを比較する。海洋温度差発電は、現状では発電コストのみの比較では非常に不利である。

表3.2　発電コスト比較

石油火力	10.2　円
LNG火力	6.4　円
石炭火力	6.5　円
水　　力	13.6　円
原 子 力	5.9　円
太 陽 光	48　円
風　　力	9～14　円
地　　熱	13～16　円
海洋温度差	40～60　円

出典：経済産業省エネルギー白書2008年度版より作成

海洋温度差発電プラント設置方式には、大別して陸上設置型と海上浮体型がある。陸上型は、冷海水取水管が長大となり経済性を悪化させる。一方、海上型は冷海水取水管が短縮可能であるが、浮体が風波の影響を直接受けるために充分な対策が必要である。また、両方に共通して送電ロスの問題がある。発電所から送電する際に送電距離が1km以上離れると、送電ロスが生じるため、送電距離が伸びるにつれて経済性が悪化する。また、海洋型の海洋温度差発電の場合大型施設を海上に設置するので、漁業をはじめとするさまざまな産業に影響を与える恐れがある。また、深層水の汲み上げ、海洋表層部への放出でも生態系に影響を与えかねない。このような影響を軽減するには事前の調査を実施する必要がある。現在インドで稼動している海洋温度差発電プラントのデータを入手する等して、適切なコスト評価や環境への影

響などを調整する必要がある。

3.3　海洋温度差発電の複合メリット

図3.3-1に海洋温度差発電の複合メリットを示す。海洋温度差発電は海水表層と深層の温度差を利用する発電方式であるので、発電のための燃料が不要である。また、深層部の海水温度は年間を通じて安定しているので、燃料が不要な代表的自然エネルギーである太陽光発電や風力発電と違い、24時間、安定的な連続発電が可能である。海洋温度差発電には次のようなメリットが考えられる。

- 発電のための燃料が不要であるので、稼働時間が長くなれば経済性が向上する。
- 淡水化による飲料水供給が可能である。
- 温泉水やプラント廃熱等の低熱源回収技術へ利用可能である。
- 深層水に溶存するリチウム等のレアメタルの採取および水素製造が可能である。
- 栄養分に富む深層水を利用した水産養殖や漁場生成が可能である。
- 深層冷海水を地域冷房用冷熱源に利用可能である。
- CO_2 排出量取引に利用可能である。（石油火力発電の1/60以下）
- 海洋立国としての海洋関連技術の保持および排他的経済水域（EEZ：Exclusive Economic Zone）（世界6位）の権益を確保する。

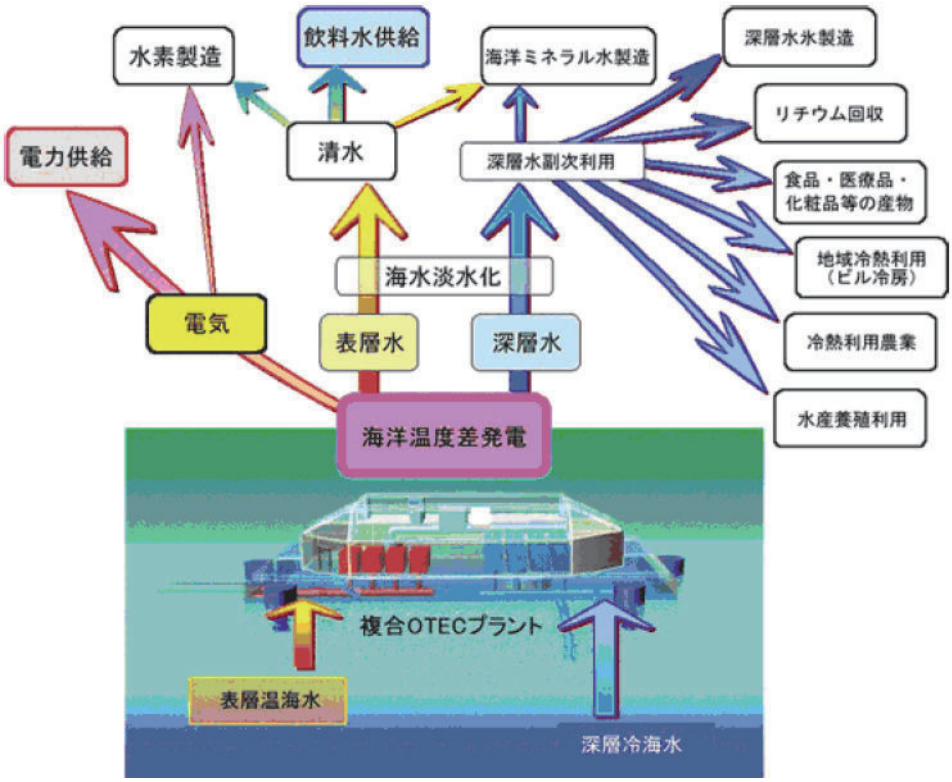


図3.3-1　海洋温度差発電の複合メリット

出典：海洋政策研究財団ウェブサイト

3.4　海洋温度差発電導入に向けて

海洋温度差発電は、発電のみではコスト競争力は無い。前節で例示した海洋温度差発

電の各種メリットと組み合わせることにより初めて海洋温度差発電が普及する可能性は十分にあると考えられる。以下、複合メリットのなかで主なものについて述べる。

3.4.1　淡水化

海洋温度差発電が可能な熱帯から亜熱帯の地域では、一般的に電力とともに飲料水も不足している。海洋温度差発電は海外各国の飲料水不足という水問題の解決策となる。図3.4-1のように発電システム内にスプレーフラッシュ式の淡水化プラントを併設し、海洋温度差発電で使用した深層冷海水と表層海水を使えば海水流量の約1～1.5%相当の淡水を供給することができる。

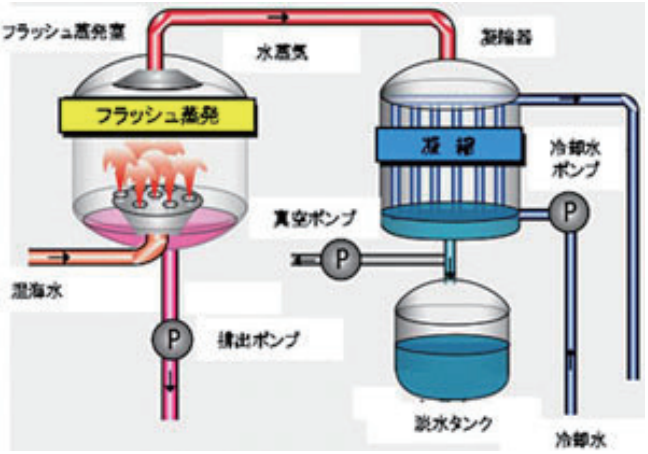


図3.4-1　淡水化フロー図

出典：(株)ゼネシスウェブサイト

3.4.2　低熱源回収技術利用

図3.4.2-1に低熱源回収発電システム3,450kW発電プラントを示す。海洋温度差発電の基本技術を使い、これまで利用されずに海、河川や大気中に棄てられていた低温排熱を回収して、発電が可能である。また、温泉水等の未利用廃棄エネルギー回収も可能である。

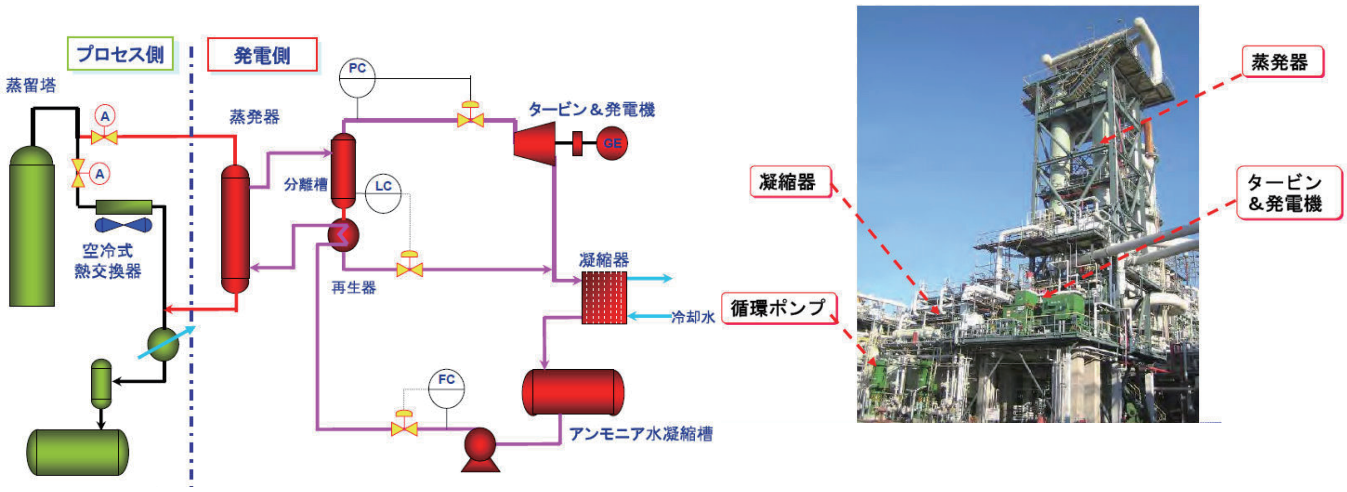


図3.4.2-1　低熱源回収発電プラント

出典：(株)富士石油資料

3.4.3　深層水に溶存するリチウム等のレアメタル採取

海中に溶け込んでいるリチウムやウラン等の稀少金属の回収が提案されている。現在、海水溶存物質の採鉱は採算が取れないとされている。これは膨大な海水を汲み上げるポンプを動かすために莫大なエネルギーを消費し、海水から鉱物を分離抽出するのに多大

なコストを要するためであるが、海洋温度発電は副産物として膨大な海水が得られているため、抽出コストさえ下がれば採算に乗せる道は残されている。現在、佐賀大学の海洋エネルギーセンターで希少金属の効率的な回収方法が研究されている。

3.4.4　深層水を利用した水産養殖や漁場生成

海洋温度差発電で得られる栄養に富んだ海洋深層水を用いてサーモンやロブスターなどの冷たい水に棲む海産物を養殖することが可能である。スピルリナ（健康食品サプリメント）のような微細藻類もまた、海洋深層水で栽培可能である。**図3.4.4-1**に500kW海洋温度差発電プラントによる水産養殖等多目的利用計画例を示す。

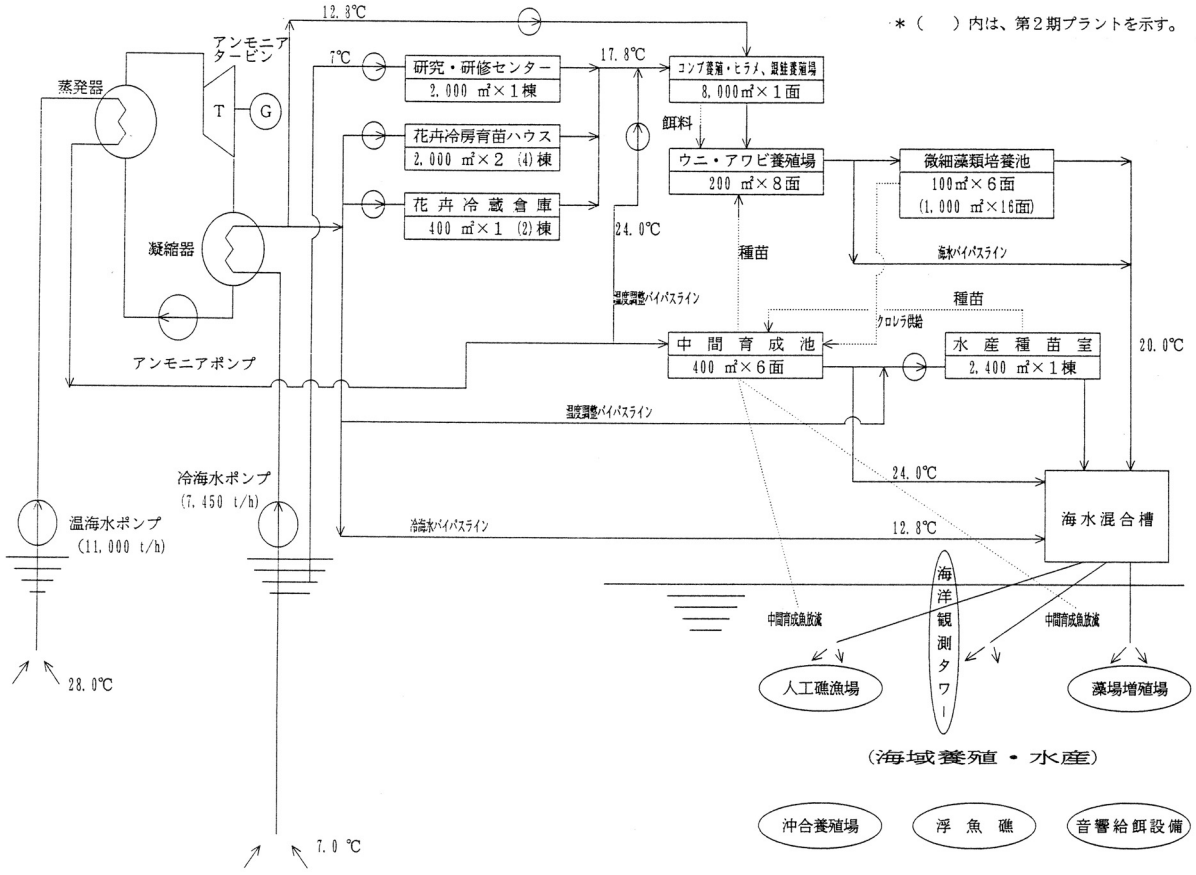


図3.4.4-1　水産養殖等の多目的利用

出典：飛島建設(株)資料

3.4.5　深層冷海水の冷熱源の利用

海洋温度差発電の深層水冷熱をビル等の冷房を提供することができる。冷熱は他にも幅広い利用が考えられ、海洋温度差発電の実用化には必須である。前掲の**図3.4.4-1**に水産養殖等の多目的利用で示した様に花卉等の育苗ハウス冷房利用例を示す。

3.4.6　海洋温度差発電はCO2排出量が少ない

表3.4.6-1に1kWh発電に排出するCO_2量を示す。海洋温度差発電はCO_2 排出量が石油火力発電の1/60以下で有り、海洋温度差発電が可能な開発途上国へ本システムを展開することで、今後CO_2 排出権等に利用できる。

表3.4.6-1 CO_2排出量比較

水　力	0.011kg
原子力	0.022kg
石炭火力	0.887kg
石油火力	0.704kg
海洋温度差	0.014kg

出典：細田衛士研究会資料

3.4.7　EEZ内での海洋権益確保

2007 年の「海洋基本法施行と2008 年の「海洋基本計画」の閣議決定、さらに2009 年３月の「海洋エネルギー・鉱物開発計画」の策定により海洋の開発･利用に明確な道筋が作られた。我が国の排他的経済水域（EEZ）は世界6位で有り、海洋資源のひとつである海洋温度差発電は有望な資源である。沖の鳥島等での海洋温度差発電は、海洋権益確保のためにも有効な手段として期待できる。

3.5　冷水取水管の敷設方法の提案

陸上型の海洋温度差発電では、冷水取水管延長が長くなるという課題が有る。また、この長大な大口径の冷水取水管敷設には、高度な海洋施工技術が不可欠となる。**図3.5-1**に1,000kW発電に必要な冷水取水管の敷設例を示す。

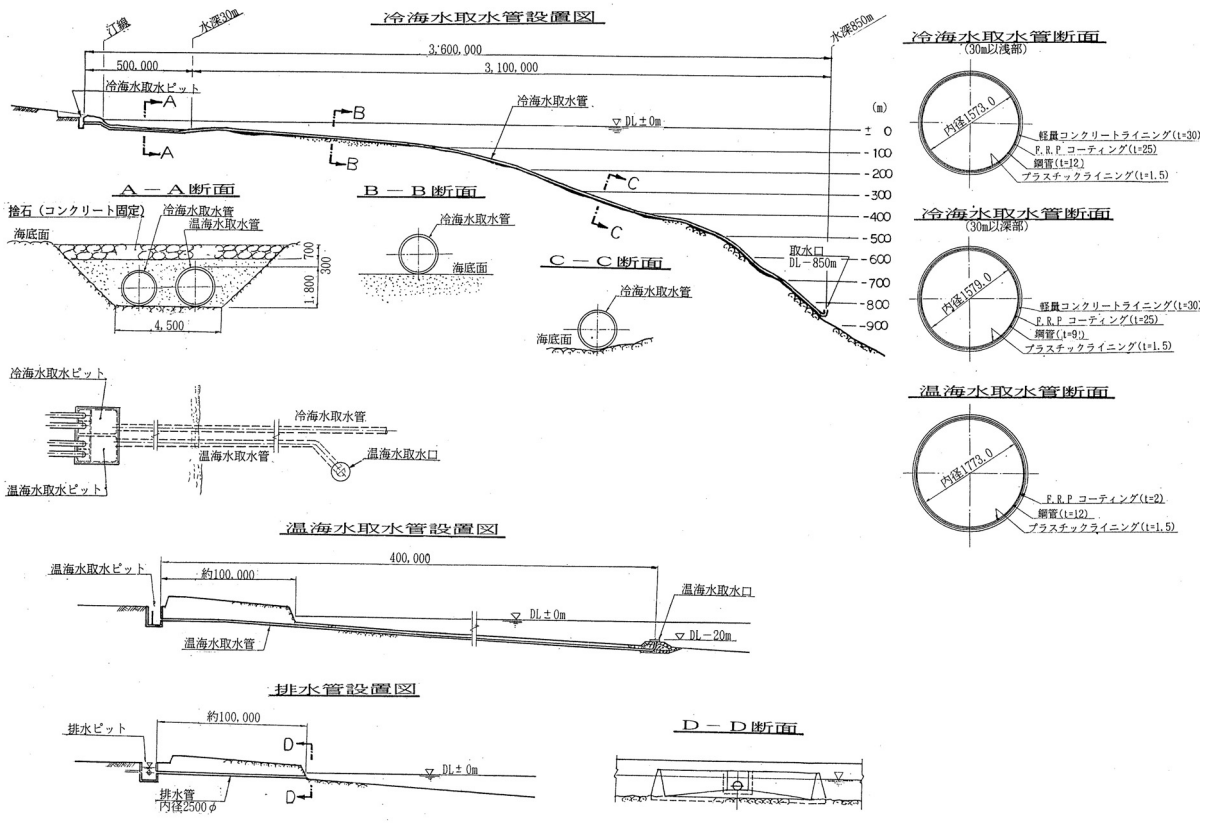


図3.5-1　1,000kW海洋温度差発電冷水取水管設置例

出典：飛島建設(株)資料

冷水取水管敷設費用の軽減策として、急峻な海底地形の場合、トンネル方式による冷水取水管構築等も提案されている。**図3.5-2**に海底曳航法による冷水取水管敷設例を示す。

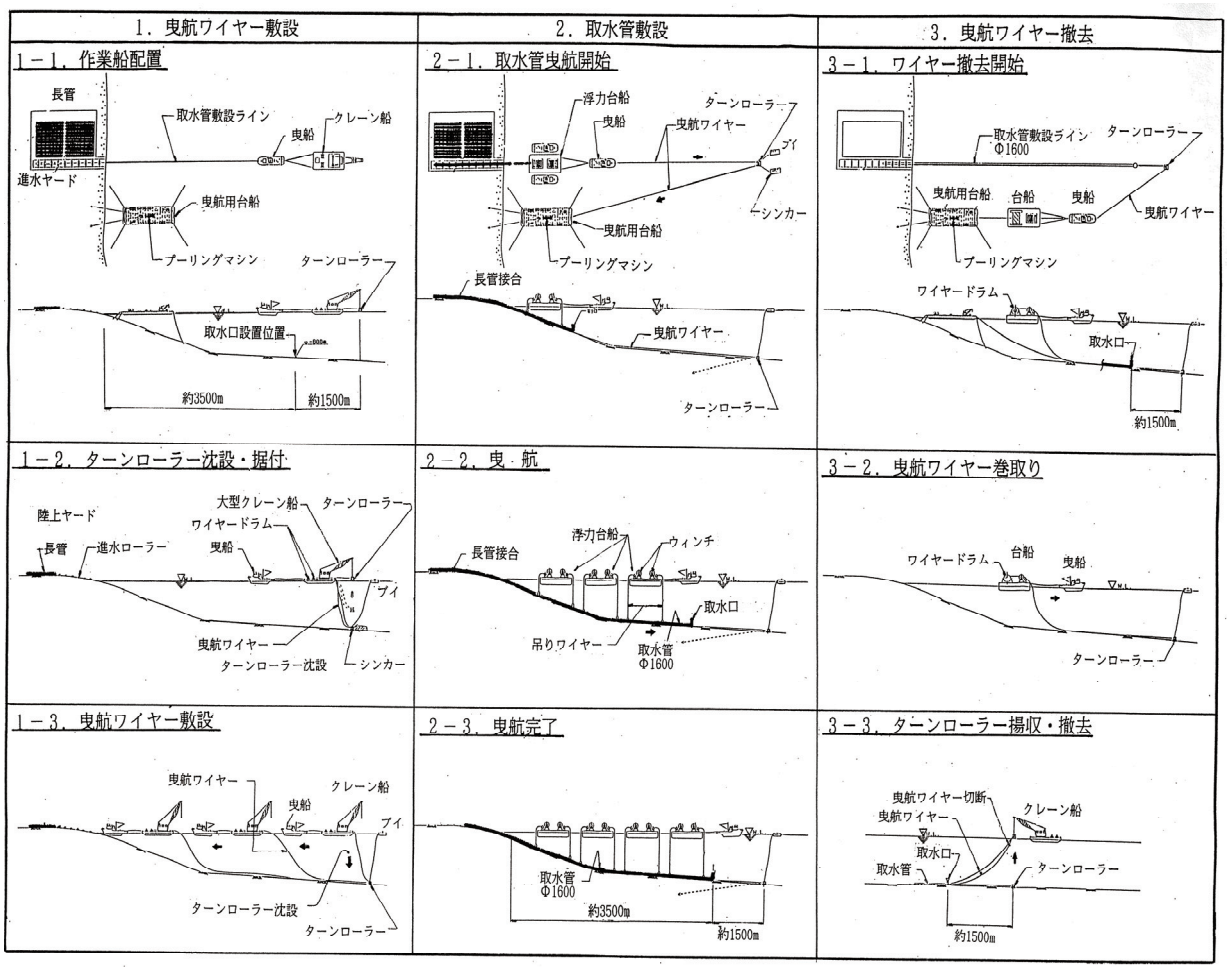


図3.5-2　海底曳航法による冷水取水管の敷設例

出典：飛島建設(株)資料

3.6　今後に向けて

20世紀、人類は化石燃料である石炭、石油、ガスを燃焼しエネルギー源として使用することで急速な経済成長を遂げた。しかしそれにより深刻な問題を引き起こしたことも事実である。地球環境問題は化石燃料である石炭、石油、ガスを燃焼したときに出るCO_2やNO_Xが起因している。CO_2による地球の温暖化は海面上昇引き起こし、NO_Xは酸性雨となって森林を枯らしている。このため、森林は保水能力が減少し土石流等の災害を引き起こしている。我々人類が直面している人口問題、エネルギー問題、水問題、食料問題と地球環境問題は、21世紀の五大問題といわれている。**図3.6-1**これらの五大問題は、それぞれに独立しているのではなく、互いに関連している。この21世紀の五大問題の解決策のひとつとして海洋温度差発電を中心とした複合システムを提案したい。

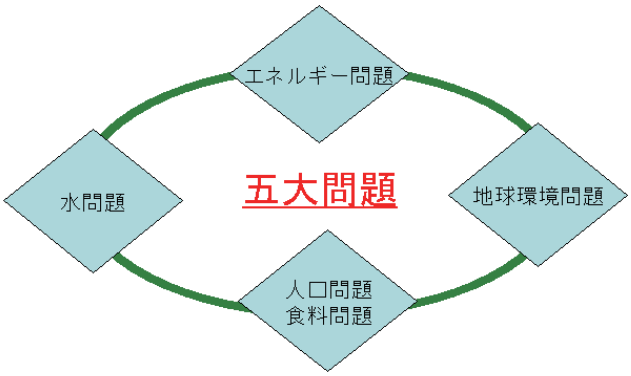


図3.6-1　海洋温度差発電と五大問題

出典：海洋温度差発電推進機構ウェブサイト

第４章　太陽熱の活用技術

本章では、近年、再生可能エネルギーの有力な候補のひとつとして注目を集めている太陽熱利用に関して、その適用可能性と将来展望について述べる。

4.1　太陽熱利用を取り巻く現状

我が国において、高温の太陽熱を利用して発電を主とするエネルギー生産システムの調査研究が本格的に行われたのは、1974年の「サンシャイン計画」である。この「サンシャイン計画」では、香川県仁尾町にパイロットプラントが建設され、その実績から我が国の日射条件では経済性の観点から適さないという結論が出され、その後大規模な太陽熱利用設備の計画はない。しかし近年、諸外国では北米、南ヨーロッパ、北アフリカなど、日射条件の良い地域において、大規模な発電プラントが精力的に建設されている。これは、化石燃料価格の高騰など経済的な要因変化が多分に影響しているが、太陽熱という再生可能エネルギーが将来にわたって基幹エネルギー源として大規模に利用できる可能性があり、世界的にも注目が集まりつつあることを示唆している。

これら諸外国の動きに呼応して我が国においても、近年、この太陽熱利用の関心が高まっており、平成22年7月に発行された「NEDO再生可能エネルギー技術白書」では太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギー源とともに、有望なエネルギー源のひとつであるとされている。また、同分野における技術を有する我が国の各種研究機関、および、企業の参入、海外プロジェクトへの投資も活発化しつつある。

そして、何よりも太陽熱を利用するシステムは事実上無限の太陽エネルギーを無駄なく有効に活用する技術のひとつであり、そのシステムの建設と廃棄に関わるCO_2排出を除き、事実上CO_2排出無しのエネルギー源である。従って、化石燃料を利用した火力発電所などをこれに置き換えることにより直接CO_2排出量を削減でき、近未来の低炭素エネルギー社会実現に向けて、商業的に実用化が期待されている技術である。

4.2　太陽熱システム

太陽熱を有効なエネルギー源として利用するシステムとして、古くから実用化されているものには、主として直接熱利用を行う民生用の小規模太陽熱温水器がある。この設備の多くは太陽光を集光することなく、直接熱源として、水または適切な熱媒体を介して、対象物を目的の温度まで加熱する。太陽光を集光しないシステムは設備構成が単純であり、安価である反面、利用可能な温度域は100℃以下に限定され、特殊な熱機関を適用しない限り、低温熱源としての利用用途のみである。

表4.2-1　太陽光発電(PV)と太陽熱システム(CSP)の比較

	太陽光発電(PV)	太陽熱システム(CSP)
システムの原理	光起電力効果を利用し、太陽光のエネルギーを直接、電気エネルギーに変換する	集光ミラー等を利用し、太陽光のエネルギーを集熱する
エネルギーの形態	電気エネルギー	熱エネルギー
電力への変換	直接発電のため熱機関は不要	熱機関を用いて電力に変換
エネルギー貯蔵	一般的には困難蓄電池等を用いる方法もあるが高コストとなる	蓄熱設備を併設することにより、低コストで貯蔵が可能
主要な用途	小規模（民生用）発電大規模なもの（メガソーラーなど）も、増加中	大規模発電（海外）直接熱利用、火力との複合発電なども計画あり
市場性	成熟期にあり、各国にて多くの企業が参入発電効率向上･低コスト化が競争の中心	開発期にあり、主として南欧、北米で技術が先行大型化･高温高圧化により、発電効率向上を目指している
発電コスト	概ね　37～46円/kWh	概ね　12～39円/kWh

（発電コストの出典は、NEDO再生可能エネルギー技術白書の現在値を採用）

一方、発電用途を主として適用される太陽熱システムは、集光（熱）ミラーやレンズなどを用いて太陽光を集光し、熱媒体を高温に加熱し、適切な熱機関を駆動することにより、効率的にエネルギー変換を行う。このシステムは熱機関（実用化されているシステムの多くは主として、蒸気タービンを用いる）の熱サイクル効率の観点から、媒体を高温高圧に加熱する必要があり、種々の方式を用いて太陽光の集光が行われている。太陽光を集光する、このシステムは集光型太陽熱(Concentrating Solar Power：CSP) プラントと称され、集光を行わない太陽熱システムとは区別されている。非集光型の太陽熱システムは、民生レベルでの低温熱源として、効率的なエネルギー利用の観点からは意義深いテーマではあるが、エネルギーの用途が限定され、基幹エネルギー源として大幅なCO_2削減への寄与は小さいためここではCSPを中心に論ずることとする。

また、太陽エネルギーを有用なエネルギーに変換する有望な技術として、太陽光発電システムがある。太陽光発電システムとは太陽電池（Photovoltaic：PV）を使用し、太陽からの日射エネルギーを直接、電気エネルギーに変換する。実用化されている太陽電池の種類として、単結晶、多結晶、薄膜シリコン系、および、CIS化合物系、CdTe化合物系などがある。これらの太陽電池は精力的に研究開発が進められており、民生用途をはじめ大規模な発電用途（メガソーラー）にも適用されている。ここで、比較のため、太陽光発電と太陽熱システムをあげ、おのおのの特性について説明する。

表に示される通り両方式には一長一短あり、優劣を論ずるよりもその特性の違いの理解

を深め、システムの計画に当たってはその地域性と用途を勘案した上でコスト上のメリットが最適となるシステムを選択することが普及のポイントである。一般的にPVは発電効率およびコストは太陽電池自身に依存し、太陽電池の要素技術の開発が普及の鍵である。また、得られるエネルギー形態は直接電気を取り出せる反面、エネルギー貯蔵の観点から出力安定化や電力デマンドに応じ自由に負荷調整することは困難である。

一方CSPの太陽光を集光する技術は反射鏡を用いたシンプルなシステムであり、いわゆる“枯れた”技術を適用するため開発要素は少ない。一方で有用なエネルギーを取り出す発電システムには蒸気タービン等の熱機関を適用するため高効率、低コストの設備を建設するために大型化および蒸気条件の高温高圧化が必要となり、これらに適した建設サイトと集光方式を選択する必要がある。また得られる一次エネルギーは直接熱利用することが可能であり、電力に変換する場合においても、蓄熱を行うことで出力を安定化させることや、既存の火力発電と組み合わせたハイブリッドシステムの導入が可能である。

このように、CSPは再生可能エネルギーのひとつとして、他のエネルギー供給方式と組み合わせ、電源安定化を確保しつつ低コストで事実上CO_2フリーのエネルギーを提供する可能性が高い。

4.2.1　CSPの方式

CSPは太陽光を集光することにより、主として蒸気タービンを駆動させ、発電を行う。集熱方式として、現在有望な技術は以下の４種類がある。

1)　トラフ型

トラフ型はCSPの中では高度な集光技術が不要であることから、最も古くから採用されている。**図4.2.1-1**のように樋状の放物曲面を持つ凹面鏡を直線状に配置し、焦点に置いた集熱管に集光することにより、熱媒を加熱する。熱媒は400℃程度まで加熱された後、熱交換器に送られ、過熱蒸気を発生する。このように、トラフ型においては、集光ミラーと集熱管が直線状に広範囲に渡って配置されるため、他の太陽熱システムに比べ構造が単純で安価なメリットがある反面、直線状の集熱管部における熱損失が大きいデメリットがある。また、集光強度はミラーの幅によって制限されるため、他のシステムに比べて低くなり、熱機関の効率にも限界がある。

図4.2.1-1 トラフ型事例

出典:DOEウェブサイト

2)　フレネル型

トラフ型の類似の技術であるが近年、トラフ型に代わる新規技術としてフレネル型の方式が市場投入されている。フレネル型は、**図3.2.1-2**に示すように直線状に複数列のミラーを配置し、おのおののミラー角度を中央集熱器に向くように調整し、線状の中央集熱器に太陽光を集めるものである。

フレネル型はトラフ型のような高精度の放物曲面集光ミラーを導入する必要が無く、

ミラーはほとんどフラットでよく、トラフ型よりも製造コストが低いメリットがある。ただし太陽熱技術の中では比較的新しい技術で効率面では他方式に比べやや劣る。今後の技術開発により、改良が期待される。

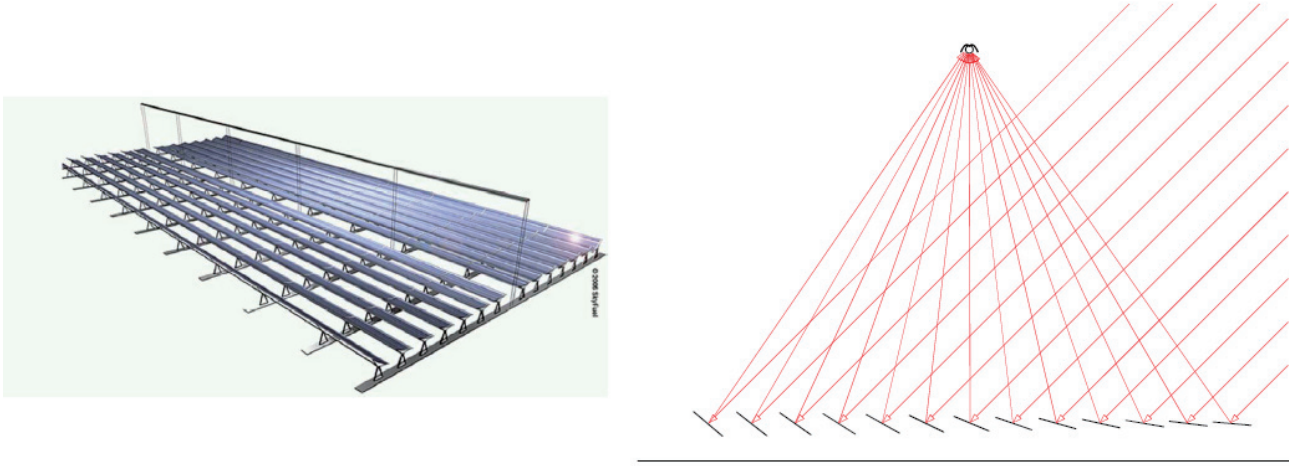


図4.2.1-2 フレネル型事例

出典:DOEウェブサイト

3) タワー型

近年の太陽熱発電で数多くのプロジェクトがあり、次世代型の太陽熱発電技術として最も注目を集めている方式がタワー型である。タワー型太陽熱発電技術はトラフ型とともに古くからあるが、高温プロセス加熱が可能で将来的に高い発電効率の実現が期待でき、タワー型に派生する類似技術、蒸気タービンに代わる熱機関、高温蓄熱技術とともに、種々のオプションを付加した新規技術が開発されている。

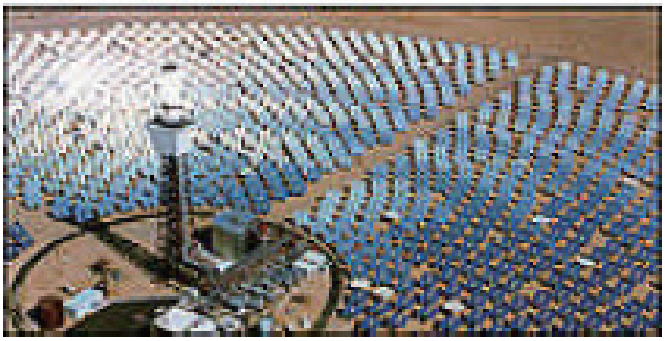


図4.2.1-3 タワー型事例

出典:DOEウェブサイト

図4.2.1-3にタワー型の事例を示す。タワー型は中央集光タワーの周囲に配置したヘリオスタット(Heliostats)と称する反射鏡を用いて太陽の動きを追尾し、中央集光タワーに設置する集熱器に太陽熱を集めるシステムである。このように、タワー型はヘリオスタットを個別に制御し、太陽を追尾する必要があり、他方式に比べて複雑なシステムが必要となるが太陽熱を一点に集光させることから、高温の熱源を得ることができる。熱機関として蒸気タービンを用いる場合は蒸気条件をより高温高圧化することが可能であり、高効率での発電が可能となる。

さらに集熱温度を上げて1,000℃近くまで加熱温度を上げ、熱媒体として圧縮空気を用いるとブレイトンサイクルのガスタービンの導入も可能である。これは、通常の蒸気

サイクルで不可欠な冷却水が不要なシステムとなるため、砂漠地帯など水源の確保が難しい地域における、新しい発電技術として期待される。

また、一般的にタワー型は熱媒体を高所に設置した中央集熱器に輸送する必要があり、大型設備になるほどタワーは巨大になり、構造的に大型化が難しかったが近年、我が国の技術による新システムが提案されている。**図4.2.1-4**に示されるこのシステムは中央集光タワーの代わりに多重のリング状の反射鏡を設置し、太陽光をもう一度反射させて地上の集熱器に導くものでビームダウン型と称されている。このことで高温の熱媒体を地上部で循環させることが可能となり、集熱と蓄熱部の運用やメンテナンスが易しくなり、コストダウンを実現できるメリットがある。このようにタワー型においては既存の技術に加え、集光技術、周辺技術面での改良、コストダウンが精力的に行われ、今後の開発への期待が大きい。

図4.2.1-4 多重リング型ビームダウン集光器

出典:東京工業大学広報誌

4) ディッシュ型

ディッシュ型太陽熱発電は直径5～15m程度の放物曲面状のミラーを用いて集光し、焦点にスターリングエンジンやガスタービンなど小型の熱機関を設置し、発電するものである。外観は**図4.2.1-5**に示すようにパラボラ型の反射鏡の焦点部分に熱機関を配置した独立システムである。これを１ユニットとし、この反射鏡全体が太陽光に正対するよう追尾する。１ユニットあたりの出力は反射鏡のサイズに依存し5～50kW程度である。このようにユニットあたりの出力は小さい反面１ユニットで高効率発電が完結するシステムの構築が可能であり、分散型発電システムとして適する。また複数のユニットを配置することにより大型の発電プラント化も可能である。本方式は我が国では開発事例は無いが、その発電効率の高さから米国や欧州では精力的に実証実験が進められている。

図4.2.1-5 ディッシュ型事例

出典:DOEウェブサイト

4.2.2 CSPの適地

太陽熱発電の基本原理は太陽光エネルギーのうち、直達日射を回収するシステムであるため、この直達日射量の多い地域が適している。直達日射量の目安はDNI値（Direct Normal Irradiation）の指標が用いられる。これは気象条件、緯度（直達日射光の入射角）を加味して１m²あたりの年間直達日射エネルギー量を示し、単位はkWh/m²/y とな

る。一般的に太陽熱システムによる発電を行う場合は、このDNI値にて2,000 kWh/m²/y以上が期待できる地域が適地とされる。**図4.2.2-1**に世界のDNI値の分布図を示す。本図によるとDNI値の高い地域は北米、中東、北アフリカ、南欧、南アフリカ、オーストラリア西部などに広く分布している。

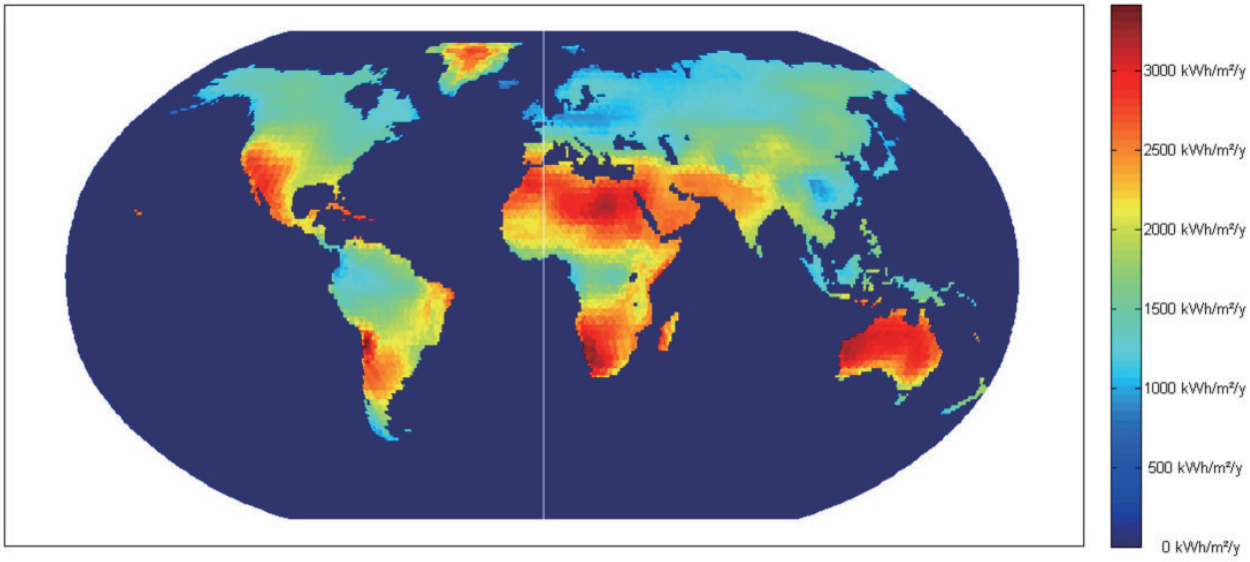


図4.2.2-1 世界の直達日射量分布図

出典:再生可能エネルギー技術白書

一方、我が国ではDNI値は概ね1,000～1,300 kWh/m²/y であり、太陽熱システムによる発電のみで採算は難しい。従って、我が国で太陽熱システムを有効に活用するためには消費地に近接した小規模発電や既存火力発電とのハイブリッド発電、直接熱利用など地域性を生かした技術開発が不可欠である。

4.3 将来展望

太陽熱発電は世界的に見ればDNI値が高く、かつ北米、南欧、北アフリカなど電力の消費地に近接した地域で将来の再生可能エネルギーの重要な選択肢のひとつであり、その導入量は大きく拡大していくと考えられている。

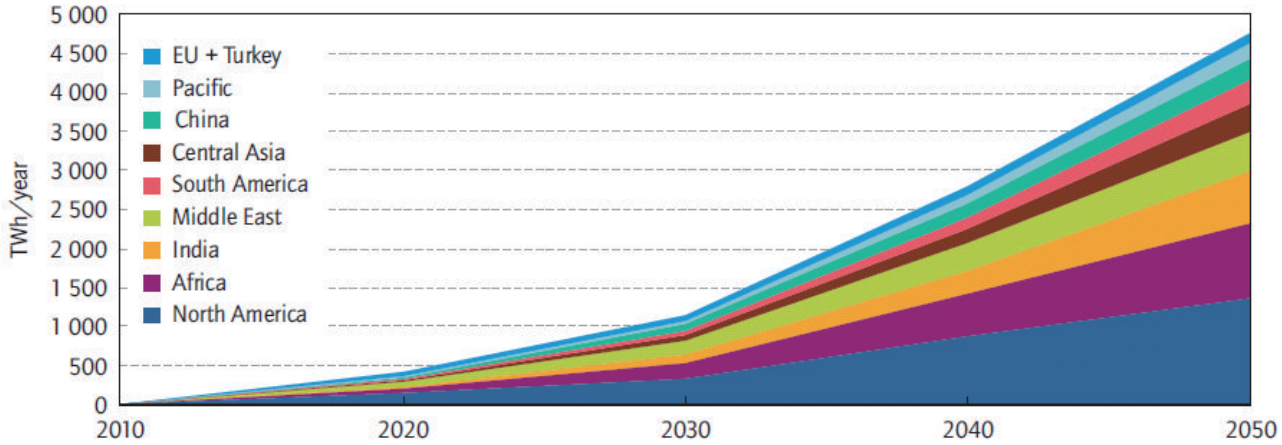


図4.3-1 世界の太陽熱発電の導入見通し

出典:IEA “Technology Roadmap Concentrating Solar Power”

図4.3-1はIEAが公表したロードマップに示される太陽熱発電の導入見通しである。これから2050年までにCO_2排出量を半減させるために、世界的に再生可能エネルギー技術の開発および普及が不可欠であり、その中でも太陽熱システムを利用した発電技術は2050年における世界の発電電力量の11%に相当する基幹エネルギーになることが期待されている。この将来見通しに基づき特に電力消費地に近く日射条件の良い南欧、北米では近年になって、数多くの大型プロジェクトが立ち上がり、導入が加速している。以下にその事例を紹介する。

4.3.1 海外の大型プロジェクト事例

1) Andasolプラント

スペイン南部アンダルシア地方に建設されたトラフ型大規模プラントを**図4.3.1-1**に示す。本プラントはAndasol1～3号の３プラント構成で各発電出力は50MWである。大規模な蓄熱システムも併設し、夜間も発電が可能な設備である。

図4.3.1-1 Andasolプラント外観

出典:Solar Millennium社ウェブサイト

2) Gemasolarプラント

スペインセビリア近くに現在建設中の大型タワー型プラントを**図4.3.1-2**に示す。本プラントは２タンクからなる溶融塩蓄熱システムを備え、15時間分の蓄熱が可能で世界初の24時間稼動の太陽熱発電プラントとなる。発電出力は17MWであるが、期待される負荷率が高く年間発電電力量として100GWhは見込みである。

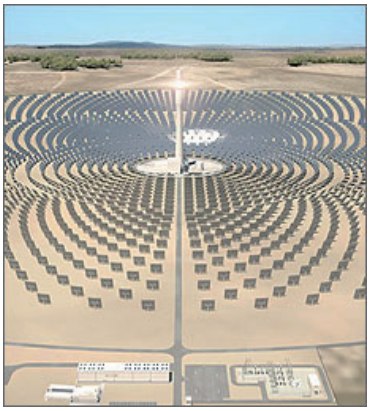


図4.3.1-2 Gemasolarプラント外観

出典:NREL ウェブサイ

4.3.2　我が国の取り組み

これまで述べてきたように我が国では直達日射量が少なく国内には商用の太陽熱発電プラントを建設する適地がなく海外の大型プロジェクトへの参入実績もないことから商用規模での大規模な開発事例は無い。しかしタービン発電機、集光器、ミラー駆動制御装置など太陽熱発電に必要な主要コンポーネント技術は世界的に見ても遜色の無い技術力を有している。太陽熱関連技術に関しては熱機関、蓄熱システムなど新たな方式も提唱されており、現在は技術開発途上であり今後の日本企業の市場参入が期待される。

また2010年にはチュニジア政府が進める「チュニジア・ソーラープラン」の一環としてタワー型太陽光発電とガスコンバインドサイクルを併用したプロジェクトのフィージビリティスタディがNEDOを中心として開始されている。この取り組みは我が国のCSPの分野では「サンシャイン計画」以来36年ぶりとなる産官学をあげたナショナルプロジェクトとなる見込みであり、多大な成果が得られるものと期待できる。

4.4　今後の取り組みに向けて

世界的なエネルギー資源と環境の両問題に対応して一次エネルギー源を化石燃料によらないCO_2フリーの低炭素エネルギー社会に移行していくことは不可欠の課題である。そして、一次エネルギー源を可能な限り、再生可能エネルギーに転換していくことはその有効な対策のひとつである。太陽熱エネルギーは再生可能エネルギーの有力な選択肢であり、その経済性と開発ポテンシャルから見て将来的には人類の基幹エネルギーとなる。世界的にはこの分野における研究開発がここ数年で急速に加速し、海外で各種の大型プロジェクトが立ち上がっている。

我が国においても近年、この分野の注目が高まり、海外プロジェクトへの参入や投資、新技術の導入などが相次いでいる。CSPの大型プロジェクトに限って言えば日射条件や国土上の制約から欧米の取り組みに比べて遅れていると言わざるを得ない。しかし再生可能エネルギー分野の個別のコンポーネント技術に関しては世界的にも遜色のない技術を有しており、今後は開発と投資を加速し、本分野における我が国の貢献が期待される。

第５章　家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望

5.1　家庭部門におけるCO_2排出量の現状

近年「エコ家電」と呼ばれる機器が店頭の中心に並び、その買い替えを奨励するエコポイント制度が注目されており、一般家庭においても環境配慮型の商品が選択肢のひとつとして浸透しつつある。エコ家電は、省エネ性能だけでなく、製造工程でのCO_2排出量削減やリサイクル材の活用、リサイクルのしやすさ、梱包資材等の削減など、さまざまな部分で環境配慮に対応した商品とされる。メーカー企業でもこうした背景から、技術開発や実証試験などに取り組み、優れた新エネ･省エネ製品の性能を積極的にＰＲし、その普及に努めている。

しかし、**図5.1-1**に示すように部門別CO_2排出量推移を見ると、それらの機器導入効果が期待できるはずの業務部門や家庭部門では、基準となる1990年比ではかなりのペースで増加する傾向にあることがわかる。こうした背景にはパソコンや携帯電話といった新たなIT機器の普及や、エアコンや薄型テレビのような高機能でありながら低価格化する家電の保有台数増加などが影響しているものと考えられる。世界でもトップクラスと言われる家電製品の省エネ化を実現していながら消費側でのCO_2排出総量で大きな効果が見えていないのが現状である。

これらの部門において、もっと大きな削減効果が見えるようにするにはどうしなければならないか。本稿ではこうした現状課題を明らかにするため、具体的なエコ製品の普及について調査しCO_2排出削減にどう寄与するかを具体的に考察する。

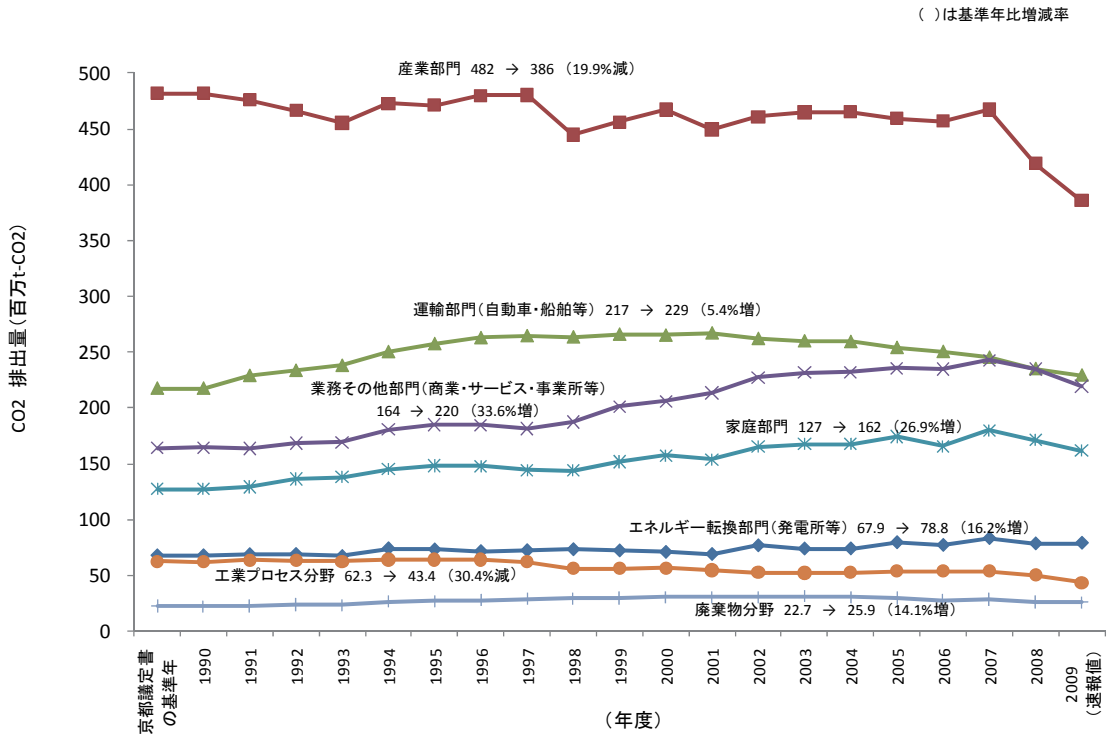


図5.1-1　日本の部門別CO2排出量推移（電気・熱配分後間接デー

出典：温室効果ガスインベントリオフィス 温室効果ガス排出量・吸収量データベース

5.1.1　家庭部門における主要なCO2排出要因の構成

まず、増加傾向にある2つの部門のうち、家庭部門におけるCO_2排出量に注目する。

業務部門については2000年以降IT機器の普及によって急速にエネルギー消費量増加が見られるが、その要因が明確であることから対策についても比較的解を得やすい分野である。現在では大きな事業所を中心としてCO_2排出量削減を義務付ける制度などがスタートしており、今後は組織単位での対応によって具体的な効果が期待されている。一方、家庭部門は、多様化するライフスタイルや価値観の中で、環境に対する関心が一様でなく、個々の家庭でのCO_2排出量増加の主要因を特定して効果を明確にすることは非常に困難である。本稿ではこのような状況にある家庭部門においても、実体を把握し課題を抽出することが必要ではないかと考えた。

ここで図5.1.1-1に家庭部門の一世帯あたりのCO_2排出量とその内訳を示す。最も多くを占めるのが照明･家電製品等によるものであり、次に挙げられるのが自家用車によるものである。これら分野はこれまで暮らしが豊かになるにつれ増加の方向にあったが、例えばLED照明の普及や電気自動車の開発など注目される技術導入の最中でもあり、これから大幅な削減が期待できる分野である。

次に多くを占める部分は給湯であり、年間5,040(kg-CO_2)×13.6(%)=685.44(kg-CO_2)が排出されている。近年では車を持たない世帯やテレビ･エアコンなどの利用を控える家庭もあるが、給湯はほとんどの世帯で必要とされることからエコ製品がCO_2排出量削減に重要な役割を果たすと推測される。これまでガスや石油といった燃焼系のものが中心であった給湯器市場だが、最近ではオール電化住宅を中心に電気式給湯器が普及し始めており、省エネルギー化に関して最も期待される分野となっている。

本稿では、こうした背景を考慮し、給湯分野における省CO_2動向の現状と将来展望について考察する。

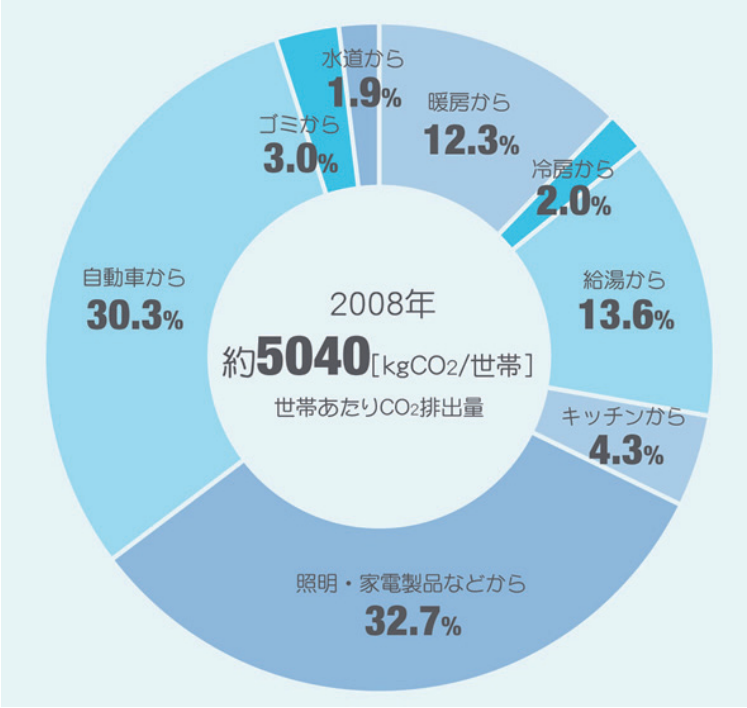


図5.1.1-1 家庭からのCO2排出量用途別内訳

出典：温室効果ガスインベントリオフィス
温室効果ガス排出量・吸収量データベース

5.2　給湯市場におけるエコ機器の普及動向

家庭部門において主なCO_2排出要因のひとつとなっている給湯機器がここ数年で大きな進化を遂げ、市場においても環境配慮型タイプ導入の方向に動きだしていることはさまざまなメディアらも知ることができる。**図5.2-1**に示す通り、もともと燃料としてガスや石油が中心であった給湯市場は、環境面の配慮や深夜電力の低コスト化、原油価格の高騰などが影響して縮小しており、代わって「オール電化」住宅の登場などにより電気給湯器の普及が急速に進んでいる。

しかし、こうした普及の実体を詳しく調べようとすると、ガス会社、石油会社、電力会社、それらに関与するメーカーそれぞれに公表データはあるものの、それらを比較して見ることのできる情報が少ないことがわかる。これらはそれぞれ建物の新築や改修などの際に一般消費者にも提供されるべきものであるが、その価格や効率、CO_2排出量削減効果などについて正しい評価が可能な情報として理解されているかは疑問な点である。現時点では、CO_2削減効果が相当に期待できてもかなり高額であったりCO_2削減量はそれなりでもコストを抑えて導入が容易なものがあったりとタイプの異なったシステムが混在しており、消費者による選択如何によって低炭素エネルギー社会の目標到達の可否が分かれてしまう可能性がある。

ここではメーカーや研究機関などが公表する資料をもとに、現在注目されているエコ給湯機器の特徴について比較を行う。対象とした機器は近年注目されるエコジョーズ、エコウィル、エコキュート、エネファームの4種類である。またこれらのCO_2削減効果を試算するために、販売開始時期からその後の販売台数推移についても併せて調査した。

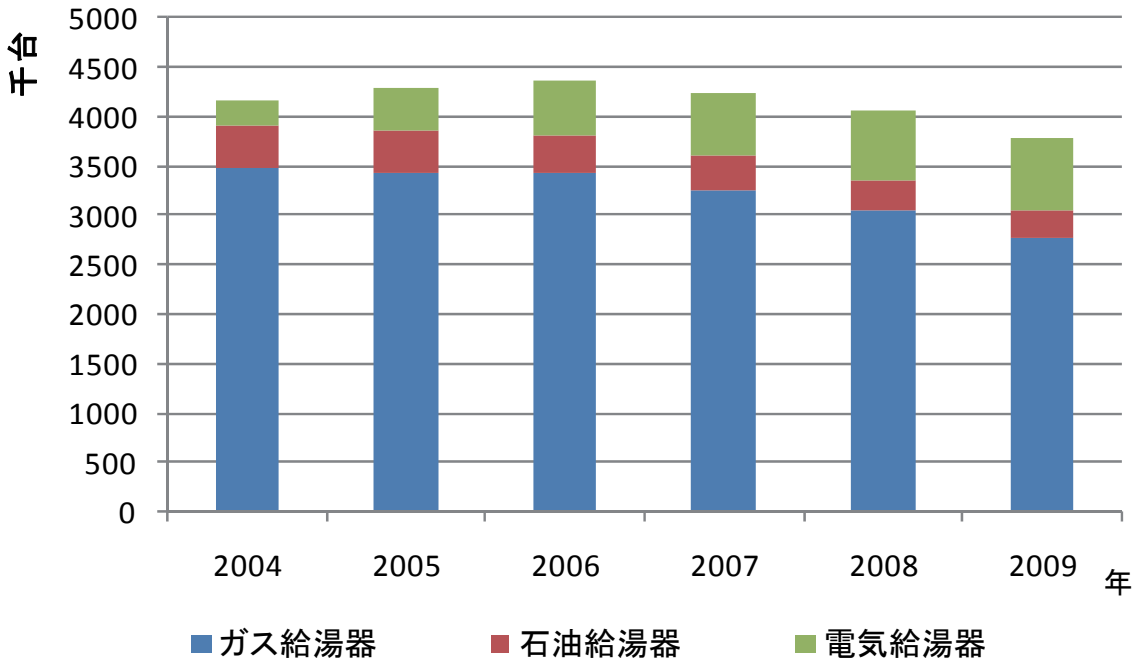


図5.2-1 熱源別給湯市場規模推移

（ヤノ・レポート2010、日本ガス石油機器工業会資料から作成）

5.2.1　ガス給湯器「エコジョーズ」

潜熱回収型の高効率ガス給湯器である。**図5.2.1-1**に示すように独自の排熱（潜熱）回収システムにより、大気中への不要な熱の放射をカットし、CO_2排出量を約13%カットする。約95%まで向上した給湯効率によって省エネルギーを実現、大幅にランニングコストを低減する。 従来のものより使用ガス量が約13%削減できるため、給湯だけであれば年間約10,000円、床暖房を合わせると約15,000円の節約を可能にする。

図5.2.1-2にあるように市場規模は年々増加しており、日本ガス石油機器工業会と日本ガス体エネルギー普及促進協議会では、低炭素社会の実現に向けた取り組みとして、2010年6月に「エコジョーズ化宣言2013」を表明し、メーカーが生産するガス給湯器を2013年3月までにすべてエコジョーズに切り替え、2020年までには2000万台の普及を目指すことを目標に掲げている。

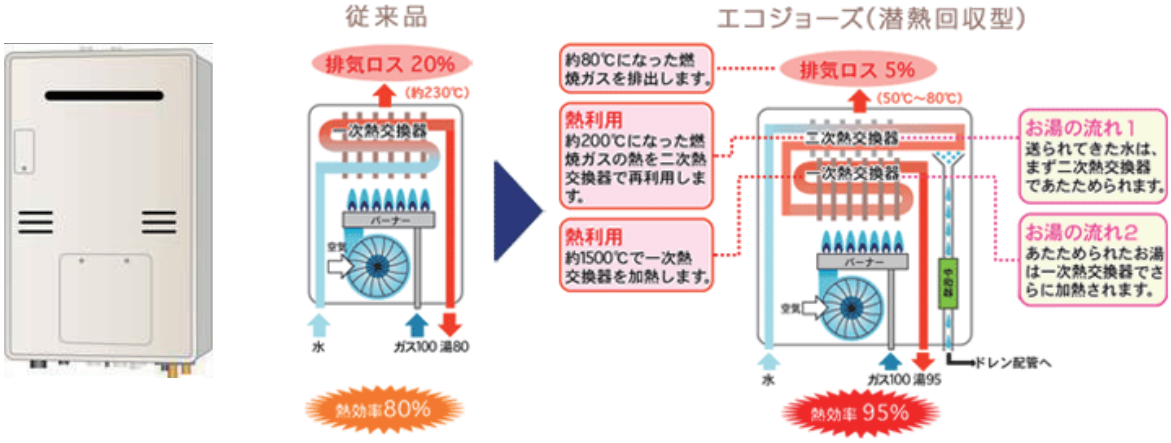


図5.2.1-1 エコジョーズのしくみ

出典：東京ガスウェブサイト

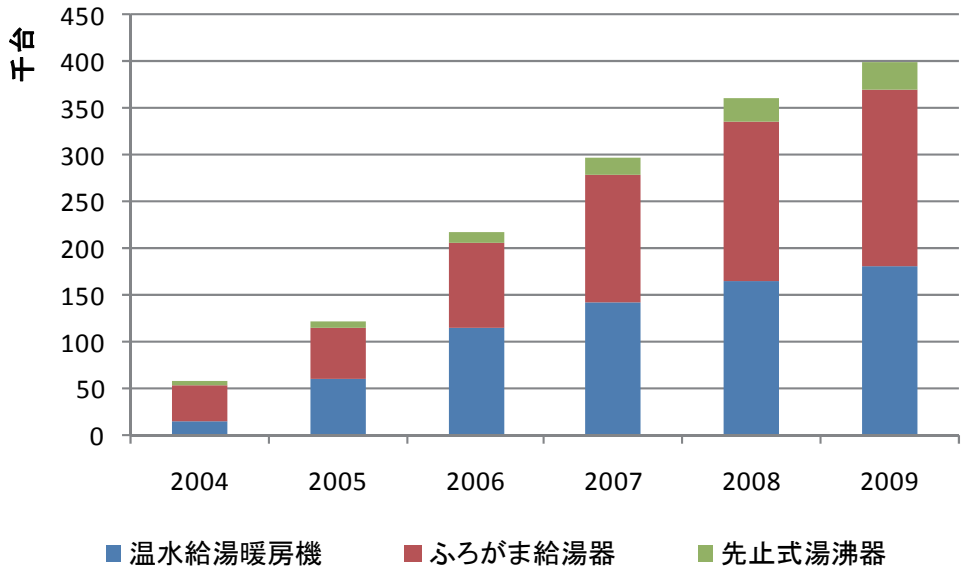


図5.2.1-2 エコジョーズ市場規模推移

出典：矢野経済研究所 住宅設備機器の市場動向2010

5.2.2　ガスコージェネレーションシステム「エコウィル」

エコウィルは**図5.2.2-1**のように都市ガスで発電しそのときに出る熱でお湯をつくり、暖房もできる家庭用のガスコージェネレーションシステムである。1kWの発電をすると同時に2.8kWの熱ができ、それを給湯や暖房に利用してエネルギーを最大限に有効利用することができる。エネルギー利用率は77%を実現（従来の送電システムでは33%）、エネルギーを消費するときに排出するCO_2も削減する。一次エネルギー消費量 は21%、CO_2排出量は32%（エコウィルの発電1kWh当たりでの比較）の削減が可能である。

都市ガスやLPガスを燃料とするガスエンジンで発電を行い、その際に発生する排熱を給湯などに利用する家庭用コージェネレーションシステムで、電気の市場にガスが乗り込む製品である。省エネ性は優れているが、イニシャルコストが高く、さらに定期点検などのメンテナンスがかかることが指摘されており、**図5.2.2-2**が示すように他の省エネ給湯器に比べて普及台数は伸び悩んでいる。

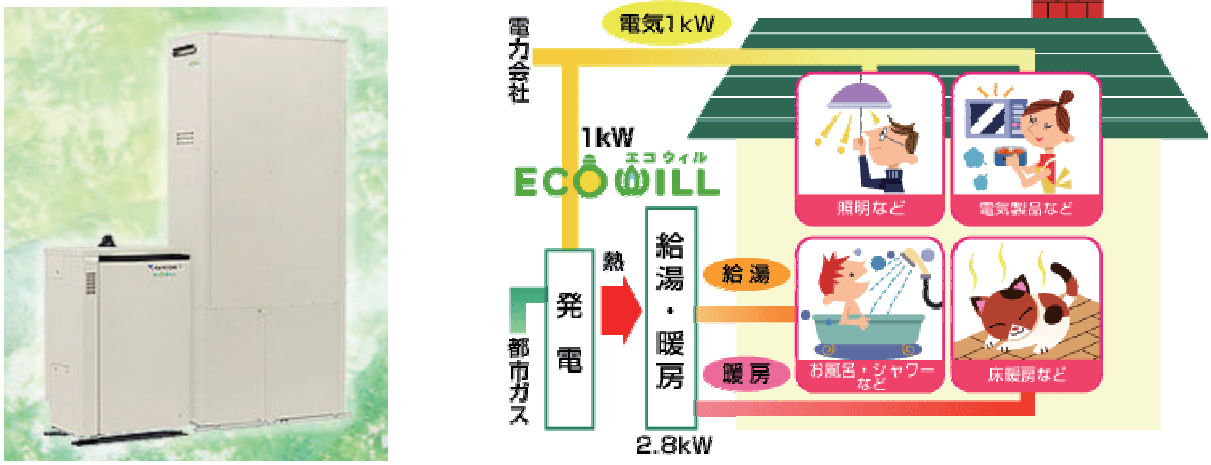


図5.2.2-1 エコウィルのしくみ

出典：東京ガス ウェブサイト

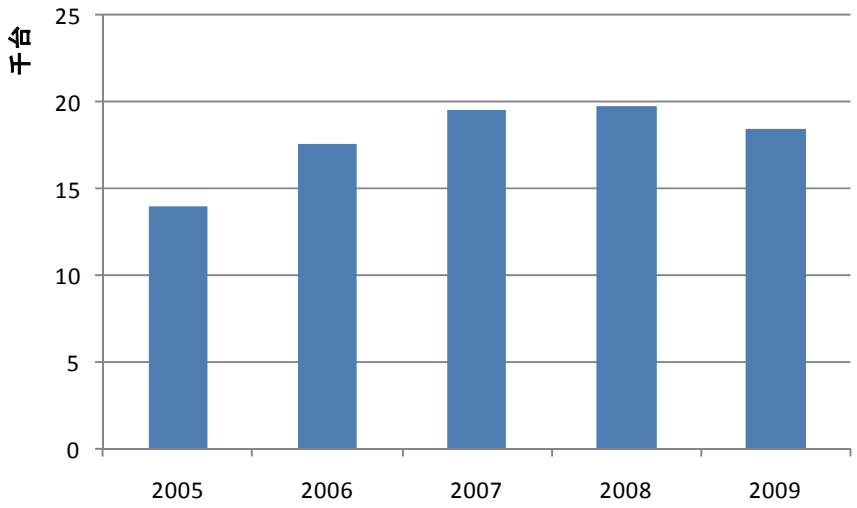


図5.2.2-2 エコウィル市場規模推移

出典：矢野経済研究所 住宅設備機器の市場動向2010

5.2.3　ヒートポンプ式電気給湯器「エコキュート」

エコキュートとは、**図5.2.3-1**に示すようにヒートポンプ技術によって空気の熱を集め、お湯を沸かすことができる電気給湯システムのひとつで、特に冷媒にCO_2を採用しているものを指す。深夜電力を利用して貯湯することで光熱費も削減する。従来の燃焼式給湯器と比較して、エネルギーを消費する時に排出するCO_2を約50%削減することができる。

オール電化住宅の普及で認知度も高く、**図5.2.3-2**に示すように高額でありながら補助金効果もあって採用数は大きく伸びている。2001年に販売が開始され2007年には100万台、2009年には200万台を達成している。

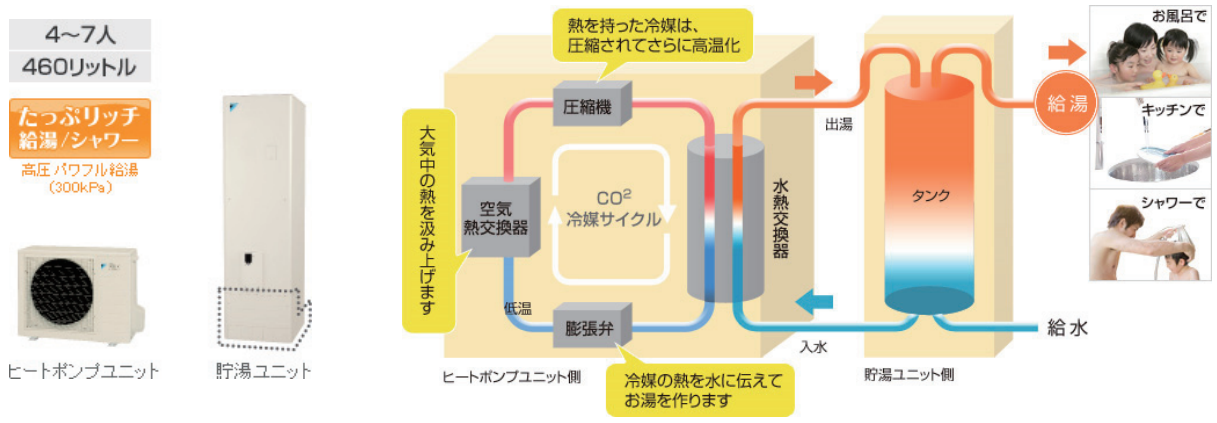


図5.2.3-1 エコキュートのしくみ

出典：ダイキン工業 ウェブサイト

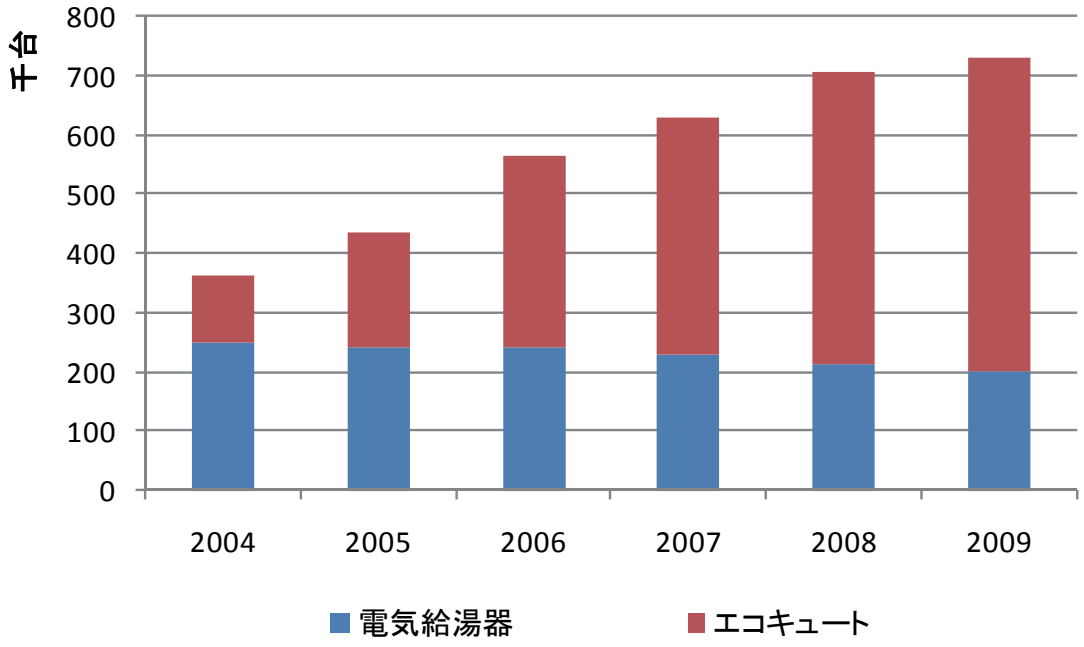


図5.2.3-2 電気給湯器市場推移

出典：矢野経済研究所 住宅設備機器の市場動向2010

5.2.4　家庭用燃料電池コージェネレーションシステム「エネファーム」

エネファームとは、**図5.2.4-1**に示す通り燃料電池ユニットと貯湯ユニットの二つのユニットで構成される。燃料電池ユニットは、都市ガスの水素に空気中の酸素と反応させることで発電し、その時に発生する熱を利用して同時にお湯を作り貯湯ユニットに貯めておくシステムである。お湯が足りないときやお風呂の追いだき、暖房時にバックアップ熱源機が稼動する。エネファームはエネルギーを電気とお湯にムダなく利用するため、従来のシステムに比べて一次エネルギー消費量を約33%削減、CO_2排出量を約45%削減することが可能である。そのため、エネファームを使用する一般的な家庭のCO_2排出量を従来のシステムでまかなった場合と比較すると、その差は１年で約1.5tとなる。ただし、エネファームは2008年よりモニター試験が開始、2009年より正式に販売されているため現時点で他の機器と比較できる市場規模推移データがない。

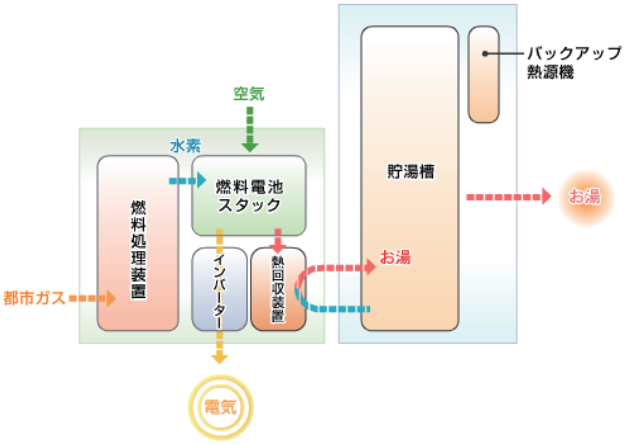


図5.2.4-1 エネファームのしくみ

出典：東京ガス ウェブサイト

5.2.5　エコタイプ給湯機器４種比較

それぞれのイニシャルコスト、ランニング年間削減コスト、一次エネルギー削減率、CO_2削減率について**表5.2.5-1**で比較する。基準とする部分に多少の相違はあるが、エネルギー削減効果やCO_2削減効果の比率で見ると、エコキュートが比較的優位にある。ちなみにエネファームは市場導入が始まったばかりでまだ実績値がない。

表5.2.5-1 エコ給湯機器比較

	エコジョーズ	エコウィル	エコキュート	エネファーム
設置費用	約30万円	約70万円	約60万円	約340万円
年間削減コスト	15000円	30000円	82000円	60000円
一次エネルギー削減率	16%	21%	30%	33%
CO2削減率	13%	32%	50%	45%
発売時期	2002年	2003年	2001年	2009年

参考：ウェブサイト「オール電化.jp」

5.3　エコ給湯器の普及状況とCO2削減効果の試算

発売時期の関係でエネファームは市場導入実績の評価ができないが、**図5.3-1**にあるように、現在のところではガス系のエコジョーズと電気系のエコキュートで市場を2分する形となっている。エコジョーズは、2020年には2000万台を目標として普及をはかっているが、エコキュートはそれより速いペースで推移している。現時点では、エネファームは価格の面で課題があるが今後注目される。

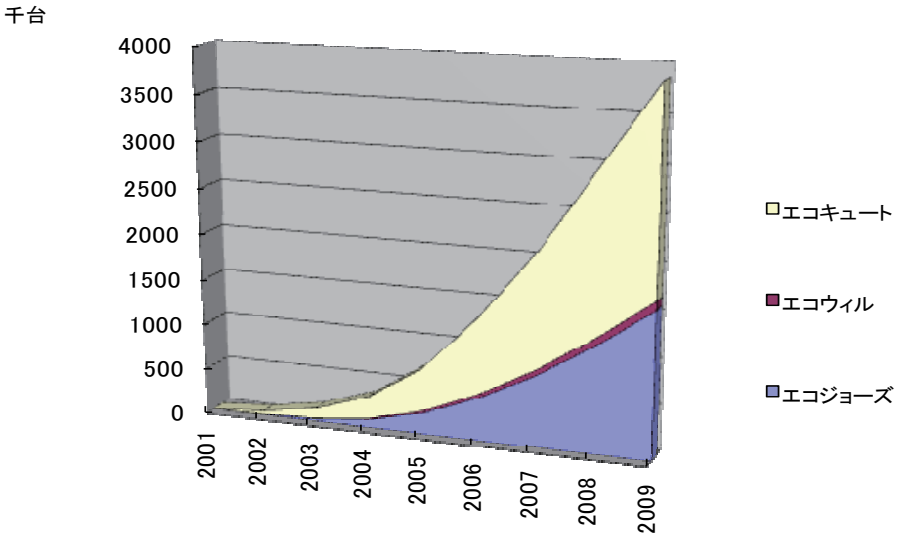


図5.3-1 エコ給湯器の普及台数累計の推移

（日本ガス石油機器工業会、日本ガス協会、日本冷凍空調工業会資料より作成）

ちなみに、これらの普及累計台数と我が国の総世帯数の関係について**図5.3-2**に示す。エコジョーズ、エコキュートともに、数年で100万台を超える数が市場に導入されているが、我が国の世帯数はそれを上回るペース（5年ごと200万世帯以上）で増加の傾向にあることがわかる。人口問題研究所のデータでは世帯あたりの人員が減少し総世帯数が増加

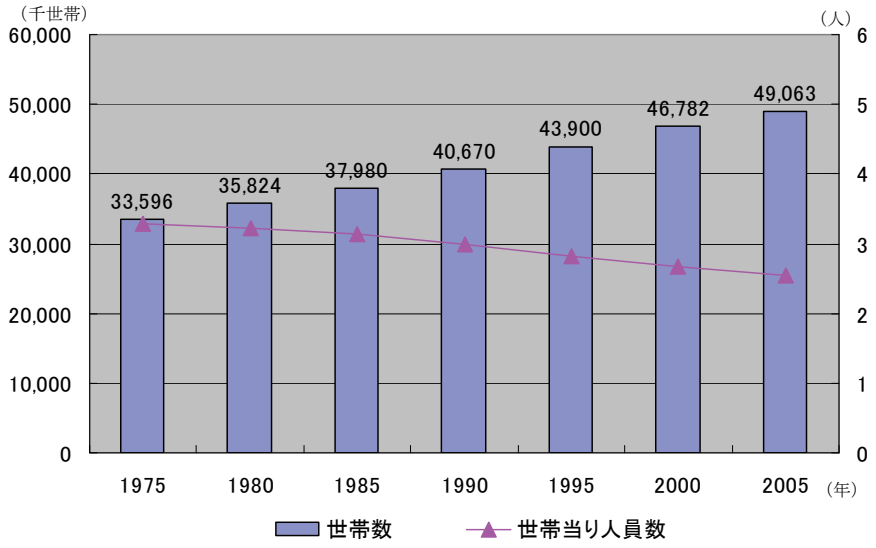


図5.3-2 総世帯数推移

（総務省統計データより作成）

する傾向は2015年くらいまで続くことが示されている。つまり、増加する世帯毎に新たな給湯器が１台設置されるとすると、現在のエコ給湯器の普及数はこの増加量分すらクリアできていないことになる。

ここで、先に示した**図5.1.1-1**から導きだした1世帯あたりの給湯によるCO_2排出量685kg-CO_2／世帯を基準値として、**表5.3-2**ではそれぞれの機器の普及台数累計（**表5.3-1**）から年別のエコ給湯器導入による削減量を算出した。

表5.3-1 エコ給湯器普及台数累計の推移

エコ給湯器普及台数(千台)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (速報値)
エコジョーズ	－	9	26	89	238	479	790	1,162	1,586
エコウィル	－	－	5	13	25	42	60	79	97
エコキュート	3	41	121	252	478	828	1,241	1,741	2,188
エネファーム	－	－	－	－	－	－	－	－	－
合計	3	50	152	354	741	1,349	2,091	2,982	3,871

（日本ガス石油機器工業会、日本ガス協会、日本冷凍空調工業会資料より作成）

表5.3-2 エコ給湯器年別CO2削減総量の推移

想定削減効果(%)		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
エコジョーズ	13.00%	－	0.801	2.315	7.925	21.194	42.655	70.350	103.476	141.233
エコウィル	32.00%	－	－	1.096	2.850	5.480	9.206	13.152	17.317	21.262
エコキュート	50.00%	1.028	14.043	41.443	86.310	163.715	283.590	425.043	596.293	749.390
エネファーム	45.00%	－	－	－	－	－	－	－	－	－
エコ給湯器CO_2削減量 (Gg CO2)		1.028	14.844	44.854	97.085	190.389	335.451	508.544	717.085	911.886

表5.3-2最下段のエコ給湯器削減量を、**図5.1-1**に示した家庭部門におけるCO_2排出量と比較すると**表5.3-3**のようになる。かなり単純化した計算であるが、給湯性能だけの$CO_2$2削減効果を見ると、現状の普及台数から試算される削減量は全体の1%に満たないことがわかる。

表5.3-3 エコ給湯器CO2削減比

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (速報値)
家庭CO2排出 (Gg CO2)	153,726	165,441	167,524	167,558	174,219	165,759	179,775	171,026	161,690
エコ給湯器CO_2削減量 (Gg CO2)	1.03	14.84	44.85	97.09	190.39	335.45	508.54	717.09	911.89
エコ給湯器削減比	0.00%	0.01%	0.03%	0.06%	0.11%	0.20%	0.28%	0.42%	0.56%

5.4　家庭部門におけるCO_2削減策の今後の課題

前節で算出した現状の給湯器普及ペースだけでは達成目標とするCO_2削減量には到底及ばないことが明白である。従ってこれらの効果に加えて照明や自動車、冷暖房設備、さらには建築部位の仕様などもそれぞれCO_2削減のための対策を進めなければならない。

今回の給湯器による試算では発電効果による電気発生分の効果が見込めていない。これは給湯685kg-CO_2／世帯の排出量に対して、**5.2.4項**で紹介したエネファームでは1.5t-CO_2／yが削減されると示されていることからわかる。現在、エネファームは**図5.4-1**に示す太陽光発電との組み合わせ「ダブル発電」システムによって3.7tのCO_2削減効果があるという新たな提案にも発展しており、今後はこうした複合効果による画期的な提案がさらに期待される。

今回、給湯におけるCO_2削減効果に絞って考察を行ってみたが、普及促進も含めた今後のCO_2削減策には、複数の機能を集約し、場合によっては複数世帯への提供でさらに効果を高めるようなシステムについて比較検討が必要である。今後新たな指標を加えながら、引き続きその効果について考察を続けたい。

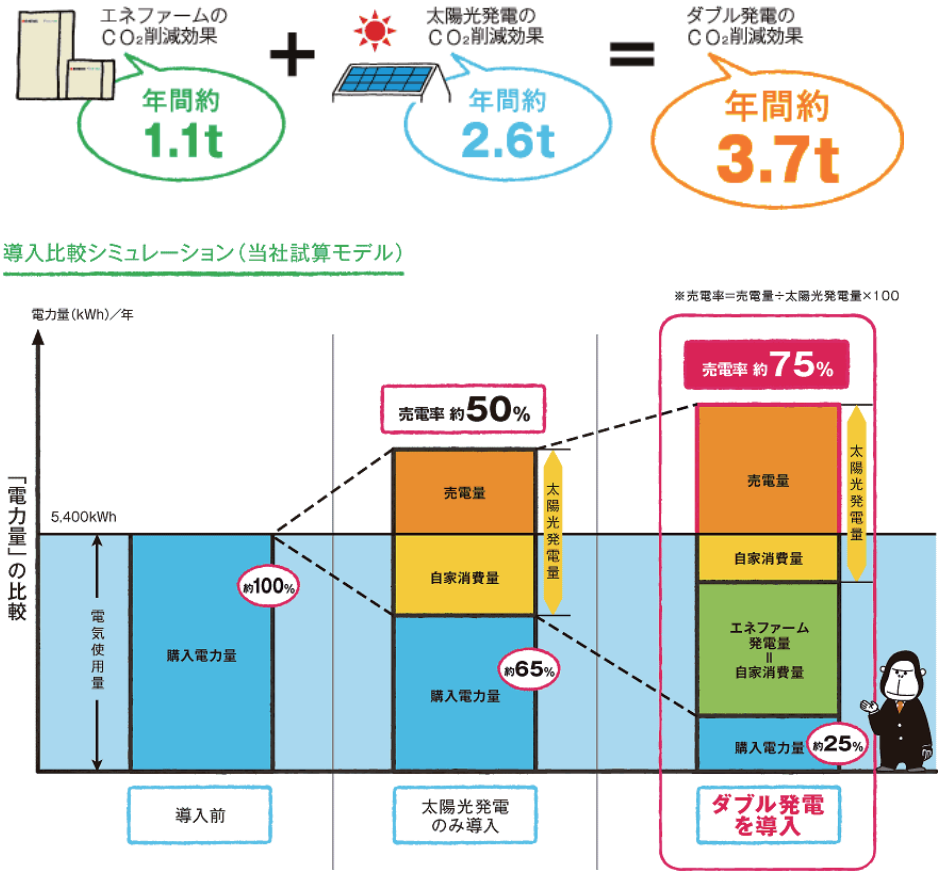


図5.4-1 ダブル発電のメリット

出典：JX日鉱日石エネルギー ウェブサイト

第６章　エネルギー利用の高効率化へのエクセルギー視点

現在の日本にとって、CO_2の削減は極めて重大な課題となっている。CO_2発生の中でも特に化石燃料の消費はその大部分を占め、世界のエネルギー消費量は今後も増加の一途をたどると予想されている。**図6-1**に世界のエネルギー需要の見通しを示す。エネルギー需要は発展途上国を中心に増加し、2030年には2000年の1.66倍程度になると見込まれている。このような状況の中、1997年に議決された京都議定書で、日本は1990年度比で６％削減の目標を達成する必要があり、その実現にはエネルギーを有効に利用することが不可欠である。

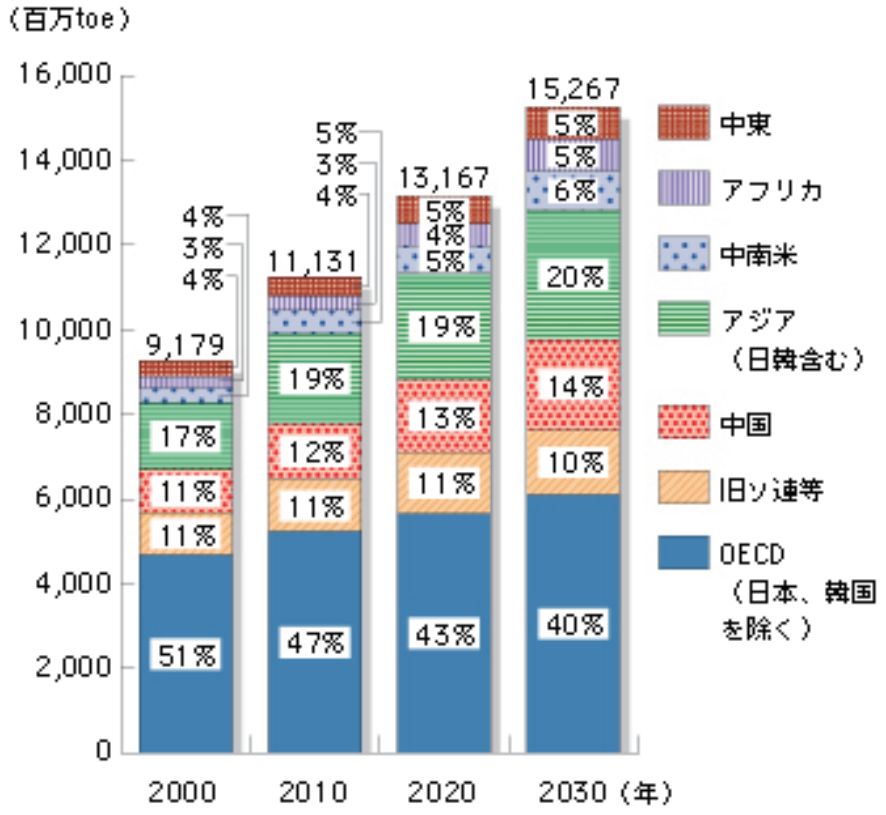


図6-1　世界のエネルギー需要の見通し

出典：　World Energy Outlook　2002より資源エネルギー庁が作成した資料より

そこで本章ではエネルギーの高効率利用について、エクセルギーの視点から調査を行なった。エクセルギーとはエネルギーの資源性を示し、エネルギーの高効率利用に有用な概念である。調査は、日本のエネルギー利用の中でも近年需要が増加し続けている住宅と、供給側で特に効率化が大きく影響する発電所について行なった。そしてエネルギーシステムの確立と運用に向けて、より効率的な対策とシステム運用に役立てる情報をまとめた。

6.1　エネルギーの高効率化とエクセルギー

CO_2削減について、1997年に京都議定書が議決され、2004年にロシア連邦が批准したことにより、2005年2月16日に日本においても効力が発生した。日本の達成目標である1990年度比で６％削減を達成するには、様々な対策を複合的に活用する必要があり、具体的な対策として以下の方法が考えられる。

・対策１　化石燃料の使用を低減する
・対策２　CO_2の大気放出を防止する
・対策３　エネルギーを高効率利用する

対策1について、化石燃料の使用を低減するために人間の活動の縮小によりエネルギー使用量自体を減少させることは現実的ではない。そこで、化石燃料の使用を減らすためには、化石以外の燃料、すなわち原子力といった非化石燃料や再生可能エネルギーの使用を増加させる必要がある。現在、原子力発電は日本の発電量の23％程度を占め、増加しつつある。また、太陽光発電を中心として国策として再生可能エネルギーの利用を促進している。

対策2の大気中に放出しない方法として、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)があげられる。これはCO_2を発生させるが、地中に戻すというものである。他に日本単体で考えた場合は、炭素を含まない形に加工した燃料を輸入する方法などが考えられる。対策1、2は、ともにエネルギーの消費量は減少させずにCO_2の消費量を減少させる方法である。またエネルギーは最後に熱として排出されるため、都市部ではヒートアイランド現象の一因ともなっている。

最後に、対策3のエネルギーの高効率利用が考えられる。**図6.1-1**に日本のエネルギーのフロー図を示す。エネルギーの有効利用(useful energy)と損失(loss)に注目すると投入したエネルギーの1/3程度しか有効利用されていないことがわかる。この有効利用できるエネルギー量の増加、すなわちエネルギー利用の高効率化は消費エネルギーの削減、CO_2削減に非常に有効である。これはいわゆる省エネにあたり、現在、家電分野ではトップランナー制度が導入され、多くの家電製品が省エネルギー化を図っている。加えて政府は家電エコポイントを導入し、省エネルギー家電の普及に力を入れている。また、省エネルギー化を図った住宅を対象として、住宅エコポイントも導入されている。以上のように、日本のエネルギー消費に対して様々な対策が打たれているが、目標を達成するためには効率がよい順に対策を打つ必要がある。そのためには、化石燃料から各プロセスを経て最終的に熱に変換されるまでの評価する必要があり、“エクセルギー”という概念を用いることができる。

エクセルギーは、工業プロセスなどに用いられる概念で、異なる形態のエネルギーや物質を統一的に扱うために用いられる。持っているエネルギーの内、どの程度を他に変換、利用できるかを示したものであり、言い換えるならば”エネルギーの資源性”である。この指標を用いることで、エネルギー変換の過程でどのプロセスでどの程度のエクセルギー(資源性)が消費されているかがわかる。

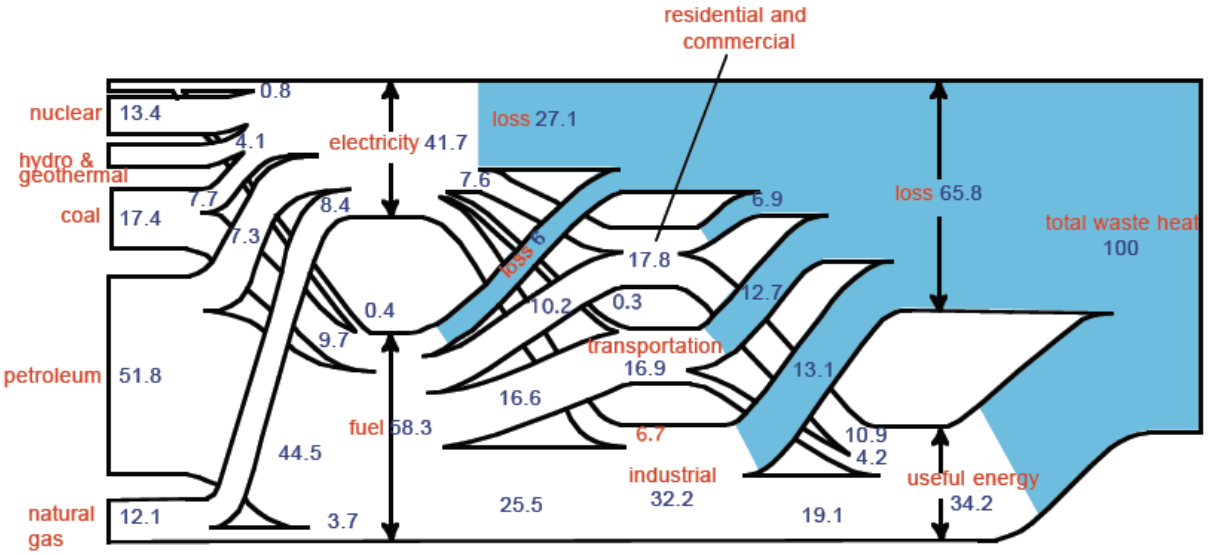


図6.1-1　日本のエネルギーフロー図

出典：東京大学生産技術研究所 堤研究室ウェブサイト

6.2　エクセルギー概念の導入

エクセルギーは様々な形態をとるエネルギーがどの程度有用であるかを示すことができる。本節では、その定義と利用のメリットについてまとめる。

6.2.1　エクセルギーとは

エクセルギーとは、ある系から力学的な仕事として取り出せるエネルギーのことである。エネルギーの資源性を示し、単に有効エネルギー（available energy）ということもある。図6.2.1-1に熱拡散のイメージを示す。一番上の(a)から一番下の(c)の方向へ状態は移行する。ここでエネルギーに注目すると、(a)も(c)もその総量は保存し、等しい値となり、状態の違いを表現することはできない。一方、エクセルギーに注目すると(a)はエクセルギー(エネルギーの資源性)を多く持っており、熱を拡散させることができる状態であるが、(c)はエクセルギーを消費して、これ以上熱の拡散が行われない状態である。これは、エクセルギーを消費して、エントロピー(資源性の拡散)を生産したことを示す。このように、エクセルギーを用いることで状態の違いを示すことができる。

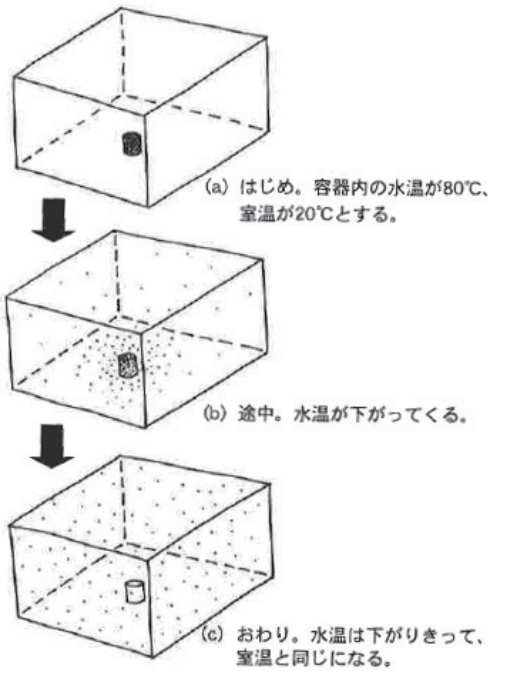


図6.2.1-1　熱の拡散のイメージ

出典：エクセルギーと環境の理論

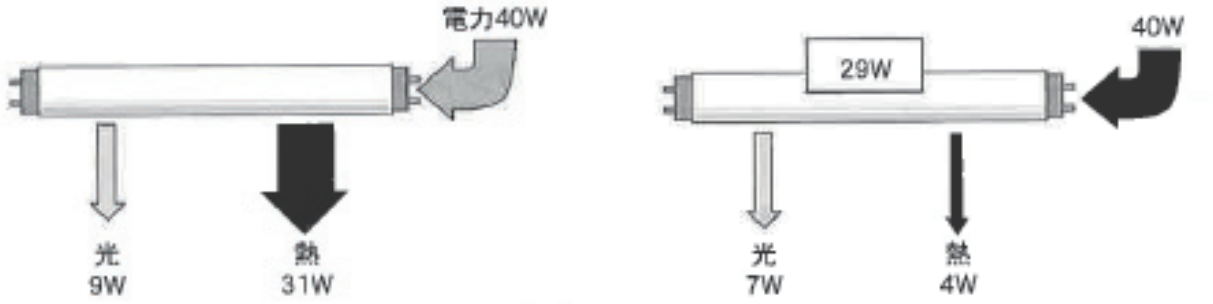
6.2.2　エクセルギーを用いることの利点

エクセルギーを用いることで、化石燃料から始まったエネルギーが変換され、最後に熱となり拡散するまでの、どのプロセスで資源性が消費されているかを把握することができる。すなわち、エネルギーとは異なり以下の点を把握できることがエクセルギー利用の利点である。

・各プロセスのエクセルギー(資源性)の消費

・廃棄されたエクセルギー(資源性)

エクセルギーを用いて一連のプロセスを見ると、各プロセスで消費されるエクセルギーを求めることができる。したがって、各プロセス効率化の優先順位をつけることができる。また、エクセルギーの消費を把握することで、各プロセスでのエクセルギーの廃棄量も求めることができる。これによりエクセルギーを無駄に廃棄していた場合、廃棄せずに有効利用することができれば、システム全体の効率化につながると考えられる。**図6.2.2-1**に蛍光灯の例を示す。40W蛍光灯を例として(a)にエネルギー、(b)にエクセルギーを示す。エネルギーでは40Wのうち、９Wが光、31Wが熱となっているが、エクセルギーでは40Wの内、29Wが電気エクセルギーを光エクセルギーに変換するプロセス、７W が光、４Wが熱に用いている。すなわち、蛍光灯に投入された資源性(＝エクセルギー）の内、変換のプロセスに約73%のエクセルギーが消費されていることがわかる。これを効率化することは非常に重要である。



(a)エネルギー　　(b)エクセルギー

図6.2.2-1　40W蛍光灯におけるエネルギー・エクセルギーの投入と消費

出典：エクセルギーと環境の理論

6.3　発電効率とエクセルギー

エネルギーは需要と供給の側面から見ることができ、発電施設は供給側の効率を決める重要な施設である。そこで本節では、発電効率とエクセルギーについてまとめる。

6.3.1　IGCCと発電効率

現在の日本では、原子力発電を基本の変動の少ない基礎として、火力発電はその上の需要の変化に対応するとして用いられ、最も発電量が多い発電方法である。石油や天然ガス、石炭といった化石燃料を使用しているためにCO_2の排出量は多く、その効率化は長年行われてきており、IGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle・石炭ガ

ス化複合発電)では、約48%まで上昇している。しかしながら、更なる高効率化を目指して、エクセルギー再生型等IGCCが提案されている。

6.3.2　エクセルギー再生型IGCC

発電効率の向上のために、化石燃料を一度ガス化し、その燃焼からから得た熱を高温から低温まで順番に用いる方式がカスケード利用型IGCCである。しかしこの方式は排熱をカスケード利用しているものの、最終的には多くのエクセルギーを廃棄している。そこで、廃棄されているエクセルギーを再生利用するのがエクセルギー再生型IGCCである。カスケード利用型IGCCとエクセルギー再生型IGCCのシステム図を**図6.3.2-1**に、エクセルギーのフロー図を**図6.3.2-2**に示す。カスケード利用型IGCCでは、ガス化(gasifier)やガスタービン(GT)の廃熱のエクセルギーを下流で用い、効率は

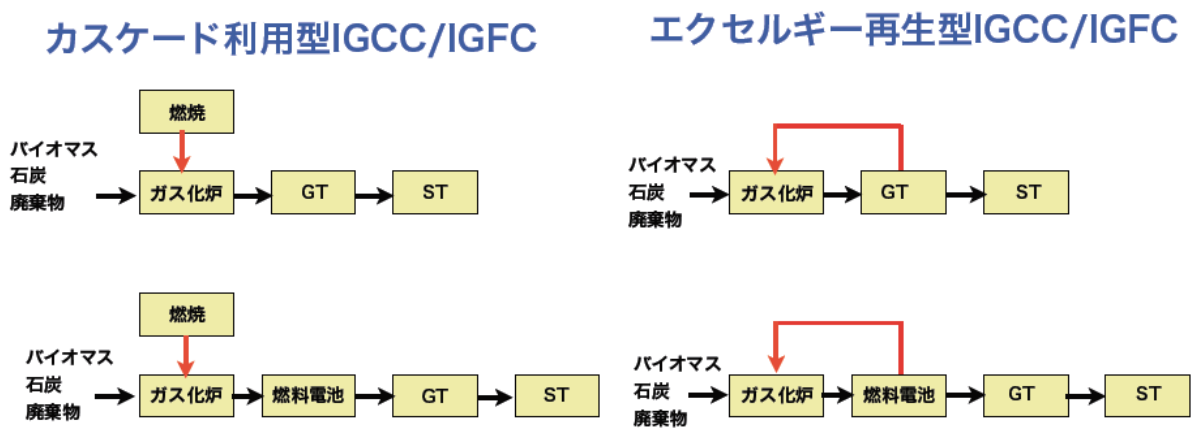


図6.3.2-1　カスケード型IGCCとエクセルギー回収型IGCC

出典：東京大学生産技術研究所 堤研究室ウェブサイト

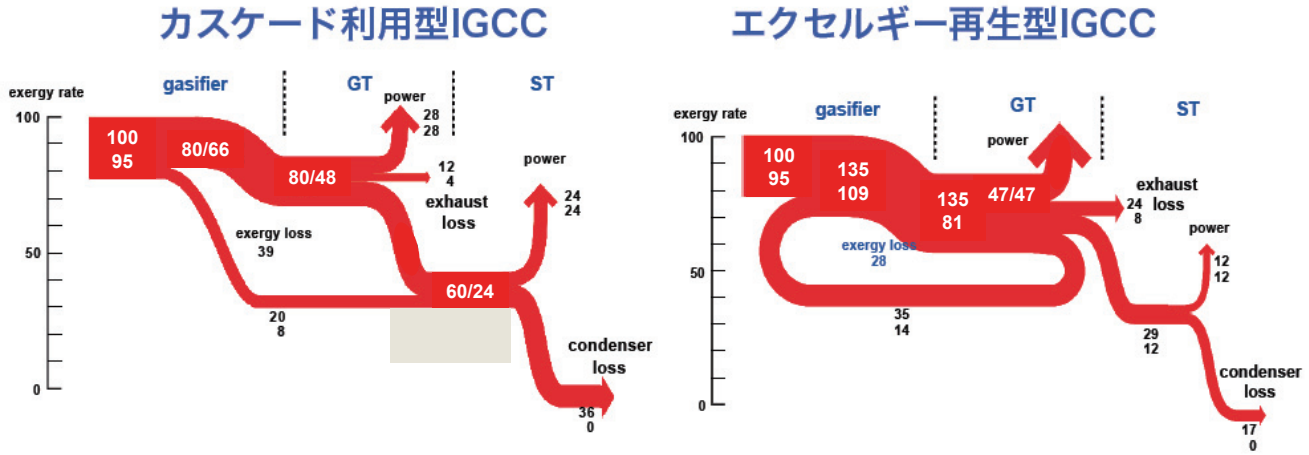


図6.3.2-2　エクセルギーのフロー図

出典：東京大学生産技術研究所 堤研究室ウェブサイトより一部を見やすく修正

約48%となっている。一方、エクセルギー再生型はGTにて発生した廃熱を再生して、再利用することでさらなる効率化を図り、約55%を達成している。**図6.3.2-3**に今後の発電効率の見通しを示す。2020年では52～55%程度の発電効率65%を目標として改良を目指している。

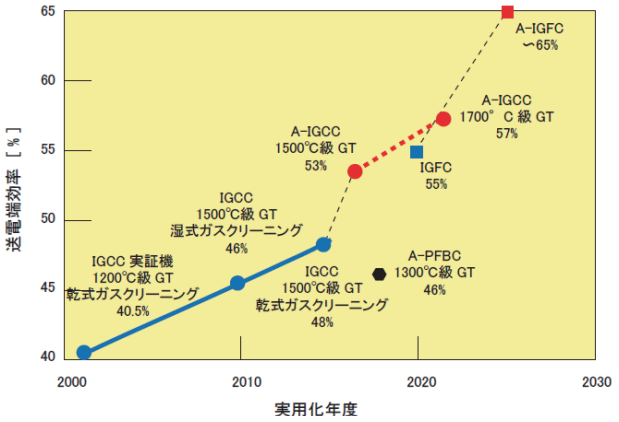


図6.3.2-3　エクセルギー回収型IGCCの発電効率向上の見通し

出典：東京大学生産技術研究所堤研究室ウェブサイト

6.4　住宅の省エネルギーとエクセルギー

経済産業省資源エネルギー庁によると、日本の部門別エネルギー使用は産業部門が約半分を占め、残り半分を民生部門と運輸部門で分ける構成となっている。しかし、より快適な環境を求めて近年は民生部門の需要が伸びてきている。民生部門で大きく占める住宅において、エネルギー消費量が大きいのは暖房、照明とコンセント電源、給湯の３つである。そこで本節では、住宅の省エネルギーについて、エクセルギーを用いて考察を行なう。給湯には様々な種類があるため、ここでは暖房と照明について例を挙げる。

6.4.1　暖房とエクセルギー

暖房のエクセルギー消費のプロセスを見るために想定された対流式暖房システムの概要を**図6.4.1-1**に示す。冬季を対象として、窓ガラスと外壁から逃げる熱を、暖房装置と暖房機器（ボイラ）で補う場合を考える。**表6.4.1-1**に検討ケースを示す。ここでは、断熱性と ボイラの比較を行う。エクセルギーの消費パターンを**図6.4.1-2**に示す。ボイラの効率を変えたケースと、断熱性能を変えたケースで、エクセルギー消費のパターンが大きく変化している。ボイラのプロセスを見ると他のプロセスに比べて非常に大きなエクセルギー消費となっている。それに比べると、建物外皮の消費エクセルギーは小さい。しかしながら、プロセス全体を見るとボイラの効率向上よりも、建物断熱性の向上が、より効果的であるこ

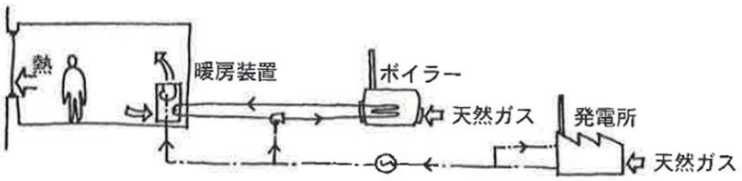


図6.4.1-1　対流式暖房システムの概要

出典：エクセルギーと環境の理論

表6.4.1-1　エクセルギー消費パターンの計算条件

ケース	建築外皮の熱損失係数	ボイラー効率
①	108.7 W/K(3.0 W/m²K)	80 %
①′	108.7 W/K(3.0 W/m²K)	95 %
②	57.1 W/K(1.6 W/m²K)	80 %
③	57.1 W/K(1.6 W/m²K)	95 %

出典：エクセルギーと環境の理論

とがわかる。

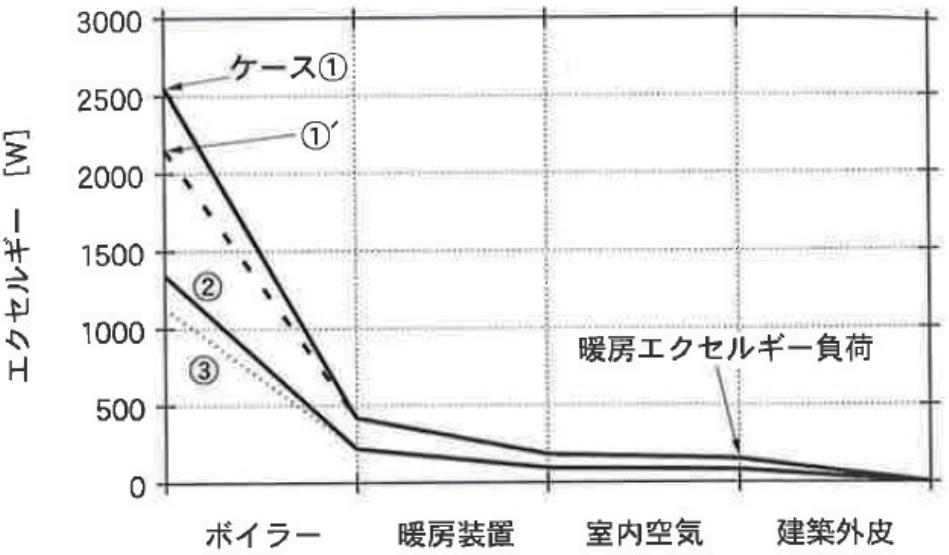


図6.4.1-2　暖房システムのエクセルギー消費パターン

出典：エクセルギーと環境の理論

6.4.2　照明とエクセルギー

照明のエクセルギー消費のプロセスを見るために想定されたモデルを**図6.4.2-1**に示す。40Wが２列の蛍光灯が16台入っている。窓面から入ってくる光の量に対応して、照明器具を制御(調光)する場合を考える。年間のエクセルギー消費量を**図6.4.2-2**に示す。中央を水平に横切る破線より下は日射により供給されたエクセルギーがどこで消費されたかを示し、破線より上は天然ガスで供給されたエクセルギーがどこで消費されたかを示す。電灯照明器具とヒートポンプを比べると、電灯照明器具の消費エクセルギーの方が大きいことがわかる。すなわち、ヒートポンプの効率を上げるより電灯照明器具の効率を上げることがエクセルギー消費量の削減につながることがわかる。

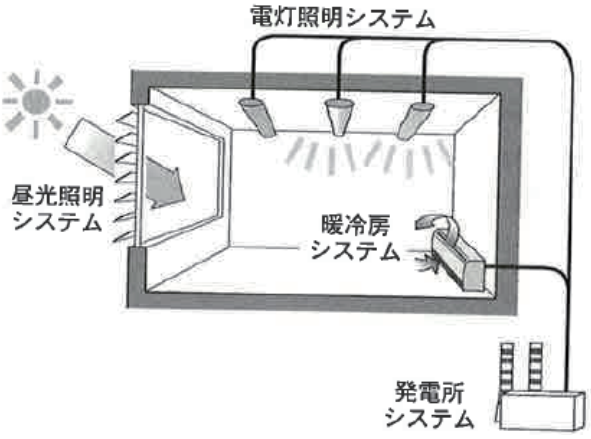


図6.4.2-1　昼光利用と照明・冷暖房システムの概要

出典：エクセルギーと環境の理論

以上のように、エクセルギーを用いることで明確に対策の効果を比較することができる。これは各建物での省エネルギー対策、ひいては公共団体などでの対策優先順位の決定に役立つ情報を与える。

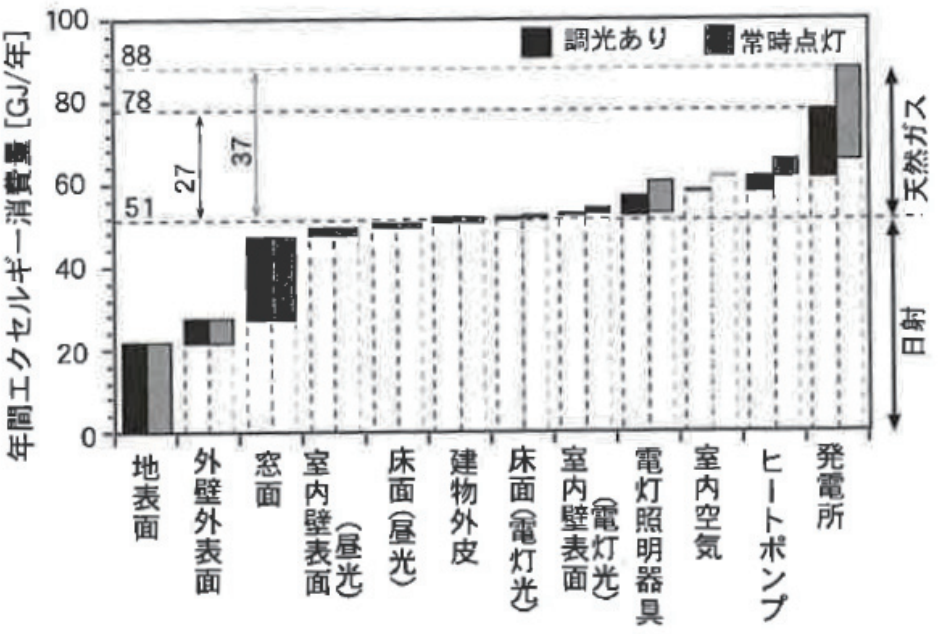


図6.4.2-2　調光あり・常時点灯エクセルギー消費パターン

出典：エクセルギーと環境の理論

6.5　今後へ向けて

本章ではエクセルギーを用いて住宅の省エネルギーと発電の高効率化の検討例を見た。発電について、廃棄していたエクセルギーを再利用することで、発電効率をさらに上げることを示した。また住宅の省エネルギーは、エクセルギーを用いて、より効率的な対策を明確に把握できた。

CO_2削減のために再生可能エネルギーの利用やCCSなどさまざまな手法があるが、エネルギーを利用する限り、最後には熱として放出される。そして、発生した熱の多くは人間の経済活動を行う領域である都市部に放出される。これはヒートアイランド現象に代表され、人間の生活環境に影響を与え、加えてその周りの生態系にも影響を与えることを意味する。そのためにも、エネルギーを効率的に利用することで、人間の活動を抑えることなく、エネルギー消費量、CO_2の削減を行うことは重要である。エクセルギーの概念がエネルギーの高効率利用に有用であること示した。しかし、エクセルギー自体は機械工学や化学工学に応用されているが、まだ他の分野で利用されているとは言い難い現状がある。

図6.5-1に東京大学生産技術研究所エネルギー研究機構によるエクセルギー再生・コプロダクションによる産業構造の高度化を示す。コプロダクションは、エクセルギーに加えて、エネルギーを蓄える物質の流れを含める。エクセルギーと物質の流れを同時に制御することで、エネルギー業界だけでなく石油業界、化学業界、製鉄業界など多くの業界を連なる高効率なシステムができると期待される。本節の調査の結論として、エネルギー利用の高効率化実現のためエクセルギー評価が非常に有用であることを示し、エネルギーシステム確立の提言の一環としたい。

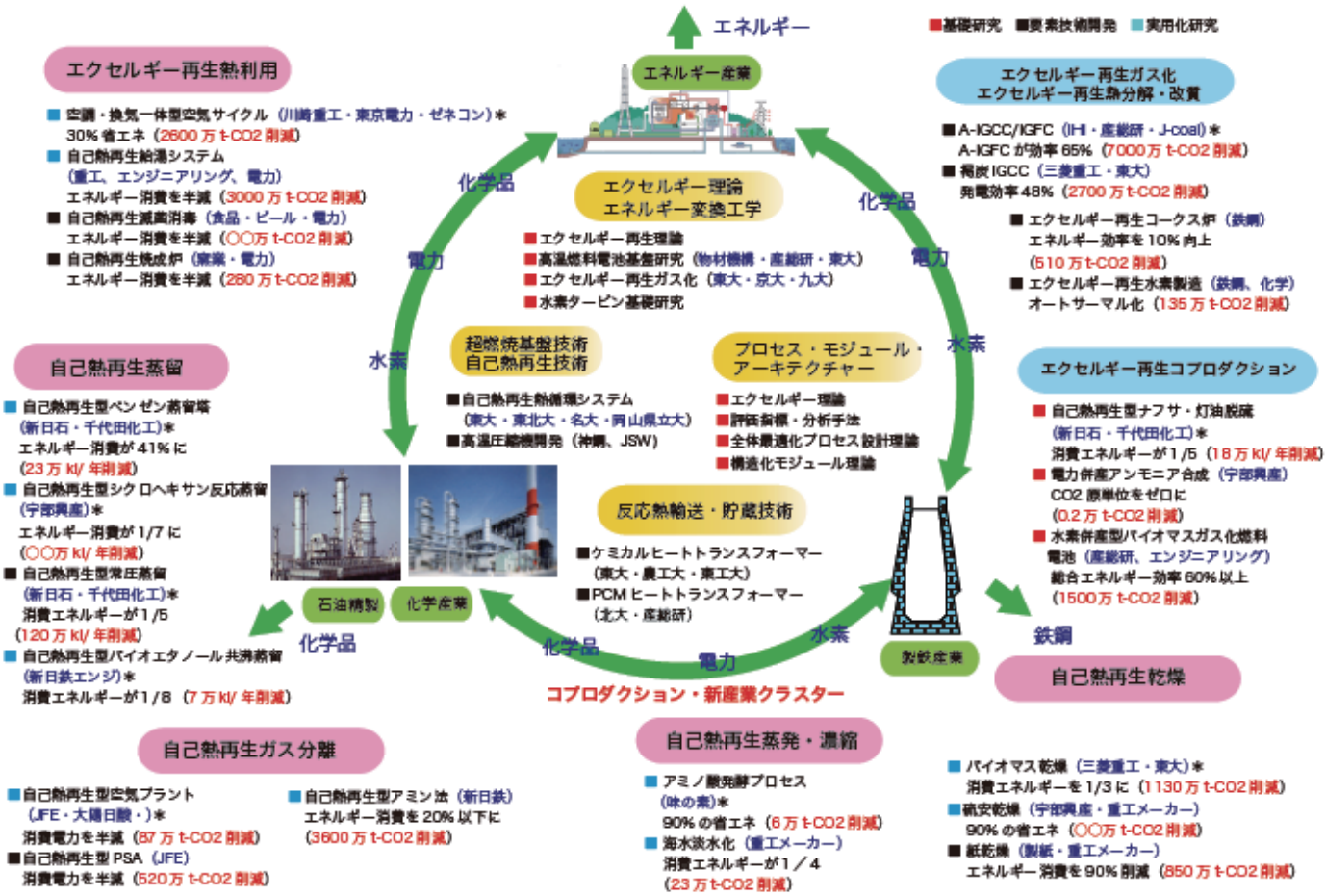


図6.5-1　エクセルギー・コプロダクションによる産業構造の高度化

出典：東京大学生産技術研究所 堤研究室ウェブサイト

第７章　低炭素エネルギー社会に向けたエネルギー転換方策

低炭素エネルギーシステムの確立を目標として、化石燃料の使用を極力抑制することが言われている。ここでは、環境と同時に資源と長期の展開を考慮する観点から温暖化ガス半減の低炭素社会を目指した提案を行なう。

7.1　温暖化の現状

温暖化の原因は「二酸化炭素を主とする温暖化ガスの増加である」ということの科学的根拠への疑義が今なお一部の研究者から出されているが、概ね世界的に「温室効果ガスの削減をすべし」との方向になっている。しかしながら、中国、インドをはじめとする発展途上国の急速な成長に伴うCO_2の増加は世界の温暖化ガスの削減を困難にし、先進国と発展途上国との政治的駆け引き、さらに世界経済への悪影響に加えて、各国独自の思惑が絡んで複雑な様相を呈している。世界の温暖化ガス濃度を450ppm、2℃程度に抑制するためには、エネルギーの大半はCO_2を出さない再生可能なものに変えなければならず、また、2100年までに早急にCO_2排出量を1990年比で半減しなければならない。

しかし、メキシコのカンクン開催の気候変動枠組条約第16回締約国会議(COP16)でも、未だに各国の足並みを揃えた削減への合意を得るのに程遠い状態である。世界の人口増加や経済発展、情報産業の普及は資源争奪戦を加速して予測が不確実な時代を進んでいる。IEAのレポート (“Energy Technology Perspectives 2010” 2010/11/4 IEEJ,Tokyo)によると、温暖化ガス半減のために努力として次のようなことが挙げられている。

・2050年に半減するためには、効率向上が38%、CCSが19%必要である。
・一次エネルギーでは、化石燃料が支配的で劇的削減が必要であり、天然ガスであっても炭素があるために削減が必要である。
・2050年には、主体とするオプションとして、1)原子力 2)化石燃料+CCS 3)再生可能エネルギーがある。
・発電分野では、石炭+CCSや原子力が重要である。
　産業分野では、効率向上とCCSが重要である。
　建設分野では、低炭素化電力供給が重要である。
　輸送分野では、ガソリンを削減しEV(Electric Vehicle)/PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)などにシフトする必要がある。
・政策については、研究開発実証への公共投資を最低でも倍増させるべきである。
・ロードマップ: CCSは2050年までに3,000以上のプロジェクトを走らせなければならず、原子力は実証された技術なのでもっと進めるべきである。
　また、EV/PHEVは、2020までに8百万台を目指すべきである。

注) CCS(二酸化炭素分離･回収･貯留:Carbon dioxide Capture and Storage)

このように様々な検討がなされているが、半減のためには、これらを総動員してもなおかつ、新規のブレークスルーが必要とされている。さらに先進諸国については、G8サミットで、温室効果ガス排出量を2050年までに80%以上(1990年比)削減すべきとの認識が示されている。

7.2　化石エネルギー資源と温暖化

最近の日本の温暖化対策の方向性は「化石燃料は避けるべきであり、天然ガスはCO_2

（二酸化炭素）の発生量が石油や石炭に比べ30～40％も少なく、環境保全に大きく貢献できるエネルギーである」として、天然ガスへの移行が積極的に進められている。再生可能エネルギー、省エネ、高効率化などの促進や新エネルギーの実用化を進めていこうとしている。民生、運輸、産業、エネルギー転換の分野別にきめ細かな対策が検討されている。残念ながら、日本の気候風土ではバイオマス、風力、地熱や太陽光利用など辺鄙な場所での立地は消費地との距離の問題など多くの困難があり、自主行動を中心とする活動主体に多少の税制や補助金がつく程度ではインセンティブが働きにくく、また、経済原理が働かない。このため、50%にも届くような削減にはかなりの困難が予想される。

7.3 世界の持続可能性

日本の事業用発電は1973年と1979年の2度の石油ショックを通じて、エネルギーセキュリティーの重要性を学び、少数国や少種類のエネルギー源に依存することを避けるべきという観点から、一番安価あるいは最もCO_2の発生が少ない燃料に一元化することが出来ず、原子力、石炭、石油、LNGなど多くの種類に分散させて輸入する方針をとっている。 また、火力発電所のCO_2を減少させるべく石炭にバイオマスを混焼させるにしても、主としてバイオマスの安定した集積量確保の点から限りがある。 また、諸外国に比べて、日本での風力発電や太陽光･太陽熱発電は、適した土地が少なく、経済的にも様々なハンディーを有する。

日本は世界のCO_2発生量の4%程度しか放出していないが、過去に排出してきた責をとって先進国として、温暖化対策に対する積極的な姿勢を世界に対して示さなければならない状況にある。国内での再生可能エネルギーの増進、エネルギー利用効率向上、省エネを進めるためのトップランナー方式の採用、コジェネ、新エネルギーの増進などの推進が諮られ、排出権取引などの制度の整備が少しずつ進められているとはいうものの、なかなか捗っていない。早期な進展が求められている中で2050年の半減以上80%を目指さなければならない先進国としては苦しいところがある。

7.4 提案の骨子

日本の温暖化対策では、総量規制による大きな規制や強い罰則規定などの方向性は出ておらず、自主行動規制のような小さな積み重ねが中心となっていて進展の速度が遅いことは周知の事実である。 そこで、一次エネルギーの96%程を海外からの輸入にたよっている日本の現状を長期的に、かつ、大局的な観点から温暖化対策として見直して考えたい。

化石燃料からクリーン燃料を作り日本に輸入する試みがメタノール、DMEなど様々な燃料を対象に検討されている。 本報告で提案するものも類似してはいるが、更にクリーン化を推し進めて、エネルギーのエッセンスだけを本当の意味でクリーンなものだけにして輸入することである。つまり、国内では、低炭素化への動きとして省エネ、効率向上等をさらに進めると同時に、対外対応としては「海外から炭素を含まないエネルギーキャリアを輸入し、これを利用する体制、技術、インフラ整備を早急に進めるべき」というもので、具体的には「海外で安価な化石燃料などを使って水素を作り、有害物質は、海外で処理をして、水素だけを日本に送る」という提案である。

図 7.4-1にこの提案のイメージ図を示す。オーストラリアから日本へとエネルギーが運

ばれている図であるが、大きく2種類、合計4本の矢印が日本に向かっている。上の2本の矢印は、DMEやメタノールの場合の流れであり、下の2本は、本提案の水素の場合である。図中で黒色の矢印は何れも使用する原料中の炭素の動きを示している。DME、メタノールの場合では、原料は、日本まで輸送された後、国内で使用されており、CO_2は、日本で発生するため、このCO_2の処理は日本国内で行わなければならず、未だに多量のCO_2を資源として利用消費できる道への見通しが無いため、処理に困ることになる。各種業界では、CCSによる処理を予定しているというものの、困難を極めることが予想される。他方、下の2本の矢印では、化石燃料(ここでは安価な褐炭)から水素を製造して、水素のみを日本に送っていることを図示していて、使用時に日本国内で生成するのは純粋な水のみである。水素製造時のCO_2はオーストラリアの膨大な貯留能力を有する地下にCCSとして収められる。

豪州の褐炭埋蔵量は世界第2位で、その90%はビクトリア州にあり、連邦政府ならびに州政府は、温暖化対策に積極的に資金援助を行なっており、同州のギプスランド海盆帯水層のCO_2貯留能力は333億tになると言われている。

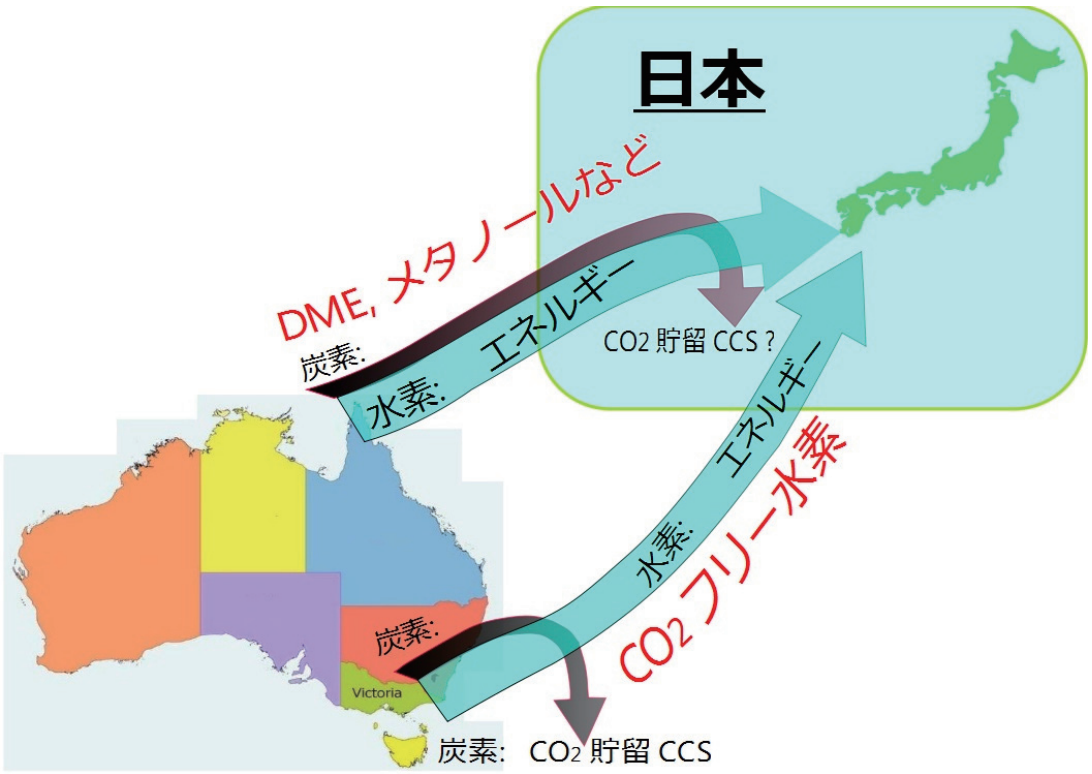


図 7.4-1 炭素を含む化石燃料とCO_2フリー水素の輸入イメージ

世界のエネルギー資源を化石燃料から持続可能な再生可能エネルギーに切り替えていくためには、中長期の見通しを作って、そのための施策を進めていかなければならない。以下にこの提案の理由とそれに伴う周辺の状況についてさらに詳しく述べ、最後に今後の検討事項についての構想を記述する。

7.4.1 徐々に削減するには限界

将来の世界のCO_2発生量を温暖化の影響を目標レベルに下げるためには、2050年代に

は、現在の発生量の約50%に抑制しないといけないことが、ほぼ世界の認識となっている。京都議定書約束期間(2008年度～2012年度)での日本の削減目標は6%台だが、リーマン･ショックの影響による低経済成長の時代にあっても、「乾いた雑巾を絞る状態」と例えられるほどに出来ることは実施済みであり、CO_2削減のための限界削減費用が外国に比べて大きいことから、産業界は現段階でも苦慮しているのが現状である。 国も様々な試みを行おうとしているが、多種多様の要因のためにトップダウン的な総量規制方式は実施しにくい状況で、業界団体を代表する(社)日本経済団体連合会による環境自主行動計画も半減や80%削減となると、この漸進方針を変えざるを得ないと思われる。

業界が積極的に進めている削減方針のうち、「天然ガスの利用促進」および「電気自動車の導入促進」を例にとって考える。長期には半減から80%削減という観点から問題点を考えると、天然ガスであってもCO_2を発生しているという認識で見直していかなければならない。6%削減を目指している段階では、石油焚き火力発電所の0.6とか0.7kg-CO_2/kWhがLNGの0.4kg-CO_2/kWh程度に下がれば大幅な削減である。しかしながら、絶対値からいうと再生可能エネルギーの風力や太陽光発電が、およそ0.03から0.05kg-CO_2/kWh程度であり、1オーダーもCO_2発生が多い。また、電気自動車にしても製造時を別にして運用中にはCO_2を発生しないということではなく、使用している電気は発電所でエネルギー変換している時にLNGコンバインドでも0.42kg-CO_2/kWh程度と水力発電や原子力などの10倍、20倍という電力を使っている。ここにまだ削減の余地があるという新たな意識、概念で見直さなければならない。次に、日本へのエネルギー全体の流れを見てみる。

7.4.2 資源量、変化速度、必要時間

半減や80%削減をするためには何をすべきか。CO_2の発生量を自然のCO_2吸収能力とバランスするまで抑制するためには、2050年代には、CO_2発生を半減させなければならず、持続可能であるためには、再生可能エネルギーがエネルギー供給の中核とならなければならない。ところが、本命である太陽熱･太陽光、バイオマス、風力などの再生可能エネルギーがエネルギーの中核を握るまでには経済性や安定、信頼性のために相当の研究、実証などを経なければならず、何時までも国民に負担を強いる補助金を続ける事は出来ない。CO_2削減は経済原理が働きにくいため様々なインセンティブを持ち込むための政策や特別な税制に頼らざるを得ない。 急速に増大するエネルギー需要を一気にバイオマス、風力、太陽光(熱)などの再生可能エネルギーですべて賄うことはできないし、単価が高く、地勢的、環境的に大きな制約を持つために、経済性や実用性が出て広く使われるまでには時間を要するだけでなく、様様な技術的ブレークスルーを必要としている。

エネルギー供給の見通しがつくまでは、急増している世界のエネルギー消費量を満たしつつ、一足飛びにそれらすべてを再生可能エネルギーでカバーできる社会組織を創りあげることは時間的にも経済的にも無理がある。このことから、CO_2を抑制し、資源にまだ余裕がある化石燃料を活かしながら、CO_2半減社会への軟着陸を目指すことに真剣に取り組まなければならない。そのためには、CO_2半減の世界に近づける段階で未だに枯渇していない安価な化石燃料から大気にCO_2は出さず、エネルギーキャリアを作り出すという方策が、「安価に安定して再生可能エネルギーを多量に作れるようになるまでの時間稼ぎ」のために必要となる。

これに有効と考えられるのが前述の提案のCO_2フリー水素エネルギーである。これは、水素が国内で将来不足することが予想されるから輸入するのではなく、国内で捕捉したCO_2処理が難しい日本を避けて、資源がある海外でCO_2を抑制しつつ水素を製造し、これを輸入することのための提案である。

このような炭素を含まないエネルギーキャリアの導入のための課題、インフラ整備など早急に進めて、国内的な低炭素化へ向けての開発、実証、商用展開と合わせて、将来に備えることが重要である。これは、技術開発のための時間稼ぎと共にエネルギー関係のインフラづくりは、大量投資と共に資源･エネルギーの確保、環境対策などの広範囲な影響があるために移行時間がかかるということも背景にある。

このように、当面は化石燃料の改質等の既存製造. 技術とCO_2の分離回収技術を組み合わせて製造されるクリーン水素(CO_2フリー水素)に頼らざるを得ない。

7.4.3　一次エネルギー

非化石燃料に移行するまでの繋ぎとしてのエネルギーキャリアを考えてみる。最も純粋にエネルギーを輸入するならば、電気の形態であるが、電気貯蔵、ケーブルによる送電、マイクロ波による電力輸送など様々な検討があるが、何千kmという長距離になると現状の技術ではコスト的に無理がある。対外関係で見ると、日本で使用されるエネルギーのうち、自国で調達できるものは水力発電等4%に過ぎず、原子力を入れても19%程度しか自給が出来ていない。資源の確保というエネルギー セキュリティの観点からは、少数の国や種類に依存しすぎないようにエネルギー資源の輸入相手国を分散させると共に自給率の向上(国産･準国産エネルギー･自主開発資源の拡大)を目指しているのが現状である。

再生可能エネルギーで賄うとしても直ちには移行出来ないため、暫定措置として天然ガスなど非従来型も含めて環境への影響が少ないものへのシフトを目指す必要があるが、資源量、経済性、環境性などを同時に見ていく必要がある。オイルサンドやオイルシェールなど資源としては、賦存量と経済性から可能性が少しずつ見えてきているものも、温暖化の対策と世界各国との環境制約や資源争奪競争の中での見通しを今から楽観視するわけに行かない。確実に実施できる化石燃料でインフラの整備、経済性検討の実証を進めると共に世界の気候変動対策実現状況をにらみつつ資源の行く末も見ていく必要がある。

7.4.4　一次エネルギー随伴のCO_2処理

一次エネルギーに含まれる炭素は、次に述べるように国内に持ち込んでからの処理は大変である。国内に入ってきた一次エネルギー源である各種化石燃料は、様々な形態に変換･加工されて工業用、産業用などに使われる、一部には国外に製品として輸出されるもあるが大半は燃料として燃焼され化学製品は焼却処分されている。これら石油、石炭、天然ガスなど輸入原料は全て程度の差はあっても炭素を随伴している。これらの資源が精油所で精製され、変換を受け、様々な産業や家庭、輸送機関、あるいは発電所で使用された後、最終的にCO_2として大気に放出されている。

例えばLNG基地で輸入したLNGを処理して水素を作った場合、末端の家庭で使用しても水が生成するだけであるが、LNG基地で生じたCO_2の処理は大変な問題である。増大一途の家庭用エネルギーを削減する目的で進められている「水素ハイウェー」、「ローカ水素ネットワーク」あるいは「水素タウン」などの試みは2030 年以降にはCCS や再生可

能エネルギー利用による低炭素型水素供給への本格的な移行を目指しているが、日本各所のステーションやオフィス、集合住宅から集めたCO_2をどうするかの見通しはついていない。 ただ単にCCSで処理するとしているのみである。現在、CCS技術について世界中で検討ないしプラントによる実証準備などが進んでいるが、日本では人口密集地が多いため貯留に適した場所を確保するのは難しいと見られている。 国内数カ所で実証試験をするべく調査計画が進んでいるが、原子力発電所の設置と同様に社会的受容性PA(Public Acceptance)において、今後様々な紆余曲折が予想される。

現在、業界では国内でのLNGへの移行を強めていて、試験的に分散型水素製造装置で製造しているが、CO_2は取り敢えず液化炭酸としている状況である。次のステップであるCO_2半減を目指すためには、CO_2処理が国内で現実的な見通しを検討する必要があり、実現が困難な場合も十分に配慮して対策を検討しなければならない。このように中長期の対策となると日本の業界は回収したCO_2を「CCSにより処理する」として当面の問題を回避する方向に進んでいるが、このような観点からすると、一次エネルギーとして代替可能な燃料については極力水素という形態で輸入するのは非常に有効であると考えられる。

7.4.5 資源の観点

石油、石炭、天然ガスなどがアジア圏ではGDPの増加に伴って消費エネルギーが急速に増大しており、大きなトレンドとしては、アジア圏で争奪戦を引き起こしている。特に中国の大量輸入の影響は大きい。これに対し、余り手がつけられていない資源としては、インドネシアとオーストラリアの低品位炭である褐炭が、その不便さ(自然発火する、水分が多い等々)のために輸出することが出来ず、産地のごく近隣でしか利用されずに多量に残っている。 欧米においても多量の褐炭が安価な使いにくい未利用資源として残されており、提案の技術が実証されれば、日本の技術を輸出することも可能となる。

このような安価で多量なエネルギー源を利用して作った水素は、有害物質を産地で適切に処理するならば、輸入に際しCO_2削減に対して有効である。太陽光、太陽熱や風力発電、あるいは水の電気分解などは、日本では気候風土や地形インフラ状況の点から経済的で大規模や利用は困難であるが、海外の適した地域で安価に水素を作れるなら上記の褐炭→水素という流れを補うものとして、風力→水素あるいは、水電気分解→水素、あるいは、バイオマス→水素という形態も非常に有効なエネルギーソースとなる。

7.4.6 実現させるためのポイント

一次エネルギーの輸入に伴うCO_2をなくすならば、使用時にCO_2は一切発生しないという特長を活かすための対象となりうる国(地域)の条件としては、次のようなものが挙げられる。

1) アジア圏にあること
2) 安価で豊富な石炭資源(褐炭)を有すること
3) 大規模なCCSが可能なサイトを有すること
   また、日本が利用可なこと
4) 日本と長期の友好関係を持ち、政治･経済的に長期に安定していること
5) 政府、住民ともどもCCS、クリーンコールに積極的であること

などである。

最も有望な候補は、先に述べた如く、オーストラリアであり、その次にインドネシアが考えられる。

7.4.7 主要な技術

かなりの確立した技術を利用できると画が得られるが、経済性や更に効率を高めるための技術開発などが更に望まれる。必要な技術としては、次のようなものがある。

1) 水素製造技術
2) 陸上を適切な港湾地までの輸送技術(パイプライン、コンテナ)
3) 港湾地におけるハンドリング
4) 輸送船設備

さらに輸送の形態を気体とするか、液体とするか、媒体を使うか、さらに形態を変化させるときの様々な技術が必要となる。また、経済的課題、危険物、高圧ガスなどの取扱いについての厳しい規制などの課題がある。輸送船であれば、頻度、往復時の空荷対応、消費量の変動対応等々。

また、輸入している化石燃料全てを水素に置き換えることが可能である筈もなく、石油精製の製品の流れをみても、広範囲な影響が出ることもあり、詳細な検討が必要となる。水素が良いと判断されても、既存インフラからの移行をどう考えるか、各業界、企業、政府の方針、世界動向等々を見定める必要がある。

7.5 今後に向けて

今やCO_2を処理する場所を確保出来ていなければ、CO_2を排出してはいけないという世の中になりつつある。 エネルギーの殆どを海外に依存している日本は、当面日本にCO_2のゴミ箱は無いと考えざるを得ず、良質のエネルギー源のみを選んで輸入しなければならない。CO_2を適切に処理して輸入する水素はある種の再生可能エネルギーとも言える。日本では、CO_2削減対策や炭素税をはじめとする様々な政策が後手に回っており、対策の遅れが子供、孫の世代へとますますつけを増大させていることが危惧されている。

CCSを伴わないCO_2半減シナリオも在るようだが、当然他の分野への皺寄せは厳しくなる。狭い国土で無理をするのではなく、長期的なCO_2削減の視点を踏まえたインフラ作りを「安価な石炭資源である海外の褐炭を使って水素を作り、発生したCO_2はCCSで地下に貯留し、エネルギーのエッセンスである水素だけを日本に輸入する」ことで行うことは、日本のCO_2削減に大きく寄与し、将来の海外への展開も含めて日本にとって役立つものである。これらに関わる次のような諸問題を整理、検討することは重要である。

1) CCSと資源 …… 低価格化石資源･貯留ポテンシャル、住民対策
2) 水素製造･輸送･貯留 …… エネルギーキャリア、規格、技術
3) 水素消費と生産 …… 水素による代替可能分野
4) CO_2削減量評価 …… 概算評価
5) 海外活動 …… 日本企業、税制、政府組織体制、権益

第８章　地球温暖化対策とエネルギー構造転換の展望

一昔前までは中東紛争が勃発する度にエネルギー供給不安が叫ばれ、「省エネルギー対策」が人々の関心事であったが、その後 今日では省エネルギー対策もさることながら経済活動に伴うCO_2の大量排出が原因と考えられる地球温暖化が解決すべき大きな課題となっている。以下にその温暖化の現況とスマートグリッド実証を通した取り組み、さらには化石燃料社会から再生可能エネルギー社会への構造転換について述べる。

8.1　地球温暖化対策における国内外の動向と見通し

昨年2010年12月に開催された国連気候変動枠組み条約第16回締約国会議（COP16）においても先進国および途上国間の合意に至らず、ポスト京都議定書の取り組みは先送りされた。しかし地球温暖化の進行は次第に我々生活面への弊害の度を増しつつあり、その一方でエネルギー源でも石油資源の安定供給がこの先 未来永劫に続く訳ではないことも明らかになってきた。ここに環境技術立国としての我が国は、国力を挙げて諸対策の推進を実施していくことが急務であり、その具体的な方向性を見極めることが肝要である。

8.1.1　地球温暖化の進行と世界の状況

我が国では2010年の夏は猛暑が連日のように続いたせいか、家庭での食卓の野菜不足、秋サンマの不漁そしてお米の一等米の減少など、その及ぼす影響は実に身近なものまで迫ってきた感がある。この猛暑の主たる原因は、直接には太平洋赤道域での海面水温が異常に低くなるラニーニャ現象との報道もあるが、根底には地球温暖化の影響と考えられる。

特に地球温暖化の進行については多くのメディア報道があるが、他にも2010年7月28日の米国海洋･大気局（NOAA）の発表によると、『過去10年間が観測史上で最も暖かい10年間であったこと、そして地球が過去50年間以上にわたり温暖化し続けていることが裏付けられた』とのことである。

一方、我々の地球温暖化対策の拠り所とも言える国連の「気候変動に関する政府間パネル（IPCC)」報告書については幾つかの誤りが指摘されるなど国際的にその信頼が揺らいだことは、温暖化対策において重大な活動の停滞を招く可能性もあり、今後はチェック体制を強化するなど関係者の適正な対応が望まれる。

さて、地球温暖化対策の対応を協議する国連気候変動枠組み条約第16回締約国会議（COP16）が2010年12月にメキシコ（カンクン）で開催された。結果として現行の「京都議定書」の2013年以降への単純延長が回避（実際には来年のCOP17に先送り）されたことは賢明と言える。現行の京都議定書においては、CO_2排出削減義務のある我が国を含む対象国の総排出量は世界全体の27%に止まっていて、温暖化対策の実効性に問題がある。また我が国の現在のCO_2排出量は**図8.1.1-1**に示すように世界全体の僅か3.9%でしかなく、今後も2035年には2%程度まで減少する見通しであり、従って我が国を客観的に捉えれば温暖化対策の必要性はそれほど問題視される域にはない。

ところが世界全体で見ると大きな問題点がある。つまり現在そして今後とも中国やインド等の新興国におけるCO_2排出量は経済成長に伴い増加し続けていき、ここ数年の世界的

な金融危機の影響で総排出量は減少しているものの、全体としては景気回復とともに再び増加に転じると予測されている。その中国、インドなど新興国でも電気自動車の普及、また太陽光発電の大規模な建設など温暖化対策に国を挙げて取り組んでいるのも事実であるが、しかし実態はそれら対策の度合いを上廻る勢いで排出量が増大していく見通しであり、我々としても座視できない理由である。

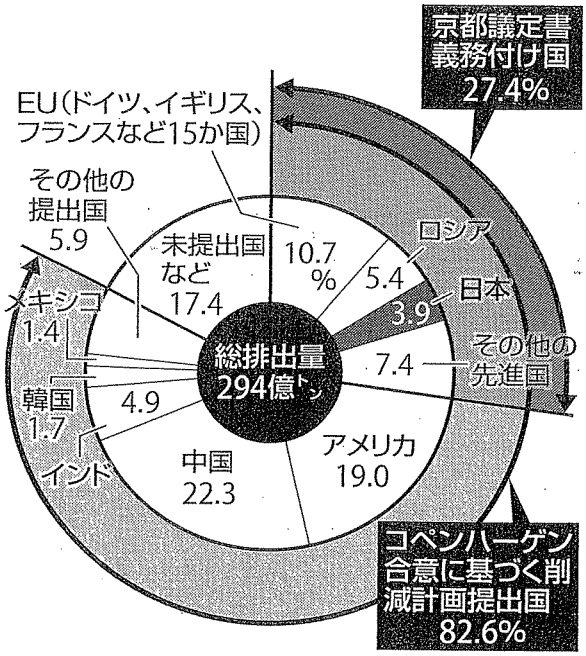


図8.1.1-1 世界のCO_2排出量における各国の割合
出典：読売新聞記事

8.1.2 我が国の温暖化対策の動きと今後の取り組み

そのような状況における我が国の対応であるが、2010年秋の臨時国会に「地球温暖化対策基本法案」を再提出したところが成立に至らず、現在は継続審議となっている。この対策基本法案には、米国･中国を含む主要国の参加を前提として2020年までに我が国の温室効果ガスを25%削減（1990年比）することなどが盛り込まれていた。そこに前述の国連気候変動枠組み条約第16回締約国会議（COP16）ではポスト京都議定書の具体的な合意が先送りとなり、これを受けて果たして今後 我が国の地球温暖化対策の方向性はどうなるのか大変危惧される。しかし、この我が国の25%削減方針にも次の幾つかの疑問が見出される。

(a) 我が国現有の環境技術の総力を挙げて取り組んだとしても、2020年までに25%削減を国内だけで完遂することは困難と思える。確かに2008年秋の金融危機以降の世界的な経済不況により、我が国のCO_2排出量は2年連続して大幅に減少している。とは言え再び成長路線に回帰した場合には再び排出量は増大傾向となり京都議定書で約束した6%削減（1990年比）は達成困難である。ましてや現状の環境技術レベルの延長線では今後10年間での25%削減は到底不可能であろう。

(b) 実際に「25%削減」を押し通せば、その結果として“真水”と言われる国内での削減分は努力目標でも10%程度と言われ、残る15%分は海外からのCO_2排出量購入で賄われることになる。これにより、**表**8.1.2-1に示すように約3.5兆円（88＄/t-CO_2にて）の国富流出ともなる試算があり、これでは現在の経済不況下に喘ぐ世論の賛同はとても得られまい。

ただし見方を変えれば、この国富流出については海外購入分を国内調達で全量実施した場合には、さらに膨大なコスト増（同じ対策でも海外より国内実施の方が割高

なので全体で約7.5兆円）となり、この面から言えば皮肉にも海外購入分を増やすほどコスト軽減策となるので、どちらを取るか充分な見極めが求められる。

表8.1.2-1 我が国のGHG排出量に要する削減費用試算

選択枝	内容		国内対策費用	海外クレジット購入	総対策費用
選択肢③（05年比▲13%、90年比▲7%）	国内のみで達成		2.5兆円	—	2.5兆円（2.0万円／人）
	海外クレジット利用	88$/tCO2（このとき国内対策05年比▲6%）	0.5兆円	1.1兆円	1.6兆円（1.3万円／人）
		48$/tCO2（このとき国内対策05年比▲3%）	0.0兆円	0.9兆円	0.9兆円（0.7万円／人）
選択肢⑤（05年比▲20%、90年比▲15%）	国内のみで達成		3.7兆円	—	3.7兆円（3.0万円／人）
	海外クレジット利用	88$/tCO2（このとき国内対策05年比▲6%）	0.5兆円	2.1兆円	2.6兆円（2.1万円／人）
		48$/tCO2（このとき国内対策05年比▲3%）	0.0兆円	1.4兆円	1.4兆円（1.1万円／人）
選択肢⑥（05年比▲30%、90年比▲25%）	国内のみで達成		7.5兆円	—	7.5兆円（6.0万円／人）
	海外クレジット利用	88$/tCO2（このとき国内対策05年比▲6%）	0.5兆円	3.5兆円	4.0兆円（3.2万円／人）
		48$/tCO2（このとき国内対策05年比▲3%）	0.0兆円	2.1兆円	2.1兆円（1.7万円／人）

（注）ここでの対策費用は、GHG排出削減の正味の追加対策費用であり、国内経済全体におよぶ費用ではない。

出典：㈱エネルギーフォーラム発行
「CO_2削減はどこまで可能か」

そこで前述の3.5兆円の国富流出のうち半分でも国内の先進的な環境技術開発に先行投資すれば、排出削減化のスピードアップとなる他に国内産業の活性化を図ることができよう。

(c) 地球温暖化問題は世界全体での対策が基本であり、本来 CO_2排出削減に要する各国の費用は公平であらねばならない。しかし今日まで削減に取り組み続けてきた我が国では他国と比べて削減余地は少なく、新たに削減対策に伴う負担コストは高価（我が国負担は欧米の8～10倍）となりとても公平とは言えない。

(d) この様な状況下において、以下の諸対応が必要と考える。

ｲ) 新興国への技術支援（＝国富の海外流出）は、国内産業の活性化と成長に結びつける仕組みを付加する（例えば主要機器は一定期間の日本製使用を義務付け）。

ﾛ) 革新的な次世代環境技術の開発は、世界に貢献する意味でも産官学の力を結集の上、国家プロジェクトとして推進していく。

ﾊ) 今後とも2011年の南アフリカで開催予定の次回COP17に向け、米国および中国など主要国を含む全体合意に結びつくよう引き続き関係各国との調整･相互理解を図る。

ﾆ) 我が国が提唱した「2020年までに25%削減」を実現する為に、**図8.1.2-1**に示す水

素エネルギーも取り入れた次世代「電力･水素エネルギー併用社会」への取り組みを強化する。

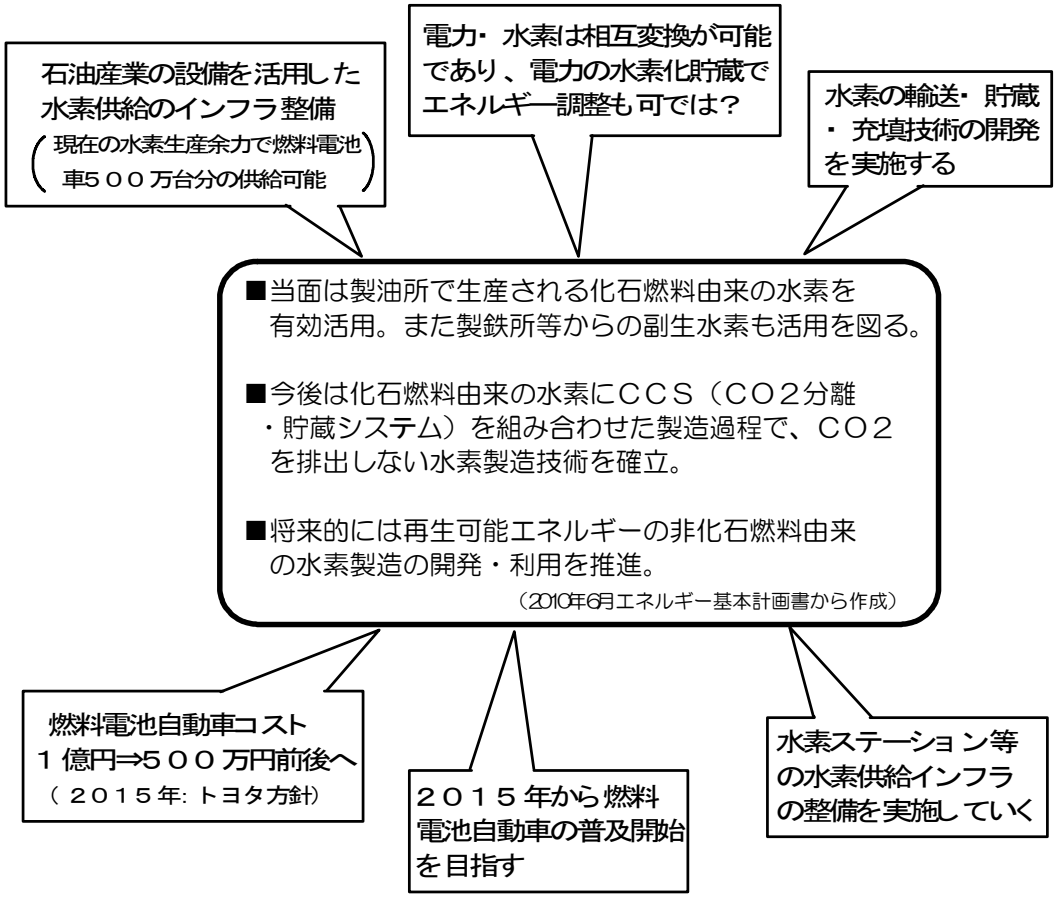


図8.1.2-1 電力･水素エネルギー併用社会への取り組み

8.1.3 次世代エネルギーの活用について

地球温暖化対策としては、当面は石油･石炭等の化石燃料のクリーン化またはガス化複合発電などの高度利用を推進する必要があるが、他には天然ガス･シェールガス等のガス燃料利用が今後拡大する見通しである。そしてこれら化石燃料の利用においては、燃焼によるCO_2排出対策としてCO_2分離･貯蔵技術（CCS）の開発･普及が不可欠である。特に島国である我が国の場合、分離後のCO_2は海洋貯蔵しか考えられないので、今後ともその安全性の検証作業を行い早期に技術を確立する必要がある。

さらに温暖化対策の一つには原子力発電がある。しかし原子力利用は一端不慮の事故があれば、その環境汚染の範囲は地球規模に及び、長く人々の健康を脅かす事態となる可能性が高い。 今後 余程の安全対策などが講じられない限りその増設には慎重にならざるを得ない。

残る可能な温暖化対策としては、太陽光･風力、および波力･潮流等の海洋エネルギーなど再生可能エネルギーを活用する技術開発、そして再生可能エネルギー由来の発電を利用した「水素エネルギー社会」の到来が期待される。これら再生可能エネルギーの導入ポテンシャルは今日のエネルギー消費量を上廻るほどの膨大なものであり、我々は持てる英知と科学技術力を結集して取り組むべきと考える。

8.2　スマートグリッドと再生可能エネルギーの未知なる可能性

今後の地球温暖化対策の可能性を検証する重要な試みとしてスマートグリッドが我が国を含め世界中で取り組まれているが、その狙いは再生可能エネルギーの受け入れが可能な適用社会の開拓である。以下にその事情背景と問題点についてまとめた。

8.2.1　スマートグリッド実証の目的

地球温暖化の対策そして金融危機後の経済不況からの脱却を目指した取り組みとして、現在「低炭素社会」へのワンステップとも言える「スマートグリッド」実証研究が我が国をはじめ世界各地で実施されている。スマートグリッドの他にもキーワードとして、スマートエネルギーネットワーク、スマートコミュニティ、スマートシティ、スマートハウス、スマートメーター等々ほぼ同源語と言える“取り組み”が裾広がりに動き出していることに目を見張る思いであり、この先 社会構造がどの様に“スマート”に変貌していくのか注目される。

さてスマートグリッドの広義の目的は再生可能エネルギー、特に太陽光発電･風力発電といった不安定な電力を可能な限り受け入れられるように、情報通信技術（ICT）を駆使して瞬時の発電量に対応した次世代電力送配電網を構築することにある。

現状での電力会社における電力送配電網の仕組みが火力発電所、水力発電所また原子力発電所など、“安定した発電設備”を基盤に構成されているので、太陽光発電等の再生可能エネルギーに対応可能な受け入れ余地は少ない。例えば5月の連休期間においては工場が操業休止となり一時期に電力需要量が減少し、一方 晴天時など太陽光発電等からの全電力を最大限受け入れれば、**図8.2.1-1**のように状況によっては原子力発電所の運転停止に追い込まれる事態も有り得るからである。このような理由から一時期に太陽光発電の出力抑制を図るという対処案があるようだが、いずれにせよこれら電力安定運用における諸問題点をどう解決するか大きな課題である。

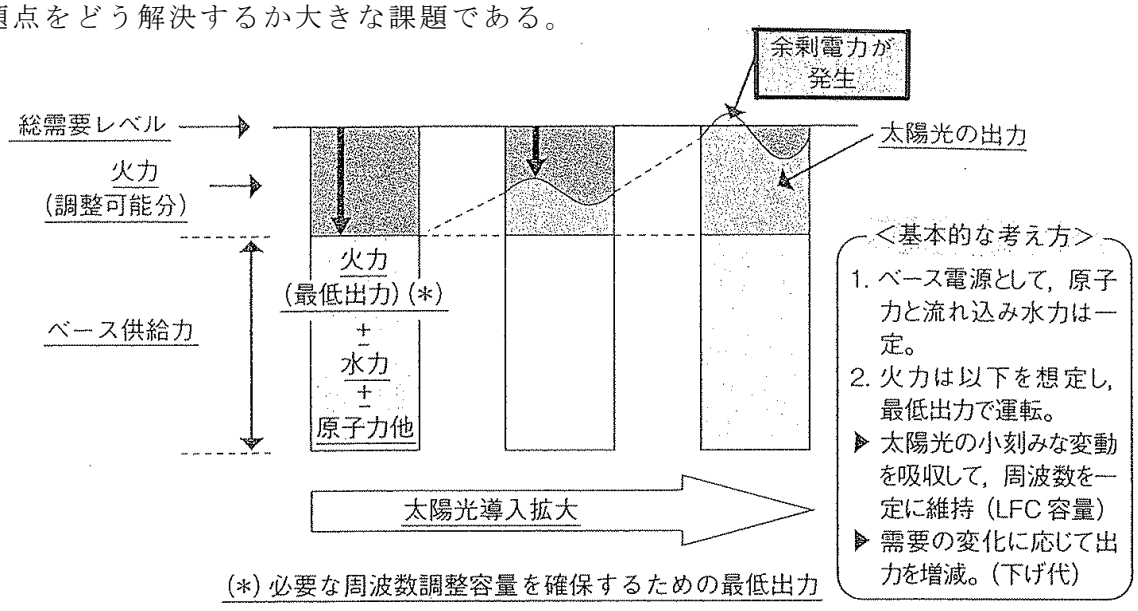


図8.2.1-1　電力系統に及ぼす太陽光発電導入の影響

出典：月刊誌：電設技術

「低炭素社会へ向けた取組みと電力系統のスマート化」

8.2.2 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

我が国における太陽光発電等の再生可能エネルギーの利用ポテンシャルはどの程度あるのか。ここに代表的な太陽光発電、風力発電その他海洋エネルギー発電について纏めると**表2.2.2-1**の通りである。まず太陽光発電は、「NEDO試算（2009年）」では物理的潜在量の導入ポテンシャルは最大発電設備容量7,987GWであり、他には“受入可能量の目安”として「環境省試算シナリオ1（2010年）」の100.3GW程度と見られている。この少な目の100.3GWでも年間当たりの総発電量としては約1,000億kWh（設備利用率：12%にて）となり、我が国の年間総発電量（9,845億kWh、2005年度）の約10%に相当する能力である。一方、国の「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年）によれば、太陽光発電は2020年には現在の20倍の28GW（現在の年間総発電量の約3.0%）まで拡大させる方針であるが、前述の「物理的潜在量の導入ポテンシャル7,987GW」と比較して僅か0.35%と微量に止まっている。

表8.2.2-1 我が国の再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

番号	項 目	最大導入ポテンシャル (GW)	発電可能量 (億kWh/y)	左項の設備利用率 (%)	最終エネルギー消費量との対比 (%)	今後の導入目標量 (出力／億kWh/y)		備考
						2020年	2030年	
①	【太陽光発電】					28GW ／294	53GW ／557	
	・2009年 NEDO試算 (物理的潜在量)	7, 984	約80, 000	12	195. 6			
	・2010年 環境省試算 (ｼﾅﾘｵ1)	〔100. 3〕	〔約1, 000〕	12	〔2. 4〕			
②	【風力発電】					10GW ／175	20GW ／350	
	・2010年 環境省試算	1, 900	約33, 300	20	81. 4			
	・2010年 日本風力発電協会試算	〔782. 2〕	〔約13, 700〕	20	〔33. 5〕			
③	【海洋エネルギー発電】							
	・波力発電	50	約660	15	1. 6	51MW ／2(*1)	554 MW ／7. 5	*1:設備利用率＝45%
	・海流・潮流発電 (黒潮のみ)	2. 1	約55	30	0. 1	130MW ／4(*2)	760MW ／20	*2:設備利用率＝35%
	・海洋温度差発電	22	約10, 600	56	25. 9	510MW ／25	2, 550MW ／125	
	(小 計)	74. 1	約11, 315	-----	27. 7	691MW ／31	3, 864MW ／152. 5	
④	合 計	9, 884	約124, 615	-----	304. 6	38. 7GW ／500	76. 9GW ／1, 060	

（注）1) 太陽光発電では、2010年環境省試算において他に「ｼﾅﾘｵ2:124.9GW」および「ｼﾅﾘｵ3:149.5GW」の試算もあるが、本表では導入ポテンシャルの最も少ない「ｼﾅﾘｵ1:100.3GW」を採用した。
2) 風力発電の各導入ポテンシャルは、「陸上」分および「洋上」分を合算した値を示す。
3) 海洋温度差発電は、我が国周辺の経済水域が有する熱エネルギーの1%を利用した場合を想定した。
4) 我が国の最終エネルギー消費量は 14,726 PJ/y (2008年度)である。
5) 今後の再生可能エネルギー導入目標量は、国の「長期エネルギー需給見通し」(2009年)に依る。
6) 本表の「最大導入ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ合計」、「発電可能量合計」及び「最終ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量の対比合計」には、上記〔 〕値は含まない。

（NEDOウエブサイト「再生可能エネルギー白書」から作成）

同様に風力発電でも、「環境省試算（2010年）」の導入ポテンシャル1,900GWに対して、やはり「長期エネルギー需給見通し（再計算）」によれば2020年までに10GWまで拡大とあるが、前述の導入ポテンシャル1,900GWの0.5%でしかないのが現状である。また海洋エネルギー発電は今後の技術開発が期待されているものの、現状はほとんど利用されていない。この海洋エネルギー発電では、別枠として赤道付近の太平洋上に大規模なフロート型海洋温度差発電装置を設置して我が国に電力輸送する可能性を秘めているのである。

さらに比較的最近の「エネルギー基本計画」（2010年6月に公表）では、2020年までに一次エネルギー供給量に占める再生可能エネルギーの割合を10%に増加させる目標を立てている。この場合は再生可能エネルギーとして水力発電や地熱発電で既に7%ほど達成しているので、差し引き3%を太陽光発電、風力発電および海洋エネルギー発電等で賄わねばならない構図となるなど、以上が我が国の再生可能エネルギー利用の現況である。

ここで世界に眼を転じてみれば、太陽光発電だけに着目してみても例えば『地球上の北アフリカ地域 ―赤道直下のサンベルト地帯― に降り注ぐ太陽光の1時間のエネルギー量は、人類が1年間に消費する量に相当する』（汎地中海再生可能エネルギー公社試算）と想像もつかない程の膨大なエネルギーが存在していることに驚く。先日のテレビ報道によれば、既に中東諸国は今日まで経済的な恩恵を生み出してきた地下資源の石油がやがて枯渇するのを見越して、次なる太陽光（および太陽熱）発電の大規模な建設事業を目指していて、2025年には北アフリカ地域で得られた太陽エネルギーからの電力でEU諸国における電力需要の15%を賄うとの壮大な構想（DESERTECプロジェクト）を計画している。

8.2.3 電力送配電網の構造転換の方向性

前述のことからも、我が国が既存の電力供給面で安定運用に支障があるからとの目前の理由で再生可能エネルギーの受け入れ、つまり電力送配電網の構造転換への取り組みを先送りしていては、後世に禍根を残すこととなろう。さらに現在の主力設備である原子力発電は別としても、石炭または石油を燃料とした従来型火力発電所は今後の化石燃料の枯渇に伴い入手難および価格高騰から早晩 再生可能エネルギー発電に転換せざるを得ない。ましてや我が国政府は2020年までに温室効果ガスの排出を25%削減（1990年比）するとの方針を打ち出していることからも、その具体化の中核を占めると考えられる電力インフラ事業者として、先見性ある低炭素化対策に着手すべき時期に来ていると判断する。

そこで既存の電力送配電網の再生可能エネルギー受け入れを実現させるための方策を以下に列挙する。

(a) 太陽光発電など不安定な電力に対して蓄電池容量を増強して需給調整する。

(b) 日本列島を縦断する高圧直流電力幹線または超電導送電線を建設して、電力10社間の大容量な電力融通を容易にする。

(c) 電力と水素の相互互換システムを利用して、再生可能エネルギー由来電力の一時的な余剰電力を水素変換することで「電力の需給調整機能」を持たせ、変換後の水素は適地に大量貯蔵する（さらに水素タービン発電で電力送配電網への逆送電も可能とする）。

ただし前述の各方策については次に示す幾つかの課題がある。まず(a)項の「蓄電池容量の増強」では、前述太陽光発電の導入ポテンシャル「環境省試算シナリオ1（2010

年)」での発電設備容量100.3GWの場合を例にとれば次の通りである。

【蓄電池設備のコスト面から】

夏季の晴天日であれば一日の総発電量は10億kWh以上が見込まれるが、その全量を蓄電した場合、リチウム電池の想定価格を20万円/kWh程するので蓄電池に要する設置コストは200兆円という巨費となり非現実的である。つまり蓄電池を補完する何らかの他の電力需給調整システムが必要となる。

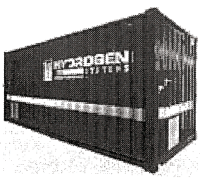
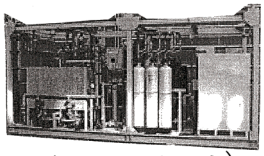
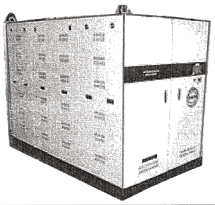
【電気自動車の蓄電池能力面から】

スマートグリッド実証研究の一つに、自家用自動車に装備されている蓄電池利用があるが、これも将来的に電気自動車またはプラクインハイブリッド車の台数が500万台（現在の国内保有台数の約6%）に増えたとして、これら車に積載されている蓄電池容量は20kWh/台なので総蓄電容量は合計1億kWhでしかなく、これでは前述の夏季晴天日の総発電量10億kWhには遙かに及ばない。

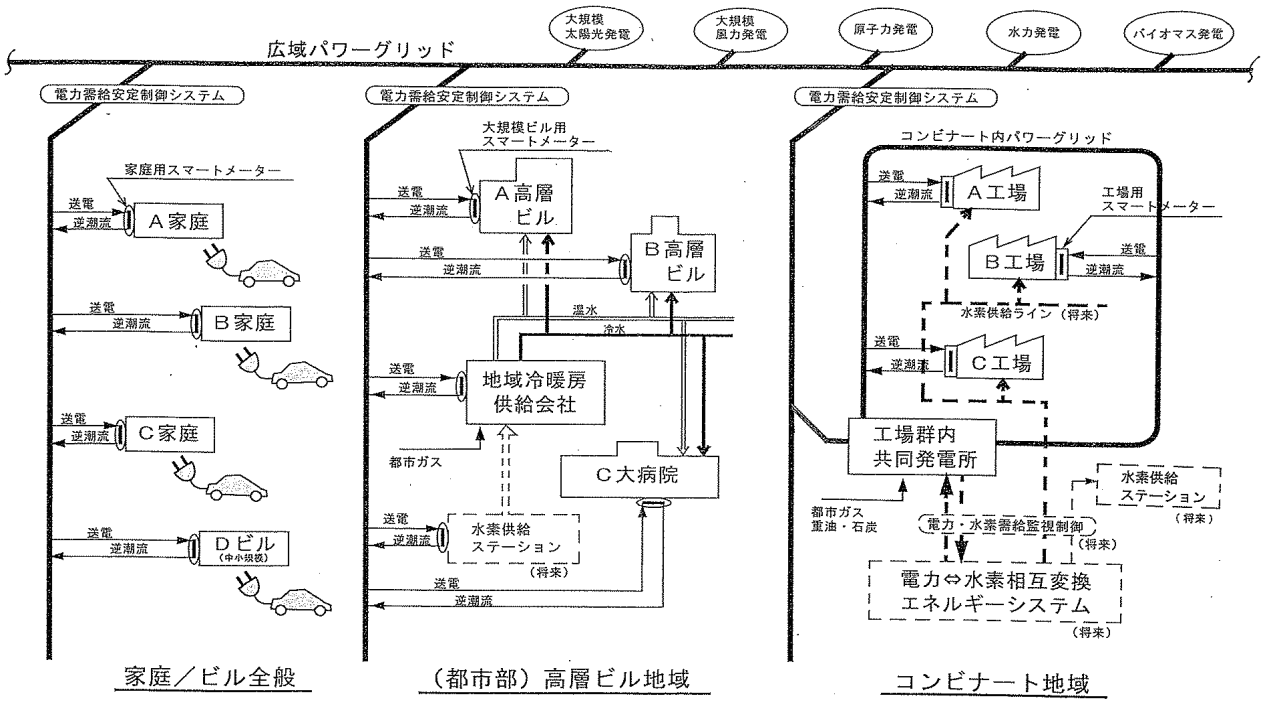
次に(b)項の「高圧直流電力幹線等の建設」では、前述の通り既存の電力送配電網は不安定な再生可能エネルギーの受け入れに余裕が無く、現在 世界に誇れる高い送配電網の安全性と品質を損なう恐れがある。そこで既存の送配電網とは別に高圧直流電力幹線または超電導送電線を新たに建設して既存設備をグレードアップする形で対応させるべきと考える。具体的にはリニア新幹線または高速道路沿いに新規に幹線ケーブルを布設する。また同時に我が国独自の東西周波数変換所の電流処理容量を大幅に増強する。それら我が国の将来を担う電力供給インフラ改造は膨大な事業費が必要であり、国家プロジェクトとして実施すべきである。

最後の(c)項の「電力･水素相互変換による水素貯蔵」では、電力･水素変換の代表的な「水電気分解法」は技術的に実用化レベルにあるものの、**表8.2.3-1**に見られる通り市場には10～60Nm³/h程度の小容量の分散型水素発生装置が販売されているのが現状である。今後 大容量装置の開発を急ぐ必要がある。そしてスマートグリッド実証は、一見すると『電力関係のみが対象』と考えられがちだが、将来のエネルギー代替えを視野に入れた場合、水素利用は切り離すことはできない。**図8.2.3-1**に水素利用も取り込んだ形態を示す。

表8.2.3-1　水素発生装置の概略性能表

	A社製	K社製	
外 観		 (ＳＬ２０を示す)	
型 式	ＩＭＣＴ－６０	ＳＬ６００	ＣＬ１０Ｄ
水素発生量 (Nm^3/h)	６０	６０	１０
消費電力 ($kWh/m^3 \cdot H_2$)	４．８	６．４	１２．４

（エアー･ウォーター･ハイドロ㈱ウェブサイトおよび
㈱神鋼環境ソリューションウェブサイトから作成）



次世代エネルギーマネジメント構想のコンセプト：
1）スマートメーターにより不安定な太陽光発電等の自然エネルギー発電と消費電力量を把握し、これらを制御することで ”発電出力抑制ではなく全量利用におけるパワーグリッド安定化対策” を構築する。
（⇒ 現状の送配電ネットワーク対応案は、太陽光発電の出力抑制に向かっている）
2）各「スマートメーター」と中枢機能の「電力需給安定制御システム」間は、ＩＣＴ（情報通信技術）を駆使した次世代通信システムの普及を図る。
3）中長期の将来には化石燃料から水素エネルギー社会に移行する世の流れは必然であり、スマートグリッドの検討においても、工場（特にコンビナート対象）用では、水素需給量データ要素も取り込める様にシステム構築する。

図8.2.3-1　スマートグリッド構築のパターン例

なお最近の新聞報道によれば、経済産業省は波力や潮流などの海洋エネルギーを利用して発電する「海洋発電所」の開発を進め、2012年以降の実用化を目指すとのこと。当面は発電効率の向上の他にも台風など荒天に耐えられる機器類の開発など課題があるようであるが、是非 その開発が強力に推進されることを期待したい。

8.3　エネルギー供給の非化石燃料への転換シミュレーション

我が国のCO_2排出削減への実効性ある取り組みとして最有力と思われるエネルギーの非化石燃料への転換、その具体的なプロセスは何か。以下に一連のシミュレーションを通してその問題点を広く関係各位に提示する意味で検討する。

8.3.1　非化石燃料の絶対エネルギー必要量の算出

我が国のエネルギー消費における化石燃料から再生可能エネルギーを主体とした非化石燃料への転換に必要な量的推測の検討は、我が国のエネルギー事情を示す資源エネルギー庁資料の「最終エネルギー消費量」をベースに計算を行うこととする。また原則として投入の一次エネルギー供給量は化石燃料の場合と違い対象とはしない。それよりも将来のエネルギー源としての「電力」利用と、同じく二次エネルギーである「水素」利用を前提に検討を進め、特に水素の場合は再生可能エネルギー由来の電力を使用した電力･水素互換

プロセスを介して電力需要および水素需要を必要に応じて算出する。この水素利用については、電力のみを唯一のエネルギー源とした社会構造に潜むエネルギー供給面の不安定対策として多様化を図る目的もある。

図8.3.1-1は、我が国2008年度における「総合エネルギー統計」から最終エネルギー

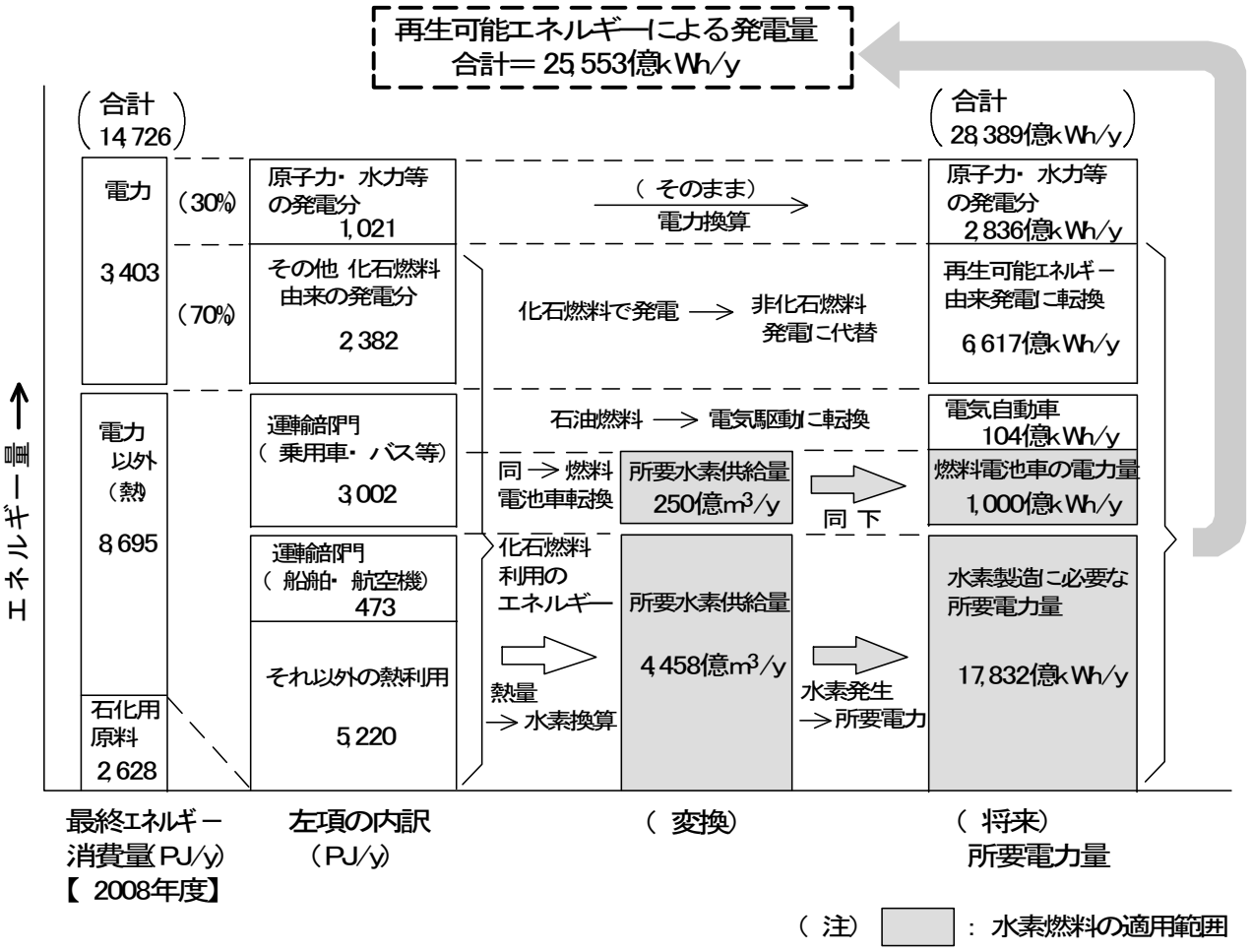


図8.3.1-1　非化石燃料の時代における
再生可能エネルギー由来の所要発電量（推計）

消費量（＝14,726 PJ/y）を基準とし、将来の低炭素社会、つまり「電力需要」と電力以外の需要である熱利用分野のエネルギー源である「水素需要」から、それら双方の所要エネルギー供給量を概略算出したものである。以下にその詳細を記述する。

【前提】

ｲ）我が国の「最終エネルギー消費量」は、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」（2008年度）に依る。

⇒ 今後、我が国の景気回復に伴いエネルギー消費量は再び増大すると考えられるが、その一方で人口減少化もあり、全体として大きな増減はないものと判断される。

ﾛ）将来（例えば2050年時点で）、化石燃料は一部の石油化学用原料分を除き全て再生可能エネルギーに代替えされるものとする。

ﾊ）特に、現在のガソリン等化石燃料主体の自動車は全て非化石燃料駆動による自動車、

具体的には電気自動車および燃料電池車に転換されるベースとする。

ﾆ) 原子力発電分は、現状発電量を今後も維持するものとする。

【計算の内訳】

ｲ) 運輸部門における電気自動車に必要なエネルギー量：

我が国の乗用車･バス等は、現在において約7,500万台であり、このうち割合で2／3の5,000万台が電気自動車に転換したベースとする。そして車1台の1回走行当たりに消費する電力量を平均2kWhとし、充電操作を週2回行うとすれば；

所要電力量＝5,000万台×2kWh/回×（52週/年×2回/週）＝104億kWh/y

ﾛ) 同じく燃料電池車に必要なエネルギー量：

乗用車･バス等の約7,500万台のうち、残る1／3の2,500万台を燃料電池車とする。現状では燃料電池車500万台の走行に必要な水素供給量は65億Nm^3/yと算出されていて、2,500万台となれば今後の技術開発を考慮して約250億Nm^3/yの水素供給が必要と想定する。さらに市販されている分散型水素発生装置を参考に単位消費電力量を、**表8.2.3-1**からおおよそ4.0 kWh/Nm^3とすれば；

所要電力量＝250億Nm^3/y×4.0 kWh/Nm^3＝1,000億kWh/y

ﾊ) 運輸部門の船舶･航空機およびそれ以外の熱利用分野の合計エネルギー消費量：

船舶･航空機およびそれ以外の熱利用分野の合計エネルギー消費量は5,693 PJ/yであり、この熱量を発生させるのに必要な水素供給量は4,458億Nm^3/y（水素燃焼の高位発熱量＝12,770kJ/m^3）であるので、前述ﾛ）の水素発生装置の単位消費電力量4.0 kWh/Nm^3と同様に計算すれば、所要電力量は17,835億kWh/yとなる。

8.3.2 絶対エネルギー必要量に対する再生可能エネルギーの比較

前述の**図8.3.1-1**の通り、現在の最終エネルギー消費量と同量の所要エネルギー供給量は電力換算にて合計28,389億kWh/yが必要とされる。そのうち原子力発電･水力発電を除いた将来必要とされる再生可能エネルギー由来の電力量分は25,553億kWh/yであり、この量は原子力発電所1基の発電量を100億kWh/yとすれば、おおよそ250基分に相当する。これは狭い国土でもあり明らかに非現実的である。つまり原子力発電だけに頼っている訳にはいかず、何かしらの他の対策を兼ね備える必要性があることが理解できる。

さて、前述の電力換算量（28,389億kWh/y）の内訳は次の通りである。

ｲ) 既存の原子力発電および水力･地熱発電等の新エネルギー発電で2,836億kWh/y。

ﾛ) 太陽光発電･風力発電および海洋エネルギー発電で6,617億kWh/y。

ﾊ) 運輸部門の乗用車･バス等の電気自動車用で104億kWh/y。さらに船舶･航空機等に使われる水素燃料供給に必要な電力量として1,000億kWh/y（合計：1,104億kWh/y）。

ﾆ) それ以外の主に熱利用分野への水素供給に必要な電力量として17,832億kWh/y。

このうち、ﾛ)からﾆ)項の合計25,553億kWh/yが、今後新たな再生可能エネルギー由来の電力で賄うという前提である。

なお、現状の最終エネルギー消費量のうち、エネルギー源というよりも高付加価値のある石油化学製品用に使用される原料分は除外した。この分の石油製品は今後とも末長く使用されるべきものと考える。

これらに対して我が国における再生可能エネルギーの導入可能ポテンシャルは、果たしてどの程度まで期待できるのかが重大な関心事である。この再生可能エネルギー量が、前述の原子力発電・水力発電を除いた残る再生可能エネルギー由来の電力量（＝25,553億kWh/y）に充分足りれば、我が国はエネルギー供給問題から開放される。

さて、前述の**表8.2.2-1**は再生可能エネルギーの中でも比較的有望な太陽光発電、風力発電そして波力発電等の海洋エネルギー発電について、導入ポテンシャルを示したものであるが、当表に見られる通り“最大”導入ポテンシャルは発電設備で9,884GW、また年間発電量は124,615億kWh（＝熱量換算すると44,861 PJ/y）である。この値は現在の我が国の最終エネルギー消費量（14,726 PJ/y）の実に“3倍”という膨大なエネルギー量である。しかし現状の国の施策では、再生可能エネルギー由来発電の導入目標量は、2020年時において発電設備38.7GW、年間発電量500億kWh（2030年時では発電設備76.9GW、年間発電量1,060億kWh）と低い目標値に止まっているが、今後の普及拡大に期待する。

8.3.3　我が国のCO_2排出量を50%削減するための対策案

次に**図8.3.1-1**を参考にして、「IPCCのCO_2削減シナリオ」に沿って2030年に我が国のCO_2排出量を現在より50%減とする為の方策について、以下に概略試算する。

【ケースＡ】最終エネルギー消費量の50%余を非化石燃料に転換する場合

(a) 現状のCO_2排出量割合を**図8.3.3-1**に示す。

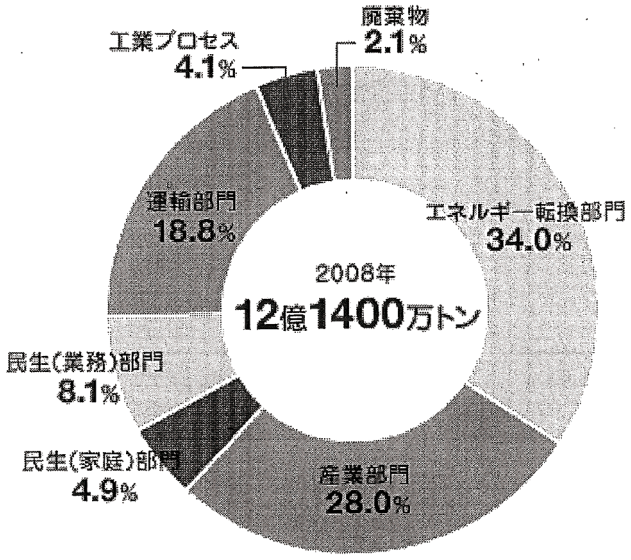


図8.3.3-1 我が国のCO_2排出量の割合

出典：日刊「温暖化新聞」ウェブサイト

まず全体としてCO_2排出量を50%減にする為に、「エネルギー転換部門」、「運輸部門」および「その他産業・民生部門等」で各々50%削減するベースを想定する。それには従来の化石燃料由来のエネルギー源分を再生可能エネルギー化石燃料由来のエネルギー源分を再生可能エネルギー由来発電に転換すればよい。以下は部門区分ごとの所要発電量について**図8.3.1-1**を基準にして求めた内訳である。

「所要発電量の内訳」

ｲ) 化石燃料由来の発電＝6,617億kWh/y×1/2＝3,309億kWh/y

ﾛ) 運輸部門＝(104＋1,000) 億kWh/y×1/2＝552億kWh/y

ﾊ) その他（製鉄所を含む）部門＝17,832億kWh/y×1/2＝8,916億kWh/y（合計：12,773億kWh/y）

この合計発電量（＝12,773億kWh/y）は、前述の**表8.2.2-1**の「発電可能量」（＝124,615億kWh/y）に対して約10%（我が国の一次エネルギー国内供給量21,565 PJ/yの約21%）である。

(b) 各部門のエネルギー転換の対策案は、『理想ベース』として次の諸案が考えられる。

ｲ) 運輸部門では、現在の自動車台数（＝約7,500万台）のうち、50%を電気自動車または燃料電池車に転換すべく取り組む。

ﾛ) その他（製鉄所を含む）部門では、主に次の通りである。

・製鉄所での副生水素を活用した水素燃焼比率を高めていく。

・工場の加熱炉または工業炉を水素燃焼式バーナー型に転換していく。

・都市部では、各地にある地域冷暖房供給事業体のボイラー源を都市ガスから水素燃焼式に転換していく。

(c) 結論：化石燃料を使用している火力発電所から発電量の50%（＝3,309億kWh/y）、ならびに前述の「運輸部門」および「その他部門」に必要な水素供給量を発生させる所要電力量（552＋8,916＝9,468億kWh/y）の合計電力量12,777億kWh/yを全て再生可能エネルギー由来の発電方式に転換していく。それでも従来からの化石燃料は、約50%の5,500 PJ/y（エネルギー消費量換算にて）が引き続き使用されている。

なお、ケースＡのエネルギー自給率（一次エネルギー供給量換算にて）は、おおよそ原子力発電分を除いて31% また含めると44%に改善される見通しである。

【ケースＢ】原子力発電所の新設、化石燃料の継続使用その他をミックスした場合

当ケースでは、「エネルギー転換部門」、「運輸部門」および「その他産業･民生部門等」の各部門は全体として前ケースＡと同様に化石燃料分を50%削減するのであるが、エネルギー転換部門は「原子力発電分の増量」を（その分 再生可能エネルギー由来発電を減少できる）、また「その他産業･民生部門」では化石燃料等から水素生産で得られた水素エネルギーに燃料転換する手段を併用する。具体的な内容を以下に示す。

(a) 原子力発電所の運用改善および新設を図る。

ｲ)設備利用率を向上させる（65→85%に）：600億kWh/y増加

ﾛ)原子力発電所（10基）の新設：1,000億kWh/y増加（合計：1,600億kWh/y増加）

(b) 化石燃料発電から再生可能エネルギー由来の発電に転換：2,000億kWh/y

〔これは前述の**表8.2.2-1**の「発電可能量」（＝124,615億kWh/y）に対し約1.6%〕

従ってケースＡに記載した所要発電量（12,773億kWh/y）から3,600億kWh/y（＝1,600＋2,000億kWh/y）を差し引いた9,173億kWh/y相当の発電増加が必要となるが、ここからは発電要素ではなく以下に記述の水素供給で対応を図る。

(c) 製油所･ソーダ工場からの副生水素は現在でも約65億Nm^3（約500万台の燃料電池車が走行可能量）を水素燃料用として市場に供給することは可能であるが、新たな対応として製油所機能を発揮して従来のガソリン生産に代わり「ナフサ」を主力中間製品として製造し、化学分解での水素を大量生産するのである。ただし地球温暖化対策上からCO_2分離貯蔵システム（CCS）の併設、また分離した大量のCO_2を関係国との協力を得てCO_2海上輸送による他国での貯蔵処置が不可欠となる。

一例として、現在の年間ガソリン生産量（約6,000万kℓ）の半分の3,000万kℓ（≒ガソリン需要の減少分）を“水素原料用”としてナフサ生産に振り向けたとすれば次の通りとなる。

水素生産量＝3,000万kℓ/y×0.7t/kℓ×3,600 m^3/t≒750億m^3/yとなる。

〔ここに、ナフサ比重: 0.7kg/ℓ、また原料ナフサからの水素生産量：3,600m^3/t〕

(d) 前述の製油所での水素生産でもなお且つ不足する分は、サンベルト地帯から再生可能エネルギー由来発電を使用した水電気分解で得られた「水素」を海上輸送して直接輸入の上、国内貯蔵･配送する対策を図る。

具体的には「運輸部門」および「その他部門」、これら水素燃焼需要における所要水素供給量は前述の**図8.3.1-1**から所要水素供給量は4,708億m^3/y（＝250＋4,458億m^3/y）であるが、このうち50%の2,354億m^3/yを製油所の水素生産と水素輸入で供給分担することになる。つまり製油所での水素生産分が前述の通り750億m^3/yであるので、サンベルト地帯からの水素輸入分は1,604億m^3/yとなる。

(e) 結論：前述「原子力発電の新設等」および「再生可能エネルギー発電の普及」の発電エネルギー要素、そして「製油所での水素大量生産」および「サンベルト地帯からの水素輸入」の水素エネルギー要素のこれら4－エネルギー要素を全体のコスト･バランスを考慮しながら『ベスト･ミックス』な供給体制を構築するのである。

このケースＢでも50%近くのエネルギー源は化石燃料の継続使用であり、またエネルギー自給率はおおよそ原子力発電分を除いて7% 含めても28%に止まる。

8.3.4 水素利用社会の普及と拡大について

前述の「水素の海上輸送」の場合など水素の取り扱い、または大量貯蔵は水素固有の特性面から困難であり特別な対応が求められる。例えば物性として安定性が高く且つ常温･常圧で液体である「有機ハイドライド」（メチルシクロヘキサン）を媒体として、水素輸送にまた陸上備蓄に活用する仕組みである。これは化学物質のトルエンに触媒反応により水素を貯蔵したり（水素化)、逆に取り出したり（脱水素化）できる特性を利用したものである。特に有機ハイドライドの蓄電エネルギー密度は鉛電池など他種に比べて非常に大きく、また貯蔵時の水素減少率も小さいなど利便性が高い。

さらに水素は空気より軽くまた可燃性ガスであるので、その大量製造･貯蔵は市街地では安全面で不適当であり（消防法、建築基準法または高圧ガス保安法等で規制あり)、危険物取り扱いに手慣れた最適地として“コンビナート域内”に関連装置を設置すべきである。幸いに我が国の場合、多くのコンビナートの比較的近隣には大量エネルギー消費地である都市が位置する（例えば京浜コンビナートの近隣には川崎市･横浜市が）という地の利を生かして、当初は都市ガスに水素を混合した混合ガス形態（米国商標名：ハイタン）で供給していけばよい。その場合は既存の都市ガス用インフラ網を流用できるので、**図8.3.4-2**にイメージした「電力･水素エネルギー併用社会」への移行が比較的容易に実現できるのではないか。

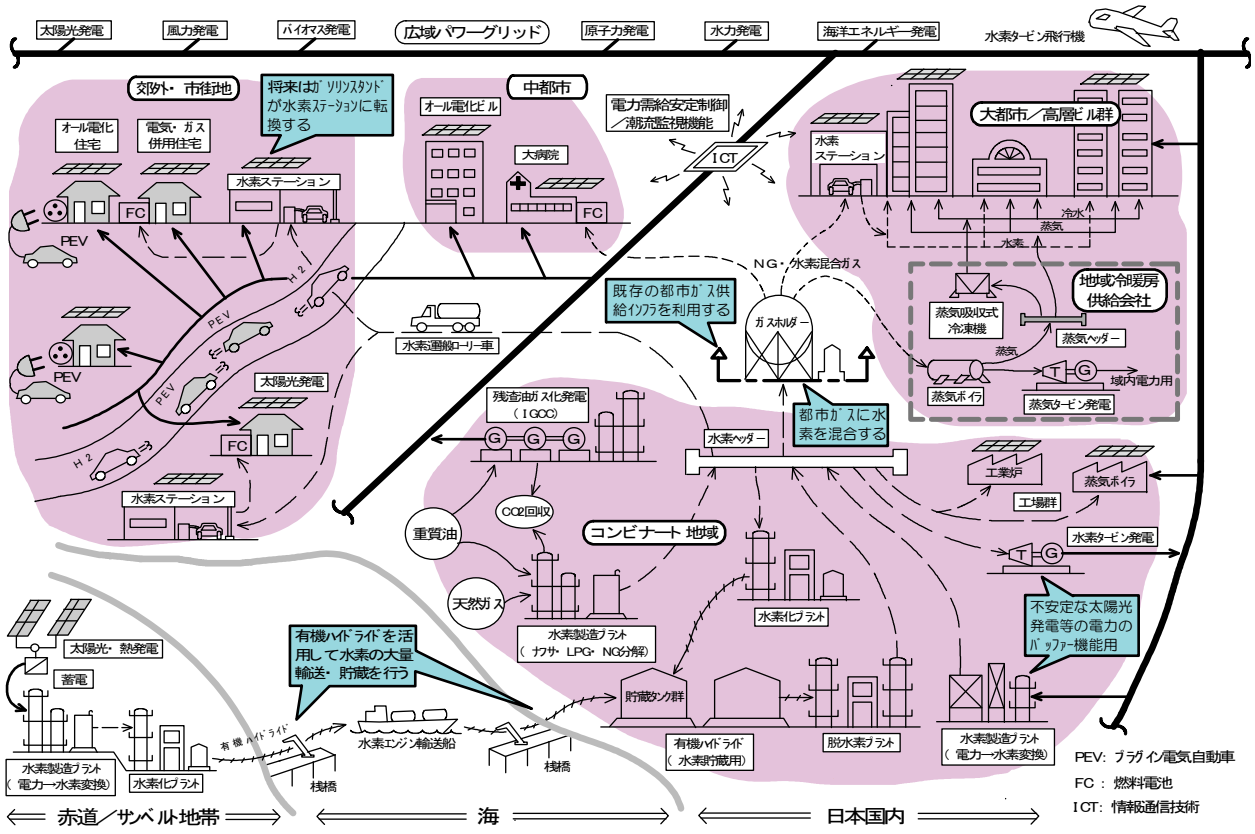


図8.3.4-2　電力・水素エネルギー併用社会の未来図

最後に、本稿では主に我が国を主体として記述したが、世界レベルで言えば、今後は石油･天然ガスなど化石燃料の枯渇問題、引き続きシェールガス等の他ガス燃料の継続利用に伴うCO_2排出増加の問題、さらには世界の人口増加によるエネルギー消費量の増大また食料･水確保難の問題など、今世紀の後半にも諸問題がより表面化するものと考えられる。

その中で我が国においては世界各国との協調を図っていく一方で、再生可能エネルギーの活用拡大に向けた取り組みに産官学共同で英知を結集し、実効性ある次世代環境技術を確立していくことで、明日の「持続可能性な社会」の実現に貢献できる。

第９章　まとめ

1997年に決まった京都議定書の第1約束期間に2008年から入り3年が過ぎた。温室効果ガス（GHG）排出量を削減し、2012年までの5年間の平均排出量を各国がそれぞれの目標を達成する必要がある。我が国の場合、マイナス6%が目標値である。

2008年度(平成20年度)のGHG排出量(確報値)＜概要＞ から我が国の排出量を見ると、2008年度のGHGの総排出量は、12億8,200万tと基準年の総排出量12億6,100万tに比べ1.6%増に止まっている。2007年度の総排出量13億6,900万tと比べると6.4%減少している。この要因には、金融危機の影響による年度後半の急激な景気後退に伴う産業部門をはじめとする各部門のエネルギー需要の減少などが挙げられる。この状態が続き、原子力発電所の利用率が80%程度へ高まり、森林吸収源対策の3.8%、京都メカニズムの1.6%を確保できれば、マイナス6%の達成は可能とされている。しかし我が国は地震国であり、かつ原子力発電所の老朽化、管理状況の現状を考えると原子力発電所の利用率を80%程度へ高めることは至難と云わざるを得ない。CO_2排出量の推移を**表9-1**に示す。

2007年の13億t-CO^2 をピークに景気低迷の影響でCO_2排出量は減少に転じており、1人当たり排出量も10.18t/yをピークに下げてきている。しかし景気の回復とともに増加に転じることは十分考えられるので、考えられる温暖化対策は実施すべきである。

表9-1　CO_2排出量

年	CO_2総排出量	一人当たり排出量	年	CO_2総排出量	一人当たり排出量
	100万t-CO_2	t/(y･人)		100万t-CO_2	t/(y･人)
1990	1,143	9.25	2000	1,254	9.88
1991	1,153	9.29	2001	1,238	9.73
1992	1,161	9.33	2002	1,276	10.01
1993	1,154	9.25	2003	1,282	10.04
1994	1,213	9.7	2004	1,281	10.04
1995	1,226	9.77	2005	1,286	10.06
1996	1,239	9.84	2006	1,267	9.91
1997	1,235	9.79	2007	1,301	10.18
1998	1,199	9.48	2008	1,214	9.51
1999	1,234	9.74			

出所：温室効果ガスインベントリオフィスウェブサイト

一方昨年末、メキシコのカンクンにおいて開催された気候変動枠組条約第16回締約国会議（COP16）では、各国の思惑からポスト京都議定書を先延ばしにする結果となった。とはいえ、大気中のCO_2濃度は略2ppm/yの割合で増加している現実があり、CO_2排出量削減に関する調査研究は欠かすことができない。ここでは、全体を網羅することよりも興味あるテーマを少しでも深く調べることに重点を置き、WGのメンバーが興味を持つテー

マに関して調査研究を進めた結果から今後の展望を以下に示す。

1)　非化石エネルギーの活用技術

低炭素エネルギーシステムは、とりもなおさず自然エネルギーの活用である。**第２章CO_2削減に向けた取り組み**では、原子力発電の排熱量の多いことに着目しヒートシンクとなっている海域への影響を指摘し、地球温暖化に限らず種々の環境問題を複合的に捉えてLCA、エネルギー効率といった様々な視点で検証しながら技術の開発や普及にも冷静な判断の必要性を説いた。**第３章 低温度差エネルギーの活用技術**では直面している5大問題である①人口問題、②エネルギー問題、③水問題、④食糧問題、⑤地球環境問題はそれぞれ互いに関連しており、この⑤大問題の対応策の1つのツールがエネルギー賦存量は莫大である海洋温度差発電を中心とした複合システムと導いた。**第４章 太陽熱の活用技術**では低炭素エネルギー社会実現のためには1次エネルギー源を再生可能エネルギーに転換することが不可欠であり、太陽熱エネルギーは再生可能エネルギーの有力なオプションの1つであり、将来的には人類の基幹エネルギーになると予測した。太陽熱利用は日照時間の長いサンベルト地帯に限られるので新技術導入をもって海外プロジェクトへの参加に期待が寄せられているとした。因みに、発電効率を15%、1日の全日射相当時間を8時間とすれば、太陽光発電パネルの設置に必要な面積は0.323579×10^6 km^2となり、この値が大きいか小さいかは別にして、この面積は主な砂漠面積の2%程度に相当する。

2)　エネルギー消費量の総量を削減する省エネルギー技術

省エネルギーは今までにも多くの取り組みがなされてきた。**第５章 家庭部門における省エネルギーの現状と将来**では、給湯にスポットを当て①ヒートポンプ、②潜熱利用、③コージェネレーションの効果と展望を纏めた。**第６章 エネルギー利用の高効率化へのエクセルギー視点**では住宅の省エネルギーに関してはエクセルギーを用いることでより効率的な省エネルギー対策を明確に把握することができ、発電に関しては廃棄しているエクセルギーを再利用することによりさらなる高効率発電を可能にすることができる。エクセルギーと物質の流れを同時に制御することで、エネルギー業界に限らず、石油業界、化学業界、製鉄業界などの多くの業界を連なる高効率なシステム構築の可能性を示した。

3)　エネルギー利用の高効率化システム

化石エネルギーは有限であり、資源としても重要な物質であるので、石炭、原油などのエネルギー資源を残渣がでないように無駄なく高度活用することが求められる。**第７章 低炭素エネルギー社会に向けたエネルギー転換方策**では、我が国では長期的なCO_2削減の重要性を踏まえたインフラ造りの早急な検討が必要であり、エネルギーセキュリティの面からも安価な石炭資源である褐炭を使いCCSで生じたCO_2を地下に貯留し、クリーンな水素を我が国に輸入するための技術、課題などを早急に検討すべきとした。**第８章 地球温暖化対策とエネルギー構造転換の展望**では、我が国のCO_2排出量を50%削減するための対策案として2案示し、現在の副性水素による供給量65億m^3に加えて製油所機能を活用して化学分解で水素を大量生産、あるいは有機ハイドライドを媒体に水素輸送･備蓄する方法でサンベルト地域からの水素輸入により水素利用社会の普及･拡大のビジョンを示した。

京都議定書基準年の90年から08年までについて国立環境研究所や国際通貨基金（IMF）のデータから、各国の状況を①CO_2排出量を削減しながらGDPを拡大した国、②CO_2排出量が抑えたにも拘わらず増加しGDPを拡大した国、③CO_2排出量もGDPともに拡大した国に分けて考えてみた。①に含まれる国は欧州に多く英国、スウェーデンはそれぞれCO_2排出量を19.0%、11.3%減らし、GDPは50%程度拡大した。ドイツは22.3%、フランスは6.5%のCO_2を削減し、GDPは35～40%ほど拡大した。
②に含まれる我が国ではCO_2排出量は1.6%増でGDPは主要国中で最低水準の24.4%増に止まった。③に含まれる国には米国やカナダなどである。

NGO「気候ネットワーク」の平田仁子氏によれば「欧州では気候変動が国の存続や経済へのリスクととらえている」。経済対策からもCO_2削減を進め、新たな産業や雇用を生んでいる。

国立環境研究所（茨城県つくば市）が参加する国際チームの発表によれば、「リーマン・ショツクに端を発した世界不況の影響で、2009年のCO_2排出量は前年比で日本が11.8%、米国6.9%、英国8.6%の減となったものの、中国が8%、インド6.2%、韓国1.4%の増となり世界全体では1.3%減になった。」とされている。

世界的には、昨今の経済不況の影響があるものの新興国などの経済発展により今後ともCO_2排出は増大傾向にある。化石燃料多消費の現代では熱帯雨林のみならず森はCO_2固定の重要なファクターである。人工光合成のプロジェクトを立ち上げ、空気中のCO_2を固定しエネルギーに変える発想をもってしても、この反応のエネルギーは太陽エネルギーの活用に他ならない。化石燃料を使い果たし人類滅亡を招く前に、自然エネルギーの活用を図ることが持続可能な発展を可能とする。IPCCでは温室効果ガス中期目標として「先進国全体で基準年比25～40%の削減」との数値を示しており、我が国としては環境技術に裏付けされた削減目標をうち立て実効する必要があり、本報告がシーズとして役立つことを願っている。

参考文献･引用文献

［第１章］

1) 総務省統計局ウェッブサイト世界の統計 統計表 主要国の人口の推移 1999～2009
URL：http://www.stat.go.jp/data/sekai/02.htm#h2-04

2) 総務省統計局ウェッブサイト世界の統計 統計表　世界の国内総生産
URL：http://www.stat.go.jp/data/sekai/03.htm#h3-01

3) 総務省統計局ウェッブサイト世界の統計　統計表　燃料燃焼による二酸化炭素排出量
URL：http://www.stat.go.jp/data/sekai/16.htm#h16-04

4) 47NEWS ウェッブサイト
URL：http://www.47news.jp/CN/201012/CN2010121101000520.html

5) 東京新聞　2010 年 12 月 12 日記事：COP16 閉幕　強硬日本　一定の成果

［第２章］

［2.1節］

1) JCCCAウェブサイト：http://www.jccca.org/chart/chart04_03.html

2) JCCCAウェブサイト：http://www.jccca.org/chart/chart04_05.html

3) JCCCAウェブサイト：http://www.jccca.org/chart/chart04_04.html

4) 経済産業省ウェブサイト：2030年のエネルギー需給の姿
http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100608a07j.pdf

［第３章］

1)「エネルギーに関する年次報告（2010年度版　エネルギー白書)」経済産業省,
2010年6月

2)「NEDO再生可能エネルギー技術白書」, 独立行政法人　新エネルギー･産業技術開発機, 2010年度版

3)「海洋温度差発電の普及可能性」, 細田衛士, 慶應義塾大学経済学部, 細田衛士研究会19期資料, 2008年

4) 佐賀大学　海洋エネルギー研究センター　ウェブサイト
http://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/about_oetc_02.html

5) (株)ゼネシス　ウェブサイト http://www.xenesys.com/

6)「海洋温度差発電と五大問題」海洋温度差発電推進機構ウェブサイト
http://www.opotec.jp/

［第４章］

［4.1節］

NEDOウェブサイト　NEDO再生可能エネルギー技術白書　2010年7月27日
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo/index.html

[4.2節]
1）DOEウェブサイト　http://www1.eere.energy.gov/solar/index.html
2）東京工業大学広報誌　次世代太陽熱発電所実現へ　2010年1月28日
http://www.titech.ac.jp/file/100128_2-tamaura.pdf
[4.3節]
1）IEA ウェブサイト Technology Roadmap Concentrating Solar Power
http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf
2）Solar millennium社 ウェブサイト
http://www.solarmillennium.de/technology/reference-projects/andasol/index.html
3）NREL News Room ウェブサイト
http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=40
4）NEDOウェブサイト　技術実証事業FS　太陽熱発電システム技術実証事業（チュニジア)」に係る委託先の公募について
https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/koubo/AT1/nedokoubo.2010-07-21.0071178050/
5）NEDOウェブサイト　チュニジアと太陽熱発電に関する共同プロジェクトの実施同意書を締結
http://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/other/AA5/nedoothernews.2010-07-23.2870282754/

[第５章]
1）温室効果ガスインベントリオフィス　「日本の温室効果ガス排出量データ」
2）エネルギー白書2010 第２部 エネルギー動向
3）日本ガス石油機器工業会資料
4）ヤノ・レポート2010
5）矢野経済研究所「住宅設備機器の市場動向2010」
6）東京ガスウェブサイト「ガス温水機器・エコジョーズ」
http://home.tokyo-gas.co.jp/living/bathroom/onsui/index.html
7）東京ガスウェブサイト「エコウィル」
http://home.tokyo-gas.co.jp/ecowill/index.html
8）ダイキン工業ウェブサイト「ダイキンエコキュート」
http://www.daikinaircon.com/sumai/alldenka/ecocute/
9）東京ガスウェブサイト「エネファーム」
http://home.tokyo-gas.co.jp/enefarm/index.html
10）オール電化.jpウェブサイト
http://www.alldenka.jp/modules/aboutalldenka/
11）日本ガス協会 エコウィル普及台数推移
12）総務省統計データ・ベース「総世帯数推移」
13）JX日鉱日石エネルギー ウェブサイト　「エネファームと太陽光のダブル発電」
http://www.noe.jx-group.co.jp/lande/product/double/index.html

［第６章］
1) 「World Energy Outlook」，International Energy Agency，2010年6月
2) 「エクセルギーと環境の理論(改訂版)」，宿谷昌則，2010年9月20日
3) 「低炭素社会構築に向けた革新的エネルギー技術」，東京大学生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター　堤研究室，2010年5月10日

［第７章］
1) 2050年80%削減の絵姿 環境省ホームページ
http://www.env.go.jp/council/06earth/y0611-14/mat02-2.pdf
2) 電気事業におけるCO_2排出量削減に向けた取組みについて　電気事業連合会
http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g80708a06j.pdf
3) 東京ガス ホームページ
http://www.tokyo-gas.co.jp/co2/
4) CarbonNet - Victoria's CCS network
http://www.all-energy.com.au/userfiles/file/aea2010/Richard%20Aldous.pdf
5) 低炭素社会におけるエネルギーマネジメント
出版社　慶応義塾大学出版会　2010.3
著者　村上周三、茅陽一、柏木孝夫、石谷久、中上英俊

［第８章］
［8.1節］
1) NEDO 海外レポート：No.1064「NOAA：過去 10 年間が観測史上最も暖かい」、2010 年 10 月 20 日
2) 月刊誌：省エネルギー「温暖化対策基本法案、国会に再提出」、Vol.62 No.11（2010 年）
3) 朝日新聞ウェブサイト：「世界の CO_2 排出量、09 年は減少－21 世紀以降で初」、2010 年 11 月 21 日
http://www.asahi.com/science/update/1121/TKY201011210415.html
4) 読売新聞／2010 年 6 月 16 日記事：「燃料電池車 500 万円、トヨタ 2015 年発売目指す」
5) 読売新聞／2010 年 9 月 6 日記事：気候変動パネル「組織･運営の抜本改革を急げ」
6) 読売新聞／2010 年 12 月 6 日記事：途上国反発「先進国が率先しろ」
7) 読売新聞／2010 年 12 月 12 日記事：「COP16：京都延長－結論先送り」
8) ㈱エネルギーフォーラム 茅 陽一監修：「CO_2 削減はどこまで可能か」、2009 年 12 月 28 日発行
9) 資源エネルギー庁発行：「エネルギー基本計画」、平成22年6月
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004657/energy.pdf

［8.2節］
1) 月刊誌：電設技術「低炭素社会へ向けた取組みと電力系統のスマート化」、平成22年6月号
2) 月刊誌：省エネルギー「低炭素へ向けての超長期技術開発」、Vol.61 No.12（2009年）

3) 月刊誌：省エネルギー「日本版スマートグリッド構築への課題と展望」、Vol.62 No.5（2010年）
4) NHKスペシャル「第2回中東砂漠の富の争奪戦」、2010年8月29日放映
5) NEDOウェブサイト：「NEDO再生可能エネルギー白書」、2010年7月27日
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo/index.html
6) 経済産業省ウェブサイト 資源エネルギー庁作成：「送配電システムの現状と課題について」、2010年5月27日
http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100608d05j.pdf
7) 経済産業省ウェブサイト：「出力抑制機能の具体的な方策」、2010年2月9日
http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100608d06j.pdf
8) 経済産業省ウェブサイト：「次世代エネルギー・社会システム実証地域選定結果について」、2010年4月
http://www.meti.go.jp/press/20100408003/20100408003-2.pdf
9) 読売新聞／2010 年 8 月 25 日記事：「海洋発電所 2012 年度に」
10) 資源エネルギー庁発行：「エネルギー基本計画」、平成22年6月
http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004657/energy.pdf

[8.3 節]
1) 石油化学工業協会ウェブサイト：「石油製品需要に占めるナフサ」
http://www.jpca.or.jp/4stat/02stat/y12nafua.htm
2) 資源エネルギー庁ウェブサイト：「我が国のエネルギーバランス・フロー概要（2008 年度、単位 10^{15}J）」、
http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-0.html
3) (財)エネルギー総合工学研究所ウェブサイト：「日本のエネルギーバランス－2008 年度」
http://www.iae.or.jp/energyinfo/energykaisetu/kaisetu5.html
4) はてなダイヤリーウェブサイト：「電気自動車普及時の電力需要への影響」
http://d.hatena.ne.jp/rcf/20080304/1204605931
5) ウキペディアウェブサイト：「電池式電気自動車の長所／短所／問題点」
http://ja.wikipedia.org/wiki/
6) エアー・ウォーター・ハイドロ㈱ウェブサイト：「水電気分解水素発生装置 IMET」
http://www.awhc.co.jp/products/imet_spec.html
7) ㈱神戸環境ソリューションウェブサイト：「水電解式高純度水素発生装置」
http://www.kobelco-eco.co.jp/product/suisohassei/hhog_seihin.html
8) (社)日本風力発電協会ウェブサイト：「風力発電の導入ポテンシャルと電力系統連系対策」、2009 年 12 月 12 日
http://jwpa.jp/pdf/50-10hokkaidou091212.pdf
9) 読売新聞／2010 年 8 月 25 日記事：「海洋発電所 2012 年度に」
10) ジャパンフォーサステナビリティウェブサイト：「日本の再生可能エネルギーの現状」 http://www.japanfs.org/ja/pages/029812.html

11) 日刊工業新聞社：「トコトンやさしい水素の本」、2008 年 6 月 30 日発行
12) 日刊温暖化新聞：「日本の部門別二酸化炭素（CO_2）排出量の割合」
http://daily-ondanka.com/basic/data_08.html
13) 国土交通省ウェブサイト：「水素エネルギー社会におけるインフラ及び都市･住宅に関する研究」、国土交通政策研究 第 59 号
http://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk59.pdf
14) NEDO 海外レポート：No.906「米国で水素パイプラインと超伝導送電網の合体計画」、2003 年 5 月 6 日
15) 千代田化工建設㈱ウェブサイト：「水素の大量貯蔵輸送技術」
http://www.chiyoda-corp.com/technology/future/hydrogen.html
16) (社)石油学会編集：「新石油精製プロセス」、1984 年 12 月 25 日発行

「第９章」

1) 温室効果ガスインベントリオフィスウェブサイト
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html
2) (財)エンジニアリング振興協会：平成 21 年度研究開発委員会エネルギー･環境研究部会報告書、平成 22 年 3 月
3) 東京新聞　2010 年 11 月 22 日記事：CO_2 排出量 09 年世界不況でも中国別格
4) 東京新聞　2010 年 12 月 15 日記事：CO_2 削減は経済の足かせか

第Ⅵ部 企業活動・気候変動による生物多様性消失と社会・経済の対応方策

第１章　目的と概要

昨年は名古屋の「生物多様性条約第10回締約国会議（COP10)」の開催に後押しされ、「生物多様性」に関連するイベントや企業からの情報発信が多かった。しかし、あまりにそのつながりが広く、複雑なために「生物多様性」は定量的に捉えがたい。このため、我々は生物多様性の恩恵によって生命を維持している立場でありながら、その保全のための具体的な方策をさまざまな角度から模索している段階である。

本調査研究では生物多様性の問題の背景と企業の取り組みに着目し、調査分析を行った。第１章では生物多様性の問題の背景を取り上げ、国内外の現状および地球温暖化と生物多様性の関係を示した。第２章ではCOP10の現地視察を報告するとともに、同会議の成果が今後の企業活動へ与える影響を予測した。さらに第８章、第４章では各企業の生物多様性保全への取り組みの調査結果から、今後の展開についてのヒントを探った。

1.1　生物多様性損失の背景

はじめに生物多様性が損なわれている現状について述べ、我が国における生物多様性の危機とその方策について取り上げる。また、とくに地球温暖化と生物多様性の関係や関連する国際条例の調査結果を紹介する。

1.1.1　世界の生物多様性の問題

サンゴ礁はさまざまな海洋生物の生息場として機能しており、その多様性は熱帯雨林を上回る。しかし、そのサンゴ礁が人間活動による汚染や気候変動などにより衰退しつつある。カリブ海ではこの30年間に80％ものサンゴ礁が減少しており、ダイビング観光における損失は年間３億ドルと予測される。生物多様性がビジネスを支える一例である。

また、気候変動による水の流量や水質、洪水、干ばつなどの変化が観測されており、これら水循環系の変化は植物の分布にも大きく影響を及ぼしている。世界の植物種のうち70％が危険に瀕していると試算されている。薬用植物が自然に生成する化学成分が、全処方薬の半分以上の主成分であるにもかかわらず、数百種の薬用植物が絶滅の危機にさらされている。私たち人類の健康はこうした多様な生物の存在によって維持されていることは、昨年10月のＣＯＰ10の遺伝資源に関するやり取りの中からも十分うかがえる。

図1.1.1-1に2000年から2050年の地球規模の平均生物種豊富度（ＭＳＡ）の損失とそ

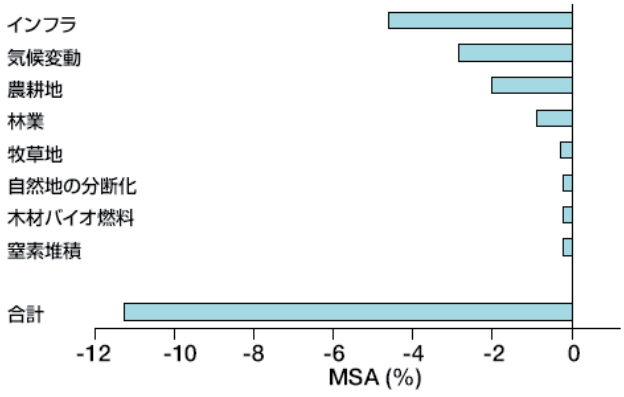


図1.1.1-1 2000年から2050年の地球規模の平均生物種豊富度（MSA）の損失とその要因

出典：生態系と生物多様性の経済学

の要因を示す。インフラ整備の拡大等により、生物多様性の便益を供給してくれる自然地域が2050年までに750万km²（2000年水準の11%）失われると予測されている。

世界人口は2050年には90億人を超えると予想されており、食料生産が今後一層必要になる。**図1.2.1-2**に示すように普段の食生活がどれほどの土地を要するのかを私たちは認識する必要がある。限りある土地や水をどのように有効に使っていくのか知恵の出しどころである。いずれにせよ土地を豊かにし、水を浄化してくれる生物多様性の恩恵を維持できなければ、人類の存続は危うい。生物多様性を保全するグローバルな取り組みが必要になることは言うまでもない。

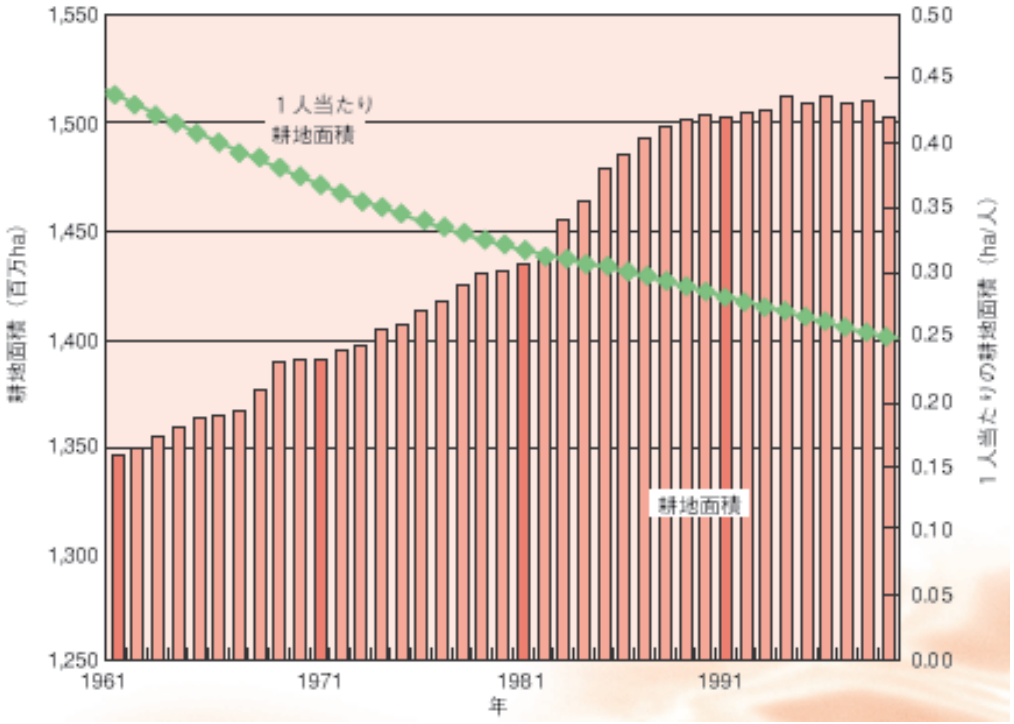


図1.1.1-2　世界の耕地面積と1人当たり耕地面積の推移

出典：農林水産省ウェブサイト

1.1.2　我が国の生物多様性保全に関する法体系

図1.1.2-1に生物多様性保全に関する法体系を示す。環境省を主管とし、国土交通省、農林水産省、文化庁などさまざまな機関が各種の法や計画制度に基づく規制や政策誘導を通じて、自然との共生を図っている。

例えば、国土交通省は河川整備にあたって、河岸や水際をコンクリートで固めず、川の流れによる地形の形成やその土地の植生を活かす「多自然川づくり」を通じて生物の生育･生息･繁殖環境の再生および創出を行っている。また、開発に伴い高度利用が進み、富栄養化が深刻な沿岸海域では、新たな干潟や浅場の創出などにより多様な生物の生息を促す自然再生が推し進められている。

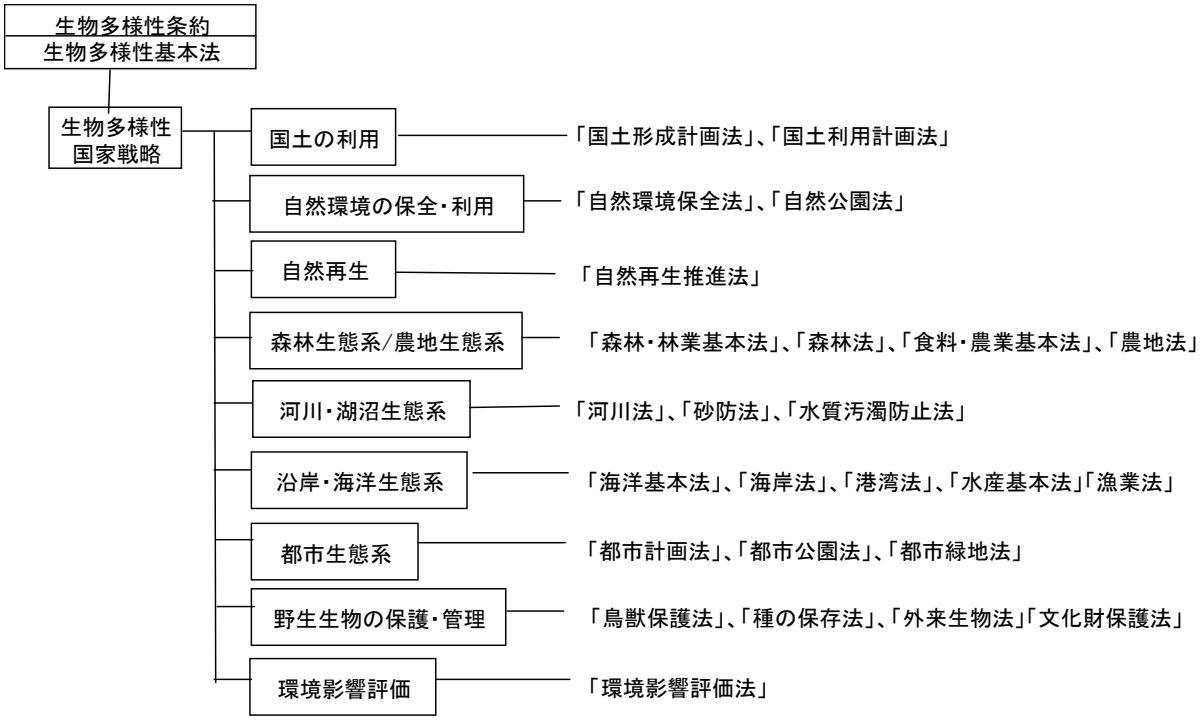


図1.1.2-1　生物多様性保全に関する法体系の概要

出典：国土交通省ウエブサイトより抜粋

1.1.3　我が国の生物多様性の問題

次に我が国の生物多様性にかかわる問題を取り上げる。環境省は生物多様性の損失を引き起こした要因を**表1.1.3-1**のように「第1の危機」～「第４の危機」に分類している。

表1.1.3-1　我が国の生物多様性の損失を引き起こした要因とその対策

生物多様性の損失を引き起こした要因	損失への対策
「**第1の危機**」：開発など人が引き起こす生物多様性への影響	「保護地域」、「捕獲などの規制・保護増殖」、「生態系ネットワーク」、「自然再生」、「持続可能な事業」など
「**第２の危機**」：里地里山の利用･管理縮小など自然に対する人間の働きかけが縮小撤退することによる影響	「野生鳥獣の保護管理」、「保護増殖・自然再生」、「農林水産業の振興と農村活性化」など
「**第３の危機**」：外来種や化学物質など人間生活の近代化に伴って持ち込まれたものによる影響	「外来種等の輸入・飼養等の規制」、「侵略的外来種等の防除」、
「**第４の危機**」：地球温暖化による影響	「地球温暖化緩和策」、「地球温暖化適応策」など

（生物多様性総合評価報告書より作成）

「第1の危機」は**図1.1.3-1、図1.1.3-2**に代表される「開発など人が引き起こす生物多様性への影響」である。これらの対策としては、国立公園、国定公園、鳥獣保護区などの整備や先に紹介した自然再生事業などが挙げられる。「第２の危機」は「生態系の規模や質を低下させるような里地里山の森林生態系や農地生態系の利用や管理の縮小」である。この背景には化石燃料への移行により、薪炭の需要が急減したことがある。薪炭林の管理が低下したことで常緑広葉樹林へ遷移し、林床が暗くなるなどの変化により多様な生物の生息が難しくなった。人と自然のかかわり方に再構築が求められている。「第３の危機」は外来種や化学物質による影響である。外来種の侵入種数は増え続けており、定着した外来種は在来種の生息を脅かし、生態系の劣化を引き起こしている。これに対しては外来種の輸入規制や防除により抑制を図っている。さらに「第４の危機」は「地球温暖化による影響」であり、地球温暖化と生物多様性の関係について次に述べる。

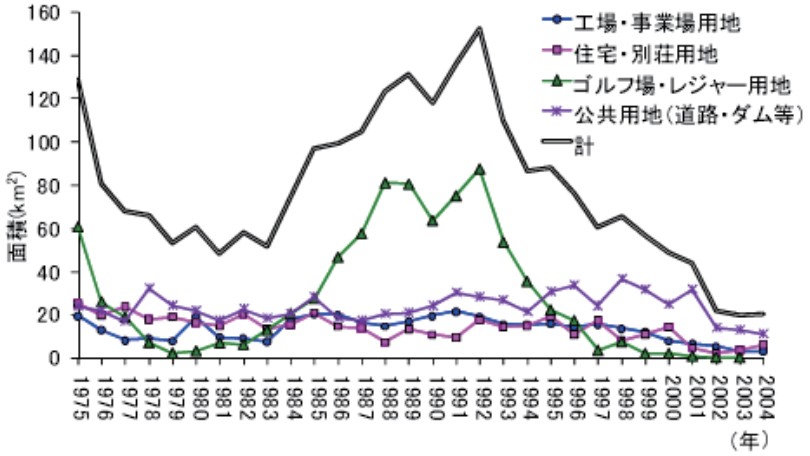


図1.1.3-1　林地から都市的土地利用への転換面積

出典：生物多様性総合評価報告書

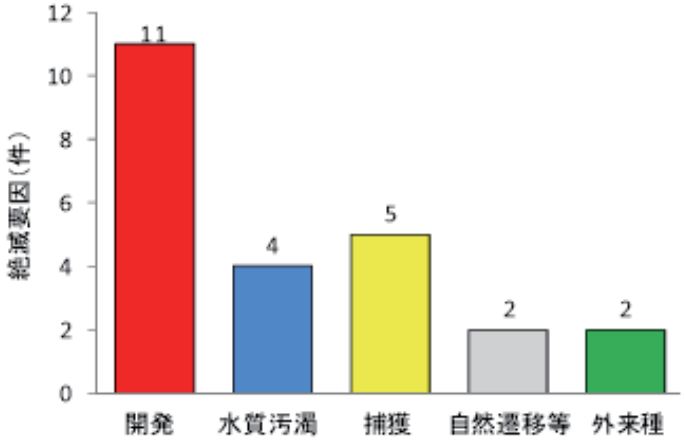


図1.1.3-2　絶滅種、野生絶滅種の絶滅要因

出典：生物多様性総合評価報告書

1.2　地球温暖化と生物多様性問題

CO_2などの温室効果ガスにより人類がこれまでに経験したことがない問題に直面している。地球温暖化現象は今後の経済発展や人口増加の傾向からみてこのまま放置できない深刻な問題であり、今世紀最大の課題のひとつである。温暖化問題と並行して「生物多様性」という言葉が大きな関心を集めている。これは昨年10月に「生物多様性条約」の締約国会議（COP10）が名古屋で開催されたことにもよるが、国連は生物多様性を考える節目の年として2010年を「国際生物多様性年」と定めた。「生物多様性条約」は環境保全を考える世界初の国際条約として、地球温暖化対策を考える「気候変動枠組み条約」とともに1992年の地球サミットで採択された双子の条約（リオ宣言）である。その目標は「地球上の多様な生物をその生息環境とともに保全すること」ことである。最近では生物多様性の問題（生物種の絶滅の危機）の方が温暖化問題より重要であるという認識もふえてきた。年々変化する地球環境、とくに温暖化問題と生物多様性問題との関連について、文献等から最近の動向について考察してみる。

1.2.1　地球環境問題とは

地球規模の環境問題を分けると大きな問題だけで9つある。第１にオゾンの問題、これは我々の身の回りで使われているフロンガスが廃棄され大気圏を越えて成層圏に至り、オゾン層を破壊することである。第2はよく知られたCO_2等による温暖化問題です。第3はは酸性雨の問題、これは石炭等の燃焼により排出されるSOx、NOxが原因で、大気中で水蒸気に溶け込み酸性雨となり湖沼や樹木等に影響を及ぼす問題もある。中国などではこれから深刻な問題になりそうです。第4は森林破壊の問題で、これは森林伐採や焼き畑により開墾し農地などに転用されて森林が消失することである。特に、生物種が豊かな地域である熱帯林を有する開発途上国では大きな問題になっている。第5は砂漠化ですがアフリカ等でかなり深刻な問題になりつつあり、年間約600万haの面積が砂漠化していくといわれている。第6にさらに海洋汚染問題がある。先進国から出る工場廃水等が原因で海水が汚染されており、大きな問題になっている。その他、第7に毎年かなりの数の生物種の減少（絶滅）していく問題や、第8に有害廃棄物の越境問題、第9に途上国における人口増加も環境問題の一つといわれている。

1.2.2　地球温暖化とCO_2問題

世界の平均の平均気温が2～3℃上昇し世界各地で異常気象が起こり、その結果、局地的な暴風雨や干ばつなどが起こり、さらに、南極や北極の氷が解け海面が上昇し水没する地域が出るといった危慎がなされている。熱帯林の伐採によるCO_2の増加や、アフリカ大陸などを始めとした土地の砂漠化による農作物生産の低下などが起っている。大気中のCO_2濃度は化石燃料の消費など、人間活動に伴うCO_2の排出により産業革命以降急速に増大しており、地球温暖化の主要な原因の一つになっている。CO_2低減は人類の生存に係わる緊急･重要な課題として世界各国において共通の認識になっている。自然界の生物は太陽光をエネルギー源としてCO_2と水から有機物を合成し、自らの生命を維持しつつ種の保存を行っている。自然界の営みの結果、年間およそ1,000億tもの炭素がそれぞれ大気と生物圏および大気と海洋の間でやりとりされている。産業革命以降、化石燃料の使用によ

りこのバランスが崩れて地球温暖化が急速に進んでいる。

現在、大気中のCO_2濃度は約383ppmである。現在と同じ様に化石燃料を使用していけばCO_2濃度は間違いなく上昇していくと思われる。今から150年程前の産業革命時は大気中のCO_2濃度は280ppmであった。これが、2030年には600ppmになると予測されている。産業革命により石炭の使用が始まり、1920年代になって石油の使用により急激にCO_2の排出量が増加している。さらに、1950年頃より天然ガスが使用され始めて、現在、人間活動により炭素として毎年約78億tのCO_2が大気中に放出されている。世界の人口は約70億人であり、一人当たり年間に約1tのCO_2を炭素として放出している計算になる。資料などによると、この100年間で約0.8℃ぐらい平均気温が上昇したといわれており、今後、30年間で平均気温が3℃上がると予測されている。

1.2.3 ポスト京都議定書とIPCC第四次評価報告書

ポスト京都議定書の合意をめざす締約国会議（2009年12月：COP15）に先立ち、2009年9月にタイのバンコクで締約国会議の作業部会が開催され、2013年以降の地球温暖化対策の国際枠組み（ポスト京都議定書）交渉が開始された。わが国のCO_2排出量はエネルギー利用によって発生する割合が大半を占めている。2008年度は12億8,200万ｔで2007年度に比較して6.4％減少しており、1995年度以降では最小であった（基準年の1990年と比較して1.6％上回っている）。第一約束期間内（2008～2012年）の達成目標値は11億8,600万tであるが、森林吸収と海外排出枠（排出権取引：ET）購入による5.4％（6,800万t）を考慮しても実質2.5％（3,200万t）の削減が必要である。

2007年2月に提出されたIPCCの第四次評価報告書によれば気候変動はすでに始まっており、20世紀半ば以降の平均気温上昇のほとんどは人為起源の温室効果ガスの増加による可能性が非常に高く90％以上の確率である。今世紀末の気温上昇は社会条件により異なるが、化石燃料消費量の少ない場合でも1.8℃、多い場合では4.0℃上昇すると予測されており、一刻も早く行動を起こすべきであると提言している。2℃を超えると生態系の破壊や、水不足、洪水などの悪影響が一気に広がるとの警告がなされている。1992年に採択された気候変動枠組み条約は「大気中の温室効果ガスの濃度を危険でない水準に安定化させる」ことを目指していたが、今後は2℃以下をはっきりとした目標にするとの発想に変えていく必要がある。2年前にイタリアのクライラで行われたサミット（G8）では2050年までに世界全体で温室効果ガスを半減して、同時に先進国全体で80％以上削減するとしたが途上国の同意は未だに得られていない。これは途上国側から見ると一人当たりの排出量が先進国の方が依然として多く不平等であるとの意見であり、今後は途上国との分担が大きな課題となる。先進国にとってはかなり達成することが難しい課題である。

1.2.4 地球環境問題と国際条約の経緯

1958年にハワイのマウナロア山において大気中の気温（上昇）が観測され始めてCO_2よる温暖化がにわかに脚光を浴びてきた。その後、一部の学者などから地球寒冷化についての議論が出て一時は下火になったことがある。IPCCによる評価報告書が提出（第一次評価報告書：1990年8月）されて以来、地球規模の環境問題が21世紀最大の問題であることが世界共通の認識になった。温室効果ガスについて取り決めた京都議定書の発効までの

経緯とその後の経過を中心に地球温暖化問題と生物多様性問題について考察してみる。地球環境問題と関連した国際条約についてまとめたものを**表1.2.4-1**に示す。

表1.2.4 -1　地球環境問題と関連国際条約

地球環境問題	関連国際条約･対応技術･対策
地球温暖化	気候変動枠組み条約（1992）/京都議定書（1997：COP3で採択） CO_2固定（生物的、化学的、物理的固定)、炭素分離（海洋貯留}
オゾン層破壊	ウィーン条約（1985）/モントリオール議定書（1987） 成層圏オゾン層の破壊、代替品の開発、第三世代
酸性雨・黄沙	長距離越境大気汚染条約（1979）/議定書。SOx、NOx由来の酸性雨、脱硫、脱硝装置の開発
砂漠化	砂漠化対処条約（1994)、生物多様性条約（1992)、地球サミット（リオ宣言（1992)）/森林原則声明（1992)、土壌の乾燥化、浸食による砂漠化、熱帯林は全生物種の半数以上が生息、焼畑耕作、過放牧による森林破壊、バイオマスの有効利用･活用、植林など
森林破壊	
海洋汚染	ストックホルム条約（2001）/残留性有機汚染物質（POPsによる汚染） PCB、ダイオキシン、DDT、バイオレメディエーション、排水処理、生物濃縮
生物種減少	生物多様性条約（1992)、地球サミット（1992）/森林原則声明（1992)、ミチゲーション（緩和、軽減、再生装置、回避、代償の最小化)、ビオトープ、植林（プランテェーション）
有害廃棄物質越境問題	バーゼル条約（1989)、ロッテルダム条約（PIC条約：1998)、有害廃棄物の途上国への不法投棄、法規制、アスベスト対策、化学物質の輸出入等
人口問題（開発途上国）	人口抑制、大気汚染、水質汚濁（公害対策）

以下にこれまでの地球環境問題に関連した国際条約の経過についてまとめた。

・1971年：ラムサール条約採択（1975年12月発効)、水鳥の生息地である湿地や動植物の保全･保護、湿地の適正利用を薦めることを目的とした条約。

・1972年：世界遺産条約採択（世界の文化遺産および自然遺産の保護に関する条約（1975
年発効、1992年日本受託)。

・1973年：ワシントン条約採択、野生動物（絶滅危惧種）の国際取引を規制（1975年発効、1980年に日本が受託)。

・1979年：スイスのジュネーブで世界気象機関（WMO）が開催された。

・1979年：長距離越境大気汚染条約採択・・・脱硫、脱硝装置（SOx、NOx、VOC等）

・1985年：国連環境計画（UNEP）は地球温暖化問題について、始めて科学者による国際会議がオーストリアのフライハで開催されCO_2による温暖化問題が広く認識された。

・1985年：ウィーン条約採択（オゾン層保護、観測などの協力、情報交換などを規定)。

・1987年7月：モントリオール議定書が採択された。オゾン層を破壊する物質（CFC、

HCFC等の使用禁止）の規定と生産量の削減スケジュールなどを設定。
・1988年：UNEPとWMOによりIPCCが設立された。また、米国上院の公聴会で米宇宙航空局のハンセン博士がCO_2による地球温暖化の可能性を示唆し世界的に温暖化問題がクローズアップされた。
・1989年：バーゼル条約採択、アスベストに関する法規制が行われた。有害廃棄物の処分等から人の健康と環境保護を目的とした条約。
・1990年8月：IPCCの第一次評価報告書が提出された（生態系･人間社会への重大な影響が指摘された)。
・1992年：気候変動枠組み条約（1990年代の終わりまでに1990年レベルに戻す）と生物多様性条約/森林原則声明が採択された。大気中の温室効果ガスの濃度を安定させることを目的とした条約。ブラジルで地球サミット･国連環境開発会議が行われた。持続的な発展の必要性が提唱（1992年リオ宣言）され、155ケ国が承認し採択された（1993年6月：日本が条約を締結、1993年12月：生物多様性条約発効。世界191ケ国が加盟)。
・1994年：砂漠化対処条約採択（1996年発効)、バイオマスの有効利用･活用、植林、干ばつや砂漠化問題が深刻な国が砂漠化を対処、また、先進国が支援することを規定。
・1997年12月：気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）が京都で開催され、京都議定書が採択された（2008年～2012年に90年代の水準から最低5%削減が定められた)。
・1999年：生物多様性条約の第1回締約国特別会議（ExCOP1）がコロンビアのカルタヘナで開催された。この会議で「バイオセーフティーに関するカルタヘナ議定書」の内容が討議されたのち、2000年にカナダのモントリオールで開催された再会合で採択された。
・2001年：第6回締結国再開会合（COP6）がボンで行われ、CO_2削減（京都議定書）についての運用ルールの骨子について政治合意がなされた（ボン合意)。
・2001年：ストックホルム条約が採択（残留性有機汚染物：POPs)。毒性が強く、難分解性、生物蓄積性、越境移動の可能性のある化学物質から人の健康と環境保全を目的。
・2001年：第7回締約国会議（COP7）がモロッコで開催され、京都議定書の運用に関する細則が規定された（マラケッシュ合意)。
・2002年6月：我が国が京都議定書に批准した（この時点での締結国は84ケ国)。
・2004年11月：ロシアが京都議定書を批准し、2005年2月に京都議定書が発効した。
・2007年2月：IPCCによる第四次評価報告書が提出された。
・2008年：京都議定書の第一約束期間（2008～2012年）が始まった。
・2009年12月：デンマークのコペンハーゲンでCOP15が開催され、ポスト京都議定書の政治的な合意が行われた。
・2010年10月11日から10月10月30日まで第10回締約国会議（COP10）が名古屋で開催され、生物多様性の保護･保全などについて討議された。

1.3　生物多様性問題（生物多様性の危機）

IPCC評価報告書によれば全地球の平均気温の上昇が1.5～2.5℃を越えた場合、これまでに評価の対象になった動植物種の20～30％は絶滅のリスクが高くなる可能性があり、

4.0℃以上の上昇に達した場合には地球規模での重大な絶滅（40%以上の種）に繋がると予測している（毎年4万種の生物が絶滅しているとの説もある)。生物多様性は気候変動に対してとくに脆弱であり、保全と保護に最大限の努力を払う必要がある。この半世紀足らずで世界のエネルギー消費量は3倍近くに増加し穀物の需要も2倍になった。地表の約一割が農地（耕地）になり森林の減少は続いている。世界の人口は産業革命時代から約5倍に増加した。国連によると2010年の世界の人口は約70億人で増加のスピードは衰えず2050年には91億人に、今世紀末には100億人以上になると推定されている。人口の増加に伴い食糧の需要も急増している。2010年の米やトウモロコシ、小麦などの穀物需要は22億ｔで1970年の2倍の水準である。世界のエネルギーの消費は2008年には原油換算で110億ｔを越えた。持続可能な社会、循環型社会、あるいは低炭素社会という新しい環境用語も生み出された。緊急に行わなければならない対策は、①乱開発をやめて生態系のバランスを護る、②化石燃料の使用量を減らして温暖化速度を遅らせる、③温暖化を止めるなどが求められている。人類の反省と知恵から出来た気候変動枠組み条約と生物多様性条約には住みやすい地球を取り戻すために今なにをすべきかが集約されている。

1.3.1　生物多様性とは

「生物多様性＝Biodiversity」という言葉が生まれたのはごく最近のことである。「生物多様性」とは、単に動植物の種類が多いということだけを意味するのではなく、長い歴史とその中で育まれてきた生きものの相互のつながりを示す。この言葉は「生物的な＝biological」と「多様性＝diversity」を組み合わせて作られた。以来、この言葉は世界の政治家や科学者、生命の科学的探究に心を寄せる人や環境保全を考える多くの人たちによって使われるようになったが、その背景にあったのは地球環境の未来に対する危機感からである。生物多様性とは、あらゆる生物種の多さと、それらによって成り立っている生態系の豊かさやバランスが保たれている状態をいい、さらに、生物が過去から未来へと伝える遺伝子の多様性を含めた幅広い概念である。45億年といわれている地球の歴史の中で自然環境に適した多種多様な生命が誕生し、そして進化の過程で絶滅を繰り返してきた。地球上には様々な環境があり、すべての生物は進化の過程でこれらの環境に適応することで多様に分化してきた。この多様な生物の世界を総称して「生物多様性」という。

1.3.2　地球温暖化による生物多様性の危機

全世界の総種数は科学的に判明しているだけで約175万種あり、このうち哺乳類は約6,000種、鳥類は9,000種、昆虫は95万種、維管束植物は約27万種といわれている。まだ知られていない生物も含めた地球上の総種数は大体500～3,000万種の間という説が多い。多種多様な生き物の繋がりで生態系のバランスが維持されており、多様性そのものが「生命の源」となっている。生物の進化の過程で多様化した生物の中には人間活動により絶滅の危機に瀕しているのがあり既知の哺乳類、鳥類、両生類の種のおよそ10～30%に絶滅の恐れがあるといわれている。生物が絶滅する原因は森林の減少、外来種による生態系の喪失やかく乱、生物資源の過剰な利用などがあげられている。地球の表面の70%を占める海洋でも生物多様性の豊かな沿岸域の生態系が人間活動により大きな影響を受けている。

1.3.3　温暖化が生態系に及ぼす影響と変化

生物多様性に対しては現在の所、生息域の減少、生態系の管理放棄、外来種などの影響の方が温暖化の影響より顕著であるが、今後は温暖化の影響がより大きくなってくると思われる。温暖化が進行した場合には生物や生態系にどのような影響が生じるかの予測は科学的な知見の蓄積が必要で、島、沿岸、高山地帯など環境の変化に対して弱い地域に深刻な影響がまず生じると思われる。世界的なレベルで進行する生物多様性の損失を減少させるためには、原生的な自然を保護するだけではなく、人間活動の影響を受けて形成･維持され、世界中に広い範囲で分布する二次的な自然地域において人間活動と生物多様性の保全の両立を図ることが重要である。一般的に生物多様性の変化を引き起こす要因としては開発による生息地の減少、逆に人間が利用しなくなったことによる衰退、さらに侵入生物、そして温暖化が考えられる。原生的な森林の多くは開発によって、人工林などに転換させられ野生動植物の生息地が減少している。また、多様性の豊富な湿原、海岸、沿岸域、河川などでは自然状態が破壊されてきた。温暖化が単独要因として生物多様性に影響する場合もあるが、他の要因と複合的に働く場合も多い。例えば、温暖化によって気温が上昇するだけではなく降水量や降雪量が変化するなどの要因が考えられる。温暖化に対する生物の反応は、順応、適応(進化)、分布の移動、相互作用系の変化などに分けられる。気候条件が変化すれば、分散によって好適な環境をもつ場所へ移動することは可能であるが、生物群集はこれまでにはない新しい組み合わせの中で食物網や共生、競争関係が生ずる。

1.3.4　温暖化に対する生物の脆弱性

20世紀後半から世界の各地、とくに、自然が豊かに残っていた途上国地域を中心に急激に進み始めた地球の環境問題、それはまさに、人類自身が自然環境を改変し、多くの生物を減少･絶滅に追い込み、地球の「生物多様性」を大きく損なおうとする世界規模の問題です。生物の種類や生息環境によって温暖化の影響に対する脆弱性が解明されつつある。絶滅が危倶される植物種として、①地理的に分布が制限される種、②依存的でかつ生存力の低下した種、③特殊な生育環境に適応し特殊化した種、④わずかな散布体しか生産しない種、⑤寿命が長く繁殖開始も遅い種、⑥一年生草本などがあげている。高山、湿原、沿岸域、貧栄養湖などの生態系における生物多様性は温暖化に対する脆弱性が大きい。一般論としては、温度など環境変化に対して負の応答の大きい因子(生物)が脆弱とされるが、種組成や生物量が大きく変動するといった属性の不安定さや、希少あるいは個体数の少ない生物は脆弱である。これらの問題を解決するためには、科学的で長期間に亘るモニタリングが欠かせない。広域にわたる現象も多いことから地理情報システムの整備も重要である。これからは現在の生物の多様性をそのまま維持するだけでなく、競争や共生など生物同士の自然な相互関係により、自由に進化･絶滅していくダイナミズムが確保されてこそ、生物多様性の保全に繋がる。地域固有の生物がそれぞれにふさわしい環境で生き続け、健全な生態系が持続するように人間の活動を自然に調和させることが重要と思われる。

1.4　生物多様性条約とCOP10（第10回締約国会議）

1.4.1　生物多様性条約発効後の流れ

1992年にリオ･デ･ジャネイロで開催された国連環境開発会議（地球サミット：リオ宣言）で気候枠組み条約とともに採択された双子の国際条約の一つです。正式名称は「生物の多様性に関する条約」で、翌1993年に発効。締約国に対し、その能力に応じ、保全･持続可能な利用の措置をとることを求めるとともに、各国の自然資源に対する主権を認め、資源提供国と利用国との間での利益の公正かつ公平な配分を求めている。2006年6月、現在、188の国･地域が参加している。①生物多様性の保全と持続的な利用、②遺伝子資源から生まれる利益の公平な配分を目的とし締約国が国家戦略を作ることを定めている。生物多様性の保全のために、保護地域の指定と管理、保護種の指定とモニタリング、生息地の回復、環境アセスメントの実施などを求めている。条約を巡って、遺伝子資源を利用するバイオテクノロジー技術を持つ先進国と遺伝子資源を持つ途上国とが対立、米国はバイオ産業が不利益を被ることを理由に未締約である。生物の多様性の保全、生物多様性（在来種）に悪影響を及ぼす恐れのある遺伝子組み換え生物等の移送（国境を越える移動）や人の健康に影響を与えたりしないための措置や取り扱い利用の手続き等についてはカルタヘナ議定書（2000年1月）に記載されている。

1.4.2　生物多様性条約と締約国会議

条約は生物の多様性を「生態系」、「種」、「遺伝子」の3つのレベルでとらえている。生物多様性は人類の生存を支え、人類に様々な恵みをもたらすものである。生物に国境はなく、世界全体でこの問題に取り組むことが重要です。2009年12月10日現在、わが国を含む192ヶ国とECがこの条約に参加し、世界の生物多様性を保全するための具体的な取組が検討されている。条約には先進国の資金により開発途上国の取組を支援する資金援助の仕組みと、先進国の技術を提供する技術協力の仕組みがあり、経済的･技術的な理由から生物多様性の保全と持続可能な利用のための取組が充分でない途上国に対する支援を行い、さらに、生物多様性に関する情報交換や調査研究を各国が協力して行うことになっている。2002年に開催された生物多様性条約の第6回締約国会議（COP6）では、「締約国は2010年までに、地球･地域･国レベルで、貧困緩和と地球上すべての生物の利益のために、生物多様性の現在の損失速度を顕著に減少させる」という戦略目標（2010年目標）が採択された。わが国は1992年に署名、翌年加盟（受諾）。2006年2月現在、188ヶ国が加盟している。条約事務局はカナダのモントリオールに置かれており締約国会議は1994年11月以来、約2年ごとに開催されている。

1.4.3　COP10の問題点（生態系保全と開発途上国問題）

COP10は10月30日未明、「名古屋議定書」を採択して幕を閉じた。COP10を契機として膨らんだ生物多様性への関心を維持して活動を広げるかが企業にとり重要な課題となった。しかし、CO_2削減論議と比べれば多様性保全･保護の重要性は充分に浸透していない。深刻化する南北の対立の中で最後まで採択が危ぶまれた。会議の方向次第で原料となる植物や微生物などの「遺伝資源」が入手できなくなる恐れがあったためである。資源を提供する

途上国と利用する先進国の利益配分を巡る対立が根底にある。今なぜ、生物多様性･種の保全が大きな課題になっているのか。それは、1960年以降、人口が急増していることの影響が極めて大きい。このままで自然が破壊され続け資源が枯渇すると懸念されている。生物多様性条約では「生物多様性」を高く保ち、環境を保全しながら自然を効率よく利用していくことが重要である。様々な生命にあふれた地球はどのようにしてできたのか、人類の環境破壊は自然にどんな影響を与えているかをよく考えて、「地球を破壊したのは人間だが修復すのも人間である」を充分に理解して行動することが強く求められている。

第２章　生物多様性条約第10回国際会議の成果と今後の動き

2010年10月18日～29日に生物多様性条約第10回国際会議、通称「COP10」が名古屋で開催された。急速な生物多様性損失の危機が迫る中、途上国と先進国間で意見の対立している遺伝資源へのアクセスと利益配分の国際的な枠組み制定に向けた議論が行われるなど、各方面から注目された会議であった。本章では、COP10の成果と、今回の結果が今後の企業活動へ与える影響について、いくつかの事例紹介を通して調査研究を行った結果について述べる。

2.1　COP10の成果

2.1.1　COP10とは

生物多様性条約の条約締約国で開かれる2年に1度の全体会議で、その第10回目として名古屋で開催された国際会議がCOP10である。生物多様性条約は、1992年にリオデジャネイロで開催された国連環境開発（地球サミット）において気候変動枠組み条約とともに採択された。生物多様性条約では、生物の多様性を「生態系」「種」「遺伝子」の3つのレベルで捉え、生物多様性の保全、生物資源の持続的な利用、遺伝資源の利用から生ずる利益の公平な配分を目的としている。2010年12月現在、193の国と地域が締結している。

2010年10月に名古屋で開催されたCOP10には、179の締約国、関連国際機関、NGO等から13,000人以上が参加した。今回は日本がホスト国であり、松本環境大臣がCOP10の議長を務めた。また並行して開催された日本政府主催の閣僚級会合では菅総理大臣が出席した。

2.1.2　現地調査

COP10本会議は事前に登録を行った関係者のみしか入場することができないが、周辺でCOP10に合わせて開催された生物多様性イベントの現地調査を行った。名古屋や金山など各会場の最寄り駅には、COP10のインフォメーションが設置され、地下鉄の中もたくさんの広告が掲示されており、街を上げて国際会議を盛り上げている様子がうかがえた。

1)　白鳥地区　生物多様性交流フェア

期間：　2010年10月11日（月･祝）～29日（金）
会場：　白鳥地区（白鳥公園･熱田神宮公園･名古屋学院大学体育館）
主催：　生物多様性条約第10回締約国会議支援実行委員会
後援：　外務省、農林水産省、環境省
協賛：　アサヒビール株式会社
出展者数：　207団体
来場者数：　118,647人（会期19日間総計）

本会議が行われた名古屋国際会議場（図2.1.2-1）に隣接する白鳥公園では、生物多様性交流フェア･エキスポゾーンが開催されていた（図2.1.2-2）。政府機関や地方自治体、企業、NPO等のブースが数多く出展されており、多種多様な展示を見ることがで

きた。国内の主な団体や企業がまさに一堂に会した状況になっていて、環境をテーマにした展示会イベントとしては今まで参加した中では最大規模であった。EUやタイ、インド、韓国などの海外の展示ブースがあったことや、日本のブースでも必ず英語表記が併記されていることが国際会議の開催中ということを感じさせた。見学者は市民のほかに、企業の視察団と思われるスーツ姿の団体も多く見かけ、関心の高さがうかがえた。展示内容は**ABS**（遺伝資源へのアクセスと利益配分）やポスト2010年目標などの本会議の話題に触れているものは少なく、各団体の環境や生物多様性への取組み紹介と啓蒙活動が中心であった。

図2.1.2-1　名古屋国際会議場

図2.1.2-2　白鳥地区の様子

白鳥公園と川を挟んで隣にある熱田神宮公園（フェスティバルゾーン）では、愛知県周辺の地方自治体を中心に展示が行われていた。中でもCOP10の開催地である名古屋市は力が入っており、見学者全員をボランティアによる解説ツアーで案内し、入場には行列ができる人気振りであった。また産地直売所なども併設され、より市民が親しみやすい内容となっていた。

2)　栄地区　COP10情報発信ステーションinオアシス21

期間：　2010年10月9日（土）～29日（金）

会場：　オアシス21　銀河の広場（名古屋市東区）

主催：　生物多様性条約第10回締約国会議支援実行委員会

来場者数：　749,296人

オアシス21（図2.1.2-3）はCOP10情報発信ステーションとの触れ込みで、COP10本会議の中継があるとパンフレットに掲載されていたので、本会議の議論の進捗などを知ることができるのではと期待したが、生物多様性の一般的な説明パネルの掲載とパンフレットの配布のみであった。国際交流イベントがメインとなっており、JICA、海外協力隊、赤十字、ボランティア団体などの活動紹介ブースが立ち並んでいた（図2.1.2-4）。訪れた日はステージでワールド･コラボ･フェスタが開催され、オープニングイベントの市民による迫力あるゴスペルコンサートが開催されており活気に溢れていた。会場は地下鉄の駅と直結しているので、賑やかなイベントに足を止めて立ち寄る家族連れなども多く見られた。

図2.1.2-3　オアシス21

図2.1.2-4　栄地区の様子

2.1.3　COP10の主な議題とその成果

COP10本会議で議論された主な二つの議題とその成果についてまとめた。

1)　遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS）に関する名古屋議定書

医薬品や食品などを始めとして、身の回りには生物の機能や形状を利用した製品が数多くある。例えばインフルエンザの特効薬の一つであるタミフルは、香辛料の八角という植物の実から抽出された成分を原料として合成されていた。遺伝資源とは生物多様性条約では、現実または潜在的な価値を有する遺伝素材と定義されており、有用な生物資源として利用できる可能性があるもの全般を指している。この遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS:Access and Benefit Sharing)についてが、今回のCOP10において主要な議題の一つであった。

生物多様性条約が締結される以前は、遺伝資源は世界共通の財産という認識が一般的であった。しかし先進国などの資源利用国が利益を独占し、その資源を保持･保全してきた提供国に対しては利益が配分されることはなかったため対立が生じていた。生物多様性条約によって、遺伝資源は資源が存在する国のものであると定められ、遺伝資源は自国の財産という認識に変わり、その利用を進める際の明確なルール作りが急務となっていた。各国の立場に応じて主張に隔たりがあったため、名古屋での合意も危ぶまれる状況であった。意見の対立が続き合意が進まないまま迎えた最終日に、日本から提出された議長案に各国が応じる形で「名古屋議定書」は無事採択された。

その内容の要約を**表2.1.3-1**に示した。対象となる範囲については、資源保有国が主張していた条約発効以前からという要求は退けられ、条約発効以降が対象とされることとなった。利益配分の対象とされるのは派生物も含まれることになり、難色を示していた資源利用国にとっては厳しい内容となった。また不正取得などについて、各国が法的整備を進めチェックする仕組みを設けることになった。しかし、実際にスムーズに遺伝子資源へのアクセスが行われその利益を配分する仕組みについては、当事者同士が話し合い進めていくこととされており、実質的なルール作りが残された課題となっている。

表2.1.3-1　名古屋議定書の概要

範囲	条約発効以降を対象にする
利益配分	派生物を利用した際も利益配分する
アクセス	資源国の制度の明確化を義務づける
緊急事態	迅速なアクセスや利益配分など特別に考慮する
法令順守	利用国が、資源国との事前同意・相互合意を確認する
監視	利用国側で不正取得を監視するチェックポイントを設ける

出典：ECOJAPAN　ウェブサイト

2)　愛知ターゲット（ポスト2010年目標）

2010年以降の次の目標設定がCOP10のもう一つの主要な議題であった。2002年のCOP6で合意された2010年目標は、一定の効果が認められた項目もあったものの、すべてが未達成という結果に終わっていた。「生物多様性の損失速度を顕著に低下させる」という目標の立て方自体が抽象的で、達成度を具体的に評価できないことが成果を出せなかった原因の一つであった。その反省を踏まえ、COP10ではより具体的な目標を定められるかが焦点であった。

愛知ターゲットでは、2050年までの中長期目標と、2020年までの短期目標、20の個別の目標が定められた。特に調整が難航していたのは、保護地域の割合についてである。NPO等からはより高い割合の陸域25%などの設定が求められていたが、結果は陸域17%、海域10%と設定された。日本では陸域は20%程度がすでに何らかの保護地域とされているが、海域に至ってはわずか1%程度である。目標を達成するためには、海域の多くを保護地域にしていく必要があり、漁業や海底資源開発などの産業と調整が難航することが予想される。

表2.1.3-2　愛知ターゲット長期目標・短期目標

2050年までの長期目標	自然と共生する世界
2020年までの短期目標	生物多様性の損失を止めるために効果的かつ緊急な行動を実施する

3)　その他の成果

名古屋議定書と愛知ターゲットの成果が大きく報道されていたが、そのほかにもCOP10 開催中に、資金動員戦略に関する決定のほか、SATOYAMAイニシアティブを含む持続可能な利用、バイオ燃料・農業・森林・海洋等各生態系における生物多様性の保全及び持続可能な利用に係る決定の採択、生物多様性と生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）、国連生物多様性の10年、2011～2012年運営予算の決定等が行われた。

2.2　企業に求められる取り組み

COP10で採択された様々な内容の中に、ただちに企業活動へ具体的な規制が敷かれるような項目はないようである。しかし今回の国際会議では生物多様性保全の理念を語るだけではなく、「利益」「資金」「会計」といった経済的な言葉もあちこちで登場してきて

いる。会期中にTEEB（生態系と生物多様性の経済学）の最終報告書も発表された。今後、生物多様性は経済とリンクして議論されていく流れとなってきているのは間違いない。

2.2.1 COP10の結果が及ぼす変化

1) 愛知ターゲット

愛知ターゲットで掲げられた目標は各国がそれぞれ取り組むべき目標であり、今後我が国でもこの目標に沿った政策が展開されていくと考えられる。その視点で20の個別目標を捉えると今後の流れが推察される。**表2.2.1-1**に示した個別目標についてその詳細を見ていく。

表2.2.1-1 愛知ターゲット20の個別目標

20の個別目標	
目標１	人々が生物多様性の価値と行動を認識する
目標２	生物多様性の価値を国と地方の計画に統合し、適切な場合には国家会計や報告制度に組み込む
目標３	生物多様性に有害な補助金などの奨励措置を廃止・改革する
目標４	すべての関係者が持続可能な生産・消費の計画を実施する
目標５	森林を含む自然生息地の損失を半減、可能ならばゼロにする
目標６	水産資源を持続的に漁獲する
目標７	農業・養殖業・林業を持続的に管理する
目標８	汚染を有害でない範囲まで抑える
目標９	侵略的外来種を制御し。根絶する
目標10	脆弱な生態系への悪影響を最小化する
目標11	少なくとも陸域の17%、海域の10%を保護地域などにより保全する
目標12	絶滅危惧種の絶滅・減少を防止する
目標13	作物・家畜の遺伝子の多様性の損失を最小化する
目標14	自然の恵みが提供され、回復・保全される
目標15	生態系の15%以上の回復を通じ気候変動の緩和と適応に貢献する
目標16	ABSに関する名古屋議定書を施行する
目標17	効果的で参加型の国家戦略を策定する
目標18	伝統的知識を尊重する
目標19	関連する知識・科学技術を改善する
目標20	すべてのソースからの資金が顕著に増加する

目標2では生物多様性の価値を国家会計に組み込むことが掲げられている。国家会計に入れることはその元となる数字を試算するために国内企業に対して、自社の生物多様性の価値の算出が求められる可能性が十分にある。目標3では生物多様性に有害な補助金などの奨励措置の廃止や改革があげられており、生物多様性に影響を与える事業には補助金は廃止され、開発を伴うなどの公共工事はますます減少することが予想される。目標6･目標7の農林水産業での持続可能な生産と消費を達成するためには資源管理を進めていく必要があり、生物多様性を保全しながら生産した認証製品の普及などが進むと推察される。目標11の陸域17%、海域10%の保護地域の設定は特に海域での石油や天然ガスなどの資源開発に規制がかかる可能性がある。また目標全般にわたり、生態系や生物の損失を減らし保全を進めると掲げられている。生物多様性が豊かな地域から調達される原材料、例えば鉱石やプランテーション栽培されるパーム油などを使用する産業への規制が強まると予想できる。

2) 名古屋議定書

名古屋議定書が発行されると、遺伝資源を利用する企業はその遺伝資源を利用した派生物の利益配分まで含めた取り決めを行う必要が生じる。しかしすでに遺伝資源を利用している企業は、2002年のCOP6でまとまったボン･ガイドラインに沿った取引を進めていたこともあり、ただちに影響を受ける企業は少ないと推測される。逆に国内からの遺伝資源の持ち出しについて今後は留意が必要である。我が国は生物多様性豊かなホットスポットの一つとして上げられる自然に恵まれた国である。現状では遺伝資源の利用についての制度等は何もない状態であり、国内の遺伝資源を守るためには国内の法的整備や体制作りが急務である。

3) 企業に求められる姿勢

企業に求められる具体的な規制はまだないが、名古屋議定書と愛知ターゲットによって進むべき方向性は示された。これから先を見据えた企業経営をしていく上では、企業自身はそれぞれ自分たちの事業活動にまで生物多様性との関わりを落とし込み、自ら取組みを進めていく必要がある。生物多様性の保全は地球上の生命すべてにとって重要なことであり、その保全を怠ると回りめぐって企業存続にも影響ができるため、真剣に取り組む姿勢を示していくべきである。

2.3 生物多様性と金融

COP10を契機の一つとして企業は生物多様性への様々な取組みを進めている。その内容については他の章で紹介されている。最近ではその企業が進める生物多様性の取組みを金融界が評価して格付けの指標として取り入れる動きがある。生物多様性の取り組みによって直接企業が受けるメリットの一つの例として、生物多様性に関わる金融商品の事例を紹介する。

2.3.1 日本政策投資銀行の環境格付

日本政策投資銀行では世界に先駆けて2004年から、環境経営調査により企業の環境経営度を評点化し、これを融資条件に反映させる融資メニューを導入している。

環境格付融資のプロセスでは、通常の企業審査に加えて環境スクリーニングが実施される。また融資後も環境モニタリングを継続し規律付けが行われる。格付けを行うための環境スクリーニングシートは、経営全般･事業関連･パフォーマンス関連の3分野で合計約120項目があり250満点となっている。このスクリーニングシートの項目は随時見直しが実施されるが、生物多様性関連の設問が徐々に増えてきている。最新の2010年版では、従来からあった自然保護活動などの社会貢献活動に関する設問に加えて、事業と生物多様性との関係を把握しているか、生物多様性の推進体制の整備を進めているか等の設問が登場している。しかし、設問の分野別得点率をみると、地球温暖化対策や資源有効利用対策に比べて、生物多様性に関する項目の得点率はまだ低い水準である。企業にとっては生物多様性への取組みを強化することで得点が上がり、より有利な条件で融資を受けられる仕組みである。

2.3.2　生物多様性株式投資

住友信託銀行は2010年7月に、生物多様性の保全などへの取り組みを積極的に行っている日本企業の株式に投資する投資信託「生物多様性企業応援ファンド：愛称生きものがたり」（図2.3.1.-1）を開発したと発表した。同ファンドでは、

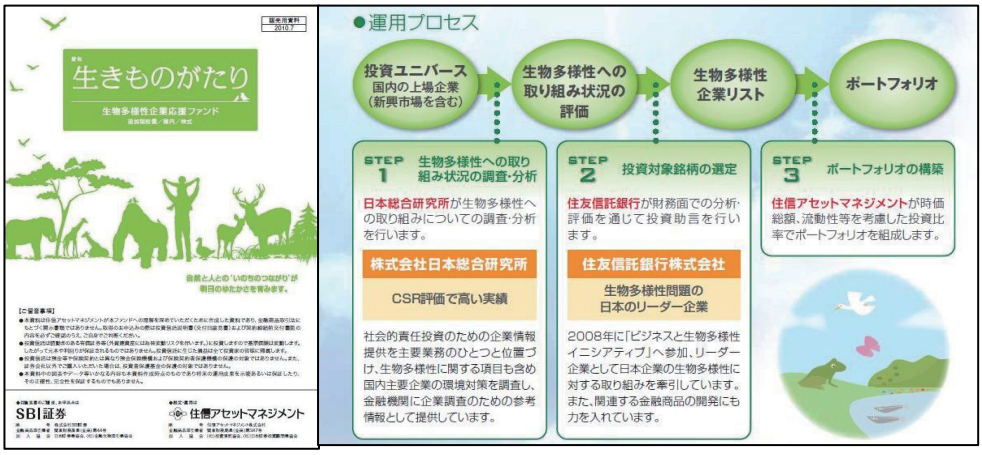


図2.3.1-1　生きものがたりパンフレット抜粋

出典：　SBI証券　ウェブサイト

①　事業活動が生物多様性に及ぼす影響を緩和させることに積極的に取り組んでいるかどうか。
②　生物多様性を保全する技術･サービスを提供しているかどうか。
③　生物多様性を保全するためのアクションプランなど長期目標を設定しているかどうか。

の3点に着目し投資対象企業を抽出している。2010年12月現在組入銘柄数は103で、組入銘柄上位5位までを上げると、順にトヨタ、三菱商事、NTTdocomo、武田薬品、ソニーである。評価方法はCSRを元に生物多様性への取り組みが行われているかどうか分析するのみにとどまっているが、将来的にはその取組みがどのくらい生物多様性に貢献しているかも含めて評価していきたいとのことである。

こうした金融商品がひとつの原動力となり、生物多様性保全への積極的な取り組みを進めるなかで、技術開発や業務効率化さらには新たなサービスの提供などが行われ、企業の持続的な成長を促し企業価値の増大につながると期待される。

第３章　これでいいのか？　生物多様性

「ノアは子らと、妻と、子らの妻たちと共に洪水を避けて箱舟にはいった。また清い獣と、清くない獣と、鳥と、地に這うすべてのものとの、雄と雌とが、二つずつノアのもとにきて、神がノアに命じられたように箱舟にはいった。こうして七日の後、洪水が地に起った。」

上記は旧約聖書創世記のごく一部である。紀元前3,000年頃の話とされ、ノアの方舟として知られる話である。その真偽は別として、注目すべきは方舟にすべての生物が雌雄一対ずつ乗ったという点である。

仮にいま地球上のすべての生物を救わねばならないとして、それらを収めることが可能な方舟の大きさはどれほどのものであろうか？現実に可能なことは実体のない遺伝子情報のみを保存する程度ではないだろうか。それほどに多種多様な生物が今の地球には住み暮らし同時に滅んでもいる。

2010年10月名古屋でCOP10が開催されたこともあり、これまで耳にする機会が少なかった生物多様性というキーワードを目にする機会が昨今急に増えた。特に2010年はCOP10が開かれるまでの約半年、新聞記事等に生物多様性の文字は必ずあったといえる。しかし、COP10閉幕後、生物多様性の文字を見る機会は急激に減少した。一過性のブームで終わるべきものではなく、生物多様性を取り巻く問題は、名古屋で議定書を作成したことで解決するものでは決してない。

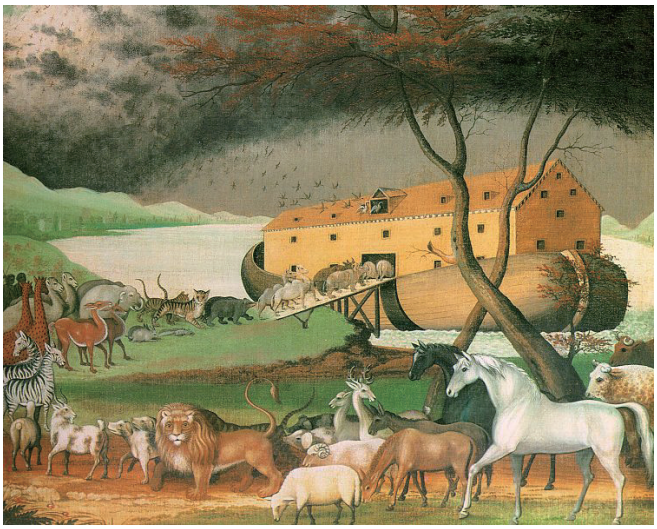


図3-1　Edward Hicks作　「Noah's Ark」

出典：Wikipedia

3.1　違和感の正体

そもそもこの生物多様性という言葉自体、またそれに伴う様々な活動には、違和感がつきまとう。まず、生物多様性の「何」なのかが明確でないことが多い。ひとつは「保全」であろう。また「維持」や「再生」などもあるだろう。

そしてここにもうひとつの違和感が発生する。つい最近まで、「人間は特別な存在ではなく犬や猫などと同じ動物であり、同じ地球に一緒に暮らす生き物なのです」といった教育を我々は受けたのではなかったか。しかし、生物多様性の問題の話になると、常に人間はその他の動物よりも上の立場にいる。

「生物の多様性が失われつつある原因は、人間の活動による部分が大きく、我々人間はそれを守っていかなくてはならないのです」と聞かされると、いかにも正しいことを言っているようであるし、事実人間の活動によって発生した産物のために絶滅に至った動植物は多数ある。しかし同じ動物であると言われてきた頭に、守ってあげなくてはならないと急に言われると、やはり他の生き物と違って人間は彼らの上に立つ存在だったのかと、考

えざるを得ない。同じ動物というのであれば対等な立場であるはずなのに、守るという活動は施しを与える事にはならないのか？違和感の正体はこのあたりにある。

とはいえこの報告は、生物多様性保全のための活動を否定するものではない。改めて意識の問題を問いたいと考えるのみである。

極端な仮説であるが、人間も多様な生物の中のひとつでしかないと考えた時、他の生物を絶滅に追いやる行為を含めて人間という生物を評価してはどうだろうか。「人間とはそういう生物である」と定義し、他の生物と対等な生き物として見た場合、生物の多様性が失われていく事は確かに人間のせいかもしれないが、仕方のないことであるという見方はできないか？

やがて、我々人間という種も他の生物によって滅ぼされてしまうという可能性は多大にある。その時、その生物たちは我々人間を絶やさないように保全活動をするだろうか？

そこで保全の目的に目を向けると、その違和感は増大する。人間は生物から多大な恩恵を受けている。生物多様性条約第10回締約国会議支援実行委員会ウェブサイトに生物多様性に関し、様々な説明が記載されており、その中に生物多様性からの恵みについて以下のように解説されている。

「私たちは生物多様性からの恵みに支えられて生きています。たとえば、食べ物、紙や建材、衣服や医薬品。さらに、私たちが生きるために必要な酸素は植物などによって作られ、汚れた水も微生物などによって浄化されています。生物多様性は、私たちの生活になくてはならないものなのです。」

ミレニアム生態系評価では、生態系に由来する人類の利益となる機能を大きく4つに分類している。

維持的サービス：生態系サービスの内すべての基盤となるもので、水や栄養の循環、土壌の形成と保持など、人間を含むすべての生物種が存在するための環境を形成し、維持するもの。

調節的サービス：汚染や気候変動、害虫の急激な発生などの変化を緩和し、災害の被害を小さくするなど、人間社会に対する影響を緩和する効果。

供給的サービス：食料や繊維、木材、医薬品など、私たち人間が衣食住のために生態系から得ている様々な恵み。

文化的サービス：生態系がもたらす、文化や精神の面での生活の豊かさ。レクリエーションの機会の提供、美的な楽しみや精神的な充足を与えるもの。

これら恩恵を得続けるためにも、生物多様性はなくてはならないものであり、保全しなくてはならないというのであるが、やはり人間が他の生物の上に立ち、上手に利用しているだけではないかという疑問を拭えない。

同サイトには我々が個人でできる活動についても記載されている。「私達にできること」として、「庭で植物を育てる、ペットを最後まで責任を持って飼う、地元の旬の食材と環境に配慮した製品を選ぶ、省エネと省資源に取り組むなど、まずは簡単にできることから始めてみませんか？」とある。ペットに責任を持つことは、外来種が本来の生態系を破壊した事例を考えれば理解できる。しかし地元の旬の食材を選ぶ事はつながるだろうか？庭で植物を育てたくとも、我が国の住宅事情では困難ではないか。

現在、あらゆる企業が「CO_2排出量削減」や「生物多様性への取り組み」というキーワ

ードに牽引されている。例えば建設業であれば、顧客から生物多様性保全への取り組みについて質問を受け、それに対し保有技術を紹介し受注につなげていく事例もある。従って生物多様性に関わる技術開発などは企業にとってメリットがある。しかし、その質問をする顧客が、開発をやめる（開発しない）ことがもっとも効果があるのではないか。何もしなければ少なくともその開発予定地の生態系は維持できるのではないか。もちろん何かの理由で生態系が破壊されてしまった地の生態系を復元するような活動や開発をするというのであれば、異なる話である。例えばある土地を開発し、そこに大規模な住宅地を造る事になったとする。発注者であるデベロッパーは工事を請け負う企業に対し、その土地の生態系を維持できる技術について要求するであろう。しかし、動植物のみが存在しているところに、住宅地という異物が入り込み、今まで居なかった人間が入り込むのである。全く何も無いところに人が住み始めるのではなく、何かあったところの「何か」を追い出すのであるから、全く同じ生態系を維持することは不可能である。共存すると言っても、器の大きさが変わらないところに、入れるものが増えると、何かが溢れ出す。こう考えていくと、生物多様性の保全活動とは、答えを出すことが不可能な問題に無理に答えを出す行為のように思える。

3.2　アニマルパスウェイ

アニマルパスウェイとは、元は「ビオトープ」という概念から生まれたものであり、道路建設等で分断された森林をつなぐ樹上性動物のための通り道を表す造語である。ゼネコン等、複数の企業が参加して活動している。道路や線路という連続する構造物はどうしても自然を分断してしまう。分断されたエリアを行き来するためにはそれらを横断するほかなく、横断中に自動車等によって轢死する動物は少なくない。比較的大型で地上を歩行する動物は、道路下にボックスカルバート等を利用してアンダーパスを作ると、そこを利用するとのことである。しかし、樹木の枝の重なりを利用して移動する樹上性動物には、ほとんど代替手段がなく、仕方なしに道路を横断し轢死している。森林が分断されると餌を得る機会、繁殖機会が少なくなり、地域での貴重種の減少や絶滅につながる。また、同一種内でも遺伝子の多様性は失われ、遺伝子の劣化を招く。

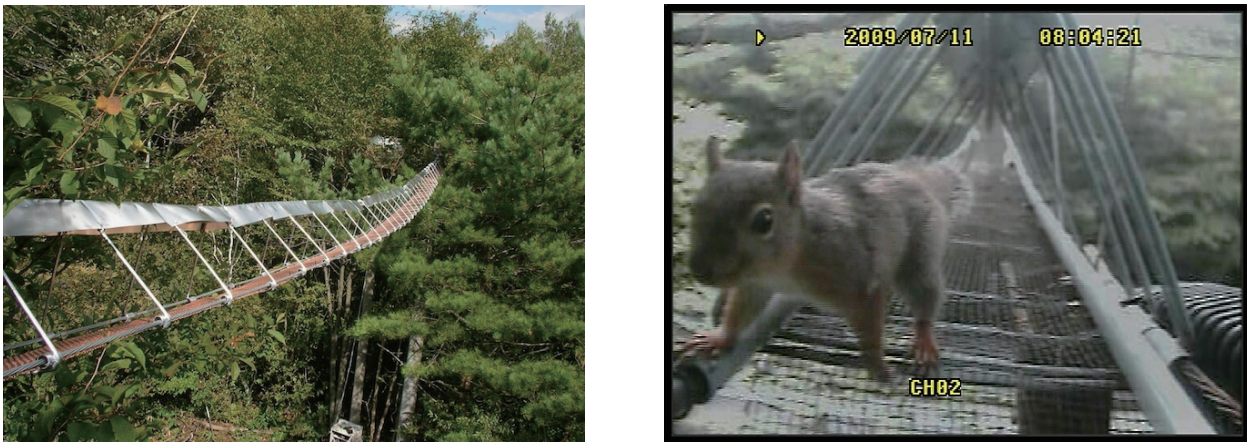


図3.2-1　アニマルパスウェイの一例

出典：アニマルパスウェイ研究会ウェブサイト

アニマルパスウェイは、これら樹上性動物が安全に道路や線路を横断し、細分化された森を一体的に利用するためものであり、現在も研究が進められている。闇雲に分断された森林をつなぐよう設置すればよいものではなく、植物の調査および樹上性動物たちの生態を調査しなくてはならない。施工事例はまだ少なく、これから認知度の向上も含め拡げる必要がある。分断しても継ぎ治す手法があると言い訳して、無計画に道路や線路で森林や山林を分断することは慎むべきであるし、研究会の参加企業だけの専売技術として商業ベースで話が進まないよう願いたい。生物多様性保全のための環境技術は様々な企業が競い合って開発することは歓迎すべき事である。しかし本来の趣旨を忘れ、その開発した独自技術による市場の独占や、利益のみの追求なら開発すべきではない。アニマルパスウェイに関しては、当初から必要がないように道路を造らないことが一番である。しかし、人間は少しでも早く目的地に到着したいため、回り道が不要なバイパス道路を考える。保全および保護と人間の要求は常に反対側にある。

3.3　都会に住むミツバチ

ミツバチは花や樹木の花粉媒介により周辺環境の活性化に役立ち、生態系の環境指標種として注目されている。ミツバチが受粉する花があれば実もなり、その実を食べる鳥が集まる。都市の環境を下支えしようとする試みがある。たとえば緑あふれる都会の発想は、ヒートアイランド現象対策に効果があると思われる。しかし人間の意志で集められる動植物にとって都会の住み心地は良いのか常に気掛かりである。子供達の環境教育のツールとして活用された事例もあるが、都会でミツバチを飼う必然性を言及すべきではないか？

図3.3-1　屋上でミツバチを飼う様子，ミツバチを活かした子供への環境教育の様子

出典：鹿島ウェブサイト

3.4　里山保全運動

積水ハウスでは「5本の樹」と称し、住宅の庭や街路に自生種や在来種中心の植栽を進めている。里山を参考に日本の自然に合わせた手法を用い、その土地の気候風土に合った樹木を選ぶ。生態系に寄与し鳥や蝶を呼ぶことで、「近くの里山と庭とを結ぶような庭づくり」を目指しての活動であり非常に評価すべき事例である。しかし、例えば首都圏においては、狭い土地に建坪率いっぱいまで利用し住宅を建てている上に、裏窓を開けると隣

家の壁というほどに密集しているのが実状である。庭のある家に住むことができるのは、多くの収入を得ている人か、都市部を離れた土地に住む人である。住宅に住む人達が野鳥を呼ぶための庭や樹木より、少しでも広い部屋を求め続ける限り、積水ハウスの活動も局所的な効果しか生み出せないかもしれない。

里山を宅地にする開発に対し政治家も巻き込んだ住民の反対運動も起きている。こうした反対運動により貴重な里山や希少な生物が守られることは評価すべきであるが、反対運動をしている住民達が住み暮らすエリアも、過去に同様な開発によって自然破壊して造られたという意識はどの程度あるのだろうか。そういう土地に住んでいるからこそ、最後に残る自然は守らなくてはならないという意識になるのかもしれないが、あとから来て、その土地に住みたいと考える人達にとっては単なる「早い者勝ち意識」以外の何者でもなく迷惑なだけかもしれない。

図3.4-1　5本の樹の概要

出典：積水ハウスウェブサイト

図3.4-2　里山の例

出典：NPO瀬上沢基金ウェブサイト

第４章　企業と生物多様性

2010年10月に名古屋で開催されたCOP10（生物多様性条約第10回締約国会議）によって機運の高まった生物多様性に対して、今後各業界と企業は否応なしに取り組んでいくことが要求される情勢になりつつある。

Earth Watch（Europe)、IUCN（国際自然保護連盟)、WBCSD（持続可能な発展のための世界経済人会議）が提唱した「ビジネスと生物多様性」によると、生物多様性への取り組みの失敗が企業にもたらすリスクとして以下の項目を掲げている。

① 操業許可の喪失
② サプライチェーンの分断
③ ブランドイメージの悪化
④ 消費者や環境 NGO からの不買運動
⑤ 環境破壊による罰金や市民からの責任の追及
⑥ 金融市場での低い格付け
⑦ 従業員の士気や生産性の低下

上記リスクを回避し、各企業が生物多様性に対しての取組み方法を考える糸口として、本章では、生物多様性に対する各企業の活動状況を調査し、実際の取組み事例を示す。

4.1　各企業の生物多様性への取組み調査

ここでは、後述する4種類の業界に分類した各企業の生物多様性への取り組み状況について、2010年度版CSR環境報告書を発刊している企業を業界毎、任意に9～12社選定し、その報告書の記載内容を調査した。

調査項目は日本財団CANPAN事務局が「日本が誇るべき企業100社」として各企業のCSRに対する取り組みについて調査した項目の内、生物多様性に関する項目を参照し、下記の５項目とした。

① 生物多様性に特化した独自のガイドラインや指針を策定しているか
② NPO などの外部機関が実施する森林などの自然保護活動に協力しているか
③ 自社林･敷地内の生物多様性への配慮に関する独自の取り組みを行っているか
④ 生物多様性に関連する枠組みへ参加しているか（企業と生物多様性イニシアティブなど)

本項目についての調査では、調査対象とした企業が「企業と生物多様性イニシアティブ」HP内に記載されている会員企業に該当しているか否か

⑤ 生物多様性に関連する各種認証を取得しているか、認証を取得した製品を取り扱っているか

なお、本調査は各企業の2010年版CSR環境報告書に当該項目が記載してあるか否かのみを調査した。報告書には記載されておらず、上記5項目に該当しない取組みは記述していない。

4.1.1 CSR環境報告書 調査結果

以下に調査結果を示す。ここで、エネルギー業界としては、電力･ガス･石油関連企業を、商業業界としては、総合商社･コンビニエンスストア･食品、家電小売業を調査対象とした。

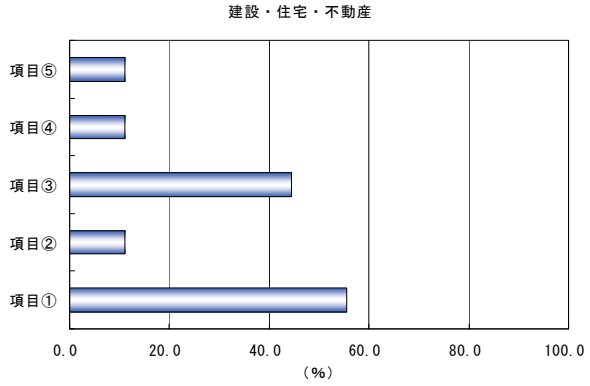


図4.1.1-1 建設･住宅･不動産

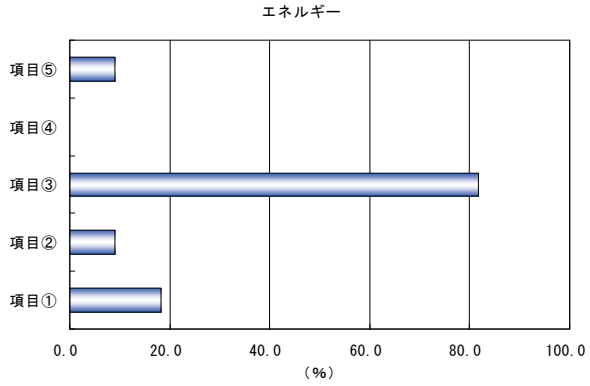


図4.1.1-2 エネルギー

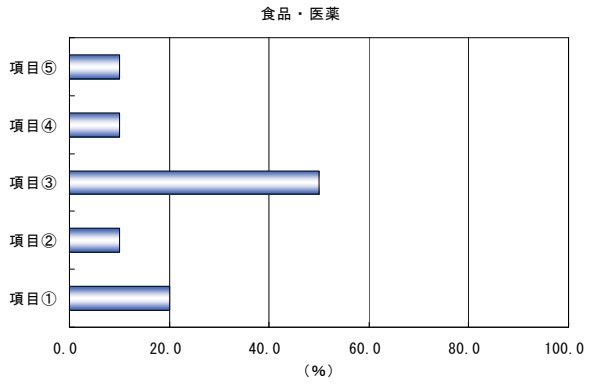


図4.1.1-3 食品・医薬

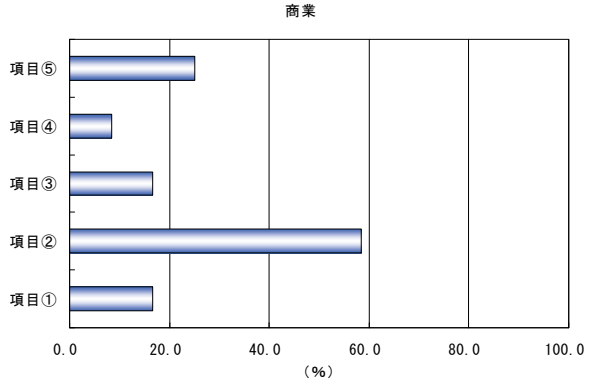


図4.1.1-4 商業

項目①の「生物多様性に特化した独自のガイドラインや指針を策定しているか」については、建設･住宅･不動産分野で各社独自のガイドラインや指針を策定済みである傾向が高い。この分野は、開発事業を主たる事業主体としており、世間一般には生物多様性を減少させる自然破壊と結びつくイメージが強い。そのため、各社は生物多様性に配慮した活動を重点的にPRすることに注力し、実際に他の業界よりも先行した動きとした企業活動が現れているものと思われる。いずれの業界も日本経団連が定めた「日本経団連生物多様性宣言」推進パートナーシップの趣旨に賛同し、今後具体的な対策を展開する旨の記載が目立っており、今後独自のガイドラインを設定する業界や企業も増加するものと推測される。

項目②の「NPOなどの外部機関が実施する森林などの自然保護活動に協力しているか」ならびに項目⑤の「生物多様性に関連する各種認証を取得しているか」については、商業分野に関係する企業での取り組み割合が高い。自社内での取り組みよりも商品の原料となる調達元で活動する環境保護団体やNPOへの協力を実施されているものと思われる。また、生物多様性に配慮した生産システムによって生み出されたと認定された製品を取り

扱っている旨をうたった卸業者もあり、今後、そういった認定製品が市場へ出回る機会も増えてくるものと思われる。

項目③の「自社林･敷地内の生物多様性への配慮に関する独自の取り組みを行っているか」については、エネルギ業界が高い割合で取り組んでいる傾向にある。

エネルギー業界では、発電所などの広大な敷地を有している企業が多くを占めるため、この敷地を活用した取り組みを実践している結果と思われる。

項目④の「生物多様性に関連する枠組みへ参加しているか（企業と生物多様性イニシアティブなど)」については、各業界とも同程度の参加割合であった。「企業と生物多様性イニシアティブ」のHPによると、本枠組みの設立趣意（抜粋）は、「多様な企業が情報を共有し、国際的な視点に立って共同で生物多様性の保全に関する研究を進め、得られた成果を元に他の企業やステークホルダーと対話することにより、自社の取組レベルを高め、真に生物多様性の保全に貢献する取組を進めることを目指すべきである。」とされている。枠組みに入ることでの参画企業のメリットが明確に見出されれば、さらに多くの企業が加入する。上記の枠組みが今後、どのような展開を図るのか注目を集めている。

4.1.2 各業界と企業の生物多様性への取り組み事例

上記調査対象とした企業の活動を含めて、今後同業企業が参考となりうる事例や課題点を下記に示す。

1）建設･住宅･不動産

ハウスメーカーAでは住宅の骨格となる木材調達に独自の調達ガイドラインを設定し、違法伐採や生態系を大きく破壊する方法で産出された資材を調達先から排除すべく、社会的に公正で環境に配慮した形で供給される木材の利用を進めている。そのガイドラインでは、調達木材の合法性だけでなく、生物多様性の保全や伐採地の住民の暮らし、国内林業の活性化など、幅広い視点で10の調達指針を定めており、調達指針ごとの評価点の合計で木材をS、A、B、Cの4つの調達ランクに分類し、評価が高いSランクの木材を増やし、評価が低いCランクの木材を減らす方向で調達を進めている。

ハウスメーカーBでは、自社で実施した海外での植林活動が生物多様性にどのような影響を与えているかを現地大学や研究機関とともに調査している。国内の各業界で、植林活動を生物多様性への貢献活動としてPRする機会を頻繁に目にするが、その植林の当初目的が樹木生育に伴う二酸化炭素吸収効果を期待する活動が大部分を占め、植林した種が現地固有種に与える影響など多様性への配慮に欠けた活動も行われてきた。そのため、自社の植林が現地の生物多様性に与える影響を把握し、多様性に寄与する植林活動へ繋げていくことは重要である。

各建設会社では受注した案件の施工段階での生物多様性への配慮を示している。具体的には猛禽類の繁殖期の工事休止や希少植物の移植、照明や設備機器の配色についての事例があげられる。また、開発事業がその場の生態系に与える影響を独自に推定する技術を開発し、事業者へ生物多様性にも配慮した設計を提案するツールを整備しつつある。この推定技術の正確さが、事業者を納得させる内容となるかは、今後のデータの蓄積が重要となる。

2）エネルギー

電力会社が所属する電気事業者連合会では、2010年4月に「電気事業における生物多様性行動指針」を策定し、各電力会社はこの指針をもって生物多様性への対応を進めている。

その指針を受け、発電所の建設にあたっては、環境アセスメントを実施することで生物多様性に配慮することや、希少種の生息状況を調査し、専門家の指導を得ながら評価･保全に取り組むことなどを実施している。さらに発電所敷地内では、地域の生態系保全に配慮して緑地を設け、固有種や環境保全機能の高い常緑広葉樹、果実のなる樹木など多種類を選定して、地域の生態系保全に貢献する取り組みも実施されている。原子力発電所の建設計画に際しても、藻場や湿原への影響、陸生生物への影響などから複数案を比較検討し、最も環境への影響が少ない建屋配置を採用するなど、環境アセスにより一掃の注力を払っている。ガス会社もLNGなどを輸送するタンカーのバラスト水を公海上で排水するなど、海洋生物のバラスと水を介した移動に注意するとともに、企業敷地内での緑化や植林活動に注力している。

3）食品･医薬

食品業界では、その調達方法で、生物多様性に配慮した取り組みが求められ、「多様性保全」を盛り込んだ原材料調達指針が相次いで発表されている。これは先に記述した「ビジネスと生物多様性」でも警鐘された予期せぬ批判による不買運動を避ける狙いも大きい。

最近では、国際的な保護団体が、ある大手食品メーカーのチョコレート製品の調達が大規模な森林破壊に繋がっている旨の批判をするキャンペーンを行い、大規模な不買運動にまで至っている。結果、メーカーは原料の調達先を見直すことを余儀なくされた。

食品業界ならではの取り組みとして、ある清涼飲料メーカーが実施中の自動販売機を用いたヤンバルクイナの生態調査がある。自動販売機を定点観測の装置として利用し、個体数が減少し、国内の鳥類の中でも絶滅の危機に瀕しているヤンバルクイナの生態に関する基礎情報収集に役立てるものである。既に鳴き声の記録には成功し、現在はデータの解析中であるが、個体数回復を検討する重要なデータにつながる。データ記録媒体の電源の確保と定期的なデータの回収を自動販売機の稼働･製品補充と組み合わせた活動は、本業を活用した良い事例と言える。

PES：Payment for Ecosystem Services（生態系への支払い）を採用するビールメーカーもある。PESとは企業の利益の一部を投じて、生態系保全に役立てる方法であり、ビール1本（缶）当たり、1円を地域の自然や環境などの保全活動に寄付する活動も行われている。

また医薬業界に注視すると、インフルエンザ薬「タミフル」の八角という希少植物からの合成が広く知られるように、新規医薬品の開発を植物や微生物の遺伝資源の使用が盛んに行われて、開発による利益を得た場合には、遺伝資源として利用した植物や微生物の原産国（提供した国）への利益の公正な分配が求められている。原産国側との共存関係の構築が課題となる。

4）商業

小売業では、後述するMSC（海洋管理協議会）認証の魚を取り扱う事例や、化学肥料を使用せずに無農薬あるいは減農薬で栽培したことを売りにする米が売り上げを伸ばしている。農産物や水産物にも生物多様性に配慮した製品が増えており、流通量やラインナッ

プともに拡大の傾向である。

4.2　認証制度

ここで、上記の調査で調査対象の一つとしてあげた各種認証の内容を下記にとりまとめた。

1）FSC認証　http://www.forsta.or.jp/fsc/

FSC（Forest Stewardship Council：森林管理協議会）は、木材を生産する世界の森林と、その森林から生産された木材の流通や加工のプロセスを認証する国際機関である。森林保全や当該地域の利益に配慮し、継続可能な形で生産された木材に与える認証である。

このような森林から産出された木材や木材製品に独自のロゴマークを付け、認証済みの森林由来であることを保証し、ロゴマークの製品を幅広く流通させ、世界の森林保全へ向け森林管理者から木材や木材製品の消費者に至る関係者を一体化する取り組みである。

2）SGEC認証　http://www.sgec-eco.org/

SGEC認証はFSC認証と同様に森林認証システムであるが、本認証制度は日本の森林管理の特異性を考慮した日本独自の評価認証である。

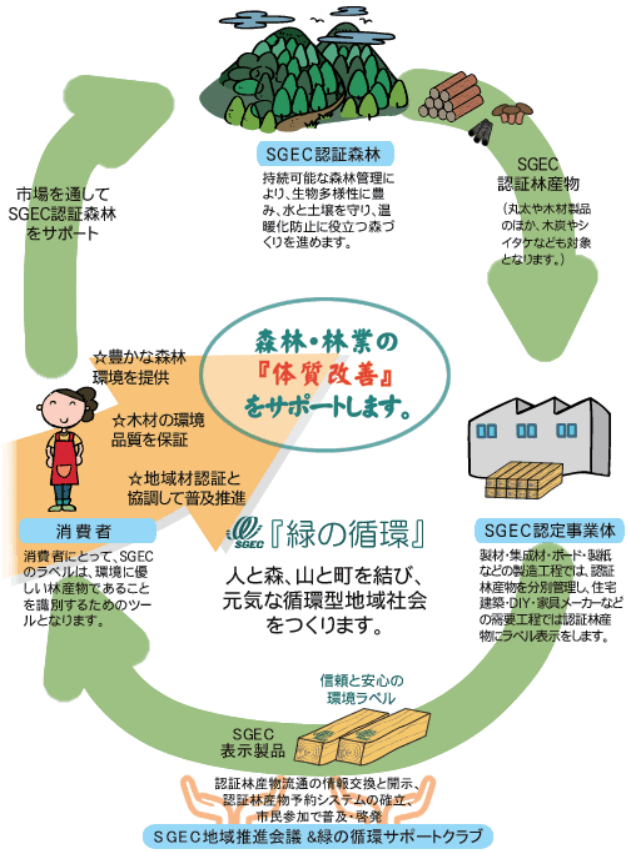


図4.2-1　SGEC認証概念

出典：SGEC「緑の循環」認証会議ウエッブサイトより

3）建設･住宅･不動産MSC認証　http://www.msc.org/jp

海洋管理協議会（MSC：Marine Stewardship Council）は、責任ある漁業を推奨する

非営利団体である。魚種資源の減少から増加への転換、漁業者の生計維持、世界の海洋環境の保全などを目指し、持続可能な漁業及び水産物のトレーサビリティーに関する認証を実施する。この漁業で獲られた水産物を流通から製造、加工、販売というサプライチェーンで認証を取得した企業が適切に管理することで、初めて海のエコラベル、すなわちMSCエコラベルを製品に付けることができる。

現在（2010年12月現在)、日本でMSC認証取得済みの漁業は、京都府機船底曳網漁業連合会のズワイガニ、アカガレイ漁業と、土佐鰹水産グループのカツオ一本釣り漁業がある。

4）J-HEP認証　http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/index.html

企業などを主な対象として、生物多様性の保全や回復に資する取り組みを定量的に評価、認証する制度であり、事業主体が申請するハビタット評価認証（ＪＨＥＰ）と工事受注者が申請する請負工事型ハビタット評価認証（ＣＨＥＰ）の２タイプの認証がある。

生物多様性という不明確かつ価値を正確に推し量ることのできない対象を前に企業として何ができるのかを検討する1つの手がかりとして、上記の認証制度についての取組みを検討することも有用ではなかろうか。

第５章　まとめ

生物多様性が低下する背景には、森林など生物の生息場の減少、外来種による生態系の喪失や撹乱、そして地球温暖化などがあることを1章で述べた。また2章で報告したように、名古屋で開催されたCOP10では2010年目標「生物多様性の損失速度を顕著に低下させる」がすべて未達成という結果に終わった。とくに難航した遺伝子資源へのアクセスや利益配分については、具体的なルール作りが今後の課題である。引き続き2050年（中長期目標）および2020年（短期目標）の目標が設定されており、今後もこれらの目標達成に向け、企業にも継続した生物多様性保全への取り組みが求められると考えられる。

5.1　「生物多様性保全」はビジネスチャンスになるか

パーム油はアブラヤシの果実から取れる植物油である。カップめん、チョコレート、冷凍食品、洗剤、シャンプーなど、原材料に「植物油」とあれば、ほとんどがパーム油でつくられる。コレステロールが少ないため**図5.1-1**に示すように人気があり、日本でも消費が多い。しかし、現在パーム油の資源の8割近くが集中する東南アジアでは、**図5.1-2**に示すようにアブラヤシのプランテーションが拡大している。近年、それが熱帯雨林を破壊する要因になっていると指摘されている。熱帯雨林は陸上の生物多様性の8割が集中する。このため、熱帯雨林を破壊する危険性のあるパーム油を使用した企業がその責任を問われた。責任を追及された企業は、原材料の調達先を徹底調査し、調達のガイドラインを作成するなどリスクマネジメントを積極的に行った。この事例からも生物多様性はビジネスにとって身近なことだとわかる。

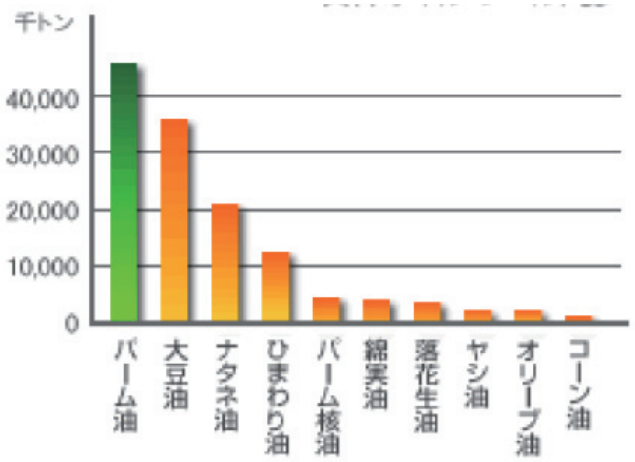


図5.1-1　世界の植物油生産量

出典：（社）日本植物油協

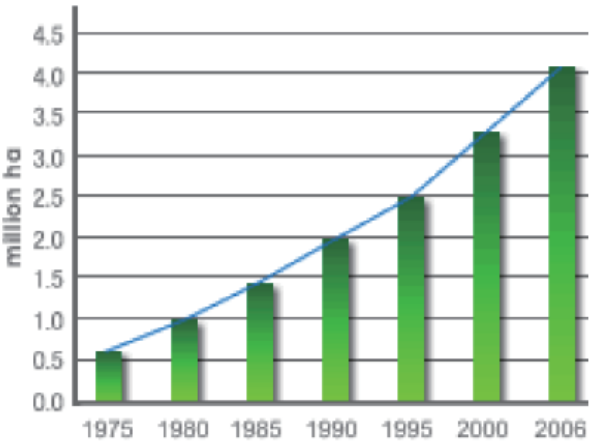


図5.1-2　マレーシアにおけるオイルパーム栽培面積の推移

出典：（社）日本植物油協

第３章、**第４章**では各企業の生物多様性保全への取り組みについて述べた。例えば、建設･住宅･不動産業界では、生態系の破壊につながらない独自の木材調達ガイドラインを設ける取り組みがあった。昨今、認証機関が保証する原料･材料、すなわち持続可能な形で

生産された原材料を利用する企業が増えており、今後も認証システムの拡大が予想される。

また、海域における生物多様性の問題ではバラスト水が知られる。バラスト水とは空荷の船舶が航行する際、船舶を安定させるために船腹に積む海水のことである。港に到着後に排水されるが、その際他の海域の生物も一緒に放出され、それら外来種が排出された海域の生態系を劣化させる。このため、IMO（国際海事機関）は2010年にバラスト水処理装置を搭載する条約を発行した。段階的に実施され、2017年以降は全外航船が適用対象となる。このように、製品だけでなくその流通にも生物多様性の問題は関わってくる。

原材料調達、生産、販売、物流などサプライチェーン全体で生物多様性保全に取り組み、イメージアップを図る企業も少なくない。例えば、大手家具店では資源の使用量を最低限にするデザインを採用し、製品の輸送回数を減らす工夫によりCO_2排出量を減らしている。こうした背景には、第２章で紹介された企業の生物多様性保全への取り組みを評価し、格付けする金融商品の出現も今後大きく関与する。

以上から、生物多様性保全への取り組みは、前向きなリスクマネジメントや新たな商品開発などとして展開できれば、ビジネスチャンスとなり得ると考えられる。

5.2　生物多様性をビジネスへ展開するためには

水泳競技でサメの肌に似せて作られた水着が人気を呼び、次々と記録を塗り替えたことは記憶に新しい。サメは高速で泳ぐのに適した体の形や肌の構造をもっている。これらは環境に適応しながら進化して得た多様化の賜物である。この他にも、音もなく飛び餌を捕るフクロウの飛行に着目し、その仕組みを新幹線のパンタグラフに活用して消音を図った例や、カワセミが音を立てずに水に潜ってエサを捕る様子から、そのくちばしを真似た新幹線の鋭い流線型が誕生し、トンネルへの進入時騒音の低減に成功した例などがある。今こうした生物の優れた構造や自然のシステムを真似するバイオミミクリーが注目されている。長い年月をかけた試行錯誤の末に選択された生物の構造や自然のシステムは、我々エンジニアにビジネスへのヒントを教えてくれる。まさに生物多様性は宝箱である。その意味においても、生物多様性の保全はきわめて重要である。

また、生物多様性は「つながり」の発想である。「つながり」をつき詰める第４章で取り上げた矛盾、違和感に突き当たるかもしれない。先に述べたように食品を原料までさかのぼったら、熱帯雨林の問題につながった。生物多様性の保全にはグローバルな視点が要求される。よって、これまで接点のないと思われた要素どうしが思わぬところでつながり、新たなビジネスに発展する可能性がある。

生物多様性の問題は身近な問題であり、遠い国の問題にもつながっている。生物多様性の問題解決のヒントは、生物多様性の中にあるかもしれない。サプライチェーンを生物多様性の「つながり」の発想で順に辿っていったとき、見過ごしていた課題が見つかる可能性がある。それこそが、生物多様性が我々に投げかけたメッセージかもしれない。

参考･引用文献

［第１章］

1) 生態系と生物多様性の経済学
http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/teeb/eco_teeb_jp.pdf
2) 農林水産省ウェブサイト
http://www.maff.go.jp/j/nousin/keityo/mizu_sigen/pdf/panf02_j.pdf
3) 国土交通省ウェブサイト
http://www.mlit.go.jp/common/000125815.pdf
4) 環境省生物多様性総合評価検討委員会ウェブサイト
http://www.biodic.go.jp/biodiversity/jbo/jbo/reports/allin.pdf#search='生物多様性総合評価報告書'
5) IPCC評価報告書ウェブサイト：http://www.ipcc.ch/pub/online.htm
6) 内嶋善兵衛：「＜新＞地球温暖化とその影響」裳華房、2005年5月
7) 環境白書：「環境･循環型社会白書」平成20年度版、環境省編、2008年6月
8) 朝日新聞：2010年9月24日記事
9)（財）エンジニアリング振興協会：平成21年度研究開発委員会エネルギー･環境研究部会報告書、平成22年3月
10) 中静 透：「温暖化が生物多様性と生態系に及ぼす影響」地球環境Vol.14 NO.212009（国際環境研究協会（社））

［第２章］

1) ECOJAPANウェブサイト
http://eco.nikkeibp.co.jp/article/column/20101203/105434/?P=2
2) SBI証券ウェブサイト
http://search.sbisec.co.jp/v2/popwin/info/connect/rfund/H64311108.pdf

［第３章］

1) 生物多様性条約第10回締約国会議支援実行委員会ウェブサイト
http://www.cop10.jp/aichi-nagoya/index.html
2) 積水ハウスウェブサイト「生物多様性の取り組み」
http://www.sekisuihouse.co.jp/biodiversity/index.html
3) WWFジャパンウェブサイト「特集生物多様性」
http://www.wwf.or.jp/biodiversity/
4) アニマルパスウェイ研究会ウェブサイト
http://www.animal-pathway.jp/index.html
5) 銀座ミツバチプロジェクトウェブサイト
http://www.gin-pachi.jp/

6) 鹿島ウェブサイト
http://www.kajima.co.jp/welcome-j.html
7) NPO法人ホタルのふるさと瀬上沢基金ウェブサイト
http://www.segamikikin.org/index.html

［第４章］
1) 日本財団CANPAN事務局ウェブサイト
http://blog.canpan.info/canpaninfo/archive/280
2) 日経BP 環境経営フォーラム　環境･CSR報告書大全2011（DVD－ROM）
3) 日経BP環境経営フォーラム：70の企業事例でみる生物多様性読本 COP10以降の世界を読み解く、平成22年10月
4) FSCジャパン ウェブサイト　http://www.forsta.or.jp/fsc/
5) SGEC「緑の循環」認証会議 ウェブサイト　http://www.sgec-eco.org/
6) 海洋管理協議会 ウェブサイト　http://www.msc.org/jp
7) 日本生態系協会ウェブサイト　http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/index.html

［第５章］
社団法人　日本植物油協会ウェブサイト
http://www.oil.or.jp/seisan/seisan02_01.html

あとがき

本調査研究にあたって文献、図書類を引用・活用させて頂いた。これらは各部ごとにまとめてリストとして掲載した。そして活動の一環として以下に示す現地訪問調査を行い、先方のご厚意により多大な効果が得られた。また、部会長退任を機に講師として講演会も開催した。

訪問調査させていただいた機関に感謝の意を表したい。

（調査・見学先）

平成22年10月22～23日、中部地区

1） 木曽自然休養林の炭素固定先進事例の現地調査

中部森林管理局所管の銘木産地である木曽谷の赤沢木材利用等展示エリアでは、間伐材等を有　効利用した山留工、河床工等を9年前（平成13年）に設置した。一定期間を経た現時点で、それら機能維持状況や劣化状況を確認することにより、炭素固定手法の一つとして木材を土木資材として用いた場合の有効性に関し現地調査を行った。

：木曽谷赤沢自然休養林および赤沢木材利用等展示エリア

（中部森林管理局　木曽森林管理署）

2） COP10白鳥地区、栄地区の現地調査

10月に名古屋で開催されたCOP10には、179の締約国、関連国際機関、NGO等から13,000人以上が参加した。これを機に生物多様性交流フェア、COP10情報発信ステーションinオアシス21の現地調査を行った。：白鳥地区、栄地区

（講演会）

1） 講演テーマ；「エンジニアリングの道44年間を振り返る」

－エンジニアリング振興協会での活動22年間を振り返る－

2） 講師・役職・氏名；エネルギー・環境研究部会・部会長

広島国際大学工学部 教授　広松　猛 様

3） 日時・場所；　平成23年2月18日（金）

16時00分～17時30分：エン振協 6－D・E会議室

最後に、厳しい企業環境下にもかかわらず参加メンバーが精力的かつ熱心に調査・研究に取り組み、価値のある成果を挙げられたことに対し、心から感謝申し上げます。同時に、これを側面より支援して頂いた会員会社の関係各位の皆様に厚くお礼申し上げます。

－都市と地域分野－

平成２２年度

低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業

技術戦略に関する調査研究報告書

－都市と地域分野－

目　　次

都市・地域研究部会名簿

まえがき…… 416

第Ⅶ部　都市・地域における水害被害の傾向と対策

第１章　調査研究の経緯…… 417

第２章　水害の事例と新たな対策の方向性について…… 418

2.1　洪水の種類について …… 418

2.2　21 世紀における我が国の水害予想 …… 421

2.3　昭和･平成における水害の変遷 …… 423

2.4　今年度（平成 22 年度）の水害事例 …… 427

2.4.1　7 月 5 日の東京都北部から埼玉県南部での豪雨について…… 427

2.4.2　7 月の梅雨前線豪雨による広島県西部・山口県の豪雨について…… 428

2.4.3　7 月 15 日から 16 日にかけての岐阜県八百津町･可児市の豪雨について…… 430

2.4.4　台風第 9 号による静岡県小山町東部･神奈川県山北町の豪雨について…… 432

2.4.5　10 月 18 日から 20 日にかけての鹿児島県奄美地方の豪雨について…… 434

2.5　近年の病院水害とその対策 …… 436

2.5.1　洪水災害の発生形態…… 436

2.5.2　洪水災害の危険度の判定方法…… 437

2.5.3　洪水災害の事前防止方法…… 439

2.5.4　まとめ…… 440

2.6　宮崎県耳川の現地調査 …… 441

2.6.1　現地調査概要…… 441

2.6.2　平成 17 年（2005 年）災害の概要…… 442

2.6.3　現地調査内容および所感…… 443

2.7　水害サミットに見る対策の現状 …… 447

2.7.1　第 6 回水害サミットの概要…… 448

2.7.2　今後の浸水被害軽減のため必要な対策…… 449

参考文献…… 451

第３章　水害 BCP（事業継続計画）の現状 …… 452
3.1　水害 BCP（徳島大学・中野教授へのヒアリング） …… 452
3.1.1　企業の BCP 策定 …… 452
3.1.2　水害と地震災害の違い …… 455
3.1.3　被害の実態 …… 456
3.1.4　水害時の企業と従業員の活動 …… 457
3.2　各種施設における事業継続計画(BCP)の取組み事例 …… 458
3.2.1　官庁施設の BCP の取組み …… 458
3.2.2　電気事業での BCP の取組み …… 460
3.2.3　都市ガス事業での BCP の取組み …… 461
3.2.4　水道事業および下水道での BCP の取組み …… 462
3.2.5　放送事業およびデータセンターでの BCP の取組み …… 462
3.2.6　企業による水害時の IT サービスの確保事例 …… 462
3.2.7　各施設での BCP への取り組みについてのまとめ …… 462
3.3　BCP に関する各種統計資料 …… 463
3.3.1　内閣府「企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査」 …… 463
3.3.2　東京商工会議所「災害･事故･感染症等対策（BCP）に関する
アンケート調査報告書」 …… 464
3.4　水害 BCP 策定のあり方についての検討 …… 466
3.4.1　はじめに …… 466
3.4.2　浸水の可能性判断 …… 467
3.4.3　水害被害想定 …… 469
3.4.4　水害対策の策定 …… 475
3.4.5　日常の水防活動の計画 …… 479
参考文献 …… 479

第４章　災害に対する損害保険の現状と課題 …… 480
4.1　兵庫県フェニックス共済へのヒアリング …… 480
4.1.1　共済会による保障制度 …… 480
4.1.2　フェニックス共済 …… 480
4.1.3　フェニックス共済の特色 …… 481
4.1.4　フェニックス共済の仕組み …… 481
4.1.5　フェニックス共済の概要 …… 482
4.1.6　フェニックス共済の現状 …… 483
4.1.7　フェニックス共済の今後 …… 485
4.2　社団法人日本損害保険協会へのヒアリング …… 485

4.2.1　ヒアリング実施概要……485
4.2.2　議事内容……485
4.3　マーシュブローカージャパン（株）へのヒアリング……488
4.3.1　水害の補償……488
4.3.2　水害・洪水に関する保険制度……488
4.3.3　国による洪水保険制度（米国の洪水保険制度）……488
4.3.4　民間による水害を対象とした保険……489
4.3.5　諸外国の保険の状況……490
4.4　水害に対する損害保険の課題……490
参考文献……491

第５章　地域における水害対策……492
5.1　熊本大学・大本教授へのヒアリング……492
5.1.1　「河川災害における住民の避難行動と地域水害リスクマネジメントの実践」‥492
5.1.2　文部科学省　安全･安心科学技術プロジェクト…… 494
5.2　群馬大学･片田教授の講演…… 497
5.2.1　巨大化する台風とゲリラ豪雨……497
5.2.2　海外の巨大化する熱帯低気圧……498
5.2.3　日本の水害と対策の問題点……498
5.2.4　水害対策の新しい対応……499
5.2.5　行政主導の防災の弊害、水害に過保護な国民性……500
5.2.6　内発的自助・共助による減災……500
5.2.7　まとめ……501
5.3　地域における水害対策の今後の方向性……501
5.3.1　我が国の防災･水害対策に関する現状……501
5.3.2　今回の調査で得られた水害対策の課題……503
5.3.3　今後の方向性……504
参考文献……504

あとがき……505

都市・地域研究部会委員名簿

部会長　宗守　信雄　大成建設㈱　土木営業本部　公共第二営業部　統括営業部長

Ｎｏ.		氏名	会社名	所属・役職
1	主査	塚原　正徳	日立造船㈱	営業企画部　技術情報グループ　グループ長
2	副主査	安田　雄一	東急建設㈱	建築総本部　建築本部　設備部　設備技術グループ
3	委員	石野　和男	大成建設㈱	技術ｾﾝﾀｰ　土木技術研究所水域・環境研究室 主事
4	委員	芝崎　良美	㈱竹中工務店	エンジニアリング本部 主任
5	委員	須賀　昌昭	㈱フジタ	技術センター　エンジニアリング部　主任研究員
6	委員	下矢　大介	三井住友建設㈱	土木本部　土木営業管理部　次長
7	委員	内藤　崇士	㈱明電舎	水･環境事業部　産業水処理推進部 事業推進課　課長代理
8	委員	箱田　裕子	大成建設㈱	土木営業本部　プロジェクト推進営業部

事務局　田中　俊博　(財)ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ振興協会　技術部　研究主幹

事務局　石瀬　俊明　(財)ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ振興協会　技術部　研究主幹

まえがき

近年、世界的な気候変動が深刻さを増しており、ドイツの大手再保険会社の調査によると 1990 年～2008 年に世界全体で発生した異常気象は 11,000 件を超え、直接的な影響による死者は 60 万人、損失額は 1 兆 7,000 億米ドル（約 153 兆円）にのぼっているとの報告がある。さらに 2010 年には 950 件の自然災害を記録し、このうち 9 割が暴風雨や洪水などの気象災害であり、経済損失は約 1,300 億米ドル（約 11 兆円）にのぼったとのことである。

日本においても 1990 年～2008 年に発生した異常気象により、直接的な影響による死者は 1,330 人、損失額は 419 億米ドル（約 3.8 兆円）にのぼっているとの報告があり、水害についても毎年のように大災害を蒙っている。

本研究部会では、近年の気候変動が都市･地域にどのような影響を与えているかに注目し、中でも水害をテーマに平成 20 年度･21 年度の 2 年間で「都市･地域における水対策と災害時のライフライン確保」の報告書をまとめた。

今年度からは、「都市･地域における水害被害の傾向と対策」をテーマに、水害の事例調査を継続する中で、産･学･官が行っている水害対策の事例や、BCP（事業継続計画）への取組み、災害に対する損害保険の現状を調査した。

調査研究概要を以下に記す。

① 水害事例と新たな対策に関する調査
今年度のトピック的水害事例の調査、宮崎県耳川の現地調査、水害サミットに見る対策の現状調査、病院水害と対策に関する調査

② 水害 BCP（事業継続計画）の現状調査
徳島大学･中野教授へのヒアリング、各種施設における BCP 取組み事例調査

③ 災害に対する損害保険の現状調査
兵庫県フェニックス共済へのヒアリング、（社）日本損害保険協会へのヒアリング、マーシュブローカージャパン（株）へのヒアリング

④ 水害における住民の安全確保に関する調査
熊本大学･大本教授へのヒアリング、群馬大学･片田教授の講演会開催と意見交換

本調査研究は平成 22 年度･平成 23 年度の 2 年間の計画であるが、今年度の成果を踏まえ 2 年目となる平成 23 年度は水害に対する備えについて、エンジニアリング的観点から解決策を含めた提言をまとめたい。

平成 23 年（2011 年）3 月　都市･地域研究部会長　宗守信雄

第Ⅶ部 都市・地域における水害被害の傾向と対策

第１章　調査研究の経緯

都市・地域研究部会が担当した「都市・地域における水害被害の傾向と対策」の経緯は以下のとおりである。

1)　部会総会の開催

第１回	平成 22 年 5 月27日（木）
第２回	平成 23 年 3 月24日（木）

2)　ＷＧの開催

第１回	平成 22 年 5 月27日（木）
第２回	平成 22 年 6 月22日（火）
第３回	平成 22 年 7 月22日（木）
第４回	平成 22 年 8 月19日（木）
第５回	平成 22 年 9 月16日（木）
第６回	平成 22 年10月21日（木）
第７回	平成 22 年11月18日（木）
第８回	平成 22 年12月17日（金）
第９回	平成 23 年 1 月21日（金）
第10回	平成 23 年 2 月17日（水）
第11回	平成 23 年 3 月 3 日（水）

3)　現地調査・ヒアリングの実施

平成 22年 8 月25日（水）	徳島大学　中野教授
平成 22年 8 月26日（木）	兵庫県フェニックス共済
平成 22年10月20日（金）	（社）日本損害保険協会
平成 22年11月18日（木）	熊本大学　大本教授
平成 22年11月19日（金）	宮崎県　耳川現地調査
平成 23年 1 月19日（水）	マーシュブローカージャパン（株）

4)　講演会の実施

平成 22年12月17日（金）　講師　群馬大学　片田教授

演題　「水害に対する住民の災害情報理解と避難行動について」

第２章　水害の事例と新たな対策の方向性について

2.1　洪水の種類について

水害とは、大雨等による河川の氾濫、高潮や津波等による氾濫によりもたらされる個人的･社会的被害を総称して水害という。また、水害を制御することを治水という。

洪水とは、大雨や雪解け等により河川の水位や流量が急激に増大することにより、または河道から氾濫することをいい、洪水を外水氾濫ということもある。これは、平野を流れる主要河川の水を外水、その河川の堤防の内側（平野側）の水を内水と呼ぶことから、主要河川の氾濫を外水氾濫と呼んでいる。

1）河川の氾濫

河川の氾濫は、背後地の地形や氾濫外力の規模に応じて次の 3 種に分類されている。

① 流下型氾濫

・山間部を流下する河川で、背後地は河川沿いに急な勾配を持っており、そのため氾濫水が河川に沿って流下する形態をとる。したがって、氾濫水位は河川の縦方向に勾配を持つ。

・谷底平野などで、氾濫原の勾配が大きい、または平地面積が小さい氾濫原で見られる。高水深、高流速で氾濫水が流下する場合が多く、家屋が流出するほどの大きなエネルギーが発生する場合がある。

・例えば、山間部の土石流やダムや堤防の決壊により、一気に大量の土砂や水が襲う氾濫で、警報から避難まで時間が間に合わない場合があり、家財の移動や搬出もできないことや、避難の遅れによる人的被害も発生する。押し寄せる水量も激しく、家屋や家財を一気に押し流すこともあり、激しい場合は、激流により家財道具もゴミも何もかも押し流され、水が引いた後は何も残らない状況もあり、復旧に関しては家屋の建て直しを含む、長期の復旧期間が必要となる。

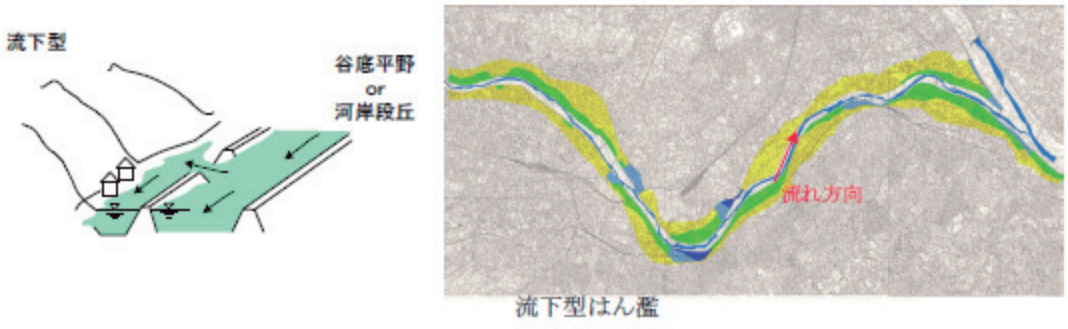


図 2.1-1　流下型氾濫

出典：国土交通省河川局治水課「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」p.14[1)]

② 貯留型氾濫

・盆地等の閉鎖された流域を持つ河川、背後地の氾濫原は、山地や高地、盛土等で包囲され、氾濫水が拡散せず貯留する形態をとる。従って、限定された範囲内に貯留するもので、氾濫原の水位勾配はほとんどないものとなる。

・氾濫域が丘陵か自然堤防帯等で囲まれているような地域で見られる。湛水時間は比較的長いものとなる。

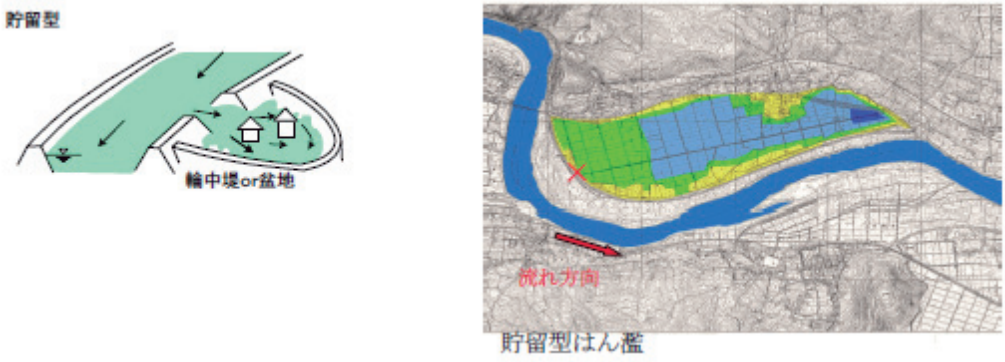


図 2.1-2　貯留型氾濫

出典：国土交通省河川局治水課「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」p.14[1)]

③ 拡散型氾濫

・平野部や低平地を流下する河川にみられ、背後地が主に低平地で形成され、氾濫水が広く拡散していく形態をとる。

・自然堤防帯、デルタ等の低平地面積が広い氾濫原で見られ、氾濫水が広い範囲で拡散する。破堤部周辺以外では流速は比較的遅い。

・特に、扇状地の河川は、河床勾配が急であることから流れのエネルギーが大きく低い水位でも河岸の浸食･洗堀破堤による氾濫が起きやすく、扇状地を氾濫原として、氾濫流は地形勾配に応じて速い流速で流れるため、到達時間も短く避難を困難にする場合が多い。

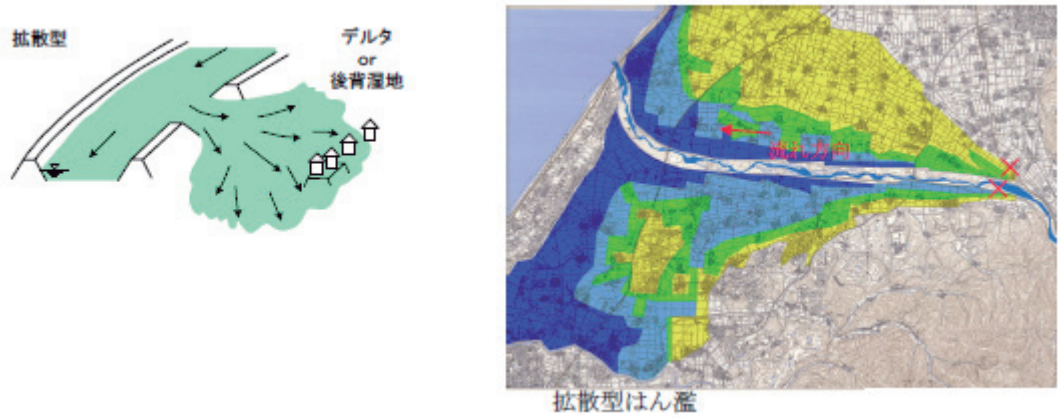


図 2.1-3　拡散型氾濫

出典：国土交通省河川局治水課「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」p.14[1)]

2）内水氾濫

内水氾濫とは、平野の平坦地等に強い雨が降ると、雨水がはけきらずに低部に溜まる現象をいう。また、排水用水路や小河川が水位を増して周囲に溢れ出す場合や、台地や丘陵内の小河川が谷底低部地内に氾濫する場合も内水氾濫という。内水氾濫による水害が問題になっているのは、都市とその周囲の市街地域内で発生する内水氾濫（都市型水害）で、都市化、市街化されるとその地域の雨水貯留能力が大きく低減することに起因する。具体的には、屋根の占める面積の増加や整地、路面舗装、側溝整備が降雨の貯留能力を低下させ、内水氾濫を助長させる結果となっている。

一方、これまでの都市の市街化は、高地の高地価と用地難を避けて、本来遊水地として残しておくべき地価の安い低湿地に開発が集中したことも、被害を大きくしている要因とも見なされている。従って、内水氾濫が生じやすい地形は、平野の中のより低い箇所である背後低地、旧河道、旧沼沢地、砂州や砂丘によって排水路の下流側が塞がれた海岸低地や谷底低地、昔の潟を起源とする凹状低地、市街地化が進んだ丘陵･谷地内の谷底低地、台地面上の凹地や浅い谷、地盤沈下地帯、ゼロメーター地帯、干拓地等が該当する。

3）高潮

高潮とは、台風により気圧が低くなるため海面が吸い上げられたり、海面が強風で吹き寄せられたり、湾内の海面が普段より数 m も高くなる現象をいう。湾口を南にもつ内湾に沿って台風が北上する場合に発生する。高潮による海面上昇が堤防より高くなると、その付近の低地に浸水被害をもたらす。

4）複合洪水

複合洪水とは、同時に複数の浸水要因による浸水を指し、洪水ハザードマップ作成において、次のようなケースの検討が推奨されている。

① 洪水と併せて内水による浸水が発生する場合

現在、浸水が発生する要因の多くは内水によるものであり、危険度は破堤などによる外水氾濫に劣るものの、内水による浸水が先行して発生する可能性が高く、外水による危険度が高まった段階において、既に道路等の冠水により避難が困難な状況となることが想定される。

② 平野部で隣接する河川と氾濫原が重複する場合

平野部で隣接する河川は流域自体も隣接しており、同時に洪水が発生することが想定される。

③ 本川と支川で同時に洪水が発生する場合

水系全体から本川と支川で同時に洪水が発生することが想定される。

④ 洪水と高潮が同時に発生する場合

これまで台風の上陸が多くの洪水と高潮を同時に発生させてきたことによる。

2.2　21 世紀における我が国の水害予想

地球温暖化の気候変化や大都市のヒートアイランド現象の進行により、21 世紀における我が国の水害については、次のように想定される。

1）台風の大型化　→　主要河川の洪水、巨大高潮の発生 2）集中豪雨の多発化とピーク降雨量の増加　→　中小河川の洪水増加 3）都市ヒートアイランド現象の進行　→　都市型水害の増加

1）台風の大型化

平成 17 年（2005 年）米国で犠牲者 1,800 人以上、避難者約 130 万人を出した巨大ハリケーン･カトリーナの高潮被害では、地球温暖化が影響しているとの指摘や、その後の平成 21 年の名古屋大や気象庁等の研究グループから 21 世紀後半には、風速 80m のスーパー台風の襲来予測等が発表されている。近年世界的に大規模な水害が発生している現況から大水害発生に対する社会の関心が高まっている。

国交省は、このような世情を受けて、平成 18 年「大規模水害対策に関する専門部会」を設置し、平成 22 年 4 月に、首都圏を対象に利根川や荒川の堤防が決壊した場合や東京湾において大規模な高潮が発生した場合の氾濫シミュレーション結果と講ずべき水害対策を発表している。そのうちの被害想定の一例を抜粋して**表 2.2-1** に示す。

表 2.2-1　首都圏巨大洪水と巨大高潮の被害想定

	利根川右岸氾濫	荒川右岸氾濫	東京湾高潮氾濫
浸水面積(km²)	約 530	約 110	約 280
浸水区域内人口	約 230 万人	約 120 万人	約 140 万人
死者数	約 2,600 人	約 2,000 人	約 7,600 人
最大孤立者数	約 110 万人	約 86 万人	約 80 万人

出典：中央防災会議、「大規模水害対策に関する専門調査会」報告（H22.4）[2)]

2）集中豪雨の多発化とピーク降雨量の増加

地球温暖化が進むと、大気中に含まれる水蒸気の量が増加し、そのような環境下では、雨はより大雨となり、集中豪雨も増加すると予測され、我が国においても、大雨の頻度は増加しており、これは気温上昇や観測された大気中の水蒸気量の増加と一致しているとされている。特に、日降水量 200mm 以上の大雨の発生回数は、特に夏や秋を中心に、長期的な傾向にあり、最近 30 年間と 1900 年代初頭の 30 年間を比較すると 200mm 以上の大雨の日数は約 1.4 倍に増加したとされている。大雨の出現数の長期的な増加傾向は、地球温暖化が影響していることを実証している。

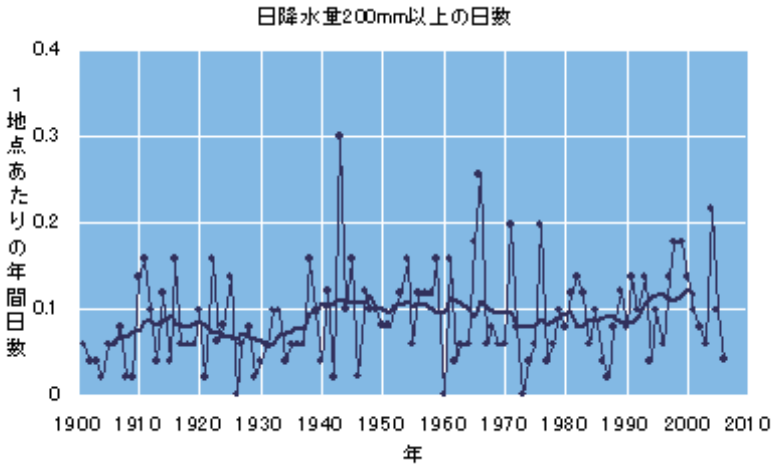


図 2.2.-1　日降水量 200mm 以上の日数

出典:気象庁 HP[3)]

また、同様に短時間強雨の発生回数は、ここ 30 年間で増加傾向を示しており、一例として、1 時間降水量 50mm 以上の発生回数を図 2.2-2 に示す。

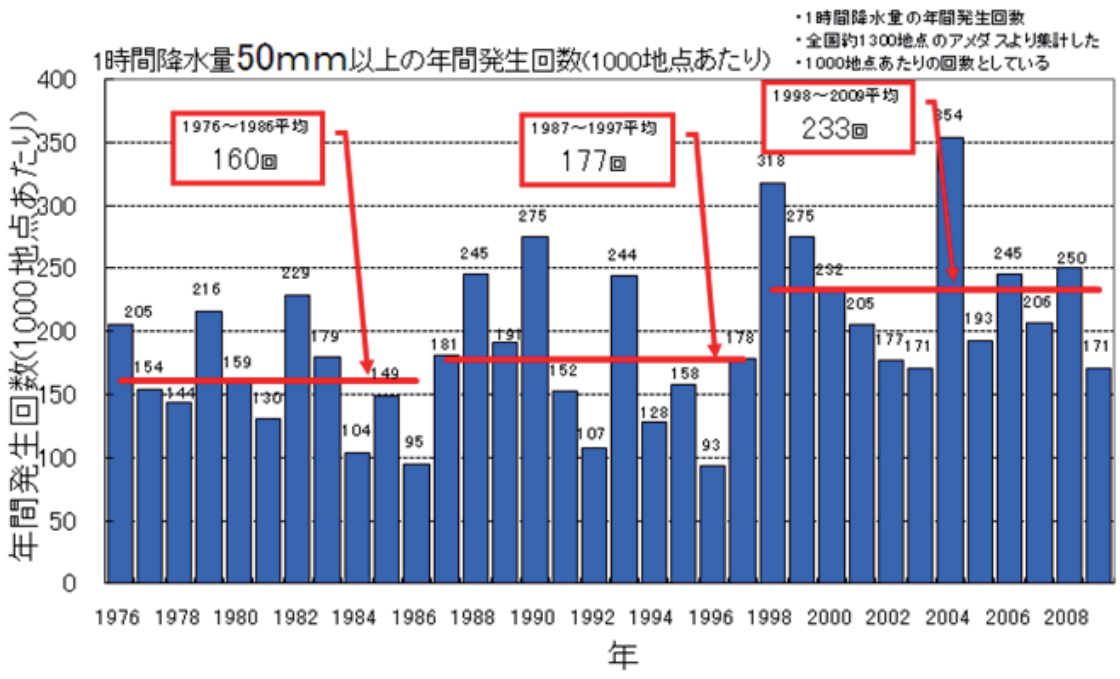


図 2.2-2　アメダスでみた 1 時間降水量 50mm 以上の発生回数

出典:気象庁 HP[3)]

一方、中小河川の治水施設の整備にはまだ時間がかかり、施設の整備途上で水害が発生するというリスクが常に存在していることになる。

3）都市ヒートアイランド現象の進行

地球温暖化によらず、都市部においては、夏期、10km 四方程度の局所的地域で 1 時間当たり 100mm を超えるような猛烈な雨が降り、降雨は 1 時間程度の短時間という降雨現象が平成 12 年に入ると顕在化してきた。これを都市豪雨（ゲリラ豪雨）と呼び、従来の 2）型の集中豪雨とはタイプを異にしたもので、ヒートアイランド現象と局地的な風によって、極めて強力な積乱雲が短時間に発生し、大雨を短時間に降らすものと考えられている。

一方、都市の下水の計画水量は、1 時間降水量 50mm 程度を想定しているため、これを超える雨量では短時間であっても処理しきれず都市型洪水を発生させる要因となっており、都市部における新たな治水施設の整備が社会問題化してきている。

2.3 昭和・平成における水害の変遷

現代(昭和･平成)の約 1 世紀における水害の変遷を調べるべく、この間に発生した主要な水害を抽出し、その被害概要を**表 2.3-1** に整理した。その結果は次のように要約される。

① 第二次世界大戦を挟んだ昭和初期から昭和 30 年代後半までの水害は、一部豪雨も含むが、ほとんどが台風によるものであったことが大きな特徴であり、昭和 9 年の室戸台風から昭和 34 年の伊勢湾台風までの主要な水害について､その被害総数は次のとおりとなる。

・死者･行方不明者総数	22,872 名
・家屋全･半壊総数	839,459 棟
・浸水家屋総数	3,202,079 棟

この被害値は、当時の日本経済に大きな影響を与えたことがうかがえる。この時代の水害は、我が国の人口が集中する沿岸デルタ地域での台風の高潮や主要河川の増水による大規模洪水で、当時の貧弱な治水設備に起因するものであった。

また、この時期並行して河川･海岸の堤防やダム等の治水設備の整備が進んだ結果、昭和 40 年代以降になると台風による大型水害から台風や集中豪雨による治水整備の遅れた中小河川の洪水による水害へと小型化するとともに、主要な水害の発生場所も沿岸地域から内陸部へと広がってきている。

② 昭和 40 年以降 45 年間の主要な水害について､その被害をまとめると次のとおりとなる。

・死者･行方不明者総数	989 名
・家屋全･半壊総数	16,788 棟
・浸水家屋総数	1,181,539 棟

この被害値は、昭和前半の室戸台風から伊勢湾台風の時代に比べて、死者･行方不明者総数で 4%まで､家屋全･半壊総数 2%まで激減しているが､浸水家屋総数については 37%減に留まっており、浸水家屋が被害の主流となってきている。特に、中小河川は、流域面積が小さく河川延長も短いことから、洪水到達時間が短く、局地的豪雨が発生した場合、急激に河川水位が上昇し、氾濫に至ることもあり、河川施設の操作や避難活動が間

に合わない事態も発生している。

③ 特に近年、局地的豪雨（ゲリラ豪雨）による都市部における新しい水害（都市型水害）がクローズアップされてきている。都市部では地面が道路舗装やコンクリート地盤で覆われているため、降った雨が地中にしみ込まず、大部分が直ちに河川へ流れ込む。このため強い雨が短時間に降ると河川の水位が急速に上がって洪水が発生する。さらに、下水道、用水溝でも排水能力が不足したり、増水した河川から逆流が生じたりして洪水が発生している。これには、地球温暖化現象や都市のヒートアイランド現象が都市部での局地的豪雨の発生に寄与しているとの指摘もある。

表 2.3-1　昭和・平成の主な水害リスト

平成 22 年（2010 年）：
・10/28：奄美大島豪雨、日雨量 620.5mm を記録、住用川氾濫、死者 2 名 ・7/5：梅雨前線豪雨、東京北部で局地豪雨、石神井川氾濫、タバコ数億円被害 ・7/15：梅雨前線豪雨、岐阜県可児市･可児川氾濫、死者･行方不明 3 名、大型トラック 28 台流失 ・2/28：チリ地震による津波、三陸沿岸地域の養殖筏等に被害
平成 21 年（2009 年）：
・8/9：台風 9 号による豪雨、兵庫県佐用町、佐用川氾濫、死者･行方不明者 26 名、家屋全壊･半壊 920 棟、浸水家屋 897 棟
平成 20 年（2008 年）：
・8/29：集中豪雨、愛知県岡崎市で伊賀川等 9 河川が氾濫、死者 2 名、浸水家屋 2,500 棟 ・8/6：集中豪雨、大阪府枚方市･寝屋川市で浸水家屋 2,085 棟 ・7/28：集中豪雨、神戸市都賀川で水位急上昇(鉄砲水)、死者 5 名、浸水家屋 8 棟 ・7/28：集中豪雨、金沢市浅野川氾濫、浸水家屋 2,682 棟
平成 19 年（2007 年）：
・8/11：豪雨、那覇市安里川氾濫、牧志 3 丁目冠水、水深 1m、浸水家屋 112 棟
平成 17 年（2005 年）：
・9/6：台風 14 号による豪雨、宮崎県の大淀川、五ヶ瀬川、小丸川流域で浸水、死者 13 名、家屋全壊･半壊 4,352 棟、浸水家屋 4,381 棟
平成 16 年（2004 年）：
・9/29：台風 21 号･秋雨前線豪雨、兵庫県相生市矢野町の千種川支流矢野川･榊川決壊、死者･行方不明者 27 名 ・7/18：福井県北部豪雨、足羽川等破堤、死者･行方不明者 5 名、家屋全･半壊 138 棟、浸水家屋 10,871 棟
平成 14 年（2002 年）：
・7/9：台風 6 号豪雨、岐阜県大垣市で大谷川洗堰越水による内水氾濫、浸水家屋 551 棟
平成 13 年（2001 年）：
・9/2：種子島豪雨、島内河川氾濫、死者･行方不明者 2 名、全壊 8 棟、浸水家屋 70 棟
平成 12 年（2000 年）：
・9/11-13：東海豪雨(名古屋市中心都市型水害)、死者 10 名、家屋全･半壊 203 棟、浸水家屋 69,837 棟
平成 11 年（1999 年）：
・9/24：台風 18 号、熊本県不知火町松合地区で高潮、12 名死亡、山口宇部空港高潮

	のため堤防決壊による閉鎖、広島・厳島神社の国宝左門客殿倒壊 ・9/14：台風 16 号豪雨、岐阜県白鳥町で長良川左岸 100m 決壊、浸水家屋 360 棟 ・9/6：兵庫県南東部局地的豪雨、兵庫県山南町で岩屋川、柏原町で柏原川の堤防決壊 ・7/21：関東局地的豪雨、練馬区で時間降雨 108mm 記録、新宿区西落合 3 丁目でマンション地下室浸水、1 名死亡、東京、埼玉、神奈川で床上浸水多数発生 ・7/15：北海道･東北･関東豪雨、宮城県鹿島台町鶴田川越水破堤氾濫 ・6/末：梅雨前線豪雨、福岡市御笠川溢水氾濫、ビル地下室浸水、1 名死亡、神戸市新湊川溢水氾濫
平成 10 年（1998 年）：	
	・8/末：平成 10 年 8 月末豪雨(那須豪雨)、阿武隈川氾濫、栃木県那須町余笹川等氾濫、死者･行方不明 24 名、家屋全･半壊 257 棟、浸水家屋 14,847 棟
平成 9 年（1997 年）：	
	・9/14：台風 19 号、宮崎県延岡市北川町で五ヶ瀬川水系北川氾濫、浸水家屋 1,900 棟
平成 7 年（1995 年）：	
	・7/11：北信･上越梅雨前線豪雨、上越地方と長野県北部を中心として河川の氾濫、行方不明 1 名、家屋全･半壊 53 棟、浸水家屋 160 棟
平成 6 年（1994 年）：	
	・9/22：宮城県水害、負傷者 2 名、家屋全･半壊 18 棟、床上浸水家屋 3,565 棟
平成 5 年（1993 年）：	
	・8 月(8/1・8/6)鹿児島豪雨による土砂災害、甲突川氾濫等、死者 71 名、家屋全･半壊 645 棟、浸水家屋 16,433 棟
平成 2 年（1990 年）：	
	・9/16：台風 19 号豪雨、死者･行方不明 44 名、家屋全･半壊 1,056 棟、浸水家屋 66,362 棟
昭和 58 年（1983 年）：	
	・7/20：山陰豪雨、山口･広島･島根 3 県、土石流と洪水氾濫、死者･行方不明 112 名、家屋全･半壊 2,920 棟、浸水家屋 15,672 棟
昭和 57 年（1982 年）：	
	・7/23：昭和 57 年 7 月長崎豪雨、土石流と河川氾濫、死者･行方不明 299 名、家屋全･半壊 1,538 棟、浸水家屋 37,107 棟
昭和 56 年（1981 年）：	
	・8/6：石狩川水害、越水洪水、死者 3 名、浸水面積 614k ㎡、浸水戸数 22,500 戸
昭和 51 年（1976 年）：	
	・7/14：台風 17 号(雨台風)、岐阜県安八町で長良川堤防決壊、死者･行方不明 171 名、家屋全･半壊 5,347 棟、浸水家屋 534,495 棟
昭和 49 年（1974 年）：	
	・9/1：台風 16 号(多摩川水害)、狛江市で多摩川堤防 260m 決壊、家屋 19 棟流失、浸水家屋 1,270 棟
昭和 47 年（1972 年）：	
	・7/3-13：7 月豪雨、愛知県中心の集中豪雨、死者･行方不明 64 名、家屋全･半壊 3,666 棟、家屋浸水 414,362 棟
昭和 43 年（1968 年）：	
	・8/18：飛騨川豪雨、観光バス 2 台飛騨川に転落、104 名死亡
昭和 36 年（1961 年）：	
	・6/23-7/5：梅雨前線豪雨(三六災害)、長野県南部天竜川流域での河川氾濫と土砂災

	害、死者･行方不明 357 名、家屋全・半壊 3,666 棟、家屋浸水 4 14,362 棟
昭和 35 年（1960 年）:	
	・5/24：チリ地震津波、三陸沿岸中心に被害、死者･行方不明 142 名
昭和 34 年（1959 年）:	
	・9/27：伊勢湾台風、東海中心に被害、高潮と河川氾濫、死者･行方不明 5,098 名、家屋全･半壊 149,187 棟、家屋浸水 157,858 棟
昭和 33 年（1958 年）:	
	・9/27：狩野川台風、死者･行方不明者 1,269 名、家屋全･半壊 16,743 棟、浸水家屋 521,715 棟
昭和 32 年（1957 年）:	
	・7/26：諫早水害、長崎県諫早市を中心の集中豪雨、死者･行方不明者 782 名、家屋全･半壊 3,956 棟、浸水家屋 30,564 棟
昭和 29 年（1954 年）:	
	・9/27：洞爺丸台風、北海道中心に被害、死者･行方不明者 1,761 名、家屋全･半壊 207,542 棟、浸水家屋 103,533 棟
昭和 28 年（1953 年）:	
	・9/22-26：台風 13 号、近畿中心に被害、高潮：三重・愛知、死者 116 名、家屋全･半壊 8,148 棟、浸水家屋 101,427 棟、淀川水系洪水：京都･大阪、死者 145 名、家屋全･半壊 69,340 棟、浸水家屋 163,788 棟 ・7/16-24：南紀豪雨、和歌山県中心に被害、死者･行方不明 1,124 名、家屋全壊･半壊 13,523 棟、浸水家屋 86,479 棟 ・6/25-30：西日本水害、九州北部を中心とした集中豪雨による筑紫川等の氾濫、死者･行方不明 759 名、家屋全･半壊 33,029 棟、浸水家屋 453,193 棟
昭和 26 年（1951 年）:	
	・10/14-16：ルース台風、山口県中心に被害、死者･行方不明者 943 名、家屋全･半壊 72,664 棟、家屋浸水 138,273 棟
昭和 25 年（1950 年）:	
	・9/3-5: ジェーン台風、四国、近畿中心に被害、死者･行方不明 539 名、全･半壊 120,923 棟、床上床下浸水 402,076 棟
昭和 24 年（1949 年）:	
	・8/30-9/2：キティ台風、関東中心に被害、高潮･河川氾濫、死者･行方不明 160 名、家屋全･半壊 17,023 棟、家屋浸水 144,060 棟
昭和 23 年（1948 年）:	
	・9/15-18：アイオン台風、東北中心に被害、北上川氾濫、死者･行方不明 838 名、家屋全･半壊 18,017 棟、家屋浸水 120,035 棟
昭和 22 年（1947 年）:	
	・9/13-16: カスリン台風、利根川・荒川破堤、埼玉･東京大水害、死者･行方不明 1,930 名、家屋全･半壊 9,298 棟、家屋浸水 384,748 棟
昭和 20 年（1945 年）:	
	・9/17-18：枕崎台風、広島中心に被害、死者･行方不明 3,756 名、家屋全･半壊 1,954 棟
昭和 13 年（1938 年）:	
	・7/2-5: 阪神大水害、集中豪雨、土石流と河川氾濫、死者 616 名、家屋全･半壊 10,066 棟、家屋浸水 79,652 棟
昭和 9 年（1934 年）:	
	・9/21：室戸台風、大阪中心に風･高潮被害、死者･行方不明 3,036 名、家屋全･半壊 88,046 棟、家屋浸水 401,157 棟

（kasen.net 日本の災害 HP をベースに作成）

2.4　今年度(平成 22 年度)の水害事例

2.4.1　7 月 5 日の東京都北部から埼玉県南部での豪雨について

7 月 5 日の午後 5 時頃から午後 9 時頃にかけて、東京都北部から埼玉県南部の地域に局地的な非常に激しい雨が降った。

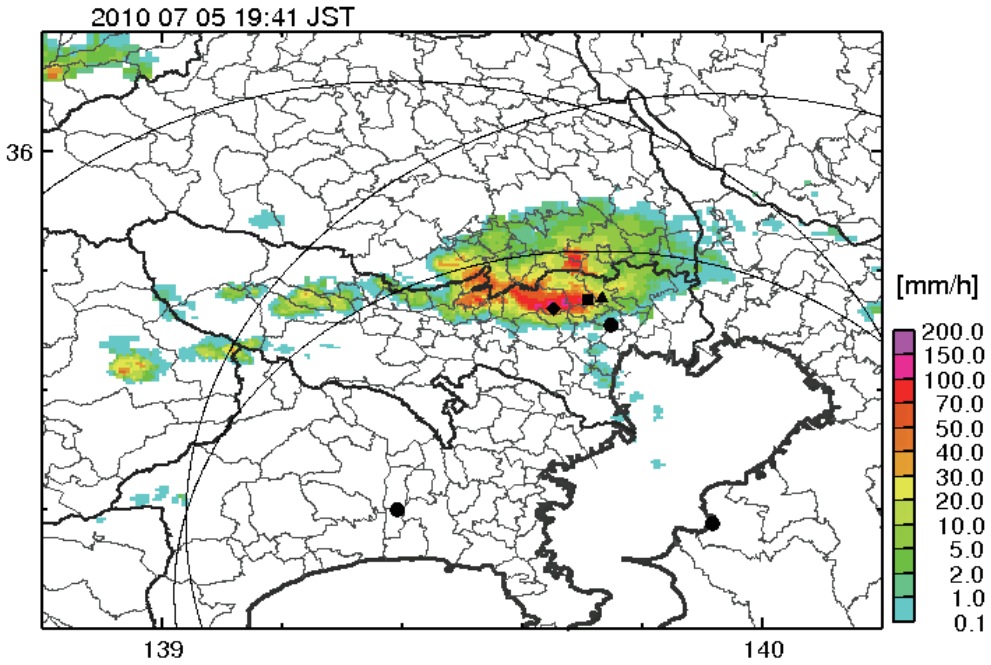


図 2.4.1-1　X-NET 観測領域における雨量分布
（◆、■、▲のマークは、練馬区、板橋区、北区の位置を示す）

出典：(独)防災科学技術研究所 WEB 水・土砂防災研究部、http://mizu.bosai.go.jp/[4)]

図 2.4.1-1 は防災科学技術研究所の 2 台のレーダーと、X-NET(注)に参加している防衛大学校の X バンドドップラーレーダーの情報から推定した雨量分布の時間変化である。東京都西部で発生した雨域が、東進しながら東京都北部に強い雨をもたらした。また午後 5 時半頃より、その南側で発生した積乱雲が雨域に合流し、午後 7 時から午後 9 時頃にかけて、非常に強い雨域が練馬区、板橋区、北区を通過し、その後雨域は、東京都、千葉県、埼玉県の県境付近で急激に弱まり消滅した。

（注）X-NET （首都圏 X バンド気象レーダネットワーク）は首都圏の大学・研究機関の X バンドの研究用の気象レーダーによる観測ネットワークで、防災科学技術研究所の 2 台の MP レーダー、防衛大学校、中央大学、日本気象協会のドップラーレーダーで構成されている。

図 2.4.1-2 は、防災科学技術研究所のマルチパラメータレーダーで観測した 7 月 5 日午後 4 時からの 24 時間雨量の分布である。総雨量分布によると、氾濫のあった石神井川に沿って大きな雨量が観測された。

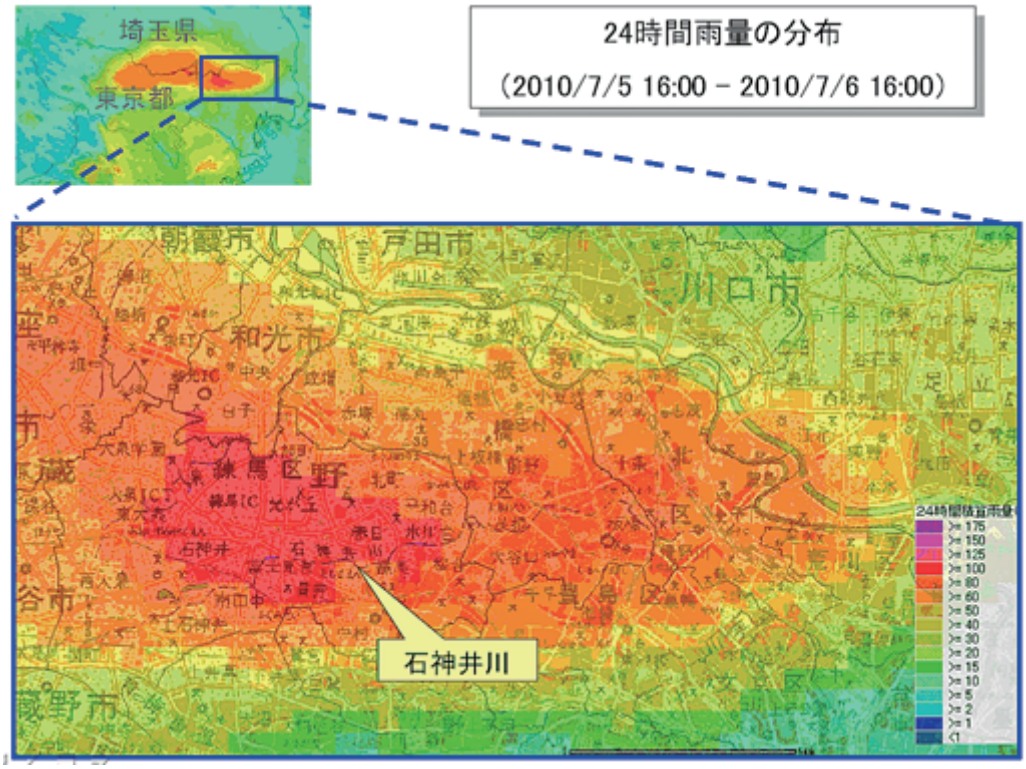


図 2.4.1-2　7 月 5 日午後 4 時からの 24 時間雨量の分布

出典：(独)防災科学技術研究所 WEB 水・土砂防災研究部、http://mizu.bosai.go.jp/[4)]

東京都板橋区では、午後 8 時半までの 1 時間降水量が 107mm に達し、練馬区や板橋区、北区などで、道路冠水や浸水被害が発生した。北区堀船地区では石神井川の水があふれ、幹線道路が一時通行止めになった。

東京都の 6 日午後 5 時現在のまとめでは、建物への浸水は 8 区市の計 194 棟で、このうち床上が 102 棟。区市別では、練馬区 92 棟、北区 55 棟、板橋区 20 棟、立川市 9 棟などだった。道路は 69 カ所で冠水し、あきる野市の 1 カ所でがけ崩れが発生した。

2.4.2　7 月の梅雨前線豪雨による広島県西部・山口県の豪雨について

7 月 10 日から 14 日にかけて、西日本に停滞する梅雨前線に向かって南から湿った気流が流れ込んだため、前線の活動が活発となり、7 月 10 日 20 時から 7 月 14 日 24 時までの総降水量は多い所で 450mm を超える大雨となった。特に前線が中国地方を南下した 12 日朝と前線上を低気圧が東進した 13 日夜から 14 日朝にかけては、1 時間に 40mm を超える激しい雨が降ったところがあった。

広島県北広島町吉木では、累積雨量 430mm（7 月 12 日 17 時～16 日 7 時）、時間雨量 67mm（7 月 14 日 6 時～7 時）を記録した。（**図 2.4.2-1**）

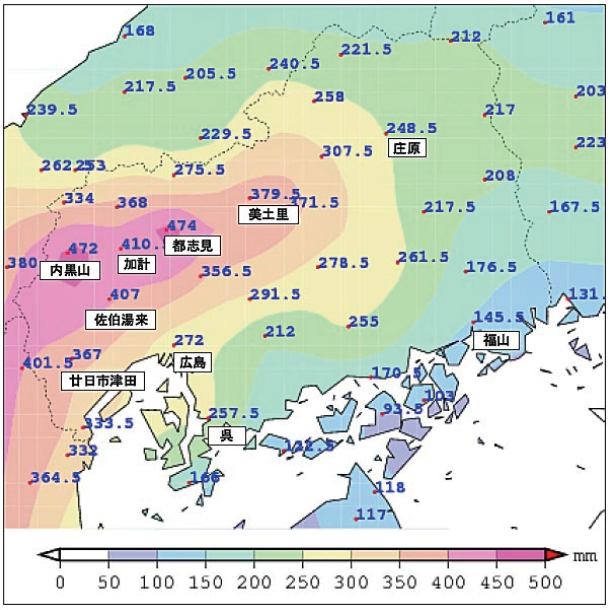


図 2.4.2-1 アメダス降水量積算図
（7 月 10 日 20 時～7 月 14 日 24 時）

出典：「平成 22 年 7 月 10 日から 14 日にかけての広島県の大雨について」[5] 広島地方気象台

また、山口県から九州北部付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、15 日未明から朝にかけて前線の活動が活発となった。

山口県実弥市東厚保では、累積雨量 588mm（7 月 10 日～15 日）、時間雨量 58mm（7 月 15 日 7 時～8 時）となり、下関市豊田では時間雨量 72mm（7 月 15 日 5 時 28 分～6 時 28 分）を記録した。（図 2.4.2-2）

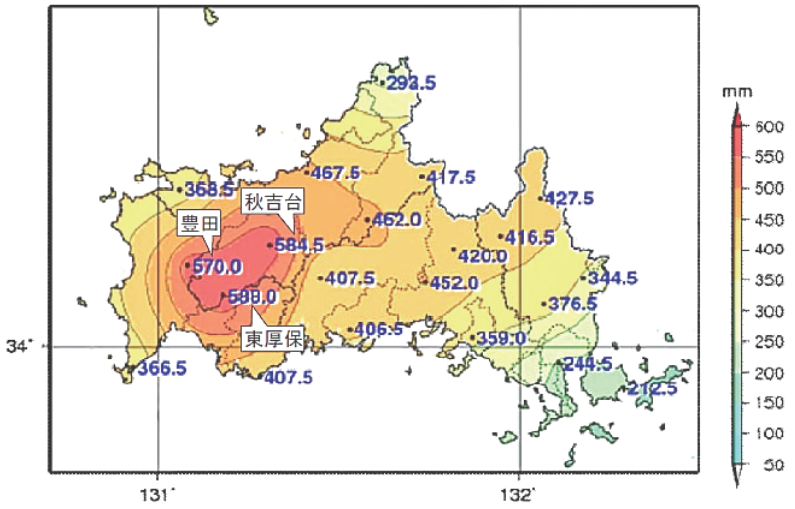


図 2.4.2-2 アメダス総降水量分布図
（7 月 10 日～15 日の期間降水量）

出典：「平成 22 年 7 月 10 日から 15 日にかけての梅雨前線に伴う山口県の大雨について」[6]
下関地方気象台

広島県災害復旧対策本部が発表した平成 22 年 9 月 3 日現在の被害状況は、死者 5 名･重傷 1 名･軽傷 5 名、住家被害 1,763 棟（全壊 19 棟、半壊 34 棟、一部損壊 68 棟、床上浸水 251 棟、床下浸水 1,391 棟）農林水産関係の被害金額 8,678 百万円、公共土木関係の被害金額 9,543 百万円、断水 100 世帯、停電 16,504 戸）（注：庄原市の被害を合算）となっている。

写真 2.4.2-1　鴨庄浄水場浸水状況
（山陽小野田市鴨庄）
出典:「災害記録～平成 21 年 7 月 21 日豪雨災害～」[7] 山口県防災危機管理課

山口県防災危機管理課が平成 23 年 1 月 26 日に公表した「災害記録　～平成 22 年 7 月 15 日大雨災害～」によると、人的被害なし、住家被害 1,662 棟（全壊 3 棟、半壊 29 棟、一部損壊 13 棟、床上浸水 624 棟、床下浸水 993 棟）、農林水産関係の被害金額 5,166 百万円、公共土木関係の被害金額 10,053 百万円、断水 15,938 世帯、停電 711 戸となっている。特に、山陽小野田市では、鴨庄浄水場の冠水や送水管の破損等により、最大時で 9,000 世帯が断水した。（**写真 2.4.2-3**）

ライフライン等の被害として、ＪＲ美弥線が､厚狭川に架かる鉄道橋が流出するなどの甚大な被害を受けた。（**写真 2.4.2-4**）

写真 2.4.2-2　JR 美弥線 第３厚狭川橋りょう流出の状況（美弥市西厚保）
出典:「災害記録～平成 21 年 7 月 21 日豪雨災害～」[7] 山口県防災危機管理課

2.4.3　7 月 15 日から 16 日にかけての岐阜県八百津町・可児市の豪雨について

岐阜県内では、7 月 11 日から 16 日にかけて、梅雨前線や低気圧の影響で大雨となり、土砂災害や浸水害が発生した。日本海を北東進する低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため、11 日昼前から雨が降り出した。前線は 12 日に南下したが、13 日には再び北上し、岐阜県内では、断続的に雨が降った。

15 日夕方から 16 日未明にかけては、多治見で 15 日 19 時 12 分までの 1 時間に 83.5mm を観測するなど、東濃や中濃を中心に猛烈な雨が降った。アメダス観測点における降り始め（11 日 06 時）から 16 日 06 時までの雨量は、萩原（下呂市）566.0mm、八幡（郡上市）495.0mm、船山（高山市）434.0mm などとなった。（**図 2.4.3-1**）

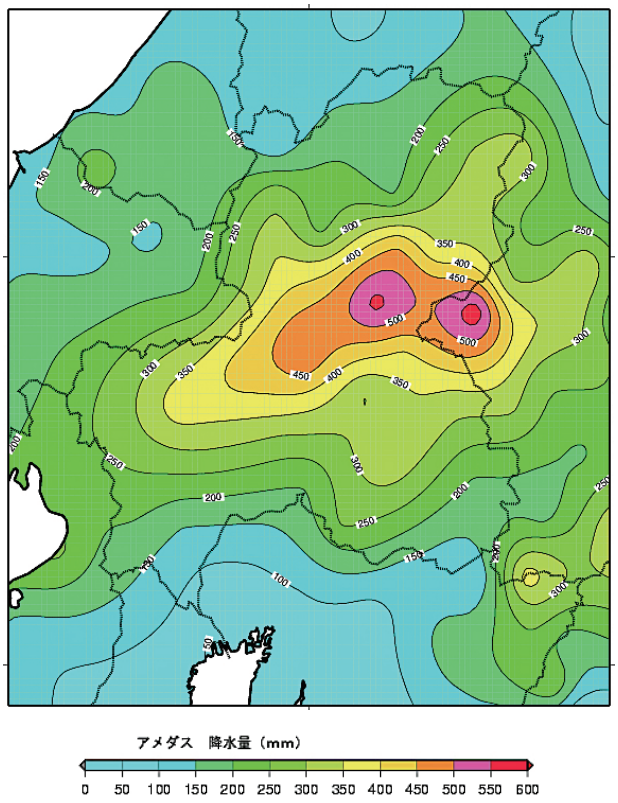


図 2.4.3-1　アメダス積算降水量
（11 日 06 時～16 日 06 時）

出典：「平成 22 年 7 月 11 日～16 日の梅雨前線による大雨に関する岐阜県気象速報について」[8)]
岐阜地方気象台

岐阜県が発表した平成 22 年 9 月 17 日現在の被害状況は、死者 4 名･行方不明者 2 名･重傷 1 名、住家被害 470 棟（全壊 4 棟、半壊 3 棟、一部損壊 8 棟、床上浸水 75 棟、床下浸水 380 棟）、農林水産関係の被害として、農地(163 箇所)、水路(92 箇所)、ため池(14 箇所)、頭首工(40 箇所)、公共土木施設の被害 336 箇所、河川(188 箇所)、砂防(15 箇所)、道路(133 箇所)となっている。

写真 2.4.3-1　加茂郡八百津町野上 土砂崩壊状況

写真 2.4.3-2　可児市土田 車両流出状況

出典：「7.15 豪雨災害検証報告書」[9] 7.15 豪雨災害検証委員会

2.4.4　台風第９号による静岡県小山町東部・神奈川県山北町の豪雨について

台風第 9 号は、9 月 3 日 15 時に沖ノ鳥島付近（北緯 23.2 度、東経 130.9 度）で台風となり、6 日には南西諸島から東シナ海を北上して、対馬海峡から山陰沖を東北東から東へ進み、8 日 11 時過ぎに福井県敦賀市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は 1,004hPa、中心付近の最大風速は 18m/s であった。その後、中部地方を南東に進み、同日 15 時に静岡県で熱帯低気圧に変わり、夜関東の東海上に抜けた。（図 2.4.4-1）

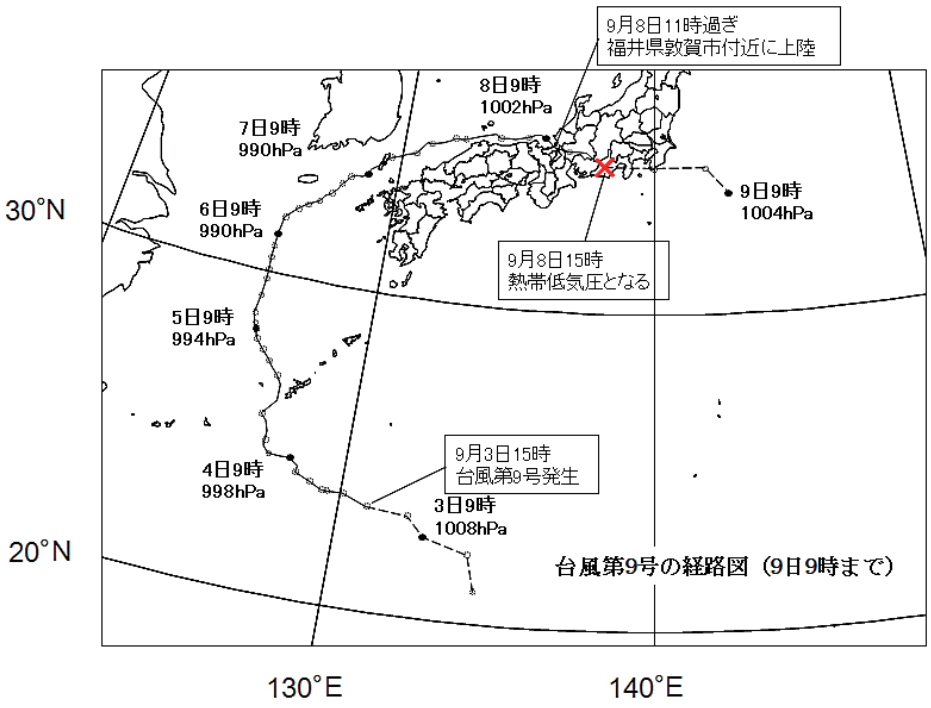


図 2.4.4-1　台風第 9 号の経路図（9 日 9 時まで）

出典：「平成 22 年 台風第 9 号に関する静岡県気象速報」[10] 静岡地方気象台

静岡県では、台風の接近により 7 日 18 時頃から雨が降り出し、8 日 7 時頃から雨雲が発達し、9 時には井川で 1 時間降水量 56.5mm、御殿場で 46.0mm を観測した。10 時には小山町付近で 1 時間降水量が解析雨量でおよそ 110mm の記録的な大雨を観測した。この後も東部では猛烈な雨が降り続き、小山町付近は 16 時にも 1 時間降水量が解析雨量でおよそ 120mm の記録的な大雨を観測した。8 日の日降水量は、多い所で井川 224.5mm、御殿場 218.0mm、梅ヶ島 187.5mm、川根本町で 150.0mm を観測した。

神奈川県では、台風が山陰地方の沖合を東進中の 8 日の明け方より雨が降り始めた。その後、昼前から西部で、昼過ぎからは東部で雨が強まり、所により 1 時間降水量が 50mm を超える非常に激しい雨が降った。台風が熱帯低気圧に変わり、関東地方の南東海上に抜けた 8 日遅く雨は止んだ。

降り始め(8 日 04 時)から 9 日 00 時までの降水量は、所々で 200mm を超え丹沢湖で 495.5mm、小田原で 238.5mm などを観測した。

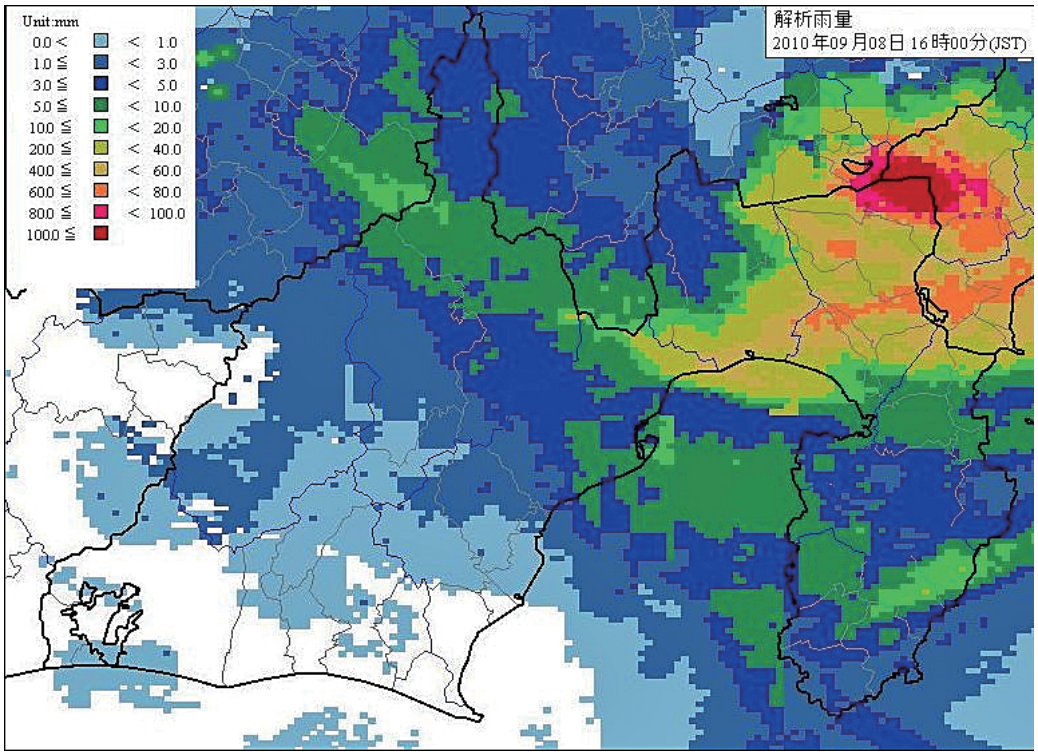


図 2.4.4-2　小山町付近でおよそ 120mm を解析した時の前 1 時間解析雨量（注）

出典：「平成 22 年 台風第 9 号に関する静岡県気象速報」[10] 静岡地方気象台

（注）解析雨量とは、気象レーダーにより観測された雨の強さを、アメダス等の雨量計により観測された雨量を用いて解析･補正したもの

静岡県危機報道監が発表した 9 月 15 日 18 時 00 分現在の被害状況は、意識不明の重体 1 名、住家被害 104 棟（全壊 4 棟、半壊 3 棟、床上浸水 55 棟、床下浸水 104 棟、非住宅被害 11)、農林水産関係の被害、わさび田 2.6ha、水稲 171ha、公共土木施設の被害 604 箇所･被害額 12,398 百万円、断水 2 世帯となっている。

神奈川県が発表した 9 月 17 日 17 時 00 分現在の被害状況は、重傷 2 名･軽傷 1 名、住家

被害 104 棟（半壊 2 棟、一部損壊 3 棟、床上浸水 19 棟、床下浸水 281 棟）、公共土木施設の被害 118 箇所、断水 95 世帯となっている。

神奈川県所管施設の被害としては、県道 727 号（川西）等 3 路線 5 箇所で土砂流出（**図 2.4.4-3 ア参照**）、酒匂川、皆瀬川等 3 河川 7 箇所で護岸が一部崩壊（**図 2.4.4-3 イ参照**）、世附川、皆瀬川の 2 箇所で護岸が一部崩壊 （**図 2.4.4-3 ウ参照**）、県営林道世附線等 19 路線 95 箇所で土砂流出、法面崩壊等（**図 2.4.4-3 エ参照**）、三保ダム（丹沢湖）へ大量の土砂や流木が流入、大野山乳牛育成牧場（山北町）内の 41 箇所で放牧地等が一部崩落、山北町世附の水源の森林づくりの事業地ほか 10 箇所で土砂流出等となっている。

図 2.4.4-3　台風 9 号に伴う主な被害状況（山北町）

出典：「9 月 8 日大雨（台風 9 号）による県内の被害と本県の対応」[11] 神奈川県 HP

2.4.5　10 月 18 日から 20 日にかけての鹿児島県奄美地方の豪雨について

10 月 18 日から 20 日にかけて奄美地方付近に前線が停滞し、南から湿った空気が流れ込み、大気の状態が非常に不安定となり、奄美地方では、北部を中心に 19 日明け方から激しい雨となり、20 日昼前から昼過ぎにかけて奄美市付近、大和村付近、瀬戸内町付近で解析雨量が 1 時間 120mm 以上の記録的な大雨となった。

奄美市名瀬では、20 日 23 時 20 分までの最大 24 時間降水量 648.0mm、20 日の日降水量 622.0mm となり、ともに年間の観測史上 1 位の記録を更新した。

18 日 21 時から 20 日 24 時までの総降水量は、奄美市名瀬で 10 月の平年の月降水量（238.7mm）の約 3 倍に匹敵する 715.5mm を観測したほか、瀬戸内町古仁屋で 362.5mm、伊仙で 278.0mm、天城で 249.5mm、奄美市笠利で 212.0mm の大雨となった。

鹿児島県危機管理防災課･鹿児島県現地対策合同本部が発表した平成 22 年 11 月 26 日 16:00 現在の被害状況は、死者 3 名・軽傷 2 名、住家被害 1,386 棟（全壊 10 棟、半壊 479 棟、床上浸水 119 棟、床下浸水 767 棟、一部損壊 11 棟）、非住宅被害 114 棟（全壊 12 棟、半壊 102 棟）農林水産関係の被害金額 2,886 百万円、公共土木関係の被害金額 6,126 百万円、商工業・観光関係の被害 2,012 百万円、総断水 3,500 戸（復旧完了）、停電 約 20,500 戸（復旧完了）、都市ガスの被害なし、固定電話の専用線の不通（復旧完了）、携帯電話の停波（復旧完了）、テレビジョン放送中継局の停波（復旧完了）となっている。

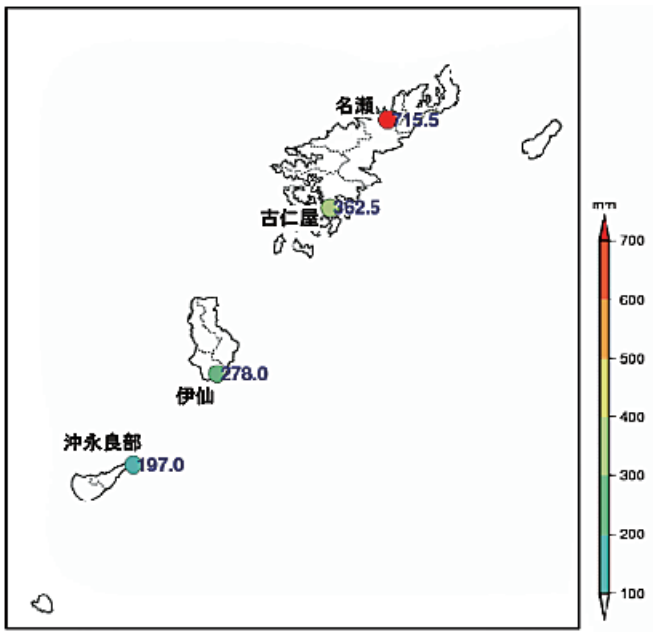


図 2.4.5-1　アメダス総降水量分布図
（10 月 18 日 21 時～20 日 24 時）

出典：「平成 22 年 10 月 18 日から 20 日にかけての鹿児島県奄美地方の大雨について」[12)]
鹿児島地方気象台・名瀬測候所

2.5　近年の病院水害とその対策

近年、毎年のように各地で豪雨による洪水災害が頻発している。豪雨災害の要因としては地球温暖化の影響等が懸念され、今後も頻発することが予想されている。

近年の豪雨災害の特徴としては、既往最高の降雨量を上回る降雨による堤防からの河川水（外水）の氾濫、下水等（内水）の氾濫によるものである。平成11年6月に発生した福岡水害は、内水氾濫の直後に外水氾濫が発生している。その3年後の平成15年7月に発生した福岡水害では、外水氾濫が発生している。さらに、平成21年8月に豪雨災害が発生した兵庫県佐用町では、5年前の平成16年9月にも災害に見舞われている。このように「一度起きたからしばらくは発生しないだろう」とは言えない状況になっている。

また、近年の病院の大規模水害事例としては、平成17年9月の台風14号により宮崎水害時に発生した（財）潤和リハビリテーション振興財団の被害があげられる。北林[13)]は、この水害に対して、被害の前日からの対策にあたるとともに、その後、水害を教訓とした対策までを行い、報告している。なお、平成21年8月に兵庫県西部佐用町に水害が発生して、佐用中央病院が浸水被害を受けている。

本文では、洪水災害の発生形態、危険度の判定方法、事前防止方法を示す。

2.5.1　洪水災害の発生形態

洪水災害の形態は大別して、**図2.5.1-1**に示す内水氾濫と、**図2.5.1-2、2.5.1-3**に示す外水氾濫に区分される。

1)　内水氾濫

人が住んでいる土地（河川関連用語で堤内地と称する）に降った雨をポンプ等により河川に流す下水道や本川に繋がる支川の設計雨量を上回る降雨により発生する。**図2.5.1-1**に示すように氾濫形態としては、下水道からの逆流や、支川水位が堤防の天端よりも高くなり洪水が溢れる溢水や堤防の決壊があげられ、外水氾濫に比べて発生しやすい。下水道や支川の設計雨量は、10年に1回程度発生する降雨が用いられている。なお、内水氾濫は、基本的に雨水が溜まることにより発生するので、家屋が倒壊するような大きな流速が発生することは少ない。また、内水氾濫は急斜面で発生する土砂崩壊や、山地で発生する土石流とも区別されている。

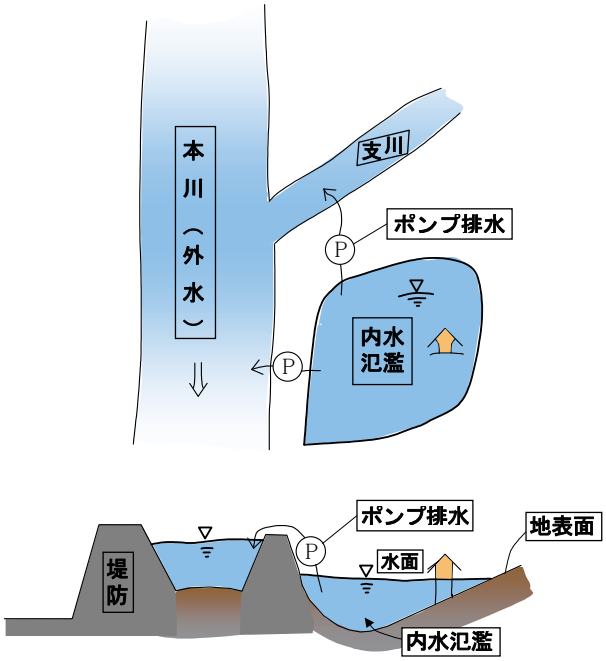


図2.5.1-1　内水氾濫概念図

2)　外水氾濫

本川（樹枝状に構成される川の幹となる河川）の堤防･護岸からの溢水や堤防の決壊により、河川水が、堤内地に溢れる形態で発生する。**図2.5.1-2**に示す堤防からの溢水は、本川の設計雨量を上回る降雨により発生する。一例として、**図2.5.1-1～2.5.1-3**に示す左側の堤防･護岸は、一例として右側のそれに比べて高く示してある。我が国の堤防･護岸は江戸時代に造られたものが多く、城下町側の堤防･護岸が、農村･民家側のそれに比べて高く造られていることが多いことに注意を要する。

一方、**図2.5.1-3**に示す堤防の決壊は、本川の設計雨量を下回る降雨により発生する場合もある。本川の設計雨量は、50～100年に1回程度発生する降雨が用いられている。

なお、堤防の決壊時には、決壊場所周辺で大きな流速が発生するので、家屋が倒壊する場合がある。

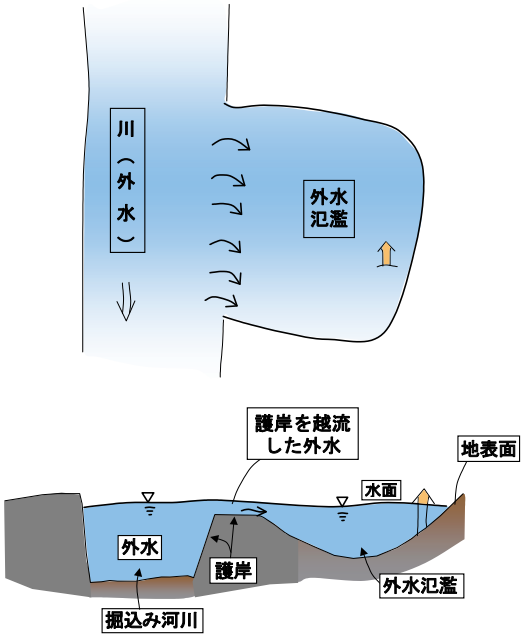


図2.5.1-2　外水氾濫（護岸越流）概念図

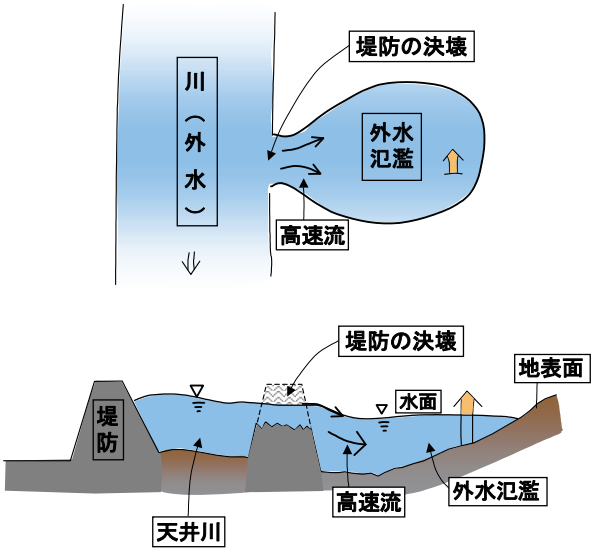


図2.5.1-3　外水氾濫（堤防決壊）概念図

2.5.2　洪水災害の危険度の判定方法

ここで、基本的に敷地の標高が周辺の土地および河川堤防高に比べて十分に高い場所は、洪水に浸かる可能性が低い。一方、敷地の高度が周辺に比べて低い場所･河川の水位が敷地高さに比べて高い場所（このような河川を天井川と称す）･堤防の近くは、洪水に浸かる可能性が高い。なお、堤防がない河川（このような河川を掘り込み河川と称す）では、その川の設計雨量を上回る降雨により洪水が川から溢れることが予想され、川の近くでは浸水が発生する可能性が高い。

図2.5.2-1で浸水危険度の判定フローを示し、続いてその作業内容を示す。

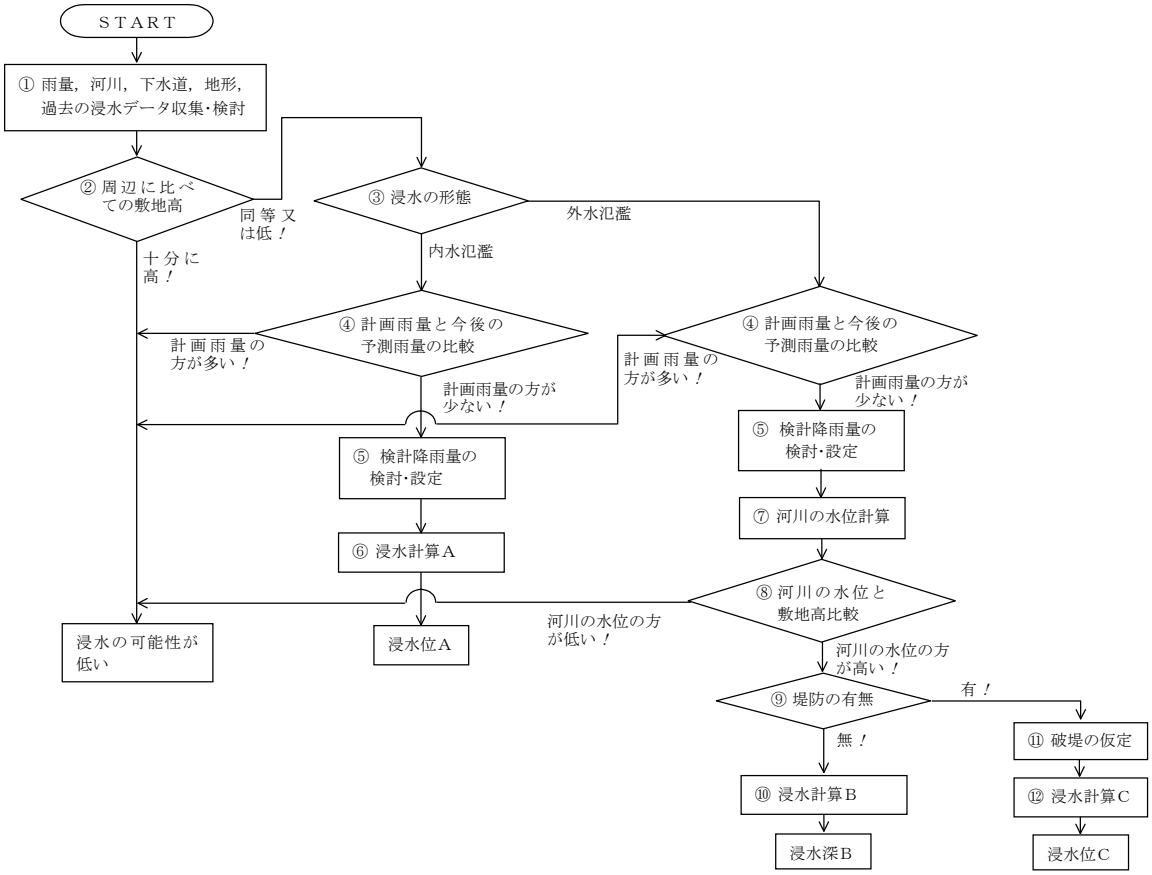


図2.5.2-1　フローの作業内容

①　雨量、河川、下水道、地形、過去の浸水データの収集･検討

・雨量

計測方法により雨量データは、地上雨量とレーダー雨量データに分けられる。地上雨量データは､数十kmに1ヶ所の疎らなデータであるが､数十年の蓄積データである。一方、レーダー雨量データは、1988年以降の日本全国の5～1ｋｍメッシュの面データである。これらの検討地点および周辺のデータを含めて収集し、今後予想される雨量を検討する。

・河川データ

支川においては水門の有無等を含めて、堤防等の河川施設の設計雨量および河川の水位計算に必要な断面積、勾配等を収集･検討する。

・下水道データ

ポンプ等を含む下水道施設の設計雨量および下水道の水位計算に必要な断面積、勾配等を収集･検討する。

・地形データ

国土数値情報により、50ｍメッシュの標高データが容易に取得できる。この他に地方公共団体が作成している地形図を含めて､検討対象地点と河川水位等との比較･検討する。

・過去の浸水データ

検討対象地点に過去の浸水実績がある場合には､その時の雨量･河川･下水道･土地の開発状況等のデータを収集･検討する。

② 周辺に比べての敷地高の比較

上述したように､検討対象地点と周辺の敷地･道路の標高および河川堤防高を比較して、浸水の可能性を判断する。

③ 浸水の形態の比較

浸水の形態を内水氾濫または外水氾濫に区分する。

④ 設計雨量と今後の予想雨量の比較

浸水の形態が内水氾濫の場合は下水道等施設の設計雨量が、また、外水氾濫の場合は河川等施設の設計雨量が国土交通省または地方公共団体により定められている。

なお､設計雨量とは､これよりも少ない雨量に対して下水道･河川等の施設が機能するものである。すなわち、設計雨量以上の雨量が発生した場合、浸水が発生する。また、今後の予想雨量は、周辺における過去の最高雨量や、50年100年後の降水の変化予測に関する研究事例[14)] を参照して検討する。

⑤ 検討雨量の検討･設定

検討雨量は、上記の設計雨量･今後の予想雨量等を比較調整して検討･設定する。

⑥ 浸水計算A

内水氾濫の場合は、以上の結果を浸水計算プログラムに入力して、浸水位Aを求める。

⑦ 河川水位の計算

外水氾濫の場合は、以上の結果を河川水位計算プログラムに入力して、河川水位を求める。

⑧ 河川の水位と敷地高の比較

求めた河川の水位と敷地高を比較して、河川の水位の方が高い場合は、⑨堤防の有無を検討する。

⑩ 浸水計算B

堤防がない場合は、河川水位を用いて浸水計算Bを行い、浸水位Bを求める。

⑪ 破堤の仮定

⑫ 浸水計算C

堤防がある場合は、破堤の仮定（破堤高さ･幅等）を⑫浸水計算Cに入力して、浸水位Cを求める。

以上の検討により、敷地において浸水が予想される場合は、通常電気室等が配置される地下室･1階等の施設の被害を予測する。

2.5.3 洪水災害の事前防止方法

北林[13)] が指摘しているように、入院設備がない1階だけでも、病院施設が一度水害にあうと外来診療開始まで2週間、救急･手術開始まで3週間、完全復旧まで1.5ヶ月を要する。

従って、洪水災害の事前防止対策を行うことが望ましい。予想された浸水深さにもよる

が、予想浸水深が1.5m以下の場合には、1.5m程度の高さの防水壁を設置することがベターである。

一方、予想浸水深が1.5m以上の場合に、稀に発生する浸水被害に対処するために、常時も高さ2～3mの高価で視界を遮り景観を損なうコンクリート製の防水壁で対応することは問題点が多い。このような場合には、**図2.5.3-1、2.5.3-2**に示すような浮上式の防水壁を使用することも考えられる。この浮上式防水壁は、常時は高さ1～1.5mのコンクリート壁で景観を損なわずに防犯等に対応し、高浸水時のみに効果を発揮して的確で安価な防水方法である。

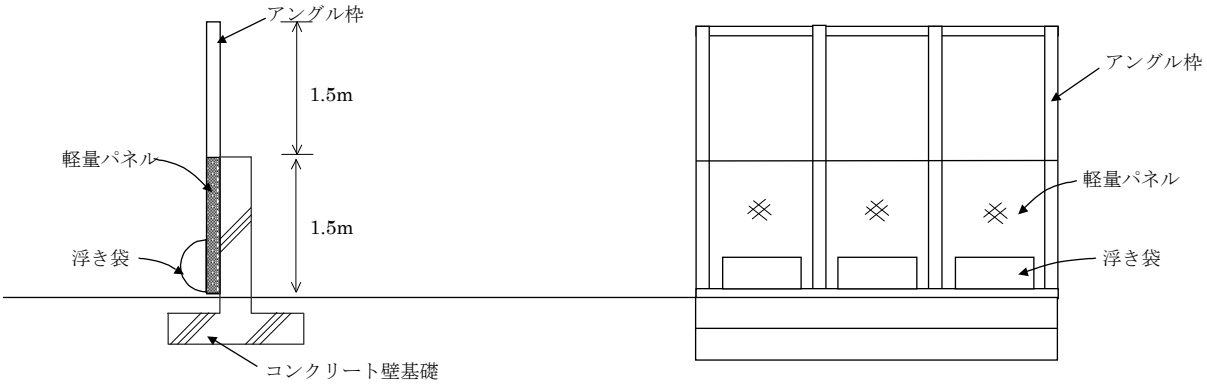


図2.5.3-1　浮上式防水壁（浸水前）

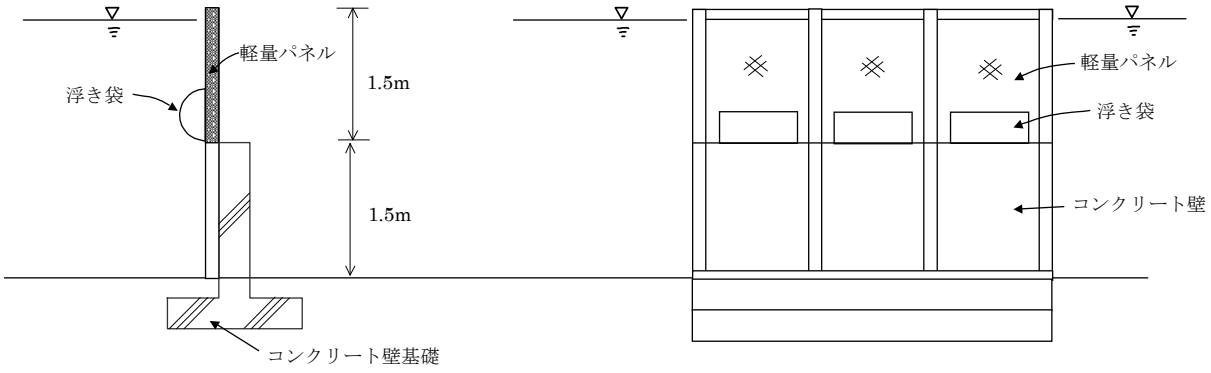


図2.5.3-2　浮上式防水壁（浸水後）

浮上式防水壁は、**図2.5.3-1、2.5.3-2**に示すように、高さ1～1.5mのコンクリート壁、浸水により浮力により上下する浮体付きの軽量パネル、軽量パネルを支える枠から構成される。なお、破堤による高速流の発生が予想される堤防近辺では、この浮上式防水堤は不向きである。

2.5.4 まとめ

近年の豪雨災害の特徴と、近年の病院の大規模水害事例を紹介するとともに、洪水災害の発生形態、危険度の判定方法、事前防止方法を示した。本文を参考にしていただき、病院施設の水害が防止されることを期待したい。

2.6　宮崎県耳川の現地調査

水害事例として、平成 17 年（2005 年）台風 14 号により発生した宮崎県耳川災害について、現地調査を実施した。

災害直後に当研究部会委員が現地調査を実施した水害であるため、①当時の被災状況が把握されている、②復旧状況を比較して報告可能である、などの理由から、調査対象として取り上げた。

2.6.1　現地調査概要

現地調査概要を以下に示す。

日　　時　　平成 22 年 11 月 19 日
場　　所　　宮崎県二級河川　耳川
参 加 者　〔委員〕塚原、安田、石野、下矢、芝崎、箱田、内藤、須賀
　　〔事務局〕石瀬
行　　程　熊本市内（ホテルサンルート熊本前集合）より、車で国道 325 号線、265 号線、327 号線を経由して現地（諸塚村、塚原ダム、小布所橋、尾佐渡橋など）往復、総移動距離約 300km。

図 2.5.1-1 調査地域および熊本市内からの移動経路

出典：電子国土サイト　URL http://cyberjapan.jp/[15)]

2.6.2　平成 17 年（2005 年）災害の概要

1)　台風の進路

国立情報学研究所が公開している平成 17 年（2005 年）台風 14 号の概要は以下の通りである。

発生/消滅日時　　平成 17 年 8 月 29 日発生/同年 9 月 8 日消滅
最低気圧　　925 hPa
最大風速　　95 knots

同 HP に掲載している台風 18 号の移動軌跡を**図 2.6.2-1** に引用して掲載する。9 月 5 日から 7 日にかけて、九州中央部を縦断していったことがわかる。

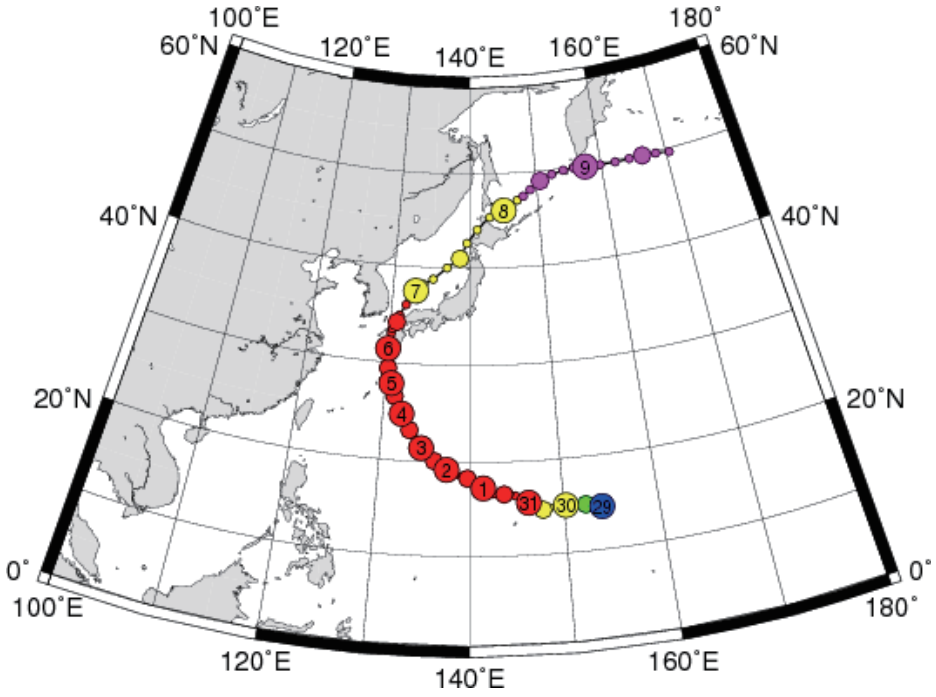


図 2.6.2-1 平成 17 年台風 14 号の移動軌跡

出典：国立情報学研究所 HP[16)]

2)　宮崎県内における雨量

国土交通省九州地方整備局 HP 防災の取組みと過去の災害のページによれば、平成 17 年台風 14 号と豪雨により期間降水量が 1,000mm を超えた観測所は、

宮崎県神門　　1,322mm
宮崎県えびの　　1,307mm
宮崎県見立　　1,201mm
宮崎県鰐塚　　1,029mm
宮崎県諸塚　　1,000mm

の 5 箇所であり、いずれも宮崎県内で観測された。

なお、昭和 51 年（1976 年）にアメダスが整備されて以来、九州において、期間降水量 1,300mm 以上を観測したのは初めてとのことである。

3)　宮崎県内における被害

総務省消防庁がまとめた『平成 17 年台風第 14 号と豪雨による被害状況(第 27 報)』[17] より、宮崎県内および全国の被害を抜粋して**表 2.6.2-1** に示す。

表 2.6.2-1 平成 17 年台風 14 号と豪雨による被害 [17]

		全国	宮崎県	比率
人的被害	死者	26	13	**50.0%**
	行方不明	3	0	**0.0%**
	重傷	45	5	**11.1%**
	軽傷	134	21	**15.7%**
住宅被害	全壊	1,178	1,104	**93.7%**
	半壊	3,504	3,248	**92.7%**
	一部破損	2,770	331	**11.9%**
	床上浸水	7,626	1,462	**19.2%**
	床下浸水	13,534	2,919	**21.6%**

出典：総務省消防庁『平成 17 年台風第 14 号と豪雨による被害状況（第 27 報)』抜粋

甚大な被害をもたらした災害であったことがわかる。特に住宅被害のうち、被害の程度が甚大な全壊･半壊は、その 90%以上が宮崎県内に集中していたことになる。

2.6.3　現地調査内容および所感

今回の調査では、耳川に併走する国道 327 号線（奥日向路）に沿って、塚原ダム、天然ダムをもたらした山腹崩落箇所、尾佐渡橋、小布所橋、小原橋を視察した。

1)　塚原ダム

写真 2.6.3-1 中矢印で示す高さ付近まで、水で満たされた痕跡が確認できる。

同写真中、ダムに向かって右下に、水害により被災し、未だ修復が行われていない道路の一端を確認することができた。路盤下部が水により浸食されることにより路面は途中で陥没、流出し、ガードレールだけが宙を舞うように（**写真 2.6.3-2**）不自然に連なっている。

写真 2.6.3-1 塚原ダム

写真 2.6.3-2 塚原ダム脇の道路

出典：いずれも部会委員撮影

2) 山腹崩壊現場

本研究部会の委員である石野が平成 17 年災害直後に撮影したのが[18]、**写真 2.6.3-3** である。広範囲にわたる斜面崩壊の実状を伝えている。相当量の土砂が耳川に流入したことが容易に想像される。山腹崩壊により、当該箇所よりも上流となる塚原ダムとの間に、天然ダムが形成される原因となった。今回の調査において撮影した写真が**写真 2.6.3-4** である。5 年あまりが経過した現在においても、斜面はむき出しのままであり、森林の再生は行われていない。崩落箇所右側の林は伐採され、さらなる崩落、通水の阻害防止を目的に、大規模なコンクリートを用いた押え盛土機能の構造物が築かれていた。

写真 2.6.3-3 被災直後の山腹崩壊状況

写真 2.6.3-4 山腹崩壊箇所の現況

出典：いずれも部会委員撮影

3)　尾佐渡橋

写真 2.6.3-5 は、出水により押し流され尾佐渡橋合成桁の様子、**写真 2.6.3-6** は平成 20 年 1 月に竣工した新しい尾佐渡橋である。

当時の記録によれば、**写真 2.6.3-7** 左側に写っている左岸側の国道上を、大量の水が流れていたとのことである。道路沿いの建物へも浸水したが、フェンスが流された（**写真 2.6.3-5** 中右手前仮設の手すり部分）程度で、建物の流出を免れたことは、不幸中の幸いであったと言える。

石野らが災害直後に行った調査によれば、尾佐渡橋の桁上と基礎との高低差は 15m 余りである。今回の訪問調査時の状況から、隣接する国道の路面上までが川と化していたことを想像することは難しく、いかに大洪水であったかが確認される。

再建された橋のそばに、今でも当時の状況をうかがい知る痕跡をいくつか発見することができた。**写真 2.6.3-8** は、橋の左側支承部下（**写真 2.6.3-6** 中矢印の位置）付近に残っていた、橋の桁の一部と考えられる錆びた鉄骨である。

なお、流出当時の写真と現況を比べると、再建された橋の桁下端は、流出当時の水面をわずかに上回っていることが判明した。

写真 2.6.3-5
流失した合成桁と仮設手すり

写真 2.6.3-6　再建された尾佐渡橋

写真 2.6.3-7　尾佐渡橋際の左岸側国道

写真 2.6.3-8　橋際に残る鉄骨部材

出典：いずれも部会委員撮影

4)　小布所橋

写真 2.6.3-9～10 は、平成 19 年（2007 年）7 月竣工の銘版がある、再建された小布所橋である。

橋の袂には、以前の橋が昭和 51 年（1976 年）3 月に竣工したことを記念する石碑も残っている。30 年余り、風雪に耐えながら、地域の人々の生活を支えていたことになる。

今回の架け替えに伴い、橋梁部へのアプローチ（**写真 2.6.3-9** 中の円内）が若干嵩上げされたものと推測される。

写真 2.6.3-9　再建された小布所橋　**写真 2.6.3-10　小布所橋下を流れる耳川**

出典：いずれも部会委員撮影

5)　小原橋

写真 2.6.3-11 は、小原橋上から上流の小布所橋方向を写した写真である。小布所橋から小原橋にかけての流域は、川幅も広く、所々周囲に開けた場所もある。近隣にはおせりの滝が、下流には西郷ダムがある。

小原橋も、小布所橋同様、橋梁部へのアプローチ（**写真 2.6.3-12** 中の円内）が若干嵩上げされたものと推測される。

昼食の際に利用した小原橋近くの食堂（**写真 2.6.3-11** 中左岸　白い建物裏）は、国道 327 号線沿いにあり、川の対岸までは 100m を越える場所にある。谷間の地域ではあるが、背後が急峻ながけになっているわけでもない。被災から 5 年を経ていることもあり、店舗内に当時の浸水の状況を知る手がかりは残っていない。従業員の方の話によれば、床上 1m 程度まで、音もなく、短時間に、濁水に満たされたとのこと。

宿泊施設を併設する建物入り口には階段があり、道路面よりも 50 ㎝以上高いつくりになっている。道路面より 2m 程度高い位置まで、水に浸かったと思われる。

石野らの調査によれば、小原橋の桁上と基礎との高低差は 10.1m ある。基礎天端と常水位面の高低差が明確ではないものの、10m あまりの水が一気に溢れ出たことを想像することはとても難しい現地の状況であった。音もなく、あっと言う間に、長年そこで生活する人々の想像する災害の程度をはるかに超えた水がやってきた。

写真 2.6.3-11
小原橋から小布所橋方向を望む

写真 2.6.3-12　再建された小原橋

出典：いずれも部会委員撮影

通常の水面位置、周囲との相互関係、空間的な広がりのなかに現に身をおいてみたが、尾佐渡橋、小布所橋、小原橋、3 つの再建された橋の災害現場のいずれにおいても、そのすべての空間を降雨による水が覆いつくし、被害をもたらすに至ったことがイメージできずにいる。災害に対するイマジネーションの重要さを改めて感じることができる現地調査となった。

2.7　水害サミットに見る対策の現状

実際に水害を体験した全国の市区町村の首長が集まって、防災対策や減災に関するさまざまな方策について率直な意見交換をする「第 6 回水害サミット」を取材することにより、新たな対策についての方向性を調べた。

2.7.1 第６回水害サミットの概要

平成 22 年 6 月 8 日に行われた第 6 回水害サミットの概要[19),20)]を報告する。

1）対象とする市区町村

平成 14 年から平成 21 年において激甚な水害を被った市区町村、及び河川激甚対策特別緊急事業または河川災害復旧助成事業を実施している市区町村

68 市区町村

2）主　催

・水害サミット実行委員会

水害サミット実行委員会発起人会

新潟県三条市長、新潟県見附市長、福井県福井市長、兵庫県豊岡市長

・毎日新聞社

3）日　時

・平成 22 年 6 月 8 日（火）　15：00～18：00

4）場　所

・毎日ホール（東京都千代田区一ツ橋 1－1－1）

5）出席者

初参加の和歌山県和歌山市長を含め、全国から 14 市町長の出席があった。また、全国の情報提供と治水対策の議論に加わるため、国土交通省河川局長の佐藤直良氏がオブザーバー参加した。

第 6 回水害サミット参加者（敬称略）

コーディネーター	松田　喬和（毎日新聞論説室･専門編集委員）
オブザーバー	佐藤　直良（国土交通省河川局長）

北海道日高町長	三輪　茂	岩手県一関市長	勝部　修
秋田県北秋田市長	津谷　永光	新潟県三条市長	國定　勇人
新潟県見附市長	久住　時男	福井県鯖江市長	牧野　百男
福井県越前市長	奈良　俊幸	長野県箕輪町長	平澤　豊満
静岡県伊豆の国市長	望月　良和	愛知県岡崎市長	柴田　紘一
兵庫県豊岡市長	中貝　宗治	兵庫県西脇市長	來住　壽一
和歌山県和歌山市長	大橋　建一	高知県いの町長	塩田　始

市町長以外の参加自治体

新潟県長岡市、福岡県飯塚市、鹿児島県湧水町

表 2.7.1-1　水害サミットに参加した自治体の水害状況

市町村名	最近の豪雨災害	死者・ 行方不明者数	浸水戸数
日高町	平成 15 年 8 月　台風 10 号	3 人	181 戸
一関市	平成 14 年 7 月　台風 6 号	－	908 戸
北秋田市	平成 19 年 9 月　秋雨前線豪雨	2 人	393 戸
三条市	平成 16 年 7 月　新潟・福島豪雨	9 人	2,164 戸
見附市	平成 16 年 7 月　新潟・福島豪雨	－	2,033 戸
鯖江市	平成 16 年 7 月　福井豪雨	1 人	981 戸
越前市	平成 16 年 7 月　福井豪雨	1 人	863 戸
箕輪町	平成 18 年 7 月　豪雨	－	51 戸
伊豆の国市	平成 14 年 10 月　台風 21 号	－	1,219 戸
岡崎市	平成 20 年 8 月　豪雨	2 人	2,739 戸
豊岡市	平成 16 年 10 月　台風 23 号	5 人	7,694 戸
西脇市	平成 16 年 10 月　台風 23 号	1 人	1,265 戸
和歌山市	平成 20 年 11 月　豪雨	1 人	2,381 戸
いの町	平成 14 年 9 月　台風 15 号	－	244 戸

6）会議のテーマ

（1）今後の浸水被害軽減のため必要な対策

（2）災害時に必要な情報とは？

（3）「共水」を意識した今後の「治水」対策について

2.7.2 今後の浸水被害軽減のため必要な対策

1）ハード面での対策

防災行政無線設備は必要であるが、「豪雨時には聞こえない」との問題点が発生し、防災ラジオ（FM ラジオ）を個別に配付した自治体が複数あり、今後の方向性としては「FM ラジオ＋インターネット」による災害情報発信が必要である。

役所関連の建物において地下に「配電設備」や「駐車場」が配置されていて、災害時に機能しないばかりでなく、復旧まで数ヶ月を要した事例があり、浸水しない場所に主要設備を配置する計画が必要となっている。

災害復旧においては「治水」が重点的に整備されるが、住民が川に馴染みながら、どう危険回避するかということへの啓発として自然との共水ができる施設整備も大切である。

災害時に、職員やボランティアが仮眠を取れる場所や、洪水時に住民の自動車を避難させる場所（高台）の確保も必要である。

2）ソフト面での対策

避難勧告をすべきかの判断には、ためらいがあるので「リアルタイムの降雨情報」や「河川の水位情報」を首長が得られることが必要であり、首長が職員召集や避難勧告を「空振りを恐れず早めにする」必要がある。

ハザードマップは作成するだけでなく、住民への説明会を開催しレベルアップする必要がある。

外国人の住民も増えてきているため、地域によっては中国語やポルトガル語や英語による情報発信や緊急情報発信が必要であり、これからは過去とは異なる地域コミュニティの形成が必要である。また、地域の災害弱者への対応においても、地域コミュニティの形成は大切である。

ボランティアへの対応と報道関係者への対応も遅れがちになり、これらへの的確な情報開示が住民のためにもなることをよく理解する必要がある。

3）まとめ

災害から復興した住民においては、「自助」「共助」「公助」への思いが変わってきているとの報告があった。災害の初期においては、地域の力を出し合う「共助」、さらに住民一人ひとりが災害から自らを守る「自助」の相互の役割分担について、良く理解しあうことが重要であり、過去とは異なる地域コミュニティをどう作っていくかが課題となった。

また、いざ災害が起こった後、「共水」という考え方で、災害を単に復旧するのではなく、よりよい環境、生活環境につなげていくことが大切であり、自然に学ぶ、自然に戻るというような人類の原点みたいなものをもう一回見つめ直す必要があるのではないか。

参考文献

1) 国土交通省河川局治水課「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」p.14
2) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」報告（H22.4）
3) 気象庁 HP：http://www.jma.go.jp/
4) (独)防災科学技術研究所 WEB 水・土砂防災研究部：http://mizu.bosai.go.jp/
5) 気象速報「平成 22 年 7 月 10 日から 14 日にかけての広島県の大雨について」平成 22 年 7 月 15 日 19 時現在、広島地方気象台
6) 災害時気象資料「平成 22 年 7 月 10 日から 15 日にかけての梅雨前線に伴う山口県の大雨について」平成 22 年 7 月 16 日、下関地方気象台
7) 災害記録～平成 21 年 7 月 21 日豪雨災害～　平成 21 年 10 月、山口県
8) 「平成 22 年 7 月 11 日～16 日の梅雨前線による大雨に関する岐阜県気象速報について」平成 22 年 7 月 16 日、岐阜地方気象台
9) 7.15 豪雨災害検証報告書、平成 22 年 9 月 21 日、7.15 豪雨災害検証委員会
10) 「平成 22 年台風第 9 号に関する静岡県気象速報」平成 22 年 9 月 10 日、静岡地方気象台
11) 平成 22 年 9 月 台風第 9 号に関する神奈川県気象速報、平成 22 年 9 月 9 日、横浜地方気象台
12) 台風第9号に伴う大雨等による被害状況等について（第12報)、9月15日18時00分現在、静岡県危機報道監
13) 北林嘉紘：台風14号被災と教訓 - 医療機関の水害対応と今後の課題、第5回都市水害シンポジウム論文集、pp19-24、2006.5
14) 和田ら：地球温暖化に伴う降水特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究、土木学会論文集、No796/Ⅱ-72, pp23-37, 2005.8
15) 電子国土：http://cyberjapan.jp/
16) 国立情報学研究所 HP：
http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/s/200514.html.ja
17) 総務省消防庁〔平成 17 年　台風 14 号と豪雨による被害状況（第 27 報)〕：
http://www.fdma.go.jp/bn/data/010509311403303047.pdf
18) 石野和男ほか：2005 年 9 月 6 日台風 14 号による宮崎水害における橋梁被害の調査結果, 土木学会年次学術講演会講演概要集,pp683-684,平成 18 年 9 月
19) 第 6 回水害サミットの開催について―被災地からの情報発信―、水害サミット実行委員会事務局、www.mlit.go.jp/river/suigai/pdf/06_kaisaigaiyou.pdf
20) 特集：第 6 回水害サミット　悲劇、繰り返さない　「自助」「共助」の精神を
http://mainichi.jp/life/ecology/archive/news/2010/07/20100705ddm01004003600
0c.html

第３章　水害ＢＣＰ（事業継続計画）の現状

BCP（Business Continuity Plan；事業継続計画）、BCM（Business Continuity Management；事業継続マネジメント）は近年普及してきた概念であり、地震、パンデミックなど各種災害や非常事態の際にも、重要な基幹業務･事業を中断させないようにするための取組みで、単なる防災･減災よりさらに進んだ事前･事後対策の考え方である。

策定対象となるリスクは地震が多く、災害全般がリスクとして捉えられることはあるが水害単独で個別に検討するケースはまだ少ない模様である。

3.1　水害BCP（徳島大学・中野教授へのヒアリング）

水害 BCP についての研究を立ち上げたところである徳島大学環境防災研究センターの中野教授と粕淵助教に、水害 BCP についてのヒアリングを行った。中野教授は BCP 四国地方整備局の建設業 BCP 等審査会の委員を務めており、また、徳島県下の企業が参加する徳島県企業防災推進委員会 BCP 研究部会（以下研究部会）において、BCP の普及を推進している。

日時　平成 22 年(2010 年)8 月 25 日

場所　徳島大学　環境防災研究センター（常三島キャンパス）

環境防災研究センター　副センター長	中野　晋　教授
環境防災研究センター	粕淵　義郎　助教

水害 BCP は、まだ研究が始まったばかりであり、中野教授のところでも、現在各種の被害事例を収集している段階で、企業向け BCP 研究会等での指導等を通じて徐々に推進しようとしているところである。水害 BCP を進める上で、被害想定や対策を行う上での課題や被害の実態等について伺った。

3.1.1　企業のBCP策定

1）徳島県企業防災推進委員会BCP研究部会

徳島大学環境防災研究センターでは、徳島県内の企業をメンバーとした徳島県企業防災推進委員会 BCP 研究部会を設け、BCP の推進を図っている。研究会は月に 1 回程度開催され、毎回 20 社程度が出席している。

研究部会は BCP の策定状況に応じて初級部会と合同部会の 2 つの部会で構成されている。研究部会では、BCAO(特定非営利活動法人 事業継続推進機構)が公表している中小企業 BCP ステップアップ・ガイドをテキストとして用いている。このガイドは第 1 部から第 3 部の 3 部構成となっており、第 2 部まで進めると簡易的な BCP が策定できる。初級部会では簡易的な BCP を 1 年間で策定することを目標としている。一方、合同部会は簡易的な BCP の策定が終わり、運用をしながら改善を図っている企業と初級部会のメンバーがガイドの第 3 部について学習しながら、併せて最新の情報等について情報交換を行う場として設定されている。

部会メンバーは中小企業を中心とするが、流通関係、建設業、製造業、食品関係のほか放送･通信･エネルギー･道路等の公益企業も含まれ、様々な業種･規模の企業が参加している。

2）企業のBCP取り組み状況

BCP への取組みは、半導体製造など災害の操業への影響が大きく、必要に迫られている所と、逆に組立てのみや製造拠点をほとんど海外に移している企業など、その企業を取り巻く環境によって必要性が違い、取組みレベルにも差が生ずる。また、企業によっては半年等の短期間で生産対象物やラインが変化するなど、見直しのサイクルが短いため、重要機能の設定や対策が進めづらくなる。

中野教授の環境防災研究センターでは、平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震の被災企業の BCP 取組状況を継続的に調査している。平成 20 年の地震後に BCP への取組みを始めた企業は多かったが、平成 22 年(2010 年)8 月中旬に訪問したところ、10 社のうち 3 社しか取組みが進んでおらず、その他の企業では停滞していた。

これには、平成 21 年（2009 年）のリーマン・ショックをきっかけとした経済不安により、災害時以上に平時における企業存続が最優先課題となったことなどの理由が考えられる。

3）水害BCP策定の重要性と課題

企業の BCP への取組みは、近年かなり普及してきており、上場企業や大企業の 6 割以上が BCP 策定済みまたは策定中であるが、地震をリスク対象とするのが約 6～7 割、新型インフルエンザ等感染症パンデミックも同程度なのに対し、風水害／浸水はその半数程度となっている。しかし、中小規模の企業においては、被害想定以前に、BCP への取組のやる気をどうやって起こさせるか、という段階にとどまっている企業も多い。

徳島県東部では南海地震を想定した地震動や津波被害を大きなリスクと考える企業が多いが、台風常襲地帯として水害被害もまた重要と考える企業も多い。中野教授が研究部会で BCP を指導している地元企業の場合も、近くに河川があるところでは、地震よりも洪水を対象とした検討の方がはるかに切実な問題であり、必要性が高く、また心情的にも取り組みやすい。

しかし、水害においては、浸水規模の想定方法や被害量･被害額の想定方法など、まだ多くの点が明確には判明していないため、被害想定、評価が困難なことが多い。従って、研究部会ではとりあえず既存の資料が多く、被害想定のしやすい地震 BCP に取り組み、まず一通り策定したうえで、次のステップとして水害を想定した BCP に進むように指導している。

先に述べた岩手･宮城の企業も、北上川水系流域では、過去にカスリーン台風やアイオン台風で甚大な被害が発生しており、立地環境によっては徳島同様に水害リスクが高い。しかし、水害 BCP を進めるための基礎資料が少ないためか、地震 BCP への取組みが主となっている。

4）BCPへの具体的な取組みー地震との違いー

BCP における重要･中核業務の順位は、地震と水害の違いよりも、結果的に受ける被害の状況によって変わってくる。

また、水害の場合、重要業務や何を優先した対策を行うかには、土地状況、立地、環境が判断に非常に影響を及ぼす。

優先業務や対策は取引相手の企業の心配している内容にも左右され、自社だけでは決まらないこともある。元請のサプライチェーンにも依存する面があり、また、BCP は景気にも左右されるので、単純な条件では優先すべきことが決まらないケースがある。

BCP の必要度はリスクの危険性のほか、業種によってもいろいろ異なる。環境面での必要性や、経営面での必要性、人命の保護ができればあとは壊れてもいいという場合もある。企業の危機意識は、立地や危険度の高さには依らず、むしろ、本当に危険性が高いところでは、対策の困難さから、かえって「どうしようもない」というあきらめが先に立ってしまう。

5）BCPの普及に向けて

災害時のインフラの復旧事業は民間の建設会社の力によるところが大きく、公共事業の一環として重要な位置を占めている。

しかし、最近は地場のゼネコンでも機械を自社で保有せず、協力会社頼みのところも多くなっている。したがって災害時に協力会社が被害を受けたら自社が無事でも業務中断となる。このような状況で、自社だけで BCP を推進しても意味はなく、関係する協力企業と一丸となって BCP に取り組んでいかないと BCP サイクルはうまく回らない。

東証一部上場企業など、大企業では BCP の策定がかなり進んでいるが、地方の中小企業ではまだまだ取組みが普及していない。中野教授が建設業 BCP 等審査会の委員を務める四国地方整備局では､総合評価入札の際 BCP 策定企業に対する加点制度がある。そのようなインセンティブが増えると BCP への取組みも進むと思われる。

広域水害に際しては、行政は地震に準じた広域連携をとるべきであり、事前の要員派遣や支援として、国が県、県が市町村へ入っていく仕組みが必要である。同様に、個々の企業が BCP に取り組むだけでなく、関係企業の BCP が連携することによって乗り越える必要がある。

また近年は、大型水害ではない、局所的なゲリラ豪雨が頻発している。局所的災害の場合、個別の企業には影響が大きいが、社会全体への影響は少ないため、社会全体としての BCP の推進圧力にはなりにくい。しかし、個々の企業にとっては、被災時の事業への影響を低減し、他社との競争力を維持していくためにも、水害 BCP に取り組むことの意義は大きいと考えられる。

企業防災は自主防災に比較して、地域に広がりやすい。企業は社員や取引先など関係者が一カ所の地区に集中せず、広がりを持つため、一つの地区に留まる自主防災組織よりも周辺に影響を与えやすい。企業防災を進める方が自主防災より地域の防災力の底上げにつながる。

3.1.2　水害と地震災害の違い

1）被害調査の困難さ

大地震の被害発生は数十年に1回程度で、個々の被害は大きいが頻度が少なく、発災後に集中的に調査団が入るため、調査の成果が上がりやすい。しかし浸水による被害は毎年数か所で発生することも多く、調査の焦点が絞りづらい。また、多くの被災現場では数日で復旧が終わってしまうので､調査に行った時には被災状況が保存されておらず、被害調査記録も整理されないままになっていることがほとんどである。特にライフライン被害は復旧が急がれるため被災状況に伴う課題の抽出が充分にできていない。

2）被害想定の困難さ

地震は震度などの被害想定や人的､物的･経済的被害をシミュレーションし､それに対する対策を行うというアプローチがあるが、水害については被害想定のシミュレーションまでであり、経済的、社会的影響の把握はあまりできていない。そのため、それに対する総合的な対策を行うところまでには至っていない。

ハザードの発生確率についても、地震の場合再現期間500年など、標準的ものさしがあるが、水害の場合、再現期間100年のものや200年のもの、過去の最大降雨量など具体的なハザードの量を指定したものなどバラバラであり、考え方が定まっていない。

最近の気象状況では、浸水想定における「xx年に1度程度の大雨」の被害規模も、同じ xx 年のうちで年々増大するイメージがあり、洪水の規模よりも地震規模のほうが確率として推定しやすい。

中央防災会議で公表された荒川の氾濫による首都の浸水（再現期間200年～大きいものは1,000年規模）のような巨大水害は実際の発生規模、確率と乖離するため余計にイメージしづらくなっている｡比較すると､首都直下地震の被害想定の方がわかりやすく、従って検討しやすいため、民間レベルでの水害対策の実施は、地震対策よりも進み難くなっている。

3）対策の困難さ

工場の地震 BCP 対策では、まず建物の補強など耐震性向上が対策の基本にあり、設備が転倒･損傷せず､人命の安全が確保され、さらに機器の機能や材料･製品が被害･損傷を受けないように必要な対策を進める。特に半導体工場は地震の影響を受けやすく、新潟県中越地震、中越沖地震の被災企業を教訓として地震 BCP の策定や対策が進んでいる。

一方、ハード的な浸水対策は、堤防など最初からある程度コストをかけた大規模な対策を実施しないと効果的でないため、行政主導で行われることが多く、民間では投資負担が大きくなることから、大手企業以外には実施が困難となる。中小企業はコストのかからない、可能な範囲での小規模な対策に限られる。徳島県内ではやっと 1～2 社が水害 BCP の検討をスタートし、電源施設対策などの具体案を検討し始めているところである。

個別のハード対策の例として、防水（止水）壁の設置があるが、防水壁の高さをどの程度にするか決定するには、浸水高さ＝被害規模をどこまで想定し、守ろうとするかに

よるが、近年の気象状況では浸水リスクを数値的に評価するのは地震に比べかなり困難である。建造物等の対策を一度講じてしまったら、修正（補強）が非常に難しいこともあり、浸水被害の規模と確率的関係のイメージが困難なため、対策コストとの兼ね合いをどう判断したらよいか、企業にとって意思決定を難しいものにしている。

地震と水害では、講ずべき対策が相反する場合もある。病院や工場などにおいては、精密機器、大型・重量機器は建物や機器の耐震性を優先して、1 階に置かれることが多い。しかし一方で 1 階は浸水しやすいため、水害の危険性が高い地域では浸水対策が必要となってくる。MRI などの重要機器が浸水すると、診療など業務に支障がでるが、経済的にも大きなダメージとなる。

4）水害対策としての移転

水害の一番の対策は「移転」である。「防水」は、個別企業の対策としては限界があり、残りは行政などのハード対策に頼るしかない。特に、津波･高潮は防潮堤を高く作るほかはないため、自力での対策が困難であり、残された対策は移転しかない。

行政が海沿いの工業団地に企業の進出誘致を行ったとき、海岸の津波対策が示せず誘致できなかった例もある。

高松市で生じた平成 16 年(2004 年)の台風 16 号による高潮では、対策の基本になっていた想定潮位から 60cm 以上上昇し、海岸付近の多くの施設が浸水した。防災を所管すべき四国地方整備局も本局庁舎が浸水し、受け取って配信すべき防災情報のデータが更新されず、影響が広範囲にわたった。その後施設を移転し、現在は 13 階建物の 8～13 階に入居している。

国交省などでも、都市の各種情報と関連づけた浸水ハザードマップにより地域の浸水リスクを明らかにし、自主的な土地利用制限や移転を促そうという動きもある。

3.1.3 被害の実態

水害における企業の被害類型は、中野教授の所でもまだあまり整理されていない。被災企業から被災情報が出てくることが少ないことと、前述したように、被害調査も困難なため、具体的な事例が多く集まっておらず、津波、高潮も含めた浸水被害については調査中である。

1）ライフラインの被災と確保

水害時のライフライン確保は重要な課題である。

地震同様、水害によっても橋梁や橋脚が損傷を受け、道路、鉄道被害につながる。また上下水道施設なども浸水によって機器等が被害を受け、供給が停滞する。

河川災害と水道被害の関連は大きく、上水道が被害を受けることが多い。水害によって生じた汚れを落とすのに、水は必須であるが、その水の供給が水害によって滞ることが多い。現在研究室で水害時の上下水道被害について調査研究中である。

電気室等が水没し、地下のポンプ等が使えなくなる場合や、浄水施設が壊れる場合は復旧が困難となる。設備等の浸水は、まず排水を行い、乾いてから動作確認し、部品交換などを行う必要があり、部品も汎用品であればすぐ補修できるが、特殊なものはすぐ

に調達できないため、復旧に時間がかかることになる。

上水道施設の災害対策は、総じて他のライフラインに比較し遅れている。電気、通信などは大手企業が供給しており、各種の対策も行われているが、水道は地方公共団体などの所管であり、財政基盤の弱いところ、特に組合管理の簡易水道などでは対策が進捗していない。

共同溝については、耐震性、防水性がある程度確保されているため、まだ共同溝の被災事例がなく、実際に被災した場合どうなるかの検証がなされていない。しかし、一度被災すると、被害個所がわかりづらく、復旧スピードが遅くなると考えられる。平時は共同溝の方が便利なので、被災した場合に復旧が行いやすくなるよう対策を講ずる必要がある。海外において、地中化された電線に被害が発生したが、被災箇所が分からず復旧が遅れた例がある。

最近の技術の進歩を活用し、ヘルスモニタリングなど、容易に故障箇所を見つける方法を取ることも考えられる。

2）水害の復旧対応

水害被害の特徴は、残骸等の膨大なゴミや泥での汚れである。

地震の場合は建物が倒壊しない場合はすぐに復旧活動ができるのに対し､浸水被害は､まず室内の泥やゴミを片付ける必要があり、その後でないと何もできない。

その際、清掃にはきれいな水が必要であり、水害時の河川の水は数日間以上濁っているため清掃には不適である。浸水して周辺には水があふれているのに、必要な水が足りない、という事象が発生する。後述するように、上水道が止まることも多く、飲用水は給水車で対応できても雑用水が不足することになる。以前は井戸水が使われていたことも多いが、近年は井水の取水制限などで井戸が廃止されたところも多く、水害後の清掃用の水の不足は深刻な課題となる。

佐用町の水害で被害を受けた佐用川沿いの工場では、河川の水をポンプアップして清掃用として使い、早期復旧を図ったという。

3.1.4　水害時の企業と従業員の活動

1）水害時の企業と従業員の行動－危険回避－

浸水が発生しそうなときに社員を急いで帰宅させるのは問題がある。帰宅ルートの安全性をいかに確認するかが重要である。

事業所の被災状況の確認や被害を防ぐため出勤する場合も多く、浸水後の対策を行うため従業員を参集させるケースもあるが、水害時に無理に移動すると死亡の危険性があり、このような指示は見合わせるべきである。自宅に居たときは水位が低いと思い出勤したら、その後首まで水に浸かる事態になった例もあったということである。

近年の水害は１時間先が読めないことも多く、事態の進行前に、状況に合わせ早めに行動し、状況判断が困難な場合は安全を最優先することが重要である。

2）安否確認手段

徳島県では「すだちくんメール」という誰でも使える安否確認システムが用意されている。法人向けの追加サービスとして「安否・参集情報収集サービス」「法人内メール配信サービス」が設けられているため、小規模な事業所でもコストをかけずに安否確認や一斉指示などを行うことができる。

図 3.1.4-1　すだちくんメール　バナー

出典：徳島県すだちくんメール HP　徳島県危機管理部南海地震防災課 [1)]

3）災害時の復旧活動への協力－危険と隣り合わせ－

佐用町水害の事例では、鳥取からの保線業者が、鉄道線路に被害が発生しそうだということで当日深夜に出動したが､その時､すでに通行止めとなっていた国道 373 号線を、道路警戒の静止を振り切って現場に行き、徹夜で復旧作業を行なった。通ってきた国道 373 号線を振り返ると道が浸水して見えなかったという。業者は、災害時出動契約を結んでいたほか､「鉄道早期復旧が我々の使命」と考え出動したということである。

二次災害の危険性による出動の是非について問われたが、義務を果たすためには自分たちの安全確保まで配慮できなかったと答えたそうである。結果的に事故は起きなかったが、この行動が正しかったかどうかは判断が分かれるところである。

新潟県の豪雪時における業者の事例では、行政から出動要請があったが、これまでの経験から、現場までの経路の危険性が高いと判断して断った所、その後に当該箇所で雪崩が発生し事無きを得たという。

災害時に民間業者が行う復旧活動においては、労働災害などの問題が発生した場合、「企業の判断･責任」になる場合が多い。復旧活動と安全確保の兼ね合いのためにも、発注者である行政とのリスクコミニュケーションの必要性、重要性が求められる。

3.2　各種施設における事業継続計画(BCP)の取組み事例

ライフライン事業における BCP への取組みについて紹介する。なお、災害の想定は、主に地震であり、地震時の災害対策や留意点についての紹介とする。

3.2.1　官庁施設のBCPの取組み

官庁施設では、大規模災害の発生時においても政府の業務継続が確実に行われるために、業務を行う場が有効に機能するための施設の機能確保に関して「業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針」を作成している。

「業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針」では、業務継続のための官庁施設の機能として、「基幹設備機能」、「活動支援空間における機能」および「執務空間における機能」の三つの機能を定義している。「基幹設備機能」とは、設備の主要部分や幹線部分の機能を示し、「活動支援空間における機能」とは、非常時優先業務の実施において必要となる移動や搬送の機能、職員の業務活動に伴って必要とされるトイレや備蓄等の機能を示し、「執務空間における機能」とは、非常時優先業務を行う執務エリアについて、明るさ、情報伝達、空調・換気、セキュリティ機能を示している。

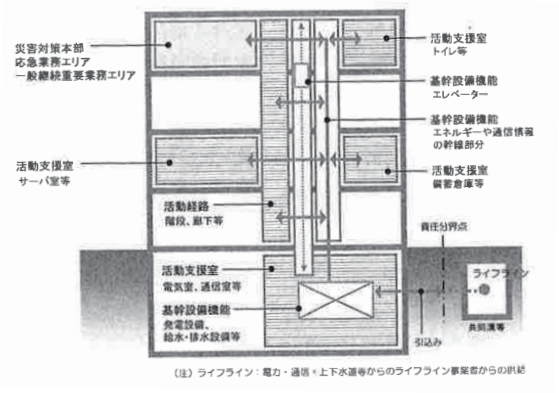


図 3.2.1-1 官庁施設内の機能と空間の概念図

出典：建築設備士 2010.10[2)]

各設備に対する事業継続についての留意事項は下記である。

①「電　　力：電力は、明るさや情報の処理、伝達、文書の作成、複写など初動体制時から必要となる機能を稼働させるエネルギーとなるため、商用電力の途絶に備え非常用電源を確保することを必要としている。また、非常時必要となる負荷を具体的に選定、抽出し、非常用電源の容量や電力ライフラインの復旧や燃料補給が可能となる時間を想定し、燃料の容量の検討も必要としている。

②「通　　信：非常時において、情報通信にかかわる機能は必要不可欠となるため必要な機器に非常用電源が供給されることはもちろん、サーバー室等の機器からの発熱を処理するための空調を確保し、システムダウンしないような配慮を必要としている。館内において、職員への指示・伝達には、構内交換装置、構内情報通信網の他に館内放送も有効な手段となるため機能の確保を必要としている。

③「給　　水：災害時に上水道の復旧までの時間を想定し、かつ、非常時の活動人数を考慮し、受水槽容量を検討することを必要としている。また、受水槽には直接採水可能な給水栓を設置することを検討している。他には、ペットボトルによる備蓄や非常時の使用に限定した井戸を利用することも検討している。飲料水系統においては、貯留期間が5日を超えることが予測される場合には、滅菌装置の設置も必要としている。

④「排　　水：災害時の排水は、主にトイレからの汚水となるため非常時に業務を行う職員や、帰宅できない職員が利用するトイレの排水機能は最低限確保することを必要としている。利用する人数から排水槽の容量を検討することを必要としている。また、簡易トイレやマンホールトイレ等の代替

手段も検討が必要とし、簡易トイレを設置する際にはトイレの一時保管場所も考慮しなければならない。

⑤┌ 空　　調：情報通信機能を有する室においては、自立性の高い単独系統とすることを必要としている。

⑥┌ エレベータ：災害時には、職員の移動や、食料・飲料水の搬送に必要となるため、災害対策本部を上層階に設置するときには、早期の機能確保を必要としている。

これらの機能を災害時に確保するため、施設管理者が必要であり施設に関わる、維持管理受託者(メンテナンス業者)と警備受託者(警備員)との連携が必要であり、これらの関連会社の役割分担を的確に行う必要があるとしている。災害時に対応するべく「施設機能確保のための運用計画」を作成し、非常時における人員の参集計画や復旧計画を立てる必要があるとしている。

3.2.2　電気事業でのBCPの取組み

電気事業が、災害時に停電が長引くと多岐にわたり影響がでる。電力は社会インフラの中でも基盤的なインフラであるため、広範囲・長時間停電が発生すると、社会・経済システムに機能障害をもたらす恐れがある。電力事業者では、非常災害の発生を防止すること、発生した場合は災害規模を軽減すること、早期に復旧することの3つに重点をおいて対策を講じている。

災害の発生の防止については、配電機器の重心を低くし地震時の揺れを少なくするほか耐震補強などをしている。

災害規模の低減については、発電所からの送電ルートを網の目のようにし、ルートを複数用意し、各発電所や送電所でルートの切り替え等を可能としている。また、重要なルートについては1ルートに2回線とするなどのバックアップを取っている。

早期復旧については、配電設備の広範囲に被災した場合や設備の復旧に長時間を要する変電設備の被災が想定さ

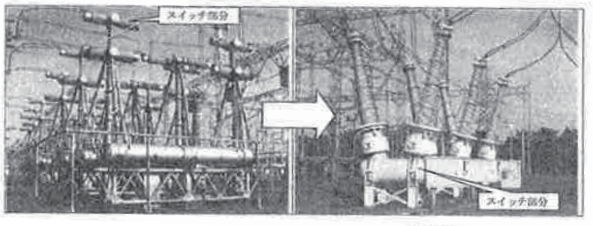


図 3.2.2-1　被災しにくい設備への更新
重心位置の変更

出典：建築設備士 2010.10[3)]

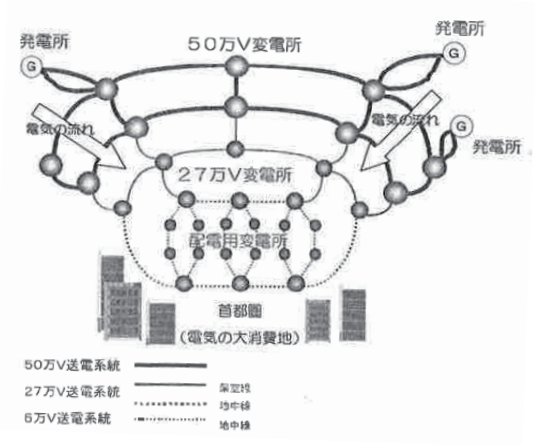


図 3.2.2-2　電力系統の構成例

出典：建築設備士 2010.10[3)]

れるが、本店や支店･営業所および、第一線機関に災害対策本部を設置し復旧計画と復旧作業が迅速にできる体制づくりを行っている。また、重要機器については、常に予備品を用意することにより復旧作業の迅速化を図っている。

救急医療や復旧活動拠点など早期の停電復旧が必要な箇所については、発電機車により直接送電をすることも行っている。

3.2.3 都市ガス事業でのBCPの取組み

都市ガスは、家庭をはじめ工業や商業にも利用され、産業に対し事業継続の基幹エネルギーとなっている。災害発生時には、二次災害防止のために都市ガス供給を停止する地域と、安定して供給を継続する地域にそれぞれ分かれるようになっており、「供給停止地域での災害対応（二次災害防止と早期復旧)」および、「供給継続地域での事業継続（ガス供給と保安の確保)」の両立を実現する必要がある。そのため、都市ガス事業では、業務再開の時間的緊迫性や事業継続への影響度等に基づく優先順位づけを行い、災害発生時の業務区分を設定している。

災害発生時に最優先される「供給維持業務」とは、都市ガス業務の基幹業務である原料調達、LNG 船の配船調整･受入れ、ガス製造･輸送･供給、緊急漏洩修理等の業務のことを示している。災害発生時において、都市ガスを起因とした火災、爆発等の二次災害を防止するために遂行する「災害対応業務(初動業務)」である。これは、地震発生時にきめ細かく地震観測を行うことで被害の大きな地域を推定し、一部地域の都市ガス供給を迅速に停止する業務となる。

あとは、企業として最低限遂行すべき業務を厳選した「最低維持業務」､都市ガスの早期供給再開に向けての「災害対応業務（復旧業務)」となる。

ガス事業においても、災害対策を予防対策として、機器の耐震化や安全装置の多重化を行っている。

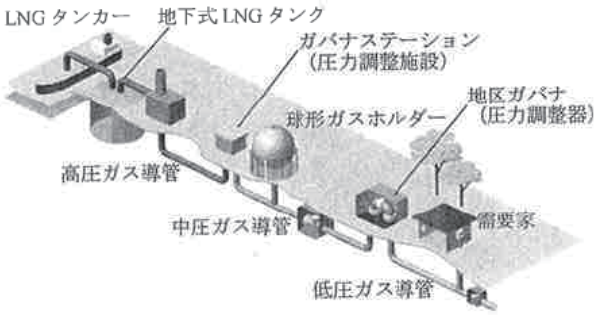


図 3.2.3-1 都市ガス供給システム

出典：建築設備士 2010.10[4)]

表 3.2.3-1 災害時の業務区分と優先順位付け

優先順位		業務区分	
①	重要業務	供給維持業務	
②		災害対応業務	ⅰ初動業務
③		最低維持業務	ⅰ企業機能維持業務
④			ⅱサービス維持業務
⑤		災害対応業務	ⅰ復旧業務
⑥	中断業務		

出典：建築設備士 2010.10[4)]

3.2.4　水道事業および下水道でのBCPの取組み

水道事業や下水道事業においては、災害が発生した場合でも生活に必要な水の供給や、汚水の排除･処理による公衆衛生の確保など､社会的な基盤を維持することが求められている。水の供給をするために必要な施設としては、浄水場、配水池などの基幹設備、および導水管や送水管などがある。排水をするために必要な施設としては、下水処理施設や下水管がある。現状では、これらの施設や設備の耐震化を進めている段階である。

水道事業での耐震化率は、浄水場 16.3%、配水池 29.3%、基幹管路 28.1%(平成 20 年)であり、下水道事業では、水処理施設 約 9%、基幹管路 約 16%（平成 20 年）である。

水道事業および下水道事業では、関連する設備の耐震化を進めつつ、災害時の迅速な復旧活動を行う体制づくりが進められている。[5),6)]

3.2.5　放送事業およびデータセンターでのBCPの取組み

災害時において、放送事業に求められることは放送を継続することであり、データセンターでは情報へのアクセスを中断させないことである。

地震時を想定し、建物自体を免震構造、制振構造や耐震構造とすること、ライフラインでは、引き込み回線の多重化、受水槽の設置や備蓄などの対策をしている。放送事業やデータセンターでは、災害時に情報ラックへの影響を最小限に抑えるため、情報ラックの耐震が重要とされており、また、機器設置室への空調の確保も重要とされている。[7),8)]

3.2.6　企業による水害時のITサービスの確保事例

三条市に本社のある住宅設備機器会社は平成 16 年（2004 年）7 月の新潟･福島水害で、本社社屋と三条工場が床上浸水した。駐車場の乗用車はほぼ水没し、工場 1 階にあった機械もすべて水没した。しかし、全国の事業所が利用する生産、販売、物流などの基幹系業務システムや部門メールサーバなどの IT インフラは、新潟市内のデータセンターでアウトソーシングされていたため、被害を免れた。また、水が流れ込むまでのわずかな間に、重要書類やパソコン 30 台ほどを避難させることができた。また、社内が水没した様子を即座にデジタルカメラで撮影、携帯電話で協力会社等関係者に送信、データセンター運営会社に、自社ホームページに本社機能が停止している旨の掲載を依頼するなど、被災状況を素早く伝達して関係者への支援を仰いだことで､復旧物資の迅速な手配が可能となった。

また､独自の「二毛作生産ライン」(同じラインでエアコンと石油ファンヒーターを生産すること）によりエアコンから石油ファンヒーターに生産を切り替えて対応するなど、有効な対策をとることができたことで、顧客への影響と工場の稼働率低下による損失を最小限に止めることができ、一般ユーザーへの影響はほとんど出なかった。

水害後の復旧体制においては、会社周辺の復旧を優先し、水害にあった社員宅の支援を行うなど、地域への貢献を重視した。[9),10)]

3.2.7　各施設でのBCPへの取り組みについてのまとめ

これまでに紹介した施設では､BCP の基本となる災害を地震として施設での対応を決定していることが多く見受けられる。地震は、広域に被害が想定されることや、建物自体や設備機器への影響が大きいため、基準とされている。ただし、現在の災害は、水害やテロ

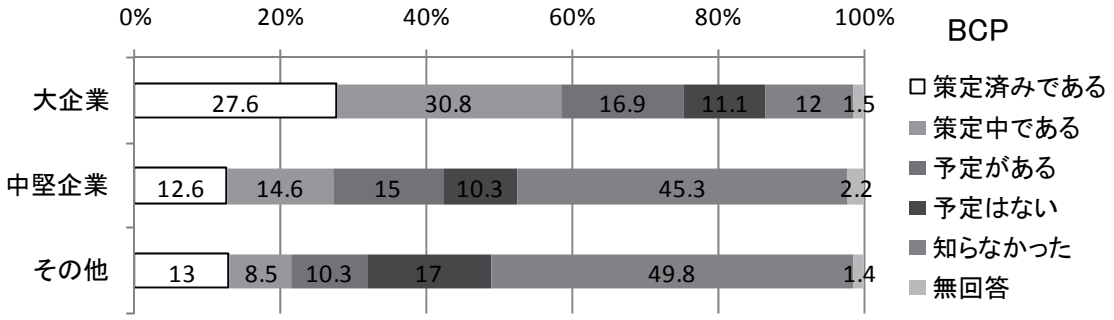
など多岐にわたるため災害に応じた対応をする必要がある。

3.3 BCPに関する各種統計資料

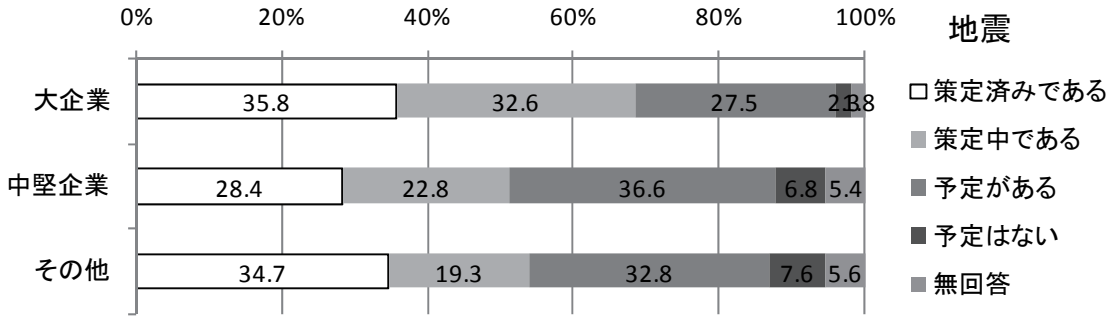
3.3.1 内閣府「企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査」

内閣府の「企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査（H22.3）」[11]によると、BCPを策定済み、ないし策定中とした企業は大企業で6割にのぼり、策定が相当進んでいるが、中堅企業では3割弱であり、さらなる普及が望まれる。また、BCPを策定済み、策定中あるいは予定している企業において、地震および新型インフルエンザを検討リスクとしている企業は8割を超えるが、水害については4割前後にとどまっており、地震やインフルエンザの約半分である。

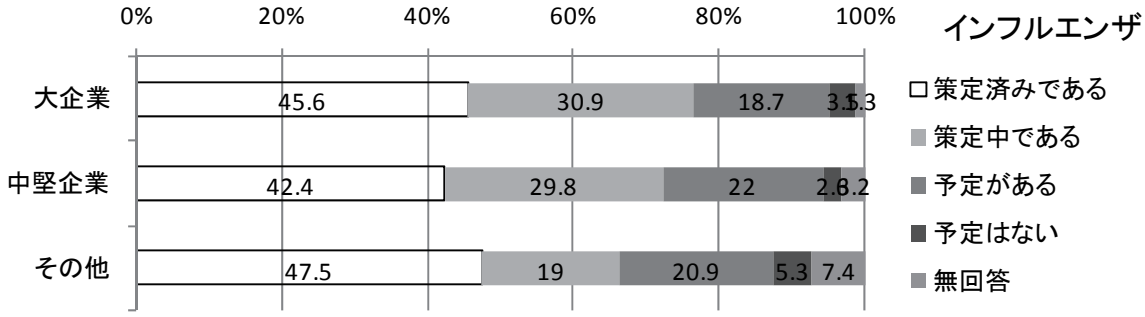
図 3.3.1-1 に企業の規模別のBCP策定状況および、BCPを策定済み、策定中、または予定がある、と答えた企業のうちの個別のリスク（地震、新型インフルエンザ、水害）での検討状況を示す。



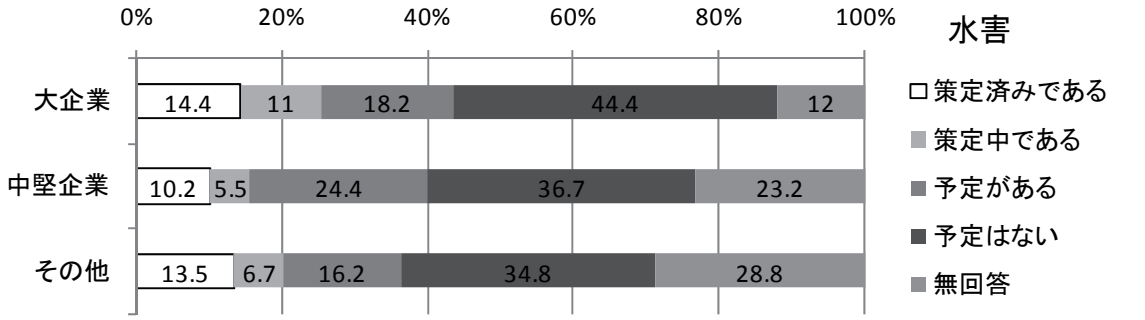
（１）企業のBCP策定状況



（２）地震に関するBCPの策定状況



（３）新型インフルエンザに関するBCPの策定状況



（４）水害に関するBCPの策定状況

図 3.3.1-1　企業のBCP策定状況

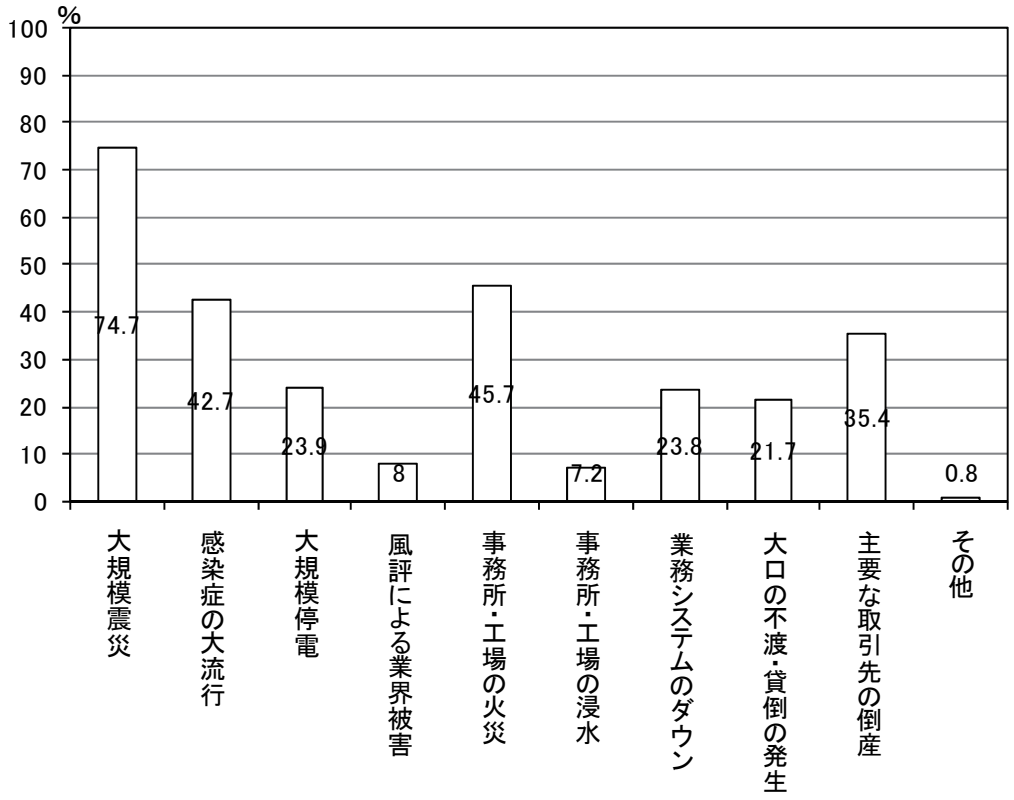
内閣府「企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査概要 平成 22 年」[11]の数値により作成
（http://www.bousai.go.jp/kigyoubousai/jigyou/keizoku08/08_shiryo03.pdf）

3.3.2　東京商工会議所「災害･事故･感染症等対策(BCP)に関するアンケート調査報告書」

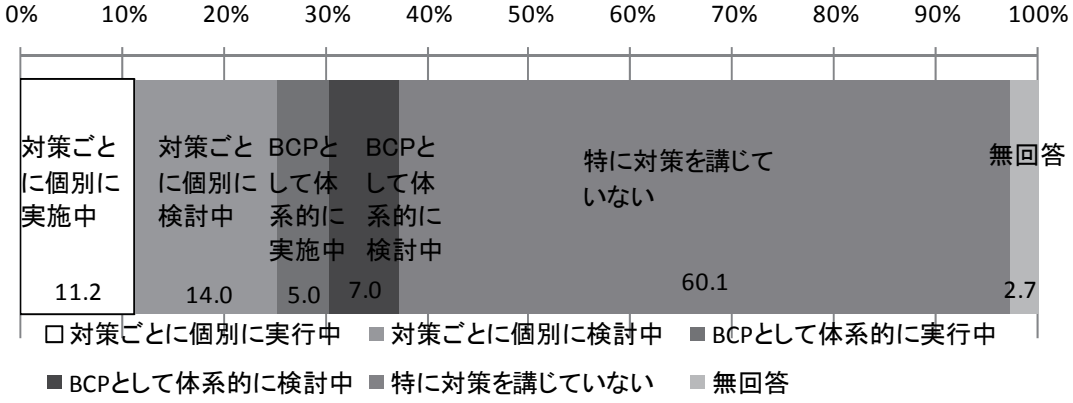
東京商工会議所は、東京都、(財)財団法人東京都中小企業振興公社と合同で、会員企業の災害･事故･感染症等への対策の取組み状況を把握するためのアンケート[12]を実施した。

これによると、約 75%が配慮すべきリスクとして地震をあげているのに対し、浸水は 7.2%とひと桁違っている。

また、浸水対策について、特に対策を講じていない企業が 60%にのぼっている。



（１）災害･事故･感染症等で「発生可能性」と「影響度」を勘案した場合、配慮すべきもの（上位3つの複数回答）



（２）建物･設備等の浸水対策レベル

図 3.3.2-1 東京商工会議所会員企業の災害･事故対策状況

「災害･事故･感染症等対策(BCP)に関するアンケート調査報告書 平成21年度 東京都産業労働局、(財)財団法人東京都中小企業振興公社、東京商工会議所」の数値により作成

（http://www.tokyo-cci.or.jp/kaito/chosa/2009/211225.pdf）

3.4　水害BCP策定のあり方についての検討

水害における BCP／BCM の検討を行う上での手引きとすべく、「水害 BCP 策定のあり方」についての検討をおこなった。

3.4.1　はじめに

BCP とは一般に、事業が遭遇する可能性のある重大な危機を想定し、その危機に対して優先して継続、復旧すべき中核事業を特定し、その非常時における目標復旧時間を定め、その対策を事前に用意し、常に発動可能なような維持管理法を策定することで、その中核をなす検討が「事業継続ための目標復旧時間」の設定であるが、本報告においては、「目標復旧時間の設定」が地震 BCP で事前になされていることを前提として水害 PCB 策定のあり方を検討している。

従って、水害 BCP 策定検討ステップは**表 3.4.1-1** のようになり、主な作業は、③浸水被害の想定、④水害対策の策定、⑤日常の水防活動計画となるが、本検討は、工場や一般ビル等の施設を対象としたものとする。

水害は、特に集中豪雨、ゲリラ豪雨、台風により発生するため、これに付随する落雷対策、風害対策も併せて検討しておくことも大切である。

表 3.4.1-1　水害BCP策定ステップ

ステップ１	①浸水の可能性判断	・洪水ハザードマップや現地調査等から浸水の可能性を判断する､浸水のおそれがある場合に限り、浸水規模を想定し、ステップ２へ進む。
ステップ２	②事業継続目標復旧時間設定	・地震 BCP の目標復旧時間をもとに､水害 BCP の目標復旧時間を設定する。
ステップ３	③浸水被害の想定	・想定された浸水規模をもとに、建物や設備等への被害の程度を想定する。
ステップ４	④水害対策の策定	・事業継続目標復旧時間の対象となる重要業務への建物や設備等の影響を把握し､設定された事業継続目標復旧時間を満足するハード対策を立案する。 ・水害時における建物や設備等の被災防止策を立案する。 ・浸水時の初動対応を立案する。 ・浸水後の後片付け要領と復旧対策を立案する。
ステップ５	⑤日常の水防活動計画	・BCP を日常維持管理するための「ソフト対策」(組織、事前の点検、復旧手順、訓練等)を計画する。

3.4.2 浸水の可能性判断

水害 BCP を検討する地点が、浸水のおそれがある区域なのかどうか、また浸水のおそれがある地区ならどの程度の水深になるのかをまず確認しなければならない。そのためには、次に述べる資料収集と現地調査に基づく浸水の可能性判断が必要となる。

1）資料収集

(1) 洪水ハザードマップ

検討地域における浸水の可能性を知るための資料で、検討地区を所管する市区町村が作成し、公開している。洪水ハザードマップには、洪水時の河川の破堤、越水等の箇所、洪水氾濫の範囲、水深を示した浸水想定区域図や氾濫流の到達時間等の情報が記載されている。国交省「ハザードマップポータルサイト(http://disapotal.gsi.go.jp/)」で、該当する市区町村を Web 検索することができる。また、洪水(内水含む)以外に高潮・津波・土砂災害・火山のハザードマップも掲載されている。ハザードマップ掲載の市区町村からは印刷物の入手も可能である。

(2) 1/25,000 縮尺の地形図

検討区域の概略的な地形を知るための資料となる。また、この地形図は、国土全体をカバーしている地形図のうちで最小縮尺版、国土地理院で発行、一般の大手書籍販売店で入手可能であるが、次の Web サイトからも閲覧可能である。

・国土地理院「地図閲覧サービス“ウォッちず”」
  http://watchizu.gsi.go.jp/
・国土地理院「電子国土ポータルサイト」
  http://portal.cyberjapan.jp/index.html

(3) 1/2,500 縮尺の都市計画図

検討地点周辺の微地形と洪水ハザードマップの浸水想定区域図から浸水時の局所的な水深を推定するための資料となる。この地図は市区町村が作成し、市区役所や町村役場で入手可能である。

(4) 洪水実績等の資料

過去の水害被害報告（浸水状況図や写真）や河川の危険個所(破堤、越水、溢水箇所)に関する情報、水防計画書、地域防災計画書を市区町村から入手することができる。

また、これらの資料も Web から閲覧できる市区町村もある。

2）洪水ハザードマップから浸水判断

洪水ハザードマップに示された浸水想定区域は、洪水シミュレーションにおいて、計算対象区域を 50m～250m メッシュに分割し、各メッシュに地盤高や粗度係数を与えて計算することにより得られる。

しかし、その結果の洪水ハザードマップには計算で使用した地盤高は明記されておらず、また計算結果が**図 3.4.2-1** のような水深の種別での色分けのため、検討区域が浸水

想定区域に接するメッシュにある場合や実際にどの程度の水深になるのかを洪水ハザードマップから直接読取ることはできない。

浸水の有無や浸水する場合の浸水深さの目安を知る方法として、洪水ハザードマップ図の浸水メッシュ情報と 1/2,500 の都市計画図の地形情報を用いた判断法を紹介する。

①隣接メッシュに浸水あり、検討メッシュに浸水なしの場合、地形を比較し、浸水のない周辺メッシュと同じ程度の地盤高の場合は、問題なし、浸水のない周辺メッシュと比較して明らかに低いようであれば、隣接メッシュと同様に浸水があると考える。

②検討メッシュ及び隣接メッシュも浸水ありの場合の浸水深さは、洪水ハザードマップの浸水想定区域の境界コンターを 1/2,500 の都市計画図に描きとり、これをもとに浸水標高を設定して浸水深さを推定する。

③例えば、隣接する河川の氾濫原が重複し、同時発生の可能性がある場合は、浸水深さの重ね合わせをもとに妥当な水深深さを検討する。(氾濫原とは、対象とする河川が溢水、越水、破堤氾濫した場合に、その氾濫水により浸水することが想定される区域をいう)

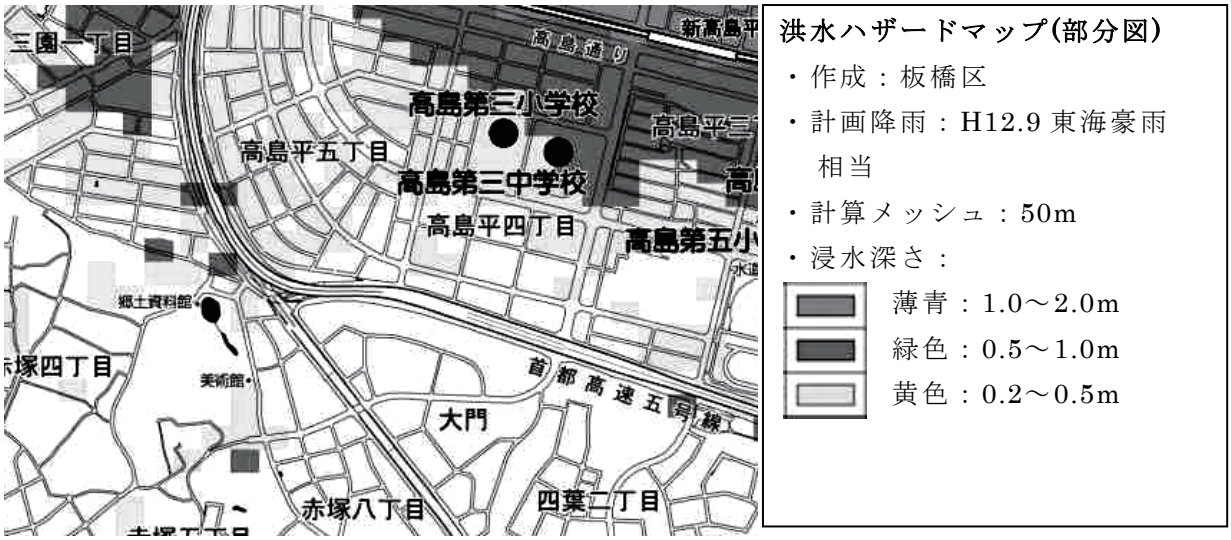


図 3.4.2-1 洪水ハザードマップ例

出典：板橋区：洪水ハザードマップ[13)]

表 3.4.2-1 (参考)浸水深さと具体的目安

浸水深さ表示	具体的目安
0.5m	大人の膝までつかる程度
1.0m	大人の腰までつかる程度
2.0m	1階の軒下まで浸水する程度
5.0m	2階の軒下まで浸水する程度

3）現地調査でのチェック事項

洪水ハザードマップに記載されている浸水想定区域は、指定された河川に対して計画降雨を前提として､河川の整備状況に照らして浸水が想定される区域を示すものであり、浸水想定区域以外の区域は水害に対する安全性が高いと必ずしも言い切れるものではない。

例えば、計画降雨を超える降雨が発生した場合や子派川の氾濫、高潮、内水氾濫等が発生した場合は、浸水想定区域に指定されていない区域においても浸水が起こりうるものである。このことを前提として、洪水ハザードマップからの浸水判断で安全であっても現地調査は行うべきである。

現地調査でのチェック項目を以下に示す。

①過去から浸水被害が生じていない区域か

②過去に起きた洪水に対して、洪水調整施設や堤防整備等の整備計画が策定され、洪水の発生が回避された地区か、まだ未解消の地区か

②最近の局所的豪雨で、周辺の中小河川が急激な河川水位上昇を起こしていないか

③周辺の土地利用の大規模な変更、大規模構造物の建設、地形の大幅な改変等により周辺地形(地盤高)が大きく変化していないか（洪水ハザードマップや都市計画図と比較して）

④検討地域は、窪地や低地になっていないか(河川が氾濫しなくても、内水氾濫により浸水が発生する可能性がある)

＊内水氾濫：急激な豪雨による増水で市街地の小河川や下水路、下水道から溢れ出した水が、短時間で窪地や低地等の特定の区域に溜まることによっておこる浸水被害をいう

⑤隣接する河川の氾濫原が重複する場合、同時発生の可能性はどうか

⑥沿岸地区では、洪水と高潮の同時発生の可能性はどうか

⑦周辺地形から中小河川氾濫、内水氾濫が発生するとすればどのようなタイプが想定されるか

中小河川：下流型氾濫、貯留型氾濫、拡散型氾濫

内水氾濫：下水道配管排水不能、下水道排水ポンプ能力不足、河川自然排水不能

⑧その他、過去の水害被害報告や不明事項ヒアリング等の追加調査等

3.4.3 水害被害想定

1）建物施設や設備等への被害想定

ここでは、先に設定した浸水規模をもとに、敷地や建物が浸水することによって発生する人的被害と建物や設備の機能損失や損傷等の被害を想定することになるが、堤防の決壊付近では水流圧、土砂災害警戒区域では土石流によって、建物の倒壊、水流･土石流による敷地への土砂の堆積、敷地地盤の流出による被害も想定しておくことも必要である。

被害の想定に当っては、次のような区分で被害想定を行うと落ちが無い。

①敷地の被害

②建物(地上階)の被害

③建物（地下階）の被害
④設備（建物内）の被害
⑤設備（屋外）の被害
⑥家具･什器･電気製品等の被害

(1)　敷地の被害

敷地の被害としては、次のものが挙げられる。

・河川氾濫で決壊した堤防の土砂や上流から流れてきた土砂･流木類の敷地への堆積
・高潮浸水による樹木への塩害
・急傾斜地(崖)の崩壊時、崖上の敷地地盤の流出と崖下敷地への崩壊土石の流入
・盛り土造成敷地等の既存擁壁の崩壊による敷地の流出　等

敷地の被害想定は、過去の洪水や豪雨での被害実績がないと浸水の規模想定データのみでこれらの被害を想定することは難しい。また、崖や既存擁壁を持つ敷地については、隣接の居住者に被害を及ぼさないように、その安全性について専門家に調査させるのが望ましい。その他、土砂災害の大規模なものとして、土石流、地滑りによる被害があるが、公共工事の対象となるのでここでは取扱わない。

(2)　建物(地上階)の被害

浸水による建物の地上部分については、一般的に浸水深さが深い程、氾濫水の流速が速いほど、被害は大きなものとなる。構造的に耐力が大きい鉄筋コンクリート造や鉄骨造に比べて木造やプレハブは被害が大きく、規模では、住宅に被害が多いように規模が小さいほど被害が大きい。その目安を**図 3.4.3-1** に示す。

①　流速と浸水深さによる一般家屋（主に住宅）の安全性目安

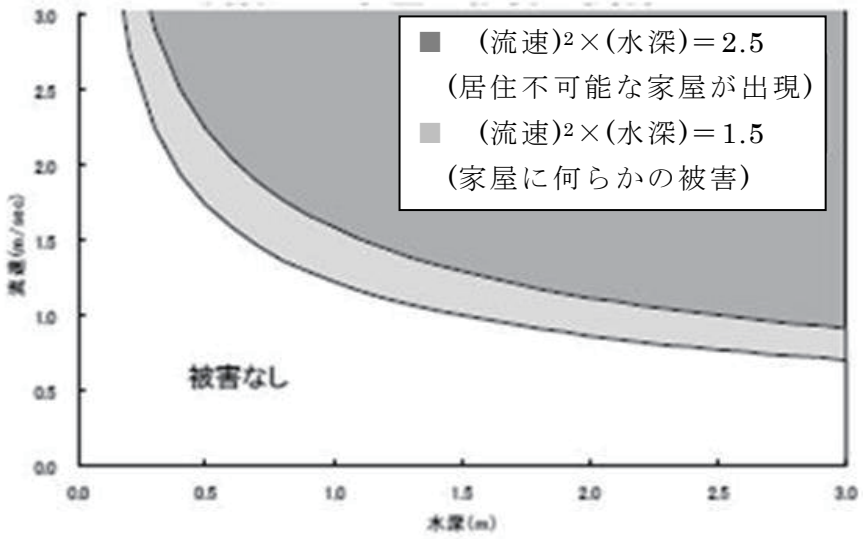


図 3.4.3-1　流速と浸水深さによる一般家屋(主に住宅)の安全

出典：「洪水氾濫の数値計算及び家庭被害について」[14]佐藤他、第37回水理講演会論文集1989.2

② 浸水の程度と建築構造による被害の目安

表 3.4.3-1 浸水の程度と建築構造による被害の目安

浸水の程度	小規模 (木造･プレハブ造)	中規模（鉄筋コンクリート造、鉄骨造）
床下浸水	・浸水しても被害は軽微 (床下に堆積した汚泥の除去要)	・浸水しても被害は軽微
床上浸水	・建物の基礎への緊結がないと建物の移動が発生 ・床、内・外装材の損傷	・内装材の損傷
浸水 2m	・建物の基礎への緊結が低いと建物の浮上りと流出が発生 ・内装材の損傷	・内装材の損傷
浸水 5m	・1 階部分の床･壁・天井・屋根材の損傷 ・建物の倒壊や躯体構造に致命的な損傷	・1 階部分の床・壁・天井材の損傷

③ 建物部位別被害例

表 3.4.3-2 建物部位別被害例

建物部位	損傷例	対処法
床	・床下断熱材の吸水による機能損失 ・床下地合板の吸水・膨張 ・床材：床板の汚損・剥離、畳の吸水膨張、フローリング材の層間剥離・浮き上がり	取替
内壁	・壁内部のパネルや断熱材の吸水による機能損失 ・壁クロス等の仕上げ材の汚損・剥離	取替
外壁	・壁内部の断熱材の吸水による機能損失 ・下地合板の吸水・膨張による外面の不陸発生 ・モルタルやタイル等の仕上げ材の汚損・剥離 ・サイディングボード浮上り・脱落	取替
天井	・下地材、石膏ボードの吸水・膨張による外面不陸の発生 ・天井クロス等の汚損・剥離	取替
屋根	・瓦等の屋根葺き材のずれ・破損・はがれ ・屋根断熱材・屋根防止材の機能損失	修繕・取替
建具	・浸水による窓・出入口の破損 ・木製ドアの吸水変形による開閉不能	修繕・取替

(3)　建物(地下室)の被害

建物が浸水すると当然地盤面より低い地下室は水没することになり、それによって次のような被害が発生する。

・水没した地下室に取り残され水死に至る人的被害
・地下室は、倉庫、電気室、機械室、管理室や駐車場等と多目的に使用されており、地下室の浸水による電気室や機械室に設置されている設備機器等への被害
・地下室の床から壁、天井に至る内装の全面的被害

特に浸水した地下室は、水の掻き出し作業も加わり、復旧にも時間を要し、地上階に比べて被害額も特段に大きなものとなる。

浸水被害の想定をする場合、人的被害に関しては、浸水時の地下室からの避難安全検証を行って、地下室から安全に脱出できるかどうかをチェックする（詳しくは、次項「浸水時の地下階の危険性について」で取上げる)。地下室の内装や設備機器等の物的被害は地下室の水没を前提として、被害想定を行う。内装については「②建築(地上階)の被害」と同様に想定し、設備機器類は、「④設備（建物内)」に含めて被害を取りまとめる。倉庫等の収納物や什器や駐車場で浸水した車両等の被害は、「⑥家具・什器･電気製品等の被害」として取りまとめる。

（4）設備(建物内)の被害

ここでの設備は、建物の居住者の生活を支える建物に付帯する設備と工場の生産設備を対象にするが、被害想定は水をかぶった設備が対象となる。

建物に付帯する設備（**図 3.4.3-2**）や工場の生産設備のほとんどは、電気により動いており、浸水の際、各設備への電気供給は、一般的に電気機器や配線は浸水すると水により絶縁性能の低下が起こり、短絡や漏電が発生し、これによる被害を避けるため配線用遮断器や漏電遮断器による回路の遮断が働くというプロセスで停電に至り、同時に設備が止まり、照明が消えることになる。

停電までの時間は、建物内の配線状況により異なるが、フロア配線や床近くにコンセントがある建物や地下に電気室をもつ建物では、比較的早い段階で電気供給か遮断されることになる。

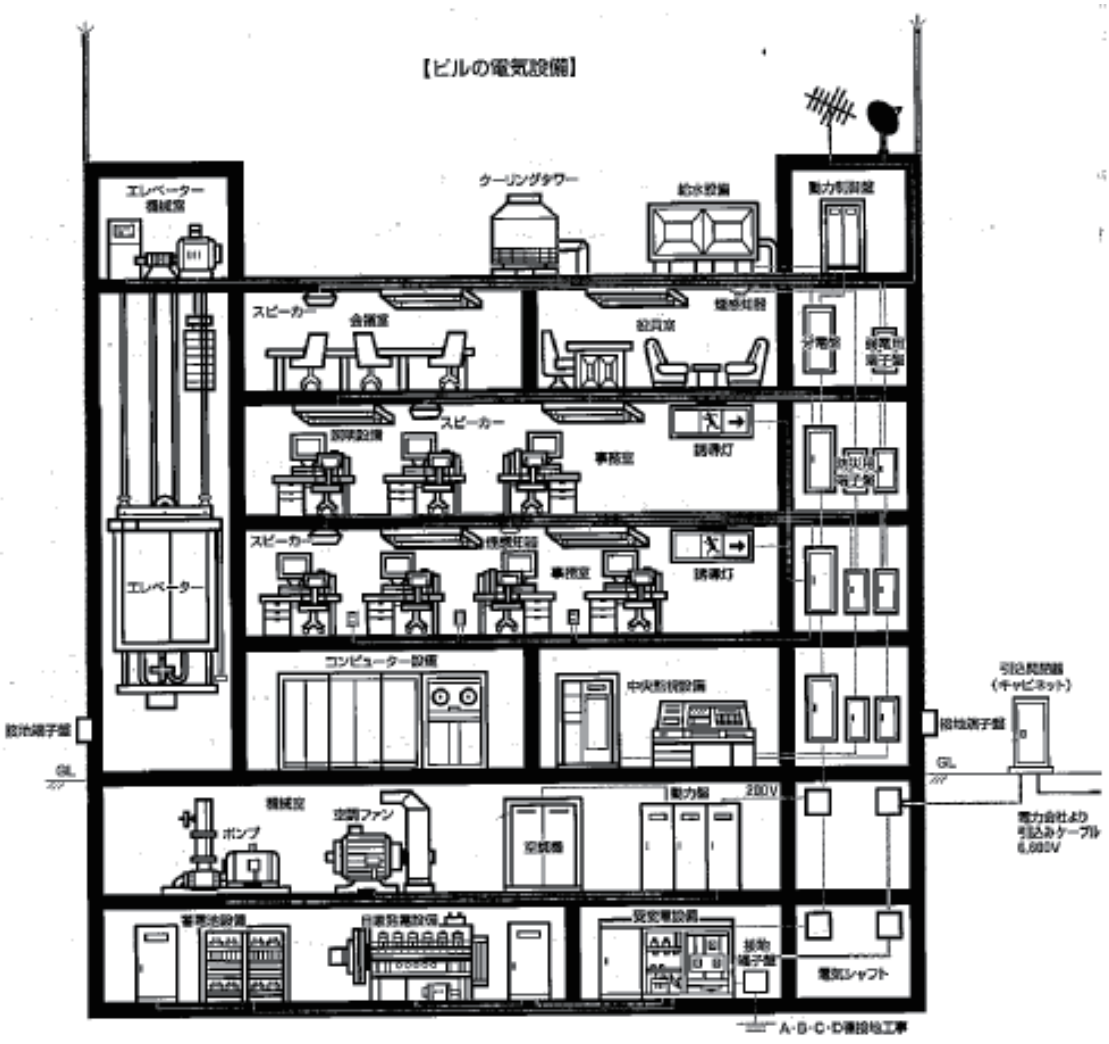


図 3.4.3-2　ビルの電気設備

出典：建築技術教育普及センター「設備設計一級建築士　資格取得講習テキスト(上)」[15] P334

被害の想定は、浸水のおそれのある地階･1 階に設置される設備機器、配線・配管や自動制御機器等が対象となり、通常、浸水のおそれのある地階･1 階に設置される設備機器には**表 3.4.3-3** にあげるものなどがある。

表 3.4.3-3　浸水のおそれのある地階・1階に設置される建築設備機器例

建築設備種別	浸水のおそれのある地階、1 階に設置される設備機器
電気設備	商用電力受電設備、変電設備、常用/非常用発電設備 蓄電池設備、無停電電源設備(UPS) 中央監視設備
通信情報設備	電話交換機、LAN サーバー、インターホン、常用/非常用放送アンプ

電気系その他設備	駐車場管理設備、監視カメラ設備、防災監視装置
給水設備	受水槽、給水ポンプ装置
中央式給湯設備	ボイラー、貯湯槽
排水設備	排水再利用設備、雨水再利用設備 排水槽(汚水槽、雑排水槽、湧水槽、雨水槽)、廃水ポンプ類
中央式空調設備	冷凍機、ボイラー、ポンプ、エアハンドリングユニット、ファン、冷却塔 自動制御機器
昇降設備	エレベータ、エスカレータ、ダムウェータ

浸水した設備機器等の被害想定については､次のような基準で考えることも必要である。

・浸水した装置､器具､部品等で構造が単純で水洗乾燥で再使用できるものは良いが、モーターや電子機器類等が組み込まれたものは、全面更新で考えておくこと
・地下に設置される設備機器は、排水後も復旧工事まで水に濡れた状態で放置されることも多く、全面更新で考えておくこと
・電気の床スラブ内配管配線は配管内の水抜きができないので、新たな配線工事を見込んでおくこと
・断熱被覆の設備機器や空調･給水･排水配管(配管、冷温水配管、水道配管等)は、断熱材の吸水による機能損失から浸水箇所の配管被覆工事の更新を見込んでおくこと

(5)　設備(屋外)の被害

ビルでは、地上屋外に設置される設備機器としては、受水槽設備、浄化槽設備等があるが、工場では、敷地を広くとることや設備の規模が大きいこと等から**表 3.4.3-4** のような設備機器は屋外や 1 階に設置される。

表 3.4.3-4　浸水のおそれのある1階や屋外に設置される設備例

工場設備種別	浸水のおそれのある 1 階及び屋外に設置される設備機器
電気設備	商用電力受電設備、変電設備、常用/非常用発電設備 中央監視設備
熱源設備	冷凍機、ボイラー、ポンプ、蓄熱槽、冷却塔
給水設備	受水槽、給水ポンプ装置
排水設備	浄化槽設備、工業廃水処理設備
昇降設備	エレベータ、エスカレータ
生産設備	炉設備、プレス設備、圧力供給設備

特に、工場設備の被害想定にあたっては、設備機器がオーバーホール等で再使用できるものと全面更新が必要なものとを分けてその被害を考えることが大切である。

（6）家具･什器･電気製品等の被害

水をかぶった家具、什器、電気製品、紙･布類や工場での原料、仕掛品、製品等のほとんどが、水害廃棄物として処分されているのが現状である。これらの水害廃棄物は、事前に浸水しない高所へ移動させておくことにより軽減することができるが、現状においてどの程度の被害になるかを把握することは、次のステップ「水害対策の策定」を考える上で有効なデータとなる。

2）浸水時の地下階の危険性について

「洪水時には地下室から直ぐに避難すること」が、洪水時の地下階での行動原則とされている。水は低いところへ流れるため、敷地や建物への浸水が始まるとその水は、一気に次のような浸水ルートを通って地下階に向って流れ込む。

①地上に設けられた階段等の出入口
②地下階換気のための換気口
③地下駐車場の出入口
④下水道等からの逆流
⑤外階段やドライエリアの窓等

そのため、地上の浸水水位の上昇と比べて、狭い空間の地下階ほど非常に速い速度で水位が上昇する。また次のような危険性を助長する事態も発生するため、洪水と認識した場合は、すぐに地上に避難することが肝要とされている。

①地下階では、地上の状況が分かりにくく、避難の判断が遅れる
②避難路が浸水流入経路と重なり避難が困難となる
③浸水の水圧でドアが開かなくなり、脱出ができなくなる
④浸水により地下階への電気供給が停止し、エレベータへの閉じ込めや防火戸の閉鎖等が発生し、避難をより困難なものとする

地下浸水時の避難の安全性をチェックする方法（国交省河川局「地下空間における浸水対策ガイドライン」参照）が確立されており、検討対象の建物に地下室がある場合はその地下室からの避難の安全性を確認することが必要である。

3.4.4　水害対策の策定

水害対策の策定に当っては、次の項目に従って検討し、復旧時間や要する費用等が最小化するような対策を採用する。

①事前の予防対策
②洪水時の初動活動
③洪水後の後片付け
④事業継続に向けた復旧対策
⑤風水害保険

1）事前の予防策

ここでは、浸水時における建物や設備等の被害防止を検討する。これから敷地や建物を計画する場合や事業継続目標時間内に復旧工事が達成できない場合は、浸水被害の回

避を念頭に検討する。

・浸水のおそれのない場所を選ぶ（移転する）
・盛り土をする
・建物を高床式にする
・地下階を設けない
・設備等の高所設置

また、既存建物の対策については、浸水被害の最小化を念頭に検討する。

表 3.4.4-1 既存建物の浸水被害予防策

対策の目的	具体策
敷地への浸水を防ぐ	・敷地の周囲に防水壁を設置 ・土嚢、簡易防水壁等の常備化
建物(地上部)への浸水を防ぐ	・建物の周囲に防水壁を設置 ・外壁の防水化と開口部の止水化
建物(地下部)への浸水を防ぐ	・建物(地上部)への浸水を防ぐ ・地上に設けられた階段等の出入口の止水化 ・地下階換気のための換気口等の高所化 ・地下駐車場の出入口の止水化 ・下水道等からの逆流防止 ・外階段やドライエリアの壁天端の嵩上げ
設備機器を浸水から守る	・建物(地上部、地下部)への浸水を防ぐ ・高所移設、基礎の嵩上げ
地下室からの安全な避難の確保	・浸水警報設備の設置 ・緊急避難用のハッチ・タラップの取付 ・感電対策(漏電ブレーカー設置)

2）洪水時の初動対応

初動対応とは、洪水警報が発動され浸水のおそれがでた場合、浸水被害の限定化や拡大の防止を目的に、建物の出入口等への土嚢積みや止水板の設置、排水ポンプの設置、事業継続に重要な書類、OA 機器類、材料･仕掛品･製品等の高所移動など、事前に定められた水防活動の実施をいう。ここでは、初動対応に必要な体制、水防活動の実施要領、や水防器具や排水ポンプの常備化、高所への移動が迅速容易にできるようにホイストやダムウェータの設置等を計画する。

3）浸水後の後片付け

氾濫水が引き、天候が回復すると、直ちに後付けが開始される。その手順は、通常次のような作業から構成される。工場等では、生産再開を早めるため、①と同時に⑥被害診断･応急処置に入る場合もある。後片付けは、人海戦術によるところが大きいため、交

通機関、道路、通信の復旧がまず必要となり、作業に必要な電気、水のライフラインの復旧がないと後片付け作業は始められない。水害は震災に比べ発生地域が限定されるために氾濫水が引けばライフラインの復旧は速い。

①敷地･建物内残水の排水（自然排水／強制排水）
②流入物、浸水家具･家具等の除去（大型ゴミの搬出）
③床下、地下室等の流砂、流泥等の除去
④建物冠水部･建具水洗清掃･乾燥
⑤消毒（浸水地域の防疫対策の一環として）
⑥建物･設備の被害診断

ここでは、後片付け要員の手配要領と後片付け作業に必要な次の資材の常備化や災害時の調達法を中心に検討する。

・スコップ、ゴムホース、バケツ、タワシ等の小物
・発電機、ポンプ、投光器、チェーンソー等の工事機器
・小型油圧ショベル（バックホー）等の小型重機
・リヤカー、トラック等の運搬車両　等

また、後片付け作業中に水害廃棄物が大量に発生し、その仮置き場の確保とそのゴミ処理が問題となることが多い。特に、事業所からでる水害廃棄物は、事業者自らの責任において適正に処理するものとされているが、水害廃棄物は、事前の予防策と洪水時の初動対応を十分講ずることによって最小化することができる。例えば､家庭では水害後、水洗で再使用可能となる金属製の家具や陶磁器･ガラス･プラスチック器を除いて、水を被った紙類、木製家具、衣類、寝具、畳、電気製品等はほとんどが廃棄物となる。

参考に、水害後家庭から出される廃棄物を**表 3.4.4-2** に示す。

表 3.4.4-2　家庭から出される水害廃棄物の分類

ゴミ分別区分	水害廃棄物品名
可燃性ゴミ	生ゴミ、流木、衣類、布団、プラスチック、紙類、木製家具
埋立てゴミ	陶磁器、瓦、ガラス、瓶、土壁
金属ゴミ	空き缶、自転車、スチール棚
不燃性粗大ゴミ	ステレオ、ビデオデッキ、パソコン
可燃性粗大ゴミ	畳、絨毯
家電 4 品目	エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機
処理困難物	消火器、バッテリー、バイク、ガスボンベ、油類、薬品類、タイヤ

4）事業継続に向けた復旧対策

ここでは､想定したインフラの復旧時間や建物･設備の事前の予防策や初動対応を考慮して、事業継続目標復旧時間内に復旧ができるかどうかを検討する。一般的な復旧のプロセスは、**図 3.4.4-1** に示すように、まず浸水後の後片付け、消毒、建物･設備の被害診断･復旧工事計画の後、仮設設備導入による建物･設備の仮使用や工場での生産の一部再開を目指した応急復旧工事、その後、建物･設備の恒久的な使用や 100%生産やサービ

スを目指した本格復旧工事の流れとなる。

復旧の開始から終了までの最短所要時間を求めるには、各プロセスに必要な作業アイテムを考え、その作業アイテム間の相互関連を調べ、個々の作業アイテムに要する時間が決まると作業アイテムの順序とタイムスケジュールを示した復旧工程表を作ることができる。また、これを用いて復旧時間や人件費等の費用の最小化を図ることができる。これが簡単にできるパソコンソフトとして、Microsoft Office Project 等多くが市販されており、利用価値の高いツールである。

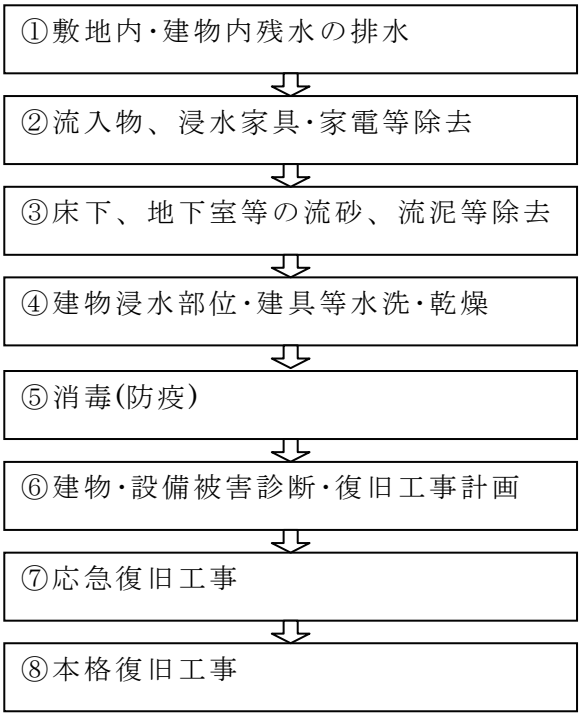


図 3.4.4-1 復旧のプロセス例

5）風水害保険

水害に対する手当の一つとして保険が考えられるが、水害そのものを対象とする単独の保険はなく、風水被害は、通常次のような保険でカバーされている。

・建物･什器･備品 ⇒ 火災保険
・車両 ⇒ 自動車保険
・従業員 ⇒ 傷害保険
・営業損失 ⇒ 企業費用･利益保険

3.4.5 日常の水防活動の計画

洪水がいつ発生しても策定された水害 BCP が実施できるように、水防･避難訓練を盛り込んだ日常の水防活動を計画し、日常の BCP 活動の一環として実施する。計画に当たっての目的と具体的な活動例を以下に示す。

①目的

- ･浸水被害の最小化
- ･スムーズな防水･復旧活動の確保

②具体的な活動例

- ･浸水のおそれがある地区であることの周知
- ･気象庁や行政機関等からの気象、洪水、避難等の各種情報と連携した活動の訓練
- ･洪水の場合どこから浸水するのか、どのような水防作業をするのかの周知
- ･防水板、土嚢等の収納場所、使用法の周知･訓練
- ･地域の避難路、地下室等からの避難法の周知･訓練
- ･応急･復旧活動への体制、連絡･動員要領、応急･復旧作業要領等の整備と周知

参考文献

1) 徳島県　すだちくんメールHP：　http://ourtokushima.jp/
徳島県危機管理部南海地震防災課
2) 清水克紀、業務継続のための官庁施設の機能確保について、建築設備士、2010.10
3) 矢田照博、電気事業の大規模災害対策について、建築設備士、2010.10
4) 萬來雄一、都市ガス事業における事業継続について、建築設備士、2010.10
5) 山田浩司、水道事業における地震対策について、建築設備士、2010.10
6) 奥田千郎、下水道BCP策定による地震対策の強化、建築設備士、2010.10
7) 武下浩一、災害放送に備えるNHKの建築設備、建築設備士、2010.10
8) 遠藤利秀、データセンターにおけるBCP、建築設備士、2010.10
9) リスク対策．com 2008.11.25Vol.10、新建新聞社
10) （株）コロナ　平成17年3月期　決算短信
http://www.corona.co.jp/news/news_050518tan.pdf
11) 「企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査」概要、内閣府、平成22年3月、
http://www.bousai.go.jp/kigyoubousai/jigyou/keizoku08/08_shiryo03.pdf
12) 「災害･事故･感染症等対策(BCP)に関するアンケート調査報告書」平成21年度、東京都産業労働局、(財)財団法人東京都中小企業振興公社、東京商工会議所
http://www.tokyo-cci.or.jp/kaito/chosa/2009/211225.pdf
13) 板橋区洪水ハザードマップ
http://www.city.itabashi.tokyo.jp/c_kurashi/009/009967.html
14) 「洪水氾濫の数値計算及び家庭被害について」佐藤他,第37回水理講演会論文集1989.2
15) 建築技術教育普及センター「設備設計一級建築士　資格取得講習テキスト(上)」P334

第４章　災害に対する損害保険の現状と課題

本章では、災害に対する損害保険の現状の調査として、兵庫県フェニックス共済、社団法人日本損害保険協会およびマーシュブローカージャパンへのヒアリングを行った内容を示すとともに現状の損害保険の課題について検討を行った。

4.1　兵庫県フェニックス共済へのヒアリング

あらゆる自然災害を対象とした兵庫県のフェニックス共済の成立ちや制度内容について、平成 22 年 8 月 26 日に兵庫県企画県民防災企画局復興支援課へのヒアリングを行った結果を報告する。

日時：平成 22 年 8 月 26 日

場所：兵庫県庁内 防災企画局復興支援課

図 4.1-1 マスコットキャラクター はばタン

出典：兵庫県フェニックス共済 HP[1)]

4.1.1　共済会による保障制度

共済とは、相互の助け合いを行うことを目的とした事業活動を行うことである。災害時において住宅などへの被害に対して補償を行う共済もある。災害への共済は、主に火災共済と地震共済に分かれた共済がほとんどであるが、現在では火災共済で水害や台風などの災害も対象とするタイプもある。

4.1.2　フェニックス共済

平成 7 年（1995 年）1 月 17 日に発生した阪神･淡路大震災により被災した住宅などが、自助や公助だけでは復興に時間がかかることや復興できない場合があり問題となった。問題となったのは、再建資金がなく持ち家を再建できないこと、住み慣れた土地からの移転を余儀なくされたことによるコミュニティの崩壊などであった。

そこで、兵庫県では、条例に基づき住宅再建共済制度を平成 17 年(2005 年)9 月から始めている。この兵庫県住宅再建共済制度をフェニックス共済といい、公益財団法人兵庫県住宅再建共済基金が運営を行っている。

フェニックス共済は、個人の貯蓄や地震保険などの「自助」や行政による支援などの「公助」とは違い、住宅所有者間の相互扶助「共助」による住宅再建支援の仕組みを持った共済となっており、全国で初めての制度となっている。

フェニックス共済の歩みは以下となっている。

･平成 7 年(1995 年)　阪神･淡路大震災発生
　　住宅地震災害共済制度を提唱(兵庫県)
･平成 9 年(1997 年)　総合的国民安心システムを提唱(兵庫県等)
･平成 10 年(1998 年) 被災者生活再建支援法成立(国の法律)(支給額最高 100 万円)
･平成 16 年(2004 年) 被災者生活再建支援法改正(住居安定支援制度　支給額最高 200 万円)

・平成 17 年(2005 年) 兵庫県住宅再建共済制度条例制定
住宅再建共済制度(フェニックス共済)を開始(支給額最高 600 万円)

以下フェニックス共済制度の改正履歴を示す。

・平成 19 年(2007 年) マンション共用部分再建共済を開始(支給額最高 300 万円)
・平成 22 年(2010 年) 家財再建共済制度を開始(支給額最高 50 万円)

また、平成 19 年(2007 年)には被災者生活再建支援法が改正となっており支給額が最高 300 万円までとなっている。フェニックス共済の立上げには、阪神･淡路大震災より 10 年の歳月がかかっている。

4.1.3 フェニックス共済の特色

フェニックス共済の特色としては以下があげられる。

・住宅所有者間の相互扶助「共助」による住宅再建支援の仕組みを持った共済である。(全国で初めての制度である)
・年間の掛金が 5,000 円であり、住宅の再建に 600 万円を確保できる。
・住宅の規模、構造、老朽度、および、立地条件に関係なく定額の負担で定額の給付が受けられる。
・あらゆる自然災害(暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、地震、津波、噴火、竜巻、落雷等)を対象としている。
・他の保険(火災保険、地震保険等)に加えて加入が可能である(重複需給が可能)。
・兵庫県内に住宅を所有している人が加入対象となる。
・兵庫県が保障する制度である。

地震保険とフェニックス共済の違いとして、地震保険は基本的に損失補償となるため、建物の構造、規模や老朽度により損失の査定があり保障額が給付されるのに対し、フェニックス共済は、住宅の再建を第一と考えるため、一定の損害に対して建物の規模、構造および、老朽化に関係なく定額給付となることがあげられる。

4.1.4 フェニックス共済の仕組み

共済給付金については、基本的に加入者の負担金により賄われているが、共済給付金が不足する場合には、金融機関等から所要資金の融資等を受けて給付し、後年の加入者の負担金により返済としている。金融機関等からの融資については、県が金融機関への損失補償等により資金調達が可能な仕組みを構築している。

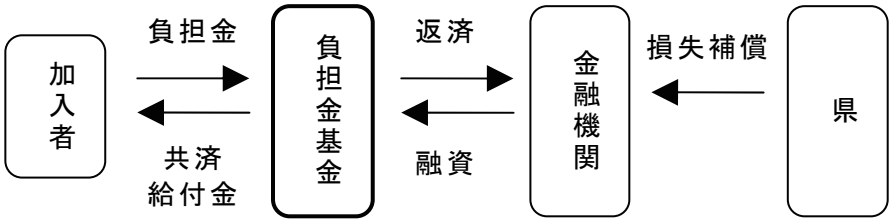


図 4.1.4-1 運用の基本フレーム

4.1.5　フェニックス共済の概要

フェニックス共済の概要として「住宅再建共済制度」「マンション共用部再建共済制度」および「家財再建共済制度」を**表 4.1.5-1** に示す。

表 4.1.5-1　各種共済制度の概要

区分	住宅再建共済制度	マンション共用部分 再建共済制度	家財再建共済制度
運用開始	平成 17 年(2005 年)9 月	平成 19 年(2007 年)10 月	平成 22 年(2010 年)8 月
対象	全ての私有住宅 (併用住宅、賃貸住宅、 マンションを含む)	マンションの共用部 (1 棟単位)	住宅にある家財 (ただし、1 戸の住宅に存する家財につき 1 加入)
加入者	県内にある住宅の所有者	県内にあるマンションの管理者等	県内の住宅に居住する者 (住宅の所有の有無を問わない)
対象災害	暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、地震、津波、噴火その他の異常な自然現象により生ずる被害		
共済負担金	1 戸につき年額 5,000 円(加入初年度は月額 500 円(上限 5,000 円))	年額 2,400 円/戸×住戸数 (月額 200 円/戸×月数×住戸数)	1 戸につき年額 1,500 円 (加入初年度は月額 150 円 (上限 1,500 円)) *住宅政権共済制度加入者(同時加入を含む)は、年額 1,000 円(加入初年度は月額 100 円 (上限 1,000 円))
共済給付金	◆全壊･大規模半壊･半壊で新たな住宅建設･購入 600 万円 ◆全壊で住宅補修 200 万円 ◆大規模半壊で補修 50 万円 ◆上記以外で 新たな住居に居住 10 万円	◆全壊･大規模半壊･半壊で新たなﾏﾝｼｮﾝ建築 300 万円×新築ﾏﾝｼｮﾝ住戸数(加入住戸数が上限) ◆全壊でﾏﾝｼｮﾝ補修 100 万円×加入住戸数 ◆大規模半壊でﾏﾝｼｮﾝ補修 50 万円×加入住戸数 ◆半壊でﾏﾝｼｮﾝ補修 25 万円×加入住戸数	◆住宅が全壊で家財購入･補修 50 万円 ◆住宅が大規模半壊で家財購入･補修 35 万円 ◆住宅が半壊で家財購入･補修 25 万円 ◆住宅が床上浸水で家財購入･補修 15 万円

その他	◆県外で建築･購入の場合は、上記給付金の 1/2 ◆加入者が自らの居住の用に供していない住宅については以下の制限がある。 ･県外での建築･購入の場合は、給付対象とならない。 ･建築･購入･補修をせず新たな住宅に居住する場合は、給付対象とならない。	◆県外での建築の場合は、上記給付金の 1/2	◆賃貸住宅オーナーは、家財再建共済制度に加入できない。

＊兵庫県企画県民防災企画局復興支援課からの受領資料より作成

「家財再建共済制度」の制定前は、水害の実態として床上浸水が多く、床上浸水の住宅への被害(半壊など)がない場合でも、家財への被害が多く家財への保障がなく日常生活に支障をきたしたケースが多かった。このため、床上浸水時の家財被害を補償するために「家財再建共済制度」が成立した。

4.1.6　フェニックス共済の現状

フェニックス共済への平成 22 年(2010 年)7 月末現在の加入戸数は、136,750 戸となっており、兵庫県内における全戸数を 100%とした場合において、7.7%となっている。地域別加入状況を**表 4.1.6-1** に示し、所有区分別加入状況を**表 4.1.6-2** に示す。

表 4.1.6-1　地域別加入状況(平成 22 年 7 月末現在)

地域	加入戸数(戸)	加入率(%)	地域	加入戸数(戸)	加入率(%)
神戸	28,935	5.8	中播磨	14,835	7.9
阪神南	15,977	4.8	西播磨	13,803	16.9
阪神北	11,834	5.2	但馬	8,244	14.9
東播磨	22,361	10.0	丹波	4,076	12.1
北播磨	8,724	10.8	淡路	7,961	17.2
			計	136,750	7.7

＊兵庫県企画県民防災企画局復興支援課からの受領資料より作成

表 4.1.6-2　所有区分別加入状況(平成 22 年 7 月末現在)

区分	対象戸数(棟数)(戸)	住宅所有者加入		管理組合加入		全体	
		加入戸数(戸)	加入率(%)	該当戸数(加入棟数)	加入率(戸)	加入戸数(戸)	加入率(%)
持家	130 万	123,358	9.5	−	−	129,893	10.0
一戸建て	97 万	112,529	11.5	−	−	112,529	11.5
共同住宅	33 万(7 千)	10,829	3.3	6,535(140)	2.0(2.0)	17,364	5.3
民営借家	47 万	6,857	1.5	−	−	6,857	1.5
合計	177 万	130,215	7.4	6,535(140)	2.0(2.0)	136,750	7.7

＊兵庫県企画県民防災企画局復興支援課からの受領資料より作成

表 4.1.6-1 の地域別加入状況から、「西播磨」、「但馬」および「淡路」の加入率が他の地域と比べ高いことがわかる。これは、この地域の首長が率先し、フェニックス共済への加入を促しているために他の地域より加入率が高いとのことだった。またマンションでは、災害時に共用部が被害を受けた場合、補修するためには入居者の承諾が必要となり個人では補修するのに限界があるために加入率が低くなっている。そのため、マンションの多い地区ではフェニックス共済への加入率が低くなる傾向がある。

県全体としては、加入率は 7.7%にとどまっているため、今後もフェニックス共済への加入を促すための PR 活動を継続的に行っていくこととしている。

給付金の給付履歴は、平成 21 年(2009 年)8 月の台風 9 号による水害に対する給付が制度創設以来初めてとなっている。ここでは、フェニックス共済の利点である補修前被害が確定した段階での迅速な給付金の給付制度が活かされ災害後の復旧に大いに役にたったとことであった。

給付の状況は以下のとおりである。

被災日時：平成 21 年(2009 年)8 月 9 日
被災地域：宍粟市、上郡町、佐用町、豊岡市、朝来市
被災戸数：215 戸
被災決定：平成 21 年(2009 年)9 月 18 日より随時
給付戸数：補修給付金 176 戸、再建等給付金 23 戸、居住確保給付金 2 戸
給付金額：2 億 8,020 万円

4.1.7　フェニックス共済の今後

現在は、兵庫県のみの共済制度となっているが大規模な自然災害が起こると、一つの県だけの対応ではまかないきれない可能性が高い。兵庫県としては、この「共済」という考えを全国的に拡大しようとする働きかけを行っているが、現状では、まだ、考え方や制度が他の自治体に浸透していない。

今後は、フェニックス共済への加入率の向上と、他の自治体にわたる制度の拡大が課題となっている。

4.2　社団法人日本損害保険協会へのヒアリング

社団法人日本損害保険協会において、水害被害に対する保険の枠組みについてヒアリングする機会を得た。

4.2.1　ヒアリング実施概要

実施概要を以下に示す。

日時：平成 22 年 10 月 20 日（金）
場所：社団法人　日本損害保険協会
説明者：業務企画部　地震･火災･新種グループ　グループリーダー　小峯雅也氏
　　副長　清水卓氏
受領資料：
① 冊子：ファクトブック 2010 日本の損害保険
② パンフレット：自然災害　あなたの備えは大丈夫？
③ ニュースリリース：No.10‐001 洪水ハザードマップ等に関する報告書を作成

4.2.2　議事内容

1)　エンジニアリング振興協会都市・地域研究部会の紹介ならびに活動概要説明

平成 20 年度：雨水処理・活用などに関する墨田区の取組みについてのヒアリング、外郭放水路の訪問調査を実施した。

平成 21 年度：旭川、宮崎、福岡の水害調査を行った。

平成 22 年度：徳島大学の中野先生を訪問、水害 BCP をテーマに話を伺った。11 月に熊本大学の大本先生ヒアリングおよび、耳川水害の視察調査を実施予定である。

（参加者の所属から）ハード面の対策が主か？⇒現状はそのとおりである。何らかの提言ができれば良いと考え、活動を行っている。

2)　日本損害保険協会の概要説明ならびに受領資料確認

資料を三種類配付した。①は保険の基礎的な解説も含めた基礎データ集となる。②は一般の消費者向け、③はリスクを見える化し、保険を考える参考にすることを意図して野村総研と共同で作成したものである。

3）すまいの保険（資料①p16-17）

基本的には保険商品は各社マターとなるが、家計分野における住宅･家財など財物を対象とする保険で、水害リスクを補償する商品がある。水害のほか、風害･雪害など自然災害リスクについても補償される商品がある。なお、地震リスクについては、地震保険法に基づく地震保険制度が創設され、政府が再保険を引き受けている。

4）風水害の保険（資料②）

保険の種類と補償される災害の範囲をまとめた表を資料②より引用して**表 4.2.2-1** に示す。表中右側に行くほどリスクの集積度合いが高くなるため、保険会社の対応も困難になる。

表 4.2.2-1　風水害の保険 [2)]

	火　災	落　雷	風災･ひょう災･雪災	水　災	地震･噴火･津波
住宅火災保険	○	○	△	×	×
住宅総合保険	○	○	△	△	×
さらに補償を充実させた火災保険	○	○	○	○	×

○ 補償される　△ 一定の制限付きで補償される　× 補償されない

出典：「自然災害あなたの備えは大丈夫？」　日本損害保険協会パンフレット

企業向けはプロとプロの交渉事となるため、どこまで負担、どんな方法で対応するかをオーダーメイドで決める。

5）保険料収入の構成比率（資料①p72）

平成 21 年度の保険料収入の総額と保険種目別の構成比を、資料①より抜粋して**図 4.2.2-1** に示す。保険料収入は 7 兆円弱であり、自動車保険が約半分（49.2%）、火災保険（地震保険を含む）が 15.1%、自賠責保険が 11.5%を占める。

図 4.2.2-1　保険収入の構成比率 [3)]

出典：「ファクトブック 2010 日本の損害保険」日本損害保険協会　p72、2010.10

6）自然災害に対する保険金支払い実績（資料①p84）

台風の上陸数が年度で異なるため、単純比較は難しいが、増加傾向にあり、自然災害リスクは経営にとって脅威となっている。平成 8 年の自由化を受けて、保険各社が補償内容を充実させていることも背景にある模様。

7）質疑応答

【水害に関する保険について】

- 水害の場合、構造、場所による料率の違いはあるか？⇒一般的には、住まいの保険は、建物の構造と所在地により料率が区分されている。
- 被害の程度は誰が評価するか？⇒保険会社が評価する。
- 評価に要する期間はどのくらいか？⇒30日以内が原則である。
- 災害発生時、お客様からの問い合わせはどのように促すか？⇒見舞い広告を掲載するなど、加入済みの保険があることを忘れていないか、注意喚起している。
- 最近の異常気象を受けて新たな保険制度を創設するといった動きはあるか？⇒特に聞いていない。
- リスクヘッジはどのようにして行うか？⇒再保険マーケットでリスク分散を図っている。なお、アメリカの同時多発テロやリーマンショックにおいて、再保険マーケットがシュリンクするなど、自然災害リスク以外の影響も受け不安定である。
- 自然災害リスクに関する海外の事例を紹介頂きたい？⇒国が大きく関与する保険制度としてはアメリカの洪水保険がある。フランスにも自然災害補償制度がある。

【水害に対する備え】

- 水害のある場所には家を建てないとする考え方は有効か？災害復旧工事だけを考えるだけで十分か？⇒協会はリスクを知って頂くことが目的のひとつとなる。リスクをとって成り立っている産業（損害保険業）である。経営を揺るがさない範囲が目安になる。災害に対する想像力の欠如がもう一つの課題と言える。土地履歴マップが参考になるのではないか。

【参考】地震保険

1）地震保険加入率（資料①p81 - 82）

地震保険における過去最大の支払いは、平成 7 年 1 月に発生した阪神･淡路大震災（気象省命名の正式名称は『平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震』）である。当時の地震保険加入率は 5%程度であったが、現在(平成 21 年度末)は 23%に拡大している。

2）地震リスク（資料①p19）

地震保険法は、関東大震災クラスの大地震が発生しても保険金支払いに支障が生じないことを想定して、5.5 兆円を保険会社と政府で分担することとしている。分担比率は被害総額に応じて段階的に国の負担が大きくなる構成である。

4.3 マーシュブローカージャパン（株）へのヒアリング

外資系保険ブローカーであるマーシュブローカージャパンに国内外での水害にかかわる保険やファイナンスの状況についてヒアリングを行った。

日時：平成 23 年 1 月 19 日

場所：マーシュブローカージャパン

リスクアドバイザリーサービス	バイスプレジデント	北代泰久氏
バウリングマーシュジャパン	バイスプレジデント	中澤哲郎氏
	マネージャー	西﨑久記氏

4.3.1 水害の補償

水害による被害の補償は保険によるものが多くを占める。また、水害は、地震災害とは異なり、オプションなどデリバティブによるリスクファイナンスは困難である。

オプションなどを可能とするには、トリガーとなる計測情報（計測震度、マグニチュードと震源情報など)が公的機関による精度･信頼性のあるかたちで発災後迅速に伝達されること、計測データの密度がある程度高いこと、トリガーになり得る計測データと被害の相関が明解であること、などの条件が整っている必要がある。(地震オプションも、日本、カリフォルニアなど地震観測等の整備された国においてのみ可能)

水害は、降水量や河川水位などのデータがあっても、そのデータと浸水などの局所被害との関連性が明確にされておらず、ファイナンス商品が成立する環境が整っていない。

4.3.2 水害・洪水に関する保険制度

水害・洪水を対象とした保険制度は、国家によるものと民間企業によるものがある。国家によるものは洪水単独の保険と天災全般を対象としたものがある。また、個人を契約対象とするものと企業などの法人をも対象とするものがある。

- 国家による保険制度（主に個人を対象）
  洪水保険（米国）
  天災保険（フランス他、水害も含む自然災害全般を対象）
- 民間の保険（個人・企業を対象）
  火災リスク等を基本とした総合保険に水害を含む。または総合保険に付保された自然災害補償に水害を含む。

水害の保険料率は､総合保険の一部となっている場合もあり､明確には判明していない。

4.3.3 国家による洪水保険制度（米国洪水保険制度）

米国連邦緊急事態管理庁 FEMA(Federal Emergency Management Agency)の洪水保険制度 NFIP(National Flood Insurance Program) [4)]は、洪水保険の提供に加え、浸水危険地帯（氾濫原）の治水管理、洪水ハザードマップの作成の 3 つを特徴とした、従来の治水対策を補完する水害リスクマネジメントの制度である。

制度は自治体単位で参加する必要があり、参加した自治体に存在する対象財物（住宅・非住宅）が保険の対象となる。個々の財物に対する加入は所有者の任意だが、住宅ローンなど連邦政府の補助を受けた建物等には加入義務がある。FEMA が洪水リスク有りとして特定した自治体の約 95%が加入している。

加入自治体には浸水危険区域を浸水リスクの確率別に分類した詳細なハザードマップの作成義務がある。このハザードマップは保険料率算定にも用いられ、料率はハザードマップのゾーンと標高によって決まる。また、必須条件以上の水害リスクの軽減策（情報提供、詳細なハザードマップの作成、危険地域の土地利用規制や建築制限、治水対策など）を実施している自治体においては取組みのレベルによって、段階的な料率の割引がある。

保険料率は、前年までの支払い実績を考慮した保険の支払い能力に応じて毎年変動するが、ハリケーンカトリーナ（経済損失は約 1,250 億ドル。NFIP の支払額は約 160 億ドル）のような支払能力を超える甚大な被害が発生した場合は、連邦政府からの借入金による補填がある。

NFIP が補償する洪水の定義は、豪雨のほか、津波、高潮による浸水や泥流だが、窓などの開口部から水が浸入するような場合は対象外で“乾燥した地表面からの水位の上昇”や“湖、河川、海などの平常時からの水位上昇による地盤沈下、地盤崩壊”による被害が対象である。また、補償対象となる損害は財物のみだが、残存物片付費用、汚染による損害費用、損害防止費用、法令遵守対応費用などが拡張して担保される。また、開放部分のある建物や地下部分などは対象にならない。また、家財のうちカーテン、カーペットなどの内装、家具や家電などの多く、および衣類や書類等は対象にならない。

保険料は、ある一定の保険金額以下については基本料率が適用され、それ以上の保険金額については、割引（一部は割増）された料率（追加料率）が適用される。また、限度額が設定され、それ以上は保険をかけられない。（保険の対象となる財物や場所等によって、保険金額の限度額や基本／追加料率は変わる。）

実際に被災した場合、保険だけで充分な補償が得られるわけではない。

4.3.4 民間による水害を対象とした保険

民間の保険市場においては、保険（再保険）の引受け手が存在すれば保険は成立する。

企業向けの民間の洪水保険は、米国の場合、補償される洪水の定義はおおむね NFIP と同じだが、補償は財物だけでなく利益損害も対象となり、また、保険の引受け手が存在すれば、NFIP の対象外の財物も保険対象となり得る。例えば、トンネル・ダムなどの土木構造物も対象となりうる。拡張される担保の例としても、財物復旧促進費用、汚染物質処理費用、ブランドラベル費用、施設利用中断費用、ソフトウェアの再製作費用、構外ユーティリティ被害など様々なものがある。

洪水保険のみを引き受ける契約はなく、総合保険の一部として、他のリスクへの補償とセットで担保される。また、洪水リスクの高い地域や物件に対しては、その程度により免責金額や料率を引き上げる、もしくは洪水リスクのてん補限度額を引き下げるなど、保険の引き受け条件が厳しくなることがある。

保険料率は、立地（洪水／豪雨の発生確率や標高）、建物用途や業種、財物の損傷しやすさによって変わるほか、保険の引受け手となる損保会社の当該地域でのポートフォリオ、

事業比率・利益率や再保険市場の動向によっても変動する。

4.3.5　諸外国の保険の状況

国家による水害の補償制度としては、フランスやスペインのものがある。

フランスでは、国の自然災害補償制度に水害への保証も包括されている。財物の損害保険に自動付帯され、家屋、建物の大半が損害保険に加入していることから、加入率はほぼ100%である。このほか、スペインにも災害全般を補償対象にした国の制度があり、損害保険に自動付帯されている。

水害の危険が高いイギリスやドイツなどでは民間の損害保険に標準で付保されたり、パッケージとしてセット販売される自然災害補償によって水害被害がカバーされている。

地震、ハリケーン、冬の嵐などが一次的な大災害と認識されている地域のなかで、高頻度･中小規模の二次的災害として洪水による被害の総額が一次的な災害による被害よりも結果として大きくなる地域が出てきている。カナダ、オーストリア、オーストラリアなどでは洪水や鉄砲水、集中豪雨などの二次的災害が自然災害による損害の半分以上を占めるようになってきており、従来過小評価されていたため、今後の保険料率などにも影響を及ぼす可能性がある。[5)]

民間の保険では、保険の引受け手や再保険市場など条件がそろえば様々な損害を補償する保険が成立し得る。しかし、ハザードが高い場合、例えばオランダのように水害の危険が非常に高い地域では、料率が高くなり、あるいは保険を引き受けない場合もある。

また、発展途上国においては、もともと先進国より損害保険の加入率がかなり少ないこともあり、水害被害を担保する保険への加入は非常に少ない。

4.4　水害に対する損害保険の課題

兵庫県フェニックス共済、(社）日本損害保険協会、マーシュブローカージャパン（株）などにヒアリングすることにより、災害保険については、地域特性や被害の想定の精度により保険の有無があることがわかった。地震や水害等に対して、災害の発生頻度が予測されることおよび、被害の定量化がなされていなければ、保険として成り立たない。突発的な災害や被害想定が困難な災害については保険の対応が困難である。個別で保険対応が可能な場合があるが、料率が高くなる可能性があり、リスクマネジメントによる被害想定の分類が必要不可欠となる。逆に被害想定が可能であったとしても被害規模が甚大である場合は、保険の適用が困難な場合もある。大災害に対しては、国が補償をすることが多いが、現状では先進国が行っており途上国においてはまだ、補償制度が確立していない。

水害についての保険では、水害単独の保険は基本的にはなく、保険会社との個別協議となる。一般的な保険においては、火災保険などのオプションとして加入が可能であるが、水害では床上浸水程度では、住宅の損壊に該当しないことが多く、フェニックス共済のように、家財保険への加入を促している。

水害に対する損害保険は、水害の被害を詳細に把握できる資料(ハザードマップ等)の整備が必要である。

参考文献

1) 兵庫県フェニックス共済 HP： http://web.pref.hyogo.jp/wd34/phoenixkyosai.html
2) 「自然災害あなたの備えは大丈夫？」 日本損害保険協会パンフレット
3) ファクトブック2010日本の損害保険 日本損害保険協会 p72、2010.10
4) The National Flood Insurance Program,FEMA(Federal Emergency Management Agency U.S. Department of Homeland Security)：
http://www.fema.gov/about/programs/nfip/index.shtm
5) sigma 2010年第1号「Natural catastrophes and man-made disasters in 2009: cat astrophes claim fewer victims, insured losses fall、2009年の自然災害と人災：大災害による犠牲者数と保険損害は減少」、スイス再保険会社、2010：
http://media.swissre.com/documents/sigma1_2010_jp.pdf

第５章　地域における水害対策

近年、水害を単なる自然災害としてとらえるだけでなく、想定される水害リスクを可能な限り抽出し、その対応策をあらかじめ検討･評価して事前対策の改善に結びつける「水害リスクマネジメント」に関する研究が進められている。

本研究部会では、今年度の活動テーマの一環として、行政と地域住民における「地域水害リスクマネジメント」の具体的取組み事例を把握すべく、熊本大学工学部･大本教授へのヒアリングを実施した。

また、豪雨災害等を事例として、住民の危機意識･避難意思決定に関する研究に携わられている群馬大学大学院･片田教授に「水害に対する住民の災害情報理解と避難行動について」と題してご講演いただいた。

本章では、上記の内容について報告するとともに、章の終わりに地域における水害対策の今後の方向性についてまとめた。

5.1　熊本大学・大本教授へのヒアリング

平成 22 年 11 月 18 日、本研究部会は、近年増加傾向にある水害に対する「より実践的な地域防災とはどうあるべきか」の具体的手法を調査するため、熊本大学工学部･大本照憲教授を訪問し、ヒアリングを行った。

大本教授は、河川環境工学を専門とされ、治水･親水機能に関する研究等に携わられてきたが、現在では九州地方で毎年のように発生している豪雨災害を題材に、水害におけるリスクマネジメント手法についての研究に取り組まれている。

公募により採択された文部科学省　安全･安心科学技術プロジェクト（平成 20 年 7 月～平成 23 年 3 月）の概要とあわせ、その内容を以下に記す。

写真 5.1-1　ヒアリングの様子

5.1.1　「河川災害における住民の避難行動と地域水害リスクマネジメントの実践」

1）近年の河川水害

過去からの災害統計を見ると、河川整備による洪水対策は、破堤件数と人的被害の減少という成果に顕著に表れてきている。近年の洪水被害の 75%は越流に起因するものであり、設計基準以上の水流による“人知を超えた自然災害”と言える。

特に九州地方では、平成 17 年の台風 14 号（宮崎県）、平成 18 年の川内川氾濫（鹿児島県）、平成 19 年の美里町豪雨災害（熊本県）、平成 21 年の福岡県集中豪雨のように、一雨で累計雨量 1,000mm、降雨強度 100mm/h 以上という、現状想定されている計画規模を超える豪雨が多発している。地震被害に比べ、圧倒的に水害被害が大きくなってい

る。

近年の水害被害の特徴として、中小河川の破堤、土砂災害の増加、避難対応の遅れ、要援護者対策の不備、地域の「共助」弱体化などがあげられる。

2）水害に対する住民意識調査（平成 18 年 7 月豪雨　川内川流域住民アンケート）

平成 18 年 7 月川内川水害において被害を受けた地域住民に対し、避難するために必要な災害情報や避難行動の課題を抽出するためのアンケート調査を実施した。

アンケート対象とした地域は、鹿児島県の薩摩川内市･さつま町･旧大口市･旧菱刈町（現伊佐市）･湧水町と、宮崎県えびの市である。

被害規模と避難状況の相関を見ると、被害の少なかった住民の多くが指定避難場所を利用しているのに対し、家屋の全壊･半壊など甚大な被害を受けた住民は命からがら近隣の知人宅等へと逃げ出しているため、本来必要であるべき“行政サービス”（ 指定避難所の利用など）を受けられていないという矛盾が生じていることがわかる。

アンケートから得られた調査結果として、行政から住民への避難情報の伝達やハザードマップに関する不備、住民の避難行動を阻害する要因として「過去の経験から判断して大丈夫だろう」という思い込みがあること、住民が現実的に受け入れ可能な避難計画策定の必要性などがあげられる。

3）水害リスクマネジメントについて

水害リスクマネジメントとは、企業経営などで用いられる組織防衛のための概念（リスクマネジメント）を水害対策に応用したものである。

水害リスクマネジメントの定義は、次の 3 つの項目で定義される。

①常時水害を監視し、発生を的確に予測すること

②予測される水害に対する対策を迅速かつ効果的に実施すること

③水害時に個人が的確な行動を取れるように水害や対応行動に関する教育･訓練を計画･実施すること

具体的には、①は災害情報システムの構築と運用、②は洪水ハザードマップや避難行動計画の作成と公表、③は防災教育、防災リーダー育成、避難訓練の実施などが含まれる。実際に地域コミュニティ（例えば校区自治会など）の防災･減災計画に水害リスクマネジメントを反映させてゆくためには、地域住民の合意形成を図ることが重要となる。

水害リスクコミュニケーションとは専門家が協力し、行政と住民と専門家の間で、水害がもたらすリスクについて、相互にコミュニケーションを繰り返し行い、水害リスクに関する認識を共有する作業と定義される。その代表例としては、洪水ハザードマップの公表･活用などがある。

5.1.2　文部科学省　安全･安心科学技術プロジェクト

文部科学省では、平成 19 年度から「安全･安心科学技術プロジェクト」という提案公募型の研究開発事業を推進している。[1)]

これは、国民生活の安全･安心の確保に関する重要課題を解決するための研究開発を通じて、国家安全保障、国民生活の安全確保へ貢献するとともに、安全に資する技術開発の短縮化･早期実用化、研究開発拠点の整備、関連研究者･技術者の育成･確保等を図ることを目的としたものである。

平成 20 年度の公募では、「テロ対策等に係る研究開発」に加え、新たに、地域社会のニーズに即した具体的な運用モデルを題材とする「災害時における地域の安全･安心確保のための情報システムの構築」が対象課題とされた。

熊本大学では熊本市と連携し、大本教授を研究代表者として「平成 20 年度安全･安心科学技術プロジェクト」に応募し、「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」[2)]という研究テーマが採択されるに至った。プロジェクト期間は、平成 20 年 7 月～22 年 3 月の約 2 年半となっている。

1)　プロジェクトの概要

熊本市の中心部には白川（一級河川）と坪井川（二級河川）の二つの河川が存在しており、過去に何度も洪水被害に見舞われてきた。河川整備は着実に進められてきているものの、平成 17 年の台風 14 号で 2 日間に 1,200mm を越える降雨を観測した宮崎のように、今後想定範囲外の豪雨が増えることも予想され、現状のハード対策のみで水害対策と位置づけるには限界がある。

一方で、高齢化･地域コミュニティの希薄化などにより、地域自身が保有していた「共助」による水害対応力の減退が懸念されている。

災害時の情報伝達を例に取ってみても、情報提供が行政から住民への一方向のみであることから、その内容が住民には正確には伝わりにくいという課題を抱えている。情報発信者である行政と受信者である住民とでは、「災害･避難状況等の把握」と「正確な災害情報の入手」というように、災害時には各々異なるアプローチを必要とすることから、有効な解決手法が現状では確立されていない。

本プロジェクトは、このような課題を解決するために、熊本大学が行政と地域住民の架け橋となり、まちづくりと防災活動の融合により地域力を向上させ、実践的で実効性の高い地域防災計画の策定を目指すことをテーマとしたものである。

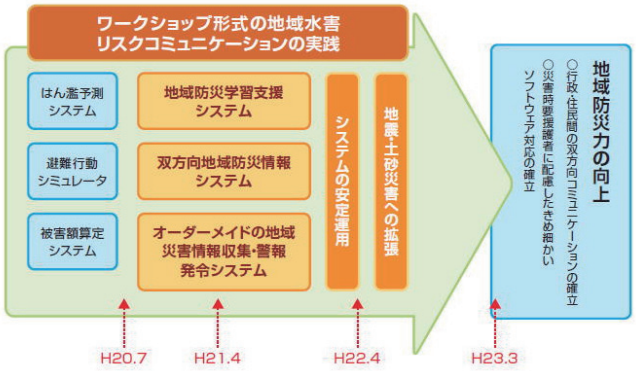


図 5.1.2-1　プロジェクトの事業計画

出典：「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」[2)] 熊本市 HP

本プロジェクト以前からの取組みとして、平成 18 年より熊本市壺川校区をモデル地区と位置づけ、地域住民とのワークショップや水害を想定した避難行動実験などのケーススタディを行い、当該地区独自の水害避難経路マップを作成してきた実績などがある。

この地区は同一校区内での地盤高の交差が最大で 30m 程度と大きく、洪水に対して安全な場所と危険な場所が共存する特異な土地形態である。低地部は過去何度も坪井川の氾濫を経験しており、地域住民の災害教育の必要性が高かった校区である。

一時避難場所の設定や内水氾濫に関する情報、災害時要援護者の安否確認の効率化など地域防災に関するニーズに応えるとともに、熊本市が今後計画している防災情報システムの改定時に取り込みが可能なシステムとしてプロジェクトを推進するとしている。

2)　開発システム

熊本市･熊本大学･地域住民の間で、平常時から既存システムを利用したワークショップや住民参加型訓練を実施し、住民ニーズをフィードバックすることにより実践性･安定性を高めるとともに、水害対応から地震･土砂災害対応への拡張を行うことで、多様な自然災害に対応可能な柔軟性の高いシステム構築を目指している。

なお、新たに本事業で開発する主なシステムは以下の通りである。

①地域防災学習支援システム

これまでに開発した内水氾濫・洪水氾濫予測システムを汎用性の高いシステムに改良し、容易に他地域への展開を可能とする。また、内水氾濫･洪水氾濫予測結果を容易に洪水時避難行動シミュレータに反映できるよう改良し、シミュレータの汎用性を高める。地域住民が平時から使用し、学習することで、地域水害対応力の向上に役立てることを目的とする。

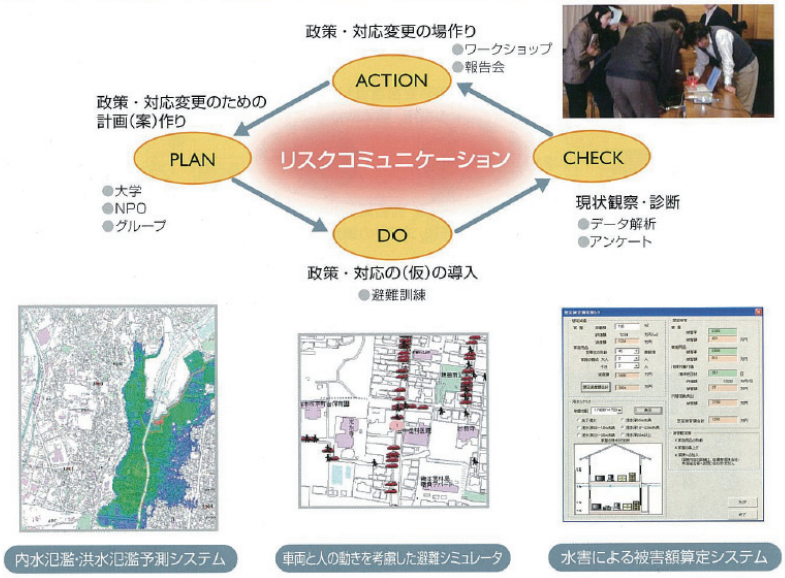


図 5.1.2-2　地域防災学習支援システム

出典：「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」[3)]
文部科学省パンフレット

②双方向型地域防災情報システム

GPS 機能付き携帯電話と GIS を組み合わせた災害時要援護者の安否確認システムを構築する。避難訓練を通じ、行政と住民に運用評価を行ってもらいながらシステムの調整を図り、実用可能なシステムに改良し、リアルタイムでの防災情報・避難情報の双方向情報伝達・確認に役立てる。

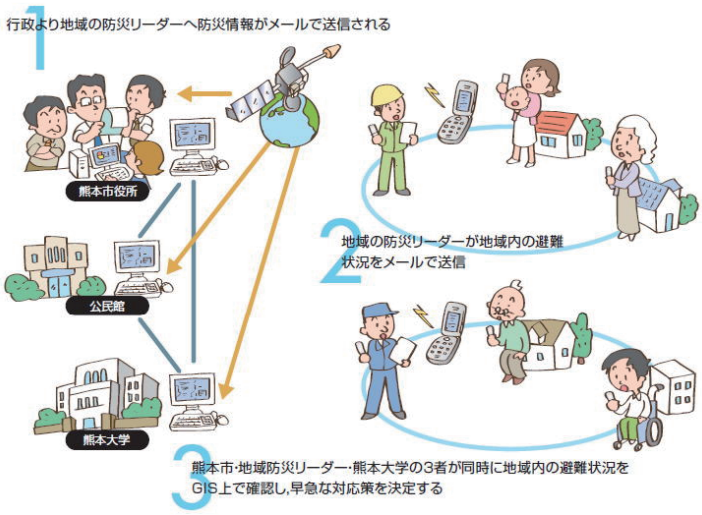


図 5.1.2-3　双方向地域防災情報システム

出典：「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」[2)]

熊本市 HP

③地域災害情報収集・警報発令システム

熊本市壺川校区に雨量計・水位計・WEB カメラを設置し、地域住民のニーズに応えた水害情報をいち早く収集し、警戒値を超えた段階で警報サイレン・インターネットラジオ・電子メール・ミニ FM 等の複数手段を利用して警戒情報を校区住民に伝達するシステムを開発するとともに、通信の安定性、操作性の評価を行う。

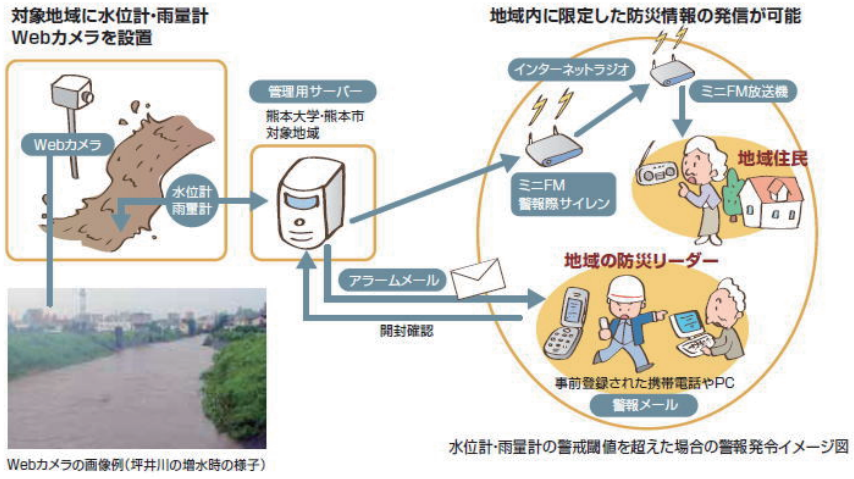


図 5.1.2-4　地域災害情報収集・警報発令システム

出典：「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」[2)]

熊本市 HP

3）今後の課題

本プロジェクトの最終的な目標は、地域への社会実装に向けたより実践的・具体的な取組みである。地域住民の防災意識や地域防災力の向上のために、今後も「水害リスクコミュニケーション」を継続することにより行政・住民のニーズを把握し、熊本市と連携しながら、開発されたシステムを地域に浸透させていくことが重要である。

ハード対策とソフト対策をどう組み合わせていくかについては、いまだ分析が不足しているのが実情であり、さらなる研究が待たれるところである。ソフト対策においては、地域コミュニティにおける協調関係が不可欠であり、減災の観点から、地域住民の生活設計や危機意識の変化に活路を見出していく必要性も出てくるであろう。

5.2　群馬大学・片田教授の講演

近年、水害による人命の損失が増加している。その大きな原因として、住民が災害情報を十分理解せず適切な避難行動がなされていないことにある。

本節ではその実態と対策について、群馬大学・片田敏孝教授にご講演いただいた内容をまとめた。片田教授は、ハザードマップの作成など自然災害のシミュレーションや災害時の情報伝達などの研究を専門とされ、最近では「避難勧告を出しても避難しない人たち」に対する対策の立案研究に取り組んでいる。

「水害に対する住民の災害情報理解と避難行動について」

群馬大学大学院工学研究科 社会環境デザイン工学専攻 教授／広域首都圏防災研究センター長
片田敏孝氏

写真 5.2-1　講演会の様子

5.2.1　巨大化する台風とゲリラ豪雨

天変地異という言葉のとおり、近年、台風は巨大化し、ゲリラ豪雨も「馬の背をわける」ようで極めて局地的である。これらの水害はほとんどロシアンルーレットのようにどこでいつ発生するのか予測不可能となっている。

他国では、ハリケーンやサイクロンなどにより巨大被害も出ている。他人事だと感じている国民は多いが、熱帯低気圧の巨大化は日本でも言えることである。台風の発生温度は25～27℃であり、平成22年の日本は北海道でも25℃を観測し、どこで台風が発生してもおかしくない状況にあった。通常は、北上する事により勢力が衰えるのだが、近年は、北上しながら勢力を強めている。このことにより大規模災害が発生している。今まで台風等が多かった九州や沖縄などでは弱い地盤箇所はすでに崩れているのに対し、北海道や北陸等、水害に疎かった地域では、1時間雨量70～80mmで簡単に土砂崩れを起こし大規模な災害に繋がっている。

また、15年前までは、台風の発生回数が年間30回を上回る年も多くあったが、ここ5年では年間25回以下となっており、台風の巨大化の反面、発生回数の減少があげられる。

5.2.2 海外の巨大化する熱帯低気圧

以下に、台湾を襲った平成 21 年（2009 年）台風 8 号と、フィリピンを襲った平成 21 年（2009 年）台風 16 号の 2 つの事例を挙げる。これらの水害は、発展途上国だから起こる被害なのではなく、日本でも起こり得る被害なのである。

1）平成 21 年（2009 年）台風 8 号（台湾）

高雄県甲仙郷小林村において、3 日間雨量 3,000mm を記録した。つまり、1 日で 1,000mm の降雨があった事になる。小林村の裏にある河岸段丘が 60～80m の深層崩壊を起こし、村が壊滅的な被害を受けた。行方不明・死亡者数は 400～600 名、生存者 47 名であった。

2）平成 21 年（2009 年）台風 16 号（フィリピン）

フィリピンのマニラ首都圏やリサール州において、9 月の月間降雨量 392mm に匹敵する 341mm の降雨量を 6 時間で記録した。フィリピンだけで死亡者 470 名と言われているが、スラム街もあるため実数はさらに上回ることが想定される。

5.2.3 日本の水害と対策の問題点

1）平成 20 年（2008 年）7 月 28 日 神戸市都賀川水難事故

局地的豪雨により水位が急増し、水遊びをしていた児童らが流され、5 名が死亡した。流域面積 8.57km²、延長 1,790m の危険を感じさせない親水公園で起こった水難事故であった。

定点カメラを設置していたため当時の現場状況が記録されていた。40 分前に大雨・洪水警報を発令。その時は快晴であったこともあり、利用者には危機は伝わっていない。曇ってきてから 4、5 分後に 1.34m の鉄砲水が発生した。

中小河川は流域が狭く、あっという間に現象が進展する。気象情報や河川情報の充実、赤色灯等の整備だけでは対応できないほど、急激な事態の進展のなかで生じた事故である。

2）平成 20 年（2008 年）8 月末豪雨災害

日本全国で、1 時間雨量 100mm を超える観測を記録した（我孫子市 105.0mm、八王子市 63.0mm、一宮市 120.0mm、岡崎市 146.5mm）。特に岡崎市の対応は、「日本の防災」に大きな疑問符を投げかけた。

岡崎市は、8 月 29 日 AM2:10 に全市民 376,266 名に対して避難勧告を発令した。しかし、実際の避難者数 51 名。3km×5km 程度の箇所で局地的豪雨が発生していたのが現状であった。局地的豪雨が発生していた箇所では、懐中電灯が不要なくらい雷が激しく、1.0～1.5m の水しぶきで咽返り、息ができないほどだった。

ちなみに、避難勧告とは、災害対策基本法第 60 条のなかで「・・・市町村長は、必要と認める地域の居住者、滞在者その他の者に対し、避難のための立退きを勧告し、及び急を要すると認めるときは、これらの者に対し、避難のための立退きを指示することができる」と定義されている。ここで、生じた疑問点は下記のとおりである。

《疑問点》

・全市民（高い所に住んでいる人も含めて）に対し避難勧告を出す必要はあったのか。

・全市民が実際に避難した場合、市はその対応ができたのか。
・避難途上での市民の安全は確保できたのか。
・もし、避難勧告を発令していなかったら、マスコミや市民は岡崎市の対応をどう評価したのか。

避難行動は人によって異なり、「立地条件」「家屋の構造」「家族条件（要介護者がいる等）」、すべての人に同じ避難勧告を出す事は間違っている。そもそも、日本の避難制度は破綻をきたしている。「避難」を英語で表すと、下記のとおりとなる。

Evacuation；緊急避難
Sheltering；待避避難
Refuge；避難難民

これら 3 つは段階を示しており、仮設住宅での Refuge（避難難民）と、命からがらで逃げる Evacuation（緊急避難）を一緒にして、避難勧告を一本化しても対応は難しい。

Evacuation（緊急避難）は、本来、個人が判断すべき事であり、国民の仕事である。命を守るためには、外に出るよりも家の中が安全である、という場合も多々ある。国にできる事は、ハザードマップを提供する事である。

3)平成 21 年（2009 年）台風 9 号豪雨災害

平成 21 年 8 月 9 日夜、兵庫県や岡山県を中心に被害があった。兵庫県佐用町での死者・行方不明者 20 名、うち本郷地区で避難しようとしていた 4 家族 11 名が流され、9 名の大量遭難者を出した。被害にあった家族は町営幕山団地に住んでおり、団地全世帯 10 世帯中 4 世帯が避難を開始し、6 世帯が水に浸かっているのを見て逃げることをやめた。避難した世帯は家族単位で用水路の反対側にある幕山小学校へ向かい、用水路で 1 点に水が集中しはまっていった。水が引いた後の用水路を一見するとこの現場から危険を感じる事は難しかった。

当時、防災無線は豪雨によりかき消されていた。本郷地区は、地震や火災に対する防災意識が高い地域であった。自分たちで決めた避難先へ積極的に向うことにより、被害が拡大してしまった可能性がある。

災害前の決まりごとに順応なだけではいけない。避難する事がすべてではなく、「災害をやり過ごす知恵」が求められた災害であった。

5.2.4　水害対策の新しい対応

1）洪水ハザードマップ「逃げどきマップ」

愛知県清須市には、庄内川、新川、五条川と大きな川が 3 本流れている。豪雨時に自宅からどのような行動をとればよいのかを考えるときの参考になる地図として、河川ごとに行動パターンを示した洪水ハザードマップ「逃げどきマップ」を作成した。高さによっては、自宅に待機を勧める行動指針もあり、「逃げるな」と書いたハザードマップは全国で初めてである。

この効果は避難中の被災を避けるだけではなく、家財を上層階へ上げることにより被害額を軽減することもできる。

2）災害対策基本法

昭和 34 年（1959 年）の伊勢湾台風をきっかけに、昭和 36 年（1961 年）「災害対策基本法」が制定された。第三条、四条、五条に「防災はすべて行政がやる」と明記されている。

災害対策基本法が施行された昭和 36 年以降、行政関与の防災力強化により、特殊例の阪神淡路大震災を除けば、自然災害での死者数は年間 100 名以下を切っている。行政の対応をおおいに評価できる。

しかし、100 名以上を災害、100 名以下を事故と定義すると、「事故」は個人に帰する問題も多く含んでおり、現行の行政主導のわが国の防災は限界と弊害が生じている。

5.2.5　行政主導の防災の弊害、水害に過保護な国民性

100 年確率に合わせたハード対策は、予想を超えた大規模災害しか住民に襲いかからなくなった。小さな災害が減った事で地域の防災力（水防団）が低下したり、水害の知識を得る機会を喪失させていった。そこへ大規模な水害が来ると対応不能状態となってしまう。

「自助」「共助」「公助」という言葉が浸透してきたが、「行政に限界があるから自助」という受身ではなく、「自分の命、家族の命、地域の安全を自分が守る」という内発的（主体的自助）でなければ、実際に災害に見舞われた時、逃げ切れない。

5.2.6　内発的自助・共助による減災

1）平成 19 年（2007 年）台風 9 号災害

群馬県南牧村は、60%以上が 60 歳以上の超高齢化社会であり、自助力は低かったはずである。しかし、この限界集落での災害対策では地域のコミュニティを生かした現場対応（共助）ができた。

役場は土砂災害が発生し、道が切断されたため現場へ向う事ができなかった。役場に土砂災害警戒情報が入った時、防災担当者は村民の顔を浮かべ、気象状況からみて避難所までの避難が危険だと判断した。そして土砂災害警報（避難勧告）を出さず、代わりに有線放送を使い、役場の現状を伝え集落でこの場を乗り切るよう、村民に呼びかけた。それに応え、村民は互いの家を土のうで囲い、軽自動車で低い所に住んでいる人を助けあげ、地域のコミュニティを活かして乗り切った。

この村は、平成の大合併の時、近隣の町との合併も検討されたが合併相手方の住民投票により実現しなかった。しかし、今回の災害対策は顔が見える範囲の小さな村だからこそできたきめ細かい対応であった。

2）平成 16 年（2004 年）新潟豪雨災害

刈谷田川流域猫興野地区は、洪水災害の常襲地域であり、堤防の弱い箇所を知っていた。平成 16 年新潟豪雨災害時にも、多くの人が川を見に来ていた。水位が上昇してくると、子どもや高齢者を優先的に避難させ、残った住民を集め水防団とともに土のう積みを実施した。この土のう積みにはこの地域の 4 割の世帯が参加したが、対岸の堤防が決壊した地域では 15%程度であった。

5.2.7　まとめ

いま求められていることは、工学よりも人間性や感性等のベーシックな問題ではないだろうか。

「避難勧告が発令されたら逃げてください」というメッセージには、「被害勧告が出るまで逃げなくて良いです」というメタメッセージを含んでいる。また、災害情報を受け避難した後に「大したことないじゃないか(怒)」と思うか、「大したことがなくてよかった(嬉)」と安堵し次も逃げるかによって実際に災害が起こった時、被害の大きさに違いが出てくる。

「居安思危　思則有備　有備無患(安きに居りて危きを思う、思えばすなわち備えあり、備えあれば患い無し)」という言葉がある。「備えあれば患い無し」はごもっともであるが、人間は自分のこととして取り組み、平時に危機を考えることが難しい。しかし、「避難する」ということはインテリジェンスな行動であると思い、己に向かい合い、自分を律することが重要である。内発的自助・共助意識を持って防災に取り組むことが、自分の命や家族の命を守る、地域の安全を守ることに繋がっていく。

5.3　地域における水害対策の今後の方向性

ここでは、平成 22 年版の防災白書から、行政の防災・水害対策に関する現状認識と今後の取組みを整理し、熊本大学工学部の大本教授および群馬大学工学部の片田教授によって指摘された地域における水害対策の課題とともにまとめ、今後の方向性を考える。

5.3.1　我が国の防災・水害対策に関する現状

平成 22 年版防災白書のキーワードは「新しい公共」である。災害に強い国づくり、地域づくりは、行政だけで達成できるものではなく、様々な民間の力が必要であるとの認識である。地域における「共助」、「新しい公共」の力を活かした防災力の向上について、各地での取組みと今後の展開が、白書の冒頭に特集として取り上げられている。概要は以下のとおりである。

1)「新しい公共」の重要性と民間主体の防災活動

戦後最大の被害を出した阪神・淡路大震災は、我が国の災害対策の転換点でもあり、防災に対する制度や体制の見直しが行われた。さらに、防災活動においては、行政だけではなく、国民、地域コミュニティ、企業、学校などの様々な主体が支え合う力、「新しい公共」の力の重要性を認識する契機となった。

この災害においては、発生直後の段階において地元消防などの行政の取組みのみでは全てに対応できず、倒壊家屋から救出された人のうち約 8 割が家族や近所の人々により救出されたとの報告もある。また、全国各地から参加したのべ 130 万人のボランティアの活動、企業によるその特徴を生かした支援活動が見られた。

その後も、我が国では毎年のように災害が発生しているが、ボランティアや企業の防災活動は各地で見られるようになっている。また、国民の防災活動に対する意識も徐々にではあるが進捗が見られており、自主防災活動や災害救助活動に参加したいと回答した人の割合は、平成 10 年の 14.8%から平成 22 年には 21.5%に増えている。

2）地域の状況

一方で、地域社会の状況を見ると、少子高齢化や過疎化などにより地域社会が変容する中で、従来からの防災の担い手であった消防団については団員数の減少、高齢化が進んでいる。平成元年には 1,000 万人を超えていた団員数が平成 19 年には 900 万人を下回り、その後も減少を続けており、50 歳以上の人の割合も平成 21 年には 15%を超えている。

また、地域そのものを見ると、中山間地域では住民相互の助け合いが困難な状況になりつつあるばかりでなく、働き手不足から農地や林地の維持管理が困難となり、土砂災害を引き起こす危険性もある。都市部では地域コミュニティと生活圏の不一致がもたらす問題として、平日の昼間の住宅地には主婦、子供、高齢者しかいない状態での対応が必要となり、逆に都心では災害時の帰宅困難者の発生等が起こっている。

これに対し、行政は自らの行政区域の住民を対象とした取組みを行うことが責務であるため、上記の都市部の状況には対応できず、ボランティアなどへの期待が大きくなる。

3）「新しい公共」の活動に関する国民意識

内閣府では、平成 22 年 2 月に地域防災力およびボランティア等による防災活動に関する意識調査を、全国の 20 歳以上の男女 3,000 人に調査票を郵送して実施した（回収率 39.9%）。

回答者が居住する地域における地域防災力についての認識では、地域防災力が十分に備わっていると肯定的な回答した人は 38.1%、否定的な回答をした人が 36.8%となった。

地域別で見ると，最も肯定的な回答が多かったのが北海道で 59.4%、少なかったのが九州･沖縄で 25.4%であり、地域によって大きな差が見られた。回答理由を見ると、肯定的な回答をした人の理由としては、「普段から近所づきあいがあり、地域に連帯感があるため」が 52.7%を占めて最も多く、次に「消防団や自主防災組織等の活動が充実していると思うため」が 46.5%となった。逆に、否定的な回答の理由としては、「地域の高齢化が進んでおり、災害発生時に頼りになる人がいないと思うため」が 52.5%と最も高く、次に「普段から近所づきあいが希薄であり、地域に連帯感がないと思うため」が 45.3%となった。

「新しい公共」の活動として、防災ボランティアや企業の防災活動への期待に対しては、いずれの活動についても肯定的な回答を示した人の割合が、対ボランティア 87.9%、対企業 79.8%となり、否定的な回答をした人の割合を大きく上回っており、地域防災力を高めるものとして期待されていることが分かった。各個人としても、半数以上の人が、災害発生時に余力があれば、避難所における協力（救援物資の運搬、避難所の清掃、高齢者の話し相手など）、初期消火活動、体の不自由な方等の避難誘導、周囲の住民の救出・救護活動など、できることをしたいと考えていることも分かった。

地域防災力を高めるために必要なこととしては、「既存の地域コミュニティの強化」、「地域の防災リーダーの育成」、「ボランティアなど外部の力の活用」の 3 つの視点が高い割合を占め、地域内部の努力と外部活力の活用の両者が重要との結果となった。

4) 課題および今後への期待

防災においては、国や地方公共団体が行う「公助」と、国民一人ひとりの自覚に根ざした「自助」が重要であり、国民一人ひとりの防災意識が災害時の被害を軽減するために不可欠である。そのうえで、地域コミュニティの防災力に着目すると、地域防災の担い手として行政区域にとらわれない様々な経済活動や社会活動をきっかけとした新しいつながりにより、ボランティア、企業、学校等による防災活動が広がっており、期待も大きいことが分かった。

ただし、これら各主体間の連携、あるいは、地元自治体や住民との連携が十分ではない部分もあり、連携の強化が課題である。また、防災活動を一過性で終わらせず、継続的なものとするための工夫も課題であり、防災訓練においても地域の実状に即した実践的な訓練が期待される。

5) 水害対策に関する現状と課題

まず、避難勧告等の具体的な発令基準の策定については、地域の実態に応じた具体的な発令基準の策定を促進している。市町村における策定状況は平成 21 年 11 月時点で、水害については 46.0%の市町村が策定済みで、策定中と合わせると 86.6%である。土砂災害については策定済み 41.4%、策定中と合わせて 85.9%で、高潮災害については 31.7%および 79.9%である。

水害対策としては、予防的な治水対策、水害の再発防止対策、洪水時に関する防災情報の提供、内水氾濫対策があげられている。このうち、洪水時に関する防災情報の提供については、全国の主要な河川の浸水想定区域内の市町村（約 1,500）のうち、洪水ハザードマップを作成･公表し、防災訓練を実施している割合は平成 20 年度末において約 10%となっている。

内水氾濫対策としても内水ハザードマップの整備を促進しているが、重点地区内において内水ハザードマップを作成･公表し、防災訓練を実施した市町村の割合は平成 20 年度末において約 9%となっている。

5.3.2 今回の調査で得られた水害対策の課題

1）行政から住民への避難情報の伝達

水害被災住民へのアンケート調査によると、被害の少なかった住民は指定避難場所を利用しており、逆に甚大な被害を受けた住民は指定避難場所を利用しておらず、「行政サービス」が受けられなかった状況にある。この原因としては、行政から住民への情報伝達がうまくいっていないこと、および住民の「大丈夫」との思い込みによる行動があげられ、現実的に受入れ可能な計画の策定が必要になる。

2）我が国の「避難」制度は破たんしている

災害情報の不十分な理解により、適切な避難行動がなされていないことがみられるが、これは我が国の避難制度が破たんしていることを意味している。緊急避難とは個人の判断、国民の仕事であり、行政にできることはハザードマップを提供することである。新しい対応としてあげられるものとして、洪水ハザードマップ「逃げどきマップ」がある。

豪雨時の対応に対して河川ごとの特性を考慮した行動パターンを示したものであり、「逃げるな」とのパターンを示した初めてのハザードマップである。

3）内発的自助の必要性

「自助」、「共助」、「公助」という言葉は浸透してきたが、公助に限界があるから自助という受身の対応ではなく、内発的（主体的）自助でなければ、実際の災害時には逃げ切れない。実際にこの内発的自助が発揮されたケースも見られているが、限界集落ではあるが互いの顔が見える小さな村であったケース、地域の水害に対する弱点とその対応策を熟知し地域をあげて対策をとったケースである。

5.3.3 今後の方向性

国の防災に対する考え方も「新しい公共」がキーワードとなっており、地域社会の状況変化に対して、行政だけではなく様々な主体が支え合う防災が重要との認識に立っている。公助と自助の両方が必要であり、さらに、自助については主体的な内発的自助でなければ防災の大きな力にはならないとの見解もある。

ここで必要になるのが、災害に関する情報とその確実な伝達である。行政の第一の役割は災害に対する情報提供、具体的にはハザードマップの提供にある。しかし、浸水想定区域内の市町村のうち洪水ハザードマップを作成・公表して防災訓練を実施している割合は10%にとどまっており、内水ハザードマップについても 9%と同じく低いレベルにある。

今後は、この改善が必要不可欠である。さらに、行政から提供されるハザードマップに対応し、災害時に各個人が的確な行動をとれるように教育・訓練を行っていくことが必要である。また、災害時のタイムリーな情報や警報を確実に地域に伝達する手段を構築しておくことも重要である。

一方、地域では、これらの情報を受けてどのように行動するのかを根付かせることが必要となり、防災教育の実施、防災リーダーの育成、避難訓練の実施がその手段となる。熊本大学の取組みにおいては、これらのソフト対策を情報伝達手段であるハード対策とどのように組み合わせるのかが今後の課題としてあげられていた。

今年度の調査では、行政によるハザードマップの作成状況やこれを受けた地域の取組みについての具体的事例の収集と整理を行うまでには至らなかった。来年度の調査においては、特に情報伝達に焦点を当てた現状調査を実施してその中から先進的な取組みを抽出し、地域における水害対策に寄与する方策を取りまとめたい。

参考文献

1） 文部科学省 HP：
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/06/08062608/001/006.htm

2） 「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」熊本市 HP：
http://www2.kumamoto-bousai.jp/

3） 「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」文部科学省パンフレット

あとがき

「都市・地域における水害被害の傾向と対策」をテーマに、1年目となる本年度は以下の4項目について調査研究を行った。

① 水害事例と新たな対策
② 水害 BCP（事業継続計画）の現状
③ 災害に対する損害保険の現状
④ 水害における住民の安全確保

それぞれの調査研究結果を概括すると以下となる。

①水害事例と新たな対策

・過去 100 年間の日本の水害を半世紀で比較すると、前半は台風が主体の水害である。一方、後半は河川整備の進捗や住宅の近代化により、死者･行方不明者数や家屋全･半壊数は激減したが、局地的豪雨の増加と都市部の近代化が相まって、浸水家屋数は40%程度の減少にとどまっている。
・今年の大規模な水害は5件であるが、その内4件は集中豪雨によるものであり、いずれも局地的であり、1時間降水量が 100mm を超えるものや、累計降雨量が 500mm を超える記録的な降雨が特徴である。
・現地調査として、平成 17 年の台風 14 号で被災した宮城県耳川を視察した。当時期間降水量が 1,000mm を超えており、河床から道路までの高低差が 10m ほどある河川が一気に満杯となって周辺の法面崩壊や橋倒壊を引き起こした。
・今年6月に開催された第6回水害サミットでは、情報伝達手段、新たな地域コミュニティの形成、「共水」概念導入の重要性が挙げられている。
・病院水害として、平成 17 年の台風 14 号や平成 21 年 8 月の豪雨で被災した病院を例に、危険度の判定やその基になるデータ項目、対策案の検証例を紹介した。

②水害 BCP（事業継続計画）の現状

・水害単独での BCP の研究部会を立ち上げた徳島大学環境防災研究センターの中野教授･粕淵助教にヒアリングを行った。徳島県下の企業を対象に徳島県企業防災推進委員会 BCP 研究部会を設け、1回／月の頻度で開催している。初級コースとして1年程度で基礎的な企業 BCP の策定を行い、運用を開始した後、上級コースにて詳細な内容検討を行うことで、普及と併せて地域での防災力の底上げを目指している。
・災害時の各事業での BCP への取り組みとして、官庁･電気事業･都市ガス事業･上下水道事業･放送事業等の事例を紹介した。
・平成 22 年 3 月に内閣府で調査した、「企業規模別の BCP への取り組み実態調査」結果として、BCP 策定済もしくは策定中の回答では、大企業が 60%近くなのに対し、中堅以下の企業は 20～30%のレベルである。また、地震に対する BCP 策定済もしくは策定中の回答では、大企業が 70%近くなのに対し、中堅以下の企業も 50～60%のレベルである。一方水害に対する BCP 策定済もしくは策定中の回答では、大企業でも 20%台であり、中堅以下の企業は 10～20%の低レベルである。

③水害に対する損害保険の現状

・兵庫県フェニックス共済について、県防災企画局復興支援課へヒアリングを行った。平成 7 年 1 月に発生した阪神・淡路大震災を契機に、被災した住宅の復興のため、平成 17 年 9 月に本共済を立ち上げた。この制度により、平成 21 年 8 月の台風 9 号による水害では、災害後の迅速な給付金の給付により、復旧に大いに役立った。

・水害被害に対する保険の枠組みについて、(社) 日本損害保険協会へヒアリングを行った。風水害への個人保証は火災保険で対応可能になっている。地震については面的で広範な被害となるなど保険制度に乗りにくい。企業の保有資産に対する保証はオーダーメイドの個別対応であり、他の要因と関連して保証額は変動するが、最大は 1 兆円程度である。

・海外での水害被害に対する保険の枠組みについて、マーシュブローカージャパン (株) へヒアリングを行った。一般に水害に対する保証は地震災害と異なり、計測情報 (降水量や河川水位等) があってもそのデータの浸水等への局所被害との関連性が明確でないことから、ファイナンス商品が成立する環境が整っていない。海外での水害リスクマネジメント制度として、米国連邦緊急事態管理庁が洪水保険の提供に加え、浸水危険地帯の治水管理、洪水ハザードマップの作成等からなる洪水保険制度を運用している。また、フランス、スペインでは国家による水害保証制度が、イギリス、ドイツでは民間の損害保険に水害保障が標準で付保されている。

④水害における住民の安全確保に関する調査

・より実践的な地域防災のあり方について、熊本大学工学部の大本教授にヒアリングを行った。平成 18 年 7 月豪雨のあった川内川流域住民に対し、水害に対する住民意識調査を行ったところ、行政から住民への避難情報の伝達やハザードマップの不備、住民が現実的に受け入れ可能な避難計画策定の必要性が浮かび上がった。文部科学省が平成 19 年度から「安全･安心科学技術プロジェクト」という提案公募型の研究開発事業を推進しており、熊本市と連携し大本教授を研究代表者として「平成 20 年度安全・安心科学技術プロジェクト」に応募し、「地域水害リスクマネジメントシステムの構築と実践」という研究テーマが採択された。プロジェクト期間は平成 20 年 7 月～平成 23 年 3 月の約 2 年半となっており、地域防災への様々なシステム化の実装を目指している。

・水害時の住民避難の現状と方策について、群馬大学大学院の片田教授に講演をいただいた。平成 20 年度･平成 21 年度に発生した水害事例を紹介し、原因がハード対策の推進と、行政関与の防災力強化により、地域の防災力 (水防団) の低下や住民の水害に対する知識を得る機会の喪失につながり、予想を超えた大規模な水害が来ると対応不可能状態が起こっている。今求められるのは、内発的自助・共助による減災が重要である。

水害対策は喫緊の課題であり、各関係機関で様々な施策が講じられている中、本研究部会では、今年度の調査研究を踏まえ、次年度は追加調査の継続とエンジニアリング的な視点に立った、水害 BCP マニュアルの作成ならびに水害による人命損失対策への提案を目指したい。

－人間と社会生活分野－

平成 22 年度
低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業
技術戦略に関する調査研究報告書
－人間と社会生活分野－

目　　次

新産業研究部会名簿
まえがき……507

第Ⅷ部　生活支援分野のサービスロボットなどＲＴ(ロボット技術)の活用並びに
健康・福祉系医療機器等の活用

第１章 はじめに……512
1.1 調査研究の背景と目的……512
1.1.1 背景……512
1.1.2 目的……512
1.1.3 調査研究概要……512
1.2 調査研究の経緯……513
1.2.1 調査研究の方向性……513
1.2.2 調査研究の実績……513

第２章 新成長戦略……514
2.1 新成長戦略……514
2.1.1 医学用語……514
2.1.2 新成長戦略の概要……515
2.1.3 医療・福祉産業関連の数値……517
2.2 総合科学技術会議答申……518
2.2.1 総合科学技術会議とは……519
2.2.2 総合科学技術会議答申……520
2.2.3 行政刷新会議……522
2.3 新成長戦略に対する評価・批判……522
2.3.1 介護保険制度の見直し……523
2.3.2 経団連の意見……524
2.3.3 日医の意見……524

第３章 生活支援・健康・医療系分野の取り組み……527
3.1 現状調査……527
3.1.1 厚生労働省の新成長戦略に関する政策……527

3.1.2 経済産業省のライフ・イノベーション政策 ……532
3.1.3 医療・福祉・健康分野のサービス産業の現状と課題……535
3.2 医療・福祉サービスの国内外の比較 ……537
3.2.1 医療・福祉サービスの現状に関する国内外の比較 ……537
3.2.2 医療・福祉制度改革の方向性に関する国内外の比較……538
3.3 スウェーデンの国家戦略 ……541
3.3.1 スウェーデンの福祉国家の道 ……541
3.3.2 21 世紀のスウェーデンー新しい福祉国家への模索 ……542
3.3.3 福祉を核としたスウェーデンの成長戦略と eHealth……543
3.3.4 主な質疑と所感 ……544
3.4 日本の eHealth 戦略の現状ースウェーデン研究者の視点から ……545
3.5 まとめ ……547

第４章 サービスロボットの取り組み ……549
4.1 市場予測 ……549
4.2 ロボット開発の現状 ……554
4.2.1 つくばロボット特区 ……554
4.2.2 NEDO「生活ロボット実用化プロジェクト」 ……555
4.3 現地調査・事例紹介 ……558
4.3.1 株式会社東芝　インターフェースロボット ……558
4.3.2 パナソニック株式会社 ……562
4.4 安全のグローバルルール ……566
4.4.1 日本での安全の考え方 ……566
4.4.2 安全配慮の技術力強化 ……566
4.4.3 安全規格の国際標準化 ……566
4.4.4 第三者による安全認証 ……567
4.4.5 事故の責任と免責制度について ……567
4.5 今後の方向性と課題 ……570

第５章 BMI・脳科学の取り組み ……573
5.1 脳科学の背景と社会的意義……573
5.2 国内・海外の動向 ……575
5.2.1 国内の動向 ……575
5.2.2 海外の動向 ……581
5.3 技術動向……585
5.3.1 脳活動の計測技術……585
5.3.2 脳活動による外部機器制御 ……586
5.4 事例紹介 ……588
5.4.1 国際電気通信基礎技術研究所 ……588
5.4.2 産業技術総合研究所 ……591

5.5 まとめ……594

第６章 医工連携の取り組み……595
6.1 ドラッグ・ラグ、デバイス・ラグ……596
6.1.1 ドラッグ・ラグ……597
6.1.2 ダバイス・ラグ……598
6.1.3 デバイスギャップ……599
6.1.4 医療機器メーカーに対する部材・部品供給拒否問題……600
6.2 福祉機器、介護用品……602
6.2.1 人的資源などの地域資源……602
6.2.2 福祉機器・介護用品……606
6.2.3 高齢者・障害者の科学技術による自立支援……606
6.3 医工連携、医工融合……607
6.3.1 大学……607
6.3.2 医師不足……608
6.3.3 企業……609
6.4 事例……610
6.4.1 医療機器の代表として人工心臓……610
6.4.2 ドイツの医工一体……611
6.4.3 米国……612
6.4.4 日本……614
6.4.5 医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究……615
6.4.6 エンジニアリング業界・建設業界から医療機器・介護分野への進出事例……616
6.4.7 財源問題……618

あとがき……622

参考文献……624

平成 22 年度「新産業研究部会」委員名簿

委員名	企業名	所属・役職
部会長　小坂　順一	鹿島建設㈱	技術研究所 研究管理グループ　専任職
主　査　近藤　正芳	㈱竹中工務店	技術研究所　先端技術研究部 新生産システム部門 研究主任
副主査　後久　卓哉	東急建設㈱	技術研究所　メカトログループ 主任研究員
中村　孝太郎	㈱イー・クラフト	代表取締役 （北陸先端科学技術大学院大学 東京ＳＣ客員教授）

事務局　永野宏雄　　㈶エンジニアリング振興協会　技術部　研究主幹

まえがき

研究開発企画委員会は、エンジニアリング産業における研究開発に関する内外の社会的ニーズや最新の技術開発動向を踏まえ、今後の研究開発の方向性や戦略を企画・立案するとともに、エンジニアリング技術にかかわる適切な課題・テーマを設定して実施することにより、エンジニアリング産業の研究開発ポテンシャル向上とプロジェクト形成を図ることを目的として活動を行っている。

同委員会は、幹事会、４つの研究部会、個別技術テーマ別の研究会、戦略的課題にかかわる研究会から成っている。

幹事会は、同委員会における審議を円滑に進めるため、今後の研究開発の方向性や戦略の企画・立案、今後取り組むべき適切な課題・テーマの設定にあたっての詳細な検討を行っている。この幹事会の検討結果が同委員会に諮られる。

研究部会は、各社に共通する基盤的課題を対象として調査に取り組んでいる。調査成果は、各社の企業戦略策定のための基盤的情報として役立つことを目指している。調査のサブテーマは、前年度に同委員会および幹事会と研究部会との間で意見交換のうえ、同委員会で審議・決定される。サブテーマに取り組むワーキンググループのメンバーは、前年度末にエンジニアリング振興協会賛助会員企業等に対して公募される。

研究部会は、新産業研究部会、循環型社会システム研究部会、エネルギー・環境研究部会、都市・地域研究部会である。

４つの研究部会の一つである新産業研究部会は、「低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業技術戦略に関する調査研究」（㈶JKA 補助事業）の一環として、時代とともに移り行く我が国の社会構造、生活者の価値観などを踏まえ、これまでのコンベンショナルな産業分野、技術分野等にとらわれず、新しい事業分野に対するエンジニアリングへのニーズ・シーズの調査・分析、関連技術動向の把握、今後の方向性の検討などの調査・研究を行っている。

新産業研究部会の 2010 年度のサブテーマはひとつで、「生活支援分野のサービスロボットなど RT（ロボット技術）の活用並びに健康・福祉系医療機器の活用」に取り組んだ。主査は㈱竹中工務店の近藤正芳氏で、メンバーは昨年度同様建設会社の方が多い。

現内閣が掲げる新成長戦略の二大イノベーションの１つが「ライフ・イノベーション」で、「医療・福祉･健康関連産業」という用語が用いられ、以前から「産学官連携」「医工融合」の必要性も叫ばれていることから、日本の技術力を活かした新産業として成長するとの期待を抱いて、医療・福祉・健康産業におけるサービスロボットについて調査を始めた。

しかし、その後、徐々にライフ・イノベーションという用語がマスコミに登場する頻度が減少し、特に医療分野は財源不足、欧米企業との競争、治験、医療事故や風評被害、部品納入拒否などの問題から、民間企業にとって医療分野でビジネスを行うリスク、利益を上げることの難しさが分かった。政府の委員会等で賛否が分かれて両論併記の報告書になったとか、最近では「医療・福祉・健康関連産業」のほかに「医療・福祉・子育て」という言い方も現れるなど、産業界からは内閣府の司令塔機能の弱さも厳しく指摘されている。

今回の訪問先にパナソニック株式会社がある。後述の通り、同社は将来の成長を見込んだ経営者のリーダーシップの下で、医療行為ロボット以外で医療現場において働くサービスロボットに参入し、系列の病院で使用して磨きを掛けており、参考になる。

次世代ロボットのビジネス創出の分野における具体的な取り組み状況を理解するために講演会を傍聴したので、要点を述べる。ロボットビジネス推進協議会主催の「次世代ロボットビジネスフォーラム 2010」は、東京ビッグサイトで 2010 年 11 月 11 日に開催され、空席がほとんど無い状態であった。

基調講演は、セラピー用ロボット「パロ」の開発・実用化とともに、国内外でその普及に奔走されている独立行政法人産業技術総合研究所知能システム研究部門の柴田崇徳主任研究員による「セラピー用ロボット・パロによるライフ・イノベーション」の紹介であった。

(株)知能システムが提供しているアザラシ型のメンタルコミットロボット「パロ」は、2002 年 2 月 26 日に「世界一の癒しロボット」としてギネスブックに認定されたもので、国内外で実用化（現在約 1,700 体）し、社会システムへの取り組みを進めている。

「メンタルコミットロボット」とは、人と共存するロボットで、かわいい、心地よいなど、人からの主観的な評価を重視し、人との相互作用によって、人に楽しみややすらぎなどの精神的な働きかけを行うことを目的にしたロボットで、「タテゴトアザラシの赤ちゃん」をモデルにしている。

現在のパロは、第８代目であるという。パロは、病院や高齢者施設など本物の動物を飼うことが困難な場所や人々のために、ロボット・セラピーを目的に 1993 年から研究開発され、衛生性、安全性、信頼性、耐久性、メンテナンスの容易性などの観点から、改良されてきた。例えば、パロは頻繁に呼ばれる声を自分の名前として学習し、一番話しかけてくれる人の声に反応する。パロは大量に売れることはないが、ユーザニーズを確実に捉えて改良を続け、生産され続けているサービスロボットの一つである。

サービスロボット分野に注力しているパナソニック(株)での取り組み内容が、同社ロボット事業推進センター リーダ 北野幸彦氏から「パナソニックのロボット事業化への取組」というタイトルで紹介された。サービスロボットの商品化・事業化には様々なハードルがあるが、同社では、ロボット技術が今後の社会的課題を乗り越える重要な一手段と考え、これらのハードルを乗り越えるべく挑戦している。

現在、サービスロボット市場は小さいが、これを幾つかの分野に分けて対応している。病院や介護施設（医療福祉分野）で使うロボットについてニーズを調べ、キーワードは「病院まるごとロボット」で薬剤等特定市場に展開し、まずは「注射薬自動払出システム」で病院の薬剤業務を支援、投与までの時間がこれまでの半分に短縮できるものである。

福祉分野では世界初のベッド一体型車いすロボットのロボティックベッドを発表した。

2000 年頃にはいろいろなロボットを製作し、実証実験も行ったが、市場を創出するところまでは至っていない。センサやロボットハンドなどロボットに必要な様々な要素技術も開発した。

ロボットにかかわってロボットを見てはいるが、利用者の視線で見ていないとか、ユーザニーズに気付いていないと考え、利用者に対するアンケート調査を行ったところ、主婦が最も困っているのは、意外なことに、「買い物をしてレジに並ぶことだ」と知った。また、主婦は、食事の後でロボットが食器を食器洗浄機に入れることを期待してはいない、と知った。

ビジネス創出の場では、開発担当者が納得できるビジョンを会社の経営陣と共有することが重要だと考えており、「超高齢社会への挑戦」についてはビジョンを共有している。

また、現在存在しないものについては、ユーザの頭の中ではっきりとしたニーズにはなっていない、ウオンツの段階のものということができる。そこで、「ロボットのお客様は誰か」「どのようなことで困っているか」と考えるようになった。ベッドから車いすに移乗することに注目した場合、ロボットが人間を抱え上げて移すことに拘ると、それはとても大きくて固くて恐ろしく、しかも病室に入らない。介護支援ベッドシステムでは、人を抱え上げる機能でなく、利用者が横になって寝る機能と好きな場所へ好きな時に移動する機能ととらえたら、商品になり易かった。人が主体でロボットはアシストに徹するものであり、高齢者の自立をアシストするのが、ベッドと車いすの機能を兼ね備えたロボティックベッドである。

社長は「ロボットに注力する」と世間に告げた。高齢社会の困りごとは、ロボットを使って助ける。また、海外に輸出できるものを創るよう指示を受けた。

病院では、病院の経営者がロボットのお客様であり、経営者の困りごとは、病院の中でいつも戦場のようになっている場所で、医療ミスのリスクや患者の不満足が起こる可能性の高い場所。そこで、薬剤の払い出し、薬剤のチェック、注射液の混合に着目した。搬送、検査など、医療行為そのものではない機能をアシストする。薬を一人の患者のために取り揃える作業を担うロボットは、中小病院向けで小型自動倉庫のようなもの。

薬を搬送するロボットは「HOSPI」と呼ばれる自律搬送ロボット。エレベータを利用して上下階への移動も可能。松下記念病院で、職員の少ない夜間に薬を運ぶ。

電動アシスト付き自転車の部品を利用したのがパワーアシスト付き配膳車で、院内電動アシストカートと呼ぶ。さらに、障害のある女性のニーズから、髪の毛のシャンプーをしてくれるロボットも創った。プロトタイプで研究を重ね、実際に販売する際は一部の機能だけでも販売することを検討している。

フォーラムの最後に主催者から 2010 年 4 月 9 日に発表された「次世代ロボットの本格普及に向けて」という声明文が紹介された。

我が国の現状は、要素技術や各種サービスロボットのプロトタイプの開発が進展する一方、市場の拡大、普及には期待通りの成長がみられていない。こうした現状を打破し、我が国がロボット活用先進国となり、それによって真のロボット先進国とならなければならない。このため、以下のような課題に対して、産学官の幅広い関係者にも一層強力な支援、取り組みを期待する。

１．　次世代ロボットの対人安全技術確立と基準・検証手法整備の着実な推進。
２．　現場実証機会の拡大とロボット導入に向けた社会制度の見直しの推進。
３．　ユーザ支援を通じた、製品普及促進に向けた環境整備。

このうち、２については社会制度の見直しの具体案が示されている。

（１） 実証機会の拡大

- 官公庁等公的施設におけるオフィスビル向けサービスロボットの実証
- 案内ロボット、掃除ロボット、警備ロボット、移動ロボット等多様なサービスロボットを集めて実証を行う商業施設、アミューズメントパーク等への支援を通じた実証
- 公立病院、リハビリ施設等での介護福祉・リハビリ支援ロボット等の実証（対象施設の拡大、受入施設への助成や人的支援の拡充等）
- 災害救助ロボット、探索活動ロボット等をレスキュー訓練等の場に継続的に導入することによる、現場従事者によるこれらの実証

（２） 社会環境の整備

- エレベータでの人とロボットの同乗に関する基準の整備
- 医療ロボット等における治験・承認環境の整備と人材の確保
- 移動ロボットによる公道走行を実現する条件と環境の整備
- サービスロボットの通信用周波数帯域の確保

（３） 公共調達の拡充

- トンネル、橋脚、上下水道等社会インフラの検査・点検ロボットの（競争開発による）公共調達拡充を通じた関連ロボット開発の促進

さらに、3のユーザ支援について、「介護福祉用をはじめとするサービスロボットでは、従来の産業ロボットユーザのような大規模投資に慣れた製造業者とは異なる資金調達力の弱い事業者や個人がユーザとして想定される。こうしたユーザの初期投資リスクを低減することは、普及の加速とそれによる量産効果が正の循環を形成することにつながると期待される」としている。

また、今後、介護・福祉等の現場を中心に次世代ロボットを新たなツールとして活用していく際に、安全、かつ、きめ細かなユーザ支援が行えるよう、これらを扱う人材の育成、教育訓練システムの充実も急務であり、積極的な公的支援を期待する、と締めくくっている。

日刊工業新聞社のロボナブル編集部によると、前述のパロはデンマークに輸出されており、残念なことだが、「介護福祉ロボットは北欧市場が頼み」とタイトルを付けている。同国では、国家として介護福祉に相当な社会コストをかけている。例えば認知症患者１人の介護に年間 1,000 万円をかけて高品質の介護サービスを提供しているという。介護福祉分野の設備投資に余裕があるからこそ日本のパロを導入できたのであり、日本の介護福祉の実態とは決定的に異なっている。

最新技術を組み合わせて様々な顧客の「夢」に対応し、利潤を得てビジネスとして定着させるには、改良の積み重ねと量産化が必要である。挑戦を恐れるばかりでは新成長戦略・ライフ・イノベーションという看板が何の役にも立たない。RT の具体的な利活用のニーズを見出し、対応するための調査の重要性は高いが、調査だけにとどまることなく、関係者が協力して新しいサービスロボット、新しい産業の創造・育成にむけて着実に前進する

ために、この報告書が少しでも役立つならば大きな喜びである。

平成 23 年 3 月 新産業研究部会長 小坂順一

第Ⅷ部　生活支援分野のサービスロボットなどＲＴ（ロボット技術）の活用並びに健康・福祉系医療機器等の活用

第１章 はじめに

1.1 調査研究の背景と目的

本研究部会活動の背景と目的を示し、活動経緯、活動実績を報告する。

1.1.1 背景

日本国内で使用される最新の医療機器の多くが外国製という事実がある。日本の産業界で､高度な医療機器産業で海外に負けない競争力を持つための組織作りが進められている。特に医療分野は実用化に不可欠な製造・販売・承認に関する規制が厳しい。また、医学（医師）と工学（エンジニア）の考え方に違いがあることから、医工連携の必要性が指摘されている。

一方、健康・福祉・介護に必要なサービスロボットの開発・普及は出遅れている。医療分野では、高度で先進的な医療機器（MRI、マルチスライス CT 等）のみならず、広く国民全体の QOL（生活の質）の向上には、「いつでも、どこでも、誰でも、一定水準の医療を安心して受けられるシステムの構築が必要」だが、その開発には、工学や機械システムを応用した、信頼性や客観性の造り込みが必要である。福祉分野では、福祉用具提供者と利用者に対する介護保険等による行政側の支援も不足である。

1.1.2 目的

サービスロボットなど RT（ロボット技術）ならびに健康・福祉系医療機器等の開発・利用促進方策の提言。

1.1.3 調査研究概要

① 健康（健康診断・介護予防他)、医療・福祉（医療施設・福祉施設建設）について、サービスロボット、医療機器（実用化技術・先進技術)、建築設備・備品等について調査を行う。

② 健康、医療・福祉分野に必要な機能や医療機器・建築設備等を洗い出し、それらを包括的に調達・運用・更新する機能を、エンジニアリング産業や建設産業がどのように担うことが可能か、の検討を行う。

③ 分析の視点は､「エンジニアリング産業や建設産業の優位性活用」と「技術中心でなく人間中心イノベーション（新機軸）の在り方」である。さらに、少子高齢社会における、健康、医療・福祉分野の具体的な対策の提言を試みる。

1.2 調査研究の経緯

1.2.1 調査研究の方向性

調査研究は**図 1.2.1-1** に示すフローに従って進めることとした。

① １年目は、健康・医療・福祉・介護に関する施策や技術動向について、国内・海外の調査を行った。

② 調査する対象は、RT（ロボット技術）や IT（情報技術）を用いたものを中心とし、関連する法制度やビジネスについても対象とした。

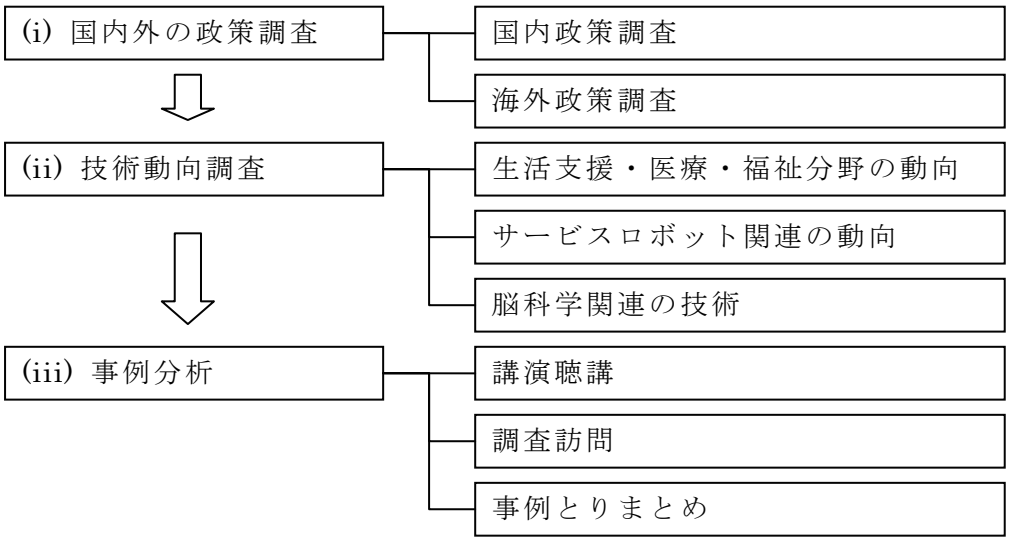


図 1.2.1-1 調査研究フロー

1.2.2 調査研究の実績

表 1.2.1-1 に本研究部会の調査研究実績を示す。

表 1.2.1-1 調査研究実績

日程	内容
2010 年 5 月 20 日	第 1 回部会　ライフ・イノベーション骨子、ロボットの将来市場
2010 年 6 月 23 日	第 2 回部会　スウェーデン福祉研究所
2010 年 7 月 28 日	第 3 回部会　厚労省新成長戦略、ヘルスケア産業
2010 年 8 月 25 日	第 4 回部会　サービスロボットの安全性、PHR
2010 年 9 月 28 日	第 5 回部会　つくばロボット特区、生活支援ロボット実用化
2010 年 10 月 19 日	第 6 回部会　先進医療機器、企業の取り組み
2010 年 10 月 25 日	現地調査　(株)東芝 研究開発センター
2010 年 11 月 1 日	講演　明治大学 商学部 北岡孝義 教授
2010 年 11 月 4 日	現地調査　パナソニック(株) 生産革新本部
2010 年 11 月 5 日	現地調査　(株)国際電気通信基礎技術研究所
2010 年 11 月 24 日	第 7 回部会　調査訪問まとめ
2010 年 12 月 22 日	第 8 回部会　WG 報告書構成検討
2011 年 1 月 26 日	第 9 回部会　WG 報告書一次原稿確認
2011 年 2 月 9 日	第 10 回部会　WG 報告書二次原稿確認
2011 年 3 月 22 日	第 11 回部会　WG 報告書最終確認

第 2 章 新成長戦略

手術ロボット「ダビンチ」が話題になるなど、現政権が打ち出した新成長戦略「ライフ・イノベーション」の「医療・福祉・健康関連産業」の中で、医療関連産業では当報告書のテーマであるサービスロボットが活用される可能性が高いと期待した。また、福祉のうち障害者介護・高齢者介護などの分野についても同様と考えた。

サービスロボットの分野では病院におけるパナソニックの例（医療機器ではない）をあげたが、本丸である医療機器・福祉用具分野を一つの産業として見た場合、税金投入、生命にかかわるなどから、家電や自動車産業に比較して行政の規制が強い。民間企業がこの分野で利益を上げるビジネスモデルを構築するには、規制緩和推進は良いとしても行政の定めるルール、競争のルールが途中でコロコロ変わることは望ましくない。企業が医療機器分野に参入するには、収益が上がるまでの期間が長いなどの難しさがあるが、いったん参入すれば、他社が容易に参入できないことが逆にメリットになりうる。

内閣府がライフ・イノベーションという花火を打ち上げたことや経産省等の後押しもあり、国内での競争に疲れ、海外進出もためらいがちな中堅・中小企業は、医療機器分野を新たなビジネスチャンスと捉えて、様子をうかがっている。

しかし、政権交代等の影響で政策が変わり二階に上がって梯子を外されることがないとはいえないので、業界団体を作り政治に言うべきことを言う、約束した政策を着実に実行するように圧力をかける、研究開発の予算を確保する、ということも考えなければならない。その場合、個人消費者相手の自動車や家電産業だけでなく、公的な仕事を受注することの多いエンジニアリング産業や建設産業が業界団体に加わることが望ましい。

この章では、まず新成長戦略について簡単に述べるが、詳しくは第 3 章で述べる。

2.1 新成長戦略

新成長戦略のライフ・イノベーションに関する記述では、「医療、福祉、健康関連産業」とか「医療、介護、健康関連産業」あるいは「医療、介護、子育て」とか言われるが、医療と福祉（主に障害者・高齢者介護）について検討した。ただし、治療が目的の医療と、当事者の生活の質（QOL）を重視する介護との違い、医学でも臨床医学、基礎医学、社会医学（勤労者階層の健康の維持等を扱うなど）の違い、臨床の現場でも医師と看護師の役割分担の違い、さらに、ライフ・イノベーションに対する厚労省、経産省、文科省のスタンスの違いや縦割りの取り組みがある。「ライフ・イノベーション」は、もう一つの「グリーン・イノベーション」に比べると、民間企業の関心は低く、推進のための方策も数が多過ぎて絞りきれていない。ライフ・イノベーションの中の個々の施策に対して日本医師会、日本経団連、産業競争力懇談会（COCN）その他からの批判も公表されている。例えば、「２大イノベーションだけでなく ICT も重要だ」など、他の分野をあげる意見も多い。

2.1.1 医学用語

引用した文献では、西暦と和暦が混在していたが、なるべく西暦に統一した。

「侵襲（しんしゅう）」「治験（ちけん）」などの医学用語の説明をする。

表 2.1.1－1 医学用語解説

医学用語	説明
侵襲（しんしゅう）	生体内の恒常性を乱す事象全般を指す医学用語。怪我、病気だけでなく手術、医療処置のような生体を傷付けることすべてを指す。医療行為としての侵襲は、外科手術などによって人体を切開したり、人体の一部を切除する行為や薬剤の投与によって生体内に何らかの変化をもたらす行為などを指す。このような行為は医師法により医師でなければ行ってはならない。医療かどうかはこの侵襲する行為があるかどうかによって判断が分かれる。人体を侵襲する目的で作られた器具や機械は医療機器として扱われる。
低侵襲医療	手術・検査などに伴う痛み、発熱・出血などをできるだけ少なくする医療。例えば内視鏡やカテーテルなど、体に対する侵襲度が低い医療機器を用いた診断・治療のこと。患者の負担が少なく、回復も早くなる。
治験（ちけん）	医薬品もしくは医療機器の製造販売に関して、薬事法上の承認を得るために行われる臨床試験。元々は「治療の臨床試験」の略。外国に比べて日本国内で治験を行うことにはハードルが高い。従来、承認を取得することが目的であったため企業主導で行われてきたが、薬事法が改正され必ずしも企業の開発プロセスに乗る必要はなく、医師主導でも実施可能となった。動物を使用した非臨床試験（前臨床試験）により薬の候補物質もしくは医療機器の安全性および有効性を検討し、安全で有効な医薬品もしくは医療機器となりうることが期待される場合に治験が行われる。
治験を行う者	治験への参加者に対して、治験に先立ち、実施される試験の目的や内容について説明する義務がある。また、参加者が患者であるならば、その治療法などについてのメリットとデメリット、他の存在する治療法などを詳しく説明し、予想される最悪の帰結に関してまでの合意がなければならない。そして、十分な理解のできた参加者本人の自由意志によってのみ治験への参加は決断されなければならない。また、いつでも参加者は自由に治験からは離脱でき、治験からの離脱に対して、今後の治療や経済制裁などの不利益を被ることが一切ないことを保証しなければならない。間接的な強制も許されない。

2.1.2 新成長戦略の概要

ここで、新成長戦略の流れを振り返る。鳩山由紀夫内閣の下で「新成長戦略（基本方針）」が 2009 年 12 月 30 日に閣議決定された。サブタイトルは「輝きのある日本」。

第 2 章は 6 つの戦略分野の基本方針と目標とする成果。この章には 3 種類のテーマがある。「強みを活かす成長分野」が 2 項目、「フロンティアの開拓による成長」が 2 項目。

「新成長戦略（基本方針）」、を充実させたものが、「新成長戦略」で、2010 年 6 月 18 日に菅直人内閣で閣議決定された。サブタイトルは「『元気な日本』復活のシナリオ」。

表 2.1.2－1 新成長戦略概要

章とタイトル	内容
第 1 章 新成長戦略―「強い経済」「強い財政」「強い社会保障」の実現	社会保障には雇用創出を通じて成長をもたらす分野が数多く含まれており、社会保障の充実が雇用創出を通じ、同時に成長をもたらすことが可能である。「ライフ・イノベーション」などの成長分野を支えるための政策が「科学・技術・情報通信立国戦略」である。
第 2 章 新たな成長戦略の基本方針－経済・財政・社会保障の一体的建て直し－	「需要面からの成長戦略」の中で、最大の需要が存在する分野の一つが「社会保障・福祉分野の具体例として、少子高齢化に対応した医療、介護、保育サービス等への需要、安心できる社会保障制度の構築や雇用情勢の改善等により顕在化される消費需要等」。
第 3 章 「強みを活かす成長分野」の「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」	「医療・介護・健康関連産業を成長牽引産業へ」「日本発の革新的な医薬品、医療・介護技術の研究開発推進」「アジア等海外市場への展開促進」「バリアフリー住宅の供給促進」「不安の解消、生涯を楽しむための医療・介護サービスの基盤強化」「地域における高齢者の安心な暮らしの実現」。
第 4 章 「新しい成長と政策実現の確保」	需要を創り出す鍵が「課題解決型」の国家戦略。少子高齢化など重要課題への処方箋を示すことが、社会変革と新たな価値を育み、結果として雇用を創り出す。社会保障は負担面が強調され、経済成長の足を引っ張るものと見なされたが、雇用創出を通じて成長をもたらす分野が数多く含まれている。

産業用ロボットでなく、人間と同じ空間で働くサービスロボットに関する記述は「日本発の革新的な医薬品、医療・介護技術の研究開発推進」にある。内容は次の通り。

「産官学が一体となった取り組みや創薬ベンチャーの育成を推進し、先端医療技術、情報通信技術を駆使した遠隔医療システム、ものづくり技術を活用した高齢者用パーソナルモビリティ、医療・介護ロボット等の研究開発・実用化を促進する。」

第 3 章後半の「ライフ・イノベーションにおける国家戦略プロジェクト」の説明文があり、ここには 21 の国家戦略プロジェクトの 4 番目と 5 番目が含まれている。

4 番目「医療の実用化促進のための医療機関の選定制度等」の内容は次の通り。

「専門的医療機関を中心としたコンソーシアムを形成し、研究費や人材を重点的に投入し、必要な患者に対し世界標準の国内未承認または適応外の医薬品・医療機器を保険外併用にて提供することで、難治療疾患と闘う患者に、より多くの治療の選択肢を提供し、そのような患者にとってのドラッグ・ラグ、デバイス・ラグを解消する。」

5 番目「国際医療交流（外国人患者の受入れ)」の内容は次の通り。

「医療滞在ビザを設置し査証・在留資格の取扱いを明確化して渡航回数、期限等を弾力化し、外国人医師・看護師による国内診療を可能とするなどの規制緩和を進める。」

これらの政策に対する日本医師会の反論は後述する。

別表で成長戦略実行計画（工程表）という図が添付されている。

なお、医療機器開発の流れを、2010 年 4 月 26 日の「新成長戦略『ライフ・イノベーションによる健康大国戦略』策定に向けた医療機器業界の提言」から抜粋する。

> アイディア探索⇒特許⇒開発⇒前臨床（動物を使用した非臨床試験）⇒
> 臨床研究（治験）⇒申請⇒審査・承認⇒保険適用⇒トレーニング⇒使用⇒

改良・改善のために、前から３番目の「開発」に戻りこのサイクルを繰り返す。

この提言では、「我が国の医療機器産業では、様々な障害が存在し、出口が見えないことにより、積極的な研究開発、投資が進まない」としている。

2.1.3 医療・福祉産業関連の数値

以後の報告の理解を助けるため、ここで統計数値の一部を載せておく。

表 2.1.3－1 総人口の推計（出生中位、死亡中位のケース） 年齢４区分別割合（%）

年次	総数（千人）	0～19 歳	20～64 歳	65～74 歳	75 歳以上
2005 年	127,768	18.9%	60.9%	11.1%	9.1%
2010 年	127,176	17.7%	59.1%	11.9%	11.2%
2015 年	125,430	16.6%	56.5%	13.8%	13.1%
2020 年	122,735	15.3%	55.4%	14.0%	15.3%
2025 年	119,270	14.2%	55.3%	12.3%	18.2%
2030 年	115,224	13.5%	54.7%	12.2%	19.7%
2035 年	110,679	13.1%	53.3%	13.5%	20.2%

各年 10 月 1 日現在人口

（国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計人口（平成 18 年 12 月推計）より作成）

表 2.1.3－2 部門別社会保障給付額 2007 年度と 2008 年度の比較 対前年度比伸び率

社会保障給付費	2007 年度	2008 年度	伸び率
計	914,305 (100.0)	940,848 (100.0)	2.9%
医療	289,462 (31.7)	296,117 (31.5)	2.3%
年金	482,735 (52.8)	495,443 (52.7)	2.6%
福祉その他	142,107 (15.5)	149,289 (15.9)	5.1%
介護対策（再掲）	63,727 (7.0)	66,669 (7.1)	4.6%

（ ）内は構成割合である。金額の単位：億円

（厚生労働省「平成 20 年度国民医療費の概況について」より作成）

表 2.1.3－3 国民医療費の推移

年次	国民医療費（億円）	対前年度増減率(%)	1人当たり国民医療費
1990 年度	206,074	4.5	166.7
1995 年度	269,577	4.5	214.7
2000 年度	301,418	△1.8	237.5
2005 年度	331,289	3.2	259,3
2008 年度	348,084	2.0	272.6

単位 1人当たり国民医療費：千円

（厚生労働省「平成 20 年度国民医療費の概況について」より作成）

2000 年 4 月から介護保険制度が開始されたことに伴い､従来国民医療費の対象となっていた費用のうち介護保険の費用に移行したものがあるが、これらは 2000 年度以降、国民医療費に含まれていない。

表 2.1.3－4 2008 年度制度区分別国民医療費

項目	2007 年度	2008 年度	伸び率（%）
国民医療費	341,360 (100.0)	348,084 (100.0)	2.0
公費負担医療費給付分	23,002 (6.7)	23,310 (6.7)	1.3
医療保険等給付分	167,576 (49.1)	169,548 (49.1)	1.2
後期高齢者医療給付分	102,785 (30.1)	104,273 (30.0)	1.4
患者負担分	47,996 (14.1)	49,141 (14.1)	2.4
軽減特例措置	1,813 (0.5)	・	・

( ) 内は構成割合である。金額の単位：億円

（厚生労働省「平成 20 年度国民医療費の概況について」より作成）

2.2 総合科学技術会議答申

研究開発と実用化との間の「死の谷」（基礎研究から応用研究までの障壁、応用研究から製品化までの障壁、パイロットラインから事業化までの障壁の３つの難関）も、医療機器固有の問題を抱えている。

府省のとりまとめ役として、総合科学技術会議と行政刷新会議について述べるが、内閣府がリーダーシップを発揮していないと産業界から批判を浴びている。民間の活力を用いるにしても、リスクを犯しながら死の谷を渡り新たな産業を育成するには巨額の研究開発投資や民間企業が活躍できる土俵づくりが不可欠であり、予算を各施策に小分けにしてばら撒いているようでは、世界第２位にもなれないであろう。

また、人口減少で労働力は不足すると繰り返し強調し、日本の高齢者・障害者は医療・福祉の対象者（消費者）であり、需要を生み出すが、社会保障費の急激な増大を招くとしている。高齢者・障害者、そして女性を弱者と見るのではなく、医療・福祉施設、行政や企業の現場（在宅での就労を含む）で労働力として活躍できるように UD（ユニバーサル

デザイン）の街づくり、サービスロボットの実用化、安全な作業環境の整備などの主張が余り取り上げられないことは残念である。今回、本研究部会メンバーの一人が丸３日間高齢者施設で働いてみたが、省力化・効率化のネタがたくさんあった。高齢者の勤務先としても有望であった。

例えば、ピアサポートという言葉がある。同じような課題に直面する人同士が互いに支えあうという意味で用いられ、高齢者・障害者に対する支援として有効である。障害者福祉の分野では障害のある人が同じ障害で悩む他の人の相談にのることにより心の負担が軽減される。障害者自立支援法には「ピアサポート強化事業」という項目がある。

また、サービスロボットかどうか分からないが、国内で 2010 年 10 月までに販売台数累計 20 万台を記録した外国製（アイロボット社）の掃除ロボット「ルンバ」は介護保険制度の居宅介護でホームヘルパーによる「生活援助」の手伝いはすると思われる。

2.2.1 総合科学技術会議とは

同会議は、内閣総理大臣、科学技術政策担当大臣のリーダーシップの下、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案および総合調整を行うことを目的とした「重要施策に関する会議」の一つである。

同会議の「司令塔機能強化」について複数の新聞で報じられている。例えば、2010 年 5 月 10 日の日経新聞電子版ニュース。

> 「総合科学技術会議を抜本的に考えないといけない」と、仕分け担当の寺田学衆議院議員は、本来司令塔役を果たすべき同会議そのものの見直しを強く求めた。ある省庁幹部は同会議を「ホチキス」と呼ぶ。重複を交通整理せず、各省が出した提案を「ホチキスどめ」してまとめることしかできないという意味だ。政府は、総合科学技術会議を科学技術戦略本部（仮称）に改組し、機能強化をする方針。そのための具体的な検討は進んでいない。ある文科省 OB は「政治家は箱を変えれば仕事した気になる」と冷やかす。

表 2.2.1－1 総合科学技術会議の有識者メンバー 2011 年 1 月 14 日

氏名	常勤・非常勤	役職等
相澤　益男	常勤議員	元東京工業大学学長
本庶　佑	常勤議員	京都大学客員教授
奥村　直樹	常勤議員	元新日本製鐵㈱代表取締役副社長、技術開発本部長
今榮　東洋子	非常勤議員	名古屋大学名誉教授
白石　隆	非常勤議員	政策研究大学院大学教授
青木　玲子	非常勤議員	一橋大学経済研究所教授
中鉢　良治	非常勤議員	ソニー株式会社取締役代表執行役副会長
金澤　一郎	（関係機関の長）	日本学術会議会長

公益財団法人東京財団は、2010 年 5 月 31 日に「科学技術政策の司令塔として総合科学技術会議の抜本改革を」という提言を出した。

現在の科学技術総合会議の議員は、研究分野に集中して取り組んできた人というよりも、元学長の次のポストになっている。こうした議員をどうやって選んでいるのかが良く分からないというのも問題。

専門分野における国際的な業績、科学界全体に関するビジョン、さらには科学および科学技術と社会との関係や公共性に対する自らの考えなどについて、議員候補者それぞれのスタンスをあらかじめ明らかにするなど、オープンに議員が選ばれる仕組みを検討していく必要があろう。

機能しない科学技術政策には真の司令塔が必要。そもそも、司令塔としての科学技術会議と、担当官庁としての文部科学省（分野により他省庁の場合も）それぞれの役割が極めてあいまいであり、両者がその責務を果たしているとは言い難い。

2.2.2 総合科学技術会議答申

2010 年 12 月 24 日、総合科学技術会議から、諮問第 11 号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申が出された。第 4 期科学技術基本計画は、2010 年 6 月の「元気な日本復活のシナリオ」を科学技術、イノベーションの観点から幅広くとらえ、この方針をより深化し、具体化するとともに、他の重要政策との一層の連携を図りつつ、我が国の科学技術政策を総合的かつ体系的に推進するための基本的な方針を提示する、としている。

答申では、ライフ・イノベーションについて述べている。

> 「将来にわたり持続的な成長を遂げる国を実現することが最重要であり、取り組むべき喫緊の重要課題は、高齢化の問題への対応である。高齢者の増加と人口減少は社会保障費の急激な増加をもたらすとともに、労働人口の減少につながり、将来の成長にとって大きな制約要因となる。しかし一方で、高齢社会の進展は、医療・介護・健康サービスの需要拡大をもたらし、こうした社会的制約を克服する取り組みは、中長期的に新たな成長を生み出す原動力ともなりうる。」

表 2.2.2－1 ライフ・イノベーション推進のための４つの重要課題

重要課題	内容
革新的な予防法の開発	省略
新しい早期診断法の開発	省略
安全で有効性の高い治療の実現	放射線治療機器、ロボット手術機器等の新治療機器の開発、ならびに遠隔診断、遠隔治療技術の開発、それを支援する画像情報処理技術の開発など。
高齢者、障害者、患者の生活の質（QOL）の向上	生活支援ロボットやブレインマシンインターフェース（BMI）機器、高齢者用のパーソナルモビリティなど、高齢者や障害者の低下した機能を代償する技術、自立支援や生活支援を行う技術、高度なコミュニケーション支援に関する技術、さらには介護者を支援する技術に関して、安全性評価手法の確立も含めた研究開発を推進する。

これらの推進とあわせて、成果を医療機器として迅速に実用化に結び付けるための仕組みを整備する必要がある。特に我が国では、研究成果を臨床研究、治験、製品化につなげ

ていく際、国際比較で開発時間を要する（デバイス・ラグ）という問題が指摘されており、これらの問題を解決し、ライフ・イノベーションを促進する観点から、承認審査にかかわる規制・制度改革や研究開発環境の整備を推進する。

この答申の半年ほど前、2010 年 7 月 8 日に、「平成 23 年度科学・技術重要施策アクション・プラン（AP)」が「科学技術政策担当大臣・同会議有識者議員」から出されている。AP とは、2020 年を見据えて策定するもので、2011 年度は、２大イノベーションの中で、特に具体的な実現目標が明確で、達成時に効果の大きい課題に重点化して AP を策定する。

なお、４番目の「高齢者、障害者、患者の生活の質（QOL）の向上」に登場する「QOL」とは、単に「病気が治った」「手術が成功した」という狭い意味ではなく、ある人がどれだけ人間らしい生活を送り、人生に幸福を見出しているか、ということを尺度としてとらえる概念である。QOL の「幸福」とは、心身の健康のみならず、良好な人間関係、やりがいのある仕事、快適な住環境、十分な教育、レクリエーション活動、レジャーなど、様々な観点から計られる。上述の「QOL の向上」という４番目の重要課題は、他の３つとはやや異なる。高齢者、障害者については、比較的少数の重篤な患者を治療する高度な医療の分野の課題というよりは、自分が好きなときに好きなところに移動できる（自己決定）とか、介護者の労力を軽減できるとか、生活に関連した様々な方策を総合的に実施し、そのメリットを広く行き渡らせることが求められている。

大学の医工連携で新たに開発されたサービスロボットに民間企業が乗り出し、行政等の支援を受けて迅速に実用化され絶えず改良されること、介護保険等を利用できるようになること、そして安価で安全であること、さらに当事者・介護者が複雑な機械の操作に不慣れな高齢者や障害者である場合（老老介護）も多いことから、懇切丁寧な説明・指導や日常的な訪問とメンテナンスがサービス事業者等から提供されるならば、体力の衰えを感じ始めた健常者へも広く普及する可能性があり、量産効果が発揮され、企業（メーカやサービス事業者等）にとっても継続的でボリュームの大きいビジネスとして成り立ちやすい。

高齢者や障害者は、若かった頃や障害の無かった頃の身体に戻ることはできないとしても、サービスロボットを含めて、高齢者向けの施設やボランティア団体などの社会資源を組み合わせて活用することで、QOL の向上、すなわち人生に幸福を感じることができる。

一方、新たな会議体がたくさん生まれた。2010 年 11 月 8 日、新成長戦略実現会議（議長：菅直人首相）第４回会合で、実用化に向けた医療研究開発の推進等の実現のための下部組織として、新たに「医療イノベーション会議」の設置が決定された。内閣府の「規制・制度改革に関する分科会」の下部組織で、新成長戦略の医療関連の規制改革項目等について検討を行う「ライフ・イノベーション WG」との関連性については、両方の検討結果を踏まえ、どこかで融合なり、つき合わせを行って、政府として一定の方向性を出す。

2011 年 1 月 10 日の報道によると、政府は内閣官房に「医療イノベーション推進室」を新設した。厚労省、文科省、経産省の縦割りの取り組みを統合し、オールジャパン体制を構築、研究開発から実用化まで切れ目ない研究開発費の投入や研究基盤の整備に取り組む。

2.2.3 行政刷新会議

内閣府の行政刷新会議のウエブサイトを見ると、ムダを削る、規制を解く、行政を開く、民が担うという４つのスローガンが並んでいる。同会議が行う事業仕分けは一種の政治的パフォーマンスとして国民の耳目を集めたが、一方で、「専門知識のない仕分け人（行政刷新会議議長が指名）による短時間かつ一方的議論に基づき多くの事業を廃止または見直しと結論付けたことで、日本の国力の中長期的な低下を招くことになる」との指摘もある。

日本学術会議の金沢一郎会長は、次のように述べている。

> 「重複は無駄だとする仕分け方針に必ずしも賛成していない。様々な考え方で研究し、刺激しあう散在性が学問には必要。一部の総合大学に研究機能を集中させる現政策は国家としての研究力を逆に弱めている。研究の重点化を進めようにも、力を入れる分野を見誤れば逆効果になりかねない。」

2010 年 12 月 20 日の第９回会議資料「制度改革の方向性」の要点は次の通り。医療の産業化について述べ、過去のプランが実行されていないと指摘している。

表 2.2.3－1 制度改革の方向性

タイトル	内容
Ⅰ．社会制度改革の必要性・全分野横断的な方向性	医療、介護、保育分野は、他産業への雇用誘発効果も含めて雇用創出効果も高く、これらを核とした地域の産業活性化やまちづくりといった視点も重視すべき。過去にビジョンやプランは示されているが、実行に移されていない。
Ⅱ．医療分野における制度改革の方向性	医療の産業化という点では他の先進諸国に後れをとっている。医薬品・医療機器の国際収支は低迷し、先端技術も育っていない。 国際医療交流による外国人患者、従事者の受け入れや研究レベルでの交流と国際標準化を進めることにより、我が国の医療の閉塞感を打開するとともに、世界に貢献できる日本の医療を実現すべき。 新たな技術への研究開発投資を奨励し、臨床試験環境の抜本的改善を図るとともに、イノベーションを適切に評価することで、最先端の医療技術を早期に実用化することが必要。 医療とその周辺のサービスや商工業との連携を促進することで、新たな産業の可能性を開き、地域の活性化を図ることが必要。
Ⅲ．介護分野における制度改革の方向性	介護はライフサポートサービスであり、介護保険はその一翼を担っているに過ぎない。今後の成長分野として、生活に密着した産業として発展することが必要。 介護保険外サービスも含めて、産業全体としての質を高める環境整備が必要。その際、高度な技術やサービスの質の向上が、過度な規制や担当行政で阻害されないようにすることが必要。 サービスの受け手も能力に応じて社会に参画するという視点で利用者本位のサービス提供の推進が必要（在宅や施設における就労や ICT の活用など）。

2.3 新成長戦略に対する評価・批判

ライフ・イノベーションには様々な批判がなされている。消費税増税論議など医療・福

祉分野での財政面での課題も解決されていない。ここで、国民の反発が予想される介護保険制度の見直し、経団連と日医の提言について述べる。その前に用語を解説する。

表 2.3－1 混合診療、先進医療、総合医療の用語解説

保険診療	公的医療保険を利用した診療。自己負担は 3 割。ただし、年齢や所得により一部異なる。保険診療の対象となる検査、手術、投薬などは法律により決められている。
自由診療	公的医療保険の診療範囲にかかわらず、主治医と患者の了解の下に行われる診療。全額自己負担となるが、国内で承認されていない最先端の治療を受けることもできる。
先進医療	先進的な医療技術と保険診療を併用して受けることができる制度。先進医療は、その種別ごとに実施可能な病院が承認されている。本制度は 2006 年 10 月 1 日の健康保険法の一部改正に伴い、高度先端医療から改編され開始された。
先進医療の特別料金部分	先進医療にかかわる費用は、保険対象外のため、患者が全額を支払う。先進医療にかかる費用は、医療の種類や病院によって異なる。高額療養費支給の対象にならない。
保険診療との共通部分	先進医療を受ける患者の診察・検査・投薬・入院料など。保険対象のため、患者は一部負担（例 社会保険での 3 割の本人負担分など）を支払う。
混合診療	保険診療と自由診療の併用は先進医療などごく一部を除き、原則として認めらない。
統合医療	医療には対処療法と原因療法がある。統合医療とは両方の医療を統合することで両者の特性を活かす医療。これまでの医療は対処療法を中心とした近代西洋医学を根本としてきた。一方で、慢性疾患の治療や予後の療養、さらには近代西洋医学では治療不可能と言われた症状に対し、伝統医学や代替医療が数多く報告されている。伝統医療や代替医療は近代西洋医学医療以外の医療で、東洋医学の鍼・灸・指圧・マッサージ、アーユルヴェーダ、ヨガ、アロマセラピー、ホメオパシー、心理療法等。

2.3.1 介護保険制度の見直し

2011 年 1 月 4 日の「月間介護保険」に、2010 年 11 月 25 日、社会保障審議会介護保険部会（部会長 山崎泰彦氏）の報告書（下表）が載った。

表 2.3.1－1 介護保険制度の見直しに関する意見

現状の課題	「高齢者のみ世帯などへの支援体制の不足、介護人材の確保などの地域における介護の課題」「2025 年には介護費用が 19～23 兆円に上昇」「第 5 期（2012～2014 年度）には第 1 号被保険者（65 歳以上）の介護保険料（全国平均）が月額 5,000 円を超える」「介護職員の処遇改善継続のために財源確保が必要」
基本的な考え方	「医療、介護、予防、住まい、生活支援サービスが切れ目なく、有機的かつ一体的に提供される地域包括ケアシステムの実現」 「給付と負担のバランスを図り持続可能な介護保険制度を構築」
制度見直しの方向	「要介護者を地域全体で支えるための体制の整備」「サービスの質の確保・向上」「介護人材の確保と質の向上」「給付と負担のバランス」「地域包括ケアシステムの構築等に向けて保険者が果たすべき役割」「低所得者への配慮」

結局、2011 年 1 月、厚労省が提案した介護保険料など利用者の負担増とサービス給付削減を盛った案は、通常国会へ提出される改正案では内容の大半が見送られることとなった。

政権政党の支持率低下を懸念して重要な課題（国民の負担がふえる）を先送りし、臭い物に蓋をしただけであり、先送りしても時限爆弾がストップすることはない。政権がどの政党に移ったとしても、この件に関する議論は避けて通ることはできない。

2.3.2 経団連の意見

2010 年 10 月 19 日の経団連の提言から、当報告書に関係する部分を抜粋する。タイトルは「イノベーション創出に向けた新たな科学技術基本計画の策定を求める～科学・技術・イノベーション政策の推進～。日医と経団連の狙いがかなり異なっている。

表 2.3.2－1 経団連の提言（サービスロボット関連の抜粋）

章	内容
第 1 章	科学技術政策は、アカデミアのみを対象とした振興目的の政策という従来の発想の延長上にはめざすべき解はない。「科学・技術・イノベーション政策」と呼ぶべき新しい総合政策の在り方を模索し、その方向に大きく舵を切るべき。イノベーションの主たる担い手である産業界までを視野に入れ、産業界の知見をより政策に反映させる仕組みを整備するとともに、産業界が関係府省および大学・大学院等と本格的な連携をしながら、多種多様かつ世界をリードする優れたイノベーションを創出し続けられる体制を構築することが不可欠である。
第 2 章	ライフ・イノベーションは、国内外における将来的な需要の拡大も想定されることから、我が国産業競争力の強化を通じた経済成長といった観点からも重点的に推進すべきである。
第 3 章	総合科学技術会議は、府省横断的な研究開発課題の総合調整において、リーダーシップを十分に発揮することが困難である。予算規模および配分割合（研究開発のポートフォリオ）の立案、ならびに戦略の推進に必要な調整・評価等が可能となるよう、法律上の権限を強化すべきである。現在の同会議の構成は、大学あるいは公的研究機関の関係者が大半を占めており、産業界関係者の割合は少ない。産業界関係者が半数を占める構成とするべきである。
第 5 章	基礎研究力強化のため、解決すべき課題からバックキャスト（将来の想定に基づいて、これからの道筋を定める）して実施するなど、イノベーションにつながることを意識した目的の明確な基礎研究にも焦点を当て重点的に投資を行う必要がある。基礎研究に対する産業界による評価を行う体制も構築し、評価結果を研究資金の配分に反映する仕組みを整備すべき。現在、我が国の研究開発投資は、総額では対 GDP 比約 3.8%であるが、その 8 割以上が民間による投資。政府による研究開発投資を対 GDP 比 1%超に引き上げるべき。民間のみでは負担することが難しいハイリスクの研究開発に国が積極的に投資を行うべき。
第 6 章	今後我が国は先端医療技術や革新的医薬品・医療機器の開発技術、介護ロボット技術等、科学・技術の成果が国民生活に与える効果は極めて大きく、新たな産業の創出も期待できる。

2.3.3 日医の意見

2010 年 4 月 14 日、定例記者会見で「現政権の最近の医療政策について」という文書が示された。ポイントは、規制改革の動き（混合診療の見直し、医療ツーリズム、外国人医

師の診療)、統合医療、医学部新設で、それぞれに理由をあげて強い口調で反対している。医療に関係するほとんどの項目に反対しているが、日医の代替案はこの提言では提示されておらず、鎖国状態の維持（医師の権益温存）を支持している。

一方、政府案も練りに練った案とは思われず、常識的に無理な案が混じっている。外国人医師は日本で勤務（勤務医残酷物語）することを望まないとか、今医学部を新設しても現場で戦力になるまで 10 年かかるといわれている。

表 2.3.3－1 現政権の最近の医療政策に対する日医の反論

テーマ	反論
新成長戦略（基本方針）	医療を産業、市場ととらえていることに反対
ライフ・イノベーション WG	WG の構成員は大学教授や企業人で占められていることに反対
混合診療	全面解禁に断固反対
医療ツーリズム	現時点で検討に着手することは認められない
外国人医師の受け入れ	医師不足対策の一つであるならば、まず医師不足そのものを解決すべき
統合医療	これによる医療費削減には断固反対
医師不足の解決	医学部の新設をもってこれを実現することには反対

「統合医療による医療費削減には断固反対」についての補足説明。

「鳩山首相は統合医療により医療費削減を期待しているようであるが、医療費増大を約束した民主党マニフェストと相反する。科学的根拠が確立していない統合医療が推進される背景には、これをきっかけに混合診療を解禁し、市場原理主義に立ち返ろうという狙いがあるのではないかとの疑念を抱かざるを得ない。」

一方、統合医療を支持する意見（日医以外）は次の通り。

「近代西洋医療は、高額な医療機器の使用などで医療費も高額になりがち。病気に罹って医療費を支払う前に、病気にならないように予防に努めれば、医療費の削減になる。代替医療は人の自然治癒力を引き出すもので、病気の予防に長けている。」

2010 年 9 月 7 日 日経メディカルオンラインで、高崎健康福祉大学講師の木村憲洋氏が外国人医師の受け入れについて現状を解説している。

「日本の医師免許を持たない外国人医師による国内での診療行為は、医療法により原則禁じられている。外国人医師受け入れ拡大の議論が深まらなかった理由の一つは、日医の反対。厚労省も、慎重な姿勢を崩さなかった。一方、受け入れ拡大に積極的なのは、経済界等の意を汲む規制改革派。2010 年に入って突如脚光を浴び始めたメディカルツーリズムも大きく影響している。医療を目的とした海外からの渡航者を多く受け入れるには、外国人医師の存在が重要となるからである。」

外国人受け入れ拡大に関する論点は、次の 3 点。
「先端医療研究への貢献」「メディカルツーリズム促進の環境整備」「医師不足対策」

2010 年 12 月 1 日、定例記者会見で「日本政府の TPP 参加検討に対する問題提起―日医の見解―」が示された。TPP は環太平洋連携協定。

表 2.3.3－2 日医の反論：日本が TPP に参加した場合に予想される懸念材料

項目	反論
混合医療	日本での混合診療の全面解禁（事後チェックの問題を含む）により公的医療保険の給付範囲が縮小する
事後チェック	医療の事後チェック等により公的医療保険の安全性が低下する
株式会社の医療機関経営への参入	「医療の質の低下」「不採算部門等からの撤退」「公的医療保険範囲の縮小」「患者の選別」「患者負担の増大」
外国人医師	医師、看護師、患者の国際的な移動が医師不足・医師偏在に拍車をかけ、さらに地域医療を崩壊させる

一方、日本の医師にとっては、外国人医師の受け入れ拡大は、同業者が増えることにつながり、これについては二つの異なる見方がある。

○　長時間労働の改善につながる
○　海外からの新規参入により就業機会が脅かされ、賃金の低下を招きかねない。

これらの情報をまとめると、民間企業が現政権のライフ・イノベーションという掛け声に乗ってサービスロボットを武器に医療・福祉（介護）分野に参入した場合、経営陣がしっかりした方針を立てていなければ、短期的に撤退することが懸念される。

第 3 章 生活支援・健康・医療系分野の取り組み

将来の RT や医療福祉系機器の進展を評価するためには、生活支援・健康福祉系分野に対する技術と社会をつなぐ独自のスコープが必要となる。そこで本章では、今後の生活支援や健康・医療の分野に対する内外の政策的動向を調査した結果を整理した。

まず経済産業省や厚生労働省の政策・取り組みを概観する。そして複眼思考でみるために、医療・福祉サービスの現状や制度改革の方向性について国内外の概要比較を行う。その上で特にスウェーデンの福祉国家戦略に関して歴史的経緯と現状について述べ、さらに eHealth 戦略について、スウェーデンと日本を比較しながら論ずる。

3.1 現状調査

我が国が世界に先駆けて迎える超高齢社会では、医療・介護を担う人口の急速な増加および労働人口の全体的減少による納税人口の持続的な低下が予想されている。このような見通しの中で、国際競争力と国内の社会保障レベルを維持するには、未来型の新しい産業が要請されている。このような見通しの中で、新たな経済成長・雇用創出をめざして生活支援・健康・医療系分野の技術革新や社会システム革新を進める「ライフ・イノベーション」が期待されている。

本節では、平成 21 年（2009 年）12 月 30 日に基本方針が、平成 22 年（2010 年）6 月 18 日にさらに成長戦略実行計画（工程表）等の詳細が閣議決定された「新成長戦略」の 7 つの戦略分野の 1 つとして取り上げられた「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」の概念と政策遂行の現状について概略を述べる。ライフ・イノベーションプロジェクトは、政府の新成長戦略に基づき、厚生労働、経済産業省および文部科学省が一体的に展開する。ここではまず、厚生労働省の新成長戦略に関する政策について、次に経済産業省のライフ・イノベーションへの技術政策を述べ、その上で本報告に関連する共通の項目についての政策の現状認識を整理する。

3.1.1 厚生労働省の新成長戦略に関する政策

新成長戦略、成長戦略実行計画（工程表）のうち、厚生労働分野の施策を体系的にまとめた資料から以下、概略を整理した。

1) 新成長戦略の背景と雇用創出とのサイクル

我が国の人口と労働力人口は、2009 年に対して、2020 年には各々3%減、４%減、2030 年には各々10%減、20%減が予想されており、一人あたりの GNP をあげなければ、中長期的には GDP 総額も縮小するおそれがあると指摘する。またその GDP の一人あたりの額も、2008 年では、世界の 17 位（ノルウェー1 位、スウェーデン 6 位）であり、女性の就業率は世界の 15 位(63.3%)（ノルウェー1 位、スウェーデン 2 位）であり高くない現状にある。

その中で、高齢社会への移行に伴う「保育、介護、家事サービス等の不足」を「雇用創出やサービス利用により就業や地域活動への参加機会の拡大」への足がかりとして活用することにより、「若者、女性、高齢者、障害者が活躍できる社会」の創出を促進し、「就業率の向上」を通して社会的安心を高め、消費を増やすことにより、「経済成長」につなげて

ゆく戦略が構想されている。これが結果として「サービスニーズと世帯所得の拡大」をうみ「社会保障の財源確保」につなげようとする考え方である。

以上を表現したものを**図 3.1.1-1** に示す。

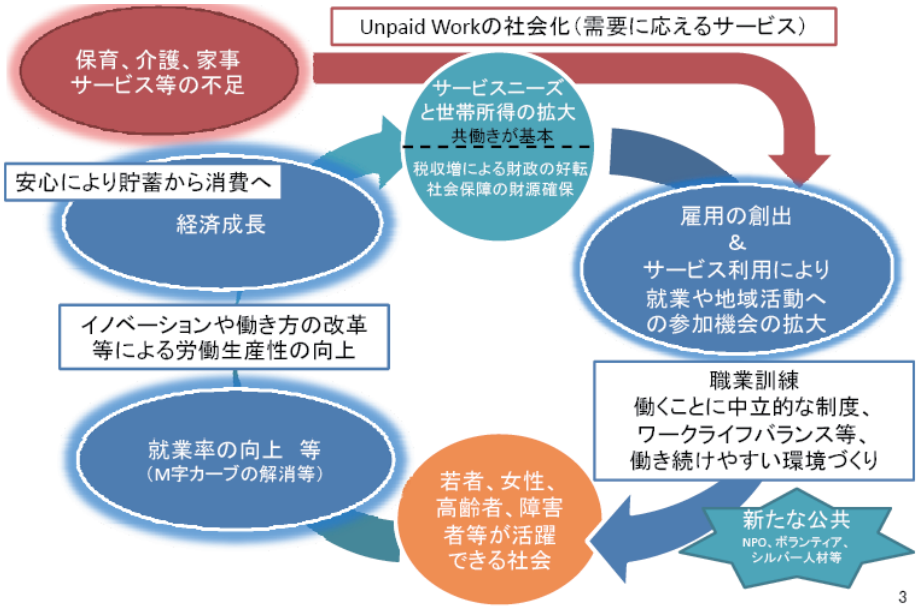


図 3.1.1-1 人口減少社会における新成長戦略の概念図

厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」(H22/6 月)より抜粋

この新成長戦略の目標としての「一人当たり GDP を上昇させる」ために、**表 3.1.1-1** に示す施策を推進しようとしている。

表 3.1.1-1 新成長戦略のための厚生労働分野の施策

項目	説明
① 就業率を上昇させる	【働ける環境の整備】 ・ 若者、女性、高齢者、障がい者の就業率向上 ・ 職業訓練、就労支援、雇用の質の向上
② マーケットと雇用の創出	【地域に密着したサービスによるマーケットと雇用の創出】 ・ 介護、保育、家事等のアンペイドワークを社会化してマーケット創出 ・ 高齢者の住まい、配食、健康、見守りなど生活周辺領域も拡大 ・ 自宅周辺、出身地周辺の雇用の場の創出 ・ 新たな子ども・子育て支援システム
③ 生産性を上げる	【良質な医療サービスの提供】 ・ 病床機能分化、専門職種の役割分担の見直し 【イノベーション】 ・ 創薬、医療機器、介護機器（福祉用具）開発の促進 【海外への展開】 ・ 国際医療交流（外国人患者の受入れ） ・ 水ビジネスのアジア展開

（厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」（H22/6 月）より抜粋整理）

さらに以下に、表の②と③について詳細を紹介する。

2) 厚生労働分野の施策の詳細

(1) マーケットと雇用の創出

地域経済を支える地域に密着した医・食・住にかかわるサービス・パッケージを構想しており、「地域の自立」をめざして「住民は住み慣れた地域で暮らし続けられる」また「働く人は、自宅や出身地周辺で働き続けられる」ことをめざす。**表 3.1.1-2** に概要を示す。

表 3.1.1-2 地域経済を支える地域に密着したサービス・パッケージ

項目	説明
医 （医療･介護･子育て）	【働ける環境の整備】 ･「看取り」も含め最期まで自分らしく生きることを支える在宅医療（訪問診療･訪問看護）の整備 ･在宅介護サービスの拠点整備など地域包括ケアの体制整備 ･住民から見て、幼稚園や保育所をシームレスに利用でき、非施設型など多様な保育ニーズに応える新たな子ども･子育て支援システムの構築
食 （配食など企業や NPO のサービス）	･配食サービス、見守りサービス、フィットネスなど、付加価値の高いサービス網の構築 ･企業等の行うサービスと公的サービスとが複合的に高齢者等の生活を支えられるようサービス事業者の品質基準、連携標準約款、コンソーシアムを作る 【経済産業省と連携】
住 （バリアフリー住宅）	･一人暮らし高齢者等の増加に対応する、ケア付き高齢者住宅の整備 【国土交通省と連携】

（厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」(H22/6 月)より抜粋整理）

このような医・食・住のシナージー効果により、**表 3.1.1-3** に示すような市場や雇用の創出をめざすとしている。

表 3.1.1-3 2020 年にむけて目標値

(2020 年)	
･医療の市場規模	59 兆円
･介護の市場規模	19 兆円
･医療･介護分野の新規雇用	201 万人
※ 健康関連サービス業市場規模	25 兆円
新規雇用	80 万人
･保育サービス等の拡充による女性の就業継続等による収入	3.3 兆円
(2017 年)	
･保育サービス等従事者増による所得増	0.5 兆円
･保育サービス等の新規雇用者数	16 万人

（厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」(H22/6 月)より抜粋整理）

(2) 生産性を上げる

本分野での技術や社会的イノベーション創出により生産性をあげることにより、医療サービスの向上や海外への展開を可能として、結果的に国内向けの付加価値の高いサービス等が外需も吸収することをめざしている。

その中で、「需要に応える医療・介護サービスの提供など」をきっかけに「雇用創出やニーズの量的充足」をはかるとともに、医療・介護におけるサービスイノベーションを通して「個別性の高いサービスの実現や総コストの最適化」を促進する。これにより「安心して暮らせる社会」の実現を促進し、さらには、「日本型サービスの国際的認知」や「医薬品・医療機器等の海外販売強化」あるいは「観光とリンクしたアジア富裕層等向けのサー

ビス」を通して、「世界の先端をゆく医療等技術立国」につなげてゆく戦略が構想されている。以上を含む概念図を**図 3.1.1-2** に示す。

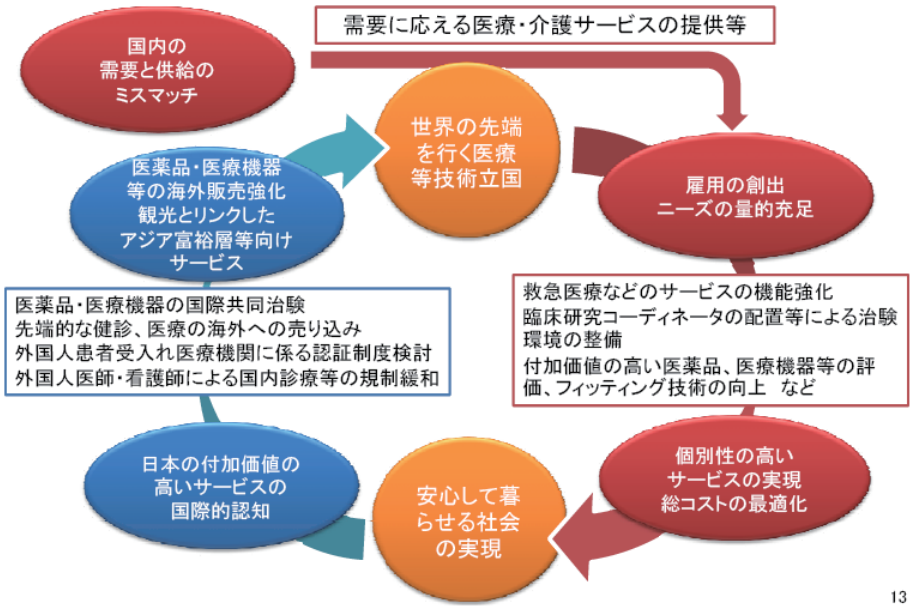


図 3.1.1-2 「生産性を上げる一国内向け付加価値の高いサービス等が外需も吸収」の概念図

出典：厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」（平成 22 年 6 月）より抜粋

ここでは、イノベーションに関連する施策項目のみ整理する。現状の問題認識として、①海外での開発・上市が先行するドラッグ・ラグ、デバイス・ラグ、②諸外国と比べて高コストの治験体制、③安全性基準、国際標準が定まっていない生活支援ロボットに対して、**表 3.1.1-4** のような施策を想定している。

表 3.1.1-4 生産性と付加価値を高めるための「イノベーション」施策―創薬、医療機器、介護機器（福祉用具）開発の推進

対応施策	詳細	実施時期・効果
ドラッグ・ラグ、デバイス・ラグの解消	医薬品医療機器総合機構の人員増強、アカデミア・企業等との人材交流、臨床評価ガイドライン等の整備、アジア各国の審査機関への技術協力の検討等により、開発から承認までの期間を短縮	医薬品:平成 23 年度までに 2.5 年のドラッグ・ラグ解消 医療機器:平成 25 年度までに 19 ヵ月のデバイス・ラグ解消
新たな医療技術等の研究開発・実用化促進	医療の実用化促進のためのコンソーシアムの創設と研究支援人材配置・研究費の重点配分、先進医療等の規制緩和	・2020 年までに約 7000 億円/年
	未承認薬・機器を提供する医療機関の選定とネットワーク化、当該医療機関における先進医療評価・確認手続の簡素化	
	早期臨床試験の強化やグローバル臨床研究拠点の整備を含む「ポスト治験活性化5カ年計画」の策定・実施	・平成 23 年度以降実施
	未承認医療器の臨床研究にかかわる薬事法適用範囲の明確化、医療機器の開発・製造にかかわる法的論点の整理と解決	・平成 22 年度以降実施
	再生医療の臨床研究から実用化への切れ目のない移行を可能とする制度的枠組みの検討・整備	・平成 22 年度以降実施
	大規模医療情報データベースの構築・活用による医薬品等安全対策の推進	・医療データ活用のための個人情報の保護に関する指針を整備し、2013 年度までに構築
	「日本発シーズの実用化に向けた医薬品・医療機器薬事戦略相談事業（仮称）」の創設	・平成 22 年度以降実施
	新薬創出・適応外薬解消等促進加算制度の実施により薬価の引下げを緩和	・平成 22 年度（試行的導入）医療費ベースで約 700 億円を充当
ワクチン開発・生産体制の整備	基金の活用による新型インフルエンザワクチン開発・生産体制の整備	・全国民分の新型インフルエンザワクチンの生産期間：5年以内をめどに1年半－2年→約半年
	トランスレーショナルリサーチ（基礎から実用化への橋渡し研究）の推進等によるワクチン開発の推進	
介護機器（福祉用具）振興、生活支援ロボットの実用化	介護機器（福祉用具）の研究開発の推進・臨床評価の拡充	・平成 24 年度までに実施
	介護機器（福祉用具）における給付のあり方の検討（サービスの向上・貸与と販売の整理等）	・平成 24 年度までに実施
	生活支援ロボットの基本安全性・評価手法の確立、国際標準化の推進（経産省と連携）	・平成 25 年度までに実施

（厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」（平成 22 年 6 月）より抜粋整理）

3) 新成長戦略の厚生労働分野の施策のため概算要求項目

平成 23 年度（2011 年度）概算要求(平成 22 年 8 月）において、「健康長寿社会実現のためのライフ・イノベーションプロジェクト（新規)」に関連する予算項目と要求額」を、**表 3.1.1-5** に示す。

表 3.1.1-5 「健康長寿社会実現のためのライフ・イノベーションプロジェクト（新規)」に関連する予算項目と要求額

予算項目	予算要求額
総　額	233 億円
①難病・がん等の疾患分野の医療の実用化研究事業(新規) (うち 26 億円は革新的がん治療開発戦略事業を重複計上)	95 億円
②日本発のがんワクチン療法による革新的がん治療開発戦略事業(新規)	30 億円
③世界に先駆けた革新的新薬・医療機器創出のための臨床試験拠点の整備(5 か所整備予定)(新規)	51 億円
④先端医療技術等の開発・研究推進事業(国立高度専門医療研究センター)(新規)(うち4 億円は革新的がん治療開発戦略事業を重複計上)	70 億円
⑤日本発シーズの実用化に向けた医薬品・医療機器薬事戦略相談推進事業(新規)	4.6 億円
⑥医療情報データベース基盤整備事業(新規) ・医薬品等の安全対策を推進するため、全国の大学病院等5ヶ所において、電子カルテ等のデータを活用した医療情報データベースを構築し、1,000 万人規模のデータ収集を行う。	11 億円
⑦福祉用具・介護ロボット実用化支援事業(新規) ・福祉用具や介護ロボット等の実用化を支援するため、試作段階にある当該機器等に対する臨床的評価および介護保険施設等におけるモニター調査の機会を提供する。	1.7 億円

（厚生労働省「平成 23 年度予算概算要求－
「少子高齢社会を克服する日本モデル」の構築に向けた第一歩」（平成 22 年 12 月)より抜粋整理）

3.1.2 経済産業省のライフ・イノベーション政策

1) ライフ・イノベーションのための注目する先端技術

経済産業省では、ライフ・イノベーションのための先端技術革新の潮流として、注目している項目を**表 3.1.2-1** に示す。

表 3.1.2-1 ライフ・イノベーションのための先端技術革新

項目	説明
〈病気の早期克服〉 ①診断と治療の一体化	高齢者において増加するがんや認知症などの疾患に対し、疾患サンプルや臨床情報をもとに、人間の遺伝的・環境的因子等と疾患の関連性を明らかにし、診断と治療をパッケージとして開発することにより、各個人に最も適当な診断・治療方法の提供を図る。
②生体負担の少ない治療へ	身体的負担が大きな診断・治療プロセスや医薬品について、正常組織への影響を最小限に抑え、患部の組織・細胞にのみ限定的に作用する手法に転換することにより、治療効果を高めるとともに患者の身体的負担と費用の低減を図る。
③組織再生による治療の実現	ES・iPS 細胞や組織幹細胞などの幹細胞を用いた再生医療について、新たな産業としての基盤を構築するため、患者自身の自己修復機能を活用する手法の導入や有効性・安全性評価のための技術を確立し、実用化・産業化につなげるとともに早期治療・生活の質の向上を図る。
〈いきいき生活の実現〉 ④人に優しい生活支援ロボットの実用化	高齢者が増加するとともに介護人材の不足が懸念される中、高齢者等の生活動作支援や介護する方の労力軽減に資する生活支援ロボットについて対人安全性評価手法の検証を行いつつ実用化し、介護の高度化・省力化とともに高齢者等の自立支援と生活の質の向上を図る。
⑤IT をフル活用したヘルスケア	生活習慣病が増加する中で、日常で計測できる生体情報や診断情報 IT を用いて大規模に共有・連携を図り、個人の健康情報や病歴等をデータ化。集約された様々な情報を(必要に応じ匿名化)、分析・活用することにより、医療サービスや医薬品の高度化を図る。

(経済産業省「グリーン・イノベーションおよびライフ・イノベーションのための先端革新技術の潮流(事例集)」(H22/3 月)より抜粋整理)

ここでは、さらに、④と⑤について説明する。

1) 生活支援ロボットの実用化

主な背景として、以下をあげている。

・ 中長期的に人材不足の時代（高齢者が 1,070 万人増加、現役世代は 1,310 万人減少）を迎えるにあたり、介護施設、病院、自宅等、様々な場で、被介護者も介護者も生活支援ロボットに大きな期待を寄せている。

介護・移動支援等の生活支援でのロボットの活用にあたっては、人との接触度が高くなるため、一層の安全確保が必須。しかし対人安全技術や基準・ルールの整備が進んでいない。今必要な技術開発として、以下をあげている

・ 生活支援ロボットの実用化のためには、ロボットのタイプや使用シーンごとに、具体的な安全性評価手法の策定と、安全性確保に必要な技術を確立することが必要。
・ 具体的には、「安全性評価手法の研究開発」「接触安全技術（人間の身体動作検出、可変出力制限制御、小型・軽量化等)」「自立移動技術（安全停止・移動開始、動的人・障害物回避、自己位置・環境認識等)」「移動作業安全技術（操縦支援、周辺人物・環境認識、雑音下での対話・通信等)」

2)　IT をフル活用したヘルスケア

主な背景として、以下をあげている。

・　生活習慣病が増加する中、医療保険制度の疲弊と財政難が予想され、また、社会の高齢化に向けた技術とサービスが連動しないまま模索されている。

臨床現場においても技術や人材提供体制に地域で偏りがあり、標準インターフェイスがないシステムの個別開発と運用による情報共有・連携基盤の後れがみられる。

個人の健康情報や病歴を匿名化し情報蓄積することにより、病気にならない、万一病気になっても早期に回復できるような社会を実現。また、こうしたデータは医薬品の開発の基盤となり、新薬の創出にもつながる。

今必要な技術開発として、以下をあげている

・　日常で計測できる身体状態情報の共有・連携

・　計測・診断・治療技術の進展（ライフスタイルにとけ込む常時生体モニタリング、無侵襲、無被曝、低コスト化）

・　膨大なヘルスケア関連情報を分析・活用する技術の開発。

このような技術を用いた「情報共有ネットワーク」の概念図を**図 3.1.2-1** に示す。

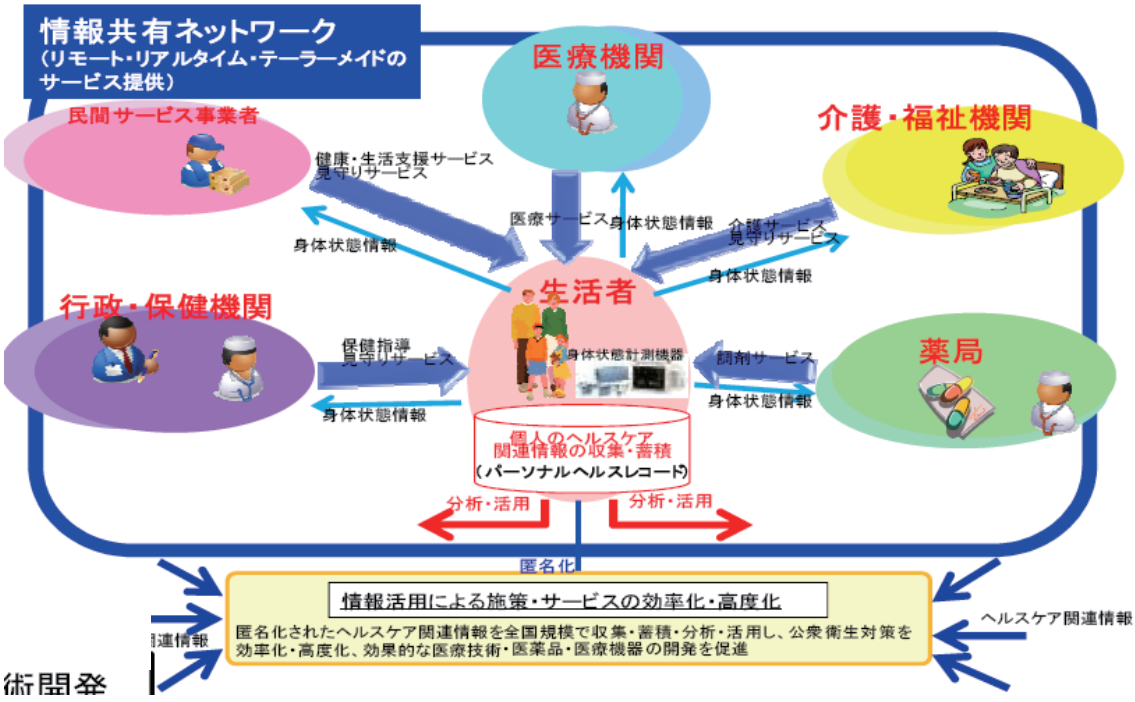


図 3.1.2-1 ヘルスケアのための情報ネットワークの概念図

出典：経済産業省「グリーン・イノベーションおよびライフ・イノベーションのための先端革新技術の潮流（事例集）」（H22/3 月）より抜粋

3) ライフ・イノベーションのため概算要求項目

平成 23 年度（2011 年度）概算要求(平成 22 年 8 月）では、「医療・介護・健康関連産業（ライフイノベーション)」として、**表 3.1.2-2** に示す項目が取り上げられている。

表 3.1.2-2 経済産業省のライフ・イノベーション関連の 23 年度概算要求項目

要求項目	関連事業と予算額
1）研究開発の促進 iPS 細胞等の安全性や性能に関する評価技術を確立し、創薬・再生医療を進展させるとともに、微小ながんの早期発見および最適な治療のための診断・治療技術を開発し、がん治療を向上させる。また、生活支援ロボットの「対人安全技術」を開発し、安全に関するデータを収集・分析しながら「安全基準案」を策定するとともに、「安全性検証手法」を確立する。これらの基準や検証手法については海外市場獲得に向けて「国際標準化」することをめざす。	○生活支援ロボット実用化プロジェクト ○がん超早期診断・治療機器総合研究開発推進プロジェクト ○幹細胞実用化に向けた評価基盤技術開発プロジェクト 計53．1億円(うち要望枠37．8億円) (平成 22 年度予算:27．5億円)
２）医療・介護・健康関連サービスの基盤強化 ・医療現場で開発・改良ニーズの高い医療関連機器について、地域ものづくり企業等の産業界と、医療現場や学会等との医工連携による開発・改良を推進する。また、IT 活用等における医療情報の標準フォーマットや個人情報保護のガイドラインの策定・社会実験等を行う。これにより、すべての国民が地域を問わず、質の高い医療関連サービス等を受けられることをめざす。加えて、医療関連産業における国際医療交流を促進する環境整備等を行う。	○課題解決型医療機器の開発・改良に向けた病院・企業間の連携支援事業 ○医療サービス国際化推進事業 ○医療情報化促進事業 計55億円 (うち要望枠55億円)(新規)

（経済産業省「23 年度概算要求について」(H22/8 月)より抜粋整理）

3.1.3 医療・福祉・健康分野のサービス産業の現状と課題

3.1.1 および 3.1.2 において、主に昨年までに閣議された「新成長戦略」の１つである「健康長寿社会実現のためのライフ・イノベーション」について、厚生労働省や経済産業省が推進する政策推進の状況を概観してきた。ここでは、医療・福祉・健康分野にわたるサービスイノベーションの現状と課題を整理する。

生活習慣病は、我が国のみならず世界中のほとんどの国で主な死因（61%）となっている。従って、ライフ・イノベーション戦略が効果をあげれば、日本が超高齢社会など課題克服先進国になるチャンスともいえる。当部会の新産業を考える視点からは、医療・福祉分野の橋渡しとなる健康サービス産業の創出が大変に重要となる。

そこで現時点において、健康サービス産業が成立しにくい現状と課題を、筑波大学 久野譜也教授の資料などを基に**表 3.1.3-1** に整理する。

さらに健康サービス産業の市場が拡大しない理由に関する考察した例を**表 3.1.3-2** に示す。

表 3.1.3-1 健康サービス産業が成立しにくい現状と課題の例

現状認識	イノベーションのための仮説	重要な課題
①多様な健康情報の氾濫 ・高齢者の関心事1位は健康(70%) ・認識しているが行動につながっていない。	・ 国民の健康リテラシーの向上をめざす政策や技術の開発	・地域や職域が組織として行う試行 ・住民・社員間で口コミ的に広げてゆく方法の確立
②これまで健康サービスは市場が限定的 ・健康意識が高い人へのアクセスしか成功していない	・これまで見向きもしなかったユーザ層に対して参加をもたらすインセンティブや制度(保険など)	・地域や職域において健康作りの意義を理解し、推進のための具体的な指標の開発
③IT 系だけの健康づくり支援は限界 ・コミュニティの形成や B2C のためのシステムインフラが未整備	・高齢者は 10 分圏内(500m)でのサービスを希望 ・IT で可能となるコミュニティ化の効果	・地域ステーションを構築
④予防のため医科学的指標が不足 ・疾病予防ニーズへの対応が先行 ・生きがいやライフサイクルにわたるプログラムやコンテンツが不足	・地域や職環境、性、年齢、教育レベル、国民ニーズなど、健康に影響する要因をふまえた上での健康サービスシステムの開発	・これを可能とするための大規模な共通データベース開発

（筑波大学 久野譜也教授の「科学技術によるヘルスケア・イノベーション」資料(平成 22 年 3 月)より抜粋整理）

表 3.1.3-2 健康サービス産業の市場が拡大しない理由に関する考察例

項目	説明
①課題克服へのスタンス	我が国の課題克服という強い気概をもち、「儲からなければ撤退」でなく「儲かるようにしなければ日本が、グローバルが危ない」というスタンスが重要。
②行動変化のための多様な要因	健康維持のための各人の行動変化に影響する因子は多様で、それぞれの課題を同時に解決していかないとイノベーションが起こりにくい(民間だけではできない、自治体だけでもできない)。
③健康リテラシー向上のための成功事例の不足	首長、経営者、国民に成功像が見えていないため、大きなうねりにならないことから成功例が必要であり、そのための健康リテラシー向上が必要。
④マーケット・プル型でない	出口を見据えた製品化ではなく、現在ある一部の技術の押しつけである場合が多い。
⑤IT 化だけでなく人・組織のかかわりが不足	自分の記録があっても行動すべき方法が分からないため、PHR (Personal Health Record)のみでは、ビジネスは成立しない。IT 化のみではなく指導者やコミュニティとのかかわりが重要。
⑥地元を含めた企業連携が不足	システムやコンテンツを提供するグローバル/ナテョナル企業と、地域ごとの健康サービスをさせるローカル企業(ソーシャルビジネスも含む)の両者の育成が必須。

（筑波大学 久野譜也教授の「科学技術によるヘルスケア・イノベーション」資料(平成 22 年 3 月)より抜粋整理）

3.2 医療・福祉サービスの国内外の比較

医療・福祉サービスの現状や制度改革の方向性について国内外の概要比較を行う。

3.2.1 医療・福祉サービスの現状に関する国内外の比較

(財)日本医療政策機構の小野崎氏の講演資料（第 18-19 回 GIST（GRIPS Innovation, Science and Technology Policy） Seminar）より、国内外の医療サービスの比較検討を、医療政策、量的/質的比較研究などに関して、以下の表においておおよその傾向を例示する。

表 3.2.1-1 医療・福祉サービスの比較例

項目	説明
・医療サービス量(国民一人当たり)の日米比較	米国がやや多いが、医薬品関連では、日本の方が2倍以上である
・医療資源の投入量(人口 1,000 人当たり)の日米英独仏の比較	医師数は、独仏:3.4 に対して、日:2、米:2.4 である。看護師数は、米英:230 程度に対して、日:63 である。ベッド数は、日:14.2 に対して、他国は、米 8.6～英:3.3 程度である。MRI の数は、日:35.3、米:27 に対して、他 3 国は、6～3 程度である。
・総医療費のマクロな分析 (Newhouse, 1997;OECD, 2007)	国の医療水準は所得によって 90%程度決定づけられる」、また「医療費に占める入院費の割合が多くなれば医療費は高くなる」「ゲートキーパー機能を持つプライマリーケア医制度を持つ国は、医療費が低くなる」。
・日米英独加の比較分析 (OECD, 2007)	「日本の健康指標は極めて良い」、すなわち平均寿命(2004 年)は、日:82.1、米:77.8 才、他の国はこの間、また乳児死亡率(2004 年)は、日 2.8、米:6.8 である。
	「日と英の医療費の投入量は多くない」、すなわち、保健医療支出(2004 年)は、対 GDP 比で、日:8.0、英:8.3、独:10.7、米:15.3 である。また一人当たりでは、日:＄2358、英:＄2724、米:＄6041 である。

（日本医療政策機構小野崎氏「(第 18-19 回 GIST（GRIPS Innovation, Science and Technology Policy） Seminar」資料(H21)より整理）

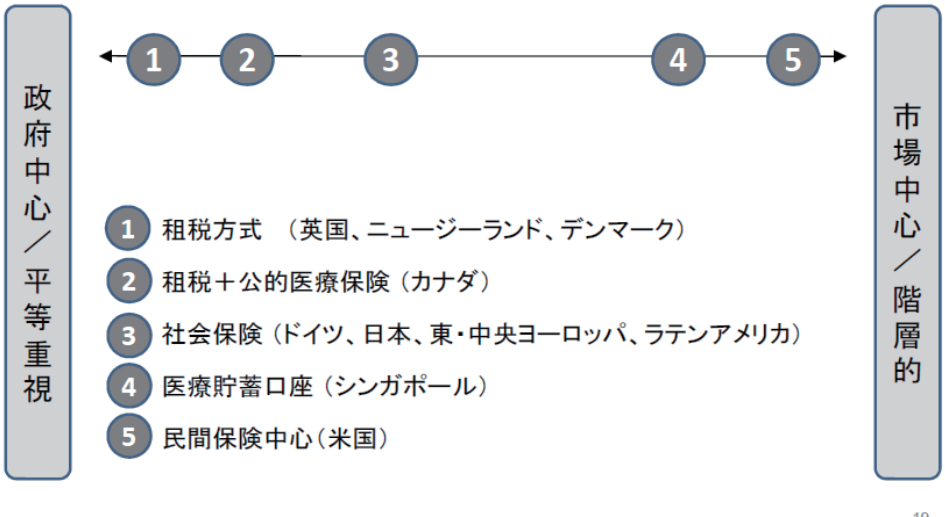


図 3.2.1-1 医療システムの５つのタイプ

出典：小野崎氏「第 18-19 回 GIST」資料(H21)より抜粋

医療システムのタイプとして、**図 3.2-1** のような政府中心/平等主義と市場中心/階層的の軸において５つのタイプに分類・ポジショニングされる。日米は両極にあり、日本は典型的な租税方式であり、米国は民間保険中心である。

3.2.2 医療・福祉制度改革の方向性に関する国内外の比較

マッキンゼー・アンド・カンパニー社の「医療制度改革の視点」（日本医療政策機構 Web「緊急提言第 6 回」(http://www.mediva.co.jp/oishi-blog/2009/02/post-14.html)）を参照して整理した。

日本の医療費は 2035 年までに最大 92 兆円（GDP 比 13.8%）まで膨れ上がる可能性がある。約四半世紀後に、総額で約３倍、GDP 比率でも約２倍となりうる。この背景には、高齢化だけでなく医療技術の進歩と経済成長が存在する。2020 年までにこの３つの要因は、ほぼ同等の割合で医療費増に影響を与える。医療費増が不可避であるなか、無駄は当然省かなくてはいけないが、同時に「増加が不可避で不可逆」であることを共通認識として、財源確保や医療システムの維持向上に論点を移すべきであるとしている。

日本の医療費財源は、「保険料」、「患者の自己負担」、「公費負担」の３つである。患者の「自己負担」を現在と同等の 10～30%に据え置いた場合、「保険料率」を現在の約 1.5 倍に引き上げたとしても、必要な消費税は 10%となる。実際は、消費税財源は医療以外の分野でも使われることになるため、「消費税を上げて、それを医療財源とすればいいではないか」という議論は正論ではあるが、当面想定されている消費税の増分だけでは不十分である。財源不足を補うには、①需要を抑えるか、②新しい財源を求めるか、の選択肢を選ばなくてはならないとしている。

医療・福祉制度改革の方向性の比較例を**表 3.2.2-1** に示す。また医師の外来診察回数の比較を、**図 3.2.2-1** に示す。

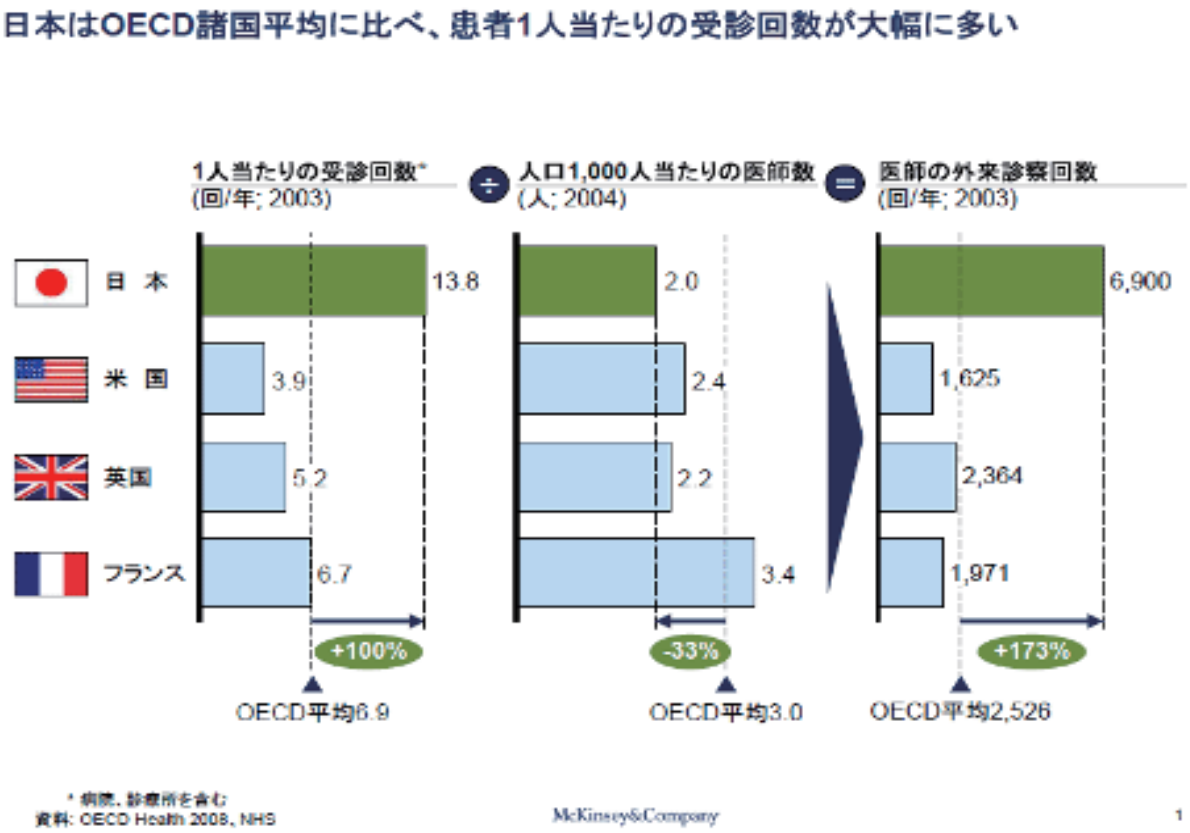


図 3.2.2-1 医師の外来診察回数の比較

出典：マッキンゼー・アンド・カンパニー「医療制度改革の視点」のご紹介」資料より抜粋

表 3.2.2-1 医療・福祉制度改革の方向性の比較例

項目	説明
〈財源不足の解決策〉 ・需要の抑制	・OECD 各国の中でも、保険給付の対象となる医療行為の範囲は異なる。例えば、スウェーデン、デンマーク、カナダ等では歯科治療、眼科治療、風邪に対する鎮痛処方は公的保険の対象外とされる。 ・日本で保険の対象とならない出産を保険給付の対象とする国もある。スウェーデンでは、80年代から90年代の高齢化に伴う医療費の増加を食い止めるために、病院の療養病床を老人ホームの代わりとしていた「社会的入院」を排除した。
・新財源の導入 〈医療体制の向上〉	・日本の医療費の 96%は「強制負担」(健康保険における自己負担額も含む)で賄っている。「任意負担」部分は4%に過ぎないが、OECD 諸国では、米国の 42%を筆頭に、スイスの36%、ベルギーの19%、英国の14%、スウェーデンの13%と2桁台の負担率となっている。
・医師不足	・人口 1,000 人に対する医師の数が、OECD 諸国の平均 3.0 人に対し、日本は 2.0 人であり、絶対数が足らないのは間違いない。理由は以下である。 ① 患者一人当りの診察回数の多さ:患者一人当たりの受診回数は、OECD の平均 6.9 回に対し、日本は倍の 13.8 回である。 ② 人口当たりの入院患者の多さ:人口 1,000 人当たりの入院患者数は OECD の平均 5.5 人に対し、日本は倍の 11.4 人である。 ・ この背景には、日本が他国に比べて病床が多く、在院日数が長いことが上げられる。急性期病院だけで比較しても、人口当たりの病床数は OECD の平均 4.1 床に対し、日本は倍の 8.2 床である。また急性期病院での入院期間も、OECD の平均 7.1 日に対し、日本は 19.2 日と倍以上である。在院日数の長さは、全年齢層に。
・新薬・新技術の遅れ	・世界ですでに上市されている主要な薬剤(販売実績トップ 100)の7割以上は、海外での上市と日本での上市との間に5年以上の開きがあった。平均的な遅れは約7年間である。 ・ トップ 100 薬のうち約4分の1が現在日本では、開発中、申請中、未開発などの理由により一般的には使うことができない。 ・ 新技術に関しても同様の傾向が見られる、例えば埋め込み型除細動器の保険適用は、日米で 11 年の差があった。また保険適応が認められた後の現場への技術の浸透も、日米では差がある。
・病院経営の生産性向上	・日本の場合中小病院にも高度な医療機器が導入され、結果として病院経営を圧迫している。 ・ 月間 300 件の検査を実施しないとペイしないと言われる MRI の普及率は、人口 100 万人に対し OECD 平均が8台に対し、日本は 40 台である。イギリスは5台しかなく、反対に必要な検査がされずに放置される患者が発生することが社会問題となっているので、少ないことが必ずしも是ではないが、日本の 40 台は多すぎるのではないか、と思われる。 ・ 月間 300 件を自院の患者だけで賄うことができるのは大病院だけであろうから、他の医療機関では経営の圧迫要因となっている可能性が高い。
・医療制度の生産性向上	・レセプトオンライン化を一足先に実現した韓国のケースと比べると、レセプトの処理件数は日韓で、ほぼ同等の年間8億件。審査に必要な人員とコストは、日本が総コスト 860 億円、総人数 6500 人(うち委託医師 4500 人)に対し、韓国では総コスト 100 億円、総人数 1500 人(うち医師 40 人、専門看護師 1200 人)と、760 億円ほどのコスト差が発生している。 ・ 審査による医療費削減効果は、韓国の場合 7500 億円発生しているが、日本でも一部の医療機関で発生している過剰診療、過誤請求は当然削減対象とするべきであろう。

(マッキンゼー・アンド・カンパニー「医療制度改革の視点」のご紹介」資料より整理)

3.3 スウェーデンの国家戦略

スウェーデンの政治経済や社会福祉制度に通じておられる明治大学商学部教授 北岡孝義氏に依頼して、社会福祉国家スウェーデンの現況の紹介と、経済成長の原動力として期待される、ICT（情報通信技術）と医療・福祉・健康分野を結びつける eHealth 分野でのスウェーデンの先進事例をご講演いただいた。

実施日時：　2010 年 11 月 1 日(月)15 時から 17 時
開催場所：　エンジニアリング振興協会 6 階 C・D・E 会議室
講演者：　明治大学商学部 北岡孝義 教授
演　題：　スウェーデンはなぜ強いのか－福祉を核にした成長戦略－
出席者：　21 名

3.3.1 スウェーデンの福祉国家への道

スウェーデンでは、最近の国政選挙によって、2006 年から政権を担当している穏健党を中心とした連立政権の継続が決まった。従来の福祉のあり方をみなおす動きも指摘されている。そこで、かつて北欧で覇権を争ったことのある国がどうして、現在のような福祉大国になったかを振り返るとともに、EU など周辺諸国との関係が今後どのようにかわっていくか等を展望する。また、福祉を核とした成長をめざす、21 世紀の新しい福祉国家スウェーデンの挑戦を紹介する。福祉は成長の果実ではなく、福祉は成長のエンジンになり得るとのスウェーデンの成長戦略を紹介する。

写真 3.3.1-1 講演風景写真

1928 年以来、ハンソン首相が率いる社会民主主義政権は、14 年間にわたり「国民の家」構想に代表される福祉国家の構想を志向した。本格的に福祉国家の道を歩むようになり具体的に実行したのがエランデル首相であり、エランデル政権は実に 1946-69 の 24 年にわたった。

国民負担率の推移（1970～2004）をみると、1960 年に付加価値税を 4.2%であったのに対して 70 年代には急激に上昇しており、税金と社会保障費は、最大で 80%にもおよんでいる。2000 年代半ばでは、70%程度であり、日本は 40%程度である。

第二次大戦の中立政策で戦禍をまぬがれたスウェーデンは、戦後復興の特需に対応し、高度成長したが、70 年代には、GNP1 人あたり世界のナンバー２になった。戦後の経済成長の過程で、労働力の確保のために女性を活用し、女性の就業率は、戦後から 25 年の間に一挙に約 4－5 倍（就業率約 50%）に増加した。その結果、伝統的家族の変容あるいは崩壊が生じた。高度成長期に離婚率、犯罪率、自殺率がともに大きく増加し、社会問題化した。

そうした社会問題に対応するために、スウェーデン政府は、保育と介護は政府の仕事であり責任であるとされ、託児所、保育所、産休制度そしてサービスハウス（介護付き集合住宅)、ホームヘルパーの整備などが進められた。またソフト面では、スウェーデンは「一つの家族」「国民の家」との理念が叫ばれ、みんながお金を出して合ってお互いの面倒をみる共生社会（スウェーデンモデル）について国民的コンセンサスの確立がはかられた。

このスウェーデンモデルを支える要因としては、①国民が政府のサービスを実感できること、②政府に対する国民の信頼が高いこと、の２つがあげられる。

①は、日々の医療費や教育費が原則無料であることが大きい。また、スウェーデンの福祉は、末端の地方自治体が担っている点も国民が福祉を実感する上で貢献している。

②は、透明性・効率性・参加型の政治が確立されていることが信頼につながっている。例えば オンブズマン制度はスウェーデンの発祥であり国家予算を使う。また一院制・比例代表制であり選挙は４年に１回のみであり、そして内閣メンバー以外は、本業も兼任継続し市民感覚をもたせる。

3.3.2 21 世紀のスウェーデンー新しい福祉国家への模索

スウェーデンモデルは、国家財政が豊かだった背景や、やむにやまれず実施した側面もあったと考えられるが、以後の福祉社会をめざすモデルとなったことは言をまたない。現在の状況はハード面についてサービスハウスは機能していない。老人のみ集めることはそれなりに問題がある。そして孤独死の問題もあった。またソフト面では、スウェーデンは国民の家であるという理念には、「国王は国の父や母である」といわれるように国王の役割も大きい。

米国は競争社会であるのに対して、スウェーデンは共生社会であり、福祉はソーシャルサービスである。現在の政権は穏健党を中心とした中道右派であり、従来の米国的市場主義から社会民主党寄りにシフトすることを主導した党首ラインフェルトは、2006 年に 41 才で首相に就任し 2010 年に再任された。そして「福祉・環境を成長の柱に」を掲げている。2010 年の選挙は、穏健党が主導したが、極右政党も一定の勢力を確保、これには雇用・福祉や治安への危機感を背景とした移民排斥の意識の影響がある。現在は、EU には加盟しているが、ユーロ圏には入っていない。同じ北欧でも、ノルウェーは EU に未加盟、フィンランドは EU にもユーロ圏にも加盟している。これは大陸欧州との距離感や隣国に対する安全保障により選択が変わっているものと思われる。

3.3.3 福祉を核としたスウェーデンの成長戦略と eHealth

さらに福祉を経済成長の核にすえるスウェーデンの成長戦略の説明があった。**図 3.3.3-1** に示すように、① 総需要の増大、② 労働生産性の向上、そして③医療分野での ICT 活用による新産業の育成があげられた。

現在、スウェーデンの失業率は高いが、しかし労働市場には流動性があるのが特徴である。失業は次のステップとの意識があり日本の失業とは大きく異なる。また政府はさらに生産性の高い部門に新たな労働力を送り込む政策意図も大きい。

医療分野での ICT 活用による新産業の育成については、2006 年より、eHealth を国家戦略として推進している。

eHealth 戦略の目標は、「必要な情報を必要なときに必要な人へ」である。また eHealth 戦略のビジョンは、

・国民に対して、あらゆる健康情報や医療サービス情報に簡単にアクセスできるようにすること。

・医療従事者に対して、患者の安全を保証するための、使い勝手のよい ICT を提供すること。

・医療経営者に対して、患者の安全や医療の質・リソース配分などを監視できるようにすること。

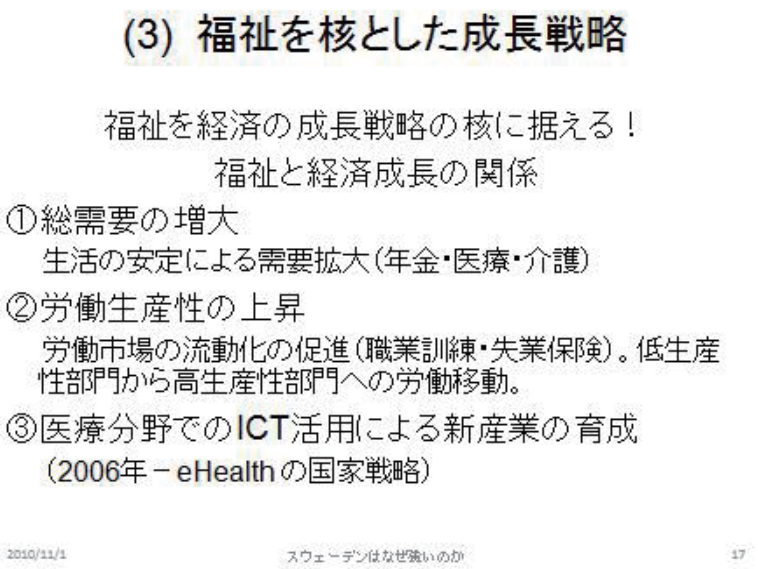


図 3.3.3-1 スウェーデンの成長戦略
出典：北岡孝義教授講演資料より抜粋

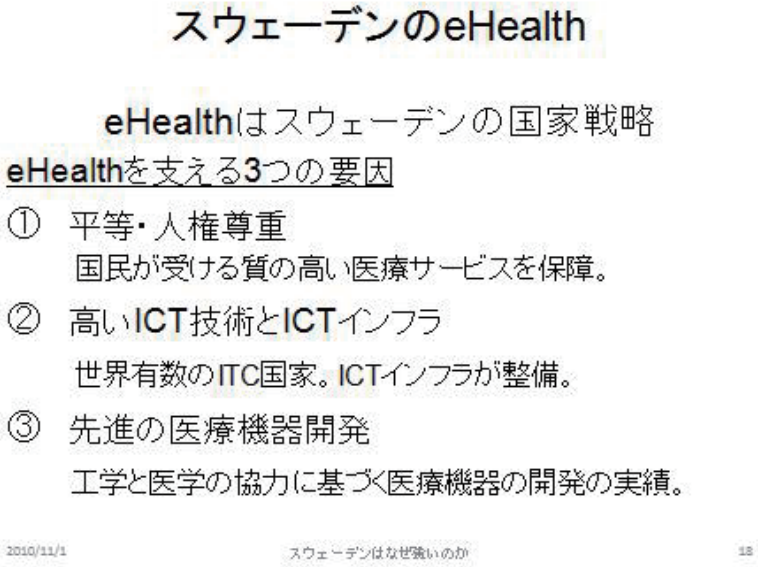


図 3.3.3-2 スウェーデンの eHealth 戦略
出典：北岡孝義教授講演資料より抜粋

をめざしている（井上哲「欧州における open HER の動向」NPO 日本医療ネットワーク協会より引用）。以上の目標とビジョンに基づき、eHealth ビジネスの発展を促進している。

これを支える 3 つの要因は、**図 3.3.3-2** に示すように、①平等・人権の尊重の保障、②高い ICT 技術とインフラ、③先進的な医療機器開発の体制があげられる。

特に②については、電子カルテの共有やネットを通してのアドバイスを通して、病歴や

治療履歴の有効利用が可能となったことが大きい。例えば、心臓の弱い人も携帯電話で常に監視するサービスが、先進的な医療機器メーカと エリクソン社などが連携して、提供されている。③では、ノーベル医学賞の選考委員会があり、世界の最新の研究情報が集まるカロリンスカ研究所などが、主導している。

本来、教育と医療はスウェーデンでは、原則、国有の扱いであった。それは民間まかせてはうまくいかない分野と認識されていたからである。すなわち、サービスの質に関する「情報の非対称性」(売り手の方が買い手よりも、サービスの質をよく把握している）が存在するサービス分野では、市場主義では、よいものは駆逐される可能性が高いとの認識が背景にあった。

しかし ICT の発達により「情報の非対象性」が緩和される可能性が高くなり、国営ではなく民間にもゆだねようとの発想の転換があるものと考えられる。

国民の国家への信頼や政治・社会的な難関への国家や国民の取り組みには、スウェーデンには参考にすべきところが多い。日本では、政権への十分な理解・信頼が欠けているところが問題となる。大きなビジョンへの国民の理解は困難を伴う。スウェーデンの人口は、日本の 1/10 であるが、人口が少ないからうまくゆき、日本の参考とならないということにはならないと考えている。それは日中間の比較も同様であろう。

3.3.4 主な質疑と所感

本講演の質疑内容および全体を通した所感を整理した。**表 3.3.4-1** に主な質疑応答を整理した。

本講演に関する所感を以下にまとめた。

北岡孝義教授は、金融・ファイナンスの実証分析をテーマにしていることから、スウェーデンの現代の福祉国家に至る過程と今後の課題や eHealth 国家戦略について、わかりやすく解説いただいた。そのせいか、質問も多数寄せられ活発な質疑となった。これは日本の今後の成長と両立できる福祉国家に関する方向性を、スウェーデンの事例から学び取りたいという思いが参加者の多くに存在することによると思われる。国営の医療サービスが、ICT インフラにより非対称性の課題を克服し、民間企業によるイノベーティブなサービスに展開できるのか大いに注目されるところであり、日本の医療戦略と医療機器やロボットの役割を位置付けることと大いに関連するため、今回の講演で得られた知見をベースにさらにスウェーデンなどの福祉国家における成功事例など、日本の方向性に関連する調査につなげてゆきたい。

表 3.3.4-1 主な質疑応答

	質疑応答	応答内容
1	消費税の中身や国民負担率は	1960 年 4.3 パーセントだったが、その後、大きく上昇。 税金の考えが、日本とスウェーデンでは異なる。例えば、日本では、税金は「とられる」という言い方をする。これには、見返りが期待されない。しかし、スウェーデンは、税金の見返りを実感している。従って、日本の感覚で、スウェーデンの国民負担率の高さを批判しても意味がない。
2	英語の会話能力は	うまい人が多い。小さい頃からやっている。
3	個人と社会の契約は	スウェーデン人の自立心、個性は強い。服飾メーカ H&M 社や家具メーカ IKEA 社の発展は、顧客の個性を重視し、個性ある商品を展開して成功した企業である。スウェーデンの国民性から生まれてきたともいえる。スウェーデンは理念が先行する理念国家といえる。まず議論をして、法律を決めて、ものごと進める。それが国民に理解されている。
5	サービスは一律か	サービスは国民に対して一律であり、普通の人が普通に暮らせることをめざしている。金もちは国外へゆくケースも。IKEA 社長は外国に住んでいる。アルコールはすべて国営。
6	貯蓄率は高くならない。	貯蓄率はプラス。法人税は低い。企業は国民の生活のための手段という考え方がある。2 重課税の認識
7	同じ条件になるには	日本人やアジアからの留学生はただである、しかし払わせようとの動きが最近ある。民族で差別はしない考えは定着している。
8	働くモチベーションは下がるのではないだろうか	これは福祉国家の一つの悩みである。上昇志向が強く、自分の才能に自信があり、一獲千金をめざす若者は、アメリカなど外国にでてゆく場合もある。スウェーデンは、普通の人が安心して生活のできる国をめざしているといえる。
9	少子高齢化の状況はどのようなものか	2040 年には、65 才以上の人口が国民の 25 パーセントとなると予測されている。それに対して日本はこれから人口がへる中でどういう国を考えるかを検討するとき、「安心できる普通の人のめざす国」をめざすスウェーデンの生き方も1つの候補として検討する価値がある。
10	医療を支える国営企業が、eHealth 戦略をめざせるほどイノベーティブであろうか	現在は国営が中心であるが、次第に民間に移管しようとしている。医療はサービスの質に関する「情報の非対称性」の存在する分野であり、民間に任せられないという認識があったかと思われるが、ICT の発達により、この問題を克服しようとしている。診断履歴を公開し、また患者はこれを参照できる。医者や医療機関情報をお薦め情報として活用できるようになってきた。これにより国営である必要性は少なくなった。今後、医療分野の民営化が進むと予想される。

3.4 日本の eHealth の現状-スウェーデン研究者の視点から

スウェーデンの研究者 Kviselius 氏の「日本における E-HEALTH と患者中心の医療プロセス:PRE-STUDY」（スウェーデン VINNOVA 成長政策分析）から eHealth 戦略や日本市場についての見方を整理した。参考とした文献は、以下である。

Kviselius Niklas, 2010, “eHealth and Patient-Centered Care Processes in Japan: Pre-Study”, Swedish Growth analysis Rapport 2010:08

本文献は、「特定の市場－日本の医療システムからの洞察」をめざし、研究目標として、

「eHealth のためのイニシアティブ、特に患者中心プロセスをめざすイニシアティブ」について述べ、日本で最も重要ないくつかのステークホルダを浮き彫りにすることとしている。

すなわち、「インターネットに基づく新しい e サービス（電子的サービス）が医療サービスのイノベーションに貢献する可能性があり、また新しい医療福祉の概念形成も始まっている。IT 企業が医療福祉に効果的で柔軟な IT サービスを提供することにまだ成功しているとはいえないにもかかわらず、将来ニーズと必要条件は増加している。」とする。

さらに「スウェーデンの医療は国際的に先進的な特徴を持っている。またその能力を、IT 利用を導入し効率的にしている。「医療と IT」の組合せはスウェーデン企業と組織の国際市場において成長するための機会と長らく考えられた。これを現実とするために、国際的視点での eHealth 領域での歴史的理解あるいは最近の進展への理解」をめざす。

「医療システムは、類似の先進国間でさえ本質的に異なる。成功している要因とその一般化のためのローカルな成功条件のコンテキストに、eHealth の進歩を導入する必要が高まっている。」として、分析している。

また、日本の医療は高度な標準をもつがいくつかの異なった特徴があるとして、以下を述べる。

① 高い定額自己負担、多くの病院
② ゲートキーパーのないユニバーサルなアクセスとサービス
③ 多くの社会的要因により医療システムに例外的にほとんど私的支出をしない。
④ 料金のきめ細かい（マイクロ）マネージメント：これは日本の医療システムの中心的メカニズムであり、日本政府の低レベルの健康支出を可能にしている。すなわち「日本の医療はリーン」である。

課題認識について下記を指摘する。

① マイクロマネージメントに遅れた部分があり、それはイノベーションの不足である。
② 日本の医療システムは、少子高齢化のために過剰利用の問題に直面している。
③ 医療システムへの国民の公的世論は全体として肯定的であるが将来に関する大きな懸念を感じている。

医療を取り巻く技術や IT 領域の変化について、以下の指摘をしている。

① 日本の遠隔医療およびロボット工学は卓越しているが、医療システムへの大きなインパクトが起こっている。
② 同様に医療情報学において最も興味のある変化が起こっている。医療情報学は、患者中心のアプリケーションの方向へ説明することから進んでいる。
③ 電子カルテ(HER：Electronic Health Record)およびコンピュータ化された診療予約システム(CPOE)は、日本の eHealth への投資の中心となっている。

その狙いにもかかわらず、日本の医療情報のコンピュータ化は計画より遅れており、また多くの先進国よりも遅れている。日本の医療情報のコンピュータ化が遅れているのは導入コストが高いためである。しかし電子カルテの採用がされたところでは、肯定的結果が豊富にある。日本では、他国と同様に標準化と統合化が必要である、オープンスタンダードも１つの方法かもしれない。

スウェーデンおよび将来の研究のための６つの含意として、以下を列挙している。

① 日本の原価管理メカニズムがスウェーデンで導入可能な場合は、削減されたイノベーションのリスクへの注意をして、より密接に調査すること。
② 大規模な eHealth アプリケーションの採用プロセスにおいて、大きな日本市場に関してスウェーデンの eHealth 企業に示すこと。
③ 日本の eHealth アプリケーションを稼働している成功事例から学習を継続すること－これらは少数の主要な病院と個人クリニックで見つけられる。
④ 健康専門スペシャリストの認可制度について導入可能性をフォローすること。重要な概念は、単独で働く IT 専門家によってではなく医療専門家と協力して医療システムが開発されるべきということである。
⑤ エビデンスベース医療の実践のための臨床データの二次利用の正しい比較検討を行うために、患者データのプライバシ保護の日本の法律の変化をモニターすること。
⑥ 対症型医療から予防医療へ移行するために、日本の広範囲な予防医療とのマッチングからの教訓を研究し実装すること。どんなインセンティブが最も働く可能性があるかを特別な注意をするべきこと。

3.5 まとめ

今後の生活支援分野のロボット技術や健康・福祉系医療機器の活用を構想するために、これらの技術や製品を取り巻く社会・制度や政策・方向性などに関する医療・福祉・健康分野を横断的にとらえるスコープを確立する必要ある。このような狙いにより本章では、今後の同分野に対する国内外の政策的動向や社会・制度の現状およびサービスの視点から同分野にイノベーションの引き金となることが有望視されている eHealth 戦略についても調査した結果を以下に整理した。

① まず前章に述べた日本の「新成長戦略」に基づいて、政策遂行をめざす厚生労働省や経済産業省の政策・取り組みの現状を概観した。厚生労働分野の施策では、主に「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」との関連に着目して、医食住に関するマーケットと雇用の創出､生産性と付加価値を高めるためのイノベーション施策について説明した。特に、海外に比して問題視されている医薬品・医療技術の導入の遅れの解消や介護機器や生活支援ロボットの研究・実用化の促進に注目した。さらに実際の概算要求も付記している。
② 経済産業省のライフ・イノベーションのための先端技術への施策について、特に、人に優しい生活支援ロボットの実用化、IT をフル活用した医療・健康サービスについて説明した。PHR（パーソナルヘルスレコード）を核とした医療機関、介護福祉機関、薬局、民間サービス事業者、行政保険機関により生活者を支援する情報ネットワークの概念は、日本版 eHealth 構想に相当すると思われ、今後の展開が注目される。
③ 次に行政の政策的側面とは別の医療・福祉・健康分野のサービス事業についてもその現状と課題を概説した｡健康情報の提供だけでなく健康行動へのリテラシーやモチベーションアップ、IT 活用だけでなく職域・地域などのコミュニティ形成、個人の判断に任せることから、健康の医科学的指標を含む健康サービスシステムの構築などが、今後重要となる。

④　日本の医療・福祉サービスは、政府主導（租税方式：英国等）と市場主導（民間保険中心：米国）の中間的特徴をもつ制度の継続の中で、医薬品投入が多いが医療費全体の投入量は多くはない現状の中で、よい健康指標を維持している。これには医師不足につながっている患者一人当たりの受診回数が過剰であるという現実もある。しかし今後の高齢社会の進展により医療費は膨張する。財源不足への解決策や医療体制改革・向上の方向性について、要点を列挙した。経営の生産性向上や新技術の遅れのない導入の指摘は、IT やサービス RT の導入とも関連する。

⑤　外国の同分野の取り組みでもスウェーデンの福祉制度や eHealth に関する戦略は検討に値する。福祉を核とした成長戦略は、日本のライフ・イノベーション戦略にも影響を与えていると思われる。スウェーデンでは政府の永年の福祉政策に対する信頼感が高負担・高福祉制度を支えている側面がある。また一層の高齢化が進む日本とは状況が異なる。しかし ICT により、サービス品質にかかわる「情報の非対称性」を克服して、国民やサービス利用者への高度な便益をもたらす戦略は、大いに参考となる。

⑥　同国研究者の調査レポートによれば、日本においても同様に、ICT による医療サービスのイノベーションへの貢献可能性が示されているとともに、IT 企業が、予約システムや電子カルテ以外の医療福祉に効果的で柔軟な IT サービスを提供することにまだ成功してはいないとみる。日本の医療情報のコンピュータ化は計画より遅れており、また多くの先進国よりも遅れていると現状認識している。しかし、これらの将来ニーズと必要条件は増大している。日本の遠隔医療およびロボット工学が、医療システムへの大きなインパクトを与える可能性にもふれている。

第 4 章 サービスロボットの取り組み

この章では、本調査研究の主テーマである生活支援分野のサービスロボットなど RT 活用の視点から取り組み動向を調査した。

新産業研究部会では、平成 20・21 年度の調査研究で「少子高齢化対策および安全・安心社会のための RT（ロボット技術）利活用」というテーマを取上げ、サービスロボットはそのニーズが高いにもかかわらず、普及が進まない理由の１つとして、対人安全性の技術が不足していることであるとした。産業ロボットと違い、知識も経験もない素人が日常生活のなかで使用しなければならないことから、今まで以上の安全性が問われる。

日本の大手企業は、事故が起きた場合のイメージダウンや風評被害を恐れて、事業化に踏み出せないでいる。これは、国際的に求められる安全確保を認証書の発行（例えば EU の CE マークなど）までクリアできていないためで、安全に関する技術不足が輸出の障害になっている。サービスロボットも同様であり、産業ロボットの成功体験が仇となって、その普及は足踏みしている。

商品化には、対人安全性の厳密な検証が不可欠で、先行している日本には、欧米などの海外からブレークスルーが期待されているが、安全性を含めたリスクを一企業に負わせるのではなく、いわば社会実験としてロボットと人が共存する社会のあり方をオールジャパンとして世界に先駆けて提示しなければならない。

本年度は、市場予測について再調査を行い、RT のうちサービスロボットに焦点を絞り、ロボット開発の現状と技術動向を整理し、企業を訪問し現地調査を行い、安全についてグローバルな視点でまとめた。

4.1 市場予測

今後成長が期待されるロボット産業の将来市場予測については、昨年度の報告書でも述べたが、平成 22 年(2010 年)4 月に経済産業省と独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）により、ロボット産業の将来市場（国内生産量）について改めて推計が発表されている（**図 4.1-1**）。

推計では、ロボット産業は、製造業を始めとした現在市場が形成されている分野の成長に加え、サービス分野を始めとした新たな分野へのロボットの普及により、2035 年には 9.7 兆円まで成長すると予測されている。その内容として少子高齢化による労働力の減少・作業負荷の増大への対応や、製品・サービスの質や生産性の更なる向上の必要性からの成長を期待し、製造業、サービス業等の各分野のロボットごとに、類似製品の普及や価格に関するモデルを用いた検討を行った結果、ロボット産業の将来市場は、2020 年には 2.9 兆円、2035 年には 9.7 兆円まで成長すると予測している。

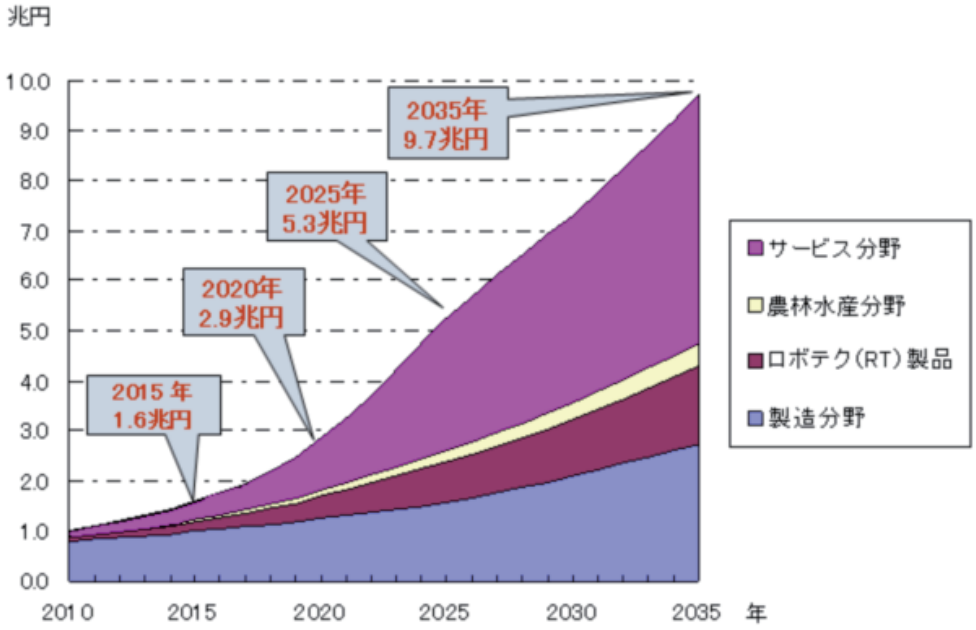


図 4.1-1 2035 年までのロボット産業の将来市場予測

出典：経済産業省平成 22 年 4 月 23 日発表資料
http://www.meti.go.jp/press/20100423003/20100423003-1.pdf

2035 年度の市場規模と推定している各分野の内訳は**表 4.1-1** の通りである。現状ではほとんど市場のないサービス分野の爆発的な成長が期待されていることがわかる。

表 4.1-1 2035 年各分野の内訳

分　　野	市場規模
製造分野	2.7 兆円
ロボテク(RT)製品分野	1.5 兆円
農林水産分野	0.5 兆円
サービス分野	4.9 兆円

また、今回の推計は**表 4.1-2** の方法で行われている。

表 4.1-2 ロボット産業の将来市場予測推計方法

パターン		方　法
1	既存の推計結果を利用した推計	既存の市場推計における推計方法が利用可能なものについては、同様の推計方法に基づき推計
2	すでに市場が形成されているロボットについて、普及台数の実績に基づいた推計	複数年の実績が取得できるものについては、その普及台数の実績にモデルカーブを当てはめて推計
3	上市直後/上市予定であるロボットについて、類似製品のモデルカーブを利用した推計	パターン2のようにモデルカーブを当てはめることが難しいため、現状あるいは近いうちに予想される普及台数からモデルカーブの変数を下記の通り設定し推計 ・最大導入率を仮定（例：清掃ロボット・・・国内エレベータ稼働台数の 1/4） ・類似製品のモデルカーブを当てはめ推計（例：清掃ロボット・・・産業用ロボット、移動支援ロボット・・・二輪車）
4	現在上市されていないロボットについて、ニーズ側からの推計	製品の価格や機能についての具体的な設定が困難であるため、以下のいずれかの方法により推計 ・少子高齢化に伴い減少する労働力と、産業として維持すべき労働力のギャップを、ロボットが補完するとし推計 ・類似製品の普及のモデルカーブを当てはめ推計
5	ロボテク（RT）製品について、類似製品のモデルカーブを利用した推計	既存製品のロボテク（RT）製品への置換率と、ロボテク（RT）製品のうちロボテク（RT）部分の製品価格から推計した。

パターン１および２については、すでに数値的な裏付けがあるので、データの信頼性はあると言えるが、パターン３～５については完全な推計である。パターン３については、類似製品のモデルカーブを当てはめているとしているが、清掃ロボットを産業用ロボット、移動支援ロボットを二輪車に当てはめる妥当性は議論の必要がある。パターン４については、少子高齢化の労働力不足をロボットで補うとしているが、定年年齢の引上げや外国人労働者の活用など推計を下回る要因がある。推計は、各パターンの合算になっているため、それぞれのパターンの割合が不明である。現在ほとんど市場のないサービス分野のパターン別割合が現実性のあるものであるか疑問が残る。

昨年度の報告書に記載した前回の推計からの変更点を**表 4.1-3** にまとめる。製造分野以外の分野は再設定されている。推計の最終年度が 10 年延ばされたが、2025 年までの推計値はいずれも前回を下回っているにもかかわらず、最終年度は 9.7 兆円と前回の年度推計値を上回っている。

表 4.1-3 推計の比較

項目	2009 年推計	2010 年推計
分野	製造分野	
	バイオ産業分野 公共分野 医療福祉分野 生活分野	サービス分野 農林水産分野 ロボテク(RT)製品分野
最終年度	2025 年	2035 年
2020 年の推計値	5.5 兆円	2.9 兆円
2025 年の推計値	8 兆円	5.3 兆円

本推計を実現に結びつけるために、今後のロボット産業の成長に向けて、経済産業省、NEDO は、生活支援ロボット実用化プロジェクトの推進や、ロボットビジネス推進協議会等を通じ、官民一体となり、新たな市場の創造に向けて取り組んでいくとしている。

しかしロボット産業を振興させる計画や、そのために必要な事項は感覚的に理解はできるが、一大産業になっていく姿は、現時点では想像の範囲を超える。2025 年に基幹産業となり、労働力を補うロボットには、具体的にどのようなものが考えられるだろうか。

今後は国民が何を求めるのか、ロボットの目的や使い方が明確でないと、ロボット産業の振興はありえないと言える。ロボット開発の具体的な目標や使われ方が、国策として無いのも問題の一つと考えられる。一例として、昨年度の報告書にも記載した富士重工の掃除ロボット（**写真 4.1-1**）をあげると、市場に認められるまで 15 年ほどかかっていると言われている。

写真 4.1-1 掃除ロボット

出典：今年のロボット大賞
http://www.robotaward.jp/archive/2006/prize

新しい価値の普及には時間がかかるものであり、これまで現場に適用したロボットを粘

り強く訴求する努力が少なかったことも産業の振興に影響したとも考えられる。

一方、ユーザ側からのアプローチも RT を普及させるためには必要である。これまでに、レスキューロボットとして開発した要素技術をハウスメーカーが床下点検に使用したケース（**図 4.1-2**）がある。ロボットと無関係の異業種企業が新たな RT の使い道を見つけた例である。ユーザからの発掘による例でも要素技術のベースがあった状態から実用化まで 5 年かかっている。

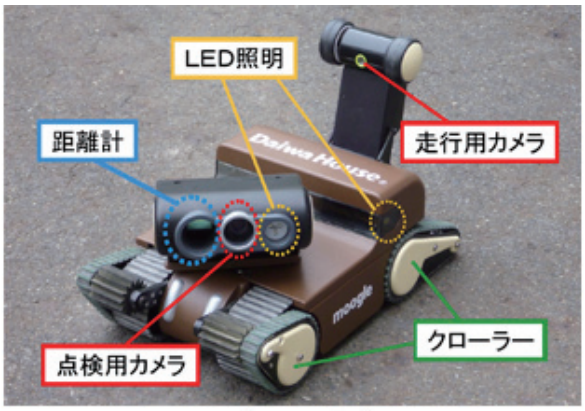


図 4.1-2 床下点検ロボット

出典：大和ハウスニュースリリース 2010/10/20
http://www.daiwahouse.co.jp/release/20101020101937.html

逆にロボットの研究開発者自身がもっと使われる現場や市場を見る必要もある。今のロボットの能力がどの程度あるかは、開発者にしかわからない。一般の人はメディアに出ている情報から、ロボットは高度なことができると思いこみ違いをしているケースも多くみられる。従って、ロボットがどの程度の機械かわかる人が現場を歩いて、場の人と話し、使えるかどうかじっくり判断するということも重要である。

過去にはロボットをメディアに露出させエンターテイメントとして出し物に使い、話題になることで満足している研究者が少なく無かったともいえる。

視点を変えると、ロボットメーカーはこれまで「夢」を売っていたとも言える。20 年後の将来にロボット市場のイメージを先行させた。しかし、そろそろ夢から目覚め実態を直視しなければいけない時期が来ていると言える。

基本的に日本人はロボット好きである。それはメディアでよく見かけるロボットが実物で見られる展示会などに人が大勢集まることからもわかる。ところがロボットはまだ十分な産業になってない。一方、昨今の学生が興味を向ける二大テーマは、宇宙とロボットである。時代をさかのぼると自動車があげられた時代があったわけだが、現在自動車は未来の夢の対象ではなく、すでに基幹産業となっている。学生が将来の仕事として考えると手堅い分野と思われがちだが、ロボット産業は職もなければ資格もない。ここでも夢と希望から、人気だけが先行している状況がある。

4.2 ロボット開発の現状

これまでサービスロボットの開発は、各府省独自に進められてきていた。2005 年から 3 年間次世代ロボット連携群が進められ、次世代ロボット共通プラットフォーム技術の開発を中核に環境情報構造化、ロボット用基盤ソフトウェアの 2 つの観点でロボット開発を効率化する環境整備活動を進めた。

環境のセンシングはどんなロボットでも必要である。それを共通化すれば、どんなロボットでもその環境に置くだけで位置やそのほかの環境情報を取得することが可能になる。このように、ロボットが動きやすいように環境側を整備しようというものである。環境プラットフォームは当時最新の技術で整備され最終年度には福岡、けいはんな、神奈川の各プラットフォーム（**写真 4.2-1**）を使用した生活支援ロボットのデモンストレーションが行われた。しかし、プロジェクト終了後は研究開発予算の面からもプラットフォームを利用して企業が独自に開発を行っている姿は見受けられない。このように、研究開発プロジェクトはこれまで数多く行われてきているが、実用化まで見据えていないため、プロジェクト終了とともにその技術も停滞してしまっているのが現状である。

写真 4.2-1 神奈川環境プラットフォーム

4.2.1 つくばロボット特区

つくば市は 2009 年 11 月内閣府に「ロボット特区」を新規提案し、2010 年 1 月に実証実験特区として提案そのものは認定を受け、一般にもロボット特区でロボットの実証試験を行うことを公表した。しかし、公道での実証実験の実施にかかる関係行政機関などによる規制緩和などの調整が必要であり、2010 年秋に開始予定だった実証実験の予定が遅れている。同市は 2011 年 1 月 11 日、「搭乗型移動支援ロボットの公道実証実験特区（ロボット特区)」として、内閣府に 2011 年 2 月 4 日に申請すると発表した。2011 年 3 月末にも認定される予定で、2011 年度以降実証が行われる予定であり、実験エリアには、つくばセンター地区とつくばエクスプレス研究学園駅周辺の 2 個所が想定されている。ロボットを屋外で実証試験するために必要な技術とそれぞれの所管省庁を**表 3.2.1-1** に示すが、それぞれが連携しておらず、既得権益を守る事なかれ主義であり、特区制度が生かされず、自治体が苦労しているのが現状である。

表 4.2.1-1 技術や行為と所轄省庁

技術や行為	所轄省庁
無線通信	総務省
道路交通法	警察庁
道路使用	所轄警察署
移動車両	国土交通省
ロボットの安全	経済産業省

4.2.2 NEDO「生活ロボット実用化プロジェクト」

少子高齢化が急速に進展しており、このままの状況では日本の社会を支える人材が不足することが懸念され、製造業の生産工程やサービス業の作業工程における一層の自動化・ロボット化を国は考えている。

NEDO の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」は平成 21 年からスタートしている。これに先立って、経済産業省では平成 19 年 7 月に「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」を策定している。稼働領域を人間の存在領域と共有するロボットを次世代ロボット（サービスロボット）として、その安全性を確保することを目的として、設計、製造、輸入、設置、管理、修理、販売および使用の各段階において安全性を確保するための基本的な考え方を規定した。これに引き続いて、NEDO では国際標準化機構（ISO）に基準案を示して、国際基準作りでリードするため、上述のガイドラインにのっとり、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を最終目標年度を平成 25 年とした五ヵ年計画で進めている。生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象に関係者が密接に連携しながら本質安全・機能安全にかかわる試験を行い、安全性等のデータを取得・蓄積・分析し、具体的な安全性検証手法の研究開発を実施する。なお、このプロジェクトは経済産業「ロボット・新機械イノベーションプログラム」と内閣府「社会還元加速プロジェクト」の一環として実施されている。

また、生活ロボット実用化プロジェクトではこれらの試験においてロボット研究開発実施者と安全性検証手法の研究開発実施者が連携し、リスクアセスメント技術、危険予防技術の検討や実際の使用環境下で実証試験を集中的に実施している。具体的には、生活支援ロボット（サービスロボット）を操縦型、自律型、人間装着型、搭乗型の 4 つに分類して、メーカ等へ開発を、また、安全性検証手法については研究所、大学、認証機関・試験機関等に委託して、安全性基準に関する国際標準等の整備を目指すものとしている。（**表 4.2.2-1**）。

その一環の中で、平成 22 年 12 月つくば市に「安全検証センター」が開所し、産業技術総合研究所、日本自動車研究所などでその運営を開始している。生活支援ロボット実用化プロジェクトの安全検証拠点として設立した施設で、参加企業が開発する 4 タイプの生活支援ロボットを対象に、機械・電気安全および機能安全に関する各種試験を実施し、模擬認証を行う。2013 年度末までに各種試験技術の構築や安全認証に必要なデータの蓄積などを行い、2015 年頃には検証から認証までグローバルに、かつワンストップサービスで行える機関となることを目指している。

サービスロボットの安全性検証処点として、国際安全規格を作成するなど、国際標準規格を日本案が主導権を握り、EU の CE マークとの相互認証や国内法規との整合性を図り、第三者認証の発行を得て、PL 法裁判での製造業者の免責証明や、社内凜儀の根拠になるものと期待されている。

プロジェクトでは、参加する開発企業に 2015 年までに生活支援ロボットの実用化を達成してもらい、2020 年までに広く普及してもらいＢ２Ｂ（ビジネス対ビジネス）への本格導入上の問題点を整理することを計画している。

表 4.2.2-1 生活支援ロボット実用化プロジェクト研究開発内容

研究開発項目	最終目標（平成25年度）	中間目標（平成23年度）
①生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発	1）各タイプのロボットのリスクアセスメント手法を確立すること。ならびに、それを各タイプのロボット開発実施者に対して提供する。さらに対人安全性に関して取得したデータに基づき、耐性指標等の国際標準提案を行えること。 2）各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に関し安全性試験評価方法を確立すること。さらに策定した試験・評価方法や手順について、国際標準化提案を行えること。 3）各タイプの生活支援ロボットに関する安全性基準適合性評価手法を確立する。	1）リスクアセスメント手法を開発すること。さらに人間工学実験等による対人安全性に関するデータをロボット開発実施者に提供すること。 2）各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に必要な試験装置を開発し、ロボット安全性試験項目、各タイプのロボットごとの試験・評価方法や手順の策定を行うこと。
②安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発 	1）安全技術を一部またはすべて搭載した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットが安全性検証のための安全性試験を完了していること。 2）開発ロボットの安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。 3）想定ユーザによる、実環境あるいは模擬した環境において実証試験が完了していること。	1）開発ロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。 2）実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが開発されたロボットに搭載されていること。 3）該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

③安全技術を導入した移動作業型(自律が中心)生活支援ロボットの開発 	1)安全技術を一部またはすべて搭載した移動作業型(自律が中心)生活支援ロボットが安全性検証のための安全性試験を完了していること。 2)開発ロボットの安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。 3)想定運営先を模擬した環境において実証試験が完了していること。	1)開発ロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。 2)実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが開発されたロボットに搭載されていること。 3)該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。
④安全技術を導入した人間装着(密着)型生活支援ロボットの開発 	1)安全技術を一部またはすべて搭載した人間装着(密着)型生活支援ロボットが安全性検証のための安全性試験を完了していること。 2)開発ロボットの安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。 3)想定ユーザによる、実環境あるいは模擬した環境において実証試験が完了していること。	1)開発ロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。 2)実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが開発されたロボットに搭載されていること。 3)該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。
⑤安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発 	1)安全技術を一部またはすべて搭載した搭乗型生活支援ロボットが安全性検証のための安全 性試験を完了していること。2)開発ロボットの安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること 3)想定運営先を模擬した環境において実証試験が完了していること。	1)開発ロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。 2)実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが開発されたロボットに搭載されていること。 3)該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

出典：②③④財団法人エンジニアリング振興協会,平成 21 年度 ｴｺ･ﾋｭｰﾏﾝ･ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ関する調査研究報告書 第 4 分冊＜社会生活関連分野＞,2010.3

②パナソニック社　Web サイト

③新版ロボット工学ハンドブック

④サイバーダイン社　Web サイト

⑤TOYOTA　Web サイト

4.3 現地調査・事例紹介

本年度は、RT のうち生活支援ロボットに焦点を絞り、ロボット開発の現状と技術動向について、企業を訪問し現地調査を行った。

本研究部会では、2010 年 10 月 25 日に株式会社東芝研究開発センター（神奈川県川崎市）、2010 年 11 月 4 日にパナソニック株式会社生産革新本部（大阪府門真市）に訪問し、調査を行った。次世代ロボット産業は今後の成長が期待されているが、現段階ではまだ過渡期でありインキュベーションがますます重要になっている。4.2 にあるように、人と接する可能性のある生活支援ロボットについての、安全基準の整備が急がれている。生活支援ロボットメーカーは、安全の基準ができるまでロボット開発をどのように進め、また基準に対しどのように考えるのかなど、現在のロボット開発の状況や課題、取り組みについてのヒアリングおよび討議を行った。

4.3.1 株式会社東芝 インターフェースロボット

総合電機メーカである東芝は、人との共存関係に適応するロボット技術開発を進めている（**図 4.3.1-1**）。現在の人が働き生活している環境は、ロボットにとって整備されているわけではなくロボットが活動しやすい環境とは言えない。東芝は、ロボットが環境変化に対する影響を受けずに目的の行動ができる、ロバストで確実な作業を可能とする技術を取り入れたロボット開発に取り組んでいる。

図 4.3.1-1 東芝のロボット技術

株式会社東芝提供

Copyright © 2011 TOSHIBA CORPORATION, All Rights Reserved.

これまでに生活支援を行うロボットのプロトタイプとして、話しかけた方向と内容を理解して受け答えする「聞き分けロボット」と、登録された人を探してついてくる「お供ロボット」など開発している。これらは愛知万博（愛・地球博）で公開されている[*1]。

これらのロボット開発では、高齢者や幼児の見守りなど応用が期待される生活支援分野への取り組みである。２種類のロボットは、生活支援に必要な条件として「人の言うことを理解する」「人に付き添う」機能を、高度な画像・音声認識技術を用いて実現したものである。「聞き分けロボット」**図 4.3.1-2**（左）、**表 4.3.1-1** は、６箇所のマイクで全周囲から取り込んだ音声に独自の信号処理を施し、人から話しかけられた方向と内容

を認識する。これにより、挨拶した人には挨拶で返し、質問をした人には返答するなど、複数の人による全方向からの呼び掛けに対して、それぞれに回答することができる。

「お供ロボット」**図 4.3.1-2**（右）、**表 4.3.1-1** は、服の色や柄などを登録しておくとステレオカメラを用いた高速画像処理システムで人の動きを常に認識する。これにより、人が移動すれば追従し、静止すればそばで待機する。また、人を見失うと声をかけて探す機能も搭載している。東芝では、これらロボットに、高齢者や幼児を見守り様子を家族に知らせる機能や、人の指示で家電を操作したり天気予報・ニュース・子育て知識など生活情報の検索を行う機能、ショッピングセンターなどの施設内を付き添って荷物を運搬する機能など、多様な機能を検証し人共存環境でのロボット技術を開発している。

図 4.3.1-2 聞き分けロボット（左）、お供ロボット（右）

株式会社東芝提供

Copyright © 2011 TOSHIBA CORPORATION. All Rights Reserved.

表 4.3.1-1 仕様

名称	聞き分けロボット ApriAlpha™ V3（アプリアルファ･ブイスリー）	お供ロボット ApriAttenda™ （アプリアテンダ）
寸法	直径:約 380mm、高さ:約 430mm、	約 450mm、高さ：約 900mm、
質量	約 10kg	約 30kg
特長	・全周囲からの音源に対応するため本体の上部 6 箇所にマイクを配置し、到達音の波形の微小な違いを分析（位相差解析）することにより音源方向を特定 ・音源方向から抽出した音声データに独自の音声信号処理を施し、内容を認識 ・これらにより、複数の人が別々の方向から呼び掛けても、それぞれに合わせた回答をすることができる	・独自の画像処理アルゴリズムにより、複雑な背景から人物領域をリアルタイムに抽出することが可能。服の柄などを登録すれば、特定の人を見分けることができる ・人が移動すると、一定距離を保ちながら車輪を駆動して追従する。移動時にはステレオカメラで人との距離を計測しながらスピードを調節し、また、超音波センサを用いて障害物を回避 ・人を見失うと周囲を見回したり声をかけて探し、人を見つけると、ふたたび追従を開始することができる

家庭内で生活支援を行うロボットの実現には、基本技術として、ロボットが人の姿や音声を認識する技術、人のそばに付き添う技術などが必要となる。今回のロボットはこうした基本技術を実現し、今後本格的な生活支援機能を搭載していくための原型としている。

聞き分けロボット「アプリアルファ」は、その後インターフェースロボット「アプリポコ(**図 4.3.1-3**)」として研究開発が進められている。従来の音声インターフェイスは、あらかじめ登

図 4.3.1-3 ApriPoco™(アプリポコ)

株式会社東芝提供

Copyright © 2011 TOSHIBA CORPORATION, All Rights Reserved.

録された音声指示語でしか操作ができず、ユーザが登録された音声指示語を覚える必要があった。「アプリポコ」は、幼児が親から言葉を学ぶように､頭部、腕部、および腰部の７自由度を活用した親しみやすい動作と音声応答により、ユーザの音声指示を覚える。操作する際には、習得した音声指示語でユーザからの音声指示を受け付け、指示に応じて羽のような腕部を動かし、腕部の先端にある赤外リモコンで家電操作やネット接続のHDD レコーダの録画予約や番組再生を行うことができる。

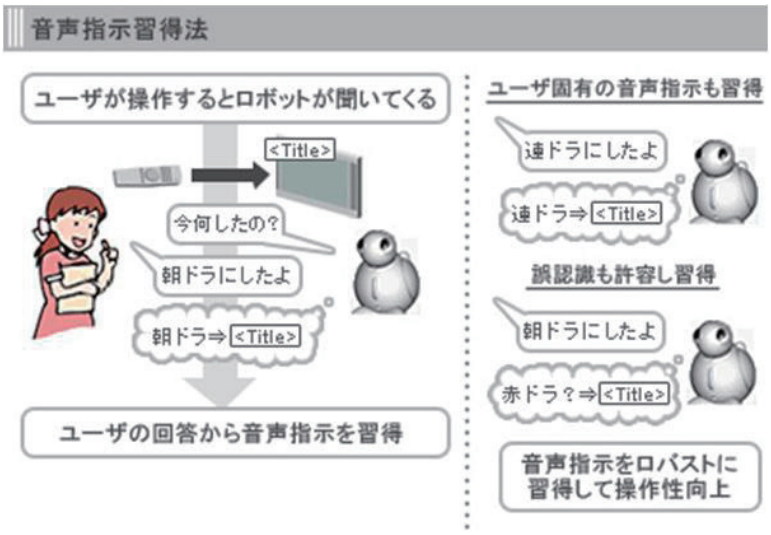


図 4.3.1-4 音声指示の学習方法

株式会社東芝提供

Copyright © 2011 TOSHIBA CORPORATION, All Rights Reserved.

「アプリポコ」は、**図 4.3.1-4** に示すようにユーザがアプリポコの知らない操作をすると“今、何したの”と聞いてくる。そしてユーザの教えた言葉を復唱する。復唱した言葉は音声としては誤認識であっても、その操作との関係は正しく記憶される。まるで小さな子どもが間違えながら言葉を覚えて行くような感覚である。独居高齢者などが使用すると孫と会話しているような感覚になると思われる。ロボットに対してこのように親しみを感じることは非常に大切である。また、人に直接触れないことから安全性の面においては移動を行うロボットに比べ優れており RT を普及させるには適していると思われる。しかし、アプリポコは使い方が多様であり、期待される価値と現状にギャップがまだある。生活支援するサービスロボットは、コストと技術のバランスが必要である。また、バックヤードではロボットのみを使用するというような住み分けも必要となる。

すでに機器の自動化は進んでいるが、ロボット化と言えるには異なる現場環境でも動くことが重要といえる。実用化には安全性の問題もあり、事業化は簡単ではないとのこと。研究開発においては国プロ等の外部資金を活用して行うこともあるが、プロジェクト期間では検証までしかできず、そこから先の実用化に向けて継続的な研究開発プロジェクトも必要だとしている。

また、東芝が考えるロボットの共存環境に向けた要素技術は、環境知識利用技術、ヒューマンインターフェース技術、移動制御技術、アーム制御技術、画像・センシング技術、行動計画技術としている。

＊１）本ロボットは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて開発したロボットです。

4.3.2 パナソニック株式会社

写真 4.3.2-1 はパナソニックのこれまでのロボット関連への取り組み、そして将来へ向けたコンセプトがロボット実機とパネルが紹介されていたが、これらは開発者本位で開発されたものでありユーザの祖点に立っていないことから、実用まで結び付かなかったものであり、これらを教訓にして現在のロボット事業を進めているとのことである。また、**写真 4.3.2-2** に示すように 2015 年までのロボット事業化構想を示している。ここではまず、医薬系など特定市場への導入を進め、安全法制度が制定された後、人との共存や協調する生活快適分野への導入を進めるとしている。確かにロボットはコスト高で、いまだに人件費と比べると人の方が安いケースがほとんどである。

写真 4.3.2-1 コンセプトロボット

ロボットはオールマイティではないので、人が行う作業とのコスト比較となるのは当然である。ロボットの用途は確実にあるのだが、現状での市場は小さい。そこでパナソニックが着目したのが病院である(**写真 4.3.2-3**)。病院業務は人手によるものが多く、ロボットによる自動化の余地が多い。さらにこれまでの製造工場のノウハウを生かし病院のコンサルティングから手掛けている。これにより業務のボトルネックを抽出し、作業の効率化を進める自動化にロボット技術を適用する。ロボット導入は物を扱う部分に限定することにより、厚生労働省の認可を必要とする医療行為とはならない。

写真 4.3.2-2 ロボット事業化構想

写真 4.3.2-3 医療分野ロボット分野事業構想

また、パナソニックには系列の松下記念病院があり、モデルケースとして導入が進めやすかった要因の一つと考えられる。病院関連のロボットシステムの一つに注射薬払出ロボット（**写真 4.3.2-4**）がある。200床～400床規模の病院を主に想定した業界最小スペースの払出ロボットシステムで、LAN経由で送られた上位システムのオーダリングを受けて、払出トレイに患者の注射箋、施用ラベル、注射薬(アンプル・バイアル)などを個々に自動セットできる。ガラスでできたアンプルを人間と同様、優しく扱い、壊さずに処方箋まで含めて自動払出できる。

写真 4.3.2-4 薬剤払出ロボット

このロボットの開発にあたって、まず調査･作業分析結果から薬剤現場の問題を「見える化」しロボットシステムを使った業務効率化を提案する流れを行っている。これまでに松下記念病院の薬剤部で実証実験されている。

さらに薬剤搬送に向け自律搬送ロボット「HOSPI（**写真 4.4.2-5**)」の技術がある。これは完全自律搬送を目指すロボットで自律移動ロボット技術を応用したものである。事前に入力した地図情報をもとに最適な走行経路を自分で判断したり、遠隔操作により自律的にエレベータに乗って各階を移動したりする機能を持ち、障害物検知をして回避や自動停止する。現在は、松下記念病院で夜間の薬剤搬送を**写真 4.4.2-5**の 改良タイプが行っている。これにより従来は夜勤の事務職員か薬剤師が運んでいた作業を、自動化することで作業を効率化した。職員や薬剤師は各種事務や服薬指導など本来の業務に集中できるようになるという。薬品の処方は、患者の症状変化で 20%程度返却されていたが、ロボットで搬送を高速化するこ

写真 4.3.2-5 自律搬送ロボット

写真 4.3.2-6 注射薬混合ロボット

とにより 10%程度の返却に改善された。また、物流をロボットで少しずつ頻繁にするようにした。合わせて電子化による紙の削減効果もある。

さらに医療系のロボットシステムとして**写真 4.3.2-6** に示す注射薬混合ロボットがある。危険な薬剤を安全に効率よく混ぜることを可能にする技術である。

その他に「家まるごとロボットシステム開発」というコンセプトで開発されている、キッチンのシンクで働く、手先)が４本の指を持ったハンドになっている「キッチンロボット（**写真 4.3.2-7**)」、寝室で活用する「ロボティックベッド(**写真 4.4.2-8**)」などがある。

写真 4.3.2-7 キッチンロボット

写真 4.3.2-8 ロボティクスベット

ロボットには、安全に関する事項の整備が現在進められているのが病院の中など比較的ゆるやかな特殊な環境で技術を実証していくとしている。実際自律搬送ロボットの松下記念病院での運用で、患者側の制約は全くない状況でも問題は発生していないという。

パナソニックは家電のイメージが強いが、家電製品や AV 機器の売上高はグループ全体でも 50%程度である。通信機器・部材や産業ロボットなどの割合が増えている。パナソニックは、部品や部材をグループ内で調達できる。ロボットは様々な要素技術の集合体であり、産業の裾野が広い。部品のアッセンブリといった意味ではロボット開発においてもそのメリットを生かすことができる。技術的なハードルはそれほど高くない。課題はマーケティング面であり、今後の目標は、事業化のための体制づくりだという。

最終的な市場の到達点や展望については、医療福祉ロボットはグローバル展開もしやすいようである。例えば中国は老年人口だけですでに１億人を超えている。老人ホームも急速に増えてくる。「１人っ子政策」の影響で今後も高齢化が加速度的に進んでいく。これは日本のヘルスケア事業者にとっても大きなビジネスチャンスである。また、英国や豪州が「ノー・リフト・ポリシー」という指針を打ち出している。これは人力のみによる患者の移動を禁止した指針で、介護者の負担を軽減する目的がある。この分野でもロボット技術の活用を見込んでいる。アジア各国では国がロボットの実用化や普及に力を入れている。世界でトップレベルのロボット技術を持つ日本も豊かな社会をつくりあげるために、国に強いリーダーシップを発揮してもらいたいという。

4.4 安全のグローバルルール

本検討では、NPO 安全工学研究所のホームページ（http://www.safetylabo.com/）に掲載の杉本旭氏などの論文を参考にしている。

4.4.1 日本での安全の考え方

機械工業を念頭にすれば、機械に起因する災害をなくすためには、機械を安全に設計し製造すること（機械安全）と機械を安全に操作保全すること（労働安全）が肝要であり、「機械安全」と「労働安全」は車の両輪としてバランスをとって初めて機械の安全は守られる。

日本での工場での安全操業では、作業員に対する「労働安全」に重きが置かれ、安全を訓練された作業員（精鋭）の育成に偏り、「機械安全」である機械の製造者や使用者の責任を軽視してきた嫌いがあった。

安全の考え方は機械を扱う作業員のミスとして片づけ、機械製造者や事業者の責任が追及されずに労災保険により救済することで、一件落着とし、技術的な原因追究を曖昧にしてきた。

この労働安全に偏った「安全は管理による」という考え方がグローバルに求められる安全条件と大きく食い違い、国際的に異端視されているという。

4.4.2 安全配慮の技術力強化

日本の技術の多くが世界の最先端を走っているが、人間の持つ生来の権利（基本的人権）である安全への対応が遅れている。産業界は輸出の際に仕方なしに各国での要求事項に対応し、万が一の事後処理のために PL 保険を付与し、事故が起きてもなんとか難を逃れてきた。

安全に対して、欧州では事前責任が原則であり、日本でも PLP 原則に基づくリスクベース社会への転換が必要である。グローバル化の進展による国境を越えた国際競争時代に直面し、多方面の技術競争力が必要となるが、機械や生産システムの安全性技術の競争力も大きなファクターとなっている。

グローバルな安全の考え方は、完全を要求するのではなく、その時代の最高の技術レベルを要求し、残る事故の可能性に対して、設計者および製造者の免責を与えるための根拠をグローバルな立場から決めるものである。

「事後の補償責任から事前責任としての安全へ」というパラダイム変換が国際的に着々と進められている。絶対安全はありえないという前提から、グローバルルールではリスク低減の優先順位を、設計者、管理者、利用者としており、安全に対する責任の順位でも同順であり、設計者の責任を重くしている。

4.4.3 安全規格の国際標準化

近年の流通のグローバル化は国際的な規格による貿易上の障壁の防除があってはじめて可能であり、我が国もその恩恵を受けて、貿易国家として生存を保障される。欧州の民間（国際標準化機構、ISO）で誕生した標準化・規格化は経済活動を活発かつ公平に進める

手段として発達してきたものである。

安全規格に関しても、機械の国際安全規格 ISO 12100 による安全のコンセンサスは、単にリスク低減という方法で事故防止を図ることではなく、その時代の妥当といえる最高の技術レベルの安全の必要を満たそうとすることが重要なポイントである。

ISO 12100 は、設計者の安全責任を優先する考え方で展開されており、機械類の安全性の基本概念と設計のための一般原則、機械のリスク低減方法と手順を、機械設計者の立場から規定している。

リスク低減優先順位は、①本質安全基準として、可能な限り危険源を除去・低減を行い、②安全防護の採用として、ガードやインターロック等、安全防護策を講じ、リスク低減を行い、③残留リスクの通知として、安全防護の限界を残留リスクで表し、使用者に警告と情報提供（安全作業手順書等の提出など）を行うものである。

設計者は国際規格に準拠して「事前責任」を果たし、「事後責任」を社会の制度にゆだねる。その事後責任とは、社会として果たすべき被害者救済（保険）と、技術者として果たすべき事故の原因追究と再発防止にこたえる責任である。これにより、事故の責任追及と原因追究を独立に実行可能にしている。

4.4.4 第三者による安全認証

第三者による認証とは、機械は必ず故障し、人は間違いを起こす、との前提から、この分野の設計者および製造者が自己責任において最善を尽くしたことを、第三者機関として宣言し、万一それにもかかわらず事故が発生した場合は、設計者及び製造者の代弁者として安全の妥当性に関する説明責任を社会に対して行う。

認証業務は、機械の限界、安全コンセプト、設計図書、リスクアセスメントおよび実施した試験内容、取扱説明書を確認し、立会検査の実施結果を持ち、安全ならびにその方面の有識者を中心として構成される安全認証委員会がその専門性に於いて安全の妥当性審議を実施し、リスク低減措置、受入可能な残留リスク、クリティカルハザードに対して、リスクの同定・見積・評価を行い、「認証書」を発行する。

第三者認証制度を体系的に実行する欧州 EU では、第三者認証機関や検査機関が次々と設立され、今日、知的産業として一大産業に成長してきている。

産業ロボットの６～７割は日本製であるが、しかし安全面に関しては、日本独自の知識と経験の積み上げではなく、米国の ANSI 規格をそのまま国内の基準として導入している。ハード面のものづくりは日本製だが、ソフトの規格面は外国依存の状況である。

日本ではNPO安全工学研究所が2005年に開催された愛知万博の出典ロボットに対して、主催者側から提示された安全ガイドラインに従い、国際安全規格に「準じている」（現時点まで、サービスロボットの安全性規格・基準が国際的に存在していない）ことを認証し、認証書ではなく、鑑定書として発行した。欧州 EU の認証機関でも認証の実績がないとのことである。

4.4.5 事故の責任と免責制度について

1）日本での事故の責任

絶対安全がありえない以上、事故はいつか発生する。そのとき、事故の責任は、事故を

起こした当事者（多くの場合は障害を受ける本人）、監督者、経営者、機械・設備の製造者、その設計者、その機械・設備を承認した規制当局、認証した認証機関、規格を作った規格作成者や業界団体等々が追及される。

万一事故を起こしてしまった場合には、民事、刑事、行政の３種類の法的制裁と法的責任が生じる可能性がある。以下の記述は、安全工学専門委員会主催・日本信頼性学会共催のワークショップ「新しい安全の在り方、安全の責任の取り方を探る 2002/12」に基づく。

(1) 民事責任

事故時の責任としては不法行為に対する責任となる。日常生活においては、様々な人身被害や財産上の損害をこうむることがある。これらの損害の発生に積極的に荷担した者や未然に防止すべき立場にありながら防止処置を怠った者には、不法行為に対する責任が追求される。民事責任の主要な機能は損害の填補（てんぽ）・金銭賠償であり被害者への損害賠償責任が生ずる。これが、事故時に生ずる民事責任である。

民法では過失がない場合は責任が生じないことになっている（過失責任の原則）。民事の場合、故意でも過失でも同一の賠償責任が生じる。それ故、加害者に対する責任追及の余地が大きくなる。一方、過失責任の原則から、過失がない場合は損害賠償義務を負わされない。

重化学工業、原子力等の潜在的危険性の大きな施設では、無過失であったため甚大な被害が発生するので、危険を伴う活動や施設の保有を認める代わりに予想される被害が生じた場合には過失・無過失を問わず賠償責任を負わせている。

ただし、民事責任は個人的な損害を填補するためのものであるから、そのような責任を追及するか否かは被害者の意思にゆだねられる。被害者は損害賠償請求権を放棄することも、和解によって賠償金を決定することもできる。

(2) 刑事責任

刑事責任は、違法な行為をなしたことに対して行為者に課せられる責任である。国や社会との関係において、公益的な観点から刑罰という制裁が課せられ、社会秩序の維持と反社会的行為の抑止を目的としている。

刑事責任は民事責任とは別個に問われ､被害者が加害者の処罰を求めない場合(例えば、歌舞伎役者市川海老蔵障害事件）でも、検察官は加害者を訴追することができ、逆に被害者が加害者の処罰を求めている場合でも、起訴猶予とする場合も出てくる。

民事責任が、被害者に対する損害の填補･金銭賠償を主眼とし、場合によっては無過失でも負わされうるものであるのに対し、刑事責任は、故意犯が原則で、過失犯は例外的となり、その過失の範囲も民事責任より小さくなる。現在日本において例外的に過失犯とされているものには、失火罪、業務上失火罪、過失往来危険罪、過失傷害罪、過失致死罪、業務上過失致死傷・重過失致死傷罪などがある。そのため、過失により事故を発生させた場合において、火災発生や死者あるいは重傷者が出ると罪に問われることになる。

(3) 行政責任

行政は、免許の停止や取消し、業務の一定期間の停止等の行政処分を行う責務を負う。行政処分は刑罰ではないが、刑罰同様かなり厳しい制裁処分と言える。行政処分は社会秩序の維持、将来における危険発生の防止を目的としており、民事責任や刑事責任とは別個に課せられる。

2) 米国での医療機器の PL 法訴訟状況

訴訟社会のアメリカでは PL 法の年間訴訟数は 8 万件あり、自主リコールの報道後には大量の訴訟が提起され、集団訴訟に対する応訴の負担から、和解せざるを得ないという。1990 年代には大量の訴訟を恐れて、医療機器分野の部材供給が滞る事態となった。日本でも風評被害や訴訟を恐れて、成長の見込まれている医療機器分野への部材供給・参入が進んでいない。

しかしながら、部材メーカーに対する訴訟について、Westlaw 社のデータベース（米国の法律事務所で使われている）調査によれば、医療分野に対する部材供給の方が、他分野よりもリスクが高いとは認められなかった。また、医療機器関連の部材メーカーが敗訴した事例は見当たらず、欧州 EU でも基本的に同じであるという。これは、部材メーカーに一部免責を認められ、原告側の弁護士は部材メーカーを訴える戦略を取っていないからしい。

一方、医療機器メーカーに対する訴訟についても、米国の食品医薬品局（ＦＤＡ）が個別に安全性と有効性を審査・承認した製品について免責が認められている。医療機器メーカーは少なくとも医薬品メーカーほどの訴訟リスクに直面していない。裁判所は適正な市販前承認（Pre Market Approval、PMA）によって安全性と有効性が確認された製品について、医療機器メーカーを免責する傾向にあり、裁判所のなかには、製品リコールに関する FDA の規制を理由に、適切に自主リコールをした医療機器メーカーを免責するところがある。

米国では PL 法訴訟が懸念されているものの、医療機器関連の部材メーカーが訴訟で敗訴したデータはなく、また、医療機器メーカーについても行政機関判断（FDA の PMA）を基本的に尊重する形で、免責を認めている。

3) キリスト教倫理と免責

日本での安全の考え方は、許認可制度に基づいて経済設計を追及して、欧米に比べて最低限の安全配慮しか見ない傾向が見られ、機械商品の国際標準を獲得する上で弱点となっているという。

これに対して、欧米流の安全の考え方は、欧州キリスト教の世界観が寄与しており、自然（生命）、隣人、さらに異邦人との共存、正しい付き合い方の倫理的基礎を与え、その根本概念である「スチュワードシップ（Stewardship)」と「最善（State of the art)」に基づく、安全規格のパラダイムシフトが国際的に着々と進行している。

(1) スチュワードシップ（Stewardship）

スチュワードシップは一般に管理責任と訳されるが、化学工業界の危険物管理のプロダクトスチュワードシップとか鉱業界の資源の循環管理を社会的責任とするマテリアルスチュワードシップなど、環境方面等の世界でスチュワードシップというタームが使われている。

これは古代ギリシャ起源で、「大地を優しく配慮する」という公益実現の倫理が、中世キリスト教世界で、その配慮の精神が信託精神として定着したものであるという。

キリスト教世界ではマスターシップ（Mastership）という「神から委ねられて、自然を

含めてすべてを支配する権利」という古いテーゼが、長らく支配していた。

しかし、人間の能力には限界があり、その限界を前提にして、スチュワードシップという「神から委託されて、力のある者が、弱い者を助け、共生させるという神託に応える義務」へと移行し、その時代での最善（State of the art）を尽くし、倫理的責任を果たす新しいテーゼへと進化した。

人間の能力には限界があり、その能力の限界を明らかにし、弱者救済の協力をその能力者に求めるスチュワードシップというキリスト教精神が世界標準となり、安全配慮義務が人工物の創造主たる設計者に課せられる。

(2) 最善（State of the art）

キリスト教聖書は不完全な被創造物のためのマニュアルであるという。すなわち、神が聖人ではなく、不完全な被創造物である人間の不完全さを補ってどのように生きるかの規範を記述したものが、キリスト教の聖書だといわれている。

神の召命に対して、最善（State of the art）をもって応える。最善を認めて許しを与えるには、「許しの神」の権威のもとで、人間は最善を行って許しを請い、また、神は最善を認めて許しを与える。

これが、欧州キリスト教文化の根本倫理であり、その原理が ISO/IEC-Guide51 の設計者原則に反映されている。こうして、設計者は最善をもって設計し、その限界（残留リスク）を説明（告白）して、事後の免責を得るのである。

4.5 今後の方向性と課題

産業用ロボット以外の生活支援、サービスロボット分野においては、現在安全性に関する問題や、コスト面の課題がなかなかクリアできないことなどが大きな課題であり、日本の次期産業と期待されならも足踏みをしている状況である。ロボットを広く普及させるには、日常生活のどの場面でどんなロボットがあれば便利なのかをきちんと考え、ユーザを明確化する必要がある。

このような観点で考えると、4.4 の東芝とパナソニックは進め方に対する考え方が**表 4.5-1** に示すように異なる。

表 4.5-1 ロボット開発と事業に対する考え方

東芝	パナソニック
・少子高齢化による労働力不足解決が目的 ・対人安全性を重視 ・家電の延長	・市場指向 ・ニーズとのマッチング、事業化が課題 ・トータルシステムソリューションとして導入

ロボットを新規事業として創出するにはビジョンやユーザを明確化し、グローバル展開をしっかりと考えなければならない。ユーザニーズを把握することはもちろん重要だが、ロボットによって豊かな社会を築けるという夢を与えることも必要である。一例として、**図 4.5-1** に生活支援分野における RT 活用のイメージを示す。また、ユーザがロボットを受諾しやすくするために、何に役立つのかの説明し、実験台にされていることに対するユーザ側の嫌悪感を払拭するために、ユーザにもメリットがあることの説明などをすること

が重要である。

ロボットがある生活をまちづくりのコンセプトからゼロベースで考え、法制度が不十分でも大丈夫な特区、メリットを享受したい住民で構成される街で検証を行うのが、一大産業への発展の近道ではないか。

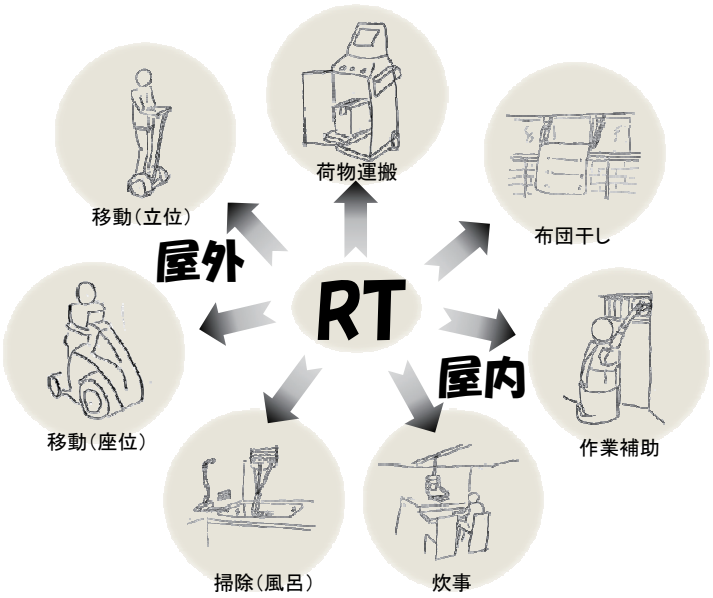


図 4.5-1 生活支援における RT 活用のイメージ

また、図 4.5-2 に示すように日本の人口は減少し超高齢社会に突入しており、生産年齢の人口割合も減少の一途をたどるとされている。日本の総人口は、2055 年には、1950 年代の水準になる。(図 4.5-3)。

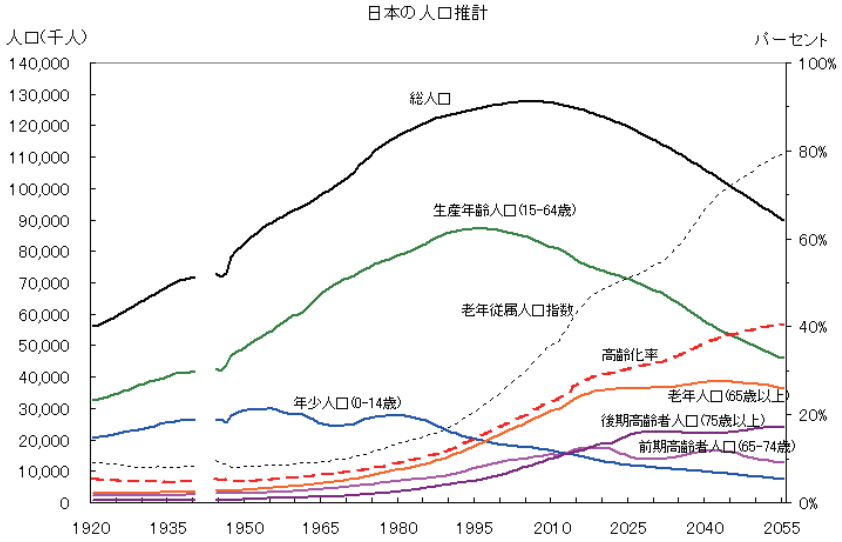


図4.5-2 日本の人口推移

出典：国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来人口推計（出生中位死亡中位推計）
http://www.ipss.go.jp/

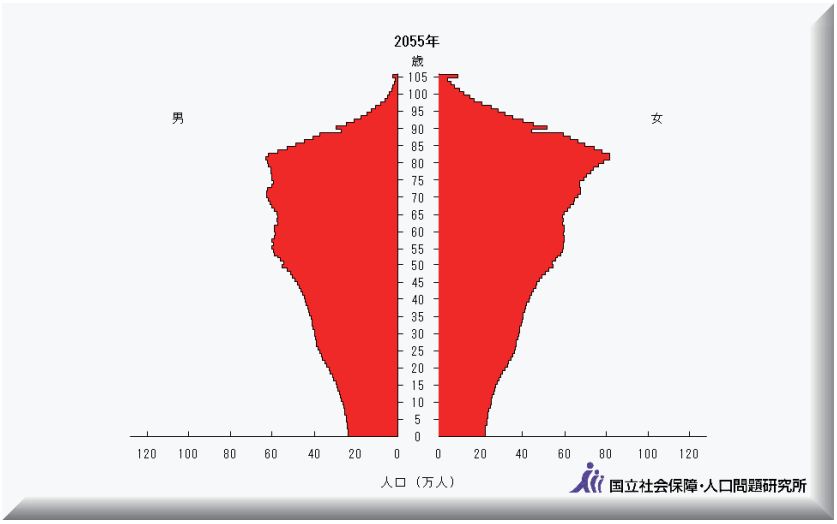


図 4.5-3 2055 年の年齢別人口構成

出典：国立社会保障・人口問題研究所　日本の将来人口推計（2055年の年齢別人口構成）

http://www.ipss.go.jp

優れた RT を持つ日本で、ロボット技術を活用し高齢化を弱みではなくす手段と考えるのは、当然の流れだと考える。現在は寝たきりの人の介護をロボットに任せるのは、安全性や許認可の面で難しいが、本気で社会復帰したいと考えている人を支援することは比較的容易にできる。ロボット事業は、介護にいきなり適用するのではなく自立支援から進めていくことを進めていくと良いのではないか。

安全に対して、欧米社会はベネフィットがあれば積極的にリスクを取る社会である。危険を伴う医療機器の導入に対しても、リスクとベネフィットをトレードオフし、その有効性が認められ、リスク低減の限界に対する責任体制の整備が整えば、積極的に採用するコンセンサスがある。

欧米社会の推進するグローバルルールでは、設計者は「事前責任」を果たすことにより免責を獲得し、「事後責任」を社会の制度にゆだねることができる。事後責任とは、被害者救済（保険）と事故の原因追究と再発防止であり、これにより、事故の責任追及と原因追究とが独立に実行可能できるものである。

NEDO では 2009 年に、欧米流の安全配慮の技術力を強化するため、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」チームをオールジャパンで形成し、国際標準化機構（ISO）に基準案を示して、国際基準作りを進め、生活支援ロボット部門で世界をリードしたい考えである。ここでは、単なる欧米のキャッチアップだけではなく、「安全と責任」のあり方として、国際社会との整合性を考慮しつつ、我が国の文化と伝統に適した日本社会に調和した安全技術体制の確立が望まれる。

また、安全配慮の技術力を担保する周辺領域の拡充も並行して進める必要があり、大学での安全教育・研究の推進、第三者認証機関の設置・育成、被害者救済の保険の充実、および法体系への免責制度の検討などが重要となる。特に法体系への免責制度については、個人の処罰を目的としないという立場が確立されれば、事故の真相究明、類似事故の再発防止、安全向上に資する。また民事訴訟での当事者の証言を得るための被害者の補償制度の充実も必須である。

第 5 章 BMI・脳科学の取り組み

本章では、健康・福祉系医療機器等の活用に関して今後大きく発展する可能性のある脳科学や、それを応用した BMI(ブレイン・マシン・インターフェイス)についての調査を報告する。

5.1 脳科学の背景と社会的意義

脳科学は、自然科学・理工学系の領域だけではなく、人文科学系、さらに人間活動全般に関する領域まで様々な分野から形成される総合科学である。脳科学研究の成果は、新しい知見や技術に基づく新産業を創出し、社会や経済の発展に貢献することが期待されている。

人間の脳機能を対象にした研究は、以前は脳を損傷した患者の症状から機能を推測する方法が主流だった。しかし、近年の fMRI(機能的磁気共鳴映像法 Functional Magnetic Resonance Imaging)や MEG(脳磁図 Magneto Encephalogram)などの計測機器技術の進歩により、生きている人間の脳の活動を観察できるようになってきた。特に医療分野における脳科学の発展は、精神疾患や神経疾患をはじめ認知症などの病理機構解明や治療法・診断法に大きな貢献をしてきた。

脳機能の可視化技術の進歩により、人間の行動や情報処理の仕組みが明らかになってきている。この知見を医療分野以外の領域で活用することによって、心理学や経済学にも影響を及ぼし、産業界にも新たな流れが産まれつつある。顧客の嗜好や商品の満足度の評価に脳機能の可視化技術を用いて客観的な評価を行う取り組みや、脳の状態をモニタリングすることでストレス状態を検知し事故防止に役立てようとする取り組みもある。他にも、脳機能をモデル化し、脳内情報処理をまねた独立成分分析やサポートベクトルマシン、ニューラルネットワークなどの信号処理アルゴリズムや機械学習の手法は広く応用されている。さらに脳の学習原理に基づいて模倣・学習するロボットの研究開発も進んでいる。

脳科学研究をこのような応用に用いることは、製品やサービスの質の向上や、産業における生産性の向上をもたらすことが期待されており、これまでの産業の枠組みを超えて日本の産業の国際競争力強化に寄与する可能性がある。

ただし一方で、脳科学研究の知見を産業応用に展開するにあたっての危惧も現在化し始めている。医療分野においては様々な規制や倫理的な制約があるが、広く産業応用に展開するに当たっては、科学的な裏付けが十分になされていないものや、科学的な知見を超えているものが拡散する危険性がある。根拠が不十分な風説が流布されることで、購買意欲を煽る事例や、不安感や警戒感を煽る事例もあり、誤解や混乱を招く原因になっている。

また、脳科学は十分に成熟した研究領域ではないため、脳に操作を加えることで人格への影響があるのではないか、思想や観念が読み取られてしまうのではないか、脳情報が流出した場合のダメージは計り知れない、といった危惧がある。にもかかわらず、倫理面や安全面のルールは各組織体の倫理委員会が定める倫理基準に任されている状況である。脳科学に対する期待が大きく、社会的な関心が高い今の段階から、脳科学の産業応用につい

ての検討を開始すべき時期である。

脳科学の産業応用は多岐にわたるため、**図 5.1-1** と**表 5.1-1** に脳科学技術を 6 つに分類した表を示す。

本章では特に、①脳活動の計測技術と④脳活動を外部機器の制御に利用する技術として、BMI に注目して報告する。BMI とは、計測機器を用いて得られる脳波や血流、脳内物質等の脳活動情報を利用して、外部の機器を動かす技術で、脳波の情報を利用したゲームや、考えただけで意思疎通が可能なコミュニケーション支援、念じることでロボットに操作指示を与える技術などがある。

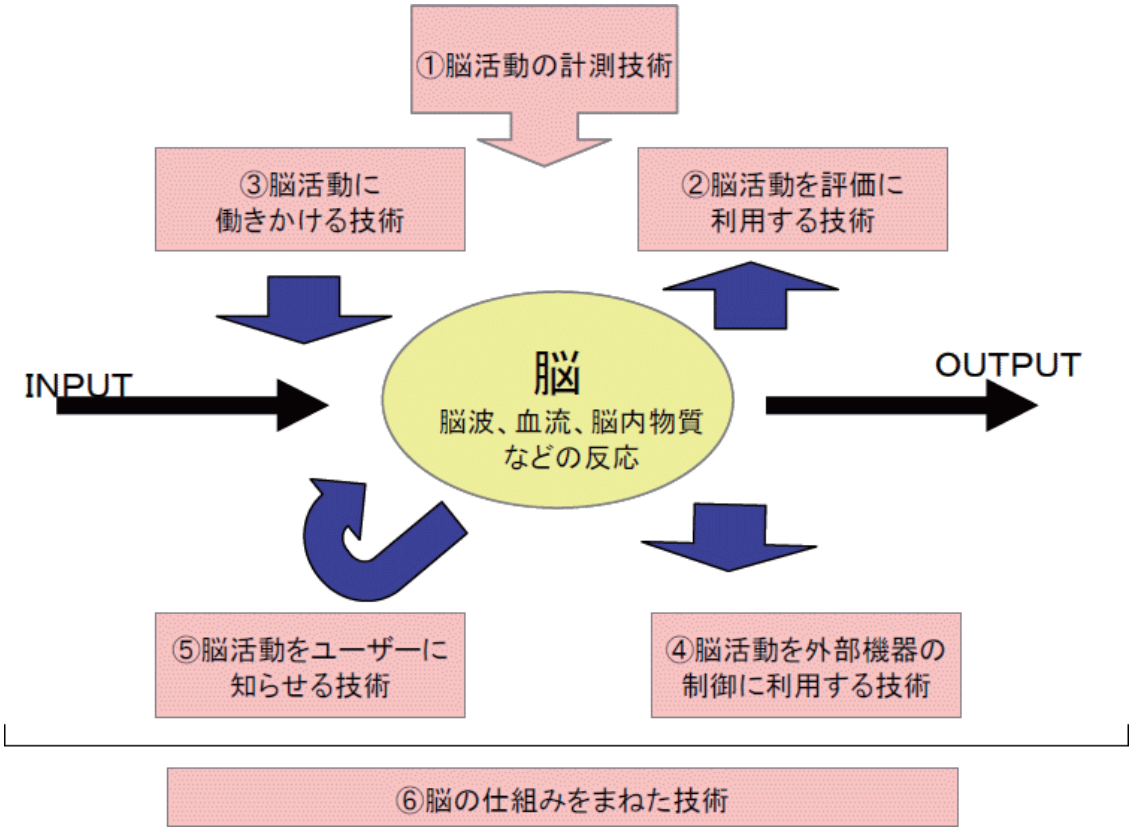


図 5.1-1 脳科学の産業応用における 6 つの脳科学技術タイプ

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

表 5.1-1 脳科学の産業応用における６つの脳科学技術タイプ

技術タイプ	概要
①脳活動の計測技術	脳波や血流、脳内物質等の脳活動を計測する技術である。この技術は、②以降のタイプの産業応用の基盤となるものであり、各種の計測機器が開発されている。具体的には、EEG(脳波 ： Electroencephalogram)、fMRI(機能的核磁気共鳴画像法 ： Functional Magnetic Resonance Imaging) 、NIRS (近赤外線分光法 ： Near-Infrared Spectroscopy)、MEG(脳磁計 ：Magneto Encephalography)等の計測機器およびその周辺機器を指す。
②脳活動を評価に利用する技術	①の計測機器により得られた脳活動の計測結果を基礎として、脳への INPUT 情報である製品やサービスの評価等に用いるものである。主に感覚や情動を司る被験者の大脳の変化・状態を計測し、製品やサービスに対する客観的評価を得ることを目的とするものである。これらの技術は従来のアンケートなどの主観的評価の補完として利用される。昨今話題を集めているニューロマーケティングに関する技術(解析データを解釈するノウハウや計測情報を出力するアルゴリズム)はこれに該当する。またこの技術を応用した結果、脳活動に一定の働きかけを行うことができることが示された商品群(例えば注意力を高めるデザインの車、リラックス状態を起こす飲料、報酬系を刺激する広告等)が開発されている。
③脳活動に働きかける技術	侵襲的あるいは非侵襲的に脳活動に直接働きかけるものである。現時点では薬や電極によって侵襲的に刺激する方法が存在するが、これらは主に医療用途での応用がほとんどであり、産業応用の事例は存在しないと言ってよい。
④脳活動を外部機器の制御に利用する技術	①の計測機器を用いて得られる脳波や血流、脳内物質等の脳活動情報を利用し、外部の機器を動かす BMI 技術等がこれに該当する。具体的な事例としては、脳波の情報を利用したゲーム用コントローラや、考えただけで意思疎通が可能なコミュニケーション支援器具があげられる。
⑤脳活動をユーザに知らせる技術	①の計測機器が表示する脳波や血流、脳内物質等の脳活動の計測結果を、計測されている被験者本人に知らせることにより、本来は意識されない情報を意識させることで、コントロールを促すものである。これらはニューロフィードバック技術と呼ばれる(脳活動情報以外の生体情報を利用する場合はバイオフィードバックと呼ばれるため、ニューロフィードバックは広義のバイオフィードバックであると言える)。具体的な事例としては、注意欠陥(多動性)障害の幼児のリハビリテーション・失禁治療・リラクゼーションやストレスマネジメントへの応用がなされている。また居眠りの前兆を察知し注意喚起する製品等が企画されている。
⑥脳の仕組みをまねた技術	INPUT から OUTPUT までの情報処理の仕組みや、構成要素である神経細胞の働きにヒントを得て開発されているもので、ニューラルネットワークといった情報技術や自動制御ロボット等が該当する。

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

5.2 国内・海外の動向

脳科学研究については、国内・海外ともに医学や臨床の研究が主流である。医学においては、人体の器官である脳の解明、臨床においては、脳疾患の治療における病理解明が中心になっている。工学との融合領域の研究は近年になって日本や欧州で展開が始まっており、心理学・認知科学との融合領域の研究開発が立ち上がりつつある。

5.2.1 国内の動向

国内における脳科学研究全体の予算規模は 300 億円程度(ライフサイエンス分野全体の予算額の約７%)である。医学・生命科学を指向した研究は文部科学省や厚生労働省等で取り組まれており、物理学・情報等工学分野を取り込んだ研究は総務省等において取り組まれている。医学、生物学中心で動物対象の研究が主体であり、心理学、工学、数学、物理などへの投資が薄い。**表 5.2.1-1** に国内における脳科学の取り組み状況を示す。

また、国内各省庁による脳科学関連支援策を**表 5.2.1-2**、脳科学研究プロジェクトを**表 5.2.1-3**、脳科学研究機関を**表 5.2.1-4** に示す。

表 5.2.1-1 国内における脳神経科学の取り組み状況(2009 年度概算)

文部科学省	科学研究費補助金(脳・神経科学系)	62 億円
	脳科学研究戦略推進プログラム	27 億円
	特定領域研究(「統合脳」)	19 億円
	戦略的創造研究推進事業(脳科学領域)	23 億円
	脳科学総合研究事業(理研 BSI)	93 億円
厚生労働省	健康科学研究事業(脳科学分野)	3 億円
総務省	情報通信研究機構運営費交付金(脳情報分野)	8 億円

出典：脳と ICT に関する懇談会 中間とりまとめ

表 5.2.1-2 国内各省庁の脳科学関連支援策

	内閣府			
概要	・平成 18 年 3 月に第 3 期科学技術基本計画を策定(重点推進 4 分野の 1 つにライフサイエンス分野を設定)。 ・「新健康フロンティア戦略」において、「こどもを守り育てる健康対策」「こころの健康づくり対策」において、脳研究推進について触れている。 ・長期戦略指針「イノベーション 25」において、技術革新戦略ロードマップにおける戦略重点科学技術として、ライフサイエンス分野、情報通信分野において、脳科学関連の研究があげられている。			
	文部科学省	総務省	厚生労働省	経済産業省
	・科学技術・学術審議会研究・評価委員会、およびその下部組織であるライフサイエンス委員会において、脳の高次機能の解析がポストゲノムの重要な課題と位置付けている。 ・科学技術・学術審議会に「脳科学委員会」を設置し、脳科学の推進戦略、研究開発計画等の重要事項を策定。 →従来の基礎研究中心から、「社会に貢献する脳科学」も推進開始	・ICT を推進する上で「脳情報インターフェイス技術」は新たなコミュニケーションを生み出す可能性ある技術として認識。重点研究開発課題に位置付けている。 →通信分野への応用を目指した研究を推進	・「こころの健康科学研究」といった精神衛生に関する研究や、脳の高次機能解析といった医療関連の基礎研究を中心に推進。主にアルツハイマーやうつ病を対象疾患としている。 →病因病態等の基礎研究は文部科学省(研究費)が、治療法や診断法等の応用研究は厚生労働省が支援	・「技術戦略マップ 2008」において、バイオテクノロジー、ロボットなどで脳に関する研究ロードマップを提示 ・脳科学の産業分野への展開に関する調査研究を開始し(NEDO)、今後に向けた課題として、シームレスな研究支援策、倫理的合意形成の必要性等を提示 →脳科学の産業応用に向けた積極的推進を開始
研究支援策	・科学研究費補助金の特定領域研究として脳科学研究を推進。総合脳(H10～14 年度)、先端脳(H12～16 年度)、統合脳(16～21 年度) ・また、政策に基づき将来の応用を目指す基礎研究(戦略的創造研究推進事業等)とともに、政策課題対応型研究開発の重点化を推進。	・官民の連携により取り組む研究開発プロジェクトの 1 つ領域として「新 ICT パラダイム創出」を設定 ・非侵襲脳機能計測技術の研究を進め、脳情報通信のためのインターフェイス開発を視野に(NICT で推進)	・厚生労働科学研究費補助金において、「疾病・障害対策研究分野」を設置し、精神・神経疾患の病因および病態の解明、これらの知見に基づいた治療方法の開発等を目的とした研究を支援	・脳の構造と機能特性(情報表現と情報処理機能)の解明により、バイオ産業や医療機器産業、情報関連産業に貢献できることを目指す(AIST で推進)
環境整備支援策	【基盤】 ・脳科学研究戦略推進プログラムにおいて、「モデル動物の開発」が行われる。 ・ニューロインフォマティクス研究の国際協力を推進するために結成されたニューロインフォマティクス国際統合機構(INCF)のインターフェイス機関である Japan Node を理研 BSI の神経情報基盤センター(NIJC)が運営。 ・脳科学委員会では、啓発に資するため国民との双方向のコミュニケーションの場の創出の重要性が議論されている。	【基盤】 ・NICT の「高度通信・放送研究開発委託研究」において、「複数モダリティ総合による脳活動計測技術の研究開発」に研究資金を投資している。	【基盤】 ・厚生労働省、NEDO および製薬企業 10 社からの公的研究資金をもとに、健常高齢者、軽度認知障害患者、軽症アルツハイマー病患者を定期的に検診し、評価基準づくりを行う「J-ADNI」を発足。	【基盤】 ・脳科学の産業応用についての戦略立案およびロードマップの策定の必要性について提言。
	【倫理】 ・総合科学技術会議の生命倫理・安全専門調査会において 2007 年に脳神経倫理学が議題となる。 ・脳科学委員会では、応用技術の開発に伴い想定される倫理的・法的・社会的課題に対する検討の必要性が議論。	【倫理】 ・特に該当するような政策、支援策等は実施されていない。	【倫理】 ・特に該当するような政策、支援策等は実施されていない。	【倫理】 ・脳科学の産業応用についての社会的合意形成や、産業応用の際の倫理基準の明確化の必要性について提言。
	【人材】 ・生理学研究所において、脳機能イメージングのトレーニングコースが定期開催される。 ・脳科学委員会では、学部の枠組みを越えた学際的教育プログラムの必要性や専任教員の配置された脳科学研究教育センターの設置の必要性を提言している。	【人材】 ・特に該当するような政策、支援策等は実施されていない。	【人材】 ・特に該当するような政策、支援策等は実施されていない。	【人材】 ・脳科学と産業分野を結ぶ人材(目利き)の育成の重要性について提言。

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

表 5.2.1-3 国内各省庁の主な脳科学研究プロジェクト

文部科学省	総務省	厚生労働省	経済産業省
・脳科学研究戦略推進プログラム(JST) (H21 年度概算要求 27 億円、H20 年度 17 億円) ・科学研究費補助金(JST) 特定領域研究として「統合脳」5 領域を設置(H17～22 年度 19 億円/年) ・戦略的創造研究推進事業(JST) ①CREST ②さきがけ③ERATO 型(脳科学領域に H19 年度 23 億円) ・社会技術研究開発事業(JST) 「脳科学と社会」 ・脳科学総合研究事業(理研 BSI) (H20 年度 93 億円)	・脳情報通信融合研究プロジェクト(NICT と阪大) 阪大と共同で、脳情報通信分野における融合研究プロジェクトを開始。今後 3 年をめどに、世界最高水準の脳計測技術を確立。 【テーマ】 ・戦略的情報通信研究開発推進制度～SCOPE～ ・高度通信・放送研究開発委託研究(NICT)	・こころの健康科学研究事業(脳科学分野で約 3 億円) 【テーマ】 ・長寿科学総合研究事業 ・医療機器開発推進研究事業 ・保健医療分野における基礎研究推進事業(NIBIO)	・「脳科学の産業分野への展開に関する調査事業」(NEDO) (1,000 万円) ・「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」(NEDO) (1,000 万円) 【テーマ】 ・地域新規産業創造技術開発費補助事業 ・地域新生コンソーシアム研究開発事業(一般枠)

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

表 5.2.1-4 国内各省庁の脳科学研究機関(支援機関)

文部科学省	総務省	厚生労働省	経済産業省
・独立行政法人理化学研究所・脳科学総合研究センター(BSI) ・大学共同利用機関法人自然科学研究機構生理学研究所(NIPS) ・大学共同利用機関法人自然科学研究機構基礎生物学研究所(NIBB) ・新潟大學 脳研究所 ・玉川大学脳科学研究所 ・独立行政法人科学技術振興機構(JST)	・独立行政法人情報通信研究機構(NICT) ・国立精神・神経センター(NCNP) 神経研究所神戸研究所/未来 IC 研究センター ・株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR) 脳情報研究所	・国立精神・神経センター(NCNP) 神経研究所	・独立行政法人産業技術総合研究所(AIST) ライフサイエンス分野/脳神経情報研究部門 ・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

近年は政府系機関による脳科学研究への支援が増加している。**表 5.2.1-5** に政府機関による答申、調査報告書を示す。2007 年の「脳科学研究ルネッサンス」答申を受けて、2008 年から多数の研究機関が参加する「脳科学研究戦略推進プログラム」(文部科学省)が始まった。また、NEDO の「脳科学の産業分野への展開に関する調査事業」「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」によって、多数の企業が脳科学応用への興味を示し、参加を希望していることが明らかになった。同報告書で脳科学の専門家が不足していることが指摘されたことにより、2010 年から民間企業主体で「応用脳科学コンソーシアム」が始まった。

表 5.2.1-5 近年の政府機関による答申、調査報告書

2002 年 3 月	文部科学省	「脳科学と教育」研究に関する検討会
2007 年 5 月	文部科学省	脳科学研究ルネッサンス
2008 年 3 月	NEDO	脳科学の産業分野への展開に関する調査事業
2009 年 3 月	NEDO	脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業
2009 年 6 月	文部科学省	長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想および推進方策について
2010 年 4 月	総務省	脳と ICT に関する懇談会

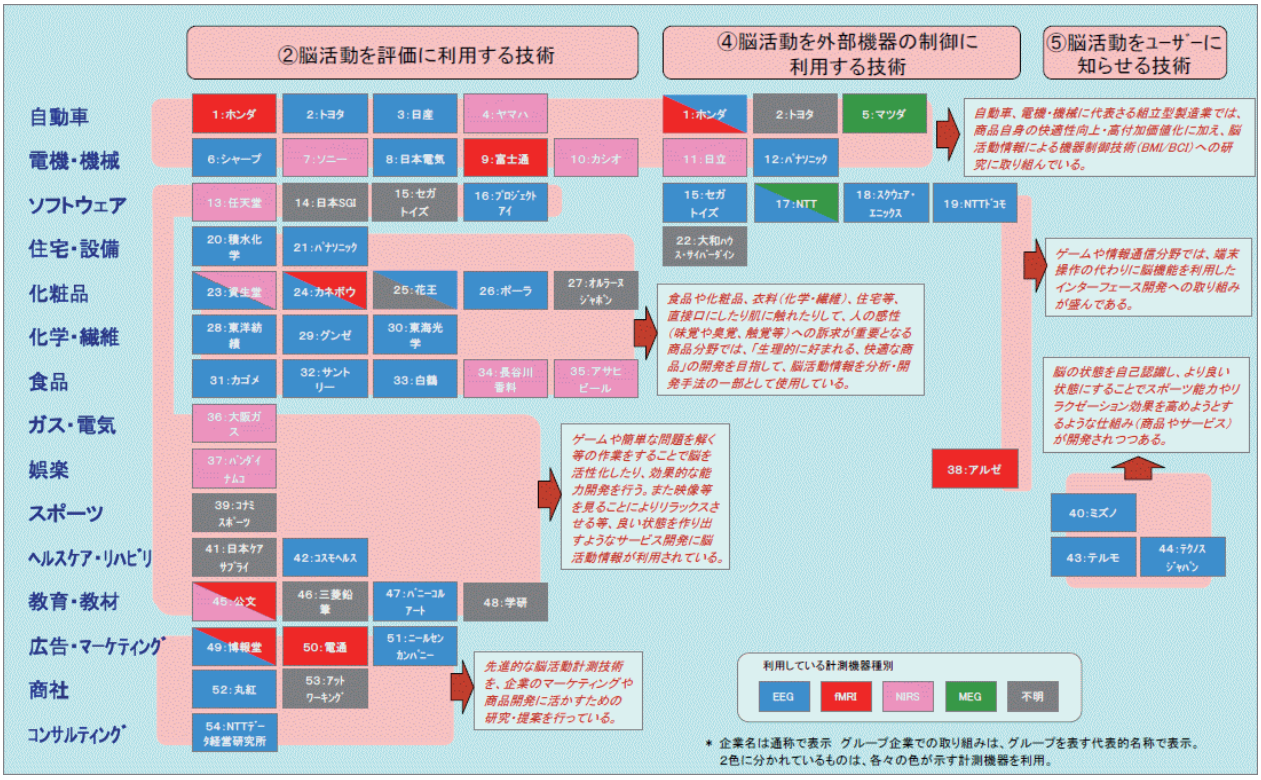


図 5.2.1-1 脳科学計測技術ユーザ企業の全体マップ

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

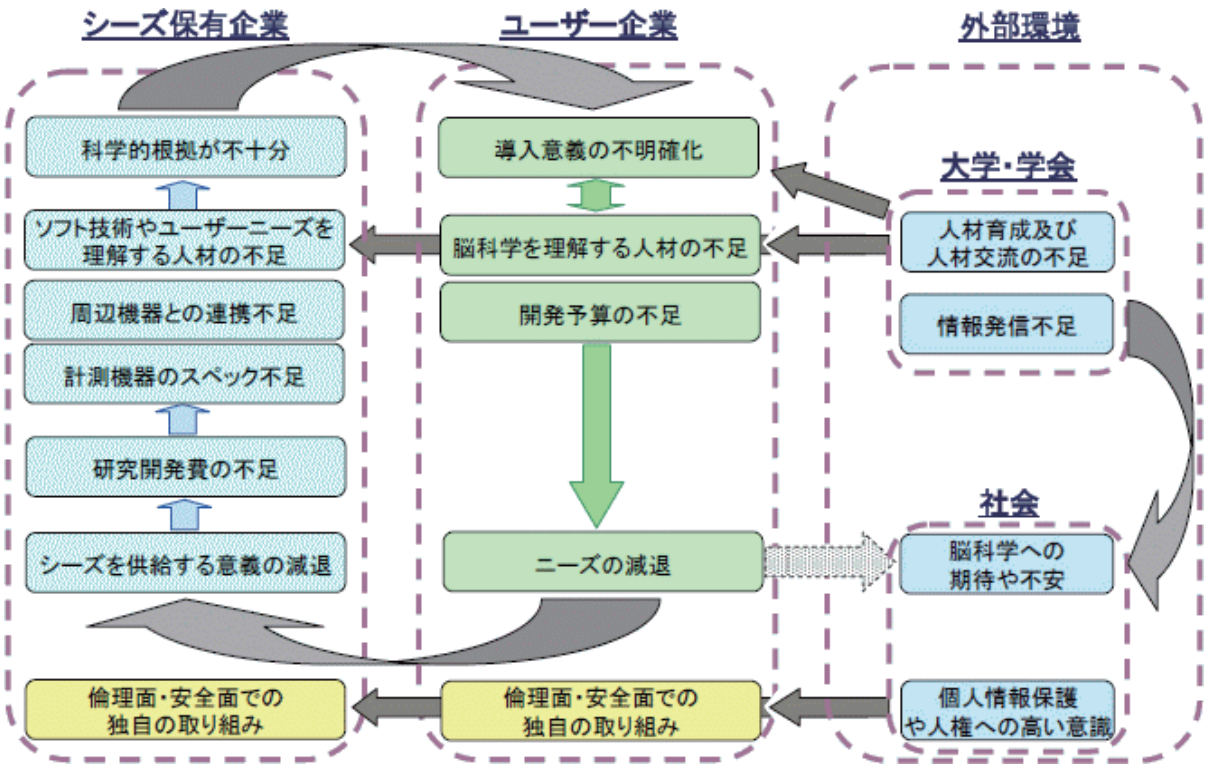


図 5.2.1-2 産業応用の各課題点の構造

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

図 5.2.1-1 に示すように、多くの企業が脳科学の産業応用に参入しており、興味を持っていることがわかる。しかし産業応用に際しての課題が**図 5.2.1-2** に示すような構造となっており、互いに影響しあうことで産業応用が進まない状況であった。特に、脳科学の産業応用においては、正しい知識を過不足無く社会へ伝えていくことが求められるが、産業側に脳科学に精通した人材が不足している。人材不足によって消費者のニーズと脳科学のシーズを結びつけられないことが指摘されており、脳科学の産業応用を支えるための場が求められていた。

これを受けて、民間企業による応用脳科学コンソーシアムが発足した。異業種の民間企業と異分野の研究者が脳科学およびその関連領域の最新の研究知見を基盤に、「研究開発」「人材育成」「人材交流および啓発」に取り組むコンソーシアムである。コンソーシアムでは、「応用脳科学 R&D 研究会」「応用脳科学アカデミー」「応用脳科学ネットワーク」を提供している。

応用脳科学 R&D 研究会は、研究成果の事業活用を見据えて、異業種の民間企業と異分野の研究者が、脳科学およびその関連領域の最新の研究知見を活用した応用脳科学研究の推進とその事業活用を目指す研究開発の場である。

応用脳科学アカデミーは、脳科学の基礎知識から最先端の知見にいたる専門的な研究知見を有する脳科学およびその関連領域の研究者を講師として招聘し、事業活用という観点から脳科学を学ぶ人材育成の場である。

応用脳科学ネットワークは、会員と研究者の交流、各種研究活動・人材育成活動に資する情報の収集、社会への発信を促進する人材交流および啓発の場である。

図 5.2.1-3 応用脳科学のビジネスインパクト

出典：応用脳科学コンソーシアム

5.2.2 海外の動向

脳科学研究は、欧米においても先進的な取り組みが行われている。

欧米各国における脳科学研究は国家的にも戦略的な位置付けになっており、脳科学関連の研究予算も大きい。ライフサイエンス分野全体における脳科学研究予算の比率は、17(米)～19%(英)であり、日本の２倍以上である。アジアでは、中国、韓国で新たに研究所を設立するなど、最近になって取り組みを拡充している。

米国の脳科学研究は、国立衛生研究所(National Institutes of Health：NIH)で主に取り組まれている。NIH の 2006 年度研究開発費の中で、神経科学に投資された予算は約 48.3 億ドル(約 5,800 億円)に上る。これは年間総予算約 285 億ドルの約 17%に相当し、がんの研究開発への投資約 55.8 億ドル(約 19.6%)に匹敵する。米国では神経科学に対する投資が

増加しているが、期待やニーズだけではなく、実際の波及効果も示されている。NIH が公表したデータでは、研究費を投じた新規治療・予防技術により 10 年間にもたらされた経済的利益は、総額 150 億ドル(約 1 兆 8,000 億円)とされている。

米国での脳科学に関する研究開発予算として、国立科学財団(National Science Foundation：NSF)がある。NSF では、生物科学局の予算の統合的な生体科学領域の中に、行動システム、神経回路の細胞生物学的な発達機構、コンピューテーショナル神経科学、神経内分泌、感覚受容システムなどの項目が設定されている。さらに、社会学・行動科学・経済学局の予算として、行動・認知科学領域が設定されている。また、NSF では、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、および、インフォメーションテクノロジーが融合し、コグノ(認知科学)の研究領域が今後大きく発展するとの認識に基づいて、ナノ・バイオ・インフォ・コグノ(NBIC)という研究開発政策が推進されている

英国では、医学研究会議(Medical Research Council：MRC)の 2005 年の神経科学・メンタルヘルス予算は、1 億 660 万ポンド(約 250 億円)で、MRC 予算の約 21%であり、分子細胞生物学・基礎医科学予算の 1 億 9,780 万ポンド(約 38%)に次いで 2 番目のシェアを占める研究領域である。英国保健省(UK Health Departments)全体の研究開発費における疾患種別の比較においても、がんの約 28%に次ぐ約 22%が精神神経関連疾患に配分されている。また、MRC が優先度の高い研究領域としてあげている 4 領域(慢性疲労症候群、多発性硬化症、心の健康に関する神経生物学的基盤、社会性神経科学)が神経科学に直接対応するものであり、高齢化や社会システムの変化に伴う精神神経関連の疾患に重点化する方向性が明確に打ち出されている。

海外の脳科学関連支援策を**表 5.2.2-1**、脳科学研究プロジェクトを**表 5.2.2-2**、脳科学研究機関を**表 5.2.2-3** に示す。

表 5.2.2-1 国外の脳科学関連支援策

	アメリカ	EU	イギリス	オーストラリア
概要	1990 年の大統領告示「Decade of the Brain」を皮切りに、1990 年代から脳科学研究を融合領域研究として位置付け、機関横断的かつ、大規模に推進。 また社会への啓発や人材育成、インフラ整備も大規模に推進。 さらに、脳科学最大の学会北米神経科学会とも連携。	欧州連合(EU)の科学技術政策である「フレームワークプログラム(Framework Program：FP)」の枠内で、欧州委員会(EC)の下部組織である情報社会総局と研究総局の主導により、2000 年から研究政策を立案・推進。 ニューロインフォマティクスを工学に特化させた「Neuro-IT」という新たな概念を打ち出す。	科学とイノベーションを産業促進の両輪ととらえ、より効率的な政策を立案する科学・イノベーション庁(OSI)において、英国研究会議の総括のもと、脳科学を分野横断的研究と位置付け、支援を行う。	国内の脳科学研究組織や人材を有効活用することを目的として、2002 年にオーストラリア神経科学(NSA)が設立された。 また、脳科学研究のための研究材料や技術などのインフラ整備を行うため、NSA を通じて、国立神経科学機関(NNF)が設立された。 これらの設立は、オーストラリア連邦政府の MNRF プログラムによる。
研究支援策	Human Brain Project (最初の 10 年間で百数十億ドル)をはじめ、大規模投資を行う。国立衛生研究所(NIH)では、神経科学領域に約４８億１千万ドルの研究費を投資(当年総年間予算の 17%に相当)。	脳科学をライフサイエンスの側面(研究総局が担当)と情報工学の側面(情報社会総局が担当)の両方からとらえ、研究を推進。	分野横断的研究を助成する Cross-Council Funding Agreement の中で Brain Science Program と e-Science Program を策定、研究とインフラ整備を行う。	国内の主要な脳科学研究機関としてニューロサイエンス・ビクトリア(NSV)、サウスオーストラリア神経科学研究所(SANI)などがある。 これらの州立の機関を統合して国内の研究推進と成果の産業化を図るためにオーストラリア神経科学(NSA)が設立された。
環境整備支援策	【基盤】 ・1990 年からの 10 年間を「脳の十年」とし、様々なプログラム、式典、活動を通じて脳研究から導かれる利益に対する社会的認識を高める「Decade of the Brain」を実施。 ・「NIH Blueprint for Neuroscience Research」ではインフラ整備を行う。 ・HBP の支援を受け、北米神経科学会において神経科学関連データの包括的 Web レポジトリサイト、Neuroscience Database Gateway (NDG)が立ち上げられた。	【基盤】 ・「脳科学は IT のために何ができるか？」を基本命題とした Neuro-IT 研究の方向性を示すロードマップ「Road map of Neuro-IT Development」を 2006 年策定。 ・Neuro-IT 研究を行う組織・研究者間の情報交換やネットワーク作りを行う「Neuro-IT.net」を構築。知財・人財の交流を図る。また、基礎研究のポテンシャルを、産業界、経済界の関連団体、企業に伝える。	【基盤】 ・医学研究会議(MRC)が OECD の声明を受け、The UK Neuroinformatics Network を立ち上げ、ネットワークの整備を行う。	【基盤】 ・国立神経科学機関(NNF)は、イメージングデータベースやモデル化のためのプラットフォームの開発のほか、国際ニューロインフォマティクス統合機構(INCF)のオーストラリアノード設立を目指す。
	【倫理】 ・大統領生命倫理評議会において、2004 年、脳神経倫理学が議題に上がる。	【倫理】 ・FP6 において脳神経倫理学を含めた生命科学研究の倫理問題に関する活動プロジェクトが盛り込まれる。	【倫理】 ・ロンドン大学において 2007 年、「欧州における脳神経科学と社会学の連携」という五ヵ年プロジェクトが発足している。(政策ベースのものは該当なし)	【倫理】 ・特に該当するような政策、支援策等は実施されていない。
	【人材】 ・NIH Blueprint for Neuroscience Research にて、トレーニングコースの開設に公募が行われた。	【人材】 ・Neuro-IT.net で年一回、大学院生やポスドクを対象としたニューロインフォマティクスのトレーニングコース European School of Neuro-IT and Neuroengineering を開催。	【人材】 ・The UK Neuroinformatics Network の中で、ニューロインフォマティクスのワークショップやトレーニングコースを開催。	【人材】 ・オーストラリア神経科学(NSA)は、国内の脳科学研究に関する人材を有効活用することを目的の一つとしている。

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書

表 5.2.2-2 国外の脳科学関連研究プロジェクト

アメリカ	EU	イギリス	オーストラリア
■Decade of the Brain 脳研究から導かれる利益に対する社会的認識を高める活動。シンポジウム開催や出版物発行などの活動が行われた。 ■Human Brain Project (HBP, 10 年間で百数十億ドル) NIH をはじめ、NASA、NSF、DOE などの助成も受けた大型プロジェクト。第 1 フェーズは“feasibility studies”の 10 年とし、第 2 フェーズは“refinement, updating and maintenance, integration”の 10 年とした。 ■NIH Blueprint for Neuroscience Research NIH の 16 の機関によるプロジェクト。神経科学研究における基盤技術の整備(マーカー探索、イメージング技術の開発、ニューロインフォマティクスの整備等)を目的とする。	■Neuro-IT(FP5 期)、BIO-i3(FP6 期)イニシアティブ ニューロインフォマティクス(NI)と人工知能(AI)の融合領域を指す新たな言葉「Neuro-IT」を打ち出し、その研究推進に取り組む。Neuro-IT イニシアティブでは脳科学の知見から情報処理の新しいパラダイムと技術を導き出すことを、BIO-i3 イニシアティブでは脳のプロセスを解読しその知見を情報技術に応用することを目指した。 ■Bio-ICT Convergence(FP7 期) Neuro-IT というコンセプトに加え、Bio-ICT というコンセプトを加え、ライフサイエンスと情報通信技術の相乗効果を狙ったプロジェクト。2000 万ユーロ(約 30 億円)が投資される予定。	■Brain Science Program 医学研究会議(MRC)、バイオテクノロジー・バイオサイエンス研究会議(BBSRC)、研究会議中央研究審議会(CCLRC)、工学・自然科学研究会議(EPSRC)の 4 つの会議による研究支援プロジェクト。 ■e-Science Program 様々な専門分野間のデータ共有と研究連携を強化することを目的とした研究開発推進プログラム。この中で、「脳の理解」というテーマを設け 2006 年より神経生理学的データを対象とした CARMEN プロジェクトが開始された。	■オーストラリア神経科学(NSA)、国立神経科学機関(NNF) オーストラリアの国際競争力イノベーション計画 Backing Australia‘s Ability の一つである Major National Research Facilities プログラム(MNRF : 国内の研究インフラ整備・強化、研究成果の産業化推進を目的としたプログラム)の支援で設立された。NSA は、国内に点在する州立の研究組織や人材を有効活用することを目的としたコンソーシアム。NNF の活動支援を行い、国内のインフラ整備を進めるとともに、研究成果の商業化も意識した活動を行っている。NNF は国内の神経科学研究機関と大学で構成されるコンソーシアムであり、8 つの開発ユニットが互いに連携しながら脳科学研究のためのインフラ整備を行っている。 ■The Australian Imaging, Biomarker and Lifestyle(AIBL) 連邦科学産業研究機構(CSIRO)で進める研究プログラム Preventative Health Flagship Program のもとで始まった、アルツハイマー病の解明を目的とした cohort 研究。CSIRO からは 3 年間で 1,000 万オーストラリアドル(約 9 億円)の資金援助が行われる。60 歳以上の健常者または早期アルツハイマー病患者から 1,000 人のボランティアを募り、PET を用いて脳画像を収集し、その結果を遺伝的要素や認知障害の度合いにより比較解析する。

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告

表 5.2.2-3 国外の脳科学関連研究機関

アメリカ	EU	イギリス	オーストラリア
・国立衛生研究所(NIH) ・国立科学財団(NSF)	・欧州委員会(EC)の構成部局：情報社会総局 ・欧州委員会(EC)の構成部局：研究総局	・医学研究会議(MRC) ・バイオテクノロジー・バイオサイエンス研究会議(BBSRC) ・研究会議中央研究審議会(CCLRC) ・工学・自然科学研究会議(EPSRC)	・オーストラリア神経科学(NSA) ・国立神経科学機関(NNF) ・ニューロサイエンス・ビクトリア(NSV) ・サウスオーストラリア神経科学研究所(SANI) ・連邦科学産業研究機構(CSIRO)

出典：「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告

5.3 技術動向

脳科学と他の分野の融合領域が急速に広がり、脳科学と工学分野、心理学・認知科学との融合領域の研究開発が立ち上がりつつある。

5.3.1 脳活動の計測技術

近年の計測素子の小型化・高性能化や演算速度の高速化等を背景に、各種の非侵襲脳活動計測方法が格段に高度化、高性能化が進んだ。これによって、従来では困難であった微細な脳活動を、人体に大きな負担をかけずに実時間で測定することが可能になった。これらの測定に用いられる非侵襲計測技術およびその利用では､日本は世界をリードしている。

外科手術によって脳に電極を埋め込むなどの侵襲型の測定法と異なり、身体を傷つけることなく測定が可能な非侵襲型の測定法が注目されている。非侵襲での脳活動測定に用いられている技術は、高空間分解能の「fMRI」、高時間分解能の「MEG」、低拘束で柔軟性に優れる「NIRS」、低拘束で高時間分解能の「EEG」がある。

fMRI(機能的磁気共鳴映像法 Functional Magnetic Resonance Imaging)は次の原理で脳活動を測定する。強い磁場をかけると脳内の水素原子が特定の周波数の磁気を吸収(共鳴)する。血液中のヘモグロビンは、酸素の量が多いときと少ないときで、磁場に対して性質が変化する。これらの性質を利用して、脳が活発に働きヘモグロビン量の多い血液が多く供給されている部分を表示できる。脳全体を直径２mm 程度の範囲に区切って各範囲の活動を調べることも可能で、また全体を見ることもできるため、空間分解能は高い。画像を作成するのにかかる時間は１枚あたり数秒ほどである。ただし、高価な機械であり、測定中の騒音が大きい。また性能の高いコンピュータが必要であり、技術的に高度であるため、専門的な知識を持った人材が必要である。

MEG(脳磁図 Magneto Encephalograph)は次の原理で測定する。脳内で発生した微弱な電流によって右ねじ方向に磁場が発生し、この磁場を頭皮上に設置した SQUID(超伝導量子干渉素子)を使って感知する。 SQUID には超電導が使用されており、微弱な磁場も検出することができる。脳内に発生した電流がつくる磁場を検出する手法なので、脳内に電位を検出する脳波計と原理的に同じ測定を行っている、しかし、電位はスカラー量であるのに対して､磁場の計測がベクトル量であるため､MEG は時間分解能と空間分解能が高い。

NIRS(近赤外線分光法 Near-Infrared Spectroscopy)は次の原理で測定する。近赤外光は骨や筋肉、水等を透過しやすく、血液中のヘモグロビンの酸素量により吸収される量が異なる特徴がある。その性質を利用して、近赤外光を頭部に照射し、反射光によって大脳新皮質の活動を計測する技術である。光トポグラフィは NIRS の原理を利用して、血液量の変化を二次元的に表示する手法である。測定機器が小型であり、携帯型の測定機器も開発されている。

EEG(脳波計 Electroencephalogram)は、脳の表面の電気的な変化を測定する装置であり、脳の複雑な高次機能部分の活発さを測定することができる。通常は小さな金属の円盤の電極を、電気を通すゲル状の薬剤で頭部に固定して計測しており、電極の数は１～２個程度から 100 個程度使用する場合もある。一般に名前が知られているアルファ波やベータ波も EEG で発見されたものである。EEG の長所として時間分解能が高い点があげられるが、空間分解能は取り付けた電極の数以上に細かく脳を分割することはできない。脳波の信号からどこでどのように活動が行われたかを正確に知ることは難しく、EEG は脳の全体の活動を調べるときに使われる。

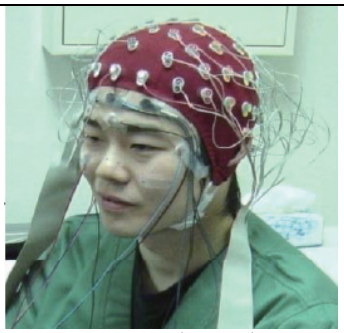
	高空間分解能	高時間分解能
大型装置 身体固定 高価 用途限定	 機能的核磁気共鳴画像法(fMRI) 血流の変化	 脳磁界計測(MEG) 脳磁界の変化
小型携帯 自由行動 安価 一般用途	 近赤外光計測(NIRS) 赤血球量・酸素交換量の変化	 脳波計(EEG) 脳波(電気活動)の変化

図 5.3.1-1 非侵襲脳機能測定技術

出典：脳と ICT に関する懇談会 中間とりまとめ

5.3.2 脳活動による外部機器制御

本章で説明する BMI 技術には、用途や手法別に**表 5.3.2-1** に示すような種類があり、主に出力型(脳の情報を読み出し機械等に出力)と入力型(脳に入る感覚情報を機械経由で入

力)に大別される。

表 5.3.2-1 BMI の種類

BMI	出力型	【医療福祉用】 治療型	【侵襲型】 中枢刺激型 (脳の表面・内部に電極を設置)	電極で神経回路を刺激することでその動作を回復・正常化	パーキンソン病、慢性の中枢性疼痛等に対して、震え、痛みの症状を軽減
			【侵襲型・低侵襲型】 機能代償型 (脳の表面・内部に電極を設置)	脳活動を計測し、計測結果をパターン認識等で解析し、運動の指令・意図を解読して機械に伝送	骨髄損傷や ALS(筋委縮性硬化症)など、運動・コミュニケーションが困難な場合に、その運動等の行為を機械に伝達
		【一般用】 汎用型	【非侵襲型】 機能代償型 (頭皮表面にセンサ(電気・光)を設置)	脳活動を計測し、計測結果をパターン認識等で解析し、運動の指令・意図を解読して機械に伝送	運動・コミュニケーションが困難な場合に、その運動等の行為を機械に伝達
	入力型		【侵襲型】 人工感覚型 (感覚器官の表面・内部に電極を設置)	機械と神経を直接繋ぎ、脳に神経を電蔵することで、聴覚、視覚等の感覚に知覚を発生	目、耳等の知覚が失われている場合の人工網膜、人工内耳

出典：脳と ICT に関する懇談会 中間とりまとめ

出力型では、脳の内部に電極を設置する方法(侵襲型)が欧米等で開発されてきた。手術を伴わず、頭皮表面上のセンサから脳活動を計測し(非侵襲型)、その計測結果から運動の指令や意図を読み出す技術が海外でも研究されている。しかし、脳波だけを用いる場合、使用には長期間の訓練を必要とすることや、統計的な手法を用いてもそれほど性能が上がらないことが問題点とされてきた。

日本では、単純に脳波を用いるだけではなく、fMRI や MEG、NIRS 等を組み合わせることで脳血流や脳磁場を測定する非侵襲測定技術で世界をリードしている。すでに、被験者が見ている画像の再構成、被験者が考えたじゃんけんの手の表示、被験者が念じた動作をロボットで再現させること(**図 5.3.1-1**)などに成功している。日本が非侵襲測定技術で優位性を持っている理由としては、先端医療や MEMS 技術等の工学分野、信号のデコーディング等の計算論的神経科学がともに進展したことが考えられる。また、計測機器では、NIRS の世界シェアを日本の島津製作所と日立製作所の 2 社でほぼ占有しており、近年は、少数のチャンネルで測定する技術や、測定信号を無線で伝送する技術が開発されている。従来は大型の装置を用いて利用者に制約が多かったために使用が限定的であったが、携帯型システムが実現することで、より多くの利用者に適用することが期待されている。

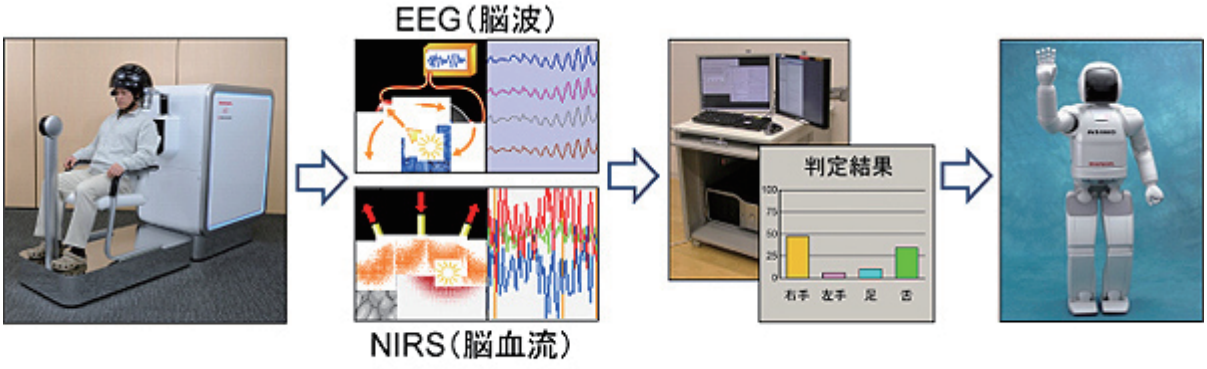


図 5.3.1-1 Honda、ATR、島津製作所が共同で、考えるだけでロボットを制御する BMI 技術を開発(2009 年 3 月 31 日)

出典：ホンダ報道発表資料

5.4 事例紹介

BMI に関する国内の先進的な取り組みのうち、国際電気通信基礎技術研究所と産業技術総合研究所の事例をあげる。

5.4.1 国際電気通信基礎技術研究所

本研究部会では、2010 年 11 月 5 日に株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)を訪問し、調査を行った。

ATR は電気通信分野における基礎的、独創的な研究を推進することを目的に、1986 年に設立された。1989 年からは、現在のけいはんな学研都市の中核として研究開発が進められている。また、研究成果はグループ会社によって市場展開されている。

ATR には脳情報通信総合研究所と情報環境総合研究所の 2 つの組織があり、情報通信技術の研究を基盤として、脳科学とロボティックスを中心にした幅広い研究を行っている。脳情報通信総合研究所では、脳機能を理解すること、得られた知見を応用してコミュニケーションを実現すること、基盤技術としての BMI 開発などがテーマとなっており、脳の情報処理を情報通信に活用する研究に取り組まれている。情報環境総合研究所では、将来の情報通信環境実現のためのネットワークシステムやインターフェイスの開発がテーマとなっている。ATR でのロボット研究は、システムが連携して人との関係を築く研究となっている。ロボットの構造や動作ではなく、多様なシステムと連携する人とロボットのインターフェイスの研究に注力している。2009 年 3 月には、ホンダ、島津製作所と共同で、小型の脳波計を用いて考えるだけでロボットを制御する BMI 技術を発表しており、BMI の先駆的な取り組みが注目されている。

訪問当日はオープンハウス 2010 が開催されており、ATR で取り組まれている研究のパネル展示やデモンストレーションが行われた。

本研究部会で調査している生活支援分野への活用については、次のような技術の展示があった。

・　BMI の基礎となる脳活動の計測や認識技術(非侵襲で脳活動を計測する技術、様々な脳計測装置のデータを統合する技術、脳信号を解読する技術など)
・　ユビキタス技術等の情報通信技術(複数のロボットやシステムの連携技術、高齢者を支援するシステムのインターフェイス、健康管理システムなど)

人が何を考え、何をしているのか、を機械に伝える脳科学研究、機械の情報を人にどうやって伝えるのか、のロボティックス研究、それらを支える安定・高速通信の基盤研究、それぞれに幅広く取り組まれている。

ATR でのロボット研究は、人には出せない力やスピードを持ったロボットではなく、人とのコミュニケーションに使うためのロボット技術であり、メーカ等とは異なるアプローチの取り組みとしても非常に興味深い。

BMI については、ようやく何ができそうか見えてきた段階であり、計測機は大がかりで、被験者も限られている。実用化はまだかなり先のことになると思われるが、煩雑な動作や手順などのコマンドによらない操作方法として、将来性に期待したい。

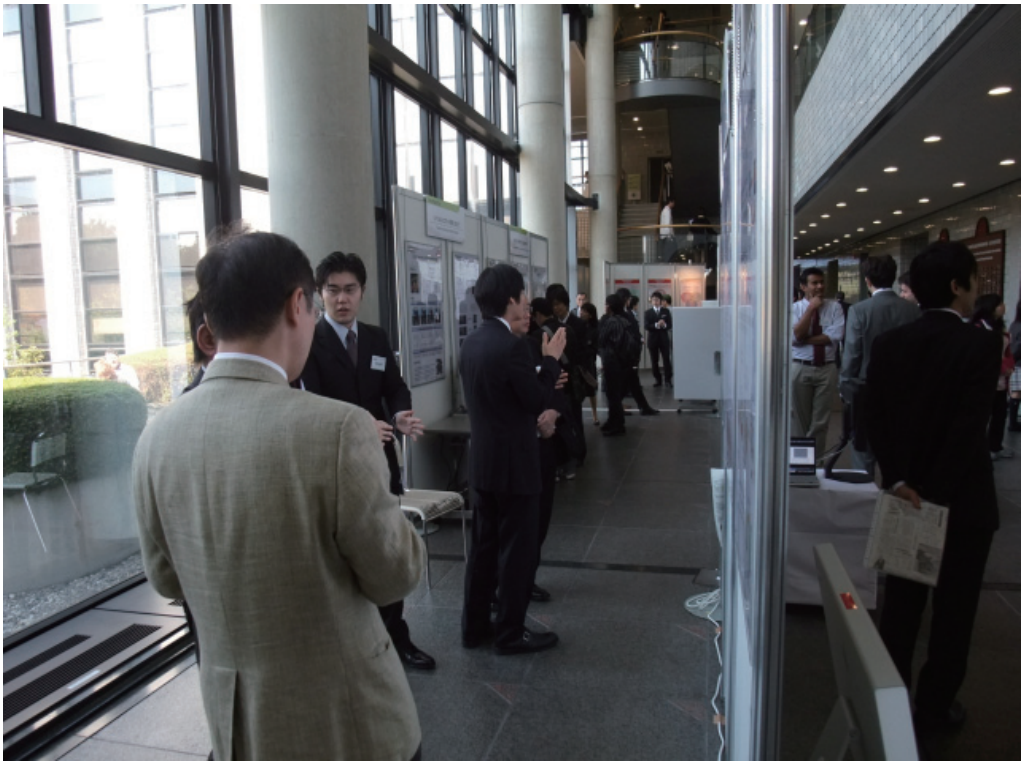


写真 5.4.1-1 パネル展示の様子

(オープンハウス 2010 より)

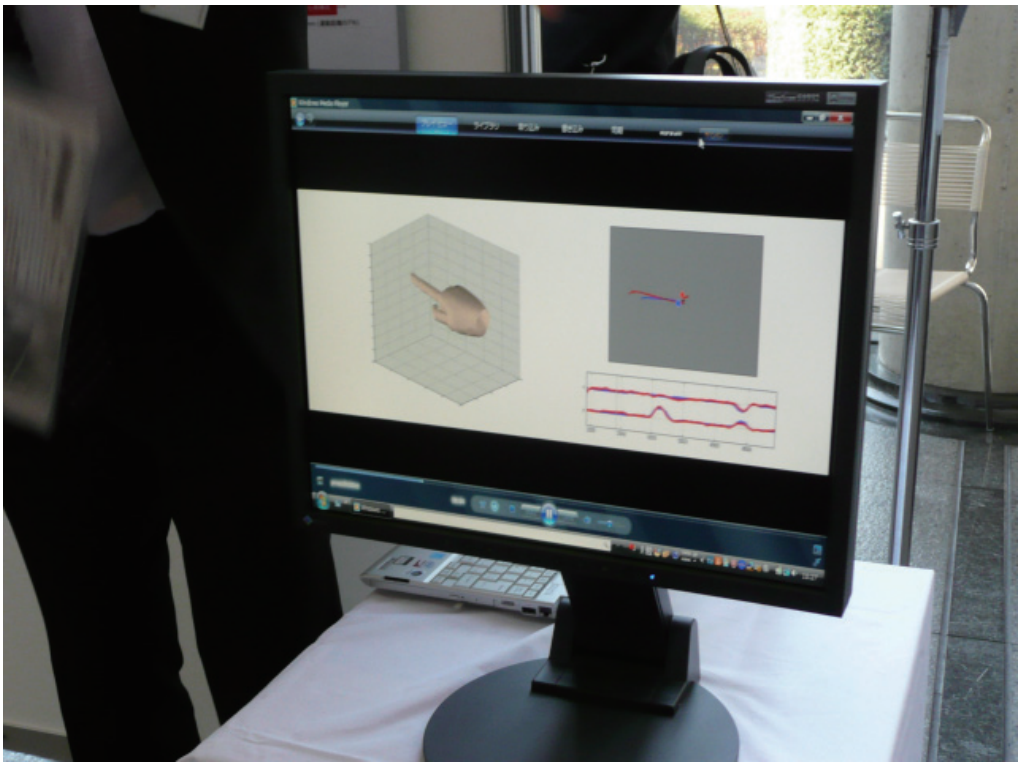


写真 5.4.1-2 脳計測から指先の動きを再現する技術

（オープンハウス 2010 より）

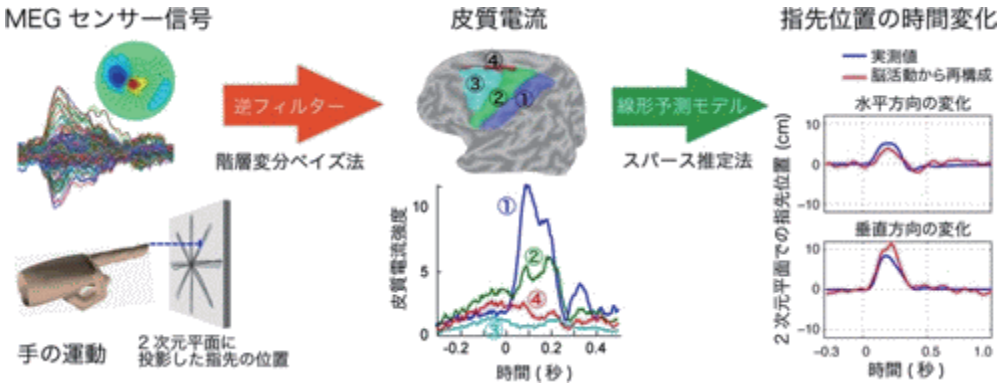


図 5.4.1-1 脳活動から指の動きを再現する技術

出典：ATR 配布パンフレット

写真 5.4.1-3 遠隔操作型アンドロイド「テレノイド」のデモンストレーション

（オープンハウス 2010 より）

5.4.2 産業技術総合研究所

産業技術総合研究所は、重度運動障害者の自立支援を目的とした BMI システム「ニューロコミュニケーター」を開発した。このシステムは、重度の運動機能障害によって発話や書字が困難となった患者を対象として、脳波から意思を解読して外部への意思表示を可能にするものである。当初は、10 万円以下の価格で 2013 年ころに実用化、販売開始を予定していたが、患者側からの問い合わせや相談が多かったため、計画を繰り上げて 2011 年夏ころに製品化することになった。

モバイルコミュニケーターの特徴は「モバイル脳波計」「高速・高精度の脳内意思解読アルゴリズム」「意思伝達支援メニュー」である。

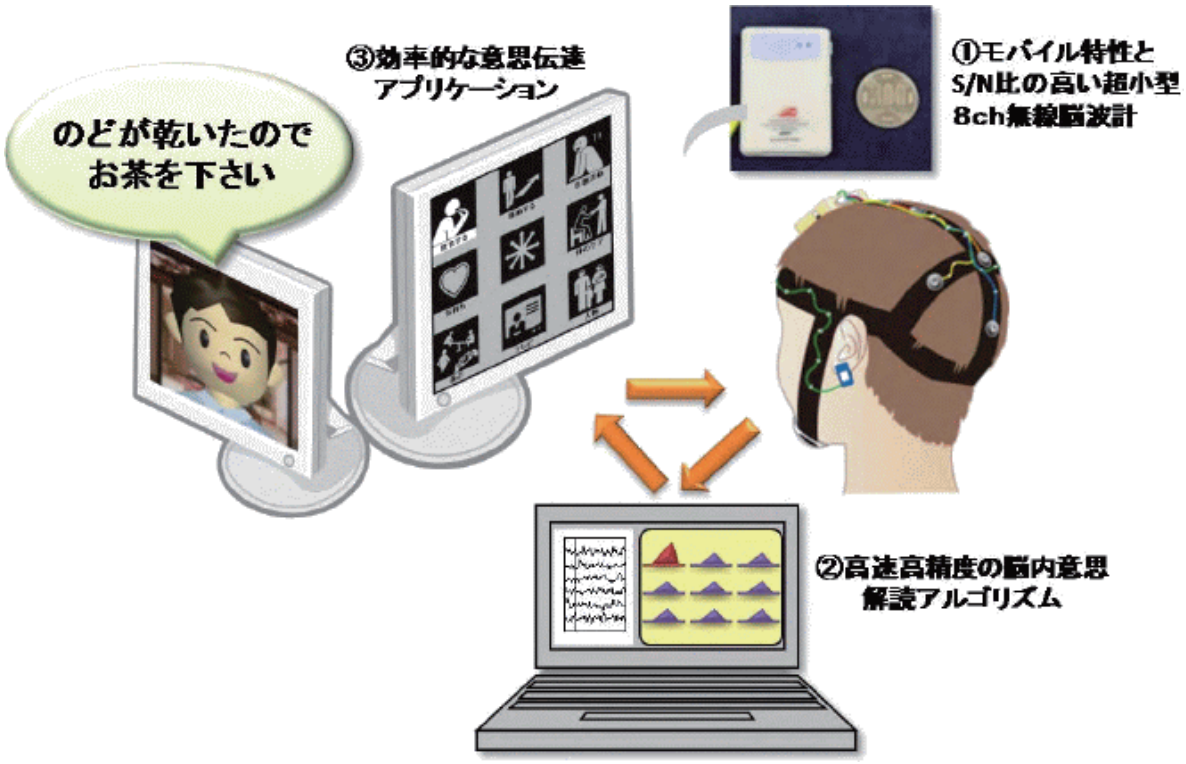


図 5.4.2-1 ニューロコミュニケーターの模式図

出典：長谷川良平,障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト「重度運動機能障害者の意思伝達を支援する認知型 BMI 技術の開発」平成 21 年度総括研究報告書,2010.4

①モバイル脳波計の開発

８チャンネルの頭皮上脳波を計測できる超小型無線脳波計で、実用化を目指す BMI 装置としては世界最小レベルである(図 5.4.2-2)。信号伝送はケーブルを使わず、無線で行っている。

②高速・高精度の脳内意思解読アルゴリズム

従来は数十回の試行を平均して、P300 誘発脳波の反応の強さの違いによってユーザの選択を予測・推測していた。脳内意思決定の時間的変化を定量化するための「仮想意思決定関数」を活用し、高速かつ高精度で予測を行う(図 5.4.2-3)。

なお、P300 誘発脳波とは、視覚刺激や聴覚刺激の提示後、300 ミリ秒後に出現する陽性の電位変化であり、注意や意思決定に関する認知情報処理を反映して反応の強さが変わることがわかっている。

③効率的な意思伝達支援メニュー

図 5.4.2-4 のように画面に提示された８種類の絵文字の中から伝えたいメッセージと関連のあるものを１つ選ぶ、という作業を３回連続で行う。それら３つのピクトグラムの組合せ(８の３乗)で最大 512 種類のメッセージを作成することができる。選択肢のピクトグラムを擬似ランダムにフラッシュして P300 脳波を誘発する機能を付加することによって、脳波によっても入力できるようになる。

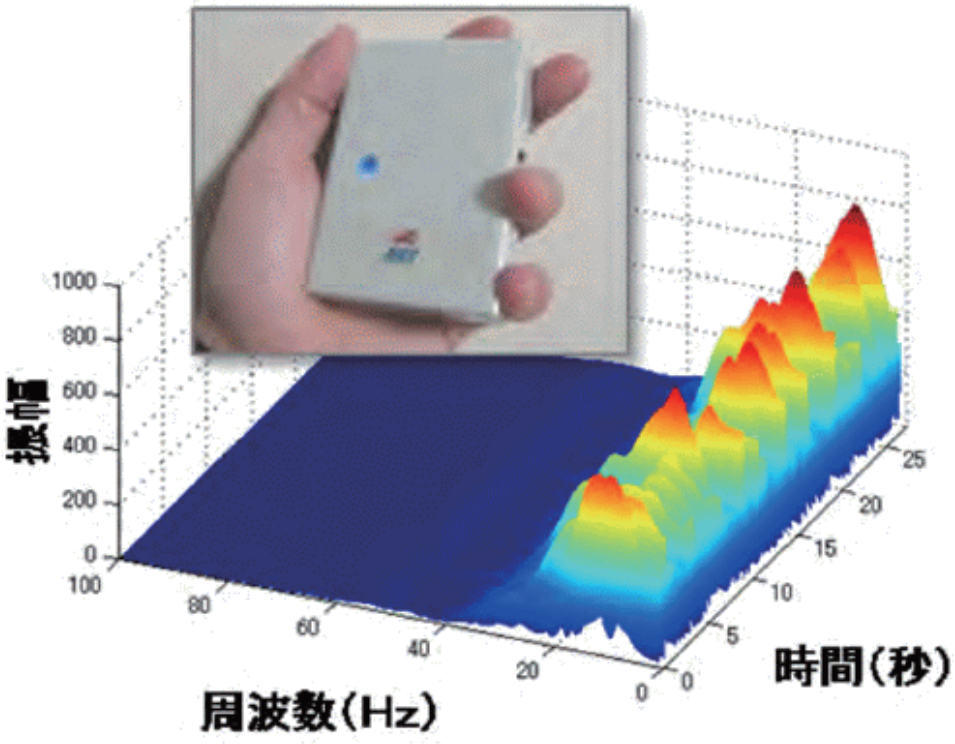


図 5.4.2-2 小型無線脳波計の試作実績

出典：長谷川良平,障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト「重度運動機能障害者の意思伝達を支援する認知型 BMI 技術の開発」平成 21 年度総括研究報告書,2010.4

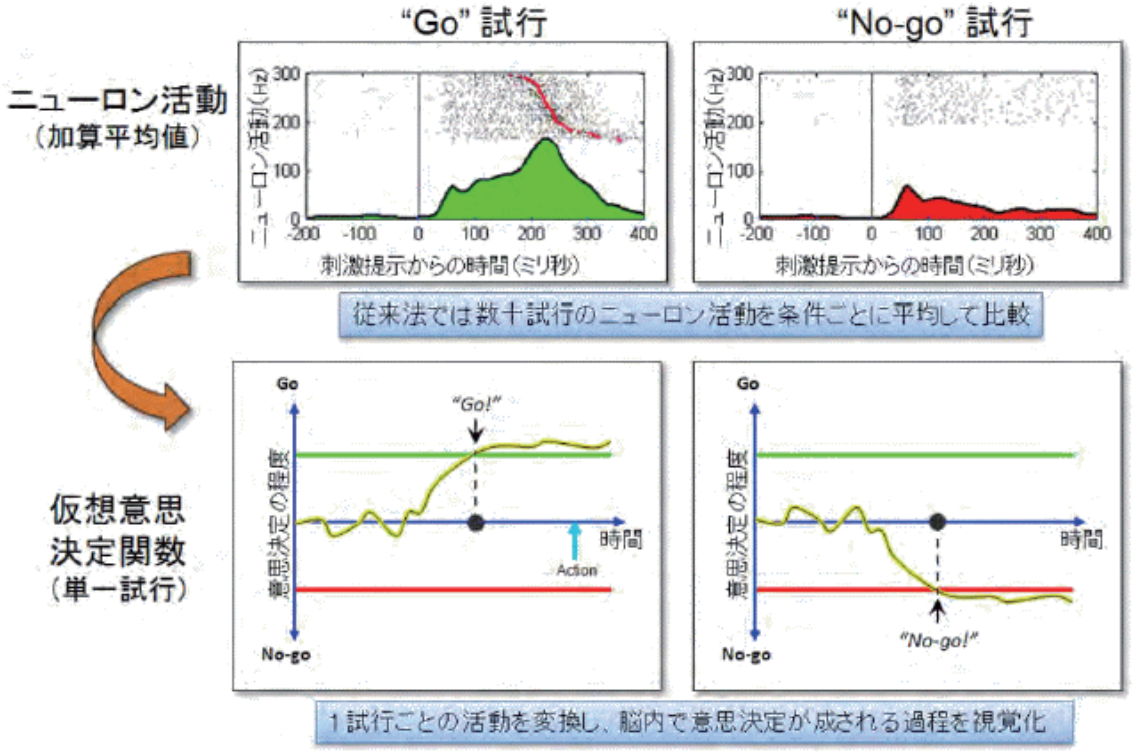


図 5.4.2-3 仮想意思決定関数を用いた脳内意思解読

出典：長谷川良平,障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト「重度運動機能障害者の意思伝達を支援する認知型 BMI 技術の開発」平成 21 年度総括研究報告書,2010.4

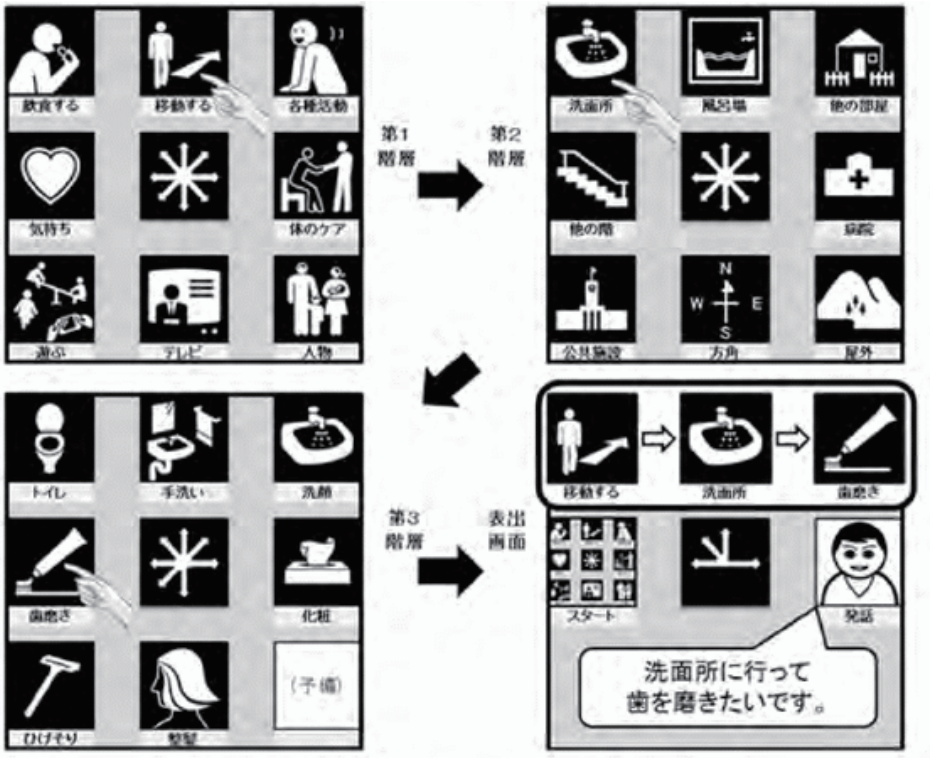


図 5.4.2-4 階層型メッセージ生成システム

出典：長谷川良平,障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト「重度運動機能障害者の意思伝達を支援する認知型 BMI 技術の開発」平成 21 年度総括研究報告書,2010.4

5.5 まとめ

これまでの生活では、人間は身体の感覚器官や運動器官を通して外界認知やコミュニケーションが行っている。将来はそれに加えて、情報を脳内の信号に変換する手法や、脳内の信号を人間に理解可能な形に変換する手法など、BMI 技術の発展に伴って、言葉を使わないコミュニケーションや身体を使わない知覚ができる可能性がある。

脊髄損傷、筋萎縮性側索硬化症(ALS)、重度の脳卒中などに対しては、文科省、厚労省、経産省などでプロジェクトがすでに推進されている。軽度の機能低下・障害に対応して、日常生活を支援し、機能を補完できる技術によって、高齢者や障害者に優しい社会を構築することが期待されている。

今後も、利用者への負担を軽減し、広範囲の行動を支援する研究開発が進められる。特に、頭部に装着するセンサ類の小型化・軽量化などのセンシング技術、さらに複雑な動作や心情を推定する解析技術の発展が望まれる。

第 6 章 医工連携の取り組み

サービスロボットに関連して医療機器産業に異業種民間企業（エンジニアリング企業や総合建設業）が参入することのできる分野や手段を調査した。戦略は３つ。

○ 大手商社のバイイングパワー（買い手側が持つ購買力）を活かす富山の薬売り風ビジネス。できるだけ多数の医療機関（人件費が高い）から、医療行為以外のこまごまとした調達・リース、備品管理・メンテナンス、その他のサービス提供業務を一括受注し効率的に代行する。できればサービスロボットで省力化を推進する。

○ 国交省の旗振りにより進展している高齢者居宅提供がらみのビジネス。認知症高齢者向けのグループホーム等の施設や高齢者向け集合住宅の新築、改築等のサービス。あるいは子会社で福祉施設運営。政権政党が交代するたびに振り回されないよう政策の変更への対応、自社の強みの確立、認知症関連のスタッフ教育が不可欠。

○ 医療機器、福祉機器、介護用品を自社で製造、あるいはこれらのメーカーに部材・部品を供給するビジネス。ベンチャー企業を買収して参入など。国内では薬事法の縛りが極めて厳しいし、多品種少量生産なので、欧州で治験（臨床試験）を済ませ、国内よりも海外（中国）展開を視野に入れる。政治的圧力をかけることも必要。日医の抵抗は強いが、海外・国内拠点を有する企業はメディカルツーリズムも。

調査の過程で、こんな漫画が頭に浮かんできた。

東京には医療島という大きな島があり、病院（王様）や小規模のたくさんの診療所やお役所 A（王様のお友達）などの医療関係者が住んでいる。この島では、「医療で金儲けをしてはいけない。医療を産業化してはいけない。」という掟があるらしい。外部とは橋でつながっている。外国との商売は毛嫌いしているらしい。島外の人は、王様に貢物をしているが、「あなたのためだから、もっともっと」、と言われて少し困っている。

島外には中央政府とか別なお役所 B が住んでおり、ものづくりの民間企業（お役所 B のお友達）は外国の企業とも商売をしているが、中進国の追い上げで儲からなくなった。

時々、民間企業が医療島に頭を下げてお願いすると、入院患者の給食サービスとか、病院の消耗品の配達など医療島の本業ではない分野の手間の掛かる仕事を貰える。最近は本業以外のサービス業務を一括して受注する大手商社も現れ、スケールメリットを活かして医療島のコスト削減に貢献している。ENAA 会員の企業も「建物のメンテナンスや住宅設備・医療機器管理も含めて、もっとうまくできるのに」と言っている。

ものづくりの民間企業は本業（医療機器）関連の仕事もしたいが、良く分からないし、多品種少量の注文で面倒臭いし、医療島の住民は何かとうるさいし、「トラブルを起こすと皆から袋叩きに合うよ」、と脅かされ、迷っている。

米国医療機器メーカーは医工連携により、確実に儲けている。対売上高純利益率は約 20%。日本では約７%であるが、それでも家電や自動車よりもはるかに高く魅力的な市場である。

6.1 ドラッグ・ラグ、デバイス・ラグ

ドラッグ・ラグとデバイス・ラグは一つの言葉のように用いられているが、調査を進めるうちに「いったん体内に入れたら取り出すことができないドラッグ（医薬品）」は、デバイス（医療機器等）とは扱いが異なるものだと分かった。エンジニアリング産業や建設産業にとって取り組み易いものは､第一に医療と関係のない機器および福祉機器･介護用品、二番目に診断用医療機器、三番目（最も大変そうである）に治療用医療機器。

そして、デバイス・ラグのみならず日本のデバイスギャップも大きな問題であると分かった。この節では、主にデバイス・ラグ、デバイスギャップ、医療機器メーカに対する部材・部品供給拒否問題、そして財源問題について述べる。

表 6.1-1 用語解説

国民医療費	一般診療や歯科医療、薬局調剤などで保険者が医療機関に支払った医療費などの総計。医療保険が適用される治療にかかった費用の総額。窓口負担や公費も含まれるが、健康診断や予防接種などは除かれている。
ドラッグ・ラグ	海外で開発・承認された薬が、国内で厚労省に承認され医療現場で使用できるまでの時間差。日本はこの時間差が長い。
デバイス・ラグ	超小型の補助人工心臓、糖尿病用インシュリン自動注入器（コードレス型）など、欧米では当たり前に使われている先端医療機器が日本では承認が遅れるなどして、使えないこと。その時間差。日本はこの時間差が長い。
地域資源	自然資源のほか、特定の地域に存在する特徴的なものを資源として活用可能な物ととらえ、人的・人文的な資源をも含む広義の総称。近年、ご当地ブーム、町おこし、地域ブランドに代表される地域活性化の試みにおいて特徴・素材となるものを地域資源として定義し、活用する考え方が広まっている。
社会資源	利用者の要求の充足や問題解決のために、効果的に利用する様々な有形、無形の人的、物的、制度的資源のすべて。社会資源は、利用者の置かれている状況により（例えば高齢者や障害者等）、多種多様な分類が可能。人的資源、物的資源、そして制度の面から見た福祉サービスなどの公的資源と、ボランティアや各種団体などの地域資源。
デバイスギャップ	欧米で使われている医薬品や医療機器を日本では最初から承認申請を行わない、もしくは行えない（申請控え）こと。
PMDA	独立行政法人医薬品医療機器総合機構。医薬品と医療機器の審査を行っている。医薬品に比べて医療機器の審査体制が弱い。
オーファンドラッグ	希少疾病用医薬品。医療上の必要性は高いが、薬を必要とする患者数が少ない病気に使う医薬品。薬事法では対象患者が 5 万人以下の稀な疾患に用いる医薬品。
公知申請	海外では標準的に使われている場合に、日本では未承認薬でも、科学的根拠が十分であると判断をされれば、治験を行うことなく承認を認める制度。
「ペイアズユーゴー」原則	国家予算の策定などで、恒久的な歳出を必要とする新規の支出や減税などを行う際に、それに見合う財源確保（歳出カットや増税で）を義務付け、収支のバランスを取ること。具体的には、子ども手当を新設する場合は、消費税を○%上げるとか、年金水準を○%下げる、とかして財源を見つける原則。
治療用機器	手術などに用いられる。処置に用いるチューブ・カテーテル、人体の代替機能を果たす人工心肺、レーザ治療器、ピンセットなどがある。
検査用機器	病気を発見するために用いられる医療機器。分析装置、体温計、血圧計、内視鏡、X 線撮影装置、CT などがある。

6.1.1 ドラッグ・ラグ

日本は、新薬の承認審査体制の不備、ならびに治験の基準や環境が整っていないことなどから、欧米に比べて新薬の承認が遅れている。

大手医薬品メーカーの団体である日本製薬工業協会（製薬協）の 2007 年の調査結果は

次の通りで、2004 年調査（日本は 3.9 年）よりも日本だけが延びて、4.7 年となった。

表 6.1-2 ドラッグ・ラグの国際比較 11 の国と地域のうち、長い国と短い国

国名	日本	台湾	韓国	香港	ｽｳｪｰﾃﾞﾝ	ドイツ	英国	米国
年数	4.7	4.3	3.6	3.1	1.5	1.4	1.3	1.2

単位：年

出典：2007 年調査　製薬協

世界売上高上位 100 製薬のうち同一成分の重複などを除いた 90 製薬について、その製薬が世界で初めて発売された時点からそれぞれの国で発売された時点までの日数（年数）の平均

もう一つの視点は薬害訴訟である。サリドマイド、キノホルム、薬害エイズ、薬害肝炎、薬害スモン事件などが問題となった。日本の薬事行政は薬害の歴史と言ってよい。

2004 年に「医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構」「国立医薬品食品衛生研究所医薬品医療機器審査センター」「医療機器センター」が合併して、PMDA（表 6.1－1 参照）となった。ここは、事業仕分け関連ニュースでも、厚労省の天下り先あるいは出向先として時々登場しており、キャリアがのさばる植民地体質の組織といわれているらしい。2010 年 2 月の職員に対するアンケート調査によると、「白人が植民地の奴隷を支配している構造」「頑張ってもキャリアアップできない」など、プロパー職員からの厳しい意見が続出した模様である。

6.1.2 デバイス・ラグ

現代医療の現場では、人と薬だけでなく、多くの医療機器が活躍している。医療機器には、広義には医療の中で使われる医薬品以外の多種多様な物品が含まれるが、工学テクノロジーで進化する検査機器・治療機器・人工臓器などの医工学装置は次の通り。

表 6.1.2-1 医工学装置

分類	医工学装置
予防・検査	心電計・血圧計・血液検査装置・臨床化学検査機器など
診断	内視鏡・レントゲン装置・超音波診断装置・X 線-CT・MRI・PET など
治療	人工心臓・人工心肺装置・人工透析・カテーテル・ステント・レーザメス・ペースメーカ・埋込み型除細動器など
リハビリ	自動間欠牽引装置・低周波治療器・赤外線治療器・マイクロ波治療器など

デバイス・ラグの背景には、PMDA に工学系の専門知識を備えた審査官が育っていないことや、技術革新に伴う頻繁なバージョンアップに対して、医薬品と同様に医療機器まで、その都度一から審査するといった未整備な審査体制、さらに審査にかかる費用が高額で中小企業が参入し難いなどの問題が指摘されている。医療機器など機械類は実際に患者に使用してみて不具合を改良し続けるものであり、人工心臓などでも体内に埋め込み（植え込み）を行った後でも取り出すことがある。

2010 年 12 月 7 日に NHK クローズアップ現代で「解消できるか“デバイス・ラグ”～遅れる日本の医療機器～」が放送され、国立循環器病研究センター名誉総裁の北村惣一郎氏の日本における医療機器審査体制の問題について厳しいコメントが紹介された。

> 「日本では、製品化した後も材質一つ変わるにしても、審査が繰り返され、大変時間がかかる。医療機器は、単純に一つの物質でできてはいないので、材料工学、機械工学、生体内で適合する物質か、血液の中に溶け出さないかという生理学、医学まで非常に広範囲にわたっているものの集約体である。大学で総合的な工学、医学、薬学を含めた教育をやっていないので、横断的に分かる人が育っていない。」

我が国の国民皆保険関連の問題点、医療費抑制圧力、薬害事件などに関係する薬事法等の縛り、医薬と医療機器の産業としての違いなど、部外者には分からないことが多い。

医療機器が実用化されるスピードは、まず欧州、次に政府の規制が厳しい米国、もっと政府の規制が厳しくて企業にとって魅力の薄い日本という順番だそうである。

様々な資料を調査する中で、「医工連携の更なる前進のためには、大学の医学部と工学部の連携の場に民間企業が入り込むことで推進される」との意見があった。

医療機器を支えるのは主に精密機械やロボット技術、新材料で、日本メーカの得意分野。米国の手術支援ロボット「ダビンチ」の主要部品も日本製だが、風評被害を恐れるメーカが企業名を公表しない。ダビンチは、米ナスダック上場のイントゥイティブ・サージカルが製造。1990 年代、戦場で傷付いた兵士を米国本土や空母から医師が遠隔操作で手術するという発想から開発を進めた。米国では 2000 年に米食品医薬品局（FDA）が承認、約 1,200 台設置。年間約 10 万件の前立腺がん手術のうち、８割はダビンチが使われている。欧州は約 300 台設置。日本で医療機器としての製造販売が承認されたのが 2009 年 11 月、「先進医療」に認められたのが 2010 年 10 月で国内に僅か 17 台しか設置されていない。

九州大学は 2000 年 7 月にダビンチを導入した。治験を慶應大学とともに取り組み 2002 年に終えた。しかし、輸入販売代理店の撤退などで承認申請されない状況が続き、別の医療機器メーカが米国の治験データを提出して承認されるまで、10 年近くかかった。治験を担当した橋爪誠九州大学先端医療イノベーションセンター教授は次のように述べた。

> 「薬だけでなく医療機器の承認も日本は遅い。この 10 年に、症例数や技術で世界に大きく差をつけられた。国が医療保険で認めないと企業も販売や開発に乗り出しにくい。国には先端医療を育てていこうという機運がない。」

ダビンチは高さ 1m75cm の装置に 4 本の「手」が付いている。1 本に目の役割をする内視鏡、3 本には、癌などを切るための鋏のような鉗子（かんし）が延びており、1 本の長さは 50cm。これがチューブを通じて患者の体内に入れられる。医師は離れた場所でカメラをのぞき操作する。拡大された体内の 3 次元画像を見ながら、ゲームのコントローラのような装置を動かす。医師の手の動きに合わせ、ダビンチの手も動く。

6.1.3 デバイスギャップ

最新の医療技術を日本の患者に届けている米国医療機器・IVD（体外診断薬・機器）工業会（AMDD）によると、2008 年に実施した調査結果は次の通り。

「米国で使われている製品のうち、日本で承認申請を行う（承認済み、申請中、申請予定を含む）割合は、64%。残り 36%は、最初から承認申請を行わない、もしくは行えない（申請控え）という。申請を行わない理由で最も多かったのは、「規制関連のコストが高過ぎる」で、28%。未承認の機器を企業側が医師に依頼して試してもらうことは、薬事法違反となる。」

2010 年 3 月 5 日～7 日に開催された第 74 回日本循環器学会総会・学術集会のシンポジウム「循環器領域における診療報酬の問題点～国際的視点から考える～」において、ボストン･サイエンティフィックジャパンの田村誠氏は、外資系医療機器メーカーの立場から、デバイス・ラグとデバイスギャップについて問題点を指摘した。

「日本でアクセス可能な主要な欧米の医療機器は欧米諸国の半分程度しかない。海外の企業が申請控えをしている背景は、日本の薬事制度が米国あるいはそれ以上にハードルが高いこと、発展途上国の市場が急速に成長していること、日本市場が米国の 1/5～1/6、EC の 1/3 程度と小さいこと。国内での治験を求められた場合は相当高い価格が付かないと導入が難しい。申請控えの状況を改善するためには、薬事制度や保険償還制度、市場規模・構造のバランスを考える必要がある。」

日本市場の魅力の乏しさについて AMDD 会長の王恵民氏は次のように述べている。

「医療費を抑制することと、新しい技術を患者に提供し、医療産業を育成することを両立させるという正解を出している国は世界中でどこにもないと思う。国民や患者にとって良い医療とはどういうものなのか、コスト、クオリティ、アクセスの３つをどのようにバランスさせるのか、いったいどういう医療制度を作りたいのか、ということが最初に議論されるべきである。日本の場合、非常に病院数が多い。例えば、心臓手術を行う施設数を絞り込んで集中させると、コストを下げることができ、症例数が増えて医師の技術も向上する。近所で心臓手術を受ける施設を増やすと、アクセスは良くなるがコストが高くなりクオリティにも問題が出てくる。」

6.1.4 医療機器メーカーに対する部材・部品供給拒否問題

2009 年 7 月には経産省の医療・福祉機器産業室から「医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会中間報告書」が、2010 年 3 月、同研究会最終報告書が発表された。

医療機器メーカが部材供給を拒否された事例を調べると、何でもかんでも拒否しているわけではなく、詳細に分析した後に経営陣が判断している。医療機器のリスクに対する懸念から、部材供給者が医療機器メーカへの供給に躊躇する傾向がある。特に体内埋込型治療機器を中心とする医療機器でその指摘は顕著である。こうした部材供給問題も医療機器産業の活性化の阻害要因の一つとなっている可能性がある。ただし、人体に接触しない医療機器であっても供給を拒否する部材・部品メーカはある。医療機器の製品製造のための材料とは、汎用の高分子化合物や半導体などの部材や部品であり、このため、医療機器メーカ内で部品製造を内製化する場合や、製品化自体を断念せざるを得ない場合もある。

出典：経済産業省「医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会中間報告書」（2010 年 3 月）

日本医療器材工業会（医器工）では実態調査を行い、材料の安定供給に向けて取り組みを進めており、一方、財団法人化学技術戦略推進機構（JCII）においても化学産業から医療機器産業への材料供給について製造物責任（PL）の供給側と使用側の分担の考え方を明示したモデル契約案を作成して解決を図ろうとしている。

表 6.1.4-1 JCII 賛助会員企業の意識アンケート調査 2007 年 4 月

質問	回答
医療機器部品・材料の製造・供給をしている企業	11 社
撤退した、あるいは止めた企業	11 社のうち 4 社。拒否経験は 3 社。
最も重視している項目	販売量が少なく市場として魅力がない
拒否経験のある 3 社の拒否の理由で、販売量が少ないこと以外	「事業収益への寄与が少ないため」「PL 裁判などでの多額の賠償を回避するため」「事故の発生などによる企業イメージダウンを防ぐため」

素材の供給問題は大手化学会社の医療機器部門にもおよんでいる。自社内で同部門が部品・部材の供給を他部門から拒否されたという経験のある企業が５社（41.7%）あり、確保は必ずしもスムーズに行われていない。同部門の事業継続の苦労・問題点は次の通り。

表 6.1.4-2 大手化学会社の医療機器部門の苦労・問題点（同上アンケート調査）

治験から許認可までの時間がかかる	薬事法の規制が厳しい
事故の発生などによる莫大な損害賠償が生じる	医療費抑制政策の下では、先端機器を事業化しても開発コストが回収できない
治験前の技術開発段階での臨床研究が進めにくい	事故の発生などによる企業イメージの低下・風評被害

表 6.1.4-3 材料供給側から見た医療機器メーカ側への材料供給に際しての課題（同上アンケート調査）

市場規模	経営トップを含めた医療機器に対する理解の促進
材料価格の不明瞭さと負担	医療用銘柄の開発負担
医療機器メーカ側のリスク負担	

米国の PL 裁判の事例では、部材供給メーカーが被告になった場合であってもすべて原告が敗訴しており、部材供給メーカーが負けた判例は１件もなかった。

医療機器への供給リスクに対する懸念は、過去に起きた訴訟が心理的なトラウマとなって存在し、実態と離れて今も影響を与え続けているものと考えられる。

部材・部品メーカーは非常にシステマチックにとらえており、リスク評価を自ら行い、まず、医療機器への提供を自社の戦略に位置付けているか否かで最初の判断が分かれる。位置付けている場合でも、対象別にリスク評価と保障総額を見積もり、その結果を踏まえた上で採算が取れるか否かといったことを判断し、提供の可否を決定している。

一律に、医療機器への提供であれば拒否するといったことではない。

治療系機器の開発となると、日本企業は消極的というのが定説。関係者の間では「大手電機メーカの創業者が、医療機器に手を出すな、という社訓を残した」という出所不明の伝説が広く流布している。

「企業はなかなか積極的に参加してくれない」、と妙中義之氏（日本の技術をいのちのために委員会代表、国立循環器病センター研究所副所長）は強調する。

私達は、具体的な活動として医療機器開発支援団体「日本の技術をいのちのために委員会」を 2009 年 8 月に立ち上げた。メッセージは「もっと救いたい、先端医療機器の力で」。医療機器の開発に取り組む企業をサポートし、重要な技術を持っているが、今まで事業に後ろ向きだった企業が活躍できる環境をつくりたい。科学技術立国として日本の目指す方向とも合致している。最先端の医療機器は患者にとって大きな希望となっており、命が助かった場合は患者だけでなく家族からも感謝される。そういうことを生活者にも知らせることが大切で、医師や政治家、患者・家族、マスコミの協力も得て広げていく。可能であれば生活者の声で国を動かしていきたい。

企業には、企業イメージの向上や CSR にもなることを訴えたい。また、医学部に入れなくても医療をやりたい学生は結構いるので、企業が医療機器開発に積極的に取り組めば、良い人材が取れる。産業界が活性化すれば大学も活性化し、好循環になる。社会全体を巻き込む。

民間企業としての立場からは次のように言える。

自動車や家電など製造技術力や品質管理能力を誇る大手メーカーや医療機器の部材・部品を供給するメーカーが、残念なことに、「金儲け一辺倒で人類の生命への貢献を軽視している」「医療事故が起きたときのイメージダウンや風評被害を過剰に恐れている」「医療機器への参入に社内の抵抗が大きい」「実際に○○社は途中で戦線離脱した」「ほとんどの部品・部材メーカーは、それが医療機器に使用されると聞いただけで出荷を拒否する」など、実名をあげて厳しく糾弾されている。しかし、その原因は企業だけにあるのではない。

この背景には、医療の技術面に疎く医療機器によって多くの患者が救われていることは報道せず、医療事故が起きたときに「人体実験だ」とか「悲しみにくれる遺族の言葉」、そして「行政は何をやってるんだ」と続き、その原因が医療機器以外にあっても、どこの会社の機械だ、と騒ぐマスコミの体質や、その報道を喜ぶ国民性が問題である。

6.2 福祉機器、介護用品

医療、介護、健康分野を産業として見た場合、かなり異なっている。機器の金額は、医療はかなり大きいが、行政による規制が極めて厳しい。一方、健康のためにスポーツジムに通うことをイメージすると、都心部以外では、自分の健康のために多額の金額を支払う人は多くはないと思われる。この節では福祉機器、介護用品について分析する。

6.2.1 人的資源などの地域資源

代表的な人的資源が各種ヘルパーで、その必要性が十分に検討されることが重要である。

例えば、介護保険制度における訪問介護は無尽蔵に利用者の望む家事援助やその他の行為を行うわけではない。生活援助は、その利用者の家庭状況を鑑み利用者の環境を考慮した上で､必要な範囲での提供にとどまる｡家族が疾病や障害があり家事ができない場合や、勤めているために利用者が日中独居になる場合は提供される。ホームヘルパーは便利な家政婦ではなく、利用者のできないことを補う代理行為として位置付けられる。

2011 年 1 月、品川区役所の担当者から介護保険の将来の問題点について説明を聞き、主に自分達の将来の不安について、ディスカッションをした。冒頭で区役所の方がかなり詳しく説明したのが、訪問介護サービスの対象とならないものの解説である。現実にこのような行為を要求する利用者（主に後期高齢者）やその家族がいるのだろうと、おおいに落胆したが、福祉機器のニーズは大きいと痛感した。対象となるものは次の２種類。

表 6.2.1-1 身体介護型訪問介護サービス

食事介助	排泄介助	衣服の着脱	身体整容	清拭（せいしき）
入浴介助	体位変換	移動・移乗の介助	起床や就寝の介助	外出介助

表 6.2.1-2 生活援助型訪問介護サービス 買物は生活必需品

衣服の整理	洗濯	調理	掃除	買物	薬の受取

対象外なのは直接本人の援助（身体介護）あるいは日常生活の援助（生活援助）以外。

表 6.2.1-3 対象外の援助

直接本人の援助（身体介護）に該当しない行為で、例えば、利用者以外の人（家族など）ための調理、洗濯、買い物、布団干し。主として利用者が使用する居室以外の掃除で、トイレ、浴室、居間なども対象外。自家用車の洗車・掃除も対象外。
ヘルパーが行わなくても日常的に支障が生じないと判断される、草むしり、花木の水やり、犬の散歩。
日常的に行われる家事の範囲を超える行為で、家具の移動、修繕、模様替え、大掃除、窓のガラス磨き、床のワックスがけ、正月等の特別な手間をかけて行う調理。

将来の展望については、2012 年度の保険料見直しで、65 歳以上（第 1 号被保険者）の介護保険料が月額 5,000 円を超えそうだ、というような話になった。団塊の世代が介護保険によるサービスを受ける頃までには、消費税が大幅に増税され、保険料の支払い金額も高くなり、サービスを利用した場合の自己負担もおそらく２割に上がり、なおかつ希望するサービスは抑制されてなかなか受けられないようになる。

「自分が介護を受けられないかも知れないのなら、保険料を払いたくない」という人もいたとのことである。これからは、認知症の方への対応と地域による支えあいが大きな課題になると思われる。予算は重度の高齢者・障害者に集中し、重度の方は施設に移らざるを得ない。一方都会における軽度の方は、「隠れ地域資源」ともいうべき地元の中高年のボランティアに依存することになろう。その時に頼りになるのが福祉機器、介護用品であ

る。現在は欧州等からの輸入品が多いが、実際に国内の狭い居宅で使用して改良することが必要である。

団塊の世代が介護を受ける立場になると大変だ、と騒がれ始めたが、見方を変えると、企業を退職した団塊の世代の多数派は、80歳代半ばまでは元気な中高年である。

企業に務めていた頃とは異なる役割だとしても、適切な役割を与え、建物や作業環境を整備し、高齢者でも使い易い福祉機器や介護用品、腰痛予防の仕組み（日本では腰痛予防体操や腰部保護ベルトなど。一方、体重の重い欧米諸国では介護用具を含む介護機器を積極的に利用。）を備え、粘り強く指導することで、医療や介護の必要な同世代の少数派をサポートする立場に立つことが十分できる筈である。あるいは隣の顔見知り、すなわち赤の他人の孫（思春期も含め）や嫁、子育て中の多忙な親達をサポートすることも可能であろう。今は男性も「イク（育）メン」がもてはやされる時代である。団塊の世代の男性は「育児なし」と非難されてきたが、「やっと育児に目覚めた祖父」は、おだてりゃ木に登る。

地域資源については、2010年2月のニッセイ基礎研究所レポート「デンマークの認知症ケアシステムに学ぶ」という生活研究部門の山梨恵子氏の報告がある。

表 6.2.1-4 デンマークの例

項目	内容
認知症患者を大規模病院に収容した時代	1960年代、認知症高齢者が大規模病院（主に精神病院）に入院していた。しばしば大量の投薬やベッド等への拘束が行われ、患者の生活環境は劣悪であった。
病院依存から認知症高齢者を地域で生活させる。	1980年代、ノーマライゼーションの思想が広まり、彼等の居場所は在宅や地域にあるべきと結論付け、病院依存からの脱却を目指し、認知症高齢者を地域に迎え入れるための準備に追われた。
地域資源の充実 ①教育 ②支援体制 ③医療と介護の連携 ④ストレスケア	 ①：家族、援助職、地域がそれぞれのレベルで認知症（病気）やケアを知る。 ②：予想される困難ケースに対応できるバックアップ体制を整える。 ③：本人の状態変化に迅速に対応できる連携体制を確保する。 ④：家族、援助者のストレスを最小にするための支援体制。
大規模施設建設凍結	住宅政策と高齢者介護政策を一体的に進め、無意味な大規模施設の建設を早くから止めてしまった。1988年の段階ですべての介護施設の建設を凍結。建物には費用をかけず、情報連携の仕組みと人材教育を中心に質の向上を目指した。
介護予防・費用節減	良質なケアが認知症等の高齢者の生活の質を高めて、一人ひとりの状態改善につながり、無駄な費用の抑制効果へとつながった。
質の高い公的なサービス	ホームヘルプなど、公的なサービスに対して「社会資源は、困っている人が必要なだけ使うもの」で、これが平等の意味である。これらのサービスでは認知症ケアの知識・技術・理念に支えられた質の高いケアが提供されている。

公的資源と、地域資源（ボランティア等）は相互補完関係にある。公的資源には各自治体が行う制度である介護保険、障害福祉サービス、子育て支援等があり、専用の財源が公金によって確保されるが、運用には極めて制約が多い。

一方、地域資源は制約が少ないため柔軟な運用が可能である。今後、人的資源と利用者に関する情報を収集し、住民に向けた教育等を充実し、好事例を水平展開し、支援者と利用者のマッチングを行うコーディネータを育成し、きっかけ（「ボランティアセンター武蔵野」の定年退職者向け活動「お父さんお帰りなさいパーティ」のようなもの）を用意することにより、住民自らの活動で大都会の住民のコミュニティが再生され、地域資源（地域を支える人的資源の質と量）を大きく育てることが不可欠である。

2010 年 6 月 15 日、産業競争力懇談会（COCN）は、「総合科学技術会議　科学技術基本政策の基本方針（案）に対する意見書」を公表した。第 2 章の第 4 節では、ライフ・イノベーションの対象として健康な高齢者の社会への参加を重視する、と指摘している。

表 6.2.1-5 COCN の意見書 社会的課題解決の提言

項目	内容
シルバーニューディル（高齢者に関する調査結果）	高齢者世代については、医療・介護・健康というキーワードの範囲に偏り過ぎ。当会の高齢者に関する研究においても、我が国の高齢者の少なくとも 80 歳代の前半までの多くは、医療や介護の必要はない健康な老人である。
アクティブエージング	我が国の課題は、健康な自立した高齢者の力を、生き甲斐を持って社会に貢献しつつ自立した生活を送っていく施策にもっと重点を置くべきである。
高齢者が活動し易い環境の整備。すべての国民にとって暮らし易い社会を。	安全な移動のための街づくりや移動体の開発、仕事や社会活動を通した社会とのつながりの維持、国民 ID（社会保障・税共通の番号制度）を前提に ICT による予防的医療、医療情報の利用体系の構築、医療の質向上など、健康な高齢者をターゲットとした社会的課題の解決を、さらに重視すべき。

品川区役所の高齢者福祉課の方との対話集会の要旨は次の通り。

「2012 年度に医療と介護の料金の見直し（金額大幅アップ）が行われる。増税できるかどうかは不透明。今後、地域の住民が、高齢者・障害者に関する問題点を知り、介護予防等により、要介護者を極力減らし、地域でいかに支えるかを考え、覚悟することが不可欠。公的支援にすべてを依存することは到底無理。」

この場で結論は出なかったが、区民（特に中高年の独身女性）が抱えている将来の様々な不安を共有することができて、区民対区民の本音のやり取りがなされた。区民同士の意見のぶつかり合いが、「自分達で決める」という意識を育み、「自分達で何とかしなければならない」という雰囲気を生み出すので、とても有意義であった。

東京都の Tokyo シニア情報サイトも参考になる。「東京の団塊の世代・元気な高齢者の地域デビュー、応援します!」と告げている。地域通貨の 1 つであるエコマネー（エコポイントではない）の活用も検討する価値があろう。

6.2.2 福祉機器・介護用品

福祉機器・介護用品、住宅改修の費用負担について簡単に述べる。

表 6.2.2-1 介護保険制度における福祉機器・介護用品等

項目	説明
目的	福祉機器・介護用品が利用者の ADL（食事、排泄、着脱衣、入浴、移動、寝起きなど）の向上につながるか、福祉機器・介護用品が利用者に合ったものであるかを確認。
国内市場	日本は医療・福祉機器の分野には最先端の市場を提供してくれる。新規参入で求められるのは、自ら市場ニーズを把握し、何が求められているかを分析する力である。
要介護度認定	要支援 1、要支援 2、および要介護 1 から要介護 5 までの 7 段階に分かれている。
1 割自己負担	要介護と認定されれば、日常生活の援助やリハビリなどの介護サービスを利用料の 1 割負担で受けられる。生活環境を整えるための費用の支給やサービスもある。
福祉用具購入	腰掛便座や簡易浴槽など指定された 5 つの福祉用具は、指定業者から新品を購入した場合、年間の上限は 10 万円で、購入費の 9 割、1 年間当たり 9 万円まで支給される。利用者の皮膚に直接触れる介護用品は、貸与でなく「福祉用具購入」となる。
福祉用具貸与	車いす、特殊寝台など 12 種類の福祉用具を、借りることができる。要介護度に応じた支給限度額内での利用に限る。要介護度によって利用できない用具もある
住宅改修	指定された内容の住宅改修をした場合､20 万円以内であれば費用の 9 割(18 万円まで)が支給される。「手摺の取り付け」「段差解消」「すべり防止のための床材変更」「引き戸等への変更」「洋式便器などへの取替え」。
住宅改修付帯工事	付帯工事（手摺取り付けの壁の下地補強、浴室の段差解消に伴う給排水設備工事、扉の取替えに伴う壁または柱の補強など）の費用は、自治体により差はあるが、対象外。
レンタルが主役	介護を受ける人は時とともに状態が変化していくため、必要なものを必要なときに利用できるレンタルの方が、使い勝手が良く、高額な製品を経済的に利用できるなどのメリットがある。このことも、製品開発のあり方を大きく左右する。
どこにこだわるか	複雑な高機能製品よりも、使い易く、操作が簡単で、価格も安い方が良く、どこにこだわるのかについて、本質的な違いがある。消毒や臭いという独特の問題もある。

6.2.3 高齢者・障害者の科学技術による自立支援

2010 年 7 月 8 日、「平成 23 年度科学・技術重要施策アクション・プラン」が、科学技術政策担当大臣ならびに総合科学技術会議有識者議員の名前で公表された。

その中に、高齢者・障害者の科学技術による自立支援という課題と、高齢者・障害者の生活支援技術の開発という方策（産業化と雇用創出、ICT 活用など）が示されている。

表 6.2.3-1 科学・技術重要施策アクション・プラン概要

項目	内容
所管	経産省、総務省、文科省、厚労省
課題	高齢者・障害者の科学技術による自立支援、国際展開の推進、産業化と雇用の創出
方策	高齢者・障害者の生活支援技術の開発
アクション・プラン	「障害者の機能支援（コミュニケーションを含む）による社会活動への参加機会の増加」 「介護予防を推進する支援技術による要介護者の増加率の抑制」 「介護の質の向上と効率化」 「介護者の身体的・精神的負担の大幅な軽減化」
推進方針	「認知機能・身体的機能を補助・代償する機器・システムの開発と社会への導入」 「介護者の負担の大幅な軽減のための機器・システムの研究開発と実証」 「在宅における見守り・健康情報サービス等の機器・システムの研究開発と実証」

6.3 医工連携、医工融合

医工連携の必要性は以前から言われ、医学部と工学部の両方の授業を学生に受けさせる試みも行われている。ただし、卒業後の勤務先（例えば病院）で、その若者と同じ職能の先輩がいないわけだから、周囲に理解されず冷遇される恐れがある。医師の権限が強い職場で、「医学も工学も中途半端にしか学んでいない」と誤解されかねない。

介護分野で福祉用具専門相談員（略称「ふくせん」）という資格（機械に詳しい男性が取得することが多い）があるが、ケアマネジャー（介護支援専門員）等の女性の多くは複雑な福祉機器にはやや疎く、サービス担当者会議（ケアカンファレンス）に「ふくせん」が呼ばれないことが３～４割ある。「ふくせん」の課題はケアマネからの情報が不足することである。そして、便利な機器が使われないことになる。

日本の介護では利用者を抱え上げることが行われ、スタッフの７～８割が腰を痛めている。時間、お金、人手がないからと、床走行式電動介護リフトなどの機器が使われにくい。オーストラリアではノーリフティングポリシー（抱え上げない介護）が常識で、国によっては、国民（特に男性）の平均身長が高く、移動では介護用リフトの使用が義務である。

ここでは、大学の中で医工連携を行うだけでなく、ビジネスを意識している民間企業が早い段階から大学の活動に参加して、新しい医療機器を開発・実用化し、実際に現場で使って貰うために、それぞれがどのように係るべきかを考える。

6.3.1 大学

横浜国立大学にはグローバル COE（センター・オブ・エクセレンス）プログラムがあり、情報通信による医工融合イノベーションというサイトで内容を知ることができる。

ここの教育の特長は、コア技術を、人体を取り巻く情報通信（ボディエリアネットワーク）と位置付け、情報、デバイス、メカ、生体、医療の５つの分野を有機的に統合する。

表 6.3.1-1 横浜国立大学の仕組み

ダブルレジデント制	ある研究グループに所属する博士課程の学生が他のグループで指導を受け、異なる方法論や総合力を身につける。医工にまたがる知識を有する ICT 応用志向医師・医工エンジニアを育成。
ペアリング制	医療 ICT を目指す学生や若手研究者の自立支援のために、専門分野が異なる学生同士が相互にメンターとして影響しあいながら共同研究を行う。

国立循環器病研究センター名誉総裁の北村惣一郎氏は医工連携について述べている。

「欧米では、大学で医療機器を専門に研究している教室が少なくない。卒業生は企業の研究者や職員になり、ベンチャー企業を作るなど、良い循環が保たれている。医療機器は、宇宙工学的な技術、IT を含めた技術、ロボットのような技術など、多種類の産業の集約、工学的な集約であり、医療機器の開発は続けるべきである。日本でも、治験システムを改善すべきである。連携する大学、治験を専門とする病院も一緒になってやり、初めて、速やかに治験を行うことができる。」

2010 年 9 月 9 日、東大の「触覚を伝え易い手術ロボット」のニュースが流れた。

「東大大学院の永井良三教授らは医工連携による先進医療機器開発実用化プロジェクトに取り組んでいる。その 1 つに触覚を的確に伝えられる手術支援ロボットがある。同プロジェクトには東大や早稲田大学、東京女子医科大学、慶應義塾大学、物質・材料研究機構などの大学・機関、ニプロ、アロカ、オリンパス、マイクロ化学技研などが参加している。例えば、触覚を伝え易い手術支援ロボットの開発では、鉗子（かんし）が内臓を摘んだり、引っ張ったりする感覚を増幅・強調し、操作者に伝える。」

6.3.2 医師不足

2010 年 4 月 28 日の医療ガバナンス学会のメールマガジンに、北海道大学予防医学講座公衆衛生学分野客員研究員江原朗氏の「Vol.147　医師不足は外国人医師の招聘で解決できるのか」という文章が載っている。

「米国やイギリスなど諸外国では、医師不足を英語圏の国からの外国人医師の導入で解決しようとするが、日本では難しい。勤務医の長労働時間、非管理職の医師を『名ばかり管理職』にして時間外勤務手当を支払わない、子どもを連れて診療時間外に病院に来る（コンビニ受診）母親など、様々な問題がある。

2009 年の OECD　Health Data によると、人口 1,000 人当たりの医師の数は、日本が 2.09 人、米国 2.43 人、イギリス 2.48 人、フランス 4.16 人、ドイツ 3.50 人であり、日本の医師数は少ない。日本で外国人医師が極めて少ない理由は、言語（日本語）の壁、欧米に比較して低い勤務医給与、日本の勤務医の長時間労働。

イギリス、フランス、ドイツ、米国の医療職の労働時間は週 40～50 時間で、日本の男性医師は 60～80 時間、女性医師が 50～70 時間と長い。」

前述のコンビニ受診については､別な課題を指摘する人(武蔵浦和メディカルセンタ　多田智裕氏　2010 年 2 月 3 日）もいる。コンビニ受診とは、軽症の人が、本来重症者の受け入れを対象とする救急外来で夜間や休日に受診する行為。

「夜間・休日に受診することで、重症化することを防げている事例は間違いなく存在する。また、そもそも、病院がコンビニ受診に対応できなくなったのは、厚労省が保険診療点数の設定を誤ったから。3 年前まで夜間・休日に診察した場合、医療機関は通常の 1.3 倍から 2 倍の診療報酬を受け取ることができた｡今よりももっと夜間･休日診療を行う診療所が多く､コンビニ受診が問題にはならなかった｡」

6.3.3 企業

研究成果の実用化段階で鍵を握る企業が治療機器への参入に極めて消極的であることは、海外も含め多方面から厳しく批判されている。国内・海外の企業にとって、手間暇かけて参入するには、現状では日本市場は魅力がない。魅力ある市場にする方策が欠かせない。

数多くの小規模な病院が有るので患者にとってアクセスは良いが、メーカや商社には手間がかかる。国内市場規模は小さく、高度医療を求めながらも、医療費を抑制して欲しいというので、リスクが大きい割に利潤が見込めず、医療機器産業の育成は難しい。

参入すべき理由として「企業の技術力で救える命がある」とか､「中小企業でさえ実用化に辿り着いたのだから」という美談の報道だけでは、大手民間企業の経営者に、医療機器メーカとしても部材・部品供給メーカとしても、参入を決断させるには不十分であろう。

いったん大手民間企業が供給しはじめた場合、安定的に供給する責任があり、メンテナンスの体制も整えなければならない。また、自社や取引先の従業員、その家族の生活まで考えると極めて社会的責任は大きい。本業部門に比べて売上高の小さい医療機器部門での悪評が本業部門にまで波及することを考えると、参入は容易ではない。

事故が起きると何でも「お上の責任」にする国民の考え方も、行政の規制が外国に比較して厳しく、承認が遅い原因であろう。さらに、研究者、医療従事者や医療機器産業が莫大なお金を儲けてはいけないかのような雰囲気が強い。

「日本の技術をいのちのために委員会」の代表の妙中義之氏のコメントが同委員会のウエブサイトに掲載されている。医学の側からの医工連携への意欲が分かるとともに、日本の大手企業が医療機器分野への参入に消極的である現状が分かる。

「日本の先進医療機器開発が大きな問題に直面している。厳しい規制が製品開発の足かせとなっている。優れた日本の技術が医療機器に生かされず、国内外の市場で外国製品が幅を利かす状況である。国民の医療費は増加しているのにもかかわらず、医療機器分野は頭打ちである。医療機器分野の売上高を見ると、欧米の企業はどんどん伸びているが、日本企業は横ばいである。貿易では診断装置は健闘しているが、治療機器は輸入超過になっている。優れた医療機器を開発して利用してもらえば医療費の抑制を期待できる。さらに、ビジネスとして、これほど成長が見込める分野はない。」

2010年6月21日の日経新聞でオリンパスメディカルシステムズの森嶌社長が指摘する。

「開発から実用化までのリスクが大きいから、治療用器具の 9 割が輸入品。技術開発から臨床試験まで長い時間がかかる。大学の医工連携で優れた成果が出ても企業は医療事故のリスクを恐れ、製品化をためらいがち。また、患者の症状が微妙に違い改良を加えるが、膨大なコストがかかる。米国は研究開発型ベンチャーを買収して新製品を出してリスクを回避する。日本はベンチャーが少なく、一企業で多くの種類の治療機器を手掛けるのは難しい。日本は医療の公共性を重視し、国が開発プロジェクトを推進してきた。しかし、医療現場のニーズを顧みず、大企業の技術シーズ先行でテーマが選ばれてきた。NEDO も実用化できていないプロジェクトが大半。」

6.4 事例

2011 年 1 月 12 日、大和総研ホールディングスのコラムに「サービスロボットは本当に普及するのか」という水上貴史氏のコメントが載った。2010 年 10 月、掃除ロボット「ルンバ」を提供している米国アイロボット（iRobot）社より、創業メンバーで CEO のコリン・アングル氏が来日し、講演で次のように述べた。

「日本では鉄腕アトムのような高度なロボットを作ろうとしている。我々は、最初からビジネスになるようなロボットを作っている。日本は、ロボットに対するビジネスモデルが確立できておらず、研究開発の成果がビジネスに結びつかない。」

6.4.1 医療機器の代表としての人工心臓

国産の人工心臓（国産２機種で、早い方でも承認まで 16 年も要した）に当てはめてみると、医療の現場である「ベッド」から医療関係者がニーズを汲み上げないとビジネスモデルは成功しない。医療関係者や医療行政を司る人々は、医療産業を育成し雇用を生み出すという考え方に否定的である。また、薬害裁判で叩かれたことがトラウマとなり、医療の産業化よりも、トラブルに巻き込まれないことを重視しているようだ。

2007 年 9 月、臓器移植関連学会協議会・日医・日本移植学会は、臓器移植法改正についての要望書を、国会議員に提出した。

「15 歳未満の場合、心臓移植によってしか救命しえない末期重症心不全患児は我が国では移植を受けることができない。やむなく海外に渡航する患者も少なくなく、当該国内で移植を待つ人との間に摩擦と軋轢を生む。」

2008 年、国際移植学会は渡航移植の規制強化と臓器提供の自給自足を求めるイスタンブール宣言を発表した。日本人患者に心臓移植を行ってきたドイツは、2009 年 3 月に受け入れを中止し、米国だけに頼る事態となった。1 人の日本の子どもが臓器移植の手術を受けられたとしても、米国で待機していた 1 人の子どもが移植を待たずに死ぬ。米国では外国人への移植を全体の 5%に制限している。それは主に移植技術がない国や、保険適用がない国から受け入れるためであり、日本人のためではない。

世界的な臓器不足を背景に「臓器提供の自給自足」を迫られた政府は、それまで長い間放置していた臓器移植法の見直しを行った。また、15 歳未満の提供者からの臓器提供が可能となったが、2010 年 12 月 7 日時点では、15 歳未満の子どもからの移植はゼロである。

依然として臓器提供についての国民の極めて消極的な態度は変わっていない。

表 6.4.1-1　人工心臓の説明

人工心臓の２つの目的	○「半永久的に使用するもの」 ○「心臓移植のドナー（心臓の提供者）が見つかるまでの一時的な使用を目的とするもの（ブリッジ使用)」
人工心臓の２つのタイプ	○患者の心臓の心室部分を取り除き、２つの血液ポンプをその場所に埋め込んで心臓の働きを代行する「全置換型人工心臓（TAH)」 ○心臓はそのままにして、左心室と呼ばれる場所から血液を脱血して大動脈へ返血する「左心補助心臓」などで、「補助人工心臓（VAS)」と呼ばれるもの。
基本構成要素	血液ポンプ、ポンプを動かす駆動装置、それを制御する装置、さらに駆動装置を働かせるエネルギー系、情報処理系など。
血液ポンプがどこに置かれるか	○「対外に設置するタイプ」 ○「体内に収納するタイプ」で制御装置やエネルギー系を体外に設置する「携帯型」 ○「体内に収納するタイプ」のうち、基本構成要素はすべて体内に収め、皮膚の上からエネルギーを送ったり、制御したりする「完全埋め込み型」
血液ポンプの２つのタイプ	○脈を打たせながら血液を送り出す「拍動流ポンプ」。人工弁あり。 ○拍動がないまま血液を送り出す「無拍動流ポンプ」。遠心ポンプや軸流ポンプ。
人工心臓を動かす３つの駆動法	○空気圧方式（空気圧の差を利用して膜やチューブを動かす） ○電気－機械方式（モーターの回転運動を往復運動に変える） ○電気－流体方式（電動ポンプによる油圧で動かす）

（国立循環器病センター　臓器移植部部長　中谷武嗣氏資料より作成）

6.4.2 ドイツの医工一体

2011 年 1 月 11 日、朝日新聞グローブに、「日本の国循型（後述）人工心臓は博物館行きの代物」、という辛辣な記事が載った。ハードユーンハウゼンの心臓病センターの人工心臓専門医ラティフ・アルソグル医師にインタビューしたもの。

「日本製（テルモ）の人工心臓デュラハートは、2007 年に販売され 2008 年あたりまでは優先的に使っていた。しかし、今では主役ではない。血栓ができにくい良い製品だが、小柄な人には少し大きい。そこへ新しい人工心臓 HVAD が出てきたので、2009 年の後半からはほとんどこれを使っている。補助人工心臓では、今は第一に米国のハートウエア社の HVAD、続いてソラテック社のハートメート 2、日本のデュラハートはその次。日本では、国立循環器病センター型（国循型）の体外型の古いタイプの人工心臓しか事実上使えない。国循型は、世界で最も質の悪いポンプ。なぜ、前世紀の遺物を日本人はいつまでも使うのか。」

「心臓移植を待つ患者にドイツで使われている人工心臓を埋め込めば、ほとんどの場合移植の緊急度は低くなり、「緊急（HU)」、「急（U)」、「移植可能（T)」と３段階あるうちの一番下の T に回り、1～2 年は待つ。国循型をつけた日本人は、血栓が出ることが多く感染症の危険も高いので、ほぼ自動的に HU になり、数箇

月で移植ができる。質の良くない製品をつけてドイツに来て、先に移植を受けるのは不公平。」

世界保健機構（WHO）の移植担当理事ルーク・ノエル氏と国際移植学会会長のジェレミー・チャップマン氏は、2008 年 6 月 10 日、衆院で日本の移植医療の問題点を指摘した。

「日本の臓器提供件数が先進諸国の水準から大きく立ち遅れていることと、海外に渡って臓器提供移植を受けることは、発展途上国での臓器売買を助長する。」

ライバルの米国企業が FDA（米国食品医薬品局）の規制で機器の改変が制約されるのに比べ、ドイツの研究開発の環境は有利といわれる。欧州は新しい医療機器は安全性を確かめた上で第三者機関が認証を与え、迅速に臨床現場に提供する。認証に 5 年ごとの更新を義務付けて一定の歯止めとし、有効性は市場で調査する。リスクがあっても、革新的な機器を早く患者に提供でき、企業を振興するメリットの方が大きいという哲学がある。欧州は、症例数や期間の限られた治験よりも、多くの医師が現場で使い、その結果をきっちりと監視した方が有効という割りきりがある。この考え方は注目に値する。

世界で唯一、小児が長期間使える小型の人工心臓を製造するのがドイツのベルリンハート。医工連携よりさらに進んで医工一体と言える。かつて会社の研究施設は病院内の人工心臓担当医の部屋の隣にあり、今も臨床現場と日常的に情報を交換している。

同センターは、市場に出ている人工心臓のほとんどの機種を臨床で使い、長所と短所を調べ尽くして、改良のタネを同社に伝える。同社が 2002 年に開発した小型人工心臓は期間 3 年、費用は 3 億円。米国では同型機種の開発に 10 年の歳月と 60 億円の費用が費やされた。

6.4.3 米国

世界の医療機器売上高上位の企業は、ほぼ米国の独占。ベンチャー企業が新しいアイディアを生み出すと、大企業が買収してさらに大きくなる。米国が市場の世界シェア 4 割を占め、日本は 1 割。その背景には、他の先進国と比べて突出して高い医療費がある。米国は対 GNP 比 16%、日本は 8%。

欧米では、工学部、医学部、薬学部の人達が一緒になってやることが当然。ミネソタ大学では、医療機器を研究する専門の講座があって、その周辺にある世界的な医療機器研究所や工場と連携して人材のサイクルができ上がっている。米国では、患者を早く集約的に集めて、治験を無料で行うという国立の治験病院を持っている。

表 6.4.3-1 医療機器メーカの売上高 単位：億ドル

順位	国	年間売上高	企業
1位	米	231	ジョンソン　アンド　ジョンソン
2位	英	174	GEヘルスケア
3位	独	161	シーメンス　ヘルスケア
4位	米	137	カーディナル　ヘルス
5位	米	135	メドトロニック
6位	米	123	バクスター　インターナショナル
7位	オランダ	107	フィリップス　ヘルスケア
8位	アイルランド	89	コビディエン
9位	米	80	ボストン　サイエンティフィック
10位	米	72	アボット　ラボラトリーズ
17位	日本	39	東芝
20位	日本	33	オリンパスメディカルシステムズ
24位	日本	30	テルモ

（各社公表データより作成）

表 6.4.3-2 米国の医療産業 商業化・米国経済発展への貢献を重視

項目	内容
金のなる木	2001年当時、ベンチャーキャピタルが「金のなる木」ととらえたのが、医療関連のベンチャー。心臓疾患についてカテーテルによる低侵襲の医療機器の研究開発が盛んだった。心臓疾患は米国の死亡原因の第1位。世界中で日常臨床に使用されている医療機器・薬剤のほとんどが、米国の先端医学から生まれている。
国家予算	毎年1兆円超の国家予算を医学関連の研究に配分。日本の10倍以上。大学や研究施設の研究成果を研究だけで終わらせないために商業化を重視。世界中の病める患者を救うだけでなく、米国経済の発展にも寄与する。
商業化	先端医療技術開発は、大学や研究施設の研究成果を商業化する医療系ベンチャー企業を無視して語れない。ベンチャーが産声を上げ、生き残り、成功を収めるには、革新的なアイディア、有能な人材、豊富な資金が必要。
政府の承認	医療技術がその他の技術と異なる点がある。開発の最終過程で政府の承認を取らなければならない。最近、その承認時期が国によって違うことが問題化している。
医療保険改革	オバマ大統領が血眼になって医療保険改革を行おうとしている。しかし、富裕層からの猛烈な反対により、オバマ政権の支持率をも脅かす事態に発展している。国民皆保険制度は、個人主義を脅かす社会主義思想であり、真の意味での平等が脅かされてしまう。米国の医療保険の長所は新しい医療技術がどんどんカバーされていくことで、短所は保険によって医療のアクセスやカバーされる医療技術に差があること。

（2010年1月23日の週刊東洋経済　米国スタンフォード大学研究員 池野文昭氏記事より作成）

ミネソタ・クラスターの概要を述べる。

「ミネソタ州は、ミネソタ大学やメイヨークリニックといった有力な研究組織や医療機関が存在し、メドトロニック社、セント・ジュード・メディカル社、ボストン・サイエンティフィック社などの大手企業をはじめ、FDA が認可する医療機器メーカ 600 社以上が集積する医療機器開発の世界的拠点。中心都市ミネアポリスのメドトロニックの本社や周辺にある関連企業は世界最大級の医療機器のクラスター（産業拠点）で、人工心臓弁、人工関節、インスリンポンプ、脳深部刺激装置などを送り出している。クラスターの発展はベッド（臨床）とベンチ（研究）の存在抜きには語れない。ベンチはミネソタ大学のキャンパスにある。大学には知的資源があり、技術革新が生まれ、企業のノウハウで実用化できる。大学は企業と研究室を橋渡しする。技術者の卵を送り出すのは、医用工学研究所（IEM）のメディカル・デバイス・センターである。企業は大学の知恵と人材を活用し、大学は企業から研究資金を得る。この互恵関係がミネソタ・クラスターのパワーの源ともいえる。」

6.4.4 日本

医療機器分野での日米の差は開くばかりである。「中小企業の集まりで、国や厚労省にまとまった陳情もしにくい」（日本の医療機器メーカ幹部）のが実情である。

2009 年 1 月 19 日の日本能率協会総合研究所「医療機器産業の現状」の抜粋は次の通り。

「米国医療機器産業の対売上高利益率は非常に高い。2005～2007 年、米国のジョンソン・アンド・ジョンソン、GE ヘルスケア部門、メドトロニック 3 社の平均は 19.6%。同じ 2005～2007 年、日本の売上高上位 6 社は 7.3%。自動車製造業では 4.9%、電気機械は 1.1%と、低い。日本の 6 社は、東芝メディカルシステムズ、テルモ、オリンパスメディカルシステムズ、GE 横河メディカルシステムズ、ニプロ、日立メディコ。」

デバイスラグの問題で、日本の承認が遅いことの矛先は、とかく審査承認をする政府側に向かいがちだが、実は開発側である企業や、承認を得るために必要な治験を担当する医療従事者にも責任がある。さらには治験に欠かせない国民の協力姿勢にも問題が有る。日本は、速やかに治験を行うことができる体制に向けて仕組みを見直すべきである。

家次恒・シスメックス社長はこう断言する。

「国がメーカに、イノベーションの正当な対価も与えないまま、革新的な医療機器の開発を促すのは無理だ。医療で儲けることがタブーだと言い、企業のチャレンジに正当な対価が得られないのであれば、医療が産業になることはありえない」

2011 年 1 月 13 日、日刊工業新聞 News ウエーブ 21 に待望の記事が載った。タイトルは「純国産の植え込み型左心補助人工心臓システム、2 社が今春にも市場投入」。

「2 製品が製造販売承認を取得し、保険償還価格決定後、今春にも市場投入される。テルモの『デュラハート』は、開発から 16 年、サンメディカル技術研究所（長野県諏訪市）のエヴァハートは、19 年の歳月を費やした待望の製品。」

2010 年 5 月 4 日、日経新聞社説では「元気な経済学－介護・保育・医療を規制緩和で伸ばそう」というタイトルで、混合診療導入を主張している。

> 医療費は年 3～4%増えている。健康保険だけに頼っていては制度を持続させるのが難しい。公的保険が責任を持つ範囲を定め、自費診療とうまく組み合わせ需要に対応する工夫がいる。まず、混合診療を原則、解禁するのが不可欠だ。病院の勤務医らの負担を減らすために、看護師に一部の医療行為を認める規制緩和も課題だ。海外から患者を受け入れるルールを定め、IT（情報技術）を活用し遠隔診断を可能にするのも課題だ。これらは規制改革に後ろ向きな日医の意向を気にしがちな厚労省では、なし得まい。国家戦略に値する改革なのだから、文字通り国家戦略室が主導すべきである。

自民党の衆院議員で医師の鴨下一郎氏の意見は次の通り。

> 「日本は皆保険で平等な医療を実現したが、財政的に窮屈過ぎて、医療を進歩させるインセンティブが失われている。医療機器産業について、規制と振興の両方を厚労省が所管しているのは自己矛盾が起きる。厚労省は、安全な医療を提供することが本務であり、産業振興を同時に担うのは無理。経産省に移すべき。」

6.4.5 医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会

医療機器の産業化については厚労省と経産省のスタンスが大きく異なっている。

2010 年 4 月 24 日、週刊ダイヤモンドの特集からの引用。

> 「『国内市場では稼がないでくださいね。医療費分の税金を余分に使うことになりますから。稼ぐなら海外でお願いしますよ』。ある厚労省幹部は、大手医療機器メーカの首脳に向かってこう言い放った。この一言からも、医療機器産業を成長産業に仕立て上げる、という建前の欺瞞がはっきり見える。医療費抑制を図る中で、機器の出荷も抑えたいという趣旨なのだろうが、本末転倒である。医療機器は、『開発費を回収するために、日本は素通りして中国に持って行くことを選択せざるを得ないケースもある』と、大手医療機器メーカ幹部は吐露する。」
>
> 「良い医療を求める患者が国境を越えて移動するメディカルツーリズムに関しては、国内患者や病院の過密運営を軽視している、といった批判を恐れる厚労省と、これを推進しようとする経産省との連携が取れていない。国レベルでは、医療ビザの整備が必要になる。治療のために来日しようとしたあるインド人の付き添い人のビザが下りないという事態があった。自治体や病院では、外国語や異文化への対応が必要になる。病院内や街の表記、医師や看護師の会話で、英語や中国語など複数の言語への対応は欠かせない。特に医療現場では専門知識を持つ通訳が必要だ。また、文化や宗教の違いに応じた食事を準備できる体制も求められる。これらの課題を克服すべく、音頭を取るのは経産省。同省サービス産業課は、ビザの整備や、医療機関のネットワーク化や医療用語が分かる通訳の育成などで関係省庁をサポートしていく。」

経産省から 2010 年 3 月に発表された「医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会報告書」の中から、参入支援策等を抜粋する。

表 6.4.5-1 参入支援方策・ベンチャー企業育成など

項目	方策
日米比較、ベンチャー企業、ベンチャーキャピタル	米国では医療機器ベンチャー企業が数多く生まれ、ベンチャーキャピタルが資金投資をしている。日本でベンチャービジネスとして参入するパターンには、大学の医師や工学研究者との交流機会やネットワークを通じて、中小企業が共同開発に係ることもあるし、工学研究者が起業家として企業を起こすこともある。
革新的医療機器への参入に係る課題、①から③の三段階に分けて記載	①「開発、設計、試作段階：開発に必要な資金の調達、現場ニーズの源泉である大学（医師・技師）と中小企業との接点づくり。」 ②「審査段階：治験を含む開発製品の審査の国際的整合。」 ③「販売段階：製品開発と同じ程度の投資が求められる販路開拓に関しての認識の低さ。」
課題解決への方向性	「起業家意識を持った医師の育成」 「販路開拓支援」
具体的な取り組み	「医師主導の開発プロジェクトの推進」 「海外展示会や学会への出展・提案促進、商社を含めた海外展開（特に中国）」 「ベンチャー企業や新規医療機器に対する PL 保険供給の方策」

（経済産業省「医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会報告書」2010 年 3 月より作表）

新会長選出などで何かと話題に上る日医について簡単に述べる。

日医は日本の医師を会員とする公益法人。診療報酬に興味がある圧力団体と言われている。医療政策では開業医の利益を優先し勤務医をないがしろにしているとの批判もあった。日医への加入は任意であり、会員数約 16 万 3 千人とその組織率は全医師の約 6 割に留まる。

現会長は原中勝征氏（茨城県）で、日医は前回の参院選で民主党支持に回った。2010 年 4 月 1 日、自民党と民主党の代理戦争とも言われた会長選挙で原中氏に僅差で敗れた京都府医師会会長の森洋一氏は、同医師会ブログで「日医の再生なるか」と警鐘を鳴らす。

> 「日医は、民主党のマニフェストに示された施策が医療崩壊を防ぐことを期待しているが、民主党には日医への不信感、反発が強い。我々は、医療の専門家集団であり、政治に左右されてはならない、日医の会長を政治が選択することがあってはならない。残念ながら、現執行部は、政治は力である、政治なくして医政なし、医政なくして医療なしとして、耳を傾けようとはされなかった。いつまでも政治にとらわれていると国民の目には、自らの利益のために政治にすり寄る圧力団体としか見えない。」

6.4.6 エンジニアリング業界・建設業界から医療機器・介護分野への進出事例

エンジニアリング業界や建設業界から医療機器分野に進出した一部の例を表で示す。

表 6.4.6-1 企業の事例 （富山県などの地方新聞記事から）

企業名	活動内容
アイシン精機グループ	大手自動車部品メーカ。国立循環器病センタと全置換型人工心臓の駆動装置を開発していた。その最中に駆動装置とは無関係の同社のカテーテルを使った手術で死亡事故が起きた。2002 年に地元メディアに「アイシン製」と大きく取り上げられた。後に人工心臓開発から離脱、医療機器部門も売却した。
三菱重工業	国立循環器病センタ研究所の人工臓器部長、巽英介が進める超小型の埋め込み型人工心臓は同社が研究に協力している。だが、同社は事業化の予定はないと明言する。
サンメディカル技術研究所（ベンチャー企業）	埋め込み型補助人工心臓エヴァハートを製造。同社は思いもよらぬ非協力の壁を乗り越えなければならなかった。1989 年、現会長の次男山崎健二氏（現・東京女子医大教授）が原型を考案。簡単な試作品を作って医療機器メーカやポンプメーカに開発を持ちかけたが、どこも相手にしない。製品化の段階では、ポンプの本体となるチタン材料、羽根車を制御する磁石、積層コンデンサ、電池など主要な部材・部品のほとんどが供給を断られた。各メーカとも試験研究には協力するが、製品化するならお断りと口を揃えた。
大和ハウス工業とTOTO	両社が共同開発したインテリジェントトイレ。生活習慣病の予防や健康維持には、毎日血圧や体重などの基礎データを測り、記録して異常値が出たら早めに受診することが大切。そこでトイレに健康管理ツールを組み合わせた自動健康診断トイレを。累計販売台数は 1 万台。将来は医療機関との連携や、別居する家族が見守りに使えるシステムに発展させたい。便器の前の床には体重計が埋め込まれ、体重と BMI（ボディ マス インデックス）が測定される。便器内の採尿計に尿をかければ、尿糖度と尿温度が計測される。ワイヤレス血圧計で血圧を測定する。記録は、操作盤の横に埋め込まれたパネルで、ユーザ別に時系列でチェックできる。データはパソコン上での管理も可能。
丸西組	2003 年に小松市内で介護付き有料老人ホームを開業した。事務職 3 名だけがホームへ異動し、施設長やヘルパーは新規採用だった。さらに、年間 1～2 件ながら小規模な介護施設の建設工事を請け負うようになった。施設運営のノウハウを、顧客のニーズに沿った具体的な提案に生かすことで、異業種参入が本業への相乗効果を生み出した。
北研エンジニアリング	2004 年から、福祉用具（介護ベッドや車いす）を介護ショップに貸し出すレンタル卸を始めている。県の支援策で初期投資費用を低金利で借りられた
山口アルク	北陸を中心に建設関連事業を手掛ける。グループ会社を通じて富山市内にデイサービス施設歩々笑（ほほえみ）を開業。すでに別のグループ会社山口ハウステクノ（公共事業向けプレハブハウスレンタル事業）が介護施設向けに介護ベッドなどのレンタルを実施。
立山システム研究所	看護師や管理栄養士の有資格者が 24 時間体制で 1 人暮らしの高齢者の安否確認などを行う事業を手掛けており、今回新たに徳島県美馬市にコールセンターを設置した。5 年前に富山県、新潟県でスタート、現在は 30 道府県、約 80 の自治体から受注を得て、契約者数は約 25,000 人に達した。
朝日建設	高齢者介護施設に加え、車いすなど福祉用品のレンタル事業に参入することを検討中。自宅介護がしやすい住宅への改修ニーズを見込んでいる。

株式会社マザアス	ミサワグループ。独居高齢者（元気ではないが要介護認定はされない高齢者）向け自宅版ナースコール「押すだけコール」を展開。高価な有料老人ホームに移り住むのではなく、住み慣れた地元で地域の人々と暮らすというもの。
日本セラミック	セラミックを利用した防犯用センサで世界トップシェア。MEMS 技術（センサの電子回路を小型化する技術）を使って鳥取大学などと共同で超小型医療機器を開発中。
ヨコオ	自動車用アンテナ大手。カテーテル用微細精密加工部品事業を拡大させる。IVR（画像支援治療）カテーテルに使う部品の供給ビジネスに参入。海外ビジネスを強化する。
ウシオ電機。産業用ランプでトップシェア。	歯科治療器、内視鏡に使う医療用光源の部材ビジネスを展開するとともに、赤外線治療器、紫外線皮膚治療器など光線治療器ですでに医療機器に参入している。米医療機器ベンチャーのルミネクス社を買収した。ルミネクスは皮膚の表面に静脈をリアルタイムで投影する技術を持つ。

サンメディカル社長の長男俊一は開発当初、厚生省（当時）で聞いた言葉が忘れられないという。「地方の中小企業が手に負える代物じゃない。治験は外国でやってくれ」。

2010 年 5 月 7 日、建通新聞より：国交省による全国の建設業の新分野進出成功事例集

「97 社のうち介護・福祉が 21 社。デイサービス、グループホーム、ショートステイといった施設型ビジネスを展開し、自社での設計・施工や遊休地の活用、原価管理など、建設業のノウハウを活用しているケースが多かった。」

表 6.4.6-2 ミサワグループの「押すだけコール」の主なサービス

緊急通報サービス　24 時間 365 日対応　見守りサポートセンタ	外出サポート	生活・健康相談ホットライン
配食サービス	日常軽作業サービス	漏れ・鍵トラブルサービス
家事代行サービス	見守りシステムと安心コール	リフォーム・住宅改修サービス

6.4.7 財源問題

2010 年 9 月 6 日、内閣府は、厚労省、文科省、経産省などの科学・技術関連予算概算要求についてヒアリングした。同年 10 月 21 日、総合科学技術会議は、科学技術関連施策の 2011 年度概算要求に対する優先度判定の結果を公表した。新規施策は S（積極的に実施すべき）、A（着実に実施すべき）、B（効果的・効率的に実施すべき）、C（実施すべきではない）の 4 段階、継続施策は 3 段階（優先すべき、着実に実施すべき、減速すべき）に分けられた。

表 6.4.7-1 2011 年度予算編成プロセス（従来のプロセスとは異なる）

実施事項	時期	狙い（科学・技術重要施策）
当面の重要課題	3 月	日本が取り組むべき課題を提示
資源配分方針基本指針	4 月	取り組むべき事項の大枠を早期に提示（新たな取組）
アクション・プラン（AP）	7 月	重要事項を政府全体が協力して検討（新たな取組）
資源配分方針	7 月	重点的に取り組むべき事項を提示
各府省概算要求	8 月末	
優先度判定	9～10 月	各府省の要求施策をランク付け
政府予算案の決定	12 月	
予算の成立	3 月	

2011 年 1 月 6 日の CB 医療介護ニュースより：2011 年度経産省の医療情報化促進事業などライフ・イノベーション関連 6 事業の予算の例は次の通り。

「同省は、医療・介護・健康関連サービスの基盤強化と研究開発の促進の二つに分けて計上。政府の評価会議による政策コンテストの結果は 6 事業すべてで A 評価だった。医療・介護・健康関連サービスの基盤強化では、医療情報化促進事業のほか、課題解決型医療機器の開発・改良に向けた病院・企業間の連携支援事業（新規）の経費として 10 億円を計上。2010 年度補正予算との合計額が 40 億円になり、概算要求段階の 30 億円（特別枠）を上回った。この事業では、医療機関と連携して医療機器の開発・改良に取り組む中小企業を公募する。」

「研究開発の促進の予算では、生活支援ロボット実用化プロジェクトに 11 億 5,000 万円、2010 年度補正予算との合計は 19 億 9,000 万円になった。ロボットの安全性を確立した上で介護施設への 2014 年度からの本格導入を目指す。」

表 6.4.7-2 経産省ライフ・イノベーション関連 6 事業の予算　単位：百万円

事業名	予算	評価	補正措置
生活支援ロボット実用化プロジェクト	840	A	補正措置済
がん超早期診断・治療機器総合研究開発推進プロジェクト	1,600	A	補正措置済
幹細胞評価技術の国際標準化に向けた研究開発事業	1,340	A	補正措置を含む
課題解決型医療機器等研究開発事業	3,000	A	補正措置済
医療サービス国際化推進事業	1,000	A	補正措置済
医療情報化促進事業	1,500	A	補正措置済

出典：～政策コンテスト～「元気な日本復活」特別枠要望に関する評価　2010 年 12 月 1 日

日本発の革新的新薬臨床試験拠点の整備をめぐっては、民主党の城島政調会長代理が、「治験の在り方や薬事法の見直しをセットにしなければ、うまくいかないのでは」と指摘、厚労省の岡本充功政務官は、「医薬品医療機器の機能強化を別途考えている。ドラッグラグやオーファンドラッグの問題、適応外薬の承認を求める声に応えるべく、公知申請（の保

険適用）など新しい取り組みをしている」と応じた。

介護保険制度に係る費用の分析と将来の予測は極めて重要である。また、リハビリや介護機器についても､現場のニーズ､民間企業にとっての参入可能性など検討が必要である。

介護保険制度が始まってから費用も膨らみ続けている。また、デイサービスやショートステイなど通所施設を利用しながら在宅で介護を受けるよりも、入所施設での介護を希望する人が増え、特別養護老人ホーム（特養）などでは入所を待ちながら在宅で死亡する人が増えている。核家族化で家庭の介護力は低下している。介護保険が 2000 年 4 月に始まったが、住み慣れた家や地域に安心して暮らし続けるための環境整備の遅れや、高齢者を受け入れる施設不足などほころびが目立つ。介護を担う人材の育成も急務である。

2009 年 4 月時点で、利用者数は 384 万人。給付費用（自己負担分を含む）は 2010 年度予算で 7.9 兆円。当初全国平均で 2,911 円だった月額保険料（65 歳以上の場合）は、4,160 円まで上昇した。厚労省によると、次の改定の行われる 2012 年度には、5,000 円を超える可能性がある。地域格差も大きく、2.5 倍に達する。

表 6.4.7-3 介護保険料の格差

	自治体名	月額保険料　65 歳以上
高い自治体	青森県十和田市	5,770
高い自治体	沖縄県与那国町	5,720
低い自治体	福島県檜枝岐村	2,265
低い自治体	岐阜県七宗町	2,265

月額保険料、単位：円。2009～2011 年度、65 歳以上の平均。高い自治体と低い自治体

（データ出所：厚生労働省）

公益社団法人経済同友会は、2010 年 6 月 28 日に「持続可能な介護保険制度に向けた抜本的改革を～公的介護保障の見直しと介護を自立した産業にするための環境整備～」と題する同会の社会保障改革委員会がまとめた提言を公表した。

表 6.4.7-4 介護保険料等の提言 経済同友会

要支援 1、要支援 2、要介護 1 へのサービスを保険対象外とする
利用者負担を現在の 1 割から 2 割へ引き上げる
社会福祉法人への公的助成や優遇税制を撤廃する

利用者のサービスは、現状では十分とは言えない。特別養護老人ホームに入れない待機者は、厚労省の 2009 年末時点での調査で約 421,000 人。厚労省が明確に打ち出したのは在宅介護サービスの充実。目玉の一つは、あらかじめ作られた介護サービスの利用計画にない緊急利用に、24 時間対応する訪問介護といった新たなサービスを設けることである。

2010 年 4 月 24 日、週刊ダイヤモンドでは「医療・クスリ・介護　巨大化する成長産業の全貌」という特集を組んだ。医療機器についても説明している。

医療機器業界とはどういう業界なのか。健康保険が使える医療機器は、国内になんと 30 万～50 万種類もある。保険の対象外の消耗品を入れると、まさに数え切れないほどの医療機器が、日々医療現場で使われている。

世界市場で健闘している企業は多い。消化器内視鏡で世界市場の 70%を握るオリンパスメディカルシステムズ。テルモは心臓血管手術用のガイドワイヤ（カテーテルを通す軸になるワイヤ）と人工心肺でトップシェア。東芝メディカルシステムズは CT にシェアで 2 位シーメンスに肉薄する 3 位をキープ。シスメックスは、血圧検査装置の一種である血球計数検査装置で世界 23%のシェアを持つ。

医療は典型的な労働集約型の産業で、給料も総じて高い。実際病院の総費用の 5 割以上が人件費である。病院を効率化する際には、しばしばアウトソーシング（外部委託）が行われる。寝具類洗濯、医療廃棄物処理、検体検査、院内清掃などでは外部委託率は 80%を超えている。

大手商社の三菱商事は、医療ビジネスでも年々存在感を増している。ヘルスケア事業全体で 2,400～2,500 億円のビッグビジネスを展開している。なかでも定評のあるのが、同社のアウトソーシングサービスである。医療機器や医療材料の調達支援・購買代行業務を行う。これは、ガーゼ、マスク、カテーテル、ペースメーカなどの医療器材を病院に代わって安価な価格で共同購入し、これら医療器材の在庫管理も代行する。現在の契約先は 160 病院にも上る。こうした委託契約を一つの業者で取りまとめる総合委託契約の方式ではスケールメリットも生かせるのでコストダウンも可能になり、業者との折衝時間も短縮できる。

医工連携に関する調査の結果、従来の仕組みを変革することは必要だと考えている国民がかなりいると考えられるが、さらなる理解促進のための活動が必要である。改革の方向については、他の国の事例も参考にすべきである。国民の意見が容易にまとまるようなテーマではないが、だからといって、まとまらないまま、解決を先送りすることは避けなければならない。

あとがき

新産業研究部会では、一年間にわたり「生活支援分野のサービスロボットなどRT(ロボット技術)の活用、ならびに健康・福祉系医療機器等の活用」の調査を行ってきた。本報告書では、国内および海外の政策動向を中心に調査し、技術面ではRTやITを用いたものを中心に調査を行った。

第２章では、国内の政策動向に関して、政府の新成長戦略およびそれに対する社会の反応をまとめた。

第３章では、生活支援・医療・福祉分野に関して、政策や制度の面から日本と海外を比較した。

第４章では、サービスロボットの普及に関して、特に大きな問題となっている対人安全性を中心に技術動向や課題をまとめた。

第５章では、将来が期待される脳科学応用に関して、動向と事例をまとめた。

第６章では、医工連携の必要性と現状についてまとめた。

日本は、少子高齢化の進行や生産年齢人口の減少による労働力不足が深刻な社会問題となっており、直面しているこれらの問題を医学と工学（エンジニア）の連携による解決策が求められている。

日本は世界で最もロボットの稼働台数が多いロボット大国であり、製造業などでは労働生産性の向上を目的としたRT導入が積極的に進められてきた。しかし、生活に密着する健康・福祉系の分野においては、いくつか製品化の実績はあるものの、多くはプロトタイプであり実用レベルに至っておらず、ビジネスとして成り立っていない。

ITについては、ブロードバンドの普及により世界で最も充実したITインフラ整備が進み、PCや携帯端末等の処理装置が広く普及した。一方でITインフラの利活用やサービス普及の面では、取り組みの遅れが目立つ。

健康・福祉系分野の技術は、必要性が認識されているにも関わらず、多様な生活の場に密着した形で使われるため、安全性の担保をはじめとして解決すべき課題も多い。また、これまでの社会には存在しなかった技術であるため、新たな技術に即した法整備も必要になる。時代とともに移り行く社会構造や価値観などを踏まえ、新しい事業分野に対する今後の方向性を見極めなければならない。

本報告書で取り上げたロボット技術や脳科学応用技術は、特定の分野だけでは解決できない横断的な領域である。現在はまだ萌芽的だが、これらの新しい技術が社会全般で使われるようになると、やがて我々の日常生活のスタイルそのものも変わると考えられる。エンジニアリング業や建設業としては､RTやITなどの技術を駆使し､融合することにより、新たな市場を造り出すことが期待される。

本報告書が、そのような新たな分野への展開に役立つならば幸いである。

本年度の調査研究を通して、完璧な医療機器を求める行政・マスコミや国民に対して、リスクを恐れて消極的なメーカー、という構図が明らかになってきた。これらを踏まえ、

次年度は次の項目を取り上げて、調査・分析及び提言をまとめたい。

- 個々の具体的なサービスロボット等技術の安全性を含めた調査・分析
- 健康・医療系サービスロボット産業の可能性や、課題と育成のための提言
- 医療機器産業の課題解決のための提言
- エンジニアリング産業への提言

本調査研究にあたり、参照させていただいた参考文献については末尾に整理し、また、図表等は出典を明記しています。

本研究部会の活動に際して、ご講演または訪問調査させていただき、丁寧な説明をいただきました。ここに謹んでお礼を申し上げます。

- 明治大学　商学部　北岡孝義　様
- 株式会社東芝 研究開発センター 機械・システムラボラトリー　殿
- パナソニック株式会社 生産革新本部 ロボット事業推進センター　殿
- 株式会社国際電気通信基礎技術研究所　殿

参考文献

第 2 章

1) 新成長戦略（基本方針）～輝きのある日本へ～, 2009.12.30, 閣議決定
2) 新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～, 2010.6.18, 閣議決定
3) 現政権の最近の医療政策について 定例記者会見, 2010,4,14, 社団法人日本医師会
4) 日経メディカルオンライン 木村憲洋の「どうするの？日本の医療」 外国人医師の受け入れを拡大すべき？, 2010.9.7
5) 「新成長戦略」に対する日本医師会の見解, 2010.6.23, 社団法人日本医師会
6) 日本政府の TPP 参加検討に関する問題提起—日本医師会の見解— 定例記者会見, 2010.12.1, 社団法人日本医師会
7) 平成 23 年度科学・技術重要施策アクション・プラン, 2010.7.8, 科学技術政策担当大臣 総合科学技術会議有識者議員
8) 諮問第 11 号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申, 2011.12.24, 総合科学技術会議
9) ウエブサイト 公益財団法人東京財団研究員・政策プロデューサー 亀井善太郎「科学技術政策の司令塔として総合科学技術会議の抜本改革を」, 2010.5.31
10) 新成長戦略「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」策定に向けた医療機器業界からの提言 医療機器産業の成長促進に向けて 日本医療機器産業連合会 米国医療機器・IVD 工業会（AMDD）欧州ビジネス協会（EBC）医療機器委員会, 2010.4.26
11) イノベーション創出に向けた新たな科学技術基本計画の策定を求める～科学・技術・イノベーション政策の推進～, 2010.10.19, 社団法人日本経済団体連合会

第 3 章

1) 厚生労働省「厚生労働分野における新成長戦略について」, 2010.6
2) 厚生労働省「平成 23 年度予算概算要求－「少子高齢社会を克服する日本モデル」の構築に向けた第一歩」, 2010.12
3) 経済産業省「グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションのための先端革新技術の潮流(事例集)」, 2010.3
4) 経済産業省「２３年度概算要求について」, 2010.8
5) HPIJ ,2008, 日本医療政策機構（HPIJ）Web「緊急提言第 6 回「Transparency（透明化）－McKinsey & Company Inc, Japan パンルードヴィヒ・カンツラ氏」.(http://hpij.exblog.jp/9941555/)
5) JST, 2009, 独立行政法人 科学技術振興機構(Japan Science and Technology Agency; JST)・研究開発戦略センター, G-TeC 報告書「サービスサイエンス」, 2009/1.
6) Mediva, 2009, 連載コラム「マッキンゼー・アンド・カンパニー「医療制度改革の視点」のご紹介」(http://www.mediva.co.jp/oishi-blog/2009/02/post-14.html)
7) 井上哲,「欧州における open HER の動向」,NPO 日本医療ネットワーク協会
8) 小野崎耕平, 2009a, 「医療システムを考える視点—パフォーマンス指標とゴール」発表

資料，第 18 回 GIST セミナー，2009.10.01.
9) 小野崎耕平，2009b，「医療システムを考える視点(2)—医療提供体制と地域医療」発表資料，第 19 回 GIST セミナー，2009.11.30.
10) 黒川清，2009，『大学病院革命』日経 BP 社.
11) 北岡孝義，2010，『スウェーデンはなぜ強いのかー国家と企業の戦略を探る』,PHP 新書.
12) Kviselius Niklas, 2010, “eHealth and Patient-Centered Care Processes in Japan: Pre-Study”, Swedish Growth analysis Rapport 2010:08 （http://www.tillvaxtanalys.se/en/publications/article0001.html）

第 4 章

1) 経産省，産業構造ビジョン 2010，2010/06
2) 朝日新聞朝刊 2010/12/28，27 面「介護・家事支援ロボット安全性試験」
3) 経済産業省，平成 17 年度 新製造技術に関する調査研究報告書ー機械工業の安全化技術ー,(社)日本機械工業連合会，（財）製造科学技術センター
4) 杉本旭，PLP(製造物責任予防)とロボット技術の新しい展開，ロボット No150，PP61～，2003/01
5) 杉本旭，機械安全の国際化と技術者の責任，REAJ 誌 2007Vol.29.No2，PP72～
6) 加部隆史，サービスロボットの認証，ロボット No168，2006.1，PP10～
7) ワークショップ「新しい安全の在り方、安全の責任の取り方を探る」，安全工学専門委員会主催・日本信頼性学会共催，2002/12
8) 佐藤智昌，企業活力研究所講演会，医療機器分野への参入・部材供給を促進するための法制度に関する調査研究 ー製造物責任訴訟を乗り越えてー，東京大学，（財）企業活力研究所，2010/6/30
9) 杉本旭，サービスロボットの安全規格と認証について，ロボット No168 2006.1 PP4～
10) 経済産業省，平成 17・18 年度高度技術集約型産業等研究開発調査 機械安全技術の普及促進事業報告書，ＮＰＯ安全工学研究所

第 5 章

1) 脳科学研究の推進に関する懇談会，脳科学研究ルネッサンスー新たな発展に向けた推進戦略の提言ー，2007.5
2) 科学技術・学術審議会，長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について～総合的人間科学の構築と社会への貢献を目指して～（第 1 次答申），2009.6.23
3) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構,「脳科学の産業分野への展開に関する調査事業」調査報告書，2008.3
4) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」調査報告書，2009.3
5) 長谷川良平，障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト「重度運動機能障害者の意思伝達を支援する認知型 BMI 技術の開発」平成 21 年度総括研究報告書，2010.4

6) 脳とＩＣＴに関する懇談会中間取りまとめ～ 脳の仕組みを利用したＩＣＴの更なる発展～, 2010.8.25
7) 応用脳科学コンソーシアム http://www.keieiken.co.jp/can/

第 6 章

1) 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター, 戦略イニシアティブ 医薬品、医療機器等の審査・承認体制のあるべき姿, 2008.3
2) 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター, 健康研究司令塔のあるべき姿, 2009.3
3) 吉川弘之, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発センター, CRDS 戦略策定の枠組み, 2010.6.1
4) 植木秀史, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発センター, CRDS の方法論と戦略, 2010.6.1
5) 浅島誠, 独立行政法人科学技術振興機構研究開発センター, ライフイノベーションに CRDS の取組, 2010.6.1
6) 日経メディカル 2010 年 7 月号「トレンドビュー」（転載）菅内閣の「新成長戦略」は絵に描いた餅？, 2010.7.8
7) NHK クローズアップ現代　解消できるか“デバイスラグ”～遅れる日本の医療機器～, 2010.12.7 放送
8) 藤原康弘, 高度医療評価制度におけるファーストインマン試験について, 2010.10.8
9) 平成 23 年度概算要求における科学・技術関係施策の優先度判定について, 科学技術政策, 2011.1.5
10) 藤本幸弘, 「デバイスラグ」～使える医療器具は欧米の半分～
11) 社団法人日本経済団体連合会産業技術委員会, 「科学技術基本政策策定の基本方針（案）に関する意見, 2010.6.7
12) 社団法人日本経済団体連合会, 「イノベーション立国」に向けた今後の知財政策・制度のあり方, 2010.3.16
13) 社団法人日本経済団体連合会, 科学・技術・イノベーションの中期政策に関する提言, 2009.12.15
14) 経済産業省技術戦略マップ 2010 医療機器分野, 2010.6.14
15) 日本製薬工業協会, 米国研究製薬工業協会, 欧州製薬団体連合会, 革新的創薬等のための官民対話 資料 3-1, 2009.6.3
16) 第一回医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会 資料 1-3 本年度研究調査の概要と進め方の提案, 2008.4.10
17) 医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会 資料 4 主な論点, 2008.4.10
18) 医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会中間報告, 2009.7.6
19) 経済産業省商務情報政策局　医療・福祉機器産業室, 平成 21 年度 医療機器分野への参入・部材供給の活性化に向けた研究会 報告書, 2010.3

20) 独立行政法人 産業技術総合研究所, 平成 20 年度戦略的技術開発委託費 医療機器開発ガイドライン策定事業 事業報告書, 2009.3
21) 日経メディカルオンライン 竹中郁夫の「時流を読む」 先端医療とインフォームドコンセントの深い溝－補助人工心臓治験をめぐって, 2009.4.7
22) 日経メディカルオンライン 本誌連動◇日本の医療 ここがおかしい Vol.1 コストや技術が反映されない診療報酬 総額決まった上での報酬配分に限界, 2011.1.11
23) 経済産業省研究開発課, 技術戦略マップ 2010 について, 2010.6.14
24) 厚生労働省, 新医療機器・医療技術産業ビジョン～世界最高水準の医療技術をいち早く国民へ提供することを目指して～, 2008.9.19
25) 水上貴史, 大和総研ホールディングス コラム サービスロボットは本当に普及するのか, 2011.1.12
26) 山梨恵子, ニッセイ基礎研究所レポート「デンマークの認知症ケアシステムに学ぶ」, 2010.2
27) 日本能率協会総合研究所, 医療機器産業の現状, 2009.1.1

書 名　平成 22 年度
低炭素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業技術戦略に関する調査研究報告書
発 行　平成 23 年 3 月
財団法人　エンジニアリング振興協会
〒105-0003
東京都港区西新橋一丁目 4 番 6 号
TEL　03（3502）4441（代表）
印 刷　東洋美術印刷株式会社