ENAA2011－プA

平成23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24年3月

一般財団法人　エンジニアリング協会

日本が生んだ世界のスポーツ
KEIRIN

この事業は、競輪の補助を受けて実施しています。
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、一般財団法人エンジニアリング協会 研究開発企画委員会の平成２３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。

2011年は、東日本を襲った未曾有の大災害の脅威が深く心に刻まれた年となりました。被災された皆様には心よりお見舞い申し上げるとともに、被災地の一日でも早い復興を祈念します。被災地では未だに仮設住宅での不自由な生活が続き、大量のがれき処理の問題が残っているなど、本格的な復旧には至っておりません。また被災地の復興に関しては中長期的な視点から災害に強い街づくりが求められています。

一方、世界の経済は、新興国を中心に鈍化しつつも堅調な成長が見込まれる状況ではありますが、米国の雇用環境の改善の遅れや欧州の債務国問題に起因する金融システムの不安が消えず、景気の下振れリスクが高まる不透明な状況にあります。これらを背景に、円相場は歴史的な水準の円高が進行しており、比較的輸出比率の高いエンジニアリング産業には非常に厳しい状況にあります。

このように、我が国および世界の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２３年度は、２２年度に引き続いて、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２４年３月

一般財団法人エンジニアリング協会
理事長　　久保田　隆

平成 23 年度
低炭素社会・安全安心社会実現ための
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 第１WG）

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 第２WG）

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 第３WG）

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 第１WG）

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 第２WG）

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 第３WG）

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２３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 ····· 2
1.1　はじめに ····· 2
1.2　調査研究の内容 ····· 3
1.2.1　本年度の調査研究の範囲 ····· 3

第２章　下水汚泥、食品廃棄物、林地残材の資源循環量を増加させるための方策 ·· 5
2.1　下水汚泥 ····· 5
2.1.1　下水汚泥の資源循環の現状 ····· 5
2.1.2　下水汚泥の資源循環を阻むボトルネック ····· 7
2.1.3　ボトルネック解消にむけた施策 ····· 9
2.1.4　東日本大震災の復興と下水汚泥の有効利用 ····· 11
2.1.5　下水汚泥のまとめ ····· 11
2.2　食品廃棄物 ····· 12
2.2.1　食品廃棄物の資源循環の現状 ····· 12
2.2.2　食品廃棄物の資源循環を阻むボトルネック ····· 14
2.2.3　ボトルネック解消にむけた施策 ····· 15
2.2.4　東日本大震災の復興と食品廃棄物の有効利用 ····· 19
2.2.5　食品廃棄物のまとめ ····· 19
2.3　林地残材 ····· 20
2.3.1　林地残材の資源循環の現状 ····· 20
2.3.2　林地残材の資源循環を阻むボトルネック ····· 24
2.3.3　ボトルネック解消にむけた施策 ····· 25
2.3.4　東日本大震災の復興と林地残材の有効利用 ····· 30
2.3.5　林地残材のまとめ ····· 32

第３章　現地調査訪問先 ····· 33
3.1　(株)吾妻バイオパワー＜地域発生廃木材を燃料としたバイオマス発電＞ ·· 33
3.2　(株)アルフォ＜食品廃棄物からの飼料製造とリサイクル・ループ＞ ····· 39

3.3　大阪府森林組合高槻バイオコークス加工場＜木質系バイオコークス＞ ···· 45
3.4　岐阜市北部プラント＜下水汚泥焼却灰からのりん回収技術＞ ····· 51

第４章　講演内容 ····· 55

第５章　まとめ ····· 62

参考文献 ····· 65

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 ····· 68
1.1　はじめに ····· 68
1.2　調査研究の経緯と目的 ····· 68
1.3　静脈物流における温室効果ガス（CO_2）排出の現状 ····· 69
1.4　静脈物流における課題 ····· 70
1.5　CO_2削減に向けた高度静脈物流システム ····· 71
1.6　昨年度調査研究のまとめと高度静脈物流システムの事例 ····· 75

第２章　高度静脈物流システムにむけた先進的な取組み事例の調査 ····· 78
2.1　廃棄物の共同海上輸送（瀬戸内静脈物流事業化推進協議会） ····· 78
2.1.1　瀬戸内静脈物流事業化推進協議会事務局 ····· 78
2.1.2　株式会社サニックス ····· 82
2.1.3　株式会社トクヤマ ····· 85
2.1.4　宇部興産海運株式会社 ····· 90
2.1.5　宇部興産株式会社 ····· 92
2.2　家電リサイクル（株式会社テルム） ····· 97
2.2.1　会社概要 ····· 97
2.2.2　我が国における廃家電の物流について ····· 97
2.2.3　株式会社テルム入舟事業所 ····· 98
2.3　災害廃棄物の海上輸送 ····· 102
2.3.1　調査研究概要 ····· 102
2.3.2　海上輸送の概要 ····· 102
2.3.3　海上運搬についてのヒアリング内容 ····· 104
2.3.4　和泉リサイクルセンターと平井最終処分場の概要 ····· 105

2.4　廃棄物の共同回収 ····· 106
2.4.1　内陸工業団地 ····· 106
2.4.2　JFE ビーレックについて ····· 109

第３章　先進事例における CO_2 削減効果の試算 ····· 112
3.1　瀬戸内静脈物流事業化推進協議会の事例における CO_2 削減効果 ····· 112
3.1.1　算出条件 ····· 112
3.1.2　CO_2 発生量の試算 ····· 112
3.2　災害廃棄物の海上輸送による CO_2 削減効果 ····· 113
3.2.1　算出条件 ····· 113
3.2.2　燃料消費量の計算 ····· 113
3.2.3　運搬距離の増減による CO_2 削減効果の変化 ····· 114
3.3　神奈川県内陸工業団地の取組みによる CO_2 削減効果 ····· 115
3.3.1　RPF 製造 ····· 115
3.3.2　サーマルリサイクル ····· 115
3.4　取組み事例のまとめ ····· 117
3.4.1　先進事例の主な特徴と CO_2 排出量の試算まとめ ····· 117
3.4.2　その他の事例 ····· 119

第４章　まとめ ····· 121

参考文献 ····· 125

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 ····· 126
1.1　はじめに ····· 126
1.2　今年度の目的 ····· 127
1.3　課題 ····· 128
1.3.1　国内での課題 ····· 128
1.3.2　海外での課題 ····· 128

第２章　有識者の講演とヒアリング ····· 130
2.1　講演会 ····· 130
2.1.1　「世界の資源確保競争について」東北大学　中村教授 ····· 130
2.2　有識者ヒアリング ····· 135
2.2.1　日本大学　福田教授 ····· 135
2.2.2　東北大学　劉准教授および財団法人地球環境戦略研究機関（IGES） ····· 144

第３章　小型家電リサイクルのアジアの流れ ····· 146
3.1　資源循環の現状 ····· 146
3.2　東南アジアのリサイクルの現状 ····· 146

3.3　環境保護と資源確保 …… 146
3.4　アジア各国での共通標準の統一の可能性 …… 146

第４章　小型家電リサイクルの日本の対策と制度 …… 148
4.1　国の取り組み経緯 …… 148
4.2　環境省による制度案 …… 149
4.2.1　小型電気電子機器の定義 …… 149
4.2.2　関係者の役割 …… 149
4.2.3　本リサイクル制度の特徴 …… 153

第５章　アジアにおける最適なリサイクルシステムとは …… 154
5.1　日本の小型家電リサイクル制度をアジア展開する際の問題点 …… 154
5.2　アジアの最適なリサイクルシステムとは …… 154

第６章　まとめ …… 157

参考文献 …… 159

あとがき …… 160

平成 23 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 資源エネルギー開発ｸﾞﾙｰﾌﾟ　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 開発部　課長
委員　小西　正郎	㈱奥村組	東日本支社 環境技術部長
委員　伊藤　道生	コスモエンジニアリング㈱	設計本部　プロセス設計部 プロセス 2ｸﾞﾙｰﾌﾟ
委員　田島　孝敏	㈱大林組	技術本部　技術研究所 環境技術研究部　主任研究員
委員　遠山　正幸	三井造船㈱	技術本部　知的財産部 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　浜田　耕史	㈱大林組	技術本部　技術研究所 生産技術研究部　上席研究員
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
副主査 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
委員　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
委員　見角　一郎	東洋建設㈱	土木事業本部 営業第二部　課長
委員　齋藤　浩	日立造船㈱	営業企画部 戦略企画グループ　担当部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ 土居 洋一	川崎市	環境局 環境技術情報センター　研究員
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ 井上　護	循環物流システム研究所	研究所　所長

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
委員　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
委員　齋藤　洋平	JFE 環境㈱	事業開発本部 開発部　課長

事務局　牧尾　盛喜　　一般財団法人エンジニアリング協会　技術部　研究主幹

まえがき

今年度は、昨年度に引き続き、「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」の一環として下記 3 つのテーマで活動した。

①第 1WG：資源（マテリアル・エネルギー・水）循環社会の実現

昨年度の成果を受けて、バイオマスのうちリサイクル可能量の多い汚泥とリサイクル率の低い食品廃棄物と林地残材に特化して、循環を阻むボトルネックを検証し資源循環のシナリオを策定した。

②第 2WG：CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築

静脈物流の効率化、CO_2削減効果について検討し、本 WG 独自の試算による静脈物流の CO_2排出量を提示した。同時に静脈物流が抱える課題についても明確にし、あるべき姿の提示や法規制の足かせ等についても明らかにした。

③第 3WG：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

アジア圏におけるリサイクルの課題と資源安全保障の観点から循環資源の有効性を確認し、アジア圏における循環システムのイメージ案を提示した。本テーマは国内外に関連する大きなテーマではあるが、あるべき姿についての方向性が提示できた。

これらの一連の調査研究は、年次を重ねるたびに情報量も増え、内容も深化しているが、同時に社会環境や価値観も常に変化しており、技術の側面だけでなくあらゆる変化に対して、スピーディに且つ柔軟に対応してゆくことが、今後益々重要になってきている。特に今年度は、昨年 3 月 11 日に発生した未曽有の東日本大震災を受けて、地球温暖化や循環型社会構築に対する一部国の施策の先送りや停滞等があった。当部会においても「震災からの復興」を新たなキィーワードの一つとして調査研究に取り入れ、バイオマス利活用による震災復興や非常時(災害時)の静脈物流についても言及した。調査研究テーマのキーワードでもある「安心安全社会」実現に向けて、震災の教訓を今後の活動に活かしてゆくことが大切である。

本部会の今後の方向性としては、各 WG ともに個々の技術のみならず、如何に技術、システムを組み合わせてベストミックスシステムを提案できるかが益々重要になってくる。その意味からも、エンジニアリング産業の役割は益々大きくなってくるであろう。

本部会の活動成果が直ちに反映され、世の中を大きく変えることは難しいことかも知れないが、循環型社会、低炭素社会、そして安全安心社会の実現に向けて、信念を持って取り組み「ありたい姿に向けて、ひとりひとりが想いを共有して、継続して努力してゆくこと」が最も重要なことで、実現につながる近道と信じている。

本調査研究が、循環型社会の構築の一助となり、ひいては「エンジニアリング産業」の発展に少しでも寄与できることを祈念している。

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 日に閣議決定された「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 HP

また、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大地震による震災被害からの復興支援の視点から、バイオマス資源循環に基づく社会システムの構築が求められている。

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対象に資源循環の道筋を探る調査研究としてきた。昨年度に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」でとり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。その結果、リサイクル可能量の多い下水汚泥、リサイクル率の低い食品廃棄物と林地残材の 3 種類に特化して、資源循環の対策することが重要であるとの結論に達した。そこで、本年度は、下水汚泥、食品廃棄物、林地残材に焦点を当てて、資源循環を阻むボトルネックの検証をし、地域（都市部・中間山地）毎における資源循環のシナリオを策定した。

また、東日本大地震の復興支援に向けて、バイオマス資源循環に基づく社会システムの調査探索も研究範囲とした。

1) 対象地域と調査項目

対象地域としては、日本国内とし、下水汚泥、食品廃棄物、林地残材のリサイクル率と循環量を向上させるための、ボトルネックを抽出し、課題とその対策を調査した。

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) 視察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) 視察訪問先

今年度は林地残材（木質バイオマス）、食品廃棄物、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 (株)吾妻バイオパワー　群馬県吾妻郡
＜地域発生廃木材を燃料としたバイオマス発電＞

② (株)アルフォ　東京都大田区城南島
＜食品廃棄物からの飼料製造とリサイクル・ループ＞

③ 大阪府森林組合高槻バイオコークス加工場　大阪府高槻市
＜木質系バイオコークス＞

④ 岐阜市北部プラント　岐阜県岐阜市　＜汚泥焼却灰からのリン肥料製造＞

(2)　講演会

「木質エネルギーの振興 ―日本における可能性と課題－」

日本木質ペレット協会会長、筑波大学名誉教授　熊崎実　氏

2011 年 11 月 14 日に一般財団法人エンジニアリング協会の会議室にて講演会を開催した。講師の熊崎実氏は、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、木質バイオマスの利活用と林業再生について多くの提言をされている。

第２章　下水汚泥、食品廃棄物、林地残材の資源循環量を増加させるための方策

2.1　下水汚泥

2.1.1　下水汚泥の資源循環の現状

人の生活に伴い下水汚泥が発生しており、その発生量が年々増加の傾向にある。下水汚泥の 2009 年度でのリサイクル率は 77%（処理過程で発生する消化ガスの利用は含まれない）と、ここ数年、横ばいの状態である。高いリサイクル率ではあるが、発生量が莫大なため、よりリサイクル率を上げる必要がある。下水汚泥は約 80%が有機物であり、バイオマス資源として有効に活用することがリサイクル率を上げる鍵となってくる。

2009 年 3 月に閣議決定された社会資本整備重点計画では、下水汚泥に含まれる有機物をエネルギーや緑農地等へ有効に利用された割合を示す下水道バイオマスリサイクル率が指標とされ、2006 年は約 23%であったものを 2012 年目標として 39%とした。2010 年 12 月にはバイオマス活用推進基本計画が閣議決定され、下水汚泥においてエネルギー利用を推進することにより、2020 年のリサイクル目標を 85%としている。

下水汚泥の利用形態として、マテリアル利用、エネルギー利用に分けられる。マテリアル利用としては、建設資材、緑農地利用として利用され、エネルギー利用としてはバイオガス化や固形燃料化で利用されている。

1)　マテリアル利用

(1)　建設資材

近年では、建設資材としての利用が大部分を占めている。内訳としては、全体のリサイクル率 77%の内、セメント原料が約 40%、セメント以外が約 23%となっている。セメント原料としての利用が多い理由として、大量かつ安定的に処理できるセメント工場の特質を生かした結果、急激に利用料が増加したためである。セメント以外では、軽量骨材や埋め戻し材等が挙げられる。これらの処理方法は、下水汚泥を乾燥した後、焼却あるいは溶融し、焼却灰や溶融スラグとして利用されている。

これらの利用に関するマニュアルやガイドラインは以下のものがある。

・ 下水道エネルギー化技術ガイドライン（案）2001 年（(社）日本下水道協会）

・ 下水汚泥の建設資材利用マニュアル（案）2001 年（(社）日本下水道協会）

(2)　緑農地利用

国内ではコンポスト等の緑農地への利用が約 14%となっているのに対し、英国では、農地へ 62%利用されており、国内の利用率が低い水準であることがわかる。これは、下水汚泥に含まれる重金属に関する認識が障害の一つになっている。下水道草創期に除害設備の管理が不十分の工場排水を受け入れている下水処理場もあり、それに起因する重金属を多く含有している汚泥が発生していたことがあったからである。現在では、行政指導や技術の進歩により、重金属の含有量は大幅に低下している。

緑農地への利用については、国内においてはリンに注目されているが、下水汚泥に

は、リンの他に窒素、微量栄養素、ミネラル等が豊富に含まれており、貴重な資源である。また、汚泥コンポストと化学肥料・有機肥料を用いて栽培されたミニトマトについてどちらがおいしく感じたかを調査した結果、汚泥コンポストのほうがおいしかったという回答が多かったという結果もある。

これらの利用に関するマニュアルやガイドラインは以下のものがある。

- 下水汚泥コンポスト入門 1983 年（(社) 日本下水道協会）
- 下水汚泥コンポストの指標（その 2）1985 年（(社) 日本下水道協会）
- 都市緑化における下水道の施設指針 1895 年（(社) 日本下水道協会）
- 下水汚泥コンポスト化施設　計画・設計マニュアル 1998 年（(財) 下水道新技術推進機構）
- 土の種類と有機物資材の高価 2001 年（(社) 日本下水道協会）
- 下水汚泥コンポスト施設便覧 2001 年（(社) 日本下水道協会）
- 下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル 2005 年（(社) 日本下水道協会）

2)　エネルギー利用

下水汚泥は質、量ともに安定したバイオマスであり、下水汚泥中の固形物の約 8 割は有機物で占められており、有効に活用することが求められている。

(1)　バイオガス化

消化槽は、汚泥の減量化、安定化、臭気を抑えることに優れた機能を発揮する処理法として発展してきた。バイオガス化は、嫌気性消化槽を用いてメタンを主成分とするバイオガスとガス化炉で熱分解して一酸化炭素、水素を主成分とするバイオガスとの 2 種類がある。主として嫌気性消化槽を用いたバイオガス化が進められている。消化槽を有する処理場は新設と廃止が概ね相殺し、1997 年からほぼ横ばいの状況であり、約 300 の処理場が施設を有している（**図 2.1.1-1**）。

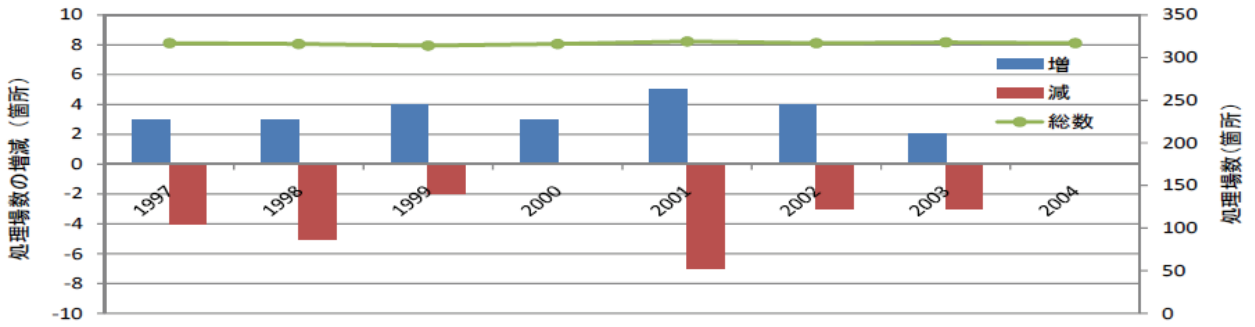


図 2.1.1-1　消化槽を有する処理場とその推移

出典：下水道統計

消化槽からのバイオガス発生量は約 3 億 m^3（2009 年度）であり、その約 7 割が有効に利用されている。その利用先は、約 2 割がガス発電、約 3 割が消化槽の加温となっている。計画人口別の消化ガス利用割合は、計画人口が多いとガス発電しており、未利用率が低下することがわかる（**図 2.1.1-2**）。これは、計画人口が多いほど、発生する下水汚泥が多いため、バイオガスの発生量も多くなっていることが起因してい

る。従って、今後は熱と電気を同時に発生させるコージェネレーションシステムの普及が期待される。

これらの利用に関するマニュアルやガイドラインは以下のものがある。

・ 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）2011 年（国土交通省）

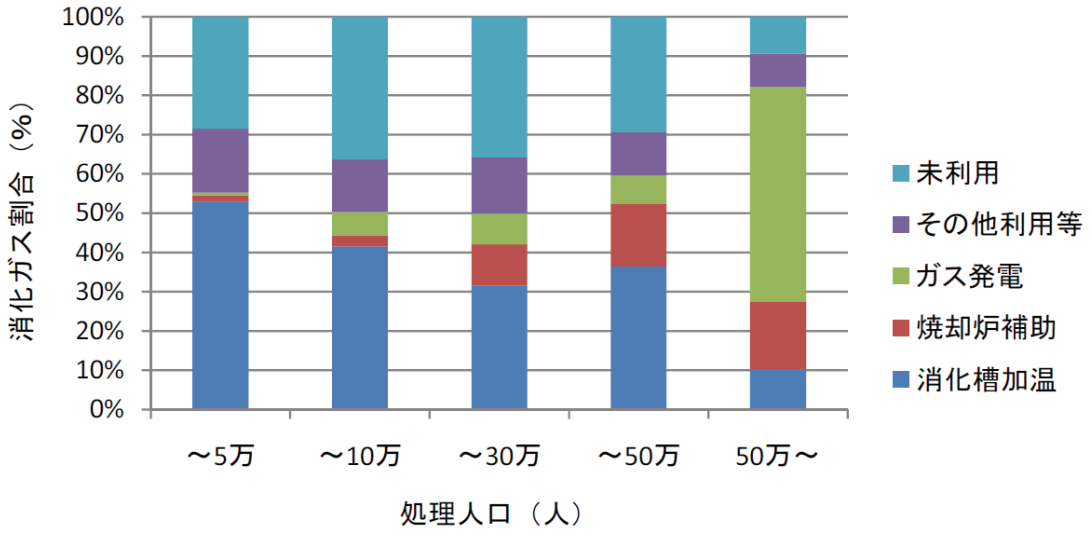


図 2.1.1-2　計画処理人口別の消化ガス利用割合 2004 年

出典：下水道統計

(2)　固形燃料化

固形燃焼化された汚泥は、火力発電所や製紙工場のボイラの化石燃料代替燃料として利用する取り組みが行われている。その方法は、炭化、油温減圧乾燥、造粒乾燥であり、熱量は、炭化汚泥 13MJ/kg、油温減圧乾燥汚泥 24MJ/kg、造粒乾燥汚泥 19MJ/kg と低品位の石炭並みの発熱量を有しており、石炭の代替資源として大きく期待されている。2011 年度の固形燃料化汚泥利用料は、27,000t-DS であり、全体の約 1%である。

これらの利用に関するマニュアルやガイドラインは以下のものがある。

・ 改質乾燥による下水汚泥のバイオマス燃料化技術に関する技術マニュアル 2008 年（(財) 下水道新技術推進機構）

・ 汚泥熱分解燃料化システム技術マニュアル 2010 年（(財) 下水道新技術推進機構）

・ 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）2011 年（国土交通省）

2.1.2　下水汚泥の資源循環を阻むボトルネック

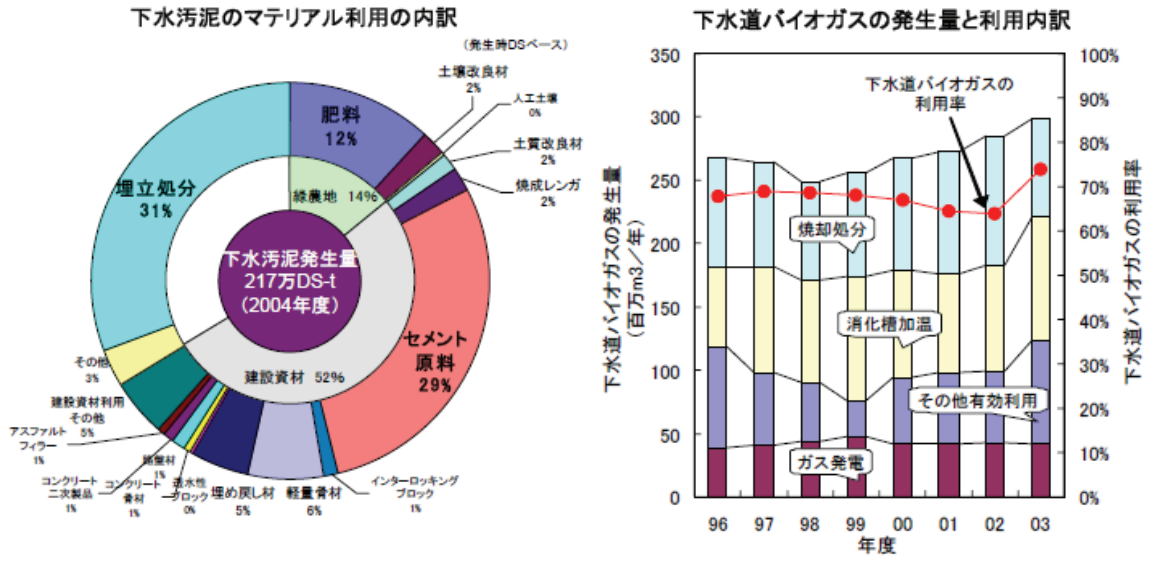
下水汚泥の処理については、これまで処理残渣の埋め立て処分量減量が最優先に考えられてきたため、セメント原料等の建設資材やコンポスト等としての緑農地利用が主に推進されていた。そのため、下水汚泥をエネルギー利用するといった観点での評価を行う画期的な枠組みや制度は存在していなかった。従って、下水汚泥のエネルギー資源としての価値に着目し、下水汚泥の利用をマテリアル、エネルギー両面から評価、推進する取り組みを推進することが必要である。

1)　マテリアル利用

従来のセメント原料等の建設資材やコンポスト等としての緑農地利用については、安定した利用率で推移しているものの（2009 年：緑農地 14%、建設資材 63%）、依然として 30%程度は埋め立て処分されている（**図 2.1.2-1**）。下水汚泥は本来、窒素やリン等の栄養塩が豊富であり、下水道のリン賦存量はリン鉱石輸入量の約 11%（2004 年）に相当している。昨今では下水汚泥の減量化の推進により、高濃度のリン等の貴重な資源を分離回収が期待されている。しかしながら、3.11 震災の福島原発事故以降、焼却灰からの放射性物質検出の問題により、汚泥減量化のプロセスで処理した焼却灰そのものが使用できない状況に陥っているのが現状である。

2)　エネルギー利用

下水汚泥の消化処理は古くは汚泥減量化、安定化、無害化を目的として設置されていたものの、消化処理によって発生するバイオガスは汚泥由来のバイオマスエネルギーとして利用促進が期待されている。現状ではバイオガス発生量の約 2～3 割は焼却処分されており、また残りの 7～8 割についても大半は消化槽の加温や焼却炉の補助燃料などに利用されて、ガス発電に使用されている割合は全体の 1 割程度にとどまっており、より効率的な利用が求められている。



下水道バイオガスの「その他有効利用」の内訳

・焼却炉補助燃料	70%
・汚泥乾燥	16%
・場内冷暖房	5%
・その他	9%

図 2.1.2-1　下水汚泥の利用状況 2004 年

出典：下水道統計

表 2.1.2-1　下水汚泥の課題と解決策

マテリアル利用	
課題	解決策
・ 建設資材やコンポスト等の利用はほぼ頭打ち ・ 焼却灰からの放射性物質検出問題	・ リン回収や貴金属回収など、新規マテリアル利用法の模索
エネルギー利用	
課題	解決策
・ 発電設備規模が小さい（コスト縮小困難） ・ 製造エネルギーの地域需要／供給とバランスが困難 ・ 法制度不備	・ 地域と連携した利用推進（SPIRIT21、LOTUS プロジェクト） ・ 関係省庁間で連携した制度制定、下水汚泥の処理、有効利用の広域化

2.1.3　ボトルネック解消にむけた施策

下水汚泥処理において、下水処理場のエネルギー自立を実現するためには、地域住民や民間企業等と連携して地域に賦存する下水汚泥の有効利用を促進、新世代下水道支援事業制度（SPIRIT21）による地域のバイオマスの処理場内での利活用や下水道バイオガスの外部供給の支援、下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（LOTUS プロジェクト）による下水汚泥のバイオマス利用等に関する技術開発など､多様な施策が推進されている。

1)　地域のバイオマスを総合的に利活用

下水汚泥のみの有効利用を検討するという単独の考え方を地域のバイオマスを総合的に利活用していくという考え方に転換する。地域住民と一体となって、下水汚泥を含めた各種バイオマスの利活用にあたっての基本的方針や目標、推進体制、評価手法、具体的な取組事項等を明確にしたバイオマス利活用計画を策定する。**図2.1.3-1**は下水処理場を地域のバイオマスの利活用の核とした一例である。

2)　バイオガス利活用プロジェクトに対する認定と総合的な支援

下水処理場外にて下水道バイオガスを公共又は公共の用途に活用する場合、下水道バイオガスを供給するために必要な施設を補助対象とする制度は、関係省庁間で連携した制度の制定や、**表2.1.3-1**に示すような、下水汚泥の処理や有効利用の広域化をさらに推し進める必要がある。このためには、PFI（Private Finance Initiative）による民間資金とノウハウを活用して､効率的に公共施設等の建設､維持管理､運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用することで、**図2.1.3-2**に示すような多様な資源・エネルギーとしての活用・再生を行える仕組みの構築を実現すべく、官民が連携した利活用プロジェクトを推進していくことが必要である。

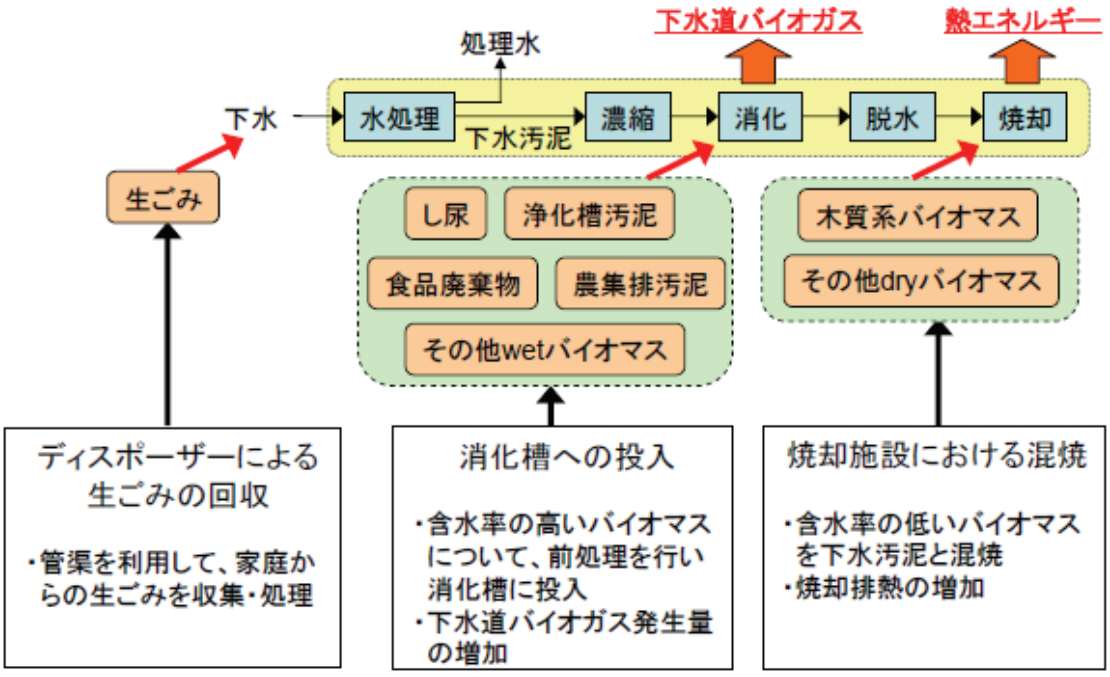


図 2.1.3-1　下水処理場を核としたバイオマスの利活用

出典：国交省 HP

表 2.1.3-1　下水処理場を核としたバイオマスの利活用

事業名	特定下水道施設共同整備事業（スクラム）	汚水処理施設共同整備事業（MICS）	流域下水汚泥処理事業
創設年	1997年4月	1999年3月	2000年5月
目的・内容	複数の市町村により、広域的に下水道施設の共同化・共通化を図ることで、効率的かつ経済的な下水道施設整備を推進する（移動式脱水車、乾燥車、共同汚泥処理施設等）	下水道や農業集落排水施設等、複数の汚水処理施設が共同で利用できる施設を整備することにより、効率的な汚水処理施設の整備を図る	都道府県が事業主体となり、広域的な観点から、流域下水道お寄り周辺の公共下水道から発生する下水汚泥を集約処理するとともに、資源化再利用の推進を行う
実施箇所数	15道県31箇所	24道県62箇所	9道県13箇所

出典：国交省 HP 資料より抜粋

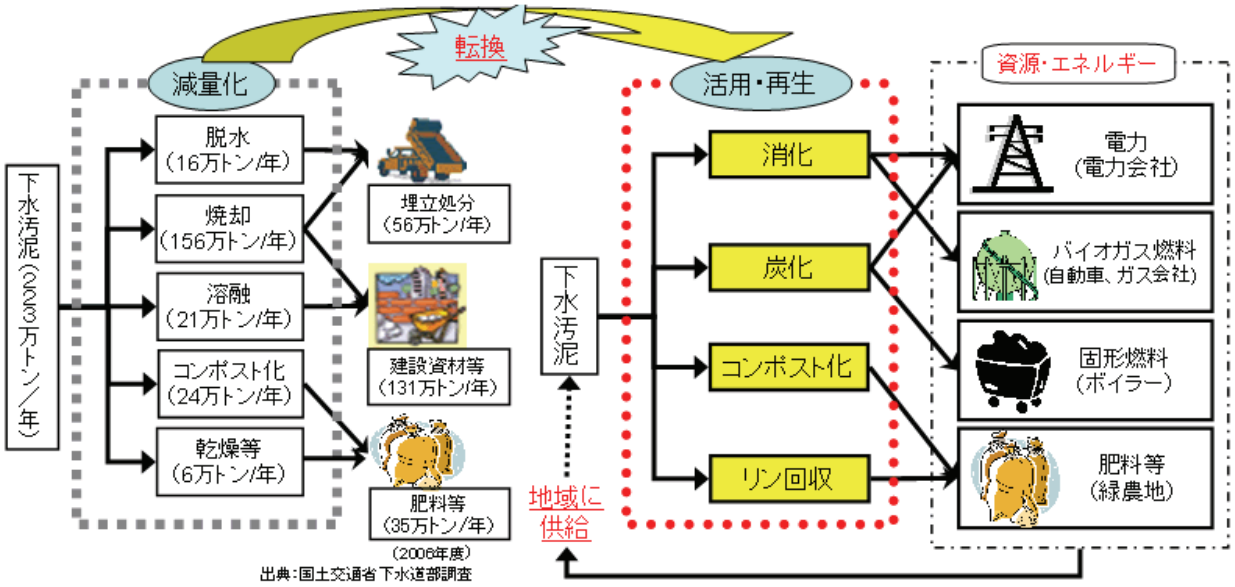


図 2.1.3-2　循環型社会の形成に向けた今後の下水道のあり方

出典：国交省 HP

2.1.4　東日本大震災の復興と下水汚泥の有効利用

東北地方の東日本大震災以前では、下水汚泥リサイクル率は2005年度で49%（内訳：緑農地利用41.2%、建設資材利用58.8%）と低く、大部分は埋め立て処分されているといった状況であった。東北各県においては、青森県が最もリサイクル率が高く（100%）、次いで岩手県（96%）、宮城県（10%）の順であり、緑農地への利用量が大きかった。マテリアルリサイクルの農業利用が可能な地域の場合、規模の大きなたい肥化では採算が取れやすい半面、エネルギー利用については、処理量がある程度確保できていてもコスト的に厳しいというような状況であった（出典：国交省　東北地方整備局建政部HP）。震災後は、特に沿岸部において広範囲にわたる農地消失、汚泥集約インフラの損傷、回収汚泥の放射能汚染など様々な問題が噴出しており、マテリアル・エネルギー利用の困難さが一層深刻化している状況である（出典：2012年1月30日　社団法人日本下水道協会「下水汚泥のリサイクル促進に関する講演会」）。それでも、宮城県気仙沼市では、基幹産業の水産業の創生に向け、水産業の排水や産業廃棄物をバイオマスとして下水処置場で受け入れ、エネルギーとして活用するハイブリッド下水システムの実証システムが建設され、実証試験を行っており、地域密着型の新しい下水汚泥の有効利用が生まれつつある。

2.1.5　下水汚泥のまとめ

下水汚泥は高いリサイクル率ではあるが発生量が莫大なため、よりリサイクル率を上げる必要がある。下水汚泥の利用形態は、マテリアル利用としては、建設資材、緑農地利用として利用され、エネルギー利用としてはバイオガス化や固形燃料化で利用されている。下水汚泥の処理については、これまで処理残渣の埋め立て処分量減量が最優先に考えられてきたため、セメント原料等の建設資材やコンポスト等としての緑農地利用が主に推進されていた。そのため、下水汚泥をエネルギー利用するといった観点での評価を行う画期的

な枠組みや制度は存在していなかった。今後は下水汚泥のエネルギー資源としての価値に着目し、かつその利用をマテリアル、エネルギー両面から評価、推進する取り組みを推進することが必要である。現在、地域住民や民間企業等と連携して地域に賦存する下水汚泥の有効利用を推進するために様々な施策が推進されており、活発化が期待されている。東日本大震災後は、特に沿岸部において広範囲にわたる農地消失、インフラの損傷、汚泥の放射能汚染等、様々な問題が噴出しており、マテリアル・エネルギー利用の困難さが一層深刻化している状況であり、当面は詳細かつ正確な情報把握と長期に渡る制度設計の継続的実施が必要である。

2.2 食品廃棄物

2.2.1 食品廃棄物の資源循環の現状

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渣等で、次の 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。

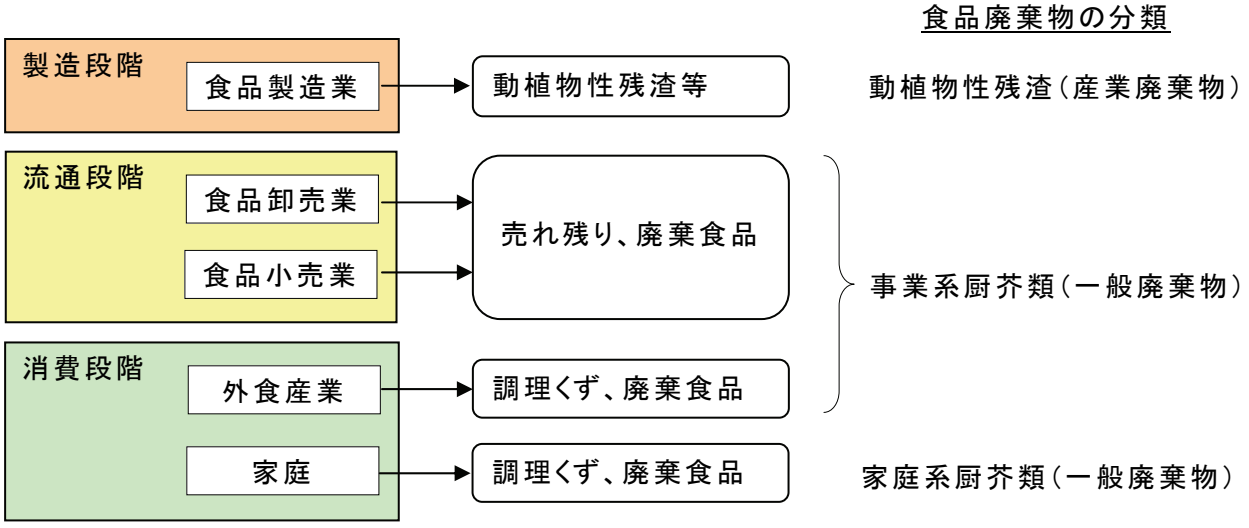


図 2.2.1-1 食品廃棄物の分類

1) 食品廃棄物の発生量

年間約 2,200 万 t 発生（食品関連事業者 1,100 万 t、一般家庭 1,100 万 t）し、そのうち、300 万 t が有価で取引され、残りの 1,900 万 t が廃棄物である。処理の内訳は、再生利用が 500 万 t（26%）、焼却等が 1,400 万 t（74%）である。

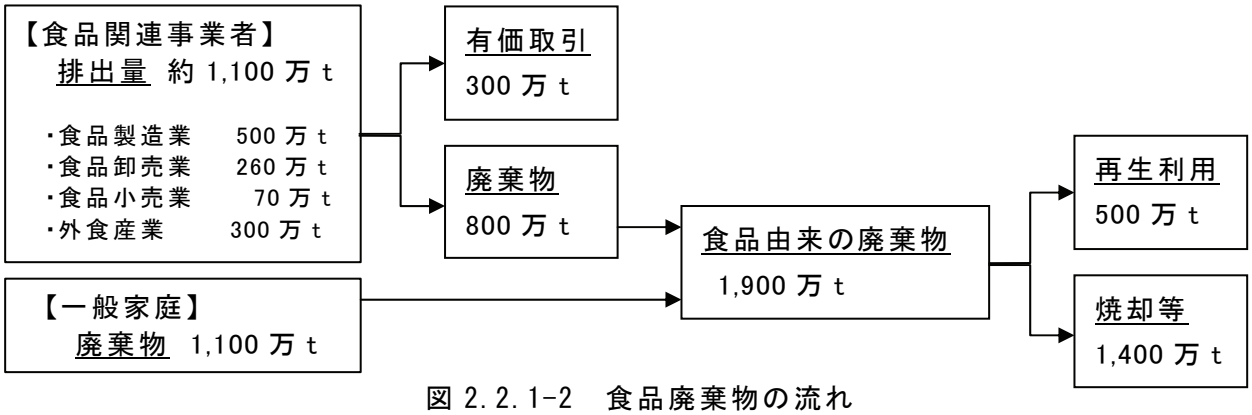


図 2.2.1-2　食品廃棄物の流れ

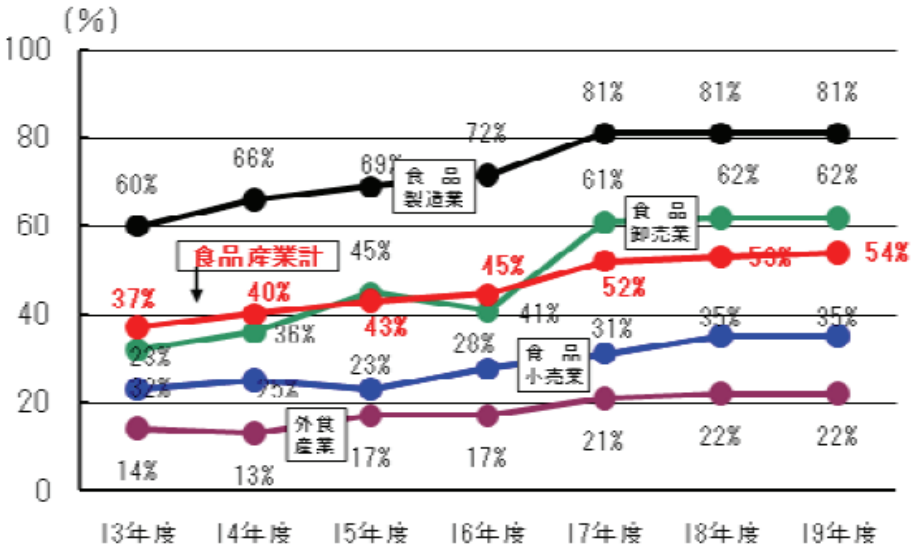
出典：農水省 HP から作成

2)　食品循環資源の再生利用

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 年度の調査結果を図 2.2.1-3、表 2.2.1-1 に示す。

2001 年度から 2007 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、2001 年 5 月に施行された食品リサイクル法の効果が表れている。ただし、2005 年度以降の実施率は横ばい状態である。

食品関連事業者の食品廃棄物は、食品リサイクル法に基づき、飼料や肥料などへの再生利用が推進されている。2007 年度の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%で、肥飼料化が大部分を占める。



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 2.2.1-3　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 HP

表 2.2.1-1　食品循環資源の再生利用等の実施率（2007 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 HP

2.2.2　食品廃棄物の資源循環を阻むボトルネック

2007 年度の再生利用等の実施率は、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。さらに、市町村の焼却手数料が安価で（東京都区部の場合 14.5 円/kg)、再生利用ビジネスの採算が合いにくいことも大きな原因である。

一方、家庭系厨芥類は 1,100 万 t と大量に発生している。多数の場所から少量ずつ排出され、かつ廃棄物の成分も複雑であることから利用率は約 6%と低い。

食品循環資源の利用率の向上のためには、食品卸売業、小売業および外食産業の事業系厨芥と、一般家庭から排出される生活系厨芥の再利用の促進が重要で、これらの廃棄物が有している下記の課題(**表 2.2.2-1**)を解決する必要がある。

表 2.2.2-1　廃棄物の課題と解決策

課題	解決策
廃棄物の発生場所が多く、それぞれの発生量が少ない。	・効率的な収集・運搬システムの確立
多種多様の内容物を含んでおり、成分が安定しない	・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が必要	・低エネルギー型回収・処理技術の開発 ・低コスト技術の開発

2.2.3　ボトルネック解消にむけた施策

1)　既往の研究

国立環境研究所の大迫氏らは、近未来における食品廃棄物の循環ビジョンを検討し、食品廃棄物の発生と利用に影響する要因の抽出と関連付けを行っている（**図 2.2.3-1**）。

この要因構造図に基づいて、「製品需要」、「資源供給」、「循環利用」の視点から、下記の提言がなされている。

・製品需要：経済格差是正と食育を進めながら、地産地消を含めた食文化の再構築

・資源供給：農業・漁業の経営改善、流通構造の改善

ここで、循環利用については、食品廃棄物の【発生】→【回収】→【循環利用】における影響要因として以下が挙げられている。人と人との連携を基本とした社会システムを実現する政策が必要と考えられる。

・システムの企画の人材、システム実現の人材育成（発生、回収、利用）

・信頼構築、ルート確立（発生、回収）

・許認可の簡素化、迅速化（回収、利用）

・焼却処理からの経済的誘導（利用）

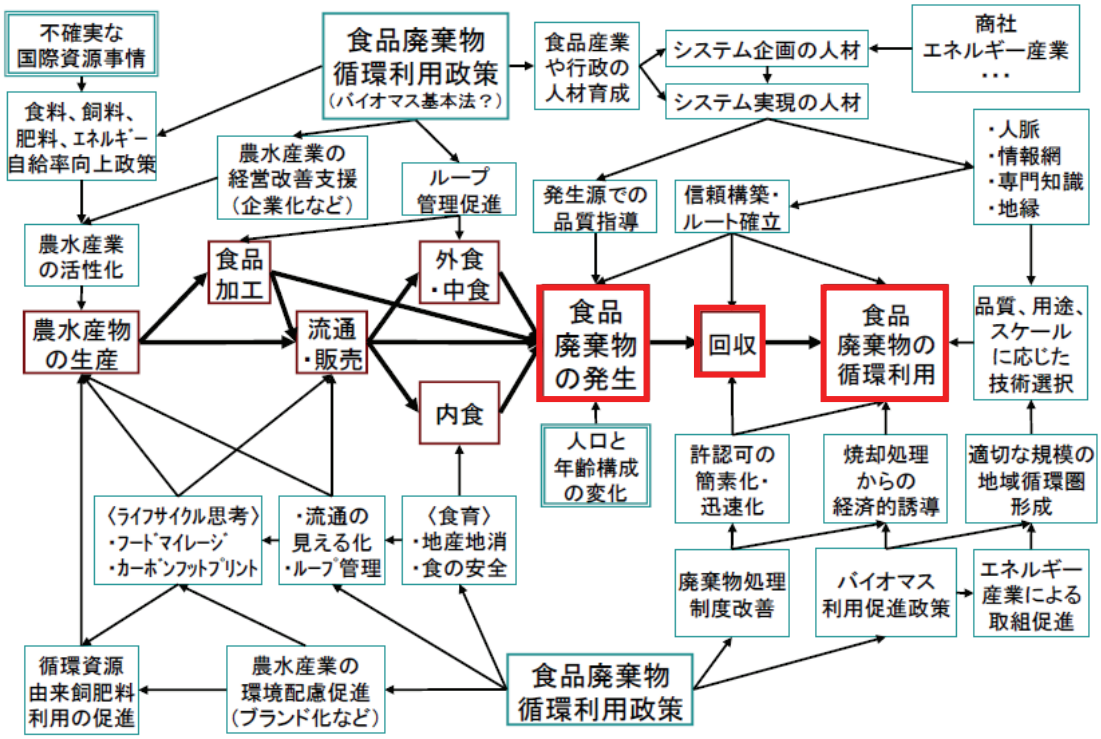


図 2.2.3-1　食品廃棄物の循環利用を促す要因と政策の関係

出典：循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価、循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版（2011）

2)　法制度の見直し

(1)　食品リサイクル法の改正

食品小売業、外食産業など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。改正の主な内容は以下の 3 点である。

(a) 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。

(b) 食品関連事業者の取組みの円滑化

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『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。

再生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、これを用いて生産した農畜水産物を食品関連事業者が使用する取り組みで、リサイクル・ループの構築により、資源循環が円滑化することが期待できる。

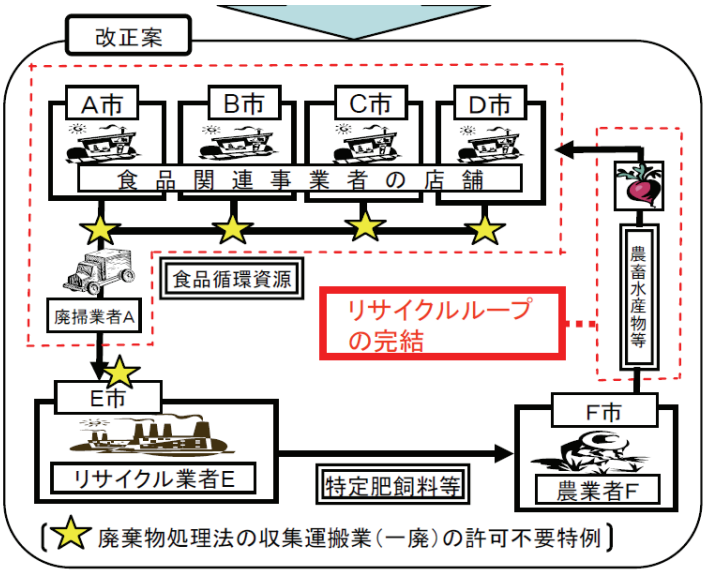


図 2.2.3-2　食品リサイクル・ループの概念図

出典：農林水産省 HP

(c) その他

再生利用等の手法に「熱回収」を追加する。これは廃棄物に塩分が多く含まれて飼料や肥料に向かない等のように再生利用が困難な場合にのみ熱回収が認められるものとみられる。

3)　再生利用技術の向上

再生利用技術として、飼料化、堆肥化、バイオガス化がある。これらの概要、処理方法および処理物の用途を**表 2.2.3-1** に示す。

表 2.2.3-1　再生利用技術と処理物の用途

技術	概要	処理方法	用途
飼料化	動植物性残渣などを熱加工し、その後、液状物または乾燥処理して粉状物にする。	・乾燥法 ・リキッドフィーディング	・配合飼料 ・飼料
堆肥化	適切な水分に保った状態で強制通気または撹拌などによって好気的雰囲気を作り、有機性廃棄物を微生物の働きにより分解する。	堆肥化設備の型式 ・堆積方式 ・撹拌方式	・堆肥 ・土壌改良材
バイオガス化	有機性廃棄物を中温（35℃程度）または高温（50℃程度）の発酵槽に投入し、嫌気性微生物の働きによって分解してメタンを得る。	・原料（乾式、湿式） ・運転（連続、バッチ） ・発酵温度（中温、高温）	・メタンガス ・熱 ・電気

食品関連事業者、処理業者および自治体において、様々な取り組みが行われている。「有機系廃棄物資源循環システム研究会」（代表者　古市徹氏）では、日本各地の事例を調査し、成功要因を分析している。主な調査事例を**表 2.2.3-2** に示す。

表 2.2.3-2　取組み事例

実施主体 / 再生技術	排出事業者	処理業者	自治体
飼料化	(株)小田急ビルサービス	(株)アルフォ 三造有機リサイクル(株)	
堆肥化	ユニー(株)	(株)ばんけいリサイクルセンター	北海道ニセコ町
バイオガス化	(株)アレフ	バイオエナジー(株)	北海道中北空知地域

(1)　飼料化

(a)　(株)小田急ビルサービス

小田急グループおよびその他の事業所から発生する売れ残り、調理くずなどを 1 日約 20～25t 搬入し（受入料金 20 円/kg 前後）、これを破砕・殺菌・発酵処理により 1 日約 30t の液体発酵飼料を製造している。飼料は養豚場に出荷される。

(b)　(株)アルフォ

都内近郊から排出される食品小売業、外食産業の生ごみおよび食品製造業の動植物性残渣を「油温減圧式脱水乾燥法」で乾燥して、家畜用配合飼料の原料を製造する。本処理法は、蒸気による間接加熱で約 80%の水分を乾燥するもので、乾燥後、包装ビニール等の異物を除去し、養鶏・養豚用の配合飼料原料に加工される。受入処理量は 140t/日（受入料金 23 円/kg）である。

(c)　三造有機リサイクル(株)

札幌市内から発生する事業系厨芥を 1 日約 60t 受入れ、油温減圧式脱水乾燥法により乾燥して家畜飼料原料であるフライドミールを製造している。

(2)　肥料化

(a)　北海道ニセコ町

町内で発生する家庭系厨芥、家畜ふん尿、下水汚泥を堆肥化している。水分調整剤として抜根破砕チップが使用されている。年間受入量は、家庭系厨芥が 380t、家畜ふん尿が 5,000t、下水汚泥が 179t である。製品堆肥は町内の農家で使用されている。

(3)　メタン発酵

(a)　バイオエナジー(株)

首都圏の 500 箇所程度の事業所から 1 日 110t の事業系厨芥類、動植物性残渣を回収してメタン発酵方式で処理を行い、発生するバイオガスから電気と熱を回収している。

電気は「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」（RPS 法）に基づいて売電している。また、2011 年 1 月からは都市ガスの配管にバイオガスを供給する実証事業も始めた。

受入料金 35 円/kg と、東京都区部の事業系一般廃棄物の処理価格 14.5 円/kg に比べて高価であるが、環境貢献を評価して契約を結ぶ事業者が多い。都市部に位置しているため、廃棄物の回収・運搬に適しており、電気と熱の需要も安定しているという利点がある。

(4)　複合処理

下水汚泥に食品廃棄物を混合してメタン発酵を行い、バイオガスを得る試みが都市部の自治体を中心に行われている。以下に主な取り組み事例を示す。

(a)　石川県珠洲市

下水処理場に隣接して設置された珠洲市浄化センターでは、汚泥と生ごみの混合メタン発酵を行い、発生したバイオガスを自家用ボイラの燃料に利用している。生ごみは、1t あたりのバイオガス発生量が下水汚泥の 40 倍程度と高いため、バイオガス発生量の確保に大きく貢献している。

(b)　大阪府大阪市

大阪市中浜下水処理場では、国土交通省の事業として下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)が行われている。B-DASH とは、水処理技術+バイオガス回収技術+バイオガス精製技術又は発電技術を組み合わせたもので、3 つの技術を組み合わせ温室効果ガス排出量削減及び建設費･維持管理費削減効果を実証している。

水処理系では、下水に対して徹底的な固液分離を行い、汚泥と処理水を分離し、流入負荷低減による省エネルギー化を図る。また、汚泥処理系では、高効率高温消化(メタン発酵)を行い、生汚泥に生ごみを投入することでバイオガスの発生量を増大させ、発電システムによる創エネルギー化を図っている。下水処理場全体のエネルギーマネジメントを行うことができるため、高いエネルギー自給率の達成を目標としている。

(c) 兵庫県神戸市

神戸市東灘処理場では、再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業 （KOBE グリーン・スイーツプロジェクト）が行われている。

このプロジェクトは、下水道に好適な食品系（スイーツ）・木質系等（グリーン）の地域バイオマスを、神戸市東灘処理場に受入れ、下水汚泥と混合することにより、バイオガス発生量を増加させ、同処理場を「地産地消型の再生可能エネルギー供給拠点」とすることを目指しており、未利用バイオマスを下水汚泥に添加することで、資源化と汚泥処理効率化を図っている。森林・街の緑の保全と連携した木質系バイオマスの、バイオガスとしてのエネルギー活用は、初の試みである。

東灘処理場では、汚泥減量化の過程で発生する消化ガスを精製したバイオガスを市バスや民間運送車両などに「自動車燃料」として活用したり、「都市ガス」としても供給も行っている。これらの取り組みにより、東灘処理場は国内外から多くの見学者が訪れており、地産地消の再生可能エネルギー生産のショーケースとなっている。

以上の事例を鑑みると、廃棄物の回収・処理・再生利用を同じ地域内でループを構築することにより、運搬効率を向上させて、回収・処理費用の低コスト化を図ることが事業成立のポイントとなる。また、バイオガス化により、熱や電気などのエネルギーとして回収することにより、付加価値を高めることが可能であると考えられる。特に、飼料化、堆肥化が容易ではない家庭系厨芥類は、下水汚泥と混合してバイオガス化することにより、再生利用率の向上が期待できる。

2.2.4 東日本大震災の復興と食品廃棄物の有効利用

津波被害を受けた水産加工工場において、水産加工物が冷凍保存できずに腐敗したことに対して、環境省は緊急的に海洋投入処分できるようにした。このように災害で食品流通に乗らずに廃棄物となった食品については、堆肥化などの再生利用処理を行うことが考えられる。自然災害が発生した場合に限られ、通常時に余裕を持った設備を整えることは容易ではないが、平時から周辺とのネットワーク網を整備することにより、被災地外での処理体制が取れることも考えられる。

2.2.5 食品廃棄物のまとめ

食品廃棄物の再資源化を促進するためには、流通・外食産業から排出される事業系一般廃棄物と、一般家庭から排出される家庭系厨芥類の有効利用の促進が重要である。これらの廃棄物は、内容物が様々で、異物を含み、発生が偏在していること等が課題である。これに対して、廃棄物の収集、処理、再生利用がある地域内で完結するシステムを構築することが再資源化を促進することになる。また、分別手間を省くことの可能な処理（例えば、ディスポーザーによる粉砕後、下水汚泥と混合し、メタン発酵処理する）も有力と考えられる。さらに、一般家庭からの生活系厨芥類においては、自治体と住民との信頼関係の醸成と協力体制の構築も必要である。

2.3　林地残材

2.3.1　林地残材の資源循環の現状

我が国には森林資源が豊富に存在している。戦後に植林された人工林の影響で日本の森林成長量は 2008 年のデータで 170 百万 m³/年程度あり、その成長分の全量を伐採しても計算上は森林面積が減少することはない。しかし、木材として伐採されている量は 25 百万 m³/年程度に留まっている。つまり我が国における木質系バイオマスのポテンシャルは非常に大きいといえる。またバイオマス資源の中では炭素固定量の高い木質系バイオマスを有効利用することができれば持続可能な社会の実現、さらにカーボン・ニュートラルという考え方からも地球温暖化の防止に貢献し、かつ、間伐材等を効率的に有効利用することによって健全な森林の保全も可能となる。

ここに、我が国における木質バイオマスの現状や林地残材について下記する。

1)　林業の現状

我が国の森林面積は 2,510 万 ha でありその面積は国土に対して 67%を占めている。また前述のとおり人工林の成長量に対して実際の伐採量は大幅に少ない。これは木材の需要量が少ないことに起因するのではなく、木材需要の 4 分の 3 を安価な輸入材に依存しているためである。

林業の国内生産額は、2007 年で 4,774 億円であるが、ここ 30 年で約 4 割減少している。また、林業の就業者数は同じ期間をとれば 17 万人から 5 万人へと 7 割も減少しており、高齢化率も 26%と全産業の高齢化率 9%と比較して約 3 倍に達している。

その理由として昭和 35 年の木材の輸入自由化があげられる。戦後の復興需要期に大量の木材供給が必要とされ、輸入自由化を契機に需要が価格の安い輸入材にシフトし、木材自給率は自由化前の 94.5%から 20%前後まで落ち込んだ(図 2.3.1-1)。

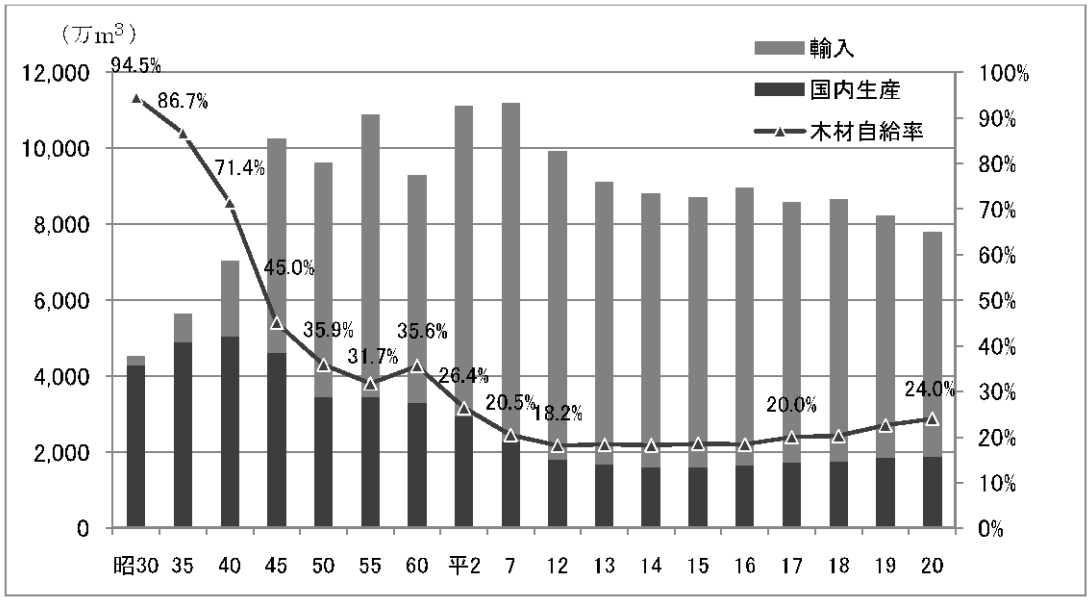


図 2.3.1-1　木材供給量の推移

出典：林野庁「木材需給表」より作成

住宅建築工法の変化も国産材価格の下落に影響した。それまで柱材等に使用されてきた国産材が、工場でのプレカット方式の導入が進むにつれ需要量が減少し、スギ中丸太を例にとれば、ピーク時の 38,700 円/m³（1980 年）から 11,800 円/ m³（2008 年）と 3 分の 1 以下に低下している。一般的にスギ伐採による売上金額は 8,000 円/程度であるのに対して伐採・搬出等の施業費に 13,000 円/m³程度のコストが掛かると試算されているため、補助金無しでは林業が成り立っていないのが現状である。

従って間伐や主伐から生じる細い木や枝葉、製材品に加工する過程で生じる端材等、樹木の全てを木質バイオマスとして活用することにより林業所得を増大させるように取り組んでいく必要がある。

2)　木質バイオマスの分類

木質系バイオマス資源はその発生源から**図 2.3.1-2** に示すとおり、林地残材や間伐材等の「林業系」と木材の加工に伴い発生する端材等の「木材工業系」、建築廃材や街路樹等の剪定枝材である「廃棄物系」の 3 種類に分類できる。また、利用先から分類するとチップや堆肥、家畜飼料、パーティクルボード等の土木建築資材に利用する「原料（マテリアル）利用」と、薪や木質チップ、ペレット材等に利用する「熱（サーマル）利用」、焼却や埋立処理の「廃棄物処理」の 3 種類に分類できる。

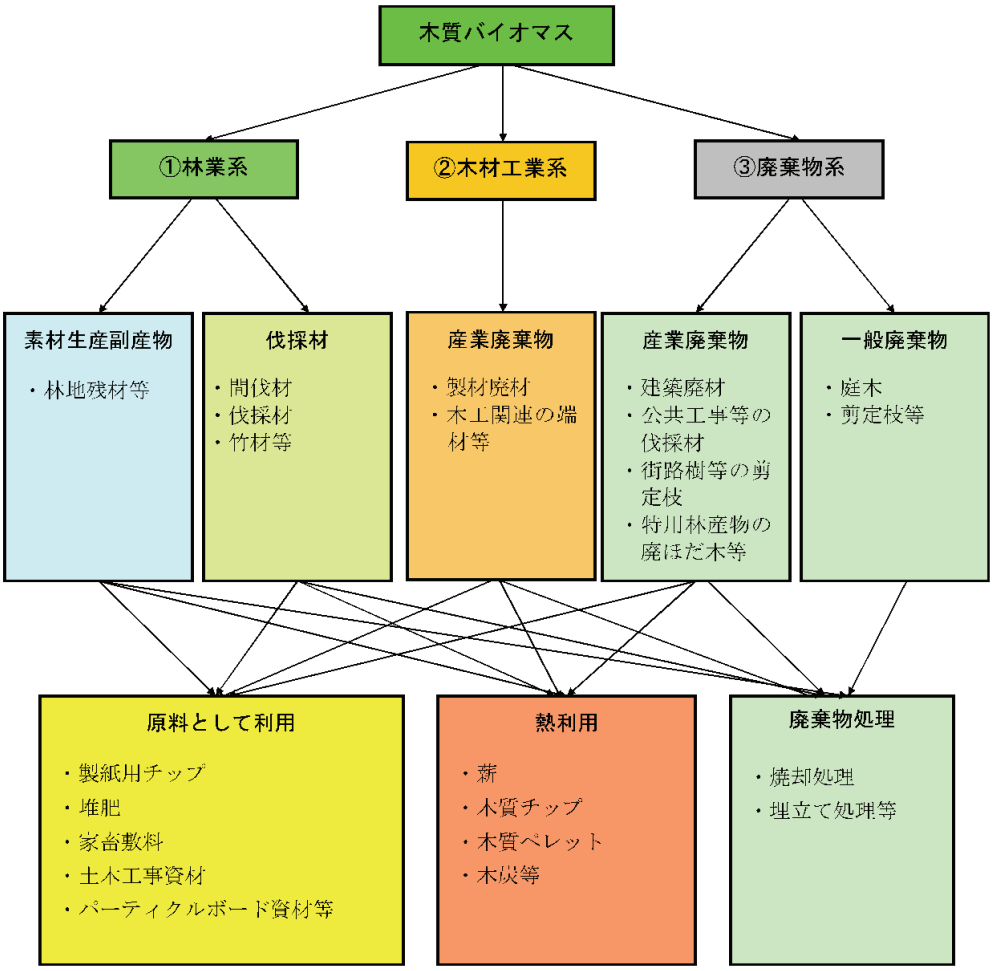


図 2.3.1-2　木質バイオマス資源の体系

出典：島根県「しまね木質バイオマスエネルギープラン」

この中で「木材工業系」や「廃棄物系」の利活用は進んでいるものの、収集運搬の負担等の問題を抱え、林地に残されたままとなっている「林業系」の活用手法は未だ確立されていないのが現状である。

3)　林地残材の現状

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、立木を木材として販売するために伐採する「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、立木を立派な太い丸太に育成するために、過密になる木々の一部を計画的に間引く「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。

また木材は①径が太く欠点のない直材の A 材、②曲がりや節を含み合板等に用いられる B 材、③大曲がりや小径でチップ等に利用される C 材、④枝葉等の D 材の 4 種類に分類される。集積後の B 材、C 材にはそれぞれ使い道が存在するが、現在の価格では搬出して販売してもその搬出コストを賄えないケースが多いため、林地残材として森林内に放置される材料が多い。特に間伐においては切捨て間伐の割合が高くなっていて、森林組合が行う間伐では実に 7 割が切り捨て間伐として林地残材となっている。

次に林地残材の発生過程に注目する。主伐の集材には「全木集材」「全幹集材」「短幹集材」の 3 つの方法があるが、それぞれの方法によって林地残材の発生量に違いがある。

(1)　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 B 材や C 材が林地残材となるが、森林内に残置される木材はない(図 2.3.1-3)。

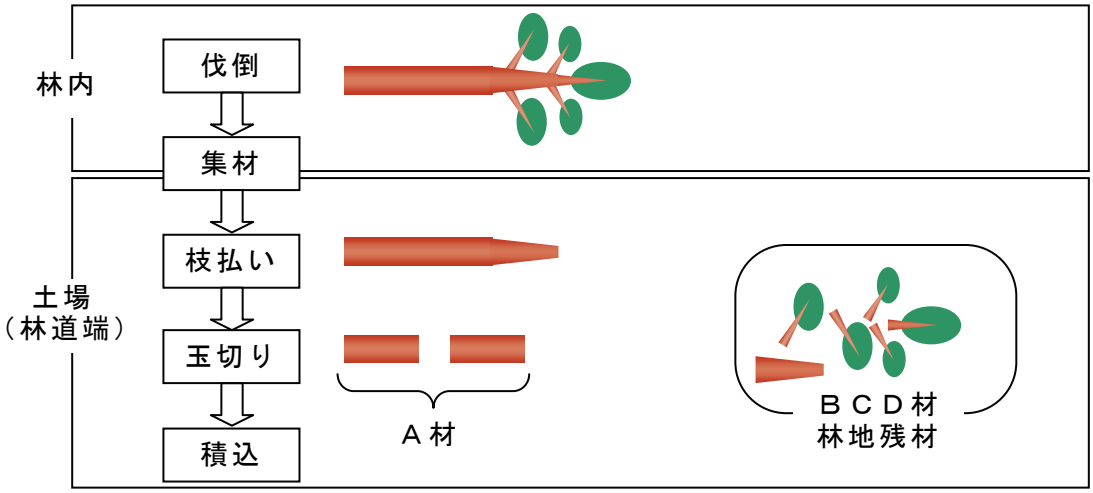


図 2.3.1-3　全木集材の流れ

(2)　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森林内に広く拡散し、B 材や C 材の一部（梢端部分）は土場に集積される(図 2.3.1-4)。

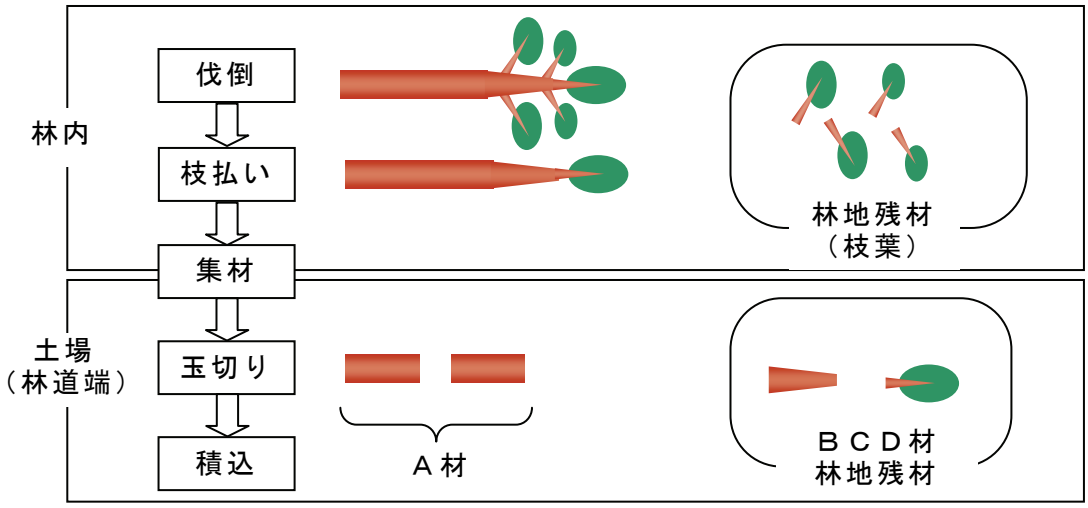


図 2.3.1-4　全幹集材の流れ

(3)　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(図 2.3.1-5)。

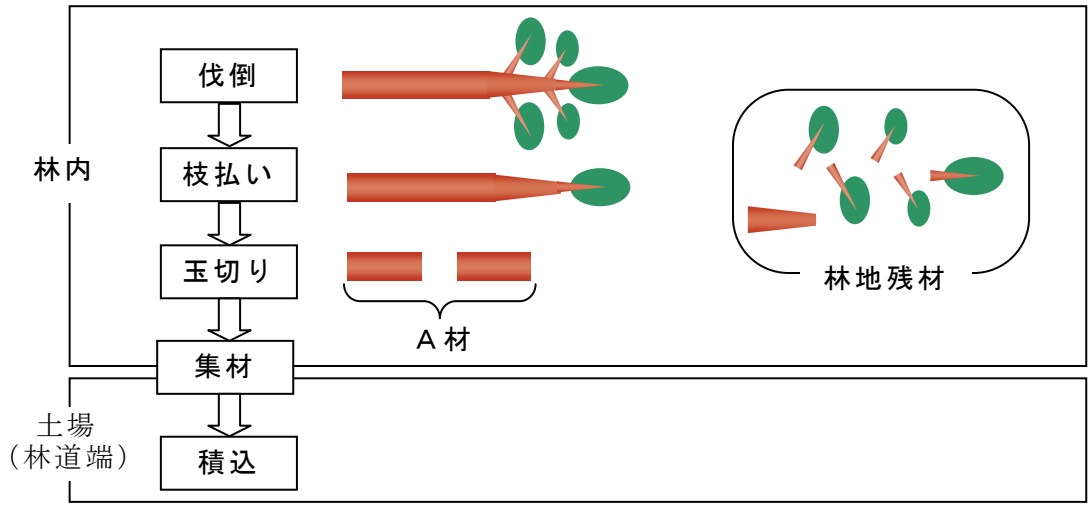


図 2.3.1-5　短幹集材の流れ

上記のとおり、森林内に残置させる木材を減らすためには全木集材による集材方法が最も効果的であり、次いで全幹収集の順となる。ただし商品価値の高い A 材を最も効率的に集材できるのは、初期に森林内で枝払い・玉切り作業を終えた短幹集材であるため、この短幹集材が採用されているケースが多いのが現状である。

4)　林地残材のポテンシャル

「バイオマス・ニッポン総合戦略」のアドバイザリーグループ会合資料によると、2008 年 3 月時点の各バイオマスの賦存量および利用量は図 2.3.1-6 のとおりである。この中で林地残材の賦存量は約 800 万 t あるのに対して利用量は製紙原料等への利用として約 1%しかないことがわかる。またその林地残材の利用可能量を原油換算すると、およそ 560 万 KL にも相当すると試算されている。

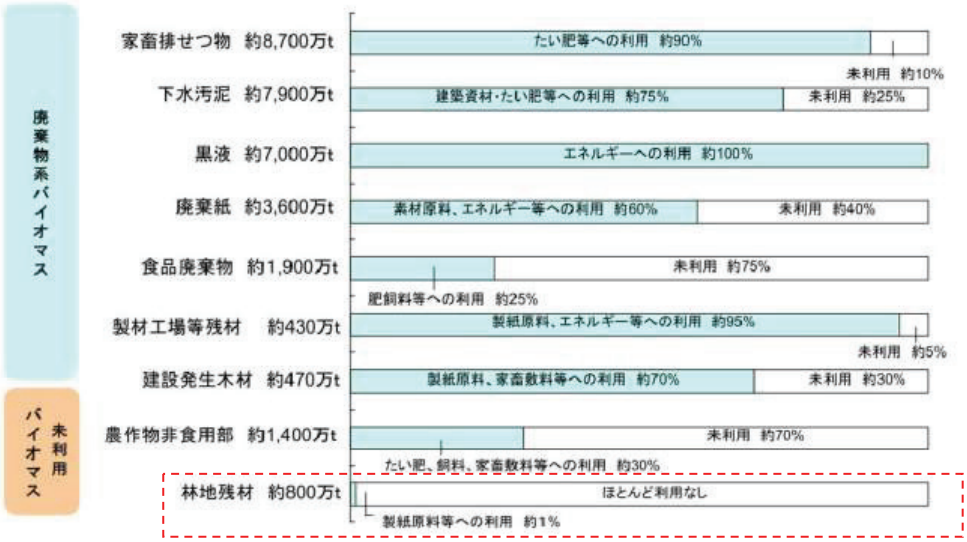


図 2.3.1-6　我が国のバイオマス賦存量（2008 年）

出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書

2.3.2　林地残材の資源循環を阻むボトルネック

木質バイオマスの中でも特に未利用率の高い林地残材の資源循環に対して足かせとなっている原因として、大きく分けて 2 つの理由が考えられる。

1)　利用先が限定されており、商品価値が高くない

林地残材の主な利用先は製紙用チップ（パルプ）や土木資材等に使用される「マテリアル利用」と、直接燃焼させたり、木質チップやペレットに加工する「エネルギー（熱）利用」となる。そもそも商品価値が低い低品質木材が林地残材となっているので、特にマテリアル利用の場合は利用先が限定されている。またエネルギー利用に関しても安定供給や熱効率といった面で化石燃料に及んでいない部分が多い。ここで商品価値向上に向けての課題と解決策を**表 2.3.2-1** にまとめる。

表 2.3.2-1　課題と解決策（商品価値の向上）

課　題	解決策
【原料利用】 原料としての利用先が製紙原料以外に少ない	利用先の新規開拓 ・　小径の木材を原料とする合板材 ・　間伐材を原料とした繊維（木糸） ・　木質バイオマスプラスチック
【熱利用】 枝葉等はペレット原料にも使えない	木質コークス（バイオコークス）原料として使用
【熱利用】 熱利用としての供給先が少ない	供給先の確保 ・　地域熱供給システムの構築 ・　バイオマス発電所への供給 ・　原料利用可能な熱利用Ｂ材等の代替品としての林地残材利用

【熱利用】 冬季と夏期で熱需要に差があり需要が安定していない	・ 原料の安定供給化（システム販売） ・ 冬季に備えて土場等に原料を備蓄する ・ 夏期の余剰分は土木資材へ転用
【熱利用】 放置された林地残材は含水率が高く熱効率が悪い	自然乾燥等を行い、含水率を下げることによってエネルギー効率を上げる
【熱利用】 ペレットは灯油と比較して熱効率が悪く、逆に価格は灯油より高い	・ 流通ルートの簡素化による価格上昇抑制 ・ ペレット規格の標準化 ・ 市場拡大による価格競争力向上
【熱利用】 ペレットストーブやボイラは高価であるため利用者が少ない	・ 小型量産化による販売価格の低減 ・ 行政の補助

2) 林地残材の売却価格より収集運搬コストが高い

地域や収集運搬方法により異なるが林地残材の収集運搬コストはおよそ 24,000 円/ｔであるのに対し、エネルギー利用施設への売却価格は補助制度を利用してもおよそ 18,000 円/ｔ程度であり発電に利用することは困難となっている。ここで林地残材の収集運搬コストの抑制に向けた課題と解決策の例を**表 2.3.2-2** にまとめる。

表 2.3.2-2 課題と解決策（収集運搬費用の抑制）

課 題	解決策
枝葉等の林地残材は運搬時の空隙部分が大きく、また結束等の作業が必要なため木材搬出の 3 倍程度のコストが掛かり非効率	・ 高性能林業機械（プロセッサやフォワーダ）の積極的導入および開発 ・ 移動式チッパーや移動式ペレット製造の導入 ・ 無人回収システムの開発
林地残材が森林内に点在しており集積に手間が掛かる	・ 全木集材または全幹集材によりＢ～Ｄ材も土場まで運搬することによる集積手間の軽減 ・ 林道の整備（路網の高密度化）
補助制度を利用しても売却価格とコストに開きがある	・ 森林の活性化、地域経済の振興（雇用創出）等のメリットと総合的に評価 ・ オフセット・クレジット創出の取組み
小規模私有林では設備投資をする費用がない	・ 小規模私有林の団地化による集団間伐の実施 ・ 輸送の共同化

2.3.3 ボトルネック解消にむけた施策

1) 商品価値向上に関する具体的事例

(1) 小径材等を原料とした合板の生産

今まで輸入材によって行われていた合板生産を国産材 100%で行う「森の合板協同組合（岐阜県中津川市)」では、小径の木材を加工できる製造機械を開発して、B 材以

下を利活用している。同組合は地元森林組合と協力して B 材以下の間伐材を山から運び出すことを呼びかけ、岐阜県内で搬出した B 材以下はそれ以前と比較して 2～3 倍に増加している(**写真 2.3.3-1**)。

写真 2.3.3-1　森の合板協同組合

写真 2.3.3-2　使用材料

出典：杣工房日記（http://tharch.exblog.jp/13121185/）

(2)　間伐材を原料とした和紙織物（木糸）

はんなん和紙の布工房協議会（大阪府阪南市）では間伐材を原料とする和紙から木糸を作成し、強度向上のため綿糸をより合わせて「和紙織物」を開発し、油とり紙やエコバック、ペンケース等を製造販売している(**写真 2.3.3-3**)。また木糸の改良も進め、将来的には間伐材 100%での製造を目指している。

同協議会は木糸の生産工程を複数企業で分担するシステムも構築し、このシステムの普及を促し、全国で間伐材を利活用する体制整備にも取り組んでいる。

写真 2.3.3-3　木糸 50%を使用したエコバック

出典：エコプロダクツ 2011 HP 資料

(3)　枝葉等端材の利活用が可能な木質系コークスの製造

大阪府森林組合と高槻市バイオコークス事業創出地域協議会ではペレット製造のほかに、さらなる間伐材の利活用を目指して、石炭コークスの代替品として期待されている「バイオコークス」を製造販売している。このバイオコークスは樹皮や端材の原

料利用が可能であることから、木材生産を補完する事業として大きく期待されている。

詳細は「3.3　**大阪府森林組合 高槻バイオコークス加工場**」を参照のこと。

(4)　林地残材の供給先確保

(a)　地域熱供給システムの構築

木質バイオマスの流通に比較的コストが掛からない林業が盛んな中山間地域において、林地残材を利用した熱供給システム（地域暖房）の構築が有効である。

北海道森林バイオマス吸収量活用推進協議会および下川町では木質ボイラを設置した「地域熱供給施設」から役場庁舎や消防署、公民館、総合福祉センターに熱を供給する地域熱供給システム施設を導入し 2010 年度から稼動していて、その材料の一部として林地残材を使用している。また下川町ではその他に、五味温泉や幼児センターにも木質バイオマスボイラを導入し施設の暖房や給湯を行っている。

下川町では将来的に地域熱供給システムの導入をさらに進め、一般家庭や道路の融雪等にも役立てるプロジェクトを行っている(図 2.3.3-1)。

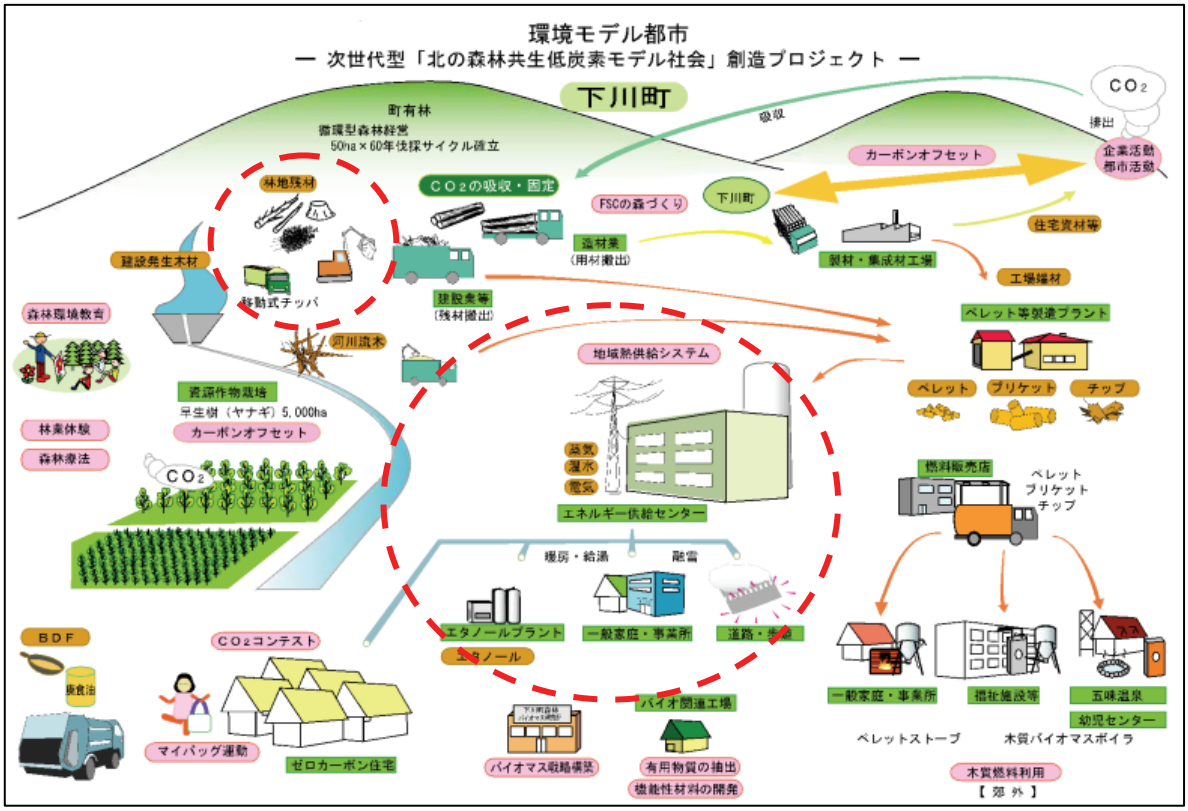


図 2.3.3-1　地域熱供給システムイメージ

出典：下川町がバイオマスタウンになるまで（北海道下川町 高橋祐二氏）

(b)　バイオマス発電所への供給

(株)吾妻バイオパワー（群馬県吾妻郡）では循環流動床ボイラを利用した木くずチップ専焼発電設備にて年間約 13 万ｔの木くずを利活用し発電を行っている。発電した電気の一部は売電している。

現在は造園業由来の生木チップや建設廃材系チップを主原料としているが、ここに林地残材を投入することも当然可能である。しかし現況の価格では林地残材の投

入は難しいのが現状であり、林地残材を投入するためには何かしらの対策が必要である。詳細は「**3.1　(株)吾妻バイオパワー＜地域発生廃木材を燃料としたバイオマス発電＞**」を参照のこと。

(c)　熱利用 B 材等の代替品として林地残材を使用する

現在市場に流通している B 材 C 材のうち、多くの部分がチップ化されエネルギー利用されている。このうち、より高値で売却が可能な部分を「木材」として売却し、その代替品として林地残材の D 材等をエネルギー利用し、また林地残材も木材として利活用可能なＢ材Ｃ材は木材として売却する。エネルギーとして活用できる林地残材の端材も同時に搬出することによってエネルギー利用できる材の価格の低減が可能であり、需要も高まることが期待される。

(5)　原料の安定供給

林野庁の東北森林管理局では低質材、端材等の林地残材について「システム販売」による新規需要開拓と需要者への安定供給の取組みを行っている。システム販売とは、間伐材等を対象に、国が製材工場や合板工場等と締結した協定に基づいて、国有林から間伐材等を大量かつ安定的に需要者に直接供給する販売方法であり、2010 年度には棚倉署でスギ一般材 1,280m³に端材 270m³を合せて販売した。また福島署ではシステム販売協定を締結し、燃料用として 1,000m³の D 材を販売し、端材の搬出には専用コンテナを活用した回収システムにより効率的に行っている(**写真 2.3.3-4**)。

写真 2.3.3-4　集積された端材と専用コンテナ

出典：林地残材の有効利用（林野庁 HP）

システム販売の供給先として木質バイオマスや石炭混焼用のチップ向けとして、関東森林管理局のほか九州森林管理局でも本格的に開始されている。

2)　収集運搬費用の抑制に関する具体的事例

(1)　高性能林業機械の導入および開発

コスト削減に取り組む際、林道の整備や高性能林業機械（プロセッサやフォワーダ）の導入は必要不可欠であるが、導入が遅れている地域も未だに多い。

岐阜県森林研究所では、用材と比較して運搬時に容積が嵩張る枝葉や端材の林地残材の効率的な運搬機械としてフォワーダをベースとした「林地残材収集専用作業車」の開発を行っている。荷台のあおり部は左右への可動式で、拡幅時には最大 20m³の容積となり、移動時には 6 m³に圧縮させることができる。この専用作業車により従来

の 2～3 倍の残材を積込むことが可能である(**写真 2.3.3-5**)。

更に現在はこの作業車にグラップル機能を搭載した改良車を開発中とのことである。

写真 2.3.3-5　林地残材専用収集運搬車（荷台拡幅時と圧縮時）

出典：林地残材収集運搬車両を開発しています（岐阜県森林研究所）

また、みなと運送(株)林地残材対策室では林地残材を既存林道まで路網を必要としない自動回収システムの開発に取り組んでいる(**図 2.3.3-2**)。24 時間連続運転が可能で、3～5 台をセットで稼動させれば 1 日あたり 38～63 m³の搬出が可能となり、大幅なコスト削減効果が得られると期待される。

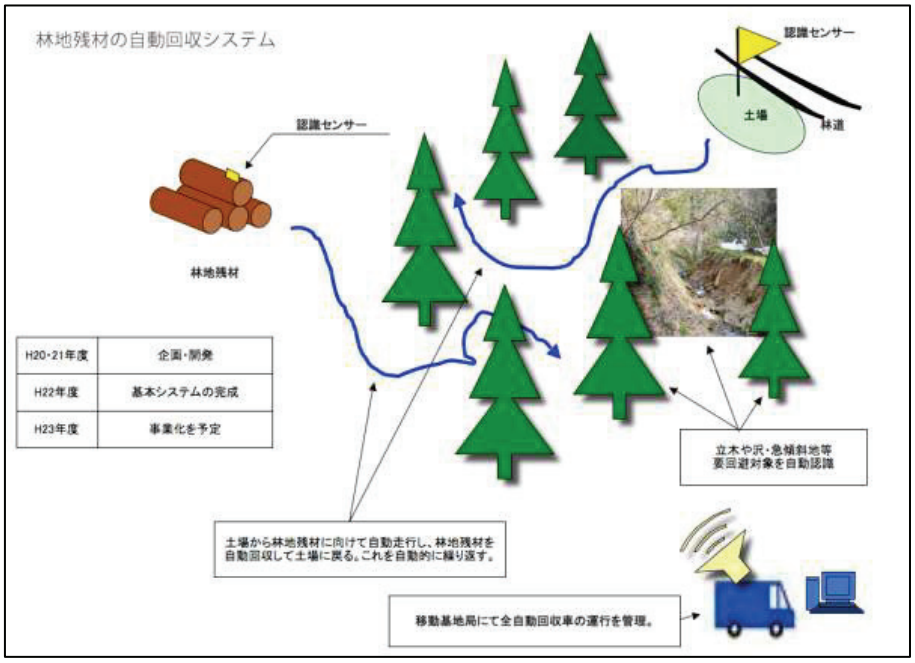


図 2.3.3-2　林地残材の自動回収システムイメージ

出典：みなと運送株式会社 HP

(2)　オフセット・クレジット制度の申請

高知県では 2007 年度から火力発電施設の化石燃料の代替として未利用林地残材を活用することで得られる二酸化炭素の排出削減量をクレジット化する事業に取組み、

オフセット・クレジット（J-VER）制度の第１号プロジェクトとして申請(図 2.3.3-3)し、2009 年３月にクレジットが発行されている。このクレジットの代金を林地残材収集運搬費用に活用することによるコスト削減効果が期待できる。

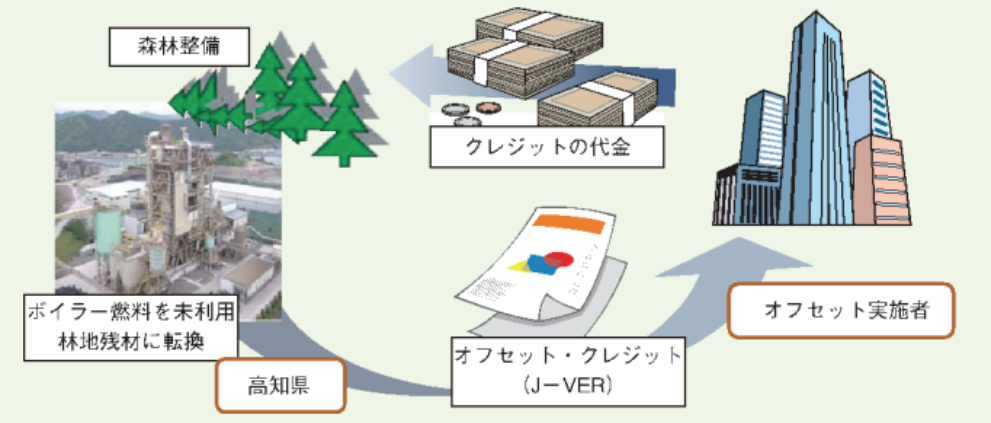


図 2.3.3-3　林地残材活用によるオフセット・クレジット申請

出典：森林・林業白書平成 21 年版（林野庁）

(3)　団地化による集団間伐の実施と輸送の共同化

京都府南丹市の日吉町森林組合では地域内の人工林を一筆ごとに調査し、施業の必要性と必要経費等を記載した「森林カルテ」を作成し、それをもとに所有者の承諾を得て集団間伐を行うという手法で間伐面積の拡大を図っている。またこの様に小規模な私有林の所有者を団地化することで、高性能林業機械を導入し、組織的に間伐する方法により効率化・低コスト化を図っている事例がある。

さらに中国経済産業局の報告書によると、輸送を共同化することによって、これまで土場から製材工場まで直送するパターンで 4,000 円/ｔとされていた輸送コストが 2,100 円/ｔまで圧縮できるという試算結果も算出されている(図 2.3.3-4)。

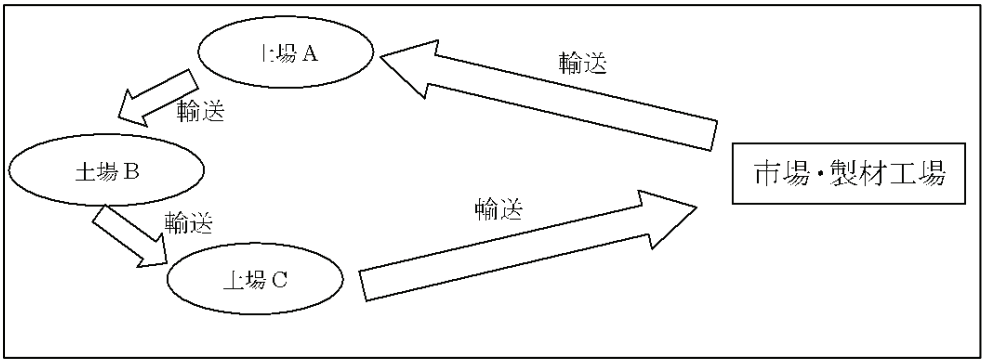


図 2.3.3-4　輸送の共同化によるコスト削減

出典：林地残材等の利活用方策の検討調査報告書（中国経済産業局）

2.3.4　東日本大震災の復興と林地残材の有効利用

東日本大震災の発生に伴い多くの震災がれきが発生している。その量は岩手・宮城・福島の３県だけで約 2,300 万ｔに達し、そのうち木質系の廃棄物は 1,600 万ｔにもおよぶ。

2009 年度における 3 県の一般廃棄物量は約 200 万 t であることからその量は一般廃棄物としては 11 年分に相当する量が発生したことになる。

これらの廃木材の一部はチップ化され、「復興ボード」と呼ばれる木質ボードとして建築資材としての再利用や、またボイラ燃料として利用されているが、大部分の震災がれきは単に焼却処理されると考えられている。この単に焼却処分されるだけの廃木材を工場や地域熱供給システムの原料として一般家庭に熱源として供給できれば、雇用創出を含めた被災地の復興に大きな役割を果たすことが可能であると考える。既に気仙沼市では、木質バイオマス処理設備の導入が決定されるなど、大きな動きも出始めた。その他の取り組みを以下に紹介する。

1) 地域熱供給システムへ震災がれきを供給

岩手大学を中心とした 1994 年発足の「木を勉強する会（木勉会）」では、工場などの産業施設への熱利用に加え、震災によってダメージを受けた地域での「今後整備が進められる公共施設や集合住宅、住宅団地に木質バイオマスを燃料とした小規模地域熱供給システムの導入が有効」という検討を行っている。前述のとおり、流通コストが比較的掛からない中山間部においては地域熱供給システムに林地残材を燃料とすることは有効だと考えるが、そのシステムの導入の契機として、近い将来に間伐材や林地残材による燃料にバトンタッチするまで、震災がれきを流用する効果が、システム導入促進の呼び水になることが期待できる。

また、システム導入と将来の林地残材投入は、震災地域における新しい雇用創出効果が見込まれる。

2) 林地残材やがれきから薪を製造する事例

海の街として知られる岩手県大槌町吉里吉里は東日本大震災で町の約 3 分の 2 ががれきの山と化した。漁業が中心のこの街で漁業の再開がしばらく見込めないことから「NPO 法人吉里吉里国」が発足し、震災がれきを薪として販売する取組みが行われ、震災がれきの中から釘や金具を手作業で取り除いた建材を薪割りし、米袋に袋詰めされ、500 円/10kg で販売されている(**写真 2.3.4-1**)。またその売上は「吉里吉里銭ンコ」という地域通貨となり、町の中でお金が循環するように考えられたシステムである。近い将来、震災がれきが底をついた後は地元人工林の間伐材の端材を使用して 10 年、20 年後も継続させ、またそのために素人に林業を学ばせる学校もつくるとのことである。

写真 2.3.4-1　がれきの裁断と袋詰めされた薪

出典：NGO 吉里吉里国 復活の薪（WAWA PROJECT HP）

2.3.5　林地残材のまとめ

我が国における林地残材の賦存量は約800万ｔと豊富であるにも係らずドイツやポーランドといった欧州の林業先進国と比較して有効利用に大きく遅れをとっている。原因を列記すると、

- 低質材でも製造可能な各製品に対して良質材を使用して製造している
- それに伴って低質材は商品価値が低下し、B材以降は林地残材となってしまう傾向にある
- D材等も木質バイオマスとして利用可能であるが、A材等と比較して容積が嵩むことから収集運搬コストが掛かり効率的でない
- 林地残材の収集運搬コストを考慮するとチップ等商品の値段が上昇し売れないという悪循環がある

こういった問題点の解決策として①用途にあわせたカスケード利用による全木利活用②高性能林業機械の導入や開発に伴う収集運搬コストの低減③林道の整備の伴う路網の過密化④収集運搬コスト低減に伴う製品価格の抑制⑤製品価格の低下に伴う需要の増加、等があげられる。

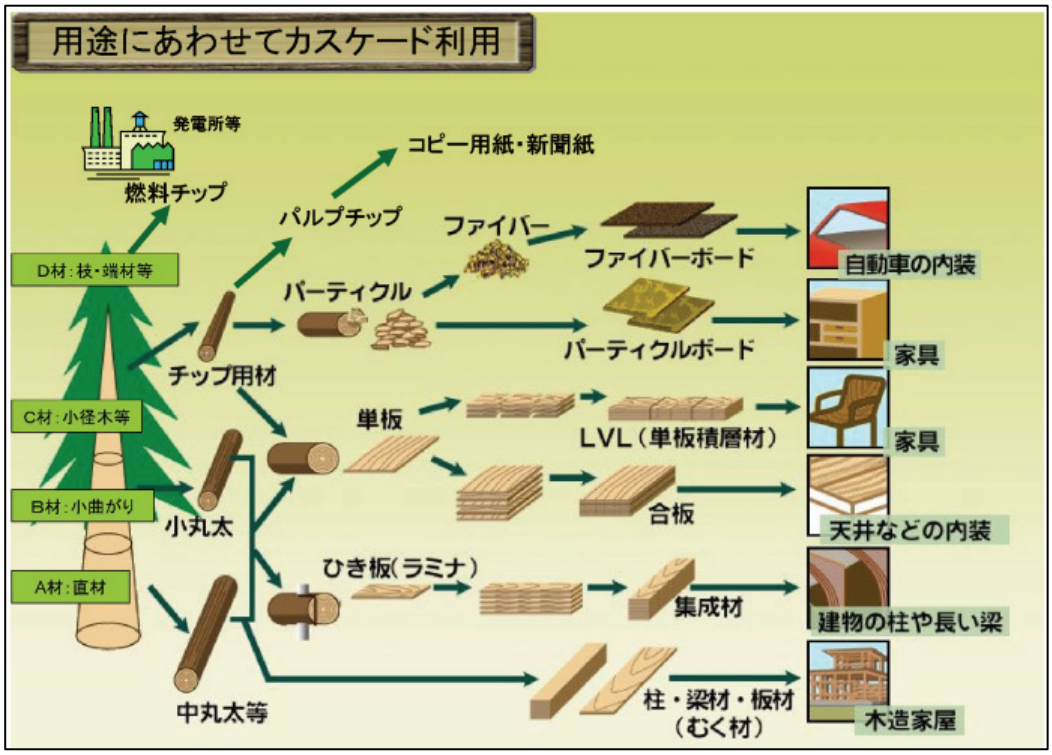


図 2.3.5-1　立木の全木利活用イメージ

出典：岐阜県の森林・林業総合戦略（岐阜県林政部）

林地残材のみならず我が国の林業という側面から観た場合にも前述のような対策を取ることによって持続可能な林業が形成され、更に東日本大震災の被災地を始めとした雇用創出の担い手産業として可能性を大きく見出せると考える。

第３章　現地調査訪問先

3.1　(株)吾妻バイオパワー＜地域発生廃木材を燃料としたバイオマス発電＞

調査対象：木質系バイオマス発電システムと木質チップ供給システム

調査日：2011 年 7 月 19 日

場　所：群馬県吾妻郡東吾妻町大字岡崎 460-1

1)　訪問先

（株）吾妻バイオパワー

2)　入手資料

・会社概要　地球温暖化防止に貢献するバイオマス発電

3)　概要

(1)　事業概要について

① 概要：循環流動層ボイラを利用したバイオマス燃料（木屑チップ）専焼発電設備にて、年間約 13 万ｔの木屑チップ燃料を燃焼させて発電を行い、所内必要量を差し引いた残りの全量を電気および環境価値（RPS、グリーン電力証書）として売電する。

② 運営主体：(株)吾妻バイオパワー

③ 沿革：渋川市の木屑供給業者を母体として 2006 年に設立され吾妻電力(株)にオリックス(株)が 2008 年 3 月に 100%出資して社名を(株)吾妻バイオパワーに変更し、同年 8 月に東京ガス(株)が出資（4%）し、本社を吾妻郡東吾妻に移転している。また、2008 年 4 月には、木質チップ供給を取り纏める(株)バイオマス群馬に(株)吾妻バイオパワーが出資して子会社化している。

④ プラント建設：荏原製作所

⑤ プラント運転：運転、保守を荏原環境プラントに委託。人員は、吾妻バイオパワーとバイオマス群馬の従業員 11 名の他に荏原の運転員が在駐。

⑥ 事業費と補助金：全体事業費は計画時点でおよそ 50 億円であり、群馬銀行によるプロジェクトファイナンス事業として実施されている。補助金は、NEDO の新エネルギー等事業者支援対策事業と農林水産省のバイオマス利活用等対策事業の交付を受けている。

プロジェクトファイナンスは群馬銀行がアレンジャーとして、総額 44 億円の協調融資（シンジケートローン）を組成。

⑦ 事業スキーム

図 3.1-1 に事業のスキームを示す。

⑧ 事業開始時期：訪問時は試運転の最終段階に当っており、2011 年 9 月 1 日に商業運転を開始している。

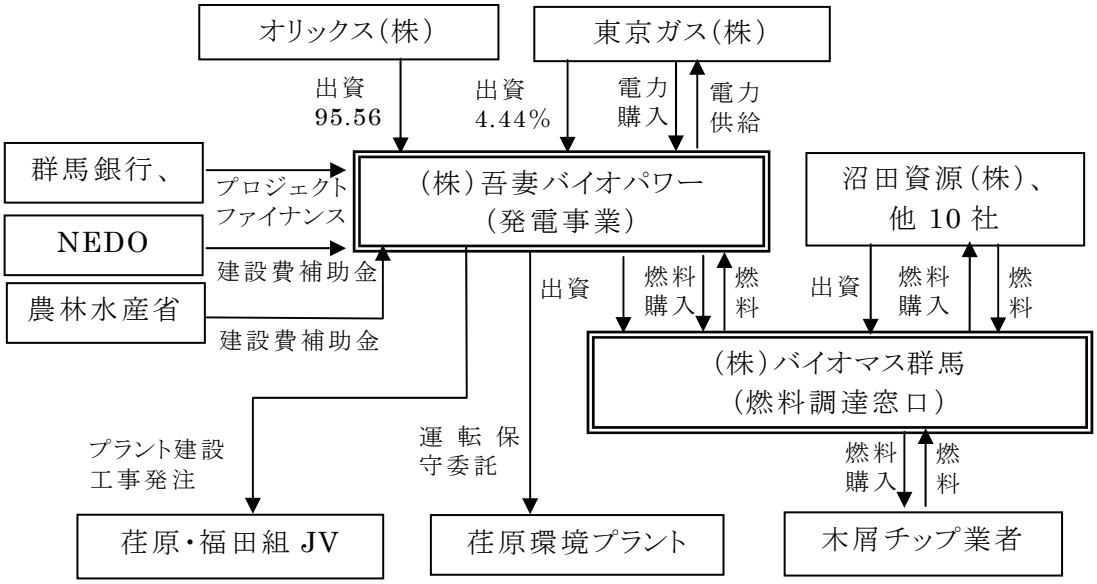


図 3.1-1　事業スキーム（2011 年 7 月現在）

(2)　施設の概要

① 発電能力：発電端 13,600kW、送電端 10,550kW（約 23,000 世帯分の年間電力使用量に相当する規模）

② 運転計画

年間稼働日数：335 日

	夏期昼間	その他期昼間	夜間	計
年間時間数［h］	1,288	3,822	3,650	8,760
停電時間数(定期補修)［h］	0	420	300	720
年間運転時間数［h］	1,288	3,402	3,350	8,040
送電端出力［kw］	10,550	10,550	10,550	－
送電量［kwh］	13,588,400	35,891,100	35,342,500	84,822,000
送電比率	16.0%	42.3%	41.7%	100%

備考　昼間　8:00～22:00　夜間　22:00～8:00
夏期　7～9 月　　その他期　10～6 月

③ 発電形式：内部循環流動層ボイラおよび蒸気タービンによる汽力発電方式

④ 投入燃料：木屑チップ 100%（平均水分 32.5%）

（ボード（合板）5%
建築廃材系チップ　47.5%
生木系チップ（造園業由来）47.5%
※森林系バイオマスは 0%）

⑤ 原料調達：群馬県内および近県の中間処理業者約 20 社が木屑をチップ化し、それを燃料として搬入。

建設廃材：造園系＝1：1 程度のものを 13 万 t/年を受入れ予定

※林地残材等も将来的には検討したいが建設廃材に比べて採算面が非常に厳しいと考えている。

⑥ 燃料ピット容量：1,700t（3 日分）

⑦ 排ガス：SOx を定期的に測定。排気筒は H=80m としておりダウンウォッシュ*1)による近隣環境への影響を考慮したものとしている。

*1) 煙の大気拡散現象を表す用語で、排煙温度が低い等の場合に、煙はあまり上昇せず、煙突背後の気流の変化によって生じる渦に巻き込まれて降下することがある。この現象をダウンウォッシュと呼ばれている。これに伴って、大気中に広く拡散されるはずの汚染物質が煙突周辺に留まる等の現象が生じるため、煙突出口の形状の工夫、吐出速度を高めるなどの措置がとられる。

⑧ 排水処理：BOD を 10ppm 以下にして放流。沼尾川は 10ppm 以上という現状であり、放流先よりも高い基準で処理を行い環境に十分配慮した計画としている。

⑨ 概略フロー

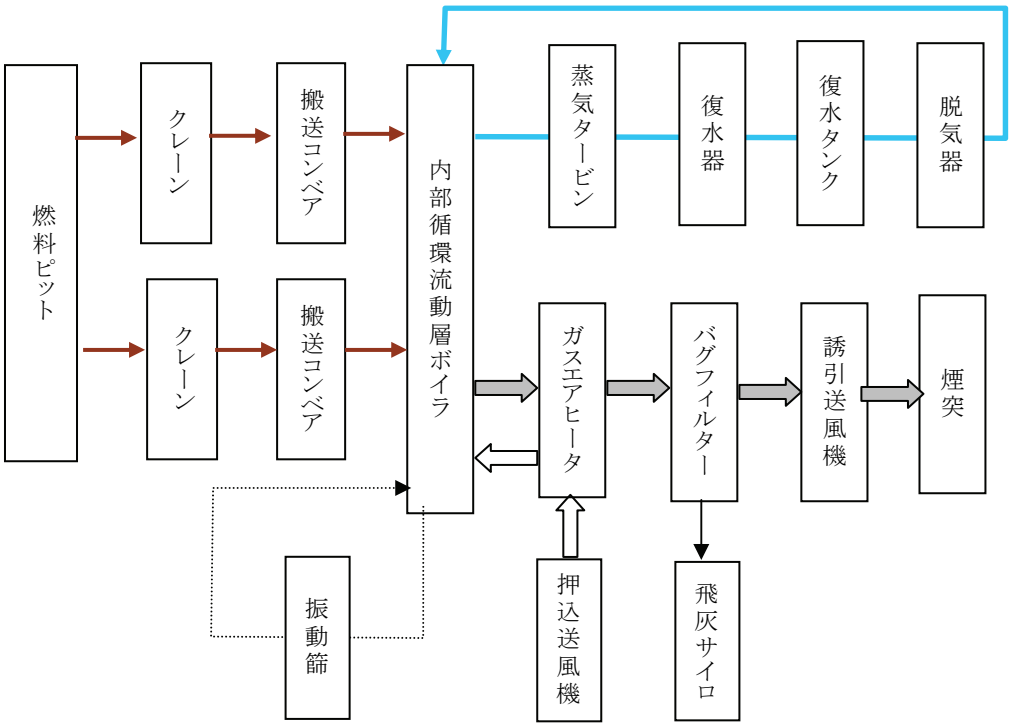


図 3.1-2　概略フロー

① 概略配置

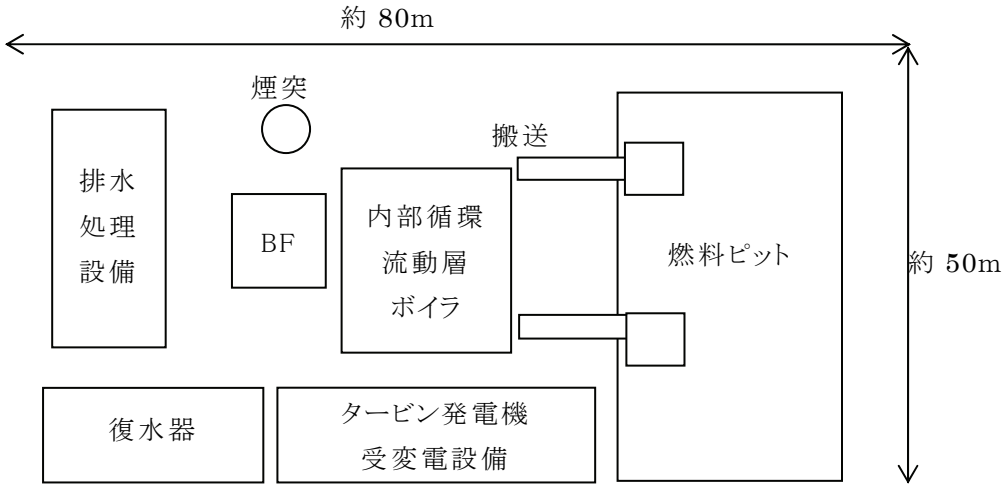


図 3.1-3　概略配置

② 機器の仕様等

・燃料供給設備が最もトラブルが多いため、クレーンと搬送コンベアは 2 系統としている。

・内部循環流動層ボイラは荏原製作所製である。流動用空気比と二次燃焼空気比はそれぞれ 0.7 及び 0.6 であり、合計 1.3 である。ボイラ水は、層内管への給水するために、強制循環方式となっている。

・内部循環流動層ボイラは高さ 30m、重量 1,000ｔで、架台は RC 製である。

・タービンは川崎重工製で船舶用タービンを流用しており、回転数は 7,078rpm である。

・復水器は空冷式で、エゼクター含めて韓国メーカーを採用している。

・3 段抽気タービンの再生サイクル方式としており、発電端効率は 28%強である。

・内部循環流動層ボイラおよびガスエアヒータは中国での製作品である。

・煙突の高さは 80m である。

③ 施設状況写真

写真 3.1-1　　施設の完成イメージ

写真 3.1-2　ボイラ

写真 3.1-3　発電機

写真 3.1-4　復水器

写真 3.1-5　金属回収槽

4)　ヒアリング結果

・試運転では、SOX が計画よりも高く、消石灰を煙道に吹いている。
・S 分の由来は、おそらく生木由来だと考えているが、確認できていない。
・炉内脱硫に切り替えることも検討している。
・建築木材には防腐剤として有機塩素が使われており、塩素も入ってくる。塩素は 0.1%以下を受入基準にしている。
・灰の処理が、採算上もっともポイントになってくると考えている。現状はセメント

原料、路盤材原料として処理してもらっている。

・再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度で 20 円／kWh で売電できたとしても、森林系バイオマスを使っての発電事業で採算性を確保するのは難しいと思われる。

5) 所感

訪問した当該施設は、林の中に忽然と現れ、煙突が一際高く聳えているという第一印象であった。高さ 80m の煙突は、降下物の到達地点を考慮した上で周辺の林よりも高く設計したとの説明があり、環境との調和と建設コストの微妙なバランスの上に成り立っていることを物語っている証のようであった。

また、当該施設は、原料調達方法に特徴があること、コストを考慮して建設方式に工夫を凝らしているなどの先進的な取り組みをしている点も印象的であった。

自然エネルギー利用に熱い視線が注がれている現状に置いて、今秋の本格稼動以降には原料調達～発電～売電～エネルギー利用という資源循環の成功事例となることを注視したい。

3.2 株式会社アルフォ
＜食品廃棄物からの飼料製造とリサイクル・ループ＞

調査日：2011 年 9 月 13 日

場　所：東京都大田区城南島 3-3-2

1)　訪問先

株式会社アルフォ　城南島飼料化センター

2)　入手資料

アルフォ会社案内：1 部

(株)アルフォ　城南島飼料化センターの事業概要：(A4) 2 枚

3)　概要

(1)　会社概要

設立：2004 年 4 月設立

株主：株式会社東京クリアセンター

(2)　取り組みの背景と経緯

本施設は、都内近郊から排出される事業系一般廃棄物（食品小売業、外食産業の生ごみ）および産業廃棄物（食品製造業の動植物性残渣）を「油温減圧式脱水乾燥法」で乾燥して、家畜用配合飼料の原料を製造するリサイクル施設で、2002 年 7 月に東京都「スーパーエコタウン事業」の一施設に選定された。

本処理法は、廃食用油を熱媒体として蒸気による間接加熱で食品廃棄物に含まれる約 80%の水分を乾燥するもので、乾燥後、包装ビニール等の異物を除去し、養鶏、養豚用の配合飼料原料に加工される。

2010 年 9 月に、給食会社、配合飼料メーカーおよび養鶏会社の間でリサイクル・ループを構築し、食品リサイクル率の向上に貢献している。

(3)　施設概要

①処理開始　　：2006 年 4 月

②処理能力　　：168t/日（24 時間）

（1 回の工程で約 10t の食品廃棄物を 100 分で製品化する）

③年間受入処理量：140t/日×300 日（年間稼働日数）＝ 42,000t/年

④飼料原料製造量：約 28t/日

（夾雑物除去量：約 3t/日、蒸発水分量：約 109t/日）

4)　処理施設

24 時間稼働し、3 交代制で運転管理している（1 直あたり 3 名勤務)。

施設システムを**図 3.2-1** に、プラント設備の写真を**写真 3.2-1～3.2-9** に示す。

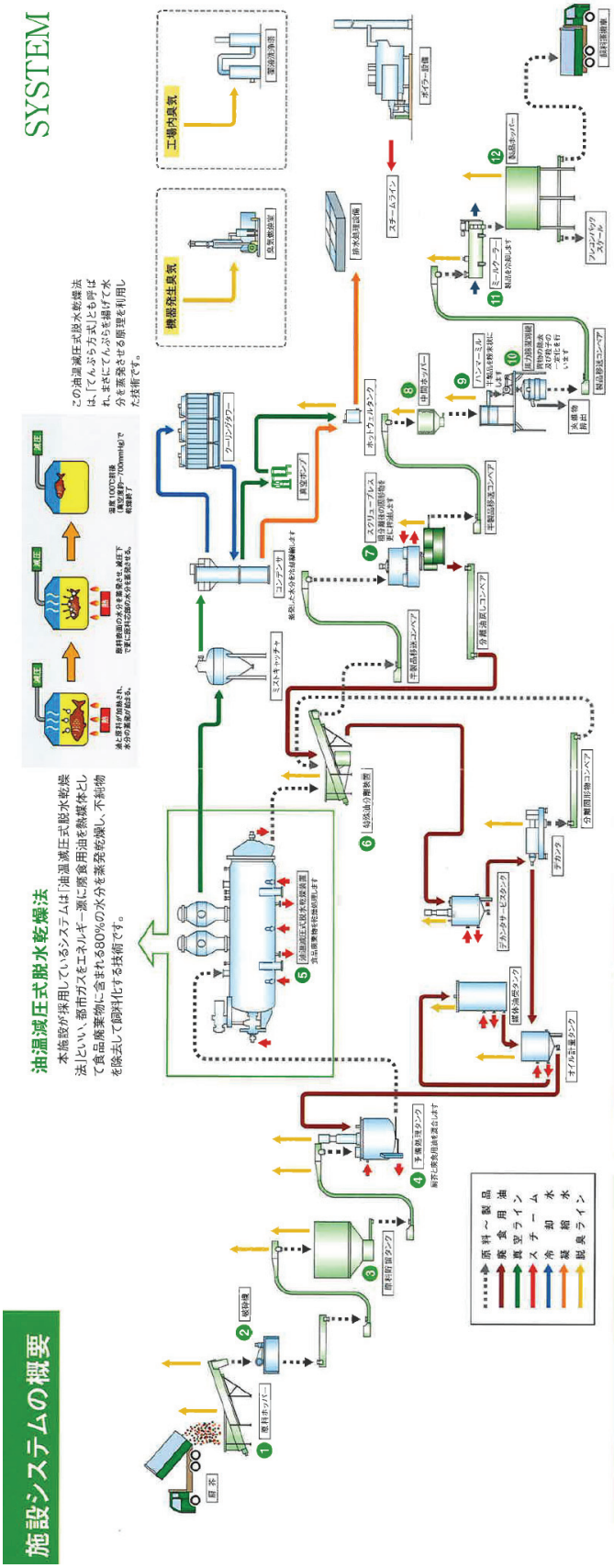


図 3.2-1　施設システム

出典：(株)アルフォ　パンフレット

(1)　搬入工程

・パッカー車により搬入され、原料ホッパーに投入される。

・原料受入室に二重シャッターを設置し、外部に臭気が漏れないようにしている。

写真 3.2-1　パッカー車の重量測定

写真 3.2-2　原料受入室

(2)　原料工程

・生ごみは粗粉砕され、予備処理タンクに送られる。

・タンク内で廃食用油と混合し、約 80℃に予備加熱する。

写真 3.2-3　原料ホッパー内の生ごみ

写真 3.2-4　予備処理タンク

(3)　処理工程

・予備加熱された生ごみと廃食用油は、クッカー（油温減圧式脱水乾燥装置）に送られる。ここで、減圧下で蒸気により 120℃に加熱し、生ごみ中の水分を蒸発、乾燥する。

・特殊油分装置により、乾燥後の混合物から油を分離する。その後、スクリュープレスにより圧搾する。

写真 3.2-5　クッカー

写真 3.2-6　スクリュープレス

(4)　製品工程

・油分離後の固形分はハンマーミルで破砕した後、風力ふるい選別機により、ビニール等の夾雑物を除去する。

・ミールクーラーで冷却した後、製品ホッパーに貯蔵され、その後、製品運搬車に積み込むか、もしくはフレコンバッグに詰めて搬出される。

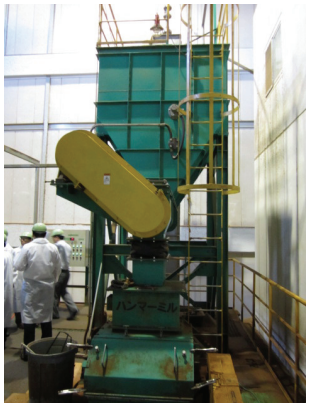


写真 3.2-7　ﾊﾝﾏｰﾐﾙ

写真 3.2-8　風力ふるい選別機

写真 3.2-9　出荷

(5)　精油工程

・デカンタで固形分を除去した油は、施設内で再利用される。廃食油は 3 ヵ月に 1 回の頻度で交換する。廃食油は群馬県でボイラ燃料として利用されている。

(6)　排水処理工程

・クッカーで蒸発した水分はコンデンサーで凝集され、物理化学的処理（不純物の凝集・加圧浮上等）と生物化学的処理（活性汚泥法）を行い、下水道に放流する。

(7)　脱臭工程

・タンク内の高濃度臭気に対しては、臭気燃焼炉（700~800℃）で燃焼し、原料室などの低濃度臭気に対しては、薬剤洗浄脱臭を行う。

(8)　蒸気供給工程

・予備処理タンクとクッカーでの加熱に利用される蒸気は、都市ガスを燃料とする。

5) 製品の品質

・製品（アルフォミール）は、公定飼料の食品副産物に認定されている。

・配合飼料メーカーが、トウモロコシ等の配合飼料に栄養価の高いアルフォミールを3%程度添加して販売している。飼料コストが低減できるというメリットがある。

・製品は 1 ヵ月程度保存可能だが、製造後 2 週間で出荷している。

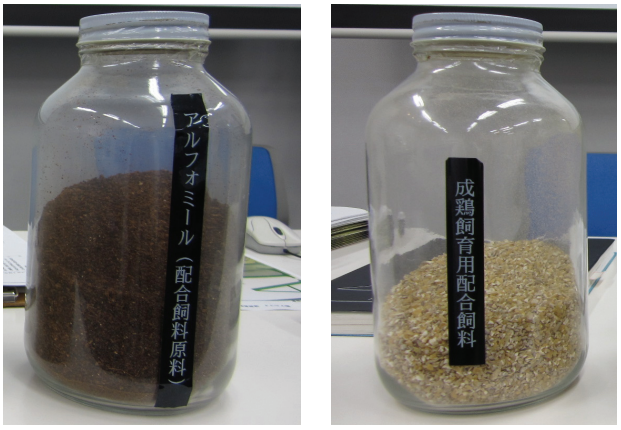


写真 3.2-10　アルフォミールと養鶏用配合飼料

6) 事業運営

(1) 原料（生ごみ）の受入

・原料の受入割合はおおよそ以下のとおり。

ホテル、レストラン、食堂	：3 割強
コンビニエンスストア	：2 割
スーパーマーケット	：2 割
食品製造工場	：2 割
学校給食	：1 割弱

・廃棄物収集運搬業者（約 70 社）と契約を交わしている。

・受入料金は 23 円/kg。包装材除去が必要な場合は処理費を上乗せする（ちなみに、東京都の清掃工場の受入料金 14 円 50 銭/kg）。

・排出された生ごみは翌朝回収しているので腐敗の心配はない。

・原料の中身の展開検査を定期的に行っている。新規受入に対してはしばらく継続的に検査し、品質が安定するまで行っている。

(2) 事業性

・2007 年度食品リサイクル法の改正で、事業者ごとに再生利用等の実施率目標が設定されたこと等により処理量が増えた。

・受入可能量が少なくなったため、新規受入を制限している。

・当センターは羽田空港の近所で、建物の高さ制限の関係から煙突を設置できないため、都市ガスを使用している。重油高騰時には事業性が優位になる。

7)　リサイクル・ループ

・エームサービス(株)（給食会社）、(株)東京クリアセンター（収集運搬）、日本配合飼料(株)および(株)栗駒ファーム（養鶏会社）と 2010 年 9 月に構築し、東京都下から排出される食品残渣を飼料化し、これを配合した飼料で養鶏して生まれた卵をエームサービスに販売している。

・(株)栗駒ファームが東日本大震災で被災し設備が破損した。また、地震の影響で鶏が卵を産まないなどの影響もあったが、一部を除いて再開している。

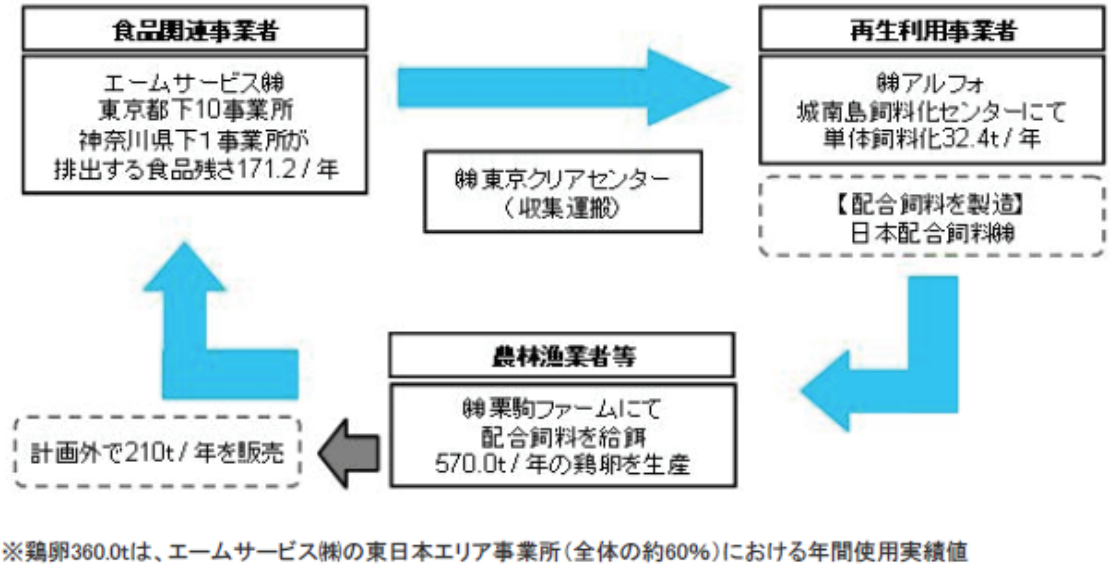


図 3.2-2　リサイクル・ループの構築

出典：(株)アルフォ HP

8)　所感

受入料金が、東京都清掃工場の生ごみ受入価格よりも高かったため、稼働して数年間は経営が厳しかったが、2007 年（平成 19 年）の食品リサイクル法改正により、再生利用の機運が高まり、事業採算性が向上した。現在は新規受入を制限するほどになり、情勢は大きく変化している。

2007 年の再生利用率は、食品卸売業が 62%（目標 70%）、小売業が 35%（目標 45%）、外食産業が 22%（目標 40%）と、川下ほど再生利用率が低く、再生利用が求められている。大都市圏に着目すると、東京 23 区の事業系厨芥類の利用可能量は 49 万 t（NEDO バイオマス賦存量、利用可能量の推計（H18）に基づく）で、アルフォ城南島飼料化センターの年間処理量（4.2 万 t）の 10 倍以上が未利用である。昨今の穀物価格の高騰を勘案すると、食品廃棄物の飼料化のニーズは高く、類似の処理事業が大都市圏を中心に展開される可能性もある。

そして、リサイクル・ループの構築により再生利用がさらに促進されることから、資源循環型社会形成のモデルケース的な取り組みとして今後の展開が期待される。

3.3 大阪府森林組合　高槻バイオコークス加工場＜木質系バイオコークス＞

調査日：　2011 年 11 月 11 日

場　所：　高槻市大字中畑小字寺谷 41 番地

1）訪問先

大阪府森林組合三島支店

2）入手資料

①大阪府森林組合高槻バイオコークス加工場　パンフレット

②大阪府森林組合の概要

③バイオマス燃料の誕生

3）事業への取り組みの背景、経緯

(1)　大阪府森林組合

森林組合とは、森林所有者の集まりである。かつて大阪府には 16 の森林組合が存在したが、2001 年に合併し、組織運営としては 4 ブロック（①三島支店、②豊能支店、③南河内支店、④泉州支店）に分けて行っている。

南ブロック（南河内支店、泉州支店）は、奈良・吉野にも程近く、昔より「河内林業」と呼ばれる大阪府下でも林業が盛んな地帯であり、木材生産など建築材中心の林業経営を行っているが、北ブロック（三島支店、豊能支店）では、OD ウッド（木材に保存処理を施し高耐久化図った木材）など多目的な木材利用を始め、観光、環境林業を志向した林業経営を行っている。

(2)　三島支店

三島支店は、高槻市に位置し、高槻事業所、高槻森林観光センター、森林資源加工センター（今回見学した未利用材リサイクル施設。バイオコークス加工場、ペレット工場や堆肥ヤード等をもつ）などを運営している。

高槻市は、大阪市内での戦中・戦後の木材需要に応え天然林由来の木材を供給した後に､昭和 30 年代後半から拡大造林の流れに沿って植林が行われてきた地域である。かつてあった高槻市森林組合は、植林や枝打ち、下刈等の保育管理事業を出発点として、スタートした組織である。

(3)　バイオコークスとは

バイオコークスとは､石炭コークスの代替が期待されるバイオマス固形燃料(原料)。近畿大学理工学部の井田民男准教授が開発した。バイオコークスは、みかけ比重 1.4 に漸近、最高圧縮強度 20～200MPa、発熱量 18～23MJ/kg と、硬度、燃焼性ともに優れた性能を有しており､石炭コークスのみかけ比重約 1.85､最高圧縮強度約 15MPa、発熱量約 29MJ/kg に比べても、遜色ない性能を有する

(4)　バイオコークス加工事業の経緯

三島支店では､2001 年に日本初のペレット加工工場を稼働させ､間伐材を原料にペレット製造を行っていたが、更なる間伐材の活用を目指して、検討を続けてきた。

2006 年､高槻市商工会議所のビジネスコディネーターを通じて､近畿大学の井田准教授と知り合い、その後、定期的に情報交換をおこなっていた。2008 年に、近畿大学が NEDO の助成を受け､北海道恵庭市でバイオコークス実証試験を開始した｡そこに、

大阪府森林組合からも木質チップを提供し、木質バイオマスによるバイオコークス製造試験を行ってきた。

その結果を踏まえて、2009 年に農水省の「地域資源利用型産業創出緊急対策事業」に応募したところ、技術的に先進的であり、かつ事業化が見込まれると評価され、採択された。助成率は、施設整備費に係る費用に対しては 2/3、事業実施に必要な事務経費、技術実証に要する経費に対しては 10/10 である。

2011 年 4 月 23 日、高槻市バイオコークス加工場が竣工し、6 月から実証試験を開始している。2011 年度中は、量産化の条件抽出等を目的に、実証試験を実施している。

(5) その他

(a) 森林からの木材搬出について

大阪府森林組合では現在、グラップル・フォワーダやハーベスタなどの高性能林業機械を導入している。

高性能林業機械を導入によって、現在の木材搬出コスト（森林切り出しから木材加工場までの運搬）は、現在 5,000～8,000 円/m³である。かつては、人力でワイヤを張るだけで 13,000～15,000 円/m³かかった。これに運搬費 2,000 円/m³が上乗せされ、木材搬出コストは 15,000～18,000 円/m³であった。

一方、木材の販売価格は、現在 13,000～15,000 円/m³。良質のヒノキの場合で 25,000 円/m³。昭和 30 年ごろの木材販売価格は、70,000 円/m³程度。良質なヒノキでは 150,000 円/m³程度であった。

(b) 森林管理について

昭和 30～40 年頃までは、森林の所有区域も明確であった。しかし、現在は、かつての森林所有者が都市に移動したり、相続をしたものが山に入らなくなり、森林の所有区域とその所有権者も不明確になりつつある。

全国的には、市町村等の地方公共団体が主体となり、国土交通省、都道府県の協力の下、地籍調査※がおこなわれている。

※地籍調査：土地取引等の単位となる区画ごとに、土地の所有者、地番、地目を調査し、境界の位置と面積を測量する調査のこと

国、大阪府及び高槻市からの補助を受け、大阪府森林組合では、2005 年から森林部の地籍調査等を一体的に取り組み、地籍や植栽状況を明確にし、森林管理に成果を挙げてきている。また、高槻市の補助を受け、地籍調査後の森林の材積調査などの現況調査も実施している。

4) バイオコークス加工場

(1) フロー

概略フローを、**図 3.3-1** に示す。

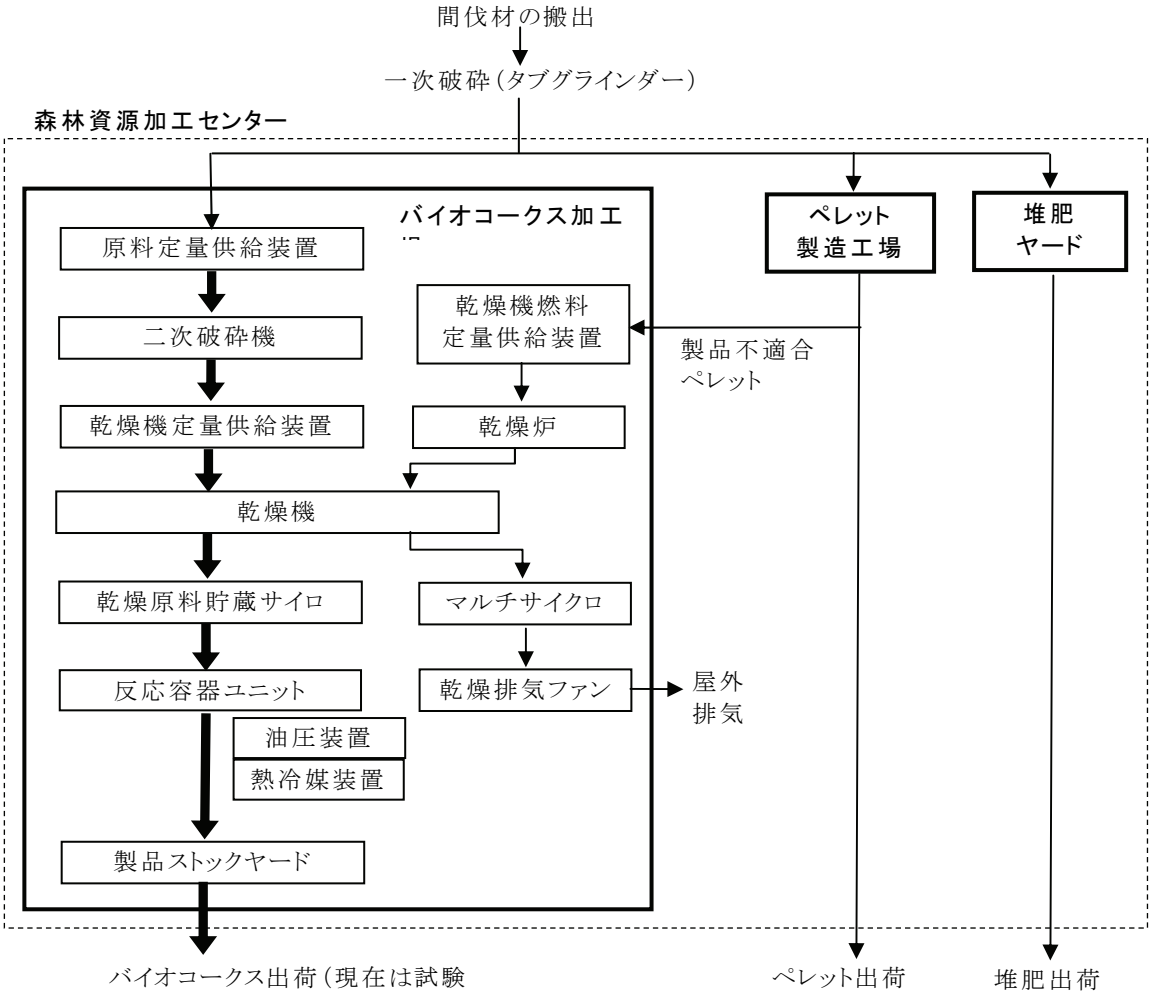


図 3.3-1 バイオコークス加工場 概略フロー

(2) 設備概要等

①バイオコークス加工場は、24 時間の連続操業で約 6t、年間（稼働日数 300 日）で約 1,800t のバイオコークス生産能力を持つ。

②現在生産しているバイオコークスは、杉、ヒノキが原料。将来は、広葉樹にも拡大予定。

③タブグラインダーで一次破砕した杉、ヒノキ及びバーク（樹皮）を、森林資源加工センター内のヤードで一時貯留する。一次破砕後のストックヤードに貯留する木質チップの含水率※は、約 45～50%程度である。

$$※含水率(\%) = \frac{\text{ある水分状態の木材重量} - \text{全乾状態(水を全く含まない)の木材重量}}{\text{全乾状態(水を全く含まない)の木材重量}} \times 100$$

④一次破砕した原料には、樹皮をある程度、ブレンドさせることが重要。樹皮の成分が、バイオコークスの製造反応で固形化に有効に作用する。

⑤一次破砕した原料は､ホイールローダーで原料定量供給装置に搬送する｡その後、原料は 2 次破砕され、さらに乾燥機に定量供給される。

⑥乾燥機はロータリーキルン式。ここで原料の含水率を 10%まで下げる。乾燥機出口で水分測定をしてから、乾燥原料貯蔵サイロで貯留する。

⑦乾燥機の熱源は､乾燥炉(ペレットボイラ)の排ガス｡排ガスの温度は 350～400℃程度。

⑧乾燥炉（ペレットボイラ）の原料は、ペレット工場で生産した木質ペレットの不適合品（オーバーサイズ、アンダーサイズ）を使用している。

⑨反応容器は、シリンダー式。シリンダー内に原料を投入後、油圧で約 19MPa の圧力で加圧し、熱媒（熱源は電気ヒーター）で約 200℃に間接加熱する。その状態で約 25 分間保持し、原料をバイオコークスにする。その後は、冷媒で間接冷却する。冷却工程には 35 分程度かける。

⑩反応容器に関しては、現在、製造装置特許 8 件、ノウハウ特許を 3 件申請中。基本技術は、PCT 出願として、20 カ国に出願し、順次確定しつつある。

⑪反応容器（シリンダー）の数は、36 本。2 本ごと、それぞれ独立して運転することが可能。現在は、シリンダー毎に運転条件を変えて、最適条件を探す実証試験を行っている。

⑫バイオコークスは直径約 10cm で、長さは最大約 100cm の成形が可能。但し、長さについては、現在 50～60cm 程度のものを成形する実証試験を行っている。

⑬反応容器では排ガスは発生しない。

⑭バイオコークスの含水率は 7%程度。

⑮原料の搬入からバイオコークス製造に要する時間（1 サイクル）は、1 時間 30 分程度。

⑯バイオコークス製造の投入/産出エネルギー比は、0.6 を下回る。

⑰反応容器の形状からして、100cm 以上の長尺ものを造ることは困難であるが、1 系統 12 本のシリンダーユニットを追加することは可能。しかし、それ以上のユニットを追加することは現在のプラント規模からして拡大は難しい。

(3) 写真

プラント設備の写真を、**写真 3.3-1～3.3-6** に示す。

写真 3.3-1 木材チップ（一次破砕後）

写真 3.3-2　乾燥機（左）と乾燥炉（右）

写真 3.3-3　反応容器ユニット（上階）

写真 3.3-4　反応容器ユニット

写真 3.3-5　製品ストックヤード

写真 3.3-6　製品「バイオコークス」

5) バイオコークス加工事業　今後の展開

バイオコークスの販売先には、特にキュポラで使用するコークスの代替を狙っている。日本のコークス需要量は 3,000～4,000 万ｔ/年。そのうち、キュポラでは 50 万ｔ/年の需要がある。

大阪府森林組合では、発電用チップの販売、木質ペレットの販売、バーク堆肥（ブランド名：たかちゃん）の販売を行ってきた。最も市場が大きいのは発電用チップであるが、販売先がセメント会社、製紙会社等に限られ、買い手市場が形成されている。一方、木質ペレットと肥料の市場は、規模が小さい。

コークス市場は、市場が大きく、かつ需要先が限られないところが魅力的である。また、実証しながら、徐々にコークス代替率を挙げることにチャレンジできる点も魅力的である。

現在は、トヨタ系の会社のエンジンブロックを製造するためのキュポラ炉で代替試験をしてもらっている。代替目標は、まず 10%、最終的には 20%を目指している。

自動車業界にとっても、バイオコークスを使用することは、製造時の CO_2削減、森林整備による CO_2吸収（カーボン・オフセット）のメリットがある。

自動車業界は、品質保証、生産管理が厳しく、バイオコークスにも厳しい品質基準が要求されるが、これに対応し、近い将来には JIS 化を狙っている。

バイオコークスは樹皮、末梢材が材料として利用可能であり、木材生産を補完する事業として林業にとってもメリットがある。

2011 年には、「森林・林業基本計画」が閣議決定され、今まで切り捨て間伐にも補助金が出ていたが、搬出間伐に対してのみ補助金対象となる方針転換がなされた。これもバイオコークス事業の追い風になる。

なお、バイオコークスの製造コスト、販売価格は現在実証試験の中で検討中。

6) 所感

大阪府森林組合三島支店は、高性能林業機械の導入、地籍調査の実施、さらにはペレット事業、今回のバイオコークス事業への進出と、かなり先端的で意欲的な森林組合だと感じた。

特に､セメントメーカや製紙会社に価格を抑えつけられている木チップ市場を踏まえ、価格交渉力を保てるキュポラ業界をターゲットにバイオコークスの展開を図っている話などには、そのビジネスセンスに非常に感心させられた。

木質バイオマス利用事業では、なかなか成功例が少ないが、大阪府森林組合の取り組みは期待できるのではないかと思えた。是非、林業の興隆と環境保護のためも、本事業には成功して頂きたい。

3.4　岐阜市北部プラント
＜下水汚泥焼却灰からのりん回収技術＞

調査日：2011 年 12 月 20 日

場　所：岐阜県岐阜市西中島 6 丁目 3 番 25 号

1)　訪問先

岐阜市上下水道事業部　施設課　北部プラント

2)　入手資料

岐阜市上下水道事業部パンフレット 1 部、りん回収事業パンフレット 1 部、プレゼン資料 1 部

3)　概要

(1)　取り組みの背景と経緯

岐阜市北部プラントは、岐阜市の長良川以北の地域の下水を処理している。また、岐阜市中の汚泥焼却灰を集約して、これまで焼成レンガの製造を 1994 年から行ってきた。焼成レンガ施設の老朽化や製造コスト高から 2008 年に中止し、代わって、下水汚泥資源化・先端技術誘導（LOTUS）プロジェクトで日本ガイシ株式会社（現メタウォーター株式会社）と共同開発した汚泥焼却灰からりん回収する技術を用いたプラントを 2010 年 3 月に完成させた。

汚泥焼却灰から回収したリン酸カルシウムは、肥料登録された「岐阜の大地」として、JA などの流通団体を通じて農家に、また、りん回収した後の処理灰は建築資材として販売されている。これらの技術は、近年の資源の枯渇が問題とされているりん回収技術として注目を集めている。

(2)　岐阜市北部プラント　概要

プラントの概要を**図 3.4-1** に示す。

名　　称		北部プラント
位　　置		西中島6丁目
面　　積		3.91ha
処 理 方 式		嫌気好気活性汚泥法
処理能力（日最大）	事業認可	46,900m³/日
	現　有	46,900m³/日
流入水質（計　画）	BOD	190mg/ℓ
	SS	180mg/ℓ
	T-P	5mg/ℓ

放流水質（H19実績）	BOD	3.5mg/ℓ
	SS	4mg/ℓ
	T-P	0.7mg/ℓ
放流先河川	河川名	一級河川 伊自良川
処理場処理開始年月日		昭和41年7月1日
事 業 着 手		昭和37年

図 3.4-1 岐阜市北部プラント（パンフレットより抜粋）

(3)　りん回収施設概要

①事業期間：2009 年～

②施行：メタウォーター(株)

③受入汚泥焼却灰：5t/日（約 1,000t/年）

④りん回収量（目標値）：リン酸カルシウムとして 500t/年

⑤処理灰回収量（目標値）：800t/d

⑥事業費：約 7 億円（55%国土交通省補助）

⑦運転人員：日中 1 人（点検主体）。夜間休日は無人運転。

4)　プロセス

岐阜市北部プラントのプロセスフローを**図 3.4-2**（次頁）に示す。

焼却灰を加温し、苛性ソーダ NaOH を加えてりんを溶出させ、消石灰 $Ca(OH)_2$ を加えてリン酸カルシウムを析出させる。

プラント設備の写真を**写真 3.4-1～2** に示す。

写真 3.4-1　リン酸抽出槽

写真 3.4-2 リン酸肥料排出

(1)　原料（汚泥焼却灰）

岐阜市の中部プラントより汚泥脱水ケーキを、南部プラントより汚泥焼却灰を、北西部プラントより生汚泥と余剰汚泥を北部プラントに集める。

岐阜市の汚泥焼却灰の総量は 1,132t/年になる。本プラントの焼却灰の処理規模は 5t/日で、処理計画量は 1,000t/年である。

(2)　リン酸カルシウム「岐阜の大地」

生産計画料は 500t/年となっている。得られたリン酸カルシウムは、白色で下水道臭はなく、く溶性（緩やかに溶出し長期にわたって効果がある）という特徴がある。現在販売中の「岐阜の大地」は、JA ぎふの各支店を通して一袋 20kg を 800 円で販売されている。

(3)　処理灰

生産計画料は 800t/年となっている。特徴はシリカが主成分の褐色の粉末で、下層路盤材、土壌改良材、アスファルトフィラー用石粉代替、建設資材として 630 円/t で販売している。

図 3.4-2 岐阜市北部プラントのプロセスフロー

出典：パンフレットより抜粋

灰から回収した岐阜市産りん肥料

「岐阜の大地」シリーズ

＊1.回収りん酸カルシウム

本施設は、汚水から取り除かれた汚泥を焼却し、減量した灰から、りん酸肥料と土壌環境基準を満足する資材を製造する施設です。

りんは、肥料や飼料、工業薬品などに利用されていますが、全量を輸入に頼っています。

「岐阜の大地」は、従来まで活用されなかった灰に含まれるりんを回収することにより、りん鉱石埋蔵量に左右されず安定して供給することができます。

また、りんを分離した後の処理灰(＊2)も、洗浄することにより、環境に配慮した資材として活用することができます。

下水汚泥焼却灰を廃棄物としてではなく、資源として活用し再生を繰り返すことにより、資源循環の道を築き、生活に欠かすことができない下水道を次世代に伝えていきます。

＊2.処理灰

[特 徴]

①清潔です

原料は、850℃前後で焼却しているため、衛生的で無臭です。

②常時安定供給

人の社会生活により発生する汚水を焼却した灰を原料としています。

③肥料や飼料用途に有望

回収りん酸カルシウム(＊1)は、く溶性りん酸として20%から30%確保しており、複合肥料原料や単体肥料として最適です。

＊く溶性りん酸:植物への効き目が緩やかなりん酸

④地球にやさしい

処理灰は、土壌環境および土壌含有量基準を満足しており、環境に配慮した製品です。

図 3.4-3 リン酸カルシウム「岐阜の大地」

出典：パンフレットより抜粋

5) 課題

焼却設備の排熱の有効利用や、薬品の使用コストの削減が課題である。使用薬品の再利用などで対応中である。また、リン酸カルシウムは単体肥料であるため、複合肥料にするために、JA や農家での混合利用が必要となることや、岐阜県外での流通が難しいことなどが挙げられるとのことである。

6) 所感

国内に輸入しているりんのおよそ 10%が集まる下水から、りんを回収する技術として、焼却灰からのリン酸カルシウム回収は大変興味深い技術である。しかし、機械・電機の技術が主体の下水道処理施設において、化学処理プラントを稼動させるのは、大変な苦労があったことは想像に難くない。日本で初めて、汚泥焼却灰からりん資源をリサイクルするという大きな課題に挑戦された本処理場に敬意を表すとともに、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　:「木質エネルギー市場の展望 ～欧州での動向を踏まえて～」
2)　講演月日：2011 年 11 月 14 日
3)　場所　　：一般財団法人エンジニアリング協会
4)　講演者　：日本木質ペレット協会会長、筑波大学名誉教授
　　熊崎　実　氏
5)　講演概要（講演資料を巻末に添付）

(1)　オーストリア・ドイツで伸びの著しい木質燃料

墺・独・日の材木成長量、伐採量等を比較すると**表 4-1** になる。**表 4-1** に示すように、日本は、オーストリア、ドイツに比較して、広大な森林面積、材木成長量があるが、森林から切り出される木材量は少なく、TPES 比（木質燃料由来のエネルギーが、総一次エネルギー供給に占めるシェア）は 0.3 に過ぎない。

育成林業は、400 年程前に日本とドイツによって始められた林業である。その後、日本とドイツは林業先進国であったが、1960 年頃から両者に差が出てしまった。

日本における林業が壊滅的状態になってしまったのは、輸入される南洋材や北方材との価格競争に勝てなかったからであると、よく言われるが、国産材価格の低落に苦しんだのはドイツも同様であった。それでもなお、ドイツの林業が競争力を維持している理由は、林道網の整備や森林の保育を辛抱強く進めながら、林業・林産業でのコストダウンに成功したからである。現在のドイツは良質な製材品の輸出国になっている。林業・林産業のこうした活況を背景に木材のエネルギー利用も大きく進展した。

表 4-1　森林の材木成長量/伐採量と木質燃料　墺・独・日の比較（2007-08 年）

		森林面積		材木成長量	木材伐採量	木質燃料	TPES 比
		百万 ha	人口当り (ha)	百万 m^3/年	百万 m^3/年	百万 m^3/年	%
オーストリア		3.9	(0.46)	31	20～25	17	10.0
ドイツ		11.1	(0.13)	120	70～80	36	3.0
日本	現状	24.9	(0.19)	170	20～25	10	0.3
	可能性	24.9		170	100	50～60	2.0

出典：熊崎実氏の講演資料より

(2)　日本で木質燃料の利用が進まない理由

日本で木質エネルギーが伸びない理由としては、①木質燃料は時代遅れとして、薪炭を徹底して放逐したこと、②出材量の激減と機械化の遅れ、③良質材志向の「一番玉林業」によって、低質材を山に捨ててくる慣習、④零細規模の製造業が多いこと、などがある。

日本と同じく、ドイツ、オーストリアの森林地主は小規模で数が多い。日本と異なったのは、ドイツ、オーストリアでは大規模製材工場が台頭する一方で、小口の出荷

を一つにまとめて製材工場に販売する仕組みができたからである。また、大規模製材工場では、入荷した原木の樹皮を熱電併給プラントに投入してエネルギーに変えたり、製材の副産物として多量に出てくるおが屑やかんな屑で木質ペレットを製造することがごく普通に行われている。こうしたカスケード利用の仕組みができているおかげで、バイオマス発電もペレット製造も事業として十分成り立つ。さらにオーストリアなどは、環境規制が厳しくなったことを契機にして、木質燃料を使うボイラやストーブの性能が著しく向上し、有力な輸出産業にまで育っている。

一方、日本では国産材を挽く製材工場の規模拡大がなく、また原木の大量集荷体制も整備されなかった。このような状況下では、製材副産物や低質材のエネルギー利用は進まない。

(3)　日本のポテンシャルと新しい動き

しかし、日本は戦後に植えた人工林の伐採期をこれから迎えようとしている。仮にオーストリア・ドイツ並みに木材成長量の 6 割を伐採できたら、TPES 比は現在の 0.3%から 2%に高めることができる。このように日本のポテンシャルは大きい。

なお、材成長量の 6 割を伐採というのは、持続可能な林業を考えた場合、上限となる割合である。スウェーデンなどは 9 割に達しており、先行きは暗いのではないか。

近年、日本でも、やっと新しい動きが見え始めている。1 つは燃料用チップの価格が上昇している動き。安価であった廃材チップが品薄となり、また化石燃料価格の上昇により、燃料用チップの価格が上昇している。

次に森林チップの調達コスト低下の動き。全木集材してプロセッサで造材する方式が普及し始め、林地残材等の収集が可能になりつつある。

最後に、川上と川下の中間でチップにしかならない低質材を一括して買い取り、これを木質チップに加工して様々な用途に振り向ける事業が見られ始めている。この事業者による買取り価格は、生トン当たり 3,000～5,000 円程度であり、オーストリア・ドイツ並みになっている。

これらの動きにより、日本においても木質エネルギー利用が有望になるだろう。ポイントとなるのは、熱利用である。オーストリアは、国土的には日本の東北とほぼ同じ面積にも関わらず、木質エネルギー利用の地域熱供給施設は 1,500 ヶ所もある。小さい規模では 10～20 戸の戸建て住宅向けに熱供給を行っている施設もある。日本では、温水・冷水の配送インフラがないため、まずは、市町村役場や公共施設、集合住宅など比較的大型の建造物から導入を進めるべきであろう。

日本の中山間地では､そもそも 1960 年代まではエネルギーの自足自給をしていた。今後、木質エネルギーだけでなく太陽熱利用等を組み合わせたシステムを構築することにより、将来においても、中山間地でのエネルギー自給自足はできるだろう。

(4)　欧州環境庁(EEA)のバイオマス展望と今後の方向

EU27 では､自然エネルギーが普及しているとよく言われる｡2005 年のデータでは、全一次エネルギーに対して自然エネルギーが占める割合は 6.7%。しかし、自然エネルギーの内訳を見ると、バイオマス・廃棄物が 67.9%を占め、さらにバイオマス・廃棄部の内訳を見ると、木材とその廃棄物が 77.2%を占める。つまり、自然エネルギーの半分強は木質エネルギーであるというのが、実態である。

木質バイオマスに限った話ではなく、バイオマス一般の話であるが、EU では、バイオマスエネルギーを、現在行われている居住空間の冷暖房向けに利用するだけではなく、将来的には工業用熱利用、輸送燃料利用、電力利用への展開を考えている。

写真 4-1　講演風景写真

6)　所感

林学、木質バイオマスの第一人者として、長年、林業に携われてきた熊崎先生の講演は、勉強になるだけでなく、「なんとか日本の林業を再生しなければならない」という先生の強い使命感が伝わってきた。

実際にデータ等を伺うと、日本における木質エネルギーのポテンシャルは相当なものであることが分った。現在ある課題を解決し、このポテンシャルを上手く利用するためには、おそらく数多い当事者が全員 Win-Win になれるシステム開発が必要であろう。

システム開発は、エンジニアリング業界の得意分野であるはずであり、エンジニアリング業界として貢献できることが何かあるはずであろう。

講演資料

エンジニアリング協会　講演　2011.10.14

木質エネルギー市場の展望

～欧州での動向を踏まえて～

日本木質ペレット協会会長　熊崎　実

（1）墺・独で伸びの著しい木質燃料
（2）日本で木質燃料の利用が進まない理由
（3）しかし日本のポテンシャルは非常に大きい
（4）やっと見え始めた新しい動き
（5）欧州環境庁（EEA）のバイオマス展望と今後の方向
（6）放射能で汚染された廃材の発電利用について
（7）バイオマス発電の買取り価格：墺・独のケース

1

森林の林木成長量/伐採量と木質燃料

墺・独・日の比較　2007-08年

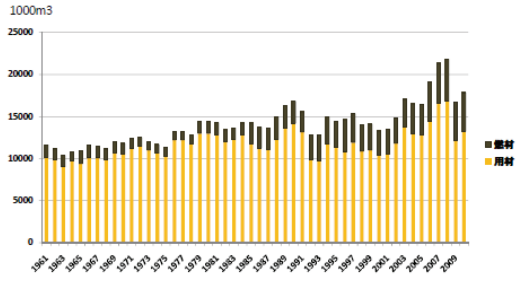
	森林面積 百万ha	人口当り (ha)	林木成長量 百万m3/年	木材伐採量 百万m3/年	木質燃料 百万m3/年	TPES比 %
オーストリア	3.9	(0.46)	31	20-25	17	10.0
ドイツ	11.1	(0.13)	120	70-80	36	3.0
日本・現状	24.9	(0.19)	170	20-25	10	0.3
（可能性）	24.9		170	(100)	(50-60)	(2.0)

注1）伐採量は伐り倒された立木の量ではなく、森林から引き出された量である。
2）木質燃料は固形のみで紙パルプ工場の黒液は含まない。
3）TPES比：木質燃料由来のエネルギーが総一次エネルギー供給に占めるシェア。
4）日本の可能性の括弧内の数値は成長量の6割を伐採した場合のものである。

2

木材生産量の推移

オーストリア　1961～2010年

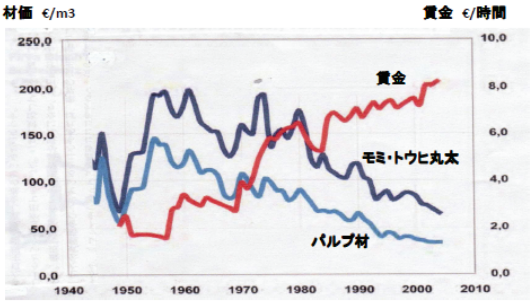


出所）FAO: Forestry Database

3

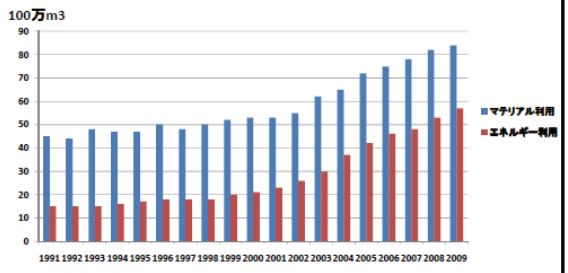
実質木材価格と実質林業賃金の推移

オーストリア　1945～2005年



注）木材価格と賃金は2000年代の貨幣価値で実質化
出所）J. Zöscher: Wood to energy. オーストリアンシンポジウム　東京　2011.2.14

ドイツの木材利用量の推移（1991～2009）

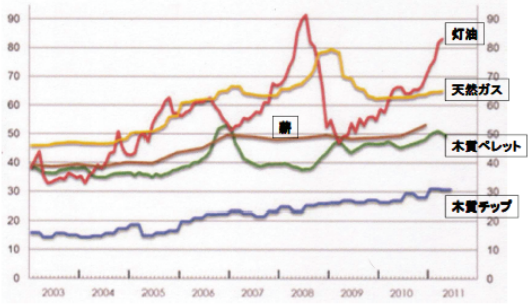


出所）Holzernergie. Renews Spezial, Ausgabe 43/Oktober 2010 をもとに作成。

5

ドイツにおける燃料価格の推移

（2003～11年）　ユーロ/MWh

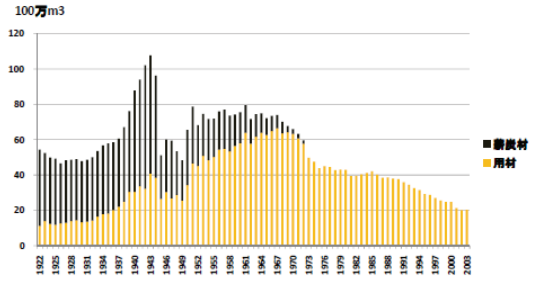


出所）http://www.carmen-ev.de

6

立木伐採材積の推移

日本　1922～2003年



注）立木伐採材積は森林で伐り倒されて搬出された幹の材積である。
2004年以降は伐り倒された量が計上されるようになり、ここでは03年までにとどめた。

出所）林野庁『林業統計要覧』各年版

7

日本の木質エネルギーが伸びない理由

○総一次エネルギー供給の中で木質燃料由来のエネルギーが占める比率
オーストリア：10%　ドイツ：3%　日本：0.3%

○日本は古来必要なエネルギーのほとんどを森林バイオマスで賄ってきた。それが20世紀の後半以降状況が激変して、自国の森林を最も利用しない国に変わってしまった。

○その背景には次のような事情がある。
①薪炭の徹底した放逐（「木質燃料など時代遅れだ！」）
②出材量の激減と機械化の遅れ（残廃材が出てこない）
③良質材志向の「一番玉林業」（低質材は山に捨ててくる）
④零細規模の製材業（残廃材のエネルギー利用ができない）

8

日本の資源的なポテンシャルは大きい

○墺・独の林業・林産業は市場競争力が強く、木材と木質エネルギーの供給を順調に伸ばしてきた。しかし森林の伐採量は成長量の2/3に達しており、これ以上に増やすのが困難な状況になっている。

○これに対して日本では戦後に植えた人工林が大きくなる一方で、極度の林業不振で伐採量が年々減少している。その結果、1.7億m3/年と見込まれる森林の成長量のうち伐り出される木材の量は0.2～0.25億m3にとどまる。

○仮に欧・独並に成長量の6割を伐採して利用するとしたら、木質燃料の供給は5～6倍になり、総一次エネルギー供給に占める比率を0.3%から2%に高めることができよう。

9

日本で見られ始めた新しい動き

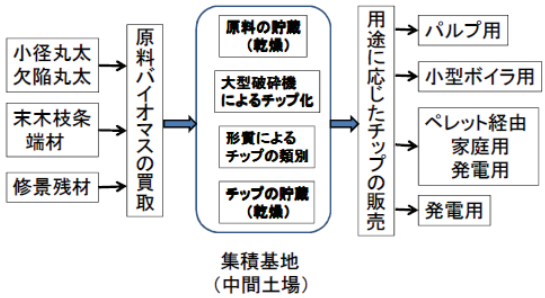
（1）燃料用チップの価格が上昇している
安価に出回っていた廃材チップが近年品薄になり、燃料チップの価格が上昇している。EU諸国の場合、今世紀の入ってから化石燃料価格の上昇と自然エネルギーへの政策支援で木質燃料の価格がじりじりと上がってきた。

（3）森林チップの調達コストが低下してきた
わが国でも全木集材してプロセッサで造材する方式が普及し始め、林地残材等の収集が可能になりつつある。

（4）低質材の取引市場が形成され始めた
川上と川下の中間でチップにしかならない低質材を一括して買取り、これを木質チップに加工してさまざまな用途に振り向ける事業が見られ始めた。買取価格が生トン当たり3,000～5,000円程度でも相当量の低質材が集まっており、墺・独並になっている。

10

集積基地を軸にした森林系バイオマスの収集・加工・販売



集積基地
（中間土場）

11

これからの木質エネルギー戦略

○近年、地域の森林を計画的に間伐し、出てくる材を積極的に利用しようとする機運が出てきた。これが本格的に動き出せば、相当な量の低質材が安定して供給されよう。

○この低質材を集積基地（中間土場）に集め、形質に応じて分別し、裁断・破砕・乾燥などの加工を加えて各用途に振り向ける。

○木質エネルギービジネスの有望な分野
1. 個別的な熱供給システム
　1-1　建築物の冷暖房
　1-2　事業用の熱供給
2. 集中的な地域熱供給システム
3. 熱電併給のコージェネレーションシステム

12

中山間地での地域熱供給システム

○通常、市町村役場の近くには各種の公共施設や集合住宅、事業所などの大型建造物が集まっている。その中心に据えられたバイオマスボイラから各建造物に熱を供給する。

○比較的温暖な地域では、暖房・給湯のみならず、冷房も行いたい。その場合は太陽熱を取り込むこともできる。

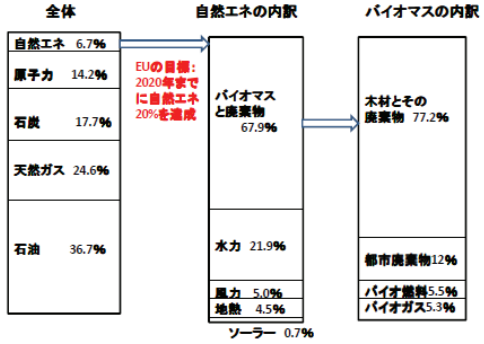
○地域熱供給では大型のボイラが導入され、樹皮、枝葉などの低質バイオマスがすべて利用できる。燃料が十分に得られれば、発電も可能。

○地域単位の冷暖房システムは温水・冷水の配送であるため、これに対応した施設がないと入れられない。戸建の住宅にまで拡大するには時間を要する。

13

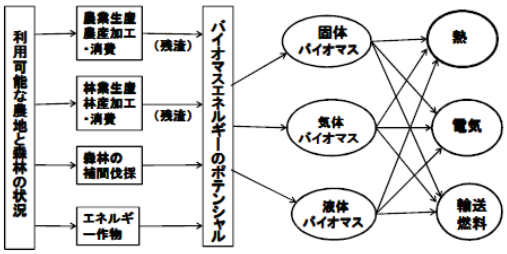
EU27におけるエネルギー消費と自然エネルギー

2005年　単位%



14

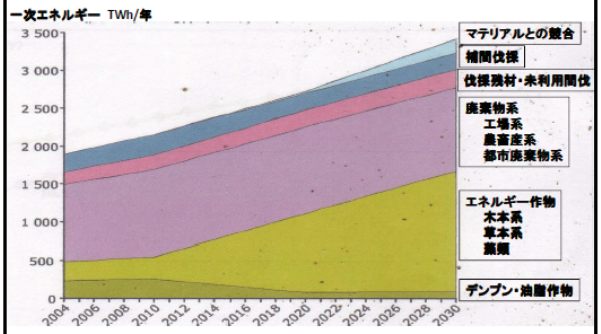
バイオマスエネルギーの多様な変換経路



15

バイオマスエネルギーの供給可能量（EU25）

環境保全とも両立するポテンシャル　2004～2030年

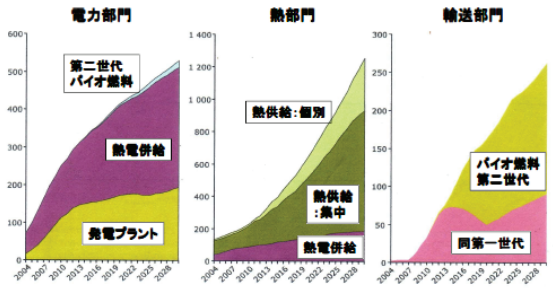


出所）European Environment Agency:　Maxmaizing the environmental benefits of Europe's bioenergy potential, EEA Report No.10, 2008

16

バイオマスエネルギー生産量の部門別推移：予測（EU25）

2004～2030年　TWh/年



各部門におけるバイオマスエネルギーのシェア（%）

	電力部門	熱部門	輸送部門	全部門
2010年	7.3	3.3	0.7	5.2
2030年	12.5	18.1	5.4	15.9

17

ECOFYSのエネルギーシナリオ：バイオマスの位置付け

世界全体　2000～2050年　EJ/年

		2000	2010	2020	2030	2040	2050
電力	計	45.7	60	71.9	85.7	103.5	127.4
	化石燃料	37.5	46.8	49.4	43.5	27.2	0
	太陽・風力・水力等	8.2	13.2	22.6	42.2	74.6	111.3
	バイオマス	0	0	0	0	1.7	16.2
工業用熱	計	63.7	79.1	82.3	74.6	63	59
	化石燃料	62.7	72.9	66	42.2	18	12.5
	太陽熱・地熱	0	0.1	0.3	1	4.2	11.7
	バイオマス	1	6.1	16.5	31.3	40.7	34.8
その他用熱	計	77.7	86	87.4	67.8	47.4	24.1
	化石燃料	44.1	51.6	53.5	37.6	10.6	0
	太陽熱・地熱	0.2	1.2	4.8	16	26.5	21
	バイオマス	33.4	33.2	29.2	14.2	10.2	3.1
輸送燃料	計	86.2	102.6	111.6	91.3	62.3	50.8
	化石燃料	85.5	97.8	98.8	61.7	16.6	0
	バイオマス	0.7	4.8	12.8	29.7	45.7	50.8
合計		273.4	327.8	353.3	319.4	276.2	261.4
うちバイオマス		35.1	44.1	59	75.2	98.3	104.9
構成比 %		12.8	13.5	16.7	23.5	35.6	40.1

出所）The Ecofys Energy Scenario, December 2010

18

能代バイオマス発電所で観測された灰分中の放射線量

ベクレル/kg

燃料	主灰	サイクロン飛灰	フィルタ飛灰
瓦礫廃材	133	490	3,300

計測日　2011.08.25

（参考）バイオマスボイラで観測された灰分中のカドミュウム量

欧米の多数のプラントで測定された事例の平均　mg/kg

燃料	主灰	サイクロン飛灰	フィルタ飛灰
生チップ	1	22	81
廃材	20	70	456

廃棄物の大規模燃焼に関するEUの環境基準　Cd+Tlの排出量 0.05mg/m3以下

出所）Handbook of Biomass Combustion & Co-firing (Earthscan, 2008), Table 9.26

19

一般廃棄物燃焼処理灰の放射性セシウム濃度

ベクレル/kg

市町村	施　設　名	測定日	主灰	飛灰
福島市	あぶくまクリーンセンター	2011/7/22	21,200	95,300
奥州市	胆江地区衛生センター	2011/6/30	1,440	8,600
		2011/7/05	1,570	8,600
		2011/7/13	1,250	10,500
		2011/8/08	1,140	8,600
能代・山本	南部清掃工場	2011/7/19	不検出	71

注）環境省見解：廃棄物の放射性物質のうち揮発性のものは排ガス処理で飛灰として回収され、排気は濃度限度（セシウム137で30Bq/m3）内におさまる。

出所）環境省「16都県の一般廃棄物焼却施設における焼却灰の放射性セシウム濃度測定結果一覧」（平成23年8月29日）

20

バイオマス発電の固定買取価格（ドイツ）

基本レート

～150 kW	11.67セント/kWh
150～500 kW	9.18
0.5～5 MW	8.26
5～20 MW	7.79（対象は熱電併給プラントのみ）

ボーナス（基本レートに加算）

栽培バイオマスなど	500 kWまで	6.00 セント/kWh
	5 MWまで	2.50～4.00
革新的な変換技術	5 MWまで	2.00
熱電併給	20 MWまで	3.00

買取保証期間　20年

基本レートとボーナスの逓減率　1%/ 年

出所）BMU: 2009 EEG Payment Provisions, 2008

21

バイオマス発電の固定買取価格（オーストリア）

燃料の種類	出力規模等	買取価格 セント/kWh
固形バイオマス（木質チップ、ストロー等）	～500 kW	14.98
	0.5～1MW	13.54
	1～1.5MW	13.10
	1.5～2MW	12.87
	2～5MW	12.26
	5～10MW	12.06
	10MW～	10.00
有機系廃棄物	木質系 1	マイナス25%
	木質系 2	マイナス40%
	その他	5.00
火力発電での混焼	固形バイオマス	6.12
	木質系廃棄物	マイナス20%
	その他廃棄物	マイナス30%

エネルギー変換効率
60%以上のプラントのみを対象

買取保証期間
15年

固定価格の逓減率
経済省令で決める

注1）「木質系1」はパークやおが屑など、「木質系2」は使用済みのものなど、また「その他」は非木質系を含むさまざまな廃棄物を指す。詳細で詳しく規定。
2）各種燃料を混ぜて使う場合はエネルギーベースの混合比率で配分。

出所）Energy-Control GmbH: Green Electricity Report Austria 2010

22

第５章　まとめ

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対象に資源循環の道筋を探る調査研究を行ってきた。昨年度に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、挙げられた種類から、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、リサイクル可能量の多い下水汚泥、リサイクル率の低い食品廃棄物と林地残材の 3 種類に特化して、資源循環の対策することが重要であるとの結論に達した。そこで、本年度は、下水汚泥、食品廃棄物、林地残材に焦点を当てて、資源循環を阻むボトルネックの検証をし、地域（都市部・中間山地）毎における資源循環のシナリオを策定した。

1)　下水汚泥

下水汚泥は発生量が莫大なため、よりリサイクル率を上げる必要がある。下水汚泥の利用形態は、マテリアル利用としては、建設資材、緑農地利用として利用され、エネルギー利用としてはバイオガス化や固形燃料化で利用されている。下水汚泥の処理については、これまで処理残渣の埋め立て処分量減量が最優先に考えられてきたため、セメント原料等の建設資材やコンポスト等としての緑農地利用が主に推進されていた。そのため、下水汚泥をエネルギー利用するといった観点での評価を行う画期的な枠組みや制度は存在していなかった。今後は下水汚泥のエネルギー資源としての価値に着目し、かつその利用をマテリアル、エネルギー両面から評価、推進する取り組みを推進することが必要である。現在、地域住民や民間企業等と連携して地域に賦存する下水汚泥の有効利用を推進するために様々な施策が推進されており、活発化が期待されている。東北地方の震災後は、特に沿岸部において広範囲にわたる農地消失、インフラの損傷、汚泥の放射能汚染等、様々な問題が噴出しており、マテリアル利用とエネルギー利用の困難さが一層深刻化している状況であり、当面は詳細かつ正確な情報把握と長期に渡る制度設計の継続的実施が必要である。

2)　食品廃棄物

食品廃棄物の再資源化を促進するためには、流通・外食産業から排出される事業系一般廃棄物と、一般家庭から排出される家庭系厨芥類の有効利用の促進が重要である。これらの廃棄物は、内容物が様々で、異物を含み、発生が偏在していること等が課題である。これに対して、廃棄物の収集、処理、再生利用がある地域内で完結するシステムを構築することが再資源化を促進することになる。また、分別手間を省くことの可能な処理（例えば、下水汚泥との混合メタン発酵処理）も有力と考えられる。さらに、一般家庭からの生活系厨芥類においては、自治体と住民との信頼関係の醸成と協力体制の構築も必要である。

3) 林地残材（間伐材を含む林業製品のカスケード利用）

我が国における林地残材の賦存量は約 800 万ｔと豊富であるにも係らずドイツやポーランドといった欧州の林業先進国と比較して有効利用に大きく遅れをとっている。原因は、低質材でも製造可能な各製品に対して良質材を使用して製造していること、それに伴って低質材は商品価値が低下し、B 材以降は林地残材となってしまう傾向にあること、さらに、D 材等も木質バイオマスとして利用可能であるが、A 材等と比較して容積が嵩むことから収集運搬コストが掛かり効率的でないことが挙げられる。また、林地残材の収集運搬コストを考慮すると、チップ等商品の値段が上昇し売れないという悪循環もある。こういった問題点の解決策として①用途にあわせたカスケード利用による全木利活用、②高性能林業機械の導入や開発に伴う収集運搬コストの低減、③林道の整備の伴う路網の過密化、④収集運搬コスト低減に伴う製品価格の抑制、⑤製品価格の低下に伴う需要の増加、等が挙げられる。林地残材のみならず我が国の林業という側面から観た場合にも前述のような対策を取ることによって持続可能な林業が形成され、さらに東日本大震災の被災地を始めとした雇用創出の担い手産業として可能性を大きく見出せると考える。

4) ロードマップ（シナリオ）

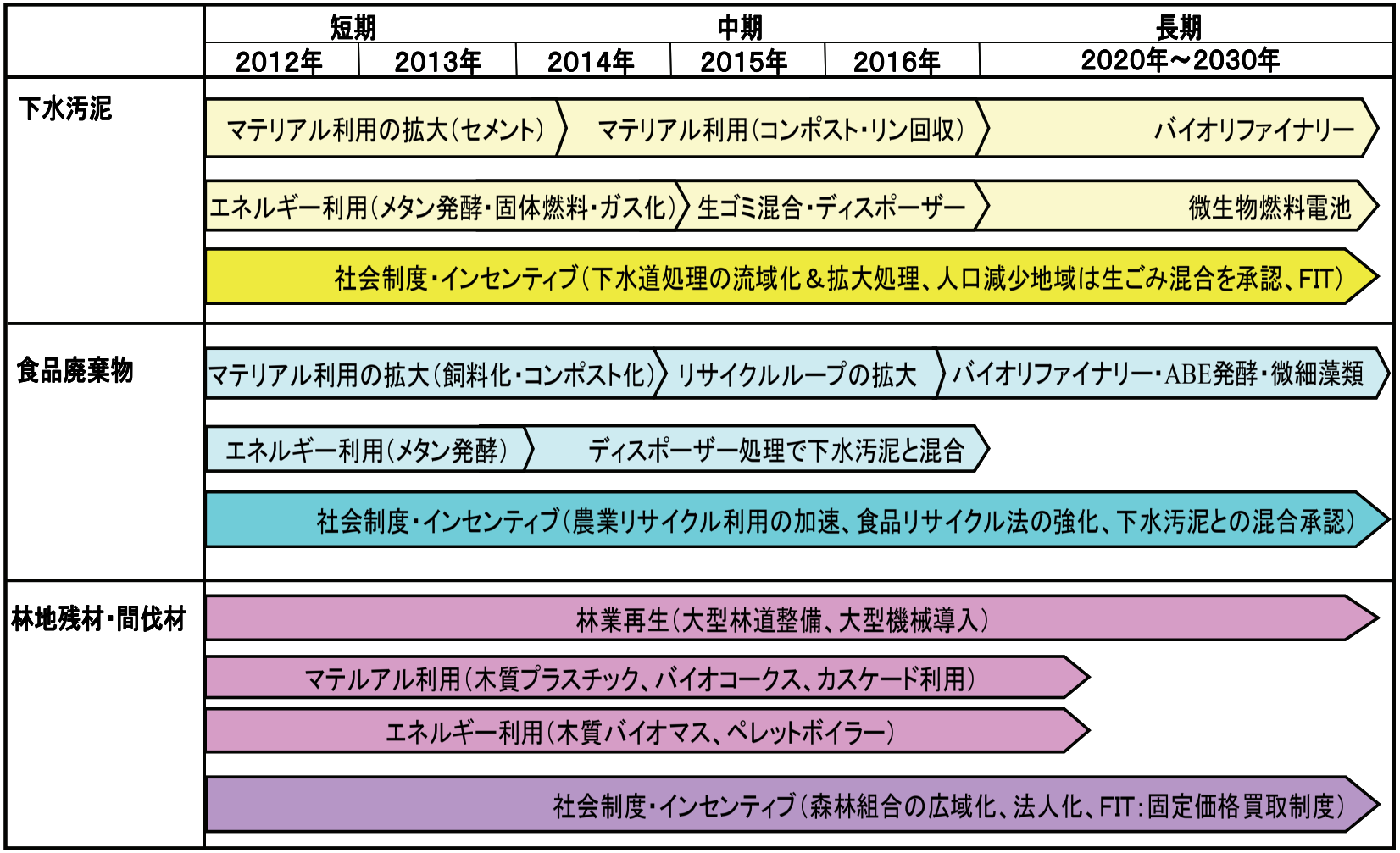
下水汚泥、食品廃棄物、林地残材、林地残材（間伐材を含む林業製品のカスケード利用）のリサイクル促進のロードマップを**図 5.1** に示す。それぞれ、マテリアル利用し、その後、エネルギー利用するというカスケード利用が重要である。下水汚泥のマテリアル利用では、バイオマスとしてのコンポストの普及促進、安価で効率のよいリン回収が期待される。エネルギー利用には下水道の広域化、流域化をはかり、メタン発酵処理することが再注目されはじめている。食品廃棄物をディスポーザー処理して、下水汚泥と混合することで、バイオエネルギーとしての回収する動きも有効である。林業再生には、林道整備といったインフラ整備から大型機械を導入した林業の効率化が求められる。そこで、発生した部材も構造材やバイオコークスなどに利用し、マテリアル利用されにくいものは、エネルギー利用することが好ましい。いずれにせよ、新たな社会的な枠組みと、確実に実行するという強い意志、政策が実現の鍵となる。

5) 最後に

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、日本木質ペレット協会会長筑波大学名誉教授熊崎実氏には、「木質エネルギーの振興 ―日本における可能性と課題－」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。

図 5.1　リサイクル推進に向けたロードマップ



参考文献

1. 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画（平成 22 年 12 月）
   http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf
2. 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?mode=preview
3. 環境省：食品リサイクルの現状
   http://www.env.go.jp/recycle/food/02_current.html
4. 農林水産省：食品ロスの削減に向けて
   http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syoku_loss/index.html
5. 大迫政浩ら：循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価、循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版（2011）
6. 古市徹監修／有機系廃棄物資源循環システム研究会：循環型社会の廃棄物系バイオマス　－利活用事業成功のためのシステム化－、環境新聞社（2010.9）
7. 下水汚泥有効利用に関するセミナー講演集
8. 参議院資料作成室：東日本大震災における災害廃棄物の概況と課題　～未曾有の災害廃棄物への取組～、立法と調査、No.316（2011.5）
9. 農林水産省 HP（http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kihonho/index.html）
10. 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画（平成 22 年 12 月）
    http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf
11. 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?mode=preview
12. 環境省：食品リサイクルの現状
    http://www.env.go.jp/recycle/food/02_current.html
13. 農林水産省：食品ロスの削減に向けて
    http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syoku_loss/index.html
14. 大迫政浩ら：循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価、循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書概要版（2011）
15. 古市徹監修／有機系廃棄物資源循環システム研究会：循環型社会の廃棄物系バイオマス　－利活用事業成功のためのシステム化－、環境新聞社（2010.9）
16. 下水汚泥有効利用に関するセミナー講演集
17. 参議院資料作成室：東日本大震災における災害廃棄物の概況と課題　～未曾有の災害廃棄物への取組～、立法と調査、No.316（2011.5）
18. 稲熊 利和：林業活性化の課題、「立法と調査」№300（2010.1）
19. NPO 法人循環型社会研究会：木質バイオマスをめぐる状況（2005.4）
20. 中国経済産業局：中国地域における国産材、林地残材・間伐材等の利活用方策の検討調査報告書（2007.3）

21. NEDO：再生可能エネルギー技術白書、「バイオマスエネルギーの技術の現状とロードマップ」（2010）
22. 農林水産省：食品リサイクル法
http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syokuhin/index.html
23. 環境省：食品リサイクルの現状
http://www.maff.go.jp/j/soushoku/recycle/syokuhin/s_about/pdf/genzyou.pdf
24. 農林水産統計データ、農林水産省
25. 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)
26. 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)
27. 農林金融　1999 年 9 月号
28. 畜産環境をめぐる情勢　平成 23 年(2011 年)2 月　農林水産省
29. 畜産環境をめぐる情勢　平成 18 年(2006 年)6 月　農林水産省
30. 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
31. 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
32. 畜産環境対策大事典　社団法人農山漁村文化協会
33. 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
34. 水質汚濁防止法
35. 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
36. 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
37. 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
38. 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
39. 鹿児島県バイオマス利活用指針、鹿児島県
40. 平成 21 年度環境と調和した農業の取組実績、鹿児島県
41. 畜産統計情報、ののむら FC 事務所
42. 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)
43. 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)
44. 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)

45. 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)
46. 東日本大震災・復興シンポウム(2012 年 2 月 15 日)予稿集

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

2011 年 3 月 11 日に、未曾有の災害である東日本大震災が発生した。この大震災の影響は、国民の生活に多方面にわたり多大な影響を与えている。本調査研究で対象としている温室効果ガス削減についても同様である。2009 年には、COP15 において「2020 年までに 1990 年比 25%削減」を国際公約したが、その実現の見通しも絶望的になりつつある。これは､大震災による東京電力福島第 1 原子力発電所の事故の影響が大きいといわれている。静脈物流という点では、温室効果ガス削減の影響以上に、この震災で生じた膨大なガレキの早期処理も、東北地方の復興には不可欠な要素となっている。以上のように、本年度の調査研究については東日本大震災の影響を抜きには実施できないが、昨年度までの調査研究を踏まえ、CO_2削減に向けた高度静脈物流システム構築のための調査研究を進めた。今年度は、一部、災害廃棄物（昨夏の風水害によるもの）の物流の現状調査なども行った。

1.2　調査研究の経緯と目的

循環型社会では廃棄物を単に処分するのではなく、新たな原材料として活用することが求められる。さまざまな性状や形態によって広範囲で発生する廃棄物を分別、回収し、利用するための施設へ効率的に輸送することが廃棄物利用の第一歩である。しかし、一般廃棄物、産業廃棄物のリサイクル率は、未だ循環型社会を構築するための十分なリサイクル循環が確立されていない。廃棄物が十分リサイクルされない理由の一つに、鉄道輸送、海上輸送等決まった輸送手段に乗せることができず、物流コストが多大となっている点があげられる。

また、静脈物流とは、人体の血液循環に模して、製品等が生産者から消費者へ輸送されることを動脈物流と例え、使命を終えた廃棄物の回収・再資源化を目的に還流される仕組みとを静脈物流と言っているが、この際、完全な循環の環（サークル）が形成されていることが重要である。

動脈物流が資材調達→生産→流通→使用･消費という流れに対して､静脈物流は使用者･消費者から排出される廃棄物が、回収→再資源化、あるいは最終廃棄へ至る逆の流れである。すなわち、動脈物流の物の流れは一つの起点から多数の消費者に分配されるのに対して、静脈物流は多数の拠点から材料を回収することから始まるため、動脈と比較して効率が低下することが宿命づけられている。

ところで、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 CO_2：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。

これまでエンジニアリング協会（旧エンジニアリング振興協会の活動も含む）では、静脈物流について調査研究を行い、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てきた。

以上のように、静脈物流の問題点は個々の問題ではなく、行政や地域あるいは各問題点が相互に関連したものであり、容易に解決することが困難な状況にあると考えられる。静脈物流では、CO_2 削減と共に、コスト・効率化・安全性が優先される解決課題である。

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研究を広く行ってきた。本年度は、先行事例の調査をさらに進めるとともに、これら事例から得られた成功の要因を抽出し、高度静脈物流システムの在り方について論ずる。

1.3 静脈物流における温室効果ガス（CO_2）排出の現状

代表的な輸送手段となるトラック・鉄道・海運(船舶)に関する温室効果ガス（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）となっている。つまり、同じ重量の廃棄物を同じ距離運ぶ場合、鉄道輸送がもっともCO_2の排出量が少ないことになる。これまでの調査で、静脈物流のほとん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がわかっており、前述のように、輸送手段の変更（モーダルシフト）は効果が大きい。

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 3,500 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 1.3-1 に 2008 年までの輸送手段別の CO_2 排出量の推移を示す。2008 年度の排出量は 2 億 3,500 万トンであり、日本全体の CO_2 排出量の 19.4%におよぶ。また、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」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。以上から、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 1,400 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。

さらに、**表 1.3-1** に 2005 年度の物流センサスの品類別年間出入荷量(重量) を示す。同表より、排出物は全体構成比の約 5%を占めていることがわかる。先に算出した物流分野の CO_2 排出量約 1 億トンに 5%を乗じると 500 万 t－CO_2 となる。つまり、この数値が静脈物流による概算排出量と想定される。これは、わが国が排出する CO_2 全体の約 0.4%に相当する。この数値は、2008 年の建設業界全体の CO_2 排出量に匹敵し、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。

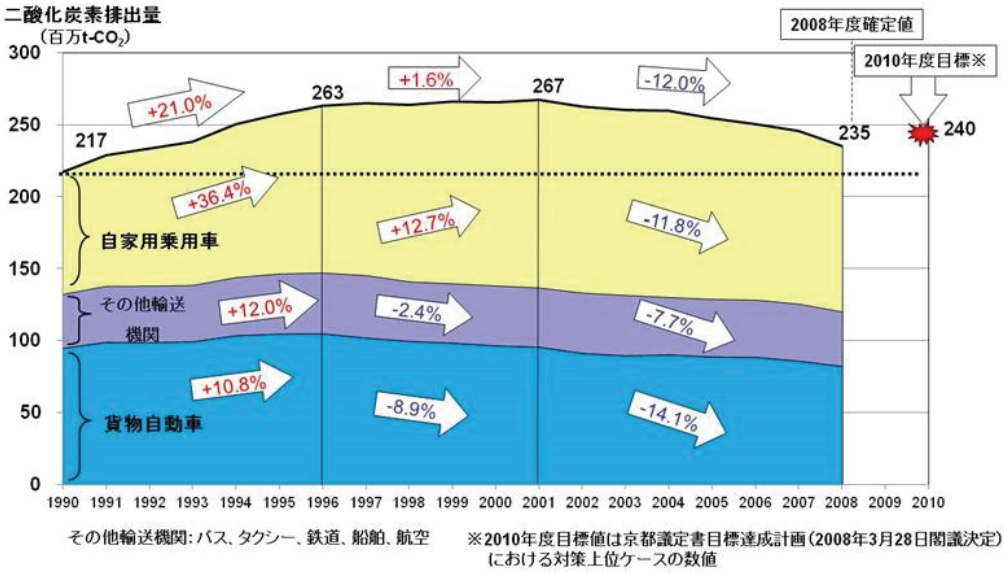


図 1.3-1　日本の部門別二酸化炭素排出量の割合

出典：国土交通省　運輸部門における二酸化炭素排出量

表 1.3-1　品類別年間出入荷量(重量)

(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%

出典：2005 年物流センサス調査(年間調査)

1.4　静脈物流における課題

これまでの調査研究において、静脈物流における問題点を以下のように整理してきている。

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、廃棄物ごと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にしている。

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両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およ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。

1.5 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。

本款では 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。

1) 車両運行の効率化

(1) 小口共同回収（**図 1.5-1**）

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。

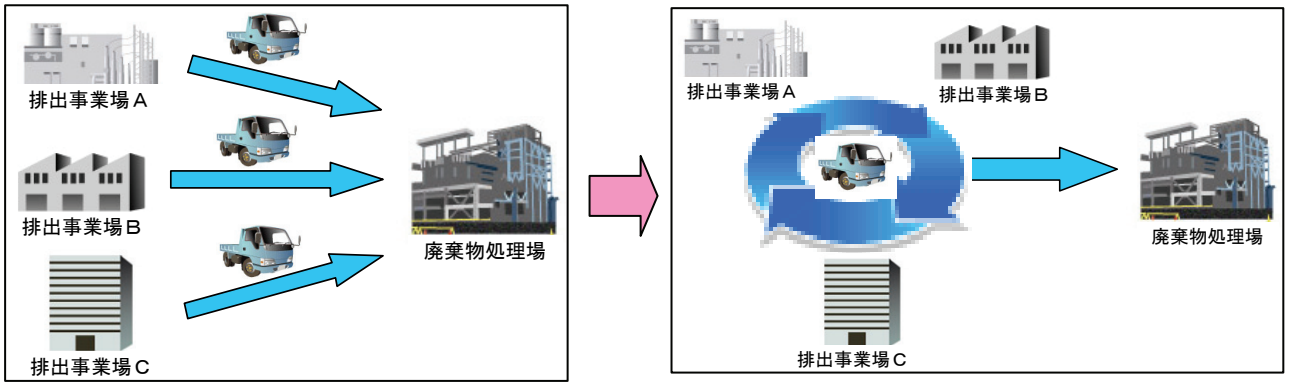


図 1.5-1　小口共同回収方式

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（**図 1.5-2**）

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。

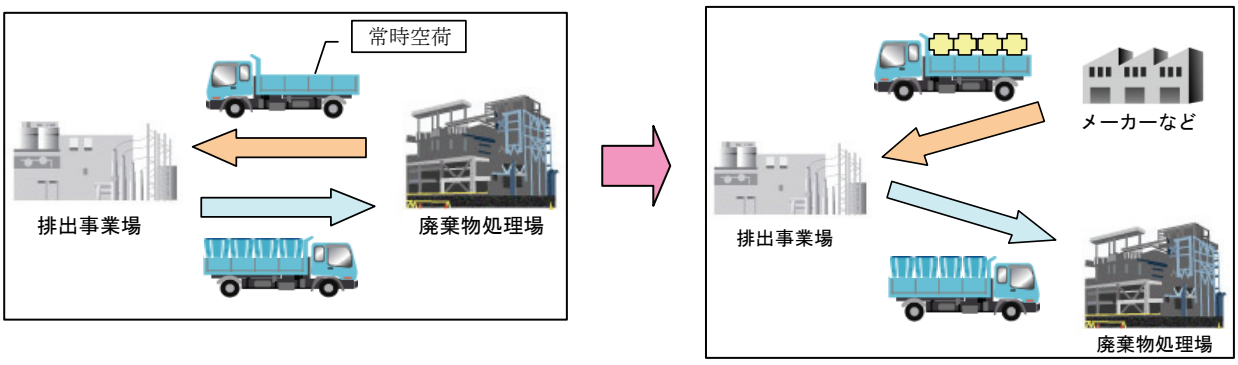


図 1.5-2　動脈物流と静脈物流の一体化

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（図 1.5-3）

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。法整備にかか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。

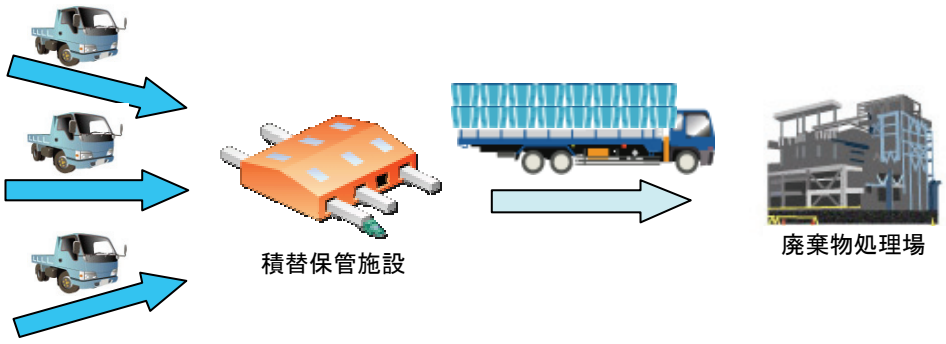


図 1.5-3　積替え保管施設による車両の効率化

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と検討項目を次に示す。

① 積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（セメント材としてのプラスチック等）の特定

2) 運搬方法の変更

(1) モーダルシフト（**図 1.5-4**）

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 1.5-4　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
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

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

(2) その他の代替燃料

(a) 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。

(b)　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である。

1.6　昨年度調査研究のまとめと高度静脈物流システムの事例

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、昨年度の調査研究結果から、以下の知見が得られた。

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、さら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おいても、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、さらには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、海上運送法およ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。

静脈物流の先進的事例としてリストアップしたものを**表 1.6-1** にまとめて示す。表中の濃い網かけの事例（No.6,7,8,9,10）は、昨年度調査したものである。また、薄い網かけの事例（No.1 と 3）は、今年度調査したものであり、**第 2 章**で紹介する。なお、No.4 と 5 は見学をお願いしたが、残念ながら断られた事例である。

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なされている。

表 1.6-1 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	今年度調査対象 (後述に報告あり)
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	今年度調査対象 (後述に報告あり)
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)	昨年度調査対象
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)	昨年度調査対象
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	昨年度調査対象
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)	昨年度調査対象
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	昨年度調査対象
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。 2009 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 2010 年 3 月号、P.12 から P.14、それ以外は委員の調査に基づく

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。

第２章　高度静脈物流システムにむけた先進的な取組み事例の調査

2.1　廃棄物の共同海上輸送（瀬戸内静脈物流事業化推進協議会）

2.1.1　瀬戸内静脈物流事業化推進協議会事務局

静脈物流のモーダルシフトの事例調査として、2011 年 7 月 19 日に瀬戸内静脈物流推進協議会事務局（中電技術コンサルタント：㈱広島県広島市南区出汐 2-3-30）を訪問した。

1）瀬戸内静脈物流事業化推進協議会の概要

瀬戸内静脈物流事業化推進協議会は、関西から北九州にかけての瀬戸内海域で船舶による廃棄物の共同輸送を行い、瀬戸内地域の広域資源循環の促進、省エネ・CO_2削減を目的とした事業を展開するため 2005 年に民間企業によって設立された協議会であり、静脈物流のモーダルシフトの実現に向けた実務的な検討を行っている。過去２回の実証実験を通じてモーダルシフトに関する様々な知見とノウハウを保有され、当部会第 2WG のテーマである「CO_2削減に向けた高度静脈物流システムの構築」が実務レベルで検討されている。

表 2.1.1-1 瀬戸内静脈物流事業化推進協議会　参加企業（2011 年度現在）

	会社名	業種	所在地	備考（処理方法等）
事務局	中電技術コンサルタント㈱	建設コンサルタント	広島県	
輸送港湾部門	月星海運㈱	海上運送業他	大阪府	幹事会社
	宇部興産海運㈱	港湾運送業他	山口県	
	日通商事㈱整備製作部	各種商品卸	東京都	
リサイクル部門	宇部興産㈱建設資材カンパニー	化学製造業	山口県	セメント原料・燃料
	エコシステム山陽㈱	産業廃棄物処理業	岡山県	再生処理
	共英製鋼㈱山口事業所	鉄鋼業	山口県	溶融
	㈱トクヤマ	化学製造業	山口県	セメント原料・燃料
	日新製鋼㈱呉製鉄所	鉄鋼製造業	広島県	原料化
	㈱日本リサイクルマネジメント	機械器具設置業	岡山県	炭化

2) 活動経緯

協議会の活動経緯は以下のとおりである。

・2004 年度

「瀬戸内エコタウン広域連携構築事業」（岡山・広島・香川・愛媛県の環境部局）が共同実施。広域連携施策の一つとして「瀬戸内静脈物流構想」が提案される。

・2005 年度

構想に賛同した民間企業（11 社）で「瀬戸内静脈物流事業化推進協議会」を設立。基本計画検討【経産省「物流効率化補助事業（調査研究・基本計画策定事業）」採択】。

・2006 年度

実施計画検討【経産省「物流効率化補助事業（事業計画・システム設計事業）」採択】。検討委員会オブザーバー：中国経済産業局，運輸局，広島県（環境・港湾）等。

・2007 年度

事業実施に向け，瀬戸内地域・北九州・関西圏での事業ＰＲと排出業者（荷主）募集等を実施。【国交省・経産省「グリーン物流ソフト支援事業」採択】。

・2008 年度

輸送実証実験等【リサイクルポート推進協議会「リサイクルポート実証事業」採択】。

・2009 年度

廃棄物専用海上コンテナの開発。【中国経済産業省「低産業社会に向け事業開始予定技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業」採択】。

3) 輸送対象条件等

リサイクルを目的とした廃棄物（コンテナ輸送が可能なもの）

主な想定廃棄物

・セメント原料 ： 燃え殻・焼却灰、下水道汚泥
・燃料・炭化 ： 廃プラスチック・廃タイヤ、木くず
・金属再生 ： ASR・Aプレス、金属くず
・再生処理 ： 廃油・廃酸・廃水、汚泥

輸送対象外として設定した廃棄物

・特別管理産業廃棄物・一般廃棄物

図 2.1.1-1 想定輸送対象エリア

出典：同協議会ホームページ

図 2.1.1-2 バージ船

出典：同協議会ホームページ

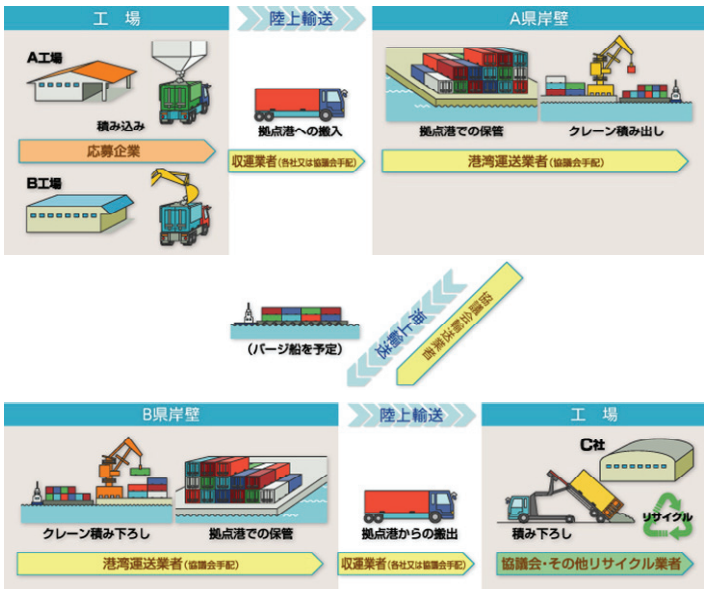


図 2.1.1-3 静脈物流事業モデル図

出典：同協議会ホームページ

4) ヒアリングおよび意見交換内容

調査時のヒアリングおよび意見交換の内容は以下のとおりである。

・2005 年にエコタウン事業の活性化とリサイクルポートの活用を目的とし当協議会が設立された。

・当初、自治体（岡山、広島、香川、愛媛）の環境部局が共同で「瀬戸内静脈物流構想」を提案され、この構想に賛同した民間企業が参集したものである。

・瀬戸内海沿岸はエコタウンが集積しており、多くの企業、工場が立地しセメント工場などの静脈産業が集結していることから、リサイクル事業のポテンシャルが高い地域である。

・事業範囲は関西からリサイクル拠点（セメント工場）が集まる山口、九州北部までを想定しており、各エリアを巡回する構想を持っている。

・本事業は共同輸送によるコストダウンと船舶利用のモーダルシフトによる CO_2 削減の実現を目指している。

・過去に実証実験を行っており、平成 20 年度は神戸で積んだ廃プラ、鉱さいを徳山下松、宇部港に運搬し、公共バースによる廃棄物の扱い、許認可、運用方法についての検証を行った。21 年度は同様に廃プラ、下水汚泥を運搬し、輸送効率の向上、コスト評価の検証、飛散漏れのないコンテナの開発を行った。

・24 時間以内の積替えの場合、積替え・保管の許可は必要ない。ただし、自治体との協議は必要となる。また、公共バースでは積替え保管の許可を取ることはできない。

・プライベートバースの運用は、個々の企業の使用にて一杯で、利用できる状況ではないため、公共バースの利用を基本に考えている。

・陸上運搬（搬出時）、海上運搬、陸上運搬（搬入時）と 3 回の運搬があり、マニフェストの運用が極めて煩雑になる。また委託契約もそれぞれとの契約が必要となり管理業務増加の一因となっている。

・建設業では電子マニフェストが主流となっており、マニフェスト管理の効率化を図っている。陸上、海上の全てを一体化した契約（共同組合の設立等）ができれば、マニフェスト管理も含めて単純化できる可能性もある。

・現状ではまとまった荷が無い状態で、モーダルシフトの効果が出る状況ではない。コストも陸上輸送より高い状態である。

・コストを下げるためには、船舶輸送のスケールメリットを生かす必要があり、大口の荷主の参加が不可欠である。

・各企業の廃棄物搬出の注文に応える集荷方法は、効率的な運搬計画を立て難い要因となる。定期的な集荷が可能となる方法を検討する必要がある。

・廃棄物の中間処理業者から最終処分先への搬出（セメント工場）は定期的かつ一定量の排出が見込める。荷主として可能性があるのではないか。

・関東の中間処理業者は廃プラなどを北九州の最終処分場や山口のセメント会社に船舶や JR 貨物を利用して運搬する共同事業を行っておりニーズはある。

・瀬戸内海の静脈物流は、基本的に関西で積込み、山口、九州で荷卸しの形が想定される。距離的にはやや短く、陸上輸送とのコストに大きな差を付けることが困難である。

・復路便の有効利用がポイントではないか。陸上輸送では、復路便の単価を半分程度に引き下げて復路便の荷を確保し、コストダウンに成功している例がある。
・関西から九州までの範囲では陸上輸送とのコスト競争が激しく、船舶による大量輸送の実現が本事業の成功の鍵となる。

5) 運搬コストの検証

専用船を使用した船舶輸送費用は、輸送量・距離に関わらずほぼ一定であるため、運搬する廃棄物量が多くなれば、スケールメリットによる輸送費の削減が可能となる。下記の図のように運搬距離が 500km（瀬戸内海の東端から西端までの距離）の場合、年間 2 万ｔを輸送すればトラック輸送と同等となる。従って、船舶による輸送のコスト効果を得るためには、定期的且つまとまった廃棄物輸送量の確保が重要であり、事業化成功のポイントであると言える。

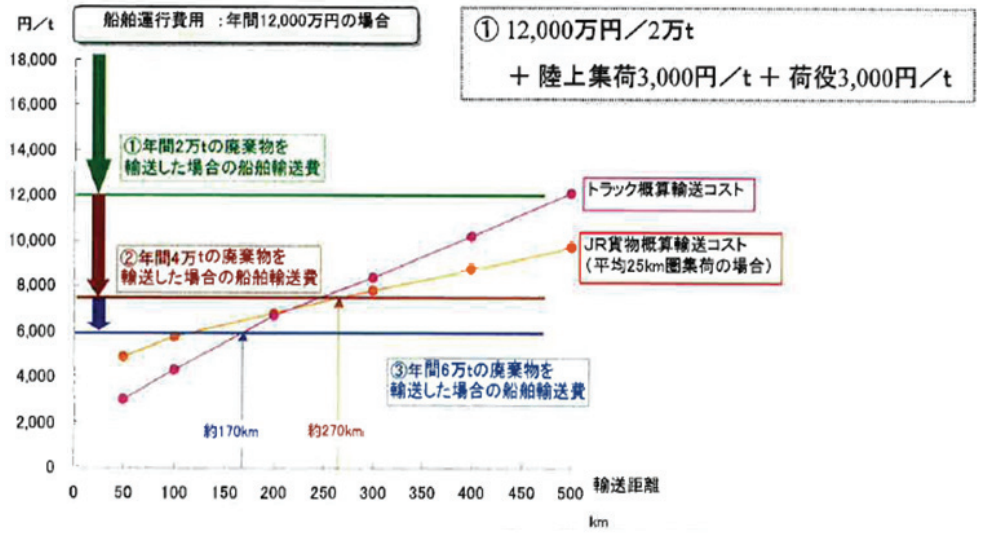


図 2.1.1-4 輸送量・輸送距離とのコスト比較

出典：同協議会提供資料

2.1.2 株式会社サニックス

瀬戸内静脈物流事業化推進協議会にかつて参加していた企業の物流状況の調査のため、2011 年 7 月 19 日に株式会社サニックスの広島工場（広島県廿日市市峠 245-58）を訪問した。

1) 会社概要

サニックスは 1994 年に産業廃棄物処理事業に進出。 産業廃棄物の処理・リサイクルを行う、大規模なプラントを全国に展開している。大きさや形がさまざまなプラスチックを細かく破砕することにより、石炭などの代替燃料として活用するサーマルリサイクルを推進。 プラスチック燃料を利用した発電所を運営するとともに、製紙会社へプラスチック燃料を供給している。サニックス広島工場では廃プラスチック、畳、紙を収集し、固形燃料（フラフ燃料として利用する紙、プラスチック、畳を混合し、ブロック状に圧縮したもの）を製造し出荷している。輸送は収集、出荷ともにトラックが主体。トラックが最も安価なためである。

2) ヒアリングおよび意見交換

(1) 処理状況

①廃プラスチックを約 1200ｔ/月処理している。4 割は容器包装リサイクル法上の指定法人ルートのものを入札で落札したものである。

②機械の能力は最大で 6.15ｔ/時×24 時の能力を持っているが、稼働率は半分以下である。

③稼動後 10 年を経過している。

④計画では 90ｔ/日の処理を目指しているが、前月 49ｔ/日、前々月 51ｔ/日の処理しかできていない。

⑤稼動後最初の 3 年は 10ｔ/日程度の処理であったが、4 年目から容器包装リサイクル法上の指定法人ルートの入札に参加し、600～1,000ｔ/月の落札をしている。最近では 500～600ｔ/日の落札しかできていない。

⑥広島県は全国で 2 番目に埋め立て料金が安いため、廃プラも埋め立てに回っている量が多いと思う。

⑦集荷は全て逆有償で料金をいただいている。

(2) 処理内容

①搬入⇒手選別⇒破砕⇒磁選⇒圧縮梱包

②梱包品は 1m 角。平均で 440kg/個である。

③仕向け先は 40%が四国の製紙会社、50%がセメント、10%が異物で最終処分

④いずれも熱利用されている。

⑤製紙向けは繊維、紙の混入率を 10%以下と規定されている。

⑥セメント向けはもう少し多く繊維、紙が入っている。

⑦塩素分は問題とならない。塩ビはほとんどなく、厨芥由来の塩分の方が多いと思う。

⑧セメント向けは 1%前後、製紙向けは 0.3～0.4%の塩分含有である。

(3) 運搬

①入荷、集荷は全てトラック。

②仕向け先及び運送会社から飛散しないようしっかり梱包して欲しいと言われている。

③運搬は､製紙向けは仕向け先の手配､セメント向けはサニックスで手配している。

④サニックスで手配している運搬は宇部まで片道数万円程度（10ｔウイング車、一桁台前半）で手配できている。動脈物流の車が収集運搬の許可を取得しており、帰り便をあてがうことにより低料金を達成できていると思う。

⑤製紙会社は紙を広島に持ってきた帰りにフラフ燃料を持って帰っている模様。ブルーシートを荷台に敷いて積んでいる事例が多い。

⑥積荷について臭気でクレームが来たことはない。

⑦広島から水島等の港から北海道へ船で運ぶことも想定されていたが、コストがかかるため、持っていっていない。

⑧北海道に自社の廃プラ発電設備があるが､中京より東でしか持っていっていない。全て有価物として持っていっている。

(4)　取引

①セメント向けは逆有償（数円/kg を支払う）

②製紙向けは有償売却（数円/kg をもらう）

3)　プラント状況

広島工場の設備等を以下に示す。なお、写真の出典は全てサニックス HP である。

写真 2.1.2-1　工場全景

写真 2.1.2-2　トラックスケール

写真 2.1.2-3　投入状況

写真 2.1.2-4　荷降ろし

写真 2.1.2-5　荷降ろし後選別

写真 2.1.2-6　搬送状況

写真 2.1.2-7　ラッピング状況

写真 2.1.2-8　ベール品ストック

写真 2.1.2-9　破砕品保管(硬質)

2.1.3　株式会社トクヤマ

静脈物流のモーダルシフトの事例調査として、2011 年 7 月 20 日に瀬戸内静脈物流事業化推進協議会のリサイクル部門として参加している(株)トクヤマ(山口県周南市渚町 4900-4)を訪問した。

1) 現地調査概要

(株)トクヤマは、ソーダ灰、苛性ソーダ、塩化カルシウムなどの製造･販売を行う化学品事業、多結晶シリコン、湿式シリカ、乾式シリカなどの製造･販売を行う特殊品事業、普通ポルトランドセメント､早強ポルトランドセメント等の製造･販売および廃棄物処理を行うセメント建材など、主に 3 部門に関連する事業を行っている(**表 2.1.3-1**、**図 2.1.3-1**)。今回は、廃棄物の処理･リサイクル、静脈物流の形態等を主体にヒアリングを行った。

表 2.1.3-1 会社概要

会社名	(株)トクヤマ
資本金	534 億 5,800 万円(2011 年 4 月現在)
会社設立	1918 年 2 月 16 日
敷地面積	総面積 191 万 m² （南陽工場 28 万 m²、徳山工場 61 万 m²、東工場 102 万 m²）
従業員	連結 5,444 人･単体 2,154 人(2010 年 3 月現在)
主要事業	①ソーダ、無機･有機の化学薬品、その他諸化学製品 ②セメント、土木･建築用資材 ③合成樹脂、イオン交換樹脂膜、その他高分子化合物 ④ファインセラミックス、医薬原体および中間体、医療用具 ⑤電子機器、電子部品およびそれらの材料、上記①～⑤の製造･加工･売買 ⑥発電および電気の供給 ⑦産業廃棄物および一般廃棄物の収集･運搬･処理および再利用、再生品販売

出典:(株)トクヤマ会社概要より抜粋

図 2.1.3-1　工場全景

出典：(株)トクヤマ会社概要

2) ヒアリング内容

①同社は 1918 年に創業、現在で 93 年が経つ。はじめは無機化学(ソーダー灰生産)からスタートした。その後、1938 年にセメント生産を開始、1960 年に石油化学事業、1980 年に加工型事業、2000 年頃から廃棄物の扱いを始める。

②主に半導体や太陽電池の材料である高純度多結晶シリコンの工場(3 万トン規模)をマレーシアに建設中であり、他の事業分野も海外展開を図っている。

③セメント事業は、創業から 20 年経ってから始めた。理由としては、ソーダ工場で石灰石を焼く必要があり、その時に未反応のカスが出る。それを有効利用するためにセメント生産を始めた。また、工場内で 55 万 kW の自家発電を行っており、石炭灰･脱硫石膏が出る。さらに、各工程からも廃棄物が出るため、それらの有効利用も含めてセメント生産を始めたのがきっかけである。

④セメント工場単位の生産能力の順位は国内 3 位である。3 本のキルンが同社の売りであり(全長 110m、直径 5.7m･1,800℃･燃焼ガスの滞留時間約 10 秒)、通常 2 本が稼動している(**図** 2.1.3-2)。しかし、セメントの国内需要がピークの半分程度に落ち込んでいるため、視察時には 2 本が停止しており、1 本のみの稼動であった。

⑤セメント国内生産のうち、中国地方が 30%を占めている(2010 年下の全国生産能力 5,838 万トン、キルン 54 基、全社で 18 社)。

⑥セメント製造を受け皿として資源循環事業を始めた。キルンは廃棄物焼却炉という位置づけではなく、あくまでもセメント製造という観点で事業展開をしている。セメント原料に使う廃棄物は粘土の代わりであり、セメント 1 トン作るのに 400kg 程度の廃棄物を使っている。また、廃プラスチックは破砕してフラフにして燃料利用している。さらに、山口エコテック(宇部興産(株)との共同出資会社)から脱塩等の前処理をした都市ごみ焼却灰(一般廃棄物)も受け入れしている(**図** 2.1.3-3)。

⑦1999 年に最初の廃プラ燃料化プラントを設置し、その後 3 回の能力増強を行った。硬質系は 20mm 以下、軟質系は 30mm 以下に破砕してセメントキルンに吹き込んでいる。荷姿に関係なく 1.4m 角以内なら受け入れ可能である。処理能力は 125,000 トン/年(**図** 2.1.3-4)である。また、遠方の福島からも持ち込んでおり、持込の種類は産廃が主である。だいたい 1 ベールあたり 300～400kg ある(塩素は 1,000ppm 以下を目安としている)。外部での中間処理を経てベール品の状態で同社に持ち込まれるケースが多い。なお、処理費用は品質により異なる。

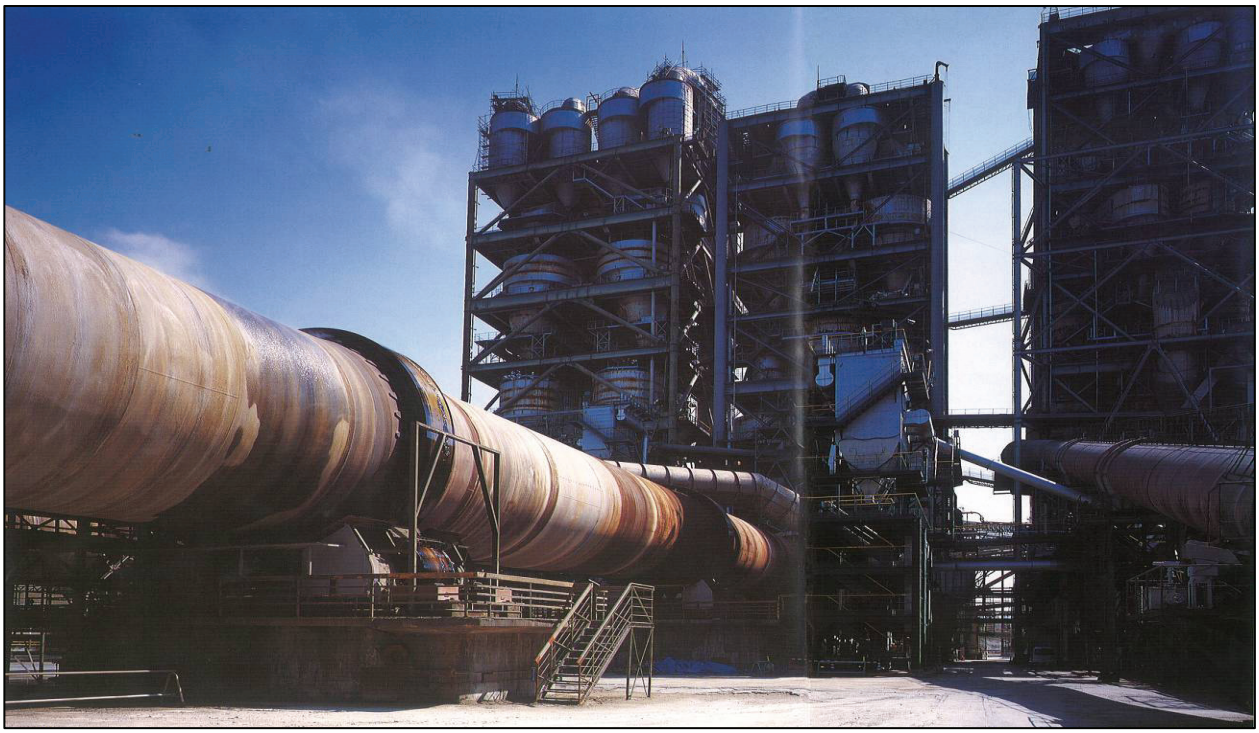


図 2.1.3-2　キルン外観

出典：(株)トクヤマ 廃棄物再資源化事業案内

⑧発電設備で使うタイヤ(50mm チップ)、木くず(チップ)は有価で引き取りをしている。

⑨同社への陸上輸送は、鉄道の場合、JR 新南陽駅からトラックで 3 分(駅･工場間)、高速だと徳山西･東 IC が近く、立地条件が大変良い。

⑩海上輸送は、公共ふ頭(リサイクルポート)を利用する場合は、徳山港の晴海埠頭で荷降ろしをして、そこから陸送(4km)で工場まで持ち込む。また、工場には 22 基のプライベートバースがあり、原料･燃料はプライベートバースからの荷降ろしである。徳山港晴海ふ頭には、フェリー船や RO-RO 船も来る。また、石炭灰は船舶で関東以西から受け入れており、8,000 トンのサイロが一つある。汚染土壌は、関東から船舶で 2,000 トンクラスできており、汚泥も船、それ以外はトラック･JR 便が多い。なお、同社は輸送専門の子会社を有している。

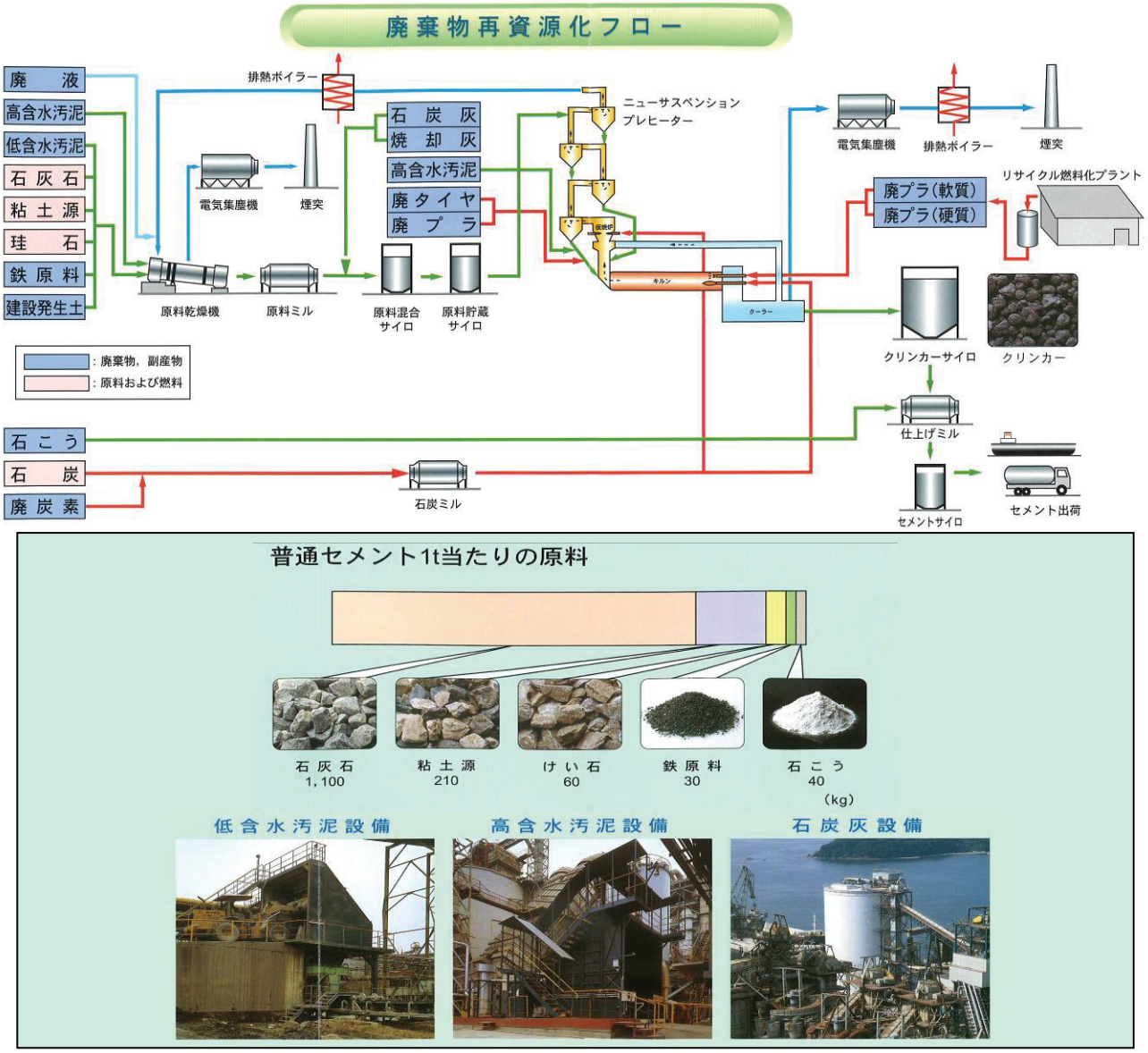


図 2.1.3-3　廃棄物再資源化フロー

出典：(株)トクヤマ 廃棄物再資源化事業案内

⑪その他(瀬戸内静脈事業化推進協議会との連携･要望事項等)

・同社の原燃料、製品の物流量は 1,600 万トンになる。これらの多くはプライベートバースを使って出し入れをしており、公共バースを利用する場合は製品の出荷などで少ない。廃棄物の輸送に公共ふ頭を利用できれば選択肢が増える。

・海運を利用して廃棄物等の輸送費が下げられれば望ましい。しかし、少量輸送の場合、トラック便の方が便利で安い。海運のコンテナ便の場合、CO_2 低減効果が大きいとしてもやはり料金が先行してしまう。また、帰り便の利用方法がないことや、海上、陸上で別々の収集･運搬の許可が必要なことも弊害である。

・動脈ラインをうまく使えないか。例えば、動脈定期便の中に廃棄物コンテナを入れてもらうことができないか。

・セメント生産と受入廃棄物とのバランスについて、燃料系の廃棄物(廃プラスチック等)は、まだ余力があるが、原料系の廃棄物(石炭灰等)はほぼ満たしている。燃料の代替となる廃棄物があれば積極的に利用していきたい。

・処理費と輸送費を合わせたフルコストで顧客にはセメント処理を提案している。特に、関西圏の廃棄物に関してはフェニックス(最終処分場)の処理費との勝負もあり、大変厳しい状況である。

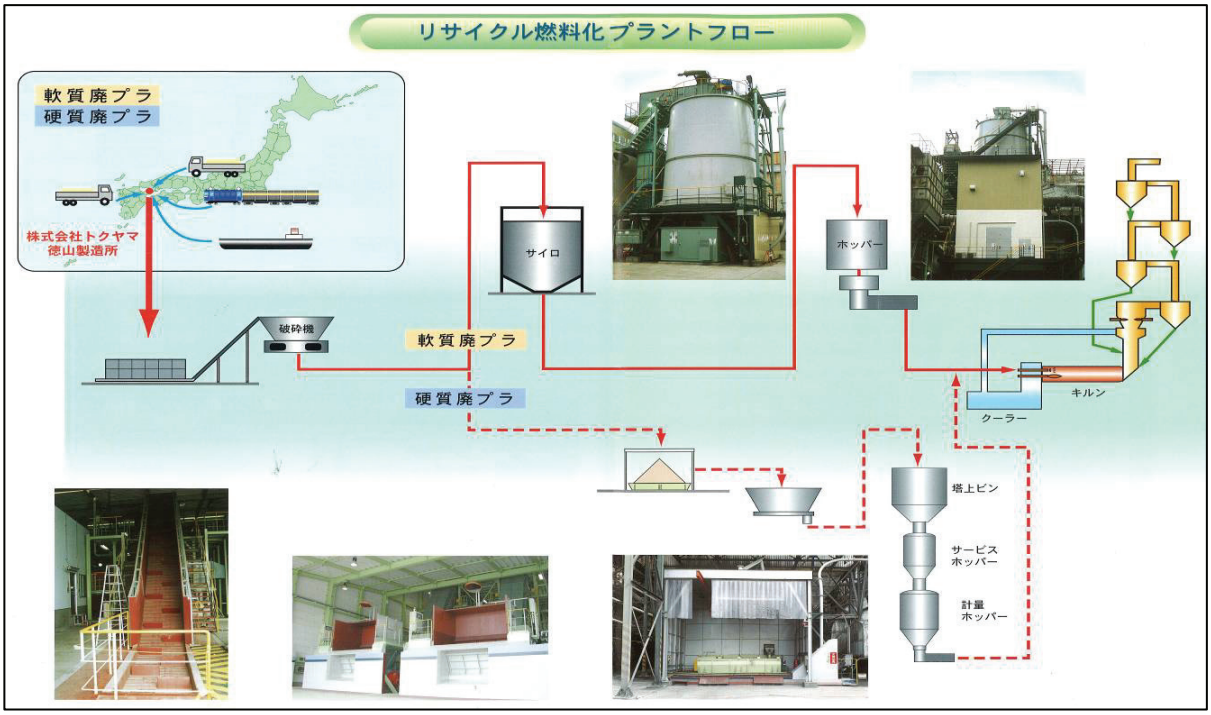


図 2.1.3-4　廃プラ燃料化プラントフロー

出典：(株)トクヤマ 廃棄物再資源化事業案内

2.1.4 宇部興産海運株式会社

2011年7月20日、瀬戸内静脈物流事業に携わった宇部興産海運株式会社 本社（山口県宇部市港町一丁目5番5号）を訪問したので、同社の会社概要、および、同事業への取り組み状況を報告する。

1）会社概要

同社は、1942 年に宇部港の海運会社を集約して設立され、1959 年に宇部興産株式会社の資本参加を受入れ関連会社となる。（会社概要については、**表 2.1.4-1** を参照）

表 2.1.4-1 会社概要

商　号	宇部興産海運株式会社
本　社	山口県宇部市港町1丁目5番5号 TEL：0836-34-1181
創　業	1942年（昭和17年）
資本金	665百万円
売上高	13,367百万円（2009年度）
従業員	377名（2010年3月末現在）
事業内容	内航海運事業 港湾運送事業 国際複合一貫輸送事業 コンテナ事業 エンジニアリング事業 産業廃棄物処理事業 船舶代理店事業 機械器具設置工事業（建設業） その他

出典：宇部興産海運株式会社ホームページ

主な業務は、宇部興産株式会社、および、宇部港の荷物取扱いである。取扱う主な荷物は、セメント原料・製品、石油製品等であり、荷物の輸出入、および、移出入を行っている。

セメント以外で取扱っている主な荷物は、以下のとおりである。

(a) 宇部興産株式会社において生産された肥料（硫酸アンモニウム）
　北海道（苫小牧港）、および、東北（酒田港）へ出荷
　（最低ロット数：1,000 ロット/回）

(b) 石炭の移出
　四国電力、J パワー、および、瀬戸内エリアの各工場等へ移出

2) 瀬戸内静脈物流事業への取り組み

2009 年、同事業において、宇部興産海運株式会社は一般コンテナを使った廃プラスチックを輸送する実証事業へ参画した。

翌年の 2010 年、瀬戸内静脈物流事業化推進協議会において、専用の 40 フィートコンテナを導入し、廃プラスチック、および、汚泥を輸送した。

今回導入した 40 フィートコンテナは、瀬戸内静脈物流事業化推進協議会メンバーの強い要望に基づいて両開き扉付き特殊仕様となっており、コンテナ強度維持のため支柱の設置等、コスト増加の要因となっている。

写真 2.1.4-1
廃プラスチック専用コンテナの外観

写真 2.1.4-2
汚泥専用コンテナの外観

3) 同社関係会社の動向

宇部マテリアルズ株式会社(宇部興産株式会社の関連会社)は、モーダルシフトに積極的であり、製鉄所で使用する生石灰を大分へ専用コンテナで海上輸送中である。(輸送量：12,000～14,000 トン/月)

写真 2.1.4-3 専用コンテナの外観

4) その他

寄港する最低物量の目安は、20 フィートコンテナ(15 トン積み)で 20～30 コンテナ(＝300～450 トン)が必要である。

なお、輸送船の償却期間には、最低約 10 年間を見込んでいる。この背景には国内景気低迷の影響により、償却期間は過去の最低 8 年間から悪化している現状がある。

2.1.5　宇部興産株式会社

2011 年 7 月 20 日、瀬戸内静脈物流事業に携わった宇部興産株式会社 本社（山口県宇部市大字小串 1978-2）を訪問したので、同社の会社概要、および、同事業への取り組み状況を報告する。**写真 2.1.5-1** に宇部地区の工場全景を示す。

1)　セメント工場概要

(1) 宇部工場（山口県宇部市）

多品種セメント製造工場

クリンカ製造能力　1,500 千トン/年

ロータリーキルン　1 基

(2) 伊佐工場（山口県美祢市）

クリンカ製造主力工場

クリンカ製造能力　4,200 千トン/年

ロータリーキルン　2 基

(3)　苅田工場（福岡県京都郡）

廃棄物処理主力工場

クリンカ製造能力　1,700 千トン/年

ロータリーキルン　1 基

写真 2.1.5-1　宇部興産全景（宇部地区工場群）

出典：宇部興産株式会社パンフレット

2)　廃棄物再資源化への取組みについて

セメント産業は究極の資源リサイクル工場として資源循環型社会の構築に大きく貢献している。セメント再資源化の特徴として以下のことがあげられる。

(1)廃棄物はセメント成分の一部（原料成分の一部代替）及び熱エネルギー代替物として活用が可能である。

(2)セメント中の主成分は汎用元素から構成されており、幅広く原料および熱エネルギー代替物として使用が可能である。

(3)焼却された灰も粘土の代替品としてセメント内に取り込まれるため、最終処分が不要である。

(4)セメント中に残る重金属はコンクリート中に取り込まれ、土壌汚染の恐れがない。

(5)セメントキルンは、1,450℃という高温焼成により通常の焼却炉では対応できない物質を焼却・破壊することができ、かつ大量処理、長期安定処理が可能である。

3)　処理工程

図 2.1.5-1 に廃棄物の再資源化と有効利用のフローを示す。

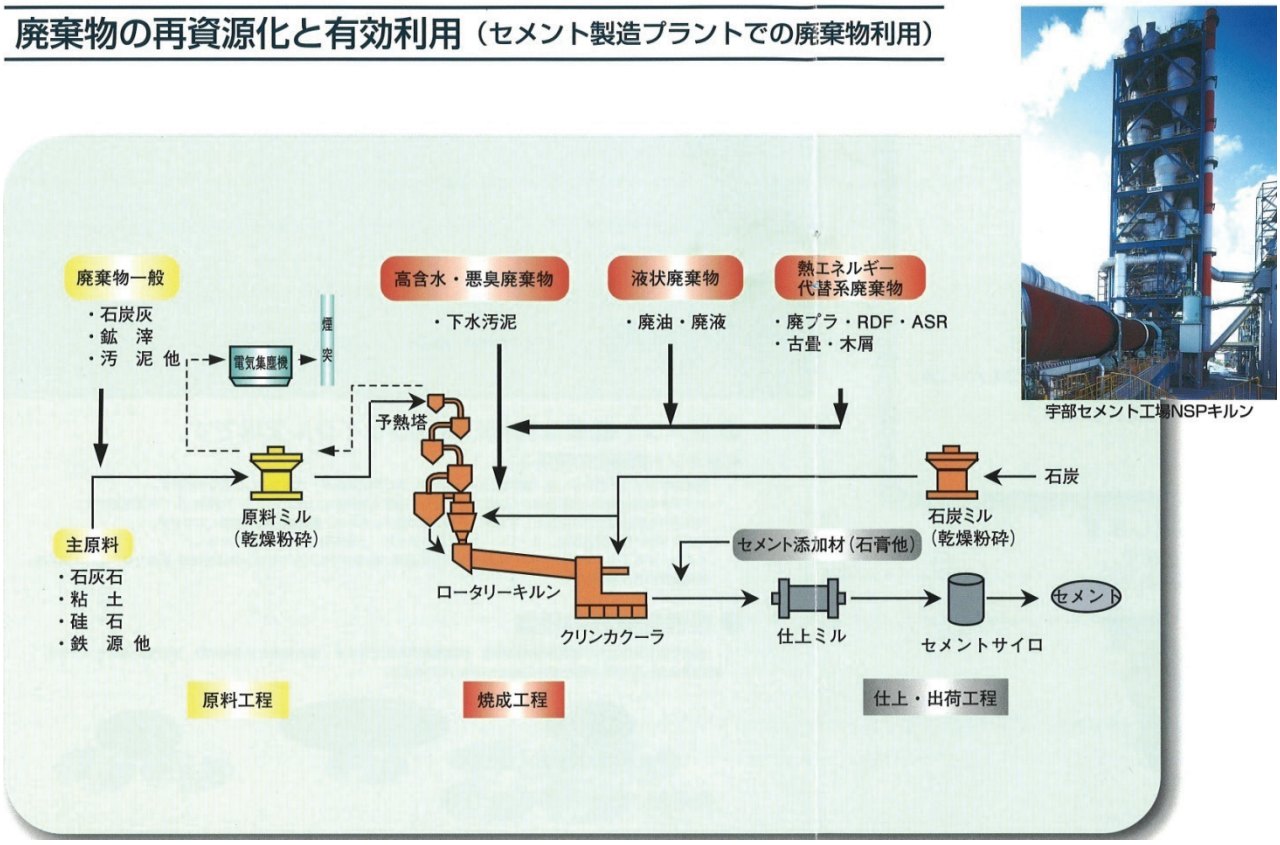


図 2.1.5-1　廃棄物の再資源化と有効利用

出典：宇部興産株式会社パンフレット

4)　廃棄物の広域収集システム

廃棄物を JR やフェリー等を利用して安全かつ大量に輸送する広域収集システムを構築している。これを図 2.1.5-2 に示す。

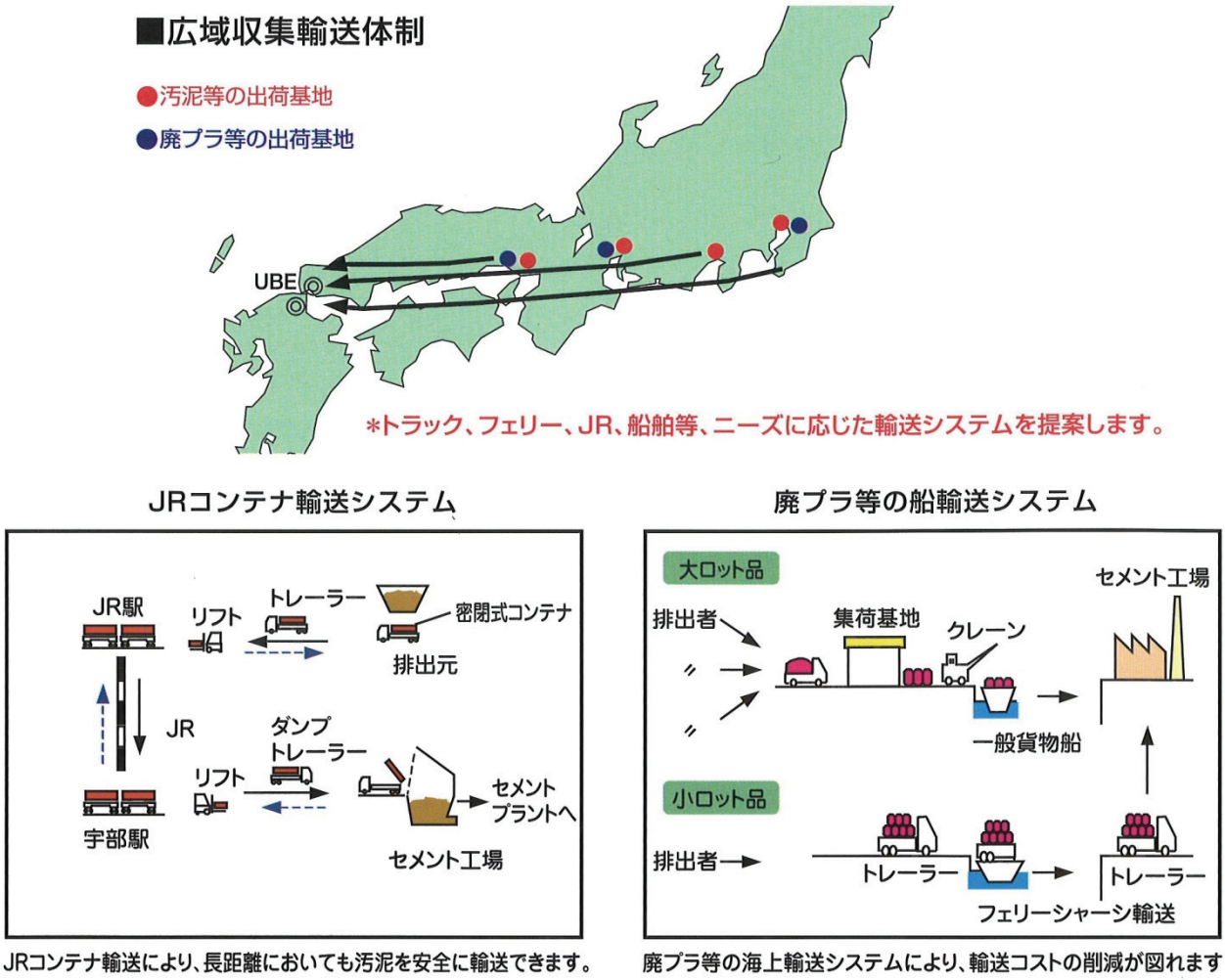


図 2.1.5-2　廃棄物の広域収集輸送体制

出典：宇部興産株式会社パンフレット

5)　宇部工場施設見学

(1)　セメント製造工程

・原料工程

石灰石等天然資源と石炭灰等原料代替廃棄物を縦型の原料粉砕ミルで乾燥・粉砕・混合して成分が安定した粉体原料を製造する。

写真 2.1.5-2　原料粉砕ミル

出典：宇部興産株式会社パンフレット

・焼成工程

原料工程で製造した粉体原料を所定の温度になるまで加熱、ロータリーキルンにて最高 1,450℃の高温で焼成した後、エアークエンチングクーラーにて一気に冷却し、塊状のクリンカーという中間製品を製造する。

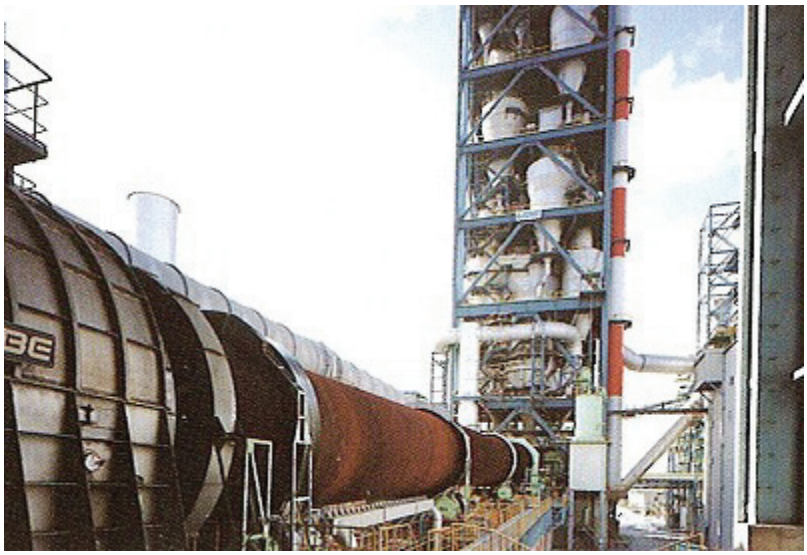


写真 2.1.5-3　予熱塔とロータリーキルン

出典：宇部興産株式会社パンフレット

(2)　廃棄物処理設備

・下水汚泥密閉式処理設備

高含水、悪臭を発する下水汚泥や排水汚泥は密閉式処理施設に搬入、そこから直接セメントキルンに投入しセメント再資源化される。

写真 2.1.5-4　下水汚泥密閉式処理設備

出典：宇部興産株式会社パンフレット

6)　ヒアリング内容

(1)　現状受入れている廃棄物の輸送方法とその割合

宇部興産では 200 万トン以上の廃棄物を受入れてセメント再資源化を図っている。主な廃棄物の輸送方法は以下の通りである。

石炭灰	110 万トン	船：ダンプ＝7：3
建設発生土	19 万トン	船：ダンプ＝9：1
下水汚泥	12 万トン	ダンプ：JR＝6：4
民間汚泥	16 万トン	ダンプ：船＝8：2
廃プラスチック	12 万トン	トラック：フェリー＝7：3

(2)　これまでに行われた廃棄物の搬送の効率化の方法とその効果

物流手段は運搬する距離に応じて設定し、セメント工場近圏はトラックやダンプ、遠距離は船、フェリー（ヘッドレスシャーシー輸送）や JR を利用する。遠距離になるほど 1 回当たりの輸送量をできる限り増やすことで排出者の輸送費負担を軽減している。船や JR の利用によって輸送中の安全確保と CO_2 排出量削減を図っている。

(3)　廃棄物の物流における問題点

(a)トラック輸送、鉄道輸送、船舶輸送について

排出者は希望の時間に希望の数量を出したいと考えているので、輸送会社から排出日時や数量を規定されると対応できない場合がある。

(b)できれば規制を緩和して欲しいルールについて

現行特に思いあたらないが、リサイクルポート施策を積極的に推進して指定されたリサイクルポートを核とした静脈物流システムの構築を急いでほしい。

(c)荷主からの要望で最近特に多いことについて

特に遠距離の排出者からはより安価な輸送手段を要望される。

2.2 家電リサイクル（株式会社テルム）

家電リサイクル関連静脈物流の現地調査として、研究部会の第 3WG のメンバーとともに 2011 年 10 月 20 日に､株式会社テルム　入舟事業所(神奈川県横浜市鶴見区寛政町 20-1)を訪問した。

2.2.1 会社概要

（株）テルムは、1961 年に川崎器材株式会社（金属屑商許可取得）として資本金 6 百万円で川崎市において設立された。1999 年に資本金を 5 億円に増資（東芝が全額出資）し、2001 年より、家電リサイクル法に基づく使用済み廃家電製品のリサイクルを開始した。以下の 3 つを柱として、事業を行っている。

①環境リサイクル事業：産業廃棄物の収集運搬、処理や家電製品などのリサイクル

②環境エンジニアリング事業：土壌、地下水の汚染調査/浄化工事や環境診断分析

③環境マネジメント事業：産業廃棄物の排出事業者サポート、ISO 認証取得支援など

2010 年度の売上から、上記①の事業が約 3/4 を占める。家電リサイクル全国に複数の拠点を持ち、北海道から九州までの広範囲で上記事業を行っている。また、2010 年度の売上の約 57%は東芝グループ外となっている。会社概要を**表 2.2.1-1** に示す。

表 2.2.1-1　会社概要

商号	株式会社テルム (TERM CORPORATION)
設立	1961年(昭和36年)10月1日
資本金	5億円(株式会社東芝の全額出資)
本社	神奈川県横浜市神奈川区新浦島町一丁目1番地32(ニューステージ横浜)
代表者	取締役社長　後藤 元晴
従業員数	510名(2011年4月現在)
年間売上高	15,086百万円(2010年度)
事業内容	・産業/一般廃棄物の収集・運搬/処理/リサイクル ・建築物/施設・設備の解体撤去工事 ・環境分析 ・土壌・地下水の調査/浄化 ・環境マネジメントシステム(ISO14001)/品質マネジメントシステム(ISO9001)等のコンサルティング

出典：同社ホームページ

2.2.2 我が国における廃家電の物流について

図 2.2.2-1 に家電リサイクル法による静脈物流の処理ルートを示す。消費者、小売店や家電量販店から全国 380 か所（2001 年当初）程度設けられた「指定引き取り場所」に廃家電が集積される。ここまでの物流を 1 次輸送と呼ぶ。指定引き取り場所から、テルム入舟事業所などの再商品化工場に輸送・処理され、リサイクルに回る。ここまでの物流を 2 次輸送と呼ぶ。同図にも示すように、廃家電の物流ネットワークは 2 つのグループ（A グループ：東芝・パナソニックほか、B グループ：日立・三菱・シャープ・ソニーほか）に分かれており、（株）テルムは A グループに属する。

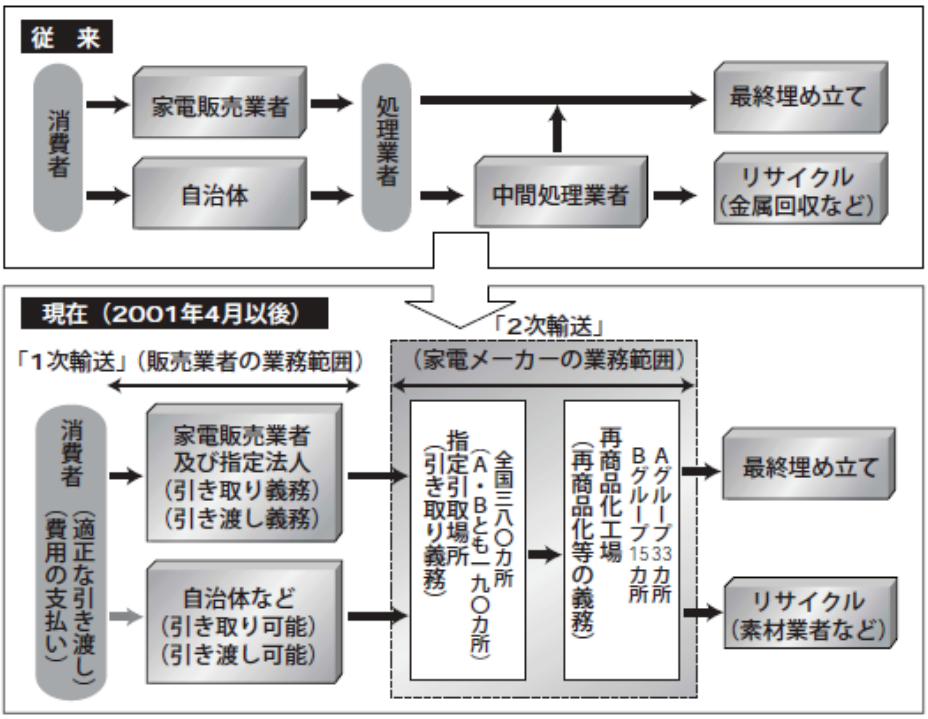


図 2.2.2-1　家電リサイクル法で変った使用済家電の処理ルート

出典：LOGI-BIZ　2001 年 12 月号

2.2.3　株式会社テルム入舟事業所

1993 年に入舟事業所が開所された。当初、東芝保有の土地を利用していたが、家電リサイクル法施行に先立つ実証実験などをはじめ、事業規模の拡大に合わせて事業所も拡大してきた。環境リサイクル事業については、東芝、パナソニックなど A グループの家電メーカーの指定を受けて、4 家電（ブラウン管テレビ、薄型テレビ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機、衣類乾燥機）の指定引取り業務と再資源化業務を行っている。

入舟事業所でリサイクル処理する廃家電は、東京都・神奈川県・山梨県・静岡県の 1 都 3 県から受け入れている。

これら 4 家電の手解体ラインおよび機械解体ラインの作業状況を**写真 2.2.3-1** に示す。また、処理及びリサイクル方法の概要を**図 2.2.3-1** に示し、個々の廃家電の詳細なリサイ

手解体ライン　　機械解体ライン

写真 2.2.3-1　（株）テルムにおける家電リサイクルの状況

出典：同社ホームページ

クル方法を図 2.2.3-2～2.2.3-5 に示す。家電リサイクル法に基づく政令では、4 家電のリサイクル率の基準を、以下のように定めている。

エアコン：70%以上、冷蔵庫・冷凍庫：60%以上、ブラウン管テレビ：55%以上、液晶・プラズマテレビ：50%以上、洗濯機・衣類乾燥機：65%以上

このため、リサイクル工場ごとに、そのリサイクル率を常に詳細に把握・管理している。また、技術革新の目覚ましい家電業界では、新製品が短いサイクルで投入される。

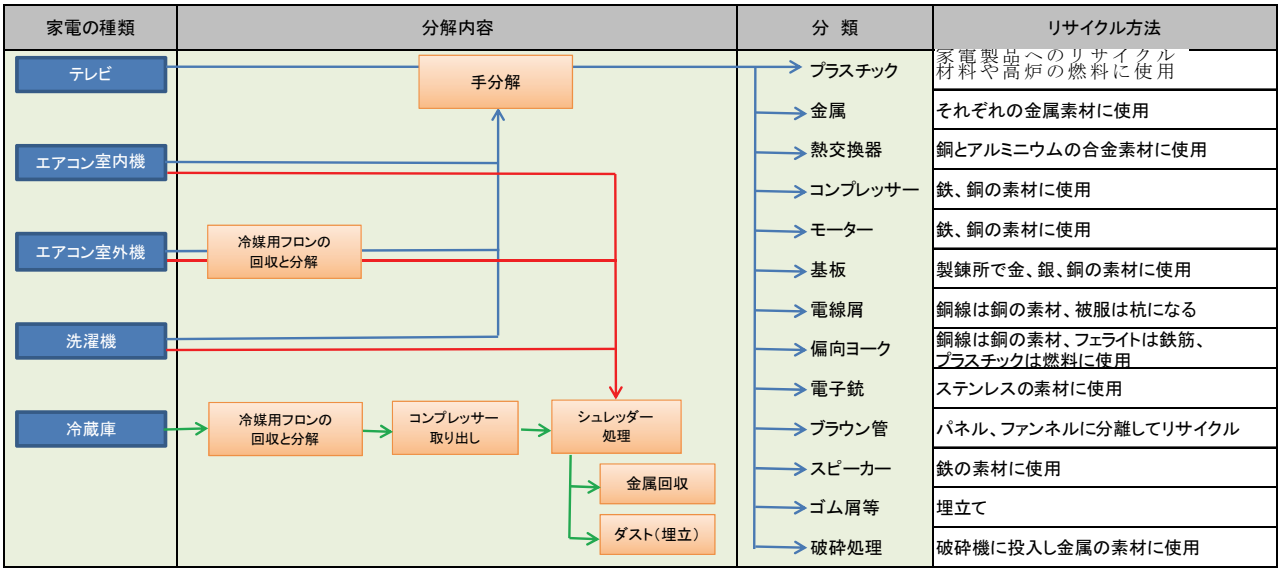


図 2.2.3-1　4 家電の処理およびリサイクルの流れ

出典：同社資料から作成

図 2.2.3-2　（株）テルム　入舟事業所におけるテレビのリサイクル状況

出典：同社ホームページ

テレビに関しては、従来のブラウン管から液晶・プラズマ方のものに短時間で移行しつつある。また、洗濯機に関しても、全自動洗濯機からドラム式のものもリサイクルされつつある。これら新製品の廃家電に対する処理工程への対応等も、前述のリサイクル率を満た

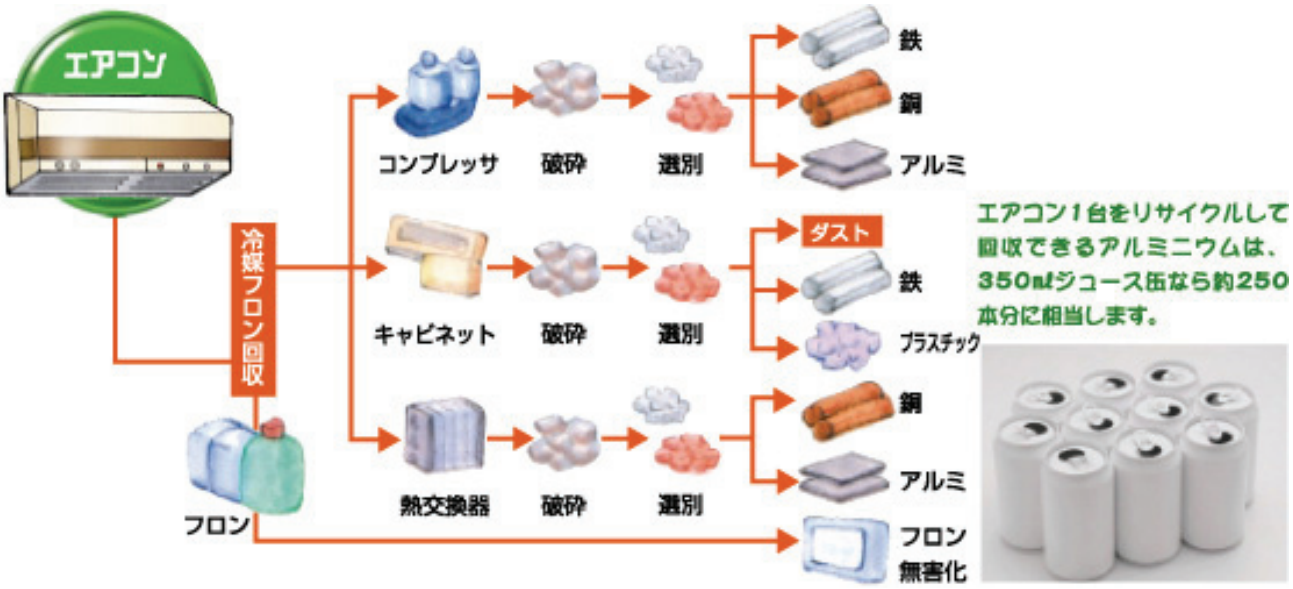


図 2.2.3-3　（株）テルム　入舟事業所におけるエアコンのリサイクル状況

出典：同社ホームページ

図 2.2.3-4　（株）テルム　入舟事業所における洗濯機のリサイクル状況

出典：同社ホームページ

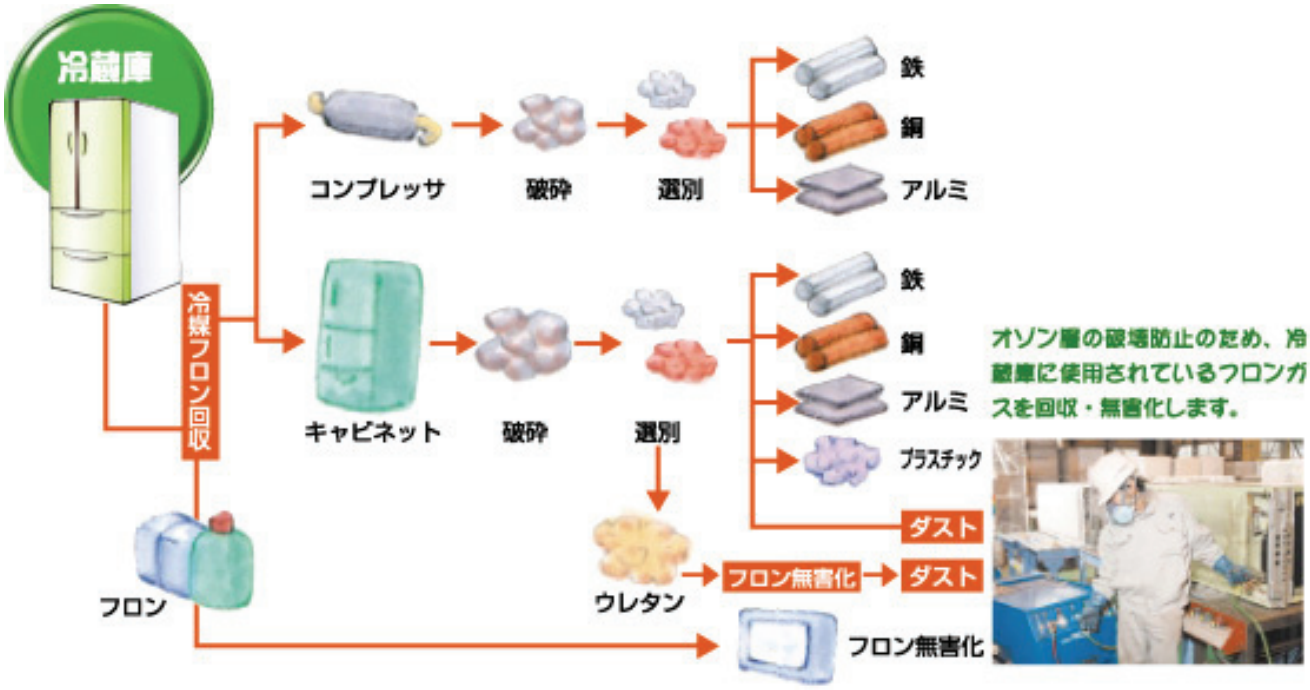


図 2.2.3-5　（株）テルム　入舟事業所における冷蔵庫のリサイクル状況

出典：同社ホームページ

すために実現していく必要があり、工場ごとに対応してきている。

その他、現地調査で伺うことができた主な意見等は以下のとおりである。

- 同じＡグループに属するパナソニック社と、廃家電処理に関する技術ノウハウなどの情報交換を行っている。両社間の技術者が、再商品化工場を訪問しあうことで、処理工程の合理化を進めている。リサイクルの効果を社会に還元するために、ライバル会社間でも共同すべきという風土がある。
- 再商品化、再資源化の処理工程で得られたノウハウを、商品の設計に反映する取り組みも進めつつある。解体しやすい商品は、部品点数が少ない、ネジによる締付カ所が少ないなど、組立しやすい設計になっている。設計者に入舟事業所で解体工程を経験させるなどの教育も行っている。
- ブラウン管は、前面部のパネル部分と、側背面のファンネル部分にそれぞれ別の組成のガラスを使用している。ファンネルガラスは鉛を含有しており、適正管理が必要である。しかし、現在は有効利用が可能な海外への輸出がほとんどであり、今後、海外でも薄型テレビの普及等により需要（再利用）が減るにつれ、他のリサイクル方法の模索も急務となっている。

2.3　災害廃棄物の海上輸送

2011 年 9 月の台風 12 号による水害被害は西日本全域におよび、その中でも和歌山県、奈良県では地滑りによる大規模な土砂ダムができるなど、2011 年 2 月現在も大きな被害の爪痕を残している。和歌山県南部では推定 35,000～45,000t もの水害廃棄物が発生し、その廃棄物処理が大きな問題となった。新宮市は迅速な廃棄物処理を実現するため、陸送だけでなく海上輸送を利用した広域処理を実施し注目を集めた。

2.3.1　調査研究概要

2011 年 11 月 22 日に廃棄物を積載したコンテナ船が入港する神戸港（兵庫県神戸市中央区港島）と廃棄物処理を行った大栄環境㈱和泉リサイクルセンター（大阪府和泉市テクノステージ 2-3-28)、平井最終処分場（大阪府和泉市平井町 861）を訪問し、荷卸し作業と処分状況を確認するとともに、広域処理の実現に関わられた大栄環境㈱、井本商運㈱の実務担当者の方にヒアリング調査を行なった。

2.3.2　海上輸送の概要

対象廃棄物：新宮市・那智勝浦町内の水害廃棄物 14,000t
運搬容器　：ハードトップコンテナ（32m^3、16t）積み
運搬経路　：新宮港　→（貨物船）　神戸港　→（トレーラー）大栄環境㈱中間処理場
運搬実施日：第 1 回（2011 年 10 月 1 日～10 月 31 日）
コンテナ数：400　運搬回数 4 回
第 2 回（2011 年 11 月 19 日～12 月 22 日）
コンテナ数：700　運搬回数 10 回
所要時間　：新宮港積込み作業（約 7 時間）
：新宮港　→　神戸港（約 12 時間）
：神戸港積卸し作業（約 2 時間）

写真 2.3.2-1 新宮市の水害廃棄物

写真 2.3.2-2 新宮市の水害廃棄物

写真 2.3.2-3 トレーラーへの積込み(新宮)

写真 2.3.2-4 上部開閉式の蓋

写真 2.3.2-5 トレーラーからの荷卸し(新宮港)

写真 2.3.2-6 貨物船への積込(新宮港)

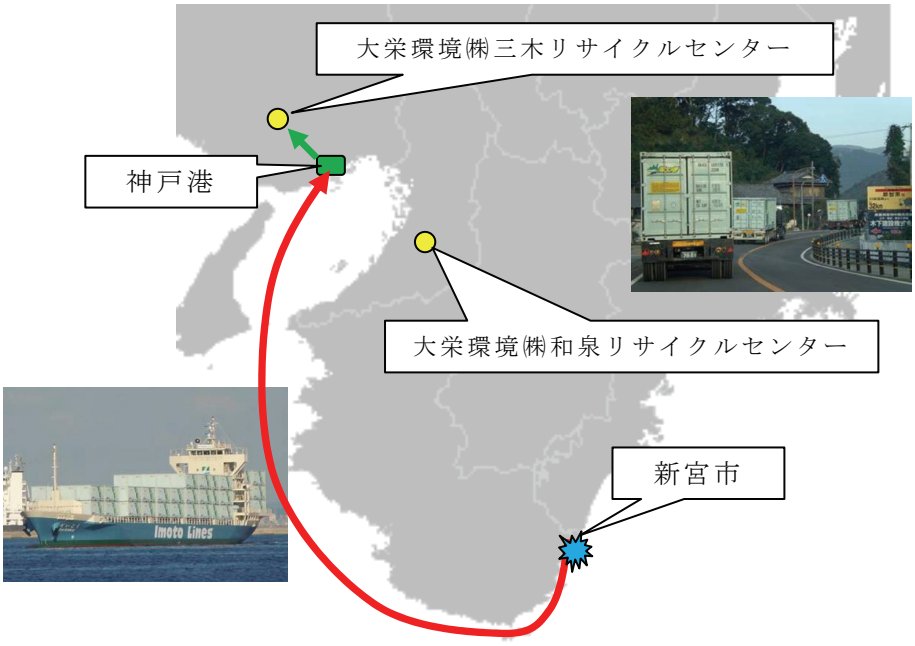


図 2.3.2-1 廃棄物の運搬ルート

写真 2.3.2-7 神戸港公共バース

写真 2.3.2-8 コンテナ積卸し作業（神戸港）

写真 2.3.2-9 コンテナの集積（神戸港）

写真 2.3.2-10 コンテナの搬出（神戸港）

2.3.3 海上運搬についてのヒアリング内容

・新宮市・那智勝浦町内発生の水害廃棄物(主に一般家屋の廃家財類)のうち、大栄環境グループが 25 千トンを受入れた。発注者は新宮市・那智勝浦町、廃棄物は一般廃棄物の扱いとなる。
・流木については、被災地内の地元業者がチップ化等の処理を実施。大栄環境グループはその他の混合廃棄物を受入れている。
・新宮市での積込は新宮港の公共バースを利用、主に新宮市・那智勝浦町発生の廃棄物が海上輸送の対象である。
・新宮市・那智勝浦町を含め、その他市町の水害廃棄物はトラック輸送も行い、三重県、大阪府、兵庫県内の大栄環境グループの各施設を活用して処理している。
・大栄環境グループが受け入れた廃棄物は、浸水した家財類が多く、土砂の混入は少ない。
・中間処理場での処理方法は、ダンピングヤードにて展開後、荒選別、手選別ラインでの選別を行い、焼却、埋立処分となる。
・今回使用したコンテナ船の積載可能量：1,600 トン、20 フィートコンテナの場合：64～100 コンテナが積載可能である
・廃棄物を海上輸送する場合は、利用する各港の収集運搬業許可取得、および、輸送船舶の登録が必要である。

2.3.4　和泉リサイクルセンターと平井最終処分場の概要

施設所在地：大阪府和泉市テクノステージ
　　大阪府和泉市平井町

(1) 和泉リサイクルセンター

・ 混合廃棄物処理施設
　処理能力：838.1t/日
　処理内容：選別破砕・破砕（処理能力：808.1t/日）
　　減容固化機（処理能力：150m³/日）
　　食品リサイクル施設［コンポスト施設］（能力：4.8t/日）
・ 石膏ボードリサイクル施設（処理能力：〈破砕〉75t/日、〈乾燥〉60t/日）
・ ガス化溶融施設（処理能力：95t/日、＜廃石綿等＞27t/日）
・ アスガラ・コンガラリサイクル施設（処理能力：880t/日）

(2) 平井管理型最終処分場

・ 平井管理型最終処分場【5 工区】（埋立面積：52,692.68m²　埋立容量：618,983 m³）
・ 平井管理型最終処分場【8 工区】（埋立面積：71,339 m²　埋立容量：1,175,319 m³）

写真 2.3.4-1 分別ヤード

写真 2.3.4-2 石膏ボード処理

写真 2.3.4-3 プラント施設

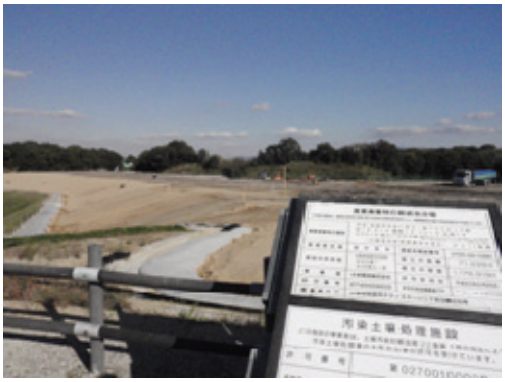


写真 2.3.4-4 最終処分場（管理型）

2.4　廃棄物の共同回収

廃棄物の共同回収は運搬車両の能力を最大限に引き出すことにより輸送効率を高めることができるため、運搬車両の総走行距離を減らすことに効果的な手段である。また、費用的にも収集運搬コストを抑える効果のみならず、集団契約による割引の適用などのコスト抑制効果を見込める場合もある。

しかしながら、共同回収においては、設立背景や取引先、社風の異なる会社が共同して行う必要があり、リーダー企業の不在、取引先とのギブアンドテイクによる独自契約等の理由により企業間で実施されている事例は非常に少ない。

神奈川県厚木市にある「神奈川県内陸工業団地」において廃棄物の共同回収事業が行われている。共同回収事業は 10 年以上にわたり継続して実施されており、全国的に見ても工業団地単位（企業単位ではなく）で長期間にわたり継続実施されている貴重な事例であることから、実施状況と実施に至った経緯について調査を行った。調査は共同回収実施に向けて営業努力をされた JFE 環境株式会社に対応していただいた。また、共同回収されている団地内で発生する RPF(Refuse Paper&Plastic Fuel)製造の可能な廃プラスチックの処理先である JFE ビーレック株式会社も調査対象とした。以下に調査結果を示すが、強力なリーダー企業の存在、団地内に立地する処理会社である JFE ビーレックの存在による大幅な低コスト化の実現を達成したことが、内陸工業団地において共同回収の実施が継続されている理由であると考えられた。

2.4.1　内陸工業団地

1)　調査概要

①調査日時　2011 年 11 月 30 日

②調査先　JFE 環境株式会社

③調査対象　神奈川県内陸工業団地

④内陸工業団地の概要

以下に内陸工業団地の概要を示す。

表 2.4.1-1　内陸工業団地の概要

所在地	神奈川県厚木市上依知並びに愛川町中津の各一部 （小田急電鉄本厚木駅北方約 9 キロメートル、東名高速道路厚木インターチエンジ北方約 10 キロメートル、国道 129 号線利用）
造成期間	昭和 36 年 10 月～昭和 41 年 3 月
総事業費	35 億余円
団地の性格	工業専用地区（一部は準工業地区） 厚木市及び愛川町建築協定条例施行地域
総面積	2,347,119 平方メートル
公共用地	339,694 平方メートル（公園、歩道、車道、排水路等）
分譲用地	2,007,425 平方メートル
管理組合	神奈川県内陸工業団地協同組合（正会員 104 社、準会員 36 社）

（出典：神奈川県内陸工業団地協同組合 HP に加筆）

2) 調査結果

(1) 実施に至った経緯

実施に至った経緯を以下に示す。

表 2.4.1-2 実施に至った経緯

2000 年	内陸工業団地協同組合内に環境委員会があり、堀硝子社長が委員長となりゼロエミッション活動を開始
2001 年	「工業団地のｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝｸﾞﾗﾝﾄﾞﾃﾞｻﾞｲﾝの策定」 廃パレットについて 7、8 社で共同回収を実施
2002 年	環境委員会内の組織として「ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ活動推進委員会」活動開始。(委員長は堀硝子社長) 環境委員会内のｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ活動推進委員会が中心となりそのメンバー企業として JFE 工建および JFE 環境が参加。 共同回収のトライアルを 20～30 社で開始、1 年間実施した 当初ミニトライと証した試行期間を設け、その間の運搬費や共同回収専用容器作成費用を協同組合が負担し、各社が参加しやすい環境を整備した。 処理に関しては JFE グループと各社が契約し処理費負担をする方式とした

(2) 共同回収内容

廃プラスチック 2 種（RPF 向け、熱回収向け)、木くず、蛍光灯、電池、ミックスペーパー、混合廃棄物の共同回収を行っており。品目毎に参加している企業、していない企業がある。

RPF 向け廃プラは工業団地内の JFE ビーレックで ASR(Automobile Shredder Residue、使用済み廃自動車ガラの破砕時に発生する廃棄物でさまざまな物質の混合物)処理物と混合し RPF が製造され、苫小牧にある製紙会社の発電所の燃料として売却されている。

熱回収向け廃プラは JFE 環境川崎エコクリーン工場で発電燃料として焼却されている。木くずは萬世リサイクルにてリサイクルされ、ミックスペーパーは川崎市のコアレックスでリサイクルされ、蛍光灯、電池は横浜市の JFE 環境にてリサイクルされている。

いずれもそのほとんどが JFE 環境の関係する会社で処理されており、JFE 環境の営業努力と団地組合の処理費低減、環境配慮の思想とが一致した結果推進されていると考えられた。

(3) 現在の実施状況

参加企業の増加は見られないものの、継続して実施されている。

(4) その他

①共同回収を簡易なものとするため、荷姿の統一が必要であり、組合による容器の

購入等を行った。

②たとえば、廃プラスチック（RPF 向け）では処理費がそれまでの契約額の数分の 1 まで低コスト化されている。

③回収にあたっては、各社 30 分以内に積載できるよう整理された排出を各社に依頼している。

④団地内の加入していない各企業へ共同回収を持ちかけているが、既存の収集処理業者の処理単価との競争で、加入企業がなかなか増加していない様子。

(5)　回収状況

回収状況の写真を以下に示す。

写真 2.4.1-1 内陸工業団地全景

（出典：内陸工業団地協同組合 HP）

写真 2.4.1-2 回収風景

写真 2.4.1-3 計量数値

写真 2.4.1-4 パッカー車

（□部にロードセルがある）

写真 2.4.1-5 排出状況

写真 2.4.1-6 パッカー車のロードセル

2.4.2 JFE ビーレックについて

1) 調査概要

①調査日時　2011 年 11 月 30 日

②調査先　JFE 環境（株）

③調査対象　JFE ビーレック（株）

④JFE ビーレックの概要

JFE ビーレックは、2005 年 5 月 1 日に施工された自動車リサイクル法に対応して、使用済み自動車の破砕処理残渣（ASR）をリサイクルする事業をスタートさせた。

この事業は、ASR を素材別に選別・加工してミックスメタル、鉄、RPF（石炭の代替燃料）などにリサイクルし、その他の残さは JFE リサイクル工場で再資源化するものである。以下に JFE ビーレックの概要を示す。

表 2.4.2-1　JFE ビーレックの概要

会社名	JFE ビーレック株式会社 （JFE-Wierec.,Co.,Ltd）
設　　立	2008 年 12 月 22 日
代表者	代表取締役社長　木村　康一（きむら　こういち）
本社･事業所所在地	〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4025 番地
従業員数	22 名
資本金	100 百万円
資本構成	JFE 環境株式会社 80% JFE エンジニアリング株式会社 10% ビーダーケアーリサイクリング AG（スイス） 10%
事業内容	1. シュレッダーダストの物理分別・再生による燃料（RPF）の製造 2. 有価金属（鉄・非鉄）の製造・販売
沿　　革	2008 年 12 月 22 日 会社設立 2010 年 1 月 28 日 施設設置許可取得 2010 年 4 月 12 日 産業廃棄物収集運搬業許可取得 （許可番号 01402153258） 2010 年 6 月 15 日 産業廃棄物処分業許可取得 （許可番号 01422153258）

（出典：JFE ビーレック（株）HP）

2) JFE ビーレックの資源循環

以下に JFE ビーレックの資源循環リサイクルフローを示す。JFE ビーレックでは現在年間約 40,000t の ASR、200t の廃プラスチックから 1,200t の RPF とその他鉄、

ミックスメタルを製造している。RPF にならない塩ビ系廃プラやその他の残渣については、JFE グループの他の会社でリサイクルされている。

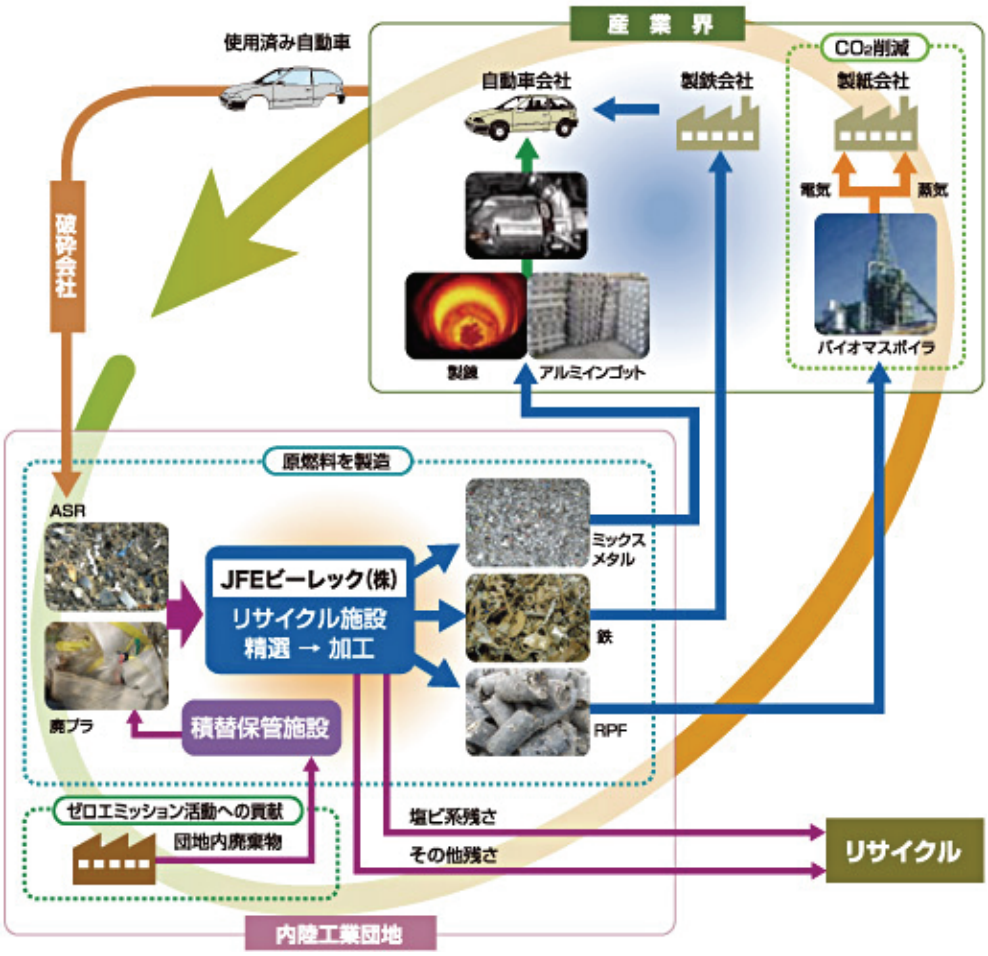


図 2.4.2-1　JFE ビーレックの資源循環フロー

（出典：JFE ビーレック（株）HP）

3)　JFE ビーレックの設備機器

以下に主な設備機器、リサイクルフローを示す。ASR はふるい、風力・磁力選別、破砕、塩ビ選別を経て残った廃プラに内陸工業団地内で回収した非塩ビ系の廃プラを混合して RPF を製造している。

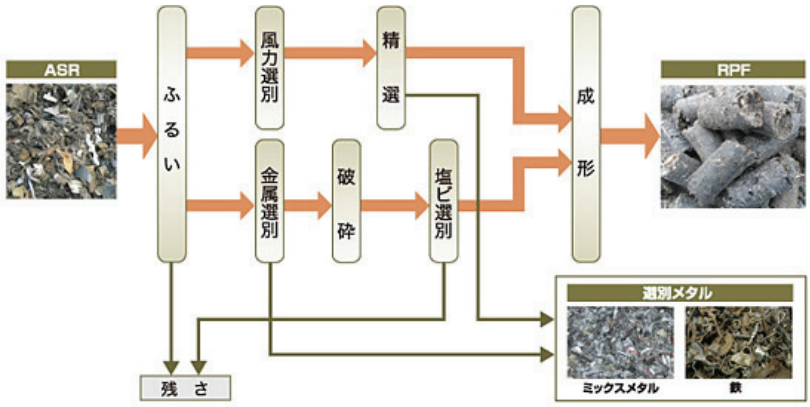


図 2.4.2-2　ASR リサイクルフロー

（出典：JFE ビーレック（株）HP）

写真 2.4.2-1 設備全景
（出典：JFE ビーレック HP）

写真 2.4.2-2 回収風景
（出典：JFE ビーレック HP）

写真 2.4.2-3 受入設備
（出典：JFE ビーレック HP）

写真 2.4.2-4 成形機
（出典：JFE ビーレック HP）

写真 2.4.2-5 計量状況

写真 2.4.2-6 搬入状況

第３章　先進事例における CO_2 削減効果の試算

第 2 章で言及した高度静脈物流システムに向けた先進的な取組み事例の調査の中から、瀬戸内静脈物流事業化推進協議会、大栄環境、および、神奈川県内陸工業団地の事例について、CO_2 削減効果について具体的に検証する。これらの検証は、3 つの事例の調査対象から各種数値を一部提供いただいたが、本 WG が独自に試算したものであり、あくまでも算出した数値は参考のものであることを付記する。

3.1　瀬戸内静脈物流事業化推進協議会の事例における CO_2 削減効果

2.1 で紹介した瀬戸内静脈物流事業について、トラックで陸上輸送した場合と比較した CO_2 の削減効果について検証を行う。海上ならびに陸上の輸送距離を算出し、国土交通省の資料[*1)]から得られた CO_2 排出原単位を基に計算した。

3.1.1　算出条件

1）輸送量：56,000 t／年

2）海上輸送

(1) 輸送距離：船舶／140km＋トラック／50km(集荷)＋10km(配達)＝合計／200km

(2) CO_2 の排出原単位：船舶／38g-CO_2/t･km、トラック／174g-CO_2/t･km

3）陸上輸送

(1) 輸送距離：トラック／200km

(2) CO_2 の排出原単位：トラック／174g- CO_2/t･km

3.1.2　CO_2 発生量の試算

上述の設定条件に基づいて、CO_2 の年間発生量を試算した結果、海上輸送が陸上輸送の半分程度と予想される。(**表 3.1.2-1** を参照)

表3.1.2-1 海上と陸上輸送におけるCO_2発生量の比較

比較項目	CO_2発生量(t- CO_2／年)			CO_2発生量の合計
	船舶	集荷	配達	(t- CO_2／年)
海上輸送	300	490	100	890
陸上輸送	1,950			1,950

*1)：出典「環境負荷の小さい物流体系の構築を目指す実証実験補助制度における CO_2排出削減量の算出方法について」（国土交通省，平成16年）

3.2　災害廃棄物の海上輸送による CO_2 削減効果

2.3 で紹介した新宮市の災害廃棄物の海上輸送について、トラックで陸上輸送した場合と比較した CO_2 の削減効果について検証を行う。海上輸送の船舶による重油の消費量は運搬する時間をもとに計算し、陸上輸送の車両による軽油の消費量は、運搬距離をもとに計算した。

3.2.1　算出条件

1) 海上運搬（神戸港⇔新宮港）＋陸上輸送（神戸港⇔中間処理場）
   - 対象廃棄物総量：14,000ｔ、1,100 コンテナ（約 13ｔ／コンテナ）
   - 使用コンテナ船：749t 級、最大積載量 1,600ｔ
   （実績は複数種類のコンテナ船を利用したが、シミュレーション上は 1 種類とする。）
   - 運搬回数　　：14 回（一運行の運搬コンテナ数を 80 個とする）
   - コンテナ船燃費：A 重油　430L／時間（出航、接岸時使用）
     C 重油　207L／時間（航海時使用）
   - 所要時間（往復）：24 時間（出航・接岸：4 時間、航海：20 時間）
   - CO_2 排出係数　：A 重油　2.710kg- CO_2/L
     C 重油　2.986kg- CO_2/L
   - コンテナ車燃費：2.5km／L
2) 全陸上輸送（新宮港⇔中間処理場）
   - 使用車両　　：10t ダンプ（積載量 9t）
   - 車両燃費　　：2.5km／L
   - CO_2 排出係数　：軽油　2.624kg- CO_2/L
3) その他諸条件
   - 運搬距離は往復分とする。
   - 中間処理場は大栄環境㈱三木リサイクルセンターとする。
   - 積込、積卸し作業による CO_2 排出量は含まない。

3.2.2　燃料消費量の計算

1) 海上運搬＋陸上運搬
   A 重油：430L×4 時間×14 回＝24,080L
   C 重油：207L×20 時間×14 回＝57,960L
   軽　油：1,100 台×31km×2÷2.5km／L＝27,280L
2) 全陸上輸送
   軽　油：14,000ｔ÷9ｔ＝1,555.5 台
   1,556 台×315km×2÷2.5km／L＝392,112L

表 3.2.2-1 海上運搬＋陸上運搬と全て陸上運搬の場合の CO_2 発生量

	海上運搬（13往復）			陸上運搬				CO2発生量合計（t-CO2）
	A重油（L）	C重油（L）	CO2発生量（kg-CO2）	運搬車両（台数）	運搬距離片道(km)	軽油（L）	CO2発生量（kg-CO2）	
海上運搬＋陸上運搬	24,080	57,960	238,325	1,100	31	27,280	71,583	310
全て陸上運搬	－	－	－	1,556	315	392,112	1,028,902	1,029

海上運搬＋陸上運搬と全て陸上運搬の場合の CO_2 発生量を**表** 3.2.2-1 に示す。コンテナ船を使ったモーダルシフトによる運搬は、計算上海上運搬が 14 往復、港から中間処理場までの運搬が 1,100 往復（片道 31km）となり、運搬による CO_2 発生量は約 310 t－CO_2 と想定される。一方、その全量を 10 t ダンプで陸上輸送した場合は、1,556 往復（片道 315km）となり、CO_2 発生量は約 1,029 t－CO_2 と想定される。その差は約 3.3 倍であり CO_2 発生削減策として、モーダルシフトの有効性が非常に高いことが分かる。

3.2.3 運搬距離の増減による CO_2 削減効果の変化

運搬距離の増減による CO_2 削減効果の変化を**図** 3.2.3-1 に示す。本事業の運搬距離（315km）を 1 とし、運搬する距離が増減した場合の海上運搬＋陸上運搬と全て陸上運搬であった場合のそれぞれの CO_2 排出量を表している。運搬距離が 2 倍になると CO_2 排出量の差は約 4.3 倍に開き、同じく 5 倍になると CO_2 排出量の差は約 5.1 倍となっている。一方、距離が半減した場合は 2.3 倍、4 分の 1 にまで減少するとその差はほとんどなくなることが分かる。この検証は運搬量を固定としたが、運搬量が増加した場合はより大きな船舶を利用することも可能であり、その場合は運搬効率が更に高まるため、この計算値よりも CO_2 削減効果は更に高くなることが予想される。従ってモーダルシフトによる CO_2 削減を目指す上で、海上運搬の有効性を発揮できる運搬量と運搬距離の確保が重要であると考えることができる。

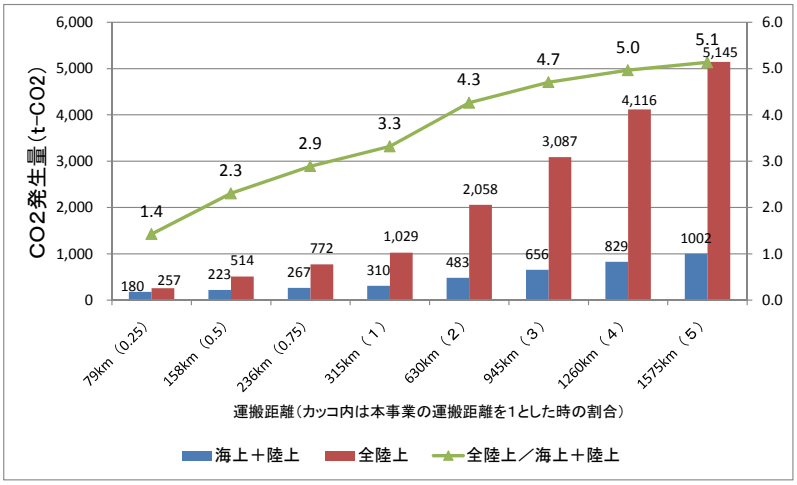


図 3.2.3-1 運搬距離の違いによる CO_2 排出量の変化

3.3 神奈川県内陸工業団地の取組みによる CO_2 削減効果

2.4 で紹介した神奈川県内陸工業団地の巡回回収による CO_2 削減効果について、単独で輸送した場合と比較し検証を行う。なお、検証においては、RPF 製造に用いる廃プラスチックとサーマルリサイクルに用いる廃プラスチックについて検証した。

3.3.1 RPF 製造

1）算出条件

以下の条件で CO_2 削減効果について算出する。

・巡回回収参加企業を 20 社とする
・1 回に排出される廃プラを 100kg とする（週 1 回）
・巡回回収の場合これが 4ｔパッカー車 1 車で回収できるものとする
・単独回収の場合、4 社毎に 1 社の運搬会社が 2ｔパッカー車で運搬すると仮定する
・搬入先は巡回回収の場合は工業団地内の JFE ビーレック、単独回収の場合は横浜市金沢区の M 社とする。（巡回回収参加前は M 社で処理されていたため）
・巡回回収距離は 10km（工業団地がおおよそ 1.5km 四方のため）
・各社から M 社リサイクルセンターまでの運搬距離は 40km とする
・復路は空車で戻るものとし検討対象は往復とする

2）試算結果

試算結果を下表に示す。

表 3.3.1-1 巡回回収と単独回収の比較

	走行距離 （km/年間）	軽油消費量 （L/年）	CO_2 排出量 (t/年)
巡回回収	10km×51 週 =510km	510/4.93＝103	0.27
単独回収	20 社/4 社 ×40km×51 週 ×2=20,400km	20,400/5.75＝ 3,548	9.37

燃費：4ｔパッカー車　4.93km/L 2t パッカー車　5.75km/L（某社実績）

CO_2 排出量：2.64kg- CO_2/L-軽油

3.3.2 サーマルリサイクル

1）算出条件

以下の条件で CO_2 削減効果について算出する。

・巡回回収参加企業を 20 社とする
・1 回に排出される廃プラを 100kg とする（週 1 回）
・巡回回収の場合これが 4ｔパッカー車 1 車で回収できるものとする
・単独回収の場合、4 社毎に 1 社の運搬会社が 2ｔパッカー車で運搬すると仮定する

・搬入先は巡回回収の場合は川崎市の川崎区の川崎エコクリーン、付近に熱回収を行っている廃プラスチックの焼却炉がないため、単独回収の場合も巡回回収の場合と同様とする
・巡回回収距離は 10km（工業団地がおおよそ 1.5km 四方のため）＋40km（工業団地から川崎エコクリーンまで）
・復路は空車で戻るものとし検討対象は往復とする

2) 試算結果

試算結果を下表に示す。

表 3.3.2-1　巡回回収と単独回収の比較

	走行距離 （km/年間）	軽油消費量 （L/年）	CO_2 排出量 (t/年)
巡回回収	(10+40×2)km×51週=4,590km	4,590/4.93＝931	2.43
単独回収	20 社/4 社×(40×2)km×51 週=20,400km	20,400/5.75＝3,548	9.37

燃費：4ｔパッカー車　4.93km/L 2t パッカー車　5.75km/L（某社実績）

CO_2 排出量：2.64kg- CO_2/L-軽油

3.4 取り組み事例のまとめ

上記で紹介した3件の先進事例における特徴の抽出と、CO_2削減効果の試算を含めて整理すると共に、それ以外の物流効率化事例などをあわせて紹介する。

3.4.1 先進事例の主な特徴とCO_2排出量の試算まとめ

3件の主な特徴の整理と、CO_2削減効果についてのまとめを行なう。主な特徴に関しては、ポイントとなる内容と課題等を整理した。また、CO_2削減効果については、各事例の計算方法ならびに採用している原単位等は設定条件により異なるものの、いずれの場合においても先進事例の方が CO_2 削減について大きな効果があることが分かる(**表 3.4.1-1、表 3.4.1-2**)。

表 3.4.1-1 先進事例における主な特徴

事業名称等	輸送方式の工夫	主な特徴や課題
瀬戸内静脈物流事業化推進協議会	海運によるモーダルシフト 車両 ⇒ 船舶 ⇒ 車両 (専用コンテナを利用)	・リサイクル事業のポテンシャルが高いエリアでの取り組み ・関係自治体、民間企業が連携して計画的に進められてきた ・共同輸送によるコストダウンと船舶利用のモーダルシフトによる CO_2 削減の実現が目的 ・リサイクルを目的とした廃棄物が対象(コンテナ輸送に限る) ・公共バースの利用が基本 ・定期的な集荷、復路便の有効活用に期待 ・煩雑なマニフェスト管理が課題 ・陸上輸送とのコスト競争も厳しく、運搬量と距離の確保が課題
和歌山県新宮市・那智勝浦町内の水害廃棄物の輸送 (大栄環境(株))	海運によるモーダルシフト 車両 ⇒ 船舶 ⇒ 車両 (専用コンテナを利用)	・混合廃棄物の運搬、処理 (主に浸水した家財類) ・積み込む新宮港と降ろす神戸港は共に公共バースを利用 ・コンテナ船の積載可能量は1,600トン、20フィートコンテナで64から100個が積載可能 ・利用する各港の収集運搬業許可取得と、輸送船舶の登録が必要
神奈川県内陸工業団地 (神奈川県内陸工業団地協同組合)	共同巡回輸送 (団地内の車両による収運・処理)	・10年以上の継続的実績 ・強力なリーダー企業の存在と団地内での処理企業の存在 ・大幅な低コスト化の達成 ・容器を一部統一 ・回収時間(30分以内/社)の目標 ・加入企業を増やすことに苦戦 (他の収運会社等の低価格攻勢)

表 3.4.1-2 先進事例における CO_2 排出量の試算結果まとめ

事業名称等	従来方式、もしくは陸上輸送における想定 CO_2 排出量 (A)	先進事例における想定 CO_2 排出量 (B)	B－A (削減率)
瀬戸内静脈物流事業化推進協議会 (海運:モーダルシフト)	1,950 t-CO_2/年	890 t-CO_2/年	▲1,060 t-CO_2/年 (54%)
災害廃棄物の輸送(大栄環境(株)) (海運:モーダルシフト)	1,029 t-CO_2	310 t-CO_2	▲719 t-CO_2 (70%)
神奈川県内陸工業団地 (陸上:車両の共同巡回輸送)	RPF 用廃プラ 9.37 t-CO_2/年 サーマル用廃プラ 9.37 t-CO_2/年	RPF 用廃プラ 0.27 t-CO_2/年 サーマル用廃プラ 2.43 t-CO_2/年	RPF 用廃プラ ▲9.1 t-CO_2/年 (97%) サーマル用廃プラ ▲6.94 t-CO_2/年 (74%)

上記事例のうち、特に、海運のモーダルシフトの事例に関して考察すると、CO_2 削減等のメリットが大きいことが分かる。一方で、普及促進に向けての障壁となっているのが、やはり料金が優先される傾向にある点である。今回は経費的な比較をするまでには至らなかったが、CO_2 削減と経費の最適な関係を導き出すことは、参考となる一定の指標を示す意味では大変意義がある。これは事業実施に際する周辺の廃棄物処理費用等の外部経済環境等によっても大きく左右されるため、それぞれの実情に合わせた検討が必要となる。

また、実際の事業実施においては、コスト削減策を含めた継続的な関係者の努力や、パートナーシップの構築、およびエリア戦略を含めた顧客獲得に向けた積極的な取り組みが重要である。海上を活用したモーダルシフトの場合、陸上運搬、海上運搬を組み合わせるため、マニフェストの運用が煩雑になり、管理業務増加の一因となる問題が生じる。このため、IT を活用した効率的管理手法の確立や、廃棄物輸送に公共ふ頭を積極的に活用できるような法的緩和措置ならびに公的支援措置(助成や減税等)といった諸施策、また、動脈物流とあわせて動脈定期便の中に廃棄物コンテナを積載できるなどの対応が可能となれば、帰り便の空荷対策としても有効であると考えられる。

また、神奈川県内陸工業団地での共同巡回輸送の事例では、点在する回収拠点を面として捉えることで、CO_2 削減のみならず費用的にも大きな効果があることが実証されている。

よって、これらの先進事例を踏まえると、廃棄物の種類を含めた静脈物流の特性による十分な把握と、車両運搬や船舶等によるモーダルシフトそれぞれのメリットとデメリットを十分に理解した上で、地域事情に合わせ、かつ動脈物流とも連携させることにより、今まで以上に環境に優しい最適な長距離運搬ネットワークの構築が可能になると思われる。

なお、モーダルシフト(海運)の CO_2 削減可能性の動向について少し触れると、運搬量と運搬距離以外の要素として可能性があるものとして、甲板に太陽光パネルを設置し、大容量のリチウムイオン電池を搭載するハイブリット船や、コンテナ船を燃料面において液化天然ガス(LNG)に切り替える動きも今後期待されるところである。

3.4.2 その他の事例

動脈物流を含めたグリーン物流パートナーシップの動向について、上記の先進事例と比較する意味でまとめた(**表 3.4.2-1、表 3.4.2-2**)。

グリーン物流パートナーシップは、公益社団法人日本ロジスティクスシステム協会、社団法人日本物流団体連合会、経済産業省および国土交通省がメンバーとなり社団法人日本経済団体連合会の協力のもと、地球温暖化対策として、物流分野における CO_2 排出削減のため、荷主企業と物流事業者の連携･協働による取り組みを推進している。発足から 5 年を迎えるが、現在 3,100 を超える企業･団体･個人の会員がいる。

表 3.4.2-1 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、254 件のうち、鉄道へのモーダルシフトが 60 件で最も多く、次にラック利用等の積載率向上策などその他事例が 40 件、拠点集約化(45 件)、車両等の大型化(39 件)、共同輸配送(34 件)、海運のモーダルシフト(33 件)と続いている。このことから、法的な制約等が比較的少ない効率的な陸上輸送への転換、運搬機材等の工夫による効率化促進において、これらが比較的取り組みやすいことが分かる。また、**表 3.4.2-2** では、代表される主な事例をまとめた。

表 3.4.2-1 グリーン物流パートナーシップ事業 類型別一覧

類　　型	2005 年度から 2010 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	45
共同輸配送	34
鉄道へのモーダルシフト	60
海運へのモーダルシフト	33
車両等の大型化	39
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)	40
合　　計	254

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事業 事例集より

表 3.4.2-2 グリーン物流パートナーシップ事業での主な事例

No.	事業概要	事業者(◎:代表者)	備　考
1	携帯電話の顧客物流拠点への配送を鉄道にモーダルシフトすると共に、コンテナ 2 段ラック採用により積載効率を向上した取り組み (改善効果:CO_2 削減率 83%)	･シャープ(株) ◎ ･トナミ運輸(株)	鉄道モーダルシフト 運搬機材等の工夫 2010 年度経済産業大臣表彰
2	最適発注数量による効率的な積載とミルクラン方式、鉄道モーダルシフトを活用した CO_2･黒煙の削減を目指したグリーン物流の構築 (改善効果:CO_2 削減率 86%)	･越野運送(株) ◎ ･(株)ヤギ	共同輸配送 (ミルクラン方式) 鉄道モーダルシフト 2010 年度国土交通大臣表彰
3	日本初の大型天然ガストラックの導入および効果的な運用による都市間、物流拠点間輸送等での低炭素化、省エネルギー事業 (改善効果:CO_2 削減率 41%)	･パナソニック(株) ◎ ･タカラトミー(株) ･パナソニックロジスティクス(株) ･(株)タカラトミーロジスティクス(株) ･(株)エコトラック	低公害車の開発･活用 異業種間によるパートナーシップによる効率化 2010 年度経済産業省商務流通審議官表彰

4	20フィート、40フィート海上コンテナ共用シャーシ導入での鉄道モーダルシフトによる省エネルギー事業(改善効果:CO_2削減率 62%)	・(株)日立物流 ◎ ・日立アプライアンス(株)	鉄道モーダルシフト (シャーシを多重活用した中距離モーダルシフト) 2010 年度国土交通省技術総括審議官表彰
5	物流センターとエコセンターを近接に整備したことをきっかけに、店舗への商品物流の製品出荷と、店舗からの資源物物流の双方に着目し、CO_2削減や資源循環率の向上、コストパフォーマンスを考慮した動静脈一貫物流事業(動脈物流の戻り便の活用)を実施 (改善効果:CO_2削減率 14%)	・生活協同組合連合会 ◎ コープネット事業連合 ・協栄流通(株) ・(株)エックス都市研究所 ・(株)グリーンシンク ・(株)市川環境エンジニアリング ・イー・トラック(株)	帰り荷の活用等 (動静脈一貫物流)

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事業事例集より

さらに、グリーン物流パートナーシップ以外の事例について、静脈物流に関する鉄道モーダルシフトの事例として、川崎市での取り組み事例がある。これは、2013 年度から予定している川崎市北部地域で分別収集されるプラ製容器包装を南部地域にある浮島処理センターまでの運搬は、鉄道輸送を活用した場合と、車両による直接輸送を活用した場合とを比較したものであり、試算結果のみを紹介すると**表** 3.4.2-3、**表** 3.4.2-4 のようになり、鉄道によるモーダルシフトの有効性を示すものとなっている。

表 3.4.2-3 鉄道輸送と直接搬入とのコスト比較

	北部必要車数	収集運搬コスト	鉄道輸送コスト	合　計
直接搬入(A)	43 車	約 8 億 6 千万円	－	約 8 億 6 千万円
鉄道輸送(B)	17 車	約 3 億 4 千万円	約 1 億 8 千万円	約 5 億 2 千万円
B － A	▲26 車	▲約 5 億 2 千万円	＋約 1 億 8 千万円	▲約 3 億 4 千万円

出典: 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集(2012 年 1 月)、P.45

表 3.4.2-4 鉄道輸送と直接搬入との環境負荷比較

	北部必要車数	CO_2排出量	NO_X排出量
直接搬入(A)	43 車	133.37 t-CO_2	0.28 t-NO_X
鉄道輸送(B)	17 車	56.05 t-CO_2	0.11 t-NO_X
B － A	▲26 車	▲77.32 t-CO_2	▲0.17 t-NO_X

出典: 第 33 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集(2012 年 1 月)、P.45

第４章　まとめ

2010 年度、2011 年度の２年間にわたり静脈物流の効率化とそれに伴う CO_2 削減効果について調査研究を実施した。昨年度は、静脈物流の収集形態や積み替え保管等の中継地の合理化の効果が CO_2 削減にどれだけ寄与しているかといった視点で全体像を検討しながら、企業を訪問し、効果的・先進的な事例を調査した。本年度は企業訪問調査に加え、本 WG の検討の範囲内にとどまるが、企業の物流形態の違いにより生じる CO_2 削減効果を試算している。

調査研究内容を整理すると以下のようになる。

わが国の CO_2 排出量に関して、独自の検討（物流センサスベースでの集計）を行った結果、静脈物流の CO_2 排出量は 500 万 t－CO_2 ということが判明した。これはわが国の CO_2 総排出量の 0.4%に相当する。静脈物流における CO_2 削減の貢献度は数値上非常に小さなものであるが、標準的な一般家庭（四人家族）の 100 万世帯分と考えると、ある程度大きな数字に見えてくる。

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挙げられる。間接的な削減は、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%であるとか、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、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、静脈物流では廃掃法による再委託契約の禁止により、「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いる。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。このことから、静脈物流ではほとんど共同輸送が行われていない状況である。

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、廃棄物関連の輸送手段として採用されにくくなっている。

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。ただ、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、急がない物流である廃棄物の輸送を週末や休日を中心にシフトを組むなど、効率的な運用も必要となろう。この 2 年間の調査では、船便によるモーダルシフトを主な対象としてきたが、前述の川崎市の事例のように鉄道による静脈物流も広まりつつあるので、今後、鉄道によるモーダルシフトにも注目していきたい。

訪問企業の物流形態に対する CO_2 削減効果を本 WG 内で試算した。この結果、運搬距離に応じた適正な手段を選択することによって大きな削減効果を実現できる可能性があることを確認できた。長距離・大量輸送が関与するネットワークではモーダルシフトの有効性が非常に高いことがわかった。

実際の静脈物流の事業実施においては、コスト削減策を含めた継続的な関係者の努力や、パートナーシップの構築、およびエリア戦略を含めた顧客獲得に向けた積極的な取り組みが重要であることが示唆された。海上を活用したモーダルシフトの場合、陸上運搬、海上運搬を組み合わせるため、マニフェストの運用が煩雑になり、管理業務増加の一因となる問題が生じるため、IT を活用した効率的管理手法の確立や、廃棄物輸送に公共ふ頭を積極的に活用できるような法的緩和措置ならびに公的支援措置(助成や減税等)といった諸施策、また、動脈物流とあわせて動脈定期便の中に廃棄物コンテナを積載できるなどの対応が可能となれば、帰り便の空荷対策としても有効であることなどが課題として整理できた。

以上、2 年間の調査研究結果まとめると以下のようになる。

① 理想的な静脈物流システムを構築するためには、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 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。マニフェストの運用が煩雑になり、管理業務

増加の一因となる問題が生じるため、IT を活用した効率的管理手法の確立が期待される。最低限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、さらには BDF 燃料への切り替え等も必要である。昨今のハイブリッドカーや電気自動車等技術革新により、将来の陸上輸送の圏域が飛躍的に拡大されれば既存のモーダルシフトの有効性も希薄になると考えられる。

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。

現在の物流関連施設の用途・機能は動脈物流を対象に考えており、静脈物流はその適応性が無い施設の規格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が考えるが、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向上させるためには、今後、廃清法や道路運送法、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と考えられる。

以上、本 WG で検討してきた高度静脈物流システムに関して、トラック・鉄道・船等の物流手段の技術動向や、物流対象である廃棄物の排出量の推移や処理技術の動向などを踏まえたロードマップを、本 WG 内の自由意見も含め**表 4-1** にまとめた。

ロードマップを作成する前提条件として、やるべきこと（最終目標）が明確になっていることが必要である。期限を設定し「いつまでに」、「何をしなければならないか」、そのためには「どのようなリサーチ・検討が必要か」、更には各段階での「要求レベルはどの程度か」など、具体的な検討内容も含め表現する必要がある。しかし、本 WG の調査研究テーマについては、明確な最終目的が確定されていない。常に社会情勢や法律と照らし合わせて、事例を調査し、最適解は何かを模索している段階である。ただ、近隣のアジア諸国の現状を省みると、現在我々が調査研究している内容が必要とされる時代が訪れることは容易に想像できる。来るべきその時に、これらの技術・思想をパッケージングで売り込むことを視野に入れて調査を継続していくことは意義のあることと考えている。

そこで、時間軸として、現状で取組みが進められつつある範囲である短期（～5 年先）、想定されつつある範囲である中期（5～15 年先）、本 WG メンバーの大胆な想定も含めた長期（15 年先～）の 3 段階に分けて前述の項目を基にまとめた。特に、静脈物流の調査研究に関して着目するべき事象（キーワード）が社会情勢によってどのような場面を迎えるのかといった視点で未来予想を中心にまとめた。着目したのは、「①東日本大震災における災害廃棄物処理」、「②ハイブリッド車による燃費の飛躍的な向上と普及」、「③アジア圏における廃棄物処理事業への投資」３点である。これらについて短期・中期・長期でどのような展開が予想されるかを表現した。各キーワード（事象）について、年度毎に取組むべき課題について優先順位を決定し、テーマ・作業内容を設定していくマップとして利用できると考える。

わが国における廃棄物の排出量は、中長期的には経済活動の停滞やゼロエミッション化

の進展により、漸減すると予測されている。このことは、静脈物流システムがより高度化して、物流コストや環境負荷を低減することも強く求められていくと考えられる。これには、本研究調査からも明らかになったように、少量の物量が散在的に発生する廃棄物の特性に対して、ものや情報を効率的に集約することが静脈物流には求められる。リサイクルポートや電子マニフェストシステムの有効活用が図られる必要があろう。経済発展の著しい中国では、現在、廃棄物の物流中間基地の建設が盛況となりつつある。さらに、長期的には廃棄物の処理技術が進展し、排出現場で高度に再生処理できれば、静脈物流が不要なっていくことも期待できる。また、わが国の高度な処理技術をアジア圏で有効利用する動きが生じる可能性もあろう。これには、廃掃法で厳しく規制されている物流に対しても、柔軟な緩和措置が求められていくと考える。

以上、この報告書でまとめたロードマップについては、本 WG 内の自由意見も大勢を占めており、貴重なご意見を賜れば幸いである。

表 4-1　高度静脈物流システム関連事項のロードマップ

			短期（～5年）	中期（5～15年）	長期（15年～）	特記事項
静脈物流機能	運搬方法	トラック	ハイブリッド化の進展	軽量化による積載率向上、水素電池車両実用化		技術革新による燃費向上が顕著であり、圏域の拡大が見込める。
		鉄道	トラック輸送圏域拡大⇒特殊な品目の輸送に特化	原油価格高騰により鉄道輸送の優位性が上昇		トラック燃費向上により圏域は縮小傾する。夜間に輸送するべき特殊な品目等に特化する可能性が高い。
		船舶	ハイブリッド化・再生エネルギーの実用化			ハイブリッド化については現在試行の段階。
	物流施設	積替え保管施設	手続簡素化・複数品目同時回収・ストック管理のIT化			更なる物流コストダウンのために、IT化と手続きの簡素化は必要である。圏域がグローバル化に対応するためにも必要。
		積替え保管駅	トラック輸送圏域拡大⇒特殊な品目の輸送に特化	貨物専用駅の増設		鉄道輸送品目は特殊なものに限定される。専用機能を整備する必要が考えられる。
		リサイクルポート	周辺アジア圏域との一体化⇒規制緩和・複合機能付加			国内の対応に加え、アジア地域でも静脈物流網が発達すれば、圏域のグローバル化が考えられる。
	燃料など		燃費向上・ハイブリッド化・電化・再生可能エネルギー活	短・中距離の共同物流化による燃料消費の削減		
廃棄物	物量	日本	2010年予測環境省【収集運搬市場931億円】	2020年予測環境省【収集運搬市場1,049億円】		日本国内でも収集運搬ビジネスにはまだ伸びしろがあるとされており、効率的物流の構築により新ビジネスが必要
		世界	2010年予測【104.7億トン】廃棄物工学研究所調べ	2025年予測【148.7億トン】廃棄物工学研究所調べ	2050年予測【223.1億トン】廃棄物工学研究所調べ	世界的に廃棄物の増加が続くと予測されており、広域輸送等を含め効率的適性処理体制が構築されることが望ましい。
	種類	震災がれき	3年後処理完了			実際の処理事情については現地取材等により課題抽出・解決方法を検討することが必要。
		放射能汚染廃棄物	除染技術・処理技術開発・最終処分方法・管理の検討			上記と同様。
		石綿含有建材	発生量増加	発生量減少/継続的適性処理		今後5年間は排出量が増加し続け、そこをピークに減少傾向。継続的適性処理が必要
		PCB	3年後処理完了	低濃度PCB廃棄物の処理の継続		技術的な課題は解決している。あとは期限までに処理可能な体制が整備されているか。低含有量廃棄物の処理はこれから。
要素技術・課題	情報		IT情報による最適回収ルート選択	情報センターによる集約	ITSによる物流システムの構築	企業のストック管理のIT化により、広域的なストック管理が可能になる。廃棄物ロットのスマートグリッドを構築できる。
	法律		廃棄物と再生材の法的解釈の改正	廃棄物の共同回収緩和措置		実現に向けてハードルは高いが、廃棄物処理、リサイクル圏域がアジア地域と一体化する場合、法的な緩和が必要になる。
	燃料		燃費向上・ハイブリッド化・電化・再生可能エネルギー活用			更なる燃費向上技術により、ますますトラック輸送圏域が拡大する。化石燃料以外の代替燃料は採算性に課題。
	処理技術	仕分技術	仕分技術・再生技術の細分化	共同物流システムおよび高度道路交通システム(ITS)の高度化		仕分け技術の進歩により、人件費部分の削減が見込まれる。リサイクル事業の継続には必須の技術開発分野である。
		オンサイト処理技術	排出現場での高度な再生処理			
	荷姿		統一規格容器（シームレス輸送）			シームレス輸送を実現するためにはコンテナを使用することが現実的であるが、常時コンテナ単位のロットが確保できない。
圏域	国内圏域の変化		トラック輸送圏域拡大			燃費向上により、トラックの輸送圏域は拡大した。動脈の物流形態にもすでに影響が確認できる。
	グローバル化		周辺アジア圏域との一体化（船舶・リサイクルポート）			人件費の安価な地域に処分場やリサイクル施設がシフトすると、港湾に多機能施設の集約が必要である。

最後に、今回のヒアリングにおいて貴重な時間を割き対応して頂いた、企業の皆様にこの場を借りまして厚く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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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）
9. 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
10. 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事業 事例集
    (最終アクセス日 2012 年 2 月 1 日)
    http://www.greenpartnership.jp/pdf/active/kaigi/09/haihu/case.pdf
11. 第 33 回全国都市清掃研究･事例発表会講演論文集(2012 年 1 月)、P.43～P.45 より、プラ製容器包装分別収集全市拡大に向けた効率的な輸送体制の構築について、川崎市環境局生活環境部廃棄物政策担当、小林 繁弘氏

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

この調査研究を 2011 年から始め、今年度は 2 年目になる。昨年との大きな違いは、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災を境に大きく環境が変化したことである。

3.11 の大震災だけでなく、続いて発生した地震と津波による原子力発電所の事故の影響による電力不足やタイの洪水被害により、レアメタルを使う電機、自動車等に供給する部品会社の流通が壊れ、需要の落ち込みとともに、レアメタル、レアアースの重要性を再度認識することになった。それまでは、レアメタルやレアアースの調達不安問題の深刻さは、2007 年から中国政府による輸出割当及び輸出税賦課を行うことから始まっているが、2010 年度は、9 月に発生した尖閣諸島での中国漁船衝突事件により、レアアースの輸出差し止めが起こり、重要性を認識させられている。また、一連の動きは、資源確保の状況不安定ばかりでなく、取引価格の上昇も起こしている。

国内での E-waste の処理状況や廃家電の消えたフローなどは、昨年同様はっきり把握できていないままである。レアメタルやレアアースの消費動向は、鉄鋼材料への添加剤から自動車部品の電子化や電気電子機器の IT 化により、レアメタルが必須元素になり、レアメタルの使用量自体が多くなっている状況がますます大きくなっている。また、法律面では、小型電子機器に含まれているレアメタルは、今までリサイクルされることなく、一般廃棄物として埋め立て・焼却処分されていたことである。ただ、日本市場と中国・東南アジア市場ではリサイクル品やリスース品の市場の有無が大きく異なり、日本の常識が、中国・東南アジアの常識になっていない点が大きな課題となっている。政府の動きは、2011 年 9 月に文部科学省が、レアアースをしのぐ材料開発へ一歩踏み出し始めている。世界のレアアース供給の約 9 割を握る中国の輸出制限に対して脱レアアースの研究が国内外で進む一環である。既存分野での動きは、2011 年度には、鉱業事業者を中心に再資源化事業の流れが加速してきているが、この背景には、マテリアル・スチュワードシップのベースがあると感じる。それはリサイクルニーズの拡大に加え、コンフリクトマテリアル（紛争鉱物）も含めた天然資源の採掘に際しての環境破壊への懸念が背景にある。これまでは直接資源確保のニーズがなかった東芝、日立、三菱などの製品アッセンブリー業者においても、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(Extended Producer Responsibility)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・電子製品のメーカーにおいて顕著になっている。この流れは、メーカーの姿勢として、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れた動きになり、マテリアル・スチュワードシップといえる。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。

アジア諸国においては、何階層もあるリサイクル市場やリユース市場は、日本から見れ

ば特異な市場であり、中国からみれば日本の閉鎖性の表れと映る。その特異性から、中国・東南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、EU を含めた従来の EPR の適用が合わないことがわかる。以上の背景を踏まえ、日本のアッセンブリー企業、部品製造企業などの生産者、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とは依然変わっていない。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

これまで本 WG では、2005 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関する調査研究」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い、2011 年度のまとめで、下記の結論を得た。

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。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り、結果、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。これは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、下記の 3 つの問題がある。

①最終的な廃棄物の適正処理の問題。

②再販製品の品質や安全性の保証の問題。

③これからのアジア地域の経済発展による価値観の変化。

そして、より本質的な問題に対して、EU においての EPR は、このような中国・東南アジア版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である。この点を考慮せず EU 型の EPR モデルをアジア地域の国際資源循環システムに当てはめることは、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まとめている。前年度の提案内容は、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として、①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る。②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。という点になった。そして、2011 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す。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くと活動を始めている。

中国･東南アジア各地域内での特性を考慮した資源循環システムの構築が不可欠であり、

アジアの資源循環システム提言が目的となるが、域内での循環が多い小型電気電子機器のマテリアルフローシステムを経済と環境に考慮したアジア版 WEEE として構築を目指す活動になった。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、これまで本 WG 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、2 ヵ年で検討を行った。

1.3 課題

1.3.1 国内での課題

家庭の廃家電は、「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おり、エアコンや冷蔵庫など特定家庭用機器再商品化法（以下、家電リサイクル法)で販売店経由の回収が義務化されている製品以外は一般廃棄物扱いで、基本的に市町村が処理する。小型廃家電は、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状況になっていることがわかっている。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が、逆に国が認定した事業者が都道府県を越えて広域的に回収できるよう廃棄物処理法の特例を設けた場合には、ほかの小型廃家電にも適用できる。

自治体により、「一般廃棄物」として回収された小型廃家電品は、ごみとして埋め立て処分されているが、一部、リサイクルとして鉄・アルミ等が回収されているもののレアメタル、レアアースはほとんど未回収である。また NTT や KDDI、ソフトバンク等で 携帯電話の回収システムが行われていたり、パソコン等では、各製造業者等による組合があり回収システムが存在するが、現状では、広域回収などの違法性が指摘されたり、消費者の持ち込みに頼ったり、回収費用を消費者から追加徴収したり、など回収が進んでいない欠点が挙げられている。具体的には、使用済み携帯電話をすべて回収できた場合、その合計はいくらになり、その他ゲーム機や IT 関連の高品位の電子機器で何%の回収ができれば全国で利潤が得られ、それに対応できる高度な廃棄物処理業者が生まれるのか、また広域認定をどの程度にすれば良質な廃棄物処理業者が生き残ることが出来るのかなど課題は多く残されている。

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。

アジア地域では、リサイクル品だけでなく、リユース品やリビルト品での市場に多くの

部品業者が参入する状況が生まれつつある。2010 年、2011 年と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、コンフリクトマテリアルの設定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、また違った観点から中国の首脳部のメンバー入れ替えに伴う権力闘争がレアメタル利権につながり、複雑さを増している状況が生まれている。また昨年からであるが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、我が国としては、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。

第 3WG 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、今までの数年にわたる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　有識者の講演とヒアリング

2.1　講演会

2.1.1　「世界の資源確保競争について」東北大学　中村教授

1)　講演者：　東北大学多元物質科学研究所　中村崇教授
　　実施日：　2011 年 10 月 13 日
　　開催場所：一般財団法人エンジニアリング協会 5 階 G 会議室

2)　世界の資源確保競争について

第 2 次大戦後の状況というのは、世界史的に見て、異例中の異例の時代だった。OECD 加盟国 30 か国は、世界の約 20%を占めているが、世界の資源の 50%を消費しているように、一部の先進国が自由に資源を使えた。しかし、世界史的には、資源を争って戦争を繰り返してきたことが、通常のことである。エネルギー、水、食料、資源をめぐり戦争を繰り返してきた歴史がある。ECC（ヨーロッパ経済共同体）の成立から、EC（ヨーロッパ共同体）の成立を経て、EU（ヨーロッパ連合）の成立という歴史から、EU のもとは EC であり、欧州石炭鉄鋼共同体であることからもわかる。

新興国の成長は止まらない。世界各国で繰り広げられる資源確保競争は、更に激しくなることは自明であろう。

3)　世界のリユース市場について

素材リサイクルに比べ、製品・部品のリユース・リペア市場は非常に大きい。世界的にみると、リユース市場＞リサイクル市場という実感である。リサイクルはリユースにはかなわない、リユース品は、それなりの値段である。

中国には多様なレベルの市場がある。廃製品のうち、グレードの高いものは製品リユース市場に、少し高いものは部品リユース市場に、その他はリサイクル用に流れる。中国への流れを止めることはできないが、もし止める場合は、リサイクル対象をバーゼル条約で止めるしかない。その理由としては、電子基板には、必ず鉛が入っているのでバーゼル条約を楯にするくらいしかない。それにより、理論上は不法な流出は止められるはずである。もし止めた場合、日本に中国のような、リサイクル、リユースの多様な市場ができるのか。それが問題になる。

中国には、日本からも非常に多く廃製品が流れている。合法にリユース品として流れるのは経済原理上、仕方がない。しかし、不法にリユース品として流れるのは止めるべきである。廃品で流れていないリサイクル品は、鉄の材料としてミックスメタルとして流れる。

今年、ハイアール社から「リサイクル関係の相談させてもらいたい」と、中国に招かれた。そこでわかったことは、ハイアールは、日本メーカーとは異なり、マーケテイングが徹底している。世界中の販売先の事業に合わせて、高級品から低級品まで製造している。日本メーカーはどこの国に対しても、高級品ばかりである。

家電メーカーのおかれた事業環境が簡単すぎた。今までは海外＝アメリカだった。高級品を作っていれば売れた。現在は違う。これからは適材適所という考えを国レベルで行うことである。

ハイアールの人間は明言しなかったが、低級品ではリユース部品などを使用しているのではないかと思われる。

4) 世界のリサイクル業界について

世界の廃棄物処理・リサイクル業界は、大きく動いている。2010 年に 5th World Recycling というフォーラムに参加してきた。このフォーラムを主催しているのは、政府などではなく、スイスのイベント会社である。しかも、一民間会社が主催したフォーラムに、世界中からメーカー（ソニー、フィリップス、ＨＰなど）からリサイクラーまで関連企業のほか様々な立場の人が集まっている。

5thWorld Recycling の一環で、GLOBAL METAL Co, Ltd.（北方光屯金属有限公司）の工場を見学した。

GLOBAL METAL は、中国で最も大きい非鉄金属リサイクル企業だが、その実態は労働集約的であった。工場内にはハーネスなどが山積みされており、労働者が各々ハーネスの被覆を剥いている。GLOBAL METAL が作ったという被覆を剥く簡易な装置を使っているが、すべて手作業である。日本では考えられないくらい劣悪な労働環境である。

GLOBAL METAL で驚異に思ったのは 2 点。1 つは安い労働力である。しかも報酬は完全な歩合制であることに驚いた。もう 1 つは、そのマーケテイングカである。例えば、スクラップを個体選別した後のグレードだけでも 10 種類以上あって、それぞれのグレードの販路を掴んでおり、無駄がないとのことだった。日本では、一番上のレベルしかマーケットがない。

また、GLOBAL METAL は Institute of Scrap Recycling Industries, Inc （ISRI スクラップ・リサイクリング協会）のメンバーにもなっている。ISRI とはアメリカのリサイクル企業の業界団体である。つまり中国の会社がアメリカの業界団体に名を連ねて、アメリカのリサイクル市場に進出しているということである。

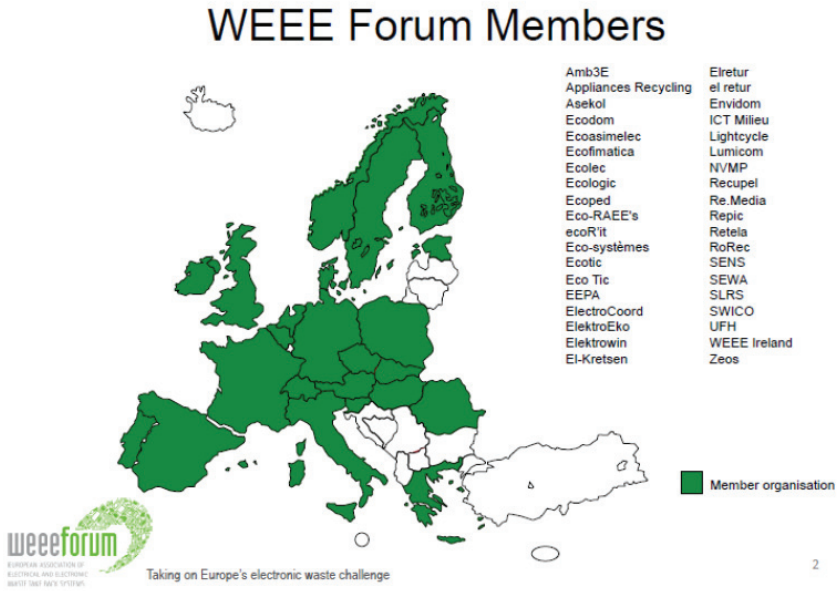
出典：中村崇教授講演資料より抜粋

逆に中国のリサイクル市場に対して、アメリカ企業もヨーロッパ企業も進出している。それは、中国に入っている外資系企業からスクラップをもらう場合に都合が良いことになる。ISRI を通じ、更に東南アジアに対しては、アメリカ企業、ヨーロッパ企業だけでなく中国企業も進出できることになる。

東南アジアは廃棄物処理・リサイクルの仕組みができていないので、アメリカ企業は　E-stewardship、ヨーロッパ企業は WEEE 制度をそれぞれ導入させようとシステムのパッケージ競争をしているのである。

それに比べ、日本企業は全く存在感がない。少数ながら進出してきてはいるが、パッケージではなく全く部分的な活動になっている。

日本に足りないのは、まずリサイクル業界を代表する団体がないことである。アメリカでは ISRI、ヨーロッパには WEEE Forum がしっかりと仕切っている。



出典：中村崇教授講演資料より抜粋

また日本のリサイクラー企業は規模が小さい。国をまたがって企業展開をしていない。海外の企業は売上規模が 1 兆円もざらである。規模が小さいということもあり、技術開発の底辺が違う。日本は、旧来の日本独自の産業廃棄物、一般廃棄物に分けられた分類の中で、大きくなった企業である。この業界は、日本だけでなく世界中でみても特殊で難しい業界であるが、徐々に良くなりつつある。

さらに気になるのは、争っていてばかりであったヨーロッパ勢とアメリカ勢が、最近、手を組み、お互いの妥協点を探す動きを見せていることである。

5) 小型家電リサイクルについて

個人的な狙いは、小型家電ではなく車である。車には、カーオーディオなどが必ず搭載されており、調査してみると、家庭にある小型家電よりも数がある。

小型家電は、金属よりプラスチックの方が種類が多く重量も大きい。しかもリチウム電池を使用している機器のプラスチックは必ず難燃剤である臭素が入っており、厄介である。ただし研究はしている。

小型家電の集荷は、やり方次第で相当集められると考えている。例えば、小型家電は引っ越し時に大量に廃棄される傾向があるため、集荷に引越し業者を使うなども一つの方法である。

また、制度さえ整えば、日本人は必ずしっかりと排出するはずだ。日本の家電リサイクルなどは、わざわざ排出者がお金を払うという世界的に特異な制度なのに、回収率は 50%もある。WEEE Forum の人間と話すと、日本の家電リサイクル制度は、日本でしか成り立たないと驚かれる。

6) EPR か CSR か

EU は EPR が中心であるが、現実的には、CSR でやろうとしている。WEEE 指令は、EPR であるが、アメリカ企業の HP や IBM は CSR として動いている。私（中村教授）

としては家電メーカー、中間処理会社、非鉄精錬が CSR 活動の一環として、それぞれ費用負担して、リサイクルを行えばよいと思う。またロジステックの部分は自治体が役割を果たすことになる。各々が負担する額は高くはない。最初のうちは赤字かもしれないが、将来的には必ずうまくいく。現在の経営者は目先が赤字だと事業化しようとしない。10 年、20 年先を見据えた判断をしてほしい。

環境省にも経済産業省にも、レアアース 1,000 億円プロジェクトを行うぐらいだったら、その 1%でいいから、運搬費などの小型家電リサイクル事業補助に充ててほしいと意見してきたが、現在の法体系では事業補助というのは、非常に実施が難しいとのことだった。最近、環境省が東北に小型家電を集める事業を実施すると発表されたが、あれは震災復興ということで通ったと思う。

7) レアアースについて

レアアースの価格高騰は、もう少ししたら低下していくのではないか。

レアアースを使用していたメーカーは、数年前はレアアースの代替・削減は不可能と言っていたものだが、昨年、代替開発に本気にシフトした。

材料レベルの代替は確かに難しいし、また性能保証も含めて、実機化、普及までには非常に時間がかかる。しかし、設計レベルの代替・削減は可能である。例えば、ジスプロシウム（Dy）フリーのネオジム磁石もそろそろ市場に投入されるはずである。これは、ネオジム磁石モーターに水冷装置をつけることによって、Dy を使用しないという設計である。プリウスに使用されているネオジム磁石を分析したのだが、10 年前の初代プリウスでは Dy は 10%だったが、現在は 5%までに低下している。

レアアースを使用するようになったのは、そもそも安かったからである。結局は、そこに戻る。システム、設計、材料の各段階で、希土類を安いから使った、原点はそこになり、原点を忘れてはいけない。

中国は、レアアース価格戦略については、完全に間違ったと思う。一挙に値上げすれば顧客は逃げるだけである。日本のメーカーは代替に舵を切った。

おそらく中国国内でもレアアース利権がコントロールできていないのであろう。レアアースの生産コストは非常に安い。後は Export License 枠の権利によって価格が上乗せされているだけである。つまり、そこには利権があり、それについて中国政府内で争いが起きていると思う。

軽希土類の鉱山開発も、オーストラリア、アメリカなどで進められている。しかし、結局、商売なので、レアアースの価格は中国価格に引っ張られることになる。

アメリカではモリコープ社が開発している。住友商事は、モリコープに投資し、モリコープから安くレアアースを購入しようと考えていたが、モリコープ側としては中国価格に合わせて販売したいということになり、結局、交渉は決裂した。

オーストラリアでは、ライナス社が開発している。ライナス社には双日と独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（以下、「JOGMEC」）が、レアアース資源開発を行うため総額約 200 億円を出融資する。10 年にわたって日本の消費量の約 3 割にあたる年間約 8,500 トン（±500 トン）以上のレアアース製品を長期供給する契約を締結している。

価格は別にして、軽希土類についての供給はもう問題ないが、重希土類は別である。

中国南部のイオン吸着鉱は、ありえないくらい恵まれている資源である。希土類を分離すると必ず放射性元素が出るが、イオン吸着鉱はそれが出ない、それくらいイオン吸着鉱は恵まれている。

自動車メーカーの対応は、各社違う。強く Dy にこだわっているのはトヨタである。なぜならば、ハイブリット車のモーターは、設置空間が狭く、隣にエンジンがあるから、コンパクトかつ温度に強い必要がある。しかし、完全な電気自動車だったら、ネオジム磁石モーターにこだわる必要はない。磁石を使用しない誘導モーターで十分なくらいである。

8) 大学と企業の関係について

日本には、残念ながらシンクタンク機関がない。その役目を果たすのは、日本では大学しかないだろう。企業側は、もっと大学の先生をうまく利用してほしい。大学の先生だからこそ活動できることもある。例えば、第 3 者ということで、コンペティターを見学するなど。

私も、RtoS（Reserve to Stock）研究会というのを主催している。興味があれば、会員になってもらいたい。法人会員でも、個人会員でもよい。

ウエスト・マネジメント社は、生ごみ以外すべての産業廃棄物を受け入れている。世界最大の廃棄物処理企業で、米ヒューストンに本社がある。ウエスト・マネジメント社は、歴史あるフェニックス・オープンの冠スポンサーとなり、正式名称がウエスト・マネジメント・フェニックス・オープンの企業としても有名である。また、上海環境集団有限公司の株式 4 割を取得している。

2.2 有識者ヒアリング

2.2.1 日本大学　福田教授

1) 相手方：　日本大学理工学部社会交通工学科　福田敦教授
実施日：　2011 年 10 月 13 日
訪問場所：日本大学理工学部駿河台キャンパス

2) 調査概要

アジア域内で、マテリアル・スチュワードシップを考慮したアジア版 WEEE の可能性について、アジア各国・地域での特性を探るためにタイ国で行われている自動二輪車の資源循環システムの状況等をヒアリングした。

タイ国では、現在、自動二輪車の保有が急速に増加している一方で、大量の中古車、廃車が発生しており、廃車不法投棄などが問題となっている。そこで一部のメーカーでは、新車を工場から販売店まで搬送するトラックで、中古車を回収しようという取り組みが始まっている。回収された自動二輪車の一部は、整備されて中古車として販売され、その他はリサイクルに回されている。

メーカー自ら、このような中古品の回収に取り組み始めた理由は、環境問題への配慮の他に、整備不良の自動二輪車が出回って交通事故が増加すると、交通安全面で批判を受ける可能性があり、このようなリスクを回避したいという考えに基づいている。現状

での自動二輪車の中古車の回収量は、全販売量の 2%であるが、今後増加するものと予想される。

(1)タイの二輪車事情

タイ国における自動二輪車の資源循環は、サプライチェーンでのネットワークを構築して、新品を載貨した運搬車に中古車を帰路載貨することで実現可能としている。そのためには、自動二輪車の最終処理に対して、法整備が必要とされている。

現状は、自動二輪車の中古車を集める中古車センターを設立しているが、限られたものである。

(2)自動二輪車ライフサイクル

タイ国における現状の製造から販売までのプロセスは、**図 2.2-1** に示す「タイ国における自動二輪車のライフサイクル」の通りである。自動二輪車製造工場で製造された後、隣接する倉庫に直接移され、販売代理店から注文が入るまで、この倉庫に保管される。ディーラーの注文により、自動二輪車は、許認可を受けた運送業者により、ディーラーに届けられる。現状では、配送センターは設置されていないため、直接、工場にある倉庫から販売代理店に届ける方式となっている。販売代理店は購入者に直接販売する方式か、金融会社に売る方式を採っている。

一般的に、販売代理店から直接自動二輪車を購入したユーザーは、リースが終わった時に自動二輪車を販売代理店に売るか、他のユーザーに売る。また、中古車センターも設けられており、ユーザーは中古車センターに売ることも行っている。金融会社から自動二輪車を購入したユーザーが、ローンを払えなくなった時は、金融会社に自動二輪車が戻ってくる。この返却された自動二輪車は、中古車センターに売られる。これらの中古自動二輪車は、ユーザーや金融会社に直接売られたり、オンラインでの競売で販売代理店に売られる。

この中古車は、整備の過程で、不良部品は新しい部品に取り換える。**図 2.2-2** に示す取り外されたアルミホイールは廃棄されている。廃棄物の処理方法は産廃業者が行っているが、最終処分場での廃棄と、焼却及びリサイクルの三つの方法が取られる。**表 2.2-1** に廃棄物とその処理を示す。また、**図 2.2-3** に、2009 年に中古車センターから出た廃棄物量を示す。リサイクルされる材料は、部品メーカーに売られ、新たな部品となって、工場に売られる。この中古車の回収整備ならびに廃棄物のリサイクルの過程が適切に運用されれば、廃棄物が出なくなるので、割合を増やしたいが、現状では、必ずしもうまく行われていない。

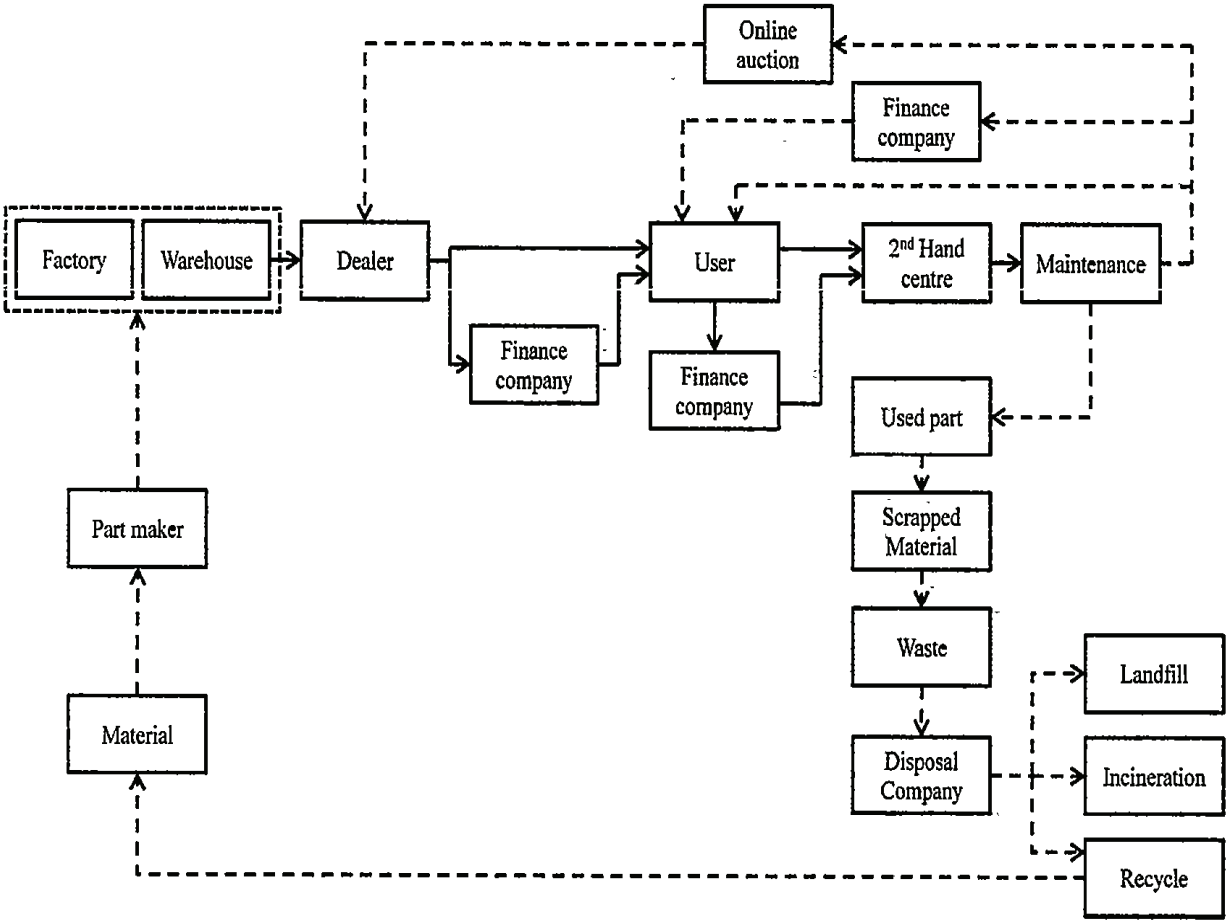


図 2.2-1　自動二輪車ライフサイクル

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

図 2.2-2　中古車から取り外されたアルミホイール

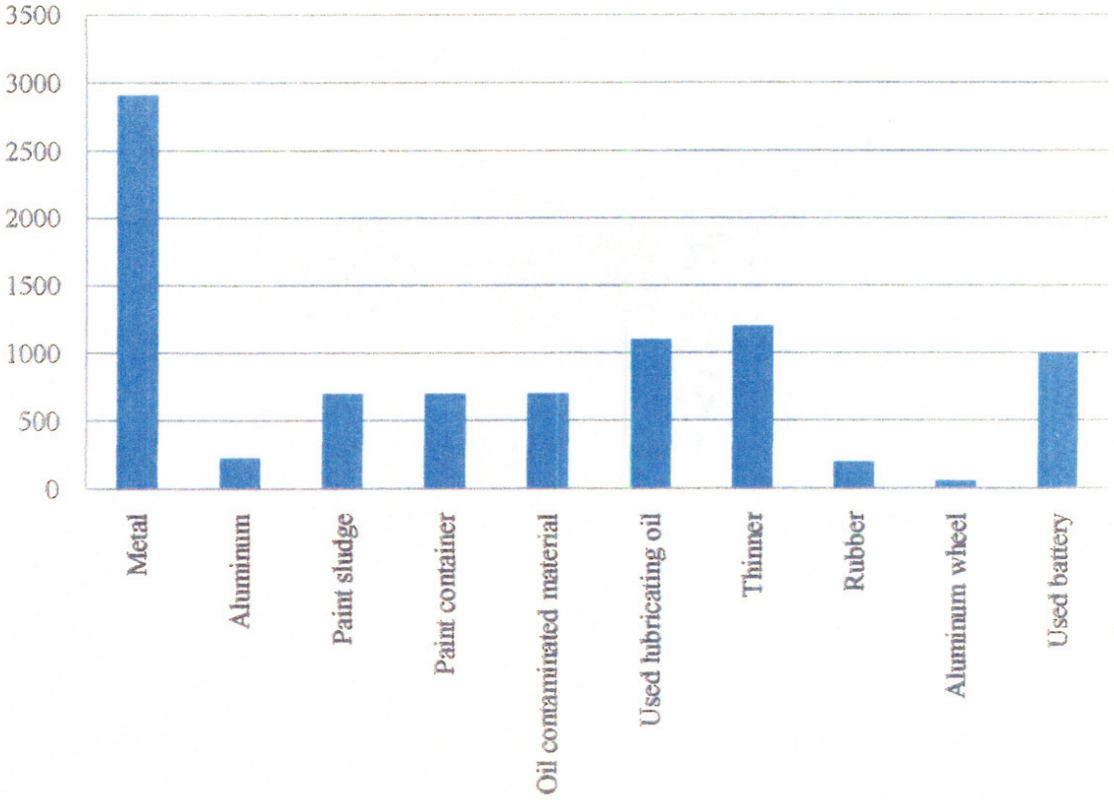
出典：福田敦教授提供資料より抜粋

表 2.2-1　廃棄物とその処理

Waste	Treatment
Paint sludge	Incineration
Scrapped metal	Recycle
Paint container	Landfill
Used engine oil	Use as a substitute fuel
Thinner	Use as a substitute fuel
Used rubber (wheel)	Landfill
Aluminum wheel	Recycle
Used battery	Recycle
Used light bulb	Landfill

(Source: A.P. Honda Co. Ltd.)

出典：福田敦教授提供資料より抜粋



(Source: A.P. Honda Co. Ltd.)

図 2.2-3　中古車センターからの廃棄物 2009 年

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

(3)製造過程とリサイクルの実現可能性

製造過程の主な部分は、エンジンとフレームとプラスチックカバーの三つに分けることができる。エンジン部分の主な材料はアルミニウムである。**図 2.2-5** に、その部材写真を示す。この部材製造時で、不合格となったアルミニウム廃材を**図 2.2-6** に示す。この不合格材は、リサイクルされて製造過程に入ってくる。プラスチックカバーの製造過程で不合格とされた物は、リサイクルに廻されるが、10%しかリサイクルされていない。**図 2.2-7** に、リサイクルされる不合格プラスチック部品を示す。

リサイクルセンターや製造工場の現地調査の結果、自動二輪車の製造過程におけるリサイクル材の使用は、法的な規制化がなされなければ、急速には増加しないものと考えられる。自動二輪車製造ラインのフローチャートを**図 2.2-4** に示す。

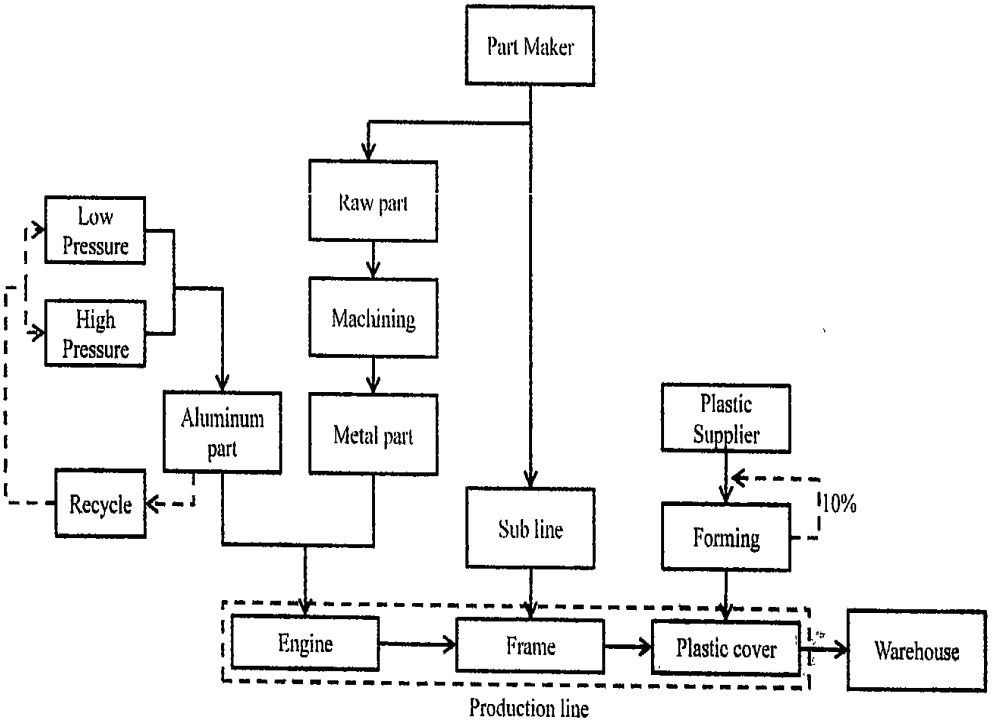


図 2.2-4　製造ラインフローチャート

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

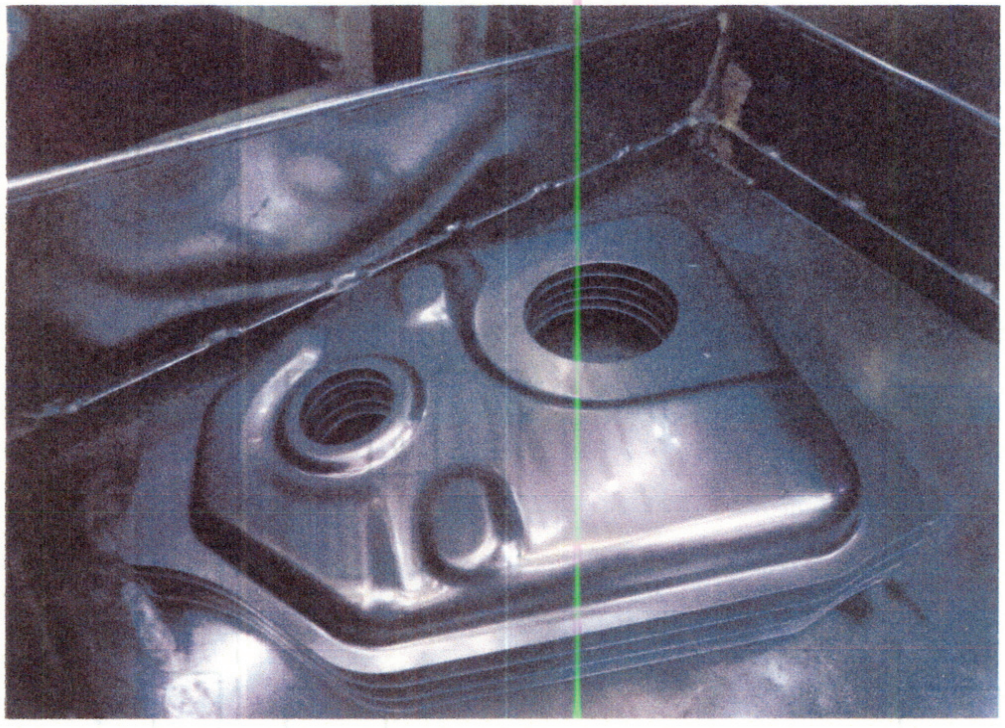


図 2.2-5　アルミニウムを含む自動二輪車の部品

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

図 2.2-6　リサイクルされる不合格アルミニウム部品

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

図 2.2-7　リサイクルされる不合格プラスチック部品

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

(4)輸送の観点

タイ国の法律では、自動二輪車の輸送は、「バイク輸送専門車両で行うこと」と定められている。前述の通り、自動二輪車は工場から販売代理店に直接輸送されるため、回収する自動二輪車がない限り必ず片道は空荷にならざるを得なく、平均積載率 50%という非常に無駄な輸送となっており、費用面でも大きな負担となっている。

リサイクルセンターに集まる中古自動二輪車の台数と、新車の販売台数の経年比較を、**図 2.2-8** に示す。この図から明らかなように、中古車の台数は、新車販売台数の 2%でしかなく、非常に少ない。取り扱う中古車の台数を増やすことができれば、新車輸送の運搬車の帰りに中古車を載せる台数を増やすことができ、輸送費用の面でもメリットが大きい。そこで、ライフサイクルを考慮した帰路の運搬のネットワークを構築する必要があると言える。

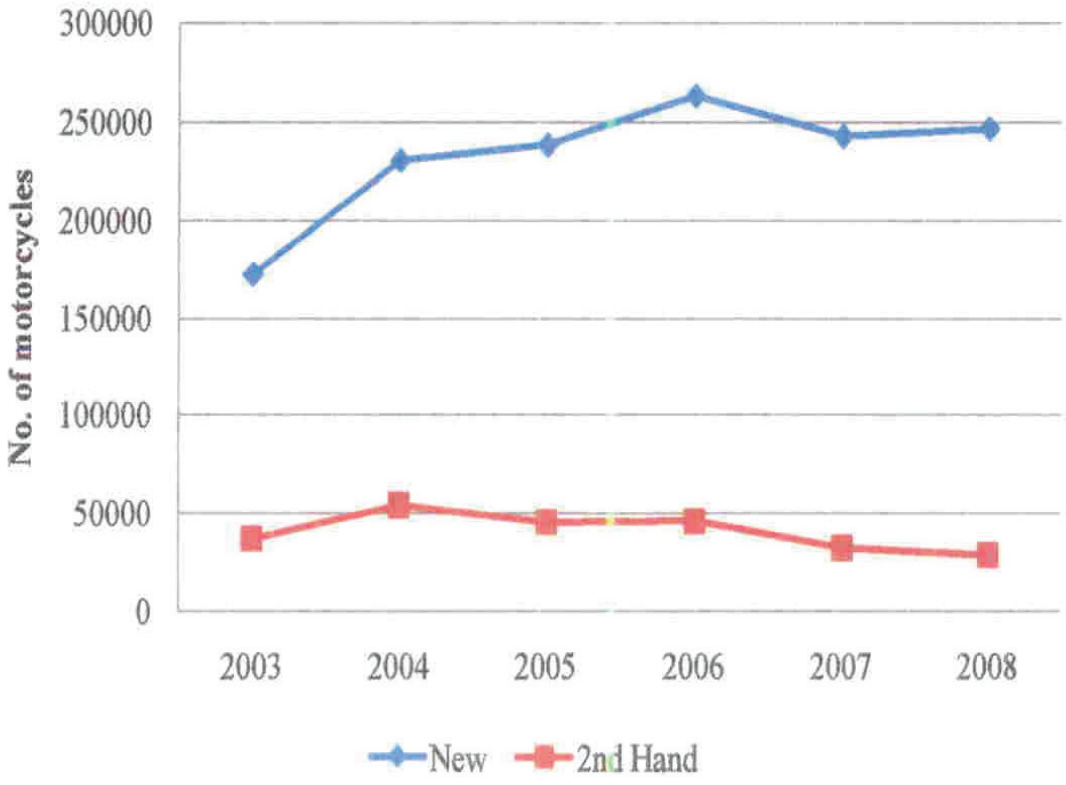


図 2.2-8　新品と中古の自動二輪車量

出典：福田敦教授提供資料より抜粋

(5)タイの自動二輪車の現状

タイ国における、自動二輪車販売の特徴は、利用方法にある。2 人以上で乗車することが珍しくなく、地方都市では夫婦と子供 2 人の計 4 人で乗車する場合も多い。日本仕様の自動二輪車では、サスペンションなどはこの重量に耐えられないので、タイ仕様の自動二輪車は、外観は同じであるがサスペンションなどが強化されている。

もう一つの特徴は、タイを走る自動二輪車の 5 割近くが業務利用であることである。この業務利用の自動二輪車の 5 割はメッセンジャー（バイク便）、残りはロジスティクスとバイクタクシーとなっている。バイクタクシーは、近年まで法的規制が明確にされていなかったが、大半は組合形式で運営されている。

タイ国の自動二輪車を含む自動車に関する免許制度は、日本と全く違う。一般的には、運転講習所も車両登録制度も車検制度もない。免許は、路上で 8 の字に運転できれば取れてしまう。また、車両登録制度もないために、販売台数統計はあっても、廃棄台数統計はない。また、投棄しても、捨てた人間が限定されることがないため、不法投棄が絶えないのが現状である。

最近、AP ホンダでは、自ら不法投棄されたバイクを回収する取組みを始め、環境改善に貢献している。また、AP ホンダでは、自らのドライビングスクールを運営し始めている。受講者は原則無料で、費用は AP ホンダが全額負担する。AP ホンダの自動二輪車が事故を起こした時は、ホンダ車の評判が低下し、売上が落ちる。そのリスクヘッジということで、ドライビングスクールを運営している。AP ホンダは、整備していない中古車が世に出ることが困るため、中古車の良い物にリビルト材を使用して整備し、中古車として販売しているが、販売代理店も中古車を売っているので、競合となることを避けるため、バンコク近郊だけで全体の約 2%に留まっている。リビルト材はヤワラート地区で一般販売されている。その部材は町の整備工場が買っているのが現状で、その保証等が問題である。

(6) タイの四輪車事情

タイ国では、中古車になっても、新車の時に払うべき税金の支払い義務がある状態で転売されるので、新車価格と比較して価格が下がらない。また、四輪車の中で、トラック、タクシーは運転手交代制などで、24 時間車を使い続けるため、2 年程度でエンジンを取り替える必要が出てくる。なお、7 年経った車は劣化が激しいために第一種の保険に入れないので、タクシー会社は使用しない。ホンダ車はディーゼル車を製造していないので、シャーシが弱くてタクシー使用に耐えられず、タクシーに採用されることを避けている。それが幸いして、タイ国では、ホンダ車が日本車で最もステータスの高い車となった。

(7) タイの車産業

タイ国には、車関連の日系企業がかなり進出している。車メーカーだけでなく、3 次部品メーカー程度までは進出している。ただし、タイ国においては、日本の製造手法であるメーカーの系列化は日本より緩い。一方、販売店舗の系列化は進んでいる。アジアへの日系企業進出の図式は、自動車=タイ・中国、家電=マレーシアという図式に定着化しつつある。

タイ国に自動車産業が集積した理由としては、第 1 にインフラの充実が挙げられる。まず、東南アジア各国で、電力供給の系統があるのはタイ国のみと思われる。他国に存在しても、電圧が不安定で、品質を確保できる安定した生産状態を保てるものではなく、自家発電での対応が必要となる。また、道路インフラもタイ国は充実している。第 2 に、従業員のクオリティーが高いことが挙げられる。自動車の生産方法は、家電のようなノックダウンではないため、現地生産するには、従業員の高いクオリティー

は必須となる。タイ国に先行進出した部品メーカーが、高いクオリティーの従業員を育て、それらの部品メーカーがさらに集積するようになり、最後に車メーカーもタイ国に集積したのが、タイ国の自動車産業の歴史である。今では、三菱、日産は、タイ国で生産して日本に輸出するようになっている。

(8)東南アジアでの自動車リサイクル

東南アジアのリサイクラーは、中国系のイリーガルな業者が多い。これは、中国系は移民で土地を所有していなかったため、トラック事業や廃品回収業などサービス業を営むしかなかったからである。リサイクラーに中国系が多いのは、これが理由である。唯一の例外国はブミプトラ政策を採ってきたマレーシア国で、物流事業者はマレー系が多い。

中国系リサイクラーの中には、子女を日本の千葉県などに居住させて日本車の中古車回収を行っている業者もあり、中古部品を大量に母国に輸出させている。日本国内の廃車を購入し、一度解体して輸出し、母国でノックダウンしているような例もあるようだが実態はわからない。リサイクラーの経営規模は概して小さいが、中国系は概して子女の教育については熱心であり、最近ではアメリカで MBA を取ってきた二世世代が規模の拡大を志向し始めている。

2.2.2 東北大学　劉准教授および財団法人地球環境戦略研究機関（IGES）

1) 相手方：東北大学　大学院国際文化研究科　国際環境システム論講座　劉准教授
財団法人地球環境戦略研究機関　荻原朗シニア・コーディネーター

実施日：　2011 年 10 月 13 日

2) 調査概要

日本、韓国、アジア地域の自動車リサイクル事情に詳しい東北大学劉准教授、およびアジア地域におけるリペア・リビルト市場の動向について、アジア地域の環境政策に詳しい（財）地球環境戦略研究機関（IGES）の荻原シニア・コーディネーターにヒアリングを行った。

3) 調査結果

アジア諸国におけるリペア・リビルト事情として、いくつかの興味深いことを知ることができた。まず、マレーシア、フィリピンには、リユース品を使った新車市場が存在する（現地法人：Boon Koon Group 等）。日本、韓国では、自動車メーカー自身はやっていないが､廃車由来の中古部品を集めてリマニファクチャリングを行う業者が存在し、彼らは国内及び東南アジアを市場としている。また、韓国の SK（総合商社、自動車流通、携帯電話（通信））の子会社が再製造部品の流通をしているが、修理して保証まで行っているかは不明である。タイでは、中古車は輸入禁止。マレーシアは、中古部品まで原則輸入禁止であるが（昨年から段階実施)、製品や形態、使用年数などの条件により規制の内容は違っており、個別に調査する必要がある。またマレーシア、フィリピンは、これまで中古部品を買ってアセンブリしてきたため、新品部品からもアセンブリ可能な技術を有する。一方で、自動車部品もコピー品（主に中国製）が拡大しており、問題になってきている。これらの現状を受けて、中国製自動車部品を輸入しての組立、販売する方向に変わる可能性が大きい（関税が安い)。

自動車に関して、欧州はリペア市場が大きいと言われているが、逆に ELV 指令ができてから部品流通ができにくくなってきている。アメリカのリペア、リサイクル市場は一番大きいと考えられる。いずれも、アジアのリペア市場とは質が違うと考えられ、まずは各国の自動車の中古市場状況を確認する必要がある。

現状の自動車のリペア部品活用率は、日本で 6～10%程度、韓国では 3～4%である。日本国内では、NGP（日本自動車リサイクル事業協同組合）、（株）SPN、JAPRA（一般社団法人日本自動車リサイクル部品協議会）など大手の中古部品流通ネットワークが存在し、メーカー関連会社ではトヨタ通商系の（株）エコラインが中古部品流通を行っている。

また、今後リビルト品を活用すると想定した場合の課題としては、品質保証、データ管理、国内リサイクル法における製品のリサイクル率のカウント方法などが挙げられる。

第３章　小型家電リサイクルのアジアの流れ

3.1 資源循環の現状

資源循環の範囲としては、環境保全上問題が無く経済的に優位性を持つ場合には、国際資源循環を否定するものではない。特に、有用金属の場合はその特性から国際循環も視野に入れるべきである。

アジア地域で大気汚染、海洋汚染、温暖化など越境する環境問題が顕在化しており、さらに、食品や日用品などをアジアより輸入している現状を踏まえれば、現地の汚染防止が重要であり、日本の高い技術力を持って、アジア全体のリサイクル技術の底上げをしていく必要がある。現時点で高い技術を持つ日系静脈産業が、アジア域内で中心的役割を果たすべきである。しかし、資源価格の変動等により、使用済製品の海外での需要が減少した場合に、国内静脈産業が十分に機能していなければ、廃棄物が国内に溢れることになる。さらに、小型電気電子機器からの有用金属のリサイクルにおいては、製造業における国際分業が水平展開した状況に鑑みれば、必ず回収した金属を国内で製品に再利用するべきというものではない。

3.2 東南アジアのリサイクルの現状

東南アジア各国の小型家電のリサイクルは、経済論理により、インフォーマルな形で市場に流れている。金などの高価な有価物を取って、その他は捨てられているのが大半と思われる。唯一、工場の不良品や廃材がフォーマルなリサイクルを行い、環境保護を考慮した処理を行っている。小型家電の中で、パソコンが中古製品にリビルト材を使用している。顧客の要望で、登録された店舗でフォーマルにリビルト材を使用した中古パソコンが売られている。性能保証や証明がなく、顧客は、故障や機能不全は自己責任となっている。

3.3 環境保護と資源確保

東南アジア各国には、環境保護に対して有害物の規制はあるが、実行性は問題がある。中国で行い始めた拡大生産者責任を東南アジア各国も検討を始めている。資源確保の観点からは、韓国と中国が検討を始めているが、東南アジアにはまだない。

現在の日本の法令では、スクラップ品の海外流出に対する規制や制度的なディスインセンティブのための措置が不備で、東南アジア各国に相当量の循環可能な資源が流出していると言われている。東南アジア各国が資源確保を目指せば、日本からの流出が進む可能性もあると思われる。

3.4 アジア各国での共通標準の統一の可能性

東南アジア各国では、国内では製品の化学物質安全性データシート（MSDS）制度はない。欧米や日本に輸出する時に、製造者が自らデータシートを作成しているが、同じアジアやアフリカに向けて輸出する時にはデータシートは作成していない。このため、MSDSによる小型家電の使用されている資源データのトレーサビリティは難しい。

アジア各国は、リサイクルに対して経済を優先しているため、基本的には規制を作らな

い方向であるため、アジア各国でのリサイクルの共通標準は難しいと思われる。特に、日本式の消費者が負担するシステムは、アジア各国での採用は困難と思われる。EU が RoHS 指令等の自らのシステムを中国・インド・タイでの展開を模索している。**図 3.4-1** にアジアのリサイクル規制の標準化の概念図を示す。

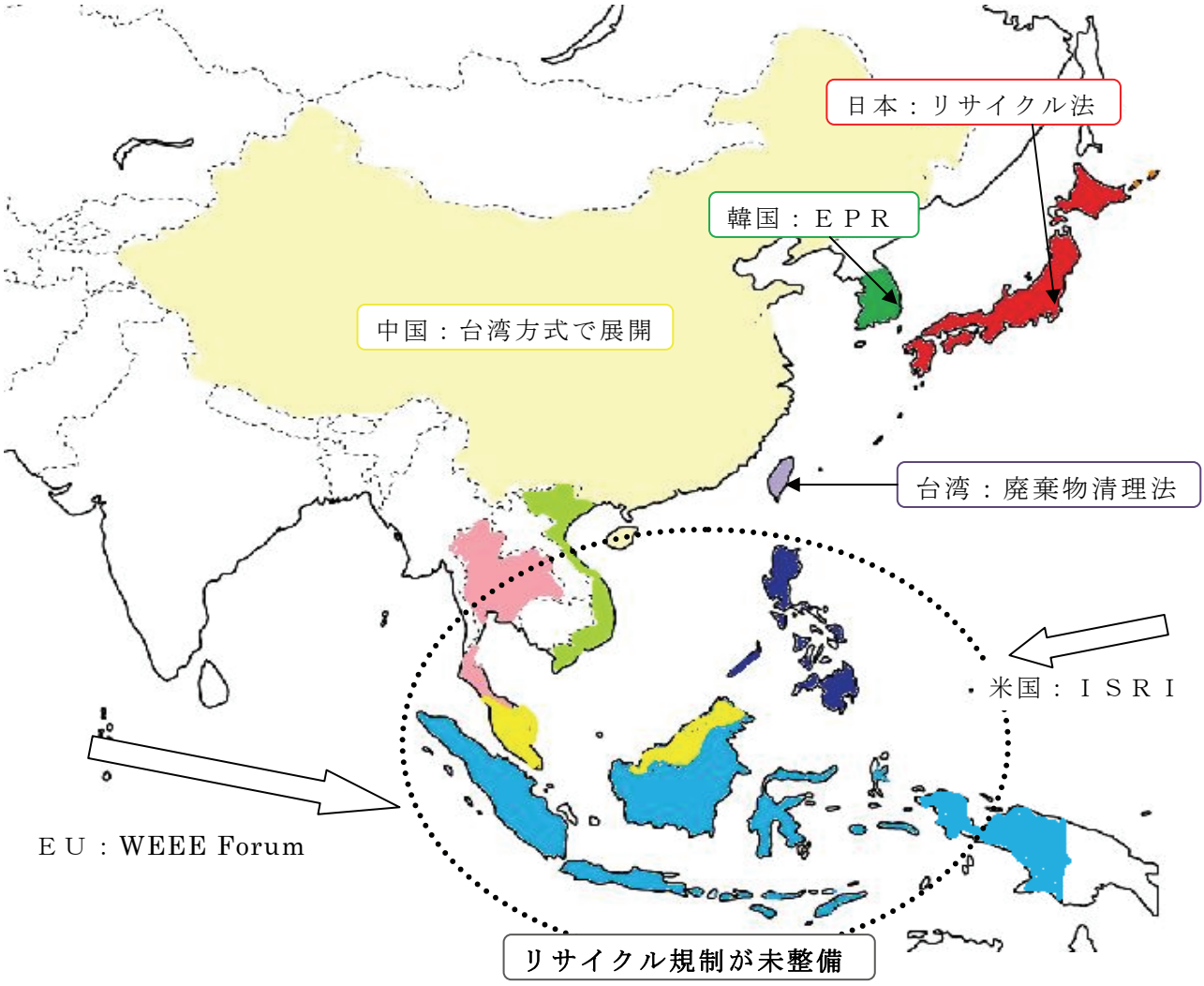


図 3.4-1　アジアでのリサイクル規制の標準化

第４章　小型家電リサイクルの日本の対策と制度

4.1　国の取り組み経緯

小型家電リサイクルに関する日本政府の取り組みは、主に環境省と経済産業省が主導してきた。**図 4.1-1** に環境省と経済産業省の主な取り組み経緯をまとめた。（なお、地方自治体としては、秋田県等が国に先行する形で調査事業を進めてきたことを特筆しておく。）

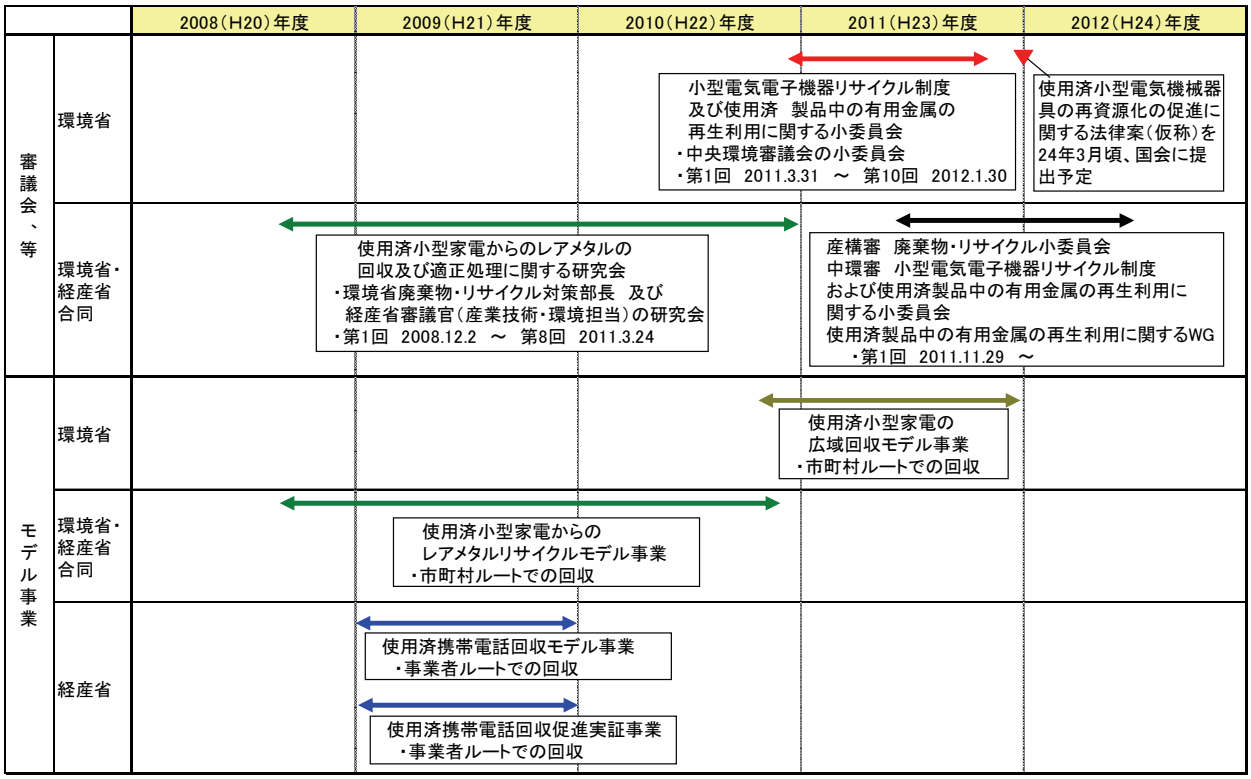


図 4.1-1　環境省と経済産業省の取り組み経緯

（環境省 HP、経産省 HP より作成）

国の取り組みとしては、環境省廃棄物・リサイクル対策部長、及び経済産業省審議官（産業技術・環境担当）の共同研究会として、2008 年 12 月に「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（以下、研究会）」が立ち上げられた。

また、同じく 2008 年 12 月には、使用済小型家電の回収活動で先行している自治体等と連携し、使用済小型家電を回収する「使用済小型家電からのレアメタルリサイクルモデル事業（以下、モデル事業）」が環境省・経済産業省の共同事業として開始された。

モデル事業は、2008年度からは、①秋田県（大館市、能代市及び山本郡（八峰町、三種町、藤里町））、②茨城県（日立市）、③福岡県（大牟田市）の3地域において、2009年度からは①秋田県を全県に拡充し、更に④東京都（江東区・八王子市）、⑤名古屋市・津島市⑥京都市、⑦水俣市と7地域まで増やして、2010年度まで実施された。

これらモデル事業の成果を踏まえ、効果的・効率的な回収方法、回収された使用済小型家電についてレアメタルの含有実態の把握等、並びに使用済小型家電のリサイクルに係る

有害性の評価及び適正処理等について、研究会にて検討を行い、2011 年 3 月に研究会のとりまとめを公表した。

更には、この研究会のとりまとめを受ける形で、「環境省中央環境審議会　小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会（以下、小委員会)」が 2011 年 3 月に設立され、2012 年 1 月まで 10 回に渡る審議によって、「小型電気電子機器のリサイクル制度の在り方について（第一次答申)」が、とりまとめられた。

環境省によると、今後の予定としては、上記の第一次答申を踏まえ、環境省にて「使用済小型電気機械器具の再資源化の促進に関する法律案（仮称)」を作成し、2012 年 3 月頃に閣議決定の上、通常国会に法律案を提出し、国会にて成立後、2012 年度中に政省令を策定し、制度の詳細を詰める。その後、2014 年 4 月に全部施行とするとのことである。

4.2　環境省による制度案

「小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会」にて、取りまとめられた制度案（第一次答申）を以下に紹介する。

4.2.1　小型電気電子機器の定義

まず、小型電気電子機器の定義であるが、答申では、①基板等有用金属を高濃度で含む部品を有している、②比較的小型で他品目と同時に一括での回収が可能なこと、③現時点でリサイクルされていないもの、を条件に品目を特定していくが、具体的な小型電気電子器機の範囲については、引き続き検討するとされている。しかし、携帯電話やデジタルオーディオプレイヤーなどの貴金属含有濃度が高いと目される機器のみでなく、電子レンジや炊飯器なども範囲に含まれそうな見込みである。

4.2.2　関係者の役割

次に制度案における関係者の具体的な役割を、廃棄物の流れに沿って紹介する。

まず、市町村は、本リサイクル制度に参加するかどうかを判断する。本リサイクル制度に参加しない場合は、従来行っていた処理を継続することになる。(多くの自治体は、破砕後、銅、アルミの有価金属を機械選別し、残渣を埋立。）もし、市町村が、本リサイクル制度に参加するのであれば、回収対象品目、および回収方法を決定し、住民への普及啓発を図る。

本リサイクル制度に参加することを決めた市町村の住民は、小型電気電子機器を廃棄する際には、市町村が定めた方法（分別、場所）に従って廃棄する。この時、基本的には、住民はリサイクル料金を負担する必要はない。(但し、自治体によっては、現状の粗大ごみ処理料金程度には、住民が負担する可能性有り。）家電リサイクル法や、自動車リサイクル法と異なり、住民がリサイクル料金を負担しないことは、本リサイクル制度の大きな特徴と言える。

市町村は、その後、廃棄された小型電気電子機器を回収し、集積所まで集積し、認定事業者と呼ばれる民間企業に小型電気電子機器を基本的には無償で引き渡す。(但し、市町村と認定事業者との契約によっては、無償でない引渡も可能。）なお、この際、小売店は、店頭回収や、回収ボックスの設置など、住民からの排出される使用済小型電気電子

機器の回収について、市町村回収を補完的する形で、協力するとされている。

認定事業者とは、環境省によると、株式会社を想定しており、業種としては商社、非鉄精錬業社、産業廃棄物処理業者、小売業者、またはそれらの共同出資企業など、あらゆる業種が可能とのことである。本リサイクル制度を利用して、小型電気電子機器のリサイクルを目指す株式会社は、国に対して資源化事業計画を申請する。申請後、国により認定要件を満たしていると判断された場合には、認定事業者として認定される。

認定要件の詳細は、今後詰めるとのことであるが、第一次答申では、**表 4.2.2-1** に示す考え方が示されている。

表 4.2.2-1　認定要件の考え方

適正なリサイクルの実施	・認定事業者が行う処理のレベルとして最低限求められるもの。 ・中間処理工程において環境管理上及び労働安全上支障が生じないような措置を講じた上で解体・破砕・選別工程を経て有用金属を高度に濃縮し、基本的に国内の製錬事業者等に売却することによって、鉄・アルミ・非鉄などの回収対象物をできる限り回収すること。
レアメタルリサイクルの促進	・経済的に回収できる技術が未確立のレアメタルについて可能であれば回収を目指しつつ当面は回収技術開発の促進を行うこと
広域的・効率的なリサイクルの実施	・5～6 以上の都道府県域を超えた範囲で業務区域を定めること。 ・業務区域内の市町村より引き取りの申し出があった場合、正当な理由がある場合を除き拒めない。（資源価格の変動に関わらず、市町村から継続して引き取る必要がある。）
財務体質	・財務体質の健全性を有すること。

（環境省　「小型電気電子機器リサイクル制度の在り方について（一次答申）」等より作成）

認定事業者は、国から廃棄物処理法の特例措置が付与される。具体的には、①広域回収が可能になる、②長期保管が可能になる、③物流会社、中間処理会社、金属精錬会社への委託（すなわち再委託）が可能になる、などが付与される予定である。

認定事業者は、資源売却により利益を得ることができる可能性がある半面、資源下落、集荷不足などのリスクを負担することになる。また、資源売却により十分な利益を確保できた場合には、市町村が要した回収費用に対して、利益還元することも本リサイクル制度では想定されている。

なお、市町村と認定事業者との契約は、3～5 年程度の契約と想定されている。

認定事業者のイメージを**図 4.2.2-1** に示す。

●認定事業者のタイプ

【全国タイプ】
・例えば、商社が中心となりリサイクル関係者（非鉄金属、メーカー、中間処理、小売店等）と共同出資し新会社を設立する場合や、大手非鉄金属が連携して新会社を設立する場合などを想定。
・全国で活動。

【複数地域ブロックタイプ】
・例えば、いくつかの非鉄金属が連携してリサイクル関係者（非鉄金属、メーカー、中間処理、小売店等）と共同出資し新会社を設立する場合などを想定。
・複数ブロックにわたる広範囲での活動。

【地域ブロックタイプ】
・例えば、ひとつの大手非鉄金属が中心となって新会社を設立する場合や、先行的にリサイクルを実施している中間処理業者が申請する場合などを想定。
・複数都道府県での活動。

●認定要件

・自ら又は委託して一定レベル以上の適正なリサイクルを実施できること
・広域的・効率的なリサイクルの実施が可能であること
・財務体質の健全性を有すること等
※認定要件を満たせば、業務区域が重複しても認定

図 4.2.2-1　認定事業者のイメージ

出典：小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会　配布資料より抜粋

国の役割としては、認定事業者に対する指導・監督、不適正な海外流出の防止などが想定されている。特に不適正な海外流出防止は、本リサイクル制度の実効性を担保するものと強く認識されており、バーゼル法及び廃棄物処理法の更なる適正な施行・運用等の実行性のある水際対策、不適正な海外流出につながっている蓋然性が高い違法な不用品回収業者への対策強化が、今後詳細に検討するとしている。

更に、市町村の本リサイクル制度への参加を促すために、国は、市町村が収集拠点等を設立する際にかかる初期投資について積極的に支援を行うとともに、収集費用等のランニングコストについても何らかの措置ができないか、今後詳細を検討するとしている。

最後に製造業者についてであるが、本リサイクル制度が、資源有効利用促進法、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、自動車リサイクル法と大きく異なる点は、製造業者に対して拡大生産者責任が付与されていないことである。これは、製造事業者に費用負担を制度上、明確に位置付ける「義務的参加制度」になると、全国で画一的な制度にならざるを得ないが、小型家電リサイクルに関する個々の市町村の状況は様々であり、一部の地域や品目において地域の実情に応じて先行的に行われている様々な取り組みを包含できる「促進型参加制度」の方が、柔軟性に富み、望ましいという考えが理由とのことである。

とは言え、製造業者に対しては、易解体設計等によるリサイクルへの協力と再生資源の利用等の責務は担うこととされている。

以上、関係者の役割を**表 4.2.2-2** に、本リサイクル制度の全容を**図 4.2.2-2** にまとめる。

表 4.2.2-2　関係者の大まかな役割分担

国民	使用済小型電気電子機器を市町村や協力小売店に引き渡すことによりリサイクルに協力
市町村	使用済小型電気電子機器の回収を実施、普及啓発
都道府県	普及啓発
小売店	消費者による使用済小型電気電子機器の適正な排出に協力
認定事業者	使用済小型電気電子機器の適正なリサイクルを実施
製造業者	易解体設計等によるリサイクルへの協力と再生資源の利用
国	環境整備、認定事業者の指導監督、普及啓発、研究開発の促進、不適正な海外流出の防止

（環境省　「小型電気電子機器リサイクル制度の在り方について（一次答申）」より作成）

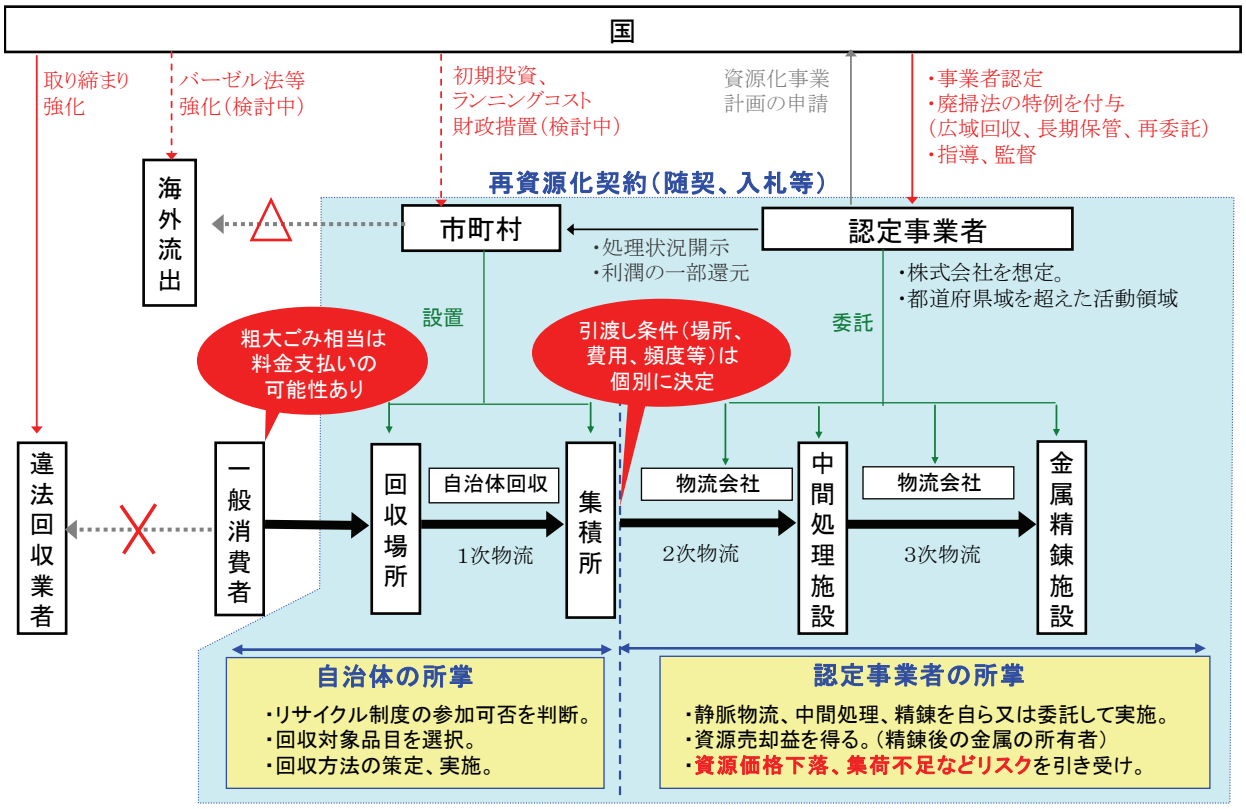


図 4.2.2-2　小型電気電子機器リサイクル制度の在り方

（小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会　配布資料等より作成）

また、本リサイクル制度施行後のイメージを図 4.2.2-3 に示す。

図 4.2.2-3　制度施行後のイメージ

（小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会　配布資料より抜粋）

4.2.3　本リサイクル制度の特徴

以上、本リサイクル制度に概要を紹介してきたが、以下に本リサイクル制度の特徴的な点を改めてまとめる。

①これまでの個別リサイクル法は廃棄物減量化、環境負荷の低減が主眼であるのに対し、本リサイクル制度は資源確保も踏まえた新たな方向性を提示している。

②義務的参加ではなく、関係者の自発活動を促す促進型を採用している。

③メーカーは、リサイクル料金負担はない。

④金属精錬を前提にしたリサイクル制度となっており、リユースが考慮されていない。（但し、パブリックコメントに対する回答のなかで、環境省は、市町村むけにガイドライン等を作成する際には、リユースについても言及するとしている。）

⑤市町村に対して、国からの初期投資、ランニングコストを支援する。

⑥資源確保を目的としており、日本から廃基板などの輸出することを難しくし、リサイクル原料の事実上の国内ブロック化を図っている。（なお、再生された金属の輸出規制は、WTO違反となる恐れがあるため、環境省としてもそこまでは考えていない。）

第５章　アジアにおける最適なリサイクルシステムとは

5.1　日本の小型家電リサイクル制度をアジア展開する際の問題点

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 を考える上で、まずは、環境省が考える小型家電リサイクル制度を、もしアジア展開してみたらどうなるだろうかと想定したところ、いくつか問題点が生じると思われた。

まず、第１に、日本の小型家電リサイクル制度は、リサイクル原料の国内ブロック化を図っている点である。日本がブロック化をするのであれば、アジア各国においても同様に、リサイクル原料の囲い込みが進むと思われる。しかし、レアメタル等の希少資源を使用した製品は日本で生産しながらも、海外輸出している割合が多い。すなわち、各国でリサイクル原料の囲い込みが進むと、海外で発生したリサイクル資源を利用できなくなり、かえって日本の製造業としては困る結果になると思われる。

第２に、メーカーの役割が極端に少ない点である。環境省では、メーカーの責務として易解体設計等によるリサイクルへの協力と再生資源の利用等を想定しているとのことだが、易解体設計へのフィードバック等は、実際のところ、廃小型家電の処理責任（費用負担）をメーカー負担とすることで強力に推進されるものと思われる。実際、EU の WEEE 指令においても、メーカーの処理責任と易解体設計へのフィードバック等はセットで制度設計されている。このままでは、将来の新製品に対するフィードバックは望みにくいと思われる。

第３に、住民から無償回収を前提としている点である。アジアにおいては、排出者からの無償回収は望めなく、収集業者が排出者から買い取ることによって、初めて高い集荷率が望めるというのが現状である。日本においては、家電リサイクル法等に見られるように、排出者がリサイクル料金を負担しても、なお高い回収率を誇るという状況がある。これは、世界に誇れる日本国民の美徳であるが、残念ながら、アジアのみならず世界においては、それは異質である。

第 4 に、金属製錬まで行うことが前提となっている点である。アジア各国においては、リユース市場＞リサイクル市場である。素材リサイクルにのみ着目した制度ではなく、製品リユースのみならず、部品リユースをもっと取り入れた制度にするべきである。

5.2　アジアの最適なリサイクルシステムとは

以上の問題点を踏まえ、本 WG で、アジアで最適なリサイクルシステムの要件を考えてみた。

まず、第１に、リサイクル事業に求める品質や操業条件（排ガス、排水規制等）を、各国で統一し、リサイクル原料確保については、自由競争、自由貿易させることを原則とする。

この要件の狙いは、5.1 の第 1 の問題点の解決である。現在、国内から海外にリサイクル原料が流出している大きな原因は、アジア各国においては、リサイクル原料から有価物を回収する際に発生する残渣等の処理が、インフォーマルに、あるいは環境、労務者に負荷を与える形で実施されていることである。このようなリサイクルの在り方については、

アジア各国とも問題意識を持っているところであり、条件の統一については、比較的理解を得られやすいと思われる。そして、これらの条件が統一されれば、日本のリサイクラーもかなりの競争力を持つはずである。

第 2 に、CSR を前提として、受益者企業は、リサイクル費用の一律負担（例えば、企業は売上高に対して、0.1%負担するなど。）する制度とする。このとき、受益者とは、製品メーカーのみならず、部品リユース企業、素材メーカーも含める。また、上記の受益者から拠出された負担金は、リサイクル基金組織を通じて、リサイクラーが住民から廃棄小型家電を回収するときの原資にする。

第 3 に、リサイクラーについては、非鉄精錬に依存しない、多様な業務形態のリサイクラーを認める。例えば、中間処理のみ事業者であっても、あるいは部品リユースのみを行う事業者であっても、更には貯蔵業(リザーブ to ストック)のみを行う事業者であっても、財務上、環境管理上及び労働安全上に十分健全であると、国もしくは国際機関に認められたリサイクラーであれば、免許が付与され（免許制)、廃棄小型家電を回収することができる。当然、国もしくは国際機関は、リサイクラーを継続的監査する。なお、このとき、リサイクラーが部品リユース、中間処理、製錬などの処理を実施した証として、電子的なトレーサビリティシステムが設けることは、より望ましい。

第 2、第 3 の要件の狙いは、5.1 の第 2～4 の問題点の解決である。これらの要件により、リユース市場も踏まえて、多様なリサイクラーの存在を許容し、かつ廃棄小型家電の回収率を上げ、更にはメーカーの易解体設計へのフィードバック等も期待できる。

以上の 3 要件を踏まえ、本 WG が考えたマテリアル・スチュワードシップ実現に向けた「アジア版の小型家電リサイクルシステム」を**図 5.2-1** に示す。

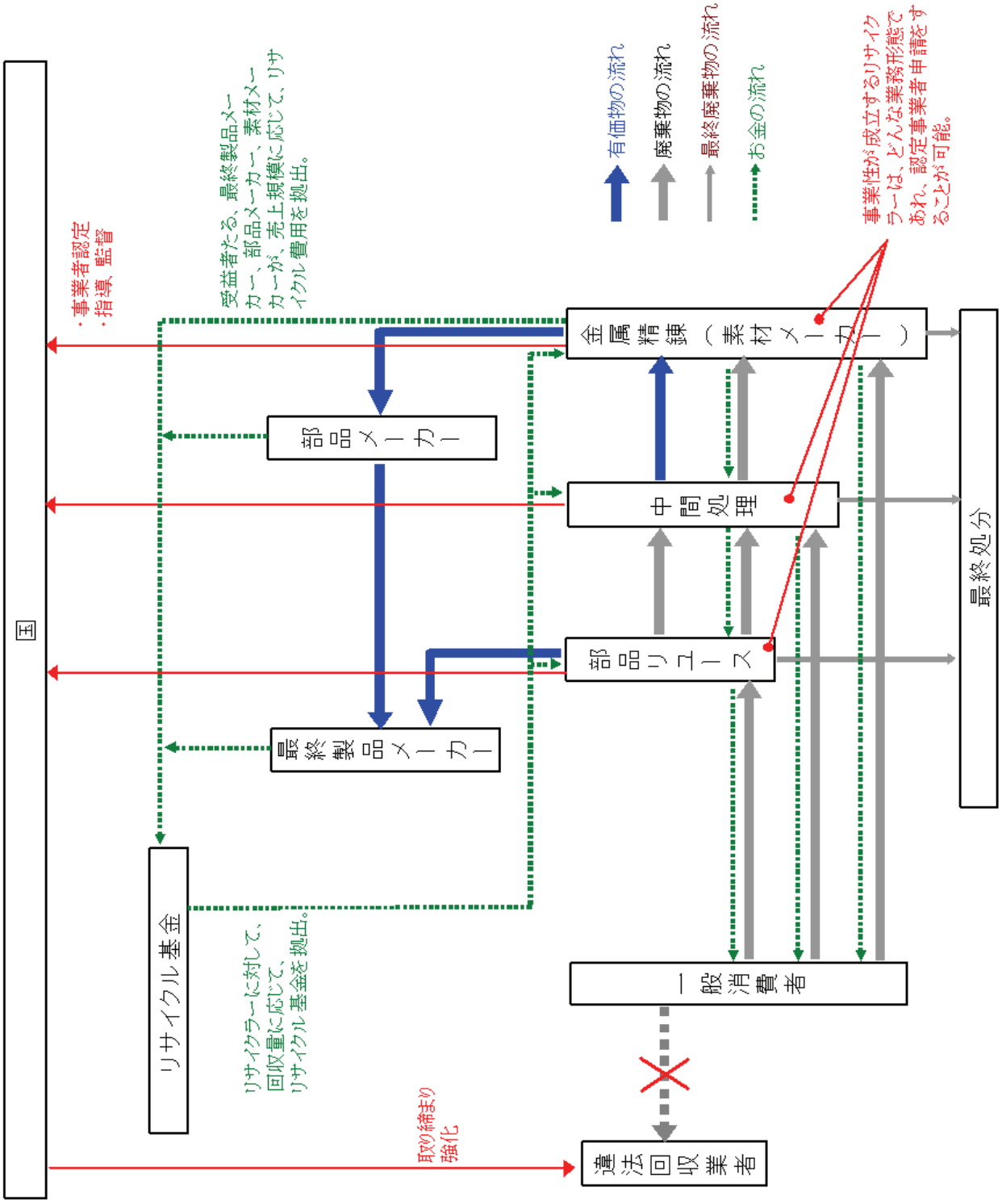


図 5.2-1　アジア版の小型家電リサイクルシステム

第６章　まとめ

前章までに、小型家電をモデルにしたアジア地域におけるリサイクルシステムの要件をまとめ、そのシステムイメージを示した。

冒頭に述べたように、これまで本 WG は、2005 年から「アジア圏循環型社会形成に関する調査研究」というテーマで、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、特にアジア地域において新たな検討、構築が必要になると考えられた国際資源循環システムのあるべき姿についての調査研究を行ってきた。

続いて 2006 年、2007 年には「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」というテーマで、途上国におけるインフォーマル・セクターによる有価金属抽出の不適正処理や、スカベンジャーやウェストピッカーとも呼ばれる貧困層の未就学児童らが劣悪な環境下で働いているという実態、そして、これらによる近隣環境汚染や、地域住民、従業員の健康被害など、循環資源の負の側面といえる「汚染性」の課題に注目し、ここにわが国の資源循環技術を活用することで、アジア圏という地域での国際分担をイメージした資源循環システムの有効性を提案した。

これに対し、2008 年、2009 年には循環資源の「資源性」にポイントを移し、「資源安全保障としてのレアメタルリサイクル」というテーマで特にレアメタルの戦略的確保の手段としてのリサイクルシステムについての研究を行った。おりしも 2008 年は、リーマンショックの発生による世界的な景気低迷により、わが国においても多くの製品の生産縮小が相次ぎ、それに伴うレアメタル需要の大幅な下落が予測された。しかし、実際にはむしろそれ以前の異常ともいえるレアメタル価格の高騰が落ち着いただけといえる程度であり、さらに世界経済がリーマンショックから回復するに伴い、再び供給不安傾向が強くなってくるほど、世界的にも、とりわけ高機能製品生産をお家芸とするわが国にとっては重要なマテリアルであることが確認されることとなった。そのため、2010 年、2011 年の今回の調査研究テーマとして、各企業の防衛的、戦略的資源確保の方向性として、「マテリアル・スチュワードシップ」をテーマに選択し、責任ある企業活動を進めることと戦略的資源確保を同一線上で実現する考え方を整理することとした。さらに、その背景として、これまでの研究で得られてきたアジア地域の特性を踏まえつつ、アジア地域でわが国の製造事業者が、社会的、地域的な責任を全うしながら、戦略的、安定的に希少資源を確保、活用、循環させる社会的、地域的なシステムを検討するに至った。

これまで本 WG の選定テーマは、あまりに大きな問題であり、調査研究の必要性に疑問の声も聞こえたが、2010 年に発生した尖閣諸島での中国漁船衝突事件をきっかけに、レアアースの供給不安が現実になったことで、「資源安全保障」という概念が必要であることが顕著になり、この研究の重要性も再認識されることとなったと考えている。

以上を次のようにまとめ、これまでの本 WG の研究成果の最終報告とする。

1)　アジア地域におけるリサイクルについての負の側面を確認し、課題を整理した。

2)　一方で、とりわけわが国においての資源安全保障として、レアメタルに代表される循環資源の有効性を確認した。

3)　アジア地域特有の地域性を調査し、1)を解決しながら 2)を確保するシステムについ

て要件を整理し、その一つのシステムイメージ案を提示した。

謝辞

最後に、これまで本WGの調査研究に対し、アドバイスや知識の提供をしてくださった、多くの有識者や関係者の皆様に、改めてお礼を申し上げたい。特に独立行政法人日本貿易振興機構アジア経済研究所（IDE-JETRO）の小島道一主任研究員、東北大学多元物質科学研究所の中村崇教授には、アジア地域での最新情報、RtoSに代表される資源循環の最新研究などの情報をご教授いただき、本研究の成果の達成に多大なる貢献を頂いた。ここに本WG一同より、心からのお礼を申し上げる次第である。

また、一緒に調査研究に携わり苦楽を共にした仲間に対しても、ここに感謝を述べる。

以上

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. National Cristina Foundation ホームページ
4. 「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
5. 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＞」
6. 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＞」
7. Study on Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design
   -Case of Motorcycle Transport in Thailand- Jirapat Phornprapha
8. 環境省中央環境審議会の配布資料　2011 年 8 月 22 日
9. JETRO　貿易・投資相談 Q&A 日本からの輸出に関する相手国の制度など
   （http://www.jetro.go.jp/world/asia/qa/01/）
10. 財団法人地球環境戦略機関　POLICY BRIEF「アジア発展途上国の電気・電子製品に対する拡大生産者責任政策：「段階的導入アプローチ」の提案」 September 2011

あとがき

本研究部会では、2005～2007 年の「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、リサイクル技術に関する調査研究」、2008～2009 年度の「エコ・ヒューマン・エンジニアリングに関する調査研究」の活動、更に昨年度、今年度の調査研究と一貫して循環型社会、低炭素社会実現にフォーカスして活動してきた。

過去の一連の調査研究成果から、第 1WG のバイオマスの利活用関連では、バイオマス利活用の現状と新技術の調査、及び循環型社会構築の課題等について多くの知見を得た。今後は、如何にボトルネックを解消して社会システムとしてベストミックスによるスキム構築に向けて提言してゆくかが課題である。第 2WG の静脈物流関連では、静脈物流というなかなか情報が入手しにくい部分に敢えてメスを入れ、現地調査による現状把握から今後のあるべき姿ついていくつかの提言をすることができた。同時に法規制がその足かせになっている部分が多いこともわかり、規制緩和等、法の側面からのアシストが不可欠なこともわかってきた。第 3WG のアジア圏の資源循環に関しては、常にアジア圏を視野にいれ、海外調査等による地域特性等の現状把握やシステム構築における法規制の壁等について考察し、あるべき姿のイメージについて提言した。

本部会は現地現物主義を基本としており、今まで自分の目、耳、足で情報を入手してきた。また、1 社では得られない情報も、(一財)エンジニアリング協会の部会としての活動だからこそ得られる情報も多く、そうして収集した情報をベースに作成した成果報告書はいまや膨大な量になっている。如何にこの成果を活用するかが部会長としてのミッションの一つと認識しており、今後の活用の手段等も検討する必要がある。今後の当部会の活動に関しては、各社とも人事異動や対外活動の制約等の影響もあり、各 WG によっては委員減少の傾向もあるが、まえがきでも触れたように「継続することの重要性」を再認識して、魅力あるテーマを掲げることにより、今後部会が更に発展することを期待したい。

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、ご指導等を頂いた関係者の方々、及び委員の皆様に深く感謝いたします。

循環型社会システム研究部会長　板谷真積

－環境とエネルギー分野－

平成 23 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 …… 161

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 持続可能社会の基軸システムとしてのBCN …… 164
1.1　バイオマス（生物資源）からの恩恵と人類 …… 165
1.2　バイオマス（生物資源）の優位性 …… 165
1.3　バイオマスと他の再生可能エネルギーの併用によるエネルギー保障 …… 166
1.4　バイオマスのカスケード利用による炭素固定と循環型社会システム …… 166
1.5　持続可能な社会における価値と経済 …… 167
1.6　バイオ･コミュニティ･ネットワーク（BCN） …… 167
1.6.1　BCN構想 …… 167
1.6.2　BCNを実現するための考え方 …… 169

第２章　バイオマスを利活用する主要な炭素固定化技術の動向 …… 172
2.1　太陽エネルギー利用の一つとしての人工光合成 …… 172
2.1.1　植物の光合成と人工光合成 …… 173
2.1.2　人工光合成に対する日本国内の技術動向と現状 …… 175
2.1.3　人工光合成に対する海外の技術動向 …… 177
2.1.4　人工光合成のまとめ …… 179
2.2　バイオリファイナリー …… 181
2.2.1　バイオリファイナリープロセスと石油リファイナリープロセス …… 181
2.2.2　バイオリファイナリー市場の需要予測 …… 182
2.2.3　バイオリファイナリー原料の供給力予測 …… 185
2.2.4　バイオリファイナリーのまとめ …… 186
2.3　ウッドプラスチック …… 186
2.3.1　製造方法 …… 187
2.3.2　特長 …… 188
2.3.3　炭素固定機能 …… 189
2.3.4　今後の市場性 …… 190
2.3.5　課題と提案 …… 190

第３章　BCN構想を高度化した社会システムへの組込み …… 191
3.1　森林の持つ多面的機能 …… 191
3.2　東京都の「森づくり推進プラン」 …… 193
3.2.1　東京都の森林規模 …… 193
3.2.2　東京都における林業の問題点 …… 194

3.2.3　林業経営の不振 …… 195
3.2.4　低迷する多摩産材の利用 …… 196
3.2.5　都民･企業等の参画の必要性 …… 197
3.3　東京都の中央区と檜原村が共生する「中央区の森環境ふれあい村」構想 … 198
3.3.1　「中央区の森」の概要 …… 198
3.3.2　東京都･中央区の取り組み …… 199
3.3.3　東京都･檜原村の取り組み …… 204
3.3.4　「中央区の森」構想のまとめ …… 211
3.4　BCN構想の中の農業 …… 212
3.4.1　農業の必要性と可能性 …… 212
3.4.2　農家の抱える問題点に対する考察 …… 215
3.4.3　期待される施策に対する考察 …… 217
3.4.4　BCN構想の中の農業 …… 220
3.4.5 まとめ …… 220
3.5　木質ペレット燃料社会実験の提案 …… 222
3.5.1　設定モデル …… 222
3.5.2　各サイドでの事業状況の試算 …… 223
3.5.3　事業スキームのまとめ …… 228
3.5.4　課題克服に向けた社会実験の提案 …… 228

第４章　再生可能エネルギーによる災害に強い社会の構築 …… 232
4.1　東日本大震災被災地調査 …… 232
4.1.1　南三陸町の津波被害 …… 232
4.1.2　南三陸町の災害廃棄物 …… 236
4.1.3　北上川河口の被害 …… 238
4.1.4　石巻市市街中心部(旧北上川河口付近) …… 240
4.2　災害に強い地域づくり …… 242
4.2.1　求められる防災機能 …… 242
4.2.2　災害に強い社会システム …… 243
4.2.3　抑制機能（減災機能） …… 243
4.2.4　非常時活動支援機能 …… 243
4.3　震災から学ぶ持続可能性問題への教訓 …… 249
4.3.1　災害と持続可能性問題の相似性 …… 249
4.3.2　エンジニアの責務 …… 250
4.3.3　再生可能エネルギーコストの評価に対する問題提起 …… 251
4.3.4　提言「その気になれば出来る」 …… 252

第５章　まとめ …… 254
5.1　調査研究の経過 …… 254
5.2　課題を克服するBCN構想 …… 255
5.3　ロードマップ …… 257
5.4　今後の課題 …… 257

参考文献･引用文献 …… 259

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 …… 264

第２章　バイオマスの活用 …… 267
2.1　発電利用における熱効率 …… 267
2.2　直接燃焼発電システムにおける経済性 …… 269
2.3 適切な発電システム …… 272
2.3.1　規模 …… 272
2.3.2　運用性 …… 272
2.3.3　発電効率 …… 273
2.4　バイオマス活用の提言 …… 273

第３章　小水力発電の活用 …… 275
3.1　水力発電の導入状況と特徴 …… 275
3.1.1　水力発電の導入推移 …… 275
3.1.2　水力発電の特徴 …… 276
3.1.3　小水力発電の特徴 …… 276
3.2　導入可能量と今後の導入に関する課題 …… 277
3.2.1　従来の水力発電の導入可能量（包蔵水力） …… 277
3.2.2　未利用落差発電の導入可能量（未利用落差発電包蔵水力） …… 278
3.2.3　環境省による導入可能量調査（再生可能ｴﾈﾙｷﾞｰ導入ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ） …… 279
3.2.4　農業用水発電ポテンシャル（ナノ水力発電と流水利用型発電） …… 280
3.2.5　各導入可能量調査の比較と導入に関する考察 …… 281
3.3　最近の規制緩和 …… 283
3.3.1　河川法 …… 283
3.3.2　電気事業法 …… 283
3.4　小水力発電に関するまとめと提言 …… 284

第４章　海洋温度差エネルギーの利用 …… 285
4.1　海洋温度差発電システムの概要 …… 285
4.2　沖ノ鳥島の現状 …… 286
4.3　沖ノ鳥島を取り巻く海洋環境 …… 286
4.4　国および東京都の施策 …… 287
4.5　海洋温度差発電システムの適用 …… 287
4.6　今後に向けて …… 290

第５章　太陽エネルギーの利用 …… 292
5.1　太陽エネルギー利用の問題点 …… 292
5.2　太陽エネルギーの高効率利用 …… 292
5.3　スマート熱電併給SHP …… 294
5.4　総合熱効率の上昇 …… 295

第６章　家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望 …… 297
6.1　東日本大震災がもたらしたエネルギー消費削減の成果 …… 297
6.2　家庭部門におけるエネルギー削減の仕組み …… 298
6.2.1 HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム） …… 298
6.2.2 エネルギーモニタ …… 300
6.2.3 家庭向け省エネ支援サービス …… 302
6.3　家庭部門における省エネルギーシステムの普及に向けて …… 303

第７章　エネルギー利用の高効率化へのエクセルギー視点 …… 304
7.1　CO_2削減のための対策とエクセルギー …… 305
7.2　創エネルギーのための検討 …… 306
7.2.1 検討の条件 …… 306
7.2.2 敷地に投入されるエネルギー …… 307
7.2.3 敷地に投入されるエクセルギー …… 308
7.3　敷地に投入されるエクセルギーの地域差 …… 309
7.3.1 エネルギーの地域差 …… 309
7.3.2 エクセルギーの地域差 …… 310
7.3.3 ヒートポンプを用いた熱源利用 …… 310
7.4 エクセルギー値の活用に向けて …… 311

第８章 持続可能なクリーンエネルギーへ …… 312
8.1　日本の制約 …… 312
8.2　世界のエネルギー･環境 …… 312
8.2.1　世界の資源 …… 312
8.2.2　世界の温暖化 …… 313
8.3　クリーンエネルギーへの提案 …… 316

第９章　ガス化技術とエネルギー連携 …… 319
9.1　バイオマスのガス化発電 …… 319
9.1.1　ガス化の原理 …… 319
9.1.2　ガス化発電 …… 320
9.2.3 バイオマスガス化発電の課題 …… 321
9.2　石炭ガス化複合発電（IGCC） …… 321
9.2.1　石炭の分類 …… 321
9.2.2　石炭のガス化 …… 322
9.2.3　IGCCの事例 …… 322
9.2.4　IGCCの特性 …… 323
9.3　コンビナートの連携 …… 323
9.3.1　熱分解軽質留分統合精製処理技術開発 …… 324
9.4　今後の展望 …… 326

第１０章　まとめ …… 327
10.1　非化石エネルギーの活用技術 …… 327
10.2　エネルギー消費量の総量を削減する省エネルギー技術 …… 328
10.3　エネルギー利用の高効率化システム …… 328

10.4　ロードマップ …… 329

参考文献･引用文献 …… 331

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　生物多様性と関連条約 …… 335
1.1　IPCC第４次評価報告書と生物多様性 …… 335
1.2　生物多様性に関連した国際条約 …… 335
1.2.1　ラムサール条約 …… 336
1.2.2　ワシントン条約 …… 336
1.2.3　ストックホルム条約 …… 336
1.2.4　生物多様性条約 …… 337
1.3　生物多様性問題とわが国の国家戦略 …… 338
1.3.1　生物多様性について我が国の取組み …… 339
1.3.2　生物多様性基本法とは …… 339
1.3.3　我が国の対応と今後の行動 …… 339
1.4　21世紀に向けて（生物多様性への脅威と生息地の破壊を回避する為に） … 339

第２章　生物多様性の評価と企業の取り組み …… 341
2.1　生物多様性の主流化 …… 341
2.2　生物多様性オフセット …… 342
2.3　生物多様性の経済的評価 …… 343
2.4　生態系サービスへの支払い（PES） …… 344
2.4.1　蕪栗沼のふゆみずたんぼ …… 345
2.4.2　コウノトリの野生復帰とコウノトリを育む農法 …… 346
2.4.3　トキの野生復帰と米づくり …… 346
2.4.4　魚のゆりかご水田プロジェクト …… 347
2.4.5　企業による生態系サービスへの支払い（PES）事例 …… 347
2.5　生物多様性保全へ企業はどう取り組むか …… 348
2.5.1　民間事業者への期待とビジネスチャンス …… 348
2.5.2　リクマネジメントとイメージアップ …… 348
2.5.3　企業の環境教育および環境保全活動 …… 349
2.6　伝統の焼き畑から生物多様性の視点を学ぶ …… 349

第３章　まちづくりと生物多様性 …… 350
3.1　都市におけるまちづくりと生物多様性 …… 350
3.1.1　首都圏の状況 …… 350
3.1.2　各都市の取組事例紹介 …… 353
3.1.3　エコロジカル･ネットワーク …… 355
3.1.4　持続可能なまちづくり …… 357
3.2　震災復興におけるまちづくりと生物多様性 …… 361
3.2.1　各行政の復興ランドスケープ …… 361
3.2.2　生物多様性保全の観点から …… 362

第４章　海洋生物多様性の持続可能な利用と水産復興 …… 363
4.1　日本の海洋生物多様性の現状 …… 363
4.2　震災による海洋生物多様性への影響 …… 364
4.2.1　津波による藻場および干潟の物理的被害 …… 364
4.2.2　瓦礫、化学物質の流出、負荷 …… 368
4.3　震災の水産業への影響 …… 369
4.3.1　漁業被害の状況 …… 369
4.3.2　放射能汚染による漁業への影響 …… 370
4.3.3　水産復興 …… 371
4.4　東北の海洋生態系の再生および水産業の復興 …… 374

第５章　東日本大震災と生物多様性－これまでの報告や提言等の事例をもとに …… 376
5.1　報告や提言等の事例 …… 376
5.2　大震災による生態系の機能消失と貢献 …… 384
5.3　生態系サービスの機能回復に向けた道筋と取組案 …… 386
5.3.1　基盤サービス …… 386
5.3.2　供給サービス …… 387
5.3.3　調整サービス …… 387
5.3.4　文化的サービス …… 388

第６章　まとめ …… 390

参考文献･引用文献 …… 392

あとがき …… 396

平成23年度 「エネルギー・環境研究部会」委員名簿

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.		氏名	会社名	所属・役職
1	主　査	岡　　辰哉	㈱IHI	ﾌﾟﾗﾝﾄｾｸﾀｰ　企画管理部　事業推進ｸﾞﾙｰﾌﾟ　主査
2	委　員	佐々木　素喜	三機工業㈱	技術開発本部　技術研究所　担当課長
3	副主査	高橋　　浩也	ｽﾁｰﾙﾌﾟﾗﾝﾃｯｸ㈱	技術開発センター　技術開発推進室　主任技師
4	委　員	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
5	顧　問	広松　　猛	元広島国際大学	元教授（元「部会長」）

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.		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　機械機能工学科　非常勤講師
2	副主査	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　主任技師
3	委　員	大道　　将史	西松建設㈱	技術研究所　地球環境グループ　課長代理
4	副主査	岡　　利博	飛島建設㈱	土木事業本部　機電部　課長
5	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 ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ部 基幹職
6	委　員	土屋　　貴史	㈱大林組	技術研究所　環境技術研究部　研究員
7	委　員	吉田　　昌司	三井住友建設㈱	企画部　課長

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.		氏名	会社名	所属・役職
1	主　査	田中　　ゆう子	東亜建設工業㈱	土木営業本部　技術開発研究ｾﾝﾀｰ 水圏・環境技術ｸﾞﾙｰﾌﾟ　主任研究員
2	副主査	小口　　深志	前田建設工業㈱	技術研究所　技師長
3	委　員	後藤　　正司	東急建設㈱	土木総本部環境技術部環境保全ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
4	委　員	竹山　　佳奈	五洋建設㈱	土木本部　環境事業部
5	顧　問	道木　　英之	㈱ﾚｯｸ・ｱｰﾙ・ﾃﾞｨ	元「委員」

まえがき

東日本大震災から既に1年近く経過したが、2011年3月11日に発生したこの大震災は我が国のエネルギーと環境を取り巻く状況を劇的に変えた。エネルギーと環境の観点から俯瞰すると、エネルギーでは原子力発電所は殆んど停止し、環境では放射線問題がヒステリックなまでにクローズアップされた。整理すると３項目の重要な問題点がある。第１のエネルギーでは特に安価な電力の安定供給が不安定になったこと、第２は温室効果ガス（Green House Gas: GHG）の2020年まで90年比25%削減の国際公約を果たすことが非常に困難となったこと、第３は再生可能エネルギーの導入機運が高まったがコスト高が否めず、結局は電力コストを増加させ製造業など国際競争力の低下が懸念され続々と海外移転が進んでいることなどがある。社会的な活性を維持しながら問題を解決するには原子炉を安定的に稼働せざるを得ず、GHG削減の国際公約を守り、再生可能エネルギー導入比率を徐々に上げる以外に方法はない。しかしエネルギーセキュリティを保持しながら安定確保ができる政策を実行するに至っていない。

現状は原子炉の定期検査を期に稼働中の原子力プラントは続々と停止しており、ストレステストへの対応が必要なことに加え原子炉設置地域の賛同が必要なために定期検査後の再稼働が難しくなってきており、電力事業者による供給電力の30%以上あった原子力発電がゼロに近づきつつある。原子力発電の代替に再生可能エネルギーによる発電が求められているが、コストが高いことおよび莫大な電気量を早急に供給できない現状から火力発電に頼らざるを得ず、また原子力代替の化石燃料購入に膨大な外貨支出を伴い、必然的にGHG削減の国際公約を守ることができない。2012年になっても依然としてエネルギーは世界経済に大きな影響を及ぼす主たる要因に変わりがない。現在、イランの核問題が発端で中東情勢は厳しくなりイランがホルムズ海峡の封鎖をほのめかしている局面もある。この海域で戦火を交えることになれば石油価格の高騰は免れない。

2011年12月に南アフリカのダーバンで開催されたCOP17（国連気候変動枠組み条約第17回締約国会議）は12月11日に終了し、2012年末で期限切れとなる京都議定書を延長し2020年に新たな法的枠組みを発効させることをダーバン合意とした。京都議定書の延長は2013年から2017年または2020年の5年間か8年間、新たな法的枠組みは2015年までに採択し2020年から発効させるとして2012年にカタールで開催のCOP18で決定される。GHG削減に関する新たな枠組みでは京都議定書で削減義務を負っていない２大排出国の中国と米国を含むすべての国を対象とする。

日本は2008年から2012年の削減期間にて1990年比で平均6%の削減義務を負っているが2013年以降は削減義務を負わず、自主的な数値目標を掲げて削減に取り組む。しかし原子力発電所の稼働が見込めず化石燃料の莫大な増加となった現状では、鳩山元首相が国連で公約した2020年まで90年比25%削減は非常に困難な状況である。エネルギーベストミックス策定の政治的な判断が一刻も早く求められている。

一方、環境問題では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)に向けた取組みが2010年には大いに盛り上がり企業の取組みも活発であった。2011年は3.11の東日本大震災以後は津波被害の復旧復興と、福島第一の原子炉炉心溶融

事故と水素爆発に伴う放射性物質の飛散、その後の集団強制避難や除染作業の取組などが中心となり、我が国の環境問題は生物多様性から震災復興と放射線問題に大きく移行した観がある。福島第一サイトの事故による放射性物質の漏えいは生物濃縮が懸念される以外は生物への影響は少ない可能性が大きく、低線量率の被曝を人間社会が局所的に取り上げている側面も見逃せない。しかし生物多様性の問題は地球全体の環境問題と大きな相関を持ち、時々刻々と変化する環境の転移が生物の成長や種の保存と進化に影響を及ぼし、現実の問題として表層に浮上し、出現している生物の動向そのものが現在の環境自身を表現しているため今後もフォローアップが必要である。

本研究部会「エネルギー・環境研究部会」は以下の３つのＷＧ（ワーキンググループ）に別れ、かつ各ＷＧは連携を取りそれぞれ精力的な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」

昨年度までに第１WGが提言した「バイオコミュニティネットワーク（Bio-Community Network: BCN）」構想を中心にカーボンニュートラルなバイオマス利活用の構想を更に深化させ実現するために①カスケード利用による炭素固定技術では有望な人工光合成、実用化段階に入ったバイオリファイナリー、普及拡大が期待されるウッドプラスチックの特徴を整理した。②バイオマス本格利用のボトルネック解消では想定した維持・収集・物流コストをBCNの中で資金支援システムにより解決する方策や、バイオマスの量的不足を解消するための再生可能エネルギーとの併用などに着手した。③BCN構想の高度化では東京都の森作りおよび中央区と檜原村の共生を参考とし、農業も組み込んだBCNの有益性や木質ペレット事業のフィージビリティスタディによりコストなどの課題を検証した。④東日本大震災に関しては被災地調査等を踏まえ再生可能エネルギーによる防災と減災の機能強化を検討した。

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」

非化石エネルギーの活用ではバイオマス、小水力、海洋温度差、太陽エネルギーの利用を、省エネルギーと節エネルギーでは家庭部門のエネルギーの実態とエネルギー部門の高効率化とエクセルギーを、エネルギー資源を高度利用する観点からは持続可能なクリーンエネルギーとガス化技術とエネルギー連携について調査研究を行った。そこで以下の結果を得た。①低炭素エネルギーシステム社会を構築するキーとなる再生可能エネルギーの活用、省エネルギー、二酸化炭素回収貯留(Carbon-dioxide Capture and Storage: CCS)等について個々の技術の特徴をとらえ、バイオマス資源の活用では資源収集等により発電規模も制約を受け5MW程度の設備が適する結果を得た。②賦存量の多い小水力と海洋温度差発電は高コストが高いハードルであり、小水力は水利権や監督官庁の課題があり、海洋温度差は孤島での発電のみならず造水、レアメタルの回収などの多用途化が活用への道であることを示した。③CCSでは分離したCO_2の貯留における事前評価が大きな課題となった。以上、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、新ビジネス領域の方向性を示した。

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」

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)に向けて盛り上がった生物多様性の問題に昨年度より着手しており、生物多様性の保全対策の新分野と新事業の今後の市場性を探り、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に資する調査検討を行った。

そこで、①生物多様性と関連条約では気候変動による生物多様性の衰退状況および関連、国際条約と我が国の取組から展望をまとめた。②生物多様性の評価と企業の取り組みでは里山における生態系サービスへの支払い事例などから今後の企業の生物多様性保全への取組の方向を整理した。③まちづくりと生物多様性では都市の緑地、ロジカルネットワーク、生物多様性オフセットなどをキーワードにまちづくりにおける重要な視点や課題を整理し、被災地の調査を基に復興において生物多様性保全を取り入れるメリットをとりまとめた。④東日本大震災と生物多様性では海洋生物多様性の持続可能な利用と水産復興の観点から日本近海が地形や海流により多様な生物の生息場であること、生息空間が震災で大きなダメージを受けたこと、放射性物質による水産物の汚染情報や被災地の状況から水産復興への提言をとりまとめたこと、震災に関連する多くのシンポジウム、講演会、議論など調査して分析し、被災地調査のから震災による生態系サービスの消失状況を調査分析しその再生と回復への道筋を提言にをまとめた。

なお、この報告書は2年間に渡る調査研究の最終年度と位置付けている。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。前年度の報告書も合わせてご利用頂ければ各企業から参加されたメンバーが広い視野から継続的に取り組み、研究部会に参加することで相乗効果も上がることを読み取って頂ければ幸いです。

エネルギー･環境研究部会長　　矢野歳和

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

本調査研究「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」は、当研究部会で数年来提唱してきたバイオ･コミュニティ･ネットワーク（Bio Community Network：以下BCN）によって、バイオマス本格活用のためのシステム的なボトルネックと経済的なボトルネックを解消することを提案し、さらにBCNの中でバイオマスをカスケード利用することによって炭素固定する方法について報告したものである。

第１章 持続可能社会の基軸システムとしてのBCN

本章では持続可能社会の基軸システムとしてのBCNについて昨年度までの研究成果をベースに考察する。

人間社会が持続可能であり人類が生存し続けることについてエンジニアが抱く危機感は、人類が産業革命以来の化石燃料の大量消費による地球温暖化を自ら招きながら人類存続の危機に効果的な一手を打てないことである。また日本が2011年3月11日の東日本大震災による地震と津波、津波に起因した原子力発電所事故という未曽有の危機に見舞われながらエネルギー･環境問題に早急で効果的な対策が打ち出せていないことである。そして機能や価値に裏付けられていない現在の金融至上主義ともいえるバーチャルな市場経済システムによって世界に蔓延した格差社会が人類を幸福から遠ざけ社会の存続を危うくしていることである。人類にとって持続可能な社会システムとはどのような要素を基軸とした社会システムであるべきなのかについて地球温暖化やエネルギー問題、震災復興や防災対策に具体的な解決策を実施すべきエンジニアの観点で調査･研究し、BCNを提案する。

平成24年1月22日放送のNHKスペシャルによれば人類は7万年前に発生したインドネシアの火山噴火から世界中に拡がった火山灰による地球規模の気温低下（年間気温12度低下）という人類史上最悪の「火山の冬」を種族の壁を超えて食糧を分け合うことによって存続してきたという。人類は種族･部族の壁を超えた協力により生存の危機を克服した。食糧を奪い合うことなく寛容な心によって相互協力した人類の祖先だけが自然環境に淘汰されずに現在まで生き残ったというのである。

地球温暖化問題で国際社会は持続可能な社会を作るために国と国の協力、地球規模の連携が必要であることを認識している。東日本大震災のあと日本人は「絆」という人と人のつながり、地域と地域のつながり、集団と集団のつながりについてその重要性を語り始めている。人々は人と人の絆を大切にできる新たな社会システムの必要性を感じており、そして格差を是正できる新たな仕組みを求めている。これらの要求に地球や自然や生命との共生を実現できるBCNは答えることができると考えている。

1.1　バイオマス（生物資源）からの恩恵と人類

古来、人類はバイオマス（生物資源）の中で進化し繁栄し種族を存続してきた。中世にはバイオマスをエネルギーやマテリアルとして活用（**図1.1-1**）し文明を育んだ。近代になり石油･石炭などの化石バイオマスの発見･利用により人類は大量エネルギー消費社会を実現し文明は大きく発展したが化石資源の枯渇や地球温暖化問題のため、もはや大量エネルギー消費社会を持続することはできなくなった。

図1.1-1 バイオマスのエネルギー利用とマテリアル利用

出典；マイクロソフト ワード クリップアート

バイオマスは人類の生命と文明を育み、人類に清らかで心地よい安全な環境という恩恵を与えてくれる。これらの恩恵は工学的には環境の４機能「同化･供給･財･サービス」に整理分類されている。バイオマスを中心とした新しくて懐かしい社会システムを構築することによって人類は清らかで心地よい安全な持続可能社会を手に入れることができる。

1.2　バイオマス（生物資源）の優位性

バイオマスを中心とした社会システムが、人類にとって持続可能な社会システムであるとする理由としてバイオマスの多面的機能という優位性がある。
持続可能な社会システムには安全で持続可能なエネルギーが必要であり現在、再生可能エネルギーが最もふさわしいとされているが、再生可能エネルギーに中でも優れた要素を持ったバイオマスの優位性を**図1.2-1**に示す。

バイオマスの優位性
①O2を産出し、CO2を固定できる。
②エネルギーも素材も得られる。
③食糧を供給できる。
④空気と水と心と体をきれいにしてくれる。

図1.2-1 バイオマスの優位性

再生可能エネルギーの中にあって、バイオマスだけが人間に不可欠な酸素（O_2）を産出し、二酸化炭素（CO_2）を固定する能力を持っている。さらにバイオマスは、エネルギーとして活用できるだけでなく木材やバイオプラスチックといった素材として活用することが可能である。もちろんバイオマスはエネルギーや素材としての役割以外に食糧という役割を担っているし、森や山という自然空間の姿を借りて空気と水と心と体を浄化してくれる。人類の存続のための基礎単位としてふさわしいものである。

1.3　バイオマスと他の再生可能エネルギーの併用によるエネルギー保障

持続可能な社会システムのベースはバイオマスであると考えるが、増え続ける人類が現在の生活レベルを維持するために必要とするエネルギーをバイオマスだけで賄うことは不可能である。全人類が必要とする莫大なエネルギー需要を満たすには、バイオマスを中心としながらも多くの再生可能エネルギーを併用することが必要である。

日本が得意としており東日本大震災で再評価された省エネルギー技術を駆使しながら、その上ですべての再生可能エネルギーを組合せてBCNを構築することでエネルギー供給を保障する。バイオマスからの恩恵をカスケード･循環利用するシステムをベースとしてすべての再生可能エネルギーを併用するシステムのイメージを図1.3-1に示す。

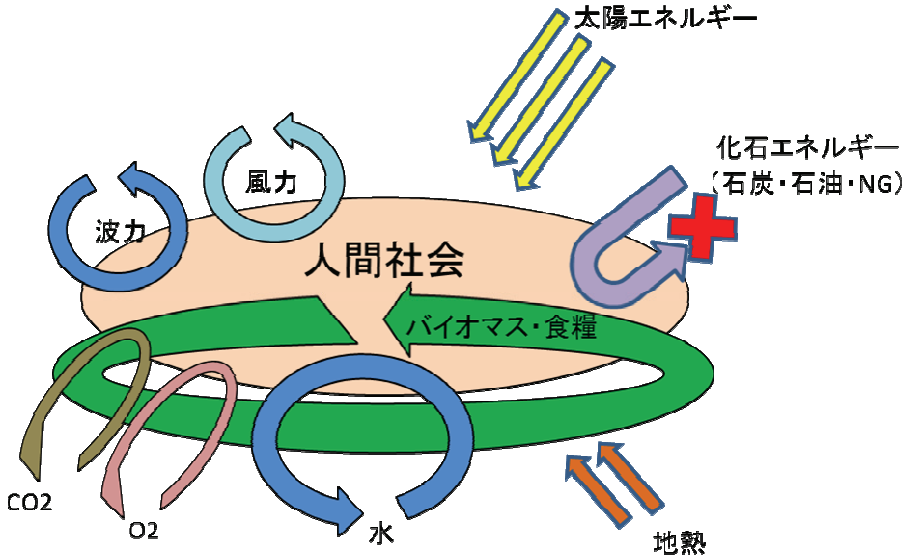


図1.3-1 再生可能エネルギーの併用システムイメージ

1.4　バイオマスのカスケード利用による炭素固定と循環型社会システム

バイオマスはカスケード（順次）利用することによってその資源価値を向上することができ、またCO_2固定能力を向上することができる。BCNではバイオマスをカスケード利用しながら、さらに循環利用することをシステムの考え方の基本としており、これについては第2章で述べることとする。ここではどのようなことをカスケード利用と捉えているかについて理解するためにカスケード利用の一例を図1.4-1に示す。

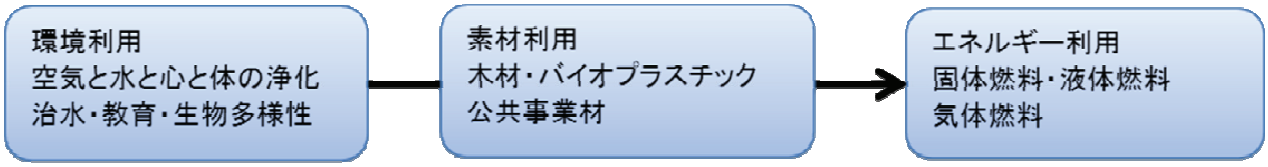


図1.4-1 バイオマスのカスケード利用

バイオマスのカスケード利用ははじめに環境利用により環境の4機能という恩恵を享受し、つぎに素材利用によって石油などに頼らない文化を築き、そしてエネルギー利用することにより生活を豊かにすると同時にバイオマスを地球に戻すことで炭素固定と循環利用を実現させる。

1.5　持続可能な社会における価値と経済

人類の歴史においてそもそも貨幣･紙幣（以下貨幣と記す）とは機能や価値のバロメーターであった。貨幣そのものは価値をもつものではない。さらに貨幣を滞りなく運用するシステムである金融システムが経済の中心となっている現在のバーチャルな市場経済システムに格差社会を増幅する原因がある。O_2 や CO_2、水などの自然の恩恵、環境の 4 機能に価値があり道具や機械に価値がある。またこれらを人のために役立てるシステム、技術、物、働き、人の活動に本当の価値がある。真に価値のあるものの正当な価値を持続するためのコストまでを含めて評価し、この価値あるものを整然と持続できる社会システムを構築することが格差を是正し人類に持続的な幸福をもたらすことになると考える。この考え方に従って BCN での資金還流システムを構築する必要がある。

1.6　バイオ･コミュニティ･ネットワーク（BCN）

ここまで述べたように人類はバイオマスの恵みによって生かされている。この恩恵に感謝し畏敬の念を持って自然の維持に努めるべきである。人類が持続可能な社会としてこれから目指すべき社会はバイオマスを基軸とした地球･自然･生物との共生社会である。

バイオマス（生物資源）という地球の恩恵に感謝の念を持つ地域集団同志が連携して社会システムの維持に努める仕組みがBCN（生物恩恵との地域共生の絆社会）である。BCNを昨年度までの研究成果に基づいて説明する。

1.6.1　BCN 構想

図 1.6.1-1 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**図 1.6.1-2** に示すようなイメージをまとめバイオ･コミュニティ･ネットワーク（BCN）とした。

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。BCN は、バイオマス発生の上流の生産製造段階から下流の生活系バイオマスの処理と利活用にまで域内循環のシステムであり、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循環利用することになる。

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。この場合は隣接市町村を巻き込み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で、農畜産系バイオマスは平野を抱えた農村地域で、水産系バイオマスは臨海域で、各々特徴的に多量発生するため域内循環や利活用が困難であり、県内の中核都市での流通･消費を積極的に行う。これにより県内都市部消費者が受益者としてバイオマス処理費用負担やバイオマス資源の整備

に必要なコストを負担するシステムを作りやすくなりシステムが持続可能となる。

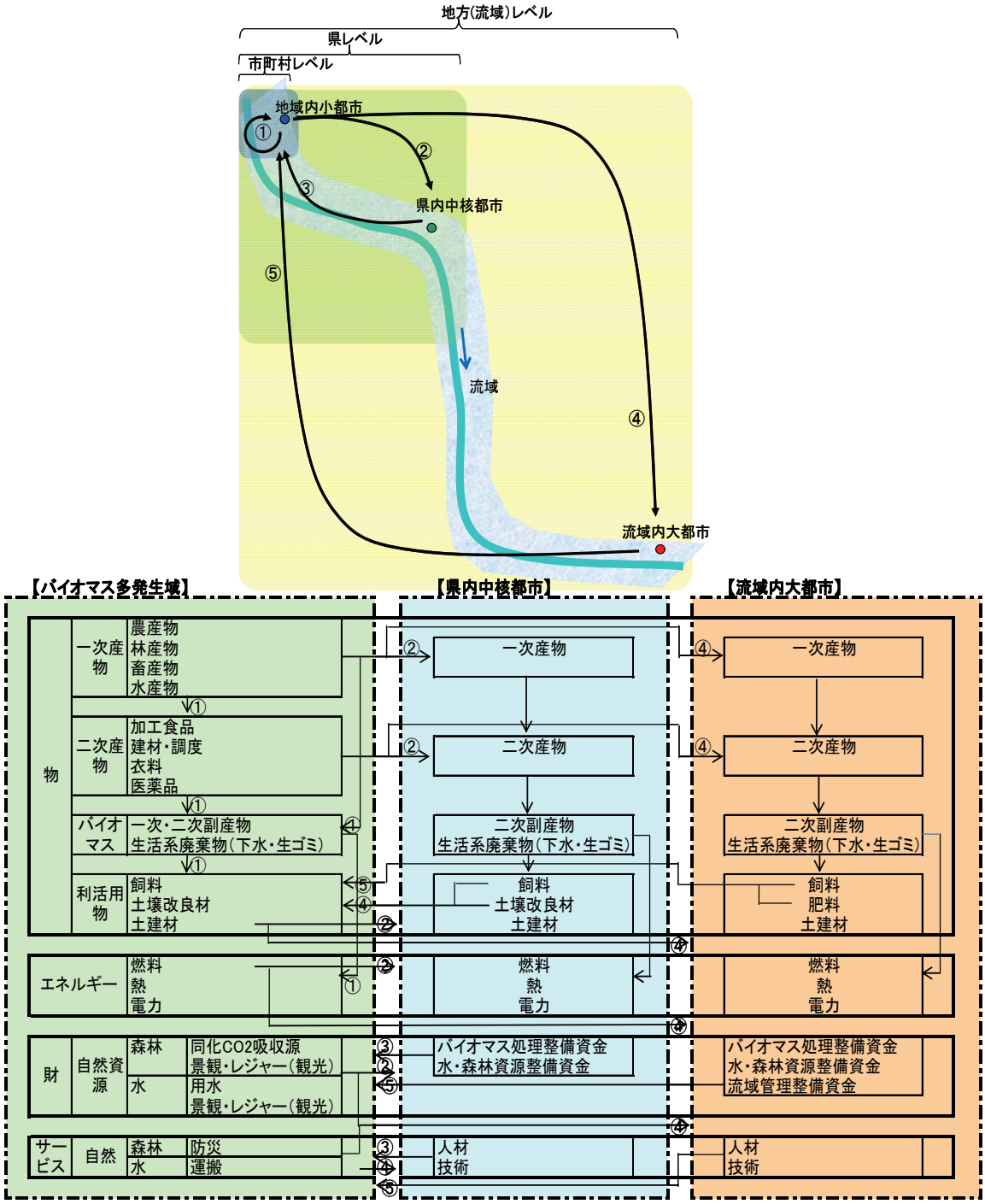


図 1.6.1-1　地域内単位～流域全体におけるバイオマスのネットワーク形成イメージ

出典：H22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

3)　流域内循環

中山間地から臨海部まで県境を越えて大河の流域を形成するような領域を考える。河川水源の整備状態が海産物に影響を与えることから流域の適正な整備・管理を踏まえた

バイオマス循環システムを構築し、受益者となる臨海部大都市の消費者も含めた流域整備に関わる資金還流システムを形成し、「水循環基本法」とも連携させる。

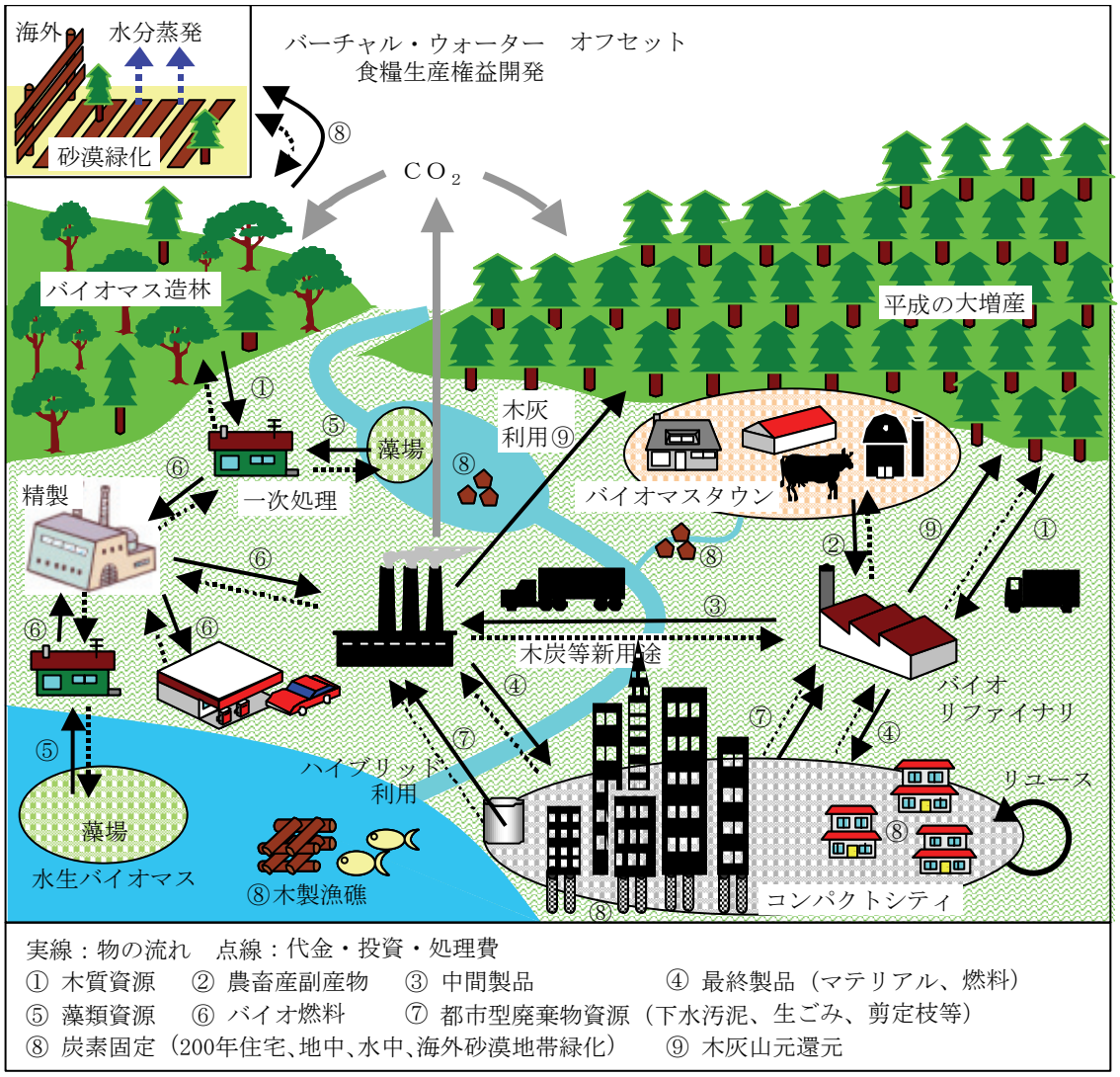


図 1.6.1-2　BCN でのカスケード利用と炭素循環

出典：H22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

1.6.2　BCN を実現するための考え方

BCN の実現に向けて不可欠な資金還流の考え方については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を提案する。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

BCN において下流側に住む人々が資金的に上流を支える考え方のアイデアを示す。

(1)　酸素供給システム支援税（**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支援税（**BCN 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

BCN 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 つの連携制度の構想を示す。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 1.6.2-1** 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 1.6.2-1 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	CO_2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

出典：H22年度低炭素社会･安全安心社会実現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

第２章 バイオマスを利活用する主要な炭素固定化技術の動向

本章ではBCNの中で低炭素システムを実現するための主要な炭素固定化技術について調査した結果を報告する。

BCNにおいて炭素固定はバイオマスのカスケード利用によって実現するとしているが、「環境利用→素材利用→エネルギー利用」の中段に位置する「素材利用」について新しい技術開発が期待されるので、今回は「素材利用」に焦点を絞った。

素材利用の炭素固定化技術として、①開発途上だが有望な「人工光合成」(10年以上）、②実用化段階に入った「バイオリファイナリー」(10年以内）、③普及拡大が期待される「ウッドプラスチック」（2～3年以内）を取り上げ、時系列に沿って段階的に実用化することで確実に炭素を固定する方法として提案する。

2.1 太陽エネルギー利用の一つとしての人工光合成

元上智大学理工学部物理教室の押田勇雄が論文『太陽エネルギーの利用』の中で次のように述べている。「太陽エネルギーを利用することは、現在の科学技術の水準でも十分できるのです。ただし、それは資材も土地もいくらでも提供できるとしての話です。ここに、太陽エネルギーはじめ、自然エネルギーの殆どすべてに通じる問題があります。自然エネルギーは、一般にエネルギー密度が低く、世間的なことばを使えば、これをいかに採算に合う手段でとり出すことができるかということがいわれます」。この論文から37年ほど経過しているが、当時は一度目のオイルショックを発端としたエネルギー危機が叫ばれた時期であり、今回は原発事故に伴うエネルギー問題が日本国内を駆け巡っている現状でもある。押田の考え方、予測などは今日でもまったく色褪せず、反対に今まさにさらなる『太陽エネルギーの利用』、あるいは自然エネルギーの利用の時代(時期)に来ていることをうかがわせる。

この太陽エネルギーの利用に関する海外の研究開発を遡ると、1954年にアメリカのベル研究所でシリコンを用いて光から直接電気を取り出すことに成功したのをきっかけにアメリカでは本格的な研究開発が進められていた。そのときのシリコン系太陽電池のエネルギー変換効率は6%程度であった。その後各国で研究が盛んになった時期もあったが、次第に高効率を求める研究開発は下火となった。

しかし、昨今太陽電池開発に関しては、再生可能エネルギー源としての観点から再び目が向けられてきておりその後の進展も目覚しく、半導体の材料で大分類すると、シリコン系では20.0～24.5%、化合物半導体系で16.7～41.6%、化学系で7.9～11.2%の変換効率とそれぞれ上昇している。このように『太陽エネルギーの利用』技術の一つである太陽電池については着実に研究開発が行われ、さらには実用化が進んでいる。

一方、自然界において『太陽エネルギーの利用』を巧みに行っているのが生物であるところの“植物”である。植物は土壌からの水と無機塩類と大気中のCO_2と太陽エネルギーを捕捉し、それを化学エネルギーに変換し糖や他の有機分子に蓄える。この変換過程を光合成(photosynthesis)という。光合成は藻類（コンブ）やその他の原生生物（ミドリムシ）、そしてある種の原核生物（シアノバクテリアなどの光合成細菌）においても行われ

る。この光合成には2つの複雑で精巧な反応過程があり、太陽エネルギーを捕集し化学エネルギーに変換する明反応(light reaction)と、その化学エネルギーを使って食物、つまり有機分子を合成するカルビン回路(Calvin cycle)（光が関与しないので暗反応dark reactionともよばれる）から成り立っている。このように生物界で普遍的に行われている光合成の反応過程を応用し、電力生産となる水素の回収ならびにCO_2固定による有用物質の生産など高エネルギー物質を獲得･貯蔵しようとの試みから、人工光合成(artificial photosynthesis)という技術に近年特に注目が集められてきている。

そこで、光合成の原理を含め、現時点における太陽エネルギー利用技術の一つとなる人工光合成の研究開発について以下にまとめた。

2.1.1 植物の光合成と人工光合成

1) 植物における光合成のメカニズム

キャンベル生物学（2007年改訂7版）を基に植物の光合成反応について述べる。緑色の茎や未熟な果実も含め、植物のすべての緑色部分には葉緑体chloroplastが存在するが、大部分の植物において葉が光合成のおもな場である。葉の色は葉緑体内部に存在する緑色色素のクロロフィルchlorophyllに由来する。葉緑体で有機分子の合成を駆動するのがクロロフィルによって吸収された太陽エネルギーである。CO_2は気孔stomataという微細な孔を通って葉の内部に入り、O_2もそこから出ていく。根で吸収された水は葉脈を通って葉に運ばれる。葉は糖を根や植物体の他の非光合成器官に搬出する場合も葉脈を利用する。光の存在下で植物の緑色の部分はCO_2と水から有機化合物とO_2をつくる。このような光合成の全体の反応式は1800年代には知られていた。

$$6CO_2 + 12H_2O + \text{光エネルギー} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

しかし、次第に光合成の研究が進むにつれてその反応系は非常に複雑であることが判明し、いくつかの反応段階はいまなお完全には解き明かされていない。

その光合成の複雑なメカニズムについて改めて説明すると次のようになる。光合成は前述のように大きく二つの反応系に分けて理解される。植物の場合を例に、一つは太陽エネルギーを利用した明反応、もう一つはその結果得られた高エネルギー物質を利用した糖の合成（暗反応）である。**図2.1.1-1**に光合成反応の概略図を示す。明反応は光化学系Ⅰ（photosystem Ⅰ；PSⅠ）および光学系Ⅱ（photosystem Ⅱ；PS Ⅱ）とよばれる二つの光化学反応系の協調により機能しており、葉緑体の中のチラコイド膜thylakoid membraneで行われる。この明反応は光のエネルギーを電池の起電力（生化学的にはNADPHとATPを合成）として蓄える。後段の暗反応は明反応で得たエネルギー源を利用し、大気中のCO_2を原料とした炭水化物の合成を行う。暗反応であるカルビン回路は葉緑体の中のストロマstromaで行われる。

チラコイド膜で行われる光化学反応（明反応）は光エネルギーを捕捉しNADPHとATPを合成するが、**図2.1.1-2**に示すような電子の流れがある。この電子は電子伝達系を移動するが、この一連の電子の流れをエネルギー勾配で表したのがZ機構（Z-scheme）とよばれるメカニズムであり、人工光合成の機能に対する考え方において植物の光合成過程を模倣するという点で重要な反応となっている。

このように光合成は大別すると太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する明反応の「エネルギー変換反応」の過程と、固定されたエネルギーを用いる暗反応の「生合成反応（有機化合物合成）／CO_2固定化」の過程に分けられる。

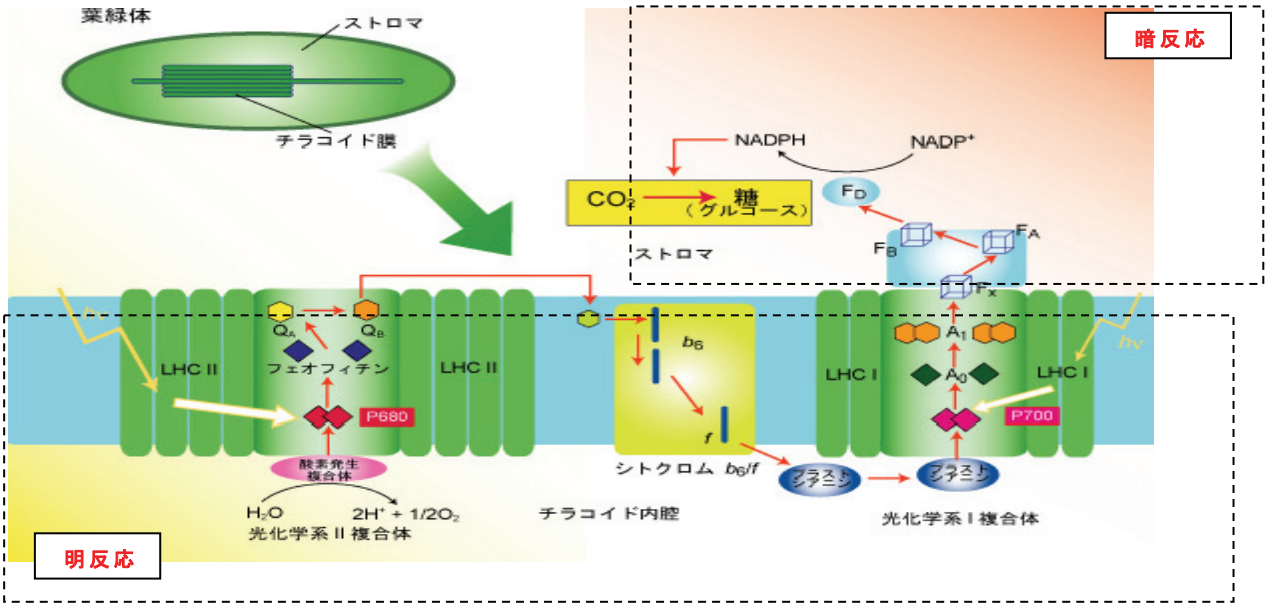


図2.1.1-1　植物における光合成反応の概略図

（出典：東京大学生産技術研究所webサイトより）

なお、光合成研究の歴史については、「光合成の科学（東京大学光合成教育研究会編）」やフリー百科事典「ウィキペディア」などに詳しい解説と年表が掲載されている。

以上、このような明反応における太陽エネルギーを捕捉し化学エネルギーへの変換という過程は太陽電池の原理の観点からすると、太陽電池という装置の中にあたかも葉緑体を内蔵しているかのような物理的･生化学的な現象であることが理解される。植物は4億5000万年（起源については諸説あり）も前から太陽電池的なメカニズムを含んだ生体の営みを巧みに行っている。

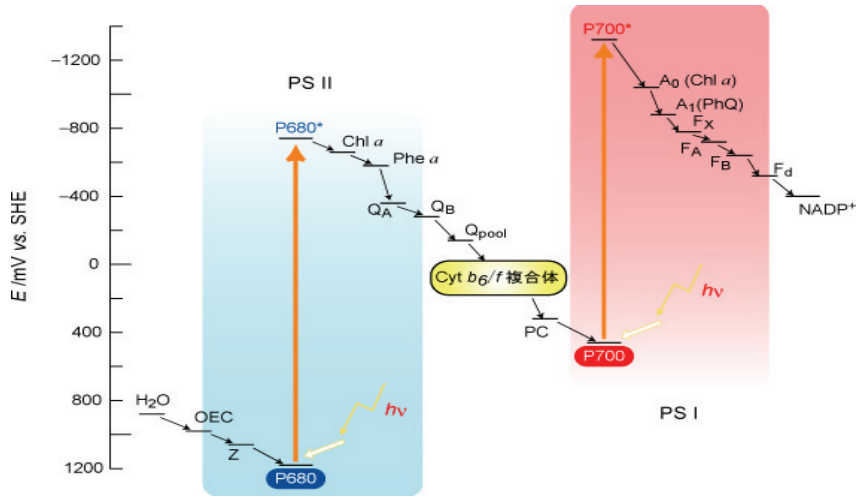


図2.1.1-2　明反応におけるZ-機構(Z-scheme)の概略図

（出典：東京大学生産技術研究所webサイトより）

2) 人工光合成

人工光合成の歴史を見ると、福住俊一らの「人工光合成と有機系太陽電池―最新の技術とその研究開発」にその詳細が記載されている。簡単に歴史を追っていくと「1920年代にはとにかく二酸化炭素と水にしゃにむに光をあてて何かできないかという試みがなされた。1950年代になると、自然界における光合成システムに人工的に手を加える研究が行われるようになった。また、1956年には光合成の理論的基盤となる電子移動論がRudolph A. Marcusによって発表された。それ以降、光合成の基本的な素反応である電子移動過程に対する理解が飛躍的に進むようになった」とある。このように光合成の仕組みがこの100年の間に次々と解明されていくとともに、人工光合成に関する研究も着実に進歩してきた。しかし人工光合成そして太陽電池などにおける『太陽エネルギーの利用』研究の歩みをみると、それぞれ別の経過(道)を辿って発展してきている状況にある。

2.1.2 人工光合成に対する日本国内の技術動向と現状

植物が行っているすべての光合成反応を完璧に模倣し、それを人工的に光合成システムとして構築･再現することによって化学エネルギーの獲得･貯蔵が可能ならば、人工光合成は太陽エネルギー利用技術の一つとして非常に期待がもたれる。しかし、現時点ではそれは実現していない。このような状況の中、光合成過程の一部だけでも自然を真似ようと明反応における可視光領域の太陽光を人工的に化学エネルギーに変換すること、つまり高エネルギー物質の生産～水素製造、あるいはCO_2固定化による有用物質の生産～有機分子の合成などを目指した研究開発が盛んに進められてきている。そこで、日本国内における人工光合成の研究内容、現状および将来の展望などについて以下に解説する。

東京大学院工学系研究科の堂免一成によると水からH_2とO_2を取り出す方法は、次に大きく三つに分類されるとしている。

①太陽電池と電気分解を組み合わせた方法

・水電解水素ステーションのパイロットプラントはいくつか建設されていて、現時点でもっとも現実的な方法

②光電気化学電池による方法

・日本では今ではセルフクリーニングなどとして知られている二酸化チタンTiO_2を用いた方法が最初の研究である。この材料の用途に関する研究は欧州では1900年代より行われていたが、ほとんど注目されなかった。その後、本多-藤嶋効果として光触媒の研究分野では有名な発見となった現象であるが、二酸化チタンの電極に紫外線照射したところその電極にO_2が発生し、一方の金属電極となる白金にH_2が発生するのを観察したことが光触媒研究の一歩となった。しかし、二酸化チタンによるH_2製造技術として脚光を浴びたもののH_2の回収効率が低かったこともあり、光触媒の実用化研究は次第に低迷していった。それに変わって二酸化チタンが持つその他の機能として、上述にあるセルフクリーニング、空気清浄あるいは抗菌などの応用研究開発へと分岐していった経緯がある。

③人工光合成（光触媒）型の水の分解による方法

・この中にはさらに無機固体材料、金属錯体、有機物、あるいはバイオ材料を用い

るなどの方法に分けている。

・光合成の太陽エネルギー変換効率は35%である。一方の人工光合成では2007年当時でまだ1%を超えていない。

上述のように水の分解方法は大別すると三つに分類されているが、ここでは本題となる④人工光合成（光触媒）型の水の分解による方法を中心に以下に説明する。

1) 光触媒を用いた水の分解方法

本多-藤嶋効果では光としては紫外線領域を用いた現象であったが、降り注ぐ太陽光のうち約3%しか利用きないという効率の悪さから可視光領域でも使える光触媒材料への研究開発に視点が現在向けられている。

(1) 無機固体材料による光触媒を用いる方法

この分野では前述した堂免らが先端的な研究を進めており、非酸化物系の材料で可視光により水を分解するような安定した材料として、遷移金属イオンを含むナイトライド（窒化物）系、オキシナイトライド（酸窒化物）系、オキシサルファイド（酸硫化物）系などの材料を発見した。例えば、タンタルナイトライドTa_3N_5、タンタルオキシナイトライドTaON、ペロブスカイト型酸窒化物$LaTiO_2N$、オキシサルファイド$Sm_2Ti_2S_2O_5$などである。水の分解の量子収率は2007年当時で5.9%であったが、その後半年程度で量子収率10%を可能と目標を立てた。また、これらの光触媒として開発された材料から光電気化学電池や太陽電池への応用も考えられる。

(2) 光触媒･電解ハイブリッドシステムによる水の分解方法

産業技術総合研究所エネルギー技術部門太陽光エネルギー変換グループ長の佐山和弘は光合成反応の中の明反応（Z-scheme：２段階励起方式）をヒントに、酸化タングステンWO_3とドープ型チタン酸ストロンチウム$SrTiO_3$という2つの光触媒を使い、酸化還元反応を安定的に繰り返させるレドックス媒体としてヨウ素を活用することで、2001年に世界初の可視光による水の完全分解に成功した。さらに効率を上げるために光触媒･電解ハイブリッドシステムを開発した。このシステムでは光触媒の酸化タングステンとレドックス媒体の鉄3価イオンを用い、鉄3価イオンが鉄2価イオンに還元しながら水から酸素を作り出す。次に鉄2価イオンを鉄3価イオンに再酸化しながら、電気分解（電解）を施して水からH_2を作り出すというシステムである。通常水を分解し、H_2を発生させるには1.8Vほどの電圧が必要になるが、このシステムだと0.8V程度で泡を発生させられる。このシステムでは量子収率は19%、太陽エネルギー変換効率は0.3%に達したとしている。

(3) 赤外光線領域（450～1100nm）に適用可能な材料による水の分解方法

地球に降り注ぐ太陽エネルギーの40%以上は波長800nm以上の赤外光で占められている、この赤外光を有効に光電変換する太陽電池の開発の中で、金ナノロッド構造体を用いた光電変換システムについて北海道大学電子研の三澤弘明が日本化学会第91春季大会において発表した。

(4) 色素増感型太陽電池による研究開発

色素増感型太陽電池は、1971年に発表されたクロロフィル(葉緑素)を被覆した酸化亜鉛をヒドロキノンを含む電解液に浸漬した光増感太陽電池が最初の研究と言われる。当初の変換効率は0.1%程度と極めて低かった。その後、1991年にスイスのロザ

ンヌ工科大学のMichael Grätzelにより開発された7%を超える光電変換効率を実現した色素増感型太陽電池を契機に全世界で研究が活発化している。発明者であるGrätzelの名をとってグレッツェル電池ともよばれている。そして、先ごろ物質･材料研究機構NIMSからこの色素増感型太陽電池の開発で、世界最高効率（11.4%）を5年ぶりに更新したとの発表がされた（2011年8月26日付）。

このように色素増感型太陽電池開発への取掛かりは植物の持つクロロフィルの機能を模倣することにあった。そして、色素増感型太陽電池は基本的な原理は太陽電池に属する技術であることには変わりなく、光電変換反応に酸化･還元反応が関与している光化学電池である。このことからも将来的には色素増感型太陽電池も人工光合成に組み込まれる技術としてさらに進化するものと考えられる。

なお、色素増感型太陽電池の大きな特徴の一つは色や形状の自由度が高いことである。利用する色素としてシアン、マゼンダ、黄色の三原色を利用し、赤や緑、青などさまざまな色の電池が加工可能である。形状が四角いシリコン系太陽電池と比べ自由な形状に切り抜いた電池を作れることも色素増感型の利点である。プラスチック基板を使えば曲がる電池も実現できるので軽量化が可能などいろいろなメリットを有している。

2) 光触媒以外の媒体を用いた水の分解方法

金属錯体による水の分解方法について述べる。ここでは金属錯体(色素)は、以前均一系光触媒と言っていた時期もあったということであるが、光触媒以外の人工光合成研究の一つとして紹介する。

首都大学東京戦略研究センターの井上晴夫は金属錯体による発電（H_2生産など）と同時に有用物質の生産ができる新規人工光合成太陽電池の開発を進めている。自然界では光合成により水の4電子酸化による酸素の発生が行われているが、井上らは金属錯体では人工的にその機能を作り出すのは非常に難しいことを推察した。そこで発想を変え1光子による水の２電子酸化について研究を進める中で、特別の金属錯体に可視光を当てると水分子から電子を取ることができることを発見した。このように金属錯体を用いることで水を電子源とするCO_2の光還元系、そして人工光合成系を構築しようとの大目標を立てている。なお、詳細は戦略的創造研究推進事業発展研究SORST研究終了報告書を参照されたい。

以上のように人工光合成に対する研究開発を行っていく上でさまざまな技術のあることが判明した。そして、光合成のメカニズムを模倣して人工光合成を構築するということは、押田が論文で述べた「つまり光を他のエネルギーに変えるのは量子的効果でありますから、新しい物理学に属するのでこれはまだ進歩の余地がある」ということであり、光触媒の原理に通じ半導体の原理にも通じ、これらの原理を総合的に応用･展開するということに他ならないのである。まさに多くの光触媒は半導体である。

2.1.3 人工光合成に対する海外の技術動向

①光合成の学理、②生体･有機系の人工光合成、③錯体系の人工光合成、④半導体系の人工光合成の各分野において、日本は世界を先導してきた実績を有している。つまり日本人研究者による個々の学問的な功績は多大なものであるが、その半面研究成果をどのよう

に活用するかなどまとまりがなくバラバラな状況であると言わざるを得ない。そこでこのような状況を打破することを念頭に首都大学東京の井上らは2012年4月にはリーディングサイエンティスト、若手研究者、科学技術政策決定者、企業などの参加を募り、人工光合成フォーラムを開催することを計画している。これが日本における人工光合成研究のさらなる一歩となることを期待したい。なお、一昨年にノーベル化学賞を受賞したデューク大学の根岸英一の発案で、人工光合成に関する国家プロジェクトが始動するが、日本の叡智を結集した国家指導のより大きな人工光合成プロジェクトが早急に実施されることを切望する。

それに対して海外の国々では一足早く大きなプロジェクトが次々と動き出している。このような諸外国の状況に接すると、日本でもある程度予算を捻出してはいるが国家的体制作りはまったく遅れており、今後タイミングを逸すると大変なことになると危惧されている。

以下に主な諸外国が行っている人工光合成に対する政策について紹介する。

1) 米国

Energy Innovation Hubのひとつとして2011年6月に人工光合成ジョイントセンター北Joint Center for Artificial Photosynthesis-North：JCAP-北がオープンし、所長Peidong Yangが「われわれは今日ここで、人工光合成にとって画期的な出来事を祝おうとしている」と挨拶した。そして、このJCAP-北と姉妹施設のJCAP-南(カリフォルニア州パサディナ)は、米エネルギー省（Department of Energy：DOE）から5年間で1億2200万ドル(約99億円)の資金提供を受ける。両施設のミッションは緑色植物が太陽エネルギーを糖分に変換するプロセスをモデル化した太陽･燃料変換技術の開発で、地球に豊富にある安価な原料を使用し、10倍の効率で変換を行うことができる変換技術の開発である。

技術開発ロードマップとして2013年時には太陽エネルギー変換効率で8%、1000時間の耐久性を保持することを目標に、2018年時には太陽エネルギー変換効率で10%、5000時間の耐久性を目指す計画としている。

直接人工光合成とは関係ないが、同じく2011年DOEが革新的な太陽電池用のシリコンの生産プロセスの商業化に向けて2億7,500万ドル(223億円)の融資保障を行うなど、太陽エネルギー技術を使った種々のプロジェクトが急速に進められている状況にある。

2) 欧州

NanoPECユーロプロジェクトすなわち第7次枠組み計画FP7が3年間の計画で2009年1月よりポルトガル、イタリア、イスラエル、ノルウェー、スイス、オランダそしてポーランドの7カ国の参加で進められている。研究内容は半導体光電極のナノ構造を精密制御することで水分解太陽エネルギー変換効率の向上、2015年までに光電極の太陽-水素エネルギー変換効率で10%、5000時間の耐久性などを目指す計画である。

(独)化学技術振興機構研究開発戦略センター CRDSのナノテクノロジー･材料分野科学技術･研究開発の国際比較2011年版によると、欧州の研究水準は水素発生については、酸化物半導体光電極では潜在的に高い研究能力を持ち、ドイツのフラウンホーファー研究所が有名である。金属錯体による人工光合成では歴史的には英国での研究が先行していたが近年スウェーデンなどのEUの枠内で研究が活発化している。また、ソーラー水

素生産に関する研究がGrätzelらを中心に行われている。

3) 韓国

韓国教育科学技術部(MEST予算)により2つのプロジェクト、1つは21thフロンティアプログラム(2003～2013年、総額約80億円の一部)と、もう1つはKorean Center for Artificial Photosynthesis (KCAP)が開所され、国内で選ばれた15人の教授陣によって2010年から10年計画で人工光合成の大型プロジェクト（5億円／年、5年）が立ち上げられた。中国同様、小さなきっかけで研究開発が加速する可能性がある。水素発生の研究をしている研究者は少ない。

4) 中国

研究水準をみると、水素発生では2009年度より人工光合成に関する大きなプロジェクトが大連化学物理研究所のCan Liを中心にスタートし、国際会議を活発に主催している。今後急速に進展すると考えられる。技術開発水準では日本の技術を導入しレベルは向上しているが、日本と比較して水素発生の研究者も少なく技術の大幅な進展は見られない。ただし、材料開発は小さなきっかけで加速する可能性があるので、日本にとって潜在的に脅威はある。

つい最近、マサチューセッツ工科大学(MIT)の研究チームが水と太陽光からH_2とO_2の気泡を生成する人工葉っぱartificial leafとよぶべきデバイスを開発したという記事を検索した。2011年3月にこの話題が上り、その後9月末に雑誌scienceにこの記事が掲載された。これによるとこの葉は半導体のシリコンで表面にコバルト製の特殊な触媒が塗布され、裏面はニッケル、モリブデン、亜鉛の合金でできている。これに太陽光を当てるとシリコン内に電流が流れ、片面からO_2、もう一方からH_2の気泡が発生することを確認したという情報が得られた。人工葉が太陽光から水素を生成する変換効率は4.7%と、太陽電池に比べるとまだまだ低い数値ではある。

さらに日本の情報ではトヨタグループの豊田中央研究所が2011年10月20日太陽エネルギーを利用し、水とCO_2のみを原料にして有機物を合成する人工光合成の実証に世界で始めて成功したと発表したサイトを見つけた。これによると、研究チームが開発した技術は半導体と金属錯体から構成される新しいコンセプトのCO_2還元光触媒ならびに水を酸化分解し電子を抽出する光触媒をプロトン交換膜を介して組み合わせることで、太陽光を利用し有機物であるギ酸の合成を可能にしたというものである。従来の研究では水とCO_2と太陽光だけで有機物合成することは困難とされていたがさらなる前進となる画期的な研究が成されたことになる。

2.1.4 人工光合成のまとめ

人工光合成について整理してきている時点で、MITの人工葉でH_2とO_2が発生したとの発表、豊田中央研究所で太陽エネルギーと水とCO_2という基本的な材料でギ酸を合成したとの発表があるなど新しい研究成果が次々と出現している。現在作成している本調査報告書の内容もすぐに陳腐な資料となってしまうほどの勢いである。上述のCRDSの資料でも「太陽光による水素発生は日本独自の技術であり、粉体薄膜系光触媒で長年の蓄積があって、特に光触媒材料開発では圧倒的な強さを誇るが、近年欧米、中国において光触媒や人

工光合成に関する大きな研究プロジェクトがいくつも動き始めており予断を許さない状態にある」というように、海外の技術動向からその戦略を見渡すと非常に脅威である。現場の日本人研究者はその危うさを認識しており、例えば首都大学東京の井上らが人工光合成フォーラムを行うなど動き始めた。各研究者の立場からすると太陽電池、光触媒および人工光合成のそれぞれの原理は微妙に異なることから異論はあろうが、太陽エネルギーを利用した光電変換反応および酸化還元反応という一連の反応系から得られた研究成果を研究者同志持ち寄りまとめることでより良いアイデアが創出されると期待できる。他の研究分野でも同様のことを聞くが、日本の場合研究者間で非常に排他的傾向がみられるようである。このような日本の環境下ではあるが人工光合成の技術が再生可能エネルギーの一つとして実現することを切望する。

最後に、理研精神八十八（2005年3月発行）に次のようなエピソードが載っているので一部抜粋する。『ところで、父フレデリックの原子力委員長時代の演説に有名な一説がある。「私は、原子力平和利用の未来を信じる。しかし、人類が真に尽きることのないエネルギー源を手に入れるのは、植物の光合成と同様の人工システムを開発したときであろう」と。　・・・フレデリック･ジョリオは、人工放射性同位元素研究の父であったが、同時に、光合成太陽エネルギーの研究の先覚者でもあった。』

上述の父フレデリックは1935年にノーベル化学賞を受賞したフレデリック･ジョリオ･キュリーであり、1903年ノーベル物理賞、1911年化学賞のマリー･キュリー夫人の娘婿である。

2.2　バイオリファイナリー

本節はBCNの中でカスケード利用の中段に位置する素材利用の3段階の技術の一つバイオリファイナリー（バイオマスから燃料やプラスチックを生産する技術）について、昨年度の報告書「4.4 炭素循環系としてのバイオリファイナリー」に続いて調査した内容について報告する。

2.2.1　バイオリファイナリープロセスと石油リファイナリープロセス

昨年度の報告で示したバイオリファイナリープロセス（バイオコンビナート）と石油リファイナリープロセス（石油コンビナート）について図2.2.1-1で比較した。

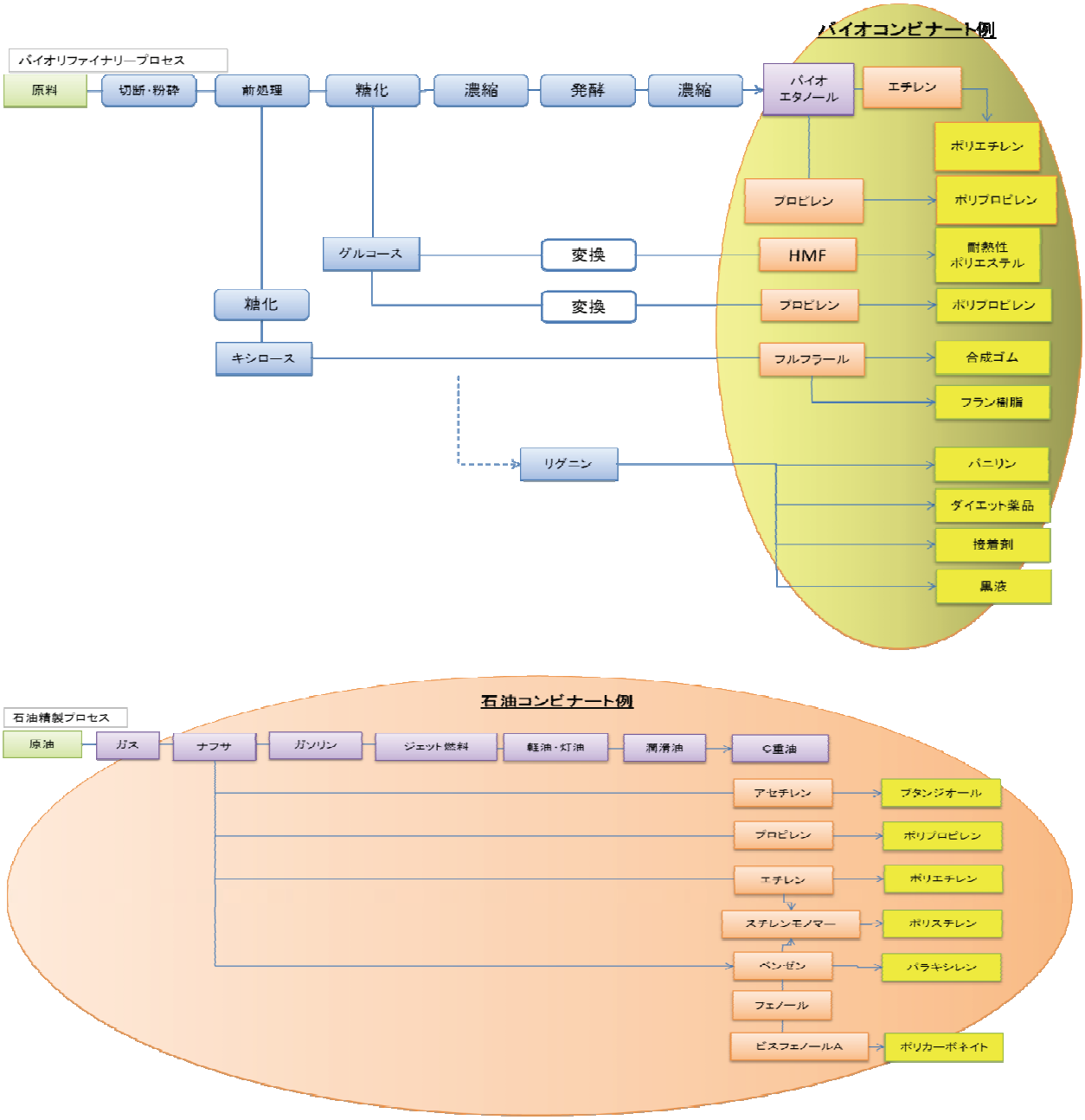


図2.2.1-1 バイオコンビナート例と石油コンビナート例の比較

バイオリファイナリープロセスは原料のバイオマスを糖化することで得られるグルコース（6単糖）やキシロース（5単糖）などを変換して得られた中間体を発酵や重合によって燃料やプラスチックなどの製品に変えるプロセスである。バイオリファイナリープロセスを集めたバイオコンビナートの中の各種の変換プロセスはそれぞれが独立したプロセスであるため、すべてのプロセスが独立したコスト要因となってしまいバイオ製品価格を高いものにしてしまう。

これに対して原料の原油を順次精製すればよい石油コンビナートでは精製過程で得られるすべての中間体を燃料やプラスチック原料として活用することが可能であるため原油掘削コストおよび一連の精製コストをすべての製品で賄えばよい。つまり原油価格が高騰するか原油価格にCO_2回収コストを含めないかぎりバイオコンビナートのコスト競争力は石油コンビナートのコスト競争力には及ばないことになる。

また石油などの炭化水素は数億年の時をかけて濃縮されたバイオマス資源が限られた地域に偏在しているため、少ない労働力で掘削することができる省力型の資源である。これに対してバイオマスは地球上に広く薄く分布する資源であるため多くの労働力を使って栽培･収集しなければならない労働集約型資源でありこのこともバイオリファイナリー製品のコストを上昇させる要因となる。しかしこの特徴によってバイオリファイナリーは新興国において多くの雇用を生みだせる技術となる。さらにバイオリファイナリーは非産油国において安定的にプラスチックを得られるという安全保障上の利益をもたらす技術であり、炭化水素に頼らずにプラスチックを継続供給できるという持続可能な社会システムにも貢献する技術である。

結論としてバイオリファイナリーはコスト高である反面、新興国で新たな雇用を生み出すことで富を再分配する格差是正の技術であり、各国の安全保障や今後の持続可能社会に貢献する技術であるといえる。

2.2.2 バイオリファイナリー市場の需要予測

将来のバイオリファイナリー市場規模を予測するためにバイオ燃料とバイオプラスチックの2つの市場可能性について予測した。

1) 液体燃料（ガソリン）自動車と電気自動車の増加予測

バイオ燃料を最も多く使用する自動車の将来動向からバイオ燃料市場を予測するため、**図2.2.2-1**に世界の自動車数に占める液体燃料車（ガソリン車、エタノール車、ハイブリッド車）と電気自動車の増加傾向の上下限範囲を予測した。

現在9億台あるとされる世界の自動車数は、中国･インド･東南アジアなど中間層がボリュームゾーンとなり中国で4億人、インドで2億人、東南アジアで3億人の購買需要を産みだし順調に増加すると考えた。これらの国々ではエコブランドイメージより低価格と実用性が重視されるためガソリン自動車の普及が進み、先進国で普及する電気自動車数をはるかに凌駕して増加するだろう。新興国においては電気自動車の普及という液体燃料の需要低下は起こらないと予測した。

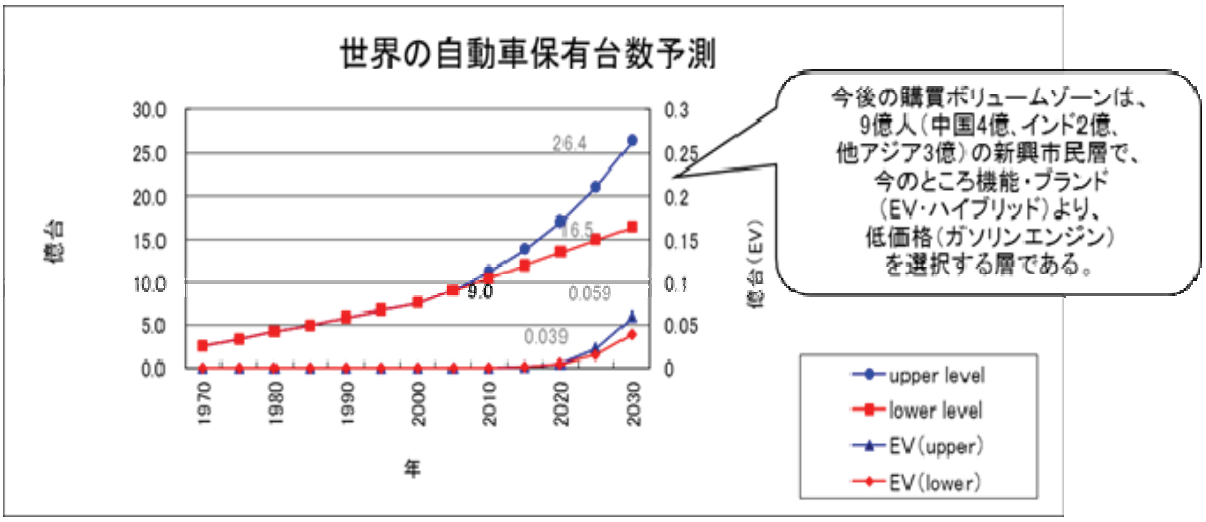


図2.2.2-1 世界の自動車数に占める液体燃料車と電気自動車の増加予測

2) バイオ燃料市場予測

図2.2.2-2に世界の自動車燃料に占めるバイオエタノールの割合とそれを生産するために必要とするプラント数を予測した。

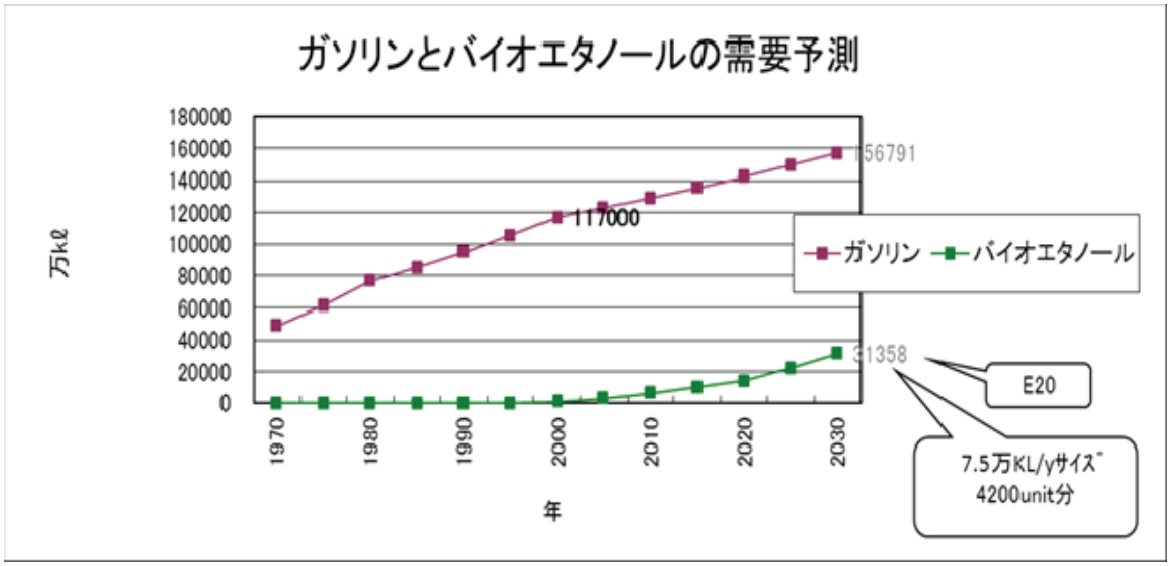


図2.2.2-2 世界の自動車燃料に占めるバイオエタノールの割合とプラント数の予測（当WG推測値：灰色数値により作図）

世界のガソリン使用量は11億7千万kl（2005）であるが今後も右肩上がりで増加するとした。つぎに米国目標値E30（2030）など各国の政策目標を考慮して2030年のバイオエタノール需要割合を20%（E20適用）と仮定して需要量を3億klとした。そして3億klのバイオエタノールを生産するためには年産7.5万kl／年のプラントが4,200個必要であり、これだけのバイオエタノールプラントの建設需要が世界にあるということで日本企業にとっての活躍の場が大きいと予想した。

3)　バイオ化成品（バイオプラスチック）市場予測

図2.2.2-3に世界の化成品市場に占めるバイオ化成品の割合を予測した。

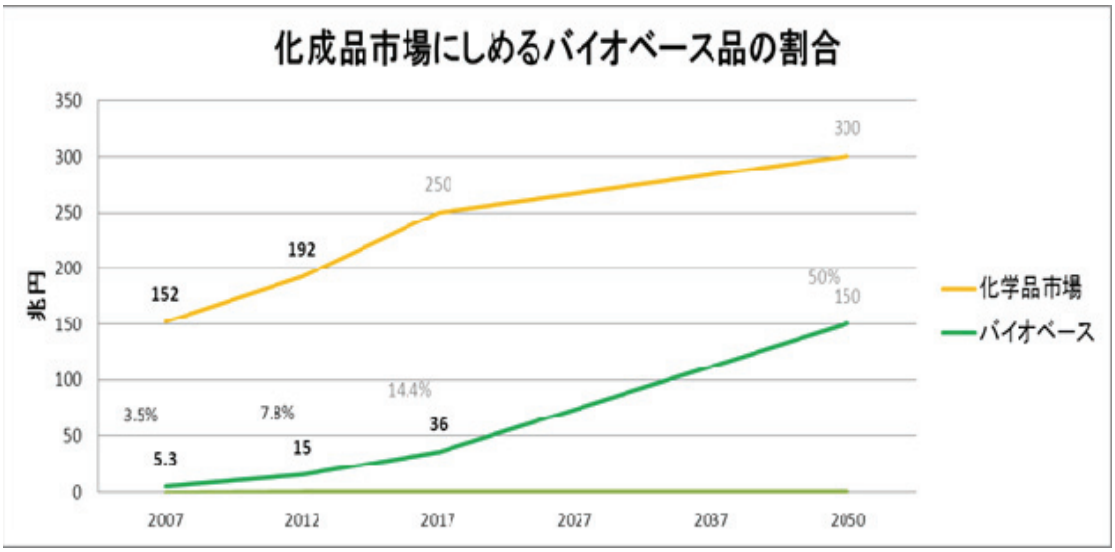


図2.2.2-3 化成品市場に占めるバイオ化成品の割合

出典：神戸大学近藤昭彦教授の講演資料･米国公表資料から当WG推測値：灰色数値により作図

米国の安全保障政策では米国化成品市場に占めるバイオベース品シェアの目標値を2020年に10%とし2050年に50%とするとしている。今後産油国からの化成品原料供給量が増加しにくいと想定できることから世界のバイオベース品の増加傾向を米国目標並と仮定するとバイオ化成品市場は2050年に150兆円になると予測できる。

4)　バイオ化成品原料プラント数予測

図2.2.2-4にバイオ化成品を生産するために必要となるバイオ化成品原料プラント数を予測し、その中に占める日本企業による期待シェアを示した。

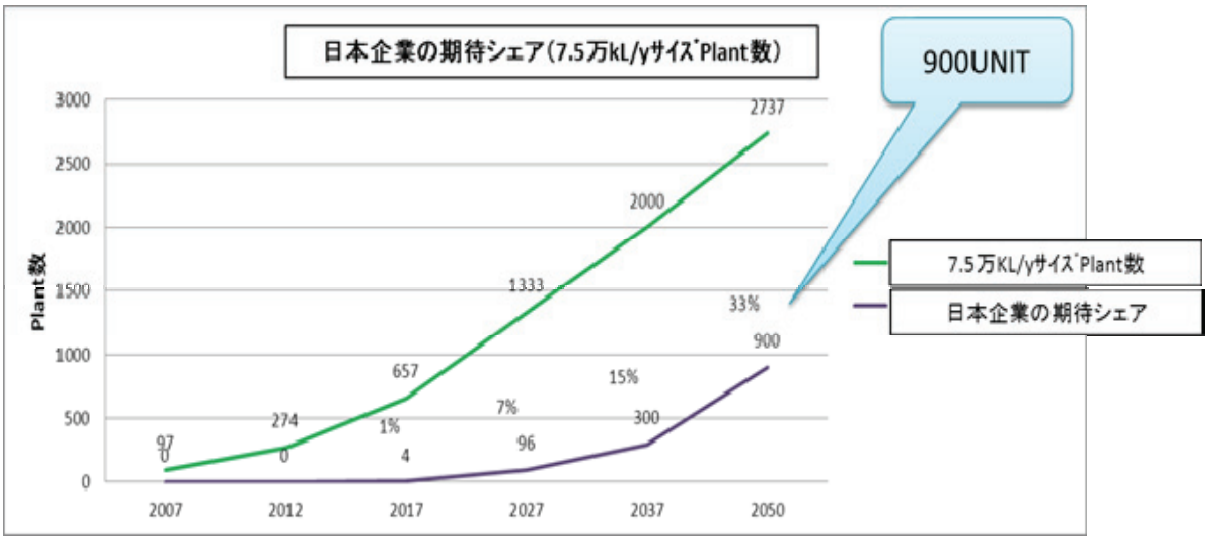


図2.2.2-4　バイオ化成品原料プラント市場に占める
日本企業のシェア予測

バイオ化成品原料生産プラントの規模を7.5万kl／年と仮定すると2050年に必要となるプラント数は2,737プラントであり、このうち33%を日本企業が建設すると仮定すると900プラントの市場シェアが期待できることになる。従来の乳酸等による生分解性プラスチックの生産に加えて豊田商事とブラスケム（ブラジル）によるバイオポリエチレンの生産が始まったことで世界的にバイオプラスチックプラントを建設する気運は高まっており日本企業も参入を促進すべきである。

2.2.3 バイオリファイナリー原料の供給力予測

バイオリファイナリー事業を成立させるための原料供給力について調査した。

バイオマスは、薄く広く分布する資源である。バイオマスを多量に確保するためには広大な土地からあらゆるバイオマスを収集しなければならない。生産コストを無視できる農産廃棄物の供給量と食糧と競合せずに大量生産が可能で高効率に回収できる栽培エネルギー作物の現状について調査した。

1) 農産廃棄物の供給力

表2.2.3-1に農産廃棄物の供給量の一例を示す。

表2.2.3-1 農産廃棄物量の一例

	原料賦存量	エタノール換算(0.2kℓ/t)
インド 稲わら	13000 万t	2600 万kℓ
インド 麦稈	10000 万t	2000 万kℓ
インド さとうきびバガス	16000 万t	3200 万kℓ
ブラジル さとうきびバガス	21000 万t	4200 万kℓ
東南アジア さとうきびバガス	37000 万t	7400 万kℓ
東南アジア 稲わら	24000 万t	4800 万kℓ
東南アジア オイルパームEFB	84000 万t	16800 万kℓ
東南アジア ココナツ殻	49000 万t	9800 万kℓ
東南アジア キャッサバ絞り粕	11000 万t	2200 万kℓ
東南アジア トウモロコシ穂軸	10000 万t	2000 万kℓ
合計	275000 万t	55000 万kℓ

出典：IAFエネルギー総合工学研究所セミナー資料「バイオエタノール国内外の現状と展望」および矢野伸一「アジア地域における農業残差からのエタノール生産に関する研究」（2010年3月）

表2.2.3-1は一部の地域についての農産廃棄物賦存量を示しているにすぎないが世界全体で考えれば農産廃棄物の量は莫大であり、これを安価に回収して活用することが可能な社会システムを構築することができれば多量のバイオリファイナリー原料を確保することが可能となる。

2) 栽培エネルギー作物の供給力

表2.2.3-2に栽培エネルギー作物の例を示す。表に示すような食糧と競合しない2毛作可能な資源作物を大規模に栽培することによってさらに安定的な原料を確保できる。さらにエネルギー作物の大規模栽培は新興国における雇用を大量に確保することになり富の再分配を可能とする。栽培エネルギー作物の開発ではセルロース含有量や連作障害対策が開発の中心であるが、親の性質が子に継承されない世代交配一代品種であるハイ

ブリッド F1種子による利益確保の動きについても注視する必要がある。

表2.2.3-2 栽培エネルギー作物の例

多収量草本	熱帯	ネピアグラス
		サトウキビバガス
	亜熱帯	ギニアグラス
		サトウキビバガス
	温帯	バミューダグラス
		ベレニアルライグラス
		ソルガム
		とうもろこし穂軸
		イネ
		エンバク
		スイッチグラス
		ジャイアントミスカンサス
		エリアンサス
早生広葉樹	亜熱帯	ユーカリ
	温帯	ポプラ
		ヤナギ
		アカシア

出典：バイオ燃料技術革新計画 H20年3月（バイオ燃料技術革新協議会）

2.2.4 バイオリファイナリーのまとめ

バイオリファイナリー技術は石油リファイナリー技術に比較するとコスト高である。これは原油が数億年の時と圧力をかけてバイオマス資源を濃縮したものであるからであり仮に原油価格にCO_2回収コストや持続のための濃縮コストなどを含めたとしたら単純にバイオリファイナリーがコスト高だとは言えなくなる。持続可能社会を前提とした場合バイオリファイナリー技術はコスト高ではなくなる。

さらにバイオリファイナリーはバイオマスが広く薄く分布する特徴から新興国で大量の雇用を生み出すことに貢献できる。このことは富を再分配して格差社会を是正することにつながる。また安全保障上、非産油国の産業や市民生活を安定させることができるし、バイオマスが再生可能資源であり炭素を固定できる資源であることから持続可能社会に貢献する技術である。

2.3 ウッドプラスチック

ウッドプラスチックは木粉とプラスチックを混合溶融し押出成形する素材で**図2.3-1**に示すようにデッキ材等で利用される。WPC(Wood Plastic Composites)あるいは人工木、木粉入り樹脂とも呼ばれる。素材特性は木材と樹脂の中間的な性質を示し、両者の短所を補間し商品価値や経済性で優位性を持つ。ここでは腐りにくくリサイクルが何回も可能という特徴に着目し長期に炭素を固定可能な素材として整理した。

図2.3-1　ウッドプラスチックの利用例（左：家庭デッキ、右：公園ルーバー）

出典：日本木材加工技術協会　木材プラスチック再生複合材普及部会　webサイト

2.3.1　製造方法

ウッドプラスチックの一般的な製造工程を図2.3.1-1に示す。原料は現状では解体材等乾燥した状態の廃木材とプラスチック工場で発生する端材等廃プラ（バージン廃材）を利用することが多い。品質の安定しない容器包装ごみは使われていない。

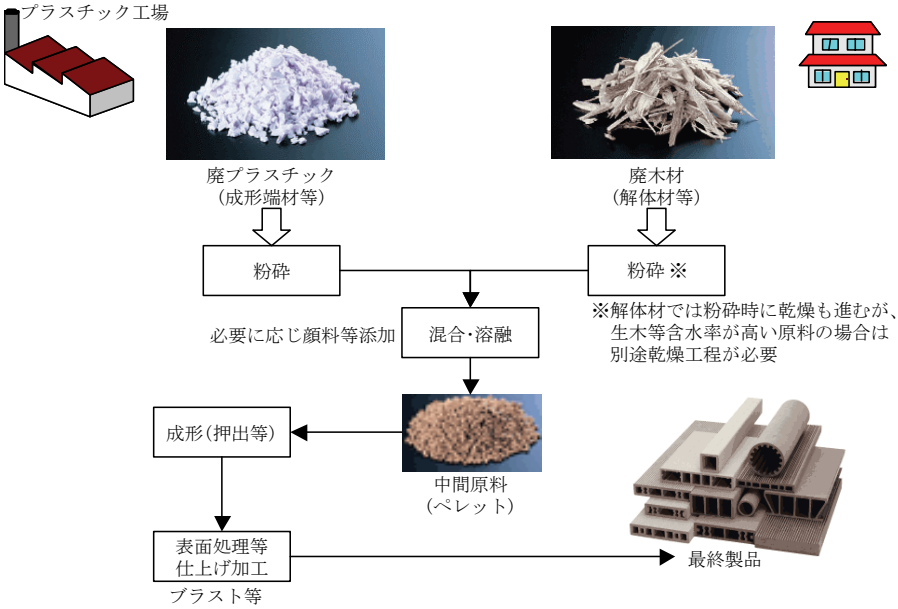


図2.3.1-1　ウッドプラスチックの一般的製造工程

写真出典：エコウッド社webサイト

木質は粉砕した微粉を用いる。微粉の主な品質指標は粒径と含水率で平均粒径は50～200ミクロン程度である。押出成形時の水分蒸発による発泡を防ぐため含水率は微粉段階で5%以下が望ましい。現状では乾いた廃木材を用いるため乾燥が不要だが原料が調達難であり、今後乾燥工程を入れた間伐材利用に移行すると予想される。

プラスチックは主にPP（ポリプロピレン）やPE（ポリエチレン）を用いられる。PPやPEは汎用樹脂で廃材を調達しやすい。また、木質は230度以上で変性するため、樹脂融点は230度以下が要求されこの点でもPPやPEが適する。

粉砕された木質とプラスチックはヒータ加熱により混合溶融され、中間材料のペレットとなる。この混合溶融工程で含水率はほぼ0%になる。混合割合は任意の割合が可能であり、木粉を90%以上利用しているケースもあるが、木粉割合が多いと長期の屋外利用では変質が懸念されるため、一般的な木粉割合は50%前後である。

成形工程は一般に押出成形が行われ、射出成形は開発段階である。成形ノウハウがプラスチック100%の場合と異なるため、経験の積み重ねが重要である。最終工程では表面にブラスト等の加工を行い、木質感を高めるなどの工夫を施して出荷する。

2.3.2 特長

木質とプラスチックの2種類の素材を利用するためウッドプラスチックは両者の特徴を兼ね備える。主な特徴を**表2.3.2-1**に、強度特性を**図2.3.2-1**に示す。

表2.3.2-1 各種素材の主な特徴 （各種資料をもとに作成）

	プラスチック	ウッドプラスチック	木材
質感、風合い	△ 安っぽい	○ 木質に近い	○ 高級感
耐腐食性	○	○ プラスチックが木粉をコーティング	△ 雨に晒されると腐朽 白蟻被害もあり
強度	△ (衝撃強さは優位)	○ 引張､曲げ強度等 (衝撃強さは劣る)	○
寸法安定性	△ 熱安定性に難	○ 比較的安定	△ 吸水/乾燥で変形
加工性	○ 成形加工可 (安価､大量生産)	○ 成形加工可 (安価､大量生産)	△ 切削加工(複雑な形状の大量生産に向かず)
易リサイクル性※	○何回もリサイクル可	○何回もリサイクル可	○カスケード利用可

※リサイクル性：分別が適切な場合。混合回収ではサーマルリサイクルとなる。

ウッドプラスチックは、プラスチック製品と異なる高級な質感を持ちつつ、加工性に富み、かつ腐食しないのが特長である。このため、商業施設や住宅等のデッキ材、公園の擬木等の景観材や外構材として普及しつつある。屋外利用の場合、通常の木材は毎年薬剤やペンキを塗布する防腐対策が必要だが、ウッドプラスチックは不要でメンテナンスコストが少ない。また、リサイクルの容易性に着目し、商品寿命が短いパチンコ台の部品として生産された事例もあり、カスケード利用の点でも優れた技術である。

日本や米国では主に“腐らない木材”として景観材･外構材分野で利用されているが、欧州では“安っぽくないプラスチック”として内装材での利用が進んでいる。今後、日本でも住宅や自動車の内装材、家電筐体等で利用が進むと期待される。

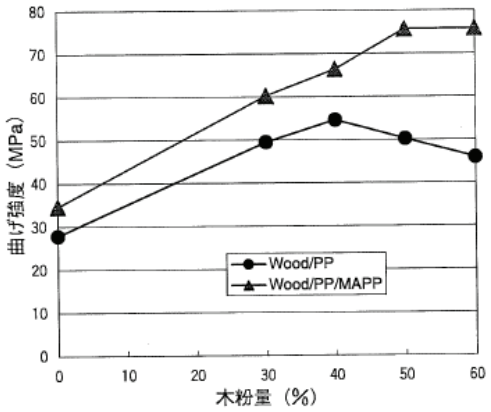


図4　木粉-PP 複合材の木粉割合と曲げ強度性能例[9)]
注）文献9）から作図。MAPP はマレイン酸変成 PP。

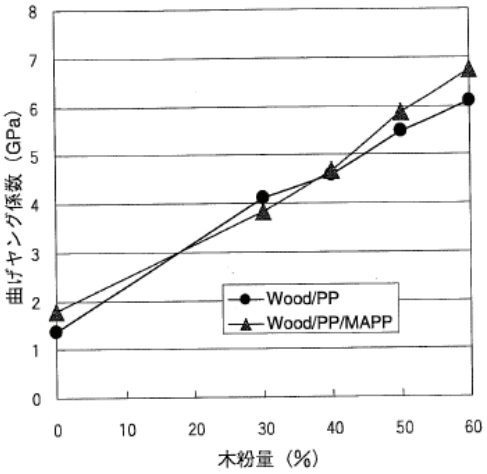


図5　木粉-PP 複合材の木粉割合と曲げ剛性性能例[9)]
注）文献9）から作図

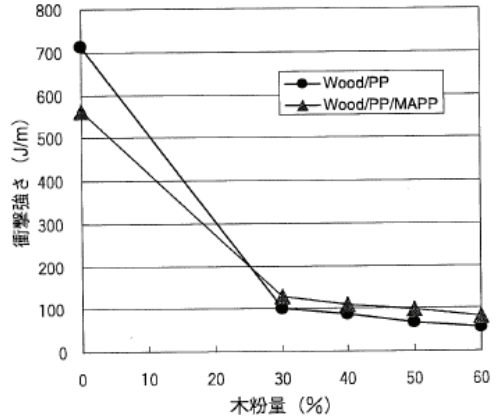


図6　木粉-PP 複合材の木粉割合と衝撃強さ性能例[9)]
注）文献9）から作図

図2.3.2-1　ウッドプラスチックの強度特性

出典：木材保存 Vol.31-5 pp.195

なお、木粉の混合割合によって**図2.3-3**のように強度特性が異なる。繊維の集合体である木材は各種の強度で優れた特性を持ち、一般に木粉の配合比率が高まるほど各種強度は高まる。しかし、衝撃強さは木粉の混合によりプラスチック単体より低下する。

2.3.3　炭素固定機能

ウッドプラスチックは多数回のリサイクルが可能なため長期間に炭素を製品として固定できる。2011年度にウッドプラスチック製品は2.4万t出荷されており、木粉配合率を50%とすると、1.2万t-Cつまり4.4万t-CO_2前後の炭素が毎年新規に固定される。

一方、2010年度のプラスチック製品の国内販売実績は599.7万tであり、フィルム･シートの販売量251.5万tを差し引いた348.2万tが潜在的なウッドプラスチック代替市場である。仮に50%程度にあたる170万tの製品がウッドプラスチックに代替され、木粉配合比が50%とすると85万t-C/年(312万t-CO_2)の炭素が固定される。

更にプラスチックに比べ高強度で木材に比べ腐朽しにくい特長を活かし側溝や電柱などコンクリート製品を代替化できれば、コンクリート生産による排出CO_2を削減可能である。

ちなみにセメント生産の排出原単位はセメント1tあたり約720kgである。

2.3.4　今後の市場性

商業施設等パブリックスペースの木材代替需要が拡大し、**図2.3.4-1**に示すように市場の拡大は堅調である。初期コストは屋外用木材の約150円/kgに対しウッドプラスチックは400円/kg程度と高価である。しかし、ウッドプラスチックはペンキ塗りなど防腐処理が不要でメンテナンスコストが安価なため、トータルコストでは2年でウッドプラスチックが有利とされる。需要家の理解が進めば普及するはずである。

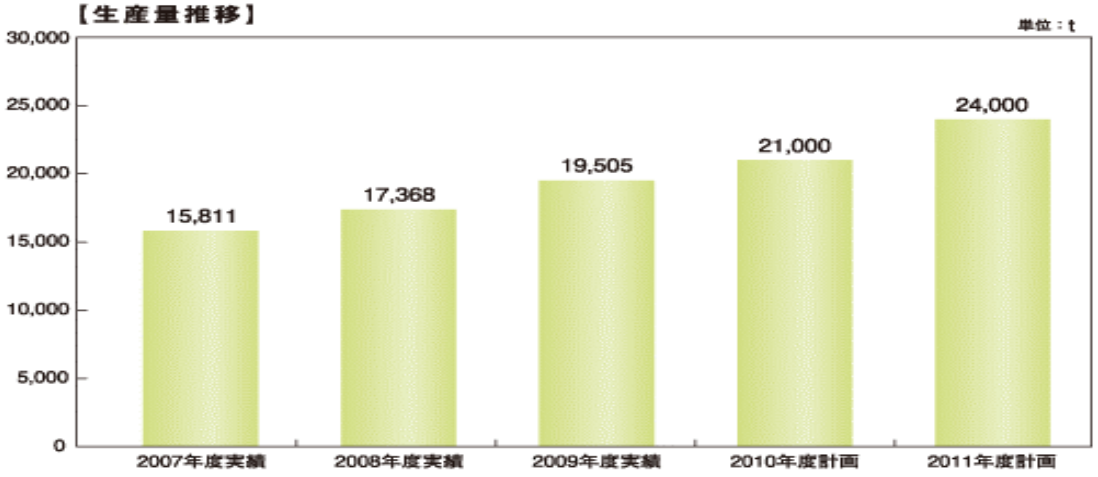


図2.3.4-1　ウッドプラスチック生産量※の推移

※日本建材・住宅設備産業協会加盟９社分のみ（出典：日本建材・住宅設備産業協会 webサイト）

一方、プラスチック代替は経済的メリットが大きいため開発が進めば需要が急速に拡大すると予想される。母材のプラスチック（PPやPE）は数百～数千円/kgと高価だが、木粉は50～100円/kg程度で入手可能で安価な増量材として適用できる。そのうえ、更に高価なガラス繊維や炭素繊維を使うことなく強度を増すことができる。このように経済性の面からも今後の市場の成長が期待できる。

2.3.5　課題と提案

炭素固定機能を持つ新素材として期待が高いが本格的な普及には課題が存在する。まず、バイオマス利用の活発化をうけ木質原料が調達難である。対策として間伐材利用が各地で検討されているが間伐材の購入コストと乾燥コストが課題である。

次に、一般消費者の理解を得ることが課題となっている。商業施設や官公庁等ではトータルコストの理解を得られやすいが、一般消費者はメンテナンスコストの認識が薄く、初期コストの高さが普及の足かせとなっている。

商品特性の面では耐衝撃性に配慮する必要がある。引張強度や曲げ強度が向上しても耐衝撃性が劣るためプラスチック代替では用途に留意が必要である。この欠点を緩和する製造技術あるいは商品開発や用法開発が必要である。

これらを踏まえ、新しい素材産業の確立に向け間伐材利用や耐衝撃性向上の技術開発、間伐材価格の低下、消費者の理解促進、地産地消や国産材優遇策等が必要である。

第３章　BCN構想を高度化した社会システムへの組込み

ここ数年、当研究部会では BCN の提言を試みているが、他にも多くの提言がなされ実施されつつある。したがって本章ではこの BCN 構想の内容をより高度に、より実現可能とするために、東京都「中央区の森」での都会･山里をバイマスで繋げている社会システムの例を考察した。そして、山里域での農業システムの最新手法の紹介と、山里で生産される木質ペレットに関するコスト構成、流通システムについての FS（フィージビリティスタディ）結果を記述した。

3.1　森林の持つ多面的機能

環境の持つ機能要素には、①供給機能、②同化機能、③財機能、④サービス機能があると言われている。一般に森林の持つ機能を別の視点から分類すると**表 3.1-1** のようになる。森林は、木材の供給をはじめ、水源のかん養、土砂災害や洪水の防止、二酸化炭素の吸収･貯蔵など、都民生活に欠かすことのできない多くの機能を持ち、常に役割を果たしている。

表3.1-1　森林の多面的機能分類

機能分類		具体的内容	環境の機能要素			
			①供給	②同化	③財	④ｻｰﾋﾞｽ
物質生産機能		A）林産物生産 木材、きのこ･山菜、工業原料、工芸材料	○			
		B）燃料（エネルギー）生産 木炭、木屑、薪	○			
公益的機能	環境保全	C）水源かん養 洪水緩和、水貯留、水量調節、水質浄化				○
		D）土砂災害防止/土壌保全 表面侵食防止、表層崩壊防止、土砂災害防止、防風				○
		E）快適生活環境形成 気候緩和、大気浄化、騒音防止		○		○
		F）生物多様性保全 遺伝子保全、生物種保全、生態系保全			○	○
		G）地球環境保全 二酸化炭素吸収、地球の気候の安定		○		○

	保健･休養･文化	G）保健･レクリエーション 療養、保養（森林浴）、行楽、スポーツ			○	
		H）教育文化 景観･風致、学習･教育、芸術、 宗教･祭礼、伝統文化、地域性維持		○	○	

出典：地球環境･人間生活に関わる農業及び森林の多面的な機能の評価、日本学術会議より作成

また、多様な生物の生息の場であるとともに森林レクリエーションなど保健休養の場、自然との触れあいを通じた幅広い世代のための学習や教育の場でもある。さらに、地域の自然条件や社会環境との関わりの中で、その地域特有の森林景観と文化を育んできている。

つまり、**表3.1-1**での森林の多面的機能には環境機能①～④の４つがすべて網羅されており、森林と環境機能は広く深く関係づけられる。①供給機能では物質生産機能対応し、A）林産材生産の他に、B）燃料生産とに分けられる。B）燃料生産は太古の昔から人類が熱エネルギーとして恩恵を受けてきたのであるが、近年になって、化石燃料消費ではなく、所謂「カーボン･ニュートラル」として見直されている。

また、同表での具体的内容のA）～Ｉ）は森林の存在する「山里」が主な舞台となる機能であるが、森林の持つ機能の恩恵を受けるのはむしろ「都会」であることは大変重要である。たとえば、H）保健･レクリエーション機能は都会に住む人々が、わざわざ山里に出かけて、自然を満喫するのはその典型であろう。

3.2　東京都の「森づくり推進プラン」

東京都は平成21（2009）年3月に**図3.2-1**に示すような「森づくり推進プラン」を発表した。その骨子は、

○ 森林整備と林業振興

１の基本軸：二酸化炭素吸収などの多面的機能を高める森林整備

２の基本軸：森林整備と木材供給を促進することによる林業の再生

３の基本軸：多摩産材の利用拡大

４の基本軸：都民･企業等が森林整備や木材利用に参画する仕組みづくり

○ 丘陵地の保全と緑とのふれあい

５の基本軸：丘陵地の保全と緑とのふれあいの推進

としており、**表3.1-1**に示した森林機能は、B）燃料（エネルギー）生産を除き、すべてを満たしている。

このパンフレットは、日本の中心地で最も大都市である東京都が森林の整備･保全と林業振興に関して、精力的に網羅しており、我々の提案するBCN構想のレベル向上に繋がると考えられるので、箇条書的に要点を紹介する。

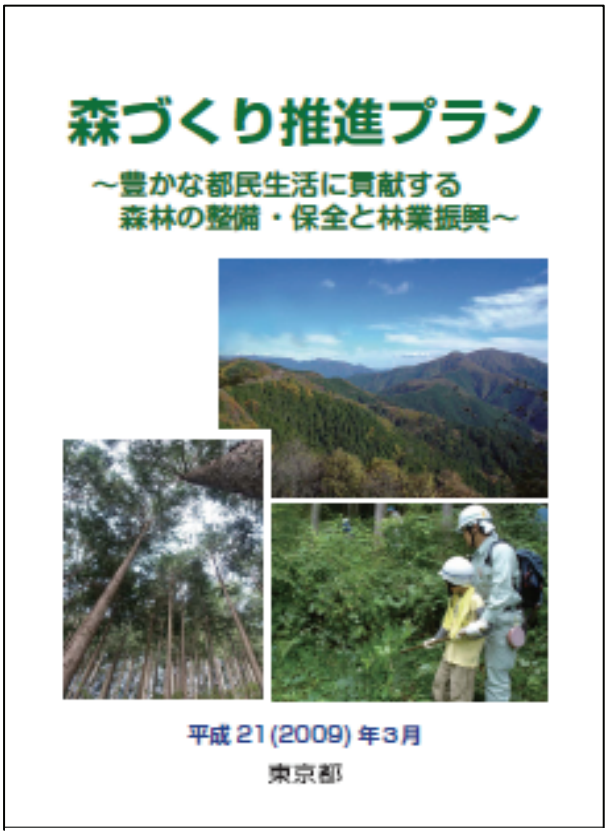


図3.2-1「森づくり推進プラン」パンフレット表紙

出典：東京都Webサイト

3.2.1　東京都の森林規模

東京の森林は**表3.2.1-1**に示すように約79,000haで、東京の面積の約4割を占めている。多摩には山間地を中心に丘陵地を含め約53,000ha、島しょ地域には約26,000haの森林がある。多摩の森林は、スギやヒノキなどの人工林が59%を占め、全国（46%）に比べ高い人工林率となっている。また、山地の周辺には丘陵地の森林として雑木林等が広がり、島嶼の森林は殆どが天然林で、島ごとに特徴ある森林を形成している。

表3.2.1-1 東京都の森林面積

	森林面積(ha)			民有林人工林率(%)
	国有林	民有林	計	
多摩･区部	1,183	51,801	52,984	59
島しょ	6,522	19,160	25,682	18
合計	7,705	70,961	78,666	48

出典：東京都Webサイト

3.2.2　東京都における林業の問題点

1)　偏った林齢構成

多摩丘陵の人工林の多くは図3.2.2-1に示すように昭和30年代から40年代の拡大造林（戦後の増大する木材需要を賄うため、国策として進められた天然広葉樹林から針葉樹用材林への転換）により植えられており、現在は木材として利用可能な50年生前後となっている。しかし、多摩丘陵の森林は急峻な地形が多いことや所有が小規模に分散していることなどによる伐採、搬出などコスト高と木材価格の下落とがあいまって林業が低迷し、伐採されずに林齢を重ねている森林も少なくない。その結果、多摩の人工林は20年生以下の若い森林が全体の約3%に当たる1,000ha程度と極端に少なく、偏った林齢構成になっている。

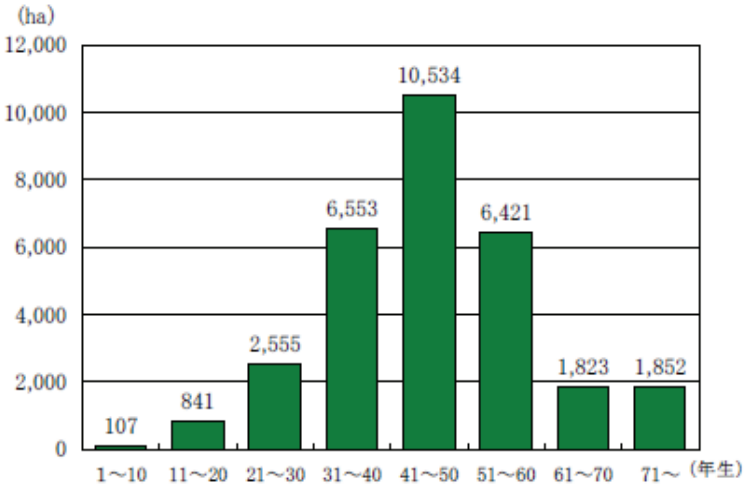


図3.2.2-1 人工林の林齢構成（多摩丘陵）

出典：東京都Webサイト

2)　二酸化炭素吸収効果とその低下懸念

森林を構成する樹木などの植物は成長の過程で二酸化炭素を吸収し、幹や枝葉、根に貯蔵する。また、落葉枯葉や落枝などは腐植の状態で土壌の中にも多くの二酸化炭素を貯蔵している。まさに森林は二酸化炭素の貯蔵庫であるといえる。特に20年生から30年生の若いスギの二酸化炭素吸収能力は他の樹種と比較して極めて高いことがわかっている。このため、スギ人工林では適切な林齢での伐採、利用とその跡地への植林、保育という循環により、二酸化炭素の吸収を高いレベルで維持することができるのである。

東京の森林は、島嶼の森林を含めると毎年約30万t-CO2の二酸化炭素を吸収し、これは約12万世帯が1年間に排出する二酸化炭素量に匹敵する。森林は、若くて成長が盛んな時期に多量の二酸化炭素を吸収するが、高齢になると、その量は極端に減少する。そのため、現状のまま伐採が停滞し、高齢林化が進むと、森林の持つ二酸化炭素の吸収効果と酸素供給機能の低下が懸念されている。

3)　増加するスギ花粉飛散量

花粉症の発症を**図3.2.2-2**に示すが、東京のように大都会では増加の傾向が顕著である。大気汚染との関連も指摘されているが、花粉飛散量の増加が主な原因と考えられている。

花粉飛散量の増加は、多くの花粉を飛散する30年生を超えるスギの伐採の停滞が原因の一つとなっている。

スギ花粉症の患者は年々増加しており、平成19年9月に出された花粉症患者の実態調査報告書では、都民の3.5人に1人がスギ花粉症患者となっている。

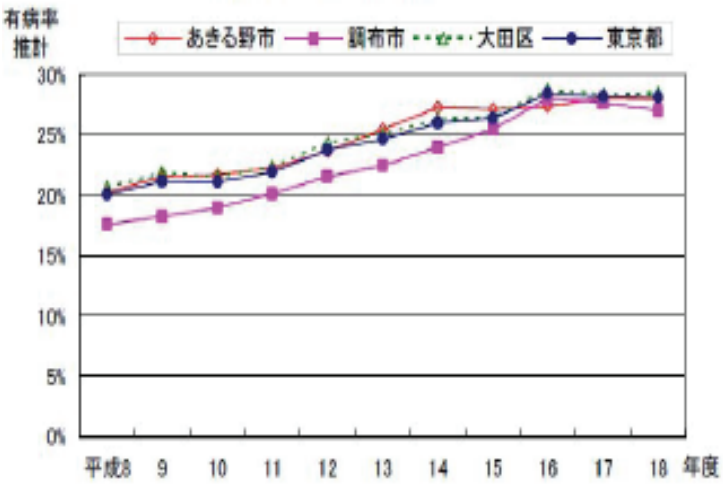


図3.2.2-2 スギ花粉症有病率の経年変化

出典：東京都Webサイト

3.2.3　林業経営の不振

1)　木材価格の長期低迷

木材価格は戦後、日本経済の成長とそれに伴う木材需要の拡大により上昇し昭和55年には**図3.2.3-1**に示すようにスギ中丸太の全国価格は、40,000円/㎥に近い状況だった。しかし、その後は国の施策が必ずしも十分に機能しなかった面もあり、大量に輸入される安価な外材に押され、国産材のシェアが低下するとともに、スギ中丸太価格も平成19年には13,000円/㎥まで下落しており、スギは世界で最も安い木材と言われるまでになっている。

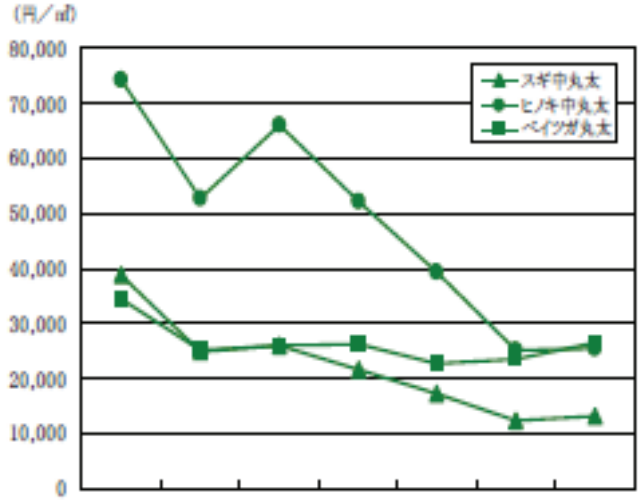


図3.2.3-1 丸太価格の推移（全国）

出典：平成20年版 森林･林業白書

この間、森林所有者の収入となる山元立木価格の下落率は更に大きく、**図3.2.3-2**のように、多摩地域のスギの山元立木価格は、昭和55年の約18,000円/㎥から、平成15年には、2,000円/㎥まで下落している。

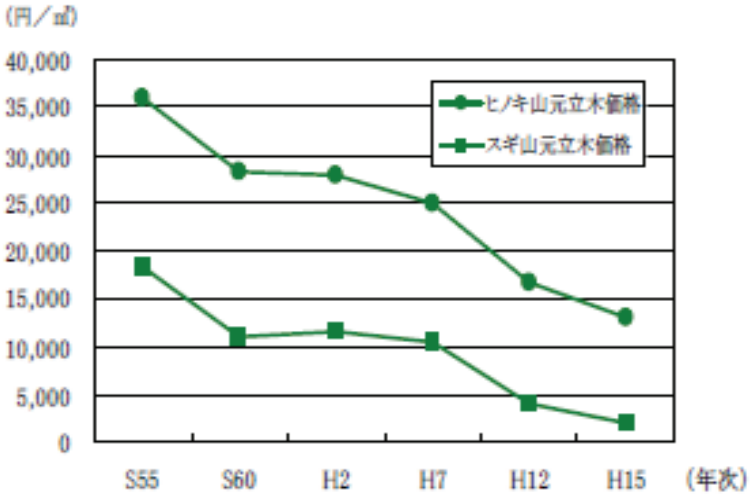


図3.2.3-2 東京のスギ･ヒノキ元立木価格の推移

出典：東京都Webサイト

2) 外材輸入の動向

外材輸入の動向は近年、中国や中近東などにおける木材需要が高まり、木材貿易における我が国の市場としての魅力が相対的に低下している。

このため、我が国では集成材や合板の原木が品不足となるなど、輸入原木の供給にも変化が生じている。また、平成19年にはロシア政府が自国における木材加工産業の振興等を目的として丸太等未加工木材の輸出税を段階的に引き上げることを表明した。このため我が国の丸太輸入量の約5割を占めているロシア材の輸入環境が大きく変化する可能性が高くなっている。

さらに、世界的な金融情勢の混乱による急激な景気減速等、外材輸入を取り巻く状況は、ますます不透明となっている。このような状況の中、国産材への期待が高まり国産材は品質の安定化、ロットの確保など供給体制の整備が今後の課題となっている。

3) 進まないコスト削減

多摩丘陵の森林は小規模に所有が分散しているため施業がばらばらに行われることが多く、現状では一定規模の面積をまとめて施業して伐採や木材の搬出に掛かる経費を削減することが難しくなった。また地形が急峻なことや多くの所有者との調整が必要なため、効率的な施業に必要な林道等の路網を整備することも計画通りに進みにくくなっている。

このため高性能林業機械を導入するなど、低コスト施業に向けた取組が行われているのは多摩丘陵の森林のごく一部となっている。これまでの施業方法では大幅にコストを削減することは困難であり、林業経営が成りたたない状況である。

3.2.4 低迷する多摩産材の利用

1) 伸び悩む多摩産材の需要

多摩産材の多くはスギ･ヒノキ材であり、地元の製材所で加工され住宅の構造材や造作材として使われてきた。また近年地産地消の観点から公共施設の内装や学校の書架等の備品にも使われている。しかし、まだまだ利用される量は少なくさらなる需要拡大が必要である。

2) 多摩産材の供給体制

多摩の森林面積は全国的に見ると小さく、大規模な製材工場を維持するには供給原木量が不足するため画一的な製品を大量生産する方式は不向きである。一方、多摩地方で

は多様なニーズと大きなマーケットを持つ都心部に隣接している強みを持っている。このため多摩産材は工務店等の地域のニーズとともに、マンションやオフィス内装をはじめとする都市特有の多様なニーズにきめ細かく応えられる、いわゆる顔の見える木材供給体制による供給が適している。

3) 工務店等が求める品質との乖離

住宅の建築資材は建築主よりも工務店等が選択する場合が多い。多摩産材住宅を拡大するためには生産者と加工業者と工務店等との有機的な連携が必要となる。建築工法の変化、建築日数の短縮化の中で工務店等が木材に求める乾燥度や強度などが変化してきている。しかし多摩産材はそれらのニーズに対して必ずしも十分に応えられていないため、多摩産材を取り扱う工務店等が少なくなりつつある。

3.2.5 都民･企業等の参画の必要性

1) 森林所有者に依存した森林整備の限界

森林やそこから供給される木材等は都民にとってかけがえのない財産である。しかし、現在の林業経営をとりまく厳しい環境のもとで、これらの貴重な森林を持続的に守ることは森林所有者や行政による努力だけでは限界に来ている。

2) 森林･木材の果たす役割に関する説明が不足

森林保全や自然保護に対する都民の関心は高いものの、森林の持つ二酸化炭素吸収･貯蔵、木材の利用による二酸化炭素の固定などの具体的な効果に対する認識はあまり得られていない。また、適正に森林を伐採し利用することは森林の循環を持続させることに繋がるといった木材利用の有効性についてのPRが不足している。

3) 都民･企業等が森林整備へ参画する仕組みの不足

多摩の森林の恵みを都民全体が享受するためには、受益者である都民、企業など各セクターが森林や木材利用への理解を深め、森づくりに参画していくことが不可欠である。そのためには森林整備や木材利用に対し各セクターが協働する仕組みの構築が重要となる。

3.3 東京都の中央区と檜原村が共生する「中央区の森環境ふれあい村」構想

東京都の「森つくり推進プラン」に呼応して、東京都中央区は平成23年3月に「中央区の森環境ふれあい村」構想を発表した。これは平成18年から構想を試行してきたものであり、中央区が「都会」として、東京都の檜原村が「山里」として、双方がバイオマスによる共生関係（コミュニティ･ネットワーク）を堅固にしている。

東京都、中央区、檜原村の３つの行政をターミネータとした「中央区の森環境ふれあい村」構想を構造化分析におけるシステム外観図として、**図3.3-1**に簡潔に図化した。東京都は同構想の包括概念として「森づくり推進プラン」を提唱（インプット）し、森林資源の活用成果（アウトプット）が得られる。

東京都中央区は檜原村に確保された「中央の森」に対して、資金援助や各種活動（インプット）を行うことにより、木材資源や中央区民に対する癒しの提供（アウトプット）を得ることができる。

東京都檜原村は「中央の森」に様々な地場（森林）産業の発動（インプット）を行い、そこに住み働く村民の代価収入（アウトプット）となり、経済的恩恵を受ける。

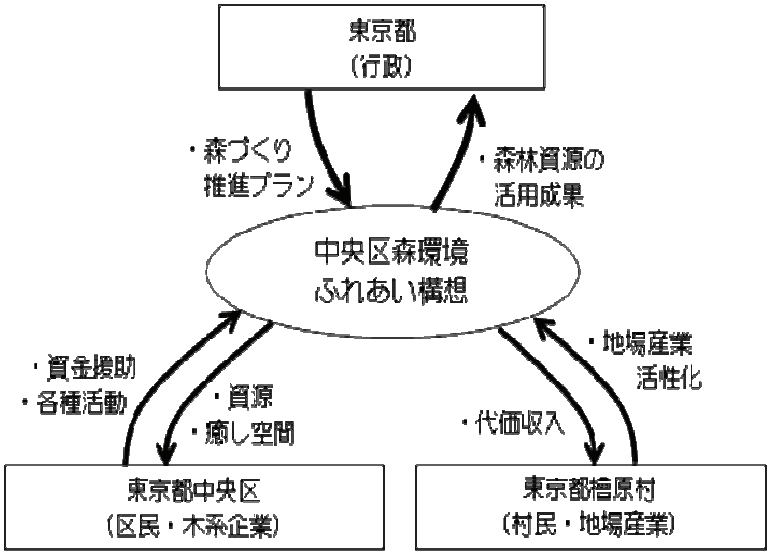


図3.3-1 「中央区の森」のシステム外観図

3.3.1 「中央区の森」の概要

1) 檜原村の位置と地勢

「中央区の森」の存在する檜原村は**図3.3.1-1**に示すように、中央区から直線距離にして約57kmで、東京の西端部に位置している。面積は105.42km²で、都内の区市町村の中では奥多摩町、八王子市に次いで第3番目に広い面積となっている。

檜原村の西南部は山梨県、南は神奈川県に接し、北は奥多摩町、東側はあきる野市に接している。

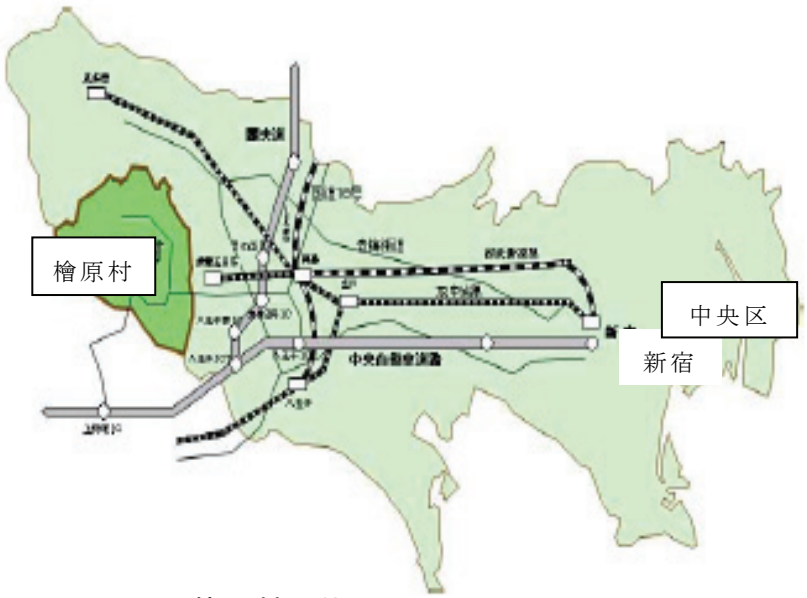


図3.3.1-1 檜原村の位置 出典：東京都檜原村Webサイト

2) 「中央区の森」の位置および区域の概要

中央区の森は檜原村の数馬地区にあり、本区から公共交通機関を利用しても約2時間30分程度で行くことができ、平成22年4月現在、37.4ha（図3.3.1-2）の面積となっている。

この区域は山梨県境である笹尾根から北に分かれる尾根線上にある大羽根山（標高992m）の周辺や都道206号沿いの森林などで、スギ、ヒノキを主体とした人工林が大半を占め、わずかだがコナラ、ミズナラ、クリ、アカシデなどの落葉広葉樹林（林業施業上、天然林とよぶ）も存在する。

区域は全体的に北（都道側）に向かって傾斜して、笹尾根から分かれた尾根線を境に西向き斜面に天然林東向き斜面が人工林という分布傾向がみられる。中央区の森周辺は浅間尾根登山口バス停に近く、シーズンには多くの登山客で賑わう。

登山客の多くは浅間尾根から浅間嶺方面を目指すが、三頭山から笹尾根を経て大羽根山から浅間尾根登山口バス停方面に下る人も見られる。

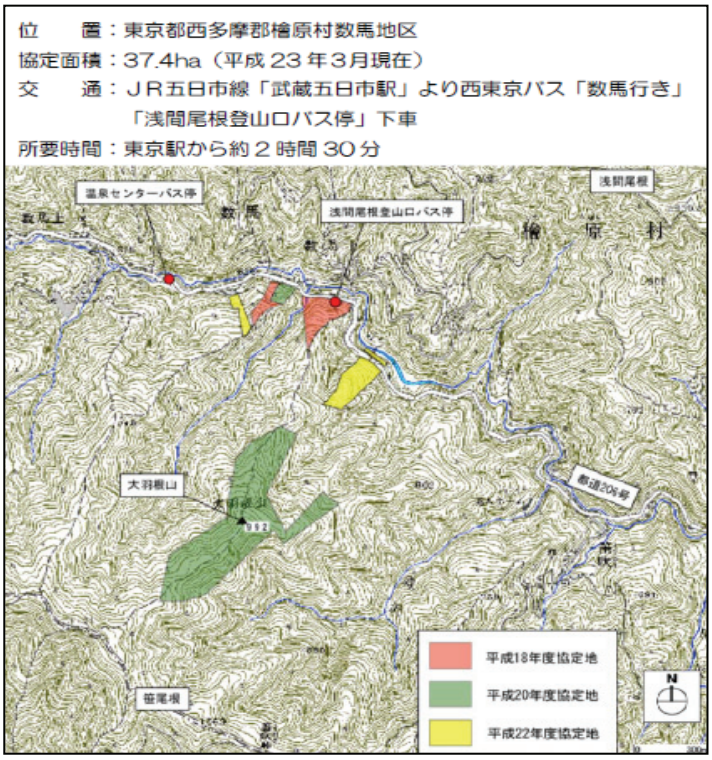


図3.3.1-2 「中央区の森」の位置

出典：東京都中央区Webサイトから編集

3.3.2 東京都･中央区の取り組み

東京都が発表した「森つくり推進プラン」から1年後の平成23年に東京都中央区は、図3.3.2-1のパンフレット表紙に示すような「中央区の森環境ふれあい村構想」を発表した。

1) 構想の目的

この構想のテーマ、推進方策、および推進体制の関係をまとめて図3.3.2-2に示した。

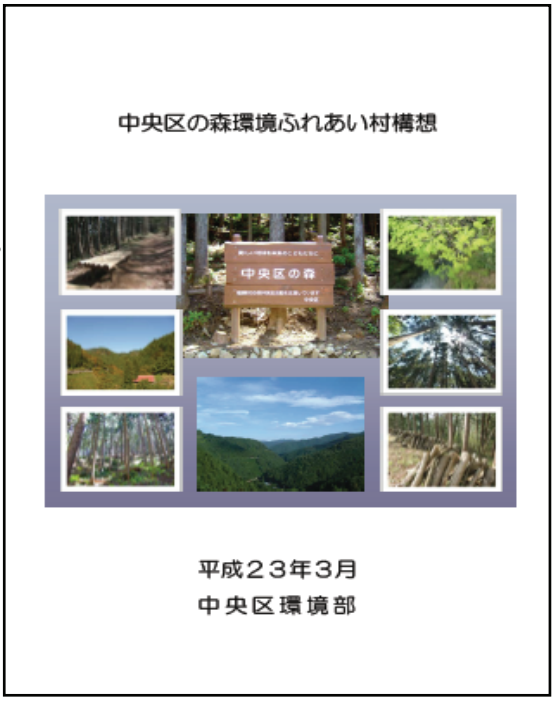


図3.3.2-1「中央区の森」
パンフレット表紙

出典：東京都中央区Webサイト

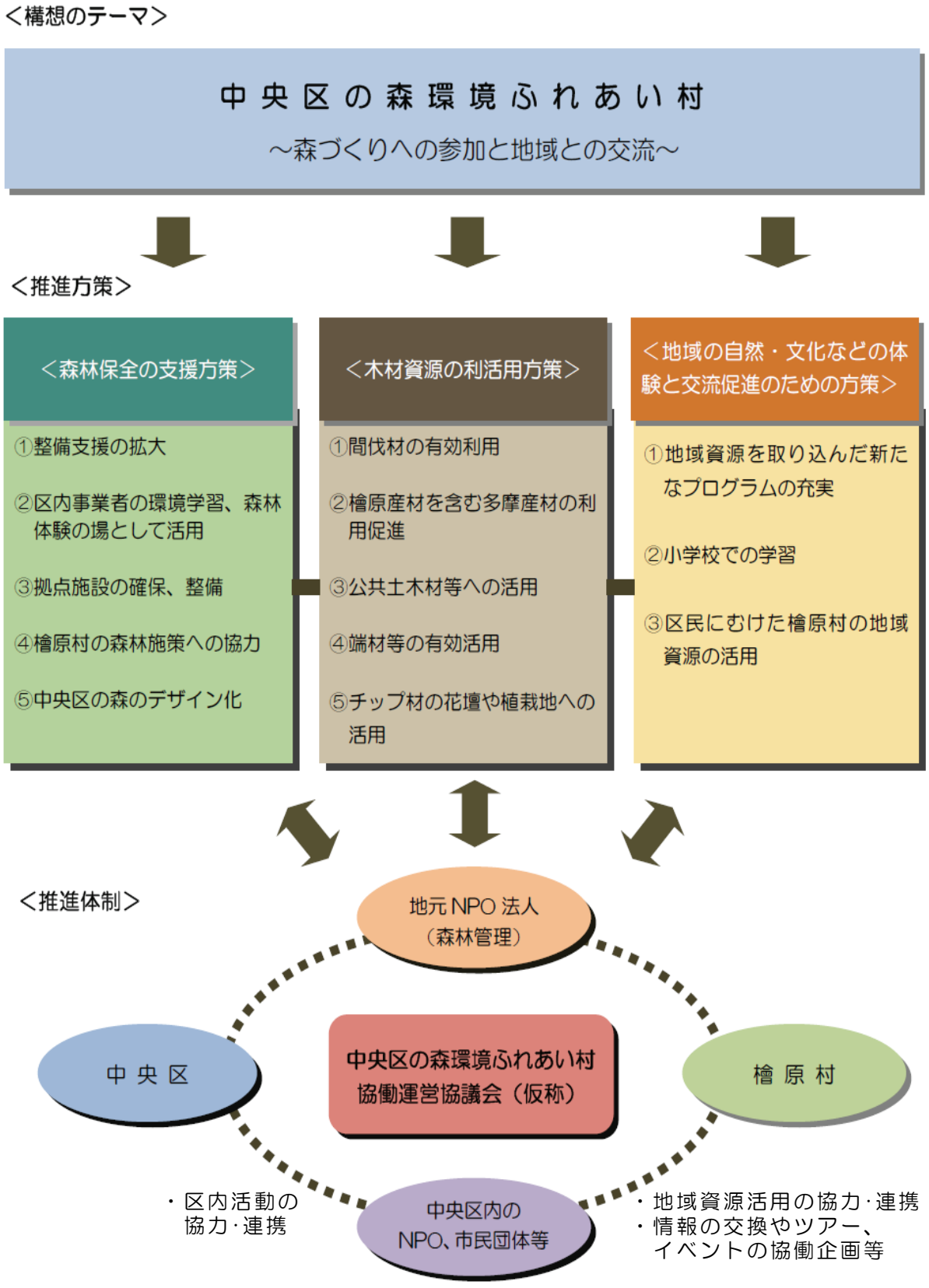


図3.3.2-2「中央区の森」構想の概要

出典：東京都中央区Webサイトに加筆

中央区は平成18年10月から区域を越えた広域的な地球温暖化対策として「中央区の森」事業を進めている。つまり「中央区の森」の実存する檜原村との交流を深め、区民や区内事業者の人々が森林保全を通じ、豊かな自然に触れる機会を更に拡大することを目的とした、「中央区の森環境ふれあい村構想」を策定し実施している。また本構想はCO_2の吸収源となる森林を荒廃から守り･育てるため、地元NPOが実施する森林保全活動の支援とともに、「中央区の森」から産出される間伐材など地域の木材資源の活用、檜原村の歴史･自然などを理解しながら地域との交流を促進することで、地球温暖化対策や環境学習の場としてのさらなる充実を図ることも目的としている。

2) 推進の3方策

東京都･中央区は**図3.3-5**に示したように、大きく分けて(1)森林保全の支援方策、(2)木材資源の利活用方策、(3)地域の自然･文化などの体験と交流促進のための方策、の3つの方策を計画･推進している。以下、これらについて具体的に解説する。

(1) 森林保全の支援方策

(a) 整備支援の拡大

・現在の「中央区の森」の整備と並行して、都道沿いの整備が必要な森林について区民による利用も考慮しながら新たな保全活動協定地域を拡張する。

・区民が森林整備のボランティア活動に参加することを促進するため、技術支援などを図るしくみづくりを進めボランティアリーダーを地元NPO等と協働で育成する。さらに、地元NPOの協力を得て区民が計画的に森林保全活動に参加できる仕組みを作る。 また数馬地区以外に連携できるNPOが存在するか、新たなNPOの設立の動向があるかなどについて調査する。

(b) 区内事業者の環境学習、森林体験の場として「中央区の森」の活用

・近年企業における環境学習や環境分野での社会貢献活動は盛んであり、「中央区の森」においても既に区内事業所数社が社員で「中央区の森」を訪れ森林体験、森林保全活動を行っており、引き続き支援を拡充していく。

・今後「中央区の森」の活性化を図るため区はこのような区内の企業、事業所などに対し環境活動の場としての活用を働きかけるとともに、檜原村や区内NPOと協働で活動プログラムの企画、アクセスや滞在施設などの情報提供を行う。

(c) 拠点施設の確保･整備

・現地でのセミナーや集会、講演会、交流会のほか、実習室、作業スペースなどに使用できる施設について村をはじめ関係機関の協力を求めていく。

(d) 檜原村の森林施策への中央区の協力

・檜原村が平成22年2月に策定した「地域新エネルギービジョン」（木質バイオマス事業化可能性調査）において提示された「薪燃料供給モデル」などで間伐材供給などに協力する。

・檜原村が平成22年2月に策定した「バイオマスタウン構想」における提案のうち林地残材の利用など、バイオマスの利活用推進に協力する。

・檜原村が平成22年3月に策定した「ふるさとの森整備事業」に関して協力･連携できる取り組みについて村との協議を進める。

(e)　中央区の森のデザイン化

・現在の「中央区の森」およびその周辺の自然環境調査（植生調査、動物調査など）を進める。植生調査は今後のカーボン･オフセットのモニタリング（CO_2吸収量算定）の基礎調査への活用や今後の森林保全活動の方向性を考えるうえでの資料になる。また、動物調査は生物多様性の確保を図るとともに、ここを利用する区民等の活動の促進に役立てることができる。

・地元の方の協力により森とくらしとのかかわりや伝承等を踏まえて中央区の森の場所ごとの植生や年次整備計画、活用方法などのゾーニングマップを作成する。

(2)　木材資源の利活用方策

(a)　間伐材の有効利用

・「中央区の森」から発生する間伐材を活用したベンチ、プランターは区役所正面玄関脇等に設置されて区民の憩いの場として活用されている。今後、区内の公共施設で什器備品の更新時期に合わせ間伐材を活用した製品を配置予定である。

・商店街の歩道など休息が必要な空間ではうるおいをもたらす景観の向上効果もあり、社会実験の結果などを十分に検証したうえで木材を活用したサイン、案内板などのストリートファニチャー類の配置を進める。

・区立小･中学校の「技術･家庭」において、ものづくり技術（木工）の試し材などに「中央区の森」の間伐材が活用できないか検討を進める。

・積み木やブロック等に使用し、学校の玄関等に飾れるオブジェ等の展示物への活用を検討する。

・区立保育園、児童館、幼稚園では檜原産または多摩産材の間伐材等を活用した積み木、遊具等の導入を検討する。

・「中央区の森」における間伐材を今後、中央区内に開設予定の環境情報施設の内装材、テーブルや椅子などで活用を図っていく。

(b)　檜原産材を含む多摩産材の利用促進

・公共施設（学校、保育園、スポーツ施設等）の改築では内装材などを中心に多摩産材の活用を進める。特に、多くの方が使用する集会施設等において下駄箱やロッカーの導入について検討する。

・公園や幼稚園･保育園などの屋外遊具における多摩産材の活用は既に事例があり、これらを参考に導入について検討する。

・公園･児童遊園のベンチについては今後の改修等にあわせ「中央区の森」の間伐材を使用したベンチで更新する。

(c)　公共土木材等への活用

・みゆき通りの社会実験で好評を得た木材を活用した道路舗装材、ウッドブロック（ユニット式木製のレンガ）については製品の性能や安全性･施工条件等を検証し導入を図る。

・道路ガードレールや横断防止柵については安全性等を検証し導入を図る。また水辺の安全柵、街路樹や公園緑化樹木の支柱など景観に配慮すべき土木資材に

ついても活用を図る。

(d) 端材等の有効活用

・製材の過程で発生する端材はさまざまな製品（プレート、コースター、キーホルダー、花台、ブックエンド、ドアストッパー、ミニトレー、鍋敷など）に活用することができる。記念品やノベルティグッズへの活用など広く区民、事業者、あるいは区内の施設等のニーズを踏まえて活用する。

・端材を活用した箸づくり等の工作を取り入れたイベントなどの実施やノベルティ･グッズの配布により「中央区の森」の保全、活用などを区民、事業者に普及させる。

(e) チップ材の花壇や植栽地への活用

・間伐材をチップ化し、公共施設（区施設や公園など）内にある植栽地のマルチング材（雑草侵入を防ぐ被覆材）として活用を図る。

(3) 地域の自然･文化などの体験と交流促進のための方策

(a) 地域資源を取り込んだ新たなプログラムの充実

・既に6回にわたり実施してきた「中央区の森」体験ツアーに新たに「森を楽しむ」「森とふれあう」などの要素を加えるため、自然観察、森の遊び（ツリーアドベンチャー）、秋川などを利用した水遊び、休耕地などを利用した畑作業や自然環境に関する講座、教室等も含め、地域資源を幅広く楽しめる活動プログラムを作成する。

・中学生を中心に青少年の希望者を対象に檜原村での自然、歴史･文化を体験する夏季自然合宿についての取り組みを進める。

・ツアーの企画を檜原村観光協会や区内NPO、市民団体等と協働で進める。

(b) 小学校での学習

・区立小学校4年生の東京都に関する学習（山村のくらしと水源地域の学習）の中で、「中央区の森」に関する説明を行っているが、今後はこうした取り組みを広げる。なお、区立阪本小学校は、村立檜原小学校との学校間交流を実施している。

(c) 区民にむけた檜原村の地域資源の活用

・地域の自然や歴史、伝統･文化、人々との交流を進める「檜原村総合体験ツアー」や森林セラピーロード体験などを、檜原村観光協会、区内のNPOなどと協働での開催に取り組む。

・中央区の森体験ツアーに文化交流プログラム（日帰りコース、1泊2日コースなど）を新たに加える。

・都内唯一の村である檜原村には山村ならではの森林文化のほか、山菜の加工製品や木材を活用した素朴な木製品、清水を利用した豆腐などの地域資源がある。

・郷土の食文化や木材加工などを体験できるプログラムもあり、都民の方々の癒しとなる資源が数多い。

・森林保全活動に参加した区民等に対する檜原村観光協会直営店での買物割引などの仕組みづくりを観光協会と協議する。

3.3.3　東京都･檜原村の取り組み

中央区が「都会」として平成18年から「中央区の森環境ふれあい村」構想を構想を試行してきているが、東京都の檜原村は「山里」、すなわち「中央区の森」にて様々なプロジェクト計画を実行している。檜原村は平成22年2月に「檜原村バイオマスタウン構想書」（**図3.3.3-1**）、及び「檜原村地域新エネルギー事業化可能性調査」（**図3.3.3-2**）の2冊子が発刊された。両冊子共に東京農工大学の岩岡正博準教授を委員長として、東京都や檜原村の地場産業の方々の精力的活動により作成されたものであり敬意を表したい。

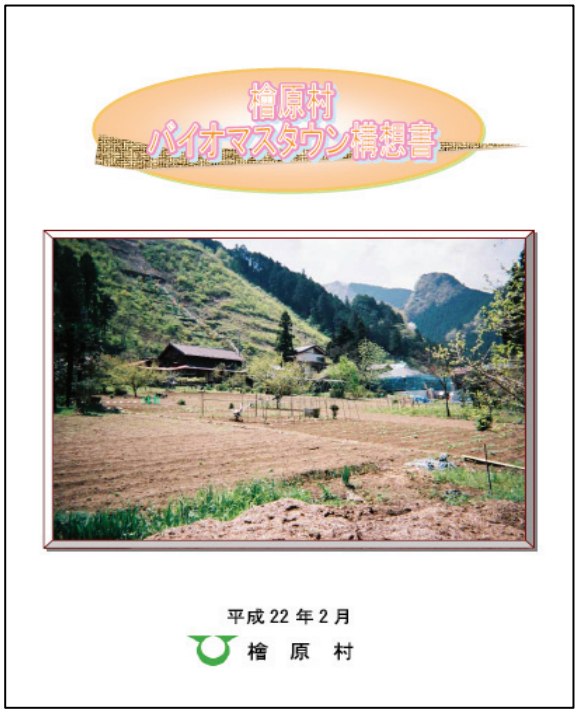


図3.3.3-1「檜原村バイオマスタ構想書」パンフレット表紙

出典：東京都檜原村Webサイト

図3.3.3-2「檜原村地域新エネルギー事業化可能性調査」パンフレット表紙

出典：東京都檜原村Webサイト

また我々の提言するBCN構想のレベルアップに役立つと思われので、ここではそれぞれの要点を紹介する。

1)　「檜原村バイオマスタウン構想書」の要点

(1)　檜原村の経済的特色

(a)　産業構造

檜原村の産業別就業者数は1970年から減少傾向を見せており、特に第一次産業の減少が大きな影響を与えている。かつては第一次産業が村の基幹産業となっていたが、近年は第三次産業が主体となっている。

(b)　農業

村の農業は山間部の傾斜地で営まれている。生産性が低いため専業農家は非常に少なく、ほとんどが第二種兼業農家で生産物の大半は自家消費される。かつては、こんにゃくや養蚕が盛んだったが換金化の難しさや農業従事者の高齢化による後継者不足、サルやイノシシ等の獣害等の理由から農家戸数は1960年以降、減少傾向にある。

最近は村内で生産されるじゃがいもをPRしており、村で生産されたじゃがいもを原料にした「じゃがいも焼酎HINOHARA」を販売するなど、積極的な取り組みを行っている。また村内で生産された特産のゆずを使用した「ゆずワイン」も人気がある。

(c) 林業

檜原村の森林面積は総面積の92.5%を占め、その66%にスギやヒノキ等が植林されている。檜原村は青梅林業地域にあり、古くから薪炭生産や林業が村の基幹産業となっていた。しかし現在は外国産材の輸入増大による木材価格の著しい下落と生産･加工コストの上昇等により森林経営が低迷し、産業としての位置づけが著しく低下してきている。

また林業就業者の減少や高齢化も進んでおり、健全な森林整備が遅れている。このような状況の中、村は森林整備計画を再策定し、水土保全林、森林と人との共生林、資源の循環利用林等森林整備の方向を定めている。2000年における檜原村の林家数は240戸となっているが、1～3ha未満の小規模な林家が多く、全体の36%を占める。

(d) 観光業

観光面では村の80%が秩父多摩甲斐国立公園となっており、豊かな自然の佇まいそのもの全てが観光資源となっている。村を訪れる観光客は四季、さまざまな彩りに魅せられ、年間37万4千人にも及んでおり、神戸岩（かのといわ）や払沢（ほっさわ）の滝を始めとする数多くの滝巡り、檜原村の歴史･文化遺産を展示した郷土資料館や地区ごとに伝わる郷土芸能、山岳自然公園の「都民の森」が人気の的となっている。特に、払沢の滝のライトアップや滝が最大氷結する日を予想する氷瀑クイズ等は檜原村を代表するイベントとして多くの人が足を運ぶ風物詩となっている。また新緑や紅葉の時期には三頭山（さんとうざん）や浅間尾根（せんげんおね）、大岳山（おおだけさん）等が大勢のハイキング客で賑わう。加えて合掌造りや茅葺き等の歴史ある風情の旅館や民宿の多い数馬（かずま）地区には「檜原温泉センター数馬の湯」もあり、日帰り観光を含め多くの人達に親しまれている。

また都民の森の「大滝の路」は、都内で最も早く「森林セラピーロード」に認定されており、ウッドチップが敷き詰められ、展望台からの眺めもよく、終点には三頭大滝（みとうおおたき）もあることから多くの人が森林浴に訪れている。

(2) 檜原村のバイオマス状況と活用計画

バイオマスは動植物に由来する再生可能な有機資源である。バイオマスはその発生源ごとに**図3.3.3-3**に示すように3種の分類となる。バイオマスタウン構想を策定するためには、このうち廃棄物系バイオマスの90%以上の利用、もしくは未利用バイオマスの40%以上の利用が目標値として定められている。

檜原村で発生する廃棄物系バイオマスとしては製材端材、工事支障木、生ごみ、下水汚泥、し尿汚泥、廃食用油などが、未利用系バイオマスとしては林地残材、野菜くず、果樹剪定枝などが考えられる。檜原村のバイオマス資源は森林面積が92.5%を占めることから木質バイオマスが非常に多くなっており、地域の林業活性化や産

業振興を併せ、木質バイオマスの利活用を進める必要がある。

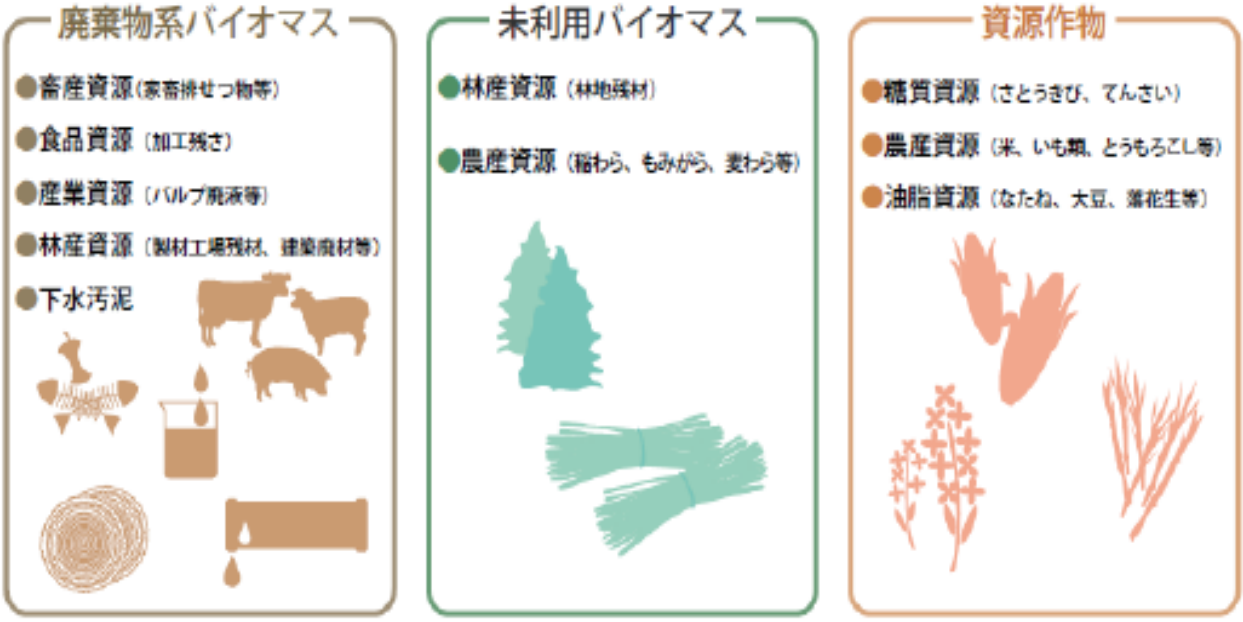


図3.3.3-3 バイオマスの分類

出典：「バイオマスニッポンパンフレット（平成20年度版）」社団法人日本有機資源協会

檜原村地域新エネルギー詳細ビジョンにおいて運輸部門のエネルギー削減が課題となっているため、廃食用油をBDF（バイオディーゼル燃料）化し、ディーゼル代替燃料として利用する取り組みも二酸化炭素排出削減に向けて今後重要になっていくと考えられる。そのほか、檜原村では現在、生ごみ処理機の補助制度を設けており、この取り組みを推進すると共に、生ごみの堆肥化も進める。

また、これまで行っていたバイオマス利活用を継続･発展させるとともに、木質バイオマスや廃食用油等の新規利活用についても推進し、地域資源循環をめざした地域経済の活性化、さらには持続可能な地域社会へ向けた取り組みへと広げる。下水汚泥･し尿汚泥は村内での処理が行われておらず、八王子やあきる野市において広域処理されているため、村内での利活用の取り組みを進めていくことが困難と考えられることから、利活用目標に含めていない。

これまで述べた実情に基づき、檜原村における廃棄物系および未利用バイオマスの利活用の目標値や具体的方策を、以下にまとめた。

(a)　廃棄物系バイオマスの利活用目標：99.4%

檜原村では一般家庭から排出される生ごみの減量化と資源化を促進し、生活環境の保全を図るため2008（平成20）年度から生ごみ処理機への補助を行っている。また2007（平成19）年度までは生ごみ処理用の容器（コンポスト）への補助を行っていた。この取り組みを今後も継続することで生ごみの削減と堆肥化を進め、堆肥の活用を広げる。現在、廃食用油については村内での回収は行われていない。今後、家庭系、事業系のWVO（廃食用油）を含めて回収し、BDFやWVO燃料等の化石燃料代替や石鹸として利活用する手法･制度を検討中である。

WVO燃料適用車の導入は二酸化炭素排出削減につながり、また、せっけんの活用

は家庭の廃食用油をリサイクルすることで、ごみの削減や川の汚染防止につながる。木材加工残材は多くが利活用されているが、現状で利活用されていない樹皮等について、木質バイオマスボイラの燃料等としての利活用を図る予定である。

(b)　未利用バイオマスの利活用目標：30.2%

伐り捨て間伐材･土場残材等の林地残材については林内から搬出し、薪に加工することで導入が検討されている村内温浴施設の木質バイオマスボイラ燃料として利用する。また果樹剪定枝についても自家用や薪製造業者により加工を行い、薪として利用する。野菜くずについては農地還元し堆肥として利用する。

(c)　木質バイオマス利活用の新規プロジェクト

材所等から発生するおが粉や端材、伐採されたまま林地に残されている伐り捨て間伐材･土場残材等の木質バイオマスの賦存量である製利活用を推進するため薪を製造し、温浴施設等のボイラ燃料として熱利用を行う取り組みを始める。

(d) 廃食用油利活用の新規プロジェクト

現在、家庭からの廃食用油は活用されておらず、事業系の廃食用油も可燃ごみとしての処理や、業者が回収を行っている状況である。そこで家庭や事業所から廃食用油を回収し、その賦存量だけの廃食用油をBDF（バイオディーゼル燃料）や石鹸の原料として利用する。

(e)　堆肥化の既存プロジェクト

現在、生ごみや野菜くずを堆肥化やすき込みすることで農地利用を行っているが、今後は生ごみ処理機の導入拡大により、**図3.3.3-4**に示す生ごみ量を削減すると共に、堆肥の利用を進める。

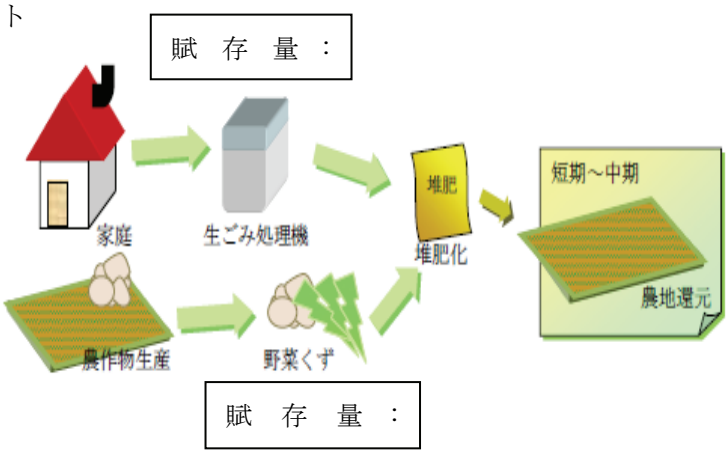


図3.3.3-4 廃食用油利活用プロジェクトの流れ

出典：檜原村Webサイト

(f)　観光資源の強化

檜原村の観光資源は都心に近い森と清流が最大の魅力であり、首都圏近郊の観光客が多く訪れる。こういった観光客に対し檜原の取り組みをアピールすると共に、村全体がバイオマス利活用の魅力を伝える普及啓発拠点となることで他にはない魅力づくりを行う。また檜原村では都民の森の「大滝の路」が2007（平成19）年3月、都内初の「森林セラピーロード」に認定されており、森林セラピーの取り組み（セラピーツアー）を行っている。そこで森林セラピーとバイオマス利用を融合させたプログラムづくりを行うことで、檜原村独自の観光資源として観光産業のさらなる強化につなげる。

そして、20年以上前から檜原村内で森林ボランティアの活動が行われており、村の林業事業体やNPOによる森づくり活動や林業体験事業も数多く行なわれている。現在、檜原中学校の裏手の森を「ふるさとの森」として整備する計画が進行中であ

る。「ふるさとの森」は地域住民･都民･企業･NPO等との協働による森づくりを行い、檜原村で行われていた炭焼きや林業作業までを体験することのできる森として市街地と山間部の人との交流の場となることを目的としている。

(g)　木質バイオマスの利活用により期待される効果

今後の木質バイオマスの利用拡大により期待される効果を**図3.3.3-5**にイメージで示した。この実現に向けて村では薪燃料供給施設の設置を計画している。施設の運営を行うためには薪の製造や配送を行う人員が必要になる。また伐り捨て間伐材の搬出を拡大するためには森林組合や既存の林業事業体のみならず、将来的には新たな事業体を確保することも必要になると考えられる。

そしてバイオマスを観光産業等に結び付け、これまでにない新たな事業を開拓･創出できる。つまり村内で事業を創出することは村内でできる仕事を増やし、新たな雇用を生み出しバイオマス利活用によって事業の創出や雇用の拡大につなげることで、人の定着化を図れる。

図3.3.3-5 木質バイオマスの利活用により期待される効果のイメージ

出典：檜原村Webサイト

2)　「檜原村地域新エネルギー事業化可能性調査」の要点

平成20年度に実施した「檜原村地域新エネルギー詳細ビジョン策定事業」において、

「2020年を目標年度にCO_2排出量を1990年レベルの20%削減する」ことを目指した実現性の高い新エネルギー導入システムとして、檜原村で最も活用が期待できる木質バイオマス活用システムの構築に向け検討が行われた。この中で村内で木質バイオマスを長期的に利活用する方法として林地残材を薪として活用する方法を提案している。このためには村内の木質バイオマス供給体制を作ると同時に需要を創出することが重要となる。そこで、**図3.3.3-6**にCO_2排出削減を目指すための、村内の木質バイオマス循環イメージを示した。

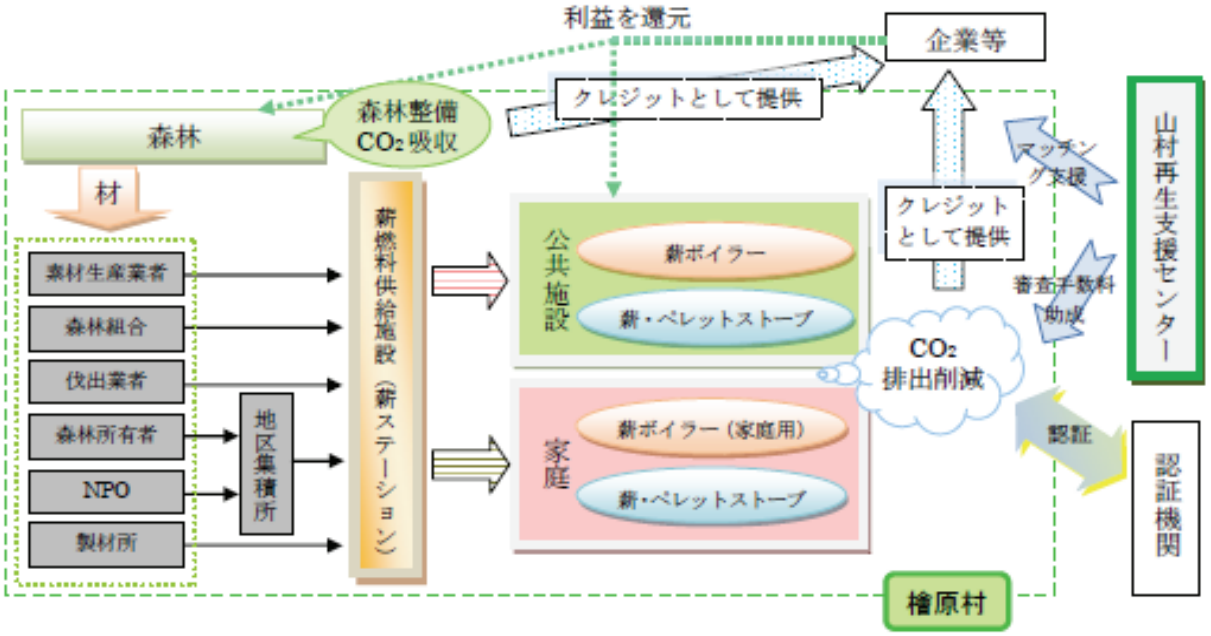


図3.3.3-6 檜原村におけるバイオマス循環のイメージ　　出典：檜原村Webサイト

事業化可能性調査には木質系バイオマスに関する種々の手法を検討しているが、ここでは注目すべき提案事業として薪供給システムを取り上げ、流通システム、事業体制などについて紹介する。

檜原村内で考えられる薪供給の構築にあたっては導入したボイラに安定的に供給を行う事業ベースのモデルのみでなく、村民やNPO関係者等が必要に応じて薪を融通しあえる無償ベースの供給方法についても検討し、村内資源の有効活用と家庭への木質バイオマスストーブ導入につなげていく。また、これまで村内で流通している薪の販売量や価格等についても把握しながら、新規システムとの整合を図る。

(1)　薪の新しい流通形態

木質バイオマス導入検討および薪燃料供給施設設置検討で試算を行っている。**図3.3.3-7**に原木～薪の流通量のイメージを短期･中期･長期とに分けて示す。当初は薪燃料供給施設は1ヶ所を想定するが、薪の利用が増えた場合、原木や薪の保管場所（乾燥スペース）が不足してくる。そこで、村内に数ヶ所の「地域集積所」を設け地域から発生する原木の集積所とすると同時に、薪燃料供給施設で製造した薪を運び、乾燥スペースとしても利用することを想定した。集積所の設置場所としては廃

校になった小学校のグラウンドや自治会の集会所等が考えられる。村内各地に集積所を設けることで薪燃料供給施設から遠い数馬の湯への薪の輸送をスムーズにすると共に、集積所の管理人として地域の雇用を創出することにもつなげることができる。

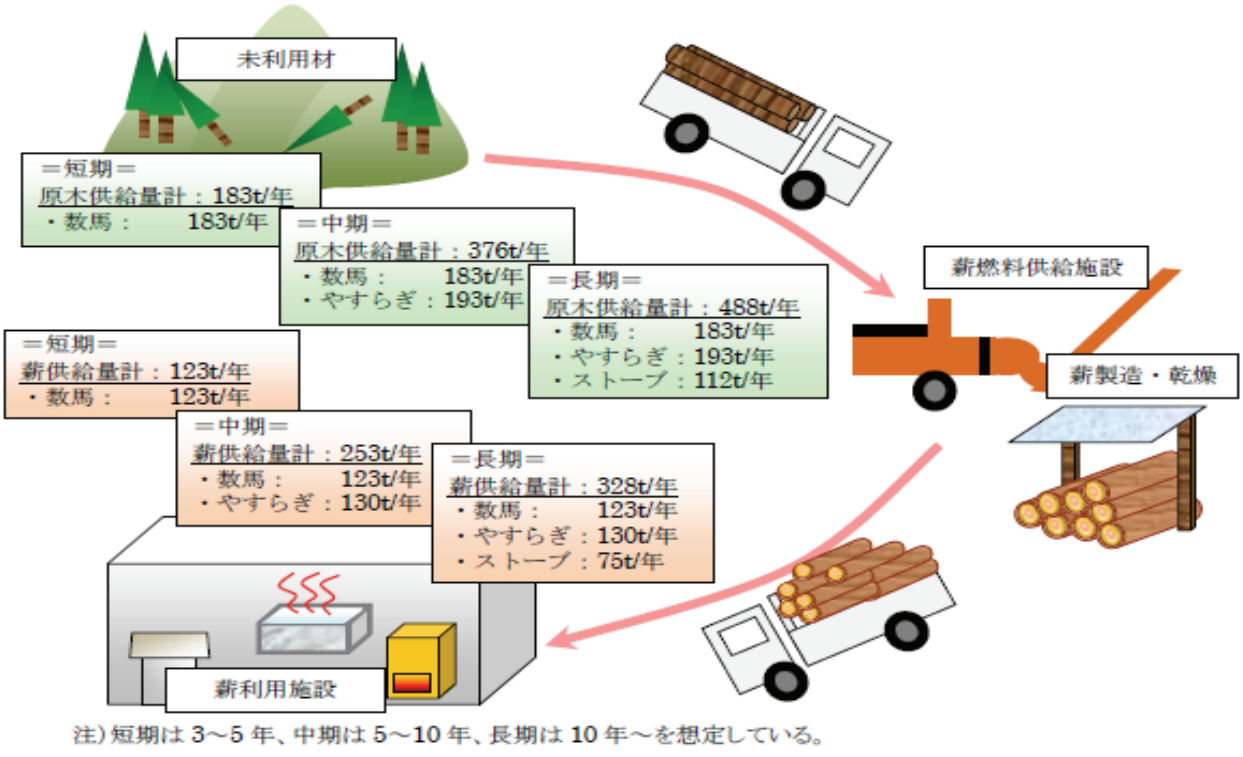


図3.3.3-7 檜原村における原木～薪の予想流通量およびイメージ

出典：檜原村Webサイト

(2)　今後の流通イメージ

このような、既存・新規合わせたさまざまな流通形態をもとに、檜原村で構築できると考えられる薪の流通システムモデルは、図3.3.3-8のようにイメージできる。

今後、こういったモデルを元に、檜原村の薪流通システムの構築に向けた事業化や普及啓発策と合わせ検討を行っていく必要がある。

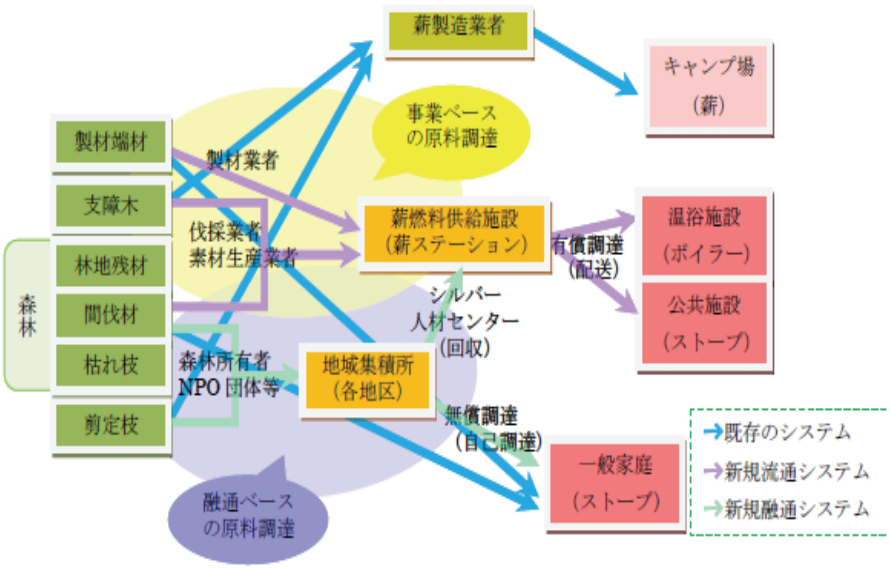


図3.3.3-8　新たな薪流通システムモデル（案）

出典：檜原村Webサイト

(3)　事業化の実施体制

木質バイオマスボイラ導入および薪燃料供給施設事業化に向けた事業主体や、村内の関連事業者との協力体制は**図3.3.3-9**のように想定される。

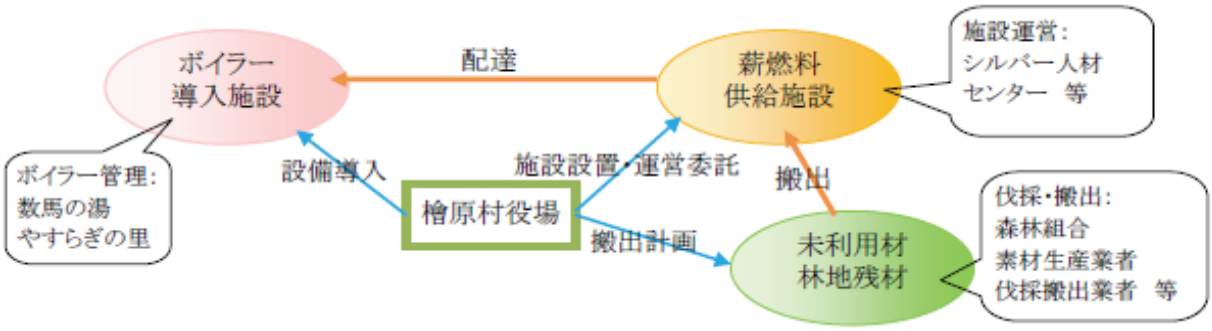


図3.3.3-9 事業実施体制（イメージ）　　出典：檜原村Webサイト

現在、数馬の湯の運営管理は合同会社数馬観光デザインセンターが指定管理により行っている。また、やすらぎの里は村が運営管理を行っている。薪燃料供給施設については早急に施設設置を行いつつ、運営管理体制を固めていく計画である。

3.3.4　「中央区の森」構想のまとめ

ここ数年、当研究部会ではBCNの提言を試みているが、他にも多くの提言がなされ実施されつつある。したがって本節ではこのBCN構想の内容をより高度に、より実現可能とするために、東京都「中央区の森」での都会･山里をバイマスで繋げている社会システムの例を考察した。つまり、東京都の「森つくり推進プラン」に呼応して東京都･中央区が「都会」として「中央区の森環境ふれあい村」構想を発表し、一方では東京都･檜原村が「山里」として「檜原村バイオマスタウン構想書」および「檜原村地域新エネルギー事業化可能性調査」を発表した。すなわち、東京都内に同時存在する「都会」と「山里」の双方がバイオマスによる共生関係（コミュニティ･ネットワーク）を堅固なものにしている。

東京都の「森つくり推進プラン」の5つの骨子（キーワード）は、①森林整備、②森林再生、③多摩産材利用、④都民･企業の参画、および⑤自然共生である。BCNの提言では、①～③のエンジニアリング的アプローチは勿論であるが、むしろ④、⑤の方が更に重要であろう。

中央区の「中央区の森環境ふれあい村」では、①森林保全、②森林利活用、および③自然体験などの具体的支援方策について興味深い提言があった。中央区にとっては「都会」の立場で東京都･檜原村の支援をする一方、「都会人」へ自然を満喫させるという大きなメリットがある。

檜原村の2つの構想･事業企画書では特に「自然」という観光資源の強化、そして薪の流通形態の新しい提案が新鮮味を感じる。これらの情報は当研究部会の提言中であるBCNのレベルアップに生かして行きたい。

3.4　BCN 構想の中の農業

1960年から2005年までの50年間にGDPに占める農業生産率は9.0%から1.0%へ、農業就業人口は1,196万人から252万人へ、総就業人口にしめる農業就業人口の割合は26.6%から4%へ何れも劇的に減少している。さらに農業人口の60%は65歳以上が占めておりデータの上では日本の農業は衰退の一途である。

補助金、減反政策、TPP、さまざまな議論をよびながらときには逆風にさらされながら守られてきた現状に多くの第二、第三次産業従事者は不満があるだろうし農家も本望ではないだろう。現状の打開に向けて必要が行動は何か。ここではその答えに少しでも近づくべく農業の価値を再点検し、日本の将来に農業が必要である意味を再確認し、農業が経済的に自立するためにはどのような施策を行えば良いか検討する。

なお、農業というとその定義は広範囲にわたるがここでは日本の中心的農業である稲作に焦点を当てる。

3.4.1　農業の必要性と可能性

1)　日本の食料自給率の推移

図3.4.1-1に日本の食料自給率の推移を示す。同図は昭和40年から現在(平成22年)の期間における日本の食糧自給率をカロリーベース、重量ベース、生産額ベースにおいてそれぞれ示したものである。

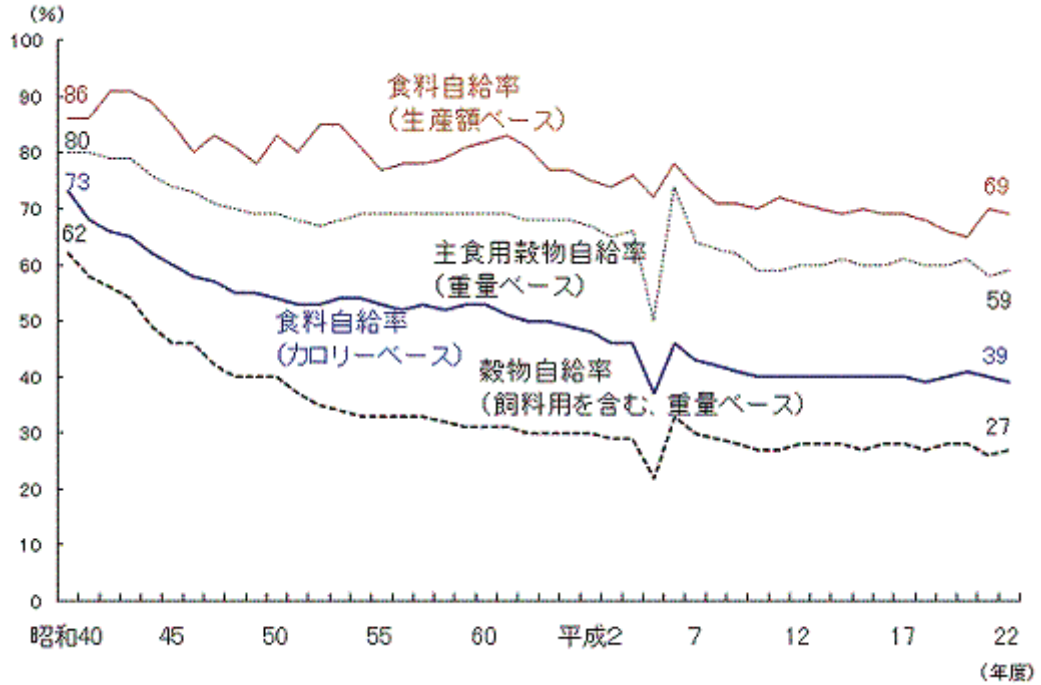


図3.4.1-1　日本の食料自給率の推移

(出典:農林水産省webサイト)

日本の食料自給率は減少の一途であり、現在のカロリーベースの食糧自給率は約

40%に過ぎない。私たちは日ごろ摂取するカロリーの半分以上を海外からの輸入に頼っている。さらにこの40%は私たちが直接摂取している量で、主食用穀物自給率と穀物自給率(飼料用、何れも重量ベース)を比較すれば分かる通り、家畜を通して間接的に摂取している分を考慮すれば、日本国内で自給しているカロリーはさらに低い。

ここで、カロリーベースの評価にはさまざまな議論があるが、食糧安全保障、外交上のリスクという視点から見れば、緊急時に国民の必要とする食糧を確保するためどのくらいの余力があるかが大切で決しておかしな切り口ではないと考える。(カロリーベースの評価は、世界的に日本と韓国くらいだが、どちらも食料自給率の低い国土の小さい国という同じ危機感を共有している。)

2)　穀物国際価格の将来予測

図3.4.1-2に、穀物の国際価格の推移予測を示す。同図中の実線、点線はそれぞれ名目価格ベース、実質価格ベースにおける各穀物の国際価格を示している。

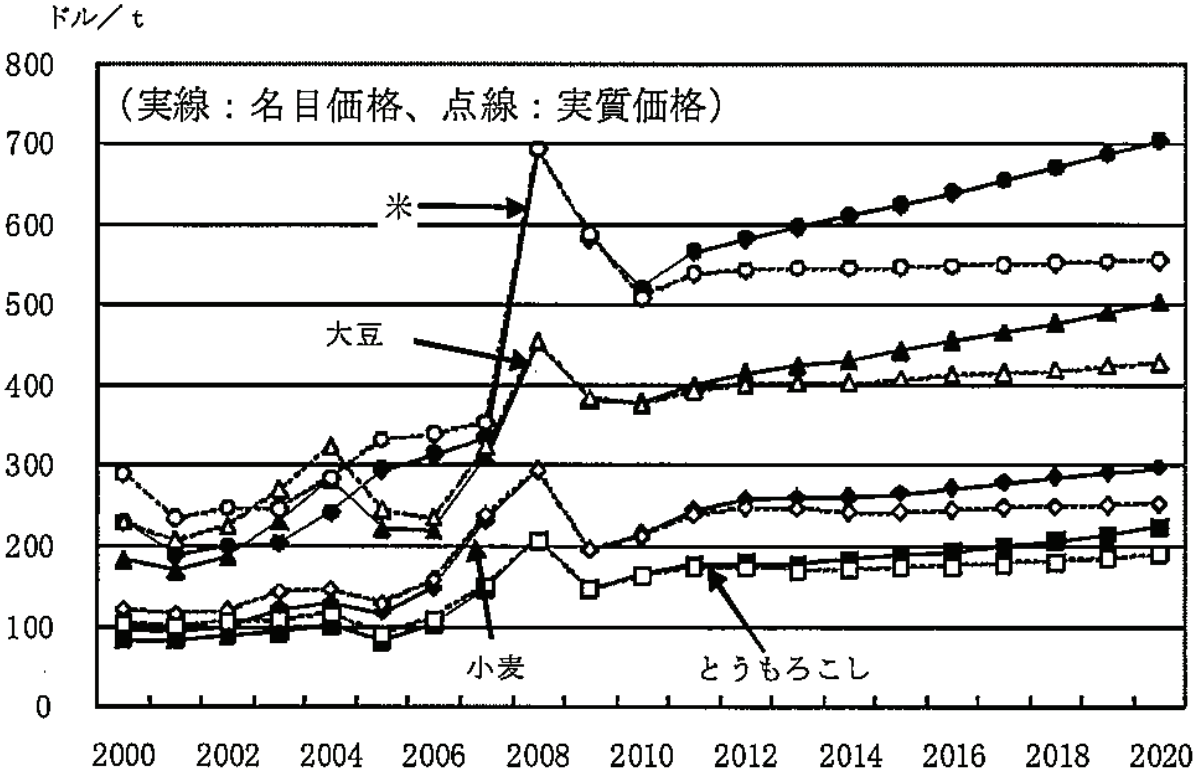


図3.4.1-2　穀物の国際価格の推移予測

(出典:平成22年度2020年における世界の食糧需給見通し)

穀物の国際価格は実質価格において上昇傾向で推移することが予測されている。その背景には、アジア、アフリカ等での人口の増加、新興経済国における畜産物消費の拡大に伴う飼料用需要の増加、バイオ燃料原料用需要の増加があげられる。昨年の10月に世界人口は70億人を突破した。2050年には90億人以上に達すると言われており、また中国、インドなどの新興国、発展途上国の生活レベルの上昇と重なり、近い将来において世界的に切実な食糧需給の逼迫、食糧不足が懸念されている。

3)　人口と穀物自給率の関係

図3.4.1-3に、人口と穀物自給率(カロリーベース)の関係を示す。

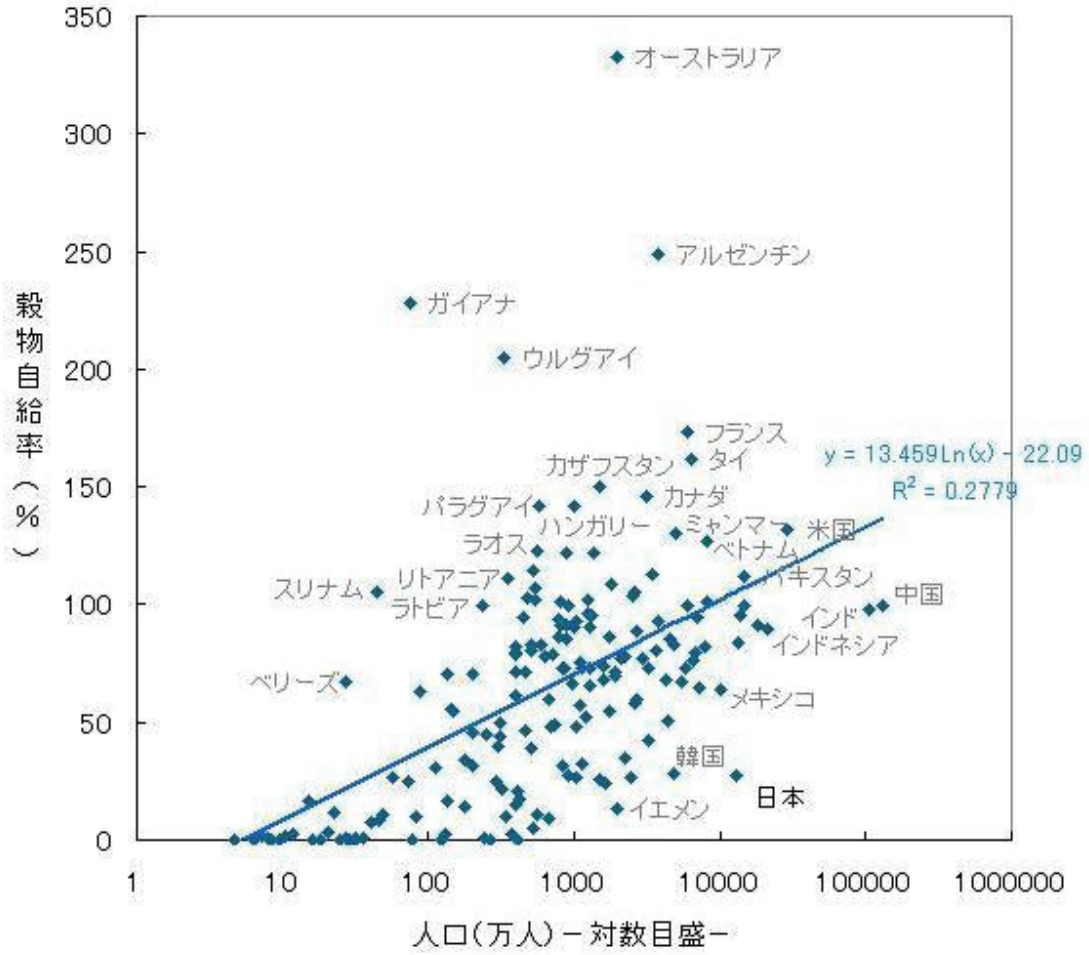


図3.4.1-3　人口規模と穀物自給率の相関(175カ国)

(出典:農林水産省webサイト)

日本の穀物自給率は175カ国中125番目、OECD諸国及び1億人以上人口国37カ国中34番目であり先進国の中で極めて特異な位置にいる。1億人以上の人口を抱える国が半分以上のカロリーを海外に頼っている。また中国、インドは既に穀物輸入国であり、アメリカの自給率にも大きな余裕はない。今は食糧の世界需給は保たれていると考えられるが、現状のままでは将来切実な食糧需給逼迫時代を迎えたとき、日本は自分たちの食糧を世界から買いあさる厄介者になってしまう。

4)　農業の必要性と可能性

食糧は生活の糧であり食糧安全保障上、外交戦略上確保しなければならない資源である。以上からはじめにおさらいしなければならないのは、将来の世界需給を見据えればその生産手段である農業は日本国内に必須の事業であるということ、発想を変えれば農業自身魅力的なビジネスとなりうるということである。農家収入の約5割とも言われる補助金を投資的な観点で捉える、TPPは将来の大市場への入口と捉える、今までと違った視点から農業のあり方を考察することが求められる。

3.4.2　農家の抱える問題点に対する考察

農家が減り続けている理由は端的には儲からないからであると言える。現状ではビジネスとしての魅力が少ないからである。すなわち上述したような大義が指示を得られるのであれば、大量の補助金を将来への投資に替える経済的に自立した魅力ある新しい農業ビジネスモデルが必要とされる。

以降に農家の置かれる現状、問題点を整理し、自立したビジネスモデルを確立するためにはどのような課題がありどのように解決すれば良いのか検討する。

1)　農家の現状

はじめに農業の現状を俯瞰する。

図3.4.2-1に、日本の稲作農業の生産性を示す。

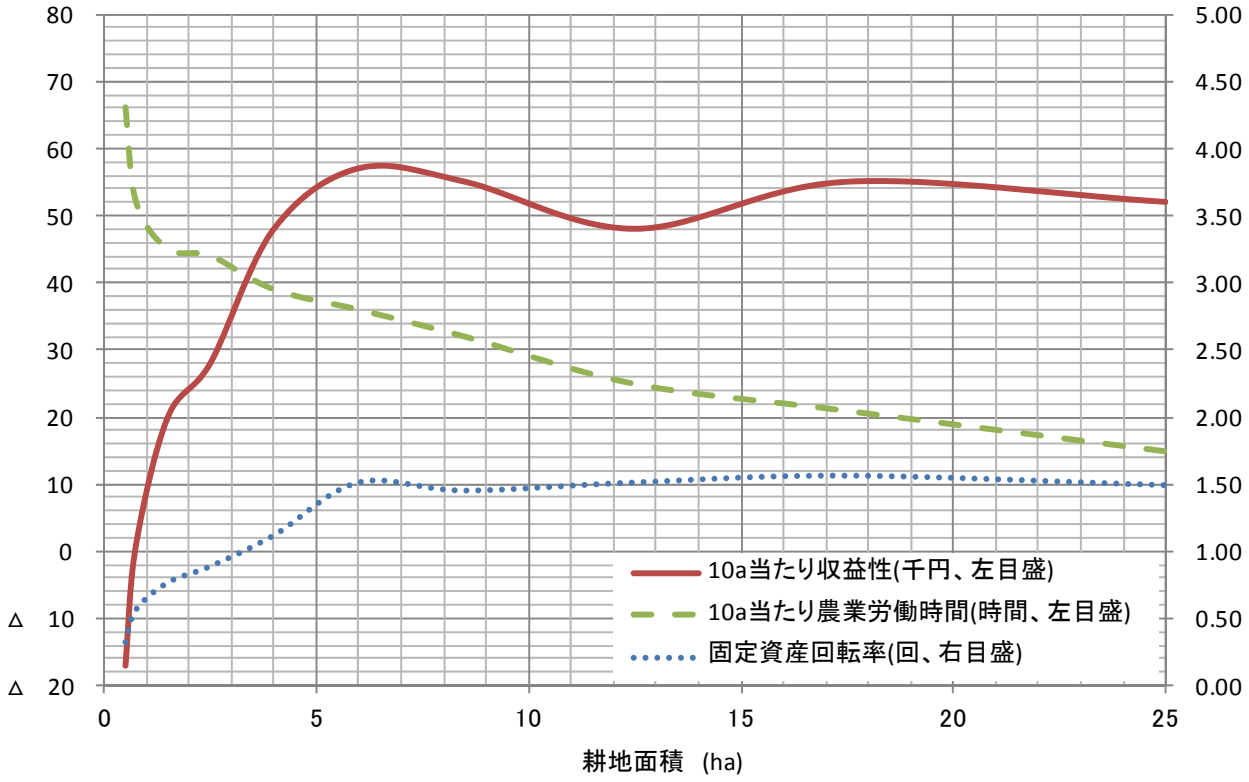


図3.4.2-1　日本の稲作農業の生産性

(出典:農林水産省webサイトより作成)

図中の3本の折れ線は、それぞれ10a当たりの収益性、10a当たりの労働時間、固定資産回転率を示す。2010年の農林水産省農林業センサスによると農業経営体数の約55%が耕作面積1ha未満の兼業農家、約80%が2ha未満の兼業農家でありその大半は稲作農家である。2ha未満では上記３要素どれをとっても傾きのきついところに属する、すなわち非効率的な運営を行っている。一方で10a当たりの収益性、固定資産回転率は約5haにてほぼ横ばいとなる。それ以降も耕作面積を増やすことにより10a当たりの労働時間を減らすことが可能であり生産性は上昇していると言える。5haとは東京ドーム(約4.7ha)を一回り大きくした程度で土地の確保と言う意味では決して不可能でない。

すなわち狭い国土は不利ではあるものの決定的な要因ではないと考える。また表中の農業労働時間から、5haの耕作面積を管理するには年間2700時間が必要とされている。この時間は平均的なサラリーマンと同程度の労働時間であるが一方で対応する農業所得は200万円に満たず生活は裕福とは言えない。

農業をビジネスとして成り立たせるためには、さらなる耕作面積の拡大による収益性のアップ、およびそれにより減少した労働時間の活用による収入アップが期待される。

また、10a当たりの収益性、固定資産回転率が横ばいであるにも関わらず、10a当たりの労働時間が右肩下がりであるのは、農業が如何にオフサイトにおける仕事(耕地面積に関係なく発生する仕事)を抱えているかを示しており、その具体的効率化も今後の検討課題として挙げられる。

2)　農家の年間負荷率

図3.4.2-2に、ある農家からヒアリングを行った年間労働負荷変化率を示す。ピークである9月を100として各月の割合を図式化したもので平均的米農家負荷の季節変動を表している。

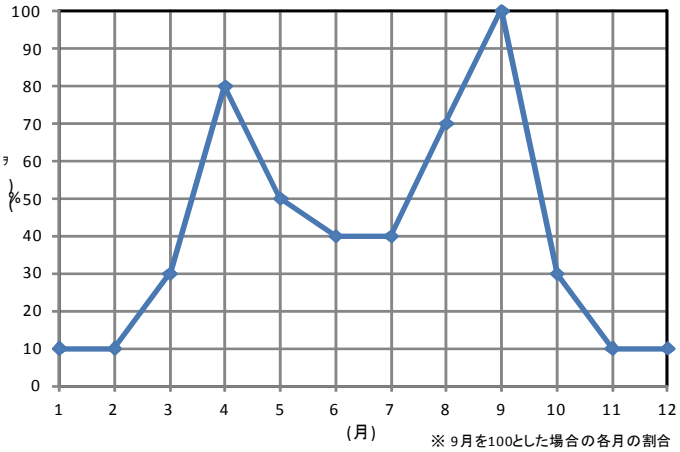


図3.4.2-2　稲作農家の年間労働負荷変化率

出典；農家ヒアリングより

今までの考察は全て季節感を平均化してきたが、四季の色濃い日本の農業ではこのサイクルは避けて通れない。現状大半を占める個人経営では、平均すれば5haの耕作面積を運営できる結果が計算されても、実際には4月の田植えあるいは9月の稲刈りのピークに合せて耕作面積を制限せざるを得ない。これが農業収入の低下を招き、兼業農家を増やしてしまう一つの原因と考えられる。

3.4.3　期待される施策に対する考察

上述のような問題点について様々な観点から議論がなされているが、ここではBCN構想に注目し、現状の完全個人経営から脱却し、今までの文化を維持しつつもコミュニティでバックアップし、コミュニティとの相乗効果も利用して、農業とともにコミュニティの発展が期待される施策を考察する。

1)　耕作面積に対する考察

はじめに耕作面積は効率点を追求し最低でも5ha以上、実績からさらに耕作面積を拡大することによって10a当たり労働力を減らすことが期待できるので、原則として政府案の通り20ha以上を設定すべきである。しかしながら上述の通り20ha以上の耕作地を個人で賄うには限界がある。耕作面積を補助金漬けで増やすのではいままでと変わらずうまくなく、具体的には田植え時と稲刈り時のピークを解消、平均化できるシステムの構築とセットで行うことが大切である。コミュニティのバックアップが必要となる。

2)　年間負荷率から見る生産体制に対する考察

図3.4.3-1にもみ(田んぼ)からこめ(市場)までのフローを示す。上段は(実際の設備はもっと簡素であるが)現状の個人経営農家の所有する設備に近く、下段はコミュニティで所有するライスセンターに近い。

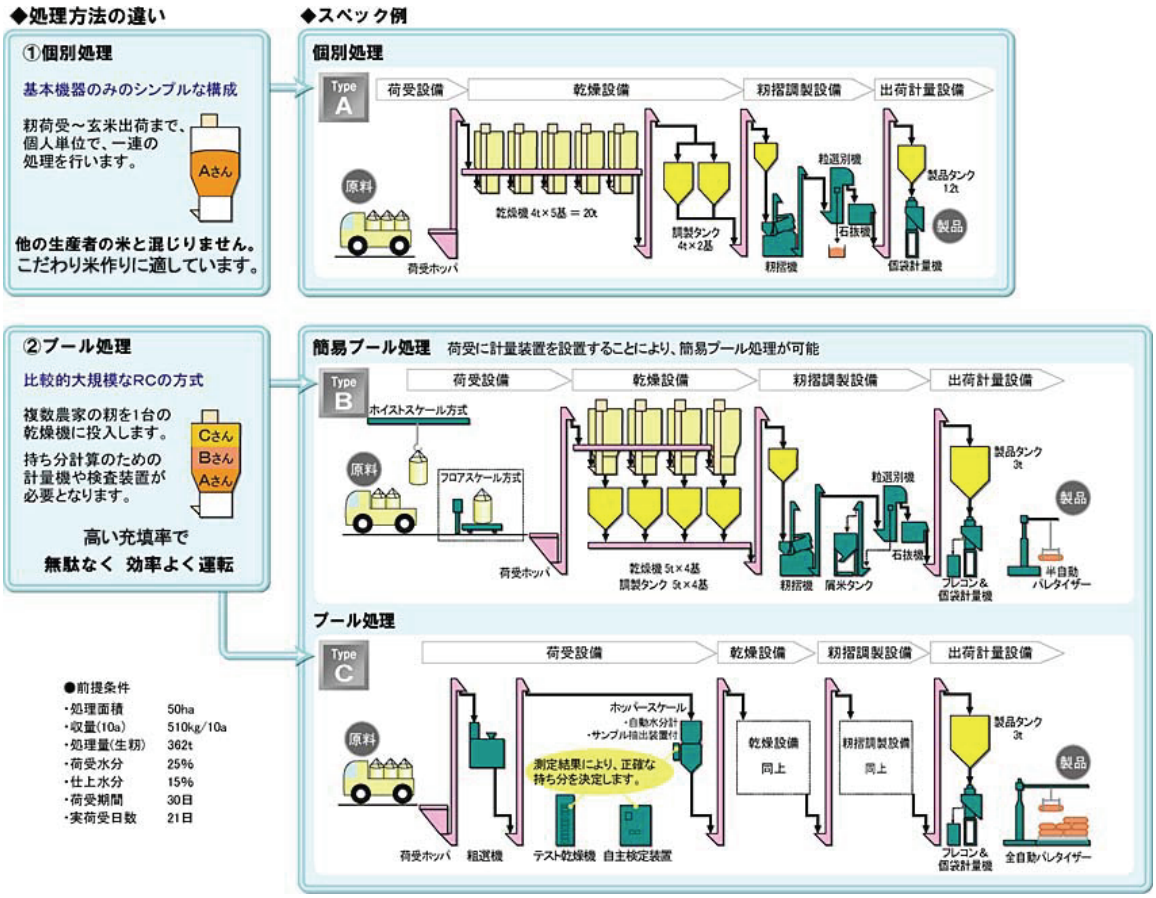


図 3.4.3-1　もみ(田んぼ)からこめ(市場)までのフロー

(出典：㈱クボタ web サイト)

稲刈りの時期に負荷が集中するのは収穫期が限られるという農業の特性に起因するのはもちろんであるが稲刈りから米になるまでの手順の多さ、手間の多さによる部分も多い。実際には本フローの前に、田んぼの水を抜き、水はけ用の溝を掘り(近年の地下排水の整備された田んぼでは省略可)、コンバインにて刈取/脱穀し、袋詰めした籾を軽トラックに積み、乾燥機のあるところまで運び、軽トラックから荷卸しして荷受設備に供給する、という人手のかかるステップがある。

言うまでもなく年に一度一時しか使用しない本図のようなシステムを個人で所有するのは効率的ではないが零細兼業農家含めてほとんどの農家が一式の装置を所有しているのが現実である。

その背景には米にしたところで始めて値段が査定される現在のシステムが影響していると考える。忙しい兼業農家は農業に割く時間、農業へ取り組むスタンスが各個人の価値観、余裕に影響され、その結果は自ずと米の質に影響する。各農家はスタンスの違う農家が生産した米と途中で混合され同一に評価されることを嫌う。当たり前のことだが農業が置かれている現況を考えたら多いに議論されるべきである。よって各農家は非効率であると考えながらも個人で米の生産を完結できる設備を所有する。

以上踏まえて現実的には、農家は以下2つに集約されるのが妥当であると考える。

・高付加価値を追求する個人型農家

・効率的大量生産を追求するコミュニティ依存型農家

さらにコミュニティ依存型農家は米の生産過程すべてをコミュニティのワークとして扱い、各個人ワークに応じて給料を取得する全コミュニティ依存型と負荷率の高い田植えと稲刈り他部分的に依存するコミュニティバックアップ型が考えられる。例えば籾の段階でコミュニティが対価の替わりに引き取れば農家はその後の膨大な作業を削減できる。

先述の通り5ha以上で土地起因の生産性はある程度向上するというデータも得られている。いままでの習わしや文化を急激に変化させることには相応の困難や抵抗が予想されるし、一方で大切にする部分も慎重に検討しなければならない。国土が狭く起伏に富んだ日本において農地の制約は避けて通れず場合によっては後者が適している可能性も視野に入れる必要があると考えられる。

一次的労働力確保の手段として以降のような手段の検討が期待される。

・コミュニティ間の各産業間での融通

・負荷集中部分をコミュニティが管理、苗の供給やライスセンター活用

・田植えと稲刈り時のテンポラリー労働力の確保

・姉妹都市からの労働力の確保

3)　観光ビジネスに対する考察

農業･観光でネット検索すると思いのほか大量のサイトがヒットする。多くの人が関心を持っていることの裏返しであるがその実態、現実、意味に対して共通認識は乏しいように思う。よってここでは観光ビジネスモデルを構築する前提としての農業観光の実態、現実、意味を考察する。具体的には、青森県南部町で取り組まれている”達者村”が、農業観光の実態、現実を把握する上で、またその意味を考察する上で興味深いのでこの場を使って紹介する。

図 3.4.3-2 に「達者村」を利用したプロジェクトパッケージを紹介する。

達者村 web サイトによれば、達者村とは、農家民泊、農業観光、産地直売等を組合わせた「バーチャル･ビレッジ」のことで、交流人口増による産業(農業)と地域の活性化に向け、それまで農家や自治体らが個別に取組んできた農業を活かした交流を達者村というブランドのもとに実施しようという取組みである。(詳しくは、「達者村 web サイト」を参照されたい。)

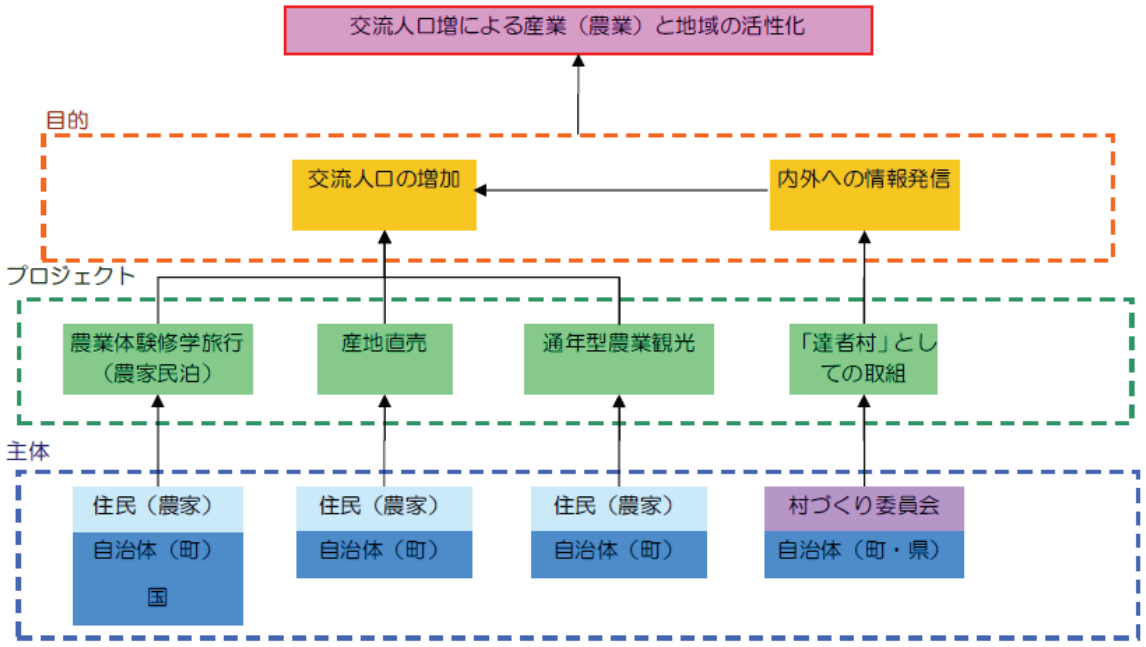


図 3.4.3-2　“達者村“を利用したプロジェクトパッケージ

(出典：達者村 web サイト)

プロジェクトの成果の一例を紹介すれば取組初年度(1993 年度)の受入が 38 名であった農家民泊(農業体験修学旅行等受入実績)は、2009 年度には 2,451 名まで着実に増加している。

web サイトではプロジェクトの具体的結果だけでなく「達者村づくり委員会」を通じた住民の主体的な取組み、”達者村”という統一ブランドによる効果的な情報発信(宣伝効果)を成果としてあげている。

単に個の農家収入アップを狙うだけでなく、地域の活性化を目的とした活動であり、地域の発展、農業の発展、農家収入の上昇、消費の増加、人口の増加、地域の発展という win-win の構築を目指しており、BCN 構想を考察する上でとても興味深い。

一方で、達者村では将来的な長期滞在･定住の拡大を今後の課題としてあげている。すなわち農業を中心としたコミュニティの形成については今後も創意･工夫、試行錯誤が必要であり BCN 構想にとっても同じことである。達者村の人材派遣企業と連携した「農業インターンプロジェクト」や県(広域コミュニティ)と連携した「おためしライフ」(夫婦に長期滞在してもらう)などの取組みは大いに参考になる。

3.4.4 BCN構想の中の農業

例えばコミュニティで苗を育て農家に下ろす、コミュニティでライスセンターを管理し農家はライスセンターに籾を売る。生産の過程で発生した稲わら、籾がらはバイオマスエネルギーとしてカスケード利用される(バイオマス循環)。農業の季節起因負荷率変動はコミュニティの中の産業間で補完し平均化する。コミュニティは都会に姉妹都市を持ち、趣味、観光あるいは短期間労働を兼ねて週末農家を育てる。あるいは大学/高校と連携して単位に農業実習を加える。ピークである田植え、稲刈りはイメージ以上の困難を伴うが数回の経験にてある程度の戦力として期待できる。

コミュニティの中心的役割は既存の農協が行っても良いし、自治体がその機能を果たしても株式会社であっても明確なビジョンさえあれば良い。

BCN構想に農業を組込み、個人経営一辺倒ではなく、農家はコミュニティに雇用される。すなわち、林業、水産業、工業、サービス業、コミュニティに所属する全員で負荷を分かち合い恩恵を分かち合う。xxコミュニティ株式会社、農業部に属するという視点があっていいと考える。少し行きすぎた考察かもしれないが農業の置かれている現況、農業が必要とされる意味、農業の可能性を真剣に考えれば大胆な発想の転換、抜本的なモデルの改築の必要性にたどりつくのがむしろ自然である。その一つにBCN構想を推奨する。

3.4.5 まとめ

農業の多面的機能分類を**表**3.4.5のように考察した。農業の持つ役割は、食糧あるいは飼料の提供のような物質生産機能、水量調節、生態系保全や二酸化炭素吸収に代表される環境保全機能、保健教養･文化機能、地域交流や職場提供を通じた社会貢献機能まで実に多面的である。どれをとっても欠くことのできない機能であることを再認識するとともにその大きな可能性を示唆している。欠くことのできない農業の多面的機能を効果的に経済的に自立した形で活用する仕組みこそBCN構想であると考える。

現代は理想的太陽エネルギーのオンタイム利用までの遷移期にある。太陽エネルギーの利用法には石油、石炭、天然ガス等の化石燃料に代表される産業用エネルギーと我々が生きるために直接摂取する食糧の2つがある。化石に密度高く閉じ込められているエネルギーに対して食糧は保存が利かない。すなわち強固な生産システムの確立こそが重要である。農業は、補助金漬けで保護されているだけでは経済界にとってはお荷物で、BCN構想の中でネットワークの強力なエンジンの一つとして地域の発展に貢献し、地域の発展とともに自立することが求められている。農業は自然に密着し四季を肌で感じることのできる趣の深い職業である。一年を通して掻いた汗が秋に報われる感動は他の職業では味わえない。将来予測される食糧危機を乗り越えるため、今農業を立て直す必要があり、保護ではなく農業に投資することによって将来のビジネスモデルとして構築する必要がある。

以上、今回は農業の置かれている立場、課題、各所の取り組みを含めた必要な行動を俯瞰した。今後は自立した経済モデルに変革するためのより具体的なモデルを考察したい。

表3.4.5　農業の多面的機能分類

機能分類		具体的内容	環境の機能要素			
			① 供給	② 同化	③ 財	④ ｻｰﾋﾞｽ
物質生産機能		A）農産物生産 食糧、飼料、資材	○			
		B）燃料（エネルギー）生産 バイオマス燃料	○			
公益的機能	環境保全	C）水源かん養 水資源貯留、水量調節				○
		D）快適環境形成 気候緩和、大気浄化、 快適生活環境形成（騒音防止）		○		○
		E）生物多様性保全 遺伝子保全、生物種保全、生態系保全			○	○
		F）地球環境保全 地球温暖化の緩和（二酸化炭素吸）、 地球の気候の安定		○		○
	保健休養・文化	G）保健･レクリエーション 療養、保養（散策）、行楽			○	
		H）教育文化 景観･風致、学習･教育、芸術、宗教･祭礼、伝統文化、地域性維持、四季共感		○	○	
	社会貢献	I）観光･地域交流 農業体験、農民泊、グリーンツーリズム、特産品、棚田				○
		J）生活･コミュニティ･国家貢献 (地域への)職場提供、カロリーの確保、食糧安全保障への貢献			○	○

3.5　木質ペレット燃料社会実験の提案

今般の東日本大震災で分散型エネルギーの重要性が強く認識された。ここでは、地域振興、地産地消、気候変動対策、森林保全等の多角的観点で有益な木質ペレット事業についてFS（Feasibility Study）を試み、そのうえで課題を克服するための社会実験を提案する。

3.5.1　設定モデル

FSで設定したモデルを以下の示す。

1)　地域モデル

東日本大震災の津波被災地域をモデルとして想定し、三陸沿岸市町村の平均的な市町村像である**表3.5.1-1**を試算地域モデルとして設定した。なお、今回は森林面積、林業従事者数、林業生産量等の情報までは盛り込まず、十分な資源供給が可能と仮定している。

表3.5.1-1　地域モデルの設定

人口	世帯人員	世帯数
15,000人	平均2.71人	5,500世帯

2)　暖房需要

暖房需要の設定は、家庭の場合、主たる居室１室（木造18畳のリビングダイニングキッチンを想定）にペレットストーブ（FF式7kW級）を1台設置し、他の部屋は従来型の暖房方式とした。暖房需要のモデル設定を**表3.5.1-2**に示す。

表3.5.1-2　暖房需要モデルの設定

	小型機	中型機	大型機
使用場所(例)	一般家庭のLDK	教室、事務所	ロビー、体育館
最大出力	7kW(木造18畳対応)	14kW	56kW
平均燃料消費量	1kg/時	2kg/時	8kg/時
暖房日数※	120日/年 相当	120日/年 相当	120日/年 相当
暖房使用時間	15時間/日	9時間/日	9時間/日

※暖房日数：12～2月はフル使用、11月と3～4月は間欠使用と想定し、フル使用120日相当と算定

ペレットストーブ23機種の情報を収集した結果、暖房出力7kWで燃料消費量は1.5kg/時程度であった。常に最大火力で運転するとは考え難いため、平均燃料消費を1kg/時に設定した。ただし、この値は仮定であり、灯油の消費実態等の参考データがあれば今後反映する。この7kW級機を小型機として設定し、これを基準に中型機を平均燃料消費量2kg/時、大型機を平均燃料消費量8kg/時として設定した。

3)　想定事業スキーム

大規模24時間稼動の発電所や産業用ボイラでは木質チップが適するが、比較的小規模で間欠運転も行う一般家庭や業務用の暖房需要では、含水率が低くて燃焼が安定し、火力調節も容易な木質ペレットが適する。ここでは地域の森林で発生する間伐材を地域で木質ペレットに転換し、地域内の一般家庭や公共施設等で燃料として利用する事業スキームを想定する（**図3.5.1-1**）。地域熱供給事業も導入する。

原料供給サイドは森林組合や林業家、素材生産会社等の林業関係者を想定し、ペレットに加工する転換サイドは製材業を想定する。流通は、ペレット生産者の直送の他、運送業者や宅配業者による配送、ガソリンスタンドや燃料店での取り次ぎ、

コンビニエンスストアや生協、スーパーによる宅配への便乗等が考えられる。

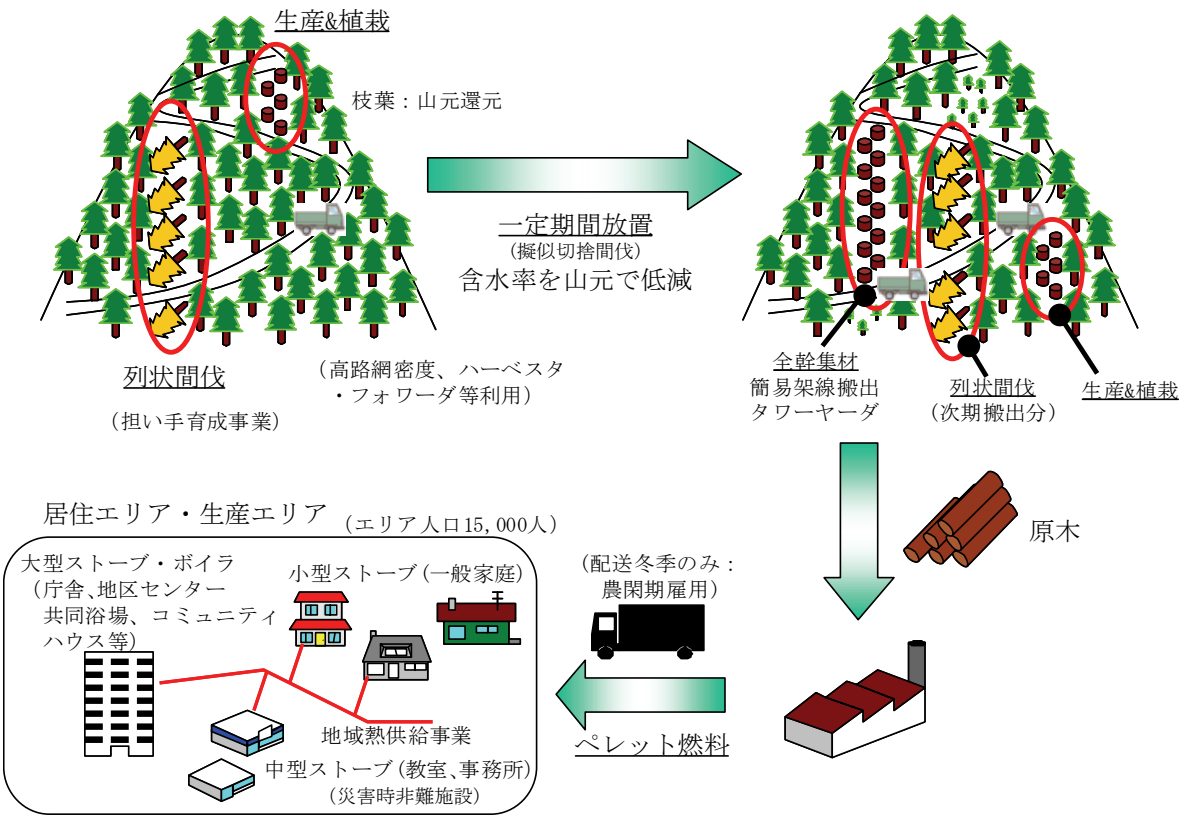


図3.5.1-1　想定事業スキーム

3.5.2　各サイドでの事業状況の試算

ここでは、各サイドにおける事業状況について、設定値を定めて試算を行った。

1)　原料供給サイド

木質ペレットの原料として、同一市町村あるいは近傍市町村の人工林の間伐材を充てる。現状の間伐可能量ではなく、森林の保全を図るために適正な水準まで間伐量を増やすものとし、そのために必要な人員を新規雇用として創出する。原料供給サイドである森林および林業経営体に関するモデル設定を**表3.5.2-1**に示す。

表3.5.2-1　原料供給サイドの事業モデル（間伐材）

項目	数値	備考
搬出時含水率	67乾%(40湿%)	葉枯らし材（本文参照）
搬出時かさ密度	0.53 t/m^3	葉枯らし材（本文参照）
年間原木生産量	15,800 m^3/年 (8,400t/年)	燃料転換施設原料受入量より逆算
年間作業日数	150　日/年	4～12月半ば、月～土：稼動率77%
労働生産性	2.0 m^3/人/日	育林作業等も含む
年間労働生産性	300m^3/人/年	育林作業等も含む
雇用創出効果	53人	間伐要員として雇用
間伐材原木販売価格	4,000円/m^3	搬送コスト見合い分

(1) 搬出時含水率

従来の木質ペレットの原料は乾燥済みの製材端材が多く、乾燥コストが不要であった。しかし、ペレットを大量生産する場合、製材端材では資源不足になるため積極的に間伐を行い間伐材をペレット原料として利用する。

この時、間伐材は含水率が100～150乾%（乾燥基準；湿潤基準では50～60湿%）と高いため乾燥負荷が大きく、高コストになる。例えば、乾燥端材を用いるけせんプレカット事業協同組合のペレットの税込店頭価格は37.8円/kg、含水率が高い樹皮から生産する葛巻林業の税込店頭価格は52.5円/kgと、同じ岩手県内でも原料による価格差が生じる。よって、原木段階でなるべく含水率を低下させる必要がある。

原木の状態で含水率を低下させる手法として葉枯らし乾燥がある。これは伐採後に枝葉のついたまま現場で2～4ヶ月程度放置するもので、葉からの水分蒸散作用により辺材部の水分が減少する。愛媛県の資料によると葉枯らし乾燥で含水率が66乾%（40湿%）に減少するので、今回の事業モデルの原料は葉枯らし材を設定した。

(2) 年間原木生産量

今回の試算では年間生産量を15,800m^{3}と設定した。ただし、この量は後述の燃料転換施設で原料を1t/h受け入れるとの設定から逆算したものであり、森林保全の適正間伐水準から算出したものではない。適正間伐量の算出は今後の課題である。

(3) 労働生産性

積雪を考慮して生産期間を4月～12月半ばとした。稼動日は月～土で悪天時は休業とし、稼動率を77%、年間の生産日数を150日と仮定した。

作業手順はまず列状伐採を行い葉枯らし乾燥として数ヶ月放置した後、プロセッサやスイングヤーダ等の林業機械を用いて集材、枝払い、玉切を行い、トラックで搬出する。

林内での生産効率については各種の数値がある。法人組織の育林･素材生産会社での伐採生産性は全国平均で5.8m^3/人/d程度と見られるが、育林作業等も含めると実質2.7m^3/人/日程度と見られる。ここでは仮定として2.0m^3/人/dを設定したが、この数値については実証事業等を通じて検証や修正が必要である。

(4) 雇用創出効果

原木生産量と労働生産性より、設定モデルでは53人の雇用が創出される。ただし、前述のように原木生産量も労働生産性も設定数値に見直しの余地がある。

(5) 原木販売価格

基本的な考え方として従来から実施されている植林、下草刈り、枝打ち、間伐のうち抜倒、用材生産向けの伐採および搬出で要するコストは全て製材用原木販売で回収するとする。ペレット燃料の原料は、従来は切り捨て間伐で林内に放置され無価値となっていた材とし、ペレット用原木に転嫁するコストは抜倒後の土場までの搬出およびペレット工場までの運搬コストのみとする。

林内からトラックが入る林道までの搬出コストは、立川(2006)によると簡易架線集材（スイングヤーダ）、定形間伐材、集材効率0.3m^3/回、集材距離50mの条件で作業コストが2,000円/m^{3}と報告されている。これに、トラックによる運搬10kmのコスト

として2,000円/m³を加算し、原木売価を4,000円/m³に設定した。

2) 燃料転換サイド

山元近傍の施設において、原木をペレット燃料に転換する。工程は粉砕、乾燥、造粒である。製品の燃料価値や造粒での成形性を考慮すると、造粒前の木粉の含水率は15湿%程度にする必要がある。

(1) 製造フロー

ペレット燃料の製造フローの例を**図3.5.2-1**に示す。このシステムは、沖縄県うるま市の石炭火力発電所向けに木質ペレットを製造する施設で採用されている。まず、原料をハンマーミル等の粗破砕機でチップ化し、衝撃式粉砕乾燥装置で粉砕と同時に乾燥も行う。得られた乾燥粉体をペレタイザーで造粒し袋詰めして出荷する。沖縄の事例は解体材等を原料とし製品を発電所向けにフレコンバックで出荷しているが、今回の想定事業では間伐材を原料とし小型ストーブ向けには小袋詰めで、大型ストーブやボイラ向けにはフレコンバックで出荷する。

衝撃式粉砕乾燥装置は水分をミストのまま排出するため、ミスト相当分の蒸発熱を投入する必要が無くエネルギー効率に優れる。また、燃焼装置が無く燃焼排ガス処理が不要、粉砕と乾燥を一つのプロセスで兼ねて省スペースなど利点が多い。さらに、通常の乾燥システムでは電力と燃油の２種類の供給が必要であるが、このシステムは電力のみで稼動するため、今般の東日本大震災のように燃油調達が困難な状況下でも電力さえ復旧すれば早期に操業復帰可能である。

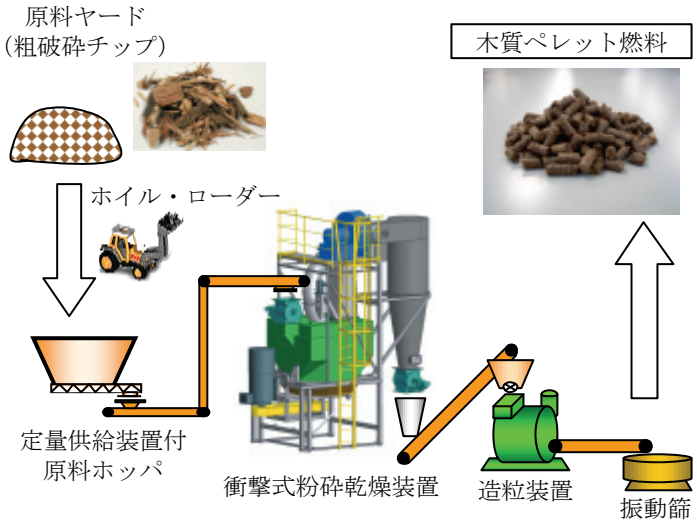


図3.5.2-1　ペレット燃料製造フローの例

(2) 事業モデル

燃料製造における事業モデルを**表3.5.2-2**に、原価構成を**図3.5.2-2**に示す。

前述のように木質ペレットの店頭売価（税込）の例では、乾燥端材を用いるけせんプレカット事業協同組合のペレット価格が37.8円/kg（税込店頭価格）、含水率の高いバーク（樹皮）から生産する葛巻林業は52.5円/kg（税込店頭価格）である。今回の葉枯らし材から製造する事業モデルの販売価格は42.1円/kg（税込店頭価格）で

あり、妥当な値と推察される。営業利益は537万円/yの黒字となる。

表3.5.2-2　燃料転換サイドの事業モデル

項目	数値	備考
原料受入量	15,800m³/y	8,400t/y相当
原料含水率	40湿%(67乾%)	
原料購入価格	4,000円/m³	
初期投資額	3.5億円	助成金適用前。用地は遊休地活用。
助成金	50%	
減価償却期間	8年	製材機械の法定耐用年数8年に準じる
操業時間	24h/d	連続操業
操業日数	350日/y	
原料処理量	1t/h	
従業員数	9人	3直4交代(2人づつ)＋事務員1名
冬季配達要員	16人	農閑期の農家を季節雇用
人件費単価	5,533千円/y	社会保険料込み、額面年収480万円
製品生産量	5,376 t/y	歩留まり95%（バーク等全て利用）
原料購入費	63,395千円/y	
減価償却費	21,875千円/y	定額法の場合
光熱水費(基本料含む)	61,628千円/y	高圧季節別時間帯別電力S(東北電力)
人件費	49,797千円/y	
消耗品・メンテナンス費	7,500千円/y	
包装費	5,914千円/y	
費用合計	210,109千円/y	
店頭製品原価(バラ)	38.0円/製品kg	減価償却費、人件費等含む
包装費	1.1円/製品kg	
店頭製品原価(袋入)	39.1円/製品kg	
営業利益	1.0円/製品kg	
本体価格(店頭、袋入)	40.1円/製品kg	
消費税	2.0円/製品kg	
税込販売価格(店頭、袋入)	42.1円/製品kg	
配送料(税込)	8.5円/製品kg	
税込販売価格(配送、袋入)	50.6円/製品kg	
年間営業利益	5,376千円/y	減価償却、人件費計上後利益

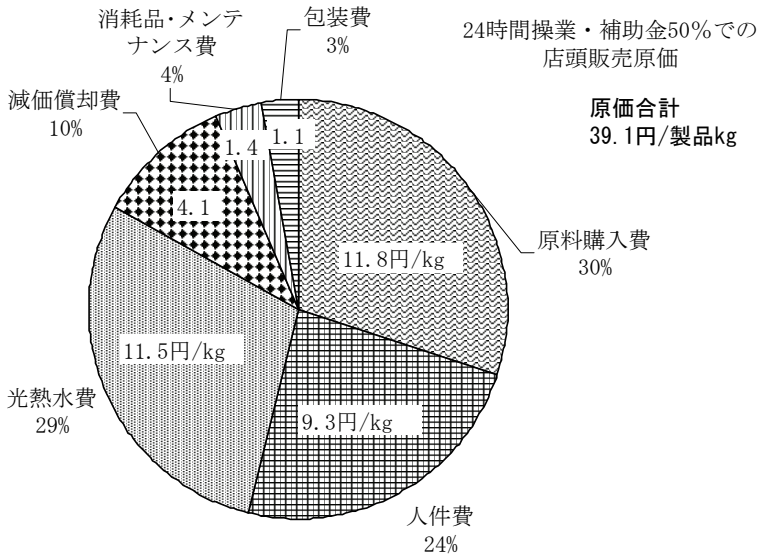


図3.5.2-2　木質ペレットの原価構成（配送費を除く）

3) 燃料需要サイド

燃料生産量5,376t/年に見合う暖房機器普及数量を、暖房需要モデル（**表3.5.1-2**）に基づき算定した。算定結果を**表3.5.2-3**に示す。

表3.5.2-3　暖房機器の普及数量

項目		数量	単位	備考
機種	小型機	2,750	台	一般家庭用 普及率50%
	中型機	80	台	教室、事務所
	大型機	20	台	庁舎、地区センター等
燃料消費量		5,300	t/年	

一般家庭での普及率は50%を目指す。暖房需要モデルに示したようにペレットストーブを主たる居室用とし、その他の部屋は灯油ストーブ等従来型暖房機で賄えば、暖房エネルギー源の多重化となり、災害耐性が向上する。一般家庭向けのみでは余剰となる燃料は、学校の教室や事務所、店舗、公共施設等に設置する中型ストーブや大型ボイラで使用する。

需要者側での経済性試算結果を**表3.5.2-4**に示す。燃料を配達で購入すると仮定し、灯油暖房と比較した。

表3.5.2-4　燃料需要サイド（一般家庭）での経済性試算

項目		木質ペレット	灯油
燃料	配達料･税込み価格	50.6円/kg	(5年平均)84.6円/L
	低位発熱量	18.8MJ/kg	36.7MJ/L
	発熱量単価	2.69円/MJ (灯油比117%)	2.30円/MJ
	年間消費熱量	33,840MJ/年	33,840MJ/年
	年間消費量	1,800kg/年	922L/年
	年間燃料費	91,080円/年 (灯油比117%)	78,000円/年
暖房器具	タンク等部材費、設置費､税込みの価格	200千円/台 (補助50%の場合)	154千円/台

この事業モデルの場合、燃料費は木質ペレットが灯油よりも17%、年間で13,000円ほど高い。また、初期コストのストーブ代も、ペレットストーブに50%の補助が実施されても1台あたり46千円ほど高く、経済性の面では一般家庭の導入意欲が喚起され難い。排出権をクレジットしても僅かな額である。かといって一般家庭で経済性が灯油同等になるように木質ペレットの価格を43.2円/kgに下げると、燃料生産事業者が赤字となって事業が成立せず配達料込みの価格で50円/kgはやむをえない。なお、店頭販売価格では灯油と木質ペレットの価格差が更に広がる試算結果となった。

木質ペレットは、消費者にとっては燃料費が高いうえ、灰処分や、灯油（屋外タンクからの自動補給式）に比べ燃料補給が頻繁で手間などのデメリットが存在する。一方、ペレット燃料にはカーボンニュートラルや間伐促進による森林活性化などの環境性能、炎による安らぎ、インテリアとしての重厚感などのメリットがある。単純な経済性だけでは普及しないことが木質ペレット事業の最大の課題である。

3.5.3　事業スキームのまとめ

間伐材供給体制とペレット製造施設を整備し、一般家庭にもペレットストーブ購入に補助金50%を導入することにより、**図3.5.3-1**のような事業スキームを構築し、地域内の暖房需要の半分近くを賄うことは計算上可能である。しかし、ペレット燃料が灯油より高く、経済合理性が成立しない。

ペレット燃料事業には地域での雇用の創出、森林活性化による森林の多面的機能の向上とそれに伴う恩恵の増大、気候変動（地球温暖化）対策、地域からの富の流出抑制（化石燃料購入費用の削減）、小規模分散型エネルギーによるエネルギー源多様化と災害耐性の向上など、様々な効用がある。これらの価値を経済的価値に置き換えてペレット事業の価値に付加することが必要である。

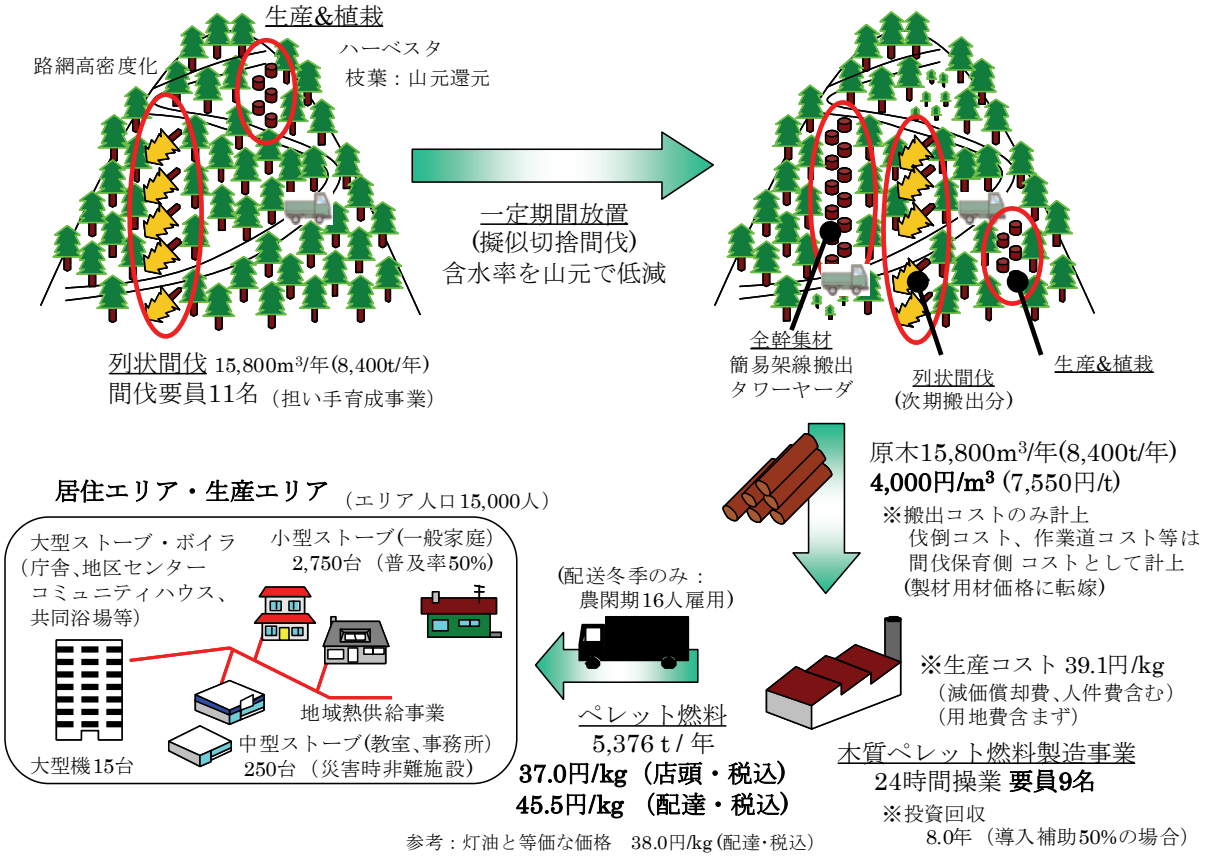


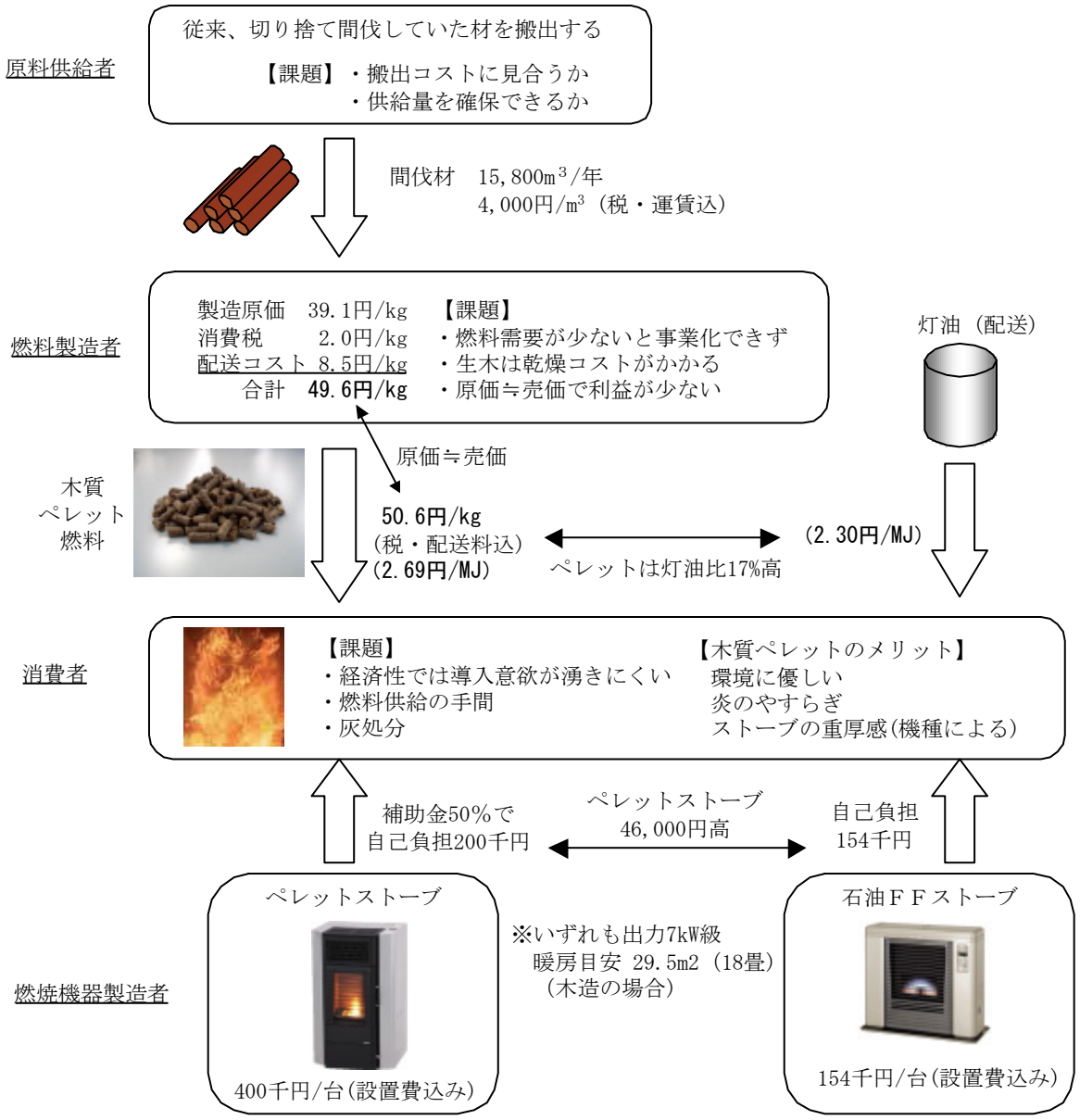
図3.5.3-1　木質ペレット事業のスキーム

3.5.4　課題克服に向けた社会実験の提案

木質ペレットの普及には経済性をはじめいくつかの課題がある。ここでは、これらの課題について考察し、普及のための方策として公的関与により一定規模の燃料供給と需要を保証する社会実験を提案する。

1)　課題1：経済性

FSでの試算結果に基づき、木質ペレット事業の経済性についてその課題を**図3.5.4-1**に整理した。



（ストーブ写真は例示：出典はいずれもサンポット社webサイト）

図3.5.4-1　木質ペレット事業の経済性の現状

図3.5.4-1に示すように、イニシャルコストであるストーブ価格、ランニングコストである燃料価格とも灯油よりも高く、需要サイドでの普及の妨げになっている。また、燃料製造サイドでは、燃料需要が少ないこと、利益が少ないことから事業化を躊躇する傾向があり、間伐材を用いる場合は乾燥コストが大きな課題となる。

さらに、ストーブメーカでの問題として、普及しないため販売台数が少なく割高となる、構造上部品点数が灯油ストーブより多くなる等の原因により、灯油ストーブと同等の価格での販売は困難である。重量が重いため一人では運搬できず、設置費用が高いのも難点である。

2)　課題2：原料供給

原料供給での最大の課題は低コストでの搬出である。製材向け用材生産の観点からも路網密度向上や高性能林業機械導入は必須であり、用材生産施策として推進が望まれる。事業モデルで設定した間伐材搬出コスト4,000円/m³で出荷可能か、実証事業での確認が必要である。

また、乾燥コスト低減のために葉枯らし乾燥技術の普及が必要である。現時点では一部地域での研究に留まるため、広く各地で試行し、樹種や地域、季節、立地条件等による影響を把握する必要がある。また、伐倒と搬出で２回山に入るため、労働生産性について検証が必要である。

これらの課題を検証するため、助成策としてモデル地区を設定し、実証事業を行う必要がある。

3)　普及方策の提案

課題解決と普及促進に向け、実証事業の役割を持つ社会実験を提案する。特に「需要が少ないため高価になり普及しない」「高価なため需要が少なく普及しない」といった鶏が先か卵が先かの類の状況が既存事例で多く見られるため、公的事業としてまとまった数量の生産と需要を社会実験により確保し、普及の端緒とする。今回提案する方策を**図3.5.4-2**に示す。

(1)　原料供給

葉枯らし乾燥の検証、事業体育成、路網整備と高性能林業機械普及、コスト検証などを目的として、間伐による原料大量供給実証事業を実施する。

(2)　燃料転換

長期目標として木質ペレット燃料の価格を灯油同等にすることを掲げ、利益の出る体質づくりに向けた事業開発と技術開発を行う。具体的には乾燥コストをはじめとした製造コストの検証や、配送手法の工夫による流通コスト削減の検証を行うため、木質ペレット生産実証事業を実施する。

なお、既存事例を見るとペレットストーブの普及が進まないため生産量を増やせず、事業採算性が悪化する事例が多く見られる。ストーブの普及には一定期間を要すると考えられるため、普及までの間は公的に需要保証を行い、余剰分をバイオマス発電施設等で活用し、民生用ストーブ燃料価格と産業用燃料価格の差額は公的に補填する。

(3)　燃焼機器製造

大量生産による低価格化の可能性を検証するほか、熱電変換による自立運転機能など災害に強い機器を開発する。ペレットストーブの短期目標として、公的補助50%で灯油ストーブ同等となるように7kW級機で設置費込み30万円を目指す。

この検証には、まとまった台数の販売を保証する必要があるため、公的機関やリース会社、ESCO事業者などを普及事業体に指定する。この普及事業体が公的資金によりストーブおよびボイラを大量に購入し、一般家庭や事業所に2～3年程度貸与してモニタリングを実施する。社会実験期間終了後は残存簿価程度で希望者に譲渡する。例えば、ストーブメーカー4社から100台づつ購入し、大量生産による価格低減の可能性を検証する。

(4)　需要家

ストーブ導入補助など環境性能に見合った経済的支援措置と、やすらぎ等の付加価値の啓発や喚起を行う。また、灰処分システムを確立する必要があり、集配逆ルートで収集して山元還元するなどのスキームを構築する。

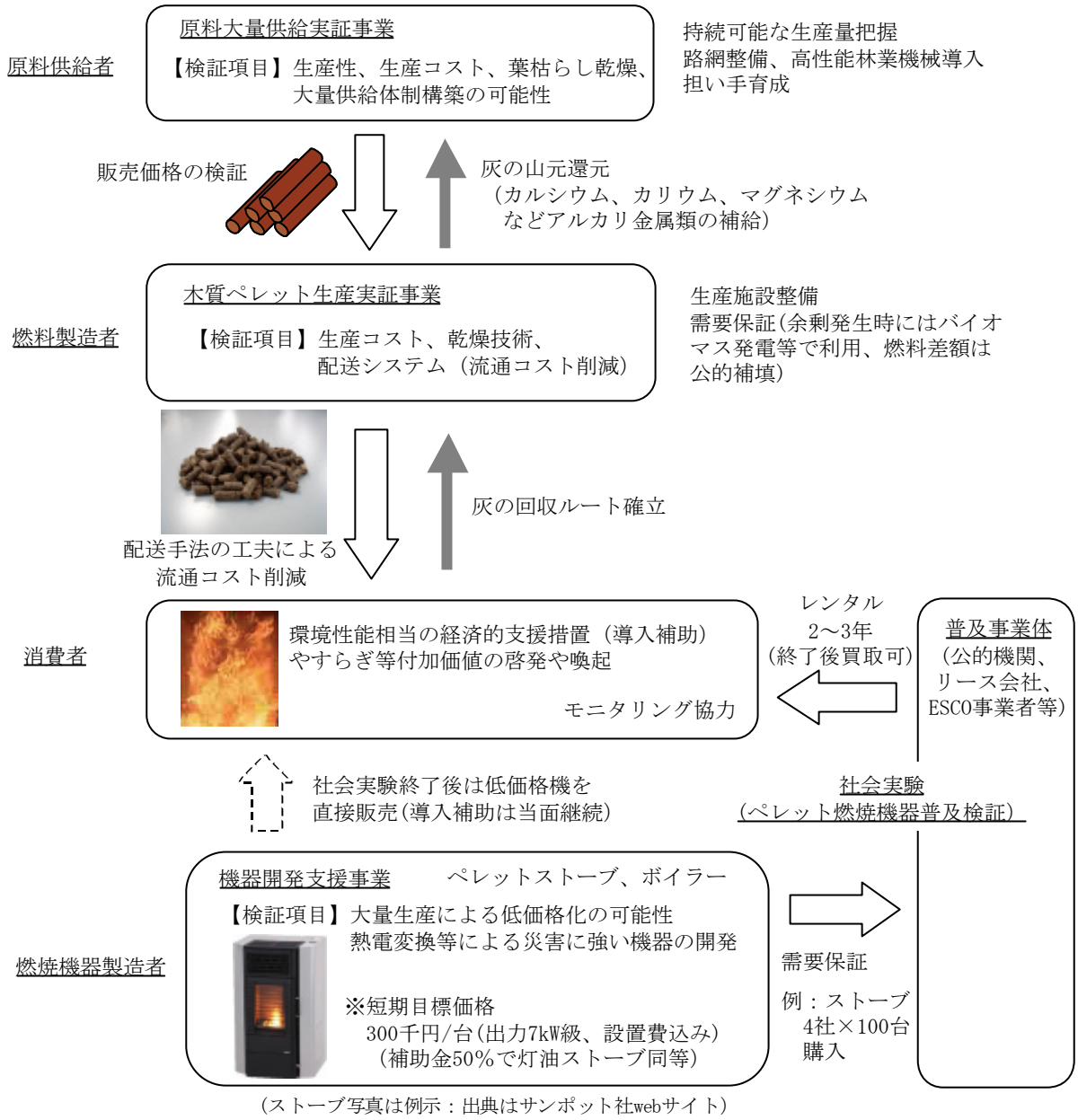


図3.5.4-2　社会実験等による普及方策の提案

第４章　再生可能エネルギーによる災害に強い社会の構築

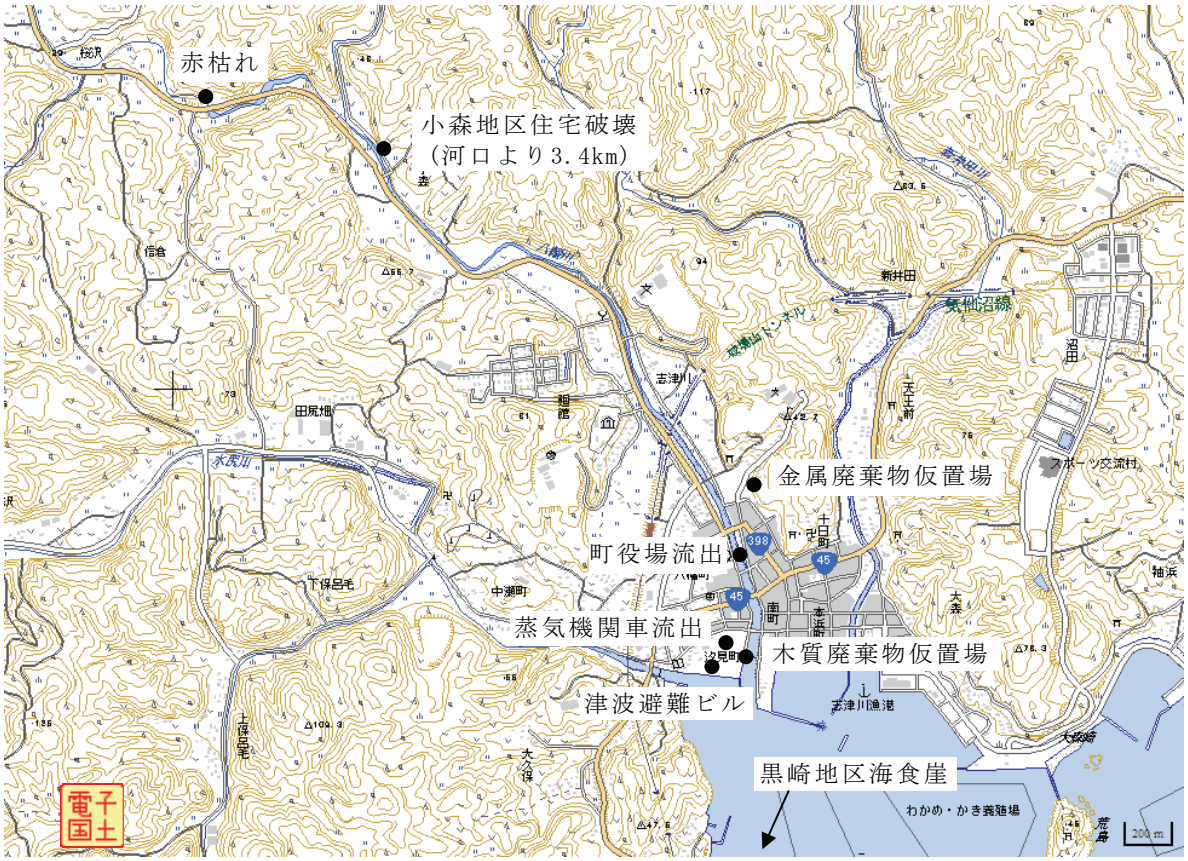
今般の東日本大震災は多大な犠牲を強いると共に、現代社会のあり方について重大な課題を投げかけた。本節では震災から得られた教訓をもとに、災害に耐力のある社会構築に向けていくつかの個別方策と東北型再生可能エネルギーモデルを提案する。

4.1　東日本大震災被災地調査

エンジニアリング産業が学ぶべき教訓を体感し、同時に地域復興及び地域振興方策のヒントを得るべく、震災被災地の宮城県南三陸町及び石巻市を調査した。以下ではバイオマスに留まらず広く震災全般について整理した。この現地調査を災害に強い街づくり、バイオマス等再生可能エネルギーによる分散型エネルギー社会の構築、バイオマスを軸としたコミュニティネットワークによる地域づくりなど今後の検討に資する。

4.1.1　南三陸町の津波被害

南三陸町は海食崖が連なる沿岸部の狭小な平地に市街区が密集した三陸沿岸で典型的な地形地理条件である。このため津波で人口の5%を超える死者･行方不明者を数えるなど被害が激甚であった。調査地点を**図4.1.1-1**に示す。また、被災前後の空中写真を**図4.1.1-2**に示した。低地は壊滅的な被害を蒙っている。



（基図：国土地理院電子国土webシステムの地図閲覧サービスよりハードコピー）

図4.1-1　南三陸町志津川周辺域　調査地点位置図

図4.1.1-2　南三陸町志津川地区　被災前(左)と被災後(右)

(出典：共同通信社『東日本大震災』)

1)　八幡川流域の津波最大遡上域（小森地区）

南三陸町資料によると志津川地域の津波最大遡上高は標高21.5mである（遡上高：津波到達地点の標高）。今回の調査でも桜沢地区の八幡川渓岸（河口より直線距離で約4km）に植生の赤枯れ等、潮の遡上を伺わせる変異を確認した。八幡川流域での家屋破壊最上部(**図4.1.1-4**)は河口より直線距離約3.4kmの小森地区で標高約15mである。

図4.1.1-3 塩害立ち枯れ(小森地区)
（杉の赤枯れ）

図4.1.1-4 家屋破壊箇所最上部(小森地区)
（白いコンクリート基礎のみ残る）

図4.1.1-5　電柱破壊状況(小森地区)

図4.1.1-6　ガードレール破壊(小森地区)

家屋の破壊の他、電柱は全て抜けて二つ折りとなり(**図4.1.1-5**)、ガードレールは飴玉のように曲るなど(**図4.1.1-6**)津波の破壊力を伺い知る状況であった。小森地区は四方を山に囲まれ海の存在を全く感じさせない山間地区であるため、住民は海に対する防災意識を持つことなく生活していたと推測される。

2)　志津川地区の中心市街部の被害

南三陸町の中心である志津川地区は標高5m未満の低地で壊滅的な被害を受けた。防災拠点たるべき町役場防災庁舎も鉄骨を残すのみである(**図4.1.1-7**)。町役場付近はほとんど流出したが、役場前のチリ地震津波の浸水高(2.4m)を記す標柱は残っていた(**図4.1.1-8**)。平素この標柱を見て「2階に逃げれば大丈夫」と油断した人もいたと思われ、この標柱のみが残ったのは皮肉な結果である。

図4.1.1-7　町役場防災庁舎(町役場は流出)

図4.1.1-8　チリ津波の浸水高標柱

図4.1.1-9　中心部(電柱電線は復旧での新設)

図4.1.1-10　被災の明暗(志津川中学下)

低地の建築物はほぼ全壊したが(**図4.1.1-9**)、僅かな標高差で全く被害が無い家もあり(**図4.1.1-10**)、災害メカニズムの特性を物語っている。

図4.1.1-11　臨海部の津波避難ビル(共同住宅)

図4.1.1-12 最上階の漁具

図4.1.1-13　流出した蒸気機関車

図4.1.1-14　護岸破壊及び浸食

図4.1.1-15　役場前スラブ橋の欄干

図4.1.1-16　役場前スラブ橋の現況

臨海部には階段最上部に大きなマークがある津波避難ビル（平時は共同住宅：**図4.1.1-11**）が整備されていたが、最上階の4階まで波に洗われ室内は伽藍堂であった。4階にも漁具の浮きやロープが掛かるなど(**図4.1.1-12**)建物全体を津波が飲み込んだ。また、近くの松風公園で展示されていた100t超の蒸気機関車も流出した(**図4.1.1-13**)。

土木構造物の被害は護岸が広範に破壊され、浸食も見られた(**図4.1.1-14**)。調査時に

は埋め戻しが進んでいたが被災直後の空中写真によるとかなりの浸食と冠水があった。一方、横圧の少ないスラブ橋は欄干の変形程度(図4.1.1-15)であって橋の本体機能は維持していた。ただし地盤沈下によりクリアランスが小さくなっており(図4.1.1-16)、現状のままでの恒久的使用は問題がある。

図4.1.1-17　トラック残骸

図4.1.1-18　乗用車(?)残骸

車輌も多数損壊し、トラックの運転室が削がれた(図4.1.1-17)だけでなく車台のフレームがくの字に曲る(図4.1.1-18)ほど強大な圧力が加わった痕跡がある。

この他、市街中心部より南方の黒崎地区海食崖上（喫茶店G-Cofee地点）は標高約27m前後で被災を免れたが、直下の標高20m程度まで赤枯れの木があることを確認した。なお、同じ標高でも赤枯れの木と被害の無い木がまだら模様で分布しており樹種によって塩害への耐性に差があるとみられる。

4.1.2　南三陸町の災害廃棄物

志津川地区では鉄筋コンクリート造りの建物を除き被災建築物や構造物の撤去が概ね終了し、災害廃棄物は町内の一次保管場所に仮置きされていた。木質系廃棄物は松風公園(図4.1.2-1)に、不燃物系廃棄物は志津川中学下に集積されていた。

図4.1.2-1　木質系廃棄物仮置場遠景

図4.1.2-2　集積状況

図4.1.2-3　畳、ビニール等混入

図4.1.2-4　土砂、鉄骨等混入

木質系廃棄物(図4.1.2-2～4)は土砂の付着･混入が多く再資源化の障害となる。また、潮被り木材の塩害については廃棄物資源循環学会の『災害廃棄物分別･処理戦略マニュアル』で「木材の場合、樹皮から1cm以内にほとんどの塩分が存在しており、累積80mm程度の降雨で2-3%から1%以下に低減させることが可能とのこと」と表記されているが、現地の集積状況を勘案すると集積山の内部の大部分の木材は降雨に曝されないため、降雨による洗いの効果は限定的と考える。

このほか、鉄骨やビニール、樹脂芯材の畳、ガスボンベや殺虫スプレー等危険物も混入しており更なる分別に多大な労力を要する。また、アスベストやPCB含有トランスなど注意を要する混入物が多岐に渡る。このため仮置場で再分別はかなりの期間を要する。以上より再資源化は容易でなく、復旧及び復興が急がれることを考慮すると廃棄物を防潮堤基盤にする案やキルン炉による単純焼却案が現実的である。

図4.1.2-5　不燃物廃棄物仮置場遠景

図4.1.2-6　集積状況

不燃物系廃棄物は金属だけでなく複合材が多い家電から土木資材まで雑多であり、土砂の混入も多く再資源化は木質系よりさらに困難である(図4.1.2-5～9)。被災した自動車も一箇所に集積されていた。スクラップに含まれる銅は製鉄阻害物質であるため通常の廃自動車は電線等を除去してリサイクルするが、被災自動車は著しく変形しており(図4.1.2-10)、通常の解体作業は事実上不可能である。

図4.1.2-7　不燃物廃棄物

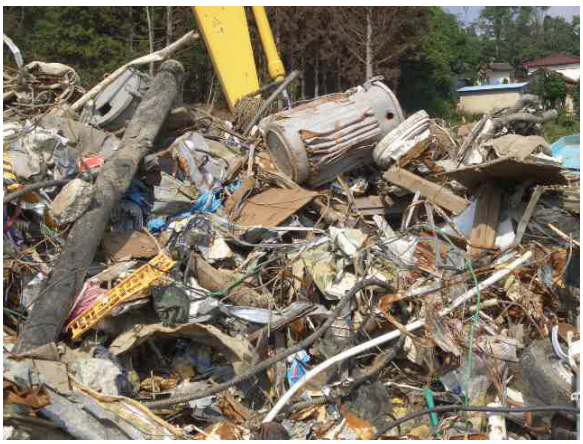


図4.1.2-8　損傷トランス等の混入

図4.1.2-9　不燃物廃棄物

図4.1.2-10　被災自動車の集積

4.1.3　北上川河口の被害

石巻市の北上川河口付近では水門やトラス橋が破壊され流出するなど構造物に強大が力が加わり、河口右岸の大川小学校で多数の児童が津波の犠牲になるなど痛ましい惨状を呈した。一方、左岸側の後背湿地では破壊的損害が少なく土木構造物が生命･財産の保全に機能を発揮したと推測される。

図4.1.3-1　月浜第二水門の脇堤防破壊

図4.1.3-2　バランスゲート(原位置不明)

北上川左岸の月浜第二水門は防潮水門で満潮時に背後の低湿地への塩水浸入を防いで稲作を可能にしてきた。今回の津波で脇堤防が完全に破壊されフレコンバックによる応急対策が施された(**図4.1.3-1**)。なお水門より50m上流に巨大なバランスゲートがあったが原位置は不明である(**図4.1.3-2**)。

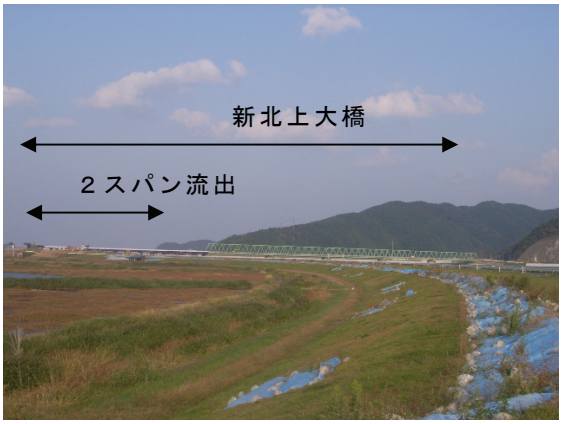
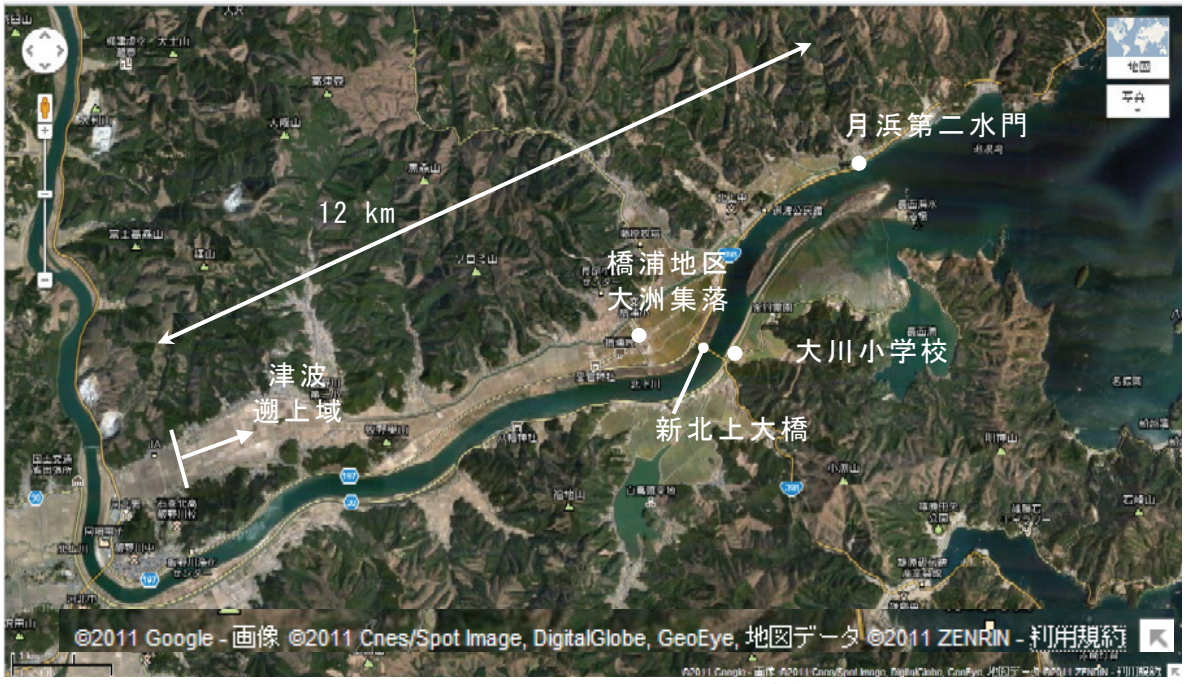


図4.1.3-3　新北上大橋の流出

図4.1.3-4　600m上流に流されたトラス

トラス橋の新北上大橋は2スパンが流出し(**図4.1.3-3**)約600m上流まで流された(**図4.1.3-4**)。スラブ橋と異なり横圧が大きかったためと推測する。この新北上大橋の右岸橋詰（**図4.1.3-3**の右法面下）は大川小学校の児童の7割が避難中に津波に呑まれ死亡･行方不明となった現場である。学校背後の斜面に積雪があったため橋近くに避難しようとしたと伝えられ、階段･手摺等の避難ルート整備を教訓として残した。



（基図：google mapよりハードコピー）

図4.1.3-5　北上川河口付近位置図

北上川付近(図4.1.3-5)で特筆すべきは左岸で約12kmも内陸に津波が遡上した点と、新北上大橋の両岸で被害に顕著な差がある点である。新北上大橋や右岸の大川小学校では破壊的な被害が発生した。一方、左岸の大洲集落は標高が0～3mにも関わらず破壊的な動的圧力が生じず浸水したが、調査時点では災害の痕跡がほとんど見られなかった。これは高さ7m程度と推定されている津波に対し高さ5m程度の河川堤防や水門が機能し、堤防を越えて冠水はしたものの急激な引き潮による破壊を免れたためと推測する(図4.1.3-6)。地震後は排水出来ないため比較的長期間冠水していたようであるが、その代わり津波の水勢が抑制され生命や財産が守られた。河川堤防や防潮水門等土木構造物は所期の機能（浸水防止）は果たしきれなかったが、副次的に想定していなかった減災機能を発揮したと推測する。

なお、最高遡上点までの後背湿地は一面の田で大部分で作付けがされおり、調査時には黄金色の田園風景であった。塩害対策の実施状況や作況は未調査である。

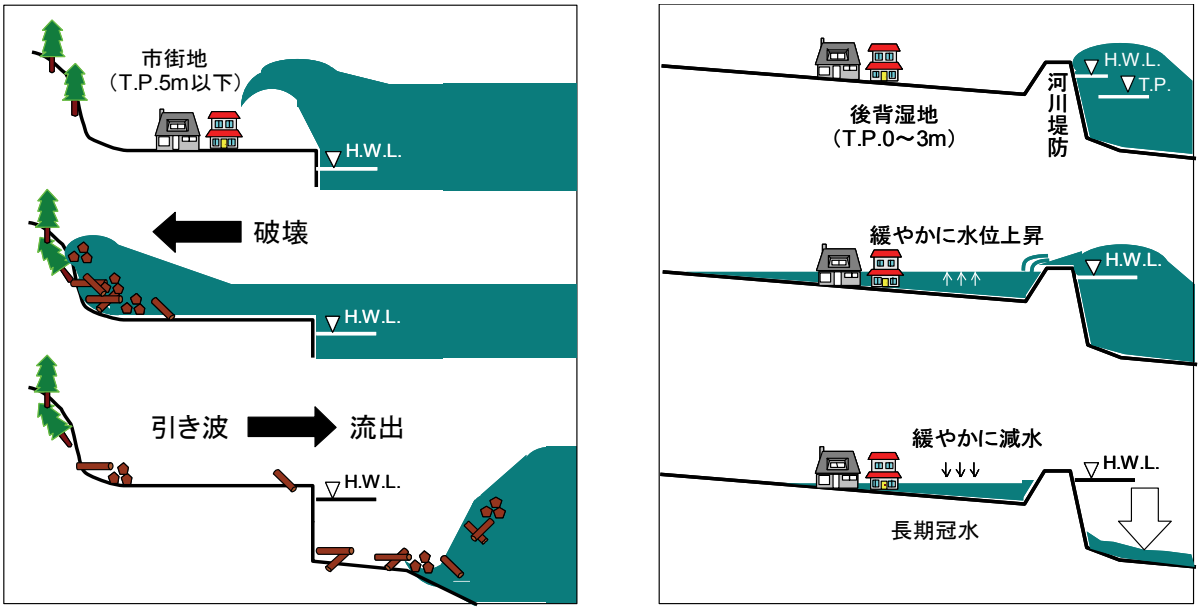


図4.1.3-6　災害メカニズムの推測（左:南三陸町志津川地区、右：北上川河口左岸）

4.1.4　石巻市市街中心部(旧北上川河口付近)

石巻市の中心市街部は平野部であったため広範囲に浸水し、人口が多いこともあり市町村別の死者･行方不明者、災害廃棄物推定量ともに一番多い。

石巻市市街中心部(旧北上川河口付近)ではわずかな地形差や距離で被災状況に大きな差が生じた。石巻駅近辺では災害の痕跡がほとんど見られなかったが、800mほど海寄りの中央町２丁目では１階に軽度の損壊がある木造家屋等(図4.1.4-1)が散見され津波の襲来が認められた。そこから400mほどで海寄りから状況が一変し、大半の建築物は流出した(図4.1.4-2)。南三陸町志津川地区では標高差で被害の明暗が分かれたが、石巻市の事例では標高差が殆どなく、津波の災害特性の複雑さが垣間見える。

図4.1.4-1　中央町２丁目

図4.1.4-2　門脇町２丁目

（基図：国土地理院電子国土webシステムの地図閲覧サービスよりハードコピー）

図4.1.4-3　石巻市中心部被害状況

なお、地元関係者の話では、大部分の民家は流出したが基礎と躯体の結合が強固であった一部の民家は浮上せずに残ったとのことである。浮上した屋根上に昇って助かった人もいるため一概には言えないが、津波高が軒先よりも低い場合には浮上･流出しなかったために助かったケースもあると思われる。

現地調査時の太平洋はうららかな日差しのもと実に穏やかで美しく、海を望む限りは惨禍を全く想像できない光景であった。自然の驚異･脅威と豊かさ･恵みの両面を感じられ、複雑な感慨を持った現地調査であった。

4.2　災害に強い地域づくり

東日本大震災の被害を踏まえ、分散型で災害に強く、かつ持続可能性問題とも調和的な再生可能エネルギーによる地域づくりを提案する。

4.2.1　求められる防災機能

被災地調査や各種資料および報道を踏まえ、防災対策においてバイオマスをはじめとした再生可能エネルギーに期待される防災機能および減災機能を**図4.2.1-1**に整理する。

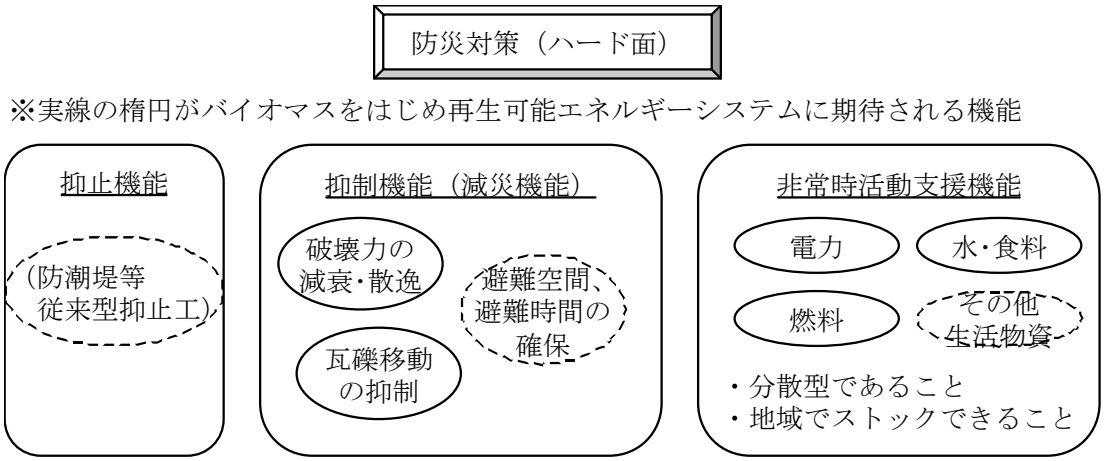


図4.2.1-1　再生可能エネルギーに期待される防災機能と減災機能

1)　抑制機能（減災機能）

今般のように想定外とされる巨大災害に対し従来型抑止工では限界があり、抑制工やソフト対策による被害軽減など減災が改めて重要となっている。前節に示したように浸水は防げなかったものの破壊力を減衰して壊滅的被害を防いだと推測される堤防がある。一方、海岸より3km以上離れた山間地区の事例では若干の津波抑制力があれば浸水しても住宅破壊を免れた可能性がある。

瓦礫の移動抑制も重要である。浮遊瓦礫が新たな破壊を招くほか漂流者を傷つけたり家屋からの脱出を妨げたりした。災害直後も救出や支援物資輸送を妨げ、山積した瓦礫は今なお復旧･復興の障害である。災害時の瓦礫類移動を抑制できれば被害軽減や救出･救援活動の迅速化、復旧･復興活動の省力化が可能である。

2)　非常時活動支援機能

災害発生後の救出･救護活動や被災者の避難生活を支援する機能も重要である。今般の震災ではライフラインの寸断で被災者と救援者が苦難を強いられ、二次的には原発事故を引き起こして深刻な後遺症を残した。

災害時、電力や灯油など遠方より移送される集中型供給システムは直ちに途絶する脆弱性を持つ。よって分散型供給システムと集中型供給システムのベストミックスが望ましい。また、首都圏で消費者の買い溜め行動が発生したように被災地への優先供給が保証されるとは限らない。このため資源は地域で生産され地域にストック可能な地産地消型が望ましい。

4.2.2　災害に強い社会システム

求められる防災機能を踏まえ、**図4.2.2-1**に示すようにバイオマスをはじめとした再生可能エネルギーを活用した社会構築を提案する。バイオ燃料の技術開発が進むまでは自動車など発動機用燃料は化石燃料に依存するものとし、その他の電力および熱源は可能な限り再生可能エネルギーの比率を高める。多重かつ多様な再生エネルギーを分散配置して災害耐性を高める。

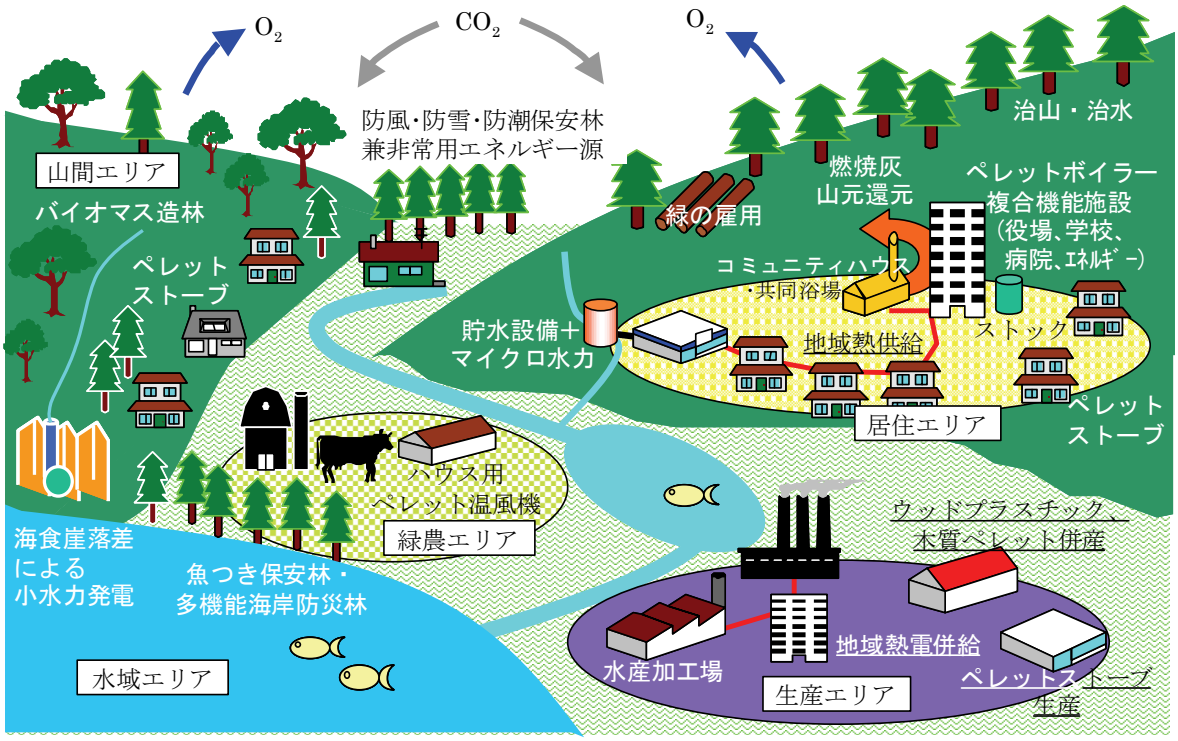


図4.2.2-1　再生可能エネルギーによる災害に強い地域づくり

4.2.3　抑制機能（減災機能）

震災復興策として提案されている瓦礫による防潮堤に覆土し、防潮林を整備するのも一策である。これは防風･防雪保安林や魚つき保安林を兼ねる多機能型保安林となる。ただし防潮林自体が倒され漂流した場合は構造物を破壊する脅威に転じるため、設置箇所には十分な検討が必要である。内陸部の保安林にも防潮林の機能を持たせ、樹木に津波履歴表示をするなど啓蒙活動にも活用する。

4.2.4　非常時活動支援機能

ライフライン途絶を前提としたエネルギーや水の供給システムを提案する。

1)　熱供給

(1)　バイオマス

平時より間伐材をペレット化して利用する方策と非常時に木質資源を薪とする方策がある。地産地消型の木質ペレットは地域内のストックが一定量見込まれ、交通路が途絶する災害初期段階でも有効である。併せてペレット用ストーブ、ボイラの

メーカの地域内立地が望ましい。これらは気候変動対策、森林再生、雇用創出など多様な効果がある。

一方、災害時には緊急対応として周囲の林をはじめ各種木質資源を熱源として利用する。非常時に法改正や諸手続き無しに保安林を伐採出来るように法体系および法運用の準備が必要である。避難所にはチェーンソーや薪割り器(**図4.2.4-1**)を備蓄する。太い木を割る油圧式は燃料油や発電機の備蓄も必要である。なお、廃棄物資源循環学会の『災害廃棄物分別･処理戦略マニュアル』では潮被り樹木の塩分の大部分は樹皮から1cm以内に存在するとされ、樹皮を剥ぐ機器も備えると有効である。

図4.2.4-1　薪割り器（左：エンジン油圧式、右：足踏み式）

（出典：ナカトミwebサイト、ウエダ金物webサイト）

(2)　太陽熱

太陽熱温水器は凍結故障や問題のある販売方法がネックとなり下火となったが見直されるべきである。真空保温の集熱管と貯水部を組合せた次世代型高効率太陽熱温水器(**図4.2.4-2**)も販売されており普及が待たれる。また、ソーラークッカーは千円～数万円で市販されているほか自作も可能である。

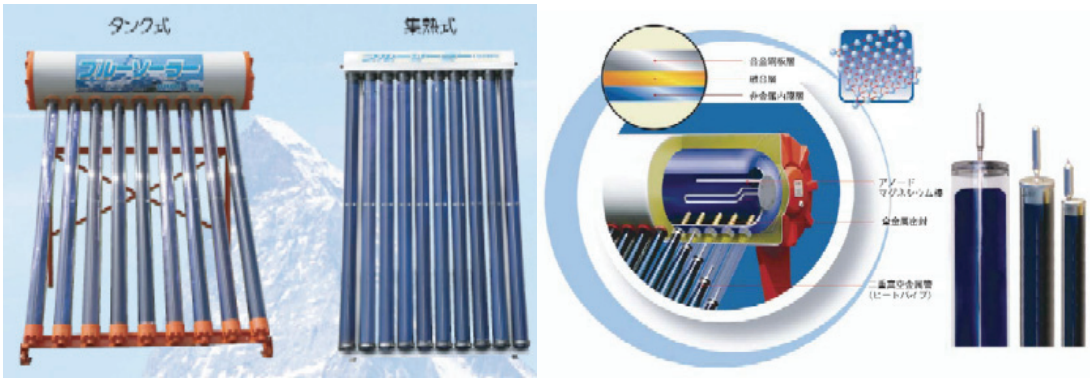


図4.2.4-2　次世代型高効率太陽熱温水器

（出典：エコマックスジャパンwebサイト）

(3)　地中熱ヒートポンプ

地中熱は電源を確保できれば災害時も安定して冷暖房を行える。一般のヒートポンプ暖房は外気温が低下すると能力が落ちるが、地中熱は0～10度で安定しているため効率が良い。サンポット社の地中熱ヒートポンプはオールインワンタイプで設置

コストが安く、3kW前後の電源は必要だが定格冷暖房出力10kWと十分で、既に累計で500台以上を販売している。

2)　電力供給

熱供給と同じく電力供給も可能な限り地域資源である自然エネルギーの活用が望ましい。災害時に特に重要な通信機器の消費電力は携帯基地局で500～1000W程度、固定式防災無線で数十～数百W程度と自然エネルギーで賄えるレベルである。この他、最低限の照明や相当数の医療機器は自然エネルギーでも十分賄える。

(1)　木質バイオマスのガス化（熱電供給）

岩手県葛巻町では木質チップを燃料とするガス化炉で発電出力120kW、熱出力266kW、総合効率75%の熱電供給を行っている。燃料チップの消費量は200kg/時である。災害対策としては小出力機器による地区単位の設置が望ましいが、平時の運転管理労力や投資効率を考慮すると中心街区に葛巻同等機を設置し、周辺地区は他の自然エネルギーでカバーする方策が現実的である。また、非常時に木質災害廃棄物を利用できるように原料形状やガス化プロセスの検討が必要である。

(2)　小水力発電、マイクロ水力発電

小水力発電やマイクロ水力発電は災害時でも確保可能な電源である。宮城県荒砥沢ダムに併設の小水力発電では径2m程度のフランシス水車により有効落差63m、最大使用水量2.0m³/sで最大1,000kWの発電が可能である(**図4.2.4-3**)。荒砥沢の事例は大規模ダムに併設した特殊事例であるが、栃木県の那須野ヶ原土地改良区連合では用水路を利用した発電(**図4.2.4-4**)を行っている。同連合は5箇所の発電所を運営し、用水路を利用する百村第一発電所は有効落差2m、最大使用水量2.4m³/sで最大出力30kWである。また、用水路と調整池の落差を利用した那須野ヶ原発電所では有効落差28m、最大使用水量1.6m³/sで最大340kWの発電を行う。いずれも災害時のバックアップ用電源としては十分な発電容量である。2m³/s程度の流量は各所に賦存するうえ海岸部では海食崖による急崖が多く、小河川からの導水で有効落差を確保できる地形が多いため小水力発電は有望である。

図4.2.4-3　荒砥沢小水力発電所
（出典：荒砥沢発電所パンフレット）

図4.2.4-4　用水路のマイクロ水力
（出典：那須野ヶ原土地改良区連合webサイト）

(3)　風力発電

漁業権との調整が必要だが洋上風力発電は今後の注目課題である。一方、地上でも小型機は随所で設置可能であり、太陽光発電とのハイブリッド型街路灯に携帯電話への充電等が可能な外部出力を付加すると効果的である。避難誘導の目印となるような機能も持たせ津波、洪水、土砂災害等の危険性が少ない地点に優先的に設置すると特に夜間停電時の避難誘導に効果的であろう。

(4)　家庭における発電

究極の分散型電源は各家庭での発電であり、太陽光発電が普及の最短距離にある。夜間や曇天による出力変動などの課題はあるが鉛電池等二次電池の設置により夜間も最小限の照明や通信機器、在宅医療機器等を十分賄える。

また、ストーブを利用した熱電変換も開発が待たれる。ストーブメーカのサンポットは過去にストーブに取り付けた熱電変換素子で外部電源不要の自立運転試験に成功したが、変換素子の耐久性に問題があり実用化に至らなかった。近年は変換素子が進化しており更なる開発が期待される。

このように多様なエネルギー源が利用可能であり、これらを複数利用するハイブリッド型エネルギーシステムが提唱されている(**図4.2.4-5**)。太陽光発電や太陽熱温水供給に加え熱電変換素子による太陽熱発電、ペレットストーブやペレットボイラによる暖房、給湯および熱電変換素子の発電も行う。これらを組み合わせにより災害に強いエネルギーシステムが構築される。実験(矢野他2010)ではペレットストーブに取り付けた定格出力3.3V0.8Aの熱電変換素子が、温度差237Kで約1.3Wを発電している。

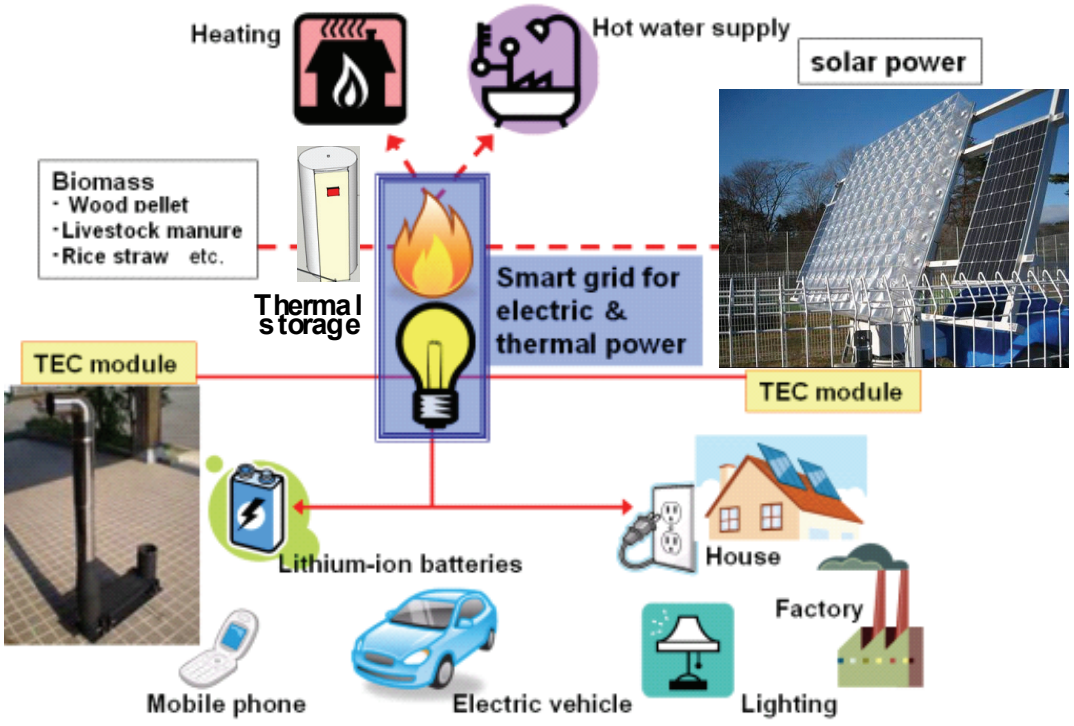


図4.2.4-5　ハイブリッド型エネルギーシステム

（出典：矢野歳和他2010、詳細は参考文献4.2 8）参照）

3) 水供給

取水施設や浄水施設の破損、停電、配水設備の破損等による断水は深刻であり、輸送インフラが寸断された場合は給水車派遣もままならない。これらの事態に備え地区単位毎に小水力発電あるいはマイクロ水力発電と供用する応急給水ポイントを整備する。発電の放水のうち一定量を水槽経由とし非常時にはホースで給水ポイントまで配水する。生活用水等の中水は無処理で利用し飲食用の上水は簡易ろ過と塩素投入による簡易浄化で供給する。

4) 地域熱供給

地産地消型の木質バイオマス普及課題策として地域熱供給事業が重要である。現状の地域熱供給事業は大都市部の一定区画や特定施設に対し展開されているが、三陸地方に類似した地形条件の沿岸区域も住居が密集する傾向にあるため地区単位の小型地域熱供給事業が適する。

具体的には復興時に木質バイオマスボイラを役場や保健施設、コミュニティハウス等の拠点施設に設け、街区に熱導管を予め敷設し、温水等を地域の家庭や中小事業所に供給する。なお、災害に強い水源の確保と導管破断時の応急復旧資機材の備蓄に配慮する。

大都市部の先行事例では再開発など都市計画の初期段階に組み入れられずに需要確保や建設で苦戦している事例が多い。また、熱導管の道路下縦断埋設が認められない、公益事業の定義に入っていないため共同溝が使えない、下水管への設置規制、河川水の取水･放水規制、地下水揚水規制（汲み上げた地下水を使用後地下に還流する場合でも汲み上げ量を規制する）など多数の規制に阻まれる。今回の災害復興計画では当初より地域熱供給事業を織り込んで普及を促し、各種規制は緩和すべきである。

5) 需要サイドでの工夫

エネルギー源の多様化のみでなく一般家庭など需要サイドでの工夫も必要である。プロパンガスや木質燃料による燃料ストックの強化に加え二次電池による蓄電が想定される。平時は太陽光発電を系統連係で利用して日中は売電し夜間は買電する形態で良いが、非常用に二次電池とDCACインバータのセットによる非常電源を備えることが望ましい。固定型で重量や大きさを不問とし小容量で良いと割り切れば、トラック用バッテリーの汎用品鉛蓄電池（容量88Ahで実勢価格2万円前後）でも十分である。ただし電池の劣化対策について検討を要する。

また、エネルギーを不要とする機器の開発と普及も進められるべきである。一例として赤外放射を応用した電気が不要の冷蔵庫(**図4.2.4-6**)が開発されている。物体はその温度に応じた赤外線を放射して冷却する一方で外部から熱が入射あるいは伝熱し、バランスしてある平衡温度となる。この冷蔵庫は断熱材等により外部環境からの入熱を極力遮断し内部の熱エネルギーを宇宙空間へ放射して冷却する。日陰に置き放熱面を北側の天空に向けられれば摂氏10度以下に保つことが可能であり、製氷は困難だが冷蔵には十分である。このように物理原則の応用によりエネルギー不要で使用できる機器は環境対策と災害対策の両面で有益である。

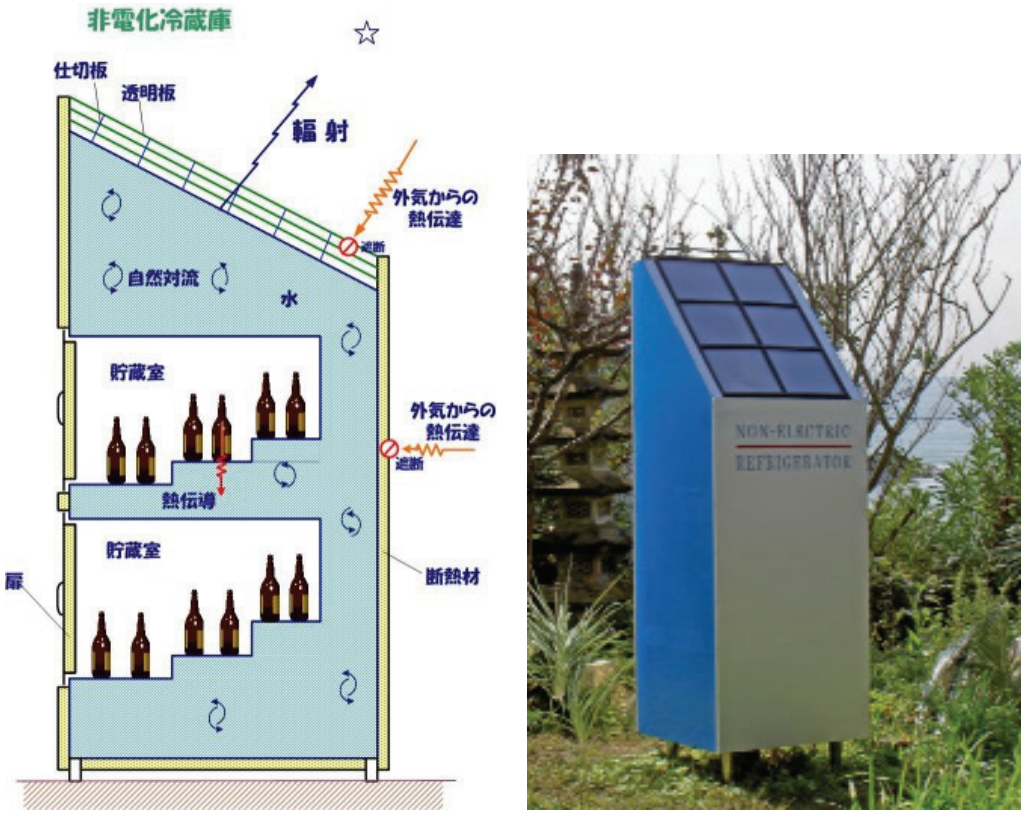


図4.2.4-6　非電化冷蔵庫（電源不要の放射冷却冷蔵庫）

（出典：非電化工房webサイト）

6)　非常時用エネルギーのベストミックス

分散型かつ資源の地元調達が可能な再生可能エネルギーは本質的に災害に強いエネルギー源である。しかし、自然エネルギーの一部は安定性を指摘される。また、災害時には燃料調達の要否も鍵となる。各種のエネルギー利用方法について防災計画で考慮すべき特性を**表4.2.4-1**に整理した。これらを踏まえつつ需要側の優先度や需要変動も考慮してエネルギー源の多様化とベストミックスを行うことが望ましい。

表4.2.4-1　防災計画で考慮すべき再生可能エネルギー利用の特性

		安定型の供給／ ベースロード型の負荷 (大規模暖房、通信、医療等)	変動型の供給／負荷 (小規模暖房、照明、炊事等)
資源調達	不要	地中熱ヒートポンプ暖房 小水力･マイクロ水力発電 非電化冷蔵庫	太陽光発電、太陽熱発電 太陽熱温水器 風力発電
	必要	木質バイオマス(チップボイラ、ガス化熱電併給) ＋地域熱供給	木質バイオマス（ペレットストーブ＋熱電変換）

蓄電システム

4.3 震災から学ぶ持続可能性問題への教訓

1995年阪神淡路大震災でのまさかの高速道路倒壊など土木技術者に走った衝撃は残念ながら社会全体では共有しきれなかった。その結果2011年の東日本大震災までに沿岸や原発の津波対策を見直す機会が幾度かあったにもかかわらず、残念ながらまさかと見送られ今般の被害を招いた。一方、気候変動や食料危機、資源需給逼迫などの持続可能性問題も根源的には災害と同様の問題構造を内包しており、持続可能性問題においても東日本大震災の教訓を社会で共有化する必要がある。

4.3.1 災害と持続可能性問題の相似性

東日本大震災を省みると巨大災害は低頻度でも決して無視できないリスクであるが、「想定外」として思慮の外に置かれてきた。そして、セキュリティに対するこの社会的欠陥は、持続可能性問題と相似形であると推察される。**表4.3.1-1**に東日本大震災と持続可能性問題の相似性を整理した。

表4.3.1-1 災害と持続可能性問題の相似性

	東日本大震災	持続可能性問題
リスクの誘因	快適性、利便性、効率の高度な追求	
思考様式	コストの敬遠と快適性･利便性･効率への偏重 ↓（希望的観測） リスク認識の矮小化 （想定外） ↓（希望的観測） 科学への過信 （これなら大丈夫） ⇒ 社会全体での危機意識欠如	
社会システムでの出現状態	・ 抑止能力への過信 ・ 防災対策コストの縮減 ・ パッシブセーフティ（異常時の被害軽減策）の欠如	・ 持続可能性に対する甘い認識 ・ 環境対策等セキュリティコスト縮減 ・ 大規模集中型社会システムの形成 ・ パッシブセーフティの欠如
リスクの内容	・ 津波による人的被害 ・ 被災者、被災地の困窮 ・ 原発事故、放射能汚染 ・ 広域での電力需給逼迫とサプライチェーン寸断	・ 気候変動（気象激化） ・ 森林喪失、砂漠化 ・ 生物多様性の喪失 ・ 水危機、食糧危機 ・ エネルギー逼迫、資源逼迫
ハザードの影響	局所的（東日本太平洋岸と福島） 10～50年の影響期間	全球的、大規模事象（循環システム等） 長期的影響

気候変動をはじめ多様な持続可能性問題は全て根源的には快適性、利便性、効率を高度化に追求する成長前提の社会システムに起因している。成長前提型システムの限界はひたすら財政を拡大して行き詰った現在の全球的財政･金融危機も相似形である。持続可能性問題でも社会や物質的豊かさの拡大は早晩行き詰まりをみせるだけでなく、巨大災害のように深刻な被害をもたらす可能性がある。

4.3.2　エンジニアの責務

エンジニアは「科学技術を発展させて社会･公益の福祉に貢献する」ことが基本的な使命であるが、それと同時に「社会が科学を適切に受容するべく努める」ことが責務である。これを持続可能性問題に投影するとエンジニアは**図4.3.2-1**の責務を負っていると考える。

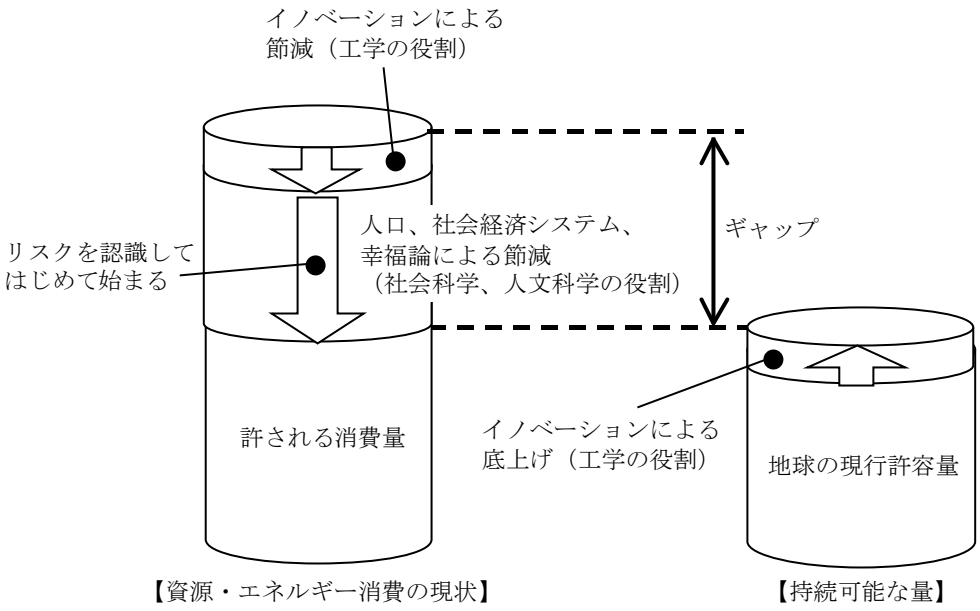


図4.3.2-1　持続可能性問題におけるエンジニアの役割と責務

図示のように各種資源やエネルギーの全球的な消費の現状は地球が許容できる持続可能量を大きく上回っている。指標の一つであるエコロジカル･フットプリントによると現在の人類の経済活動は地球2.4個分に達し、赤字分は地球のシステムを蝕んでいる。このギャップを解消しない限りいつか必ず破綻を来たす。

そこで省エネや省資源の技術を発展させて資源やエネルギーの消費量を減少させ、再生可能エネルギーの実用化により持続可能な供給量を増やすことがエンジニアの役割である。しかし技術の発展のみでは地球2.4個分のギャップは到底埋められない。ギャップを埋めるために人口の減少や成長前提型社会経済システムの是正、幸福論による大量消費社会の見直しなど社会科学や人文科学の果たす役割が大きい。そして、これらの社会的な動きが起こるにはギャップとリスクが広く認識される必要がある。

ギャップと科学の限界、引き起こされるリスクを想定外として片付けることなく人類に明示し、理解を得る努力をすることはエンジニアや科学者の責務である。防潮堤への過信や原発安全神話を看過してきた我々エンジニアは東日本大震災を踏まえて反省し、科学技術への過信を防ぐべきである。

4.3.3 再生可能エネルギーコストの評価に対する問題提起

原発事故を受け、エネルギー需給構造を巡る議論が活発化している。その中で再生可能エネルギー導入反対論の主要な論拠として割高な電力による国際競争力の低下が挙げられる。しかし、再生可能エネルギーの導入量と国際競争力の低下についての定量的な相関の推定は算定困難なため見当たらない。それにも関わらず定性的思考による再生可能エネルギー否定論が盛んであり、冷静な議論が必要である。ここでは定量的データ構築には至らないがデータ構築の重要性を指摘して問題提起としたい。

1) 国際収支

日本の国際収支の実情を整理すると、日本は**図4.3.3-1**に示すように貿易収支の黒字や所得収支（投資した海外子会社の営業収益等）の黒字が大きい貿易立国である。2011年は東日本大震災や超円高、タイの洪水等の一時的悪材料が重なり貿易収支は赤字となった。特に原発停止による化石燃料の輸入急増が顕著で、2011年11月一ヶ月間だけでも前年比3,234億円増となっている。エネルギー自給率の低さが日本の脆弱性の一つとして露呈した格好である。

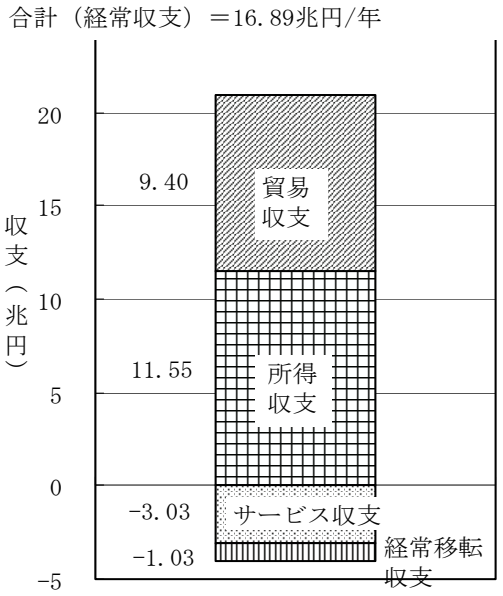


図4.3.3-1 日本の国際収支（2001-2010平均）

出典：国際収支統計を元に算出

2) 再生可能エネルギー導入による国際収支の変化

次に再生可能エネルギー導入による影響の考え方を提起する。ここでは国際収支のうちエネルギーコストの影響を主に受ける貿易収支に限って考察する。再生可能エネルギーの導入によりエネルギーコストが増大すると**図4.3.3-2**のような変化が生じると考える。

エネルギーコスト増による国際競争力低下は図中Ａである。一方、毎年11兆円のエネルギーを輸入しており（図中Ｂ）、極論だがエネルギー100%自給であればエネルギー輸入約11兆円が不要となる。2004年の貿易黒字11.3兆円と比べるとエネルギー輸入11兆円の減少は非常に大きい。また、図中Ａのように輸出が減れば輸入原材料費も減る（図中Ｃ）。ただし、Ａが推定困難なためＣの額も不明である。

これらを通算すると、2004年の貿易黒字α（11.3兆円）に対し再生可能エネルギーを導入した場合の貿易収支はβで表現される。具体的な額が推定できないため結論は出せないが、βがαよりも大きいのであれば“国際シェアは落とすが、国際収支は強化される”といえる。α＜βになるかα＞βになるかは定量的データが得られない限り評価できない。

なお、再生可能エネルギーにより100%自給することは現実性に乏しい極論であるが、ここでは分かり易くするためにあえて100%と仮定した。

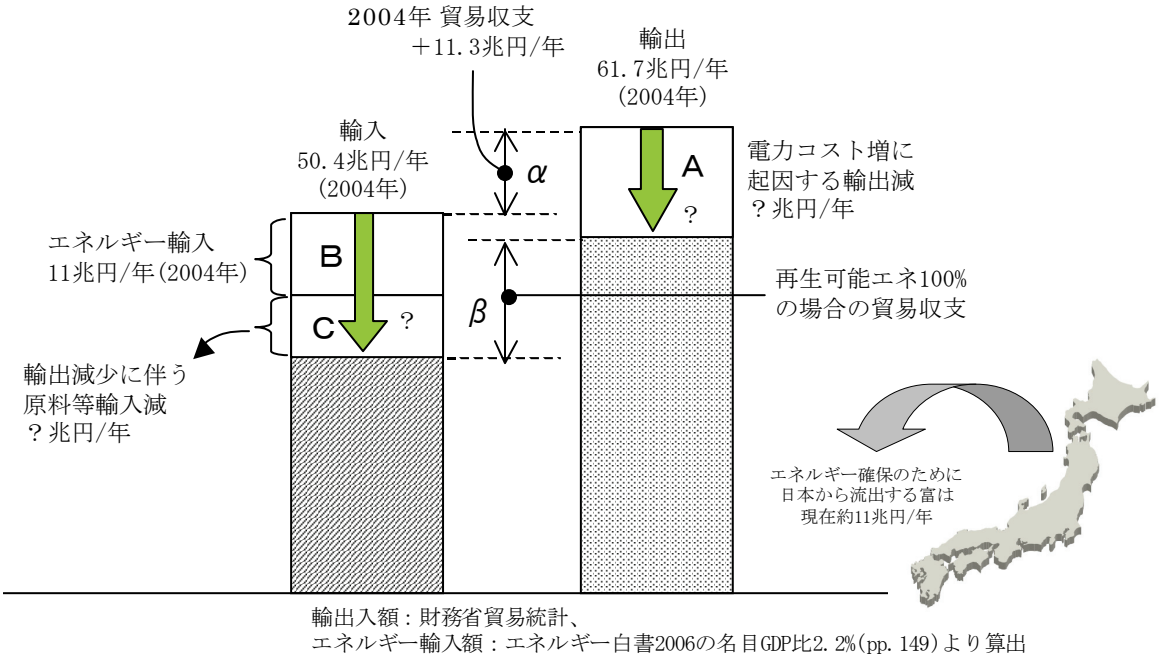


図4.3.3-2　エネルギーコスト増による貿易収支の変化

出典：国際収支統計を元に算出

3)　提言：定量評価と冷静な議論を

エネルギーの観点では日本は毎年11兆円の富が流出しており、この点を考慮した冷静な議論が必要である。その議論には国際競争力の低下に関する定量的評価が必須である。また、**図4.3.3-1**からサービス収支の改善や所得収支の強化も含めて議論する必要がある。しかし、マクロな視点では世界中から富を吸い上げている存在であることに気を配り国際的な富の再分配も考慮すべきである。

4.3.4　提言「その気になれば出来る」

再生可能エネルギーの導入には公的で強力なリーダーシップが必要である。導入では多くの課題を抱えるが、断固たる導入姿勢があればおおいに可能である。

1)　出来ないとされる例

一例として排熱による地域熱供給事業が挙げられる。全国の産業部門に賦存する中低温排熱は膨大な量であり、これを地域熱供給事業で供給できれば家庭部門の56%、業務部門の43%を占める暖房と給湯のエネルギー消費が大幅に減少する。暖房用だけでなく吸収式冷凍機や吸着式冷凍機により摂氏65度あるいは80度の排熱から10度以下の冷房用冷水を供給可能である。しかし、地域熱供給事業は熱導管が北欧のように整備されていない日本では難しいと却下されることが多い。

2)　出来ないはずを実現した例

アイスランドは暖房需要の殆どを地熱で賄っている(**図4.3.4-1**)。しかし、アイスラ

ンドとて最初から熱導管インフラが存在した訳ではない。以前はエネルギーの殆ど全てが輸入の化石燃料であり地熱を利用し始めたのは1980年代に入ってからである。断固たる意思があればインフラ整備など後からなんとでも出来るのである。

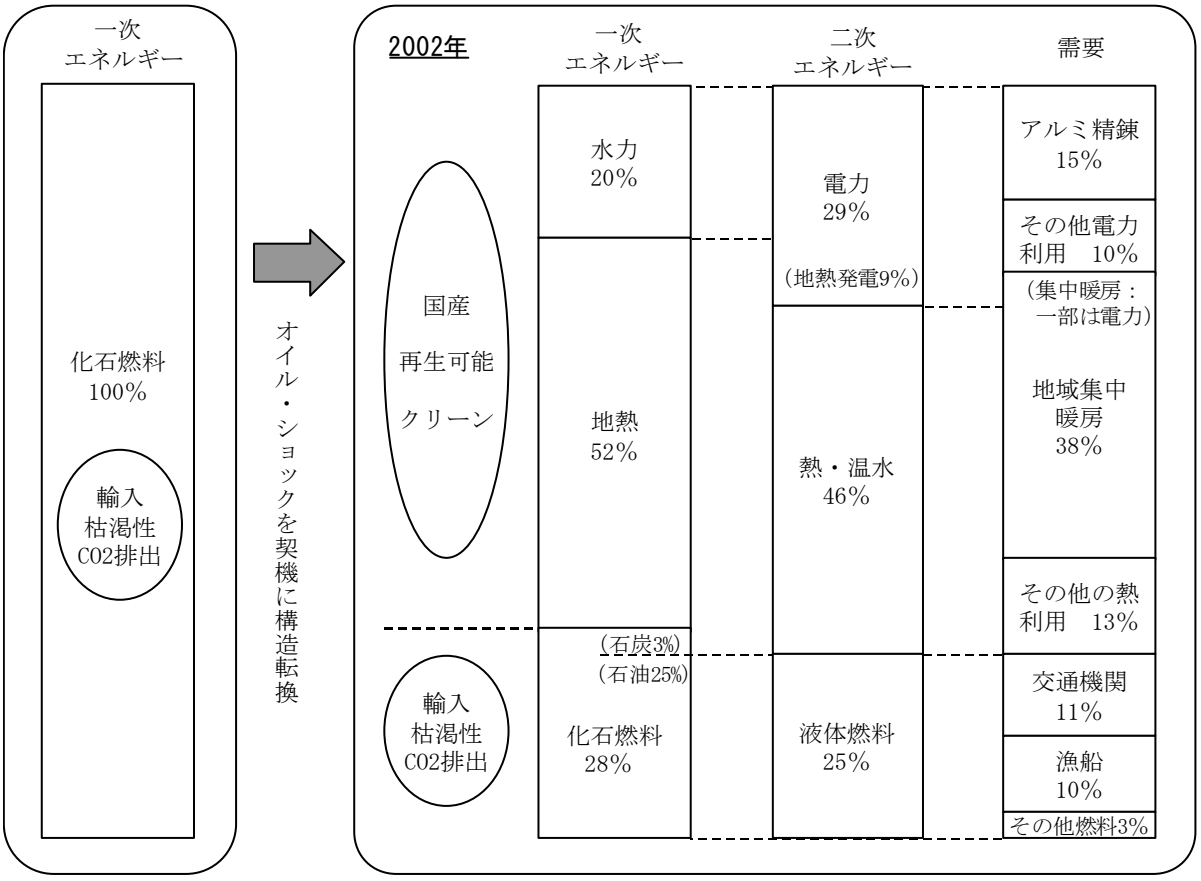


図4.3.4-1　アイスランドにおけるエネルギー需給構造の大転換

出典：アイスランド経済商業省資料その他を元に算出し作成

日本の地域熱供給事業は導管を道路下に思うように敷設できないなど各種の規制に制限され、供給エリアが限定されたり、高コストになる。しかし、人間が設定した規制類はその気になれば緩和可能なはずである。

資源小国アイスランドは石油ショックを契機にエネルギー構造の転換を進め、豊富な水力発電によりアルミ精錬という新基幹産業を創出し、さらに“北のクウェートを目指す”とエネルギー輸出も視野に入れながら、一人あたりGDPで日本やドイツを抜く豊かな国へと変貌した。秀逸な国家戦略と強固な意志の成果であり、おおいに学ぶべきである。

第５章　まとめ

我々はバイオマス本格利用時代が近いとの認識に立ち、4年間にわたりボトルネックの解消と機能拡張による利活用拡大を検討してきた。その中で包括的な概念としてバイオ･コミュニティ･ネットワーク(Bio Community Network:BCN)を提唱し、BCN構想を軸とした社会経済システムを模索してきた。ここではこれまでの成果を振り返り、BCN構想を深化し実現するために必要な道筋を整理して結びとする。

5.1　調査研究の経過

議論の端緒は「山をどうにかしないと危ない」という調査研究メンバー間の一致した認識であった。このため、**表**5.1-1に示すように平成20-21年度に森林の機能、森林経営、林業経営など山の問題を中心に調査研究を展開した結果、山の課題を解決するためにより広域なネットワークの構築が必要との結論に達し、BCNを提唱するに至った。

表5.1-1　過去4年間の調査研究テーマ（一部重複あり）

主題			H20-21年度	H22年度	H23年度
森林を中心とした自然システムの理解			森林の多面的機能、森林経営、林業経営、森林の持つポテンシャル		
ボトルネック解消	供給サイド	同化機能	森林の炭素吸収･固定	微細藻類	人工光合成
		供給機能	都市型バイオマス 水生バイオマス	林業運材、流通網 微細藻類	農業 人工光合成
		財			農業
		サービス			農業
	需要サイド	マテリアル利用	ハイブリッド利用 木炭、木灰活用	バイオリファイナリー	バイオリファイナリー ウッドプラスチック
		ソフト、サービス			
機能拡張	炭素固定機能		概論	土木資材化(木曽事例) 都市緑化での炭素固定 海外での砂漠緑化	バイオリファイナリー ウッドプラスチック
	防災･減災機能				現地調査 ペレットFS 災害に強い地域づくり
	コミュニティ				
社会経済システム			BCN構想	BCN構想	BCN構想、東京の森、ペレットFS、農業

BCNを構成する各種の産業や技術、社会システム等については4年間に順次調査研究を行い、体系的整理を通じた課題の抽出と課題解決方策の提案に努めた。

アプローチは二つあり、一つは既存のバイオマス利用方法におけるボトルネックの解消を目指し、もう一つはバイオマスの機能拡張により新たな役割の創出を目指した。機能拡

張では当初は炭素固定に着目したが、東日本大震災を踏まえて防災･減災機能も加えた。

5.2　課題を克服するBCN構想

4年間の調査研究の結果、炭素をはじめ自然の循環システムが担う役割の重要性とそれにより人間が享受している恵みの貴重性および脆弱性を認識した一方で、社会経済システムを含め各所で循環が成立していないことが問題として浮かび上がった。

供給サイドでは森林経営や林業経営が不調で森林の供給力や調整力が低下しつつあり、森林に依存しない微細藻類や人工光合成はまだ開発途上にある。需要サイドでもウッドプラスチックの普及やバイオリファイナリーの実用化が期待されるが市場の立ち上がりはこれからである。供給サイドも需要サイドも多様な課題を抱えて十分な産業活動に至っていないため、循環システムが縮小あるいは分断しているのが実状である。

この状況の打開策として、BCN構想(図5.2-1)では機能を拡張しつつ、より広域でバイオマス利用を意識することにより縮小･分断している循環系を復調させることを提案した。

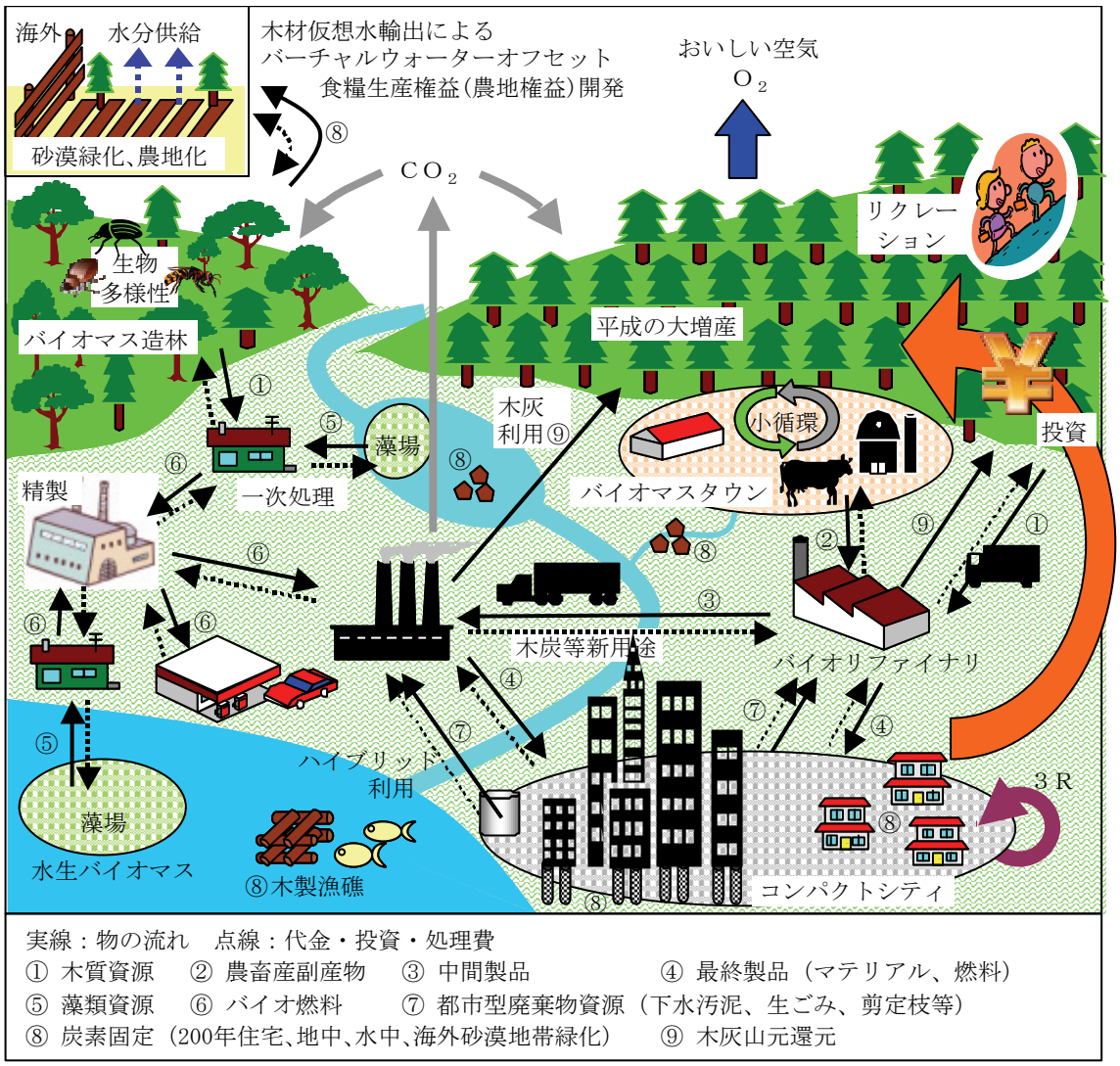


図5.2-1　バイオ･コミュニティ･ネットワーク(BCN)

即ち、従来の素材供給機能だけでなく、図5.2-2に示すような森林や農林水産業の多面的機能の価値に見合うヒト･モノ･カネを上流側に還元する広域的循環システムである。

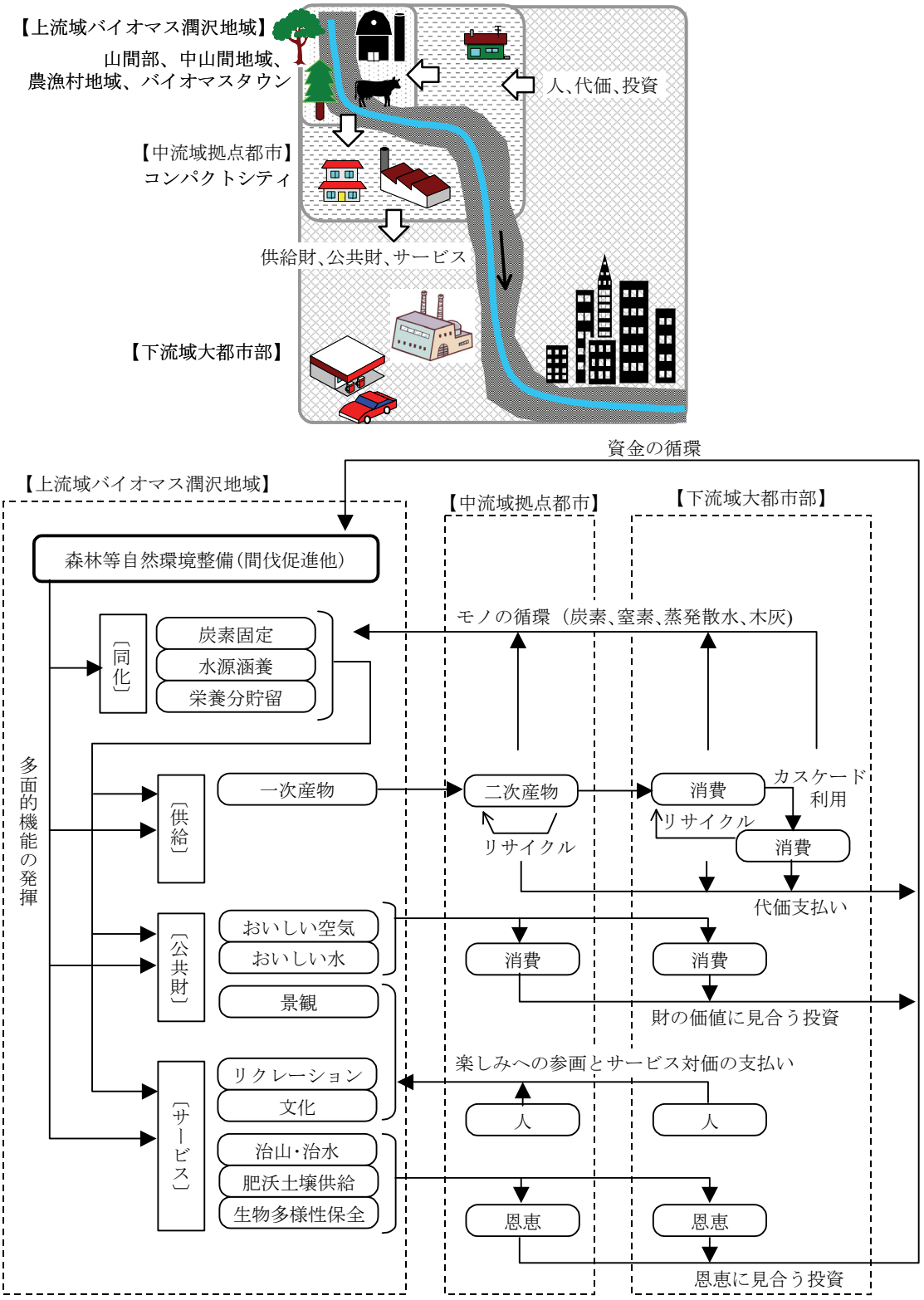


図5.2-2　BCNによる循環概念

出典：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を参考に作成

ヒト：都市部等需要サイドの人々が森林や里山等供給サイドの活動に参画
モノ：林業機械や木灰など供給サイドに有益な物資の供給や還元
カネ：供給サイドの財やサービスにふさわしい経済的投資

バイオマスタウンに代表されるように恩恵を維持する循環型コミュニティを各地で充実させつつ都市域市民を含めた共生ネットワークを構築し、そのネットワークで人的参画や投資活動により循環型コミュニティを支える構図が、我々が目指している社会経済システムである。

5.3 ロードマップ

本報告書では、BCN構想を軸としたバイオマスの利活用拡大に向けた各種の提言を行った。これを踏まえ、今後展開すべき方策をロードマップに整理して**図5.3-1**に示した。

機能拡大では技術的開発課題が比較的多く、ボトルネック解消では産業の構造や形態の変革に関するテーマが多い。いずれも実現に向けて強力なリーダーシップが必要である。そして、これらを包含するBCN構想を実現するには構成要素の充実とともに、包括的システムを小地域のFS(実現可能性調査)から出発し徐々に広域に適用していくことが望まれる。

5.4 今後の課題

BCN構想はいまだ基礎概念の域にあり、具現性を持たせるための深耕が必要である。**表5.1-1**をみて分かるように財やサービス、ソフト、コミュニティといった無形の部分に対する検討が不十分であり、資金還流システムを含め具体的な制度設計を目指して今後一層の調査研究が必要である。

東日本大震災の経験により社会のあり方に対する議論が国民的に提起されている。震災を一つの警鐘として真摯に受け止め、この議論に是非とも持続可能性問題を付加して社会的なセキュリティが向上することを願い結びとする。

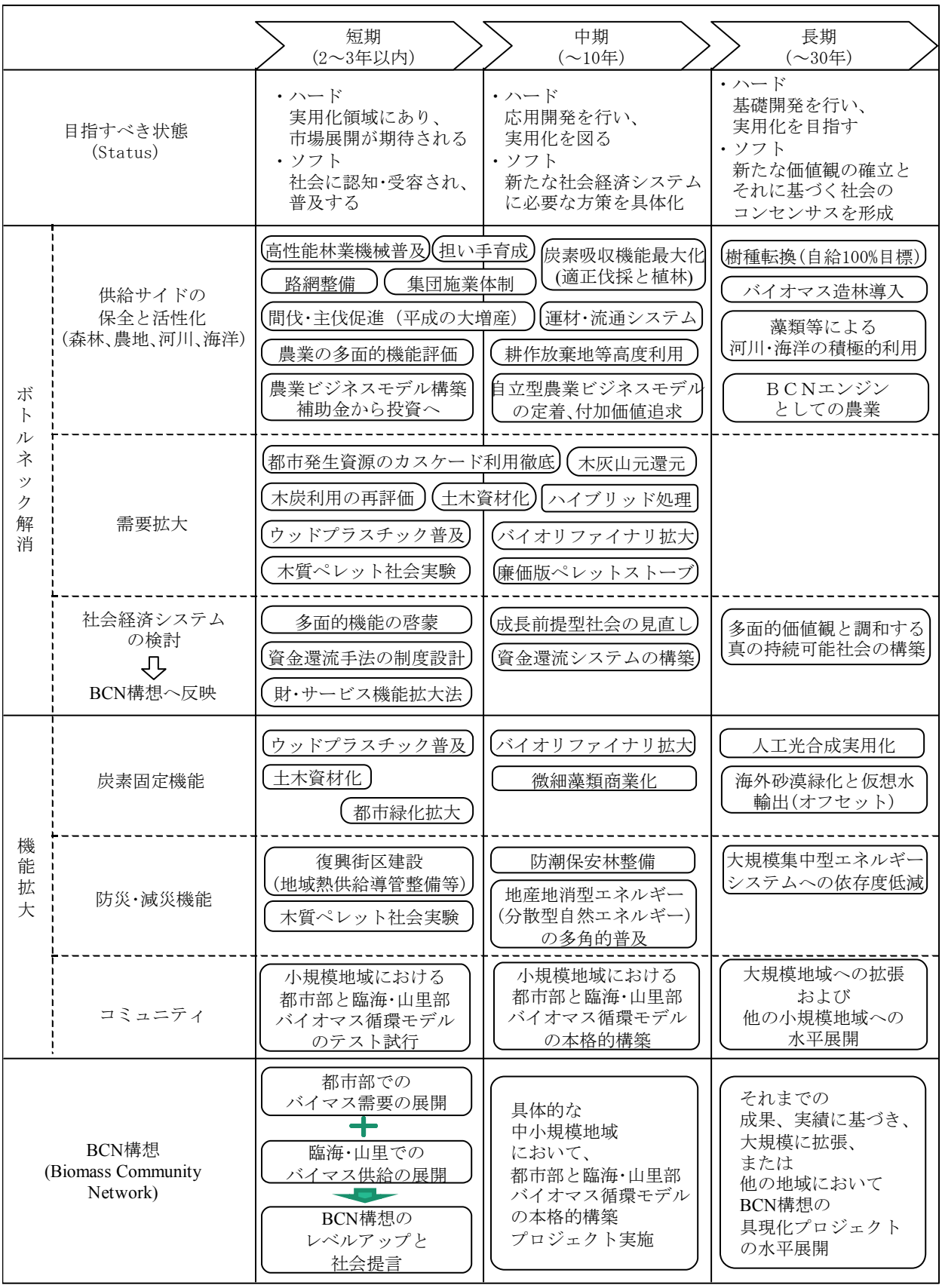


図5.3-1　バイオマス利活用拡大に向けたロードマップ

参考文献･引用文献

［１章］

1) ENAA エンジニアリング協会「H22 年度低炭素社会･安全安心社会実現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」担当部分報告書

［２章］

[2.1]

1) 押田勇雄、太陽エネルギーの利用、日本物理学会誌、第 30 巻、第 4 号(1975)
2) 佐藤勝昭、太陽電池のキホン、ソフトバンククリエイティブ㈱、2011.4
http://home.sato-gallery.com/
3) Neil A. Campbell、キャンベル生物学、丸善㈱、平成 19 年 3 月 30 日発行
4) 東京大学光合成教育研究会 光合成の科学、(財)東京大学出版会、2007 年 6 月 20 日
5) フリー百科事典「ウィキペディア」、
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E5%90%88%E6%88%90
6) (社)日本化学会、人工光合成と有機系太陽電池―最新の技術とその研究開発、㈱化学同人、2010 年 7 月 20 日
7) 独立行政法人化学技術振興機構研究開発戦略センター、WS「太陽光を利用したクリーンエネルギー生産」報告書(平成19年度) CRDS-FY-2007-WR-16、平成20年8月
http://crds.jst.go.jp/output/pdf/07wr16.pdf
8) 藤嶋昭、本多健一、菊池真一、TiO2半導体電極における光増感電解酸化、工業化学雑誌、72第1号(1969)
9) 堂免・久保田研究室、エネルギー変換型光触媒の開発 太陽光と水から水素をつくる
http://www.domen.t.u-tokyo.ac.jp/index_framepage.html
10) 堂免一成、研究課題「太陽光による高効率水分解光触媒系の実現」、戦略的創造研究推進事業発展研究（SORST）、化学・環境分野、平成18年度終了報告書
11) 佐山和弘、人工光合成～太陽光と水から水素を作り出し、エネルギー問題を解決、エコテク探訪、CONSENSUS　Mar.Apr.2011
http://www.nua.or.jp/consensus/dbook/2011/3-4/index.html?highlightwords=mar.apr.2011#page=7
12) 三澤弘明、光ナノアンテナを用いた広波長帯域太陽光エネルギー変換システムの構築、日本化学会講演予稿集、Vol.91th. NO.1、pp175、2011
13) 川喜多仁、色素増感太陽電池の研究開発動向、科学技術動向2009年12月号
14) 色素増感型太陽電池、日経エレクトロニクス-Tech-On!、2005.3.23
http://techon.nikkeibp.co.jp/article/WORD/20060306/114188/
15) 山中良亮、色素増感太陽電池、シャープ技報、32-35、第100号･2010年2月
16) プレスリリース、2011.8.25
http://www.nims.go.jp/news/press/2011/08/p201108250.html

17)井上晴夫、持続可能な社会の実現を目指した太陽光エネルギー利用研究の現状と課題～次世代放射光に期待する役割：次世代エネルギー源としての人工光合成、ERLサイエンスワークショップⅡ、2011.4.27
http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/ERL/science_workshop/presen/inoue.pdf
18)井上晴夫、研究課題「水を電子源とする人工光合成システムの構築」、戦略的創造研究推進事業発展研究（SORST）、化学・環境分野、平成22年度終了報告書
19)NEDO海外レポート NO.1075、2011.7.13
20)佐山和弘、人工光合成技術の現状と展望、情報機構セミナー、2011.9.22
21)独立行政法人化学技術振興機構研究開発戦略センター、ナノテクノロジー･材料分野 科学技術・研究開発の国際比較2011年版CRDS-FY-2011-IC-04、平成23年6月
http://crds.jst.go.jp/output/pdf/11ic04.pdf
22)ヤフーニュースその他、http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20111001-00001336-techcr-sci
23)msn産経ニュース、2011.9.20、
http://sankei.jp.msn.com/life/news/110920/trd11092018350010-n1.htm
24)理化学研究所史編集委員会、理研精神八十八年、(独)理化学研究所、2005.3.20
http://www.riken.jp/r-world/info/release/riken88/book/riken88-02-05.pdf
25)東京大学生産技術研究所webサイト
http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/Labs/wata_lab/photosynthesis.html

[2.2]

1) 近藤昭彦（神戸大学教授）講演資料
2) IAFエネルギー総合工学研究所セミナー資料 「バイオエタノール国内外の現状と展望」
3) 矢野伸一、「アジア地域における農業残差からのエタノール生産に関する研究」（2010年3月）
4) バイオ燃料技術革新計画 H20年3月（バイオ燃料技術革新協議会）

[2.3]

1) 社団法人日本建材・住宅設備産業協会 木材・プラスチック複合材部会
2) 社団法人日本木材加工技術協会 木材プラスチック再生複合材普及部会 技術資料
http://wtak.jp/wpc_r/
3) 日本プラスチック工業連盟 webサイト http://www.jpif.gr.jp/
4) 木材保存 Vol.31-5 pp.195
5) 株式会社エコウッド webサイト http://www.eco-wood.jp/index.php
6) 社団法人セメント協会 webサイトhttp://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jg1c.html

［３章］

[3.1]

1) 地球環境･人間生活に関わる農業及び森林の多面的な機能の評価について：日本学術会議, 平成13年11月 http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf

[3.2]
1) 「森づくり推進プラン」：東京都･産業労働局、平成21年3月
http://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.jp/norin/sogoannai/plan/moridukuri-plan2/moridukuriplan/hyousi.pdf
[3.3]
1) 地球温暖化対策事業「中央区の森」：東京都･中央区ウエブサイト
http://www.city.chuo.lg.jp/kurasi/kankyo/chuonomori/index.html
2) 「中央区の森環境ふれあい村構想」：東京都･中央区環境部、平成 23 年 3 月
http://www.city.chuo.lg.jp/kurasi/kankyo/chuonomori/hureaimura/files/honpen.pdf
3) 「檜原村バイオマスタウン構想書」:東京都･檜原村、平成 22 年 2 月
http://biomass.exri.co.jp/wpcontent/uploads/pdf/H21_plan_biomasstown_hinohara.pdf
4) 「檜原村地域新エネルギー事業化可能性調査」:東京都･檜原村、平成 22 年 2 月
http://www.vill.hinohara.tokyo.jp/contents/keikaku_houkoku/energy_vision/energy_fs.htm
5) 「バイオマスニッポンパンフレット（平成 20 年度版)」社団法人日本有機資源協会
http://www.jora.jp/txt/kbm/pdf/h20biomass_n.pdf
[3.4]
1) 農林水産省：統計表「水田作経営」(2009 年)
2) 農林水産省：平成 22 年度　2020 年における世界の食糧需給見通し
3) 平井隆一：日本の農業の実態とこれからの課題
4) 株式会社クボタ web サイト
http://www.jnouki.kubota.co.jp/sisetu/kyoukan/rice_center.html
5) 青森県南部町”達者村”web サイト
http://www1.town.aomori-nanbu.lg.jp/tassya-mura/
[3.5]
1) 住田町webサイト：けせんプレカット事業協同組合の事業概要
http://www.town.sumita.iwate.jp/sangyo/energy/index.html
2) 葛巻林業webサイト　http://www.kuzumaki-ringyo.co.jp/
3) 愛媛県 農林水産部 森林局：『葉枯らし乾燥技術指針』葉枯らし乾燥の基礎知識
http://www.pref.ehime.jp/060nourinsuisan/080ringyou/00001461021016/5_guide/5_activate.htm#hagarasi
4) 立川史郎(岩手大学農学部農林環境科学科 助教授)：林地残材のトラック道路までの搬出コスト、木質バイオマスフォーラム2006 分科会Ｂ
http://wbi.main.jp/0601b.htm
5) サンポット株式会社webサイト　http://www.sunpot.co.jp/

［4章］
[4.1]
1) 共同通信社：特別報道写真集『東日本大震災 2011.3.11 －1ヶ月の全記録－』
2) 南三陸町編：南三陸町震災復興計画（素案）2011.9.30版
3) 廃棄物資源循環学会：『災害廃棄物分別・処理戦略マニュアル』
http://eprc.kyoto-u.ac.jp/saigai/report/manual/index.html
4) 東北地方整備局河川部：第２回北上川等堤防復旧技術検討会　資料2-2
http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyouokijishinn/kenntoukai/110506/03shiryou2_2.pdf
[4.2]
1) ナカトミwebサイト（油圧式薪割り器）
http://www.nakatomi-sangyo.com/pro_engine/els-7t.html
2) ウエダ金物webサイト（足踏み式薪割り器）
http://www.uedakanamono.co.jp/show.php?no=10118
3) ケータイWatch：KDDI、太陽光・蓄電池・深夜電力活用の新型基地局を運用開始
http://k-tai.impress.co.jp/docs/news/20091203_333079.html
4) 岩手県葛巻町：木質バイオマスガス化発電のwebサイト
http://www.town.kuzumaki.iwate.jp/article.php?story=20080920115543168
5) 東北農政局迫川上流農業水利事業所：荒砥沢発電所（パンフレット）
6) 那須野ヶ原土地改良区連合webサイト（小水力発電）
http://www.nasu-lid.or.jp/hatuden/hatuden_top.htm
7) エコマックスジャパンwebサイト（次世代型高効率太陽熱温水器）
http://www.ecomaxjapan.com/wp/wp-content/uploads/2011/03/blue_solar.pdf
8) Toshikazu Yano, Kana Hoyama, Satoru Suginome, Yuki Ishii, Takahiro Orikasa, Masayuki Niino, Kazuyuki Suzuki, Katsuto Kisara and Toichiro Ishikawa : COMBINED SYSTEM BOTH HEAT AND ELECTRIC POWER UTILIZING WOOD BIOMASS, THERMOELECTRIC CONVERTER AND SOLAR ENERGY, Proceedings of the International Conference on Renewable Energy 2010, 27June-2July, Pacifico Yokohama, Japan, O-He-1-6, 2010
9) 第3回まちづくりと一体となった熱エネルギーの有効利用に関する研究会　配布資料
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/nestu_energy/003_haifu.html
10) 非電化工房 webサイト（電源不要の冷蔵庫）
http://www.hidenka.net/hidenkaseihin/frig/frig.htm
[4.3]
1) エコロジカル･フットプリント･ジャパンWebサイト　http://www.ecofoot.jp/
2) 財務省統計：国際収支状況
3) 日本エネルギー経済研究所編：エネルギー・経済統計要覧2003、(財)省エネルギーセンター

4) (財)省エネルギーセンター：『工場群の排熱実態調査研究要約集』
5) ユニオン産業Webサイト（吸着式冷凍機）
http://www.union-reitouki.com/chiller/difference.html
6) アイスランド経済産業省資料（アイスランド大使館提供）
7) アイスランド統計局：Iceland in figures 2005-2006
8) 本木浩也(現姓高橋)：水素供給（その２）戦略研究～アイスランド～，エコビジネスネットワーク『環境ビジネスレポート』Vol.139 pp.12-13，2006

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

2010 年末に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、各国の国益を最優先させた外交交渉の結果となった。しかし、

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。

など、温暖化対策に使命感が感じられる内容であった。

ところが、東日本大震災とそれによる福島第 1 原発事故を堺にエネルギーを取り巻く環境が大きく異なってきたとはいえ、昨年末に南アフリカ･ダーバンで開催された COP17 では、「すべての国が参加する新枠組みの構築に向けて 12 年前半に特別作業部会を設置して交渉を始め、15 年までに新枠組みを採択、20 年の発効を目指すとした工程表『ダーバン･プラットホーム』が採択されたものの、福島第 1 原発事故のこともあって日本は延長期間に参加せず、第 2 約束期間への参加国は現在より減り、欧州連合（EU）やノルウェーが中心となる。」結果となった。

COP17 のねらいとする“すべての国が参加する新枠組みの構築”の実現により、排出が多いのに現在は削減義務を負わない米国、中国に削減を促す効果が期待される。

しかし、現在も GHG は排出され続けており 2006 年が 381ppm であり、発展途上国のエネルギー消費量が大幅に増えると、年に 2ppm を超える上昇となり現在では 390ppm を超え温度上昇の許容を 2K としたときの限界濃度に近づいている。この喫急の場を考えるとき国際政治の道具となった感のある「気候変動枠組み条約」の合意を待つまでもなく GHG 削減のための再生可能エネルギー導入、省エネルギー、ならびに、エネルギー･資源の使用量を削減し長期に渡って利用できるようにエネルギー･資源の高度活用をビジネスモデル化することは国際的にも低炭素エネルギー社会システムの範を示すことになる。

一方、福島第 1 原発の事故以後、定期検査に入った原子力発電所の運転再開はままならず、原子力発電所の運転は減少の一途である。2010 年度の電力 10 社における国内の発電設備の電源別容量では**図 1－1**

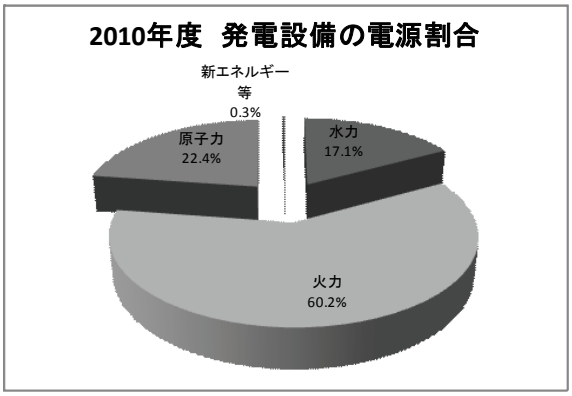


図1－1　2010年度発電設備の電源割合

1 に示すように火力が約 6 割、原子力が 2 割強、水力が 2 割弱、新エネルギー等は 1%未満である。ところが発電電力量になると稼働率の関係で**図 1－2** に示すように、火力が 5 割弱、原子力が 3 割弱、水力が 1 割以下、新エネルギー等は 1%未満、他社受電が 2 割弱ある。言い換えるとパラダイムシフトにより最大消費電力、電力量の 3 割を省エネルギーできれば、原子力発電を停止しても GHG 排出量は増えない。原子力発電は GHG 排出量削減の切り札と期待されていたが、福島第 1 原発事故は安全過信への警告であり、一度事故を起こせば末代までの大惨事となることへの警鐘でもある。

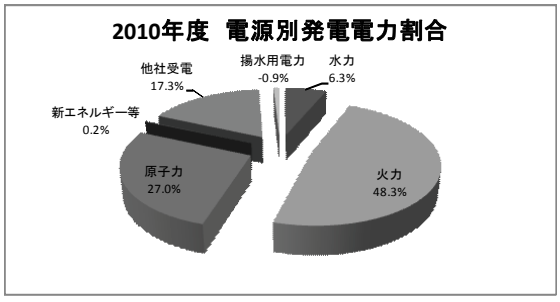


図1－2 2010年度電源別発電電力割合

本調査研究では GHG 排出量削減の目標を達成すべく、かつ化石エネルギー･資源の高度活用を図るべく①非化石エネルギーの活用技術、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、③エネルギー利用の高効率化システムの 3 つのくくりで実施した。その概要を以下にまとめる。

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**「バイオマスの活用」では、バイオマスを有効な再生可能エネルギー源として活用し、電気エネルギーに変換する装置の経済性を指標に、安定したエネルギー供給事業として成立せしめる条件を整理した。この再生可能エネルギーの１オプションとしての直接燃焼発電システムに関し、経済性を決定する主要パラメータを元にこのシステムの損益をシミュレートし事業成立の発電規模を示した。**第３章**「小水力発電の活用」では、水力発電は純国産の再生可能エネルギーで、排出 CO_2 が非常に小さく、インフレや燃料のコスト変動の影響が小さく、設備利用率が高く、安定した出力が期待できる。また、小水力発電の適地は広く分布しており、自然環境への負荷が非常に小さく、新たな水力ポテンシャルを有している。特に山間地などでは地産地消型の供給源としての機能、その他の利水事業と連携しての河川活用による総合的な河川環境の保全･改善および地域の社会基盤整備に貢献できることを示した。**第４章**「海洋温度差エネルギーの利用」では、発電以外にも、①冷海水の取水による冷熱源利用②淡水化による飲料水供給 ③リチウム等回収･水素製造④無機栄養塩類が豊富な海洋深層水利用による漁場育成 ⑤排他的経済水域（EEZ）有効利用、の可能性を示し、「沖ノ鳥島」に海洋温度差発電システムを設置した場合の発電および深層冷海水が持つエネルギーを利用するケースについて検討した。**第５章**「太陽エネルギーの利用」では、太陽光の波長によりエネルギー量が異なることから太陽光発電の問題点を指摘し、この短所を補い太陽エネルギーを高効率に利用する方法を示し、バイオマスエネルギーと組み合わせるスマート熱電併給を提案した。

また、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６章**「家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望」では、「夏期の電力需要対策のフォローアップについて」による家庭での取り組みから①大半の家庭が無理なく節電を実施、②6 割以上の家庭が 10%以上の節電が可能、と回答しており一般の生活者･消費者レベルにおいては「意識を変える」ことによって節電効果が得られる。そこで①ホームエネルギ

ーマネジメントシステム（HEMS)、②エネルギーモニタ、③家庭向け省エネ支援サービス、の 3 つについて検討した。**第 7 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、建設業界や住宅業界においても ZEB(Zero Energy Building)や ZEH(Zero Energy House)という言葉に代表されるように省エネルギーや創エネルギーを今まで以上に積極的に行っており、ある敷地内部に 1 年間にどの程度のエネルギーが存在しているかを試算し、エクセルギーの視点から創エネルギーおよび省エネルギーについて検討した。エネルギーは日射･地中熱･電気･水道水の順となったが、日射･電気に比べて、温度が低い地中熱･水道水のエクセルギーは大きく減少した。

一方、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 8 章**「持続可能なクリーンエネルギーへ」では、2050 年以降の長期的な GHG 削減の問題点を示し、現状技術の延長上では 2050 年までに世界の CO_2 排出量の半減は困難であり、CO2 回収･貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）の有用性と課題を浮き彫りにした。**第 9 章**「ガス化技術とエネルギー連携」では、バイオマスのガス化発電、石炭ガス化発電およびコンビナートにおけるプラント相互の連携の事例を調査した。

持続可能な発展を遂げるためには、化石燃料を消費することでなく天の恵み太陽エネルギーを活用することにある。太陽光発電は単価が未だに高価なままであるが、低炭素エネルギー社会システムを支えるに必要なものが高価ということは考えようによっては大きなビジネスチャンスといえる。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パラダイムシフトを実現し省エネルギー3 割を伴う新ビジネス領域･新市場の開拓を期待したい。

第２章　バイオマスの活用

近年、再生可能エネルギー資源として「バイオマス」が注目されている。本来、バイオマスとは生態学の用語で、ある時点に存在する生物(bio-)の量を物質(mass)の量として表現したものである。転じてこれをエネルギーとして捉える場合には生物由来の資源を指す。バイオマスをエネルギー資源として考えた場合、主に①食品廃棄物（生ごみなど）②林地残材、農作物残渣などの未利用部分③エネルギー作物などがあり、我が国でもこれらの活用にむけた取り組みが進められている。

エネルギー資源として見た場合バイオマスは太陽光として入射したエネルギーを生物の代謝作用により固定化し有効なエネルギーとして貯留する一種のエネルギー貯蔵システムとして作用し、かつ、これを必要な量だけ集め燃焼させることにより必要なときに必要な量だけ有効な一次エネルギー源として取り出せる特徴がある。つまり他の再生可能エネルギーと比べると安定的なエネルギー源として極めて有効な資源と見なすことができる。さらに CO_2 排出の観点からもバイオマス資源の生成の過程で固定化された CO_2 を燃焼の過程で同量放出するというプロセスから実質的な CO_2 排出量はゼロ（この性質をカーボンニュートラルという）であり、CO_2 排出量削減を求められる我が国のエネルギー戦略上も重要な資源と位置づけられる。

ところが平成 19 年の統計データによると林地残材は 98%が未だ利用されておらず農作物残渣についても 70%以上が利用されていないなど現実にはこれらの資源の十分な活用が進んでいない。また国や地方自治体の各種補助金制度を活用しバイオマス関連事業として導入された一部の設備においても種々のトラブルから稼働率が低調であったり期待された性能が得られなかったりしたことにより事業採算が成り立たないケースさえ存在する。そのため再生可能エネルギーのオプションとしてのバイオマスを疑問視する声もある。しかしながら、こういった事業の多くはもともと未成熟な技術を無理に導入したり当初の事業計画が杜撰であったりすることによるものが多く、本来のバイオマスが持つエネルギー資源としての可能性を否定するものではない。実際に事業計画が良く練られた幾つかのバイオマス発電事業においては当初計画通りの事業採算をあげており、かつ地域の発電システムの一部として有効に運用されているケースもある。

本章では上述の観点からバイオマスを有効な再生可能エネルギー源として活用し安定的なエネルギー供給事業として成立せしめる条件を整理し我が国における今後のバイオマス資源の有効な活用方法について提言した。

2.1　発電利用における熱効率

バイオマスの活用として最も有効な方法は発電への適用である。これは一次エネルギーの最も有用な変換先が電力であることに起因するがバイオマスのエネルギー源としての特性を考慮すると、さらに発電への適用の重要性が増すこととなる。すなわち数ある再生可能エネルギー源のうち既存の水力･火力･原子力等と同様にエネルギー変換前の状態そのままにエネルギーを貯留できる方式はバイオマス以外には殆ど無く既存の電力系統に大きな影響を与えることなく安定電源として適用できる数少ない方式であるということである。

こうした視点で見た場合もバイオマスを発電用のエネルギーとして適用した場合の効率はそのシステムの経済性を量る上で最も重要な因子となる。現在、バイオマスを発電システムとして適用する場合、有望な方式と考えられているのは以下の 3 方式である。

① 直接燃焼　:バイオマスを燃料とし、直接燃焼させることにより熱エネルギーを取り出し、蒸気機関を駆動させることにより発電を行う方式

② ガス化　　:バイオマスを無酸素状態で加熱し、熱分解し可燃性ガスを生成、得られたガスを燃焼させた熱エネルギーで熱機関を駆動させる方式

③ メタン発酵:バイオマスを嫌気状態でメタン発酵菌等の微生物の作用で分解することにより、メタンを主成分とする可燃性ガスを生成、得られたガスを燃焼させた熱エネルギーで熱機関を駆動させる方式

これらの方式は適用するバイオマスの種類により適不適はあるものの投入されたバイオマスの持つエネルギーを最終的にどれだけの電気エネルギーとして取り出しうるかという視点でエネルギー変換手段としての大凡の経済性を評価することができる。

ここで、上記に挙げた 3 種の発電方式において林地残材等の低発熱量バイオマス燃料を使って発電した場合を例にとって総合的な効率を以下に示す。なお検討の前提となる燃料条件については**表 2.1-1** に示すように一般的な木質バイオマスを想定し高位発熱量(HHV)にて 10.5MJ/kg、水分 50%とし効率の評価は実質的な出力となる低位発熱量基準(LHV)の送電端効率とした。

表 2.1-1　効率評価の前提条件

発電方式	①直接燃焼		②ガス化	③メタン発酵
	高効率発電	低効率発電		
燃料発熱量 (HHV-MJ/kg AR)	10.5	10.5	10.5	10.5
燃料中水分(%)	50	50	50	50
冷ガス効率(%)	-	-	燃料乾燥状態にて 65	50
LHV 基準 送電端効率(%)	32	17	17	17
数値の出典	実績に基づき 筆者が算定	実績に基づき 筆者が算定	参考文献 2)	参考文献 3)

直接燃焼については発電所の規模や適用する蒸気条件により効率が大幅に異なるケースがあるため便宜的に蒸気条件 10MPa,500℃級の高効率発電のケースと 3MPa,330℃級の低効率発電のケースに分けた。これら前提条件に基づき燃料の投入エネルギーに対する正味の発電出力を計算すると**図 2.1.1** の通りとなる。

本図に示されるように本来は林地残材をはじめとする木質系のバイオマス燃料は HHV 熱量換算ベースで 1kg あたり 2.9kWh 相当のエネルギーを持っているが、電力として有効に取り出せるエネルギーは直接燃焼の高効率のケースで最大でも 1kg あたり 0.76kWh 程度と HHV ベースのバイオマス燃料の投入エネルギーの 26%程度である。これはバイオマス燃料そのものが、もともと高水分（本試算では 50%と仮定）であり、この水分の蒸発潜熱分は如何なる方式を適用しても事実上電気エネルギーに変換できないため必ずロスすることと熱エネルギーを電気エネルギーに変換する際の熱機関（ランキンサイクル）による変換ロスのためである。また直接燃焼であっても蒸気条件が低く発電効率が低いサイクルにおいてはさらに効率は悪くなり 10%程度となる。

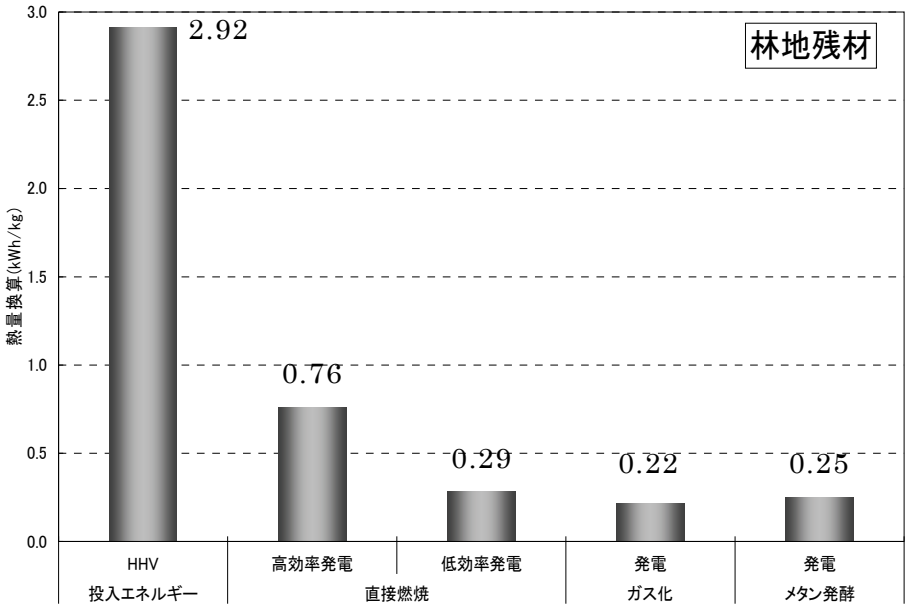


図2.1-1 燃料の投入エネルギーに対する正味発電出力

ガス化、メタン発酵に関しては燃焼プロセスの前にバイオマス燃料のガス化という操作が加わるため冷ガス効率が問題となる。冷ガス効率とはガス化の結果として得られるバイオガスの熱量を当初持っていたバイオマス燃料の熱量で除した値で定義されるが最大でも概ね 50%とされている。また、現在のガス化、メタン発酵等の操作で得られるバイオガスは単独ではガスタービンコンバインドサイクル等の高効率発電を行うようなガス純度は得られないため、サイクル変換効率もあまり期待できない。従ってトータルとしての正味発電出力は 1kg あたり 0.22～0.25kWh 程度にとどまり投入エネルギーに対する電気エネルギーの変換効率は 8%程度である。

以上に見られるように、林地残材等の未利用バイオマス資源をエネルギー変換して有効に活用するためには現在の技術レベルにおいては直接燃焼させて電気エネルギーとして使うより他は無く、さらにこの直接燃焼の場合においても発電設備そのものの高効率化が重要であることがわかる。ただし、直接燃焼が困難な低品位燃料、例えば木質よりもさらに水分が多く自然が困難な畜産系廃棄物や厨芥、下水汚泥などはガス化や発酵プロセスを介した燃料改質が必要であり、これらの技術を積極的に開発･活用すべきである。

2.2 直接燃焼発電システムにおける経済性

前節で述べた通り、発電システムとしてバイオマスを有効に活用するためには現在のところ直接燃焼が最適と考えられるがこの直接燃焼においてもバイオマスを活用した発電システムとして恒常的な収益を確保し安定的な事業として成立させるためには経済性の評価

は避けて通れない。本節ではバイオマス発電システムにおいて経済性を決定する幾つかのパラメータを挙げ、発電所としての収支バランスを検討する。発電所の規模を横軸として損益分岐点を評価する場合、経済性を決定する主なパラメータを**表 2.2-1** に示す。

表 2.2-1　経済性を決定する主要パラメータ

パラメータ	仮定値	単位	説明
売電単価	20	¥/kWh	kWhあたりの取引単価
固定費	120	M¥/y	発電規模によらない原価（人件費など）
変動費 1	200	M¥/y (@5MW)	発電規模に弱く依存する原価（減価償却費、固定資産税、ﾒﾝﾃﾅﾝｽ費など）本検討では5MW発電にて200M¥/yとおき、発電規模の0.6乗に比例するものとした
変動費 2 （燃料）	5	k¥/t	発電規模に正比例する原価（炉前燃料費） 燃料費及び炉前までの搬送、破砕･乾燥コスト含む
変動費 2 （ﾕｰﾃｨﾘﾃｨ）	50	M¥/y (@5MW)	発電規模に正比例する原価（発電ﾕｰﾃｨﾘﾃｨ、灰処分費など） 本検討では5MW発電にて50M¥/yとおき、発電規模に比例するものとした
燃料発熱量	11.3	MJ/kg	LHVベース発熱量（燃料水分35%程度を仮定）
ボイラ効率	89	%	LHVベースのボイラ効率
タービン効率	29	%	タービン熱効率（本検討では便宜的に発電機効率も含む）
所内動力率	12	%	発電端出力に対する所内動力の割合
稼働率	94	%	年間の稼働時間(本仮定では 345 日)を 365 日 x24hr で割ったもの。
負荷率	95	%	運転期間中の総発電量を総発電能力で割ったもの。 （利用率は、上記稼働率と負荷率の積）

表 2.2-1 のパラメータをもとにバイオマス発電の損益をシミュレートすると、**図 2.2-1** となる。図中、固定費と変動費を合わせたものが発電所の発電原価であり、実線部分が同発電所の売電収入なる。従って、これらの交点が発電所の損益分岐点（本シミュレーションでは発電規模約 4,300kW が損益分岐点）となり、これ以下の小規模発電では人件費倒れになるため事業は成立しない。従って燃料費や人件費等の仮定により若干の変動はあるものの、このような直接発電システムにおいてバイオマス発電事業を成立させるためには少なくとも 5,000kW 程度の発電規模が必要である。

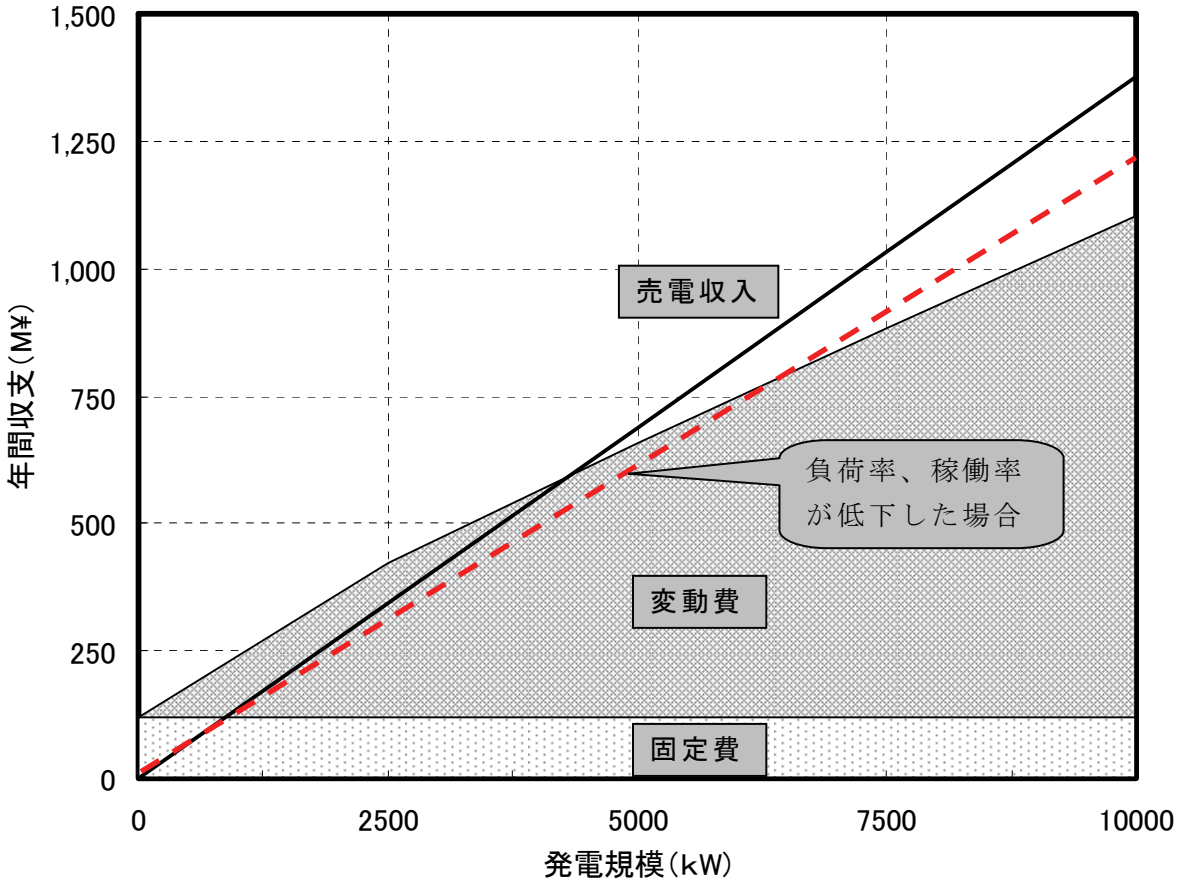


図2.2-1 バイオマス発電の損益

本シミュレーションではバイオマス発電設備は発電プラントとして適切な稼働率と負荷率で運用できるものと仮定しているが、過去のプラントの事例の中には焼却炉の延長線上で設計されたためトラブルによる計画外停止や想定外のメンテナンス停止が多発し適切な稼働率が維持できなかったり発電用の適切なデマンド運用ができないために高負荷率を維持できないものも多く、発電プラントとしての十分な運用ができないものも散見される。こうした不適切な計画により仮に負荷率や稼働率が計画値より 10%少なかった場合は、図中破線の如く収支は大幅に悪化する。

同様に、本シミュレーションではボイラ効率 89%、タービン効率 29%と小規模発電用プラントとして総合熱効率 25.8%程度の設備を想定しているが、総合熱効率として本仮定より 3%程度低いプラントでは売電収入で 10%程度の悪化が見込まれ採算性が悪化する。

以上シミュレーション結果から発電設備の経済性の観点でバイオマス発電を評価すると

① 発電規模を大きくして固定費比率を下げる

② 発電設備として適切な負荷率、稼働率で運用できる設備とする。

③ 総合熱効率の高い設備とする。

の 3 点が重要である。

2.3 適切な発電システム

前節までの評価を踏まえ本節ではバイオマスを活用するための適切な発電システムについて考察する。なお、本検討では冒頭に述べた通りバイオマス資源を電力エネルギーとして利用することを前提とし、その他の付加価値（廃棄物処理、小規模の地域熱供給、マテリアルリサイクル、改質燃料化など）については考慮しないものとする。従って、これらの付加価値が発電利用以上に十分に期待できるものについてはこれを否定するものではない。また 2.1 で考察したとおり発電システムとして考える場合は直接燃焼システムが最適と考えられるため直接燃焼を前提に考察する。

2.3.1 規模

バイオマス発電設備の経済性を考える上では先ず発電規模を優先すべきである。前節で考察した通り、発電規模が大きいほど固定費比率は下がり事業採算は良くなる。また、前節のシミュレーションにおいては変動費の一部とみなした発電設備の初期投資回収にあたる減価償却費等も一般的なプラントでは規模が大きいほど相対的に割安となるため大規模設備のほうが有利である。さらに、大規模設備においては一般的に蒸気タービンの蒸気条件を高温･高圧化することが可能であるため熱効率の向上も期待できる。

しかしながら、前節のシミュレーションにおける 1 万 kW 発電のケースでは年間約 9 万 6 千 t ものバイオマス燃料を必要としバイオマス燃料の安定供給が問題となる。バイオマス燃料を安定的に供給するためには、そのバックグラウンドとして整備された林野があることが前提となりバイオマス発電所を中心として適切な収集半径の中で恒常的に燃料輸送を行う必要がある。大規模な発電所ではこの収集半径が大きくなり燃料コストが上昇する。従って発電所規模と燃料コストはトレードオフの関係にある。

現在のところ間伐材等の未利用バイオマスの場合、年間 5 万 t の燃料供給に要する収集半径は概ね 30km とされており、50～60km 程度が経済的な収集半径限界と仮定すると、年間 15 万 t 程度が限界となり、5 千 kW～1 万 5 千 kW 程度が適切な発電所規模と考えられる。

2.3.2 運用性

発電設備に限ったことではないがプラント設備においては経済性を上げていくためにはその設備能力の中で高い稼働率･負荷率を維持することが必要である。近年、再生可能エネルギーのオプションとして注目を集めている風力発電や太陽光発電はその設備能力に対し稼働率･負荷率が低い（風力発電の場合で利用率は概ね 30～40%、太陽光発電の場合は 10～15%）ことが最大の欠点である。これはとりもなおさず、これらの発電方式はその駆動源である風力や太陽光が気象条件しだいであるという点に由来するが、これは単に経済性の観点だけでなく電力グリッドの安定性という点でも問題である。一方でバイオマス発電の場合は高稼働率･高負荷運用が可能というだけでなく電力網の中で電力デマンドに応じて任意の負荷運用が可能という点で他の再生可能エネルギーの不安定性を吸収できる可能性があり他の再生可能エネルギー由来の電源よりも実質的な価値が高い。

従って、バイオマス発電においてはトラブルなどによる計画外停止が少なくメンテナンス停止が少ない高信頼設備による高稼働率の維持および安定した負荷運用による高負荷率

の維持が必要である。さらに、系統の電力デマンドに応じた柔軟な負荷運用ができることが望ましい。

適切な設備としては前節シミュレーションの通り年間 20 日程度の定期点検期間を除き 345 日程度の運転を行うものとして設備稼働率で 94%程度、この間の負荷運用として電力デマンド制御を行いつつ平均負荷として 95%程度を維持するものとして負荷率 95%程度を目標とし、総合的な設備利用率として 90%程度を目標とすべきである。

2.3.3 発電効率

前節でも述べた通り発電設備の効率は採算性に直結するためシステム設計においては慎重な選定が必要である。先のシミュレーションにおいては小規模の発電システムを想定しボイラ効率 88%、タービン効率 29%とし総合熱効率として 25.8%と考えているが 5 千 kW 程度の発電プラントでは概ねこれらの数値を目標とすべきであろう。

これら目標数値を達成するためにはタービン入口の蒸気条件選定が重要となる。一般にタービン入口の蒸気条件を高温･高圧化すればタービン効率は上がるが、そのぶん耐圧部品の耐圧･耐熱設計条件が厳しくなり初期投資コストが増大する。従ってこれらはトレードオフの関係にあり闇雲に蒸気条件を上げることは技術的に得策ではない。また、一部のバイオマスボイラにおいては蒸気温度を上げるために火炉の流動層内に過熱器を設けているもの（層内伝熱管と称する）もあるが腐食･磨耗によるトラブルが頻発しており、結果的にメンテナンスコストが増大するとともに稼働率が低下するため、これも発電設備の採算性の観点からはトレードオフの関係となる。

一方、ボイラ効率については一部の燃焼効率の悪いボイラを除けば発電用ボイラにおいてボイラ効率 88%程度は容易に達成可能な数値であり問題はないと考えられる。むしろ上述の如く適切なタービン側蒸気条件に対応できることとバイオマス燃料で②で述べた高稼働率･高負荷率運用を実現できるものを選定すべきである。

これらの条件を勘案すると 5 千 kW 級高効率タービン設備おいて現在多く採用されている、蒸気条件 5.4MPa,450℃程度を採用することが適切である。この蒸気条件下で適切なボイラ･タービン運用をすれば総合熱効率として 25%以上は現時点の発電技術においても容易に達成可能である。

2.4 バイオマス活用の提言

我が国の森林面積は国土の約 66%を占めており先進国の中では有数の森林大国である。また、主食である米の非可食部残渣である稲藁･籾殻などバイオマス資源に恵まれている。しかし、これらのバイオマス資源は殆ど利用されていない上、利用されていても廃棄物と同様の扱いで小規模、低効率、低稼働率の運用にて有用なエネルギー回収が行われていない事例が多い。そのため再生可能エネルギー資源として十分な賦存量があるにも関わらず活用が進まないばかりか、他の再生可能エネルギーと比べて不採算な事業と見做される傾向がある。その一方でバイオマス発電は他の再生可能エネルギー由来の発電方式と比べて電力デマンドに応じた柔軟な負荷運用が可能であり電力系統の安定運用にあたって重要な電源の一つとなりうる。従って、このバイオマス資源を有効に活用しないことは広い意味では国益の損失につながり利活用を促進する仕組みが必要である。

本章では、バイオマス資源を有効に活用しつつこれを電源システムに組み込んでいく場合における現実的な技術要件を整理し経済的に発電事業が成立しうる条件を示した。これらの技術的な条件は現時点におけるテクノロジーで十分に達成可能な内容である。

現在、再生可能エネルギー特別措置法成立とともにバイオマスエネルギーもその一つのオプションとして挙げられバイオマス発電事業を立ち上げようとする民間事業者も多く出てきている。本稿がこれらの事業においてバイオマス発電の特性の理解に繋がりバイオマス発電事業の今後の我が国の普及の一助となれば幸いである。

現在、再生可能エネルギー特別措置法が成立し平成 24 年 7 月より再生可能エネルギー由来の電力固定価格買取制度施行が決定されているにも関わらず、現時点では未だその細目が決定されていない。本章でも述べた通り、固定価格買取制度における電力単価は再生可能エネルギー由来の電力事業計画における急所であり、これが決定しない限りはいかなる事業者も発電事業を実行に移すことは不可能である。これは現在の電力危機下において異常とも言える事態であり早急な対応を切に望みたい。

第３章　小水力発電の活用

水力発電は過去110年以上にわたり開発され今もなお重要な自然エネルギー利用の発電技術である。明治以降の日本の近代化を支えた水力発電は1950年代まで電力供給の大部分を担っていた。しかし現在では高度経済成長とオイルショックという社会情勢の変化を経て火力発電と原子力発電が国内の発電電力量構成上主要な発電方法となっている。一方、地球温暖化問題が顕在化して温室効果ガスであるCO_2を多く排出する火力発電の高効率化やシェア縮小が求められるようになった。さらに、昨年発生した福島第一原発事故により原子力発電が縮小もしくは廃止を強く求められるようになっている。このような背景から再生可能エネルギーに注目が集まっており、なかでも国土の広い範囲に適用できると考えられている「小水力発電」に期待が寄せられている。

3.1　水力発電の導入状況と特徴

3.1.1　水力発電の導入推移

我が国の電力供給に対する水力発電電力量のシェアは1950年代前半まで8割以上であったが、1960年代半ばに約4割に下がり1990年代半ばからは約1割である。減少傾向のシェアに対し設備容量は**図3.1.1-1**のとおり常に増加している。1950年代前半に約7,000MWであった設備容量は1950年代後半から60年代前半の大規模水力開発によって年平均700MWで激増して1965年に約16,000MWに達した。その後1970年から2000年では揚水式を中心に年平均870MWで開発されたが、一般水力の開発は激減し年平均170MWの増加であった。そのため1970年以降では設備容量の増加の割には発電電力量が増加していない。つまり蓄電が目的の揚水発電を除いた水力発電は1970年以降開発が進まず、1998年以降では**図3.1.1-2**に示すように年平均60MW程度の増加に留まっている。1MW以下を対象としたRPS法の効果も少ないため、今後の開発ペースの大幅な加速が望まれる。

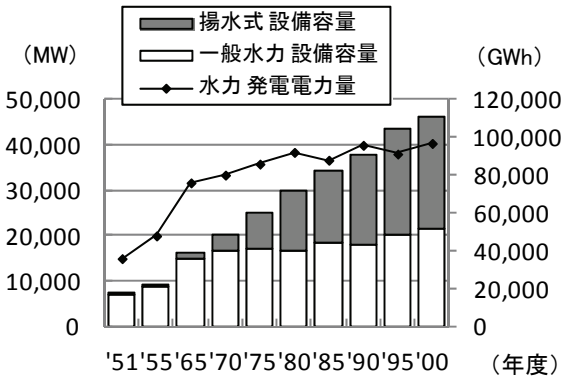


図 3.1.1-1　日本の水力発電設備容量の推移

出典：資源エネルギー庁「水力発電に関する研究会」
およびウィキペディア「揚水発電」より作成

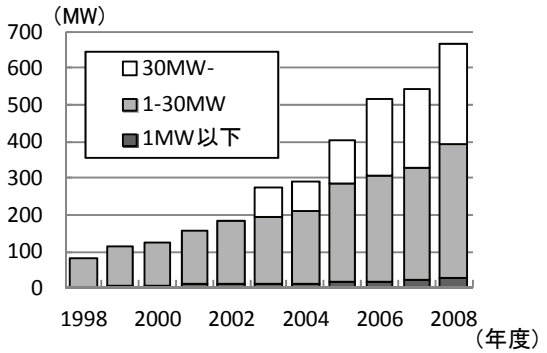


図 3.1.1-2　1998 年以降開発の一般水力発電設備容量の推移

出典：新エネルギー財団「低炭素社会構築に貢献する
水力発電の着実な開発実施に向けた提言」

3.1.2 水力発電の特徴

水力発電は他の再生可能エネルギーに比べて技術熟度の高い発電技術であり、技術的信頼性が高い。さらに次に示す主に3つの利点を有しているためエネルギー政策上推進するメリットが大きい。

1) 純国産エネルギー

日本のエネルギー自給率は依然2割弱（原子力含む）であり、エネルギーセキュリティの観点から極めて脆弱な状態である。これに対し水力は貴重な純国産の再生可能エネルギーであるので導入･維持を促進すべきである。

2) 高い低炭素性

地球温暖化対策として再生可能エネルギーの導入促進が必要であるなか水力発電は特に低炭素性に優れている。水力発電のライフサイクルCO_2は0.011kg-CO_2/kWhであり、石油火力発電の67分の1、太陽光発電の5分の1、風力発電の3分の1である。

3) 経済性

水力発電原価は資本費関係が大部分であるため、インフレや燃料コスト変動の影響を受けにくい。また、発電の変換効率と設備利用率が高く耐用年数が長いため発電コストが低廉で安定して事業収支性も高い。

3.1.3 小水力発電の特徴

小水力発電には前出の水力発電の特徴以外に下記に示す特徴がある。水力エネルギー開発という視点以外にも地域社会や地域環境に貢献する優れた特徴があるため採算性だけではなくそれらの利点も加味して開発されるべきである。

1) 成熟した技術の応用

既に基本的な技術は確立されており、今まで未利用だった中小規模の河川や農業用水路などを対象にすることで新たな水力ポテンシャルを開発できる。

2) 環境負荷の小さい開発方法

従来のような大規模ダムなどの施設が不要な流込式の発電方式や流水をそのまま利用する発電方式が主となるため、自然環境への負荷が非常に小さい。

3) 広域に分布する開発可能地

小水力発電の適地は全国に広く分布している。小規模であればあるほど設置可能になる箇所は増えるため、小規模開発を技術的にも経済的にも可能とする水車等の発電技術開発や導入方法の開発が望まれる。

4) ローカルエネルギー

特に山間地などに適地が多いため、地産地消型の供給源としての機能が期待されている。また、自然災害時などの緊急時に必要最小電源を供給する分散型エネルギーとして地域のエネルギーセキュリティに貢献できる。

5) 地域貢献

エネルギー･環境に関する教育の場を提供するなど地域住民への広報･啓蒙活動に貢献できる。住民参加型の事業とすることで地域社会に活力を与える文化的行事やイベント開催などの拠点となる。さらに、その他の利水事業等と連携して河川が活用されることで、総合的な河川環境の改善･保全や地域社会基盤整備に貢献できる。

3.2 導入可能量と今後の導入に関する課題

3.2.1 従来の水力発電の導入可能量（包蔵水力）

1） 包蔵水力の概要

包蔵水力とは資源エネルギー庁が調査した水力発電の資源量である。対象となる水力開発は国内の各水系について発電用の堰やダムを設けるものである。包蔵水力調査では流域毎に開発可能地点を抽出し概略発電計画などを行って開発可能量を算定している。なお、従来では経済性が低いと思われる渓流や小河川は検討対象とされていない。

包蔵水力に示される従来型の水力開発は**図3.2.1-1**に示すとおり発電電力量の6割が開発済みである。ダム式発電の未開発地点はほとんど残されておらず今後の開発対象は堰などによる流れ込み式が主であることが分かる。出力別では1～30MWの中小水力規模が主であり中小水力･地熱発電開発費等補助金事業、再生可能エネルギーの全量買取制度（FIT）の対象に対応している。また、従来言われている通り30MW以上の大規模の開発余地は少ない。この規模には主にダム式発電が適用されると考えられ、環境影響や世論の面からも開発が困難な状況である。なお、1MW未満のミニ水力規模については従来型の開発方法では対象とされない地点が多いため包蔵水力は少ない。

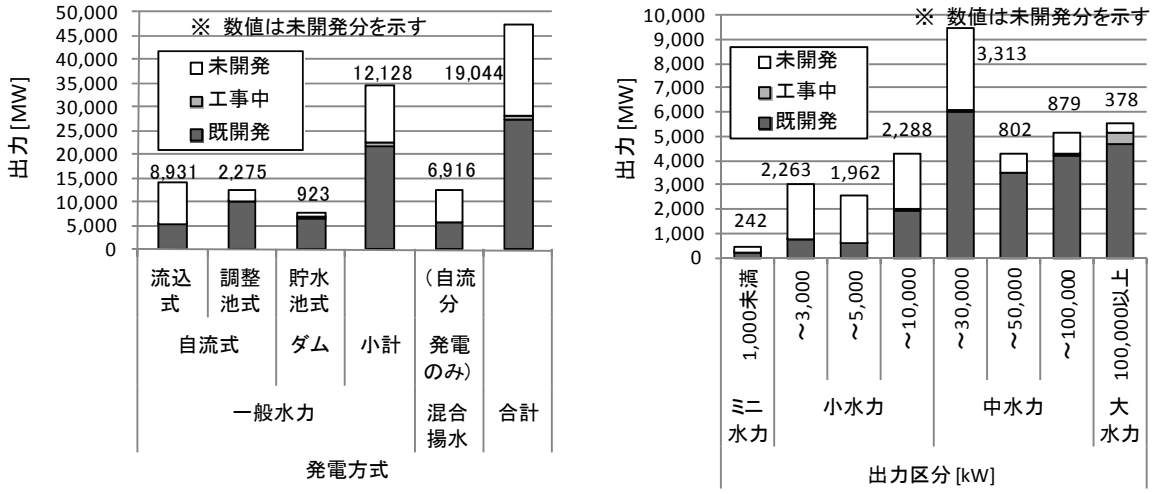


図3.2.1-1 包蔵水力（2009年3月31日現在）

出典：資源エネルギー庁Webサイトのデータより作成

2） 課題

今後の水力開発は30MW以下の流込式中小水力発電であり開発可能量は9,000MW程度である。現状では年30MW程度で開発されているがさらなる促進が望まれる。しかし、新たに堰など土木構造物の設置が必要である上に開発地点の奥地化･小規模化に伴って採算性が厳しくなるため、土木工事を始めさまざまな低コスト技術が求められる。

また、1MW未満の規模については発電用の堰やダムを設ける従来の開発を前提とした包蔵水力調査では導入可能量を評価できていない。小規模に適した開発方法を前提とした調査により1MW未満の規模の開発可能量は増加すると考えられる。

3.2.2 未利用落差発電の導入可能量（未利用落差発電包蔵水力）

1） 包蔵水力の概要

発電用の堰やダムの建設が前提である包蔵水力調査では対象とされていなかった水力資源を調査したものが資源エネルギー庁の未利用落差発電包蔵水力調査である。未利用落差発電の定義を**表3.2.2-1**に示す。つまり未利用落差発電とは利水事業や環境維持のためなど発電以外に利用されている水流を発電に活かす発電方法である。既存構造物（ダム、水路）の利用により土木工事費用を少なくできるため小規模でありながら採算性が向上する。なお対象規模は出力10kW以上有効落差1.5m以上である。

表3.2.2-1 未利用落差発電の定義

既設ダム利用	
河川維持用水利用発電	発電専用ダム(堤高15m未満を含む)で、河川維持用水を利用
利水放流水利用発電	多目的ダム、上水道専用ダム、および工業用水道専用ダムで、利水放流水を利用
農業用水利用発電	農業用水専用ダムで、農業用水を利用
砂防えん堤利用発電	砂防えん堤（木製、鋼製、スリットダムを除く）の落差を利用
既設水路利用	
農業用水路利用発電	農業用施設のうち、落差工、急流工及びパイプライン等の水路系の遊休落差（余剰水圧）を利用
上水道利用発電	上水道施設のうち、導水施設、送水施設及び配水施設の水路系の遊休落差（余剰水圧）を利用
工業用水道利用発電	工業用水施設のうち、導水施設、送水施設及び配水施設の水路系の遊休落差（余剰水圧）を利用
下水道利用発電	下水道施設のうち、水処理施設の処理水（放流水）の水路系の遊休落差を利用

出典：資源エネルギー庁　未利用落差発電包蔵水力調査報告書（平成20年度）より

利水種別の未利用落差発電包蔵水力を**図3.2.2-1**に示す。未利用落差発電包蔵水力の未開発量は約330MWであり包蔵水力の流込式水力発電未開発量に比べ1/27程度と小規模である。ダム利用と水路利用の未開発包蔵水力は14対1の比率でダム利用の方が一桁以上大きい。

ダム利用においては利水ダムと農業用水ダムの未開発包蔵水力が多い。一方、砂防えん堤は国交省の開発推進もあって発電出力の約9割が開発済みである。

水路利用においては上水道利用と農業用水路利用はある程度開発が進みながらも未開発包蔵水力が多い。それに対し工業用水利用と下水道利用では未開発包蔵水力は少ないが未開発の割合が多く開発が進んでいない状況である。

未利用落差発電では未開発分の多い利水ダムと農業用水ダムが今後の主な開発対象である。

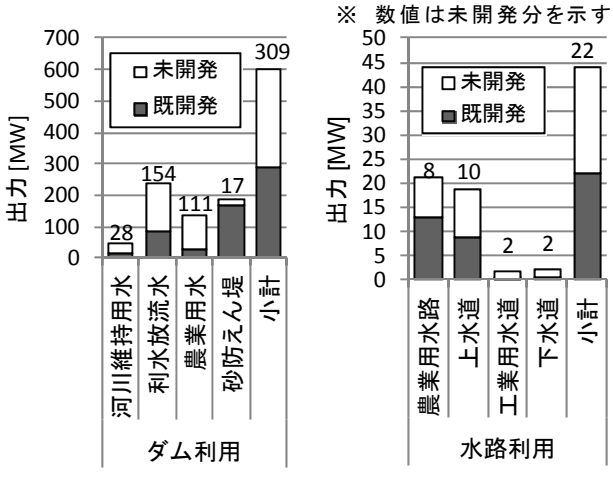


図3.2.2-1 未利用落差発電包蔵水力（利水種別）

出典：資源エネルギー庁　未利用落差発電包蔵水力調査報告書のデータより作成

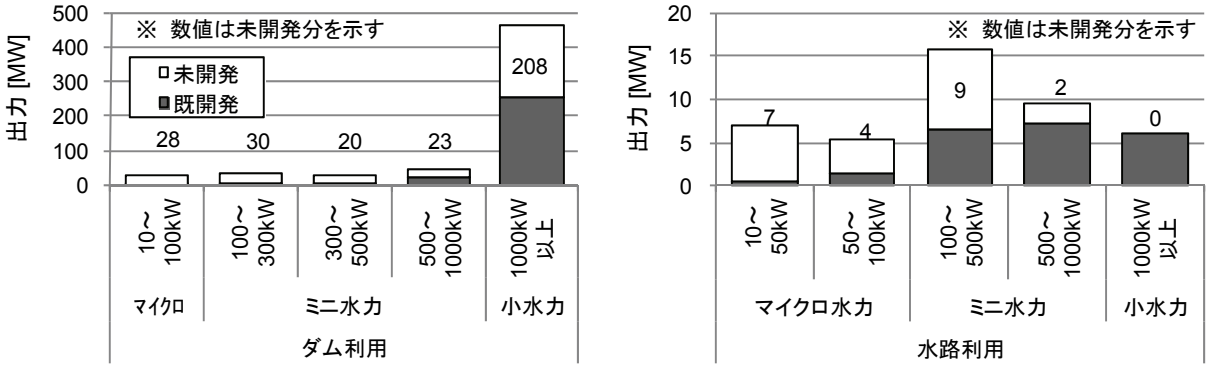


図3.2.2-2　未利用落差発電包蔵水力（出力別）

出典：資源エネルギー庁　未利用落差発電包蔵水力調査報告書のデータより作成

出力別の未利用落差発電包蔵水力を**図3.2.2-2**に示す。ダム利用の出力別分析では1,000kW以上の小水力規模がほとんどの包蔵水力を占めており比較的規模が大きいことがわかる。それに対し水路利用ではミニ･マイクロ水力規模となる500kW未満の割合が多いことから比較的小規模な発電であることがわかる。

2)　課題

既存ダム利用では発電用以外のダム放流水による発電が未開発量が多く規模的にも1MWを超える小水力規模の地点が多く残されている可能性が高いため重点的に開発されるべきと考える。また、水路利用では農業用水路および上水道に開発量が多く残されており500kW以下のミニ･マイクロ水力規模で数多く開発する必要がある。技術的には現状で十分可能であるが、より小規模な開発での採算性能向上を図り開発可能量をより増加させるために電気関係（水車、発電機、変圧器等）の低コスト化技術も必要となる。

3.2.3　環境省による導入可能量調査（再生可能エネルギー導入ポテンシャル）

1)　導入ポテンシャルの概要

環境省が再生可能エネルギー導入促進のため中小水力発電の導入ポテンシャルを調査している。河川部および農業用水において出力30MW未満で発電単価500円/kWh･y未満を条件に、国内の全水系･全水路をある一定のアルゴリズムによって賦存量を推計し導入ポテンシャルを推計している。資源エネルギー庁の包蔵水力が現実に則した保守的な調査仕様であることに対し、広くポテンシャルを算出するために開発地点が理論的･無作為的であることと建設単価の上限を非常に高く（現状の倍程度）していることが特徴である。そのため導入ポテンシャルの総量は14,300MWと資源エネルギー庁の流込中小水力の未開発包蔵水力の1.6倍と大きい。将来の政策や技術革新にも対応したまさしくポテンシャルな数値である。

出力別の導入ポテンシャルを**図3.2.3-1**に示す。河川部の導入ポテンシャルは農業用水の導入ポテンシャルの50倍近くある。出力別では河川部と用水とも1～5MWが最も導入ポテンシャルが高い。従来の包蔵水力では10～30MWが最大であることに対し、ここでは5MW以下を主眼とした小規模な開発を前提とした推計であるためと言える。

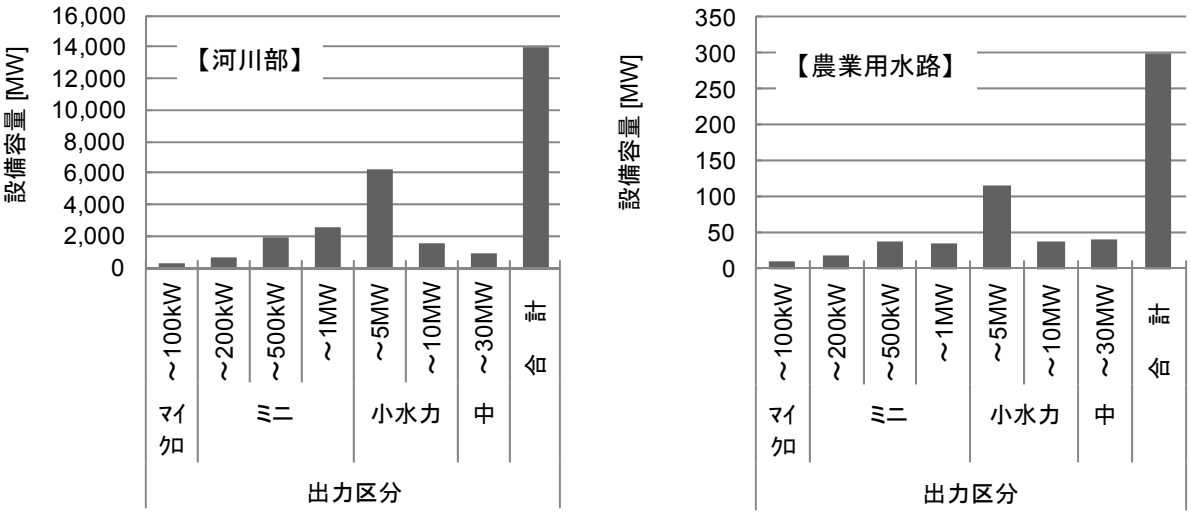


図3.2.3-1　導入ポテンシャル(出力別)

出典：環境省　再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査のデータより作成

2)　課題

前出の導入ポテンシャルに対しFITによる条件すなわち買取価格15円～20円、買取期間15年～20年：事業単価91万円/kW以下を付加すると、導入可能量は河川部において導入ポテンシャルの6～20%である900～2,900MW程度、農業用水において導入ポテンシャルの52～66%である160～200MW程度となる。河川部の導入可能量は資源エネルギー庁の包蔵水力の流込式未開発分の約1/3であり、小水力･ミニ水力規模の開発においてFITだけでは採算性が取りにくいことを示し、補助金等の政策支援が必要なことを示唆している。また、農業用水の導入可能量は資源エネルギー庁の未利用落差発電包蔵水力の既存水路利用の10倍以上の値となっている。既存施設利用だけではなく新規に施設を建設してもFITのみで採算がとれる開発の余地があることを示唆し、農業用水では積極的に水力開発をすべきである。

3.2.4　農業用水発電ポテンシャル（ナノ水力発電と流水利用型発電）

1)　導入ポテンシャルの概要

総延長が地球10周分（約40万km）に相当する日本の基幹的農業用水路および中規模農業用水路から得られる水力発電の導入ポテンシャルを日本水土総合研究所が算出している。この算出では１個所あたりの発電出力を非常に小さい規模にしており、さらに従来の落差利用の発電方法に加えて無落差の流水利用型の発電方法を対象にしている。流水利用型の発電方法は従来の水力調査では全く対象外であり、従来調査では開発対象でなかった位置でも発電可能となる発電方法である。

算出ポテンシャルを**表3.2.4-1**に示す。1個所あたりの発電出力は13W～3kWであり、10kWをはるかに下回るナノ水力ともいわれる小規模発電を対象としている。全体のポテンシャル量は1,240MWと環境省の農業用水路導入ポテンシャルの約4倍である。流水利用型発電のポテンシャルは落差利用型発電の約5倍であり、流水利用型の発電方式を採用することにより国内の水力発電ポテンシャルが拡大することが示されている。

表3.2.4-1　農業用水発電ポテンシャル推定

発電方式		1個所あたり出力	水路長あたり設置個所	設置対象水路延長	ポテンシャル量		備考
					出力	電力量	
落差利用型		13 kW	0.35 個所/km	45,000 km	200 MW	1,420 GWh	基幹水路4.5万kmに0.35個所/km(モデル地区での試算結果より)で設置
流水利用型	基幹水路（水路幅10m）	3 kW	11 個所/km	13,500 km	450 MW	3,040 GWh	基幹水路4.5万kmの3割に100m間隔で設置（水路幅10m、流速2.0m/sを想定）
	中規模水路（水路幅2.0m）	700 W	11 個所/km	71,000 km	550 MW	3,740 GWh	中規模水路35.5万kmの2割に100m間隔で設置（水路幅2.0m、流速2.0m/sを想定）
	中規模水路（水路幅1.0m）	100 W	11 個所/km	35,500 km	40 MW	270 GWh	中規模水路35.5万kmの1割に100m間隔で設置（水路幅1.0m、流速0.8m/sを想定）
	小計				1,040 MW	7,050 GWh	
合計					1,240 MW	8,470 GWh	

出典：日本水土総合研究所　自然エネルギーによる環境整備政策と農村振興施策より

2)　課題

他の導入可能量調査では対象となっていない10kW程度以下の小規模開発のポテンシャルが比較的大きいことが示されている。採算性の検討は特に行われていないが700Wの流水利用型発電の実証試験では9年弱で償却可能としており、経済的に導入可能なポテンシャルであることが推察される。ただし設置個所数が130万個所と非常に多いため、現状では発電機械の供給体制や普及に必要な時間に問題がある。

3.2.5　各導入可能量調査の比較と導入に関する考察

1)　導入可能量の比較

前述した各導入可能量を既開発分の水力と併せて**図3.2.5-1**に示す。各導入可能量は流込式中小水力発電で既開発の40%程度、既存施設の未利用落差による小水力･ミニ水力･マイクロ水力発電（未利用落差発電包蔵水力）で既開発の1.5%、河川･農業用水における小水力･ミニ水力発電（環境省調査）で既開発の14～65%、農業用水を利用した落差利用型･流水利用型ナノ水力発電（日本水土総合研究所調査）で既開発の6%である。今後見込める水力の開発量は既開発分の60～110%であるといえる。

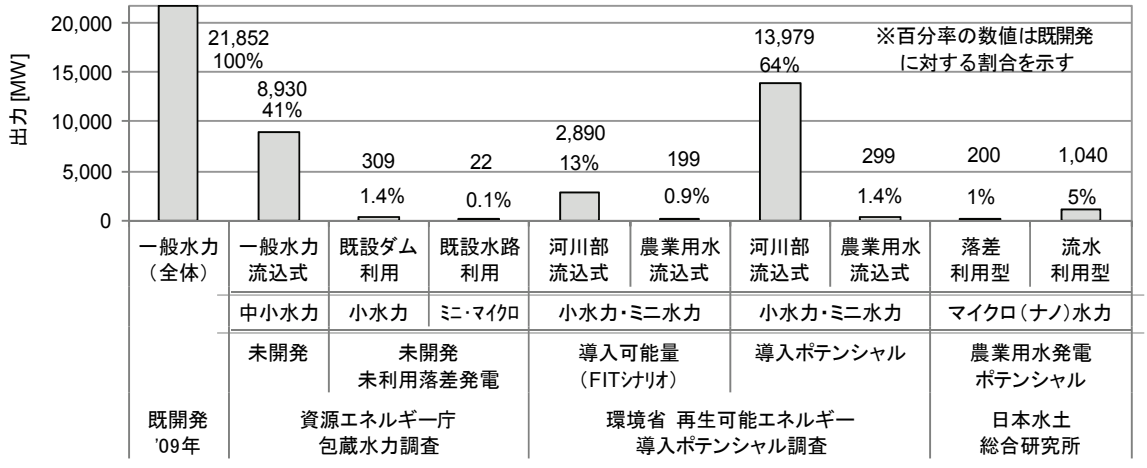


図3.2.5-1　各種導入可能量の比較

2) 小水力発電の方式と導入方策

(1) 流込式中小水力発電

新たに取水堰等を設ける従来型の河川利用の水力開発では1～30MWの流込式の中小水力発電を進める必要がある。現状の年30MWペースの開発では未開発分9,000MWを開発するのに300年かかる。今後はFIT制度の適切な買取価格と買取期間により開発が加速されると期待される。

(2) 未利用落差発電

多目的ダムなど既存ダムの利水放流利用の未開発量は多い。規模的にも1MWを超える小水力規模の地点が多く残されているため重点的に開発されるべきである。また水路利用では農業用水路および上下水道･工業用水に未開発量が残されており500kW未満のミニ･マイクロ水力規模で数多く開発する必要がある。

(3) 流込式ミニ水力発電

河川部における数MW程度以下の小･ミニ水力規模の流込式の発電は導入ポテンシャルは非常に高いが、想定されるFITの買取価格と買取期間では採算性が悪くなり導入可能量が激減する。FIT導入に向けて補助金事業が縮小されているが、1MW未満のミニ水力以下では特に補助金が必要である。なお農業用水部の小･ミニ水力規模の流込式の発電は想定されるFITでも採算が取れる開発余地が多くある。

(4) 流水利用型ナノ水力発電

従来の水力調査の対象ではなかった10kW以下の流水利用型（無落差）発電の導入を進める必要がある。実証試験では9年弱で償却可能であり経済的に導入可能な技術である。現状では大学や高専、ベンチャー企業などが技術開発を行っているが、ナノ発電は１個所の出力が小さいため莫大な導入個所数をこなす必要がある。開発能力と供給能力を持つ企業を育てるには政策による開発支援や事業化支援が必要と考える。

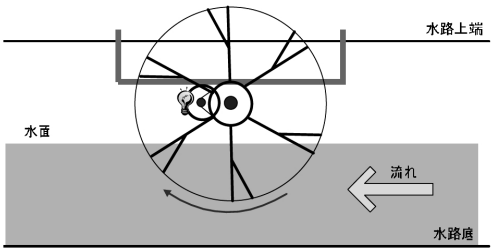


図3.2.5-2 流水利用型発電の概念図

出典：日本水土総合研究所 自然エネルギーによる環境整備政策と農村振興施策より

(5) インフラ･設備配管でのナノ水力発電

前出の農業用水におけるナノ水力発電に見られるように、従来では水力発電の対象ではなかった領域においてごく小規模の発電を計画することにより水力発電の導入可能量を増加させることができる。**図3.2.5-3**に示すように建築物の空調設備冷媒配管や工場等の工業用水配管における未利用水力（落差･水圧）を発電に利用する技術がある。また、都市部の下水道配管に関しても汚物等を含んだ流水も利用できる発電技術や設置方法を開発することにより隠れた膨大な水力エネルギーを得ることができる。

図3.2.5-3 配管挿入型発電機

出典：日立産機システム Webサイトより

3.3　最近の規制緩和

小水力発電を行う場合の主要な許認可手続きは、電気事業法および河川法による手続きである。これらの法手続き等が小水力発電開発の障害になっているといわれているが、近年の導入促進にあわせて規制緩和が進んできている。最近の規制緩和の概要を以下に示す。

3.3.1　河川法

水利権獲得のための許認可手続きが煩雑で時間と費用がかかることが問題であった。小水力発電の導入促進のため、水利権に関する諸手続きの規制緩和が行われている。

1)　従属発電

農業用水や水道用水などすでに水利使用の許可を得ている水を利用して水力発電を行うことを従属発電という。以前はこの場合にも新規の水利権取得と同様な手続きが必要であったが平成17年3月に許可手続きに必要な書類等の大幅な簡素化が図られた。発電に関する内容が主となり改めて関係水利権者の同意や流量調査などを行う必要がなくなった。

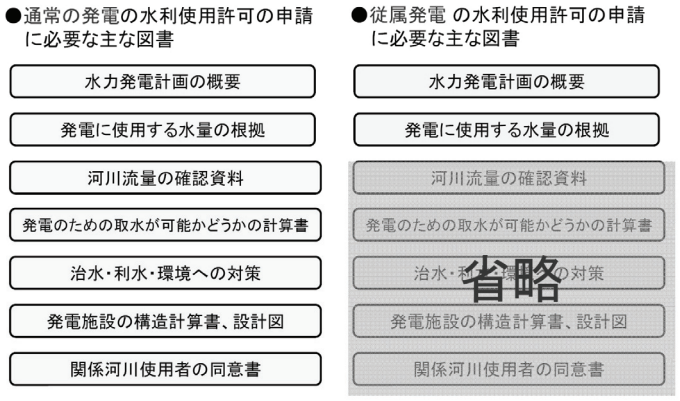


図3.3.1-1　従属発電の申請書類の簡素化

出典：国土交通省水管理･国土保全ホームページより

2)　水利権不要のケース

平成18年3月には従属発電に関して水利権許可を不要とするケースが明文化された。主たる水利使用の利用後（農業用水の排水など）や浄水場の浄化施設以降、工業用水の工場所有送水管以降、下水処理水を利用して発電を行う場合などが相当する。

3)　今後の規制緩和の流れ

全国小水力利用推進協議会の規制改革要望や行政刷新会議の規制･制度改革に関する分科会の資料から今後の規制緩和の方向について記す。

【全国小水力利用推進協議会要望】

･新規の水利使用申請手続きの簡素化･標準処理期間の短縮化などの合理化

･取水量管理は、現実的な計測方法を踏まえ、柔軟な対応による効率的な運用を

･届出制度の導入(地域の合意や最大出力など一定の条件を満たす場合)

【行政刷新会議】

･従属発電の手続の簡素化や標準処理期間の遵守の徹底等（平成23年度中措置）

･魚類の遡上環境その他の河川環境に与える影響が想定されないと判断されるものについて、環境調査等は不要（平成23年度中措置）

3.3.2　電気事業法

発電施設を計画･運営するに当たり、電気事業法上の規制により水力発電設備に適応した保安体制の確立や工事計画届出が求められている。これまで小規模の発電設備にも大規模事業と同じ規制がかかり、小水力発電の導入を阻害しているといわれてきた。

1)　施工規則改正

2011年3月に電気事業法施行規則が改正され小水力発電に関する手続き簡素化された。従前は10kWが基準であったが**表3.3.2-1**に示すとおりに緩和された。

表3.3.2-1　電気事業法施行規則改正要旨

項目			改正前	改正後
一般用電気工作物の範囲			10kW未満 (電圧600V以下、ダムを伴うものを除く)	20kW未満で、流量が1m3/s未満 (電圧600V以下、ダムを伴うものを除く)
法的手続き	工事計画届の範囲		10kW未満は不要	①ダムが無く、200kW未満で、 流量が1m3/s未満の場合は不要 ②上水道施設、下水道施設、 工業用水施設に導入される場合も不要
	主任技術者の選任	電気主任技術者	10kW未満は不要	20kW未満は不要
		ダム水路主任技術者	10kW未満は不要	①ダムが無く、200kW未満で、 流量が1m3/s未満の場合は不要 ②上水道施設、下水道施設、 工業用水施設に導入される場合も不要
	保安規程の届出		10kW未満は不要	20kW未満は不要

出典：原子力安全･保安院ホームページより

2)　今後の規制緩和の流れ

全国小水力利用推進協議会の規制改革要望と行政刷新会議の規制･制度改革に関する分科会の資料から今後の規制緩和の方向について記す。

【全国小水力利用推進協議会要望】

･一般用電気工作物の区分を受電設備と同等に50kW未満にするべき

･工事計画書の届出の範囲を太陽光･風力並みの500kW以上とするべきである。また水量による規制（1m³/s）を改め、発電出力のみとするべき

【行政刷新会議】

･一定の条件の下、外部の有資格者をダム水路主任技術者に選任すること（いわゆる派遣）を可能とする。（閣議決定事項　平成23年度中検討･措置）

3.4　小水力発電に関するまとめと提言

各機関の導入可能量を検証し、今後の小水力発電の導入方策について考察を行った。河川部における中小水力規模の流込式水力開発はFIT導入により開発促進が期待される。河川部と農業用水路の数MW以下のミニ水力規模の流込式水力開発はポテンシャルが大きいため、FITのみではなく政策的な補助が必要である。また、既設構造物を利用した未利用落差発電の導入可能量は水力有効利用の観点から引き続きの導入促進を期待する。流水利用型などのナノ発電は国内に広く賦存する水力を最大限利用できる技術であり、今後の技術開発と導入拡大が期待される。導入可能量調査は現状の技術を基にしているため現状の導入可能量が小さくても今後の技術革新により導入可能量が拡大する。導入可能量が小さい分野においても引き続き取組みがなされるよう政策的にも支援されることを期待する。

小水力発電は小規模であるほど導入個所は増加するが採算性、技術の対応性、法的手続きや管理体制などが大規模水力に比べて問題となりやすい。今後の普及のために技術面はもとより地域貢献などの効果を加味した政策面のさらなる課題解決が求められる。

第４章　海洋温度差エネルギーの利用

平成 22 年度＜エネルギー･環境分野＞報告書第 3 章において「低温度差エネルギーの活用技術」に関する報告をした。その中で、海洋温度差発電技術を展開する上での問題点を指摘し、一例として冷水取水管敷設コストの低減法を提案した。しかし当該発電コストは依然として非常に高く、技術的なブレイクスルーのみでは発電コストを大幅に低減することは難しいこともわかった。一方、海洋温度差発電時に大量に汲み上げられる海洋深層冷海水が有効に活用できれば、海洋温度差エネルギーが持つポテンシャルは莫大であるので発電以外の多目的エネルギー利用が可能である。

本章において「沖ノ鳥島」に海洋温度差発電システムを設置し発電および深層冷海水が持つエネルギーを利用するケースついて検討を加え、当該システム全体としての活用法を提言する。

4.1　海洋温度差発電システムの概要

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 4.1-1** に沖ノ鳥島近海での海水温分布図を示す。沖ノ鳥島近海では、海水表面と水深 1,000m 地点での温度差は 25℃にもなる。温度差エネルギーを日本の経済水域 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 1,011MWh になる。これは石油換算すると約 86 億 t に相当する。因みに、日本の消費エネルギーは石油換算約 6 億 t である。

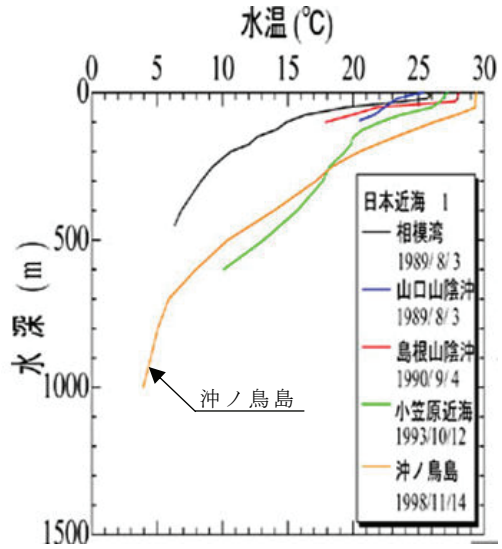


図4.1-1　海水温分布図

出典：日本財団ウェブサイト

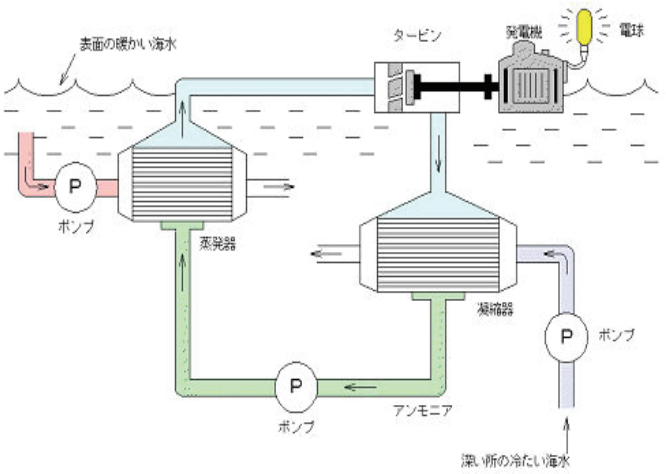


図4.1-2　海洋温度差発電の原理図

出典：(株)ゼネシスウェブサイト

図 4.1-2 に海洋温度差発電の原理図を示す。発電のための作動流体は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。

深海から汲み上げられる 7℃前後の冷海水量は、例えば 1,000kW 発電をおこなう場合 5,500t/時（13 万 t/日、あるいは 4,818 万 t/年）必要である。汲み上げられた莫大な量の深層冷海水は「低温安定性」「富栄養性」「清浄性」等の三大特徴がある。低温安定性･清浄性に着目して発電所での冷熱利用･空調･冷凍等の多目的利用、富栄養性･清浄性に着目しミネラル濃縮･淡水化などの多段階利用が可能である。

4.2　沖ノ鳥島の現状

沖ノ鳥島は**図 4.2-1** に示すように、国土の最南端に位置し東京から 1,740km（小笠原群島父島から 910km）離れている。本島は東小島および北小島並びにそれらを取り囲む東西 4.5km 南北 1.7km の環礁から構成されている。沖ノ鳥島は、我が国の国土面積(約 38 万 km^2)を上回る、約 42 万 km^2もの排他的経済水域（EEZ：Exclusive Economic Zone）を持つ極めて重要な島である。

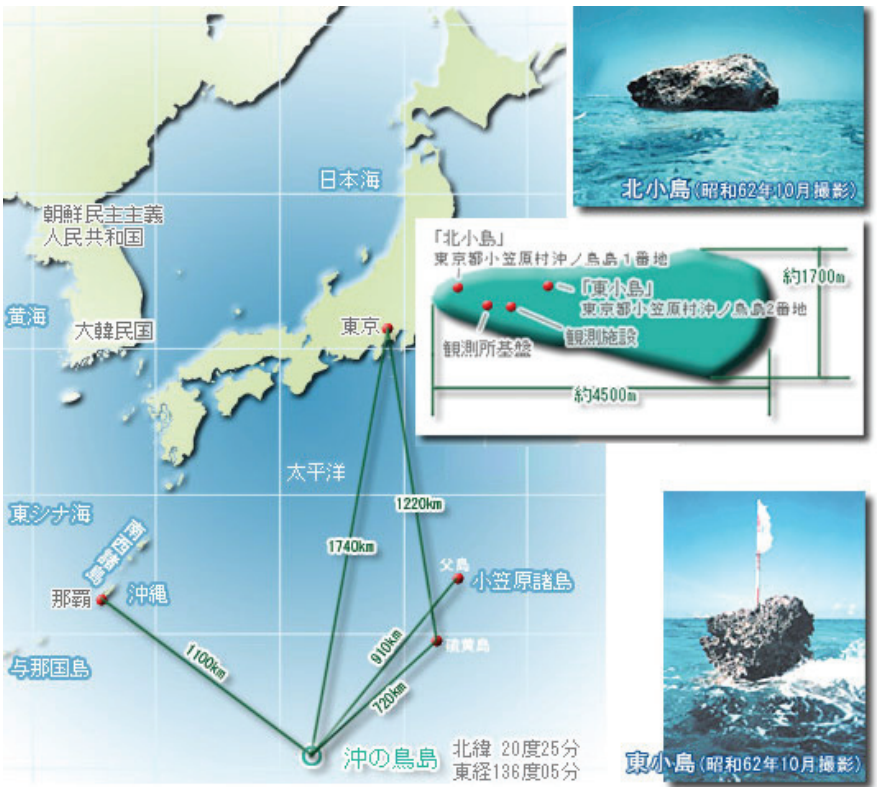


図4.2-1　沖ノ鳥島位置図

出典：国土交通省　パンフレット

同島はフィリピン海プレート上にあり、人間活動による周囲環境への影響が少なく陸域の影響を受けない太平洋上の孤島である。なお、従前から島の侵食対策として護岸の設置等による保全工事が実施されており、国土保全上重要な施策となっている。もしこの島が風化したり波の下にもぐってしまうと日本の国土面積に相当する経済水域を失ってしまうことになる。

現在沖ノ鳥島の北小島と東小島とはそれぞれ１坪にも満たないものの、東京都小笠原村沖ノ鳥島１番地と同２番地という地籍を持っている。また、沖ノ鳥島は国直轄で国土交通省河川局海岸室が所管し、土地の維持管理は同省関東地方整備局京浜河川事務所が担っている。

4.3　沖ノ鳥島を取り巻く海洋環境

佐賀大学海洋エネルギー研究センター池上准教授らにより沖ノ鳥島現地視察が 2004 年 11 月 26 日に実施され、次のことが明らかとなった。

・沖ノ鳥島においては**図 4.1-1** に示したように温度差が約 25℃確保でき海洋温度差発

電の設置には極めて好条件である。海洋温度差発電により 1,000KW から 3,000KW 級を実施するに必要な面積も十分ある。

・沖ノ鳥島東小島には発電を阻害するフジツボやムラサキガイなどの海洋汚損生物が極めて少なく、海洋温度差発電の運用には有効である。

・海洋温度差発電の深層冷海水を用いれば漁場造成が可能である。

・珊瑚礁内は外海に比べて極めて穏やかである。（但し、視察当時の状況）

但し、同報告書では上陸時間および調査時間が少なく次の点が十分明らかにできなかったので、今後の詳細な現地調査研究が必要であると指摘している。

・海洋温度差発電設置のための海底の環境、地質調査の実施が必要である。（従前に実施された沖ノ鳥島調査データの確認と最新のデータ取得を含む）

・経常的な海洋表面および海底の温度、海流、波高など海洋環境の計測（これまでのデータ評価と最新のデータ取得を含む）の必要がある。

・沖ノ鳥島近海の海水に生息する海洋生物、水産資源のための栄養塩など海水特性の調査および評価を行う必要がある。

・沖ノ鳥島と本土を繋ぐアクセス方法に関する検討が必要である。

今後詳細な現地調査を実施する必要があるが海洋温度差発電は可能であると結論づけている。

今後とも我が国が沖ノ鳥島で灯台設置や港湾建設、海洋生物調査、気象･海象観測、漁業など様々な経済活動を継続して行う必要があり、経済活動を行うために必要とされる様々なエネルギー供給源として海洋温度差発電システムが活用できる。

4.4 国および東京都の施策

政府は日本の排他的経済水域にある海洋資源の保全と利用に向けた基本計画を 2010 年度に作成し、10 年間で沖ノ鳥島などの沿岸と周辺海域に港湾施設や観測･研究活動拠点、再生可能エネルギー技術の実証実験場、漁場などの水産基盤を整備するとしている。一方東京都は沖ノ鳥島近海の漁場整備のため海洋温度差発電で汲み上げる栄養豊かな海洋深層水を利用する計画を新聞報道した。

また、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。これまで鉱物資源のほとんどを海外に頼らざるを得ない我が国にとって、新たなポテンシャルを追求する時期に入ったと言える。次世代に海底資源という大きな贈り物を残すためにも、海洋開発が必要である。

4.5 海洋温度差発電システムの適用

H22 年度の報告書において海洋温度差発電システムでは発電の他次のような複合利用が可能であることを報告した。**図 4.5-1** に海洋温度差発電システム複合利用を示す。

・ 淡水化による飲料水供給が可能である。

・ 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 世界 6 位）の権益を確保ができる。

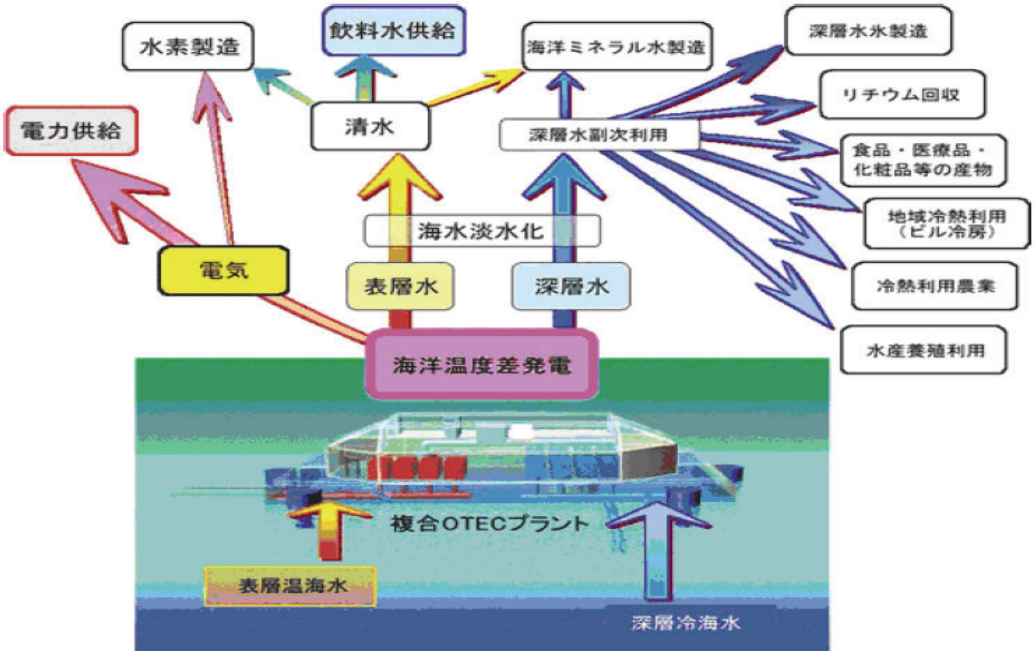


図4.5-1　海洋温度差発電システム複合利用

出典：海洋政策研究財団ウェブサイト

沖ノ鳥島に海洋温度差発電システムを設置することで、次に示す様々な複合利用が考えられる。

東京都が南鳥島等に漁業用設備を設置したことからも判るように、沖ノ鳥島周辺海域もカツオやマグロの漁場であり、海洋温度差発電システムで取水される栄養豊かな深層水を海表面に放出すれば更に良漁場形成が期待できる。**図 4.5-2** に深層水利用海洋肥沃化装置図を示す。

海洋温度差発電システムでは漁船の停泊設備や一時貯蔵設備への電力や飲料水等のエネルギー供給源として利用できる。特に一時貯蔵庫への冷熱源供給やハマチ等の急速冷却に深層水が持つ冷熱エネルギーが有効である。**図 4.5-3** にシステムフロー図を示す。

・ 深層水冷熱を利用した低温庫貯蔵への適用
・ 深層水冷熱利用空調（冷房）システムへの適用
・ 深層水を用いたシャーベット海水氷製造への適用

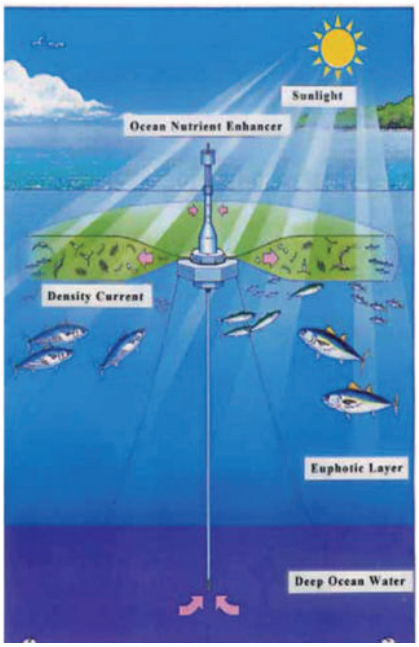


図4.5-2深層水利用海洋肥沃化装置

出典：マリノフォーラム21

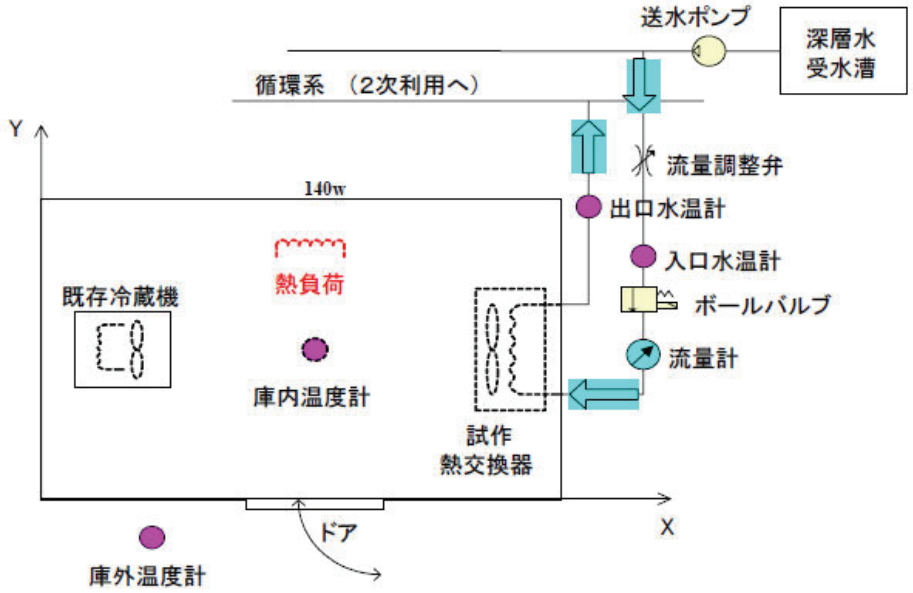


図4.5-3　深層冷熱利用のシステムフロー図

出典：NEDO「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」

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、佐賀大学海洋エネルギーセンターにおいて希少金属の効率的な回収方法が研究されている。

海洋温度差発電は CO_2 排出量が**表 4.5-1** に示すように石油火力発電の 1/60 以下であり、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 排出権取引等に利用できる。

表4.5-1　1kWhあたりのCO_2排出原単位

発電方式	kg-CO_2/kWh
石炭火力	0.916
石油火力	0.756
LNG	0.563
水力	0.017
OTEC(2.5MW)	0.119
OTEC(100MW)	0.014
太陽電池	0.153

出典：田原　紀徳,他，化学工学論文集

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、更に 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。また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。**図 4.5-4** に沖ノ鳥島が果たす EEZ を示す。

図4.5-4　沖ノ鳥島が果たすEEZ

出典：海上保安庁ウェブサイト

4.6　今後に向けて

沖ノ鳥島において海洋温度差発電システムを設置することにより様々な分野で当該エネルギーが利用可能であることを示した。この他「沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団」は沖ノ鳥島に於いて珊瑚による島造成を提案している。**図 4.6-1** に珊瑚の島造成概念図を示す。

近年地球温暖化により海洋水面が上昇し南太平洋の島嶼国は水没の危険性が迫ってきており沖ノ鳥島もその例外では無い。そこで沖の鳥島の環礁内に周辺より 1m 程水位が高く珊瑚の生育に適した区画を作り、その区画内の環境維持に海洋温度差発電による深層水の栄養とその電力を用いながら、区画内で珊瑚の急速な育成を行うとしている。つまり、環礁および周辺海域は貧栄養で生物相は貧弱であるが、栄養豊富な深層水を利用するものである。また、この深層水は冷温であるので深層冷水を適度に区画へ

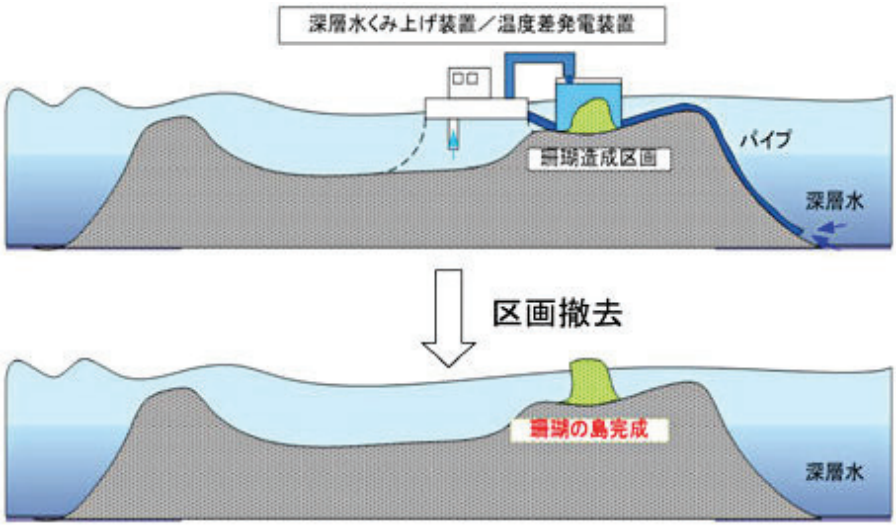


図4.6-1　珊瑚の島造成概念図

出典：沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団報告書

供給することで珊瑚にとって最も適した水温、栄養状態をつくることが可能である。また海洋温度差発電システムはクリーンエネルギーであり、これを用いてこの区画の環境維持に必要なエネルギー、例えばポンプ、浄化、水流、波発生などにも利用でき、人の生活用としても利用できる。また使用した深層水の放流水で魚介類や海草の養殖ができるので、島に在する人の食料供給も可能である。この区画は小さいほうが実行容易であるので、10m 程度の区画を同時に数カ所を実行することが望ましい。区画内の珊瑚が成長しその天頂が周辺水位より 1m 程度高くなったなら、区画を撤去し海抜 1m の島をつくる。この区画を同時または次々と造成していくことで広い島をつくる。また、この島を核として漂砂による造成に継続させていけば、将来はより大きな島となり得るであろう。

また同視察団は将来以下の開発のために必要なエネルギーを海洋温度差発電システムで供給することを提案している。

（1）大陸棚海底資源の開発

沖の鳥島が抱える経済水域内に埋蔵されるガス田およびマンガン団塊やコバルト･リッチ･クラストなど海底鉱物資源の調査を行い、日本の保有鉱物資源を開拓する。

（2）海洋資源開拓の支援基地

沖の鳥島は最寄りの沖縄および小笠原から 1,000km の遠隔に立地している。この立地特性を活かして遠洋漁業の漁獲資源保存、輸送を行う中継基地として活用することができる。また海洋温度差発電プラントによって得られる深層海水を活用した海域肥沃化の実証実験を行うことも可能である。

（3）台風発生地における台風観測拠点の創設

地球環境の温暖化に伴い台風が及ぼす災害は甚大且つ頻発することが予想される。沖の鳥島は台風の発生地および初期通過経路に当たり、日本本土に襲来する台風の発達過程や進路を予測するため、当該地での意義有る観測が期待できる。沖の鳥島において精度の高い台風観測拠点を創設すれば、日本および東アジアの被災程度の低減に寄与できる。

（4）熱帯海洋環境下における共生可能な居住環境の研究および実践

熱帯の海洋は貧栄養状況下で鋭敏な生態環境を構築しており、人為的な環境変化を受容する能力は低い。そうした熱帯域の海洋環境において自然環境と共生できる居住環境のあるべき姿を確立し共生可能な居住施設を実証する。沖ノ鳥島開発構想を**図 4.6-2** に示す。

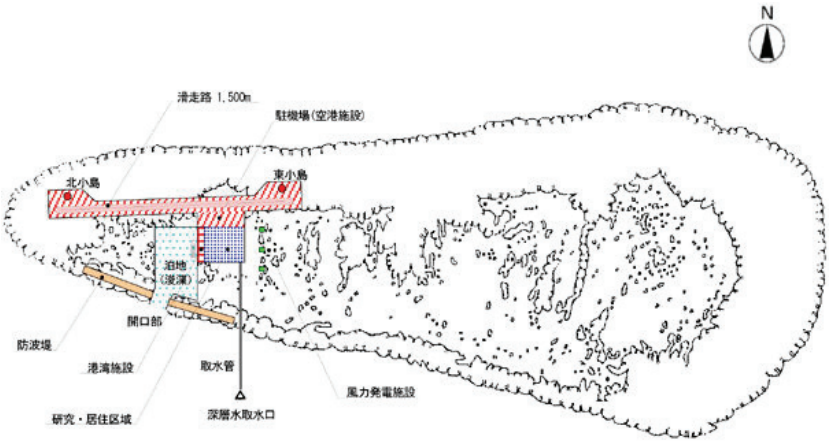


図4.6-2　沖ノ鳥島開発構想図

出典：沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団報告書

第５章　太陽エネルギーの利用

再生可能エネルギーには太陽、風力、水力、地熱、バイオマスの主要 5 分野があり、材料開発の観点からは特に太陽電池の開発が長年取り組まれた。「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」いわゆる再生可能エネルギー買取法が 2011 年 8 月 26 日に成立した。再生可能エネルギーが日本のエネルギー逼迫問題と温室効果ガス削減を解決するには課題が数多くあり簡単ではないが再生可能エネルギー利用は拡大の傾向にある。本章では特に太陽エネルギーの有効利用について述べる。

5.1　太陽エネルギー利用の問題点

再生可能エネルギーは自然エネルギーと呼ばれることも多く太陽、風力など再生可能エネルギーは効率上昇とコストダウンが進んでいるものの、開発から何十年経過してもエネルギー密度が低く依然としてコスト高であり致命的な欠陥でもある。今回の震災でも鮮明となったが、再生可能エネルギーの導入可能な形態の第 1 はコスト高でも災害時の停電に対応できる独立分散型エネルギー源と成り得ることである。第 2 に平常時に系統連携を可能とするために高い総合熱効率が不可欠なことがある。熱効率向上ができればコスト低下が可能となり再生可能エネルギー普及の進展が期待できる。

太陽電池の特長は機械的な稼働部分がなく電気エネルギーが直接得られるが、その問題点はエネルギー密度の低さ、発電絶対量確保、時間的な不安定さ、コスト高に対応して社会負担限度がある。国内での太陽電池の年間稼働率は日照に大きく依存し年間 8760 h/y のうち実際には 1000 h/y 程度である。例えば、宮城大学に設置した太陽電池の発電効率は公称値が 12.6 %で 250 m^2 であるため 24 時間フル稼働では 277 MWh/y が期待できるが、実際には夜間や曇天と雨天のため年間発電量の実績は 32 MWh/y であり、太陽電池の年間稼働率は 11 % /y である。つまり 12.6%の発電効率の太陽電池は国内では 1.4 %/y の発電効率でしかない。

本章では太陽エネルギーの利用を中心にその高効率利用について述べる。またエネルギーシステムをネットワーク化して太陽エネルギーなど再生可能エネルギーを最大の利用効率に高めることを目標にしたスマート熱電併給（Smart combined Heat and Power：SHP）について述べる。

5.2　太陽エネルギーの高効率利用

図 5.2-1 に公立大学法人宮城大学に設置された太陽追尾式のエネルギー変換装置を示す。図中の左から太陽電池、太陽熱電変換および太陽熱給湯加熱管の各装置である。恒星である太陽の中の核融合で生じた膨大なエネルギーは放射エネルギーとして地球まで到達する。太陽エネルギー強度は地球大気圏外では 1.37 kW/m^2 地上では大気による吸収のため直達強度は 1.0 kW/m^2 である。また地上での太陽エネルギースペクトルは大気に含まれるオゾン、水、酸素、二酸化炭素などによりエネルギースペクトルに吸収帯を持つ。エネルギーを高効率で利用することは結果的に化石燃料の使用量削減、GHG 排出抑制やコスト削減につながるため、高効率利用のため長期間の努力が重ねられた。太陽エネルギーの高

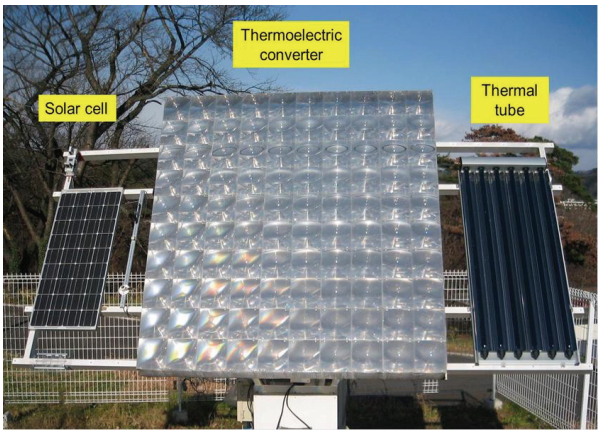


図5.2-1 宮城大設置の太陽追尾装置

出典:T.Yano他,太陽国際会議

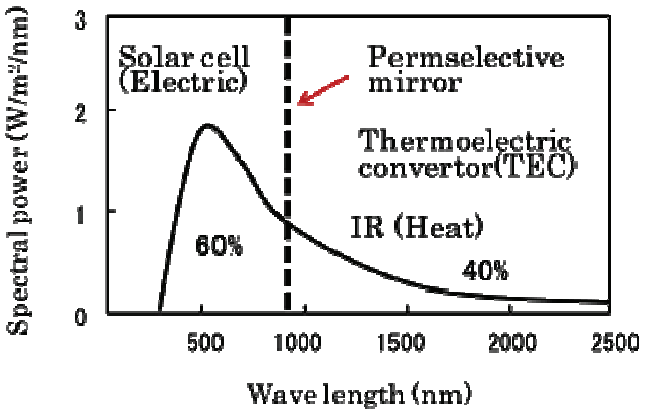


図5.2-2 赤外エネルギーの熱電変換

出典：T.Yano他,太陽国際会議

効率利用も例外ではない。

太陽エネルギーの利用には太陽光の全スペクトルを有効に利用し発電と熱利用を組み合わせる方法があり、発電には光発電、熱電変換発電および熱サイクル発電がある。つまり半導体利用による光電変換、熱電変換、熱利用のみ、および排熱利用の組み合わせで高効率化を図るものであり、その方法は (a)可視光発電 (b)可視光発電、赤外熱電発電と排熱回収 (c)可視光と赤外の光発電と排熱回収 (d)太陽熱電発電のみ (e)太陽熱発電と排熱回収の方法がある。

図 5.2-2 に太陽光を可視光域と赤外光域を分離して利用する方法を示す。**図 5.2-3** は独立行政法人科学技術振興機構と中国科学技術部が連携して実施した戦略的国際科学技術協力推進事業において内モンゴル自治区の砂漠地帯で実施した日中共同実証実験の例である。(b)の方法で**図 5.2-2** は太陽光を選択透過鏡で分離したエネルギーは可視光が 60% 赤外光が 40% 程度であり、全てのエネルギーが無駄なく使用可能である。このシステムでは太陽エネルギーを最大限に利用すれば光電発電と熱電変換発電の合計で 25%、排熱回収

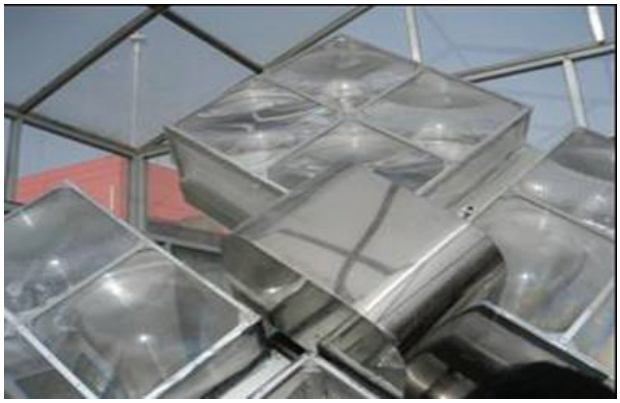


図5.2-3 日中共同研究太陽熱利用

出典：科学技術振興機構

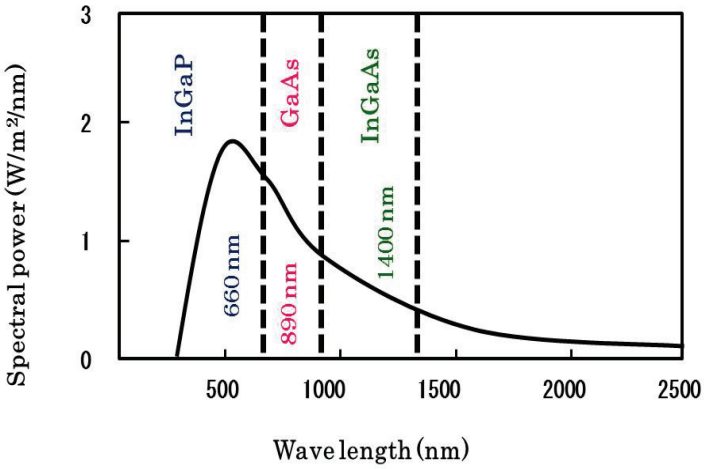


図5.2-4 ３層化合物太陽電池

出典:高木,ｼｬｰﾌﾟ技報

で 30%、総合熱効率 55%が可能といわれる。(c) に示す方法は可視光と赤外の光発電のみを用い、その発電効率を最大限に引き上げる例に多接合型化合物太陽電池がある。太陽電池は開発が進み年々効率上昇を続けており、3 つの層の接合による InGaP/(In)GaAs/Ge 型は宇宙で実用化され、改良型の InGaP/GaAs/InGaAs の 3 層接合型化合物太陽電池では 35.8% の変換効率を達成している。**図 5.2-4** にシャープ(株)が開発した 3 接合型化合物太陽電池の光利用の各スペクトル範囲示す。この 3 層接合型化合物太陽電池の集光比を上げると 42%の変換効率が達成可能である。(d) の方法では熱サイクル発電や、多数の反射鏡を用いた大規模なソーラータワーが近年特に着目され開発が進んでいる。**図 5.2-5** にトレソルエナジーがスペインに設置したソーラータワー型で出力 19.9MW の Gemasolar 発電所を示す。この太陽熱利用の Gemasolar 発電所は 2011 年 5 月 27 日に運転開始するなど、内外の動きが活発になった。ソーラータワー型については前年度本報告書に詳しく述べている。

図 5.2-5 ソーラータワー 19.9MW Gemasolar発電所

出典: http://www.businesswire.com/news/home/20110526007026/ja/

5.3 スマート熱電併給 SHP

太陽エネルギー利用そのものの高効率化とともにその欠点を克服するために別の方法を考えなければならない。電力供給のネットワーク化に関して我が国では電力会社が中心に実際に運用してきたが、小さな地域を対象とした電力のスマートグリッド「賢い電力網」は米国を中心に開始し日本でも徐々に進展し、最近では東京ガス(株)が「スマートエネルギーネットワーク」として熱電併給を対象にしてきた。

当研究部会長 矢野らは太陽エネルギーの欠点を克服するためにバイオマスエネルギーと組み合わせるスマート熱電併給（Smart combined Heat and Power : SHP）を提案してきた。**図 5.3-1** に再生可能エネルギーを最大限活用する SHP の例を示す。**図 5.3-2** に小型の適用例としてバイオマス利用と太陽の併用例を示す。通常時には森林再生と活用を目指した間伐材、木

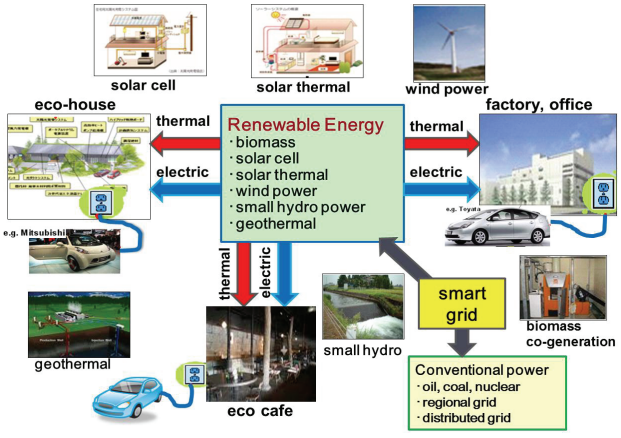


図5.3-1 再生可能エネルギーのスマート熱電併給

出典: T.Yano他,太陽国際会議

材ペレットやマキを使用し、昨年は不幸にも襲った大震災の津波災害時などには廃木材を用いるバイオマスストーブが利用でき、天候や日照に影響されず熱と電気の供給が可能である。また熱電変換素子(Thermoelectric Converter ： TEC)を用いたバイオマス燃焼設備と太陽光と熱の組み合わせが可能である。この組み合わせで電気は二次電池に充電し、熱は蓄熱器に貯蔵するシステムにすれば信頼性と効率が飛躍的に上昇する。

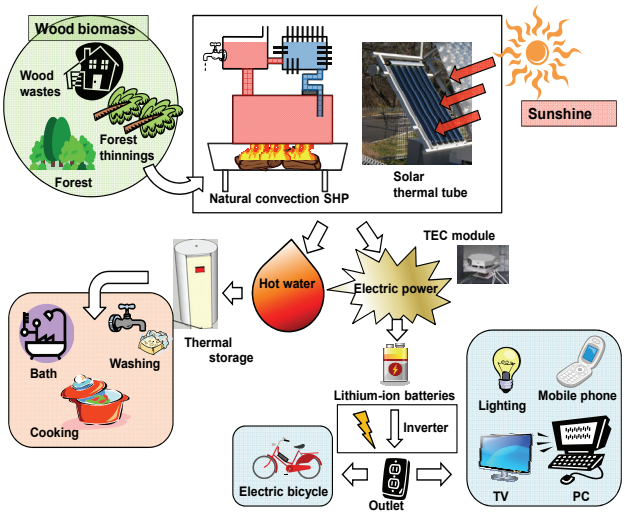


図5.3-2 バイオマス利用のスマート熱電併給

出典：T.Yano他,太陽国際会議

5.4 総合熱効率の上昇

高効率でエネルギーの原資を活用することはコストに直結する。**図 5.4-1** に総合熱効率の比較を示す。図中で左から (a)太陽光発電のエネルギー効率は市販最大で実用上は 20 % 程度であるが、最近の研究開発の結果、発電効率は最高で 42 % 程度まで上昇している。(b)太陽光分離型とは可視光は光電発電と赤外光の熱電発電と排熱回収の組み合わせ (c)太陽熱電発電と排熱回収 (d)バイオマスの熱電発電と排熱回収を組み合わせた例をそれぞれ示す。その他、太陽の光発電と排熱回収を併用した方法も多くあり、結局はオンサイトで熱と電気の双方利用が最も優れている。

東京ガスが固体高分子型燃料電池を使用した例では発電効率が 35%、排熱回収を理想的に行えば熱効率 45%で、総合熱効率は 80%程度になる。**図 5.4-2** にマキを用いたバイオマスストーブの例を示す。バイオマスストーブも室内で効率良く燃焼できれば 80%程度の熱効率が可能である。しかし、排熱回収を行う場合に問題となるのは配管や機器での熱損失である。熱損失は排熱回収配管の断熱特性と配管の長さに比例して大きくなる。一般的に配管の断熱材は多孔質が多く熱損失もかなり高い。一方、高真空断熱は性能が良いがコストが非常に高く、エネルギー密度の低い再生可能エネルギーでは実用に供することは

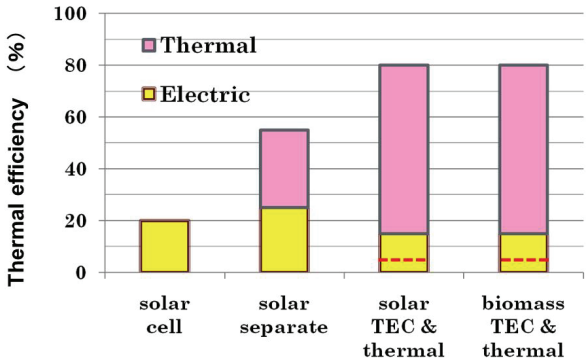


図5.4-1 総合熱効率の比較

出典：T.Yano他,太陽国際会

図5.4-2 マキストーブと熱効率

出典：T.Yano他,太陽国際会議

難しい。従って高い総合熱効率を得るためには一般的には配管や機器の熱損失を最少にすべきであるが、前述したように限界がある。そこで単一の機器では燃料電池やバイオマスストーブと同じ考え方で発電部と発熱部を同一場所にすることに尽きる。

図 5.4-3 に太陽エネルギーを鏡や鏡ダクトで所定の場所に移送する方法を示す。つまりオンサイトで発電と発熱、蓄電と蓄熱を組み合わせるという原始的な方法が最も効率が良いという結果に到達する。光ファイバーによるエネルギー移送はファイバー中の損失が大きく、これに比べ鏡によるエネルギー移送の損失は小さく改善の余地があることが判った。

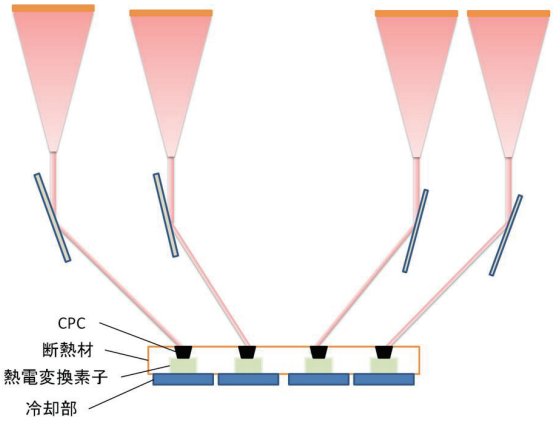


図5.4-3 反射鏡による太陽エネルギー移送

出典:古田嘉広,宮城大学卒業論文

以上、太陽エネルギー利用で高効率化の指針を示した。また総合熱効率 80%を目指すには発電と熱発生源の距離を最短にし、ごく近傍で利用する蓄電蓄熱システムが最も好ましい。その技術的な課題は断熱の放出ロスつまり熱損失を小さくし、蓄電蓄熱をオンサイトで行うことが望ましい。

なお本章は当研究部会長 矢野らが、2011 年 8 月に関西大学で開催された 第 20 回日本エネルギー学会大会の講演要旨とケミカルエンジニアリング誌に発表した原稿を中心にまとめた。共同研究者と宮城大学矢野研究室学生諸氏に感謝します。

第６章　家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望

低炭素エネルギー社会実現のために脱化石燃料のエネルギー供給システム確立が急がれるが、豊かな暮らしとともに急増する需要側でも消費量削減の取り組みが必須の課題とされている。我が国のエネルギー消費量は、法規制や景気低迷などによる生産･運輸部門の削減によって減少傾向にあるが、民生部門、特に家庭部門にあってはなお増加が続き更なる省エネルギー対策が必要になっている。本稿では家庭部門におけるエネルギー消費削減への取り組みの現状を確認し、省エネルギー促進に対する今後の展望について考察する。

6.1　東日本大震災がもたらしたエネルギー消費削減の成果

昨年 3 月に東日本を襲った地震津波災害は、我が国のエネルギー安定供給の仕組みに大きな打撃を与えた。特に深刻な被害を受けた福島第一原子力発電所が含まれる東京電力管内では深刻な電力供給不足が発生し、予測できない停電回避のための「計画停電」実施という事態を招いた。これを受け、契約電力の多い大口需要家では電力使用時間帯や期間制限が実施され、さらにこうした節電への取り組みはその他の事業者や一般家庭すべてに負わされる課題となった。

平成 23 年 10 月 14 日資源エネルギー庁が公表した「夏期の電力需要対策のフォローアップについて（大口･小口･家庭における取り組みの検証)」の報告によると、自家発電等の活用による負担増等経済性への影響はあったものの**表 6.1-1** に示す通り大口需要家･小口需要家とも対昨年比で目標削減率を達成できたことが報告されている。

表6.1-1　2011年夏の地域別電力需要

大口需要家（契約電力500kW以上事業者）

最大ピーク需要(kW) （平日9～20時のピーク）	東京電力管内 （約14,800事務所）	東北電力管内 （約3,700事務所）	関西電力管内	九州電力管内
数値目標	▲ 15	▲ 15	▲ 10	数値なし
最大値の対前年比	▲ 29	▲ 18	▲ 9	▲ 6
気温同水準日比較	▲ 27《目標以上》	▲ 18《目標以上》	▲ 9《目標程度》	▲ 2

小口需要家（契約電力500kW未満事業者）

最大ピーク需要(kW) （平日9～20時のピーク）	東京電力管内 （約14,800事務所）	東北電力管内 （約3,700事務所）	関西電力管内	九州電力管内
数値目標	▲ 15	▲ 15	▲ 10	数値なし
最大値の対前年比	▲ 19	▲ 20	▲ 10	▲ 13
気温同水準日比較	▲ 19《目標以上》	▲ 17《目標以上》	▲ 10《目標程度》	▲ 7

出典：資源エネルギー庁「夏期の電力需給対策のフォローアップについて」

同資料の家庭における取り組みでは「大半の家庭において無理なく節電を実施した」ことや「6 割以上の家庭が 10%以上の節電が可能」との回答が報告されている。家庭部門の具体的なエネルギー削減総量の統計値は見ることができなかったが、一般の生活者･消費者レベルにおいては「意識を変える」ことによって節電効果が得られることが確認された。これまでのエネルギー白書等の報告では、設備投資によって高効率機器の普及を促進させても世帯数の増加や大型家電消費の拡大などの要因で思ったほどのエネルギー消費削減効果が期待できないことが言われていたが、各世帯で節電行動を促す仕組みの構築が重要な要素のひとつであることが確認された。

6.2　家庭部門におけるエネルギー削減の仕組み

エネルギー消費推移を「見える化」する技術は震災被害による課題が深刻化する以前からスマートハウス関連技術として注目を集めており、計測機器のようなハードレベルから省エネサポートシステムといったソフトレベルまでさまざまな分野の商品やサービスが提供されるようになっている。本稿では注目される主要分野として①HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム)、②エネルギーモニタ、③家庭向け省エネ支援サービスの３つについて動向を調査し、期待される市場について考察する。

6.2.1　HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）

HEMS とは家電機器や給湯機器など住宅内のエネルギー消費機器をネットワーク化し、自動制御するシステムを指す。すでに 10 年以上前から家庭における温暖化対策技術のひとつとして注目され、ここ数年では実証試験として限定された範囲で取り組み始められているが、本格的なシステムの普及はこれからと言われている。

最近の動向では環境省が 2011 年夏に HEMS 機器を導入して家庭消費電力把握し「うちエコ診断」に参加するモニター世帯を 1000 件単位で募集している。参加モニターの家庭に指定された HEMS 機器で計測を行い、そのデータを**図 6.2.1-1** のように用意された「うちエコ診断」サイトへユーザーごとに集計･分析を実施している。現時点では、こうしたサイトで集められた集計データをもとに、削減効果の定量化や診断精度向上の検証を行って普及へつなげていくことが計画されている段階である。2012 年 2 月 6 日現在ではチャレンジ世帯数が 705 世帯であり、自発的な参加を呼びかける中での取り組みでは未だ募集世帯数に満たないのが現状である。

図6.2.1-1　うちエコ診断登録画面

出典：うちエコ診断WEBサイト

また企業レベルでの HEMS 普及に向けた取り組みとして、2011 年 7 月に東京電力を事務局に KDDI、シャープ、ダイキン工業、東芝、NEC、パナソニック、日立製作所、三菱自動車工業、三菱電機の 10 社が共同検討体制（HEMS アライアンス）を立ち上げ、本格的な枠組みやガイドライン策定に着手することが発表されている。HEMS システムの要素は、**図 6.2.1-2**、**図 6.2.1-3** のように多種分野にわたるとともに多重化した階層で構成されており業種を越えた多くの企業間での調整が必要となる。そのため、現時点では利用者の操作性や安全性、セキュリティ等を確保するための仕様検討やリスクマネジメント･ガイドライン、アプリケーション開発のための仕様調整など幅広い部分に課題があり、本格的なシステムの普及にはまだまだこれから数年を要するとされている。

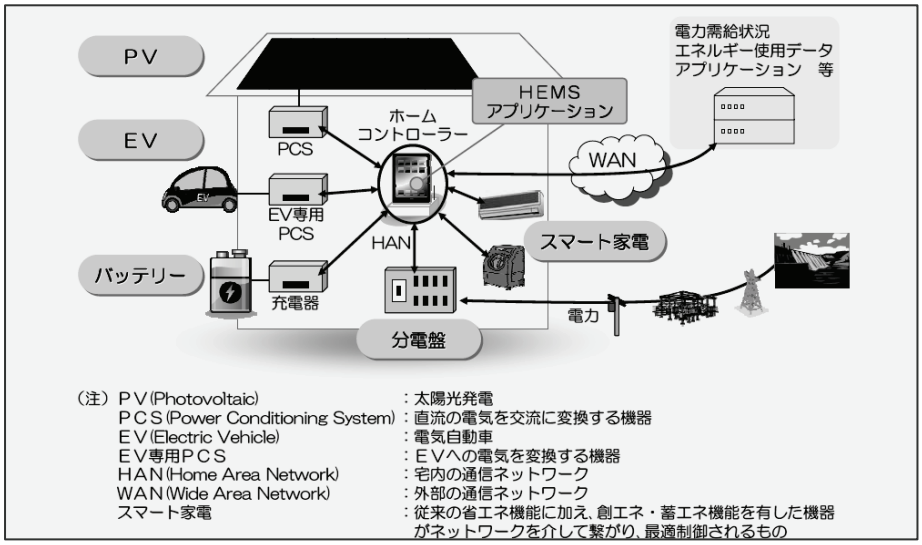
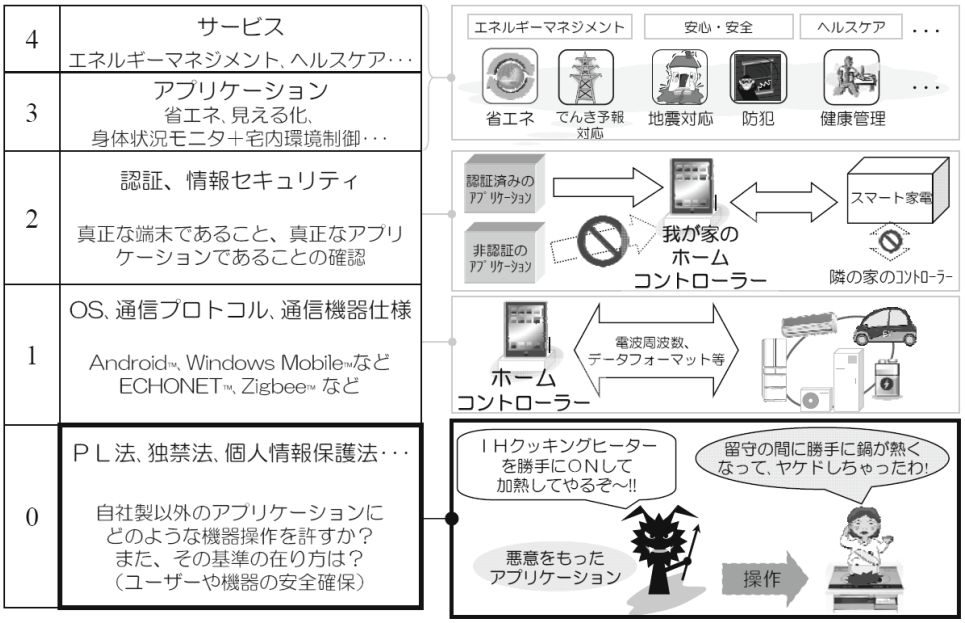


図6.2.1-2　HEMSシステムの構成要素イメージ

出典：東京電力2011.7.12発表資料より抜粋



AndroidはGoogle Inc.の商標または登録商標です。Windows Mobile は、米国 Microsoft Corporationの米国及びその他の国における登録商標または商標です。
ECHONETはECHONETコンソーシアムの登録商標です。ZigBee は ZigBee Alliance, Inc. の登録商標です。

図6.2.1-3　HEMSの階層構造

出典：東京電力2011.7.12発表資料より抜粋

6.2.2　エネルギーモニタ

家庭内のエネルギー全体を管理･制御する HEMS の導入にはさまざまな課題があるが、電力やガスなど特定エネルギー使用量を計測機器で把握して「見える化」するエネルギーモニタ（省エネモニタ･省エネナビも同じ）技術が導入しやすい手法として挙げられる。エネルギーモニタは、機器ごとに設置された測定器からエネルギー消費状況データが送信され画面上に表示することで目標使用量を把握することが可能になる仕組みである。これによって、消費される電力やガスのほか太陽光パネル等の発電量や売電料金なども表示され、設定した目標との差を確認しながら積極的に削減に取り組むことが可能になる。

エネルギーモニタと呼ばれるものはすでに数多くの製品が市場に普及しており、財団法人省エネルギーセンター（ECCJ）では「省エネナビ」の名称でメーカーが販売する一定の基準を満たす機器に対して普及のための共同広報（紹介）を実施している。

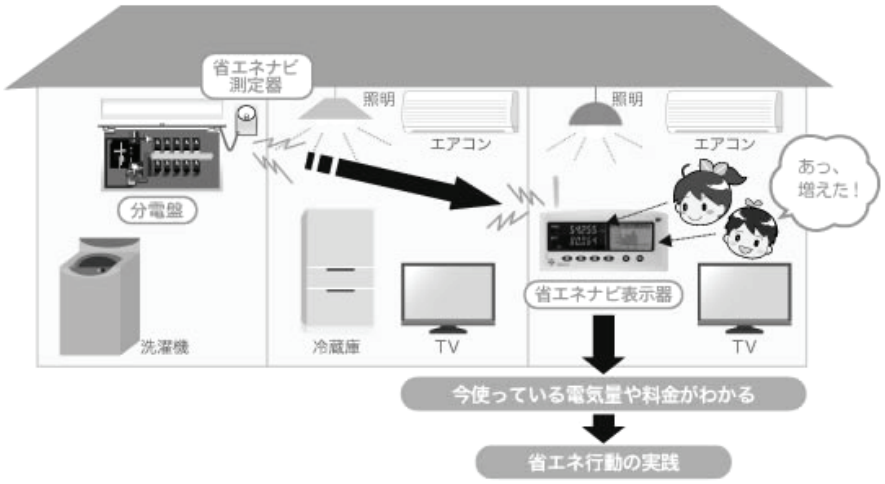


図6.2.2-1　エネルギーモニタの概要

出典：省エネルギーセンター（ECCJ)「快適！省エネライフ」ウェブページ

こうしたシステムは、すでにハウスメーカーが提供する戸建て新築住宅において、標準的な仕様として採用事例も増加している。また、急速に普及がすすむスマートフォンなどモバイル機器を活用してサービスを提供する取り組みも始まっており、東京ガスでは、**図6.2.2-2** のように多機能端末によって温度設定やタイマーなどが設定可能なシステムを発表している（ただし、東京ガスの発表では多機能端末を使用した HEMS 試行サービスの実証として発表している)。

図6.2.2-2　多機能端末への表示

出典：東京ガス 2011.10.14 プレスリリースより抜粋

省エネナビを紹介するECCJのWEBサイトでは、こうした機器を設置した場合の前後の効果比較について、電力消費量前年同月比、設置後の家庭内の変化、家庭内の省エネ協力度比較のデータを掲載している。**図 6.2.2-3、図 6.2.2-4、図 6.2.2-5** を見ると、前年同月比では平均で 11%、多い月では 19%の削減を行動の変化で実現している結果が出ており、機器を設置した「見える化」によって１年を通じて大きな効果が出ることがわかる。

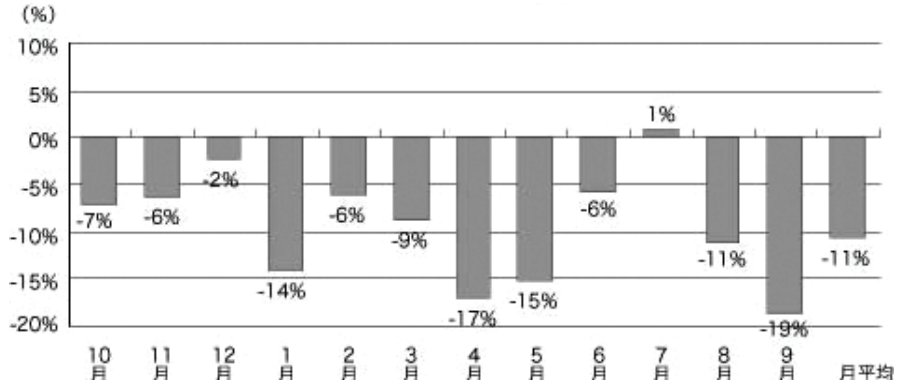


図6.2.2-3　省エネナビ設置後の電力消費量前年同月比

出典：省エネルギーセンター（ECCJ)「快適！省エネライフ」WEBサイト

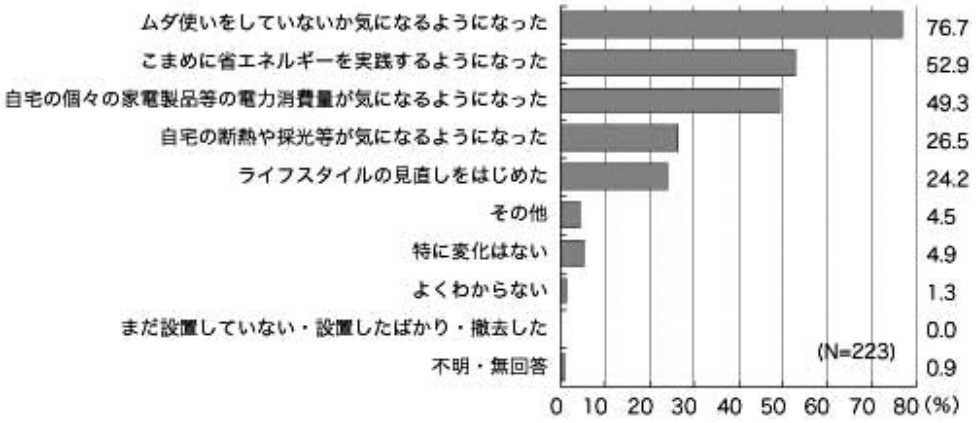


図6.2.2-4　省エネナビ設置後の家庭内の変化

出典：省エネルギーセンター（ECCJ)「快適！省エネライフ」WEBサイト

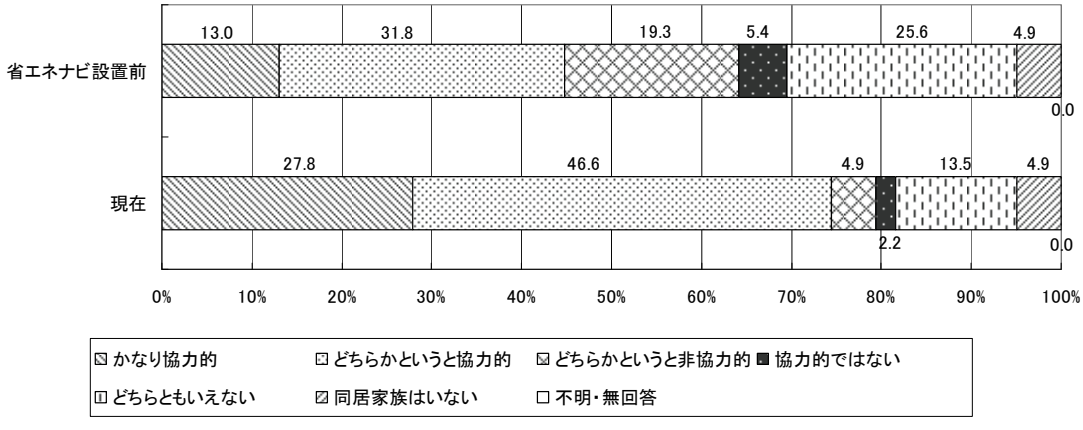


図6.2.2-5　省エネナビ設置後の家庭内の省エネへの協力度比較

出典：省エネルギーセンター（ECCJ)「快適！省エネライフ」WEBサイト

6.2.3　家庭向け省エネ支援サービス

HEMS やエネルギーモニタといった機器システムを使わずに月ごとに請求される電気・ガス・水道の使用請求やその他燃料等利用明細の数値を利用して各家庭レベルで省エネに取り組むことを支援するサービスも注目されている。一般的に「環境家計簿」といわれるが、WEB サイトを活用して個人の消費エネルギー情報を入力することで節電効果を見える化できるようにしたものである。共通の場に多くの利用者が情報入力することで、取り組み状況や削減効果がランキングで表示されたりその効果度合いによってポイントが発行されたりするなどの特典が受けられるサービスが提供され、積極的な行動を働きかけるような仕組みが構築されている。

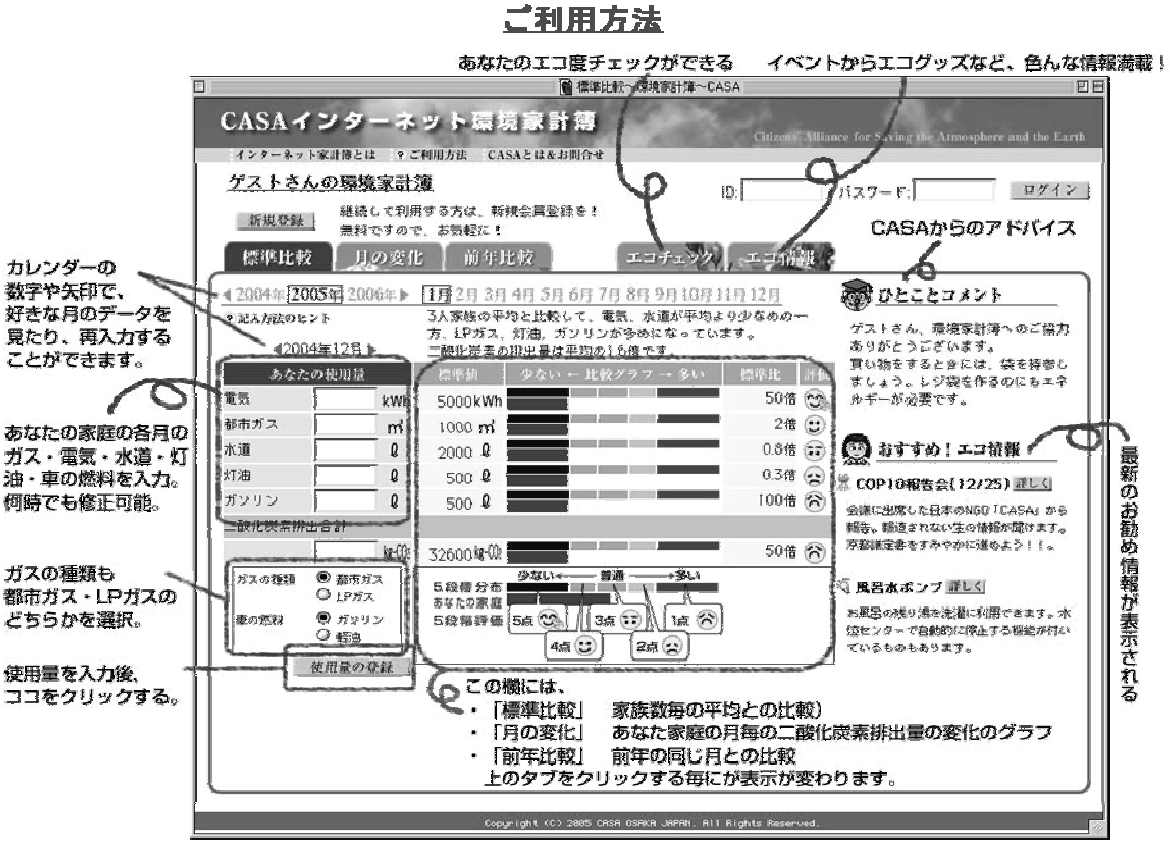


図6.2.3-1　インターネット環境家計簿 表示画面

出典：特定非営利活動法人地球環境と大気汚染を考える全国市民会議(CASA)ウェブページ

現在、こうしたサービスを利用した家庭向け省エネ活動は、環境活動を積極的に推進したい企業などの事務所単位や各種団体レベルでまとまった取り組みにも活用されている。さまざまなコミュニティがあって効果の総量は把握することができないながら持続的な取り組みが実現できれば大幅なエネルギー削減に効果が期待できると考えられる。

6.3 家庭部門における省エネルギーシステムの普及に向けて

㈱富士経済が 2011 年 12 月に発表した「スマートハウス関連技術･市場の現状と将来展望 2012」によると、これまで挙げた 3 つの分野について、スマートハウス関連分野の国内成長市場として今後の市場規模予測を次の 3 つのように挙げている。

1) HEMS

	2011年見込	2020年予測	20/11年比
世界市場	252億円	319億円	126.60%
（国内市場）	4.5億円	16億円	355.60%

2) エネルギーモニタ

	2011年見込	2020年予測	20/11年比
国内市場	204億円	295億円	144.60%

3) 家庭向け省エネ支援サービス

	2013年予測	2020年予測	20/13年比
国内市場	0.2億円	1億円	500.00%

家庭向け省エネ支援サービスは HEMS やエネルギーモニタ利用者向けのコンテンツサービスと位置づけられ、2012～2013 年には市場が立ち上がり利用件数は 10 万件を超えるとされている。現時点で金額に見る市場規模は他のハードを含むシステム市場より少ないが、それを基点とした様々な周辺サービスビジネスの範囲は未知数であり、特に近年注目されているスマートフォンユーザーや SNS 利用者向けの次世代高速通信インフラを活用した豊富なコンテンツサービス分野など新たなビジネスチャンスが期待される。

2012 年 NTT 東日本の「フレッツ ミルエネ」や NTT スマイルエナジー（NTT 西日本系)「エコめがね」など通信プロバイダ系サービス事業者が取り組みをスタートさせており、昨年の震災影響等外部環境によって目覚めさせられた節電意識も助けとなって飛躍的な普及が見込めると期待される。現時点ではハードシステムレベルの確実性は見えていないが、こうしたサービスレベルでのインフラ構築はさまざまな機器をつなぐ支配的プラットフォームになる可能性が大きく、エネルギー供給事業者や機器メーカーが支配していた普及構造が大きく変わり、ICT サービス企業等が中心になった新たな HEMS 市場が動き出す可能性が高いと考えられる。今後の省エネサービス動向には注意が必要である。

第７章　エネルギー利用の高効率化へのエクセルギー視点

CO_2の削減は現在の日本だけでなく、世界各国にとっても極めて重大な課題となっている。CO_2の発生原因は種々あるが、その中でも化石燃料の消費が占める割合は大きい。図7-1に世界のエネルギー消費量を示す。先進国の増加量に比べて発展途上国のエネルギー消費量の増加が著しい。特に今後20年に関しては、中国を筆頭にアジアのエネルギー消費量が大幅に増加する見通しである。日本ではこのような状況の中で鳩山首相により2020年までにCO_2削減25%が国際公約として掲げられる一方、現実にはCO_2は増加しており、達成には今まで以上のCO_2削減が必要である。図7-2に日本の分野別エネルギー消費を示す。業務部門においてエネルギー消費は抑えられているが、民生部門において消費エネルギーは増加しており、建設業界や住宅業界における省エネルギーは急務である。ZEB(Zero Energy Building)やZEH(Zero Energy House)という言葉に代表されるように省エネルギーや創エネルギーを今まで以上に積極的に行っている。

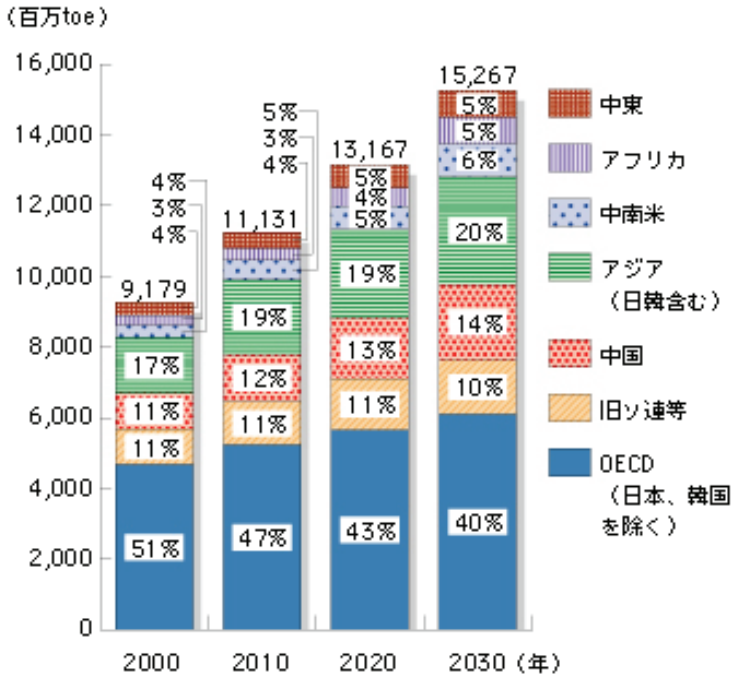


図7-1　世界のエネルギー需要の見通し

出典：World Energy Outlook 2002よりの資源エネルギー庁資料

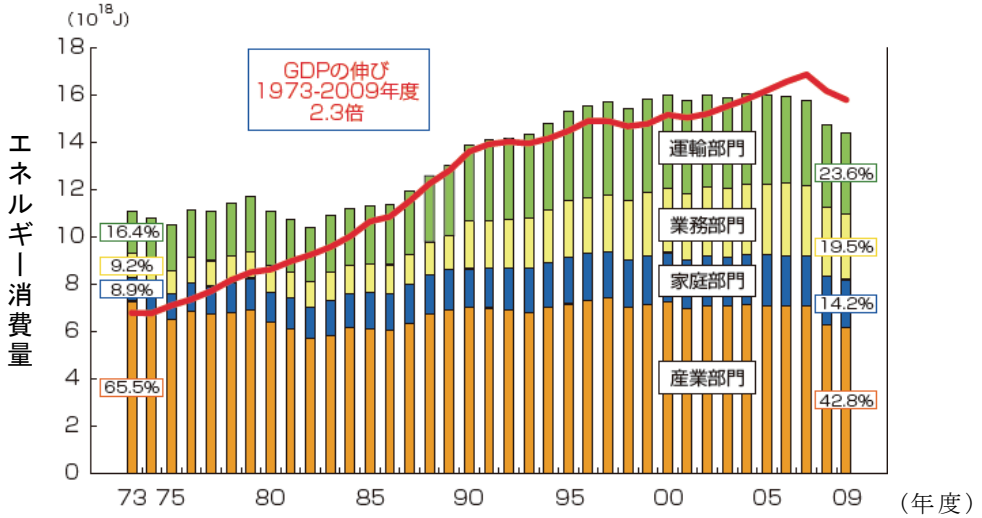


図7-2　日本の分野別エネルギー消費

出典：エネルギー白書2011

そこで本節ではエネルギーの高効率利用として、エクセルギーの視点を用いて創エネルギーおよび省エネルギーについての検討を行った。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。創エネルギーとして、ある敷地を想定して、各種エネルギーの資源性について試算を行った。加えて創エネルギーを行う際に、その総量は周囲の環境に大きく依存するものと考えられる。そこで、地域差を確認するために、日本の各地区から代表都市を選定し、同様の試算を行った。

今後、再生可能エネルギーの利用は今まで以上に増加してくるものと考えられる。そこで、再生可能エネルギー導入を検討する際のエクセルギーも含めた基礎的なデータを提供し、エネルギーシステムの確立と運用に役立てたい。

7.1　CO_2削減のための対策とエクセルギー

CO_2の削減は急務である。業務別に分野で区切った場合、建築分野は運輸を除く各分野に関わっており、非常に大きな割合を占めるためその影響は大きい。CO_2削減を達成するための方策は大きく分けると以下の3つにすることができる。

・化石燃料の消費需要の削減
・大気中に出すCO_2の削減
・高効率化

CO_2使用量の削減には2つの方法があり、エネルギーの消費需要自体を減らす方法と、いわゆる再生可能エネルギーの利用である。前者は**図7-1**のとおり現実的でないため、後者の再生可能エネルギーの利用を考える必要がある。また、大気中に出すCO_2の削減はCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)などがある。これは化石燃料などを使用するものの、CO_2を大気中に出す前に捕えて、地中に貯蔵する手法である。最後に高効率化が考えられ、エネルギーの効率的な利用や機器の高効率化などがあげられる。

近年建設業界では、ZEBというキーワードに代表されるように、省エネルギーと創るエネルギーをより積極的に進めようとする新たな流れが生まれている。ZEBとは、厳密に定義はされていないもの、一般的には、敷地内部にて発電を行いつつ建築物の省エネルギー化を進めて、運用段階における敷地内部からのCO_2発生量を０、もしくはほぼ０にする建築物である。これはすでに示した方策のうちの”使用量の削減”と”高効率化”にあたる。

この方策の実現のため、一般的には各種の検討をエネルギーの概念を用いて検討を行う。しかしエネルギーを用いた検討を行った場合、本質的にエネルギー量は保存されるため、複数のエネルギーの形態が存在する場合、資源性が十分に明確に現れないことがある。そこでエクセルギーの考え方を用いて検討を行うこととした。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り、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**

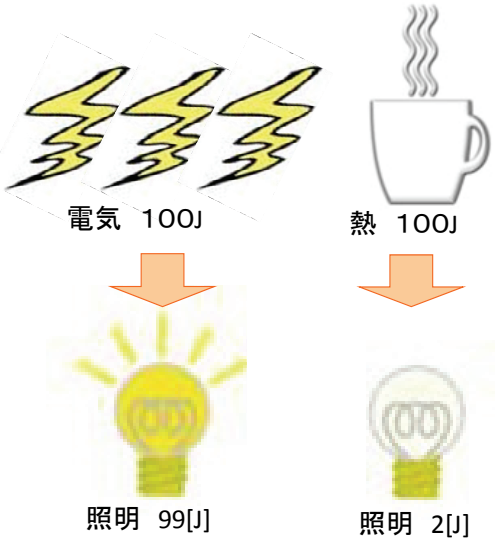


図7.1-1　エクセルギー消費の概念

7.1-1の例を挙げて考える。周辺環境に比べて、100J多く熱エネルギーを持つ水と、100Jの電気を考える。この場合、共に持っているエネルギー量は100Jである。しかしながら、100Jの熱エネルギーが外の系にすることができる仕事は２Jである一方、100Jの電気は外の系に対してほぼ99Jの仕事を取り出すことができる。この状態をエクセルギーで表現すると、水は2Jのエクセルギーを持ち、電気は99Jのエクセルギーを持つと表現することができる。これは熱の資源性が小さいのに対して、電気の資源性が高いために起こる。このように、エクセルギーを用いると、エネルギーで表現することができない資源性を考慮することができる。これを用いる利点は以下の通りである。

・優先順位などを決めやすい
・どのエネルギーが他に利用可能か（電気になるか）把握できる
・どこで、どの変換で資源性が失われているか、エネルギーの流れが見える

エクセルギーは機械系の分野で用いられている概念であり、これを建設の分野に用いる。まず、本検討では創エネルギーの検討を行うために、ある敷地を想定しその内部空間にてエネルギーがどの程度あるかを確認した。しかしながらエネルギーがいくらあっても、エネルギーの質（エクセルギー）が小さければ発電を行うことができない。そこで同じ敷地を対象として、エクセルギーにて検討を行った。

7.2　創エネルギーのための検討

7.2.1　検討の条件

本節では、ある敷地内部での創エネルギーの可能性について検討を行うため、一年間にどの程度のエネルギーが敷地に存在しているかを試算した。**表 7.2.1-1** に、敷地内部に存在するエネルギーの例を示す。日射による光エネルギー、宇宙空間への放射エネルギー、敷地外部から入ってくる電力などの電気エネルギー、同じく水道水の熱エネルギー、風による空気の運動エネルギー、同じく風による空気の熱エネルギー、土壌の熱エネルギーなどが考えられる。しかし、本節では現実に利用されているものを考えるために、検討対象を日射（太陽光発電・太陽熱利用）、電力、水道水の熱エネルギー、土壌の熱エネルギー(地中熱利用)について検討を行った。

表 7.2.1-2 に想定した敷地の条件を示す。場所は東京都大手町、計算対象は一年間とした。なお計算には拡張アメダスによる標準気象データの標準年のものを用いた。また、対象となる敷地は商業地区とし敷地面積 300ｍ²、建蔽率 80％、容積率 400％に建設された事務所ビルを対象とした。したがって、建築面積は 240ｍ²、5 階建で延べ床面積は 1200ｍ² となる。なお、熱エネルギーやエクセルギーの計算には、温度差の基準となる環境温度が必要で、通年は 25℃と仮定した。

表7.2.1-1　エクセルギー概念

名称	種類
風力	運動エネルギー
日射	放射エネルギー
地中熱	熱エネルギー
水道熱	熱エネルギー
蒸発潜熱	熱エネルギー
実効放射	放射エネルギー
電気	電気エネルギー

表7.2.1-2　敷地条件

場所	東京都大手町
対象年	標準年
土地用途	商業地区
建蔽率	80%
容積率	400%
建築面積	300㎡

7.2.2　敷地に投入されるエネルギー

日射のエネルギーは敷地の水平面に入射する日射のエネルギー量とした。敷地内部に建築物が建設された場合、鉛直面も考慮する必要があるが、本検討では商業地区を対象としているため、ビルが近接していることが考えられる。そこで屋上高さにおける水平面のみ、十分に日射を得られると考え敷地面積と等しい水平面に入射する日射量を求めた。

土壌の熱エネルギーは、敷地面積の深さ 10mから 100mまでの土壌を対象とした。これは深さ 10mまでは地中の温度が外気温度に影響を比較的大きく受けるために、検討の対象外とした。また地中熱利用を行う際、一般に深さ 100mの穴を設けて採熱を行うことが多い。したがって土壌の対象を深さ 10mから 100mまでと仮定した。また土壌その場で固定されているため、一度採熱を行うと周りの土壌からの伝熱により土壌温度が回復するまで、再び採熱を行うことができない。ここでは 24 時間にて回復すると仮定して計算を行った。また、土壌温度は地下数m以下ではその地の年間平均気温とほぼ等しくなることを利用して計算を行った。

水道水の熱エネルギーは土壌の熱エネルギーと同様の計算方法にて行った。水道の使用量は第 52 回全国水道研究発表会から、業務用途別水道使用量原単位の 7.5[L/(日m²)]を用いて年間使用量を求めた。また、水道の温度は外気温および土壌温度の影響を受けて季節変動をしているが、土壌と同様に年間平均水温はその地の年間平均気温とほぼ等しくなることを利用して計算を行った。

他に、敷地に投入されているエネルギーとして電気エネルギーがある。これは、上記のものと異なり、発電のためのエネルギーではなく、実際に他の用途に消費しているエネルギーを示すことになる。したがって、敷地に投入されている電気エネルギー量と実際に発電することができるエネルギー量が等しくなれば、その敷地内での ZEB または ZEH を達成することができる。業務用ビルにおける消費エネルギーは、経済産業省によるエネルギー白書 2011 から得た業務ビルの消費エネルギー原単位と、床面積の積を用いた。本来業務ビルのエネルギーは電気やガスなどを用いるが、本検討ではすべて電気と仮定した。

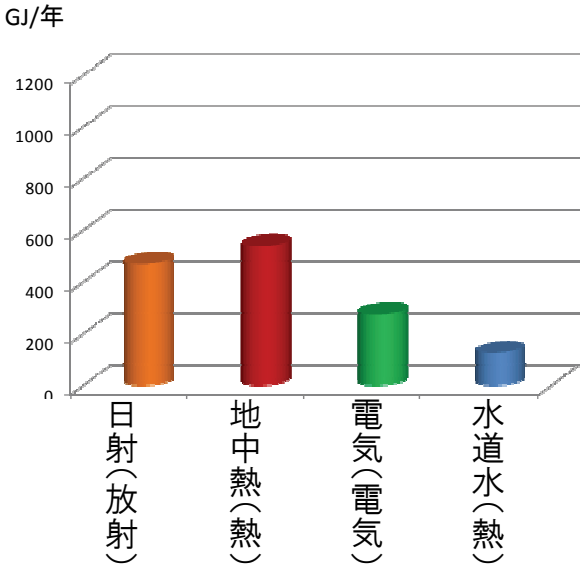


図7.2.2-1　エネルギーの試算結果(東京)

図 7.2.2-1 にエネルギーの試算結果(東京)を示す。多いものから順に、日射、地中熱、電気、水道水となった。特に日射は 1000GJ/年を超え、敷地に入るエネルギーで最も大きくなった。また、地中熱も 500GJ/年となり、電気よりも大きなエネルギーが敷地に投入されていることが分かった。これは太陽光発電や太陽熱発電が都市空間においては非常に大きな役割を占めることを示している。また、地中熱や水道水の熱についても、敷地に投入されている電気と同じオーダーのエネルギーを敷地に投入していることが分かった。

日射 直達	$e_{TH} = \sinh \cdot (I_{dn} - S_{dn} \cdot T_o) + (I_{sh} - S_{dif} \cdot T_o)$	
日射 拡散	$e_{TVS} = \cosh \cdot \cos\alpha (I_{dn} - S_{dn} \cdot T_o) + f_{sky} \cdot (I_{sh} - S_{dif} \cdot T_o)$	
地中熱	$e_g = C_{pg} \cdot \sigma_g (T_g - T_o) - T_o (C_{pg} \cdot \sigma_g \cdot \ln \frac{T_g}{T_o})$	
電気	$e_{el} = E_{el} - Pv \cdot S_{el} \cdot I$	
水道熱	$e_g = C_{pg} \cdot \sigma_g (T_g - T_o) - T_o (C_{pg} \cdot \sigma_g \cdot \ln \frac{T_g}{T_o})$	

h	太陽高度[rad]	S_{dn}	法線面直達日射量に伴うエントロピー[W/m²]		
α	太陽位置[rad]	S_{dif}	水平面拡散日射量に伴うエントロピー[W/m²]		
f_{sky}	形態係数[rad]	S_{el}	電圧に伴うエントロピー[W]		
I_{dn}	法線面直達日射量[W/m²]	C_{pg}	土壌定圧比熱[W/(K･m³)]		
I_{sh}	水平面拡散日射量[W/m²]	σ_g	土壌定圧密度[kg/m³]		
T_g	土壌温度[K]				
T_o	環境温度[K]	I	電流[A]	E_{el}	電力[W]
Pv	電圧[V]				

図7.2.2-2　各エクセルギーの計算式

出展：自然エクセルギー賦存量の計算、西川竜二

7.2.3　敷地に投入されるエクセルギー

続いて、敷地に投入されるエクセルギーについて計算を行った。計算式を図 7.2.2-2 に示す。すべての式がエネルギーと同じ項に加えて、エントロピーの項を持つ。これはエクセルギーがエネルギーからエントロピーを差し引いたものであるためである。

図 7.2.3-1 にエクセルギーの計算結果を示す。日射は放射現象であるため、エネルギーの内約 70%が資源性を持つ(=エクセルギーとして計算される)。同様に、電気は非常に資源性の高いエネルギーの状態であり、エクセルギーを計算してもほぼ減少しない。一方、熱エネルギーである地中熱および水道水は大きく減少した。これは熱のエントロピーが非常に大きくエネルギー量として大きな値を持っていても、他のエネルギーへと変換することが難しいために起こる。実際に熱から電気を取り出す熱電素子などの効率が低いのは、この理由による部分が大きい。よって熱による創エネルギーで建物での消費エネルギーを賄う可能性が低いことが確認できる。一方、日射のエクセルギーが敷地に投入される電気のエクセルギーより大きいことは、太陽のエクセルギーのみで敷地にて用いられる電気を賄うことができる可能性を示唆している。

しかし、実際に太陽光発電を行っている状況を考えた時、太陽光パネルを設置できるのは屋上面積の 40%程度である。加えて 2011 年現在の太陽光パネルの発電効率は 17%程度である。以上の条件を加味すると、日射のエクセルギーが大きく減少し、敷地に投入されている(＝建物で用いられている)電力を大きく下回り、日射による発電のみでは、電力を賄うことができなくなると考えられる。しかしながら日射のエクセルギーは電気を賄うには十分の量があり、発電効率と太陽光パネルの設置面積の増加が鍵であることが、数値を用いて示された。

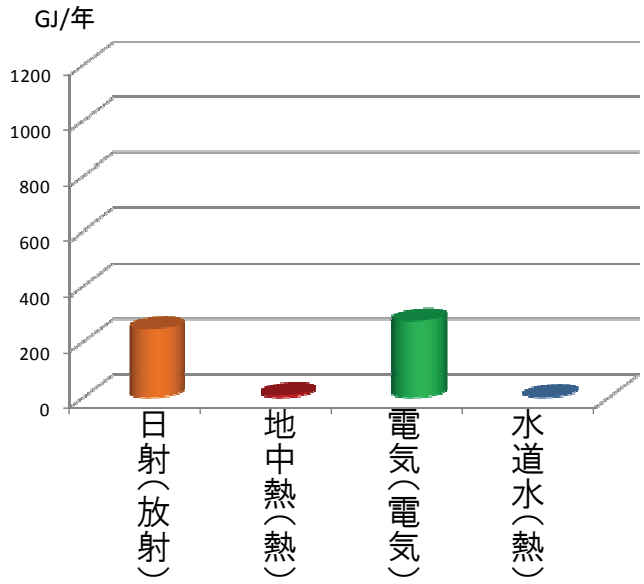


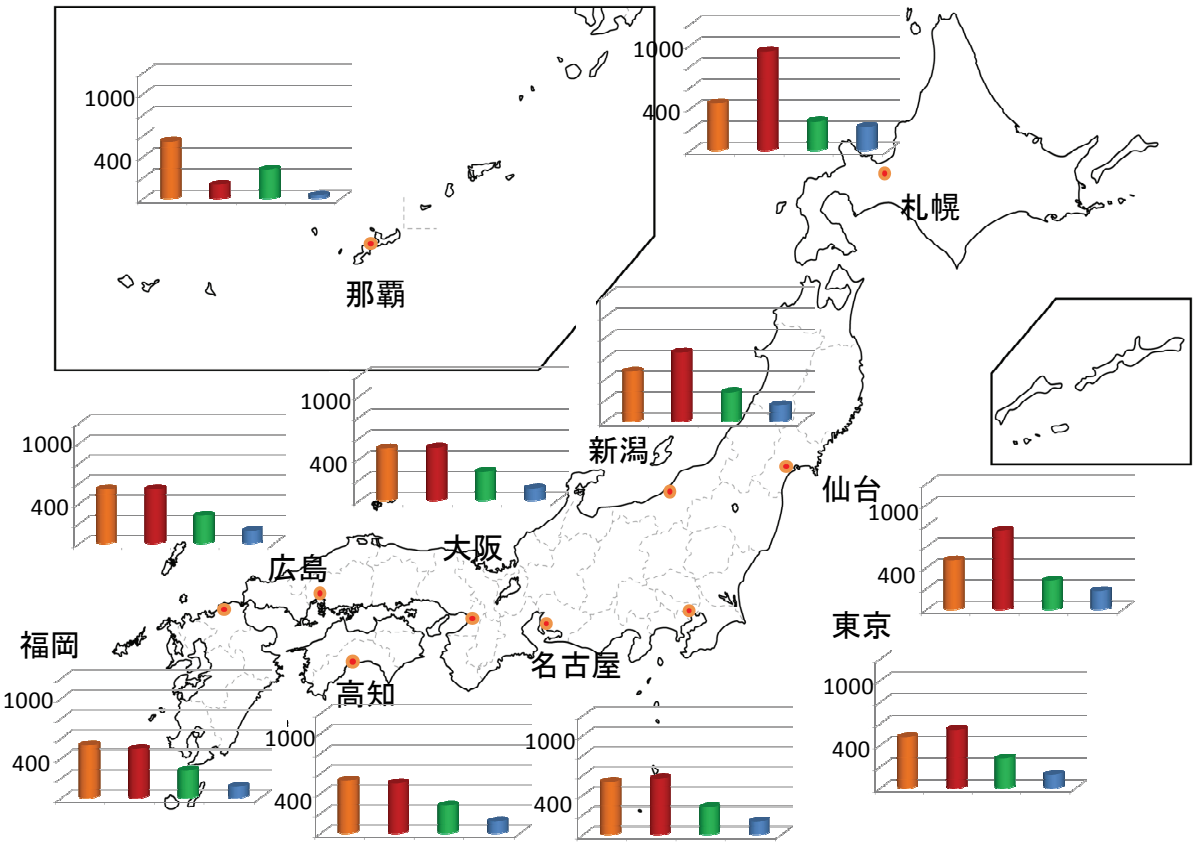
図7.2.3-1 敷地に投入されるエクセルギー

7.3　敷地に投入されるエクセルギーの地域差

7.3.1　エネルギーの地域差

再生可能エネルギーおよびエクセルギーは周囲の環境により、その値が大きく変化する。そこで各地方の代表都市において、前節と同様に敷地に投入されるエネルギーの量を試算した。仮定の条件などはすべて前節と同じである。気象データは拡張アメダス気象データの標準年を用いている。

図 7.3.1-1 に各代表都市におけるエネルギー量を示す。東京で、日射のエネルギーと地中熱のエネルギーを比較すると、地中熱のエネルギーの方が若干大きい。北海道は地中熱のエネルギーは日射の 2 倍以上になった。逆に、沖縄は地中熱のエネルギーは小さくなり、日射の 1/4 程度まで減少した。全体を眺めると、北に行くほど地中熱のエネルギーが増大するのに対し、南へ行くほど減少する傾向があることが分かる。これは、地中熱の温度がその土地の年間平均気温と同程度の値であり、我々が通常用いる温度との温度差が大きくなるためにおこる。したがって、北海道など北に行くほど、エネルギーは大きくなる。水道水の熱についても同様の傾向が見られる。水道水は地中を通り、その周辺の地中温度に依存しており、この理由も地中熱と同じものと考えられる。また、日射のエネルギーは、北から南に行くに従い若干の上昇が見られ、その値は約 10%程度の上昇である。

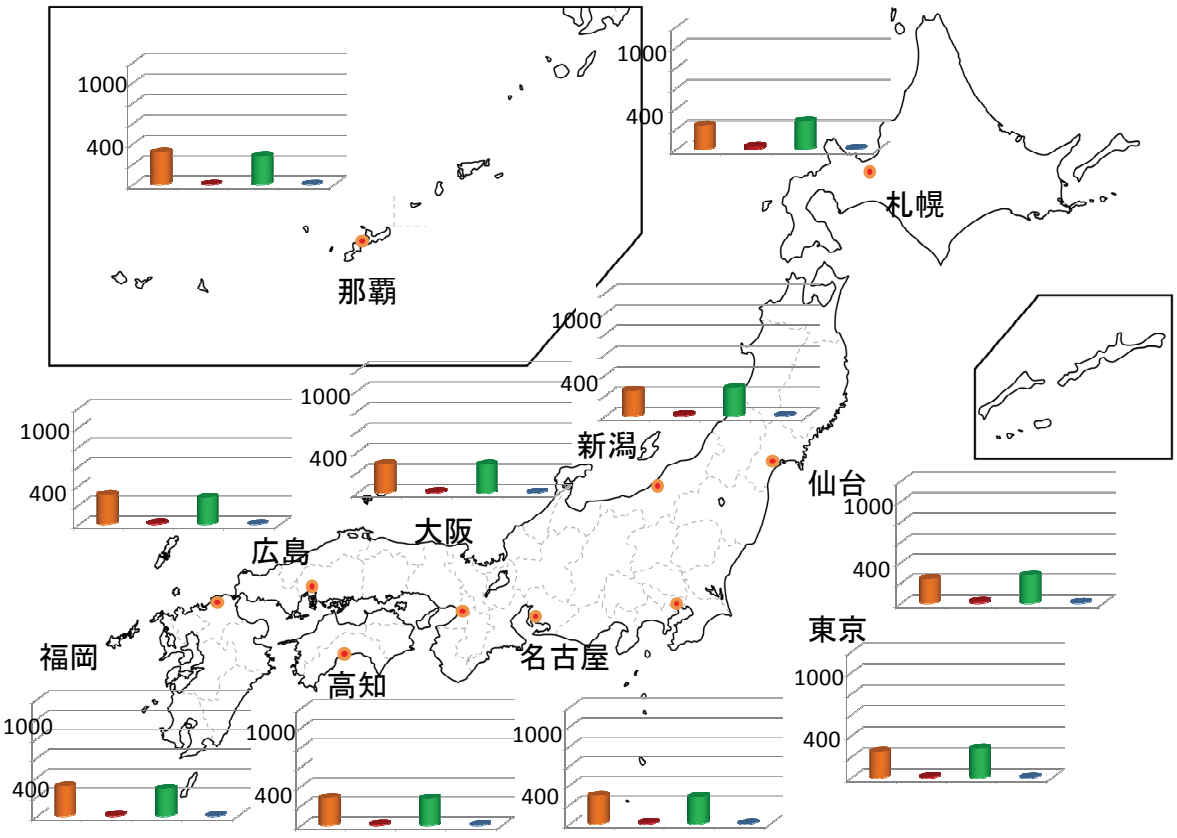


＊縦軸の単位はGJ/年。横軸はグラフの左から、日射、地中熱、電気、水道熱

図7.3.1-1　各都市で敷地に投入されるエネルギー

7.3.2　エクセルギーの地域差

図 7.3.2-1 に各代表都市における敷地に投入されるエクセルギーを示す。東京と同様に熱エネルギーである地中熱と水道熱が大きく減少していることがわかる。エネルギー量では、日射の 2 倍以上あった北海道においてもエクセルギーにすると大きく減少し、日射の 10%以下となった。また、日射のエクセルギーは投入される電気のエクセルギーとほぼ同じ値となった。したがって、将来仮にエクセギーベースで発電効率が 25%となった場合、投入されている電気エクセルギー(消費エネルギー)を同程度にするには、75%の省エネルギーを行う必要があることがわかる。また、ここでは 4 階建てを対象として検討を行っているため、平屋では 25%の発電効率があれば、消費エネルギー分を太陽光発電で賄うことができるとも言える。



＊縦軸の単位はGJ/年。横軸はグラフの左から、日射、地中熱、電気、水道熱

図7.3.2-1　各代表都市で敷地に投入されるエクセルギー

7.3.3　ヒートポンプを用いた熱源利用

日本の都市で発電を行う際には日射が最も大きなエクセルギーを持っていることが分かった。しかしエネルギーに注目すると、地中熱や水道熱も大きなエネルギーを持っており、発電ではなく熱源として利用することが非常に有用である。そこで、ヒートポンプの利用が考えられる。ヒートポンプは電気のエネルギーを用いて、ある熱環境から熱エネルギーをくみ上げるシステムである。したがって、地中熱や水道熱のようにエクセルギーは小さ

いものの、エネルギーとしては大きな値を持つ熱源と組み合わせて用いることで、非常に高利率的に用いることができる。今後更なる省エネルギーを達成するには、発電のみでなく熱源の効率的な利用も重要であり、ヒートポンプはその可能性を大きく引き出すシステムである。

7.4　エクセルギー値の活用に向けて

エネルギーとエクセルギーという 2 つの値を用いて、日本の都市における再生可能エネルギー利用について試算と検討を行った。その結果、以下のことを把握した。

- 日本において建物敷地内で用いることができる発電のための再生可能エネルギーとして、日射以外に考えにくい。
- 敷地内で用いることができるエネルギーに、地中熱や水道水の熱などが考えられるが、エクセルギーが小さいため発電に用いることは難しい。
- 地中熱や水道水の熱エネルギーは、発電に用いると非効率的だが、熱源としての利用には非常に有効である。ヒートポンプを用いて、その熱エネルギーを効率的に利用できる。
- 地中熱や水道水の熱エネルギーの利用は、我々が通常必要とする温度との温度差が大きい、北海道などでその利用が有効である。

以上、エクセルギーとエネルギーの 2 つの値を用いることで、再生可能エネルギーの特徴を把握し確認した。また、日本の代表都市の検討を行い、地域による違いも把握した。これらは再生可能エネルギーの導入検討のための基礎的なデータとなり、エネルギーシステムの確立と運用に役立てたい。

第８章　持続可能なクリーンエネルギーへ

東日本大震災に起因する福島第一原発事故に伴い、日本のエネルギー･環境をめぐる状況が大きく変わった。本章では、2050 年以降を目指した長期的な問題を描くことで現状での開発研究、製品開発における視点を見直すと共に提案を行う。

8.1　日本の制約

日本のエネルギー･環境面を長期の視点には、エネルギー資源を有していないこと、および温暖化について厳しい状態にあることを特に意識しなければならない。

1)　日本のエネルギー自給

日本は一次エネルギー燃料(石油、天然ガス、石炭等)の96%を輸入に頼っているがこれらを偏らないように多様化を図りエネルギー安全保障を確保してきた。この一次エネルギー燃料の輸入コストは2008年に23兆円と日本のGDPの4.6%まで増大しており、膨大な国富流出となっているだけでなく今後ますます増大することが予想される。また原子力発電を総て天然ガス火力で補うには4,000万トンを2.3兆円追加輸入しなければならない状況であり安価なエネルギー確保が望まれる。

2)　日本の温暖化対策

オイルショックを機に省エネを進めてきた日本は1990年時点でかなりの対策が既に施されており、二酸化炭素削減ポテンシャルが小さいために削減単価が高くなっている。さらに二酸化炭素の発生量が世界の4%にも関わらず国際的に大きな削減の約束を行なっている。

・ 2008～12 年: 90 年比年平均で二酸化炭素 6%削減 ‥京都議定書(法的拘束)
・ 2020 年までに 90 年比で 25%削減　　……鳩山元首相（国連総会)

国連総会での約束は法的な拘束力が無いとされているが、現実には削減方法は国内問題であり、原発事故は公約した25%削減目標変更の口実にならないとの理由で退けられて今後の国際的な圧力は増していくことが予想される。

8.2　世界のエネルギー･環境

8.2.1　世界の資源

エネルギー資源の可採年数はおよそ石油40年、石炭160年、天然ガス70年程度であり、温暖化のタイムスパンである数十年から100年にわたる時間のオーダーと同様なため長期の構想を練る際の重要な要素である。

長期的視点には様々な要因、国の方針とシナリオに依存するとともに各資源の枯渇が顕になることを両方同時に考慮することが必要である。次世代の人々が持続可能な生活を営むためのエネルギーは枯渇しない太陽を直接の起源とする太陽光、風力、潮力等の再生可能なものとする社会に経済的、環境的にスムーズに移行させることが重要である。

化石資源に関しては中国を始めとするアジア諸国の急速な経済発展、さらには今後のイ

ンド、ブラジル、アフリカ諸国の発展成長に伴うエネルギー消費の増大が進んでおり次に述べる気候変動対策の遅れから低炭素燃料である天然ガスへの傾斜を増している。

その中でも石炭は安価、豊富、偏在が少なくしばらくはアジアを中心に使われ続け獲得競争の増大は確実である。また、石油は新興国の経済成長と輸送部門の需要の高まりで困難かつコストのかかる様になるため生産コストは増加し、米国以外では石油輸入依存度の高まりから輸入コストと安定供給に関する懸念が増すと考えられている。このように化石燃料の時代は終わらないがその支配的なシェアは低下する。

ここでシェールガスは近年の米国における水圧破砕技術の発展成功によりコストが低下し、米国では従来の天然ガスの輸入が輸出に転じている。世界的にも中国、米国、アルゼンチン等で現在分かっているだけで採取可能な世界の天然ガス埋蔵量を4割以上増やすと言われ、北米に続いて各国での商用化が期待され環境汚染についての懸念はあるものの量的には大きな光明である。技術と資源獲得に石油大手や商社などが数多く参入しようとしているが、コスト面で利益確保が中心に商用展開がなされるため価格は上昇していく。この状況下で日本は近距離に世界の成長の中心である中国、インド、韓国、インドなどがひしめいている中で燃料の輸入を競わなければならない厳しい状態に晒されることになる。

8.2.2 世界の温暖化

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第4次の評価報告書で工業化以前に比べ気温上昇を今後2K以下とするためには二酸化炭素等価濃度を450ppm以下にすることが必要でありそのためには世界平均で2050年に二酸化炭素を半減しなければならないとされた。先進国は2050年に80%あるいは前倒しして2020年においては最低でも25%削減必要とされている。

1) 科学的根拠

温暖化の科学的根拠を疑問とする意見があるが、気候変動現象は数多くの要因が複雑に干渉しながら重畳することにより生じているため評価は容易でない。

日本が承認する世界の 195 ヵ国のうち気候変動枠組条約批准国は 194 ヵ国･地域に及んでいる。すでに気候変動枠組条約締約国会議は先進国と発展途上国のすべてを巻き込んだ動きになっており、短期間での軌道修正は考えられない。温暖化対策が遅れると気候変動の影響が拡大するだけでなく抑止のための方策の経済負担が増大することを考慮して、長期の見通しをもって対応することが必要である。

2) 世界の削減の現状

化石資源の枯渇が様々な形で顕在化してくると予想される今世紀末には化石資源からの脱却を目指して再生可能エネルギーを主体とする持続可能な低炭素社会への移行がかなり進んでいなければならない。そこに如何に経済と環境負荷を少なくして移行を果たすかが最重要である。

IEA(International Energy Agency:国際エネルギー機関)による世界エネルギーアウトルック(World Energy Outlook)2011 年版では気候変動対策の進展について世界のエネルギー動向の方向転換は緊急を要するが進捗している兆しはほとんどなく、新政策シナリオにおけるエネルギー需要は大幅に伸び 2010 から 2035 年に 3 分の 1 増加し、非

OECD 諸国である新興国にますます左右されるようになるとしている。原子力発電増加による温暖化ガス削減の傾向は福島第一原発事故にも関わらず中国、インドなどが従来の推進方針を緩めることは無いため、世界的に原子力発電所増設の効果が大きく減少することはないと予想されている。しかしながら 2050 年には、技術進展ケースであっても 2005 年比で 29%削減にしかならず、2050 年までに温暖化ガス半減という目標に対して目標を達することは出来ないとしている。

国連気候変動枠組条約締結国会議での議論も、実効のある議論よりは政治的な排出権に絡む利益、発展途上国連合の補助金･権利の確保に根ざす議論が多く、世界の温暖化対策が遅れるほど同一削減効果を上げるのに経済負担が大きくなる。IEA による WEO 2011 のサマリーでは温暖化は遅々として進まず、正しい方向へ歩んではいるが、2℃への道は閉ざされようとしていると書かれている。

また炭素税や排出権取引などまだまだ世界的な制度の整備は進んでいない。これまで世界のエネルギー需要を長期にわたって担ってきた化石燃料は二酸化炭素を地下に貯留するCCS(Carbon Capture & Storage:二酸化炭素回収･貯留)技術は現実的でないと見られていたがヨーロッパの2009年6月のCCS指令で30万kW以上の火力発電所の新設に係る許認可の要件について、CCS Readyとして、二酸化炭素の回収および圧縮に必要な施設のためのスペースを確保することを要求されており、各国が国内法制定に動いている状態である。また、そのために2006年にロンドン条約96年議定書が改定され、二酸化炭素の海底下地層貯留が国際法上可能となって各国が国内法としての対応に入っており日本も後に述べるように国内法対応を行なっている。

将来の実用化が期待できる技術を導入するだけでは目標まで削減量が足らず、長期の地球温暖化対策のためにはCCU(Carbon Capture and Utilization:二酸化炭素回収･貯留+二酸化炭素有効利用)の加速的な開発も重要であると言われている。しかも最近の大規模統合CCSの状況はG8洞爺湖サミット合意の目標実現のために豪州政府主導で設立されたGCCSI(Global Carbon Capture and Storage Institute)のデータによると、世界で74プロジェクトの合計 35.4百万t-CO_2/yであり、さらに59プロジェクトが開発の計画段階であるが合計しても122百万t-CO_2/yと予想よりもはるかに遅れている。IEAは2012年2月にCCS政策立案者向けのガイドを公表し化石燃料だきプラントからのCCSに加えバイオ燃料プラントからのCCSに係る政策策定を支援している。

(1) 日本の見通し

日本は当面、短期のエネルギー需給を省エネと節電で乗り切り、発電所対策(天然ガスシフトと高効率化)と再生可能エネルギー対策の強化によって、2020 年の温暖化対策目標を達成しながらエネルギー需要に対応することを目指している。天然ガスについては LNG への転換スピードを現在よりも前倒して石油依存を減らしトータルでの化石燃料リスク低減を目指している。我が国は省エネ、高効率化など化石燃料の高効率利用のほか建築や家庭など民生に係わるエネルギーの効率的運用としてデマンドサイドのスマートグリッドと省エネ機器の促進、さらに運輸、家庭、業務な

どの自動車など幅広くエネルギー･熱効率を高める方向を打ち出している。

太陽光や風力発電の等の不安定電源の対応についてヨーロッパでは隣国同士の電力を融通し合うことで対応を実現している。日本でこのような変動周波数に応じた緩衝を行える程に電力会社間の系統連系やバックボーンが強くなく、これらの強化には時間や多大な費用と産業経済的に大規模な変革が必要である。

このように多くの分野で方策を進めているが未だ削減は進まず、長期の観点からは国内の二酸化炭素の排出に制限が厳しくなると徐々に二酸化炭素の許容残量が減少し 2035 年よりはるか以前からゼロ･エミッションとするか、排出権を購入しなければならなくなる。省エネ、効率向上、家庭、自動車等での削減がさらに求められるが経済性や技術的に大きな効果は期待できず、将来の 50%あるいは 80%の削減という課題の扱いは定かではないが苦しい展開が予想される。

ここで残されている CCS による方策は残念ながら運用のためのエネルギー消費がなかなか下がらず、世界的に技術開発が急がれている状況である。いずれにしても効率向上やエネルギー削減で限界に達した場合は二酸化炭素を大気に出さないように地中に貯留するほかない。

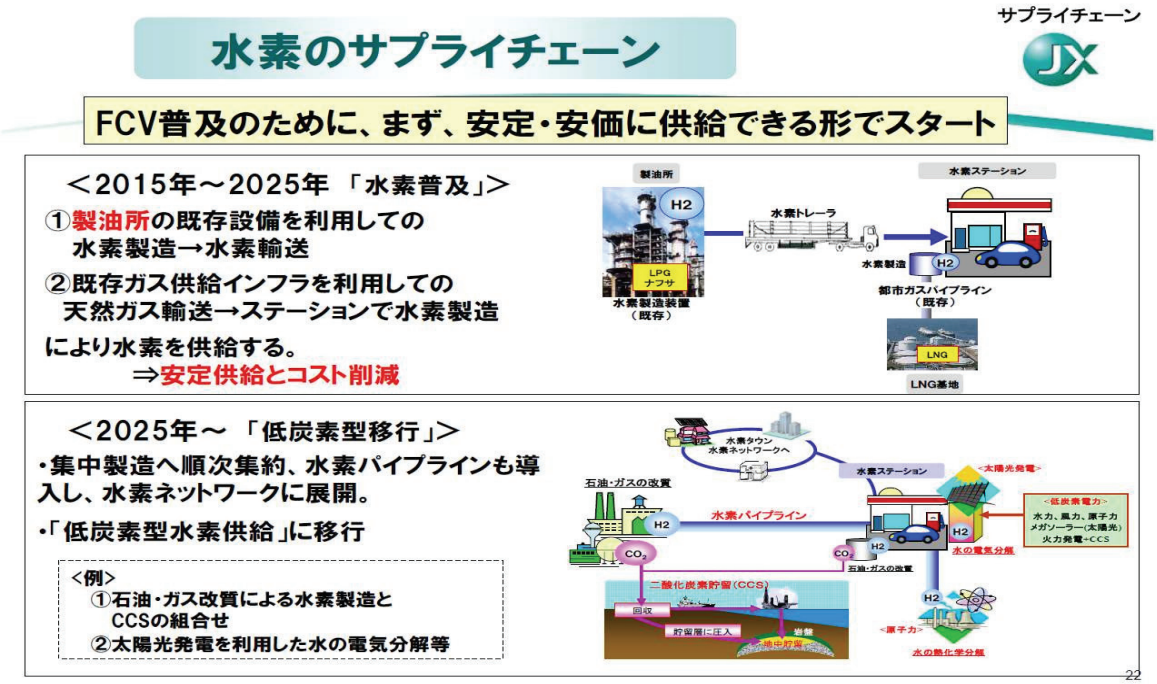


図 8.2.2-1 2025 年以降の低炭素型移行

出典:JX 日鉱日石エネルギー資料による

実際、日本のエネルギー業界では例えば図 8.2.2-1 の 2025 年以降の石油･ガスの改質模式図に示すように、将来の低炭素社会に向けた長期の取り組みは既存インフラ整備を経て水素製造･供給ネットワーク構築へと順次再生可能エネルギー中心の水素社会に向けて進む道筋を描いている。この中で LNG を海外から受け入れて精油所で水素を製造する際に生じる二酸化炭素は CCS で地中に貯留することが想定されている。

また、石炭火力発電所は現在既に 2009 年の小名浜火力の計画時の環境大臣意見に見られるごとく環境アセスメント法に基づいて二酸化炭素回収･貯留(CCS)等の最高水準の技術を用いて二酸化炭素の排出を最大限抑制することを求められている。さらに他の燃料と比べて安価な石炭を利用した高性能 A-USC:(Advanced Ultra Super Critical 先進超々臨界圧)発電あるいは石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)を目指しているが、ここでも発生する二酸化炭素は CCS による貯留が想定されている。このように大量の二酸化炭素を発生する業界では将来の姿として CCS による二酸化炭素処理を描いている。また日本では 2010 年 6 月に 2020 年頃の CCS の商用化を目指した技術開発の加速化を図るとしたエネルギー基本計画が閣議決定され、さらに 2030 年までに石炭火力に CCS を導入することを検討することが明言され法律の整備も徐々であるが進められている。

(a) 法規的な対応

ロンドン条約 96 年議定書の改定に合わせ日本は国内法として 2007 年に海洋汚染防止法が改正された。2011 年 10 月には 2010 年 11 月に施行された改正海洋汚染防止法を受け環境省は海底地層に対する CCS のアセスメント指針を 2012 年度に作成することを決めている。

(b) 商用に向けた対応

CCS の実証計画については苫小牧地点で 10 万 t-CO_2/y 規模以上で海底下の塩水帯水層に貯留する案が決定され、2020 年までに試験を完了、継続モニタリング以外は 9 年目までに廃坑処理を行うとして現在、貯留の海底の測定が詳細に行われている。CCS 技術を商用化する貯留場所は日本周辺の陸近くの海底に適する地層候補が調べられている。量的には集めればそれなりの量を確保できそうだが二酸化炭素の大量発生の場所から離れて細切れでありアセスメントでの地域住民や漁民の対応、二酸化炭素の輸送方法など不確定要素が数多くあり実現は容易ではないことが予想される。

8.3 クリーンエネルギーへの提案

世界的に気候変動対策は目標とする2050年には半減に届かない可能性が増している。気温変化の予想が様々な条件下で試算されている。数多いモデルの内の日本エネルギー経済研究所の結果を**図**8.3-1に示す。2050年に省エネの39%に迫る33%のCCSを行ったとしても世界全体での目標の1990年比半減に届かないことを明瞭に示している。

大量に二酸化炭素を発生する業界では将来的にCCSに依存する構想が多く狭い日本の国土で経済･産業･環境などを長期の観点から実現性を常に見ながら社会構造の変革を進めていかなければならない。特にエネルギー産業のインフラの変更は膨大な時間と費用を要するため技術的、経済的、社会的認知が不十分なCCSにあまりに依存する仕組みは実現の脆弱性に繋がる。このため回避するオプションを並行して持つべきと思われる。

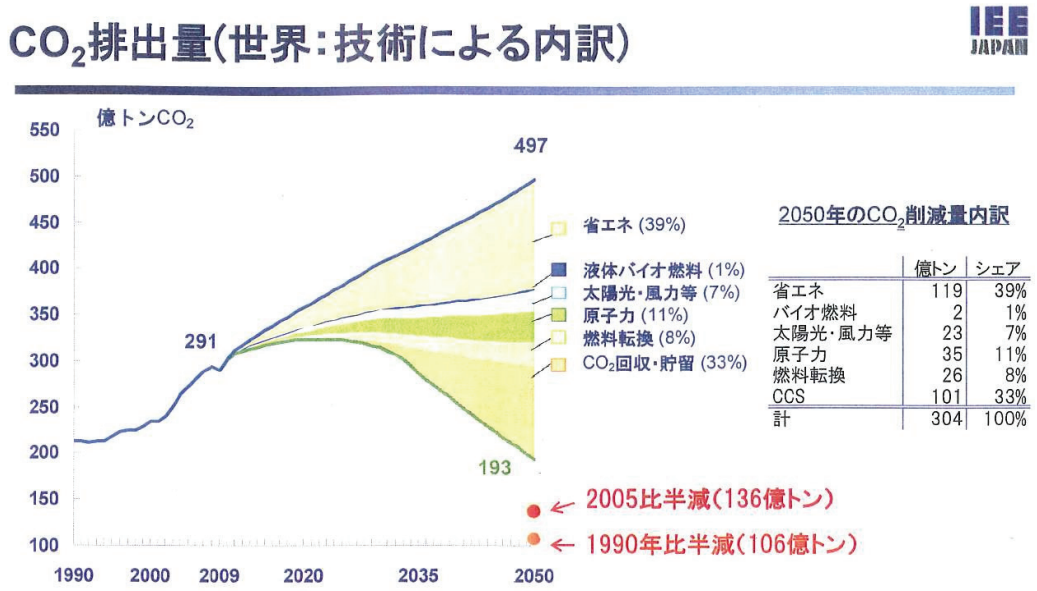


図 8.3-1 2050 年の半減未達状況

出典:日本エネルギー経済研究所資料

現在日本が輸入している一次エネルギー燃料を炭素収支のバランスの点から見て提案を行う。図8.3-2内の1)に現状の化石燃料を輸入して日本で使用する場合の炭素の動き、2)と3)に炭素を有さないクリーン燃料にして日本に輸入した場合の模式図を示す。

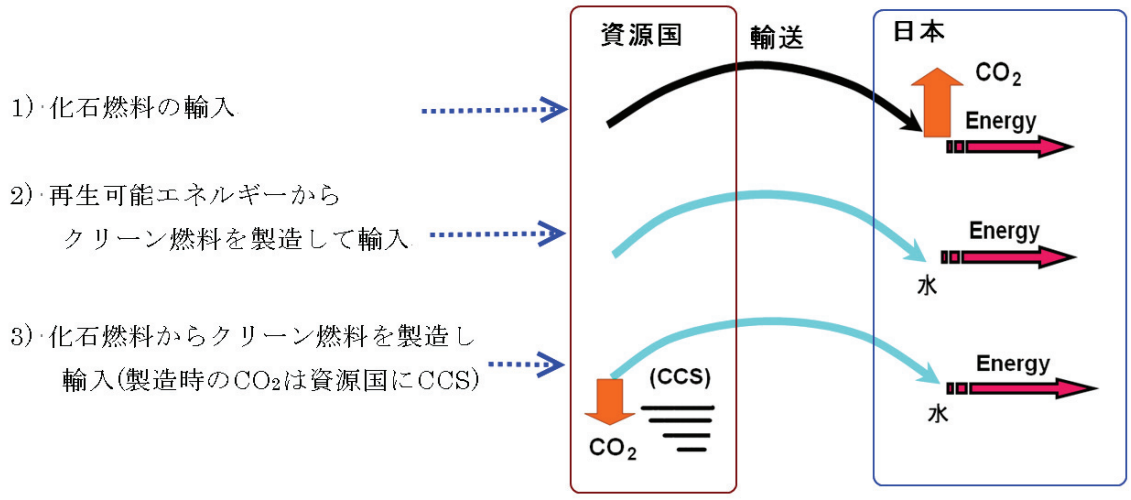


図 8.3-2 エネルギー資源の輸入と炭素収支

1) 化石燃料の輸入

一次エネルギー燃料は炭素を含んでいるので図8.3-2の1)に示すように海外から炭素を持ち込んで日本で酸素と反応させて二酸化炭素にしていることになる。そのため日本で使用する時には二酸化炭素を必ず発生する。効率の向上で同一のエネルギーを発生させるために発生する二酸化炭素を少しは削減できるが、国内でCCSによって大幅に削

減しようとしても地理的、住民との了解等の様々な制限のために実施困難な場合が想定される。 これが最も恐れる事態でありCCSが出来ない場合には削減の余地が無くなる。

現在クリーン燃料と言われる天然ガスも50%あるいは80%二酸化炭素削減の前ではクリーンから程遠いと言わざるを得ない。

2) 再生可能エネルギーからクリーン燃料を製造して輸入

これを回避するための方法として、次のものが考えられる。

(提案 1)

図 8.3-2 の 2)に示すように海外で安価な再生可能エネルギーを活用できる場所を見出して炭素を含まないクリーン燃料を製造して日本に輸入する方法である。クリーン燃料としては水素やアンモニアなどが考えられる。安価な電力として期待できるのは水電解、太陽光、太陽熱、風力、水力等が考えられ地域の状況と日本までの輸送コストとの兼ね合いが重要となる。水素化反応と脱水素化反応を利用して、有機ハイドライド(ベンゼン、トルエン、ナフタレンなど)の形態で運ぶ方法や液化による運搬が検討されている。

3) 安価な化石起源の燃料を活用

化石燃料を使わない真の持続可能な社会に経済負担を少なく移行させるために敢えて化石燃料を利用するという提案を**図8.3-2**の3)に示す。

(提案 2)

提案 1 では安価な再生可能エネルギーが利用できる場合であった。褐炭などの低品位炭は世界に多量に賦存するが長距離輸送すると自然発火するなどの欠点のため地元で使用することしか出来ず安価である。提案 2 はこれを利用して現地で水素あるいはアンモニアを製造して日本に運ぶ方法である。二酸化炭素は日本での使用時に発生しないが産地でクリーン燃料製造時に発生する。これは CCS により地中あるいは海底下に回収･貯留するものである。これにより化石燃料を使いながらも日本には炭素を持ち込まない準自然エネルギーということが出来る。

この提案のように天然ガスの輸入や CCS の国内実現に強く依存しない道について並行実施を検討しておくことが必要であろう。

第９章　ガス化技術とエネルギー連携

化石燃料の高度活用には、比較的埋蔵量の豊富な石炭をガス化し発電効率を高めることで、化石燃料をより長期利用することができる。また、世界の規模から見れば日本のコンビナートのスケールは小さく、エネルギーのみならず副産物等についてもコンビナート内のプラント間で連携することにより、省エネルギー、節資源を図ることができる。

9.1　バイオマスのガス化発電

水源の確保、大気の浄化、生物種保全などの面からも森林の保全は重要であり、除間伐による整備を要するので除間伐材や林地残材の有効利用は欠かせない。除間伐材や林地残材などの木質バイオマスのガス化には、燃料や化学製品の基礎的原料である H_2 や CO などのガスに変換できるメリットがある。

ものが燃えるときに出る炎はガス化された燃料が燃焼しており、この燃焼熱で燃料の有機物が熱分解されガス化し燃焼する過程を継続して燃焼が持続している。木、草などのバイオマスを加熱すると熱分解して可燃性のガスを発生する。このガスを「合成ガス」と呼び、この過程が「ガス化」でバイオマスを加熱して合成ガスを取り出す装置を「ガス化炉」という。このガス化炉には**表 9.1-1** に示されるような様々な形式がある。ガス化炉の形式は、原料の性状と量、運転条件、製造した合成ガスの用途などによって選定する。

表9.1-1　ガス化炉の形式

方式	形式
固定床	ダウンドラフト型
	アップドラフト型
流動床	バブリング（気泡）型
	循環型
噴流床	
ロータリーキルン	
2段ガス化	

9.1.1　ガス化の原理

図 9.1.1-1 にガス化炉の例を示しガス化の原理を説明する。ガス化は、まずバイオマスの熱分解反応から始まる。バイオマスを無酸素状態で、温度 200～600℃に加熱すると、原料の 75～90％が気化し、10～25％がチャーに転換され、ガス(CO、H_2、CH_4、CO_2、H_2O)、チャー、炭化水素に分解する。

次いで熱分解生成物質の燃焼にはいる。先の加熱で生成したガス、チャー、炭化水素に酸素または空気を供給し、一部を燃焼させ燃焼時に発生する熱を最初のバイオマスの熱分解反応の熱源となる。

そして温度 700～1200℃にはいると発生炉ガス反応（C + CO2→2CO）、水性ガス反応（C+H2O→

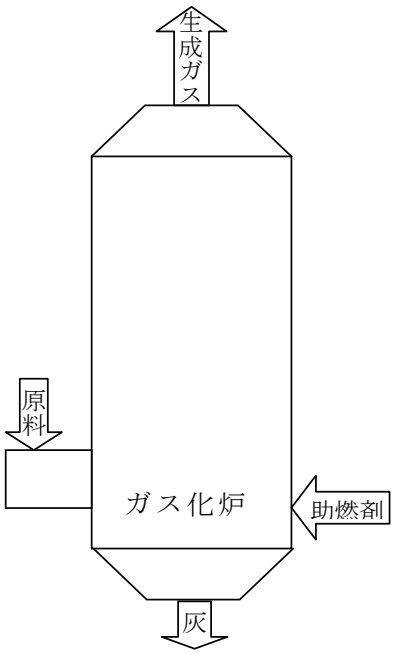


図9.1.1-1　ガス化炉例

H2+CO）などによりチャーもガス化し CO と H_2 が生成する。

また、部分燃焼をさせないで外部から加熱し中カロリーガスを製造することもできる。

9.1.2 ガス化発電

ドライ系の比較的水分の少ない木質バイオマスは、燃焼や熱分解などのエネルギー変換方式に適しているが、エネルギー密度が低いのでバイオマスをペレット状に加工あるいは炭化するなどの工夫をして、エネルギー密度を高め燃焼温度を高温化することで熱効率を上げるようにしている。しかしバイオマスボイラを用いたランキンサイクルでの動力の取出しでは小容量の場合に高効率化は困難である。一方、バイオマスをガス化して燃料に使用できれば、効率の高いガスエンジンなど既存の機器を利用して動力を取り出し発電することも可能となる。ガス化発電であれば、小型でも 20%程度の電気エネルギーを得ることが可能となる。

ここで、2005 年 2 月に 500 時間連続ガス化発電運転を達成している山口市にある NEDO･中外炉の森林バイオマスガス化発電実証試験の結果では 20.1%の発電効率を得ている。**図 9.1.2-1** に試験装置の概略フローとエネルギー取り出し量を示す。

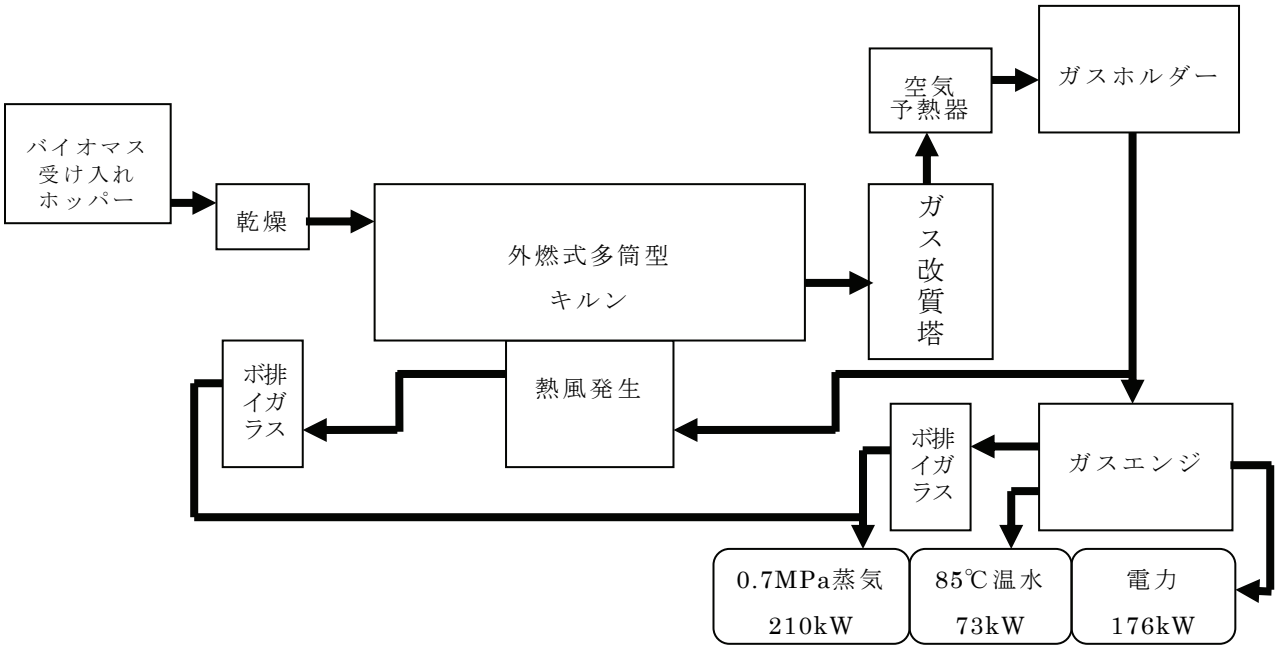


図 9.1.2-1 試験装置の概略フロー

ここでのバイオマス原料の供給は**表 9.1.2-1** に示したように製材所から空気搬送により 210kg/h（5t/d）が自動的に送られる。熱風発生炉からの排ガスを熱源とする排ガスボイラの排熱により乾燥されてガス化炉の外燃式多筒型キルンにすくい上げられてはいる。このキルンは熱風発生炉により 700～850℃に加熱され、中のバイオマスは熱分解しガスを生成する。このガスはガス改質塔で 1,100℃に加熱され、空気予熱器などを経てガスフォルダーに蓄えられる。ガスフォルダーからガスエンジン、熱風発生炉に供給される。ガスエンジン発電機では 216kW 発電され所内消費電力 40kW を差し引いた 176kW が供給される。ジャケット水から 85℃の温水 73kW、ガスエンジンと熱風発生炉の排ガスボイラ

を合わせて 0.7MPa の蒸気 201kW も供給される。システムからの温水、蒸気、電力の供給熱量は 450kW になり、熱利用率は 50%を超える。

表 9.1.2-1　バイオマスガス化発電出力

原料	出力	
バイオマス （16%wetbase） 210kg/h（5t/d）	電力	216kW（所内消費分 40kW 含む）
	蒸気（0.7MPa）	201kW
	温水（85℃）	73kW

9.2.3 バイオマスガス化発電の課題

実証プラントでは、原料となるバイオマスが製材所から自動的に送られるなど恵まれた環境にあり、熱効率の面からは蒸気、温水の用途があり良いシステムである。一般的にバイオマスはエネルギー密度が低く、原料となる林地残材収集の経費もあり燃料コストが化石エネルギーに比べて高価になる。林地残材の収集面からも大容量化が困難でスケールメリットの追求ができない。バイオマスのガス化に伴い副生物のタールの処理が困難でシステムを複雑化している。地産地消に適したバイオマスガス化発電であるが、これらの課題が普及を阻んでいる。

9.2　石炭ガス化複合発電（IGCC）

石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle）システムは、石炭をガス化し、ガスタービンコンバインドサイクル発電に供給し発電するシステムであり、従来型の石炭火力よりも数段高い発電効率が得られる。

9.2.1　石炭の分類

表9.2.1-1に石炭の分類例を示す。石炭は天然の炭化作用を受けたもので、世界的に幅広く分布しており、石炭の性状に大きな幅がある。石炭は固体であるため、性状の調節は困難であり利用に当たっては、その性状に応じた方法を用いる必要がある。そのためには石炭の性状を的確に把握できるように、体系的に分類することが非常に重要となる。この分類には石炭化過程の進行度を基に分類する炭化度による分類が用いられ、炭化度の低いものから順に泥炭、亜炭、褐炭、瀝青炭および無煙炭に分類される。石炭化が進んだ無煙炭と瀝青炭の一部では、燃焼のしやすさを示す因子である燃料比（燃焼性の良い揮発分に対する燃焼性の悪い固定炭素の重量比率）により分類される。

表9.2.1-1　石炭の分類（JIS M1002）

分類		発熱量（補正無水無灰基） kJ/kg	燃料比	粘結性
炭質	区分			
無煙炭（A）	A1	—	4.0以上	非粘結
	A2			
瀝青炭（B、C）	B1	35,160以上	1.5以上	強粘結
	B2		1.5未満	
	C	33,910以上35,160未満	—	粘結
亜瀝青炭（D,E）	D	32,650以上33,910未満	—	弱粘結
	E	30,560以上32,650未満	—	非粘結
褐炭（F）	F1	29,470以上30,560未満	—	非粘結
	F2	24,280以上29,470未満	—	

9.2.2　石炭のガス化

石炭ガス化に用いられる石炭は、元素分析（無水無灰ベース）で炭素が約70～90%、水素が4～7%、酸素が5～20%で、残りは窒素，硫黄などの組成上の特徴を有する瀝青炭が一般に用いられる。因みに石炭のガス化はイギリスのW･マードックが西暦1800年頃に石炭をガス化したことが始まりとされ、1850年にはロンドンの大部分でガス灯が使用されていた。

化学結合が安定な状態の石炭を熱分解してガス化するには、石炭を相当温度まで加熱するエネルギーを必要とする。原料の石炭を部分燃焼させることで石炭を加熱するエネルギーを得る。また、このエネルギーを吸熱反応である発生炉ガス反応、水性ガス反応に供給することでH_2、CO、などの生成ガスを得る。また、石炭の粒径、石炭の供給方法、混合方法、酸素または空気の供給方法、反応時間、などの組合せによって多くのガス化方式がある。石炭ガス化炉には、①火格子の上に置かれた石炭を長時間かけてガス化する固定床ガス化炉、②下方からの空気で流動状態となっている砂などで形成される流動媒体の層中に0.04～1mmの石炭粒子を投入し，粒子の活発な混合接触状態の中で石炭をガス化する流動床ガス化炉、③空気などの気流搬送により1mm以下に微粉化した石炭を炉内に供給し、1,200℃以上の高温下で秒オーダの短時間で反応させる噴流床ガス化炉が代表的なガス化炉である。ガス化炉にはそれぞれ長所短所がある。

9.2.3　IGCCの事例

IGCC実証機の概略フローを**図9.2.3-1**に示し、**表9.2.3-1**に仕様を示した福島県いわき市（常磐共同火力（株）勿来発電所構内）に2004(H16)年度～2007(H19)年度の間に出力250千kWのIGCC実証機を建設し、2007(H19)年9月～2010(H22)年度末にかけての約4年間にわたる実証試験において信頼性や運用性、耐久性、経済性などの検証を進めた結果、夏季ピーク期間（3ヶ月）相当の安定運転を確認するなど信頼性、排ガスの環境性、微粉炭火力に比べて建設費が商用段階で2割程度増の見込みであるが、燃料費は熱効率の向上分の約2割の低減が見込める経済性、送電端効率42.9%といずれも当初の目標･指標を達成している。

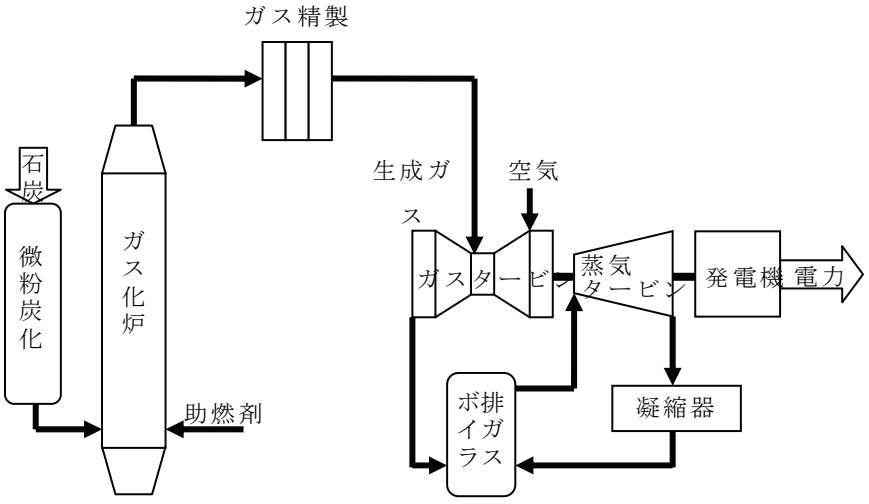


図 9.2.3-1　実証機概略フロー

表 9.2.3-1　IGCC 実証機の仕様

出力	250 千 kW	
石炭使用量	約 1,700t/d	
方式	ガス化炉	空気吹きドライフィードガス化
	ガス精製	湿式ガス精製（MDEA）＋石膏回収
	ガスタービン	1,200℃級
効率（LHV）	送電端	42.9%

IGCCの効率向上にはガスタービンの燃焼温度が大きく影響するので、ガスタービンの燃焼温度と送電端効率について見てみると、**表9.2.3-1**に示す三菱重工のIGCCシステム効率によれば、ガスタービンの燃焼温度が高温になるほど発電端出力も大きくなっており、次世代タイプの1,600℃では効率が49%と50%に手の届くところまで来ている。

表 9.2.3-2　ガスタービン温度と容量･効率

	ガスタービン温度			
	1,250℃	1,350℃	1,500℃	＞1,600℃
50Hz（701 系）	250MW、42%	430MW、45%	600MW、48%	＞750MW、＞49%
60Hz（501 系）		340MW、45%	500MW、48%	＞550MW、＞49%

9.2.4　IGCC の特性

① 従来の石炭火力では利用が困難な灰融点の低い石炭に適合することができ適用炭種の拡大を図ることができる。

② システムが高効率化されるので、発電電力量（kWh）あたりの SOx、NOx、ばいじんの排出量が低減できる。

③ 従来型石炭火力では、多量の石炭灰が発生するが、IGCC ではガラス状のスラグとして排出されるため容積がほぼ半減でき、スラグは、セメントの原材料や路盤材等としてリサイクルが可能である。

④ IGCC はコンバインドサイクルなので従来の石炭火力に比較して温排水量を約 3 割低減できる。

⑤ 排ガス段階でばい煙処理を行う従来の石炭火力に比べ、燃料ガス段階で処理を行う IGCC では用水使用量を大幅に低減できる。

9.3　コンビナートの連携

ここではエネルギー･資源の高度活用の面から「石油コンビナート高度統合運営技術研究組合」の事業報告から紹介する。「石油コンビナート高度統合運営技術研究組合」は平成 12 年 5 月にコンビナートの国際競争力強化を目的に石油産業及び石油化学産業等の 20 社により設立され、次の第 1 次から第 3 次の「コンビナート･ルネッサンス事業」を実施

している。

① 第 1 次研究開発事業（平成 12～14 年度までの 3 ヵ年）では、全国 5 地区でコンビナート内設備の共同運用による製品や原材料の最適融通等を行う高度統合運営技術開

② 第 2 次研究開発事業（平成 15～17 年度までの 3 ヵ年）では、全国 5 地区でコンビナートの環境負荷低減対策技術の確立、合理化･高度化を図るための副生成物高度利用及びエネルギー統合回収･利用に関わる高度統合技術の開発

③ 第 3 次研究開発事業（平成 18～21 年度までの 4 ヵ年）では、全国 3 地区でコンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、異業種異企業間における高効率生産技術や高付加価値原料製造技術等の開発

また、平成 21～25 年度の 5 ヵ年計画では、製油所の競争力を強化するために石油精製業を中心とするコンビナート域内外の連携設備の効果的設置による拡大融合を促進し、原油処理量を減らすことによりエネルギーセキュリティを高めるコンビナート連携石油安定供給対策事業に取り組んでいる。平成 15～17 年度の RINGⅡ事業では鹿島地区で① 分解オフガス高度回収統合精製技術開発、千葉地区で② コンビナート先端的複合生産技術開発③ 副生成物高度異性化統合製造技術開発、堺･泉北地区で④ 冷熱･副生ガス総合利用最適化技術開発、水島地区で⑤ 副生炭酸ガス冷熱分離回収統合利用技術開発⑥ 熱分解軽質留分統合精製処理技術開発、周南地区で⑦ コンビナート原料副生成物マルチ生産技術開発が実施されている。ここでは次の事例の紹介にとどめる。

9.3.1 熱分解軽質留分統合精製処理技術開発

図 9.3.1-1 に技術開発の概念を示しており、この実施場所は水島地区で、ジャパンエナジー、旭化成ケミカルズ、山陽石油化学が連携しており、この目的は石油精製および石油化学の熱分解装置から生成する軽質留分中に含まれる硫化物等の不純物を蒸留･吸着等により除去･精製処理してクリーンガソリンや石油化学の原料等に有効利用するためのプロセス開発である。

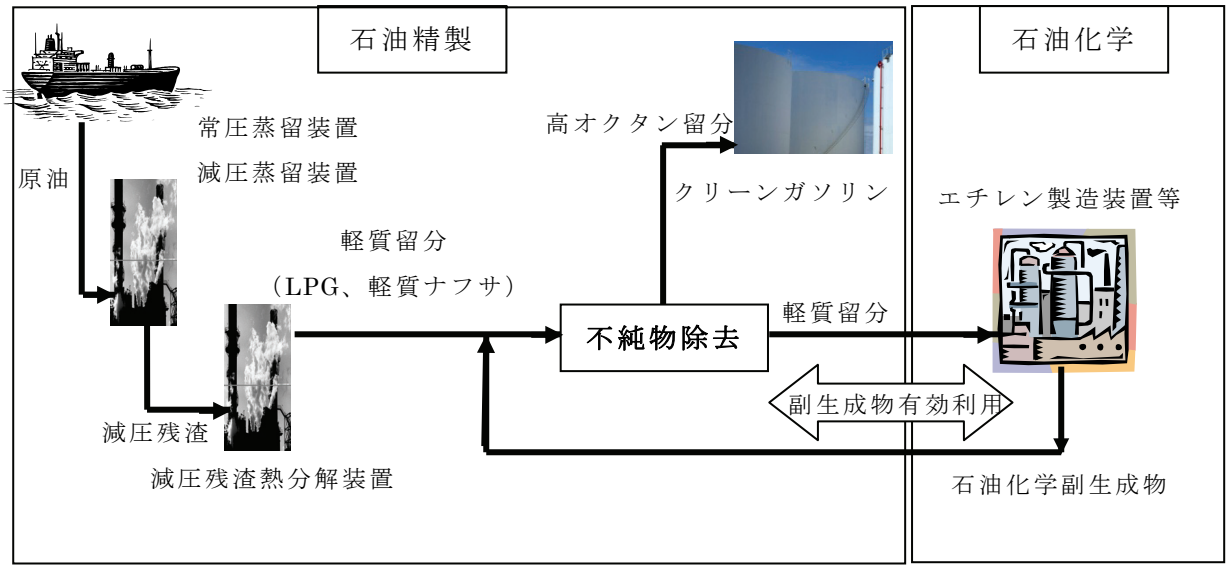


図 9.3.1-1 技術開発概念

この技術開発は、①熱分解装置から生成する軽質留分中の蒸留･吸着等による不純物除去技術、と②不純物処理システムの最適化および石油精製･石油化学の原料･製品として有効活用するための軽質留分の統合精製技術の二つの分けることができる。

① 不純物除去技術

不純物を吸着して除去する方法を採用し、LPG 系において、吸着阻害物質であるオレフィンおよびジエン存在下での机上評価の結果、熱分解 LPG 吸着脱硫の吸着剤として NaX 型ゼオライトを選定し、次いでモデル液を使ったフィールドテストでは吸着剤の再生テストも実施している。その結果、机上評価の妥当性および再生可能であることを確認している。

ナフサ系については、吸着剤の選定および吸着剤の再生に関する検討を机上と浸漬式試験および流通式試験により行い、NaX 型ゼオライトおよび NaY 型ゼオライトが高い吸着性能を有しているという結果を得ている。吸着剤の再生では最適な温度にて加熱処理を行うことによりフレッシュ品とほぼ同程度まで吸着性能が回復することも明らかにしている。

LPG 系、ナフサ系ともに、吸着槽の運転条件、不純物の吸着に関する評価から、原料である熱分解 LPG および熱分解ナフサに含まれる不純物濃度が変動しても、吸着槽出口では不純物濃度を所定のレベル以下まで安定的に下げ得ることを確認している。

② 軽質留分の統合精製技術

研究活動により得られた基礎データに基づき、統合処理フローを設計し、熱分解軽質留分精製設備の設置を行っている。熱分解装置で生産される軽質留分は、バッチプロセスのため硫黄分･窒素分などの不純物および流量の変動幅が大きい。LPG においては、短期的には流量変化、長期的には硫黄分･窒素分の変化が大きい傾向にあり、ナフサ留分においては、不純物･流量ともに同程度で、連続プロセスの変動幅より大きいものの、LPG のそれよりも小さ。これらの検討結果をもとに、LPG 系およびナフサ系処理フローをそれぞれ構築している。

LPG の処理フローは吸着塔で、ナフサの処理フローは、ナフサスプリッターと吸着塔で構成されている。いずれの吸着塔も内部での偏流防止のためアップフローである。これらの処理フローにもとづき、実証化研究設備の設計･製作･設置を行っている。

実証化研究では不純物除去装置で処理した LPG および重質ナフサについて、ベンゼン製造装置、エチレン製造装置等の石化装置原料として処理を行った結果、4～5%程度収率を改善している。また不純物除去装置で処理した軽質ナフサについては、酸化安定性の改善が期待され、実装置で得られた軽質留分は事前評価以上の品質であり、クリーンガソリン基材として使用できることを確認している。

今後の課題としては、このプロセスのキーである吸着剤に関し長寿命、低コスト、容易な再生などが残っている。

9.4　今後の展望

水源の確保、大気の浄化、生物種保全などの面からも森林の保全の面からも、除間伐による整備は重要であり除間伐材や林地残材の有効利用は欠かせない。エネルギーの地産地消を考えるとバイオマスのガス化による発電設備は有用である。そのための政策および小容量機でも低コストの技術開発が待たれる。エネルギー資源に乏しいわが国では偏在の少ない石炭を高効率に利用することは戦略の一つとなり得る。高効率発電の IGCC 技術の活用は GHG 排出量削減の国際貢献にもつながるので、低炭化度の炭種への拡張が望まれる。コンビナートの連携では、例示した「熱分解軽質留分統合精製処理技術開発」の効果が 4～5%では、すでに高度活用されていると推測できるので、さらに高度化された統合の推進を期待する。

第 10 章　まとめ

東日本大震災とそれに伴う福島第 1 原発事故により原発の稼働が極度に低下し計画停電等の節電と火力で急場を凌ぐ結果となり必然的に CO_2 排出量は増加傾向となる。

一方、昨年末に南アフリカ･ダーバンで開催された COP17 ではすべての国が参加する「ダーバンプラットホーム」の合意を得たものの、福島第一原発事故を鑑みて日本は延長期間に参加せず第 2 約束期間への参加国は現在より減り、欧州連合(EU)やノルウェーが中心となる。各国の削減目標や運用ルールは来年カタールで開く会議で決定を目指すことになった。しかし、大気中の CO_2 濃度は約 2ppm/y の割合で増加している現実があり、CO_2 排出量削減の努力は欠かすことができない。ここでは、**第 1 章**でも述べたように①非化石エネルギーの活用技術、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、③エネルギー利用の高効率化システムの 3 つのテーマを設定し、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。

10.1　非化石エネルギーの活用技術

第 2 章「バイオマスの活用」では、林地残材を活用する場合について発電設備容量を試算し、高効率発電が可能な中規模(5MW～50MW)程度の設備に集約し、蒸気条件を可能な限り高温･高圧にするという結果を得た。バイオマス発電は太陽光発電、風力発電と比べて電力デマンドに柔軟な対応が可能であり電力系統の安定運用のためにも重要な電源の一つであり、バイオマス資源を有効活用するバイオマス発電事業立ち上げのためにも再生可能エネルギー特別措置法の細目が一日も早く決定されることを望む。

第 3 章「小水力発電の活用」では、1～30MW の中小水力規模が主であり中小水力･地熱発電開発費等補助金事業、再生可能エネルギーの全量買取制度（FIT）の対象に対応しており、全国に分散する水力資源を活用すれば発電電力量は相当なものになる。小水力発電は小規模であるほど導入個所は増加するが採算性、技術の対応性、法的手続きや管理体制などが大規模水力に比べて問題となりやすい。今後の普及のために技術面はもとより地域貢献などの効果を加味した政策面のさらなる課題解決が求められる。

第 4 章「海洋温度差エネルギーの利用」では、海洋温度差は海洋を考えても賦損量は多大にあるが、温度差が小さいのでエネルギー密度は小さくなる。したがって発電のみではコスト的に見合わず、海水中に含まれるレアメタルの回収、海水の淡水化などと複合したシステム例を提示した。また中国は沖ノ鳥島を「島」ではなく排他的経済水域を設定できない「岩」であると主張しており、沖ノ鳥島が風化したり波の下にもぐってしまうと日本の国土面積に相当する経済水域を失ってしまうことになりかねない。国土保全の立場から沖ノ鳥島を実効支配するためにも灯台設置や港湾建設、海洋生物調査、気象･海象観測、漁業など様々な経済活動を継続して行う必要があり、そのためにも海洋温度差発電、海水の淡水化プラントなどを設置し排他的経済水域（EEZ）の維持を図ることも紹介した。

第 5 章「太陽エネギーの利用」では、(a)太陽光発電、(b)可視光の光発電と赤外光の熱電発電と排熱回収の組み合わせる太陽光分離型、(c)太陽熱電発電と排熱回収の組み合わ

せ、(d)バイオマスの熱電発電と排熱回収の組み合わせ、の各方式の総合熱効率を示し、太陽エネルギーの高効率利用方法としてバイオマスエネルギーと組み合わせるスマート熱電併給（SHP：Smart combined Heat and Power）を提案した。この技術は震災等でライフラインに障害が発生し電力供給が途切れた場合でも役立つ。

10.2　エネルギー消費量の総量を削減する省エネルギー技術

第６章「家庭部門における省エネルギーの現状と将来の展望」では、昨年の震災影響などの外部環境によって目覚めた節電意識も追い風となって通信プロバイダ系サービス事業者が取り組むNTT東日本の「フレッツ ミルエネ」やNTTスマイルエナジー（NTT西日本系）「エコめがね」などの普及が期待される。家庭向け省エネ支援サービスは金額に見る市場規模は他のハードを含むシステム市場より小さいが、近年注目されているスマートフォンユーザーや SNS 利用者向けの次世代高速通信インフラを活用した豊富なコンテンツサービス分野など新たなビジネスチャンスが期待され、サービスレベルでのインフラ構築はさまざまな機器をつなぐ支配的プラットフォームになる可能性が大きく、エネルギー供給事業者や機器メーカーが支配していた普及構造が大きく変わり、ICT サービス企業等が中心になった新たなHEMS市場が動き出す可能性の高いことを示した。

第７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、敷地への日射のエクセルギーが使用する電気のエクセルギーより大きく、また地中熱や水道水の熱エネルギーはヒートポンプの熱源としての効率的な利用など、エクセルギーとエネルギーの 2 つの値を用いて、再生可能エネルギーの特徴を把握･確認し、かつ地域の異なる日本の代表都市の検討からエネルギーシステムの確立と運用の一助となる再生可能エネルギーの導入検討のための基礎的なデータを示した。

10.3　エネルギー利用の高効率化システム

第８章「持続可能なクリーンエネルギーへ」では、わが国は一次エネルギーの96%を輸入に頼り、このコストは2008年にはGDPの4.6%に相当する23兆円まで増大し膨大な国富の流出を招いている。また福島第一原発の事故の影響で原発を止めることにでもなり、原発による発電電力量を総て天然ガス火力で補うには4,000万tの追加輸入が避けられず安価な代替エネルギー確保が望まれている。これらを鑑み今後のエネルギー高騰、資源の偏在が比較的少なく可採埋蔵量の多い石炭の活用についてまとめ、再生可能エネルギーとその他を利用して海外の安価な石炭をCO_2回収･貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）により環境性の高いCO_2フリーの二次エネルギーに転換し日本で利用する方策と、廃坑や海底地層などにCO_2を貯留する場合にも環境アセスメントが必須であり地域住民への対応、CO_2輸送方法などのCCSに伴う課題を提示した。

第９章「ガス化技術とエネルギー連携」では、バイオマスガス化発電、石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle)、熱分解軽質留分統合精製処理技術開発、の事例を示した。バイオマスガス化発電の事例は製材所からバイオマス原料が自動供給され、ガス化炉からの生成ガスがガスエンジンの燃料となって電力と蒸気･温水を供給するコ･ジェネレーションにより、熱利用率が 50%を超えている。石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle）は可採埋蔵量が多く

資源として偏在の少ない石炭火力をクリーンに利用する技術で、ガスタービン温度1,250℃級の実証機で送電端効率が 42.9%を達成しており、次世代の 1,600℃超級では50%に手の届く 49%超の効率が期待されている。熱分解軽質留分統合精製処理技術開発は石油精製プラントと石油化学プラントの副生成物有効利用からさらなる統合の高度化が期待される。

10.4　ロードマップ

モジュール 1m² 当たりの出力 150W の太陽電池 20m² をわが国の持家総数に匹敵する25,000 千戸に設置すると 75,000 千 kW の設備となる。1kW の設備で年間 1,000kWh の発電量があるので、これらの発電総量は 750 億 kWh となり、全電力量の約 8%に相当する。また 2010 年度の太陽電池の国内生産量は国内向け（1,063 千 kW）海外向け（1,476 千 kW）を合わせて 2,539 千 kW であるから、この生産ベースでは全部を利用しても 30 年近くを要する。福島第 1 原発の事故を受けて原発に関してマイルドのシナリオとして既存の原発は寿命（40 年）まで運転し以後は廃炉にするケースを考え、わが国の人口は減少に転ずるが、電力需要は人口に比例する。既存の水力発電の発電量は変化しない、新エネルギー他は太陽光発電パネル分のみが増加し国内総生産量が設置され累積されるものとし、かつ出力 1kW の太陽光発電設備の年間発電量を 1,000kWh、省エネルギーは個人当たり 2010 年度の 5%として電力需給を考える。この結果を**図 10.4－1** に示す。また省エネルギーを個人当たり 2010 年度の 10%として電力需給を考えたものを**図 10.4-2** に示す。

2050 年度には人口が半数近くまで減少する予測とはいえ、火力発電量は 35%減となり、人口減と太陽光発電の累積の増加で相乗的に減少する。しかし、2025 年度、2030 年度、2035 年度は原発停止の影響が大きく火力発電量の増加が見込まれている。

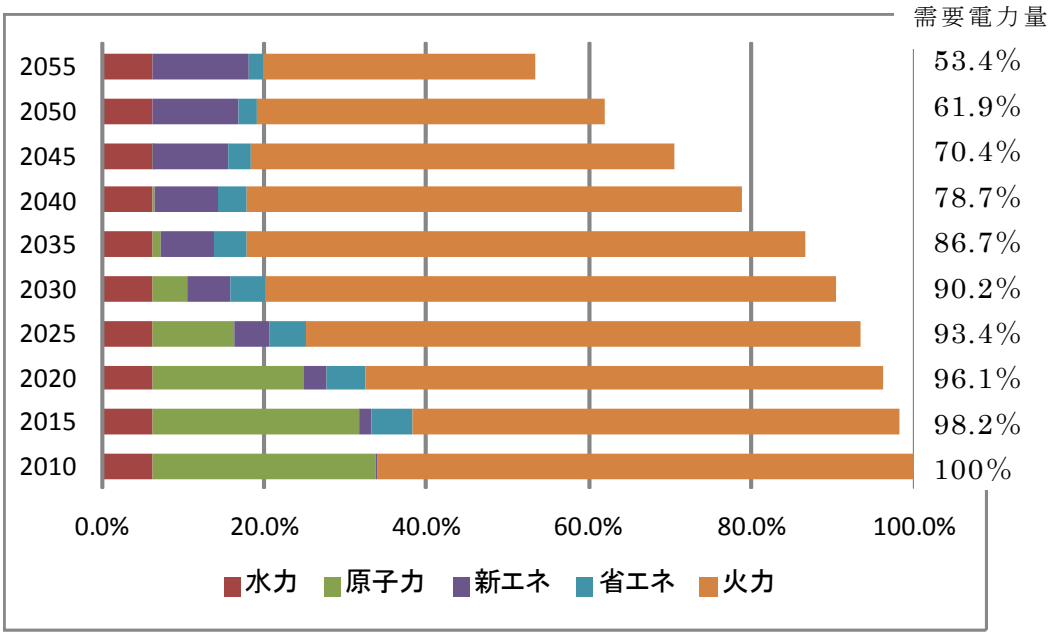


図 10.4－1　電力需要の推移（省エネ５%）

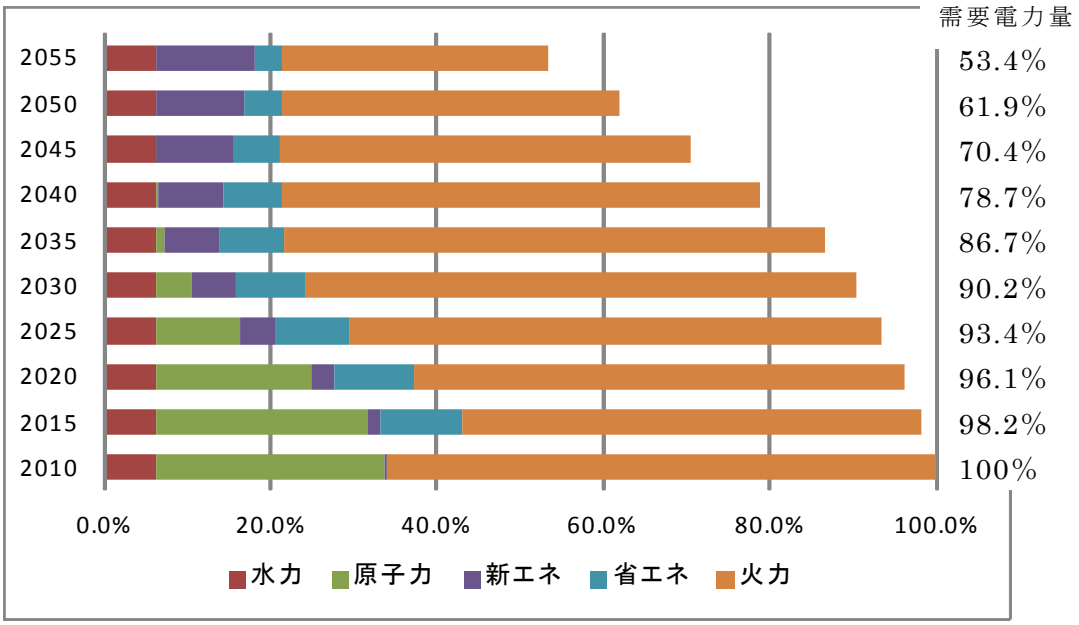


図 10.4－2　電力需要の推移（省エネ 10%）

省エネルギーを個人当たり 2010 年度の 10%に増やしても、火力の発電電力量の減少は多くないので、低炭素エネルギー社会システムを構築するためのロードマップとして以下のことを掲げたい。

① **短期**：自然エネルギー導入を図るために「再生可能エネルギーの全量買取」はコストとの相関であるが魅力ある価格で実施する。同時に高断熱住宅などによる省エネルギーを推進すること。

② **中期**：設備のコスト削減に努めること、系統安定化のために太陽光発電量を大きく左右する天候予測等に対応したスマートグリッド等の関連技術の開発および CCS により GHG 排出量の削減を図ること。

③ **長期**：電力についても地産地消を図る上でも再生可能エネルギーによる発電電力が連系しやすく、かつ送電ロスの少ない送配電網つまり高圧直流送電を含めての再構築を検討すること。

世界的には、シエルガス、メタンハイドレードなどエネルギー資源の開発に余念がないが、化石燃料の消費は受け継いだ遺産を食いつぶし、多量の GHG 排出につながっている。このことはとりもなおさず子孫に負の遺産を残すことになるので、将来も持続可能な発展を遂げるには、再生可能エネルギーへのシフトチェンジが必須である。

わが国としては環境技術に裏付けされた実効ある削減目標をうち立て自然エネルギーの活用、省エネルギーを実行するためにも本報告が役立つことを願う。

参考文献･引用文献

【第１章】

1) 一般財団法人エンジニアリング協会：平成 22 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 23 年 3 月

2) 電機事業連合会ウェブサイト電力統計情報
URL：http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi

【第２章】

1) 総務省　バイオマスの利活用に関する政策評価書　2011 年 2 月

2) (財)エネルギー総合工学研究所　次期バイオマスエネルギー実証試験事業に関する基礎調査 p107

3) 日野俊之 Wet バイオマスのエネルギー化における VRC 乾燥の可能性、
日本エネルギー学会誌、Vol.84、p.353-358（2005）

【第３章】

1) 資源エネルギー庁：エネルギー白書2010，2011

2) 資源エネルギー庁：水力発電に関する研究会 中間報告，2008

3) ウィキペディア：揚水発電，Webサイト
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%8F%9A%E6%B0%B4%E7%99%BA%E9%9B%BB

4) 新エネルギー財団：低炭素社会構築に貢献する水力発電の着実な開発実施に向けた提言，2009

5) NEDO：マイクロ水力発電導入ガイドブック，2003

6) 資源エネルギー庁：ハイドロバレー計画ガイドブック，2005

7) 資源エネルギー庁：包蔵水力，2010
http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/index.html

8) 資源エネルギー庁：未利用落差発電包蔵水力調査　報告書，2009

9) 環境省：平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書，2011

10) 日本水土総合研究所：自然エネルギーによる環境整備政策と農村振興施策，2009
http://www.jiid.or.jp/works/jishu/pdf/05.pdf

11) 日立産機システム：エネルギー回収システム，ウェブサイト
http://www.hitachi-ies.co.jp/solution/kankyo/enekaishu/index.htm

12) 国土交通省：小水力発電を行うための水利使用の許可申請ガイドブック，2011

13) 国土交通省：水管理･国土保全局　小水力発電と水利使用許可，ウェブサイト
http://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/index.html

14) 全国小水力利用推進協議会：小水力発電ニュース「電気事業法施行規則改正」，2011
http://j-water.jp/?p=550

15) 全国小水力利用推進協議会：小水力発電に関する規制改革要望，2011
http://www.cao.go.jp/sasshin/kisei-seido/meeting/2011/energy/111216/item3-2.pdf

【第 4 章】
1) 「沖ノ鳥島の有効利用を目的とした視察団」報告書, 日本財団, 2004 年
2) 沖ノ鳥島の保全, 国土交通省　河川局　海岸室作成パンフレット
3) 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･産業技術開発機構, 2010 年度版
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) 「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」, 独立行政法人新エネルギー･産業技術開発機構資源･エネルギー利用技術研究分科会, 木村 春男, 2003 年
7) 田原聖隆･小島紀徳･稲葉敦, “LCA 手法による発電プラントの評価：CO_2 ペイバックタイムの算出”, 化学工学論文集, 23-1, pp.88-94(1997)
8) 平松茂雄, “中国海軍の西太平洋進出と沖ノ鳥島”, 公研, No. 580, pp.90-98(2011)

[第 5 章]
1)Business Wire ウェブサイト（閲覧日　2012 年 2 月 10 日）
http://www.businesswire.com/news/home/20110526007026/ja/
2)矢野歳和 新野正之 木皿且人, 太陽エネルギーの高効率利用とスマート熱電併給 SHP, ケミカルエンジニアリング, Vol. 57, No. 2, pp. 38-42, 2012
3)高橋唯華 矢野歳和 伊藤成香 新野正之 木皿且人, バイオマスや太陽と熱伝変換素子による災害対策用のスマート熱電水併給システム, 日本エネルギー学会, 第 7 回バイオマス科学会議発表論文集, Pa-409, pp. 134-135, 2012
4)古田嘉広, 光伝送技術を用いた太陽エネルギー高効率利用について, 宮城大学食産業学部, 学部卒業論文, 2011
5)Toshikazu Yano, Satoru Suginome, Masayuki Niino, Katsuto Kisara, Kazuyuki Suzuki, Toichiro Ishikawa and Yuika Takahashi, Smart Heat and Power (SHP) against Disaster by Solar and Biomass Combination Utilizing Thermoelectric Converter, the International Solar Energy Society (ISES), Proceedings of the Solar World Congress 2011, Paper No. 41390, Kassel, Germany, 28 August - 2 September, 2011
6)矢野歳和, 木皿且人, 鈴木一行, 石川東一郎, 新野正之, 熱電発電と太陽電池の共存, 日本金属学会誌「まてりあ Materia Japan 」, 日本金属学会, 第 50 巻, 第 4 号, pp. 158-160, 2011.4
7)読売新聞／平成 23 年 12 月 13 日記事「京都議定書延長合意」
8)高木達也, 化合物太陽電池, シャープ技報 2010 年 2 月, 100, (2010) 28
9)永井猛, 岡本和久, 竹内由実, 塚田龍也, 渡部洋介, 佐々木裕文, 和田祐介, 土橋亮太, スマートエネルギーネットワーク実証試験その 1（特定エリアにおけるスマートエネルギーネットワークの構築）, 第 20 回日本エネルギー学会大会, 関西大学, 大阪, 講演要旨集 6-3-1, pp.284-285, Aug. 9-10, 2011

【第６章】
1) 資源エネルギー庁ウェブサイト「夏期の電力需給対策のフォローアップについて」
http://www.meti.go.jp/press/2011/10/20111014009/20111014009.html
2) 環境省 エネルギー白書 2011
3) 東京電力 2011.7.12 プレスリリース資料
4) 東京ガス 2011.10.14 プレスリリース資料
5) 省エネルギーセンター（ECCJ）ウェブサイト「快適！省エネライフ
http://www.shouene-katei.jp/
6) 富士経済「スマートハウス関連技術・市場の現状と将来展望 2012」

【第７章】
1) 第 52 回全国水道研究発表会　52nd JWWA Symposium (2－7)大規模商業地域における土地建物用途別原単位の研究（東京都水道局　藤原氏）p36　平成 13 年 5 月 23 日（水）－25 日（金）
http://www.asahi-net.or.jp/~kv6t-ymgc/25sympo/raccoon_sympo_jwwa52.htm#
2) 経済産業省、エネルギー白書 2011
http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2011energyhtml/index.html
3) 自然エクセルギー賦存量の計算、西川竜二、日本建築学会計画系論文集、第 504 号、39-46、1998 年 2 月
4) Excergy-Entropy Process of Electric Lighting System Using Fluorescent Lamps、浅田秀雄、日本建築学会計画系論文集、第 483 号、91-100、1996 年 5 月
5) ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開に関する研究会報告、経済産業省、http://www.meti.go.jp/press/20091124002/20091124002.html、平成 21 年 11 月 24 日(火)

【第８章】
1) 地球温暖化対策としての二酸化炭素海底下地層貯留の利用とその海洋環境への影響防止の在り方について　平成 19 年 2 月 二酸化炭素海底下地層貯留に関する専門委員会
http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-48/mat01.pdf
2) 平成 19 年 5 月 30 日に公布された,海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律の一部を改正する法律
http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8612
3) 小名浜火力発電所環境影響評価準備書に対する環境大臣意見の提出について
http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11157
4) 産業構造ビジョン 2010 骨子案(経済産業省、平成 22 年 6 月)
http://www7b.biglobe.ne.jp/~pc-bl100jbl200id/2010.7.html
5) 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可の申請に係る指針　平成 20 年 1 月
http://www.env.go.jp/water/kaiyo/ocean_disp/1hourei/pdf/t7_CCS_sisin.pdf

【第９章】
1) 北海道大学大学院工学研究科ウェブサイト大気環境保全工学分野　木質バイオマスガス化 http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~r16736/gasification.html
2) APEC 環境技術交流バーチャルセンターウェブサイト　木質バイオマスのガス化発電 http://www.apec-vc.or.jp/j/modules/tinyd00/index.php?id=85&kh_open_cid_00=3
3) 独立行政法人産業技術総合研究所　バイオマス研究センターウェブサイト　バイオマスのガス化技術 https://unit.aist.go.jp/btrc/research/BTLTotalSystemTeam/theme02.html
4) 三菱重工株式会社　ウェブサイト　製品情報石炭ガス化複合発電 http://www.mhi.co.jp/products/category/integrated_coal_gasfication_ combined cycle.html
5) クリーンコールパワー研究所ウェブサイト　IGCC（石炭ガス化複合発電）について http://www.ccpower.co.jp/igcc/dimension.html
6) クリーンコールパワー研究所ウェブサイト　石炭ガス化複合発電（IGCC）実証試験研究の初期目標の達成について http://www.ccpower.co.jp/press/pdf/101110_press.pdf
7) 石油コンビナート高度統合運営技術研究組合ウェブサイト http://www.ring.or.jp/
8) 石油コンビナート高度統合運営技術研究組合ウェブサイト RINGⅡ技術開発研究成果報告会　http://www.ring.or.jp/pj/pdf/RING2report.pdf

【第10章】
1) 資源エネルギー庁ウェブサイト　エネルギー白書 2010
URL：http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-3.html
2) 総務省統計局ウェブサイト　日本の統計　人口の推移と将来人口
URL：http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm
3) 電機事業連合会ウェブサイト電力統計情報
URL：http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi
4) JPEA 太陽光発電協会ウェブサイト
URL：http://www.jpea.gr.jp/04doc01.html

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　生物多様性と関連条約

一昨年 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よるが「生物多様性」という言葉が盛んに新聞紙上を賑わすようになってきた。温室効果ガスによる地球温暖化問題が今世紀最大の課題であることに異論はないが生物多様性の重要性が急激に話題となりつつあり関心を集めている。1992 年リオデジャネイロで行われた地球サミットで採択された「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」とともに双子の条約（リオ宣言）である。本章では前者の生物多様性に関連する条約を中心にこれまでの経過等について考察した。

1.1　IPCC 第 4 次評価報告書と生物多様性

2007 年 2 月に出された IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第 4 次評価報告書によれば気候変動は既に進行中であり 20 世紀半ば以降の平均気温の上昇はほとんど人為的（90%の確率）によるものであると結論を出している。シナリオにより将来予測は異なるが 2100 年での平均気温は 1.8℃から 4.0℃の範囲にある。平均気温が 1.5℃から 2.5℃を超えた時には生態系の破壊や、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。進化の過程で多様化した生物の中には人間の活動により絶滅の危機に瀕しているものがあり、既知の哺乳類、鳥類、両生類の種のおよそ 10～30%にその恐れがあるといわれている。さらに、4.0℃以上、上昇した場合は重大な絶滅（40%以上の種）を予測している。この半世紀で世界のエネルギー消費は 3 倍に穀物の需要は 2 倍に上昇し、また、地表の約 10%が農地になり森林の大幅な減少が続いている。国連によると世界の人口は産業革命時代から約 5 倍増加し、2011 年で 70 億人、2050 年に 91 億人、今世紀末には 100 億人に達するといわれている。世界のエネルギー消費は 2008 年に原油換算で 110 億トン、二酸化炭素の排出は 280 億トンを超えた。緊急の課題として、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温暖化を止めることなどの対策が求められている。

1.2　生物多様性に関連した国際条約

生物多様性条約が発効したのはリオ･サミット翌年の 1993 年であるが生物や生態系の保全･保護に関する条約はそれ以前から存在していた。例として、水鳥の生育に重要な湿地の保全･保護に関するラムサール条約や生きている動植物や革製品、漢方薬、亀や象牙の剥製などをむやみに輸出したり輸入したりすることが出来ないワシントン条約は今から 35 年程前の 1975 年に発効されている。しかし、これらの条約だけでは充分ではなく世界経済の成長に伴い新たに生物の多様性を包括的に保全して生物資源を持続可能な形で利用するための国際的な枠組みが必要となりリサ･ミットで生物多様性条約が採択された。本節では 1970 年代以降における生物多様性に関連した国際条約について概要を述べる。

1.2.1 ラムサール条約

水鳥の生息地である湿地や動植物の保全･保護、湿地の適正利用を行うことを目的とした条約である。湿原、沼沢地、干潟等の湿地は多様な生物を育むが、特に湿地は干拓や埋め立て等の開発の対象になりやすく、その破壊をくい止める必要性が認識されるようになった。水鳥の多くは国境に関係なく渡りをすることから、国際的な取組が求められるようになり、1971 年 2 月ラムサール（イラン）で開催された「湿地および水鳥の保全のための国際会議」において「特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約」が採択された。1975 年 12 月発効、我が国は 1980 年 10 月に加盟した。2010 年 2 月現在、締約国 159 ケ国、登録湿地数は 1886 ケ所で合計面積は 185,156,612ha に及び、我が国の約 5 倍に当たる面積が登録されている。条約締約国が行うべき措置が以下のように決められている。

①各湿地の管理計画の作成、実施（保全と懸命な利用の推進）
②各条約湿地のモニタリングと定期的な報告
③湿地の保全に関する自然保護区の設定
④湿地の保全管理に関する普及啓発、調査の実施

我が国の登録湿地：2002 年の第 8 回締約国会議の時点で我が国の条約湿地は 13 か所であった。2008 年に新たに 4 湿地を登録し我が国の条約湿地数は合計で 37 ケ所となった。従来から我が国は水鳥の生息地を主な対象として登録を行ってきたが、最近では我が国を代表する多様なタイプの湿地を登録するとの方針のもと、マングローブ林、サンゴ礁、地下水系、さらには水田を含む沼地、ウミガメの産卵地などこれまであまり登録されてこなかった形態の湿地を条約湿地に指定した。一方、途上国から研修生を受け入れるなど我が国の本条約に対する取組に締約国からの評価は高い。

1.2.2 ワシントン条約（絶滅の恐れのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）

1972 年の国連人間環境会議において「特定の種の野生動植物（絶滅危惧種の輸入･輸出および輸送に関する条約案を採択するための政府または政府組織主催に会議を出来るだけ速やかに開催すること」が勧告され、1973 年 3 月にワシントンで希少動植物の国際的な取引を規制することを目的として採択された。本条約はワシントン条約（CITES）と呼ばれ 1975 年 7 月に発効、我が国は 1980 年に批准した。輸出国と輸入国が協力し絶滅が危ぶまれる野生動植物の国際的な取引を規制することによりこれらの動植物の保護を図るが、絶滅の恐れのある動植物の野生種を希少性に応じて 3 つのランク（①商業目的の国際取引が原則禁止、②商取引に輸出国の許可が必要、③②と略同じで原産国が独自に決められる）に分けてリストアップし、合計約 30,000 種の動植物を取引制限の対象としている。締約国会議は 2 年に 1 回開催されこれまで 15 回行われた。第 16 回会議は 2013 年にタイで開催される。現在、175 ケ国参加している。

1.2.3 ストックホルム条約

海洋汚染の大きな原因である物質として「合成有機化合物」があるが、1990 年代に入りこの問題への国際的な取り組みが急がれた。早急に対応が取られることが必要な 12（規制対象物質）の残留性有機汚染物質（Persistent Organic Pollutants：POPs）の減少に

向けて行動することが決まり、2001 年 5 月にストックホルムで行われた外交会議で「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」が採択された。本条約は 2004 年 5 月に発効、2009 年 7 月、現在、我が国を含めて 152 ケ国と EC が署名している。残留性有機汚染物質（POPs）は毒性が強く、難分解･生物蓄積性があり、越境移動（長距離移動性）の可能性のある化学物質で、環境中に放出された際には人の健康に悪い影響を与へたり、生物への影響が懸念される。条約は人の健康と環境の保護を目的とし以下の項目が記載されている。

① PCB 等の物質の製造･使用･輸出入の禁止。

② DDT の製造･使用･輸出入の禁止。

③ 非意図的に生成されるダイオキシン等の放出削減、およびこれらの関連廃棄物の環境

上適正な管理等を定めている。

2006 年 5 月に第 2 回締約国会議がジュネーブで開催され、関連条約であり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について記載されているバーゼル条約（1989 年）およびロッテルダム条約（PIC 条約：1998 年）との連携が謳われている。

1.2.4 生物多様性条約

1992 年リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議（UNCED）の主要な成果として生物多様性条約は採択された。本条約は翌年 12 月に発効、正式名称は「生物の多様性に関する条約」である。我が国は 1992 年に署名し翌年加盟した。2010 年 6 月現在、192 ケ国および欧州連合（ＥＵ）が加盟している（米国は未締結)。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。人類の反省と知恵から出来た「生物多様性条約」には住み易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。本条約は締約国に対し、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。また、生物多様性の保全のために、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。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ある。

1) 条約締結の背景と目的

人類は地球生態系の一員として他の生物と共存しており、また、生物を食糧、医療、科学等に幅広く利用している。近年、野生生物の種の絶滅が過去にない速度で進行し、その原因となっている生物の生息環境の悪化および生態系の破壊に対する懸念が深刻なものとなってきた。このような事情を背景に、希少種の取引規制や特定の地域の生物種の保護を目的とする既存の国際条約（ワシントン条約、ラムサール条約等）を補完し、生物の多様性を包括的に保全し、生物資源の持続可能な利用を行うための国際的な枠組みを設ける必要性が国連等において議論された。

本条約は生物多様性を生態系･種･遺伝子の 3 つのレベルで捕らえており、以下の項目を実現することを目的とする。

① 地球上の多様な生物をその生息環境とともに保全する（生物多様性の保全)。

・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を求めている。

② 生物資源（生物多様性の構成要素）の持続可能な利用する。

③ 遺伝資源の利用から生じる利益を公正かつ平等にバランスよく配分する。

2) 本条約に関する主要な締約国会議の概要

・第 5 回締約国会議（COP5）は 2000 年にナイロビ（ケニア）で開催された。本会議では前年（1999 年）カルタヘナ（コロンビア）で開催された生物多様性条約の第 1 回締約国特別会議（ExCOP1）で遺伝資源へのアクセスと利益配分のガイドラインの作成等を定めた「生物多様性条約バイオセフティーに関するカルタヘナ議定書」が正式に承認された。

・第 6 回締約国会議（COP6）は 2002 年ハーグ（オランダ）で開催された。この会議は条約発効 10 年間の議論を集大成し「対話から行動へ」を主題に行動を展開していく基盤を築き大きな節目となった。本会合では条約の戦略計画（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目標）等の決議が採択された。

・第 7 回締約国会議（COP7）は 2004 年クアラルンプール（マレーシア）において開催された。山岳の生物多様性、保護地域、技術移転と技術協力等に関する決議が採択された。また、クアラルンプール宣言が採択された。

・第 8 回締約国会議（COP8）は 2006 年クリチバ（ブラジル）で開催された。2010 年目標の達成への各国の取り組み等が議論され、遺伝資源へのアクセスと利益配分、保護地域･島嶼･森林の生物多様性、侵略的外来生物等に関する決議が採択された。

・第 10 回締約国会議（COP10）は 2010 年 10 月名古屋市にて開催された。前述の「生物多様性条約バイオセフティーに関するカルタヘナ議定書」が重要な役割を果した。遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS：Access and Benefit Sharing）の国際的な枠組みについて議論が行われた他、生物多様性の保護･保全、生物資源の持続的利用などについて討議された。

・第 11 回締約国会議（COP11）は 2012 年 10 月にインドにおいて開催が予定されている。

1.3 生物多様性問題とわが国の国家戦略

日本列島は南北 3 千 km に及ぶ弧状列島である。地形は起伏に富み、火山地･丘陵を含む山地の割合は国土の 3/4 を占める。気候は湿潤、温暖で四季の別が明確であり、季節風の影響が顕著なため、豊富な降水を我が国にもたらしている。急峻な地形は我が国の気候を変化に富んだものとし、様々な動植物を育んでいる。自然植生のほか、植林地や耕作地を含めたなんらかの植生（緑）で覆われている地域は全国上の 92.5%で、そのうち森林は 67.1%を占めており、単一樹種による人工植林が大半であるにしても、森林については現在も世界的に見てたぐい稀な自然環境を有している。

1.3.1　生物多様性について我が国の取組み

1995 年 10 月に地球環境保全に関する関係閣僚会議において、我が国の「生物多様性国家戦略」が始めて決定された。2002 年 3 月には「生物多様性国家戦略」の点検作業をまとめ包括的に見直した「新･生物多様性国家戦略」が決定された。また、2007 年 11 月には「第 3 次生物多様性国家戦略」が閣議決定され、翌年の 2008 年 6 月には「生物多様性基本法」が施行され生物多様性国家戦略の策定が国の責務として規定された。これらの規定に法的効力を持たせるために同法に基づく国家戦略を早期に策定する必要が生じた。その他の状況も踏まえ 2010 年 3 月に「生物多様性国家戦略 2010」が閣議決定された。その特徴のひとつは 100 年計画という長期的な目標が示されており実際の行動計画も仔細なレベルまで立てられた。最新の「国家戦略 2010」は 4 回目の改訂版で基本的な構成や計画は第 3 次生物多様性国家戦略を引き継ぎ内容は充実している。

1.3.2　生物多様性基本法とは

「生物多様性基本法」は生物多様性の保全と持続可能な利用を総合的･計画的に推進することで豊かな生物多様性を保全し、私達がその恵みを将来にわたり享受できる自然と共生する社会を実現することを目的とする。本基本法では生物多様性の保全と利用に関する基本原則、生物多様性国家戦略の策定、白書の作成、国が講ずべき基本的施策など、我が国の生物多様性施策を進めるうえでの基本的な考え方が示されている。また、国だけでなく、地方公共団体、事業者、国民･民間団体の責務、都道府県および市町村による生物多様性地域戦略の策定の努力義務などが規定されている。

・追記：基本法制定の必要性を記述するとともに生物多様性が人類の生存基盤のみならず文化の多様性を支えており、国内外における生物多様性が危機的な状況にあること、我が国の経済社会が世界と密接につながっていることなどを踏まえている。

1.3.3　我が国の対応と今後の行動

先の COP10 で議長国の役割を無事に果し「国際社会から高い評価を受けた」と盛んに報道された。ところが COP10 以降は生物多様性に関する報道が急に少なくなり「日本の役割は終わった」との意識が感じられる。今年、インドで COP11 が開催されるがこれからも日本がリーダーシップを発揮して国際社会を引っ張って行く役割が求められている。「国家戦略 2010」ではその役割を踏まえたうえで概ね 2012 年までを視野に入れて地球規模で生物多様性の保全と持続可能な利用を実現するため国際的な取り組みとして、①里山イニシャチブの推進、②科学的な基盤の強化、③科学と政策の接点の強化、④生物多様性における経済的視点の導入、⑤途上国の支援を掲げており、国民一人ひとりが生物多様性の保護･保全に向けて主体的に行動をすることが強く求められている。

1.4　21 世紀に向けて（生物多様性への脅威と生息地の破壊を回避する為に）

20 世紀、とくに前世紀後半から生物多様性の衰退が続いており多くの種が絶滅危惧種に分類されている。多くの科学者は正式に認知されていない数百万以上の種が危機にさらされていると推測している。1000 年から 2000 年にかけて起きた生物多様性の消失の原因は人間活動によってもたらされる人口爆発、森林破壊、汚染（大気･水質･土壌汚染）、

および地球温暖化や気候変動が指摘されている。これらの要因は累積しながら生物多様性に打撃を与えているが人間による有機的資源の消費（特に熱帯雨林破壊）によって、絶滅が高い速度で引き起こされている。生態系に含まれる種が絶滅すると生態系の安定度が低下するので、地球の生態系の複雑さが更に減少するならば地球生態系は崩壊を運命付けられているといっても過言ではない。生物多様性は気候変動に対してとくに大きな影響を受けるので保護･保全に最大限の努力を払う必要がある。生物多様性に対しては現在のところ、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。

世界 30 ケ国以上で生態系保護に取り組む環境 NGO である CI：コンサベーション･インターナショナルは世界中で 34 ケ所のホットスポット（生物多様性を保全する上で重要な地域）を指定して重点的な保全活動を実施している。我が国も日本列島全体がホットスポットに指定されており世界的に見て生物多様性に富む国であると認識されている。地球温暖化対策として我が国が提唱した「地球再生計画」と同じように「生物多様性国家戦略」が策定された。これには 2020 年までの短期目標では「悪化し続けている生物多様性の損失速度を止めるために行動する」、2050 年までの中期目標では「生物多様性の状態を現状以上に豊かなものにする」、2100 年までの目標では「100 年後の国土のグランドデザイン（生物多様性から見た国土）を完成させる」ことが謳われており、実現に向けた行動が強く期待されている。

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。これからは二酸化炭素（エネルギー）･生物多様性（環境）･食糧（バイオマス）という 3 つのキーワードは相互に切り離して考えられないとの認識のもとに今世紀を如何に乗り切るかが人類に課せられた最大の課題であると思われる。

第２章　生物多様性の評価と企業の取り組み

本調査研究は、生物多様性の損失による経済的な影響や、維持･回復に不可欠な評価手法、そして今後期待される生物多様性の持続的利用における企業の役割とビジネスへの展開を検討したものである。

2.1　生物多様性の主流化

生物多様性によるサービスは多岐にわたり、その影響範囲は地球規模にも及ぶ。生物多様性の喪失による影響をどこまで考えるべきなのか、またその保全の効果をどのように評価すればよいのか、課題も多い。このため、「生物多様性」は具体的にイメージすることが難しく、捉えがたいものになっているのではないだろうか。

内閣府が実施した 2009 年の「環境問題に関する世論調査」によると、「生物多様性」というに言葉について、「聞いたこともない」が 61.5%、「意味は知らないが言葉は聞いたことがある」と「言葉の意味を知っている」をあわせても 36.4%にとどまった。また環境省の 2010 年度「環境にやさしい企業行動調査」によると、**図 2.1-1** に示すように生物多様性については「重要であるが自社の活動との関連性は低い」と考える企業が 64.9%を占めた。事業活動としての取組については「方針は定めず、取組も行っていない」と 67.5%の企業が答えている。2010 年 10 月に名古屋で開催された COP10 を機に「生物多様性」の認知度が高まった感があったが、まだ数値には現れていない。すでに

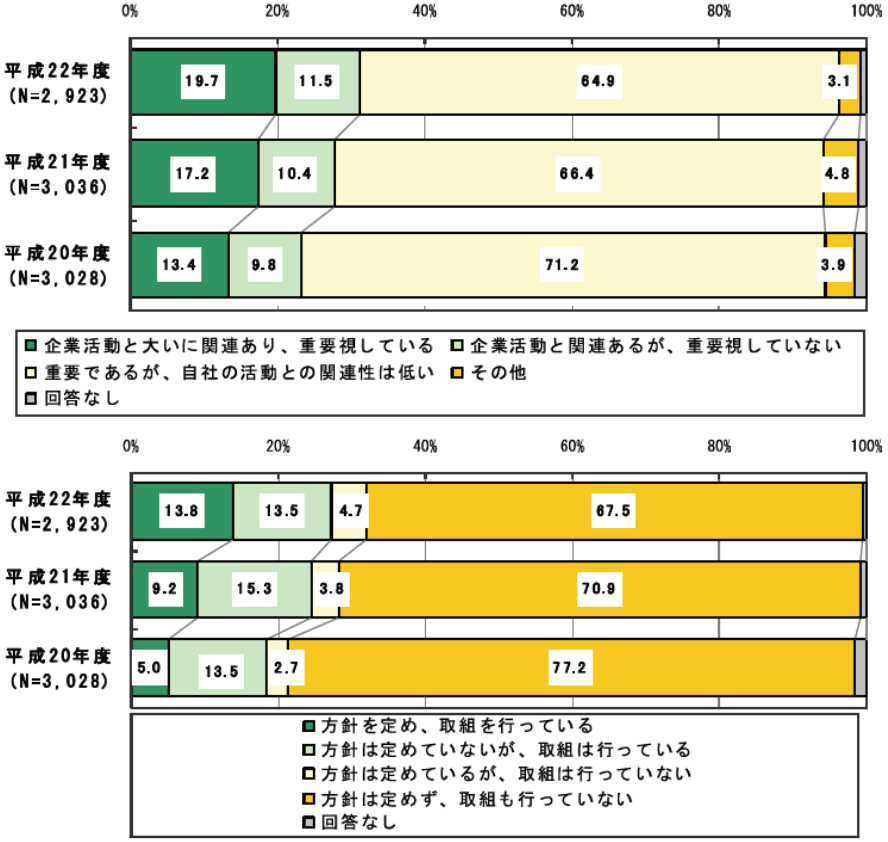


図2.1-1　環境にやさしい企業行動調査

出典：環境省ウェブサイト

2006 年の CBDCOP8（生物多様性条約第 8 締約国会議）において、「民間部門に条約への参画を促す決議」が採択されている。また生物多様性国家戦略 2010 においても、多様な主体が生物多様性保全に参画できるよう、社会における「生物多様性の主流化」を重要課題と捉えている。

2.2　生物多様性オフセット

2008 年の CBDCOP9 では、生物多様性オフセットを提案している BBOP(Business and Biodiversity Offset Program)と協力していくことを決議として採択している。BBOP は生物多様性オフセットに関する国際基準づくりを進めるものである。生物多様性オフセットとは、生物多様性が保たれている生息地においてやむを得ず開発を行う場合、近隣などに同程度の生息場や生態系サービスを受けられる場を復元、創造することで全体として生物多様性の質と量が変わらない状態にする制度である。生物多様性オフセットの目的は、生物の生息場や生態系の機能、人々が利用することによる価値や文化的な価値への影響を相殺して少なくともノーネットロス（No-Net-Loss）を達成するか、より好ましいプラスの効果を伴うネットゲイン（Net-Gain）を達成することである。

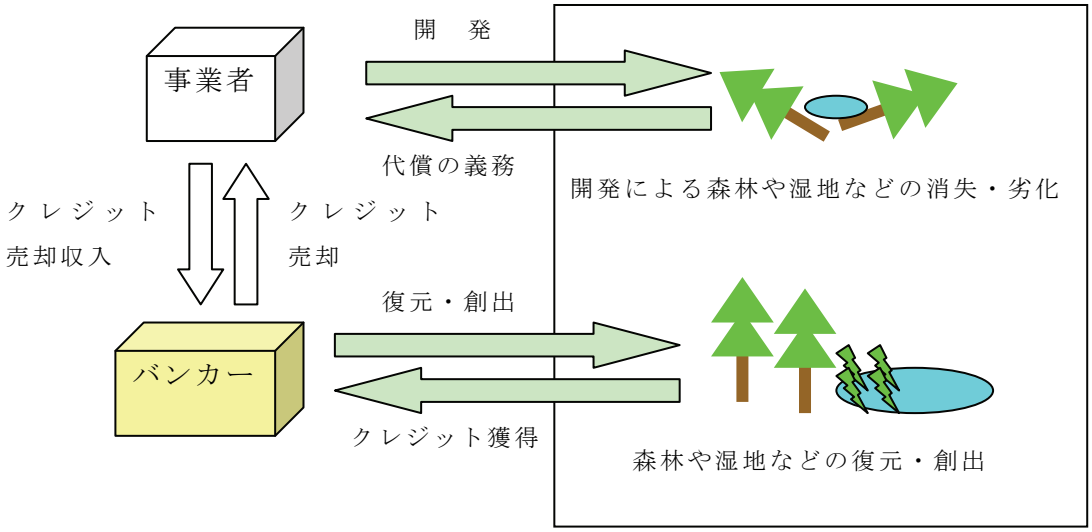


図 2.2-1　生物多様性オフセット･バンキングのイメージ

例えば、開発によりやむを得ず森林や湿地などの保全対象を消失･劣化させる場合、事業者は同じ地域内に同じ程度の生態系サービスを享受できる場を復元または創出しないといけない。事業者は①自らその復元や創出を行うか、または**図 2.2-1** のように②専門組織（バンカー）に復元･創造を委託し、代わりに行政から支給されるクレジットをバンカーから購入することで代償をしたとみなされる。専門家ではない事業者にとっては、復元失敗のリスクやコスト増大のリスクを回避できる。

米国では①湿地への影響のオフセット（相殺）を対象としたミティゲーション･バンキングと、②絶滅危惧種とその生息地への影響のオフセットを対象としたコンサベーション･バンキングの 2 つがある。また豪州では①ビクトリア州の在来の自然植生を対象としたブッシュブローカー、②ニューサウスウェールズ州の絶滅危惧種と絶滅危機にある生態

系を対象としたバイオバンキングの 2 つが知られる。

CBD は締約国に「生物多様性国家戦略」を策定し、生物多様性オフセットを計画し、実施することを求めている。しかし、環境の価値は保全地域によって大きく異なることがあるため、等価の質を代償することが難しい場合も多い。また我が国は国土が狭く、保全地域を確保するのが難しいことなどから、他国の制度を参考にしつつ、独自の制度を検討する必要がある。

2.3 生物多様性の経済的評価

2007 年の G8 環境大臣会合において「生物多様性の地球規模の経済的価値、生物多様性の損失に伴うコスト、および保護対策に失敗した際のコストと効果的な保全に要するコストの対比についての分析のプロセスに着手する」が決定され、見えない自然の価値を可視化する動きが始まっていた。その結果、生物多様性の損失がもたらす影響を経済的に評価した「生態系と生物多様性の経済学（The Economics of Ecosystems and Biodiversity: TEEB)」が 2010 年に報告された。

生態系サービスの経済的価値を示したのが**表 2.3-1** である。とくにサンゴ礁では値幅が大きくなっているが、これはサンゴ礁にかかわるレクリエーションの金銭的価値に起因する。**表 2.3-2** は生態系復元に必要な費用を基に費用便益を分析した結果である。復元費用が最も高いサンゴ礁は 100 万～300 万種の生物が生息するホットスポットである。サンゴ礁はもっとも便益が大きいが費用対便益は一番小さい。一方、累積便益がもっとも小さい草原は費用対便益がもっとも大きい。よって、サンゴ礁は復元が難しいからこそ優先して保全しなければならない対象であることがわかる。TEEB ではこうした分析結果を踏まえて以下 4 つの課題について早急に着手することを提案している。

表2.3-1　各生態系の１haあたり年間総経済

（単位:国際ドル/ha/年）

生態系	最小値	最大値	生態系	最小値	最大値
海洋	13	84	河川・湖	1,779	13,488
サンゴ礁	14	1,195,478	熱帯林	91	23,222
沿岸域	248	79,580	温帯林・寒帯林	30	4,863
内陸湿地	981	44,597	草原	297	3,091

出典：「生態系と生物多様性の経済学」（TEEB）

表2.3-2　各生態系の復元プロジェクトに関する費用と便益

	復元費用	年間便益	40年間の累積便益	収益率	費用対便益比率
	（米ドル/ha	（米ドル/ha	（米ドル/ha	（%）	
サンゴ礁	542,500	129,200	1,166,000	7	2.8
沿岸域	232,700	73,900	935,400	11	4.4
マングローフ	2,880	4,290	86,900	40	26.4
内陸湿地	33,000	14,200	171,300	12	5.4
河川・湖	4,000	3,800	69,700	27	15.5
熱帯林	3,450	7,000	148,700	50	37.3
その他森林	2,390	1,620	26,300	20	10.3
疎林・低木材	990	1,571	32,180	42	28.4
草原	260	1,010	22,600	79	75.1

出典：TEEB

課題①：気候変動の緩和を含む生態系サービス保全のための森林減少の停止
課題②：気温上昇と酸性化の回避を通じたサンゴ礁の近隣住民生計保全
課題③：世界の漁業資源と関連雇用の確保と再生
課題④：生態系劣化の貧困の負の連鎖の認識

生物多様性による恩恵は市場メカニズムに取り込まれていないため、その維持管理費が生み出されず、生物多様性の損失･劣化が生じている。このため欧米では生物多様性の保全およびその持続的な利用を目的とした経済的手法の導入が進められてきた。これまで検討されてきた環境価値評価の手法としては、**表 2.3-3** に示す５つの手法がよく知られる。環境が経済行動に及ぼす影響から間接的に環境の価値を評価する「顕示選好法」と環境に対する選好を人々にアンケートすることにより、直接評価する「表明選好法」に分けられる。適用対象としては「代替法」は水源保全や国土保全など、「トラベルコスト法」はレクリエーションや景観など、「ヘドニック法」は地域アメニティや大気汚染、騒音などに限られるが、ＣＶＭ（仮想評価法）やコンジョイント分析はレクリエーション、景観、生物多様性など適用範囲が広い。

表 2.3-3　代表的な環境価値評価の手法

評価手法	顕示選好法		表明選好法		
	代替法	トラベルコスト法	ヘドニック法	CVM	コンジョイント分析
環境価値の評価方法	環境財を市場財で置換するときの費用を基に評価	対象地までの旅費を基に評価	環境資源の存在が地代や賃金与える影響を基に評価	環境財を市場財で置換するときの費用を基に評価	複数の代替案を回答者に示して、その好ましさを尋ねることで評価
特　長	少ない情報でも評価可	少ない情報でも評価可	情報収集が簡単	適用範囲が広い	適用範囲が広い
課　題	環境財に相当する市場財があってはじめて評価可	対照がレクリエーションに限られる	適用範囲が地域限定	アンケート調査など情報収集のコスト大	アンケート調査など情報収集のコスト大

出典：「生物多様性の経済学」馬奈木俊介

国際環境 NGO「コンサベーション･インターナショナル」（CI）が指定する世界中の 34 ケ所のホットスポット（生物多様性保全上で重要な地域）の中には、ジャパン･ホットスポットも含まれる。国内のホットスポットにおける保全活動の優先順位を決定し、早急に損失防止に着手することが望ましい。そのためには、ホットスポットの損失による経済的なデメリットを明確にし、保全活動に取り組むメリットや活動に必要な資金を作り出すことが重要である。

次に生物多様性保全の活動事例を紹介する。

2.4　生態系サービスへの支払い（PES）

受益者が維持管理コストを支払う仕組みとして「生態系サービスへの支払い（PES：Payment for ecosystem Service)」が 1990 年代半ばから導入され、現在世界で約 300 件以上の実績がある。

国内の事例を表に示す。里地里山とは「都市と原生的な自然の間に位置し、集落とそれを取り巻く農地（田んぼ)、雑木林、ため池、小川などで構成される二次的な自然を中心

とした地域」とされる。日本の国土の約 4 割は里地里山である。原生の自然とは異なる形ではあるが、絶滅危惧種を含む多様な生物に生息の場を提供するとともに、古くから農業や林業、漁業などが営まれてきた場でもある。「生物多様性国家戦略 2010」では里地里山の人間活動の縮小による危機を国内における生物多様性の 3 つの危機のうちの 1 つとして指摘している。

表 2.4-1 里地里山における生態系サービスへの支払い事例

プロジェクト名	事業主体	助成制度
「蕪栗沼のふゆみずたんぼ」	ふゆみずたんぼ生産組合（宮城県大崎市） 平成15年～	・冬季湛水・農薬･化学肥料不使用農家：8,000円/10a ・農薬･化学肥料不使用栽培認証費用：5,000円/10a ・農地･水･環境向上共同支援：4,400円/10aなど
「コウノトリの野生復帰とコウノトリを育む農法」	兵庫県豊岡市 平成15年～	・冬季湛水・中干し延期稲作実施農家：7,000円/10a ・転作田に常時湛水してビオトープを設置の農家：27,000円/10a
「トキの野生復帰と米づくり」	新潟県佐渡市 平成17年～	・認証制度補助金：1,000円/10a ・出荷農家：150円/１俵（1,200円上限）
魚のゆりかご水田プロジェクト	滋賀県 平成18年～	・営農活動+魚類の遡上・産卵、稚魚の成育に必要な水管理と魚道維持管理農家：3,500円/10a（滋賀県より） （現在「世代をつなぐ農村まるごと保全向上対策」として国が4,400円/10a支給）

出典：環境省ウェブサイト

2.4.1 蕪栗沼のふゆみずたんぼ

宮城県の蕪栗沼（かぶくりぬま）はマガンを含む 220 種類の鳥類のほか、メダカやゼニタナゴなど絶滅危惧種 127 種が観察される生物多様性の宝庫である。ラムサール条約にも登録されており、水田は湿地の 1 つと捉えられている。冬季に田畑に水を張る「ふゆみずたんぼ」は渡り鳥が特定の場所に集中して伝染病発生を引き起こさないよう、ガン類のねぐらを分散させる目的で始まった。鳥類の糞が田畑の肥料となり、また鳥類が雑草を食べてくれるため、化学肥料や除草剤を使用せず、図 2.4.1-1 の安心なお米の栽培が可能になった。図 2.4.1-2 に示すように慣行栽培米に比べ収量は少なくなるが、ブランド米として流通している。

図 2.4.1-1 ふゆみずたんぼ米

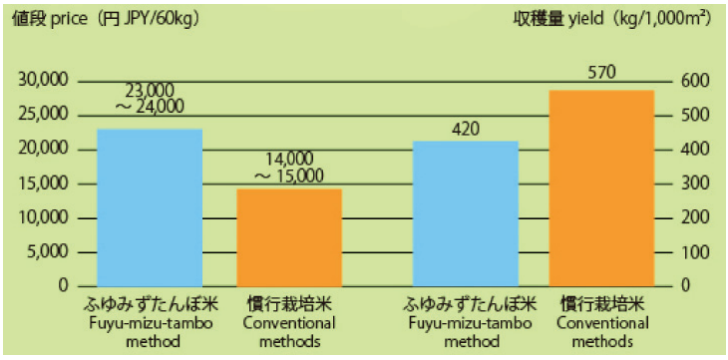


図2.4.1-2 ふゆみずたんぼ米と慣行栽培米の比較

出典：環境省ウェブサイト

2.4.2　コウノトリの野生復帰とコウノトリを育む農法

絶滅に先立ち昭和 40 年から始めたコウノトリの人工飼育がようやく実を結び野外への放鳥の段階へ達した。それを機に豊岡市は兵庫県と JA 等と連携して絶滅したコウノトリが生息できる環境を取り戻すため、できるだけ農薬を減らしエサとなる田んぼの生き物が増えるよう水張りの期間を長くする「コウノトリを育む農法」の普及を図った。その結果、**図 2.4.2-1** に示すように無農薬、減農薬とも順調に栽培面積が増えている。農薬や化学肥料を使用しない「コウノトリ育む農法」では JA からの支払いが減農薬で約 23%、無農薬で約 54%の価格差がつくシステムになっている。この他、コウノトリ野生復帰に伴う施設建設や事業などで約 80 億円、エコツーリズムの効果においては年間約 10 億円の経済効果と推定されている。

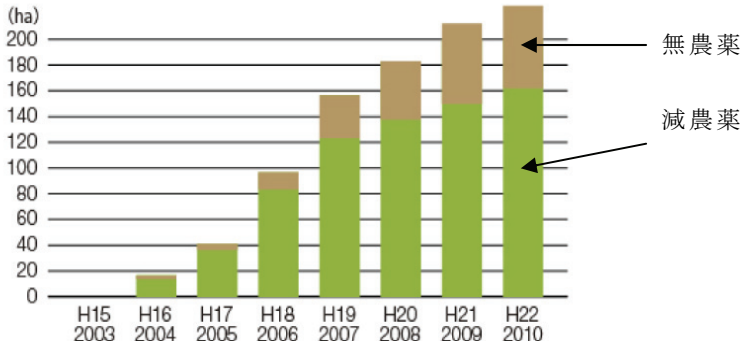


図2.4.2-1　コウノトリを育む農法栽培面積

出典：環境省ウェブサイト

2.4.3　トキの野生復帰と米づくり

1926 年に絶滅したといわれた後、1965 年に佐渡でトキが 2 羽発見されたのを機に人工飼育がスタートした。トキのえさ生物の消失がトキ絶滅の原因の 1 つとされたことから、環境省は 2005 年に「トキのエサ場確保」と「生物多様性の米作り」の 2 つを目的に「朱鷺と暮らす郷づくり認証制度」を立ち上げた。**図 2.4.3-1** に示すように認証を受けた田んぼの面積は増加傾向にある。同認定の取得は、①化学農薬･肥料の使用は慣行栽培の 5 割減、②冬季湛水、江･魚道･ビオトープ設置など「生きものを育む技術の採用」、③栽培者がエコファーマーの認定を取得していることを要件とする。2 回/年「生きもの調査の日」を設け、田んぼ 1 枚 1 枚の生き物とトキがエサとして利用したか否かを調査する。生物多様性の保全を意識した農業のあり方が検討されている。

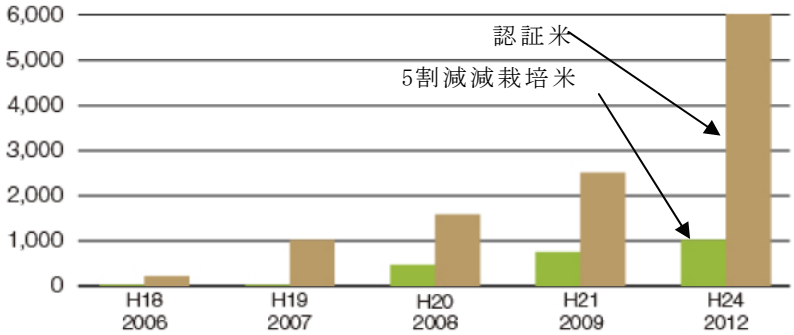


図2.4.3-1　朱鷺と暮らす郷づくり認証を受けた田んぼの面積

出典：環境省ウェブサイト

2.4.4　魚のゆりかご水田プロジェクト

滋賀県の琵琶湖周辺の田んぼではコイ、フナ、ナマズなど魚類の産卵育成の場であったが、琵琶湖の水位変動などで農業としては浸水被害に悩まされた地域でもあった。田んぼが整備される一方で琵琶湖と田んぼの魚類の行き来が分断され、在来魚の減少へ至った。「ふなずし」で知られるニゴロブナの漁獲量はこの 40 年で 1/10 まで減少したという。2001 年に水田で実施された魚類産卵繁殖機能調査の結果、水田は産卵に適した水温が保たれ、ブラックバスなど外来種による食害もなく、稚魚の生存率が琵琶湖に比べて平均30%も高いことが分かった。これを受けて 2004 年、間伐材を活用した「排水路堰上げ式水田魚道」が住民参加で設置された。**図 2.4.4-1** がその魚道である。滋賀県ではこの事業に取り組む農家に対し、その水田で作ったお米を「魚のゆりかご水田米」としてブランド化する取り組みを行っている。同プロジェクトに取り組む地域および取組面積は順調に増加傾向にある。

図2.4.4-1　排水路堰上げ式水田魚道

出典：環境省ウェブサイト

2.4.5　企業による生態系サービスへの支払い（PES）事例

阿蘇のふもとにあるソニーの工場では半導体部品を作る工程できれいな「純水」を周辺から得ている。阿蘇は**図 2.4.5-1**、**図 2.4-5-2** に示すように数々の湧水に恵まれ豊な水源地として知られるが、最近地下水が減っている。減反政策により休耕田が増え、田んぼから地下水への供給が減ったことが原因の１つである。そこでソニーは工場で使った分の水

図 2.4.5-1　阿蘇「白川水源」

図 2.4-5-2　白川水源の様子

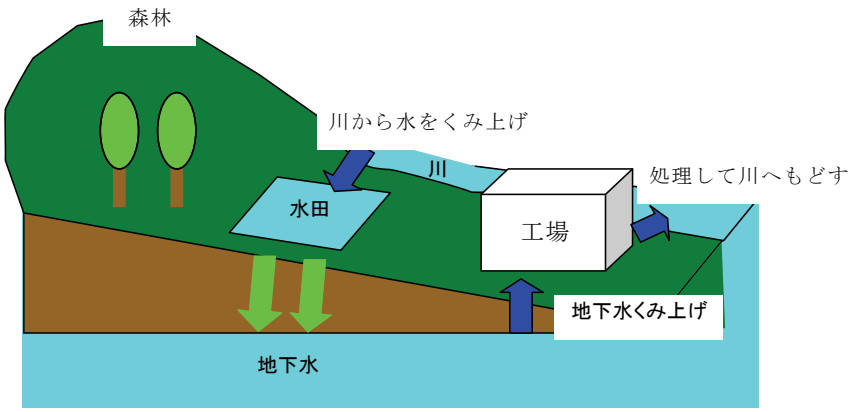


図2.4.5-3　地下水涵養のイメージ

出典：SONYウェブサイトより作成

を地下水へ帰すため周辺農家に協力を求めた。図 2.4.5-3 に示すように川から引いた水を田んぼに張ってもらう「地下水涵養」に協力してくれた農家にソニーが農協を通じて 11,000 円/10a/月の協力金を支払う取り組みである。田んぼに水を張ると土中の線虫が駆除されて農薬がいらなくなり、農地にミネラルが溜まって肥沃になるメリットもある。

2.5　生物多様性保全へ企業はどう取り組むか

2.5.1　民間事業者への期待とビジネスチャンス

2006 年に開催された COP8 では、民間事業者の生物多様性保全への参画に大きな期待が寄せられた。生物多様性に大きな影響力をもちまた政治や世論への影響力が大きい民間事業者の模範的な生物多様性保全活動は損失防止への貢献だけでなく、持続可能な利用の推進の鍵を握るとされる。さらに生物多様性に関する技術やマネジメントなどそのノウハウの面でも活躍が期待されている。

前述した里地里山のプロジェクトでは、水田の管理のほかビオトープを保全･創出する取り組みも行われている。ビオトープの保全･創出に加え、維持管理にもまだまだ新たな技術が必要である。企業が長年培ってきた技術を応用できる良い機会である。また継続的な観察から得られる技術的なヒントも予想されることから、企業が実際にこうしたプロジェクトに継続的に参加し、新たな事業展開のチャンスをつかむ可能性も十分考えられる。

2.5.2　リクマネジメントとイメージアップ

先にも触れたが、生物多様性のつながりは空間的には地球規模に及び時間的には将来世代へつながるきわめて規模が大きいものである。このため企業は足元をすくわれないよう原材料調達、生産、販売、物流などサプライチェーン全体で生物多様性へ悪影響を及ぼしていないか常に監視する必要がある。一方で、サプライチェーン全体を見直し、それぞれの段階で生物多様性保全に取組み、イメージアップを図る企業も少なくない。例えば、ある洗剤メーカーは、洗剤の売り上げの一部をボルネオの熱帯雨林の回復のための土地購入やボルネオゾウの保全活動に役立てており、さらに現地視察エコツアーを企画し、環境意識向上にも取り組んでいる。多くの資源を海外に依存する我が国にとって世界の生物多様性の損失は決して他人事ではないことを意識し続けなければならない。

2.5.3　企業の環境教育および環境保全活動

さまざまな企業が各地で環境教育や保全活動を展開している。森の再生に地域住民とともに取り組んだもの、水の大切さを講演し、実際に水域の保全活動をこどもたちと行うもの、キッズエコツアーにより自然とのふれあいを体験させるものなど多岐にわたる。**表 2.5.3-1** は水源林の保全活動の一部を取り上げたものである。最近、外国資本による森林の買収が増えており、水源地確保のために自治体が取引の制限に乗り出すケースもみられる。我が国では清潔な水が蛇口から出てくるのが当たり前であるが、海外には厳しい水問題を抱えている国が多い。世界の水事情は森林売買という形で我々日本人にとっても大きな問題となりつつある。我々が生態系サービスの恩恵を維持するためには長期的な展望に基づく継続的な保全活動が不可欠である。その意味において、企業の環境教育･保全活動は地域の意識レベルを高め、こどもたちの興味を広げる役割を果たしていけると考える。企業はさまざまな地域にも拠点を持っており地域相互の架け橋としても有機的に活動できると思われる。

表 2.5.3-1 水源林保全への取組事例

企　業	活動名	活動場所
コカコーラウエスト	さわやか自然の森	琵琶湖
アサヒビール	アサヒの森	北海道, 茨城, 名古屋, 吹田, 西宮, 四国, 博多
コクヨ	結の森	四万十川
本田技研	「水源の森」保全活動	埼玉, 群馬, 栃木, 山梨, 三重, 静岡、熊本
キリンビール	水の恵みを守る運動	千歳, 仙台, 栃木, 取手, 横浜, 富士山麓, 名古屋ほか8箇所

出典：ECO学習ライブラリー 「企業の環境教育」より抜粋,作成

2.6　伝統の焼き畑から生物多様性の視点を学ぶ

宮崎県に現在も全国で 1 箇所だけ焼畑を長年守り続けている人がいる。宮崎県椎葉の椎葉クニ子さん（87）は今も現役で私たちの先人が生態系サービスを維持してきた知恵を今に伝えている。焼き畑というと森林破壊をイメージする人も少なくないが、クニ子さんが守る伝統の「焼き畑」は、毎年焼く場所を変えながら、30 年で一巡するよう計画されている。畑をつくるために森を焼くのではなく、森の若返りを促すために焼き続けるのである。森を活性化し続けることが目的である。焼いた後は畑として最初の年は蕎麦を栽培し、2 年目はヒエ、3 年目は小豆、4 年目は大豆を栽培し、その後は次の焼畑までそのまま森になるのを待つ。山菜の生長も良好である。クニ子さんは森さえあればあとは火と水と塩で暮らしていけるという。30 年周期で木を切ると、切った後も新芽が出やすく、森の若返りが早い。焼くことによって窒素、リン酸、カリの肥料がつくられ土壌の栄養分となるほか、きのこ類がさまざまな栄養分を植物が使いやすい形に分解し、森の土壌をさらに豊かにする。日本の焼き畑は縄文から続く。森のもつ循環機能を賢く利用する知恵が今に受け継がれている。先祖が代々伝えてきてくれたことを絶やさないためにクニ子さんは焼畑を続けている。30 年で一巡させるという気の遠くなる取り組みを先人は代々受け継いできたのである。生物多様性の保全には継続的な取組が不可欠である。人間による撹乱が森を生かし結局のところ人間が生かされている。焼き畑を守る生活は人間が循環系の中に位置していることを強烈に意識させる。普段の生活で無意識に利用している循環系や生物多様性の恩恵を私たちはクニ子さんのように未来に伝えていけるだろうか。

第３章　まちづくりと生物多様性

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次評価報告書では気候変動がもたらす不可逆的な可能性として、世界の平均気温が1.5℃～2.5℃（1980～1999年との比較）を超えた場合、これまで評価された種の約20%～30%の絶滅するリスクが高まるだろうと予測している。これは地球温暖化のみならず都市部で問題になっているヒートアイランド現象による温度上昇がもたらす生物多様性への影響についても同様だと考えられる。

我が国の都市部では**表3-1**に示すようにこの100年間で2.2℃～3.0℃気温が上昇している。また都市部の緑地の減少や生態系の消失は生態系サービス、特にリラクゼーション効果などの文化的サービスが不足するため生活者や居住者への心理的な影響も無視できない。

そこで本章では都市部における生物多様性について考察し「まちづくり」という観点から生物多様性の保全に関する提言を試みた。

また 2011 年に発生した東日本大震災の復興ランドスケープを各自治体が策定しつつあるが、「まちづくり」という観点で共通的な問題があるかどうかあるいは生物多様性への配慮が可能かどうかについて一考を加えた。

表3-1　日本の各都市における気温の推移

都市	データ開始年	100 年あたりの上昇量(℃/100 年)				
		平均気温			日最高気温（年平均）	日最低気温（年平均）
		年	1月	8月		
札幌	1901年	+2.3	+3.0	+1.2	+0.9	+4.1
仙台	1927年	+2.2	+3.3	+0.2	+0.8	+3.1
東京	1901年	+3.0	+3.8	+2.4	+1.8	+3.9
名古屋	1923年	+2.7	+3.4	+1.8	+1.1	+3.8
京都	1914年	+2.6	+3.0	+2.2	+0.7	+3.7
福岡	1901年	+2.6	+1.9	+2.1	+1.1	+4.1
中小都市平均	1901年	+1.1	+1.0	+0.9	+0.7	+1.5

出典：環境省ヒートアイランド対策ガイドライン

3.1　都市におけるまちづくりと生物多様性

3.1.1　首都圏の状況

1)　首都圏の人口推移

国立社会保障･人口問題研究所による将来推計人口、および**図 3.1.1-1** に示す国土交通省「平成 22 年度首都圏整備に関する年次報告」によると、全国の総人口は 2000 年に 126,925 千人だったのに対し 2050 年には 95,152 千人（25%減）と予測している。一方首都圏（茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県）の人口は 2000 年に 41,322 千人だったのに対し 2050 年には 36,282 千人（12%減）と予測しており、全国総人口の減少率よりも緩やかな減少率となっている。また首都圏の生産年齢人口は全国と同様一貫して減少し、生産年齢人口 1 人当たりの高齢人口比率は急速に増加することが予測されている。

以上より今後は少子高齢化がますます進行するとともに人口がより首都圏に集中していくと予想され、人が集まる都市部における生活環境や居住環境への配慮がますます重要になっていくだろう。

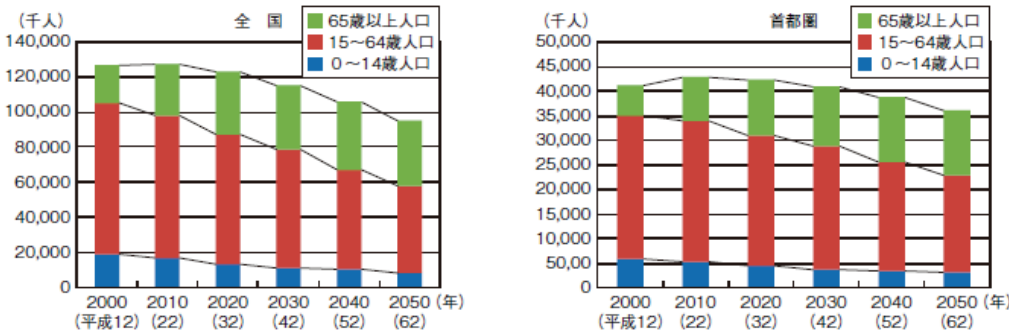


図3.1.1-1　全国と首都圏の人口の年齢別長期予測

出典：国土交通省　平成22年度首都圏整備に関する年次報告

2)　首都圏の自然の状況

首都圏においては高度成長期以来、人口の増加や産業の発展に伴いさまざまな開発行為が行われてきた。近年になって都市部の緑地再生の動きがあるものの**図 3.1.1-2** に示すとおり首都圏各都県の緑地は減少傾向にある。

緑地の消失は都市生活者にとって心理的精神的な影響をもたらす。**図 3.1.1-3** からも分かるように緑地はリラクゼーションの場の創造や快適な就業環境の実現など、都市生活者が快適で効率的な活動を行う上で重要な要素である。

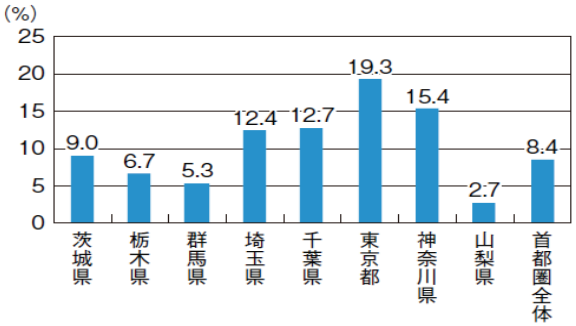


図3.1.1-2　首都圏各都県の緑地等減少率
（S51年度→H18年度）

出典：国土交通省　平成22年度首都圏整備に関する年次報告

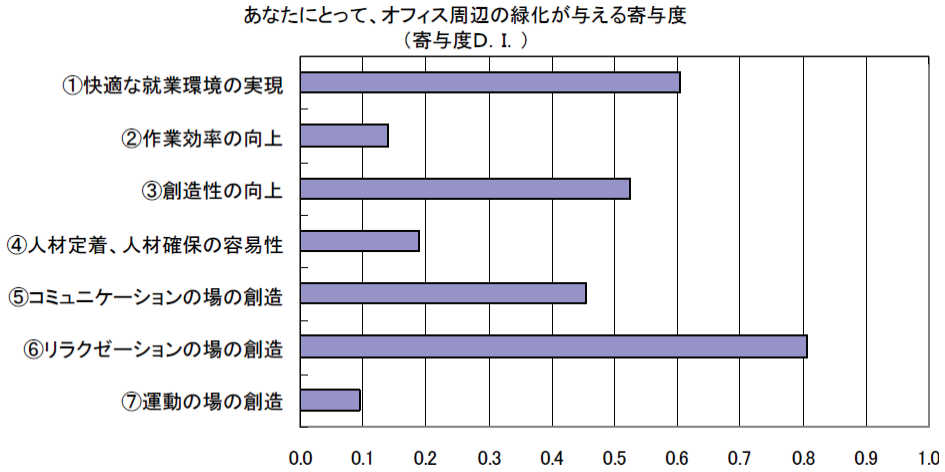


図3.1.1-3　オフィス周辺の緑化がオフィスワーカーに与える影響

出典：住友信託銀行『生物多様性に対するオフィスワーカーの意識調査』結果概要について

都市部の失われた自然を回復する試みとして立川市に国営昭和記念公園を整備した事例があげられる。当該地はもともと米軍が戦後に旧陸軍施設を接収し昭和 52 年に全面返還された立川基地の跡地であり荒涼な土地だったが、約 20 年間で**図 3.1.1-4** のように広大な緑地が再生された。公園建設前の写真と比べると緑地規模の大きさには目をみはるものがある。大都市における大規模な自然再生として世界的にも珍しい事例と言える。

公園建設前（1981年）　　1999年

図3.1.1-4　国営昭和記念公園

出典：国土交通省ウェブサイト

都市部において緑地が存在することは周辺住民の環境教育や情操教育の場が創出され、生態系保全のための基盤整備やヒートアイランド現象の緩和に結び付くと考えられる。

今後ますます人が集まる都市部において緑地の保全や生物多様性保全に配慮した都市計画やまちづくりを行うことは、都市の魅力度が向上し豊かな生活環境の実現が可能になると考えている。

3)　都市の生物多様性

ここで生物多様性について都市ならではの特徴的な側面について触れてみる。国連大学のレポートによると都市生活者が行う多くの決定がその周辺地域の生物多様性に直接的な影響を与えているとしている。具体的には以下のとおりである。

①　都市における生物多様性

都市と周辺地域の境界線よりも内側の生態系を指す。ヒートアイランド現象により生態系が変化していることも考えられる。ネズミや鳩のようにうまく都会の条件に適応している種もある。都市部では種の交配など多くの遺伝実験が行われ外来種も

生息している。また外来種ペットの投棄などバイオセーフティに対する脅威も多い。

② 地域生物多様性への影響

都市生活から生じた汚水、固形廃棄物、空気汚染などが隣接する河川や海洋、陸地などの生物多様性に影響を及ぼす。都市の空間的拡大や経済的拡大はその周辺地域に多大な影響を与える。

③ 世界的な生物多様性への影響

都市は遠くの場所から運ばれてくる資源を大量に消費しておりこれらの土地の生物多様性に大きな影響を与えている。

都市における生物多様性はその周辺にある自然のままの生物多様性とは別物として考えた方が良いかもしれない。国連大学ではこれらの現象を踏まえた都市計画が必要であることについて警鐘を鳴らしている。

3.1.2 各都市の取組事例紹介

1) 緑の基本計画

旧都市緑地保全法が 2004 年に改正され都市緑地法が制定された。これに基づき各地方自治体は「緑地の保全及び緑化の推進に関する基本計画」（通称、緑の基本計画）を策定した。この計画は都市における緑地の適正な保全や緑化の推進について将来像や目標、施策などを定めた基本計画である。策定に際しては住民の意見も反映することとなっている。また都市公園の整備についても盛り込まれており緑を保全するための特別緑地保全地区制度や緑化地域制度などと組み合わせることにより、より総合的、計画的に緑のまちづくりを推進できることになった。

首都圏の九都県市が策定した緑の基本計画を**表 3.1.2-1** に示す。

表 3.1.2-1 九都県市の緑に関する基本計画の策定状況

自治体名	計 画 名	根拠法令等	策定年月日
埼玉県	埼玉県広域緑地計画	ふるさと埼玉の緑を守り育てる条例	平成 18 年 3 月
千葉県	第 2 次千葉県里山基本計画	千葉県里山の保全、整備及び活用の促進に関する条例 第 9 条	平成 22 年 4 月
東京都	「緑の東京 10 年プロジェクト」基本方針	「10 年後の東京」計画	平成 19 年 6 月
神奈川県	神奈川みどり計画	都市緑地法	平成 18 年 3 月
横浜市	横浜市水と緑の基本計画	都市緑地法第 4 条	平成 18 年 12 月
川崎市	川崎市緑の基本計画	都市緑地法第 4 条	平成 20 年 3 月
千葉市	緑と水辺の基本計画	都市緑地法第 4 条	平成 9 年 12 月
さいたま市	さいたま市緑の基本計画改訂版	都市緑地法第 4 条	平成 19 年 3 月
相模原市	相模原市水とみどりの基本計画	都市緑地法	平成 22 年 3 月

出典：九都県市首脳会議 環境問題対策委員会 緑化政策専門部会ウェブサイト

2) 生物多様性地域戦略

2008 年 5 月に生物多様性基本法が制定された。これは前文および第一条にあるとお

り、人類の存続の基盤となっている生物多様性が深刻な危機に直面しており人類共通の財産である生物多様性とその恩沢を将来にわたって享受できるような自然と共生する社会の実現を図るとともに地球環境の保全に寄与することを目的としている。

第十一条では「生物多様性国家戦略」を策定することが法的に定められた。また第十三条では都道府県および市町村に「生物多様性地域戦略」の策定を定めるよう努力することとし、その結果**表 3.1.2-2** に示したとおり現在 21 都市が地域戦略を策定している。第二十五条では事業計画の立案段階からの環境影響評価の推進を謳っている。従来の環境アセスメントは事業段階での環境影響評価であったが、より早期の計画立案段階からとしたことにより事業計画自体の抜本的な見直しができる可能性が出てきた。また従来の環境アセスメントでは貴重種のみに着目することが多かったが、生物多様性と謳ったことにより環境アセスメントの発展型、すなわち戦略的環境アセスメント（SEA：Strategic Environmental Assessment）と捉えることができ、今後は評価手法等の整備に繋がっていくと思われる。

表 3.1.2-2　各都市の「生物多様性地域戦略」

自治体名	計　画　名	策定年月日
北海道	北海道生物多様性保全計画	平成 22 年 7 月
福島県	ふくしま生物多様性推進計画	平成 23 年 3 月
栃木県	生物多様性とちぎ戦略	平成 22 年 9 月
埼玉県	生物多様性全県戦略	平成 20 年 3 月
千葉県	生物多様性ちば県戦略	平成 20 年 3 月
石川県	石川県生物多様性戦略ビジョン	平成 23 年 3 月
岐阜県	生物多様性ぎふ戦略	平成 23 年 7 月
愛知県	あいち自然環境保全戦略 －生物多様性の保全と持続可能な利用を目指して－	平成 21 年 3 月
滋賀県	ふるさと滋賀の野生動植物との共生に関する基本計画	平成 19 年 3 月
兵庫県	生物多様性ひょうご戦略	平成 21 年 3 月
長崎県	長崎県生物多様性保全計画	平成 21 年 3 月
熊本県	熊本県生物多様性保全戦略	平成 23 年 3 月
大分県	生物多様性おおいた県戦略	平成 23 年 3 月
柏市	柏市生きもの多様性プラン	平成 23 年 3 月
流山市	生物多様性ながれやま戦略	平成 22 年 3 月
横浜市	ヨコハマｂプラン（生物多様性横浜行動計画）	平成 23 年 4 月
高山市	生物多様性ひだたかやま戦略(基本構想編) 〃　（実践行動計画編）	平成 22 年 3 月 平成 23 年 3 月
名古屋市	生物多様性 2010 なごや戦略	平成 22 年 3 月
神戸市	生物多様性　神戸プラン 2020	平成 23 年 2 月
明石市	つなごう生きものネットワーク　生物多様性あかし戦略	平成 23 年 3 月
北九州市	北九州市生物多様性戦略	平成 22 年 11 月

出典：ICLEI（持続可能性をめざす自治体協議会）ウェブサイト

3.1.3　エコロジカル･ネットワーク

1)　緑の回廊構想

緑の回廊構想は野生動植物の保全を図るため大規模な公園や雑木林、湿地などの生息地となる拠点を河川や街路樹などで結び付け移動経路を確保して相互交流が可能になるよう配慮する考え方であり、林野庁は広域な計画として我が国における保護林を定めそれらを相互に連結して緑の回廊と位置付け広範かつ効果的な森林生態系の保全を図ってきた。

都市においても緑の回廊構想は推進されており、例えば国土交通省が平成 15 年に作成した環境省中央環境審議会資料などにおいてヒートアイランド現象の緩和や生物多様性の保全など緑地の有する機能を効果的に発揮するために都市の水と緑によるネットワークの推進を掲げている。

各地方自治体においても例えば横浜市の水と緑の基本計画では市内を流れる河川流域ごとに推進計画を策定し、公園や農地などの緑地を河川や街路樹、水路等を利用して結び付けることにより生物多様性の確保をはじめ身近な自然の体感度の向上やきれいで豊かな水循環の再生、流域の保水や遊水機能の向上、河川が風を運ぶことによるヒートアイランド現象の緩和促進などの効果に期待している。

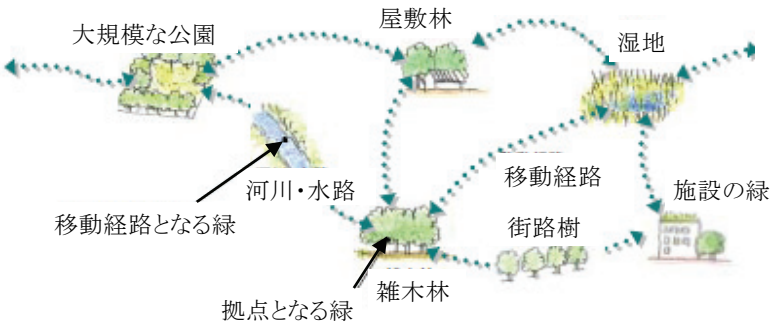


図3.1.3-1　生き物の生息空間のネットワーク

出典：さいたま市緑の基本計画

2)　エコロジカル･ネットワーク

緑の回廊構想は動植物の生態系に着目すると生態系のネットワーク化と読み替えることができ、最近は「エコロジカル･ネットワーク」という用語が一般的に使われている。

図 3.1.3-1 に示すようにある地点において生物多様性の保全に効果的な施策、例えば緑地や水辺地の再生、里地里山、都市公園の整備などはその時点ではまだ「パーツ（点)」でしかないが、河川沿岸での緑化整備や道路での街路樹整備を行うことにより「線」を形成することができる。この「線」を用いて緑地と緑地（点と点）を有機的に結ぶことによって生物の移動や分散、相互交流が可能な「面」や「空間」が形成される。開発により分断された緑をつなぐことで劣化した生物種の生育域や生息空間の回復が図られ、生物多様性の再生に寄与できることになる。

都市部の公共事業においてエコロジカル･ネットワークに配慮したプロジェクトの例が、首都高速道路株式会社が建設した大橋“グリーン”ジャンクションである。

図 3.1.3-2 に示すように大橋ジャンクションを緑地帯として整備することによって、代々木公園から駒場野公園の一帯と南側に位置する中目黒公園、西側に位置する三宿神社付近の緑の拠点が結ばれ動植物にとって効果的な空間が形成される。換気所屋上には目黒川の原風景をモデルとした「自然再生の緑（図中①)」を創出しジャンクション屋

上には「目黒天空の庭」と称する回遊式の「公園の緑（図中②）」を配置、ループ壁面には「街並みの緑（図中③）」を配置して周辺環境との調和を図っている。

図3.1.3-2　大橋“グリーン”ジャンクション

出典：首都高速道路株式会社ウェブサイト

都市部のエコロジカル･ネットワークを検討するに当たっては、実際は農地や湿地、遊休地等が少ないため緑地面積が不足することが懸念される。そこで今後は建物の屋上緑化や壁面緑化を充実させることによりネットワークの一部となるような整備方法や評価方法も検討していくべきである。

3)　点から線へ　線から面へ　面から…

以上に述べたように都市部において個々の施策（点、線、面）によって生物が生息する空間が整備されることは生態系の再生や生物多様性の保全を行う上で有効であり前提条件であると言える。

ここで生物多様性は本来「生態系の多様性」「種の多様性」「遺伝子の多様性」の 3 つのレベルがあり、その場所ごとに保全すべき生態系は異なることに注意しなければならない。そのためには緑のネットワークを形成するだけではなくさらにもう一歩踏み込んでその土地に最適な生物、あるいはその土地の既存種や既存生態系を再生するという視点が求められるべきである。

例えば街路樹を整備する場合は人間がメンテナンスしやすい樹種に偏りがちになるが、その土地の動物や昆虫、鳥類や植物に配慮した樹種を選定し、生物からの視点でより良い環境を整備できればより生態系の撹乱を防ぐことができ生物多様性保全につながると考えられる。同様にホタルの住む水辺地の復元というスローガンはそもそもホタルが既

存種かどうか、あるいはイメージが先行していないかなどについて注意を払うべきであり、このような「過去からの視点」も忘れずに議論することが大切である。

また過去からの視点と同様「未来への視点」も重要である。生態系の再生や生物多様性の保全を試みた場合、着目する生物種の継続的なモニタリングを実施し評価していくことによりその土地の生物多様性が充実していることやその地域の価値が上がったことの確認ができる。これは地道な作業であるが人間の独善的な生物多様性保全活動を防ぐためにも継続的なモニタリングや評価は必要である。

このようにまちづくりにおいてネットワーク（面や空間）という 3 次元の整備のみならず過去からの視点や未来への視点という「時間軸」を強く意識することにより、さらに一歩踏み込んだ生態系への配慮や生物多様性の保全が実現すると考える。

3.1.4　持続可能なまちづくり

1）都市再開発の事例

都市において生物多様性の視点を取り入れた日本初の再開発事例として**図 3.1.4-1** に示す「虎ノ門･六本木地区第一種市街地再開発事業」があげられる。ここでは緑地計画の作成にあたり現況調査や文献調査をもとに在来種や潜在自然植生を設定しそれに配慮した自然の再生を目指している。

図3.1.4-1　虎ノ門･六本木地区第一種市街地再開発事業外観イメージ

出典：森ビル株式会社ウェブサイト

また複雑な生態系をある特定の野生生物の生息環境（ハビタット）に着目して定量的に評価する手法「ハビタット評価認証（HEP：Habitat Evaluation Procedure)」に（財）日本生態系協会が改良を加えて構築した「JHEP」において最高ランクの「AAA」を取得している。JHEP は事業の前後において当該地域の指標となる生物（評価種）にとっての住みやすさの観点から自然の価値を比較しその差を定量的に評価してランク付けしたものである。評価内容について詳述すると、2009 年を基準年とし、過去と将来 50 年を比較して生物多様性への貢献度を「総ハビタット価値」という数値で評価している。ここで「総ハビタット価値」とは「動物評価種の住みやすさ（ハビタット適性指数 HIS)」と目標植生に基づく「緑の地域らしさ（植生評価指数 VEI)」からハビタットの質を 0 点から 1 点で表現し、この値に量（面積）を乗じた「ハビタット価値」に、さらに時間を乗じて得られた評価期間分の総価値である。

虎ノ門･六本木地区第一種市街地再開発事業においては図 3.1.4-2 に示すとおり当事業により得られる総ハビタット価値が 37.6（縦軸）、計画前の数値との差（評価値）が 26.6（横軸）であり、事業の実施前後で生物多様性の価値が大きく高まっていることが分かる。今後、都市部における生態系保全に配慮した再開発事業としてこの取り組みはモデルケースとなりうる。また定量的な評価により生物多様性向上が確認できることは、都市の価値向上の定量的な評価につながっていくと考えられる。

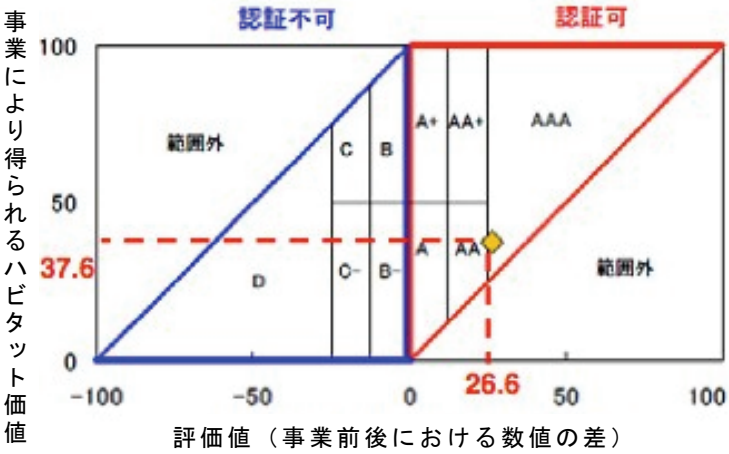


図3.1.4-2　ハビタット価値の評価結果図

出典：森ビル株式会社ウェブサイト

2)　地域住民の参加と環境教育

生物多様性の保全には適切な維持管理手法の確立が必要であり、そのためには地域住民や各種団体、学校や企業などが参画して人材育成を含めた維持管理体制を検討していかなければ一過性のもので終わってしまう可能性がある。例えば里地里山は適度に人間の手が入ることによりその形態を維持しているのであり、それがなければやがて原生林と化してしまうだろう。生物の立場に立って考えると原生林の方が快適である可能性もあるが、我々が自然と共存を図り持続可能な社会を確立し将来にわたって生態系サービスを享受していくためには継続的な維持管理や環境教育などは重要である。

またモニタリングについては継続性が求められるが非常に手間がかかるためすべてを網羅するのは難しいのが現実である。それを克服する手段として例えば富士通株式会社は図 3.1.4-3 のように一般から広く情報収集をするという方法を試みている。これは通信機器の発達が成せる業ではあるが、身近な植物としてタンポポに着目し、全国で見つけたタンポポの写真をカメラ付き携帯電話などにより一般参加者からメールしてもらうことによって位置や時間情報を組み合わせたタンポポ情報を収集し、同社はタンポポ前線マップを作成してウェブサイトで公開している。

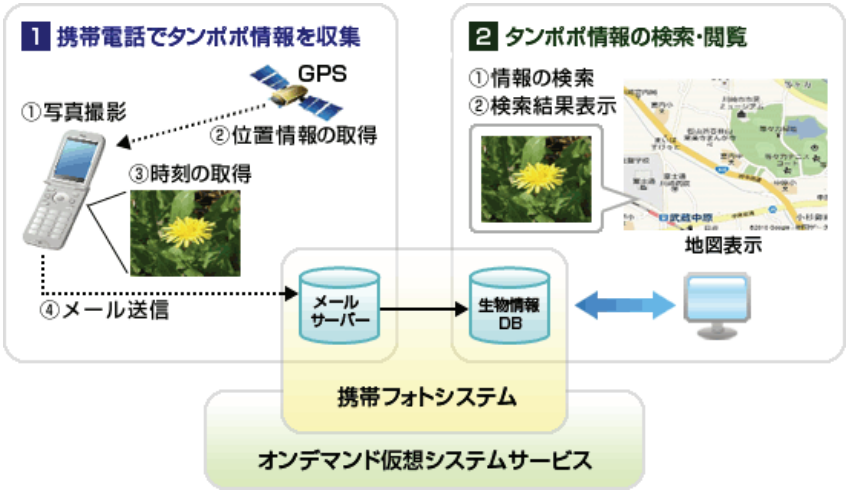


図3.1.4-3　タンポポ調査のしくみ

出典：富士通株式会社ウェブサイト

モニタリングとしてのみならず人々の自然との触れ合いや情操教

育、生物多様性への理解のきっかけとしては手軽で有効な手段である。

3) 生物多様性の評価とオフセット

今後の都市部のまちづくりにおいて生物多様性保全の観点からエコロジカル･ネットワークの形成を促す都市設計や再開発は今後ますます着目されていくと予想される。

また都市再開発のあり方を示唆した虎ノ門･六本木地区の再開発事業の事例は生物多様性への配慮が都市の魅力度の向上や付加価値の向上に資するものであることを示している。

現在、生物多様性について HEP など幾つかの評価手法があるものの定量的な評価は非常に手間がかかるためすべてのプロジェクトにおいて定量評価を実施することは現実的ではない。しかし生物多様性を「評価」することにより生態系向上やまちの魅力度向上を「確認」することができる。よって生物多様性を定量的に評価する手法、できればより簡便な手法の確立が求められる。

生物多様性を数値で定量的に評価することができれば他との「比較」ができる可能性が出てくる。一つの事業において複数の開発プランがある場合は客観的な数値によって直接的な比較ができる。また数値での比較が可能になれば異なる場所間の比較という考え方が生まれる。ある場所で開発行為が必要になり生物多様性の損失をどうしても回避できない場合は開発者が他の場所で生態系を構築し代償するという考え方があり「生物多様性オフセット」または「代償ミティゲーション」などと呼ばれている。欧米では数十年前から義務付けられている制度である。これらは当然開発行為の回避や最小化を行ったのちに採られるべき選択肢であり、オフセットさえすれば開発は存分に行っても良いという意味ではない。

ここで異なる場所の生物多様性を評価し定量的に比較することは計算自体は可能であるが意味する内容が違うことに注意を払うべきである。すなわち異なる場所には異なる生態系があり（生態系の多様性）たとえ共通の評価種に着目して両者を評価した場合でもそれが直接的に両者の生態系の価値を比較していることにはならない。

従って結果的には異なる場所の生物多様性は直接比較することはできず、また現実的にもある場所の生態系をそのまま別の場所に再現するというのは不可能であるが、その場所ごとの生物多様性の価値向上によって開発行為によって失われる以上の価値が確保できれば第一段階としては十分であろう。

実際に生物多様性オフセットを行うためには克服すべき様々な問題が山積している。例えばオフセットのエリアをどう考えるか、あるいは代償用地をどのように確保するかという問題である。特に都市部は土地などさまざまな権利関係が複雑に絡んでおり代償用地の選定について合意形成することは容易ではない。同一自治体内での調整も困難だが複数の自治体にまたがる場合は両者の理解を得るには気の遠くなるような調整作業が予想される。また代償用地の確保には資金も必要である。これらを打開するためにはやはり行政の強力なリーダーシップが必要であり複数の自治体にまたがって取り組む場合はより上位者（国や地域）のビジョンに基づき推進するという構造が欠かせないだろう。そうすれば例えば河川流域の上流と下流の自治体が連携し一体となって生物多様性オフセットや生態系の保全に取り組むなどの道が開けてくるであろう。

愛知県は**図 3.1.4-4** に示すように平成 23 年度版環境白書の中で「あいち方式による生態系ネットワークの形成」と称し、エコロジカル･ネットワーク推進のためにこの代償ミティゲーションの考え方を取り入れている。ネックとなる代償用地の確保については公有地に加え、賛同した大学や企業などが無償で提供した土地などを活用して代償行為の簡便化を図っている。日本国内ではまだあまり定着していないこの方法は今後、都市の再開発を進める上で一つのモデルとなりうる手法であるため愛知県の取り組みとその効果にはぜひ注目していきたい。

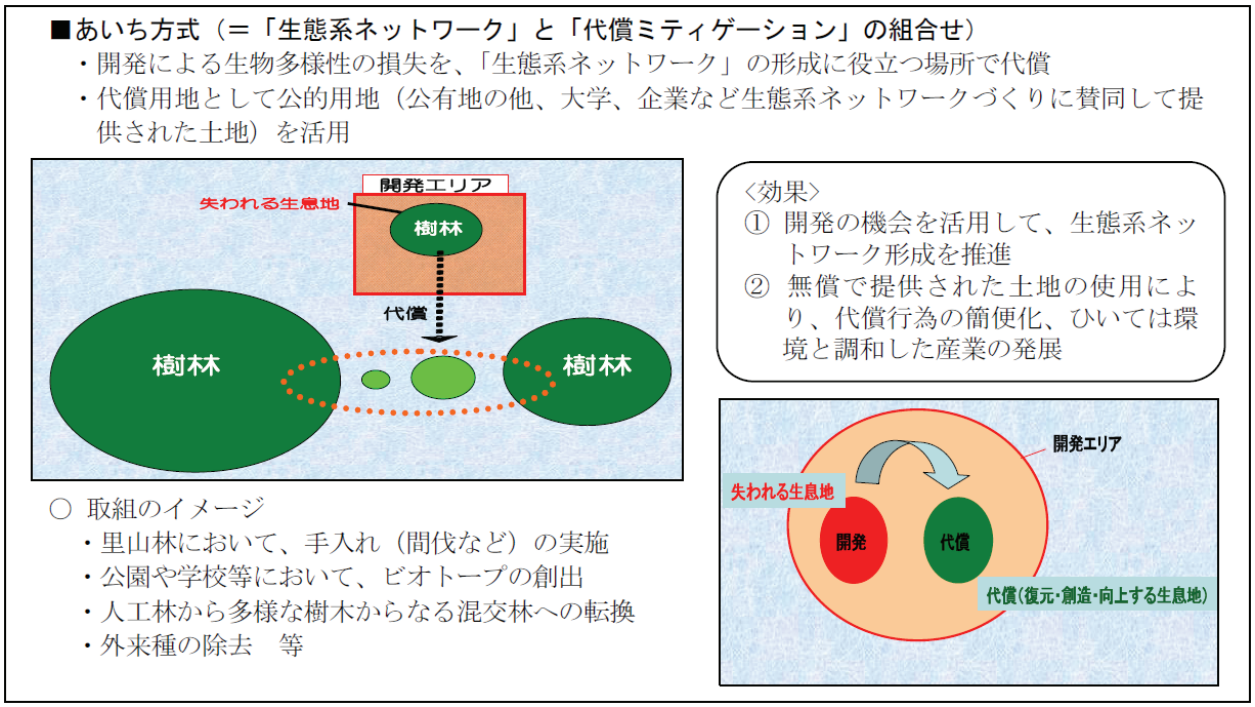


図3.1.4-4　あいち方式による生態系ネットワークの形成

出典：愛知県　平成23年版環境白書概要版

以上のことから、生物多様性をより適切に評価することはまちづくりにおいてオフセット方式の円滑な採用に結び付くなど開発手法の選択肢を増やすためにも有意義である。ただし生物多様性オフセットを推進した結果、都市の中心部から自然が排除されてしまうことのないよう我々は十分に監視していかなければならない。

より適切な評価を推進するために例えば現在実施されている環境アセスメントの中に生態系評価を盛り込むという方法も考えられる。人間にとって開発行為は必要である。ただし生物多様性保全とのバランスが重要である。

環境アセスメントの中で希少種に着目するのみならず広く生態系の評価を行うことは膨大な作業が伴うことになる。しかし生物多様性を適切に評価し都市の魅力を向上させ生物や自然と共生する持続可能なまちづくりを推進するためにはこのような取り組みが第一歩なのかもしれない。

3.2　震災復興におけるまちづくりと生物多様性

3.2.1　各行政の復興ランドスケープ

東日本大震災がもたらした被害は甚大なものであり多くの人命と同時に豊かな自然や生物も失われてしまった。それでも復旧、復興は徐々に進みつつあり国をはじめ各地方自治体も順次復興ランドスケープを策定しつつある。

今回の被害は大規模なため生物多様性の「保全」ではなく「再生」と考えた方が良いかもしれない。今後まちづくりを推進するにあたっては初期段階からエコロジカル・ネットワークに配慮した都市計画を策定し地域の特性や既存種に考慮した緑地や水辺地の復元を行い生態系の再生や人と自然の共生を図っていくのが望ましいと考えている。

環境省は**図 3.2.1-1** に示す新「三陸復興国立公園（仮称）」構想において生物多様性と森・里・海のつながりを意識した豊かな環境の醸成について掲げている。

また、岩沼市の震災復興計画グラウンドデザインでは震災廃棄物を利用した津波対策も兼ねて「千年希望の丘」構想を打ち出している。地域には歴史的資産の貞山掘があり三陸海岸沿岸部は渡り鳥の飛来地である。

沿岸部に大規模なメモリアルパークを創設することは豊かな生態系や生物多様性が再生する可能性があり、さらに田園、まちや里山を有機的に結び付けることができれば生活者へもたらす生態系サービスはより充実したものとなっていくであろう。

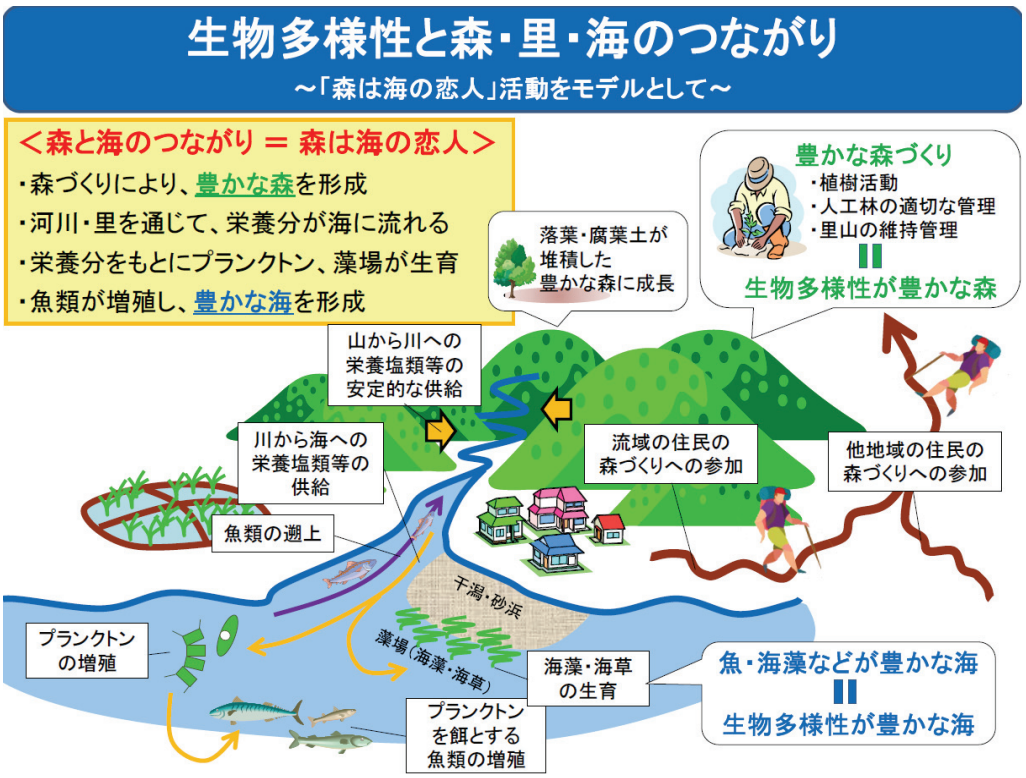


図3.2.1-1　三陸復興国立公園（仮称）構想について

出典：環境省ウェブサイト

3.2.2　生物多様性保全の観点から

復興地における生態系の再生は地域によっては人口が減少している場所もあり必ずしもすべて元の姿に戻すのが最適とは限らない。適切な行政サービスを確保するために地域の意向を踏まえた上で集団移転を余儀なくされることもあろう。生物多様性保全のあり方はそのようなまちづくりのあり方とセットで考えるべきである。

また生物多様性保全を優先するあまり防災面や管理面で無理が生じる計画は本末転倒であるが、例えば居住スペースの高台移転計画に伴い造成工事などで従来の自然を消失せざるを得ない場合はそれと同等の価値を別の場所（例えば沿岸部）で再現していくなどの視点を持って取り組んでいければまちの復興と合わせて付加価値の向上に寄与することができるであろう。ただし、今回の消失規模を考慮すると代替（オフセット）の考え方は局所的でしかなくあくまでも復興や再生が優先されるべきである。

このように生物多様性の保全は復興地のまちづくりにおいても付加価値の向上や自然と共生する持続可能なまちづくりを推進する上で重要であると考えているが、その優先順位やあり方については全体を見据えたバランスの中で議論していく必要がある。

第４章　海洋生物多様性の持続可能な利用と水産復興

日本周辺海域は世界でも有数の生物多様性の豊かな海域となっている。2010 年に名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国際会議(COP10)では「愛知目標」として保護区、持続可能な利用、生態系修復、多様な主体の参加など、2020 年までの数値目標と内容が決められた。2012 年の COP11 では海洋保護区の国際ネットワークなどが議論される予定である。豊かな海の恩恵により成り立っている水産業は、人間の生存に必要な食料や生活資材などを供給する必要不可欠な活動である。また、人々にとって身近な自然環境を形成し多様な生物種が生育･生息する「里海」は、地域特有の景観や自然環境の維持･形成や多くの生き物にとって貴重な生育･生息環境の提供、特有の生態系の維持･形成など、生物多様性に大きな役割を果たす場となっている。COP10 の愛知目標では、目標 6「2020 年までにすべての魚類、無脊椎動物の資源と水生植物が持続的に管理･収穫されること」、目標 7「2020 年までに農業、養殖業、林業がおこなわれる地域が生物多様性の保全を確保するよう持続的に管理されること」などが掲げられており、水産業が生物多様性に深く関与していることがわかる。

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災では、震災によって発生した津波により干潟や藻場等の生物多様性にとって重要な海域･沿岸域環境および東北沿岸の水産業は壊滅的なダメージを受けた。沿岸海域の水産業の復興に対する方針は、沿岸域の環境再生と密接に関わっており、海洋生物の多様性にとって大きな影響を与えることが考えられる。

本章では、震災による海域の生物多様性への影響や漁業被害の現状および復興に向けた対策について、これまでに報告されている調査報告書を取りまとめ、今後の沿岸域環境の復興のあり方についていくつかの提言を試みた。

4.1　日本の海洋生物多様性の現状

図 4.1-1 に示すように、日本周辺海域には他国と比べて非常に多くの生物種が生息している。日本はその四方を太平洋、東シナ海日本海及びオホーツク海に囲まれ、6,000 余の島々で構成されている。その周辺の領海および排他的経済水域の面積は約 447 万 km² と国土の面積の 12 倍に達し世界有数の面積となっている。2010 年に国際プロジェクト「海洋生物のセンサス:

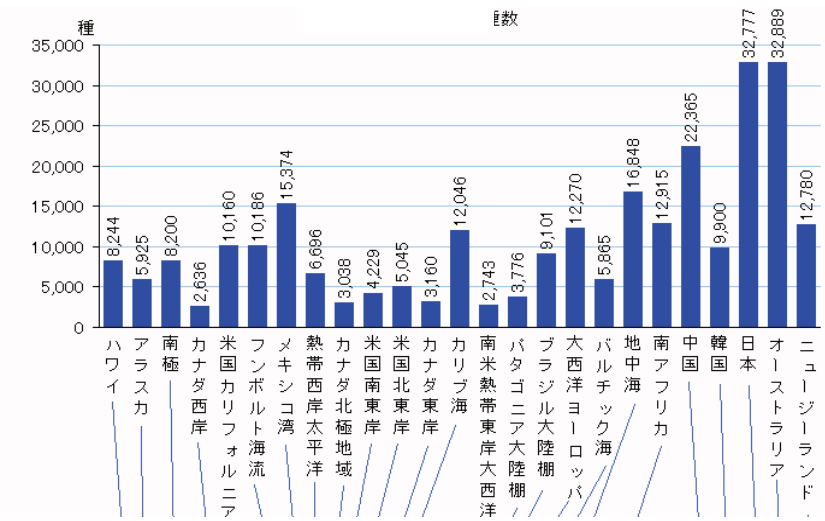


図4.1-1 海域別種数

出典：Marine Biodiversity in Japanese Waters（PLosOne）

Census of Marine Life （CoML)」の一環として、日本の排他的経済水域における種多様性について文献データから包括的に解析した結果、日本近海は生物多様性が極めて高いホットスポットであり、全海洋生物種数の 14.6%が分布することが明らかになった。また、この数は今後日本近海から出現すると予測される種数の約 20%でしかなく、今後さらに多くの種が出現する可能性がある。

日本近海に非常に多様性に富んだ海洋生物が分布している理由として、排他的経済水域が広いだけではなく、複雑な地形（日本海溝や小笠原海溝や南西諸島海溝や海山等)、複雑な潮流（黒潮や対馬海流、親潮やリマン海流等の多くの寒暖流)、幅広い気候帯（熱帯域から亜熱帯域）など、多様な環境が形成されていることがあげられる。また、世界最北端のサンゴ礁が分布しており、多くの海洋生物の産卵場、餌場や幼稚仔魚等の育成の場となり、黒潮と親潮が接する移行領域は多くの魚が集まる良い漁場となっている。陸域、陸水域、海域が接する水深の浅い沿岸域には、海洋生物の繁殖、成育、摂餌の場として多様な生息･生育環境を提供している。

環境省では国内外の海洋の生物多様性の現状悪化や、海洋の生物多様性保全に対する関心の高まりを背景として、海洋基本計画（平成 20 年閣議決定）を踏まえ、生物多様性国家戦略 2010（平成 22 年閣議決定）に基づき「海洋生物多様性保全戦略（H23 年 3 月)」を策定した。この保全戦略は、海洋の生態系の健全な構造と機能を支える生物多様性を保全して、海洋の生態系サービス（海の恵み）を持続可能な形で利用する事を目的としている。また、海洋の生物多様性におよぼす人間活動の影響を整理し、海洋の生物多様性の保全および持続可能な利用について、基本的な視点と施策を展開すべき方向性を示している。

4.2 震災による海洋生物多様性への影響

東北地方の長期的な復興には豊かな沿岸生態系の回復が不可欠である。津波被害が特に甚大であった東北 4 県（青森県、岩手県、宮城県、福島県）および茨城県の海岸線の総延長は 1,862km にも達し、そこで育まれていた豊かな沿岸海洋生態系における津波被害の実態･全容把握について早急に実施することが求められている。日本海洋学会の「東日本大震災による海洋生態系影響の実態把握と今後の対応策の検討（提言)」では、原発事故に起因する深刻な海洋放射能汚染に加えて、津波による直接･間接的影響により、極めて広範囲にわたって海洋生物の生息環境そのものが脅かされていると危惧している。そこで「津波による藻場･干潟の物理的被害」「瓦礫･化学物質の流出･負荷」「陸から海洋への物質輸送プロセスの変化」「養殖生物に関わる問題」「深海底における高濁度水の形成」について上記の提言を基にまとめた。

4.2.1 津波による藻場および干潟の物理的被害

1) 津波による被害の現状

表 4.2.1-1 に示すように、東北～北関東 5 県の沿岸では合計で約 29,000ha の広大な藻場が繁茂し、700ha の面積を持つ福島県松川浦をはじめ約 1,400ha の干潟が存在していた。岩礁に繁茂する海藻群落は、津波により多くが流出した可能性が危惧されるが、季節変動も大きいため津波による影響を短期的に評価･検証することは困難である。調査報告によると陸上で津波被害が大きかった地域でも、海中では海藻群落が多く健在し

ていることから、これらの胞子の漂着により藻場が再生･回復することが期待される。

一方で、砂質の海草帯や干潟への津波による物理的被害の影響は深刻なものとなっている。例えば大槌湾の鵜住居河口付近では、津波により河口部を形成していた砂州が流され、地形そのものが破壊されてしまった。その結果、アマモ場や砂浜自体が消滅した状態となっている。今後、津波による生物の生息場所が破壊された後に、どのように生物多様性や水産資源が回復していくのかを追跡し、その再生メカニズムを明らかにしていく事は、生態系の再生や水産業の復興の上で重要な研究課題である。

表 4.2.1-1　青森県から茨城県にかけての海岸線の長さと藻場および干潟面積

	海岸線 (km)	藻場面積 (ha)	干潟面積 (ha)
青森県	761	19,969	93
岩手県	674	3,080	21
宮城県	824	5,363	29
福島県	179	298	700
茨城県	185	217	569
合計	1,862	28,927	1,412

出典：日本海洋学会東日本大震災関連特設サイト

2)　現状調査結果

津波による生物生息場の被害の状況を正確に把握するためには、津波の来襲以前の状態を把握する必要がある。独立行政法人水産総合研究センターでは、東京大学および宮城県と共同で「再生産力の向上を目的としたアワビ類の資源管理、増殖技術の開発」の一環として、平成 20 年度から宮城県牡鹿半島白浜と気仙沼市岩井崎の 2 か所の調査定点で、アワビやウニの資源量調査を実施してきた。両調査場所は大型褐藻のアラメを主要な海藻とする岩礁藻場の転石帯であり、アワビやウニの屈指の好漁場として知られている。また、いずれの調査地点も震央より 150ｋｍ圏内に位置している。震災前の藻場環境の状態についての調査記録をもとに、震災後の 2011 年 6 月にモニタリングを実施している。これらのモニタリング結果の報告をもとに、震災前後の藻場の状態についての概要を以下①および②にまとめた。

また、震災後の海中の状況については様々な NPO 等の団体が震災後に被災地での調査活動をおこなっている。例えば「NPO 法人 森は海の恋人」ではボランティアの大学研究者らと震災直後に海中の様子についてモニタリングを実施し、漁業養殖業ができる場づくりのために、瓦礫分布図を作成した。その他にも水質、底質および生物など、海中の環境の安全性や回復力について把握するための調査を実施しており、震災以降の海中の変化について報告している。それらの報告の概要を以下の③にまとめた。

（1）　藻場調査事例（宮城県気仙沼市岩井崎）

2011 年 6 月にアラメが優占する水深 3～6m 帯の岩盤および転石帯にて調査を実施した。エゾアワビ親貝、キタムラサキウニを 2m×2m の方形枠により定量採集し、生息密度を調査した。得られた結果は津波の来襲前に同定点で同様の調査手法で実施した結果と比較している。

潜水調査の結果、海水は白濁しており透明度は非常に低く 3m 前後であった。ま

た、漂流物等が集積する場所もあり浮泥状の有機物の堆積が目立っていた。アラメ群落に対する津波による大きな影響は見られなかったが、仮根部だけを残して、藻体が流出した状況も確認されている。しかしながらアラメの被度を求めた結果、津波前後での平均被度は差が見られておらず、群落全体への影響は大きいとはいえなかった。エゾアワビの親貝は津波の前後で 3 割減少、当歳貝は発見されておらずエゾアワビ資源量は壊滅的な被害を受けた。キタムラサキウニの生育密度は津波前後で大きな変化はなく、共に 3 個体/m² であった。**図 4.2.1-1** の結果からも分かるように、エゾアワビは当歳貝の壊滅的な減少に加えて親貝の生息密度も減少しており、今後の産卵量や発生量の低下が予想される。

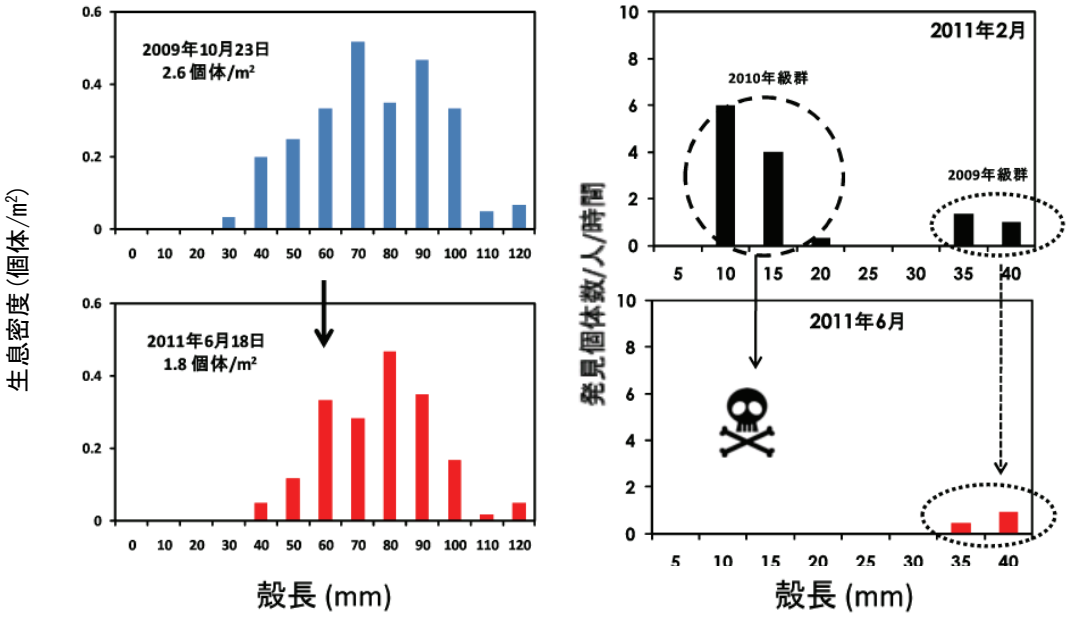


図 4.2.1-1 津波前後のエゾアワビ生息密度の変化(左図)
および当歳貝の発見数の変化(右図)

出典:独立行政法人水産総合研究センター「三陸沿岸のウニアワビへの津波の影響調査」

(2) 宮城県石巻市牡鹿町泊浜(牡鹿半島東岸)

2011 年 6 月に水深 2～7m 帯において調査を実施した。津波前の状態は、2～4m 帯にアラメの純群落が形成されており、それよりも深い場所の紅藻類の無節サンゴモに覆われた転石・岩盤帯では、大型海藻がみられない「磯焼け状態」となっていた。アラメ群落は単位面積当たりのアラメ質重量を調査し、エゾアワビおよびキタムラサキウニは 2×2m の方形枠にて定量調査の結果、海底には瓦礫等はほとんど見られなかったが、透明度が約 2m と低くこれまでの調査時と比較して濁りが目立っていた。アラメは根元から切られたように消失しているものも見られたが、前年の同時期の調査と比較して約 2 割減と見積もられ、津波による壊滅的な撹乱はみられなかった。エゾアワビの天然成貝(殻長 5cm 以上程度)はアラメの群落内に主に生息しており、5 割程度は残っていた。アラメ群落内ではその他の小型巻貝類等も比較的多くみられた。

一方で無節サンゴモ帯では大きな転石や岩盤が割れていたり、上下が逆転したりするものもあり、この場所に生息していたキタムラサキウニの生息密度は半年間で 3.2 個体/m²(2010 年 11 月)から 0.2 個体/m² と著しく減少した。この無節サンゴモ帯はエゾアワビ浮遊幼生の着底場になっており、主に殻長 3cm 以下の稚貝の生息場になっていたがこれらの密度も大きく減少していた。しかしながら**図 4.2.1-2** に示す通り津波前は磯焼け状態となっていた場所において、**図 4.2.1-3** の赤丸部分に示すように大型褐藻の幼芽の芽生えが見られ、今回の津波による新規裸地の出現と、ウニ類の減少に伴う摂餌圧低下によりこの場所に海藻群落が拡大する可能性が考えられる。透明度や動物相の変化がどのような影響をもたらすのか継続的な調査が必要である。

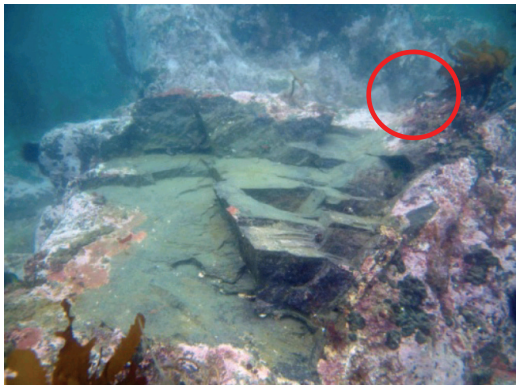


図 4.2.1-2　磯焼け状態の海底（被災前）　**図 4.2.1-3 大型藻類が生育（被災後）**

出典：独立行政法人水産総合研究センター「三陸沿岸のウニアワビへの津波の影響調査」

(3)　海中のモニタリング結果（宮城県気仙沼市気仙沼湾）

海中の環境が津波から受けた影響と回復状況および養殖海域の安全性を明らかにするために、NPO や大学の研究者（ボランティア）が気仙沼湾の海水･海底泥の成分分析および生物についてモニタリングを実施し、海水の安全性や回復力を調査した。下記に震災後の海中の様子についてまとめた。

・震災 2 カ月後：
魚類の大半は稚魚で、重油が海底に堆積していた。カキ筏の残骸など瓦礫も多い。珪藻は 1,500cell/ml で植物プランクトンが増大していた。

・震災 4 カ月後：
湾奥に堆積していたヘドロがなくなり、アマモが生育し始めていた。珪藻は 300cell/ml 以下に減少していた。

・震災 6 カ月後：
アマモ場は回復し、ホンダワラも繁茂していた。コブダイ、ボラ、クロダイ等本州南部の魚類が増えていた。

・その他：
秋にはサケの遡上が例年通り見られている。海底の重金属（Cr、Cb、Pb、AS、Se）については環境基準値以下。COD や有機リンについても問題ないレベルで、T-N および Fe については増加していなかった。

4.2.2 瓦礫、化学物質の流出、負荷

1) 津波による被害の現状

津波により海洋へ流出した工業製品や家電などの大量の瓦礫等に含まれている、化学物質の負荷について、影響が懸念されている。沿岸部に立地する化学工場や石油備蓄基地等の巨大なタンクが破壊されており、貯蔵されていた化学物質や石油等について、流出量や流出した物質の詳細は明らかになっていない。環境省の推計では岩手県、宮城県、福島県の 3 県の沿岸市町村で発生した瓦礫の量は合計で約 2,320 万トンに上るとされており、今後は大量の震災廃棄物･処理焼却に伴うダイオキシン類の生成や汚染に注意する必要がある。

2) 現状調査結果

海域の水質と底質は環境省が 6 月にモニタリング調査を実施している。調査項目は、人の健康の保護に関する環境基準（健康項目）、ダイオキシン類、炭化水素、臭素系難燃剤、有機フッ素化合物、その他の有害化学物質等である。健康項目とダイオキシン類については、いずれの測点においても環境基準を下回っていた。他の項目については一部の測点において他よりも相対的に高い値がみつかっており、継続してモニタリングを実施する必要がある。車両や船舶のバッテリーに含まれる重金属による影響は腐食の進行に伴う流出が懸念され、長期的な調査が必要である。

福島県の災害廃棄物は放射能汚染への懸念により県外での処理が難しくなっており、ダイオキシン類等有害物質の生成と汚染拡大につながる野焼きや低温での焼却による処理がおこなわれる可能性が懸念される。

3) 陸から海洋への物質輸送プロセスの変化

下水処理によって放出が制御されていたリンや窒素等の栄養塩、あるいは有機物が沿岸海域に直接流出することにより、海の栄養環境や栄養塩組成比等が大きく変わる事が考えられる。このような水質の変化は海域の富栄養化や有機汚濁をもたらす可能性がある。また、プランクトン構成種やプランクトンを起点とする食物連鎖網の構造、生物多様性や漁業生産力に対しても影響を与えかねない。

4) 養殖生物に関わる問題

被災地沿岸域の多くは養殖漁業が活発な場所でありカキ、ホタテ、アワビ等の貝類、ワカメ等の海藻類、ギンザケ等の魚類養殖が知られている。天然に比べて高密度で生産される養殖システムでは、自然施肥および人工的な施肥により海域の物質循環に大きく寄与している。そのため、津波による養殖施設の損壊は単に水産業だけではなく、自然界も含めた周辺海洋生態系への影響も合わせて考慮する必要がある。また、震災後に岩手県や青森県の沿岸部で通常揚がらないギンザケが豊漁となっており、津波によって壊れた宮城県沖合の養殖場から逃げだした数百万匹のギンザケが北上したものとみられている。また、水産資源の回復を目的として、域外からの新たな種苗投入が検討されている。これらの結果、在来種との交雑や競合等といあった潜在的な影響についても検討する必要がある。

5) 深海底における高濁度水の影響

震災直後に実施された海洋研究開発機構深海調査研究船により、海底地滑りによる地

形変化や、海底堆積物が再懸濁したためと推定される高濁度層の存在が観察され、広域な海域において堆積物の再懸濁に伴う高濁度層の形成が起こっているものと推測された。深海底は海洋表層や中層と比較して、生息する生物相･生態系が安定した環境を前提として成り立っており、急激な高濁度化は深海生物にも深刻な影響を及ぼしている可能性が危惧される。深海底には希少な生物種も多く、海域の特性を把握した上で影響について評価する必要がある。

4.3 震災の水産業への影響

今回被害の大きかった宮城県中部以北から岩手県にかけての三陸地域は、沖合および遠洋漁業の基地として水産加工場も集積した水産都市が立地していた。また、ホタテ、カキ等の貝類、コンブ、ワカメ等の藻類やギンザケ等の魚類の養殖が盛んにおこなわれていた。震災による津波は、北海道から沖縄まで漁業被害をもたらしたが、中でも全国の漁業生産量の 5 割を占める 7 県（北海道、青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉県）では大きな被害をもたらした。水産業は海洋生物多様性にとって影響力が大きく、天然資源を利用する産業であることから豊かな海の恵みの上に成り立っている環境依存型の産業である。従って、漁獲される生物種だけでなく、その餌生物などの漁獲されない生物も含めた生産力を支える生態系全体の健全さを保つことが特に重要である。そこで東北地方の水産業の現状および復興状況についてこれまでの報告をまとめ、水産業の復興および海洋生物多様性の回復にむけた提言をしたい。

4.3.1 漁業被害の状況

岩手県、宮城県、福島県では、ほぼ全域で壊滅的な被害を受けており、水産関係の被害額は 1 兆円を超える状況となっている。**図 4.3.1-1** に示す通り、被災地 7 都道県の主要な魚種の全国に示す割合は、サンマで約 4 割、サバ類で約 4 割、養殖カキで約 3 割、養殖ワカメで約 8 割、養殖種苗の販売量では、カキ類種苗で約 8 割、ワカメ類種苗で約 3 割、漁船数では約 2 割、漁業就業者数も約 2 割のシェアを占めている。中でも岩手県および宮城県の両県ではワカメ養殖で全国生産量の 76%、カキで全国生産量の 31%、コンブで全国生産量の 35%と養殖の一大拠点である。

表 4.3.2-1 にまとめたように、震災による水産関係への被害状況は、岩手県ではワカメ、コンブ、カキ、ホタテを中心にほぼ全壊、宮城県においてもカキ、ノリ、ワカメ、ホタテを中心にほぼ全壊となっている。養殖用カキ種苗供給量の約 8 割を占める宮城県のカキ種苗生産拠点も大きな被害を受けたことから、国内のカキ養殖全体への影響が懸念されている。なお、養殖業については、生産活動の開始から収穫･販売までに、藻類養殖で 1 年、貝類養殖で 2～3 年間を要し、その間の収入が得られない事が課題の一つとなっている。また、天然に比べて高密度で生産される養殖システムでは、自然施肥にせよ人工的な施肥にせよ海域の物質循環に大きく寄与していることから、津波による養殖施設の損壊は単に水産業の視点ばかりでなく、自然界も含めた周辺海洋生態系への影響も合わせて考慮する必要がある。

今回の津波は東北、関東以外の地域にも広範囲に押し寄せた。北海道渡島森港では 1.6 m 以上、三重県度場では 1.8m 以上、高知県須崎港では 2.8m 以上の高さの津波が観測さ

れ、大きな被害をもたらした。東北沿岸域以外でも三重県、和歌山県、徳島県、高知県、大分県、宮崎県、沖縄県などでも、ノリ、カキ、クロマグロ、マダイ、ハマチ、カンパチ、モズク等の養殖施設に大きな被害が生じている。

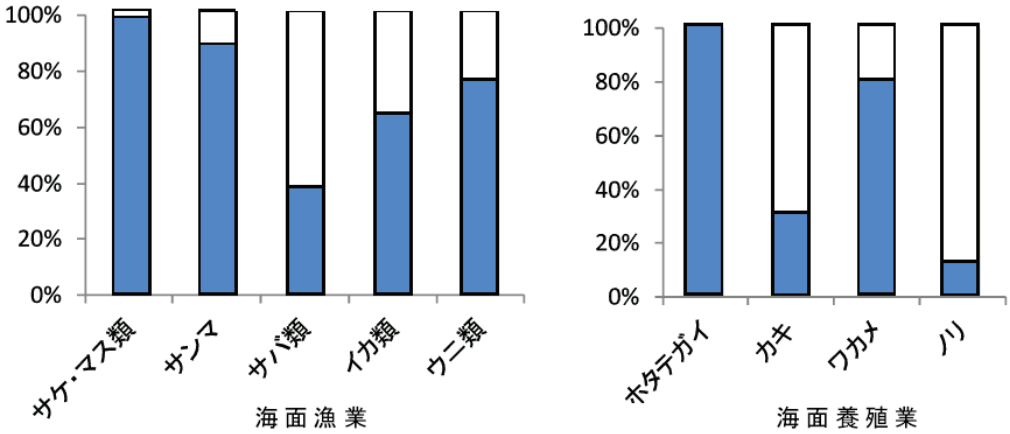


図4.3.1-1　被災地7道県の主要な魚種の全国に占めるシェア

出典：水産庁水産復興マスタープランの概要

4.3.2　放射能汚染による漁業への影響

東京電力福島第一原子力発電所の事故は、放射性物質の飛散や高濃度汚染水の海水への流出および排出基準を超える放射性物質濃度の排水を引き起こした。また、漁業にも大きな影響が発生した。事故の収束に向け取り組みが続けられているものの、漁業関係者や市場関係者等は未だに汚染水の漏出に対する不安がある。また、放射性物質の大気や海洋への放出の結果、水産物から暫定規制値を超える放射性物質が検出される事態が続いており、操業自粛や風評被害が発生している。水産庁では水産物の放射性物質の検査を推進し食品衛生法の暫定規制値を超える水産物が流通することのないように措置をしている。また、平成 23 年 5 月に「水産物の放射性物質検査に関する基本方針」を定め、これに基づき関係都道府県および業界では原則週 1 回、主な水揚げ港でサンプリングした魚介類の放射性物質の検査を実施している。2011 年 11 月の調査結果のうち基準値を超えた種について**図 4.3.2-1** に示す。検査の結果、放射性物質の濃度が暫定規制値（放射性セシウム：500 Bq(ベクレル)/kg、放射性ヨウ素：2,000 Bq(ベクレル)/kg を超えた場合には、国または都道府県の要請により、その検体が漁獲された海域周辺における関係漁業の操業を停止することとしている。

東京海洋大学の調査の結果、海洋表層に沈着あるいは流入した放射性物質は、プランクトンを通じて水柱内の生物に移行し、デトリタスとしてあるいは凝集して沈降した放射性物質は底生生物に取り込まれて底魚に移行すると予測している。また、放射性物質は海底の生態系内で循環し、さらに堆積物の移動速度は低いことから、希釈･拡散しにくいことが明らかになった。そのため今後も継続して堆積物、底生生物や底魚の放射性物質のモニタリングを継続する必要がある。

表 4.3.2-1　水産関係の被害および対策

対象種	震災前の全国年間生産量に対する割合	被害状況	震災後の課題・対策
ホタテガイ	10%	・養殖施設とともに出荷前のホタテガイは壊滅した	・天然採苗には新規の施設の投入と浮遊幼生の出現がカギを握っている ・収穫まで2～3年
エゾアワビ	80%	・津波により打ち上げられた個体が多い ・一部は岩礁域で生存している個体も観察されている	・放流適地把握（海藻群落の形成状況調査） ・人工海藻礁投入、人工種苗
マガキ	30%	・成貝の出荷はほぼ壊滅状態	・成貝の出荷壊滅 ・天然採苗復活期待
マガキ種苗	80%以上	・県外だけではなく、県内供給のための種苗確保も困難な状態	種苗の確保が困難（稚貝の移植は感染症拡大の懸念） 人工採苗生産を開始
ワカメ類	80%	・収穫期前に被害を受け、生産量は平年の2割程度	・1年で収穫可能→早期回復 ・回復まで輸入増加が予測 ・北部海域の養殖場だけではなく、中南部海域でも需要高まる→海域の漁場環境変化の調査等が必要
ワカメ類種苗	30%	・三陸の種苗供給が大幅減産となり、種苗不足が予測	・震災の影響のない県からの供給増、県内の種苗生産で補う必要
放流種苗（さけ・ます、ヒラメ、アワビ、ウニ類）	－	・放流用種苗生産施設や各県の栽培漁業センターが壊滅的な被害を受け、種苗放流が困難 ・放流後4～5年で回帰するため、4～5年後の本州太平洋沿岸における漁獲量が落ち込む事が予測	・仮設の種苗生産施設を整備し、24年春の種苗放流を可能にする ・復旧までの間、他海域の種苗生産施設等からの種苗の導入により放流尾数を確保

出典：水産庁「水産復興マスタープランの概要」に一部加筆

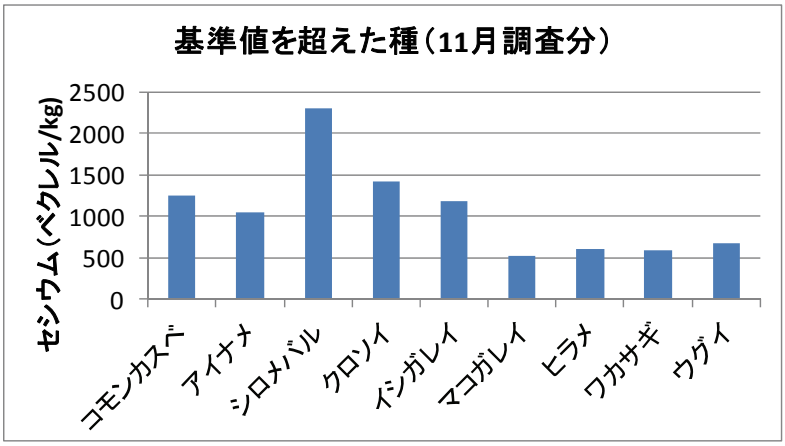


図 4.3.2-1 魚種別の放射性物質の濃度

出典：水産庁水産物の放射性物質調査の結果

4.3.3　水産復興

1)　水産の復旧および復興に向けた取り組み状況

水産業の基盤施設である漁港の復興や瓦礫の大量流出による漁場や藻場・干潟などの環境回復に向けて継続的な取り組みがおこなわれている。水揚げの回復状況と養殖施設の復旧状況について**図 4.3.3-1** に示す。また、加工流通施設・漁港および瓦礫撤去に関する復旧状況を**図 4.3.3-2** に示す

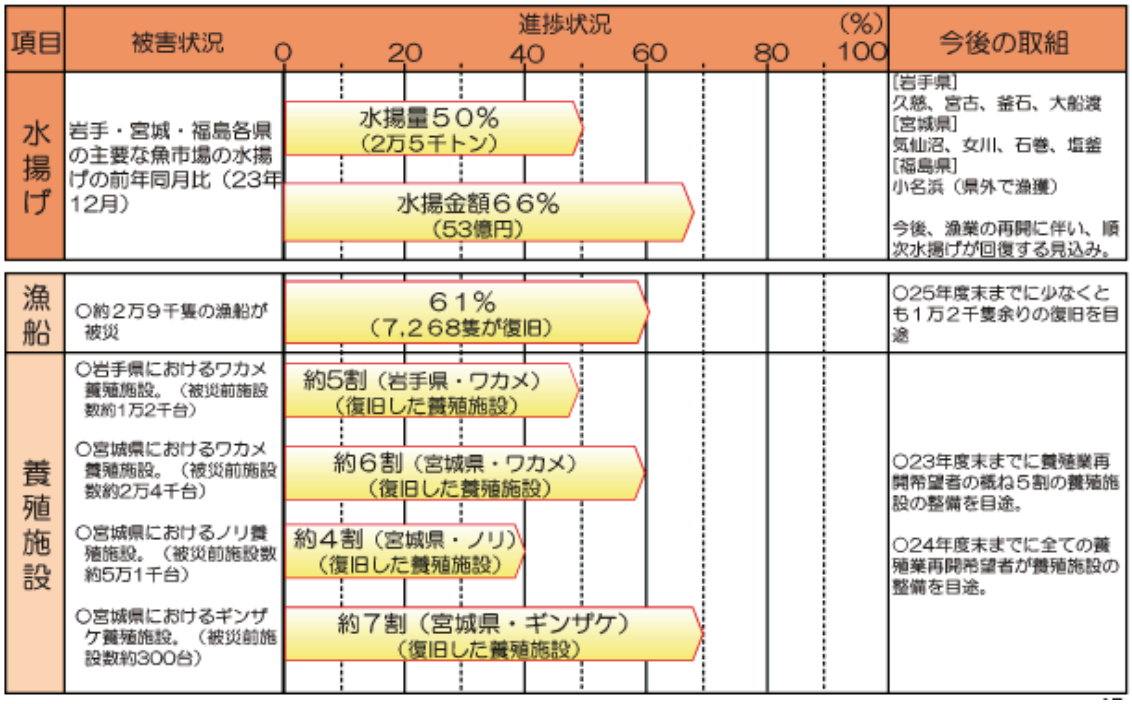


図 4.3.3-1　水揚げの回復状況と養殖施設の復旧状況

出典：農林水産庁東日本大震災による水産業への影響と今後の対応(2012.2)

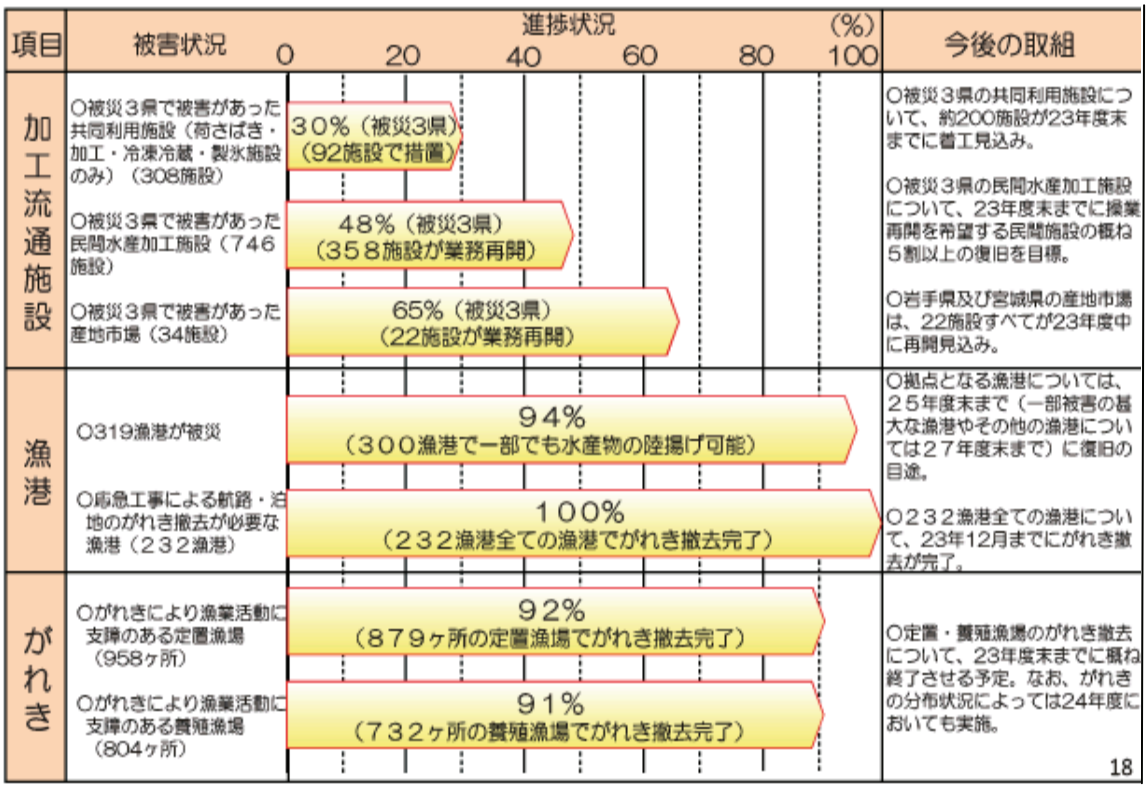


図 4.3.3-2　施設、漁港およびがれきの復旧状況

出典：農林水産庁東日本大震災による水産業への影響と今後の対応(2012.2)

3)　復興に向けての基本的な考え方

被災地の水産業の早期復興は、地域経済や生活基盤の復興に直結するだけではなく、国民に対する水産物の安定供給を確保するうえでも極めて重要である。水産庁の水産復興マスタープランに記載されている復興に当たっての基本理念および基本的方向を下記に列記する。また、**図 4.3.3-3** と**図 4.3.3-4** に図示する。

(1) 復興に当たっての基本理念

・地元の意向を踏まえて復興する
・被災地域における水産資源をフル活用する
・消費者への安全な水産物の安定的な供給を確保する
・漁期等に応じた適切な対応を行う
・単なる現状復旧にとどまらない新たな復興の姿を目指す

(2) 復興の基本的方向

・漁業者による共同事業化等による漁船や漁具等の生産基盤の共同化･集約化
・民間企業の資本等の導入に向けたマッチングの推進や、地元漁業者が主体の法人が漁協に劣後しないで漁業券を取得できる仕組み等の具体化
・周辺漁港との機能の集約･役割分担等の検討を行い、復旧･復興事業の必要性の高い漁港から着手
・漁船･船団の近代化･合理化による漁業の構造改革、漁業生産と一体的な流通加工業の効率化および高度化
・沖合、遠洋漁業の基盤となる拠点漁港については、緊急的に復旧･復興事業を実施するとともに、さらなる流通機能･防災機能の高度化等を推進

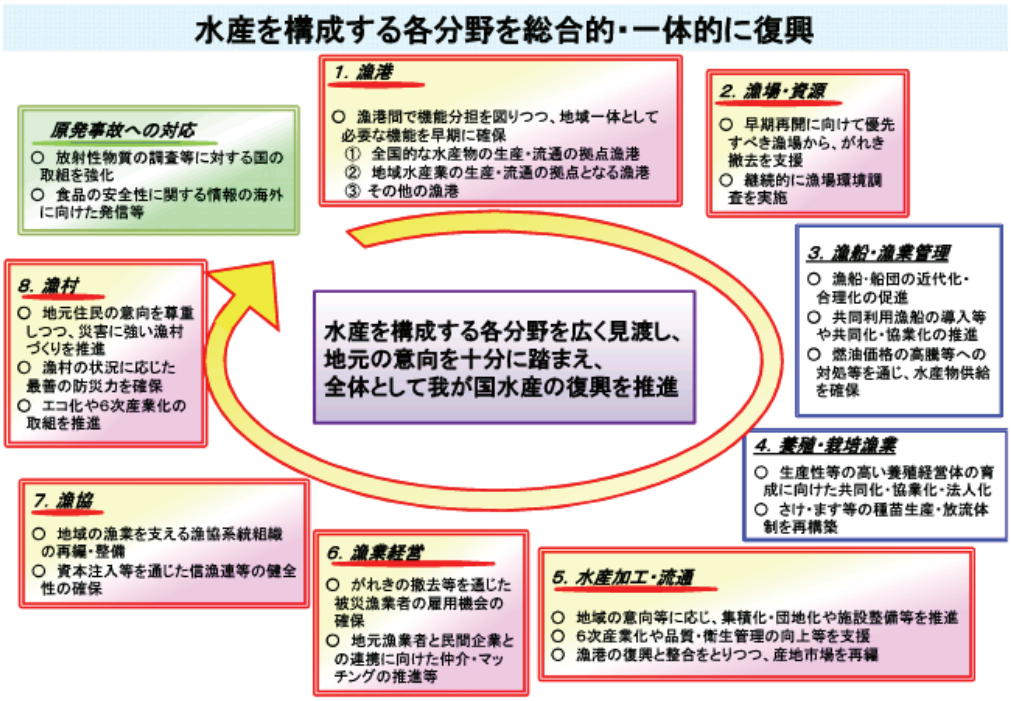


図 4.3.3-3　水産を構成する各分野を統合的、一体的に復興

出典：農林水産庁水産復興マスタープランの概要

図 4.3.3-4　水産復興マスタープランによる水産業の復興のイメージ

出典：農林水産庁水産復興マスタープランの概要

4.4　東北の海洋生態系の再生および水産業の復興

震災により変化した地形は、それ自体が自然形となって再生している場合もあり、元通りにすることが必ずしもベストな方法であるとはいえない。例えば、津波により河口に形成されていた干潟が地盤沈下により消失し、現在は淡水・汽水・海水と連続した湿地が形成されるなど、新たな環境の中で生態系が築かれつつある場所もある。無理に元の環境に復元する事が必ずしも必要とは言えず、形成されつつあるその環境を活かす方法もあると考えられる。そのためにも震災後の海中の底質・水質・生物について継続してモニタリングを実施して変化を把握する事が重要である。

今後復興する地域によっては、農地、森林、里山・里地・里海を新たに拓かした再生を進めていくことになるが、その際に自然の回復には長期間を要することを念頭に置いた計画を立てる事が重要である。地域の集落で長い時間をかけて暮らす中で引き継がれ守られてきたものや、暮らしてきた地域との結びつきは強い。こうしたことから人々の抱く土地への想いを大切にしつつ、地域資源を活用して農山漁村を再生し、人々の暮らしや文化を取り戻すことが、里山・里海で形成されてきた生物多様性を早期に取り戻すことにつながる。

三陸地方はリアス式海岸に見られる数多くの細い入り江とその奥の狭隘な平野、そこに流れ込む川など、森・川・海が密接に繋がり合う地域である。これらの地域における生物多様性の早期の復活や生態系サービスの増進のためには、森から川や海に至る結びつきを考慮して復興に取り組むことが重要である。現在、三陸海岸の自然環境と国内有数の水産業の場を活かし、防災上の整備に生物多様性の視点を取り入れた自然公園三陸復興国立公園（仮称）事業や、震災により破壊された沿岸域の海洋生態系を再生するための新たな研究拠点「東北マリンサイエンス拠点」づくりなどが動き始めている。「東北マリンサイエン

ス拠点」は地元の大学（東京大学国際沿岸海洋研究センター、東北大学複合生態フィールド教育研究センター）や自治体、企業（海洋研究開発機構等）を中心に海外の研究機関とも連携し、この拠点を中心に運用する調査研究船も建造し科学技術を用いて、三陸沖の漁業の復興や新たな産業の創出への貢献をめざすものである。

最後に、復興と併行してこれまで日本の水産業が抱えてきた多くの問題も同時に取り組まなければならない。例えば、養殖や投棄による水質汚染、漁港や市場の衛生管理、高齢化、後継者不足などがある。今回の復興では、漁業の基盤を修復することと併せて、水産業の課題を解決していくことも重要な取組みとなる。今後、日本における水産業の持続的な水産資源利用の手法を構築するとともに、その手法を運用するための現場の体制づくりが重要である。若手が漁業をやりたいと思える産業基盤が整備され、熟練漁業者が若手を育成する体制が作られ、そして水揚げしたものを適正価格で販売できる仕組みが作られることが必要である。

第５章　東日本大震災と生物多様性

－これまでの報告や提言等の事例をもとに－

平成 23 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災は、揺れに伴う直接的被害のみならず、1000 年来の大津波、そして福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出という未だかつてない三重の大被害を及ぼした。特に大津波は多くの人の命と生活を奪い、放射性物質は将来にわたり、人の健康と生活に大きな禍根を残している。

震災の対応でまず最優先すべきは、人の直接的な命や生活を保障していくことである。それでは、生物多様性あるいは生態系サービスという観点から、この震災による影響を見ていくとどうであろうか。震災で生態系が破壊されると、人の食や安全など生態系から享受する直接的なサービスに関わる影響を受ける。従って、今回の東日本震災で生態系サービスの消失状況を把握し、その再生･回復の道筋を立てていくことは、人の食や安全にとって大変重要である。さらに、このような生態系から人を切り出した一方的な生態系サービスという考え方のみならず、今回の震災をきっかけにエネルギー問題を含め人と自然（生態系）が共存する社会を作り出していくという方向に大きなうねりが生じている。

本節では、「生物多様性」という観点から東日本大震災を捉え、生物多様性に関わる諸分野における東日本大震災を踏まえての議論や提言などの事例を紹介し、生態系サービスという観点からその消失状況や再生･回復への方向性について取りまとめると共に、自然生態的にマイナスからのスタートをどのように切っていったらよいのか、いくつかの案を提案したい。

5.1　報告や提言等の事例

東日本大震災が発生して以降の「東日本大震災」と「生物多様性」のキーワードをもとにインターネットを活用して諸分野･諸団体等におけるシンポジウム、講演会、議論、意見･提言などについて事例調査を行った。

以下にその概要を列挙する。

① フォーラム「東日本大震災による生態系や生物多様性への影響」
（主催者：日本学術会議統合生物学委員会生態科学分科会、環境学委員会
自然環境保全再生分科会）

- 生態科学、および自然環境保全･再生学的な視点から、大震災における生態系や生物多様性への被害の実態評価、今後の回復過程の短期的･長期的モニタリング、可能な自然再生などのあり方、津波の際に干潟や海岸林の存在が災害を軽減したか、などについて議論。
- 貴重な生態系への被害としては、陸前高田の松林、若林･宮城野区のクロマツの海岸林、相馬市松川浦の湿原消失、蒲生干潟の消失などが挙げられる。
- 生態系への被害の状況については近年のデータが不足しており、また震災後のデータが採られていないことが問題である。
- チェルノブイリ･リサーチ･イニシアティブという研究グループでは、チェルノ

ブイリ事故によるさまざまな生物群への影響を調べ、特に哺乳類と鳥類において放射能汚染が高くなると個体数が少なくなる傾向があった。

・チェルノブイリでの例をもとに、モニタリングに適した指標生物を選定し、汚染地域と対象地域での生存、繁殖、個体数などの詳細比較をする必要がある。特に日本では海洋生態系への影響を調べていく必要がある。

・海岸域は人間の影響に弱いところだが、もともと常に自然のかく乱にさらされているところなので、森林などに比べると回復力は高い。

・漁業や養殖など海の生態系サービスへの影響が大きく、また、防砂林の破壊による内陸側の農地への影響が大きい。

② 発表「釜石の三貫島など 232 カ所選定　生物多様性の重要地域」

（発表者：国際環境保護団体、コンサベーション･インターナショナル(CI)･ジャパン）

・CI ジャパンが選定した「生物多様性重要地域（KBA）」のうち、震災の被害が懸念される地域は、釜石市箱崎町の三貫島、青森県の蕪島、宮城県の伊豆沼･内沼。

③ 緊急･公開フォーラム「災害と生物多様性」災害から学ぶ、私たちの社会と未来

（主催者：NGO 生物多様性 JAPAN）

・震災による海の生態系異変、動物･ペット･家畜の救助と野生化、里山里海の被災と復興、津波と林業･森林、ホエールズウォッチングと津波、被災地での標本の救済等の内容について報告。

④ シンポジウム「国際森林年記念シンポジウム特別講演」

（主催者：美しい森林づくり全国推進会議、経団連自然保護協議会、(社)国土緑化推進機構）

・震災を契機に海岸林の役割とその再生について検証すると共に、被災地の重要な地域資源である木材のマテリアル及びエネルギー利用を通して、森林管理･利用や社会作りの方向性について議論。

⑤ 内閣総理大臣宛要望書「東北の海辺の保全と泡瀬干潟埋立事業に対する要望」

（要望者：公益財団法人日本自然保護協会、公益財団法人世界自然保護基金ジャパン、公益財団法人日本野鳥の会、　泡瀬干潟を守る連絡会、泡瀬干潟を守る東京連絡会、日本科学者会議沖縄支部、ジュゴンネットワーク沖縄、ラムサール･ネットワーク日本）

・「東北地方の干潟･湿地･砂浜を保全するためにも、利用計画に疑問の残る沖縄の泡瀬干潟の埋立事業を中止し、泡瀬干潟の生物多様性を良好な状態で保全し、優先度の低い埋立事業の予算を東北の震災対応費に振替えてほしい」、という内容の要望書。

⑥ シンポジウム「東日本大震災復興支援シンポジウムー里海･里地･里山の復興をめざしてー」

（主催者：SATOYAMA イニシアティブ国際パートナーシップ（IPSI）事務局 、サステナブル･オーシャンズ･イニシアティブ）

・生物多様性及び地域文化等の重要性をふまえつつ、里山、里地、里海の連環を

通じた地域再生の可能性について議論し、地域の方々による復興に向けた取組みに寄与することを目的としたシンポジウム。

⑦ フォーラム「仙台湾/海岸エコトーンの復興を考える」

（主催者：「フォーラム 仙台湾/海岸エコトーンの復興を考える」実行委員会、共催 東北学院大学、東京情報大学、自然環境復元協会･学会）

・「浅海から浜辺、防潮堤、湿地、海岸林、そして農耕地に至るエリア」を「海岸エコトーン（海と陸が交錯する推移帯)」とみなし、仙台湾に沿った砂浜海岸領域を事例とした意見交換の場。

・震災で多くの砂浜が流亡した。今後土砂が戻ってくるかは予測不能。

・仙台平野の海岸マツ林は農地を潮害から守るために伊達政宗の時代から植林されてきたもの。1933 年の昭和三陸地震による津波被害後、海岸林の防災効果が評価され、再度、資金が投入されて植林が行われた。それら機能の向上を図るために、機会あるたびに資金が投入され、危機に見舞われた地域の人々が現金収入を得る助けとなった。

・今回の震災で懸念される事項は、干潟とその底生生物の消失、いくつかの河川での汽水域の消失、養殖への影響等である。 蒲生干潟では前浜がとんで海とつながった。現在は、再び砂が寄りつき、干潟としてもとにもどりつつあるようだ。松川浦では干潟部の砂泥は流亡し砂礫の浜に変化した。

・今後、早急に必要なことは、1)現状把握、2)地形、生物のモニタリング、3)失われた干潟に戻ってくる底生動物 のソースの確保（無配慮な造成によって消失する可能性があるかもしれない）、4)生態系の連続性の確保、汽水域の確保･保全、5)内湾や潟湖など波浪の弱い浅海域の修復、などである。

・農地復旧と海岸林復旧をあわせてすべき。今までの土地利用ルールを白紙に戻して、ゾーニングを図る必要がある。国による買い上げなども必要ではないか。地盤沈下してしまった場所は干潟等に戻すなどの考え方もある。

・復興の緊急性と生態系の保全･修復とを、どのように整合させるかが難しい。地域の方々にとって緊急の復旧が必要。一方、そのための工事が将来の地域に必要な生態系サービスを失わせる危険性を持つ。

・湿地などについてはその土地の特性を人為で無理に偏向させることは、将来の危険性を高める可能性がある。そのような湿地には絶滅危惧種も生息している。

・マツ林の内陸側には広葉樹が侵入し種の多様性を高めている。内陸側に残された屋敷林等をソースとして、多様な種が侵入することを待つということも含め、植栽計画を考える必要がある。

⑧ 内閣総理大臣宛提案「東日本大震災の被災地復興に関する提案～自然と共存する持続可能な美しいまちづくりを目指した復興～」

（提案者：(財)日本生態系協会）

・防災･減災、および生態系サービスを将来にわたって受け続けることができる、自然と共存する持続可能な美しいまちづくりの観点から、以下の 2 つの大規模プロジェクトを提案。

・**図 5.1-1** に示すような自然と共存するコンパクトシティの創造（生態系の観点

を踏まえた土地利用ゾーニングを適切に行ったうえで、避難所ともなる大規模緑地や延焼防止の緑地帯等を各所に設置する。）

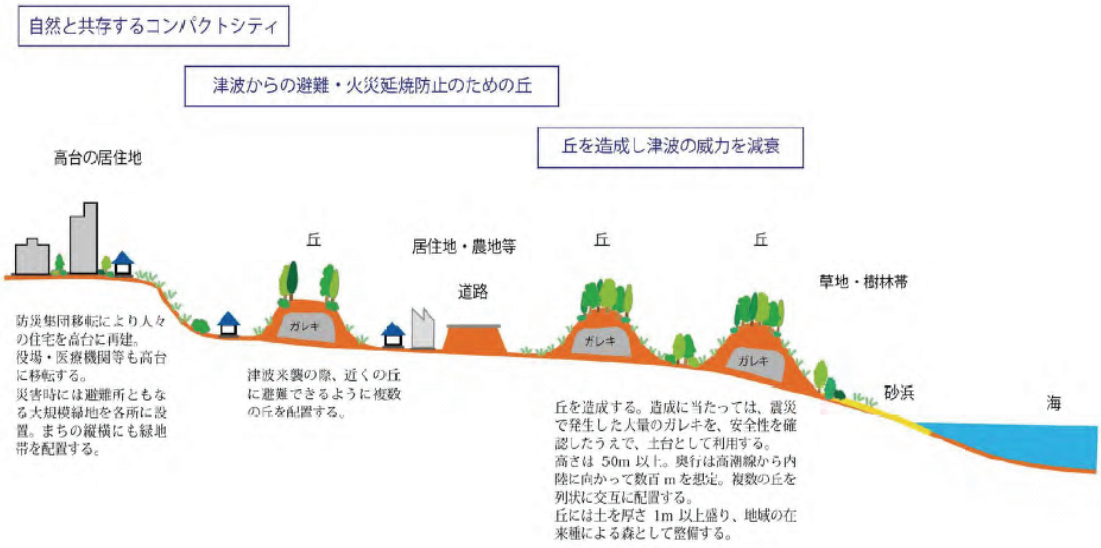


図 5.1-1　自然と共存するコンパクトシティの提案

出典：日本生態系協会 Web サイト

・災害対策と自然との共存とを目的とした大規模国営公園の整備（海岸線に沿って幅数百ｍ程度で連続する大規模国営公園（国による買い上げ）を設置。発生した大量のがれきを土台とし、高さ 50ｍ以上の丘状とする。）

⑨ 国際フォーラム「復興から見える新たな日本の創造 － 全国どこでも起こる大災害」（主催者：(財)日本生態系協会）

・自然災害からの復興における原則、市民が望む自然と共存した持続可能なエコタウンづくりについて講演した。

⑩学会シンポジウム「東日本大震災（津波）による動物生態系や生物多様性への影響」（主催者：日本動物学会）

・津波が動物の生態や生物多様性に及ぼした影響について議論した。
・大槌岩礁藻場をはじめ沿岸藻場や魚類生息環境の回復に関する研究の必要性を論じた。
・相馬市の松川浦では、津波で表在性のベントスの多くは流され、50cm の深さまで生息するオオノガイは掘り出され打ち上げられた。宮城県ではマガキも多数死滅した。
・石巻市の万石浦は地盤沈下で地震後干潟がほとんど現れず、潮間帯上部のウミニナ類やタマキビは、地震前より徐々に内陸側に進出している。今後は海岸線が陸側に後退し、生物の分布が変わるだろう。
・津波は数キロ内陸にも到達した。水田ではタニシ類が死に、海水魚が発見された。周辺の用水路のメダカも全滅した。しかし、アサリのように移動先で生き残ったものも多く、長期的な視点での検討が必要である。

⑪ 特設サイト提言「東日本大震災による海洋生態系影響の実態把握と今後の対応

策の検討（提言）」（提言者：日本海洋学会　震災対応ワーキンググループ生態系サブワーキンググループ）

・この提言は「津波による藻場･干潟の物理的被害」「瓦礫･化学物質の流出･負荷」「陸から海洋への物質輸送プロセスの変化」「養殖生物に関わる問題」「深海底における高濁度水の形成」について論じ、震災に関わる海洋生態系への影響把握とその対策を含め、今後の調査研究の方向性について取りまとめたもの。生態系に関する情報を分かりやすくまとめ、国民や政策決定者に伝達する広報･アウトリーチ活動も、震災からの復興にとって本質的に重要な点であることを訴える。

・東北･北関東沿岸の藻場や干潟に代表される沿岸海洋生態系は、単位面積あたりの生産性が熱帯雨林の 2～11 倍と極めて高いと見積もられており、コンブ類やホンダワラ類などの大形海藻群落、アマモ類などの海草類、干潟の付着微細藻類など様々な一次生産者が担っている。これらがとりわけ引き波による強い流れによってその多くが流出した可能性が危惧される。

・海域の水質と底質について、環境省は 6 月 3 日から 20 日にかけて海洋環境のモニタリング調査を実施している。調査項目は人の健康の保護に関する環境基準（健康項目）、ダイオキシン類、炭化水素、臭素系難燃剤、有機フッ素化合物、その他の有害化学物質などである。健康項目とダイオキシン類については、いずれの測点においても環境基準値を下回っていた。津波にさらわれた機器類からの重金属による影響は腐食の進行にともなう流出が懸念され、長期的な調査が必要である。

・これまで下水処理によって放出が制御されていた窒素･リンなどの栄養塩や有機物が沿岸海域に流出することによって、海の栄養環境が大きく変わり、海域の富栄養化や有機汚濁をもたらす可能性が危惧され、さらにはプランクトンを起点とする食物連鎖網の構造、生物多様性に対しても影響を与えかねない。一方で、居住地移転などによって人間活動そのものが縮小することによる沿岸生態系の貧栄養化が起こる可能性も考えうる。沿岸域でのモニタリングばかりでなく、陸水学、農学、土壌学および都市工学等との学際的な連携による包括的な研究が必須である。

・被災地沿岸域では養殖漁業が活発であり、カキ、ホタテ、アワビなどの貝類、ワカメ等の海藻類、ギンザケなどの魚類養殖が知られている。震災後岩手･青森両県の沿岸部で普段は揚がらないギンザケが豊漁となっており、津波によって壊れた宮城県沖合の養殖場から逃げ出した数百万匹のギンザケが北上したものとみられている。今後は在来種との交雑や競合などといった潜在的な影響についても注意深く検討することが重要である。

・地震／津波発振源の海底付近において地震により海底堆積物が再懸濁したためと推定される高濁度層の存在が観測され、深海生物にも深刻な影響を及ぼしている可能性が危惧される。

⑫ ニュースレター意見「東日本大震災の復興に向けて応用生態工学が果たすべき役割」（意見者：応用生態工学研究会　普及･連携委員会）

・地域･市街地の復興、河川･沿岸域の復興、これら達成のために、応用生態工学ができることについて記述している。
・地域･市街地の復興に際し、防災や生活再建、利便性、住環境等を優先に考えがちであるが、自然環境の保全・創出に十分配慮したものでなければならない。
・沿岸域の復興に際し、津波や地盤沈下により入り江や湿地のようになった場所は、人間の居住地や農耕地としてではなく、干潟環境などの自然環境として保全することを検討する。公園や観察用の展望台（津波の危険があるときは避難所とする）の整備と合わせることで、地元の観光資源として復興の足がかりになる可能性がある。
・河川沿岸の復興に際し、従来の原型復旧を改めて河川用地を従来の数倍程度に広げ、より自由度を持って蛇行し、植生の繁茂も許容し、多様な環境を創造することも考えられる。
・応用生態工学会が果たすべき役割として、復興イメージ（環境目標レベル）を具体的にわかりやすく示し、より先進的な環境目標レベルを提示できるようにサポートすることが考えられる。応用生態工学会が考える 30 年後の環境イメージ（**図 5.1-2**）を作成して、地元に提示する場所を作っていくことが必要である。

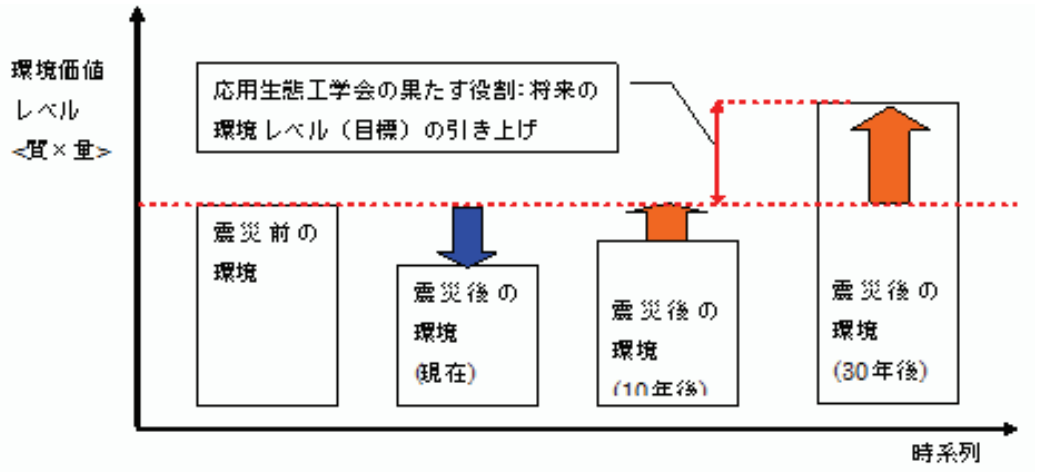


図 5.1-2　応用生態工学が考える 30 年後の環境イメージ

出典：応用生態工学研究会 Web サイト

・地盤沈下や津波により宅地や農地に適さない土地に対し、立地診断の提案とその後の土地利用について提案した。具体的には、その立地のポテンシャル（農地や宅地として利用可能か，潜在自然植生、潜在的にどのような動物の生息場となりそうか）などを概略診断する。
・復興地域における自然的なブランドを活かした環境づくりが重要である。

⑬ 講演会「東日本大震災グリーン復興支援プロジェクト　キックオフ･イベント（主催者：NPO 法人アースウォッチ･ジャパン）

・被災地（津波による被害を受けた干潟や島嶼、海水を被った田圃等）の生態系調査プロジェクトを一般市民、企業が派遣する社員等が手伝い、ここから得ら

れたデータを今後の復興計画に提供するためのキックオフイベント。干潟調査、蝶の生態調査、冬みず田んぼの再生について報告･講演。

⑭ 雑誌「Biophilia 26 【特集】 里山をめぐる生物多様性 【特集 2】復旧・復興への提言」（編集者：ビオフィリア編集委員会）

・原発事故による海洋環境への影響や放射性物質の生物影響、塩害を受けた田畑の復興、バイオ燃料作物の導入による被災地の早期農業復興等について記述。

⑮ 活動展開「暮らしと自然の復興プロジェクト」
（活動主体者：WWF(世界自然保護基金)ジャパン）

・東日本沿岸域の生態系の回復と、海と共に生きる暮らしの復興について活動展開中である。

・東日本の太平洋沿岸には、数多くの生物多様性の高い地域（生態系サービスの供給源）があることがわかっており、これらの地域で生物多様性への影響等に十分な配慮がないまま、復興計画が策定される可能性について危惧の声があがり、WWF として自然再生と、それを踏まえた漁業復興モデルを提案･実行して欲しいとの要望があがった。

・検討の結果、活動地域を宮城県南三陸町（戸倉地区）と福島県相馬市（松川浦）の 2 カ所に決定した。

・南三陸町を選定した理由は、志津川湾が、1)重要湿地 500（アマモやアラメなどの海草･海藻類の生育域）に指定、2)南三陸金華山国定公園内、3)モニタリングサイト 1,000（藻場）の調査地、4)ギンザケ、ワカメ、カキなどの養殖業が中心であるため等である。

・相馬市松川浦を選定した理由は、松川浦が 1)重要湿地 500（ホソウミニナ、アサリなどの生息地）に指定、2)福島県立自然公園内、3)モニタリングサイト 1000（シギ･チドリ類、底生生物）の調査地、4)ノリやアサリ（松川浦）、ホッキやカレイ類（相馬海域）などの産地、5)福島第一原発事故の影響により漁業は自主休業中であるため等である。

⑯ 講演会「第 14 回集会 東日本大震災の湿地への影響をガンカモ類などの調査を通してどう把握するか」（主催者：東アジア･オーストラリア地域渡り性水鳥重要生息地ネットワーク（ガンカモ類）支援･鳥類学研究者グループ：JOGA（重要生息地ネットワーク、日本鳥学会、環境省「インターネット自然研究除」））

・東日本大震災を、ガンカモ類にかかわってきた当グループがどのようにとらえたらよいのかをテーマとした講演会を実施した。

・ラムサール条約指定湿地や、潜在的な重要湿地とされている湿地への影響、ガンカモ類のモニタリング調査において震災の影響を把握する上で重要と考えられる課題、宮城沿岸湿地と内陸湿地でのガンカモ類への影響等について報告した。

⑰ ホームページ意見「東日本大震災への学術としての対応についての意見」
（意見者：日本景観生態学会）

・日本学術会議･東日本大震災対策委員会から募集された「東日本大震災への学術としての対応についての意見募集」に対する意見の提出。
・防災ハードを考える前に、低平地の氾濫湿地等が洪水や津波による浸水の受け皿となり災害を低減する機能（生態系の調整サービス）を最大限に活かすことを念頭におき、自然立地的土地利用計画のもとで復興を進めるべき。本来、海岸域は極めて重要な生態系･生物多様性の拠点であり、その利用にあたっては陸と海の緩衝帯として十分な「幅」が求められる空間である。自然堤防としての海岸砂丘を評価すべきであるが、一方、沈降海岸が卓越する地域では、浸水地域を安易に干拓復旧することは最善の土地利用ではなく、今後、それら地域の一部は本来の塩性湿地もしくは藻場として再生することも検討すべきである。海岸沿いに作られてきた海岸林の配置や幅等を再検討しながら、地形と一体的に緩衝作用を高めるための計画を検討すべきである。
・生態系の基盤サービスや供給サービスが、将来にわたって永続的に活用できるようにすることを、復興の目標に掲げる必要がある。2010 年の生物多様性条約 COP10 において日本が世界に向けて発信した「里山イニシアティブ」の考え方を発揮させ、生物多様性の保全と持続可能な利用と両立する伝統的文化的な営みで特徴づけられる二次的自然、いわゆる「社会生態学的生産ランドスケープ」の再生を実現しなければならない。今後予想される丘稜地などの高台での住宅地復興について、生態系サービスの低下が懸念される。樹林地の保全に配慮した土地利用計画を流域単位といった小さな単位で策定し、森林生態系および水源涵養機能の社会生態学的な保全によって持続可能な生態系サービス利用を図っていく必要がある。
・湧水利用の例で見られるように、文化的サービス（自然と文化が一体となって築かれた「風土」をそれぞれの地域で継承していけるようにすることが必要である。

⑱ 懇話会「東日本大震災連続まちづくり懇話会　ランドスケープ再生を通じた震災復興」（主催者：公益社団法人都市計画学会 東日本大震災連続まちづくり懇話会）
・東京大学大学院農学生命科学研究科の武内和彦氏が講演した。
・震災復興を通して生物多様性条約 COP10 における愛知目標の実現により貢献する施策を展開すべき。
・自然の驚異を認識した上で、人間と自然の望ましい関係の再構築を考えるべき。
・震災後の高台への移転を自然破壊とは見なさず、森-川-海の連環を再生するものと考えたらどうか。そこでは、生物多様性を豊かにする里山的自然を活用したコンパクトなまちづくりの契機としていくべきである。
・自然との共生、レジリエンス（困難な環境への適応能力）の高い地域コミュニティの再建が重要なテーマ。

5.2　大震災による生態系の機能消失と貢献

以上の事例等の内容をもとに、大震災による生態系の機能消失の状況を**図 5.2-1** に示す「生態系サービス」という観点で**表 5.2-1** に取りまとめた。表中には今回の震災で生態系サービス機能が貢献した点についても併記している。

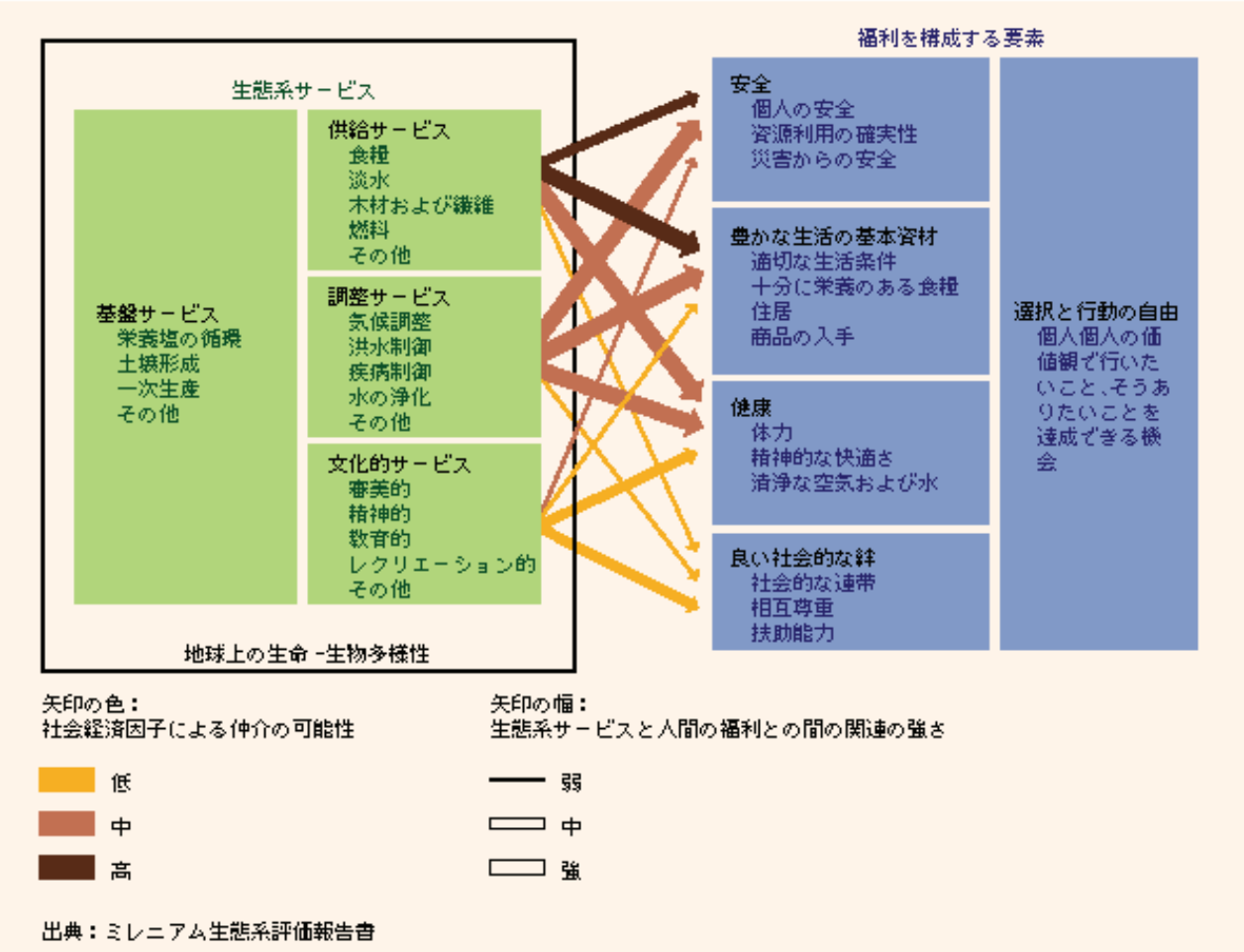


図 5.2-1　生態系サービスに関する模式図

出典：環境省 Web サイト

表 5.2-1 に示すように、全ての生態系サービス区分において、津波の影響と放射性物質による影響が二分されて掲げられており、津波と放射性物質が生態系サービスの全般にわたって深刻な影響を与えていることが伺える。

表 5.2-1　東日本大震災における生態系サービス機能の消失と貢献

生態系サービスの区分		消失あるいは貢献した場	消失の原因あるいは貢献した対象	具体的な現象
基盤サービス	栄養塩の循環	海岸部	津波	･湿地や干潟等における栄養塩バランスの崩壊
	土壌形成	海岸部	津波	･陸上土壌の海中への引込み ・ヘドロ等の阻害物質の陸上への押寄せ ・重金属やPCB等有害物質の土壌中への混入
		放射性物質影響範囲	放射性物質	･放射性物質による土壌の汚染 ・放射性物質を吸収する植物による土壌浄化機能
	一次生産	海岸部	津波	・塩水流入による陸上や湿地性植生の枯損 ・津波による沿岸部海草・海藻類の流失
供給サービス	食料	海岸部	津波	･塩水流入による農作物生産停止 ・沿岸漁業や養殖業による魚貝類水揚量の減少
		放射性物質影響範囲	放射性物質	･放射性物質による農畜産物や水産物の汚染に伴う出荷停止
	淡水	海岸部	津波	・地表水や地下水への塩水流入
		放射性物質影響範囲	放射性物質	･水源地における放射性物質による汚染
	木材･繊維	海岸部	津波	･津波浸水地における立木の枯損 ・木材加工施設等の運用停止
	燃料	海岸部	津波	･バイオマス系燃料用栽培植物の枯損 ･バイオマス系燃料製造施設の運用停止
調整サービス	気候調整	海岸部	津波	･防風林や防潮林の消失
	洪水制御	海岸部	津波	･防波堤や防潮堤としての樹林の喪失 ･塩水流入による稲作停止や湿地性植物の衰退 ・防波堤や防潮堤としての機能に貢献
		放射性物質影響範囲	放射性物質	･育林停止による森林の脆弱化
	水の浄化	海岸部	津波	･稲作停止や湿地性植物の衰退による陸水浄化機能の喪失 ・干潟や藻場の衰退による海水浄化機能の喪失
文化的サービス	審美的	海岸部	津波	･景勝地における松原等の消失
		放射性物質影響範囲	放射性物質	･景勝地立入禁止措置に伴う自然環境の放置・荒廃
	精神的	海岸部	津波	･身近なみどりや生きものを失った喪失感
	教育的	海岸部	津波	･自然観察サイトとしての湿地、干潟や二次的自然の消失
		放射性物質影響範囲	放射性物質	自然観察サイトの立入禁止措置に伴う自然環境の放置・荒廃
	リクリエーション的	海岸部	津波	･ダイビングスポット等の消失
		放射性物質影響範囲	放射性物質	リクリエーションサイトの立入禁止措置に伴う自然環境の放置・荒廃

なお、当 WG による宮城県南三陸町及び北上川流域での調査（2011 年 10 月 8 日）においては、**図 5.2-2** に示すように、生態系への被害の大きさのみならず、生物（植物）の強靭さも垣間見てきた。

【南三陸町内陸部】
杉は枯損の状態が浸水部と非浸水部で明確に異なる。

【南三陸町臨海部】
明らかに津波浸水した場所に植物が生育し始めている。生育が旺盛な植物としては、タデ科、キク科、イネ科のものが多かった。

【北上川流域（河口から約5km上流）】
写真右側が北上川、左側が堤内地。
堤内地はおそらく稲作地と思われるが、津波浸水により耕作放棄されている。

【北上川流域（河口から約12km上流）】
写真に示す一帯は北上川を遡上してここまで津波が到達し、浸水したようだが、稲作が実施され、写真の通り黄金の穂が垂れていた。

図 5.2-2　震災（津波）による植物への影響

5.3　生態系サービスの機能回復に向けた道筋と取組案

東日本大震災で消失した生態系サービス機能を回復するにあたっては、人への関わり方の重要度や優先性、及び回復への取組と効果の発現に至る時間軸を勘案して取組んでいく必要がある。なお、被災地においては地域によって地理的･自然的な環境や人口･産業構造等が異なり、また、被災状況も大きく異なるため、自然や生態系サービスの回復について、具体的な取組を掲げることは難しい。

ここでは、Web による事例調査等をもとに消失した生態系サービスに関わる各機能の回復に向けた道筋について述べるとともに、今後復興の取組みがなされる過程で自然生態系をうまく回復･活用していくための取組案について述べる。

5.3.1　基盤サービス

基盤サービスとしての栄養塩の循環、土壌形成、一次生産のいずれにおいても、津波による消失が懸念されている。特に海岸部の陸から海にかけては、津波による土壌と底質の大きな移動により、従来より形成されていたエコトーンが大きく損なわれている。地盤沈下等で浸水が継続しており、土地利用が困難な地域においては、新たなエコトーン形成へ

の観測スポットとし、積極的にモニタリングをしていくような「学術教育面における文化的サービス」の場として位置づけていく方向が考えられる。

基盤サービスに関わるもうひとつの大きな課題は、放射性物質による土壌の汚染である。行政サイドで除去･保管の対応が図られているが、除去の対象が表土層であり、特に人為が加わっていない土地の表土は、その場の自然生態系を形成している基盤となっている。自然度の高い土地における汚染土の除去については、その場の生態系を大きく乱さないような考え方も取り入れた対応策が必要である。

5.3.2 供給サービス

供給サービスは、食料、水、エネルギーなど人の日常生活に最も直接的に関与するため、消失による影響は大きく、早急の対応が必要とされている。食料生産の基幹となる稲作地帯は津波浸水域と重なる領域が大きいが、北上川流域の河口からの距離によって浸水影響の大きさが異なるという今回の現地調査結果から類推すると、場所によって農地としての回復の程度は異なると考えられる。回復の可能性の高い農地から順番に優先して圃場の再整備を進めていけるような指針が必要であろう。

従来の農地としての存続が難しい場所では、エネルギーや食料等の供給源となる在来植物を導入し、新たな生態系と産業の形成を検討することも一案である。

5.3.3 調整サービス

調整サービスについては、防風林や防潮林、湿地、干潟、藻場など、津波によって瞬間的にダメージを受け、機能を消失したケースのほかに、放射能による立入が制限され、放置されることによって荒廃し、じわじわと機能を損なっていくケースも大きな問題である。

一方で、高潮や砂、風の被害から守るための「海岸防災林」が津波エネルギーの減衰や到達時間の遅延、漂流物を補足する役目を果たした、という報告もあり、植生帯の構造としての考え方に新たな発想が期待される。ここでは震災のがれきを利用した新たな海岸防災林の構造案について提案し紹介したい。

【取組案：植生とがれきを活用した海岸防災林（**図 5.3.3-1**)】

①震災がれきを海岸防災林の基盤として利用し、コンクリートがらのようなサイズが大きい重量物をマウンドの表層部に敷設することにより、マウンド骨格としての強靭性を増す。

②サイズの大きい重量物の下には土砂や細粒の小さながれき類を入れ、海岸防災林を形成する樹木の根系が大きながれき類の間隙を縫って細粒物まで到達するよう、深い根系を形成させる。

③マウンドの海岸側はマツや常緑広葉樹等を配置し、水勢を抑制する機能を持たせる。

④マウンドの内陸側には落葉広葉樹を主体に配置し、防災面のみならず、内陸側での農作や生活に必需とされる二次林としての利用と生物多様性を促す。

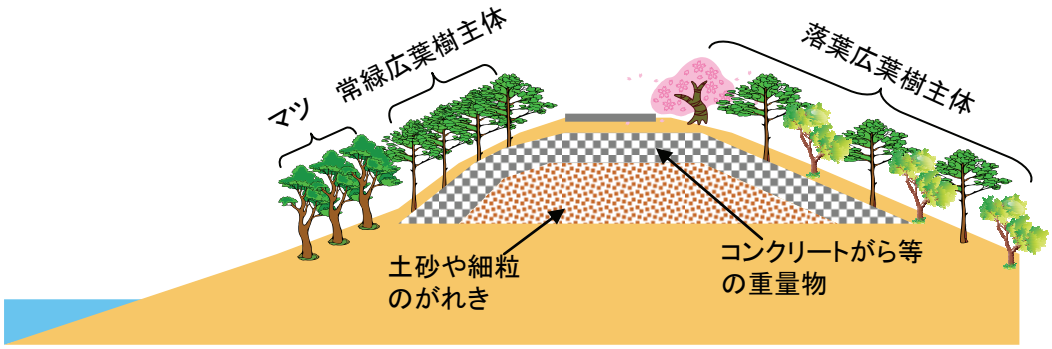


図 5.3.3-1　植生とがれきを活用した海岸防災林のイメージ図

5.3.4　文化的サービス

その場に形成された自然生態系が織り成す景観はそれ自身審美的であり、精神的に癒され、観光の要所にもなっているところも多い。震災地ではこのような風光明媚な多くの景勝地が津波により破壊され、原子力発電所の事故により足が遠のく場となってしまった。

しかし、今回の震災被害を逆手に取り、震災でリセットされた生態系の遷移や回復の状況を観察･モニタリングできる観測地として発信し、その知見を世界的に共有していくことを文化的サービスと捉えることはできないだろうか。併せて「今回の震災は自然生態系に対する非常に大きな撹乱であり、今後人為の及ぶことができない範囲はどこまでであり、その範囲においては生態系サービスを今後どのように受けていくのが肝要か」ということを研究するよい機会と捉えられないだろうか。以下にその概要案を紹介する。

【取組案：「自然遷移・回復観察公園」（図 5.3.4-1）】

①津波で壊滅的なダメージを受け、浸水後の土地活用が見込めない地域を公園化する。

②公園としてはあまり手を加えず、順応的･粗放的管理に基づいたものとする。

③人が居住する以前の自然を取り戻し、将来的には国内での消失が激しい海浜性湿地などの登録をしていく。

④公園の整備･運営･運用に関しては、PFI もしくは指定管理者制度に則った管理者主体を設置し、調査研究・教育・観光など一般開放が可能な場として特例化する。

⑤公園は下記等に関するサステナブルな調査研究や活動のモデルサイトとして、学校及び研究機関や NPO 等に提供する。

・災害からの自然回復機能調査
・生態系サービスやバイオマス利活用に関する調査研究と活動
・エコロジカルネットワークの調査研究
・自然環境学習に関する活動

⑥堤内活用地では、堤防の後背に海岸防災林としての機能を持たせ、今後の林業の育成や耕作放棄地での有用植物の栽培などを振興し、新たな植物起源バイオマスの利活用事業を推進する。併せて、更新周期の短い「雑木林」など、バイオマスの育成サイト、生態系サービスサイトといった環境教育や観光の資源として、その場の活用を図る。

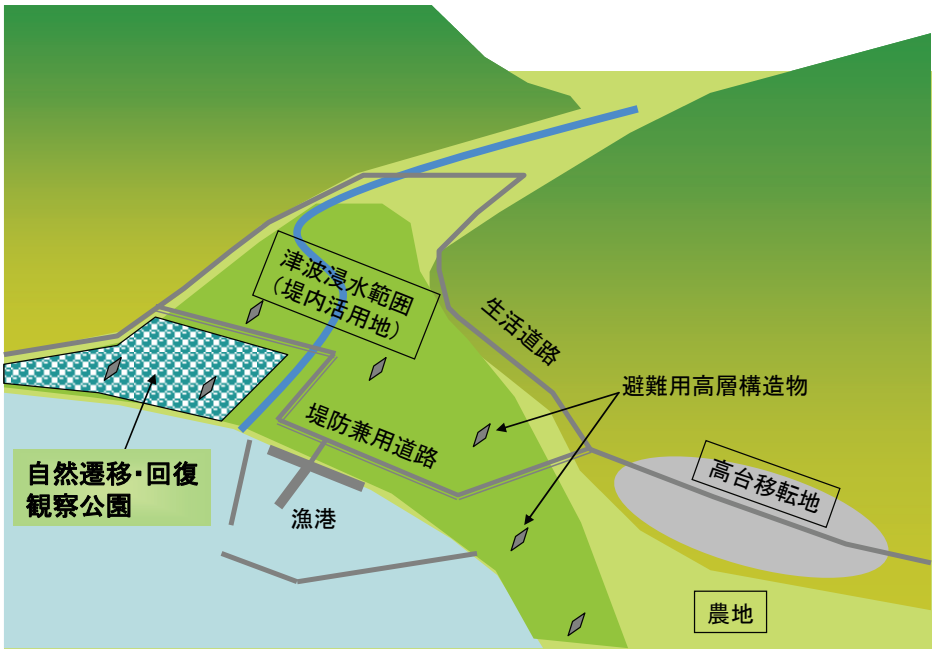


図 5.3.4-1　自然遷移･回復観察公園のイメージ図

第６章　まとめ

気候変動により多様な生物の生存が脅かされている。国際環境 NGO コンサベーション･インターナショナル（CI）は、世界中の 34 ケ所のホットスポット（生物多様性保全上で重要な地域）を指定し、保全活動を呼びかけている。その中にはジャパン･ホットスポットも含まれる。日本の気候は南の温暖湿潤気候から北の亜寒帯気候まで変化に富んでおり、独特の生態系を育んでいる。脊椎動物のおよそ 1/4 が固有種であり、両生類に至っては、その 75％が固有種である。また日本の自然を破壊する大きな要因として、都市開発や外来種の移入が挙げられている。

我が国が生物多様性について取るべき戦略を**図 6-1** のロードマップにまとめた。同図に示すように 2020 年までに「生物多様性の損失速度を止めるため行動すること」を目標とする。都市開発が生物多様性の損失を助長しないよう、生物多様性オフセットをどのように実現させるのか、今後のまちづくりの大きな課題である。この点については、生態系ネットワークと代償ミティゲーションの考え方を取り入れた「あいち方式」が参考になる。自然との共生は、都市の魅力を向上させる要素でもあり、生物多様性保全とのバランスの中で開発することが望まれる。

国際的な取り組みとして、「生物多様性の経済的視点の導入」が国家戦略に盛り込まれている。生物多様性損失による世界経済への影響は大きい。しかし、生物多様性の適正な評価や、生物多様性保全に必要な資金を循環させる仕組みづくりは難しい。これについては、田に水を張って、鳥に餌場を提供し、または地下水涵養に協力した農家に自治体や企業から助成金が支払われる「生態系サービスへの支払」事例が、１つのヒントとなる。企業をはじめ、多様な主体が地域の自然の維持や回復に関わっていくことが、大いに期待されている。生態系サービスの維持や回復には、地域独特の自然環境を反映した技術が求められることから、新たなビジネスチャンスにつながると考えられる。

東日本大震災の被災地調査では、大規模な生態系サービスの消失を目の当たりにするとともに、自ら回復しようとする植物の強靭さも垣間見ることができた。生態系サービスの回復には、人への関わり方の重要度や優先性、及び回復への取組と効果の発現に至る時間軸を勘案して取組んでいく必要がある。生物多様性の再生･回復の道筋を立てていくことは、人の食や安全にとって極めて重要である。

震災による岩手県、宮城県、福島県の水産関係の被害額は 1 兆円を超える状況にある。これら 3 県の海域には豊な漁場が多く分布していたことから、震災後の海域のモニタリングを継続することが重要である。また、海域の生物多様性の早期の復活や生態系サービスの増進のためには、森から川や海に至る結びつきを考慮して復興に取り組むことが重要である。さらに、復興に際しては水産業が長年抱える、養殖や投棄による水質汚染、漁港や市場の衛生管理、高齢化、後継者不足なども併せて、解決していくことが望ましい。

我々は生物多様性の恩恵を当たり前のように毎日享受し、生活を送っている。しかし、ともすると、「生物多様性」の存在を忘れがちである。まずは生物多様性の価値を共有し、生物多様性の主流化を図ることが重要である。また、生物多様性の保全には地域レベルや国際的な連携、そして資金の確保が欠かせない。この点については、企業への期待が大き

い。生物多様性保全に関わることによるメリットを明確にし、多様な主体が関わりやすい環境を整備することが大切である。

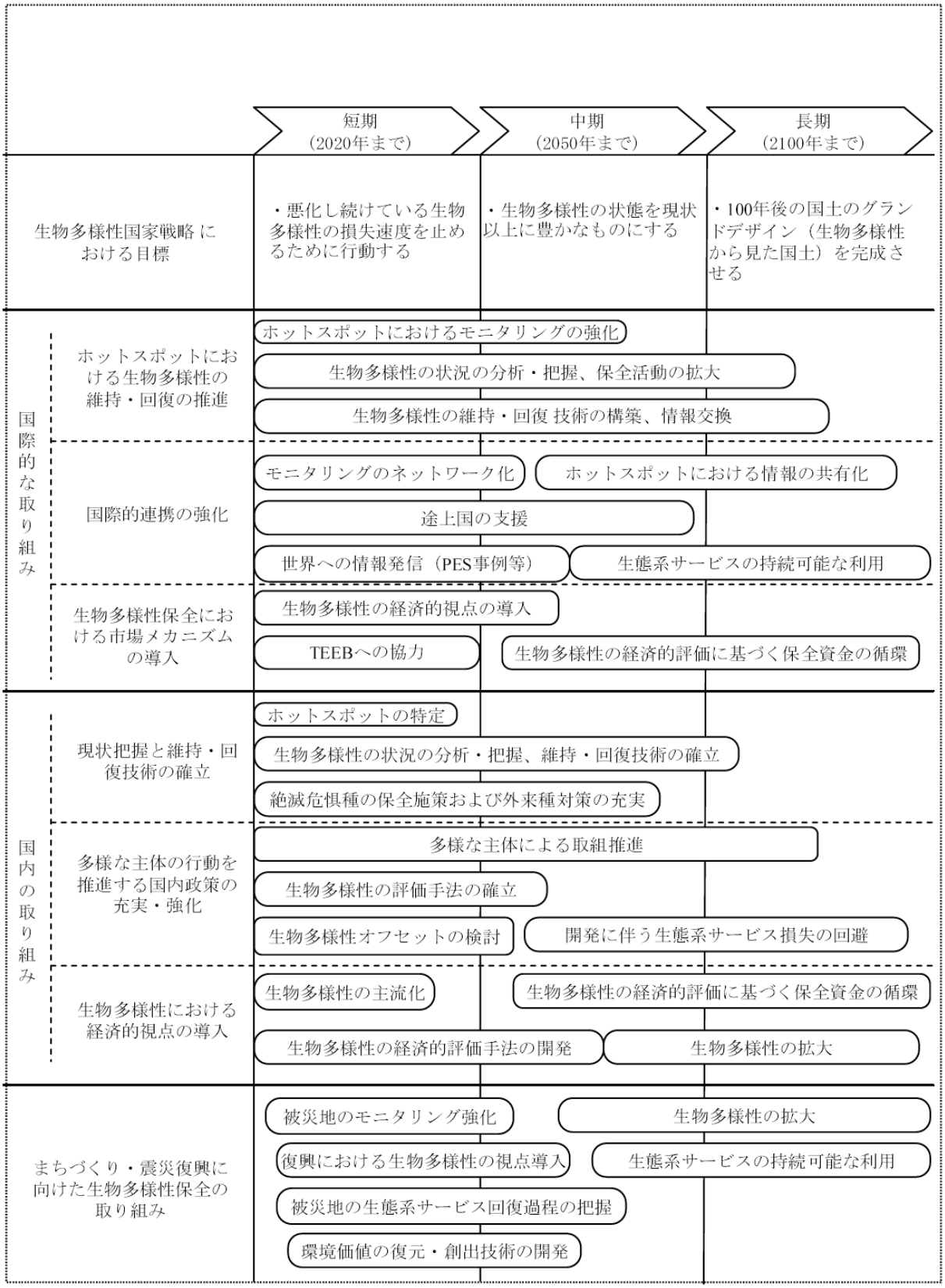


図 6-1　生物多様性の持続的利用に向けたロードマップ

参考･引用文献

［第 1 章］

1) IPCC 評価報告書ウェブサイト：http://www.ipcc.ch/pub/online.html
2) 内嶋善兵衛：「＜新＞地球温暖化とその影響」裳華房,2005 年 5 月
3) 外務省ウェブサイト：生物多様性条約,ラムサール条約他
4) 枝廣淳子：「私たちにたいせつな生物多様性のはなし」かんき出版,2011 年 7 月
5) （財）エンジニアリング振興協会：平成 22 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 23 年 3 月

［第 2 章］

1) 環境白書ウェブサイト　http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h23/index.html
2) 馬奈木俊介：生物多様性の経済学　-経済評価と制度分析-,2011 年 10 月,
   地球環境戦略研究機関
3) 生態系と生物多様性の経済学ウェブサイト
   http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/teeb/eco_teeb_jp.pdf
4) 生物多様性国家戦略ウェブサイト
   http://www.env.go.jp/nature/biodic/nbsap2010/index.html
5) SONY ウェブサイト
   http://www.sony.co.jp/SonyInfo/csr/eco/site/community/03.html
6) NHK スペシャルウェブサイト　http://www.nhk.or.jp/special/onair/110925.html
7) 環境省ウェブサイト　http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h22/pdf/1-3.pdf

［第 3 章］

1) 環境省ウェブサイト
   http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/guideline/chpt1.pdf
   http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H20/H20HO058.html
   http://www.env.go.jp/jishin/park-sanriku/index.html
2) 総務省統計局ウェブサイト
   http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2.htm
3) 国立社会保障・人口問題研究所ウェブサイト
   http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/suikei07/P_HP_H1812_A/index2.html
4) 国土交通省ウェブサイト「平成 22 年度首都圏整備に関する年次報告」
   http://www.mlit.go.jp/hakusyo/syutoken_hakusyo/h23/h23syutoken_.html
5) 国土交通省ウェブサイト「環境の創造と継承を目指して」
   http://www.mlit.go.jp/common/000125815.pdf
6) 国連大学ウェブサイト「都市と生物多様性とガバナンス」
   http://jp.unu.edu/articles/population-health/cities-biodiversity-and-governance

7） 九都県市首脳会議環境問題対策委員会　緑化政策専門部会ウェブサイト
http://www.kyutokenshi-green.org/shiryou.html
8）さいたま市ウェブサイト「緑の基本計画」
http://www.city.saitama.jp/www/contents/1175820713554/index.html
9）WWF ジャパン公式ウェブサイト
http://www.wwf.or.jp/
10）ICLEI（イクレイ）持続可能性をめざす自治体協議会ウェブサイト
http://www.iclei.org/index.php?id=11208
11）林野庁ウェブサイト「緑の回廊」
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/sizen_kankyo/corridor.html
12）首都高速道路株式会社ウェブサイト
http://tokyo-smooth.jp/ohasi-environment.php
13）森ビル株式会社ウェブサイト
http://www.mori.co.jp/company/press/release/2009/11/20091117150000001785.html
14）(財)日本生態系協会ウェブサイト
http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/activity/JHEP/index.html
15）富士通株式会社ウェブサイト
http://jp.fujitsu.com/about/csr/eco/dandelion/
16）住友信託銀行「生物多様性に対するオフィスワーカーの意識調査」結果概要について http://www.sumitomotrust.co.jp/pdf/100405.pdf
17）愛知県ウェブサイト「平成 23 年版環境白書概要版」
http://www.pref.aichi.jp/0000047343.html
18）岩沼市震災復興計画グラウンドデザイン　～愛と希望の復興～（概要版）
http://www.city.iwanuma.miyagi.jp/kakuka/kurasi/seikatu/matidukuri/documents/gaiyou.pdf

[第 4 章]

1）水産庁 Web サイト「水産復興マスタープラン」
http://www.jfa.maff.go.jp/j/yosan/23/pdf/111226f_mp_honbun.pdf
2）水産庁 Web サイト平成 22 年度水産白書「東日本大震災
http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h22/index.html
3）東京大学大気海洋研究所 Web サイト
「大槌湾長根の岩礁藻場における底生生物の潜水調査（速報)」
http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2011/20110715.html
4）東京大学大気海洋研究所 Web サイト
「宮城県牡鹿町泊浜（牡鹿半島東岸）の岩礁藻場における潜水調査（速報)」
http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2011/20110620.html
5）独立行政法人水産総合研究センターWeb サイト
「三陸沿岸のアワビ・ウニへの津波被害の調査」
http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr23/230809/

6) 東京大学大気海洋研究所 Web サイト
「大槌湾の物理化学環境およびプランクトン調査（速報)」
http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2011/20110609.html
7) 環境省 Web サイト「海洋生物多様性保全戦略平成 23 年 3 月」
http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13640
8) 日本海洋学会 Web サイト「東日本大震災関連特設サイト」
http://www.kaiyo-gakkai.jp/sinsai/2011/09/post-16.html
9) 平成 23 年生物多様性地方座談会 in 仙台
平成 23 年 11 月 13 日　仙台国際センター2 階大会議室　主催東北地方環境事務所
10) 独立行政法人海洋研究開発機構プレスリリース
http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20100803/
11) 東日本水産業復興対策緊急シンポジウム 主催日本水産学会
平成 23 年 7 月 16 日東北大学大学院農学研究科講義棟第一講義室
12) 日本財団　第 85 回海洋フォーラム
「福島第一原子力発電所事故と魚介類の安全性」石丸隆
13) NPO 法人森は海の恋人シンポジウム「海と共に生きる」仙台市民会館
14) 三菱総合研究所 MRI Web サイト
Eco.Weekly 生物多様性特集「持続的な水産資源利用とこれからの日本の水産業」
http://www.mri.co.jp/NEWS/column/eco/2011/2030262_1608.html

［第 5 章］

1) 日本学術会議 Web サイト
http://www.scj.go.jp/ja/event/houkoku/110628houkoku.html
2) 岩手日報 Web サイト
http://www.iwate-np.co.jp/cgi-bin/topnews.cgi?20110601_15
3) 生物多様性 JAPAN　Web サイト
http://www.bdnj.org/pdf/20110710-bira.pdf
4) 生物多様性民間参画パートナーシップ Web サイト
http://www.bd-artner.org/wpcontent/uploads/37334b7d984cef1606518e9721a2d6b8.pdf
5) 日本自然保護協会 Web サイト
http://www.nacsj.or.jp/katsudo/awase/pdf/0425awase_yobo.pdf
6) 里山イニシアティブ Web サイト
http://satoyama-initiative.org/jp/event/
7) 自然環境復元協会 Web サイト
http://blog.canpan.info/narec/archive/31
8) 日本生態系協会 Web サイト
http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/activity/proposal/2011/110404.pdf
9) 日本生態系協会 Web サイト
http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/activity/symposium/index.html
10) 日本動物学会 Web サイト

http://www.zoology.or.jp/annual-meeting/3/index.asp?patten_cd=12&page_no
11) 日本海洋学会 Web サイト
http://www.kaiyo-gakkai.jp/sinsai/2011/09/post-16.html
12) 応用生態工学研究会 Web サイト
http://www.ecesj.com/J/nl/No51-60/53.html
13) アースウォッチ・ジャパン Web サイト
http://www.bd-partner.org/archives/1097/
14) ADTHREE　Web サイト
http://www.adthree.com/publish/2011/06/biophilia-26.html
15) WWF(世界自然保護基金)ジャパン Web サイト
http://www.wwf.or.jp/activities/resource/cat1305/wwf_4/
16) 雁を保護する会（JAWGP）Web サイト
http://www.jawgp.org/manual/bandallj.htm
17) 日本景観生態学会 Web サイト
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jale/shinsai/shinsai1.html
18) 日本都市計画学会 Web サイト
http://www.cpij.or.jp/com/proj/summary5.pdf
19) 環境省 Web サイト
http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h19/html/vk0701020100.html
20) 林野庁 Web サイト
http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/3siryou1.pdf

［第 6 章］

1)　環境白書ウェブサイト　http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h22/pdf/1-3.pdf

あとがき

第Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ部の調査にあたって文献や図書類を引用し活用させて頂いた。これらは各部ごとにまとめてリストとして掲載した。そして研究部会の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。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）

１．平成 23 年 9 月 21 日、埼玉県

(独)理化学研究所(1917 年設立以来、我が国で唯一の総合研究所として、物理学･工学･化学･生物学･医学等の広い分野で研究を進め最先端の研究を実施)；和光市

２．平成 23 年 10 月 7 日～8 日､岩手･宮城地区

１）サンポット社（木質ペレットストーブや地中熱冷暖房などの環境対応型商品も積極的に開発、販売している石油ストーブメーカ）；岩手県花巻市

２）鳴子ダム（従来型の大規模水力発電施設）；宮城県大崎市

３）荒砥沢ダム（灌漑用ダムを利用した小水力発電施設）；宮城県栗原市

４）東日本大震災被災状況及び災害廃棄物の状況；宮城県南三陸町･石巻市

① 南三陸町の津波被害及び災害廃棄物の状況

② 北上川河口の津波被害及び災害廃棄物の状況

③ 石巻市市街中心部の津波被害(旧北上川河口付近)及び災害廃棄物の状況

本年度、平成 23 年度は前年度に引き続き 2 年目のまとめの年度であったが、東日本大震災が発生した後の開始でありテーマ推進や内容に大きな影響を受けた。そんな環境の中でタイムリーに調査研究が遂行されたことに深く感謝申し上げます。

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と研究に取り組み、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当協会賛助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２３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…… 397

第１章　調査研究の経緯……399

第２章　水害の事例……400

2.1　東日本大震災・宮城県沿岸部の津波被害現地調査…… 400

2.1.1　現地調査概要…… 400

2.1.2　平成 23 年（2011 年）東日本大震災の概要…… 401

2.1.3　現地調査内容…… 404

2.1.4　東日本大震災大津波による道路橋等被害要因の工学的考察…… 408

2.2　平成 23 年台風 12 号災害の概況について……・412

2.3　平成 16 年／平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の現地調査……415

2.3.1　現地調査概要……415

2.3.2　平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨の概要……416

2.3.3　平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の概要……417

2.3.4　五十嵐川・刈谷田川流域現地調査…… 418

2.3.5　コロナ社ヒアリング……421

参考文献……424

第３章　企業 BCP と地域 BCP(DCP)の現状……426

3.1　企業 BCP の現状 ……426

3.1.1　東京都 BCP 策定支援事業……427

3.1.2　「事業所の水害対策　事業継続計画（BCP）作成のすすめ」……427

3.1.3　水害 BCP 策定への取り組み事例－上島熱処理工業所へのヒアリング……429

3.1.4　2011 年タイ水害と BCP……433

3.2　地域 BCP（DCP）の現状 ……435

3.2.1　DCP（District Continuity Plan と BCP（Business Continuity Plan）……435

3.2.2　DCP の考え方……436

3.2.3　DCP の事例 ……437

3.2.4　企業と地域の防災連携水深における課題 ……459
参考文献……461

第４章　水害 BCP ガイドライン……463
4.1　水害の定義……463
4.2　水害 BCP の考え方……463
4.2.1　水害の特徴……464
4.2.2　ハザード、被害想定における地震との違い、注意点…… 465
4.3　水害 BCP の進め方……468
4.3.1　現状認識と方針および目標の明確化―基本方針の策定……470
4.3.2　水害における影響度分析……471
4.3.3　水害リスクの分析―ハザード評価……471
4.3.4　水害リスクの分析―被害想定……474
4.3.5　水害 BCP 対策……481
4.3.6　日常の運用と水防活動―教育・訓練、維持管理、点検、見直し……486
4.3.7　維持管理―点検、是正、および見直し……487
4.3.8　発災と BCP の発動……487
4.4　水害 BCP の検討・策定において有効な手法・対策……488
4.5　水害 BCP の展開……489
4.6　水害 BCP 策定のための参考資料……490
4.6.1　BCP 策定のためのガイドライン、手引き……490
4.6.2　洪水の種類……490
4.6.3　水害の変遷と今後の予測……493
4.6.4　リアルタイム降雨情報について……496
4.6.5　洪水ハザードマップについて……497
4.6.6　浸水想定区域について……498
4.6.7　洪水シミュレーションについて……499
4.6.8　その他のハザードマップについて……503
4.6.9　建物の浸水対策事例……507
4.6.10 水害復旧計画の立案について……511
4.6.11 水害後片付け作業時の注意事項……518
4.6.12 地盤高（標高）を知る資料……520
4.6.13 洪水時、地下階から安全に避難できるかどうかの判定法について……521
4.6.14 用語……524
4.6.15 Web から入手できる参考文献一覧……525
参考文献……526

第５章　地域の自立（分散型）に向けて……529
5.1　水害地域における被害の特徴とその対応策について……529
5.1.1　水害地域における被害の特徴……529
5.1.2　水害被害への対応策について……529
5.2　推進ロードマップについて……530
5.3　これからの時代の水害復興への方向性について…… 530
5.3.1　環境未来都市選定について……532
5.3.2　気仙広域環境未来都市構想……534
参考文献……538

あとがき……539

平成 23 年度「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　戦略企画グループ　担当部長
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	須賀事務所	所長
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　担当課長

事務局　石瀬　俊明　　一般財団法人
エンジニアリング協会　　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。日本においても平成 2 年(1990 年）～平成 20 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。

平成 22 年(2010 年)と平成 23 年(2011 年)だけの自然災害を振り返ってみても平成 22 年には 950 件を記録し、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）にのぼっている。また、平成 23 年には日本で 3 月 11 日に発生した東日本大震災による未曾有の大被害や秋口の台風による水害、2 月 22 日のニュージーランド地震、年末のタイ洪水など世界全体での経済的損失は 3,600 億ドル(約 28 兆円)、保険金の支払額は 1,000 億ドル超(約 7 兆 7,000 億円超)にのぼり、過去最大になるとのことである。

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 22 年度・平成 23 年度の 2 年間で「都市・地域における水害被害の傾向と対策」の調査研究を行った。

平成 22 年度は以下の調査を実施した。

① 水害事例と新たな対策の方向性について
- 21 世紀における我が国の水害予想
- 昭和・平成における水害の変遷
- 平成 22 年度の水害事例
- 近年の病院水害とその対策
- 洪水災害の危険度の判定方法
- 宮崎県耳川の現地調査
- 水害サミットに見る対策の現状

② 水害 BCP（事業継続計画）の現状
- 徳島大学・中野教授へのヒアリング
- 各種施設における事業継続計画（BCP）の取組み事例
- BCP に関する各種統計資料
- 水害 BCP 策定のあり方についての検討

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
- 社団法人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㈱へのヒアリング

④ 地域における水害対策
- 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
・地域における水害対策の今後の方向性

2年目となる平成23年度は、平成22年度の継続として以下の内容を検討した。

① 水害の事例
② 企業BCPと地域BCP（DCP）の現状
③ 水害BCP策定ガイドライン
④ 地域の自立（分散型）に向けて

以上、2年間の調査・研究の成果について、エンジニアリング産業の強みを生かし、実現に向けたロードマップを整理した。

平成24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 23 年 5 月20日（金）
第２回	平成 24 年 3 月29日（木）

2)　ＷＧの開催

第１回	平成 23 年 5 月20日（金）
第２回	平成 23 年 6 月 6 日（月）
第３回	平成 23 年 7 月22日（金）
第４回	平成 23 年 8 月30日（火）
第５回	平成 23 年 9 月22日（木）
第６回	平成 23 年10月17日（月）
第７回	平成 23 年11月17日（木）
第８回	平成 23 年12月12日（月）
第９回	平成 24 年 1 月19日（木）
第10回	平成 24 年 2 月16日（木）
第11回	平成 24 年 2 月29日（水）
第12回	平成 24 年 3 月29日（木）

3)　現地調査・ヒアリングの実施

平成 23年10月17日（水）	松島町、東松島市、石巻市、女川町、雄勝町
平成 23年11月17日（木）	信濃川支流五十嵐川、刈谷田川
平成 23年11月17日（木）	㈱コロナ
平成 24年 2 月 6 日（月）	財団法人都市防災研究所
平成 24年 2 月 7 日（火）	㈱上島熱処理工業所

第２章　水害の事例

本年度は、3 月の東北地方太平洋沖地震による大津波に始まり、平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨、8 月から 9 月にかけて発生した台風 12 号と台風 15 号による豪雨災害など、日本各地に甚大な水害被害がもたらされた 1 年であった。特に、報道で目の当たりにした津波被害の惨状は、あらためて我々に自然災害の恐ろしさを思い知らせる契機となった。

この章では、昨年に引き続き、水害の事例調査として実施した 2 例の現地調査結果を報告する。一つは、東日本大震災・大津波被害を受けた宮城県沿岸部、もう一つは平成 16 年および平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の被害を受けた五十嵐川・刈谷田川流域である。

なお、津波被害の現地調査に続けて、主に水理実験を用いた洪水および津波による橋梁被害の要因検討についての考察、また、台風 12 号による災害概況についてもあわせて述べる。

2.1　東日本大震災・宮城県沿岸部の津波被害現地調査

一般的に定義される「水害」とは、豪雨、台風、雷雨などによる多量の降雨が原因となって生ずる災害、すなわち洪水、浸水、土石流、崖崩れなどの被害をさす。

平成 23 年(2011 年)3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を原因とする大津波は、東北から関東にかけての太平洋沿岸部に未曾有の大被害をもたらした。あらゆるものを呑みこみ破壊していく想像を絶する水のエネルギーを、我々はまざまざと見せつけられることになった。

東海・東南海地震の発生確率が高まるなか、大都市や工業地帯の多くが沿岸部に集中していることを鑑みれば、豪雨災害対策のみならず、津波対策の現実的な取組みに緊急に着手する必要があることは明白である。

当研究部会では、津波被害を広義における水害と位置づけ、豪雨災害による河川氾濫や浸水被害との共通点および相違点を見出すことを目的とし、宮城県沿岸部の現地調査を実施した。

2.1.1　現地調査概要

現地調査概要を以下に示す。

日　　時　　平成 23 年 10 月 17 日
場　　所　　宮城県沿岸部
参 加 者　〔委員〕宗守、塚原、安田、石野、芝崎、須賀、内藤
　　〔事務局〕石瀬
行　　程　仙台駅（駅前ロータリー集合）より、運転手付きで手配したマイクロバスに乗車し、三陸自動車道、国道 45 号線、国道 398 号線を経由して現地（松島町、東松島市、石巻市女川町など）往復、総移動距離約 150km。

図 2.1.1-1 調査地域および仙台市内からの移動経路 [1)]

出典：電子国土

2.1.2 平成 23 年（2011 年）東日本大震災の概要

1) 地震の概要

平成 23 年（2011 年）3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖を震源とする国内観測史上最大規模のマグニチュード 9.0 の巨大地震が発生し、東北地方から関東地方にかけての広い範囲で最大震度 7 の非常に強い揺れを観測した。

気象庁では、この地震を「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」と命名した。

この地震により太平洋沿岸を中心に大津波が発生し、沿岸部の市町村に壊滅的な被害をもたらしただけでなく、福島第一原子力発電所の爆発事故により放射性物質が漏出し、深刻な原子力災害をも引き起こす結果となった。

なお「東日本大震災」とは、これら地震災害、津波被害、原子力事故等の総称である。

【地震の震源及び規模等】

発生時刻　　平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分 18.1 秒

震源位置　　三陸沖（北緯 38 度 06.2 分　東経 142 度 51.6 分　深さ 24km）

地震規模　　マグニチュード 9.0

最大震度　　震度 7（宮城県栗原市）

宮城県、福島県、茨城県、栃木県の 4 県 37 市町村で震度 6 強

東日本を中心に北海道から九州地方にかけての広い範囲で震度 6 弱～1

発震機構　　西北西―東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型

震源域は岩手県沖から茨城県沖にかけて、　　長さ約 500km、幅約 200km に及んで

おり、広範囲で断層が連続的に破壊された。

地震エネルギーの規模は、マグニチュード 7.3 を記録した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の約 1,000 倍に相当する。

太平洋側で起きる海溝型地震については、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖などで別々に発生すると予想されていたが、今回の地震は、これら複数の海域で断層破壊が連動して起き、想定を超える巨大地震となった。

本地震における被害は、後述する大津波によるものがほとんどであり、広範囲で長時間の強い揺れに見舞われたものの、家屋の倒壊をもたらすような周期の揺れは、比較的小さかったことが特徴としてあげられる。

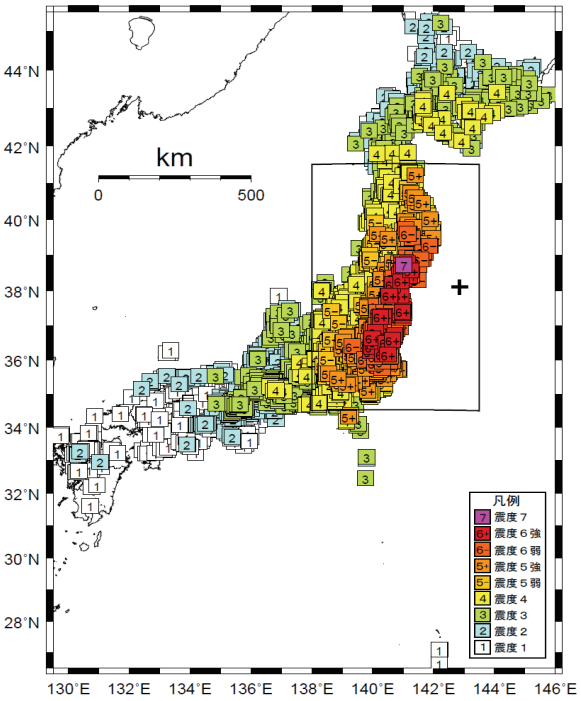


図 2.1.2-1 震度分布図 [2)]

出典：気象庁 HP

2)　津波による被害状況

東北地方太平洋沖地震により、東北地方太平洋沿岸をはじめとして全国の沿岸で津波が観測された。気象庁による公式記録によれば、各地の津波観測施設で、福島県相馬で 9.3m以上、宮城県石巻市鮎川で 8.6m以上など、東日本の太平洋沿岸を中心に非常に高い津波を観測したほか、北海道から鹿児島県にかけての太平洋沿岸や小笠原諸島で１ｍ以上の津波を観測した。

また、研究者らでつくる「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」が全国の沿岸の現地調査を実施し、津波の痕跡の位置等をもとに津波の高さの推定を行った結果、岩手県宮古市で、陸地を駆け上がった津波の高さが海面から 40.5mに到達した跡が確認されたのをはじめ、岩手県釜石市、大船渡市、久慈市、野田村、宮城県女川町の 6 市町村で 30m超を記録したほか、青森県、福島県、茨城県でも 10m以上に達した地点があった。

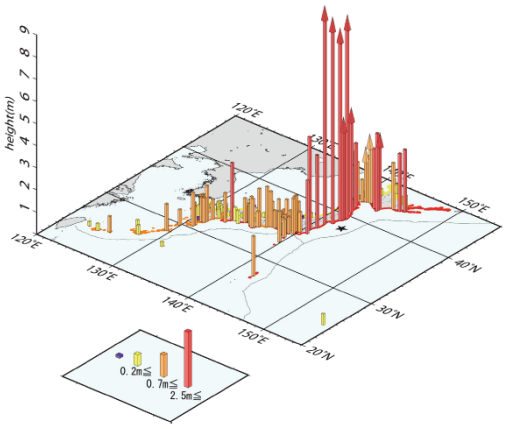


図 2.1.2-2
津波観測施設で観測された津波の高さ [2)]

出典：気象庁 HP

表 2.1.2-1　東北地方太平洋沖地震の被害状況（平成 24 年 2 月 7 日現在）[3)]

災害種別 / 都道府県	人的被害					建物被害								道路損壊	橋梁被害	山崖崩れ	堤防決壊	鉄軌道
	死者	行方不明	負傷者 重傷	負傷者 軽傷	負傷者 計	全壊	半壊	流失	全焼	半焼	床上浸水	床下浸水	一部破損	非住家被害					
	人	人	人	人	人	戸	戸	戸	戸	戸	戸	戸	戸	戸	箇所	箇所	箇所	箇所	箇所
北海道	1			3	3		4				329	545	7	469					
東北 青森	3	1	16	45	61	311	852						832	1194	2				
東北 岩手	4667	1319			188	20185	4561		15		1761	323	7383	4752	30	4	6		
東北 宮城	9508	1778			4132	83861	138220		135		12784	12584	215099	33809	390	29	51	45	26
東北 秋田			4	8	12								3	3	9				
東北 山形	2		8	21	29	37	80								21		29		
東北 福島	1605	216	20	162	182	20009	63601		77	3	1053	340	144107	1116	187	3	9		
東京	7		14	76	90		11		3				257	20	13		3		
関東 茨城	24	1	33	674	707	3070	23988		31		1719	711	173624	14451	307	41			
関東 栃木	4		7	125	132	265	2070						68848	295	257		40		2
関東 群馬	1		13	25	38		7						17051		36		9		
関東 埼玉			6	36	42	22	193		1	1		1	1800	33	160				
関東 千葉	20	2	25	226	251	798	9861		15		154	722	44162	660	2348		55		1
関東 神奈川	4		17	115	132		38						407	13	162	1	3		
関東 新潟				3	3								9	7					
関東 山梨				2	2								4						
関東 長野				1	1														
関東 静岡			1	3	4							7	4						
中部 岐阜															1				
中部 三重				1	1						2			9					
四国 徳島											2	9							
四国 高知				1	1						2	8							
合計	15846	3317			6011	128568	243486		281		17806	15250	673397	56831	3918	78	205	45	29

出典：警察庁 HP

表 2.1.2-1 を見てわかるように、今回、調査で訪問した宮城県が最大の人的・建物被害を出している。沿岸部を中心に甚大な被害を受け、宮城県だけで犠牲者数は阪神・淡路大震災を上回っている。特に石巻市では 4,000 人近い死者・行方不明者を出しているほか、東松島市、気仙沼市、名取市などで 1,000 人前後の死者を出している。

死因別で見ると、溺死が 90%を超えており、約 80%が建物倒壊などによる窒息死・圧死だった阪神・淡路大震災と異なり、ほとんどの犠牲者が津波により命を落としている。

また、身元が判明した犠牲者の 65%は 60 歳以上が占め、多くの高齢者が逃げ遅れたことも浮き彫りにされた。（**図 2.1.2-3、図 2.1.2-4**）

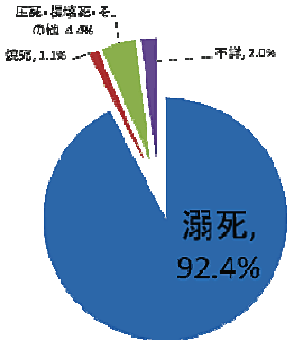


図 2.1.2-3　東日本大震災における死因（岩手県・宮城県・福島県）[4)]

出典：平成 23 年度版防災白書

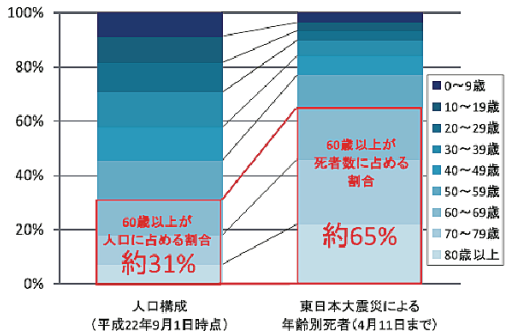


図 2.1.2-4　東日本大震災における死者と地域人口の年齢構成比較 [4)]

出典：平成 23 年度版防災白書

2.1.3　現地調査内容

1)　松島町～東松島市

仙台駅を出発後、仙塩道路・三陸自動車道を経由し、松島海岸 IC で一般道へ。JR 松島海岸駅より松島湾に沿って県道 27 号（奥松島パークライン）を石巻方面に向かった。

JR 仙石線は松島海岸駅から先の区間は休止しており、路線バスによる代替輸送が行われている。JR 仙石線は、駅舎は残っているものの線路が残っておらず、同じ場所に再開するか別ルートにするかの方針は未定とのことであった。野蒜駅周辺では、水が引いておらず、わずかにまだ残っていた。震災時より放置されたままの仙石線の車両が、まるで時間が止まっているかのような鮮烈な印象を与える。

写真 2.1.3-1　JR 野蒜駅

写真 2.1.3-2　放置された仙石線車両

鳴瀬川と吉田川の合流地点、河口付近の矢本消防署鳴瀬出張所の前で下車、建物および周辺の被害状況を視察した。河口に近いこともあり、相当の高さの波に呑みこまれたことが想像できる。

写真 2.1.3-3
消防署外側

写真 2.1.3-4　消防署内部

写真 2.1.3-5　折れた電柱

鳴瀬大橋を渡り、国道 45 号を進む。途中、ブルーインパルス基地として有名な航空自衛隊松島基地の横を通過する。当基地所属の航空機も、津波により壊滅的被害を受けている。市街には、仮設住宅や復旧作業と思しき工事車両が散見された。住宅は一見したところ被害がないように見えるが、ほとんどの住民が 2 階に居住しているとのことであった。

2)　石巻市街

石巻市内へ入り、右手に石巻工業団地（石巻港）を見ながら進む。一行は、石巻市中心部にあり、高さ約 56m の高台から市街を一望のもとに見渡すことのできる日和山公園へと向かった。バスを下車し、**図 2.1.3-1** に示した★印の位置より、石巻市街を視察した。

石巻市は今回の震災で最大規模の犠牲者を出しているが、まさにその事実を裏づけるような衝撃的な光景であった。**図 2.1.3-1** に示した①の部分は、高い建物を除き、町が跡形もなくなっている。津波発生当日、この日和山公園の高台には多くの市民が逃げ込み、命を救われたそうである。眼下でわが町が壊れていく被災者の当時の心情を思うと胸が痛む。

②の部分には、周辺から運び込まれた瓦礫が集積され、高さ 20m 超の巨大な瓦礫の山となっていた。③の部分は建物は残っていたが、やはり 1 階部分はほとんどが壊れているようであった。

出典：電子国土

図 2.1.3-1　日和山公園より石巻市街を望む [1)]
（右下写真は石巻市立門脇小学校）

市内で昼食を済ませた後、日和大橋を渡って水産加工会社の立ち並ぶ石巻漁港方面へ進む。

報道で目にする機会の多い“鯨大和煮”の缶詰を模した魚油タンクの倒壊現場を通過する。

間近で見るタンクの大きさに、あらためて津波の破壊力の凄さを思い知らされる。

写真 2.1.3-6　倒壊した魚油タンク

石巻漁港横に位置する「ながはま海浜公園」にて下車。津波の避難場所として、近くにある石巻女子商業高校と渡波中学校が指定されていたが、両校ともに津波が押し寄せたそうである。公園の横には、瓦礫の集積所があった。

写真 2.1.3-9,-10 を見ると完全に海面下に没しているものの、ガードレールや街灯、道路標識の状況から以前は道路であったことがわかる。地震による地盤沈下が原因であろう。

また、この場に立って周囲を見渡してみたが、高台と呼べるものは近くに見当たらず、遥か離れたところに小高い丘が見えるのみである。果たして、自分がその時ここにいたら助かったのかどうか確信が持てない。「高台へ逃げろ」といっても、簡単なことではない。

写真 2.1.3-7　避難場所標識

写真 2.1.3-8　瓦礫集積所

写真 2.1.3-9　石巻漁港を望む

写真 2.1.3-10　石巻漁港を望む

3)　女川町

国道 398 号を JR 石巻線の線路に沿って、女川町方面へと進む。JR 石巻線も休止中のため、市民の足として列車代行バスが運行していた。

万石浦から女川港へと通じる内陸部の道を進むが、海がまったく見えないにもかかわらず津波の遡上による被害の痕跡が見られた。

女川港に面した中心部に出ると、市街は完全に機能停止、壊滅状態であった。重機やダンプカーなどの工事車両による復旧作業が所々見られるものの、経済活動はゼロのようであった。

写真 2.1.3-11,-12　女川町市街部

4)　石巻市雄勝町

雄勝町は平成 17 年（2005 年）に周辺市町村と石巻市に合併した漁業の町である。太平洋に突き出した雄勝半島にあり、リアス式海岸の典型である雄勝湾に面している。

その入り組んだ地形のために、津波の最大遡上高は 27m にも達したそうである。海洋センター屋上に打ち上げられた観光バスや、小・中学校の校舎の 3 階部分の窓が割れていることなどからその時の波の高さを伺い知ることができるが、10m を越す高さの津波とはいったいどのようなものなのか。並大抵の想像力ではイメージすることができない。

写真 2.1.3-13　屋上に打ち上げられたバス

写真 2.1.3-14　窓ガラスの割れた校舎

その後、釜谷峠を抜け、新北上大橋の手前を左折し、北上川の左岸を上流方向へ進む。ちょうど 10 月 17 日は、津波によって桁の一部が流失した新北上大橋の仮橋が開通した当日であった。橋のやや上流に、流失した橋桁が水中に沈んだまま残っているのが見えた。なお、この新北上大橋のたもとに、多くの児童が亡くなった石巻市立大川小学校がある。

河北 IC より三陸自動車道を経由し、仙台駅に帰着した。

5)　所感

今回視察した結果、あらためて津波の持つエネルギーの巨大さを実感した。河川水害は、時間と費用をかけることが可能ならば（それが一番困難であるが）、ある程度その対策に見合った効果を得られる望みがあるのに対し、津波はいかなるハード対策も、到底太刀打ちできないであろう。津波から身を守るすべは、「ただ逃げる」のみである。

ただし、現実には今もなお沿岸部に多くの都市が集中し、そこに暮らす住民の高齢化も今後進んでいく。津波は豪雨災害と異なり、警報から発生までの時間的猶予が少ないことから「ただ逃げる」と言っても、実際には非常に難しい課題である。

東日本大震災によって、国民全てが自然災害の恐ろしさを思い知らされた今こそ、一人一人が自分の命を他人まかせにしない、現実的な解決策を議論する好機であると考える。

次に来る津波がたとえ 1,000 年後であったとしても、将来の子孫たちがこのような悲劇に二度とあわないために、今こそ現代人の英智を絞って実現可能な津波対策を考え、後世に伝えていくことが我々の責務であり、亡くなられた方たちへの報いであろう。

2.1.4　東日本大震災大津波による道路橋等被害要因の工学的考察

当研究部会メンバーの一人は、2004年福井水害におけるJR西日本越美北線橋梁被害調査[5]を契機として、2005年スマトラ津波によるスリランカ橋梁被害調査[6]等を行い、主に水理実験を用いて洪水による橋梁被害の要因検討[7][8]および津波による橋梁被害の要因検討[9][10]を行ってきた。

2004年以降に調査した概要[11]を示すと、基本的に、流体力や流木により桁が折れる事例は吊り橋以外ほとんど見られていない。太平洋戦争以前に完成した橋脚には無筋のものがあり、切損被害が多数発生している。太平洋戦争以後の新耐震設計以前に完成した橋脚は、有筋であるため倒壊は見られなかった。

一方、桁の重量に比例した設計水平地震力が小さいために，桁の支承部が新耐震設計以後のそれに比べて弱く流出した事例が多く見られた。新耐震設計以後の桁でも，合成桁は桁高が高い、すなわち流体力作用面積が広いにもかかわらず、桁の重量が軽くその分支承が弱くて流出していた。

なお、2005年スマトラ津波によるスリランカの橋梁被害状況は、今回の津波に比べて津波外力が弱く比較対象にならない。

一方、水理実験を用いた津波による橋梁被害の要因検討では、支承をフリーの状態として橋梁の自重を変化させた移動限界実験を行い、桁下高が8m程度で、支承が片側2点の合成桁8m程度の高さの津波により流出することが求められている。

今回の津波では、10数橋の橋梁が被害を受けたが、本文では、国道45号線に架かる橋梁を題材として、過去の調査結果および水工学的見地から破壊要因を考察する。

1）被災橋梁の状況と考察

(1)　陸前高田市の国道45号線橋梁等

図2.1.4-1に陸前高田市の地図を示す。陸前高田市の国道45号線では東側から沼田跨線橋（延長65m）、川原川橋（延長29m）、気仙大橋（延長182m）の3橋が被災した。

図 2.1.4-1　陸前高田市の位置 [12]

出典：Map Fan

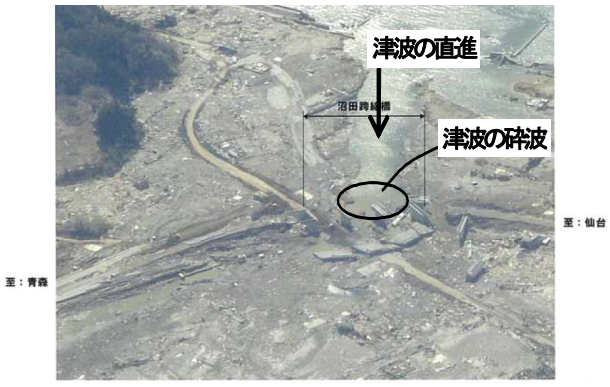


図 2.1.4-2　沼田跨線橋の落橋状況 [13]

出典：東北地方整備局道路部 HP

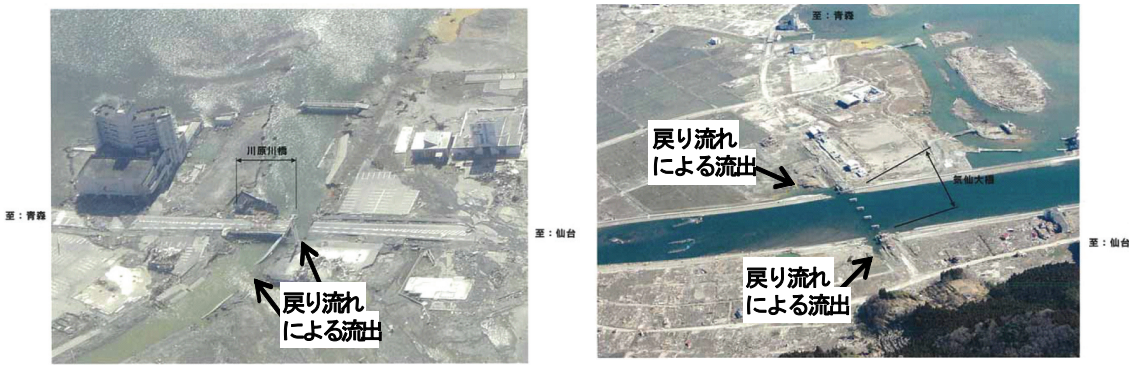
図2.1.4-2に沼田跨線橋（延長65m）の落橋状況を示す。前述したように、日本に

おいて近年に建設されたコンクリート桁橋の洪水による流出例はない。

なお、2007年の台湾88台風水害[14)]では、1橋のみコンクリート桁橋が流出している。沼田跨線橋は、コンクリート桁橋であり、希少な落橋事例である。

津波は、陸上部に比べて河川内で波高が減衰しない状態で遡上する。また、海岸線のように水面と陸地の境界では波高が大きくなり砕波した状況も見られている。**図2.1.4-2**から考察すると、河川が沼田跨線橋の下で屈曲しているために、海岸から河川を遡上した津波が直進し、沼田跨線橋の下で砕波し、沼田跨線橋の床版に衝突するとともに大きな揚圧力を作用させて、これらの力に沼田跨線橋の支承部が耐え切れずに落橋したと推察される。

図2.1.4-2に見られるように沼田跨線橋の床版は津波の直進方向に跳ね飛ばされている。なお，沼田跨線橋の床版の下面は、例えば**図2.1.4-3**に示す川原川橋のそれに比べて常時水面から高く、砕波がもぐり込むに十分な高さがあったことも落橋の要因に挙げられる。（**図2.1.4-5**参照）



出典：東北地方整備局道路部 HP

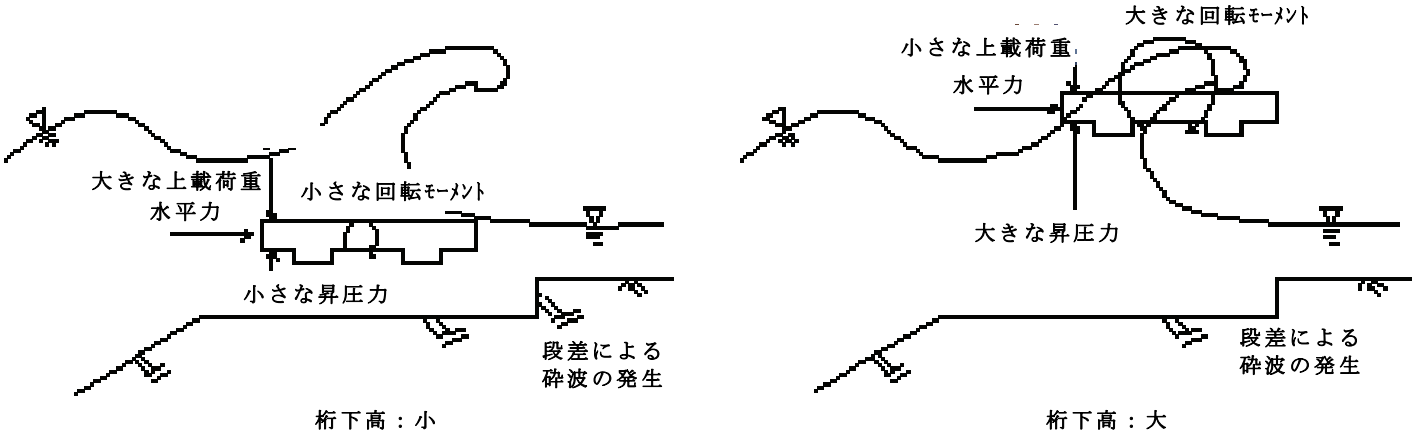


図2.1.4-5　津波作用時の橋の桁下高と作用力の関係の推定

出典：いずれも部会委員作成

図2.1.4-3に川原川橋（延長29m）の落橋状況を示す。

川原川橋の東側（青森側）にはビルが見える。また、海側には高田松原が存在していた。一方、川原川橋の下の川は若干上流部で曲がっているが、沼田跨線橋とは異なり上流側に水面が見える。

これらの状況から、津波は高田松原で若干減少するとともに河川横断方向に複雑な波高分布を持ちながら遡上したと推察される。このため、沼田跨線橋に比べて川原川橋には大きな揚圧力は作用せずに落橋は免れたと考えられる。なお、川原川橋の西側の取り付け部が流出している。**図2.1.4-3**に示した方向の戻り流れにより取り付け部が流出したと考えられる。

なお、沼田跨線橋は延長65mで3スパンであり、1スパンの延長は21.7mである。一方、川原川橋は延長29mで１スパンである。橋梁の支承部の耐力は、橋梁の自重に比例する。このことから、川原川橋の支承部の耐力が沼田跨線橋のそれに比べて大きいことも推察される。また、桁下高が低いことも未倒壊の要因に挙げられる。いずれにしろ、今後は各橋梁の耐力の照査による作用力の推定が必要である。

図2.1.4-4に気仙大橋（延長182m）の落橋状況を示す。気仙大橋は総延長182mの5スパンで、1スパン当りの延長が36.4mの合成桁橋である。合成桁橋は、コンクリート桁橋に比べて単位長さ当りの自重が軽いが、そのために延長を伸ばすことができて、合成桁橋の支承部の強度はコンクリート桁橋それに比べて弱いと推察される。

一方、合成桁橋の桁高は、コンクリート桁橋と同程度である。これらのことから、近年に建設された合成桁橋の流出事例は宮崎の耳川に唯一の事例があるのみである[11]。

図2.1.4-4に見られるように気仙大橋が架かる気仙川は、沼田跨線橋や川原川橋のそれに比べて幅が広く水深も深いと推察される。よって、気仙大橋が架かる気仙川を遡上した津波の波高は、沼田跨線橋や川原川橋のそれに比べて高く、また波速も早く、大きな水平力を作用させ、落橋に至ったと考えられる。気仙大橋の桁の流下距離が沼田跨線橋のそれに比べて長いことからも作用水平力の大きさが推察される。

なお、気仙大橋の直上流側の護岸は左右ともに被災している。この要因としては、戻り流れによると考えられる。

(2)　南三陸町の国道45号線橋梁等

図2.1.4-6に南三陸町の歌津の地図を示す。歌津において、国道45号線では東側から歌津大橋（延長304m）の中央部が落橋した。**図2.1.4-7**に歌津大橋（延長304m）の落橋状況を示す。

図2.1.4-6　南三陸町・歌津の位置[12]
出典：Map Fan

図2.1.4-7　歌津大橋の落橋状況[13]
出典：東北地方整備局道路部 HP

図2.1.4-7に示すように、歌津大橋では湾に面したP2～P10の桁（上部工）が落橋した。

図2.1.4-7の左側の2スパンと、右側の水門の上流の2スパンは落橋していない。左側の2スパンは、その右側に見える丘により津波が減衰して中央に比べて大きな水平力は作用しなかったことが落橋に至らなかった要因と推察される。

また、右側の2スパンは、下流の水門がバリアの効果を発揮するとともに、津波が河川を遡上して大きな揚圧力は作用しなかったことが落橋に至らなかった要因と推察される。

一方、湾に面した中央のP2～P10は、海岸線の直上流であり津波が重複波状に砕波することにより、また、桁下高が高く大きな揚圧力と水平力が作用して、桁を流出させたと考えられる。なお、歌津大橋はコンクリート桁橋であり、一部は反転していて、揚圧力の大きさが推察される。

(3)　気仙沼市の国道45号線橋梁等

図2.1.4-8に気仙沼市の陸前小泉の地図を示す。陸前小泉では、国道45号線の小泉大橋（延長182m）が落橋した。**図2.1.4-9**に小泉大橋（延長182m）の落橋状況を示す。小泉大橋は総延長182m、6スパンで1スパン当りの延長30.3mの合成桁橋である。**図2.1.4-10**に小泉大橋周辺の震災前後の空中写真の比較を示す。

小泉大橋は河口から約700mに位置する。**図2.1.4-10**に示すように、津波は河口の砂州を破壊して遡上し小泉大橋を破壊している。ここで特徴的な事項は、**図2.1.4-9**に示すように中央のP3橋脚が流出していることである。今回の大津波による橋脚の流出は小泉大橋のみであり、設計図書の解析、流出状況および流出原因の調査が必要である。

図2.1.4-8　気仙沼市・陸前小泉の位置[12)]

出典：Map Fan

図2.1.4-9　小泉大橋の落橋状況[13)]

出典：東北地方整備局道路部 HP

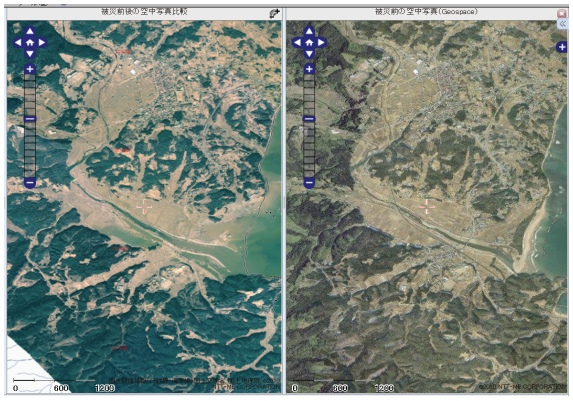


図2.1.4-10　小泉大橋周辺の震災前後の空中写真の比較[15)]

出典：被災前後の空中写真比較

2)　まとめ

以上に示したように、津波による落橋を防止するためには、津波は洪水に比べて河川内に止まらず海岸線および河川内外で様々な波高および流速分布を示すので、海から陸への津波の伝播解析を行い、それにより求められる波高および流速分布を用いて水平力・揚圧力を求め、水平力・揚圧力に耐えることができる支承を設計することが重要であることが示された。

なお、今後、研究グループおよび橋梁の設計者、支承製作会社を交えた、設計図・倒壊状況写真および映像の入手による詳細検討およびこれらの成果による津波に対する橋梁の設計指針の制度化が必要と考える。

2.2　平成 23 年台風 12 号災害の概況について [16)、17)]

台風 12 号は、平成 23 年 9 月 3 日 10 時前に高知県東部に上陸し、四国地方、中国地方を縦断して日本海へ北上し、5 日 15 時に温帯低気圧に変わった。西日本から北日本にかけ、広い範囲で記録的な大雨となった。特に紀伊半島では 8 月 30 日 17 時からの総降水量が、多いところで 1,800mm を超えた。この災害により、奈良県、和歌山県において河道閉塞が 17 箇所発生した他、孤立集落が発生するなど、紀伊半島を中心に甚大な被害をもたらした。また、死者 78 名、行方不明者 16 名、全壊 371 棟、半壊 2,907 棟、床上浸水 5,657 棟、床下浸水 19,152 棟の人的・住家被害（11 月 2 日 17:00 消防庁調べ）をもたらした。

1)　土砂災害の状況

・土石流等 91 件　（栃木、神奈川、山梨、三重、滋賀、兵庫、奈良、和歌山、鳥取、島根、岡山、徳島、愛媛、高知）

・地すべり 30 件　（山梨、静岡、三重、奈良、和歌山、兵庫、鳥取、徳島、愛媛）

・がけ崩れ 80 件（北海道、群馬、神奈川、埼玉、山梨、静岡、三重、奈良、和歌山、鳥取、島根、岡山、広島、徳島、香川）

図 2.2-1　台風第 12 号による土砂災害発生

出典：国土交通省「平成 23 年台風第 12 号及び 15 号による被害状況等について」

2)　下水道の状況

・7 市町 8 箇所で被害発生

応急復旧済み：処理場 3 箇所（姫路市、多可町、田辺市）、ポンプ場 4 箇所（高砂市、湯梨浜町、岡山市、姫路市）

応急対応中：管渠 1 箇所（和泉市）

3)　停電戸数（経済産業省調べ：9 月 5 日 20:00 現在）

区分	管　内	停電戸数	停電中の戸数
電力	四国電力	約 34,000 戸	復旧済み　9 月 5 日 17:00 現在
	関西電力	約 194,000 戸	約 28,000 戸　9 月 5 日 15:00 現在
	中部電力	約 60,000 戸	約 40 戸　9 月 5 日 18:00 現在
	中国電力	約 28,000 戸	復旧済み　9 月 4 日 9:00 現在

4)　都市ガスの供給停止戸数（経済産業省調べ：9 月 5 日 16:00 現在）

・三重県名張市 1 戸

5) 断水戸数（厚生労働省調べ：9 月 5 日 18:00 現在）

区分	管内	総断水戸数	現在断水戸数	備　考
水道	和歌山県	960 戸	50 戸	確認中の市町あり
	奈良県	402 戸	377 戸	確認中の市村あり
	三重県	18,970 戸	16,100 戸	
	兵庫県	327 戸	11 戸	
	大阪府	確認中	確認中	確認中の市あり
	岡山県	38 戸	復旧済み	
	鳥取県	521 戸	34 戸	
	島根県	50 戸	復旧済み	
	香川県	3 戸	復旧済み	
	静岡県	162 戸	復旧済み	
	山梨県	149 戸	復旧済み	
	北海道	65 戸	64 戸	

6) 通信関係の状況（総務省調べ：9 月 5 日 9:30 現在）

	事業者	被害状況等
固定電話	NTT 東日本	・被害なし
	NTT 西日本	・加入電話：和歌山県で約 2 万 9,000 回線、三重県で約 1,000 回線が、奈良県で約 4,000 回線が使用不可
	NTT ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝｽﾞ	・被害なし
	KDDI	・光電話：兵庫県で 3 回線使用不可 ・ケーブルテレビ電話：三重県で 171 回線、和歌山県で 450 回線が使用不可
	ｿﾌﾄﾊﾞﾝｸﾃﾚｺﾑ	・専用線：和歌山県及び三重県で 80 回線が使用不可
携帯電話	NTT ドコモ	・山梨県で 2 局、栃木県で 1 局、群馬県で 1 局、岐阜県で 1 局、静岡県で 3 局、鳥取県で 1 局、岡山県で 2 局、奈良県で 61 局、和歌山県で 135 局、愛知県で 2 局、三重県で 37 局が停波
	KDDI(au)	・群馬県で 3 局、三重県で 36 局、奈良県で 43 局、和歌山県で 46 局、愛媛県で 1 局が停波
	ｿﾌﾄﾊﾞﾝｸﾓﾊﾞｲﾙ	・静岡県で 1 局、愛知県で 1 局、三重県で 94 局、滋賀県で 2 局、大阪府で 2 局、奈良県で 82 局、和歌山県で 200 局、愛媛県で 1 局が停波
	イー・モバイル	・兵庫県で 1 局、和歌山県で 1 局が停波

7) 放送関係の状況（総務省調べ：9 月 5 日 9:30 現在）

・鳥取県内のテレビジョン中継局 1 か所が商用電源断により 3 日 4 時 05 分から停波していたが、5 時 59 分に復旧。

・和歌山県内の中波ラジオ放送局 1 か所が中継回線断により 4 日 11 時頃から放送停止していたが、4 日 17 時 20 分に復旧。

・三重県内の中波ラジオ放送局 1 か所が浸水の影響で停波中。

2.3 平成 16 年／平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の現地調査

新潟県中越地方で平成 16 年（2004 年）7 月に発生した豪雨災害は、信濃川水系の五十嵐川や刈谷田川、中之島川の氾濫により、五十嵐川流域の三条市と刈谷田川流域の中之島町を中心に、長岡市、見附市など広範囲に渡り浸水被害が発生した。

また、平成 23 年（2011 年）7 月にも、同地方で再び豪雨災害が発生し、五十嵐川など信濃川水系の 6 つの河川で堤防の決壊が相次ぎ、三条市など広範囲で浸水被害が発生した。

三条市に本社を持つ住宅設備機器メーカーのコロナ社は、平成 16 年の五十嵐川の堤防決壊により、社屋の 1 階部分がほぼ水没するという被害に見舞われた。その時の経験から独自の災害対策を築き上げ、その後二度の大地震や大停電を乗り越えて IT サービスを継続した実績を持つ[18)]。

当部会では、コロナ社に被災当時の体験談や企業における災害対応の心構えについてなど貴重なお話を伺う機会をいただいた。

コロナ社へのヒアリング内容と合わせ、同日に実施した五十嵐川・刈谷田川流域の現地調査内容を以下に記す。

2.3.1 現地調査概要

日　　時　　平成 23 年 11 月 17 日

場　　所　　新潟県三条市、長岡市、見附市

参 加 者　〔委員〕安田、石野、下矢、芝崎、須賀、内藤
　　〔事務局〕石瀬

行　　程　燕三条駅（駅前ロータリー集合）より、手配した乗合タクシーに乗車。
　　五十嵐川・水害復興記念公園、コロナ社、塩谷川・巾ノ橋、刈谷田川遊水地（庄川町）、刈谷田川・中之島大橋を経て長岡駅まで総移動距離約 50km。

図 2.3.1-1　調査地域および三条市内からの移動経路 [1)]

出典：電子国土

2.3.2　平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨の概要

平成 16 年（2004 年）7 月 12 日夜から 13 日にかけて、日本海から新潟県・福島県付近に停滞していた梅雨停滞前線は、太平洋の熱帯低気圧からの暖かく湿った気流の流れ込みにより活動が活発となった。13 日朝から昼頃にかけて、新潟県中越地方や福島県会津地方で非常に激しい雨が降り、降り始めからの総雨量は新潟県栃尾市で 427mm、加茂市宮寄上で 324mm、福島県只見町で 333mm を観測するなど、記録的な大雨となった。

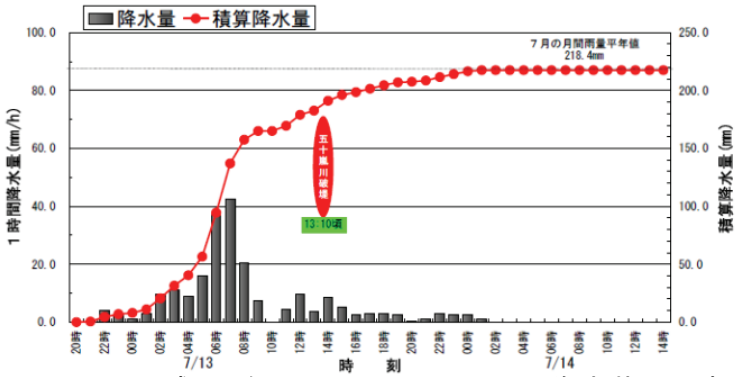


図 2.3.2-1　平成 16 年 7 月 13 日・14 日の降水状況（新潟県三条

出典：気象庁 HP

その影響で、信濃川水系の五十嵐川、刈谷田川、中之島川など計 11 箇所で堤防が決壊し、多くの被害をもたらした。この甚大な水害・破堤には、現地および上流地域で記録を更新する雨量と、笠堀・刈谷田川など各ダムが建設以来最大の流入量を記録し、満水状態となったため、治水機能が失われ、刈谷田川・笠堀・大谷の各ダムの放流量増大が重なったことに起因する可能性があるとされる。

その結果、三条市、見附市、中之島町を中心に新潟県で床上浸水 2,141 戸、床下浸水 6,118 戸となり、土砂崩れによる家屋倒壊や浸水被害により死者は 16 人となった。

表 2.3.2-1　平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨による被害状況（平成 16 年 9 月 10 日）[19)]

都道府県名	人的被害（人）				住家被害（棟）				
	死者	行方不明者	負傷者（重傷）	負傷者（軽傷）	全壊	半壊	一部破損	浸水（床上）	浸水（床下）
福島県	1		1					8	90
新潟県	15		2	1	70	5,354	94	2,141	6,118
合　計	16	0	3	1	70	5,354	94	2,149	6,208

出典：内閣府　防災情報のページ

本豪雨災害による死者の死因は、消防庁調べによれば、土砂災害によるもの 2 名，用水路などに転落したと思われるもの 2 名、12 名は洪水による溺死と推測される。近年の豪雨災害による死因は、土砂災害によるものが中心であり、他には歩行中や車で走行中に川などに転落したことによるものが見られる状況であった。直接、洪水そのものによる死者は近年ほとんど発生していなかったとされる。

この災害は後に激甚災害にも指定され、災害ゴミの処理費用のために自治体の財政に大きな打撃を与えるなど多大な被害が出る結果となった。

2.3.3　平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の概要

平成 23 年（2011 年）7 月 27 日から 30 日にかけて、新潟県・福島県を中心に各所で局地的な豪雨が発生した。この期間の雨量は、福島県只見町で 711.5mm、新潟県加茂市で 626.5mm となり、それぞれ 7 月の平年の月降水量の 2 倍以上となった。

平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨と気象庁アメダスの最大降水量のデータ（1 時間降水量、24 時間降水量、48 時間降水量）を比較すると、
いずれも前回の豪雨を上回る観測史上 1 位の記録を更新している。(**図 2.3.3-1**)

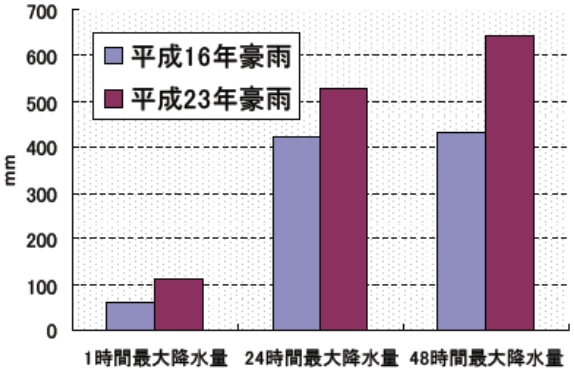


図 2.3.3-1　平成 16 年／平成 23 年豪雨の豪雨エリア内最大降水量の比較[20)]

出典：東京海上日動リスクコンサルティング HP

また、平成 16 年豪雨における降雨の継続時間は 24 時間程度だったが、今回の豪雨では、2 日以上にわたって強い雨が継続して降っている。

表2.3.3-1　平成23年7月新潟・福島豪雨による被害状況（平成23年8月4日）[19)]

都道府県名	人的被害				住家被害					非住家被害	
	死者	行方不明者	負傷者		全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	公共建物	その他
			重傷	軽傷							
	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟
福島県		1			1	1		127	286	1	13
栃木県									3		
群馬県							1	1	5		
神奈川県									3		
新潟県	4	1	1	9	20	3	100	1,680	7,180	47	1,900
長野県								1	3		
合　計	4	2	1	9	21	4	101	1,809	7,480	48	1,913

出典：内閣府　防災情報のページ

平成 16 年豪雨を降雨量では上回っているものの、人的被害を含め、被害規模は大幅に下回っていることがわかる。（**表 2.3.3-1**）

その理由としては、五十嵐川の災害復旧助成事業による河川改修が進み、住宅密集地への浸水を防ぐことができたことがあげられる。ただし、市街地から離れた上流域はこの対策の範囲外で、今回の豪雨ではこの地点で決壊が発生している。

その他にも、防災無線システムとそれに連動した緊急告知 FM ラジオの整備を進めていたことで避難などが円滑に進んだこと、また、7 年前の経験則から、住民が早い段階から避難行動、浸水対策を講じていたことも一因といわれている。

2.3.4　五十嵐川・刈谷田川流域現地調査

今回の調査では、五十嵐川水害復興記念公園、コロナ社ヒアリングを挟んで五十嵐川上流域、塩谷川に架かる巾ノ橋、刈谷田川遊水地、刈谷田川に架かる中之島大橋を視察した。

1)　五十嵐川水害復興記念公園

五十嵐川は、三条市と魚沼市の境界に位置する烏帽子岳を源流とし、三条市内で信濃川に合流する一級河川である。

平成 16 年（2004 年）7 月 13 日 13 時 15 分、三条市内を流れる五十嵐川の左岸が 100m にわたり破堤、嵐南地区（五十嵐川の南側）と呼ばれる地域では約 7 千戸が床上・床下浸水し、９名の住民が亡くなった。 その破堤地点は「五十嵐川水害復興記念公園」として整備され、水害の記憶を風化させないための慰霊碑や復興記念看板が設置されている。

五十嵐川災害復旧助成事業により整備された公園で、面積は約 1,940m²、休憩施設、植栽、芝生広場、駐車場を備えている。

写真 2.3.4-1　五十嵐川水害復興記念公園

写真 2.3.4-2　復興記念看板

出典：いずれも部会委員撮影

五十嵐川は古来、しばしば水害を引き起こす“暴れ川”として知られており、歴史上でも嵐南地区での浸水被害が多いとのことである。公園内には、明治期の人物で、当時堤防がなく水害にあえぐ人々の姿を見かねて、私財を投げ売って嵐南側の堤防築堤に向けた事業に尽力したと伝えられている松尾与十郎の銅像と「新堤碑」が地元有志の手によって市内の神社より移築されている。

2)　五十嵐川上流域

前述のように平成 23 年 7 月豪雨においては、平成 16 年 7 月豪雨災害後の治水対策が奏功した結果によるためか、三条市街の住宅密集地の下流域では全くと言っていいほど水害の痕跡は見当たらなかった。しかし、上流域に向かって車を走らせると、堤防決壊箇所への土のう積みによる応急措置や護岸侵食の痕跡がところどころに見受けられた。

写真 2.3.4-3　五十嵐川上流域
（並べられた土のう）

写真 2.3.4-4　五十嵐川上流域
（侵食された護岸）

出典：いずれも部会委員撮影

3)　塩谷川流域（巾ノ橋）

塩谷川は、信濃川水系の一級河川で、長岡市内に流域を持ち、刈谷田川に合流している。

平成 23 年 7 月豪雨では、7 月 27 日から 30 日の累計雨量が 559mm を記録した。この猛烈な豪雨により、塩谷川流域 10.6km に渡り、越水、護岸決壊、破堤が生じ、宅地や農地において大規模な浸水被害が発生した。

写真 2.3.4-5 と **2.3.4-6** は、塩谷川に架かる「巾ノ橋」を撮影したものである。通行は可能であったが、欄干が一部破損しており、仮修繕の状態であった。護岸も一部崩壊、侵食されたままとなっており、当時の濁流の凄さを伺い知ることができる。

平成24年2月、塩谷川に対する河川等災害復旧助成事業が採択され、今年度から5年間の予定で浸水被害軽減のための事業が推進されることになった。

写真2.3.4-5　塩谷川にかかる巾ノ橋

写真 2.3.4-6　巾ノ橋の欄干

出典：いずれも部会委員撮影

4)　刈谷田川遊水地

刈谷田川は信濃川の一次支川で、一級河川である。全域で複雑に蛇行しているために、川幅が狭く、流れも急で度々氾濫し洪水被害を起こしたため、河川改修などの治水対策は過去何度も行われてきた。

平成 16 年 7 月豪雨の災害復旧工事で、刈谷田川流域に新たに遊水地が整備された。洪水時に河川の水を一時的に流入させ貯留する施設で、下流への流量を抑える機能を持つ。

写真 2.3.4-7 に示すように、ＡからＦまでの６つの遊水地が整備されている。平成 23 年 7 月豪雨では刈谷田川から遊水地に水が流れ込み、刈谷田川が氾濫危険水位に達することがなかったことから、遊水地が一定の役割を果たしたと考えられている。

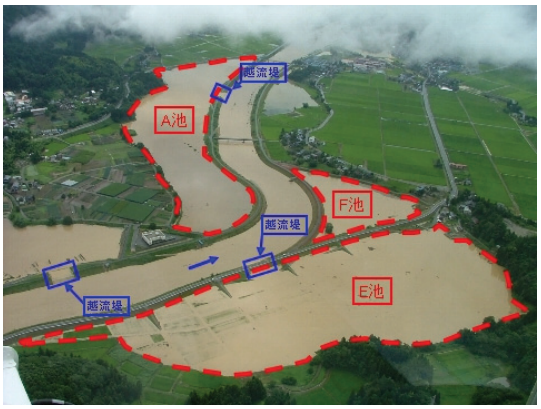


写真 2.3.4-7　刈谷田川遊水地全景 [21)]

出典：新潟県 HP

5)　刈谷田川・中之島大橋

見附市内中之島地区を流れる刈谷田川には屈曲部があり、流水の阻害となっていた。平成 16 年 7 月豪雨により今町大橋の下流左岸で堤防が決壊し、中之島地区に甚大な被害をもたらしたことから、刈谷田川災害復旧助成事業として、流水の阻害となっていた屈曲部の改良(旧河川埋戻し)および新河川のショートカット区間への工事が進められ、平成 21 年（2009 年）8 月 31 日に新河川へ通水された。(**図 2.3.4-1**)

ショートカット工事にともなう新橋「中之島大橋」(橋長 114m）は、それに先立ち同年 1 月に開通している。(**写真 2.3.4-8**)

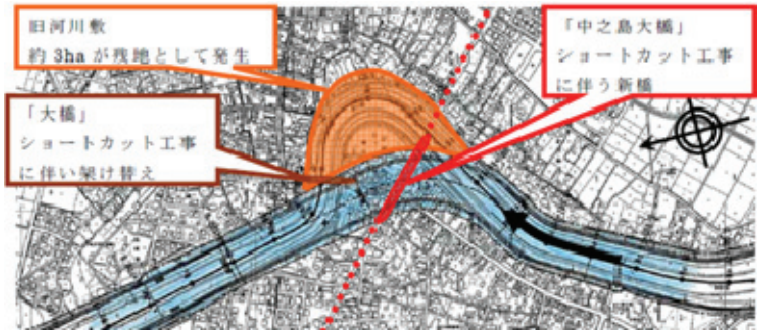


図 2.3.4-1　刈谷田川災害復旧助成事業 [22)]

出典：国土交通省北陸地方整備局 HP

写真 2.3.4-8　開通式典 [23)]

出典：見附市 HP

2.3.5　コロナ社ヒアリング

当部会の月例ワーキングにおいて、検討資料として委員が持参した記事 [16)] に紹介されていた内容を基に、コロナ社の平成 16 年 7 月豪雨時における緊急時対応についてヒアリングを行った。

日時　平成 23 年 11 月 17 日

場所　㈱コロナ・本社（新潟県三条市）

写真　2.3.5-1　コロナ本社（三条市） [24)]

出典：CORONA Information web

1)　コロナ社の概要

石油暖房機器メーカーのリーディングカンパニーとして発展。住宅設備機器、空調・家電機器といった分野で多様な製品を開発、提供している。

本社は新潟県三条市に位置し、主要工場は三条工場、柏崎工場、長岡工場の 3 箇所であるが、県内（中越地域）に 8 つの生産拠点が分散しており、災害時には生産を補完しあうことで、事業中断リスクを最小限に抑えられる体制となっている。

＜コロナ社沿革＞

昭和 12 年（1937 年）　新潟県三条市にて創業　石油コンロの製造販売を開始
昭和 25 年（1950 年）　会社設立
昭和 27 年（1952 年）　加圧式石油コンロを開発（国内初）
昭和 30 年（1955 年）　加圧式石油ストーブを開発（国内初）
昭和 40 年（1965 年）以降、暖房・冷房・空調・給湯事業への多角経営を推進している。

2)　ヒアリング内容

今回、対応していただいた方々は、平成 16 年 7 月豪雨時は本社内におり、内外への対応に追われたそうである。

平成 16 年 7 月 13 日 13 時 15 分に堤防が決壊、五十嵐川から溢れ出た濁流が一瞬にして社内に流れこみ、あっという間に 1 階の半分以上が水没した当時の緊迫の状況は、リスク対策.com・2008 年 11 月号（新建新聞社刊）[16] に写真とともに詳しく掲載されている。

写真　2.3.5-2　ヒアリングの様子

なお、五十嵐川は過去より何度と氾濫を繰り返してきているが、床下浸水程度であり、工場自体に被害が及ぶような大規模浸水は平成 16 年 7 月 13 日が初めてとのことであった。

①平成 16 年 7 月 13 日当時の状況

・社内に流れこんできた氾濫水は約 1.5～1.6m であり、道路では約 2m にもなっていた。
・浸水の予兆に気づいた 13 時頃より、1 階にあった PC 類をシャットダウンせずに上階へ持ち運ぶように指示。約 15 分で 1 階が水没したが、PC 類の被害を最小限に抑えることに成功した。
・社内配電設備の水没により停電が発生、電話と上水道が使用不可となった。可搬型の発電機 7 台を持ち込み、それを使用した。
・コロナ社は三条市の推奨により応急的な近隣住民の避難所として位置づけられ、続々と近隣から体育館へと集まってきた。最初は十数人だったが、その後増加。点呼を取るのに非常に苦労した。社員を含め 600～700 人が避難。（コロナ体育館は 1 階が倉庫、床は 2 階レベルにある）
・コミュニティ FM が避難者名簿の読み上げなどを協力してくれ、非常に役立った。
・18 時頃、Web サイトに本社機能を緊急的に見附市内の事業所に移動した旨と電話番号等連絡先を掲載、告知した。取引先とのコミュニケーションを維持することを最重視した。
・当日水没している間に、再開に備えメーカーに PC50 台を発注しており、復旧時に迅速に調達することができた。

②復旧作業について

・7 月 14 日は臨時休業とした。水が引くのは早く、15 日には復旧作業を開始した。水害の翌日以降は晴天で気温が上がったため、臭気が発生。
・室内は泥で汚れ、書類、机等が水で膨張。水没しなかった部分の LAN ケーブルにも、毛細管現象で水が浸入。床は全面交換となった。
・「近隣住民の方に迷惑をかけるな」のトップ方針のもと、社内を 3 班に分けて復旧体制を構築する。事前に決めた体制等はなかった。
　1 班：社内外の整備、地域の補助・支援
　2 班：近隣在住の被災社員の援助
　3 班：本社機能および通常業務の担当
・社外に流れ出たもの（書類等）を集め、洗い、干して、使えるものは使った。
・製造設備は一部交換し、操作部などは外部からポンプ車を借りて水洗浄を行った。コロナ社は製造ラインが下階（プレス成形）から上階（塗装・組立）へ流れていくため、2 階・3 階がストックヤードになっており、仕掛品・完成品への被害は少なかった。
・仕入先ほか取引先の支援におおいに助けられた。特に水害経験のある企業から、すぐに「お役立ちグッズ」が送られ、活用した。
・水害時に、社員の通勤用自家用車など約 700 台の車が水没し、会社から全社員に対し、一律の見舞金を出した。
・7 月の時点では、「今年はストーブの生産ができないのでは」と懸念されたが、取引先、支援企業の協力を得て、2 週間で工場の操業を再開した。

③事前の備えについて

・災害時の体制等は明確に決まっていたわけではなく、曖昧なものであった。
安否確認システムはあったが、期待通りの成果とはならなかった。結局、社員が自発的に発信するモラルに委ねられる面が強い。
・当時の災害対策の意思決定は専務が行った。工場系、事務系に分かれて対策会議を行ったが、平時から社内の風通しはよく、両者の連携はスムーズに進んだ。
・普段の意思決定は、各部門長が行い、社長が承認する。決定事項がトップダウンですぐ決まる面と、社内から上がってきた「やりたい」という意見が通りやすい社風がある。
・災害時の備蓄等は、特に行っていなかった。

④水害後の対策について

・BCP として、いくつか具体的な対策とルール設定をし、文面を明確化したが、「文書ありき」といった類のものではない。どちらかといえば「経験」と「会社方針」に基づいたものである。
・LAN ケーブルの浸水から無線 LAN 化、天井内にハブなどを設置。IT サーバーを 2 箇所にアウトソーシングし、分散設置（60km 程度）。
・災害保険には加入していない。費用対効果が見込みにくいことがあげられる。

・災害時の専用電話は用意しておいたほうがよい。
・「ある程度、自然災害の発生はやむを得ない」という観点から、災害対策にコストをかけるよりも「起こったときにどう対応するか」を重視している。

3) 所感

今回のヒアリングは非常に示唆に富んだ興味深い内容であった。以下、当部会の見解ではあるが、主なポイントを列挙する。

① 中越地域に根ざしたシンボル企業であり、柵もなく、普段から開放的な会社風土
② 近隣および社員宅の復旧作業を優先するトップ方針（地域・社員重視）
③ 被災をしながらも、取引先への迅速な情報提供により安心感を提供（顧客主義）
④ 仕入先・取引先からの復旧支援を受ける良好な関係（パートナーシップ）
⑤ 初めての経験であったにも関わらず、その時々の意思決定を迅速に行ったこと
⑥ 緊急時には、瞬間的な（個人的）判断、決断力が必要になること
⑦ 生産拠点を分散し、災害時には生産ラインを移管できるようなリスクヘッジ
⑧ 仕掛品・完成品を上階にストックしておいたことで、被害を低減化
⑨ マニュアル化に重きをおかない「経験」「教訓」に基づいた生きた防災対策

特に強く感じられたのは、コロナ社が「自然体であること」であろうか。言い換えれば、他の会社に先んじて、特別に BCP 策定や災害対策に重点を置いている訳ではなく、「ただやるべきことを普通にやっている」という感覚である。

ともすると、企業は災害対策を「システム」として複雑に捉えがちであるが、結局は「人」が使えるものでなければ、いざという時に役に立たないことをあらためて感じた。

また、長年地域を大事にしてきたコロナ社の社風を肌で感じることができ、多くの企業が手に入れようとして、なかなか手に入れることのできない企業風土の理想形の一例がここにある、という印象を強く受けた。

参考文献

1) 電子国土：http://cyberjapan.jp/
2) 気象庁 HP：http://www.jma.go.jp/
3) 警察庁 HP：http://www.npa.go.jp/
4) 平成 23 年度版防災白書：http://www.bousai.go.jp/hakusho/h23/index.htm
5) 石野和男，楳田真也，玉井信行：2004年福井水害における鉄道橋梁の被害原因の調査解析と今後の長寿命化方策の検討，河川技術論文集第11巻，pp157－162, 2005.6.
6) 石野和男，Bandara Nawarathna，矢野真一郎，中川一，田中仁：スマトラ地震津波によるスリランカ南西部の橋梁被害調査と津波対策の今後の課題，水工学論文集第50巻，pp157－162, 2006.2.
7) 石野和男，渡邉亮史，玉井信行：洪水時に道路トラス橋梁に作用する流体力に関する研究，水工学論文集第52巻，2008.

8) 玉井信行，石野和男，楳田真也，渡邉康玄：豪雨による河川橋梁災害に関する現地調査，被災原因解明，対策工立案の研究，平成17年度～平成19年度河川整備基金助成事業最終報告書，2008.
9) Susumu Araki, Kazuo Ishino, Ichiro Deguchi : STABILITY OF GIRDER BRIDGE AGAINST TSUNAMI FLUID FORCE，ICCE2010
10) 荒木進歩，石野和男：津波作用時の河川に架けられた橋桁の流出限界に関する研究の研究，平成20年度河川整備基金助成事業報告書，2009.3
11) 石野和男，玉井信行：2004年以降に日本で発生した豪雨による橋梁の倒壊要因と対策，土木学会安全問題研究論文集Vol.5，2010.11.
12) Map Fan Web：http://www.mapfan.com/
13) 国土交通省 東北地方整備局道路局HP：東北地方太平洋沖地震における道路関係施設の被災状況，2011.3.24：
http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/dourohisaijyoukyou.pdf
14) 石野和男：2009年台風8号豪雨による台湾南部の橋梁被害の特徴と日本の被害状況等との比較，第65回土木学会年次学術講演会講演集ＣＳ部門，2010.9
15) 被災前後の空中写真比較：
http://map311.ecom-plat.jp/map/map/?cid=2&gid=0&mid=13
16) 国土交通省「平成 23 年台風第 12 号及び 15 号による被害状況等について」：
http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_110901.html
17) 内閣府「平成 23 年台風第 12 号による被害状況等について」：
www.bousai.go.jp/h230903taihu12/110903taihu04.pdf
18) 新建新聞社 リスク対策.com 2008 年 11 月号「DR より大切なものがある」
19) 内閣府 防災情報のページ：http://www.bousai.go.jp/
20) 東京海上日動リスクコンサルティング HP：http://www.tokiorisk.co.jp/
21) 新潟県 HP：http://www.pref.niigata.lg.jp/
22) 国土交通省北陸地方整備局 HP：http://www.hrr.mlit.go.jp/
23) 見附市役所 HP：http://www.city.mitsuke.niigata.jp/
24) CORONA Information Web：http://www.corona.co.jp/

第３章　企業BCPと地域BCP(DCP)の現状

東日本大震災やタイの大洪水を経て、特にサプライチェーンの一環を担うものにとっての BCP（Business Continuity Plan；事業継続計画）の重要性が多くの企業に認識されてきている。企業の被災が影響を及ぼすステークホルダーも、取引先や出資者、従業員のほか、近隣住民や地域経済も含んだ多岐な対象となっている。近年の災害では、対象範囲がますます広域になっており、企業活動のグローバル化のなかで１企業の１事業が全世界的な影響を及ぼす可能性も十分考えられる。また、従来から懸念されてきた地震災害のみならず、水害においても、BCP が機能し、サプライチェーンの停滞を防ぐことが必要かつ重要となっている。

一方、企業においては BCP の導入やリスクマネジメントに対する姿勢が評価されるようになり、さらに、CSR（Corporate Social Responsibility；企業の社会的責任）が重視されるなかで、その１項目であるコミュニティ参画および開発の一環として、リスクマネジメントにおいて「地域連携」「地域貢献」をどのように行っているのかという点が企業の評価項目として加わってきている。

本章では、水害に対して企業が取り組む BCP や、地域貢献も含んだ地域全体での継続を目指す DCP(District Continuity Plan；地域継続計画)の現状について述べる。

3.1　企業BCPの現状

企業における BCP では、地震リスクを主な対象に策定している事例が多い。東日本大震災以降、地震 BCP への新たな取り組みや、既往の BCP の見直しを図る企業も増えている。

しかし、企業の業種や立地条件によっては、水害リスクの影響が非常に大きい場合もある。タイの大洪水を経て、影響を受けた企業においては、水害 BCP を策定している／いないにかかわらず、長期間の操業への支障を受けて、事業を継続させるため、代替策など、なんらかの対策を行う必要性に迫られている。

自治体の BCP 策定支援事業や、水害対策の情報、企業の水害 BCP への取組事例などのなかで、水害に関連した BCP への取り組みの現状を以下に紹介する。

3.1.1　東京都BCP策定支援事業

東京都では、平成 22 年度から、都内の中小企業を対象に、東京都 BCP 策定支援事業[1)]を実施している。BCP 策定に必要な人材や策定ノウハウが不足しがちな中小企業に対し、セミナーや情報交換会のほか、無償でコンサルタントを派遣し、3 カ月間で一通りの BCP が策定できる制度を設けている。

図3.1.1-1東京都のBCP策定5ステップ手法[1)]
出典：東京都産業労働局　東京発　チーム事業継続HP

この制度の支援を受け、平成 22 年度は第 1 期～第 4 期で計 35 社、平成 23 年度は第 1 期～第 3 期まで計 75 社／団体が BCP を策定している。対象リスクとしては、地震、水害、新型インフルエンザの 3 つの中から 1 つを選択することになっており、平成 22 年度は 35 社の内 4 社が水害を選択している。

集合研修と個別のコンサルタント訪問数回により、基本方針の策定、重要業務の特定、対策の決定、BCP 文書の作成、演習と改善の 5 つのステップを経て、重点を絞った第 1 版の BCP を策定するようになっており、成果発表や、フォローアップのための情報交換会を開催して、一度作成した BCP の継続・改善が図れるようなサポートも行われている。

3.1.2　「事業所の水害対策　事業継続計画（BCP）作成のすすめ[2)]」

国土交通省　荒川下流河川事務所は、日経連および数社の企業の協力により、平成 23 年 6 月に、「事業所の水害対策　事業継続計画（BCP）策定のすすめ」、のパンフレットを公表した。

平成 22 年に内閣府・中央防災会議の「大規模水害対策に関する専門調査会」でまとめられた報告では、利根川および荒川流域における 200 年に 1 度の発生確率の洪水流量での洪水氾濫時の被害想定が示されている。それによると、荒川下流域では、排水ポンプ、水門等が稼働しない最悪条件の場合、江東デルタ地帯の多くの地域で 50cm の浸水が 2 週間以上継続し､浸水が 4 週間以上にわたって継続する地区が生ずるケースも想定されている。広域水害により長期間の被災が継続する事業所が多数発生することで、個々の企業の損失だけではなく、地域経済にも大きな影響を及ぼし、地域の活力を衰退させてしまう。

中小企業も多く立地する荒川下流部の企業に向けて、水害 BCP への取り組みを推進することで､水害時の企業の事業継続を確保するだけでなく､取引先･顧客への影響の軽減、被災時の地域貢献、雇用の確保、地域経済への影響の軽減などの効果があることを示し、減災や企業の事業継続のための対策を推進している。

パンフレットでは、荒川大規模水害の浸水想定と被害想定の概要により、200 年に 1 度の発生確率での水害の危険性を示し、水害 BCP を策定するための情報として、災害としての地震との違いや、事前・初動・応急の水害防災対策として、各種の水害に関する情報入手手段、災害対策体制の整備、浸水防止のハード対策、バックアップ施設や要員確保、保険加入やサプライチェーンの多重化などのソフト対策など、基本的でな事項をポイントとして掲載し、啓蒙している。

また、事業所の対策事例として、次の 3 例を示している。

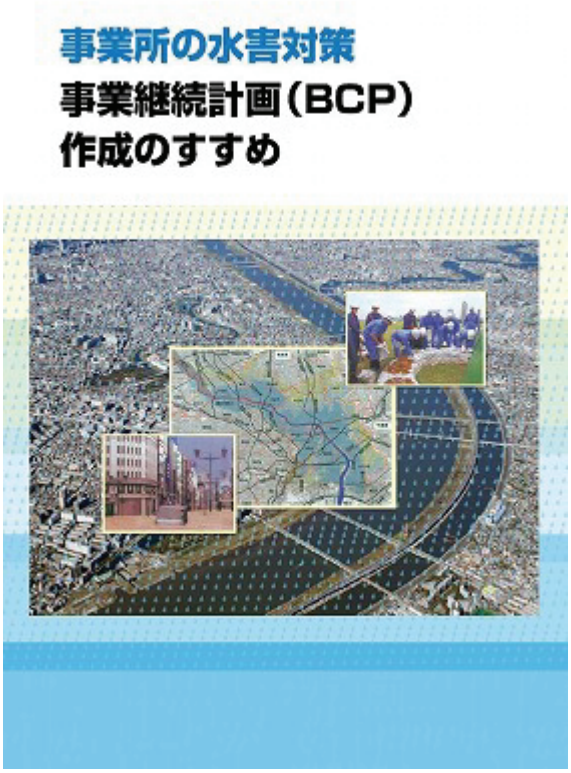


図3.1.2-1　事業所の水害対策 事業継続計画(BCP)作成の薦め[2)]

出典：国土交通省　関東地方整備局 荒川下流河川事務所HP

1)　東武鉄道㈱：複合商業施設（東京ソラマチ）4階屋上広場を一時避難場所として開放する計画

従前から水害が懸念されている地域として、区と協議し災害時には施設来場者の一時的な避難空間となる避難スペースを設置している。通常の避難場所と異なり、水害も考慮して建物の上階に設けた高所避難場所である。施設には浸水想定を参考に止水板等の水害対策も計画している。

2)　ライオン㈱：禁水性化学物質の保管強化、バックアップ拠点の確保

平井にある研究所が 3m の浸水想定とされているため、禁水性の化学物質の可燃物との隔離、保管量の制限、浸水深を超える高所での保管等や、地震災害をメインとしてはいるが、本社機能のバックアップ体制構築や対応訓練、資材の備蓄などの対策を行っている。

3)　㈱タカラトミー：防水板（壁）設置により社屋への浸水を防御する措置

ゲリラ豪雨による内水氾濫で被害が生ずる可能性が非常に高いと判断し、本社玄関や地下入口、地下変電設備への防水板の設置や、サーバー室を防水壁で囲むなどの浸水被害対策を行っている。

3.1.3　水害 BCP 策定への取り組み事例－上島熱処理工業所へのヒアリング

大田区にある㈱上島熱処理工業所では、平成 22 年度に、3.1.1 項で述べた東京都 BCP 策定支援事業 1)のコンサルタント派遣制度を利用して、水害を対象とした BCP を策定している。その取り組みについてヒアリングを行った。

日時　2012 年 2 月 7 日
場所　上島熱処理工業所

写真3.1.3-1　ヒアリングの様子

＜㈱上島熱処理工業所の概要＞

昭和 31 年(1956 年)　工具、金型など高級特殊鋼製品のソルトバス熱処理加工業として川崎市塚越で創業。昭和 33 年(1958 年)現在地である大田区仲池上に移転。

金属熱処理加工、金属表面改質処理、摩擦圧接加工を営業品目として、金型から航空機部品まで、金属部品の加工処理を幅広く取り扱う。東京地区の航空宇宙部品製造企業連合「AMATERAS」に加盟。

平成 10 年(1998 年)に熱処理メーカーとして日本初の ISO9001 認証取得。平成 11 年(1999 年)に熱処理専業メーカーとして日本初の ISO14001 認証取得。

平成 18 年(2006 年)「全国の元気なモノつくり中小企業 300 社」に選ばれ、平成 21 年(2009 年)に第 3 回日本ものつくり大賞優秀賞を受賞。

写真3.1.3-2　熱浴炉

写真3.1.3-3　熱浴炉（拡大）
（赤い部分が超高温の溶融塩）

1)　水害リスクが高い事業

上島熱処理工業所は、熱処理を主体とした金属部品等の加工を行っている。中でも主

力のソルトバス（塩浴）熱処理では、取り扱える事業者が減少し限られる中で、「現代の名工」２名を有し、高精度・短納期で難易度の高い加工を行える業者として、多くの企業や研究室と取引を行っている。

ソルトバス熱処理では、高温の液体（溶融塩）が入った塩浴炉に金属を浸漬することで材料を変性させ、余熱、加熱、冷却の複数の工程を経て目標とした性質を付与させる。工場で使用されている塩浴炉の温度は最高 1,000℃を超え、炉に水が入ると、急激な水蒸気の発生などで、人命にも影響する重大な事故が発生する危険性があり、水には従来から非常に気を使っている。

2)　水害リスクが高い立地

上島熱処理工業所は二級河川である呑川の左岸 100m のごく近傍に位置しており、東京都の浸水予想区域図でも 1～2m の浸水が想定されている。呑川は過去にも度々氾濫を起こしており、30 年ほど前は、付近の道路が浸水することは珍しくなかったという。但し、工場の床面は、浸水の危険性を考慮して道路より 1m 以上高く作られており、工場の内部まで浸水したことはない。近年は河川改修が進み、氾濫はあまり発生していないが、平成 20 年 7 月のゲリラ豪雨では呑川の水位が急激に上昇し、工場のすぐ先にある橋梁付近で行われていた護岸工事で人が流されるなど、水害の危険性が極めて高い立地条件となっている。東京都の浸水予想では、東海豪雨程度の雨量（総雨量 589mm、時間最大雨量 114mm）で、呑川の氾濫により工場の敷地で 1～2m の浸水が想定されている。また、近くの道路では豪雨時にマンホールから水が吹き上がるなど、内水氾濫も発生している。

図3.1.3-1　ハザードマップによる浸水深[3)]

出典：大田区洪水ハザードマップ　中小河川版HP

また、付近は地下水位が高く、浸水しないまでも、降雨が続くと地下水位が上昇する。塩浴炉は電気炉で、作業性を考慮し、一部地下に埋め込まれたコンクリート製の中に炉を設置し、床から上の部分があまり高くならないないようにしている。ピット内には電極など、電気配線が露出している部分もあり、水が入ると重大な問題になる。ピット深さは炉の大きさにより様々だが、深いところで 1.5m 地下に埋め込まれており、常水位より深いところもあるため、ピットの壁のひび割れから水が浸入しないよう、毎日のピットやポンプ類の点検が必須となっている。もし、降雨などで地下水位が上昇した場合、多くのピット最下部が地下水位より低くなり、浸水の危険が高まって炉の損傷や大事故につながる懸念があるため、降雨時は常に気が抜けない状況にある。

3)　水害BCPへの取り組み

以上のように、上島熱処理工業所では常に水害リスクと隣り合わせで操業を行ってお

り、浸水対策などについて、考えられる範囲でかなり厳重な防災対策を行ってきてはいたが、想定被害に対し、今一歩の踏込みに欠けるとの思いを持ち続けており、洪水が発生したら廃業も覚悟せざるを得ないという不安が拭えない状況であった。

上島熱処理工業所の事業は、顧客から預かった金属部品などを、熱処理加工によって付加価値を与え、顧客に戻すことであり、受注生産で生産性はあまり高くない。加工した製品の高品質、高い安定性を売り物にしており、他の企業では代替の効かないものを依頼されるケースも多く、ロスの発生は許容されない。提供する製品がサプライチェーンの中でもカギとなる重要な位置を占めている場合がほとんどである。

平成 22 年の業界団体の会合で、東京都の BCP 策定支援事業の案内を見つけたことが転機となった。それまでは、社内でも BCP の事は知らないか、単語を聞いたことはあっても具体的な内容は知らなかった者がほとんどだった。非常事態から企業を守る備えとなり経営力強化にもつながるという事業継続の案内内容にひかれ、詳しい内容を聞くため社長が説明会に参加した。事業を受託するコンサルタント（ニュートンコンサルティング）に、地震よりも水害の危険性の方が切迫性がある会社の事情を話すと、「水害 BCP も策定できる」と太鼓判を押され、支援事業に参加して BCP の策定を進めることになった。

上島熱処理工業所にとっては、地震を想定した場合、被害の大小や影響度、想定被害など考慮しなければいけない事項が多すぎるため、いきなり地震 BCP に取り組むことは困難だと考えた。しかし、水害を想定した BCP ならば、常時気にかけており、一部は対策も行っている事象であり、会社にとっては地震より水害の方が発生する可能性や被害・影響が大きいと考えられるので、可能なら水害 BCP を検討しようと思ったとのことである。

BCP 策定に至るには、コンサルタント訪問打合せの都度、宿題が出て、それをこなしていくのは非常に大変な作業であったというが、その甲斐あって一通りの BCP を構築している。提供された書き込み用フォームを使った作業が大半で、手間はかかるが、コンサルタントの支援を受けながら自分たちの手で BCP 文書を作成することができるようになっている。

4)　水害BCPの内容

被害シナリオとして、夏期の勤務時間中に発生した洪水により、工場が床上浸水、ピット内の炉やブラストマシンが泥水に浸かり、製品・資材に被害が発生。ガス配管、ボイラー、1 階にある記録帳票も泥水に浸かる、と想定した。これらの被害を軽減し、機器や製品・資材の被害による長期の操業停止を防ぐための BCP を検討した。

継続すべき重要業務を主力のソルトバス熱処理工程とし、まず、工場内への浸水防止のための事前のハード対策を考えた。緊急防水堰、スラリーポンプ、発電機の導入や、配電盤・外部トランスの嵩上げ、ガスボンベの固定等の具体的な対策について、現在実施を検討中である。また、磁気探傷器、記録帳票の紙など、浸水させたくないものは想定浸水深より高いところに保管場所を変更し、濡れないようにする。

水害が発生した時の行動（BCP の運用）として、工場前の道路が冠水した時、工場が床上浸水した時の二つの時点をチェックポイントとして設定した。

稼働中の高温の炉に水が入って生ずる被害を防ぐため、浸水が予想されるときには炉を停止させ、冷やす必要があるが、1つの製品の熱処理には、複数の炉で、決まった時間加熱する、冷やすなどの厳格な工程管理が必要であり、途中の工程で止めると、再開しても所定の性能が確保できず、最悪、割れの生ずる可能性がある。ほとんどの製品は顧客からの預かり品で、熱処理を行って再び顧客に返却するため、不良品の発生は許容されない。従って、工程を途中で停止させるときは適切な手順に従う必要がある。

豪雨が続くとき、周辺や呑川上流域の降雨状況などの情報を常時監視し、浸水の可能性を早期に予想、把握する。

道路冠水時点で、仕掛品の破損防止（割れ止め）処理を開始するように手順を定め、同時に緊急防水堰やスラリーポンプ、発電機を設置・配備し、顧客預かり品や紙帳票の避難、ガスや装置類の元栓の閉鎖を行う。

さらに増水が続き、工場の床上浸水が免れないと判断したら、仕掛品の緊急割れ止め対策を実施し、溶融塩の冷却などピットの浸水緊急対策を実施し、顧客からの預かり品の保全を図る。

浸水が生じた後は、水が引いた後の清掃、洗浄、乾燥や点検・修理などの迅速な対応を図るための体制を、全社員を動員して確立し、実施する手順としている。

また、事務所と工場の現場での役割分担を明確にした顧客との電話等による対応体制の確立も重要なものとして整備している。

ハード対策などは資金面から全部を一度に実施できないため、優先度を決めて順次実施しているということである。

5） BCPの展開

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、水害BCPとして策定した非常時に対応する仕組みの一部が、地震に対しても活用できた。被害確認、点検や人員の確認、顧客との連絡、情報入手など、各種災害に共通の部分は活用でき、役に立ったという。人員の確認などスムーズにいかなかった点があり、その点を今後改善していくという。

現在、水害BCPをもとに、地震を対象としたBCPを検討中であり、今後、火災などその他の様々なリスクに対応したBCPの構築を考えている、ということである。また、水害BCPについても、訓練等で改善していく余地はまだあり、これで完成というわけではない、ということである。

3.1.4　2011年タイ水害とBCP

（2011 年 12 月 28 日時点）［被害状況］
○洪水発生県：5 県（バンコクが除外）
（※洪水が発生したものの既に水が引いている県：39 県）
○死者：752 人
○行方不明者：3 人

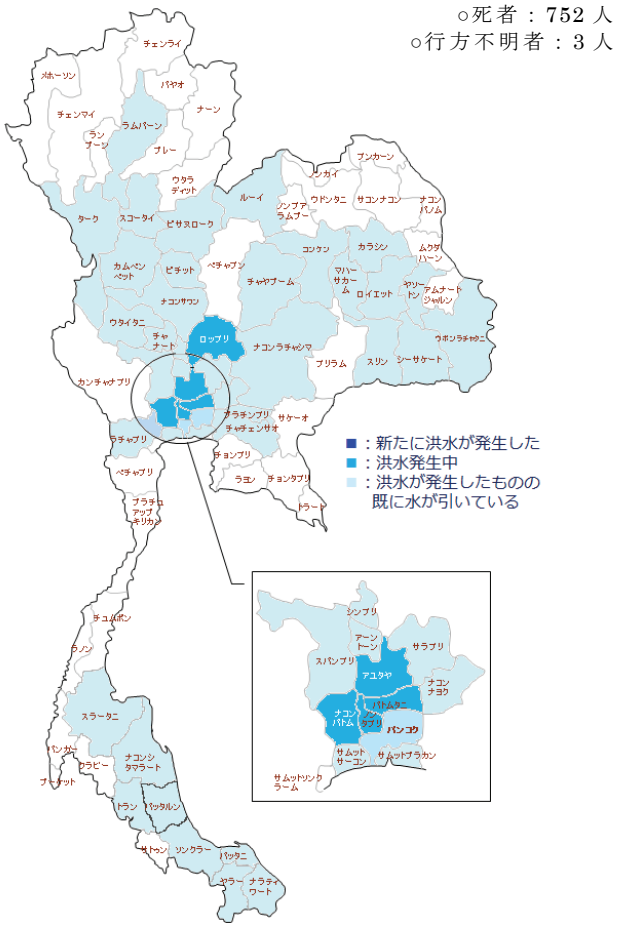


図3.1.4-1　タイの洪水被害県マップ [4)]

図3.1.4-1　アユタヤ県および
バンコク近郊の工業団地地図[4)]

出典：JETRO　HP　緊急特集：タイ洪水に関する情報

2011 年の夏から 2012 年初頭にかけて、タイ中部のチャオプラヤー川を中心として発生した洪水は、首都バンコクの中心部にまで冠水が広がるなど、広範囲・長期間の被害をもたらした。浸水面積は 4 万 5 千 k ㎡に及び、JETRO によると、タイに進出している日系企業約 6,700 社のうち約 450 社が何らかの影響を受けたとされている。日系企業が多数進出しているアユタヤなどにある 7 つの工業団地で 1～2 か月間浸水が生じ、工場が長期間水没したり、自社が浸水被害を受けずとも、ライフラインやサプライチェーンの途絶により製品の生産・供給ができなくなった企業が多数発生した。

水害被害が長期間継続したことで、サプライチェーンに重大な支障が生じた。現地で生産されていた自動車やデジタルカメラなどの基幹部品の供給が滞り、東日本大震災と同様、全世界的に影響 [4)]を及ぼした。

また、東日本大震災の経験から、地震リスクを避けるため、工場を国外の地震の少ない地域に海外移転する動きがあるが、地震を避けても水害という異なるリスクに見舞われる

可能性があり得ることが示された。

現地の被災した日系企業に対するアンケート[5)]では、直接被害を受けた企業のうち約半数は、洪水前の規模を維持するとしたが、約 4 割の企業は洪水前の約 6 割程度に規模を縮小するとしている。また、1 月頭の時点で 2 割が事業再開できており、3 月には半数以上が再開の見込みだが、1 割の企業は再開時期のめどがまだ立っていない。1 割強の企業は、タイ国内で現在の場所から移転しての操業を考えているが、8 割弱は移転が困難な場合も含め同じ場所で事業継続するとしており、今後のため、早急な洪水対策が必要とされている。

最新情報では、洪水に見舞われた地域での 2012 年の洪水などにおける財物を保証する自然災害向けの保険料率が 30%以上上昇[6)]している。

3.2　地域 BCP(DCP)の現状

企業 BCP の策定が普及しているが、事業継続計画としては企業単体に対しての計画がほとんどである。災害時にはその企業が立地する地域の他の企業や行政、及び近隣との連携なしには事業の継続、復旧に限界がある。最近では企業として、災害時に地域継続計画(DCP)を策定する企業もある。ここでは、DCP [7]の現状を紹介する。

災害時の対応に「自助・共助・公助」とい考え方がある。地域・近隣が連携して助けあう「共助」も災害対応では重要である。地域の企業や大学が関わっている防災連携の事例[8]もあわせて紹介する。

3.2.1　DCP(District Continuity Plan)と BCP(Business Continuity Plan)

BCP は、企業が災害等の緊急事態に遭遇した場合において、事業資産の損害を最小限にとどめ、事業の継続あるいは早期復旧を可能とするために、平常時や緊急時に行う対応を計画するものである。企業単体で行うものであり、いわば点としての活動となる。

一方 DCP は、地域の関係者を巻き込み、地域全体の機能継続・復旧を図る計画である。

DCP と BCP の違いについての概念を**図 3.2.1-1** に、相違点を抽出して**表 3.2.1-1** に示す。

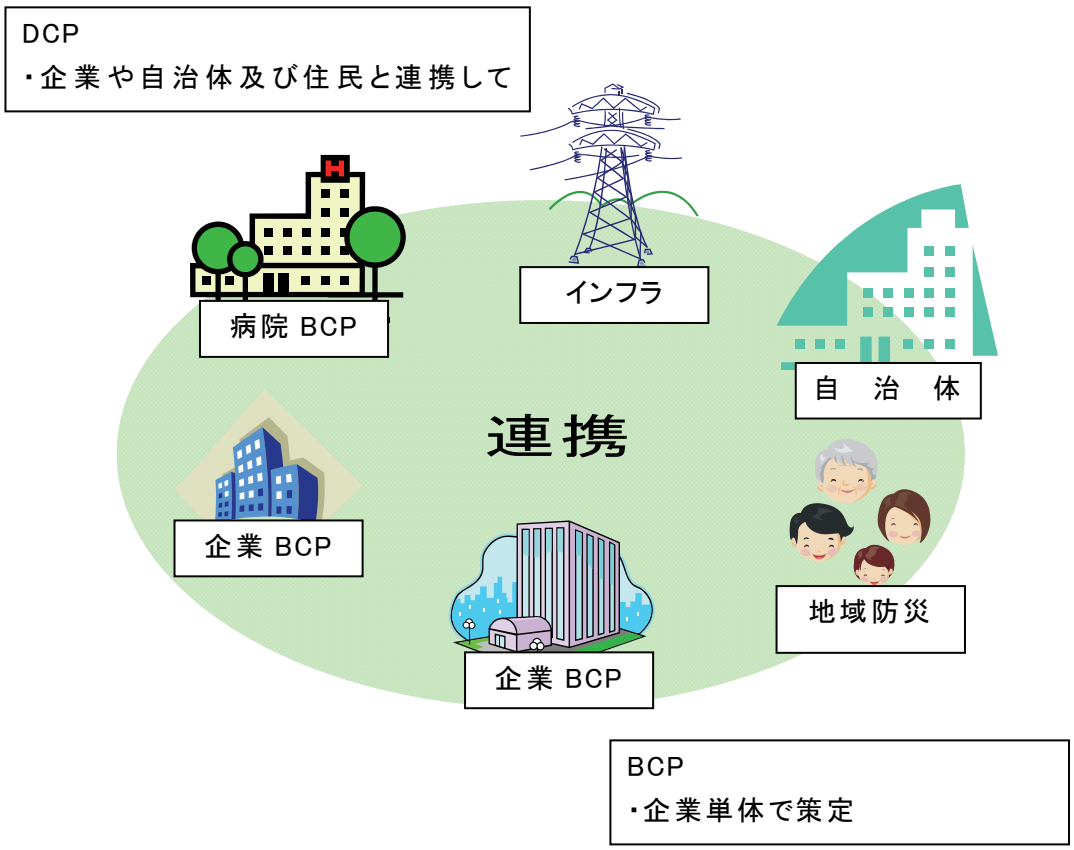


図 3.2.1-1　DCP 概念図

表 3.2.1-1　DCP と BCP のポイント比較

比較項目	DCP	BCP	備考
計画対象	地域全体	企業単体	最も明確な差異
参加者	地域企業、住民、自治体、医療機関、ライフライン事業者	企業従業員（時として関連企業）	地域との接点が見直される傾向にある
防災活動拠点	地域における防災拠点	事業所	同上
活動範囲	面的に広範	点的な局所	社内連携はある
地域貢献度	大きい	限定的	企業と地域との関わり方により異なる
復旧速度	遅い（面的に復旧が行われる）	早い（企業単体として）	策定目的の一つ
情報収集力	強い	弱い	事業分野に関わる情報は入手しやすい
情報収取速度	早い	遅い	同上
策定難易度	困難	比較的容易	職制による意思決定が行いやすいため
帰宅困難者受入	比較的容易	極めて限定的（スペースにも依存）	社会的責任からの対応も求められる
防災備品	用意しやすい	在庫に限度あり	スポンサが必要
防災投資	分散効果により小さい	大きい	企業体力による

3.2.2　DCP の考え方

DCP の策定には、多く関係者（企業、自治体、住民など）と連携を図らなければならないことから、策定には労力と時間を要することが想定されるため、企業の負担は決して小さくない。しかしながら、地域の活動に参加し、DCP を策定することにより企業にも、以下のメリットが生まれる。

・災害に対し正確な情報収集が可能となる

・防災備品などが分散化されるため、備品の確保や投資等が容易になる

また、病院との連携による負傷者への対応や、ライフラインの復旧順序にも関与できる可能性が出てくる。

企業経営において必須の項目は、人、物、金、情報の 4 つと言われているが、DCP に関わりを持つことにより、少なくとも 3 つ（従業員の安全、防災備品、地域の情報）の確保が容易になる。企業単独ですべてを背負い込むのではなく、地域協調を推進することにより、負担となる側面ばかりではなく、総合的な復旧を早める効果があると認識され始めている。

3.2.3 DCP の事例

地域継続につながる活動や検討が行われている事例を 9 例ピックアップして紹介する。

①東京駅周辺防災隣組
②東京都防災対策指針
③内閣府「防災隣組」育成促進モデル事業
④山口県と山口大学
⑤香川大学危機管理研究センター
⑥津波避難ビル
⑦東京ガス㈱「防災フェア」
⑧ダイキン工業㈱「地域防災協定」
⑨今後展開が期待できる水害時の地域防災連携事例

1）東京駅周辺防災隣組

『東京駅・有楽町駅周辺地区帰宅困難者対策地域協力会』[9]の総称である。

（1）設立

東京駅周辺の防災対策のあり方を検討していた伊藤滋先生（東京大学名誉教授）が、平成 14 年 10 月立ち上げた委員会に始まる。平成 16 年 1 月 9 日に千代田区から『東京駅・有楽町駅周辺地区帰宅困難者対策地域協力会』として行政上の位置付けを受けた。月 1 回の定例会の他、講演会、千代田区と協力した訓練の実施などを通じて、地区の安全性を世界に発信することを目標に活動している。設立趣旨[10]をホームページより抜粋して示す。

表 3.2.3-1 東京駅周辺防災隣組設立趣旨[10]

東京駅周辺では、現在民間ビル群の建て替えによる「街の更新」が進められている。すでに竣工･稼動している数棟を含め平成 20 年(2008)年頃までに約 20 棟の建て替えが行われ、更にその後更新の第 2 ステージが開始される。 この「街の更新」に合わせ官民の協調による地下歩行者ネットワークの再整備などの都市インフラの拡大･強化が進められ、より堅固な都市空間が実現しつつある。地区内企業群は「街」のリスクマネジメントのため、それらのインフラを能動的に活用していく。 企業として「街」が直面するさまざまなリスクに対する防衛姿勢をとること、「企業間の共助」という新しい防災理念の下に有志が集まり知見を出し合い実践的な活動を展開すること、それが東京駅周辺防災隣組の基本的スタンスである。 「街」の賑わいとともに多くの来街者を迎え、自然災害や社会･人為的災害のリスクはむしろ高まっている。東京駅周辺防災隣組は帰宅困難者問題、テロ対策、電力・通信の安定性など「街」の新しい課題を考え、一時の場当たり策に終わらない日常性のある活動を展開し、東京駅周辺の安全性を世界に向けアピールする。

：東京駅周辺防災隣組 HP

(2) 目的

会則[11]によれば、「大手町･丸の内地区、有楽町、内幸町地区において、震災等の大災害が発生した場合における帰宅困難者の円滑な帰宅を支援する」ことを目的として設立された組織である。

(3) 組織

会則[11]には、次の 8 つの部を設けることが記載されている。

防災まちづくり部　　安否･被害情報部
帰宅誘導部　　応急救護部
食料･飲水備蓄配布部　　支援要請部
国等情報連絡部　　ボランティア統括部

なお事務局を、財団法人 都市防災研究所(東京都千代田区丸の内 2－4－1 丸の内ビル内)内に置くことも併記されている。

組織概要[12]を**図 3.2.3-1** に示す。

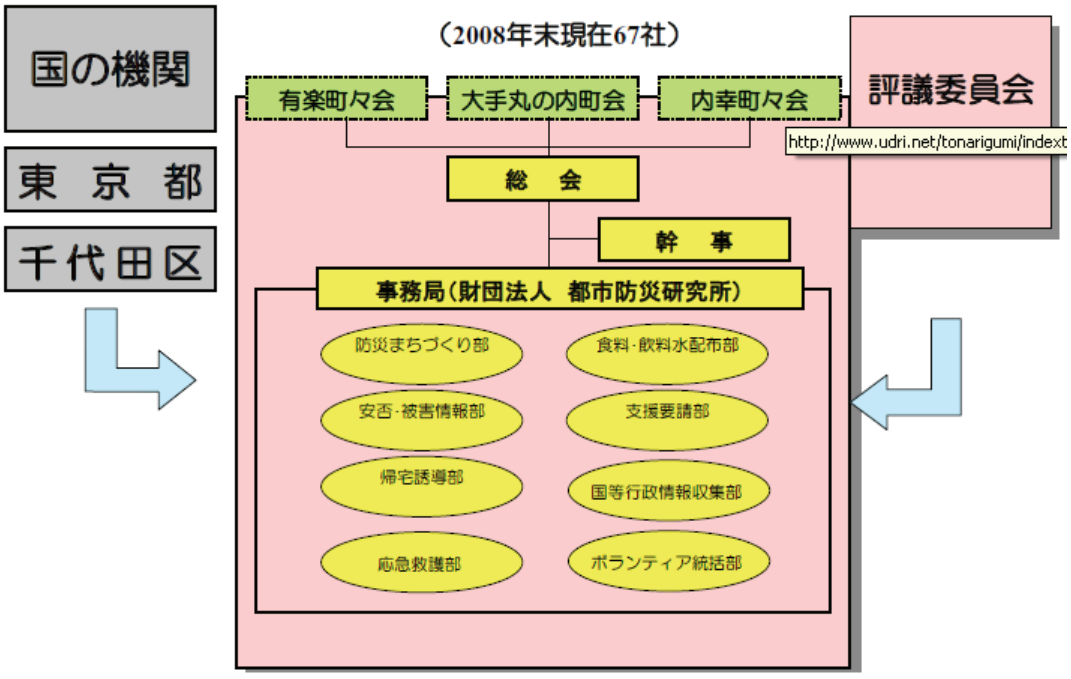


図 3.2.3-1　東京駅周辺防災隣組の組織[12]

出典：国土交通省 HP

活動エリア内の地域的な組み分けを、江戸火消しの呼称になぞらえ、『い組』から『り組』の 9 班に分けているのもおもしろい。地域活動に対する親しみやすさを向上させる仕組みになると思われる。

（4）これまでの活動概要

隣組の活動として、

- 総会：概ね月 1 回の勉強会
- 防災訓練：毎年 1 月 17 日（千代田区と共同で実施）
- 啓発広報：シンポジウム、講演会、視察会等
- 資機材の備蓄
- 防犯パトロール：EV 自動車を用いた防災・防犯パトロール
- 防災情報配信：地区内 QR コードにリンクするとメーリングリスト内容が閲覧可能

などが知られている。

国土交通省ホームページ[12)]に紹介されている主な活動履歴を**表 3.2.3-2** に示す。

表 3.2.3-2　東京駅周辺防災隣組の主な活動履歴[12)]

平成15年度	民間と市場の力を活かした防災力向上に関する専門調査会・官民の協調による災害に強いまちづくりに関する検討調査「大手町・丸の内・有楽町地区モデル事業検討委員会」（ＤＣＰ(District Continuity Plan)の提唱） 第１回千代田区帰宅困難者避難訓練
平成16年度	第２回千代田区帰宅困難者避難訓練 タウンミーティングin丸の内
平成17年度	都市再生モデル事業（ＤＣＰに基づく活動マニュアル、防犯ＱＲコード） 第３回千代田区帰宅困難者避難訓練（英語による外国人訓練、在日銀行業界、米仏領事参加） 第１回防災隣組全国会議（仙台、さいたま、神戸、横浜、飯田橋、東京商工会議所）
平成18年度	社会安全研究財団助成（ＭＬとＱＲコードによる情報配信等） 第４回千代田区帰宅困難者避難訓練（英語による外国人訓練、在日銀行業界、４カ国大使館員参加、改善非常食）
平成19年度	第２回防災隣組全国会議（大阪、名古屋、新宿、渋谷、多摩ニュータウン、さいたま、横浜、東京商工会議所） 公的空間管理・利活用社会実験（防災ワンセグ放送、エコポイント活用実験、パネル展示、等） 第５回千代田区帰宅困難者避難訓練（英語による外国人訓練、在日銀行業界、６カ国大使館員参加、改善非常食、アイルランド大使表敬訪問等）
平成20年度	地方元気再生モデル事業（浅間山麓元気アップ事業） 洞爺湖サミット対テロパトロール 戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）地域ICT振興型研究開発（災害時第二通信網） 第６回千代田区帰宅困難者避難訓練（英語による外国人訓練、在日銀行業界、英米防災担当官協力、災害応援協力協定）

出典：国土交通省 HP

（5）ヒアリング

東京駅周辺防災隣組についてヒアリングの機会を得た。概要を紹介する。

（a）　ヒアリング概要

日　　時　平成 24 年 2 月 6 日

場　　所　東京駅丸の内口　丸ノ内ビルディング 7 階　728 号室

訪 問 先　財団法人都市防災研究所

　　東京駅周辺防災隣組

参 加 者　〔委　員〕塚原、芝崎、須賀

　　〔事務局〕石瀬

写真 3.2-1　東京駅周辺防災隣組ヒアリング

(b) 受領資料

パンフレット：東京駅周辺防災隣組

(c) 議事

東京駅周辺防災隣組の活動について、参加者が知りたいことや疑問に感じていることを順次話題とする自由討論形式で、ヒアリングを進めることとした。

概要を以下に列記する。

・ 防災隣組誕生の背景

元々は地震対応で生まれた。防災のテーマは社会情勢などを反映し、時々で変わるものであり、鳥インフルエンザや水害が話題の中心となった時期もある。新潟や仙台の地震の時には軽い緊張が走った。

・ 発想と生立ち

丸の内地区は業務市街地であり、居住者がいない。早稲田大学の伊藤滋先生（東京大学名誉教授）が進めていた横串を実践、平成14年に委員会が立ち上り、平成16年1月9日に千代田区より『東京駅・有楽町駅周辺地区帰宅困難者対策地域協力会』として行政上の位置付けを受けた。毎年千代田区と訓練を行っている。現在67社が参加しており、会員数は安定している。場所柄三菱系企業が多いが、東京国際フォーラム、東京電力、大丸等もメンバーである。勉強会を月1回程度開催しており、毎回40～50社程度集まる。

・ 消防団との相違

丸の内にも消防団がある。何か起きたら消防長のもとに参集し、指示に従い活動することが決まりであり、責任が伴う。隣組は、同じ意識をもった緩やかな共同体である。協力できることをやるというスタンスでいる。レスポンシビリティを高め過ぎると消防団になってしまう。地権者とそうでない人、いずれも参加している。各企業からの参加者は防災担当者が多く、消防団はビル管理者が多い。目的によりメンバーは異なるが、消防団メンバーと重複することもあり、発災時に隣組に力を割く人のリストを作っている。三菱地所は10名程度確保している。独身寮居住者を

メンバーとしている企業もある。遠いと意味がないので、近接地に寮を用意している企業もある。

・ 会費

和を保つためには無料が良いと考えたため、会費は無い。仮に金額を設定した場合、企業の置かれている状況により数字のインパクトが異なる。訓練の予算を千代田区が年間100万円確保してくれている。ここから講演者への謝金等を捻出している。寄付を受け入れることも検討している。

・ 想定リスクとしての水害

防災隣組が立ち上がって8年になるが、その間に2回話題になった時期がある。直近は、2年程前、内閣府が荒川流域の浸水予想を公表した時である。地下鉄のトンネルを通って水がくることへの対策を検討した。それ以外の水害としては、お堀の水があふれることが過去にあった。降雨量に対して排水が不十分なことにより起こる内水氾濫であり、道路を鯉が泳ぐ光景もかつて見られた。

・ 水害に対する各オフィスビルの対策

地下通路に40mm程度嵩上げして浸水を防止する遮水板を装備している例が多い。新しいビルでは電動で上下する設備を備えているところもあるが、手作業により引き出す例がまだ多い。多少の土のうを準備しているところもある。体力が必要であり、要員の確保も課題である。浸水対策として、潜水艦の構造のように遮水する地下街を構築する考えもあるが、コスト的に現実的ではない。

・ 他地域における取組

都庁が作った組織が12ある。例えば、新宿駅周辺を対象として、工学院大学の先生と新宿区が協調している。活発なところ、そうでないところ、様々である。理論だけでは難しく、活動を活発化するには知恵がいる。

・ 東日本大震災発生時の対応

震度5だったので、帰宅困難者が少し出た程度で済んだ。丸ビルと新丸ビル合わせて2,000人程度と想定される。電力は活きており、停電はなかった。直後に三菱地所が建物をチェックして継続使用可能を判断した。交通機関の混乱もあり、無理に帰宅することはなかったようだ。なお、東日本大震災発生時の対応に関する記事が、財団法人都市計画協会発行の雑誌「新都市」66巻2号に掲載される予定とのことである。

・ 防災用品

デッドスペースとなる場所を倉庫として千代田区に無償で提供している。保管庫扉の鍵複数をワンキーで開くようにしてある。千代田区から毛布と被災時用のカーペット700組の管理委託を受けており、これを東日本大震災時に供出した。各企業備品の供出はなかったようである。また、明治安田生命が防災用品の保管場所を作り、千代田区と協議しているが、調整に時間がかかっている模様である。

・ 毛布の配布

まず（財団法人都市防災研究所）職員が配布を始め、三菱地所の人が加わった。更に（外来者に接している）飲食店の人達、そして被災者も参加した。

・ 災害用備品の返却と再備蓄

使用済み毛布の返し方を印刷して枕元に配布した。クリーニング業者も満杯で、しばらく倉庫に収集したままだったが、最近トラックが来て持って行った。保管場所の容積を減らすためのクリーニング後の圧縮にお金がかかる。震災発生による需要増により新規調達も難しいようだ。備品の購入コストは決して小さくない。

・ 行きずりの人への対応

区は夜間人口（居住者）の税収で賄わており、サービスを提供している。また企業からは法人住民税が入る。ところが外来者（たまたは居合わせた行きずりの人、移動途中の人、買い物客、旅行者を含む）はいずれにも該当せず、行政管理上は例外の扱いになる。少数であれば問題がない。関東大震災時には、遠距離から通っている人は少なかったが、現在は相当数に上る。企業の防災マニュアルは、災害時に来社している人への対応も含んで作成されることが通常であるが、周辺の買い物客や旅行者は含んでいない。多勢に無勢を迎え撃つ必要が生じる。電気、通信、トイレの三つが、行きずりの人の被災対応に重要な要素となる。なおJRや地下鉄は防災復旧計画があり、責任を負う点が異なる。

・ 地区内への情報発信

地図の下にQRコードを貼っている。当該アドレスにアクセスすると、隣組のメーリングリストがのぞける。被災時には、不正確な情報対策が課題となるが、ブラックアウトも好ましくない。情報のやり取りを公開し、その先どう使うかは自由意思にまかせる。ローコストでインフラ整備に取り組んだ8年間とも言える。

・ 防災・防犯パトロール

三菱自動車製の電気自動車を導入し、地区内のパトロールを行っている。急速充電器も地区内のビル地下に整備し、警察の認可を受けて青色灯を点けて地域内を巡回している。

・ 同様の取り組みを推進する方策

行司になって捌く人材が必要、行政と民間の阿吽の呼吸を取り持つことができないとうまくいかない。矛盾を調整することを誰かがやらないといけない。行きずりの人の被災対応はビジネスとしてペイしない。世の中に受けたのは、かなり多くの人が『行きずり』の感覚を持っているためと考えられる。

2）東京都防災対策指針

東京都は、平成 23 年（2011 年）11 月 25 日に「防災対応指針」[13]を発表した。

日本経済新聞は、東京都の取り組みを、平成 23 年（2011 年）11 月 26 日朝刊[14]で、次のように報じている。

表 3.2.3-3　東京都防災対策指針発表を紹介する新聞記事[14]

地域防災へ「隣組」認証、東京都指針、帰宅困難対策も強化。

東京都は 25 日、首都直下地震などを想定した対策をまとめた「防災対応指針」を発表した。東日本大震災を受けて、住民や企業と行政の連携を重視。地域防災の核となる住民の自主組織を「防災隣組」として認証し、支援する制度の創設や、帰宅困難者対策の強化を盛り込んだ。来年度予算案で施策を具体化するほか、来年夏に改定する地域防災計画に反映させる。

指針は、都内に約 6,600 ある自主防災組織を活用することとし、消火や避難訓練などで率先的に活動する組織を「隣組」と認証する。複数のモデル地区を指定し、専門家を派遣するなどして地域の特性にあった対策づくりを促す。

帰宅困難者対策では、企業に食料や毛布などの備蓄を求めるほか、一時待機施設を増やす。施設は無線 LAN（構内情報通信網）を整備し、災害発生直後の通信を確保できるか実証実験する。

木造住宅が密集する地域の防災対策として、耐震性に優れた家屋への建て替えを促す建築規制緩和や税制上の優遇措置を検討。出力 100 万キロワット級の天然ガス発電所建設の検討や、沿岸部の水門・防潮堤の耐震強化なども盛り込んだ。

出典：日本経済新聞

（1）目的

根本の目的は「都民の生命を守ること」「都市の機能を維持すること」の二点である。ここで言う「都民」には、『都内に居住する人々』だけではなく、通勤、通学、旅行者を含んだ、昼夜を問わずあらゆる「都民」を対象にしている。

地震・津波・水害等から、その生命を守り安全を確保し、首都東京の「都市の機能を維持すること」は、東京の重要な使命であるとうたい、いかなる災害が発生しても、都市の機能を維持し、行政や経済活動をはじめとした社会全体の動きを止めないよう、十分な対策を講じていく、と宣言している。

（2）防災対策の方向性

東日本大震災の教訓を踏まえ、

① 多様な主体の連帯：多様な主体が個々の防災力を高めるとともに、主体間の連帯を強化する

② 施策の複線化・多重化：あらゆる事態に備え、個別施策の徹底強化と施策の複線化・多重化を促進する

の二つの方向性に基づき、今後の防災対策を再構築していくとしている。

（3）施策の具体例

①多様な主体の連帯では、

・ 住民、事業者等の地域の連帯の再生による防災隣組の構築

・ 企業、行政機関など社会全体の連帯による帰宅困難者対策の推進

②施策の複線化・多重化では、

・ 道路やライフラインのネットワーク構築による補完機能の確保

・ 木造住宅密集地域の整備促進と消火体制の充実強化

などを施策の具体例としてあげている。

東京の防災対策の目指すもの[15]として、**図 3.2.3-2** を示し、分かりやすく概要をまとめている。

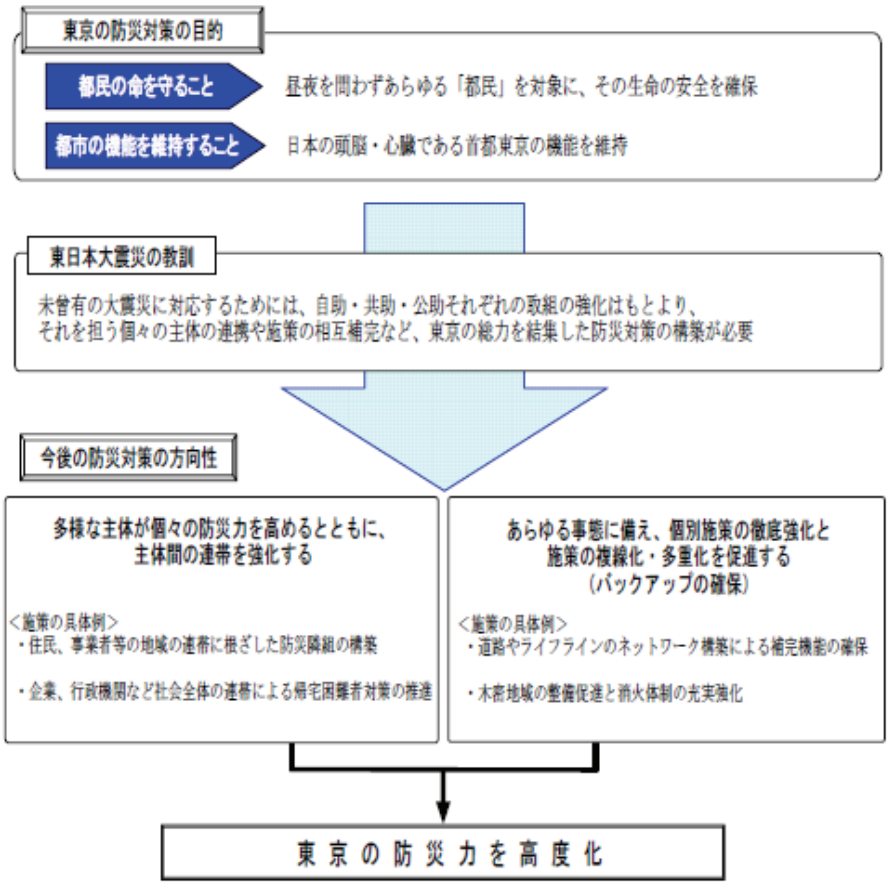


図 3.2.3-2　東京の防災対策の目指すもの [15]

出典：東京都 HP

3)「防災隣組」育成促進モデル事業　新宿駅周辺滞留者対策訓練ワークショップ

内閣府は、平成 20 年 11 月 18 日、平成 20 年度「防災隣組」育成促進モデル事業の一般競争入札[16]を公示した。概要を抜粋して以下に示す。

表 3.2.3-4　平成 20 年度内閣府「防災隣組」育成モデル事業一般競争入札公示概要[16]

2　競争入札に付する事項
（1）件　　名　　平成 20 年度「防災隣組」育成促進モデル事業
（2）仕　様　等　　入札説明書による
（3）契約期間　　平成 20 年 12 月 19 日から平成 21 年 3 月 31 日
（4）履行場所　　入札説明書中「仕様書」のとおり
（5）入札方法等　　入札書に記載する金額は総価を記入すること。
4　契約条項を示す場所及び入札説明書を交付する場所
所在地　　東京都千代田区永田町 1－6－1　内閣府大臣官房会計課契約第 2 係
電話番号　03－5253－2111　（内線）82355
5　実績等証明書の提出期限及び場所
（1）日　時　　平成 20 年 12 月 1 日（月）正午まで
（2）場　所　　内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（総括担当）付会計担当 東京都千代田区霞が関 1－2－2　中央合同庁舎第 5 号館
6　入札及び開札の日時及び場所
（1）日　時　　平成 20 年 12 月 12 日（金）午後 2 時
（2）場　所　　内閣府庁舎地下 1 階入札室

出典：内閣府 HP

工学院大学建築学科の久田嘉章先生を中心とした、新宿駅周辺滞留者対策訓練ワークショップが採択された。検討概要と成果に関する平成 21 年 3 月の報告資料[17]が、工学院大学のホームページに紹介されている。

大学キャンパスを地域防災の拠点とし、大学間や地域との連携による共助体制作り[18]を、防災ワークショップや防災訓練の実施を通じて構築しようとする試みであり、興味深い。

地域における自主的な協力体制では、企業における職制による役割分担が行いにくい点が課題となると考えられる。久田らも同様の点を指摘している。誰が、何時集まるのか？集めるべき人材が何らかの事情により参集できない場合にどうするのか？通信方法も企業内と異なり制約されることが容易に想像できる。

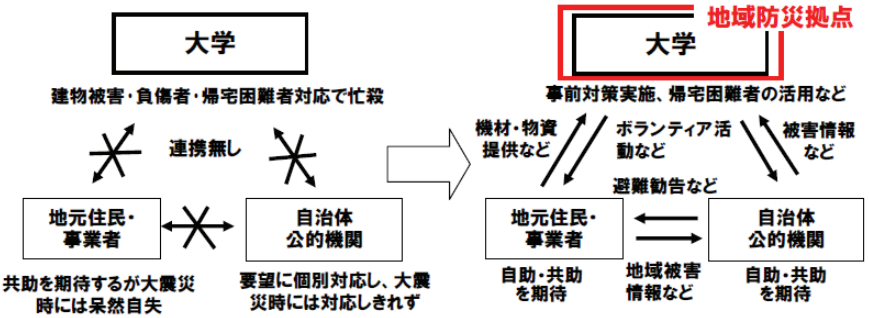


図 3.2.3-3　大学・地域連携のイメージ [18)]

出典：工学院大学 HP

内閣府は、平成 21 年度も同様に、平成 21 年度「防災隣組」育成促進モデル事業の一般競争入札 [19)]を平成 21 年 10 月 15 日に公示した。要領を抜粋して以下に示す。

表 3.2.3 - 5　平成 21 年度内閣府「防災隣組」育成モデル事業一般競争入札公示概要 [19)]

2　競争入札に付する事項
（1）　件名　　平成 21 年度「防災隣組」育成促進モデル事業
（2）　仕様等　　入札説明書による。
（3）　契約条項　　入札説明書中「契約書（案）」のとおり
（4）　契約期間　　平成 21 年 11 月 24 日から平成 22 年 3 月 30 日
（5）　履行場所　　入札説明書中「仕様書」のとおり
（6）　入札方法等
落札者の決定は、総合評価落札方式をもって行うので、入札金額を記載した書類（以下「入札書」という。）及び技術提案書を提出すること。

4　契約条項を示す場所及び入札説明書を交付する場所等
（1）　所在地　　東京都千代田区永田町 1－6－1　内閣府大臣官房会計課契約第 2 係
電話番号　03－5253－2111（内線）82355
（2）　入札書及び技術提案書の受領期限
平成 21 年 10 月 29 日（木）正午
入札書等の提出先
東京都千代田区霞が関 1－2－2　中央合同庁舎 5 号館 3 階（311 号室）
内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（総括担当）室
電話 03－5253－2111（内線）51208
（3）　開札の日時及び場所
平成 21 年 11 月 13 日（金）午後 2 時　内閣府庁舎地下 1 階第 1 入札室

出典：内閣府 HP

4）山口県と山口大学

日建設計総合研究所は、山口県・山口大学と、企業の防災活動や災害復旧活動参加による地域継続力への貢献を評価する共同研究を、平成 22 年度から 3 カ年計画で開始したことを公表[20]した。

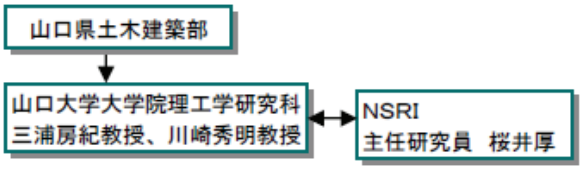


図 3.2.3-4　共同研究体制[20]

出典：日建設計総合研究所 HP

（1）背景

大規模災害が発生すると、地域全体の活動継続が極めて困難な状況に陥る。地域活動の継続性確保には、地元企業の活動が大きな力となる。昨年発生した東日本大震災においても、地域の実情に精通した地元企業の各種活動が、震災復興に大きな役割を果たした。

（2）目的

各種災害（地震、水害・高潮・土石流等）発生時における地元企業の活動を、定量的に把握し、企業の防災活動や災害復旧活動参加による地域継続力への貢献を評価する。

（3）調査手法と目標とする成果

地元企業、住民、自治体に対するヒアリング等の調査を行い、定量化可能な分析手法を用いて地元企業参加の効用の明確化を試みる。災害発生時に地元企業が果たしうる役割と効果、その重要性を広く周知することに取り組むこととしている。

三年間の開発目標として、次の 5 項目をあげている。

①地域継続力（DCP）に関する既往事例の資料収集及び類型化（文献調査）
②県内の風水害、県外の地震災害について資料収集及び現地調査
③対象区域における地域継続力に関する調査及び分析
④地域特性を踏まえた地域継続力の評価手法、向上策検討手法の開発
⑤安全・安心な県土のための地域継続計画の提案（山口方式を全国に発信）

初年度である平成 22 年度は、防府土砂災害（平成 21 年 7 月 21 日発生）を対象に、災害発生時の地域活動の実態把握を行い、

・災害復旧活動の実情が地域住民に知られていない
・災害活動中に人身事故や重機類の損失があった場合の補償が不十分
・災害現場の指揮命令系統が一元化されていない
・地域住民と行政との間の双方向の情報伝達機能、情報共有化が不十分

等の課題を抽出したことを報告している。

5）香川大学危機管理研究センター

香川大学危機管理センターは、平成 23 年 6 月 13 日、東日本大震災を踏まえた香川地域防災への緊急提言を記者発表[21]した。

危機管理研究センター長からは､「香川大学として防災士の人材育成に取り組むと共に今回まとめた提言書を国や市町等に提出し、アドバイザーとして行政、地域に協力していきたい」との指針が述べられた。

危機管理研究センターの運用イメージ[22]を、**図 3.2.3-5** に示す。

-

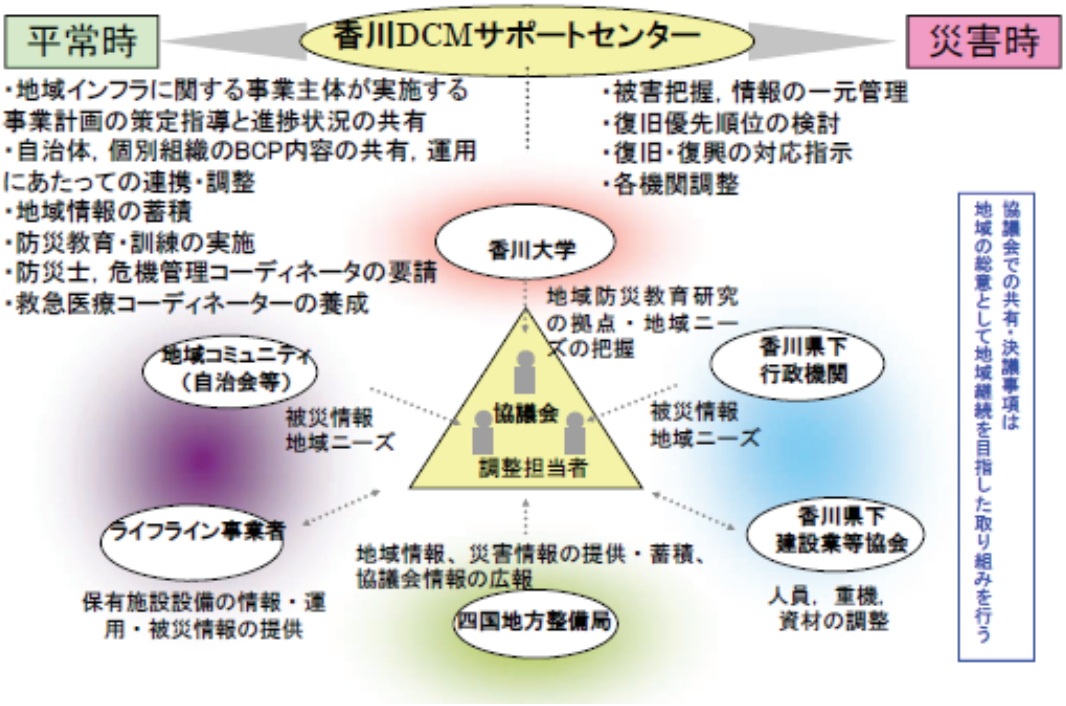


図 3.2.3-5　香川大学危機管理センターの運用イメージ[22]

出典：香川大学 HP

（1）目的

瀬戸内沿岸での東日本大震災同様の被害想定の参考とするため、東京湾岸埋め立て地の液状化被害および震源地から距離のある千葉での津波被害の調査を、4 月から 6 月にかけて実施した。調査のねらいは、東京湾沿岸の埋め立て地では液状化の被害が甚大であることを受け、瀬戸内沿岸の埋め立て地における震災被害の参考とするためである。また、震源地から少し離れた千葉県の津波被害は、襲来時間や規模から香川県における震災被害の参考となるためである。

被害調査の結果、被災状況やその後の医療、避難生活、復旧などの状況を踏まえ、香川における地域防災に向けて取り組むべき課題を緊急提言として取りまとめた。

（2）提言

検討結果を踏まえ、16 項目の提言[22]を行っている。

例えば、被害想定の見直しでは、従来単独での発生を想定していた南海トラフを

震源とする地震に対して、他地域との連動による巨大化を想定している。

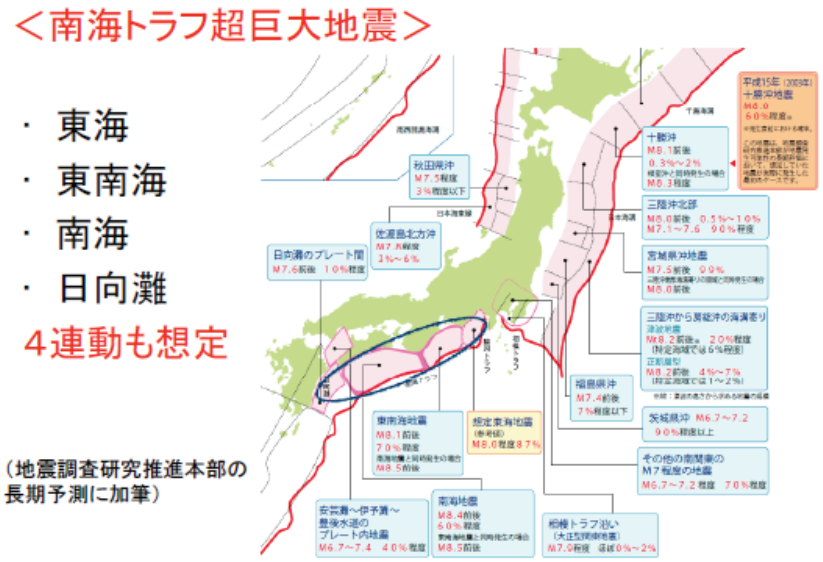


図 3.2.3-6　改善された被害想定 [22)]

出典：香川大学 HP

提言項目のみ抜粋して示す。

①防災意識を高める
②被害想定の見直し
③建物の耐震化
④津波避難体制の整備
⑤ハザードマップの積極用
⑥防災公園の整備
⑦液状化対策
⑧ため池の決壊対策
⑨土砂災害対策
⑩長期の被災生活
⑪震災廃棄物対策
⑫BCP から DCP へ
⑬災害医療への対応
⑭メンタルヘルスケア
⑮災害ボランティアの養成
⑯防災・危機管理専門家の育成

詳細については、香川大学ホームページを参照されたい。

6）津波避難ビル

想定を超える規模の津波に対する避難計画に活用することを目的に、自治体と協定を締結した建物（以下『津波避難ビル』）や地域の標高に関する情報発信を行っている自治体がある。例えば、神奈川県藤沢市は、HP に津波避難情報マップ[23]を公開し、災害時の活用を促している。鵠沼地区引地川河口周辺部分を抜粋して**図 3.2.3-7** に示す。同図中の数字は標高、塗りつぶされている建物が『津波避難避難ビル』である。また想定される浸水深も色分けして示されている。

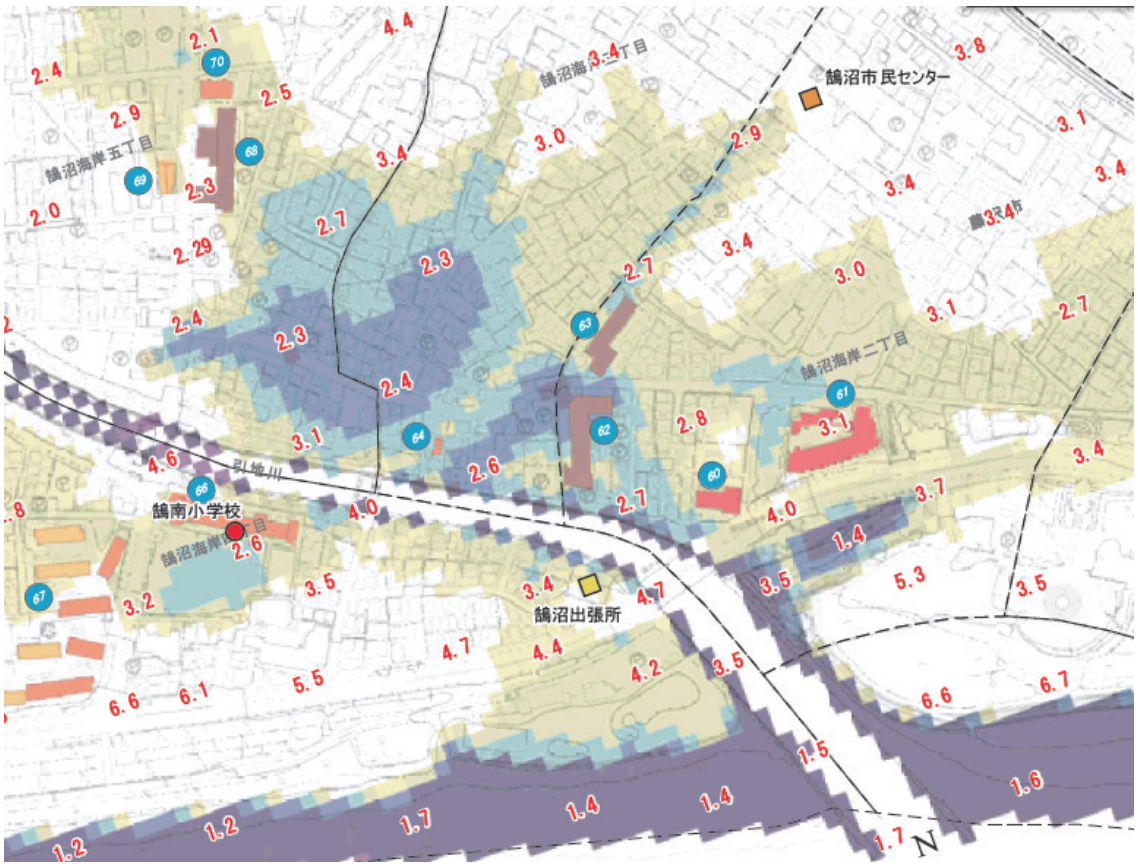


図 3.2.3-7　藤沢津波避難情報マップ[23]（鵠沼地区の一部を抜粋）

出典：藤沢市 HP

内閣府（防災担当）と国土交通省住宅局は、今後の津波対策の検討を目的として、津波発生時に安全に避難できる施設「津波避難ビル等」について、指定の状況、階数・構造・用途等の実態、指定に当たっての課題等について、アンケート調査及び追加調査を実施[24),25)]した。調査対象を、沿岸の市区町村としたが、岩手県、宮城県及び福島県内は調査対象地域から除かれている。昨年 3 月 11 日発生した東日本大震災の被災を考慮した措置と考えられる。平成 23 年 12 月 27 日に「津波避難ビル等」に関する実態調査結果を公表した。概要[24)]を抜粋して示す。詳細は、出典ホームページを参照のこと。

(1) 調査概要

調査対象：沿岸等の市区町村 610 団体（岩手県、宮城県及び福島県内を除く）

①アンケート調査（平成 23 年 6 月 30 日現在）

津波避難ビル等の指定の状況、階数・構造・用途の状況、指定に当たっての課題（自由記述）等について、アンケート票を配布して回収

②追加調査（平成 23 年 10 月 31 日現在）

津波避難ビル等の指定棟数のみ調査（アンケートは実施していない）

(2) 津波避難ビル等の指定棟数

地方公共団体が自ら地域防災計画等において位置づけている津波避難ビル等の棟数は、平成 23 年 6 月 30 日の 1,876 棟から、同年 10 月 31 日の 3,986 棟に増加している。

10 月 31 日現在で指定数の多い都道府県は、指定棟数が多い順に、静岡県 1,031（682）、大阪府 749（13）、神奈川県 429（135）、愛知県 302（127）、徳島県 280（277）、兵庫 263（121）等である。一方、東京都、島根県、広島県、山口県、福岡県、長崎県における指定は一棟もなく、都道府県間における温度差が大きいと言える。

また、指定の多い市町村は北から、神奈川県藤沢市 183（50）、静岡県静岡市 118（72）、同沼津市 460（460）、同焼津市 226（30）、愛知県名古屋市 220（103）、大阪府大阪市 692（0）、徳島県徳島市 164（163）、香川県高松市 100（0）であり、指定に積極的な市町村を有する都道府県の指定数が多い結果となった。

なおカッコ内は平成 23 年 6 月 30 日現在の指定数であり、指定数が多い自治体では、徳島県や一部の市町村を除き、4 ヶ月間に指定数が増大していることが認められる。

表 3.2.3-6　所在地別の津波避難ビル指定数 [24)]

都道府県	指定数		市区町村	指定数	
	H23.6.30	H23.10.31		H23.6.30	H23.10.31
神奈川	135	429	藤沢市	50	183
			茅ヶ崎市	35	60
静岡	682	1031	静岡市	72	118
			沼津市	460	460
			焼津市	30	226
愛知	127	302	名古屋市	103	220
			豊橋市	0	24
大阪	13	749	大阪市	0	692
			堺市	0	44
兵庫	121	263	神戸市	82	82
			西宮市	0	99
徳島	277	280	徳島市	163	164
			美波町	35	35
香川	0	110	高松市	0	100
			丸亀市	0	10

（内閣府公開データより抜粋して作表）

・ 指定の種別

既存建築物が大半の 1.825 棟（97.3%）である。他に新築 28 棟（1.5%）、改修 23 棟(1.2%)が指定を受けている。

所有者別では、公共建築物 664 棟と民間建築物 1,212 棟、比率はおよそ 1：2 で民間建築物が多い。

・ 建築物の種別（階数、構造、用途）

建物の階数は、2 階建て 339 棟、3 階建て 635 棟、4 階建て 322 棟であり、2 階～4 階建てが全体の約 4 分の 3 を占める。

構造は、RC 造が 1,189 棟（76.1%）と全体の 4 分の 3 を占め、次いでＳ造 230 棟（14.7％）、ＳＲＣ造 105 棟（6.7%）の順である。

新耐震基準で構築した建物が 792 棟（68.3%）、耐震改修済み 99 棟（8.5%）や耐震診断済み 63 棟（5.4%）等耐震性が確認されている建物が指定されている一方で、耐震性が確認されていない建築物も 205 棟（17.7%）指定されている。

用途は、民間住宅 273 棟、学校 227 棟、ホテル 184 棟、事務所 168 棟の順で多い。緊急避難場所に指定されることが多く、地域の人にもなじみがある集会所等は 148 棟と、比較的少ない結果となった。

避難可能人数は、1 棟で 50 人未満の建物（91 棟）から 1,000 人以上可能な建物（162 棟）まで様々である。平均すると一棟あたり 558 人の避難が見込まれている。

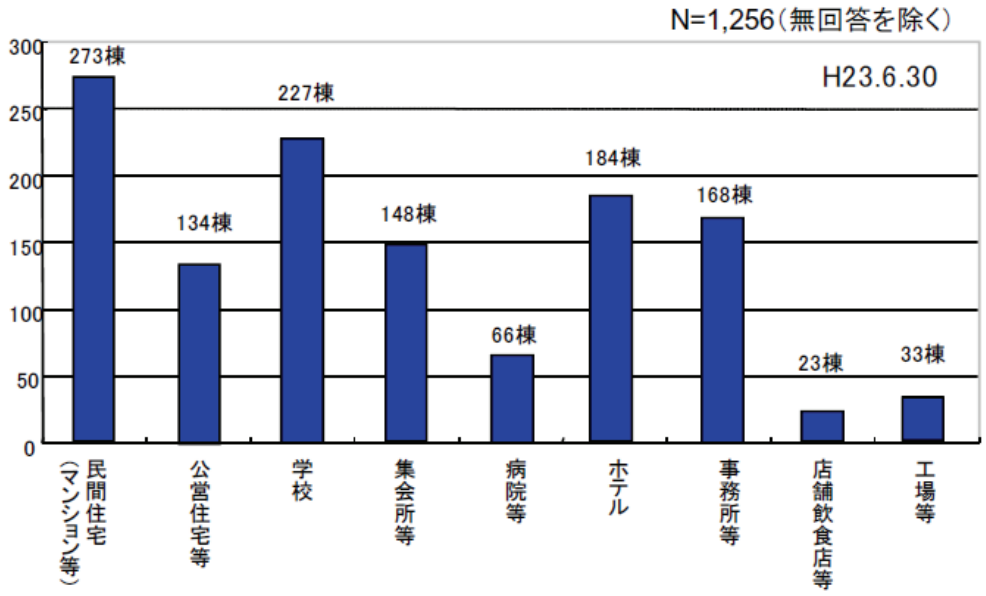


図 3.2.3-8　津波避難ビルの用途 [24)]

出典：内閣府 HP

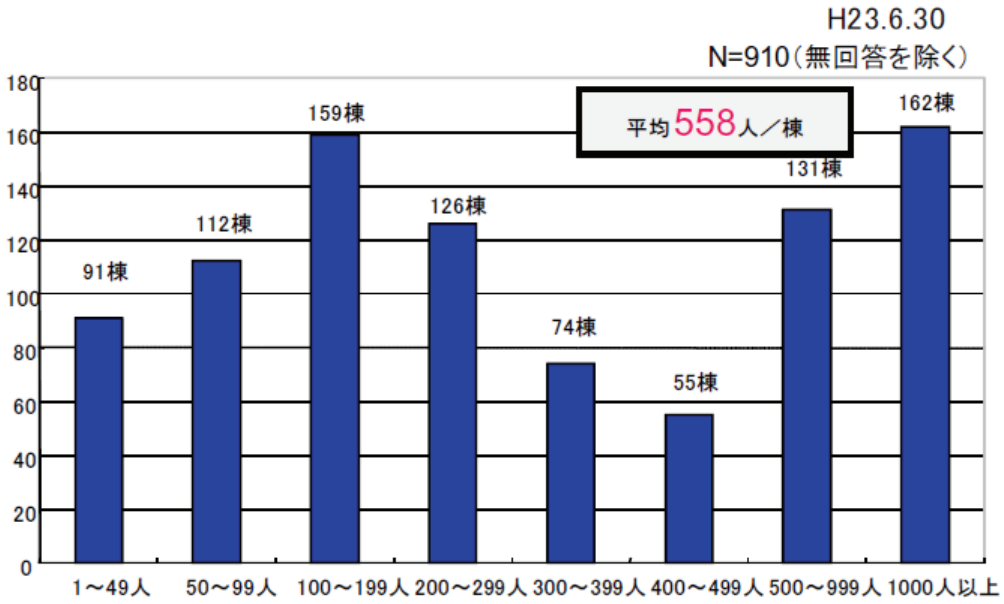


図 3.2.3-9　津波避難ビルの避難可能人数 [24)]

出典：内閣府 HP

・ 津波避難ビル等の指定に当たっての課題
沿岸地域に中高層建築物が少ない
夜間・休日の対応やオートロックの開錠、鍵の管理
避難時の安全確保上の責任
ビルの破損等の賠償
プライバシー確保の観点
等から所有者の同意が得るのが困難であること
等の記述があった。

・ 津波避難ビル等の指定の予定がない自治体
29 市区町村が津波避難ビル等の指定を予定していない。
理由として、
　沿岸部と高台が近接しており、津波到達時間内で避難可能
　想定津波高さが低い
等をあげている。

7）東京ガス㈱：「防災フェア」

東京ガス㈱では、公益性の高いライフライン事業者として地域との連携・協働が不可欠であるとの考え方から、防災活動の一環として、2005 年から地域行政、消防、警察、災害ボランティア団体、地域住民等と一体となった普及・啓発イベント「防災フェア[26]」を首都圏各地で開催している。

特徴と目的を抜粋して示す。

（1）特徴

・企業、行政、災害ボランティア団体、地域住民等が一体となり、計画段階から協働で開催される防災に関する啓発・普及イベントである。
・継続的な取組を目指すとともに、イベントの内容については、地域への密着、地域特性の反映及び地域住民要望などの視点から、企画の更新を図っている。

（2）目的

・東京ガスの地震防災・安全対策に関する地域住民への PR・理解促進
　予防策：マイコンメーター、地震に強い導管網、警報器などの安全機器の PR
　地震災害時の緊急・復旧体制：初動措置、二次災害を防ぐ地震防災システム
・地域行政、消防、自治会、地域住民、災害ボランティア団体等との連携を強化
　防災に関する地域での人的ネットワークの広がり
・東京ガス社内での防災力向上
　協力企業を含めたオール東京ガスでの防災連携力の強化・防災マインドの更なる向上

各地で開催されている「防災フェア」では、災害教育の民話「稲むらの火」の上映や、防災パネルの展示、炊き出しや応急救護等の体験イベントによる被災者・支援者の双方を体験できる企画を行っている。

8）ダイキン工業㈱：企業による自治体及び住民団体との「地域防災協定」

ダイキン工業㈱は、2000 年 7 月に草加事業所を対象に草加市及び周辺 5 町会と「地域防災協定 [27]」(正式名称：災害時における応急活動及び平素における防災まちづくりの協力に関する協定書)を締結している。協定においてダイキン工業草加事業所が協力する範囲は、避難場所、重機等の資機材及びヘリコプター緊急離着陸場所の提供、平素時の防災訓練の協力又は共同実施及び防災備蓄倉庫設置場所の提供となっている。特徴と目的を、抜粋して示す。

（1）特徴

・防災における企業の地域貢献について、具体的な支援内容を盛り込んだ協定文書の形態で定めている。
・協定は、企業と周辺町会に自治体が加わった三者協定であり、災害発生直後からの緊急支援をベースに継続的に見直しが図られ内容の充実が図られ、地域における防災に対する共同共助意識の向上への寄与が考えられている。
・支援内容は、三者による協議を通じて、企業の事業実態(身の丈)に即した、効果があり実現性をもった内容となっている。

（2）目的

・大地震のような広域災害発生直後から自治体による直接的な緊急支援が開始されるまでの一定期間(3 日間想定)、地域内に所在する企業が地域への応急支援をする事を可能とする。
・災害時応急活動及び平素からの防災まちづくりに対し、ダイキン工業㈱の協力に関し必要な事項を定める。
・企業においても、地域コミュニティを形成する住民と同等の責務を果たす。

（3）事業所の協力の具体的な内容

災害時

・グランド(約 1 万 m^2)の開放
町会は、一時避難場所及び救難活動拠点として活用。
自治体は、ヘリコプターの離着陸拠点及び救援活動拠点としての活用。
・運搬用フォークリフトなど、重機の提供
避難、支援活動のための通路の確保、救命支援、崩壊家屋の瓦礫撤去に活用。
・トイレや水道施設の提供

平素時

・防災訓練の協力または共同実施
・防災備蓄倉庫の設置

さらに、ダイキン工業㈱は、災害時協力の充実を行うための検討を行っている。

9）今後展開が期待できる水害時の地域防災連携事例

水害に対しては、地域コミュニティを活用しての災害対応となっており、企業が参加している DCP への取組み事例はほとんど無いのが実状である。

内閣府の防災情報のページに、平成 16 年、17 年などに発生した主な風水害に対応した事例として「地域コミュニティの力を活用した風水害対策の活動事例[28)]」が紹介されている。

事例は、以下の観点から収集された。

・平常時から水害への警戒態勢(水位等の監視、雨量観測、緊急時の情報収集、伝達等)
・水害の危険を予想（認知）できているか←洪水ハザードマップ等の作成・活用
・水害による被害の軽減策を講じているか
・自主避難の判断、その場の状況に併せた避難先の変更等の指示ができるか
・地域内で水防活動を行っているか
・要援護者の安否確認、避難支援体制があるか
・住民に十分な避難所が指示されているか
・緊急期の避難所運営が検討されているか
・消防団、福祉団体、ボランティア等との連携はなされているか

紹介されている 20 の活動事例を**図 3.2.3-10** 及び**表 3.2.3-7** に示す。

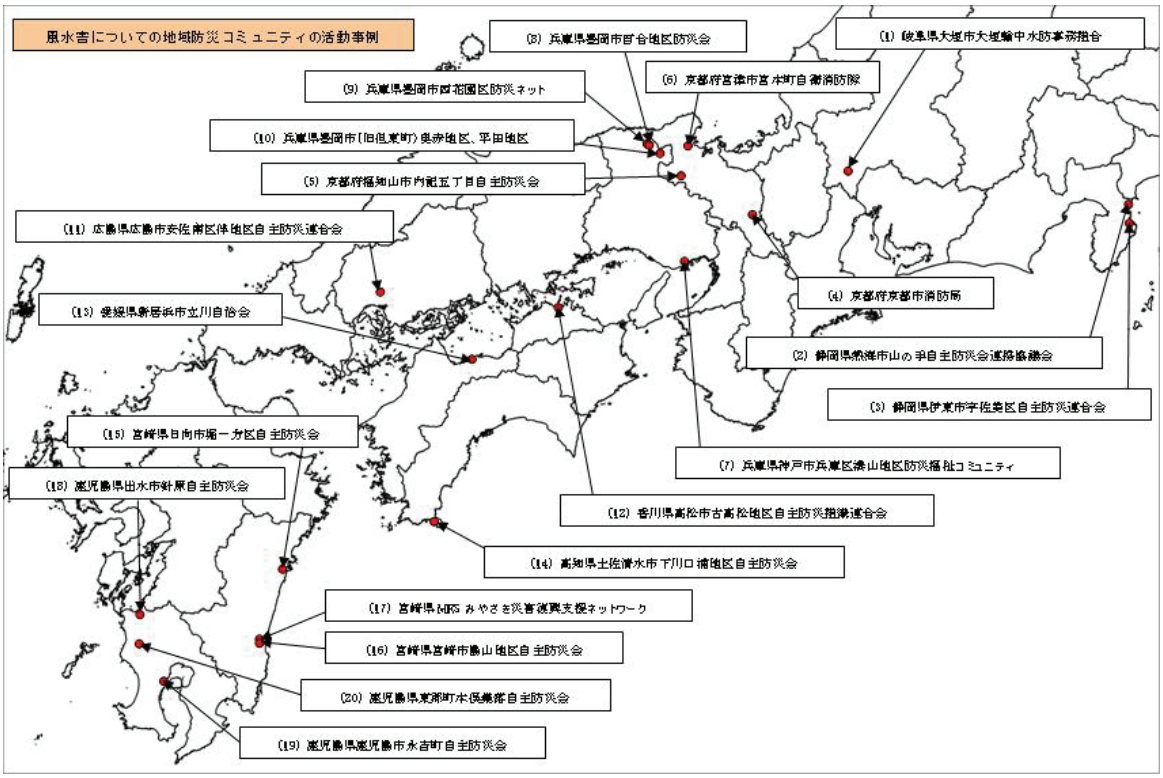


図 3.2.3-10　地域コミュニティ活動事例[28)]

出典：内閣府 HP

表 3.2.3-7　地域コミュニティを活用した災害対策活動事例 [28)]

団体名	風水害に関連する防災対策の特徴
岐阜県大垣市大垣輪中水防事務組合	・毎年、出水期前に競技形式による水防工法大会を実施
静岡県熱海市山の手自主防災会連絡協議会	・平成 16 年 10 月台風第 22 号・23 号の際に、危険箇所の巡回、危険な地域の住民に自主避難の呼びかけ、避難誘導
静岡県伊東市宇佐美区自主防災連合会	・平成 16 年 10 月台風第 22 号・23 号の際に、地域の復旧活動に貢献
京都府京都市消防局	・「地域の市民防災行動計画づくり」を推進する中に「防災カルテプログラム」を取り入れ、パソコンでできる水災学習を提供
京都府福知山市内記五丁目自主防災会	・平成 16 年台風第 23 号時に、マニュアルに従って情報伝達、避難誘導を行い、避難指示前に高齢者の在宅確認・避難誘導を実施
京都府宮津氏宮本町自衛消防隊	・平成16年台風第23号後、要援護者に対する支援に取り組む ・日頃から水害防御のための土のうを作成
兵庫県神戸市兵庫区湊山地区防災福祉コミュニティ	・河川・土砂災害警戒体制 ・平成 17 年7月に、大規模水害を想定した図上演習(DIG)を実施
兵庫県豊岡市百合地区防災会	・平成 16 年台風第 23 号時に、水防活動、警戒を行い、遊漁船による住民の避難誘導・炊き出し配給 ・平成 18 年に防災会を設立し、防災訓練、要援護者対策に取り組む
兵庫県豊岡市西花園区防災ネット	・事前に用意していた防災マニュアル(風水害)に従って平成 16 年台風第 23 号に対応 ・道路冠水状態マップを作成し、全戸配布。避難場所名、高齢者一覧も作成
兵庫県豊岡市(旧但東町)奥赤池区、平田地区	・平成16年台風第23号時に、消防団と連携して住民等の避難誘導。 ・土砂災害防災マップを全戸配布
広島県広島市安佐南区伴地区自主防災連合会	・平成 12 年から毎年、生活避難場所運営マニュアル及び防災マップの検証訓練を実施 ・平成 17 年9月の水害時に、土砂災害警戒避難マニュアルに基づき、避難の呼びかけ、避難所運営
香川県高松市古高松地区自主防災組織連合会	・平成16年台風第16号で高潮災害、台風第23号で洪水・土石流災害等 ・平成 17 年、「各地域別マップ」「全地域マップ」を完成し、地区公民館に掲示、図上訓練を実施

愛媛県新居浜私立自治会	・自治会独自の避難勧告基準を作成し、平成 16 年9月の土砂災害被害でも活用し、避難誘導 ・災害アンケート調査を実施し、歩行困難者等を把握
高知県土佐清水市下川口浦地区 自主防災会	・平成 13 年 9 月 6 日の高知県西南部豪雨災害の日を地域の「防災の日」と定め、毎年、避難訓練等を実施 ・独居老人宅を手分けして回り、見守り、引率体制
宮崎県日向市掘一方区 自主防災会	・毎年避難訓練等を実施 ・平成 17 年台風第 14 号襲来時、公民館を避難所に開放し、災害時要援護者への情報連絡、早めの避難呼びかけ等を実施
宮崎県宮崎市島山地区 自主防災会	・要援護者支援のため図上演習(DIG)を実施 ・平成 17 年台風第 14 号時に、地区住民の安否確認後、自主避難
宮崎県 MRS みやざき 災害復興支援ネットワーク	・平成 17 年台風第 14 号で活動したボランティア関連の諸団体が連携し、9月に NPO として設立 ・3 回のチャリティバザー、災害復興支援セミナー(12 月)を開催
鹿児島県出水市針原 自主防災会	・平成9年7月の土石流で多数の死傷者が発生 ・青壮年層が、避難時における誘導や点呼等を実施 ・隣市の水俣市で平成 15 年7月に土石流が発生した際には、救援ボランティア活動を実施
鹿児島県鹿児島市永吉町 自主防災会	・避難所(公園)までの避難訓練を行い、避難場所で人員点呼、初期消火訓練、救護訓練を継続して実施 ・一人暮らし高齢者を民生委員の協力を得て把握し、見守り世帯マップを作成
鹿児島県東郷長本俣集落 自主防災会	・自治公民館の雨量計の雨量情報を集落組織が収集 ・全住民の勤務先等の連絡先を把握し、緊急時の連絡体制を整備 ・隣集落にある小学校の体育館まで、自家用車や林業事業所のマイクロバス、役場のマイクロバスで避難する訓練を毎年実施

出典：内閣府 HP

表に示す事例では、地域における住民同士及び行政との連携がうまく取れている。情報の共有や避難先の確保、防災訓練など色々な取組みを行い、高い防災意識を継続している。

このため、水害時の対処が早く、被災者を最小限に抑えることができている。

地域コミュニティを利用した防災活動では、

- 河川改修・治水対策が進展したことにより、結果、消防団員(水防団員)の減少
- 河川改修・治水対策による水害の頻度減少により、住民の水防意識の薄れ
- 高齢化(災害時要援護者の増加、水害の経験の未継承)

・ 地震防災に重点が置かれることによる水防意識の薄れ
・ 水害を経験した防災担当者の減少より、経験の継承ができない
・ 防災時のリーダーの選出
・ ボランティアの受け入れ体制の整備
・ 新興住宅地での防災組織の設立

などの問題点が指摘されている。また、災害時の安全確保が主目的であり、地域機能の継続を目的としていないため、地域の平常時の活動を継続する意識が低い点も今後解決すべき課題となる。

水害に対する現状は、地域コミュニティに依存していることが多く、地域企業も参加した地域継続計画 DCP として取り組んでいる事例はほとんど見受けられないのが現状である。

3.2.4 企業と地域の防災連携推進における課題

ヒアリングに応じて頂いたコロナ社（2.3.5 参照）は、水害時に地域連携が有効に機能した好例と言える。従業員に地元の人が多く、このため地元を代表する企業との意識が企業側・地域の相互にあり、市が避難場所に緊急指定するに際し事前協議がなくても了解が得られる信頼関係があった、普段から体育館を一般に貸し出していたことにより誰もが知っている場所が避難場所となった、等、地域連携に企業を組み込みやすい環境を従来から構築していた効果と言える。加えて、コミュニティ FM が避難者名簿の読み上げに協力的であり、情報共有を図りやすかったことも地域協力の輪を広げる方向に作用した。

3.2.3 の 1) 東京駅周辺防災隣組の活動からは、『やってみて初めて理解されることがある』との助言があった。外国人には日本語の表示や案内が役に立ちそうもないことは想像しやすい。しかし有事にどんな問題が起こりえるのかは訓練をしてみてはじめて課題のいくつかが顕在化してくる。コンクリートの床に冬場に寝てみなければその厳しさは理解されないであろう。

同じ問題意識の醸成、できることへの協力を促し責任を押し付けないスタンス、そしてボランティア精神を持って行司になりうる人材の育成が、通常の企業マニュアルでは排除を規定している“行きずり”の人に対する門戸開放を促すための必要条件になるのではないかと考えている。

奇しくも守事務局長から出た言葉であるが、『防災の話題はその時々の社会情勢を反映して変遷する。』を忘れてはならないと思う。東日本大震災に対する災害復興に力を注いでいる現在は、津波避難や帰宅困難に対する事柄が強く意識されている。しかし次に発生する災害が同様の形態となる保障はない。過去の災害から謙虚に学ぶ姿勢と、形態が異なる現実に転用する想像力も求められる。

防災対策に関して、東京都から 3.2.3 の 2)東京都防災対策指針が示されたことにより、共通の土俵で話をするための最低限のものさしができた。地域を巻き込んだ防災の意識が芽生え、推進が進むにつれて、その活動をどのように評価するかが、次に求められることになると想像される。3.2.3 の 4)山口県と山口大学の取り組みは、定量的な評価に方向性を与えるものとして活用が期待される。

過去の災害事例を引くまでもなく、災害時には、弱いところに大きな被害が集中しやすい。ため池を多数有する地域の特性を考慮し、かつ“知”と“地”と“人”を有する大学

の機能を相乗することにより、地域防災をリードしようとする 3.2.3 の 5）香川大学危機管理研究センターの取り組みは、極めて現実に即したものである。地域的な背景は異なるが、3.2.3 の 3）内閣府「防災隣組」育成促進モデル事業の１つである、工学院大学の取り組みや山口県と山口大学の取り組みにも、地域のリーダーとして、大学機能を有効に活用している点が共通している。なお、内閣府「防災隣組」育成促進モデル事業については、選定された個々の事業の契約期間が若干短いように感じる。防災対策は、短期間での成果創出が困難な分野であることを考え、息の長い公的サポートが続くことを願う。

いわゆる公助の拠点となる自治体施設ばかりでなく、最寄のお隣さんを避難拠点とすることより、自助・共助に対する地域の輪の醸成にも寄与していると考えられるのが 3.2.3 の 6）津波避難ビルである。公的なサポートが加わり、地域の防災拠点確立と助け合い意識の共有が進むことが、地域防災につながると考えられる。きっかけとして、多くの種が全国各地にまかれることを期待したい。

内閣府が公開している減災への取組事例[8]として、ここでは 3.2.3 の 7）東京ガス㈱「防災フェア」と 3.2.3 の 8）ダイキン工業㈱「地域防災協定」を紹介した。地域貢献に対する企業の意思が向上した結果とし、地域のニーズとうまく結びついた例である。

3.2.3 の 9）今後展開が期待できる水害時の地域防災連携事例からは、消防団員(水防団員)の減少、水防意識の薄れ、地域住民の高齢化、経験継承、リーダー、ボランティア対応、新興住宅地組織設立、などの問題点が浮かび上がった。災害時の安全確保を主たる目的としているため、地域機能に対する活動意識が、特に平常時に低い点も指摘された。

昨年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、地域に大きな被害をもたらした不幸な出来事であるが、副次的に地域の“絆”を強く意識させる効用があった。地域の問題意識共有の絶好の機会と言える。

行政によるサポート、特に費用を要する事柄への積極的介入が必要なことも今回の震災は教えてくれた。個別には、備蓄にはコストがかかること、災害復旧は時間を要すること、消防団のような責任が伴う組織も必要である一方、責任が伴う故に企業の潜在的能力発揮に制限がかかることがあること、等が顕在化してきた。

いくつかの見掛けが異なる事例を重ね合わせてみると、地域防災推進の旗を振り、周囲を無理なく巻き込んでくれるリーダーの育成と適切な配置が、最大の課題になるのではないかと思われる。個人に限った事ではなく、むしろ地域の実状に精通した企業や大学がリーダーとなってくれるのであれば歓迎されるに違いない。

リスクになる災害を水害に限った場合、地域企業をも巻き込んだ地域継続計画はまだまだ少なく、地域コミュニティに依存した対策が大半を占めるのが現状である。東日本大震災により発生した津波による被害を目の当たりにし、企業の意識が地域貢献に向いている今こそ、地域企業を巻き込んだ面的な防災力向上の好機であると考えられる。

参考文献

1) 東京発　チーム事業継続　東京都事業継続計画(BCP)策定支援事業
（東京都産業労働局商工部経営支援課）:
http://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.jp/shoko/keiei/BCP/bcp/index.htm
2) 「事業所の水害対策　事業継続計画（BCP）策定のすすめ」を作成しました
（国土交通省　関東地方整備局　荒川下流河川事務所調査課）:
http://www.ktr.mlit.go.jp/arage/about/press/2011/20110623-1.html
3) 大田区洪水ハザードマップ　中小河川版；
http://www.city.ota.tokyo.jp/seikatsu/chiiki/bousai/amekaze/hazardmap.html
4) 緊急特集:タイ洪水に関する情報:JETRO http://www.jetro.go.jp/world/asia/th/flood/
5) タイ大洪水被災企業アンケート調査結果の発表について:JETRO（2012 年 2 月 3 日）
http://www.jetro.go.jp/news/announcement/20120203731-news
6) 被災地向けの 2012 年アジア財物保険料率が上昇：マーシュジャパン
http://www.marsh-jp.com/mj/pressrelease/pdf/pr_120201.pdf
7) (株)損保ジャパン・リスクマネジメント：SJRM レポート
地域における企業の防災連携　2010 年 3 月
http://www.nksj-rm.co.jp/publications/pdf/100326_1_report.pdf
8)「減災への取組」事例集（内閣府 HP）
http://www.bousai.go.jp/km/gst/torikumi.pdf
9) 東京駅周辺防災隣組（東京駅周辺防災隣組 HP）
http://www.udri.net/tonarigumi/indextonarigumi.htm
10) 東京駅・有楽町周辺地区帰宅困難者対策域協力会設立趣旨
（東京駅周辺防災隣組 HP）
http://www.udri.net/tonarigumi/syusi.htm
11) 東京駅・有楽町周辺地区帰宅困難者対策域協力会会則（東京駅周辺防災隣組 HP）
http://www.udri.net/tonarigumi/kiyaku.pdf
12) 東京駅周辺防災隣組の活動について（国土交通省 HP）
http://www.mlit.go.jp/common/000032058.pdf
13) 東京都防災対応指針（東京都 HP）
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/taiousisin.html
14) 日本経済新聞 2011 年 11 月 26 日朝刊
http://www.shopbiz.jp/ss/news/97895.html
15) 東京の防災対策の目指すもの（東京都 HP）
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/pdf/3taiousisin13-18.pdf
16) 入札公告（内閣府 HP）
http://www.e-procurement-cao.jp/choutatsujouhou/0000005984/1000005984.html
17) 新宿駅周辺滞留者対策訓練ワークショップ（工学院大学 HP）
http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/090301sympo/%E5%B9%B3%E6%88%9020%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E3%80%8C%E9%98%B2%E7%81%BD%E9%9A%A3%E

7%B5%84%E3%80%8D%E8%82%B2%E6%88%90.ppt
18）工学院大学による地域と連携した大規模地震災害へ減災対策の取り組み
（工学院大学 HP） http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/bosai-sympo/2.pdf
19）入札公告（内閣府 HP）
http://www.e-procurement-cao.jp/choutatsujouhou/0000009049/1000009049.html
20）大規模災害時における地域活動の継続性を確保する VIEW57,2011 年 6 月 14 日発行
（日建設計総合研究所 HP）http://www.nikken-ri.com/view/back/view_057.pdf
21）香川地域防災への緊急提言（香川大学 HP）
http://www.kagawa-u.ac.jp/articles/000/007/266/
22）東日本大震災を踏まえた香川地域防災への緊急提言（香川大学 HP）
http://www.kagawa-u.ac.jp/files/8813/0802/3364/0613teigen.pdf
23）津波避難情報マップについて（藤沢市 HP）
http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/page100054.shtml
24）記者発表資料「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について（内閣府 HP）
http://www.bousai.go.jp/oshirase/h23/111227-1kisya.pdf
25）報道発表資料「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について（国土交通省 HP）
http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000070.html
26）企業と地域の連携による「防災フェア」【東京ガス（株)】（内閣府 HP）
http://www.bousai.go.jp/km/gst/rkh19002.html
27）企業による自治体及び住民団体との「地域防災協定」【ダイキン工業（株)】
（内閣府 HP）http://www.bousai.go.jp/km/gst/tsh19006.html
28）内閣府 HP：地域コミュニティの力を活用した風水害対策の活動事例
http://www.bousai.go.jp/fusuigai/suigai_com/suigai_com_00.html

第4章　水害BCPガイドライン

BCP（Business Continuity Plan；事業継続計画）、BCM（Business Continuity Management；事業継続マネジメント）とは、地震や、感染症パンデミックなど各種災害・非常事態の際に、重要な基幹業務･事業を中断させないようにしたり、中断期間を最小限に抑えるための取組みで､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。

近年、複数の企業間で形成される一連のサプライチェーンにおいて、1 企業の 1 事業の停滞が、サプライチェーン全体の停滞・途絶へと大きく波及する危険性が認識されてきている。災害などの非常事態における自社の被害を抑えるだけでなく取引先ほかステークホルダーへの責任を果たすためのものとして、企業経営における BCP の重要性や社会的必然性が高まっている。

2011 年に発生した東日本大震災や、タイの洪水では、被災により一部の製品の生産・供給がストップし、サプライチェーンの一部が滞ったことで、サプライチェーン全体が停滞し、影響が全世界的に波及したケースが見られた。

従来､BCP といえば地震やインフルエンザなど感染症のパンデミックを対象としたものが多かったが、東日本大震災での津波被害も含め、事業立地によっては水に対する備えも重要であることがわかってきた。本章では、水害を対象とした BCP 策定のための手引きとして、水害 BCP ガイドラインを提案した。

4.1　水害の定義

日本損保協会によると「水害とは、水を原因として起こる災害を総称するもので、外水氾濫も内水氾濫も水害と呼ばれています。ただし､海水による水害の場合は｢高潮災害｣(※地震による津波の場合は「津波災害」)として区分するのが一般的です。」[1)]とされている。ここでは、降雨や河川の氾濫を主とするが、高潮・津波の海水による災害も一部考慮し、水を原因とした災害を広範に「水害」として扱うこととする。

（※融雪による水害は含むが、雪そのものを原因とした雪害は対象外とする）

4.2　水害BCPの考え方

水害も、地震と同様、突発的／臨時に生じる自然災害の一つとして、BCP における検討でも同じように考えることができる。

BCP の進んでいる欧米では、特にリスクを特定せず、「事業継続が困難／中断するような非常事態」を想定し、どのようなリスクが現実化したとしても事業継続が可能となるようそのための対応を検討していく、という考え方が主流となっている。

しかし、日本においては、地震・風水害など自然災害が多く、イメージもしやすい。また、それに対する防災対策が講じられていることも多い。そのためもあり、まず非常事態として、地震などの災害リスクを先に想定することから始める場合が多く、その方が取組みやすいと考えられる。

内閣府の“事業継続ガイドライン”[2)]では、「日本企業にとって想像がつきやすく対峙すべき最も大きな自然災害リスクである」地震を想定リスクとして推奨し地震の例によって進めているが、「懸念が大きい他のリスク」を選んでもよいとしている。また、他の指針やガイドラインの多くも、テロや感染症パンデミックと銘打っていないものは地震を前提としているものが多いが、水害の特徴や地震との被害の違いを把握することで、地震 BCP の策定手法に手を加え水害 BCP として策定することは容易に可能である。

前述の“事業継続ガイドライン” [2)]でも、「仮に地震を想定して事業継続の対象を具体的に考えてみると、他の自然的・人為的災害の場合における事業継続の対策と共通する部分が多いことに気づく」はずだとしている。従って、一度地震 BCP を策定した企業の場合は、地震のための具体策に対し「地震以外の懸念されるリスクにもその対策が有効かどうか」を考え、検証することで、水害に対する備えも容易に実施できると考えられる。

以下に BCP を検討する上で注意すべき水害の特徴や地震との相違点を示す。

（当然のことながら、BCP 未策定の企業において、地震リスクより水害リスクの方が影響が大きい場合もある。その場合は、各種のガイドラインの“地震”を“水害”に置き換えたうえで、以下に示す水害の特徴や地震との違いに注意して検討・策定を進めていけばよい）

4.2.1 水害の特徴

水害が、地震災害と異なる点は、

① 発災がある程度事前に予測できる＝発災直前でも対策を実施する余裕が確保できる

② 災害がある程度の期間（数日～数か月）続く

③ 同じ地区の近いところにあっても、サイト条件によって全く被害が生じないところがある

という点である。

1)の事前予測については、局地的豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）を除き、天気予報などによって容易に判断のための情報が手に入る。

また、局地的豪雨についても、10 分程度で発生する突発的なものを除いては、その区域で確実に大雨が降ることは判らなくとも、雨量観測レーダーの情報などで、直近の 1 時間程度には大雨が近づいてくることはわかる。

国交省の X バンド MP レーダ[3)]や東京アメッシュ[4)]などのサービスでは、ごく狭い区域でのリアルタイムに近い降雨量の情報がわかる。X バンド MP レーダは、カバーする地域は限られるが、1 分ごとに 250m メッシュで降雨量が更新されるため、豪雨の降雨区域が近づいて来たり、雨量が増大するなどの傾向を予測することができる。

2)の浸水期間継続については、大雨などで浸水した場合、原因である雨が止んでも最低数時間は水が引かず、被害が継続する。2011 年のタイの大洪水のように、1 か月以上継続すると、その間は遠隔地でのバックアップ以外の対策が困難となる。河川の勾配が急な日本ではそれほど継続することは少ないが、土砂崩れによる土砂ダムの形成地付近では、洪水が止んでも、危険水位が長期間継続することがある。また、2011 年の東北地方太平洋沖

地震では、地盤の沈降により、水面下になった土地や、高潮により浸水が生ずる区域が広がっている。

地震と比較すると､地震被害はその原因である地震の揺れが生じている間に発生するが、揺れが収まれば被害も収まり、余震も通常は本震より規模が小さいことが多い。

3)のサイト条件の優越性については、地震の場合は、震源からの距離や地盤の良不良によって、ハザードである震度や加速度などが異なってくるが、水害においては、同じ地域の隣接地にあっても、地盤の高低や、防災インフラの整備状況などの条件の違いによりハザードが異なる。また、河川からの距離の微妙な大小においても、より一層ハザードである浸水深の違いが顕著となる。ほんの数 m の距離でも、地盤高が数 m 高ければ、同じところにあって、まったく浸水の危険がないことも多い。

また、同じ建物のなかでも、高所にあれば、浸水の危険を免れるため、被害を検討する対象物の設置されている上下位置が重要である。対策を検討する上でも、施設の規模により、避難やバックアップなどの対策が容易に準備できる場合もある。

4.2.2 ハザード、被害想定における地震との違い、注意点

1) 確率降水量

どれくらいの大雨が降るかを示す確率降水量は、地震と同様に、地域による違いがみられる。**図 4.2.2-1** に、気象庁による、全国 51 地点における 1901～2006 年の年最大日降水量のデータから推定した、再現期間 30 年・50 年・100 年・200 年に 1 回降る可能性のある日降水量の分布図を示す。

これによると、北海道と九州では、倍半分以上の差があるなど、明らかに有意な降雨量の違いがみられ、大きくは南北の緯度による大小となっていることがわかる。

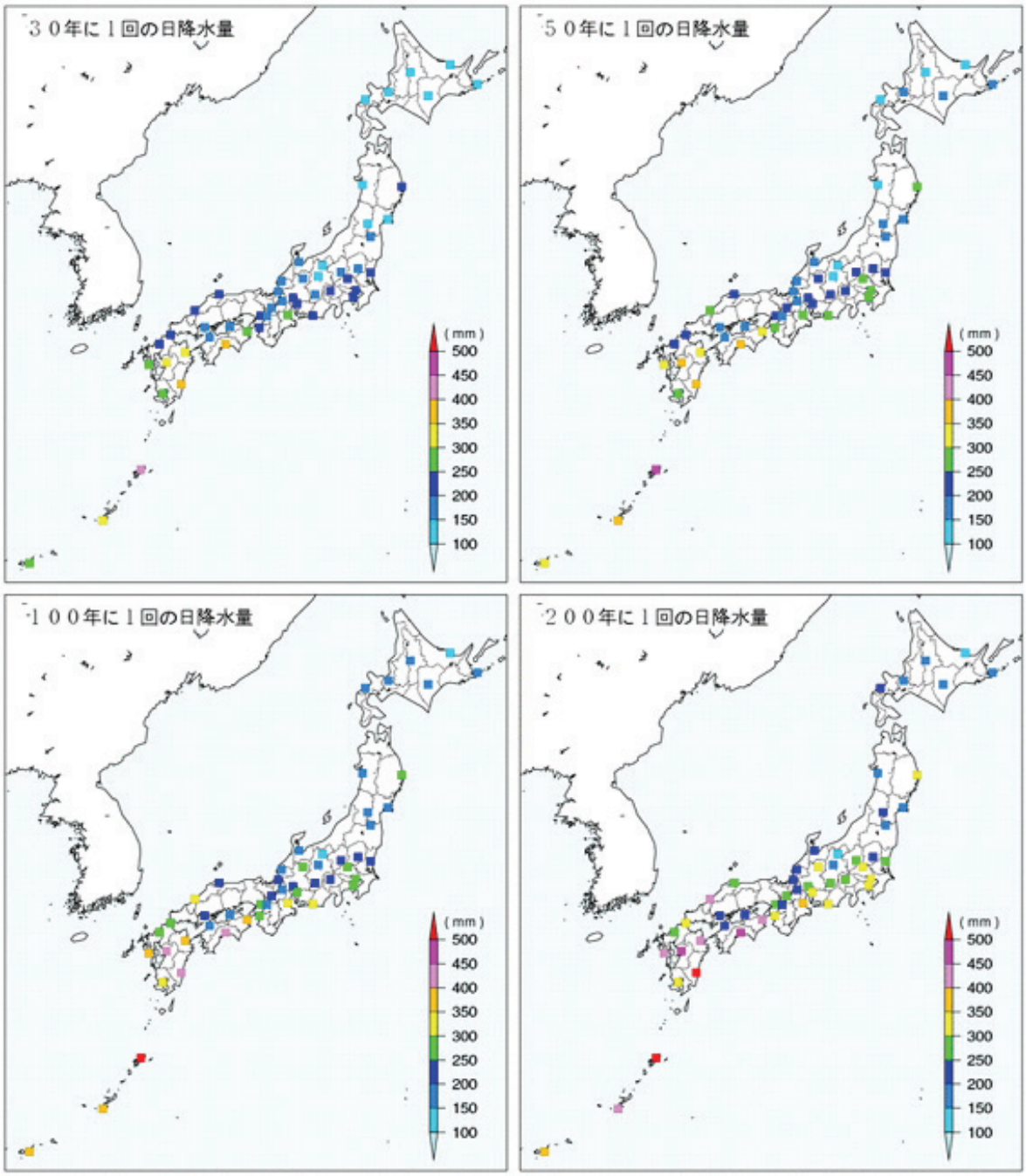


図　4.2.2-1　確率降水量の分布図[5)]

出典：気象庁HP　異常気象リスクマップ

2)　浸水想定区域図、ハザードマップの前提条件における注意点

注意が必要なのは、浸水想定区域図、(それを基にした) ハザードマップの浸水深さを算出する根拠となる発生確率や降雨量その他の前提条件がものによってバラバラに異なっていることである。

たとえば、同じ国の京浜河川事務所による浸水想定区域図でも、多摩川では 200 年に一度、鶴見川や相模川では 150 年に一度程度の確率で降る大雨による場合、と異なっている。また、大和川の場合は、同じ大和川河川事務所による浸水想定区域図においても、川の上流域では 150 年に一度、下流域では 200 年に一度程度の大雨による場合と異なっている。県などで作成された浸水想定区域図の中には、50 年に一度程度とかなり高い確率で想定されたものや、その流域で過去最大を記録した雨量や、大水害が発生した時の雨量を想定したものが用いられたりする。また、東京都など、別の地域である平成 12 年 9 月の東海豪雨と同等の降雨（1 時間最大雨量／総雨量等）があった場合を想定したものもある。

地震の場合も、想定震度を検討する上で、特定の震源を想定した場合の発生確率はバラバラであるが、活断層など、発生場所を決めての確率の大小であるため、立地により、その地震の危険性が高い・低いなどの判断が可能である。また、地震ハザードステーションなど、確率を一定とした場合の震度が想定されており、ある地点での地震による危険性がどの程度が、目安がつけられる。

また、河川の浸水想定区域図は、あらかじめ決められた地点で破堤が生ずることを前提としてシミュレーションされており、(破堤しやすい所が選ばれているが) 別の場所で破堤した場合は、同じような雨量でも浸水深が変わってしまう場合がある。地震においても、「震度 5 強」の想定震度が必ず発生するわけではないように、水害においても、かならず「0.5～1m の浸水」に留まるとは限らない。

水害の場合は、前述したように、同じ地点の検討でも河川により発生確率がバラバラな可能性があること、活断層による地震より発生確率がかなり高いこと、の 2 点を念頭に置いて、浸水想定とそれによって生ずる被害の大きさを評価し、企業によっては、昨今の津波高さの想定のように、想定浸水深さの n 倍など、安全側での想定を自社の検討のベースとして判断することもあり得る。また、対策の検討によっては、浸水深を何段階かのレベルに分けることも必要である。

3)　浸水被害の特徴

浸水による被害の特徴は、災害ゴミが大量に発生し、片付けに非常に手間がかかることである。

東日本大震災の津波被害でも見られるように、水によって破壊されたガラや、水によって汚染された使用不可能な物品が大量に発生し、また建物の中にそれらのゴミが散乱するため、水が引いたあとの片付け、清掃や乾燥に膨大な手間がかかることが多い。

地震被害の場合も、ガラや粉じんは発生するが、損傷物の撤去選り分け、清掃の規模がそれほど大きくはない。

また、雨水、河川水など洪水を起こした水は下水やし尿、腐敗物などが混ざって汚れがひどく、衛生面での問題が大きい。またそれらにより臭気が発生するため、清掃用の水やが大量に必要となり、消毒用の薬品も確保する必要がある。

水害の場合、一度浸水し、被害に遭ったものでも、場合によっては清掃・乾燥させれば、再使用できる可能性がある。紙など、水を吸って変質するもの、電気製品などを除けば使用に耐えるため、2.3.3 項のコロナの例でも、プレス機などは、複雑な電装品を交換し、保守を行って、何とか再使用できたということである。

ただし、衛生面で問題があるため清掃消毒に配慮が必要である。臭気を吸着して、性能や見た目は使用可能でも、とても再使用する気にならないような場合もある。

4.3 水害 BCP の進め方

BCP、BCM とは一般に、1).事業が遭遇する可能性のある重大な危機などの非常事態を想定し、2).その危機からの回復過程において優先して継続、復旧すべき重要な中核事業を抽出し、3).非常事態におけるその重要な中核事業の中断が事業全体における許容中断時間（MTPD:Maximum Tolerable Period of Disruption）以内に留まるよう、目標復旧時間（RTO:Recovery Time Objective）を定め、4).その目標を達成する手段を事前に計画し、その計画が常に発動可能なよう維持管理を行い、5).実際に非常事態が発生した場合、計画に従って重要中核事業を目標復旧時間以内に再開することである。

BCP、BCM の中核をなすのが、②影響度分析による重要業務の絞り込みと許容中断時間、目標復旧時間の設定であるが、ここでは、4.2 の“進め方”で示したように、原則として「目標復旧時間の設定」が地震 BCP で事前になされているものとして進める。

ここでは、水害 BCP 策定における検討のステップを**表 4.3.1-1 に**示す。主な作業は、リスク分析、水害対策の策定、BCP 運用・保全としての日常の水防活動計画となる。

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4.3-1　水害BCP策定ステップ

前提	方針・目標の明確化	・何のために BCP を行うのかを明確にし、それに基づき社内での意識を共有化する。 ・トップの意思決定が重要 ・組織の文化や理念とも関連する。
ステップ①	浸水リスクの判断	・ハザードマップや立地条件等から浸水の可能性を想定し、次へ進む。 ・浸水の可能性がない場合、以下の水害 BCP の検討は原則不要となるが、関連するサプライチェーンの一部の浸水リスクが高く、影響が大きく波及する可能性があれば、水害 BCP を検討する意義はある。
ステップ②	影響度分析と重要業務、目標復旧時間(RTO)の設定	・原則として地震 BCP の目標復旧時間を用いてよい。 ※地震 BCP を策定していない場合は、大規模水害により業務が停止すると仮定し、影響度分析を実施

ステップ③-1	リスク分析 －水害ハザード想定	・ハザードマップや立地条件等から浸水の可能性や浸水規模を想定し、次へ進む。 ・浸水の可能性がない場合は、水害 BCP の検討は原則不要だが、関連するサプライチェーンの一部に浸水リスクが高く、影響が波及しそうなものがあれば、水害 BCP を検討する意義はある。
ステップ③-2	リスク分析 －水害被害の想定	・想定された浸水規模をもとに、建物や設備等のハード面の被害を想定する。 ・ライフラインの被害や、情報伝達、勤務要員の確保など、ソフト的な被害を想定する ・重要業務を構成する各要素へのハード・ソフトの被害が与える影響・被害を想定し、ボトルネックを抽出する。
ステップ④	水害 BCP 対策	・目標復旧時間の対象となる重要業務への被害の影響をもとに、設定された事業継続目標復旧時間を満足するための対策を立案する。 ・水害時における建物や設備等の被災防止策の立案 ・浸水時の初動対応の立案 ・浸水後の被害調査、後片付け要領と復旧対策の立案 ※対策の困難さによっては、ここでハザードや目標復旧期間の見直しもあり得る
ステップ⑤	日常の運用と水防活動（教育・訓練）	・BCP 文化を浸透させるための教育－内容の周知や日常的な活動、BCP の機能確認と習熟のための訓練などを計画、実施する。
ステップ⑥	維持管理－ 点検、是正 および見直し	・BCPを維持管理するうえで重要なポイント。計画した対策、機能が陳腐化していないか、想定や影響度が変化していないか点検を行い、訓練などにおける不具合を是正する。 ・点検、是正や見直しによって、BCP を改善していく。
－	発災－BCP の発動	・実際には、計画したとおりの事態が生ずることは少ない ・教育・訓練や見直しで、BCP 文化を浸透させることで、計画と異なる事態にも柔軟に対応できる。

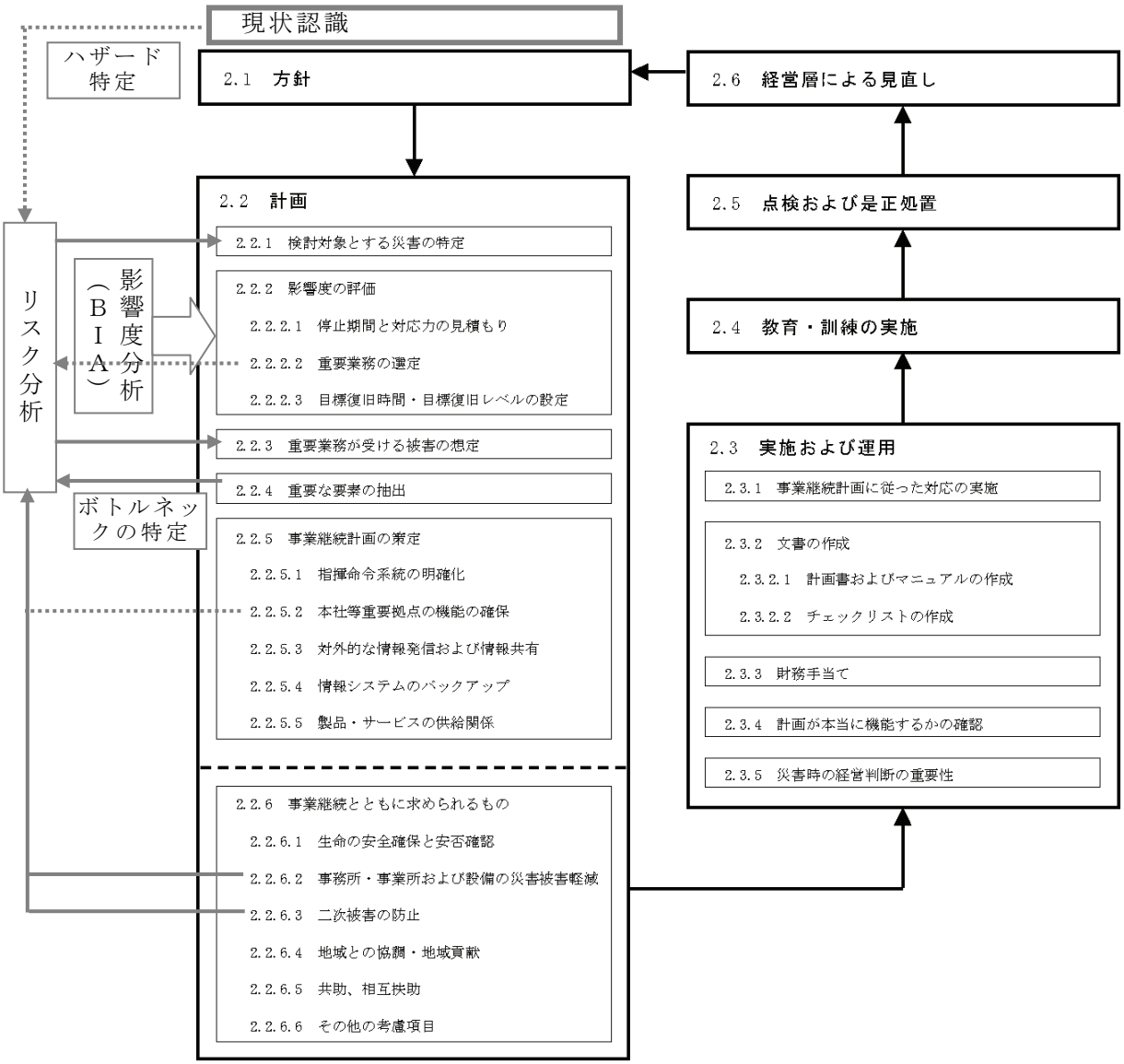


図4.3-1　BCP策定・運用フロー[2)]

内閣府「事業継続ガイドライン（第二版）」に加筆

4.3.1　現状認識と方針および目標の明確化－基本方針の策定

現状認識と基本方針の立案は、BCPを検討する上で、最も重要なポイントである。何のためにBCPを行うのかということは、企業文化や創業の精神、経営理念などとも密接に関係するものであり、トップ層の意思決定が重要となる。

企業としての方針や目標を考えるうえで、企業が置かれている環境や経営戦略、災害などのリスクへの現状の対応状況などの現状を把握しておく必要がある。特に水害リスクの考慮を検討している場合、過去の被災経験がある場合も多いので、その時の情報や、現在の対策やコストを把握しておくべきである。

基本方針には、生命の安全、早期復旧、社会貢献など、複数の方針を掲げる場合も多い。具体的な方針、目標の例を以下に示す。

・災害に強い企業を目指す
・従業員の人命保護と雇用の維持・確保
・大災害に直面しても企業の存続を図る
・商品・サービスの提供を途絶えさせず、顧客からの信頼を裏切らない

など。

水害を対象とする際も、基本的な方針や目標は大きく違わないが、特に地域貢献として浸水中の避難協力や復旧支援などが重視されている。

4.3.2 水害における影響度分析

地震災害の BCP を策定している場合は、すでに検討されたものをそのまま用いてもよい。ただし、選定されている重要業務が、水害による影響の小さいものだった場合は、再度検討し直す必要がある。

影響度分析は、災害が発生し、重要業務を含むいくつかの業務が中断したと仮定して、それらの業務ごとの損害が企業経営に与えるダメージを評価し、最も影響の大きいものを“継続すべき重要業務”として優先度を与え選定する。これは、災害時に、人的・物的に限られた資源を集中的に投入することで重要業務を優先的に維持／回復させる、というBCP の中核をなすものである。

ここで一度重要業務として選定した場合でも、後ステップのリスク分析などにおいて、水害の場合は他の業務の損害や企業への影響が大きそうだと判断した場合や、対策が容易に可能で、業務継続も容易である場合は、次の優先順位の業務を中心に後ステップの検討を進めたほうがよいなど、影響度分析に戻って、重要業務を選定し直す必要も発生する。

4.3.3 水害リスクの分析－ハザード評価

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。

なお、洪水による浸水と高潮、津波など要因の異なるものは、ここでは別のハザードとして扱い、評価する必要がある。また、同じ洪水でも、河川によるものと内水氾濫、あるいは河川によるものでも複数の河川ごとに浸水が想定されている場合は、この時点ではそれらを別に扱う方がよい。

（後で検討される具体策は似通ったものになることも考えられるが、リスクとしての損失評価や、初動対策は個別に検討する必要がある）

1）資料収集

(1) 洪水ハザードマップ（浸水想定区域図）

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。国土交通省「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であり、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”」[6)]
http://watchizu.gsi.go.jp/

・国土地理院「電子国土ポータルサイト」[7)]
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による浸水想定

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す、また計算結果が**図 4.3.3-1** 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み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無しの場合、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、問題無し、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浸水深さを検討する。(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4.3.3-1　洪水ハザードマップ例[8)]

出典：板橋区HP

表4.3.3-1　浸水深さと具体的目安(参考)

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支派川の氾濫、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のヒアリング等の追加調査等

4.3.4 水害リスクの分析－被害想定

ここでは、先に設定した浸水規模の想定をもとに、施設やインフラなどのハード面での物理的被害を中心に述べる。

1) 建物施設や設備等への被害想定

敷地や建物が浸水することによって発生する建物や設備の機能損失や損傷等の被害を想定する。

堤防の決壊場所付近では水流圧、土砂災害警戒区域では土石流によって、建物の倒壊のおそれや敷地への土砂の堆積、水流圧による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程、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の小さい程被害が大きい。その目安を**図 4.3.4-1** 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

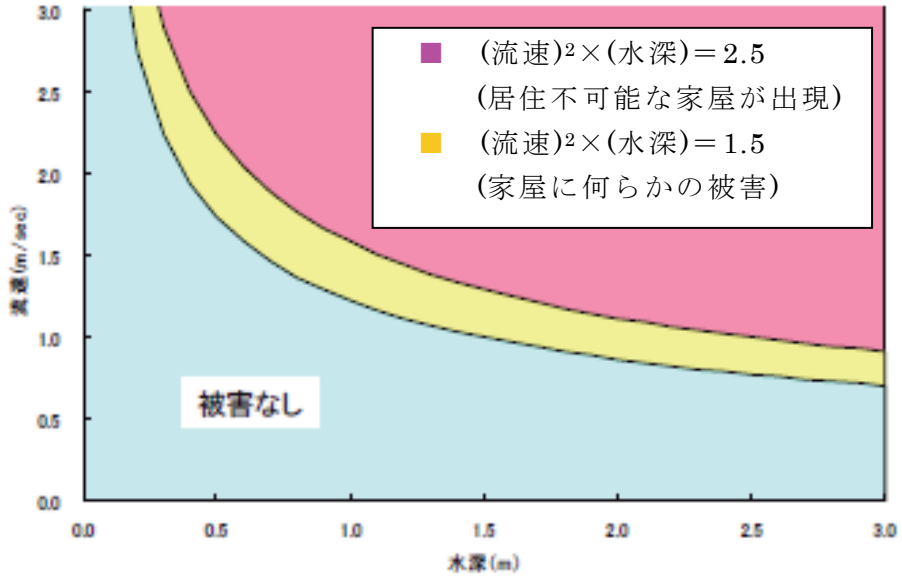


図4.3.4-1　流速と浸水深さによる一般家屋(主に住宅)の安全性[9)]

出典：洪水氾濫の数値計算及び家庭被害について

②浸水の程度と建築構造による被害の目安

表4.3.4-1　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4.3.4-2　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、

地下室が浸水を受けると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。

浸水被害の想定で、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。内装については建築(地上階)の被害と同様に想定し、設備機器類は、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、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 4.3.4-2**)や工場の生産設備の殆どは、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が遮断されることになる。

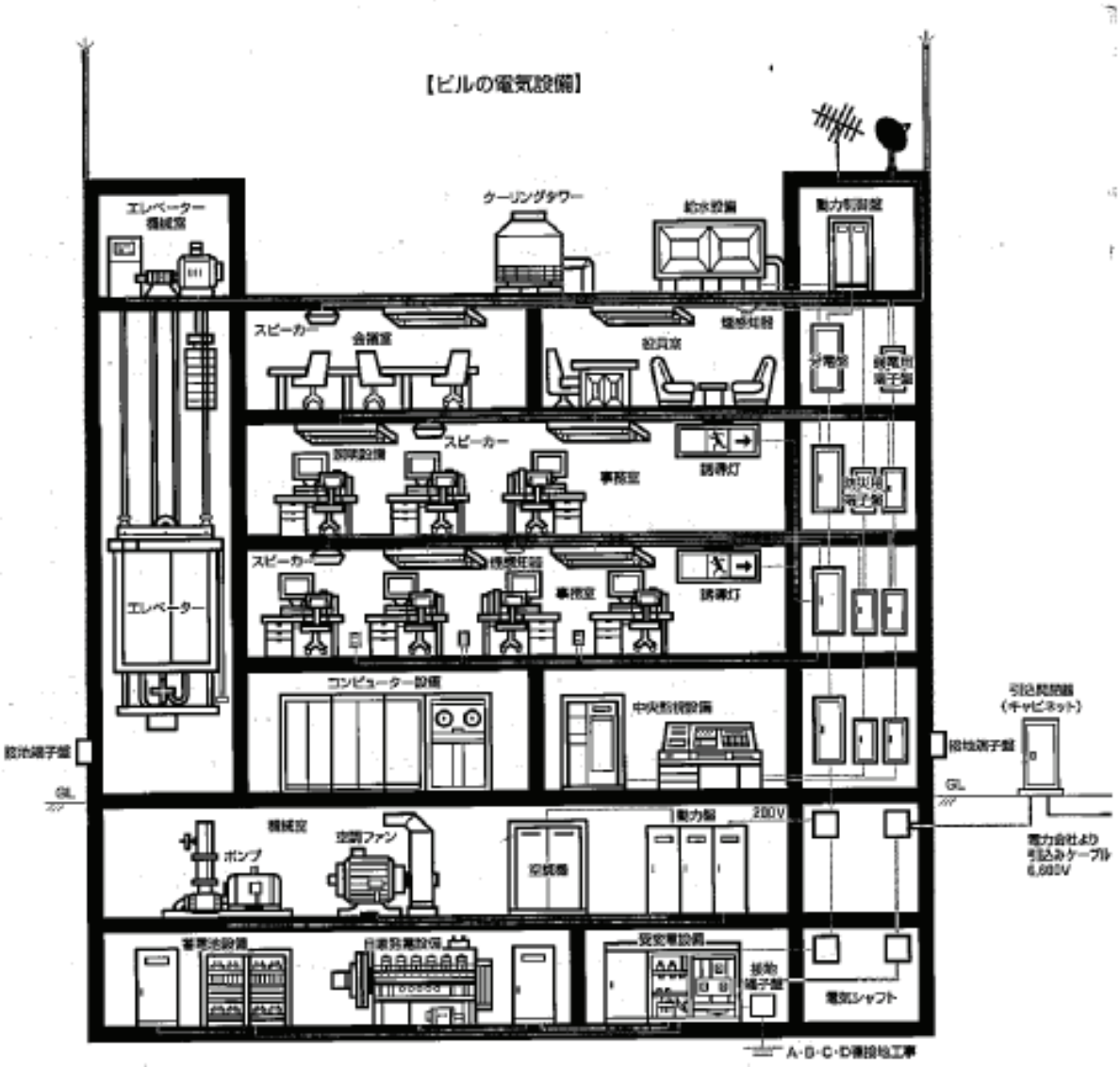


図4.3.4-2　ビルの電気設備配置例[10)]

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)」

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、浸水のおそれがある地階・1 階に設置される設備機器には**表 4.3.4-3** に挙げるものなどがある。

表4.3.4-3　浸水のおそれがある地階・1階に設置される建築設備機器例

建築設備種別	浸水のおそれがある地階、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 4.3.4-4** のような設備機器は屋外や 1 階に設置されることが多い。

表4.3.4-4　浸水のおそれある1階や屋外に設置されることが多い設備

工場設備種別	浸水のおそれある 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、ダムウェータ
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当っては、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、製品等の殆どが、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。

(7) インフラの被害

想定した浸水の規模によっては、電気、ガス、上下水道、通信および道路・鉄道など交通のインフラに障害が発生する。地震と異なり、行政などの被害想定データなど参考にするものが少ないが、自社の環境や、外部の浸水範囲などをもとに推定する。

2) 重要業務とそれを構成する要素の被害

上記の建物、設備やインフラの被害想定をもとに、それが重要業務を構成する各要素に与える被害を推測し、まとめて重要業務の被害として想定する。ここで重要業務を目標復旧期間内、目標復旧レベル以上で再開させるのに最も支障となる要素（ボトルネック）を抽出する。次の BCP 対策を検討する上では、このボトルネックを解消することが優先される対策となる。

ここで想定する被害は、要員確保などのソフト面の被害が大きく影響する。

また水害の場合は浸水が継続する間に被害が増大していくものもあり（禁水性薬品、紙、木材など浸透性のあるもの）製造工場であれば材料・製品類のロスの見積もりが目標復旧レベル等に影響する。

3) 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、狭い区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、直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。

4.3.5 水害 BCP 対策

BCP における対策の上で、最近注目されているキーワードが“レジリエンシーresiliency（レジリエンス)”である。語義は弾力性、復元／回復力であるが、この分野では、“弾力性のある回復力”、“しなやかな回復力”などと説明され、緊急事態の発生において、事業継続に与える影響をなるべく小さく抑え、かつ早期の復旧を実現させる性能を意味している。BCP の対策は、このレジリエンシーを高める方向で、想定される被害に対し目標復旧時間内事業が許容レベルで再開可能なように行う。被害を少なくする事前対策を主とした対策と、迅速な事業の再開を実現するための初動および事後の復旧対策を主とした対策が計画される。

BCP を策定・運用する上で、水害が地震と異なる点は、復旧の前に、災害が継続している間（浸水している間）の対策が必要となることである。これを事後対策の一環とするか、初動対策、あるいは発災中の対策として別建てにするかは浸水継続時間の想定にもよる。

対策の検討に当っては、次の項目に従って、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事前の予防策
②洪水時の初動対応
③浸水後の後片付け
④事業継続に向けた復旧対策
⑤リスク回避（立地の移転、バックアップ）
⑥リスク移転（保険などファイナンス）

1) 事前の予防策

(1) 建物、設備の対策

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4.3.5-1　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 ・土のう、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)

4.6.9の建物の浸水対策事例に、具体的な対策事例を内容別に示す。

(2)　余裕在庫の確保

生産施設においては、浸水の恐れがないところに、製品の余裕在庫を確保しておくことで、業務の目標中断期間を延ばすことができる。地震と異なり、同一施設内にあっても、高所などに置くことで被害を免れるため、容易に可能な対策である。しかし、ジャスト・イン・タイムに反し、平時においても日常的にコストがかかるのが問題点である。

(3)　代替手段の確保

BCPにおいては、被害を受けたもの・システム等の代替手段を事前に検討／確保しておくことは重要な対策の一つである。復旧に時間やコストがかかるもの／サービスについては、事前のバックアップや災害時にすぐ用いることができる代替手段を確保しておく。

(4)　安否確認の仕組み

(5)　災害情報入手・発信

(6)　情報・通信　など

地震と同様、水害時においても、従業員の安否確認を素早く実施したり、災害情報の入手や自社の被災状況の把握を迅速に行う手段、外部との連絡手段の確保などは、基礎的な事前対策として必要である。

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のう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、直ちに後片付けが開始される。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無いと後片付け作業は始られない。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早い。

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、チェーンソー工事機器
・小型パワーシャベル等の小型重機
・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、電気製品等は殆どが廃棄物となる。参考に、水害後家庭から出される廃棄物を**表 4.3.5-2** に示す。

表4.3.5-2　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し必要な対策を講ずる。

施設、インフラなどのハードの一般的な復旧のプロセスは、**図 4.3.5-1** 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を行い、完全復旧の流れとなる。

復旧の開始から終了までのクリティカルパスを求めるには、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。

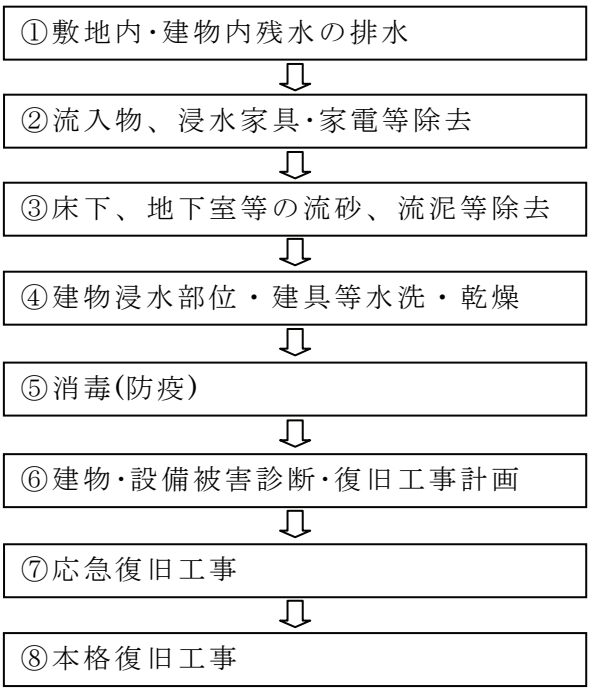


図4.3.5-1　ハード復旧のプロセス例

図 4.3.5-2 に、本社施設が被災し全機能が停止した場合の、本社機能の復旧プロセスの例を示す。但し、この例は施設の全機能停止と代替施設、そこへの機能一時移転が必須条件となっている。

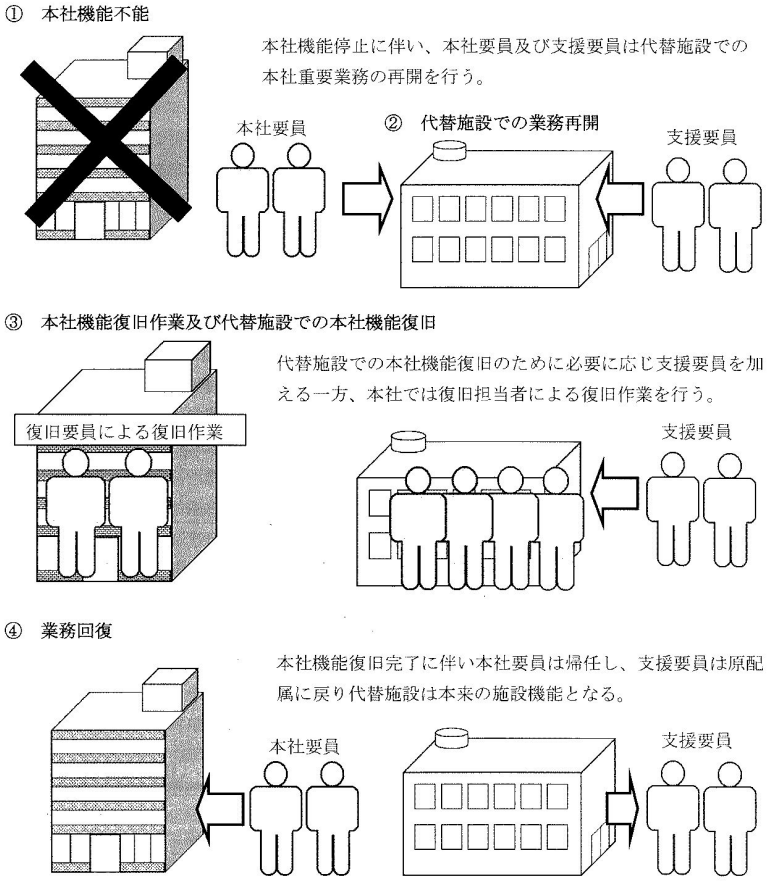


図4.3.5-2　代替施設を用いた本社機能復旧のプロセス例[11)]

出典；ファシリティマネージャーのための事業継続管理

この場合、喪失した重要機能である本社機能を移転先で継続するための要員と、元の施設における復旧作業のための要員が必要となり、さらに重要機能継続のために代替施設での作業において不足するマンパワーを支援する要員が必要となっている。

現状回復のための復旧作業を行う一方で、重要機能を目標時間以内に必要な復旧レベルを確保し復旧・継続させるには、限られた資源（マンパワー、資機材）をどのように配分するかを早期に判断する必要がある。そのためにも業務再開の手順やリソースの配分計画を事前に検討しておくことは重要である。

特に水害の場合は、最終的に収束した場合は地震に比べその場での現状回復となることが多いため、代替策を用意した場合の復旧との並行作業の配分計画が必要である。

5) リスク回避（立地の移転、業務バックアップ）

被害を減らすための事前対策として、地震と異なり、移転して立地を変えることで、根本的にハザードを減らし、リスクを回避することができる。また、前の項で示したように、バックアップを用意しておくことは、復旧時間の短縮となる。

6) リスク移転（保険などファイナンス）

水害の場合、地震に対する保険よりも保険料率が低いことが多い。他の予防策と併せたり、予防策の代替として、損害を金銭的によって補てんする手段を講ずるなどの方策があり、物理的対策に必要な費用と比較して選択することもできる。詳細は後に述べる

4.3.6 日常の運用と水防活動－教育・訓練、維持管理、点検、見直し

BCP 文化を醸成させるための教育、訓練活動は、地震 BCP に準じて行われるものであるが、水害においては、気象情報の収集など、日常的な活動が訓練と事前対策を兼ねることも多い。

洪水がいつ発生しても策定された水害 BCP がスムーズに発動できるように、水防･避難訓練を盛り込んだ日常の水防活動に BCP の訓練を組み入れて計画し、日常の BCP 保全活動の一環として実施する。

計画に当たって目標と具体的な活動例を以下に示す。

①目標

- 浸水被害の最小化
- スムーズな BCP と水害対策･復旧活動の確保

②具体的な活動例

- 浸水の恐れがある地区に立地していることと水害リスクの内容の啓蒙
- 気象庁や行政機関等からの気象、洪水、避難等の各種情報収集や、それらとリンクした活動の訓練
- 洪水の場合どこから浸水するのか、対策としてどのような作業をするのか、項目と優先度および手順と内容の周知
- 防水板（防潮板）、土のう等の収納場所、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

訓練に限らず、天気予報、降雨時の降雨量、降雨量予報や交通機関などの情報収集は日常的に行うことで、危機を早期に察知できる事前対策にもつながる。

また、水害リスクの高いところでは、土のう設置などの水防活動は、地震と異なり、大雨や台風などの際、頻繁に実施されている。浸水に至らない規模でも大雨などの事象の際に、BCP で計画した手順、対策を実施したり、同時に訓練として発動すれば、平時の単なる訓練に留まらず、不具合や改善すべき点の洗い出しを実情に即した形で確実に実施できる。これらの点は地震災害と大きく異なる点である。

4.3.7　維持管理－点検、是正、および見直し

BCP に限らず、マネジメント手法は常に維持管理を怠らず、PDCA サイクルを回していかないと、必要なときにうまく機能しない。

訓練の過程で、不具合や、改善すべき点が出てくる。訓練の後には必ずレビューを行い、反省点をもれなく拾い出し、よりよくするためにはどうしたらよいか、検討を行って、既往の BCP を改善していく必要がある。

また、状況の変化等により、陳腐化した点の点検も必要である。異動による組織や担当者・連絡先の変更などがよくあげられるが、水害については、特に外部事象として河川や下水の改修によって、ハザードの条件が変わることがある。訓練と同様、最低年に 1 度点検を行い、修正が必要なところは是正する。

さらに、大きな見直しとして、経営判断などによって、リスクの影響度や重要業務とその要素そのものなどが変わることもある。たとえば施設の移転計画などは、立地によるリスクそのものを大きく変える。経営的な見直しも最低年に 1 度検討を行うことが望ましい。

4.3.8　発災と BCP の発動

地震と異なり、水害発生の可能性が生じた時点で、直前対策の実行と初動対策の準備・実行を開始する。

実際の災害は、規模・期間、被害とも計画した想定通りにはならないことが多いが、策定した計画が全く使用できないわけではない。可能な範囲で実況にあわせ対応を変化させていくことが望ましい。

教育・訓練を繰り返し、BCP の計画見直し、更新を継続することによって、BCP 文化が社内に浸透し、個々のメンバーの身についたものとなっていくことで、状況に合わせたフレキシブルな対応が可能となっているはずである。

前述したように、水害の場合は、予報が出ても、降雨量や浸水規模が小さく収まることがあるなど、必ずしも被害が生ずるとは限らない。しかし、これを絶好の実地訓練の機会と捉え、ためらわず BCP を発動し、プロセスを実行、PDCA サイクルを回すことが重要である。万が一、急速に災害状況が拡大した場合でも、放置せずに対策をおこなっていることで、迅速に初動対策など次の行動に移ることができる。

4.4 水害 BCP の検討・策定において有効な手法・対策

水害 BCP を計画、策定する上での具体的な検討項目のための参考資料を 4.6 項に示す。また、水害 BCP の対策において、特に有効なものとして以下の点の対策を示す。

1) ファイナンスによる対策

水害に対する手当の一つとして損害保険が考えられる。地震と異なり、水害は対象が限られることは少なく、料率次第で損害を担保することも可能である。

一般向けの保険には、水害そのものを対象とする単独の保険は少なく、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・家財　⇒　火災保険
・車両　⇒　自動車保険
・従業員　⇒　傷害保険

企業向けの保険は、個別企業と保険会社の間での協議で決められるため、一般向けの保険に比べ、担保される内容などの自由度が高い。

・建物、什器、備品　⇒　財物保険
・営業損失　⇒　企業費用･利益保険

また、災害時のために用いられるリスクヘッジのための金融的手法として、

・キャプティブ（自家保険・保険子会社）－自社グループ内でのリスク保有
・天候デリバティブ
・コンティンジェント・キャピタル（災害時融資予約）

など保険に準じたものがさまざまに存在する。再保険においては、ファイネイト（大正リスクの限定／時間的平準化)、CAT ボンド（災害劣後債ー災害等トリガー発生時に償還が限定減免される）などの手法も活用されている。

2) 移転、バックアップ

水害の特徴は、前述したように、ごく近傍にあっても浸水被害に遭うところと被害を免れるところが同時に存在する点である。従って、対策用の資金に余裕がある場合は、サイトからあまり離れていないところに移転すれば、立地条件を大きく変えずに、被害を避けることができる。バックアップ施設などの対策も、同様に、サイト近傍に設けることで、設置や運用コストを抑えることも可能である。但し、地震災害を考慮すると、直近での移転はリスク分散の点ではあまり効果的ではない。

また、もう一つの特徴である、被災するまでのリードタイムと併せ、事前対策が整っていなくても、被害が生ずる前に、直前対策として緊急移転や緊急バックアップを設ける余裕が確保できる場合もある。

（※タイの大洪水のような例では、広範囲な浸水でライフラインも同時に途絶したため、近隣での移転・バックアップは効果がなかったが、日本国内においては、浸水が生じた地域以外ではライフラインの途絶は生じないか、生じても短期間で復旧すると考えられる。）

3) 高所避難

さらに、水害においては、同じ建物、施設内でも、浸水深より高いところは被害を免れるため、人、もの、機材や、それが行う業務・サービスを一時的に高所に避難させる高所避難も、水害独特の有効な対策である。

事前対策として､浸水するとダメージが大きいものを施設内高所に移す施設内移転は、コストが余りかからず、同様に有効な対策である。

4.5 水害 BCP の展開

BCP においては、災害時の地域貢献が事業所の役割として大きく位置づけられている。

3.1.3 項の上島熱処理工業所では、周辺地域の迷惑になるような事故を絶対に発生させない、という点が企業の、また BCP においての重要方針として掲げられている。

2.3.5 項のコロナのように、企業と地域の関わりが密接なところでは、企業の防災体制が、そのまま地域の防災対策と連携できている。日ごろの地域住民や行政との密接な関わりが、いざというときに有効に機能し、企業だけでなく地域全体の安全を守ることにつながっている。水が引いた後、社内だけでなく外部の整備や、地域の復旧活動の支援に当たる人員を確保したり､浸水した近隣地域に居住する被災社員を援助する体制を整えるなど、地域に迷惑をかけず、また可能な限り地域への支援を行うという企業風土によって、自社の BCP から地域の DCP への貢献に発展している。

企業活動は、それが立地する地域と大きく相互依存している。自社、取引先・顧客のほか、被災した時、地域に何が影響するか、地域のために何ができるか、という地域重視の姿勢も BCP の策定において欠かせない点である。

4.6　水害BCP策定のための参考資料

4.6.1　BCP 策定のためのガイドライン、手引き

BCP の手引きとしては、内閣府の“事業継続ガイドライン”[2)]のほかに

・中小企業庁　“中小企業ＢＣＰ策定運用指針”[12)]

・事業継続機構（BCAO）　“中小企業 BCP ステップアップガイド”[13)]

がある。このほかにも都道府県や商工会議所などから出されているものもあるが、概ね上記の 3 つのどれかをベースにしているものが多いので、これらを参考にするとよい。

4.6.2　洪水の種類

水害とは、大雨等による河川の氾濫、高潮や津波等による、水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、又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)　外水氾濫

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

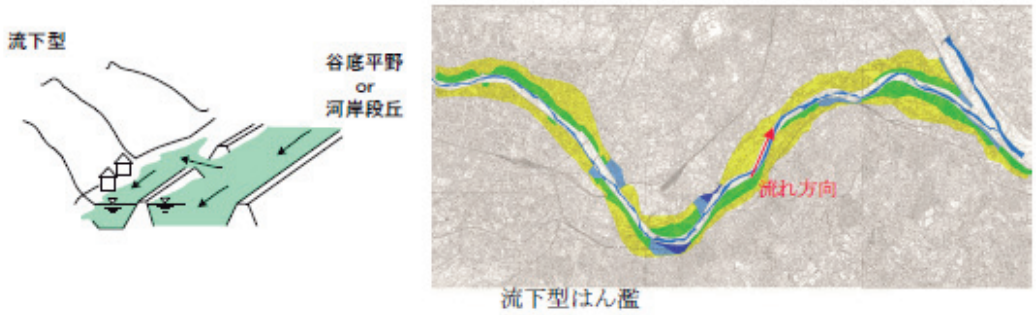


図4.6.2-1　流下型氾濫の概念図[14)]

出典：国土交通省 HP　「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」

(特徴)

・山間部を流下する河川で、背後地は、河川沿いに急なこう配をもっており、そのため氾濫水が河川に沿って流下する形態をとる。従って、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。

②貯留型氾濫

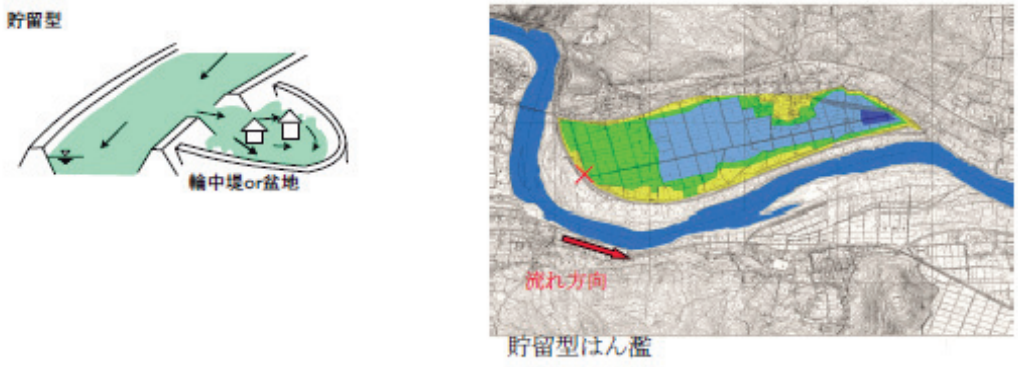


図4.6.2-2　貯留型氾濫の概念図[14)]

出典：国土交通省 HP　「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」

(特徴)

・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殆どないものとなる。

・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。

③拡散型氾濫

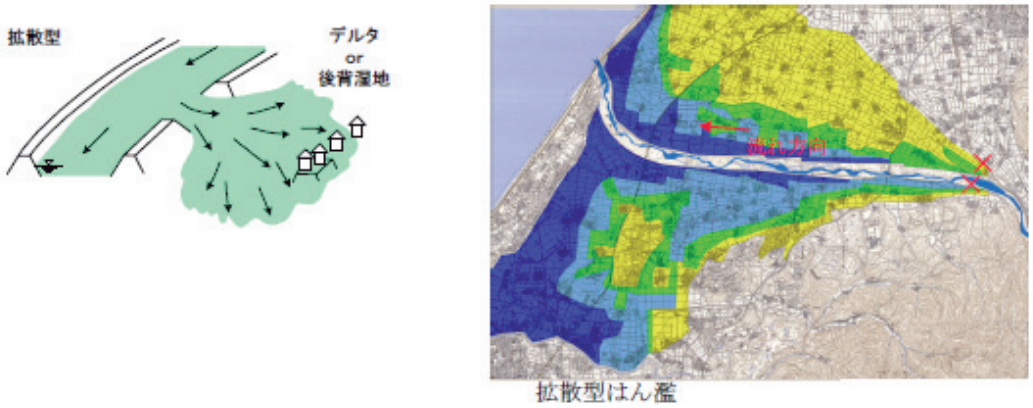


図4.6.2-3　拡散型氾濫の概念図[14)]

出典：国土交通省 HP　「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」

(特徴)

・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、棟建つ時間も短く避難を困難にする場合が多い。

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は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。
・洪水と合わせて内水による浸水が発生する場合：
これは現在、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ため
・平野部で隣接する河川と氾濫原が重複する場合：
これは、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ため
・本川と支川で同時に洪水が発生する場合：

これは、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ため

・洪水と高潮が同時に発生する場合：

これは、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ため

4.6.3 水害の変遷と今後の予測

1) 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 2.2-1 に整理した。その結果は次のように要約される。

①第 2 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、一部豪雨も含むが殆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、その被害の総数は次となる。

・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共に、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。更に、

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。

④海外において、広域・長期間に被害が及ぶ事象が発生した。

2) 今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ている。

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

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 2009 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、2006 年「大規模水害対策に関する専門部会」を設置し、2010 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 4.6.3-1** に示す。

表4.6.3-2　首都圏巨大洪水と巨大高潮の被害想定[15)]

	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) 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。

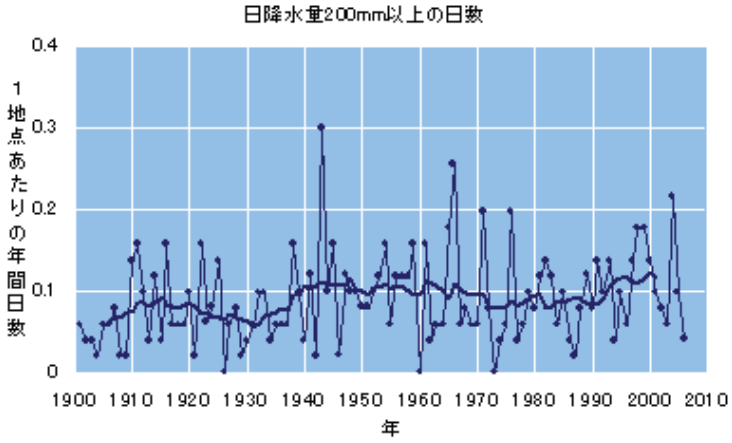


図4.6.3-1　日降水量200mm以上の日数[16)]

出典:気象庁 HP

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 4.6.3-2** に示す。

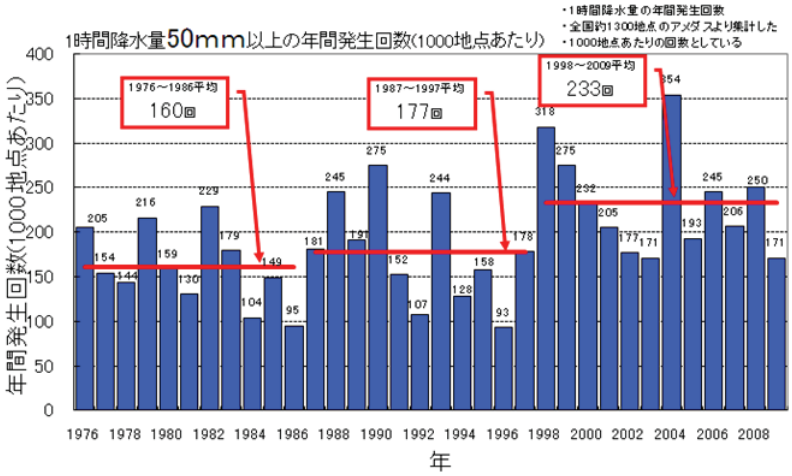


図4.6.3-2　アメダスでみた1時間降水量50mm以上の発生回数[17)]

出典:気象庁 HP

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言う降雨現象が 2000 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地方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も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。

4.6.4　リアルタイム降雨情報について

近年、頻発するゲリラ豪雨等に国や都道府県にて

1)　国土交通省　Xバンド MP レーダ [3)]

国土交通省はゲリラ豪雨や集中豪雨による浸水被害に対し、適切な水防活動や河川管理を行うため、Xバンド MP レーダを設置し、平成22年7月から一般にも情報を公開している。Xバンド MP レーダによる降雨情報は、1分ごとに250mメッシュで降雨量が更新されるため、豪雨の降雨区域が近づいて来たり、雨量が増大するなどの傾向を予測することができる。対象区域は、3大都市圏のほか、東北、上越、北陸、中国、九州、などの一部をカバーしており、徐々に拡大中である。

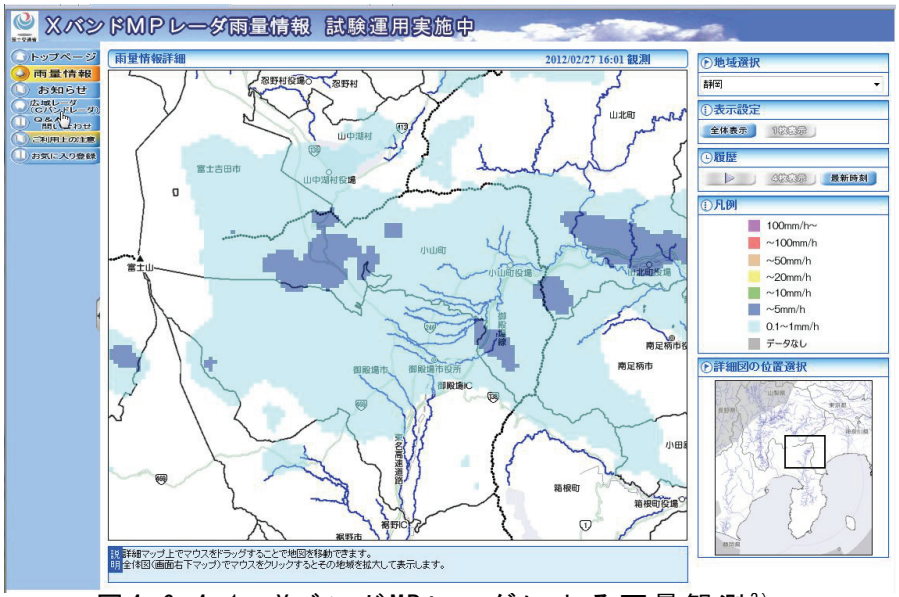


図4.6.4-1　Xバンド MP レーダによる雨量観測 [3)]

出典　国交省HP　XバンドMPレーダ雨量観測（試験運用実施中）

2)　東京アメッシュ [4)]

東京都下水道局の東京アメッシュは、レーダー雨量計システムと、それを補正する地上雨量計によって、下水道施設の運転管理に適したデータに加工して表示している。

インターネットでは5分ごとの情報を一般に提供しており、中心部では250mメッシュ、周辺部では500mメッシュの降雨強度を8段階の区分で表示している。

3)　その他

気象庁の降水ナウキャスト [18)]は、1kmメッシュでの降雨量情報を5分間隔で発表し、

1 時間先までの降水強度分布を 5 分間隔で予報する。また、降水短時間予報 [19]は、30 分間隔で発表され、6 時間先までの各 1 時間の 1 時間降水量を予報する。

神戸市 [20]、埼玉県 [21]、横浜市、大阪市などでも詳細メッシュでの短時間間隔の降雨量情報を提供していたが、横浜市、大阪市は現在停止中である。

4.6.5 洪水ハザードマップについて

水害を緩和するためには、堤防等の治水設備の整備によるハード対策に加えて、治水設備にはその能力を超える水量によって洪水が起こる可能性を常に内在しているため、災害情報の伝達体制や避難誘導体制の充実、住民の防災意識の高揚等によるソフト対策も重要とされている。

水害情報としては、昭和 55 年からの総合治水対策のなかで、まず浸水実績が公表され、平成 5～6 年、全国主要河川について、洪水氾濫シミュレーションによる洪水氾濫危険区域図が公表され、平成 6 年、建設省は、市区町村に対して「洪水ハザードマップ作成の推進」及び「洪水ハザードマップ作成要領」を通知し、洪水ハザードマップの作成を促した。

平成 13 年、水防法の改正において、住民への周知手段としてハザードマップが位置付けられ、平成 15 年度末で、全国 301 市区町村において洪水ハザードマップが作成公表されることになった。

平成 16 年に発生した全国的な集中豪雨災害を受けて、平成 17 年防水法が改正され、洪水ハザードマップ作成の対象が、大河川から主要な中小河川に拡大され、平成 17 年、国交省によって、「洪水ハザードマップ作成の手引き」[22]が作成され、現在に至っている。

洪水ハザードマップは、市区町村が作成主体となって、国、都道府県管理河川の洪水浸水想定区域図をもとに、洪水時の河川の破堤、氾濫等の浸水情報や避難に関する情報を住民にわかりやすく提供することにより人的被害を防ぐことを主な目的として作成され、洪水ハザードマップには、次のような内容が記載されている。

① 共通項目
- 浸水想定区域図と被害の形態
- 避難場所
- 避難時危険個所
- 洪水予報等、避難情報の伝達方法等

② 地域項目
- 避難活動情報
  - 浸水想定区域外の浸水情報
  - 避難の必要な区域
  - 避難時の心得
  - 避難勧告等に関する事項
  - 地下街等に関する情報
  - 特に防災上の配慮を要する者が利用する施設の情報等
- 災害学習情報

・水害の発生メカニズム、地形と氾濫形態
・洪水の危険性、被害の内容、既往洪水の情報
・気象情報に関する事項
・水害に備えた心構え等

(注)
・洪水浸水想定区域図とは、計画降雨を対象とした洪水シミュレーションにより洪水氾濫域や水深等を把握し、浸水想定区域図として公表しているもの
・洪水ハザードマップには、以下のような外水の氾濫を想定したものと内水の氾濫を想定したものがあり、市区町村には 2 種類以上の洪水ハザードマップが用意されている場合があるので注意が必要である。

①外水の氾濫を想定した洪水ハザードマップ

外水氾濫とは、例えば関東平野では利根川、荒川、相模川といった大河の堤防が決壊して、これらの河川からの氾濫水による洪水をいう。戦後のカスリーン台風の大雨をベースとした概ね 100～200 年に一度程度起こる大雨(100 年に 1 回の確立降雨量：北日本　100～200mm/日、西日本太平洋側　200～400mm/日)や平成 12 年の東海豪雨(総雨量 589mm、時間最大雨量 114mm)をベースとした豪雨が計画降雨として用いられる。

②内水の氾濫を想定した洪水ハザードマップ

内水氾濫とは、市街地に降った雨が行き場を失って窪地や低地に溜まることによって起こる水害をいい、都市型水害ともいう。平成 12 年の東海豪雨をベースとした計画降雨が用いられている。

4.6.6　浸水想定区域について

浸水想定区域とは、国交大臣又は知事が指定する河川が計画降雨に対して、溢水、越水、破堤氾濫した場合、その氾濫水により浸水することが想定される区域のことを指し、また、浸水想定区域図は、平成 13 年以降水防法によって、洪水予報河川で作成されたもので、浸水範囲と浸水深さを 1/10,000 地図で表し、それを公表しているもので、いわゆる洪水ハザードマップである。

浸水想定区域図は、氾濫シミュレーションモデルによる分析の結果、その浸水想定区域と浸水深さのデータをもとに作成されたものであり、そのモデルとしては、

①大河川を対象としたもの、
②中小河川を対象としたもの、
③扇状地形の急流河川を対象としたもの、
④内水氾濫（都市型洪水）を対象としたもの

がある。

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、指定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

や枝派川の氾濫、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。

また、国交省が平成 5～6 年度に掛けて全国の直轄河川において、計画降雨（概ね 100～200 年に一度程度起こる大雨）を対象とした洪水シミュレーションにより危険区域を把握し、洪水氾濫危険区域図として公表しているものを区別して洪水氾濫危険区域図と呼んでいる。

浸水想定区域は、以下のような場合見直しが行われる。

①洪水調整施設や堤防整備等により浸水想定区域の大幅な変更が見込まれる場合

②計画降雨の変更により浸水想定区域の大幅な変更が見込まれる場合

③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、浸水想定区域の大幅な変更が見込まれる場合

④地形測量や氾濫解析等の精度が向上したことで、浸水想定区域の大幅な変更が見込まれる場合

4.6.7 洪水シミュレーションについて

洪水シミュレーションには、洪水ハザードマップの浸水想定区域の設定を目的とするものと、近年コンピュータの発展と高速計算アルゴリズムの開発によりリアルタイムの洪水シミュレーションが可能となり、降水や河川水位等の状況に応じた浸水予報情報の提供することできるリアルタイム氾濫解析シミュレータが開発されている。

1) 洪水ハザードマップ用シミュレーション

洪水ハザードマップ用の浸水想定区域は、降雨、河川水位、河川管理施設の稼働状況等をある 1 つの固定条件としての氾濫解析結果であるが、この解析モデルには、河川氾濫解析モデルや都市洪水解析モデル等がある。

(1) 河川氾濫洪水解析モデル

河川氾濫洪水解析は、次の 4 つの解析から構成される。

(a)降雨流出解析

この解析の主な目的は、降雨が発生すると河川水は間もなく増水を始め、やがてピーク流量に達した後に低減するが、降雨停止後も河川への流出は続く、このような降雨から流出の時間変化をモデル化することにあり、河川への降雨の直接流出は、降雨の初期損失と地中への浸透を除いたものとなるが、土地の被覆特性や地形などが大きく影響する。

(b)河道内の洪水流下解析

この解析は、当該河川の河道の流下能力を解析し、氾濫のおそれのある箇所を想定することを目的とする。河道の水位は、河道の勾配、平面や断面形状、流れを阻害する樹木等の存在によって変化する。氾濫のおそれのある箇所は、堤防等の治水設備の整備状況に大きく影響されると共に、中小河川では河道の断面等のデータが整備されていない状況などからこの解析が困難な場合もあると言われている。

(c)河道から氾濫原への氾濫水の流出解析

河道から氾濫は破堤や堤防を越水することで起こり、この際の氾濫流量の時間変化を解析する。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のことをいう。

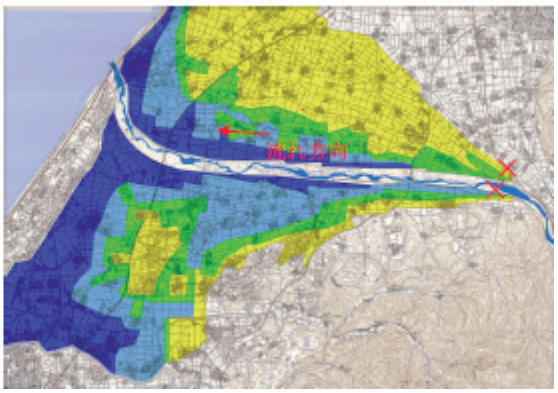
(d)氾濫水の氾濫原での挙動解析

この解析は氾濫原をメッシュ分割し、各メッシュで地盤高と粗度係数を設定し、メッシュ単位で氾濫水の運動を連続の式と運動方程式を解くことでその挙動を解析する。更に、この過程で、氾濫原内に存在する 0.5m 高以上の道路や鉄道等の連続盛り土構造やポンプ、樋門、水路等の排水設備もモデル化され、その影響も反映できるようになっている。

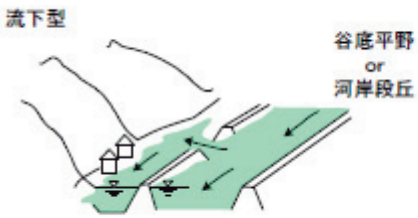
氾濫原のモデル化には、地盤高データは 50m メッシュ、氾濫計算は 250m メッシュが基本として実施されるが、河川や氾濫原の規模が小さい場合には、メッシュを小さくして、氾濫計算用メッシュを 50m メッシュとして精度を上げることが必要とされている。

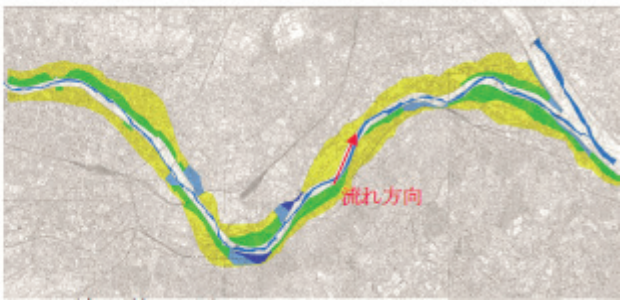
河川氾濫解析に当っては、地形条件等から氾濫形態は、**図 4.6.7-1** の 3 モデルが使用される。

①拡散型氾濫



②流下型氾濫





③貯留型氾濫

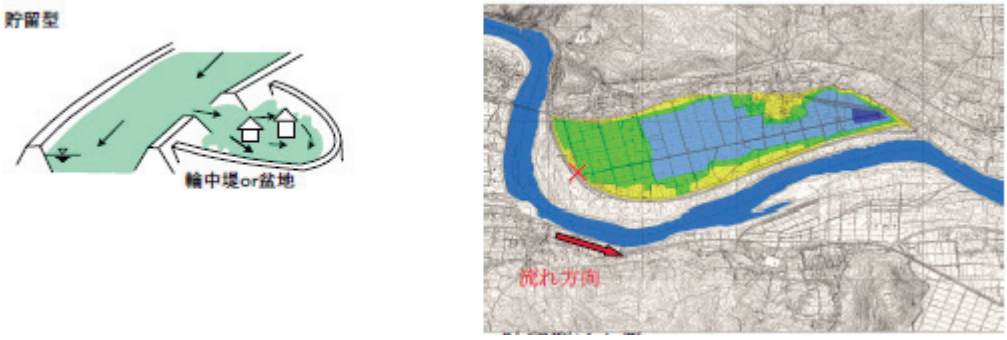


図4.6.7-1　氾濫原での氾濫水の挙動モデル[14)]

出典：国土交通省 HP

(2)　都市洪水解析モデル

平成 10 年代になると都市部では、平成 11 年、15 年の福岡水害、平成 12 年東海水害など、都市河川の洪水による破堤、溢水による外水氾濫に加えて、都市河川流域において下水道その他の排水施設又は河川その他の公共の水域に当該雨水を排出できないことによる都市浸水が頻発。これは、昭和 30 年以降、都市河川の急激な開発により、流域の大部分が市街化され、開発前は、雨水は河川に流れ込む漂流水は抑制されていたが、開発によってコンクリート等に覆われた不浸透域が増大し、短時間に多量の漂流水が河川に流入するようになり、平常時は流量が極端に少ない半面、豪雨時に流域に降った雨水が短時間に集中して流出し、浸水被害が発生する都市型水害が発生するようになった。

そのため、都市域の氾濫解析を目的として、次の要件を満たすような都市洪水解析モデルが開発されている。

・都市域の浸水は、多様な浸水状況を呈し、例えば、再現都市域内に網羅された下水道管路、開水路などによる雨水排除効果、マンホールからの噴出し現象や、地形・土地利用に反映した地表面の流下・拡散現象、大規模地下空間等への浸水など複雑な現象が重なっており、これらの複合的氾濫現象を再現させるもの、即ち、下水道管路等と地表面氾濫現象の一体的な解析が必要
・浸水の被害規模は、雨水の強さ・継続時間や河川・下水道施設の整備状況に影響されるが、土地の利用状況や地形特性によっても影響を受けるためこれらの実状に応じて再現させるもの
・雨水流出量現象の詳細な再現が重要で、土地の被覆状況や地形勾配によって大きく影響されるため、これらの要因を十分反映させるもの

国交省国土技術政策総合研究所では、同研究所が開発した都市域氾濫解析モデル(NILIM2.0)を公開しており、Web からこのモデルのダウンロードが可能としている。このモデルは、内水氾濫を対象とした下水路モデルと氾濫原モデルと組合せたもので、内外水複合氾濫の解析が可能で、特に下水路モデルでは、次の氾濫現象が再現できるとされている。

・下水道管路を考慮した氾濫現象への対応

河川からの破堤･溢水に起因する外水氾濫、下水道からの溢水による内水氾濫、これらを組合せた内外水複合氾濫までのあらゆる水理現象に対応可能

・下水道管内の流れ、マンホールからの噴出しを再現
下水道管内は開水路流、圧力流を考慮、マンホールからの噴出しによる内水氾濫の仮定を再現可能

・氾濫原における様々な構造物をモデル化
氾濫原を表すメッシュ上に様々な構造物や排水施設をモデル化することが可能

・解析結果を容易に確認できるインターフェース
解析結果の浸水状況、管路水位、河川水位等を確認できるインターフェースを装備

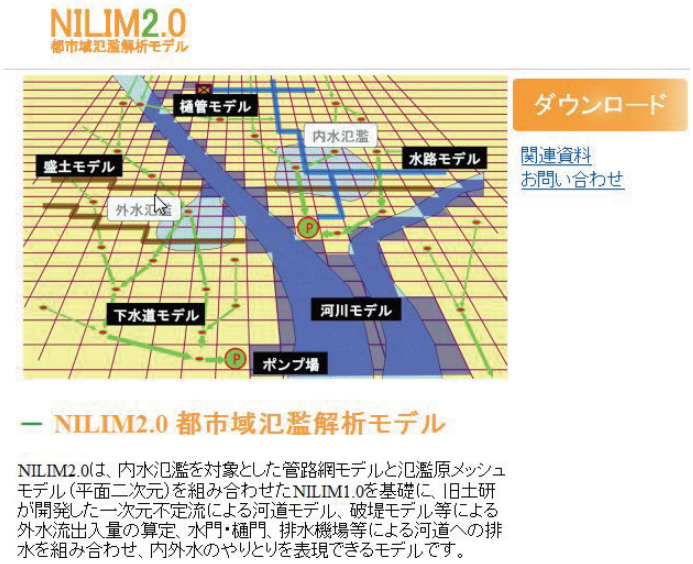


図4.6.3－1　NILIM2.0 都市域氾濫解析モデル トップページ[23)]

出典：国土技術政策総合研究所
NILIM2.0都市域氾濫解析モデル

詳しくは、国土技術総合政策研究所　「NILIM2.0　都市域氾濫解析モデル」のウェブページ[23)]を参照されたい。

また、財団法人下水道新技術推進機構の xpawmm、江守商事㈱の InfoWorks CS 等の市販ソフトもある。

2)　リアルタイム氾濫解析シミュレータ

洪水ハザードマップ掲載の浸水予想区域は、前述のようにある固定条件のもとでの結果を示したものであるが､実際の洪水は､降雨や河川水位等の個々の状況は様々であり、その状況により浸水の発生の場所や浸水深も大きく異なってくるため、特に、防災対策面からの避難･水防等の諸活動には､浸水の発生状況に応じて臨機に行っていくことが重要であり、防災活動用のリアルタイム氾濫解析シミュレータが開発されている。日本気象協会と日立が商品化した河川氾濫シミュレータ“DioVISTA”[24)]の概要を示す(2006.6.2プレスリリースより)。

・本システムは、一般的なパソコンで動作し、台風や大雨により発生することが予想される水害について、地域毎の地理情報に対応した予測を可能にするものであり、洪水発生時の行動計画を立案す
る防災業務の支援を目的とする

・広域から市街地まで、地理データに応じ、河川の任意個所で堤防決壊・越水を想定した洪水シミュレーションを対象とする

・広域での洪水シミュレーションは、1/25,000 の地図を基本とし、計算メッシュは 50m メッシュを基本とする

・市街地での洪水シミュレーションは、1/2,500の地図を基本として、地形3次元表示の他、建物の立体表示をサポートし、計算メッシュは 5m メッシュを基本とする。また、市街地浸水領域の戸別水深評価も可能。

4.6.8 その他のハザードマップについて

国交省のハザードマップポータルサイトには、現在 1,020 市区町村からの洪水ハザードマップ、内水ハザードマップ、高潮ハザードマップ、津波ハザードマップ、土砂災害ハザードマップ、火山ハザードマップが公開されている。洪水ハザードマップは、4.6.5 でその概要を紹介しているが、本節では、火山ハザードマップを除いた内水ハザードマップ、津波･高潮ハザードマップ、土砂災害ハザードマップについてその概要を示す。

1) 内水ハザードマップ[25)]

都市水害(内水浸水)は、河川の破堤や溢水による浸水よりも発生頻度が高く、市民生活や企業活動への影響も大きく、住民の関心度も高い。そこで、効果的な浸水被害を軽減するためには､住民の自助･公助の促進による被害の最小化を図ることが重要とされ、内水ハザードマップによる住民への情報提供が必要とされている。

内水ハザードマップには次のような項目が記載されている。

(1) 共通項目
- 内水浸水想定区域図と浸水シナリオ、降雨量･放流河川水位等の前提条件
- 避難場所
- 避難時危険個所
- 洪水予報等、避難情報の伝達方法等

(2) 地域項目
- 災害時活用情報
- 過去の浸水実績
- 地下街･地下室等の情報
- 自助に関する事項(土のう、止水版、災害時準備品等)
- 公助に関する事項(災害時要援護者施設、避難支援プラン、自主防災組織活動等)
- 排水ポンプ場の情報
- 災害予防情報
- 適正な土地利用への誘導
- 貯留･浸透施設の設置に関する事項
- 災害学習情報
- 水害の発生メカニズム、地形と氾濫形態
- 下水道の役割
- 下水道整備状況、整備計画

2) 津波･高潮ハザードマップ[26)]

我が国の海岸は、津波や高潮被害を受けやすい海岸特性をもち、津波については、昭和以降次のような被害が発生している。

表4.6.8-1 過去の津波災害

発生年月日	名称	マグニチュード	人的被害(地震含む)
S8.3.3	三陸地震	8.1	死者 3,064 人
S19.12.7	東南海地震	7.9	死者･行方不明者 1,223 人
S21.12.21	南海地震	8.0	死者･行方不明者 1,330 人
S35.5.23	チリ地震	8.5	死者･行方不明者 139 人
S58.5.26	日本海中部地震	7.7	死者 100 人
H5.7.12	北海道南西沖地震	7.8	死者 230 人
H23.3.11	東日本大地震	9.0	死者･行方不明者 24,768 人

今回の東日本大震災では、津波によって過去に例を見ない甚大な被害を被った。近い将来、東海地震、南海･東南海地震のようなプレート型地震の発生が予想され、それによる大規模な津波被害も懸念されている。

一方、高潮災害は、台風に伴って突発的に発生し、過去、室戸台風 S9.9.21、枕崎台風(S20.9.17)、伊勢湾台風(S34.9.27)は甚大な被害をもたらしたが、その後の海岸保全施設の整備でその被害は激減したが、近年高潮被害も増加傾向にあると言われている。高潮は津波と異なり予測が可能であり且つ避難までの時間もあり、ハザードマップ等の充実によって人的被害を大幅に軽減させることが可能である。

しかし､津波･高波災害を軽減するためには､従来からの海岸保全施設の整備と併せて、危険度情報の提供などソフト対策による住民の自衛力(避難力)を高める必要があるとされている。

平成 16 年の国の報告では、津波ハザードマップが必要な全国での地区数は 1,893 地区海岸、高潮ハザードマップが必要な全国での地区数は、1,721 地区海岸とされているが、平成 17 年の津波･高潮ハザードマップ事例調査では、全国で津波ハザードマップが 122 市町村 128 事例、高潮ハザードマップが 12 市町村 12 事例で整備されたと報告されている。

津波･高潮ハザードマップには次のような項目が記載されている。

- 避難場所
- 避難ルート
- 浸水の予想区域
- 津波到達時間等

3) 土砂災害ハザードマップ[27)]

我が国の地形は、河川河口に形成された平地と国土の 7 割を丘陵、山岳地が占めており、丘陵地等は、脆弱な地質からなるところも多く、集中豪雨や台風により崖の崩壊、土石流､地滑りからなる土砂災害が従来から発生している｡特に近年､市街地の拡大で､

渓流の出口や傾斜地等の土砂災害危険区域が宅地化するに伴い土砂災害が顕在化してきた。

土砂災害ハザードマップとは、土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域とこれらの区域における土砂災害の発生原因(急傾斜地の崩壊、土石流、地滑り)を表示した図面に、市区町村の地域防災計画に定められた土砂災害時の情報伝達手段と伝達経路、避難地の関する情報等を記載したもので、次のような項目が記載されている。

(1) 共通項目

・土砂災害警戒区域、土砂災害特別計画区域
・発生原因(傾斜地崩壊、土石流、地滑り)
・避難場所情報

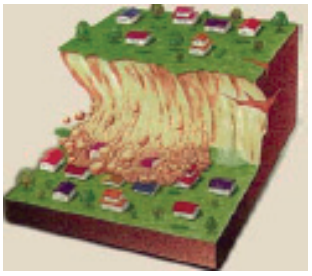
(2) 地域項目

・土砂災害時の情報の伝達手段と伝達経路
・主要避難路
・警戒区域における円滑な避難を確保するための事項
・雨量情報
・避難準備･勧告･指示情報、避難時の心得
・避難時危険個所
・土砂災害前兆現象
・土砂災害履歴等

(国交省河川局砂防部他「土砂災害ハザードマップ作成のための指針と解説」H17.7 より)

(参考)

表4.6.8-2 土砂災害の種類と特徴

種類	特徴	イメージ図 28),29),30)
崖崩れ (急傾斜地の崩壊)	地中にしみ込んだ水分が土の抵抗力を弱め、雨や地質等の影響によって急激に斜面が崩れ落ちることを言う。 崖崩れは突然起こるため、人家の近くで起きると逃げ遅れる人も多く死者の割合も高くなっている。	
土石流	山腹、川底の石や土砂が長雨や集中豪雨や集中豪雨などによって一気に下流へと押し流されるものを言う。 その流れの速さは規模によって異なるが、時速 20～30km の速度で一瞬のう	

	ちに人家や畑等を壊滅させる力がある。	
地滑り	山や丘陵地の斜面が地下水の影響と重力によってゆっくり斜面下方に移動する現象を言う。一般的に移動土塊量が大きいため、甚大な被害を及ぼす。	

出典：国土交通省 HP　砂防の役割と対策

表4.6.8-3　土砂災害の前兆現象

種類	前兆現象
崖崩れ (急傾斜地の崩壊)	・斜面に亀裂ができる、崖に割れ目が見える ・斜面から異常な音、山鳴り、地鳴りが聞こえる ・斜面にはらみが見られる ・普段澄んでいる湧水が濁ったり、崖から水の噴出しが見られる ・湧水の急激な増加や、減少が認められる、 ・崖から小石がパラパラと落ちてくる
土石流	・近くで山崩れ、土石流が発生している ・立木の裂ける音や巨礫の流れる音が聞こえる ・渓流の流水が濁流に変化や流木などが混ざっている ・異様な山鳴りや異様な臭いがする ・渓流付近の斜面が崩れだしたり、落石等が発生している ・渓流の水位が降雨量の減少にもかかわらず低下しない ・雨が降り続いているのに川の水位が下がる(川が土石流によって堰き止められたため)
地滑り	・沢や井戸の水が濁る ・地面に亀裂ができる ・斜面から水が噴き出す ・地鳴りがする ・擁壁、舗装道路、トンネルにクラックが入る ・電線の緩みや引張→停電 ・崖等からの落石や小さな崩壊が発生する

4.6.9　建物の浸水対策事例

既存建築の浸水被害予防策に対する事例を紹介する。

1)　防水壁

①固定式防水壁(コンクリート造：愛媛県大洲市松下寿工場)[31)]

出典　国土交通省HP　ゼロメートル地帯の高潮対策検討会参考資料

②組立式防水壁(アルミ合金製止水板)[32),33)]

出典：(有)エムアンドケイHP
「IBS簡易洪水防止壁システム」

出典：Aufstockbare Mobilwand Freudenberg / Main

出典：(有)エムアンドケイHP　「IBS簡易洪水防止壁システム」

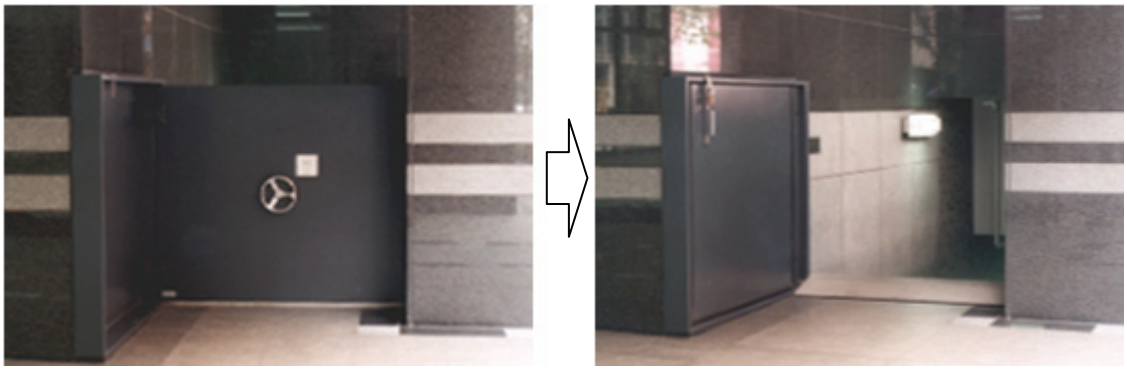
2)　防潮板・止水扉・ゲート

①脱着式 [34),35)]

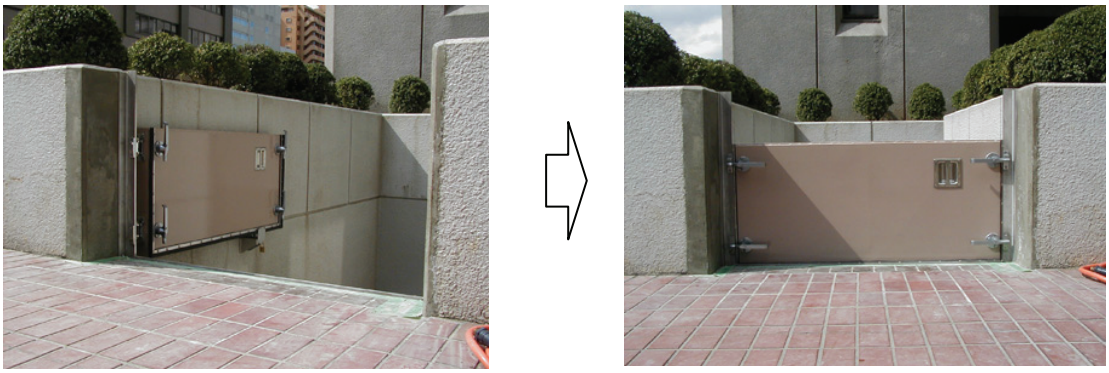
出典；日本ピット　施工実績JP-WP-1-D　脱着式

出典　新日軽防潮板（止水版）G型　公共施設設置例

②スイング式 [36),37)]

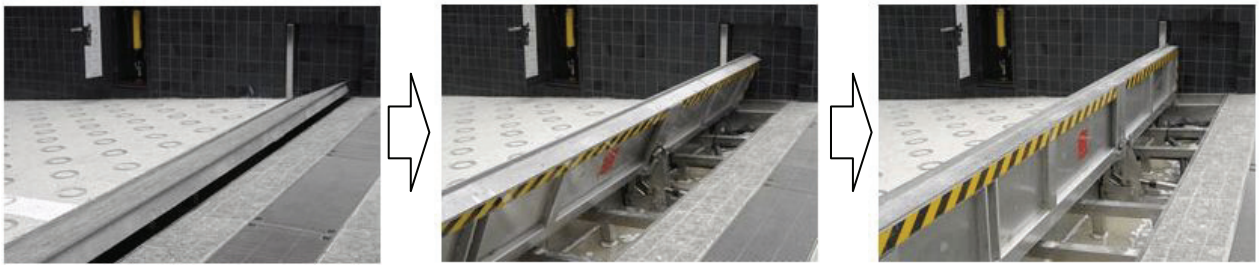


出典　岡村製作所　スイング式防水板



出典　日工マシナリースイング式防水板

③床起上式 [38)]



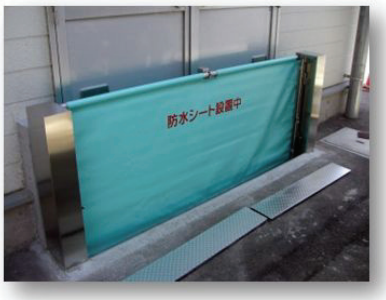
出典　(株)日本ピット　手動起伏式防潮板

④スライド式 [39),40)]

出典　新日軽防潮板（止水版）SLT型　学校施設設置例

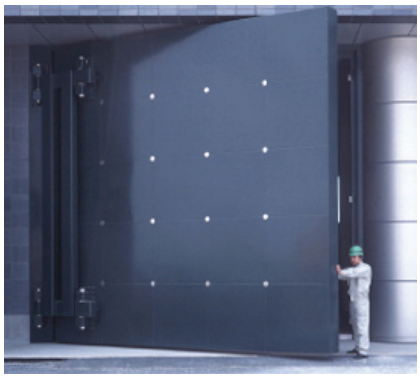
出典　岡村製作所　スライド式防水板

⑤シート式 [41)]



出典　日本ピット　施工実績JP-WP-1-D　JP-WP-ST　シート式

⑥防水扉シート式 [42),43)]



出典　岡村製作所　防水扉

出典　新日軽防潮板（止水版）
OP4型（片開き戸）　設置例

3)　土のう止水 [44)]

出典　静岡市HP　積み土のう工

土のうには、土を入れるもののほか、吸水性ポリマー粒子を入れたもの、袋自体が吸水性ポリマーになっているもの等があり、吸水性ポリマーを用いたものは軽量である。

4)　外壁の防水化事例

コンクリート造やレンガ造の外壁ならば、洪水浸水に対して止水能力は期待できるが、

木造や鉄骨造の外壁については、雨水の止水機能しか要求されていないので、洪水浸水に対してどの程度耐えられるかは疑問。既存建物の乾式等の外壁に対しては、屋根や床防水に用いられるウレタン塗膜や樹脂系シートを浸水部の外壁に張ることで防水性能強化が考えられる。

5) 設備対策事例

機械や換気口の高所移設、機械基礎嵩上げなど、浸水深以上への高所設置や、下水道配管からの逆流防止等がある。

4.6.10 水害復旧計画の立案について

BCP では、事業が遭遇する可能性が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に維持管理することが求められる。

また、BCP が求める被災後の復旧計画は、例えば、工場では、事務所や工場等の建屋が業務を安全に行える状況あるかどうか、電気、ガス、道路、通信等のライフラインの復旧までの時間はどの程度見込んでおくのか、サプライチェーンを含む生産ラインをどのように再開に持っていくのか等々、事業部門や施設管理部門を始めとする会社組織が一体となった調整の上、立案されるものである。

水害に対しては、地球温暖化から巨大台風の出現が予想されているものの、この半世紀我が国で発生した水害は、局地的豪雨による中小河川からの氾濫や都市部低地や窪地で発生する下水氾濫が多くを占め、国内では被災地域も震災のように広域ではなく局地的な範囲での発生となっている。そのため、国内ではライフラインへの影響も限定され、氾濫水が引けばライフラインの復旧は早く、BCP に対するライフラインの影響は小さい。

従って、水害の復旧計画では、浸水後の後片付けと浸水した生産ラインや工場や一般ビル等の施設の修理･修復を、如何に迅速に実施するかカギとなる。

そのためには、想定される浸水被害に対して、予め復旧手順を定め、それに伴う復旧時間･コストの見積を行っておくことは重要な計画検討事項となる。

工場や一般ビル等の施設の修理･修復を対象とする復旧計画立案のステップを**図 4.6.10-1** に示す。

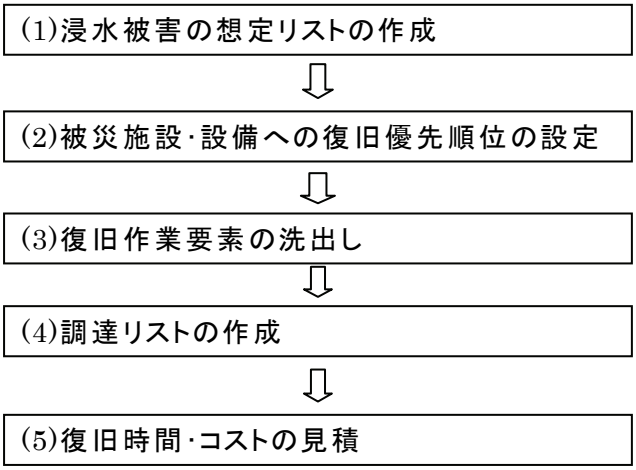


図4.6.10-1 復旧計画立案への検討ステップ

1) 浸水被害の想定リストの作成

洪水ハザードマップ等の情報から浸水深さを推定して、その浸水深さで発生する被害をできるだけ定量的に想定する。

【ポイント】

・水害時における建物や設備の被災防止策や浸水時の初動対応が実施されておれば、それによる効果も勘案する。

・被害想定リストの仕分けは、復旧時間や復旧コストの見積に利用できるように整合性を持たせておくとよい。

表4.6.10-1 被害想定リスト例

被災分類	被害項目と内容	想定数量	備考
屋外駐車場	①流入した土砂･ガレキの堆積	土砂：○○m³ ガレキ：○○m³	
	②流入した土砂による排水施設の埋没	埋設管：○○m ﾏﾝﾎｰﾙ：○○ヶ 側溝：○○m	
	③窪地への残水	○○m³	
建物(地上)	④浸水した床	○○m²	
	⑤浸水した壁	外壁：○○m² 内壁：○○m²	
	⑥浸水した建具	ドア：○○ヶ所 窓：○○ヶ所	
設備	⑦エレベータ：ピット水没	○○ヶ所	
	⑧電気：1階床埋設電線管浸水	○○m	
	⑨浄化槽：土砂流入･排水ポンプ故障		
	⑩エアコン：屋外機冠水による故障	○○ヶ所	
家具什器等	⑪冠水した家具･什器	畳：○○枚 木製家具：○ヶ	
	⑫冠水した電気製品	パソコン:○○台 冷蔵庫：○○台 ｺﾋﾟｰ機：○○台	
建物(地下室)	⑬原料、仕掛品、製品在庫	○○m³	

2) 被災施設･設備への復旧優先順位の設定

次のような観点から優先順位を設定する。

【ポイント】

・BCP で定められた災害時継続業務の遂行に関連する被災施設や設備

・復旧作業を円滑に効率的に進めるに当って優先度の高い被災施設や設備

・ライフラインの復旧時間を考慮した被災施設や設備

・人命の確保のための応急措置が必要な被災施設や設備

3) 復旧作業要素の洗出し

浸水後の復旧活動は、氾濫水が引き、天候が回復すると直ちに被害確認や後片付け作業を開始し、後片付けが済むと消毒、並行して建物･設備の被害診断や応急措置工事を行い、復旧工事計画の策定後、仮設設備の導入による建築･設備の仮使用や工場での一部生産再開を目指した仮復旧工事の実施、その後、建築･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が実施される。

【ポイント】

・復旧作業の作業要素を上位から下位レベルまで体系的に分解する。これに当っては、特に定められた原則はないが､復旧･復興作業を遂行する組織や管理形態を念頭に置いて、工程やコスト計画や各作業の進捗計測が可能なような分割を考える
・作業要素の定義は、上位作業とそれを構成する作業要素と階層に分け、最下層に実際の作業管理の対象となる作業要素を配置する WBS(:Work Breakdown Structure)図を作成すると復旧に必要な全作業の把握や参加者間の作業の共通認識化の一助となる。参考に、当研究部会で作成した復旧活動に関する職場チームと BCP 管理チームの WBS 図例を、**図 4.6.10-2** 及び**図 4.6.10-3** に示す。
・復旧作業要素の洗出しに当っては、構成要素の漏れや重複が無いことに注意する。

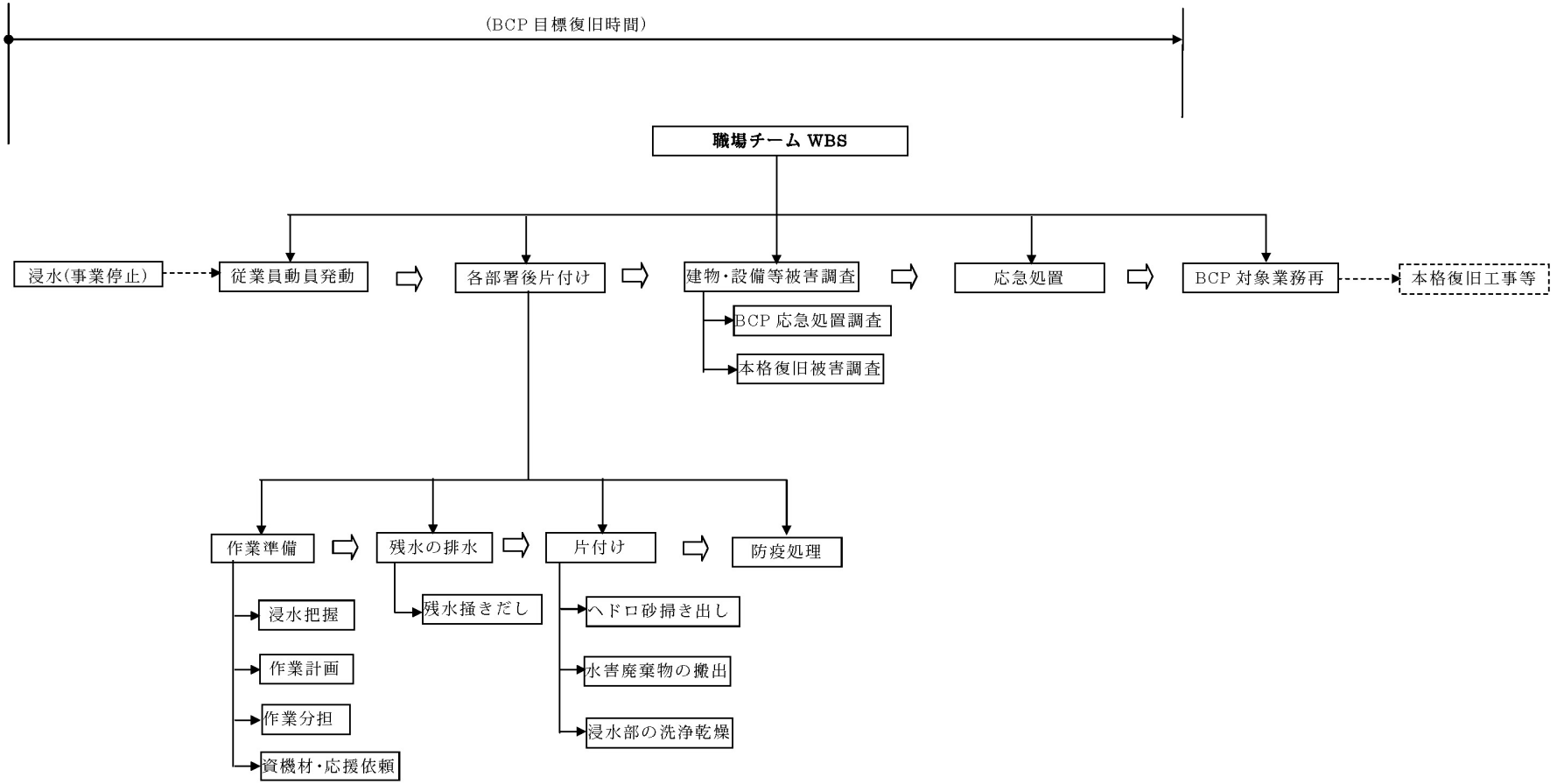


図 4.6.10-2　職場チーム WBS 図　　(部会委員作成)

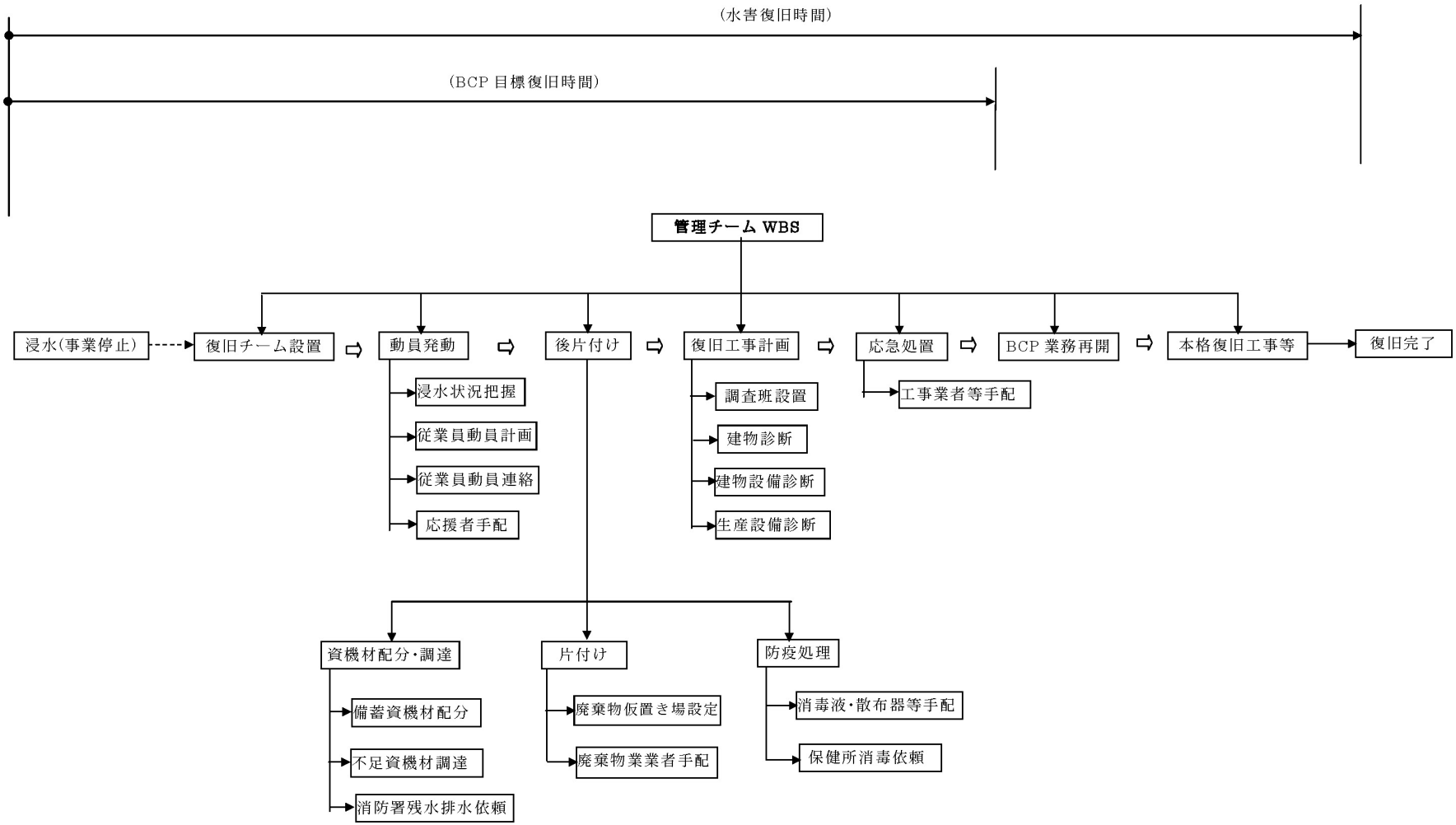


図4.6.10-3　管理チームWBS図　　(部会委員作成)

4)　調達リストの作成

復旧作業に必要な労務、資機材、仮設設備や専門工事業者について、その購入数量や発注仕様等を特定する。復旧作業を従業員等が中心となって行う浸水後片付け作業とその後の専門工事業者への発注が中心となる仮復旧･本復旧工事に分けて考える。

【ポイント】

・従業員が中心となって行う後片付け作業と専ら専門工事業者に委託する外注作業に分けて考える。
・後片付け作業の労務は、社外からではなく従業員が主になり、社内から調達することになる。主な作業は、①敷地内、建物内の浸水状況の確認、②氾濫水で流入したガレキ、汚泥や土砂等の除去や浸水で発生した廃棄物の搬出、③浸水部の洗浄、消毒、乾燥が挙げられる。
・後片付け作業に必要な資機材リストを**図 4.6.10－4** と**表 4.6.10-2** に示す。
・後片付け作業チームの人員構成は、1 チーム 5 名程度で考えておくのが作業効率上良いとされている。

図4.6.10-4　後片付け作業に必要な道具[45)]

出典：NPO法人レスキューストックヤードHP

表4.6.10-2　その他必要な資機材

たな、斧	ワイヤカッタ	工具セット	ゴムホース	小型発電機
汚水用水中ポンプ	排水用布ホース	投光器、 スタンド	ゴムボート	
救急用品	担架	非常食	給食用具	簡易トイレ
浄水器	飲料タンク			
ヘルメット	マスク	軍手、 ゴム手袋	懐中電灯	キャップライト
コードリール	ロープ	梯子		
ハンドメガホン	トランシーバー	洗剤	消毒液	消毒液噴霧器

・仮復旧や･本復旧工事については、生産設備や建物については、出入りの専門業者に想定される被害内容と目標復旧時間を示して、仮復旧案や本復旧案と工程表と費用見積書の提出を依頼する。

5) 復旧時間・コストの見積

復旧時間・コストの見積や工程表は、Microsoft Office Project 等の市販ソフトを使用して、タスク情報やリソース情報等を入力することで自動的に作成することができる。その概要を次に示す。

ここで、タスクとは、③復旧作業の洗出しで定義された最下レベルの作業要素を言う。

①タスク名に作業要素を入力する

②各タスクについて次の情報を入力する。

・所用期間
・開始日
・終了日
・先行タスク
・投入するリソース名

③工程の表示法を選択する(ガンチャート又はネットワーク)。

④ガンチャートにて BCP 目標時間が達成できるかどうかをチェックする。

⑤リソースを定義する。

例：

・時間単価型(作業時間に対してコストが発生するもの)
・数量単価型(使用した量によってコストが発生するもの)
・コスト型(外注工事や購入物など作業時間等に依存しないもの)

⑥タスクにリソースを割振る。

4.6.11　水害後片付け作業時の注意事項

1)　基本事項

①徹底した衛生管理を

浸水するということは、泥水ではなく、汚水に浸かることと認識すること。そのため、徹底した衛生管理が必要。通常の水害では、下水やし尿が氾濫し、又、腐敗物や多くのゴミが漂着し、散乱した状態になり、非常に不衛生的な環境になる。上水道が供給停止になるような場合や井戸水の汚染が発生する場合には、清浄な水の供給源がなくなり、汚染された水や手指から、様々な病原菌による感染の可能性がでてくる。よく作業現場の被害状況を把握して、十分な環境の清浄化を実施した上で、業務や製造を再開する必要がある。

②感電に注意を

浸水部に設けられたコンセント等からは漏電･感電の危険性がある。地下室等浸水した部屋へ入る場合は、必ず遮断機が切られていることの確認を心掛ける。

③思ったよりも力仕事が多い

水を含んだ物は想像以上に重い。運び出しなどは無理をせず、何人かで力をあわせて行なうよう心掛ける。

④食中毒に注意を

浸水した衛生状態が悪い場所での炊き出し等は、食中毒防止対策の徹底が肝要。

⑤服装

図4.6.11-1　水害後片付け作業の服装[45)]

出典：NPO法人レスキューストックヤードHP

2)　食品加工場や厨房等の食品を取扱う現場での注意点

①浸水被害にあった衛生備品類、清掃洗浄・乾燥の困難な道具類をすべて廃棄

浸水にあったペーパータオル、手袋、マスク等の衛生関連の備品・消耗品は、細菌の感染を助長するので、速やかに、撤去し廃棄することが必要。木製の道具は、洗浄が難しいので、廃棄を前提に検討。

②清掃洗浄のための資材の準備

浸水は､清掃洗浄のための道具や薬品､洗剤にも被害を与えている場合が多いので、必要なものを準備することから、始めなければならない。

（準備に必要なもの）

・ブラシ（清掃場所によって様々なものを用意）、スポンジ、バケツ、ホース等の清掃用具
・手袋、ゴーグル等の保護用品
・ペーパータオル、ふきん（十分な量が必要）
・薬剤や洗剤（必要な場合は小分け用の容器も揃える）、アルコールスプレー等
・泡洗浄機等があればさらに効率的

（薬剤の調整準備）

・次亜塩素酸ナトリウム（200ppm の希釈液）の準備
・アルコールを含浸したふきん等の準備

容器に入れて、アルコールを注ぎ、布にアルコール含浸させるが、容器は、蓋をしておくこと。また、使用した布は、容器に戻さないこと。アルコール含水布は火に近づけないこと。

・アルコールスプレーの準備

（清掃洗浄の実施）

被害の程度によっては、設備を一旦、作業現場から移動して清掃洗浄をする必要があり、そのような場合は、設備を外部に移動した場所をしっかりと洗浄・消毒後に十分な換気･乾燥をさせることが大切｡設備を外部に移動しないで､洗浄をする場合は、汚水や汚れの落下を防ぐために、天井、壁、機械器具、床の順序で、高い所から順に洗浄。

洗浄の基本は、細菌が対象のため、食品安全の洗浄手順を守ることが重要。

・洗浄に使用する洗剤は除菌効果があるものが望ましい。
・洗浄後は、十分乾燥し、殺菌。次亜塩素酸ナトリウムやアルコールの殺菌能力を阻害しないように

水分に気を付ける。

・細菌は見えないので、汚れが目視できない部分も十分な洗浄殺菌が必要。

（装置や器具の洗浄）

・作業場所全体の汚れを流水で洗い流す。
・洗浄除菌剤を使用して、装置や器具を洗浄する。
・流水ですすいだ後、水分を除去する。
・アルコールを噴霧又は、アルコール含浸布で拭きとる。
・まな板の場合は、水分除去後に、次亜塩素酸ナトリウムを含ませたふきんで 15 分

程度覆い、その後、流水で濯いでから乾燥。
（作業場所・作業台やシンク・冷蔵庫などの洗浄）
・洗浄除菌剤を使用して洗浄。流水ですすいだ後、水分を除去。
・アルコールを噴霧又は、アルコール含浸布で拭きとる。
（床の洗浄）
・洗浄剤を撒いて床を洗浄する。泡洗浄が効果的、床に使用する洗浄剤は、強力なものを選定するとよい。
・流水ですすいだ後、水分を除去する。
・次亜塩素酸ナトリウムを床全体に塗りのばす。
・流水ですすいだ後、水分を除去する。
（洗浄後）
・使用したブラシ、スポンジ等、ふきんや手袋等は、廃棄する。

3) 断水時の食品取扱い上の注意点
災害時の断水で水道水が使用できないときは、次にて対処する。
・手指消毒
①手洗いようにペットボトル等に清水を確保し、手指を洗う
②アルコール含浸布やアルコール製剤で手指消毒を行う
＊水が確保できない場合は、衛生手袋を着用した上からアルコールを噴霧消毒する
・食器の消毒ができない場合には、食器にアルミホイルやラップを敷いて対処する
・アルコール含浸布は、清潔なふきんを必要枚数密閉容器に入れて、アルコールを注ぎ、布にアルコール含浸させ、容器は、蓋をしておくこと。また、使用したふきんは、容器に戻さないこと。

4.6.12 地盤高(標高)を知る資料

洪水 BCP においては、検討地点周辺地形の地盤高(標高)を知ることがまず必要となる。そのための資料として、次が参考となる。

①国土地理院「地図閲覧サービス“ウォッちず”」 http://watchizu.gsi.go.jp/
・1/25,000 縮尺の地形図(全国土)が閲覧できる。
②国土地理院「電子国土ポータルサイト」 http://portal.cyberjapan.jp/index.html
③国土地理院「基準点成果等閲覧サービス」 http://sokuservice1.gsi.go.jp/
④国土地理院発行「数値地図 5m メッシュ(標高)」、「数値地図 50m メッシュ(標高)」
・日本地図センター販売
⑤国交省「ハザードマップポータルサイト」“精密基盤標高地図”
http://disapotal.gsi.go.jp/
⑥その他
・国土地理院・土地条件図 http://www1.gsi.go.jp/geowww/themap/lcm/
・ハザードマップ作成に必要な基礎的な地理情報として整備されたもの
・国土地理院・地盤高図 http://www1.gsi.go.jp/geowww/themap/jbk/
・国内の主要地盤沈下地域の地盤高(標高)の情報

地図で国土全体をカバーしている最小縮尺図は、高度地理院発行の 1/25,000 の地形図であるが、これより小縮尺図については現在次の地図が市区町村等で作成されているとされている。特に、都市計画図は、市区役所、町村役場で購入することができる。

・森林基本図(1/5,000)
・都市計画図(1/2,500)
・地籍図(1/250～1/5,000)
・道路台帳(1/100～1/1,000)

洪水シミュレーションに用いられる数値地図には、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ(標高)等は、50m、250m 等のメッシュ区画ごとに標高、土地利用等の情報を持たせたもので、50m メッシュの場合、地形図上 2mm 四方のメッシュの中心の点の標高値が示されている。Birds　View（日本地図センター発売）等のソフトを使用すれば標高データを使って鳥瞰図、陰翳図、等高図等の作成が可能となる。特に、数値地図 5m メッシュ(標高)は、航空レーザ測量によって直接計測したデータから、建物及び橋等の人工構造物、樹木等を除去し、5m 間隔に標高を内挿補間して求めた数値標高モデルデータである。

・標高データは、1 メッシュ(5m×5m)の中心の値
・標高データは、10cm 単位に記録

4.6.13　洪水時、地下階から安全に避難できるかどうかの判定法について [46),47),48)]

地下階への浸水対策は、次のような対象別に検討されるが、特に②、③については防水対策よりまず地下階から地上階への避難に十分な時間が確保されているかを把握することが重要となる。

①不特定多数が利用する地下街･地下鉄･大規模ビル等の地下空間
②主に特定の少数が利用する中小ビル･共同住宅等の地下室、半地下室や地下駐車場等
③戸建住宅の地下室や半地下室

洪水時、地下階から避難する際に避難が困難となる判断基準として次が使用されている。

①避難の際、扉が開かなくなり、且つ歩行が困難になる浸水深さ 30cm
②地上への避難階段において、階段を昇るのが困難になる階段踏面上の浸水深さ 20cm

従って、避難可能時間は、地上から地下階に侵入した水が、地下階の部屋の扉が全て閉っていると仮定したとき、通路部で推進 30cm になる時間と地上部の浸水が地下階に通じる階段から流入する水の水深が 20cm になる時間でどちらか短い方になる。
この避難可能時間に対して、安全に避難できるかどうかをチェックすることになる。

1)　地下への流入水量と水深計算

地下階浸水による地下水深の算出は、以下の手順にて行う。

(1)　地上浸入水の想定浸水速度を設定

・想定浸水速度とは、地上部における浸水上昇速度を言い、次の方法により設定する。

①浸水想定区域図等の水深から推定する方法

・水深　0.0～0.5m　：　想定浸水速度　2cm/min
・水深　0.5～2.0m　：　想定浸水速度　3cm/min
＊水深 2m 以上については、地下室への浸水対策が必要
②窪地の判定による方法
・水位より地盤高の低い窪地は、水が集まりやすいので、想定浸水速度は大きくなる傾向があり、窪地率から想定浸水速度を設定する。
・窪地率が 20%以下の場合、想定浸水速度 3cm/min
・窪地率が 20%以上の場合、想定浸水速度 2cm/min
・窪地率：50m メッシュの平均地盤高データを使用して、調査地点を中心とした 1km 四方内の 50m メッシュ平均地盤高の低い方から順番に順位を付け、
窪地率＝(当該メッシュの低い方からの順位数)÷(全メッシュ数)
③河川の氾濫や高潮による浸水が想定される区域では、この浸水の特性を踏まえた速度

(2)　地下階への流入口からの流量算出
t 時刻の地階への流入量 Q(t) (m3/s)
$Q(t)=1.59B\cdot H(t)1.65$
B：流入幅(m)
H(t)：t 時刻の地上の浸水深(流入口敷高からの水深)

(3)地下階の浸水時間変化の算出
t 時刻の地階浸水深 h(t)
$h(t)=V(t)/As$
V(t)：t 時刻の地階に流入した容積
As：流入水がたまる地階の床面積

2)　避難所用時間の推定
(1)　管理者等が浸水の危険性を認知するまでの時間
地階の浸水の危険性を認知するまでの時間(次のうち最も短い時間)
・地上に居る管理者等による地上階の浸水に気付き避難連絡で地下在室者が変位に気付く時間（地上の浸水深が 10cm 以上となる時間）
・地下階に水が流入したことを体感して異変に気付く時間(地階の廊下等の水深が 10cm 以上、居室が 3cm 以上となる時間)
・浸水センサーが設置されている場合、設定水深までの時間(3cm とする)
(2)　地下階全員の認識と避難行動開始までの時間
浸水の危険性に気付いてから階に存する避難を開始するまでの時間 T2(min)
$T2=(\sqrt{Af})\div 30+3$
Af：当該階の各室と当該階に設けられた直接階段への出口を通らないと避難ができない部分の床面積(㎡)

(3)　地下フロア出口までの移動時間

地下階に存する者が各室から直通階段に達する避難時間 T3(min)は、歩行距離÷歩行速度より求めるが、浸水時の歩行速度は、通常の歩行速度 60m/min の 1/2 程度を見込む。

(4)　地下階から避難階段の扉の通過に要する時間

地下階に存する人が一斉に避難階段に向うと、入口の扉の幅が狭いため、その前で留まり現象が発生する。その時間を次式で算出する。

T4＝N/90B

N：避難人数　B：有効入口幅 m

(5)　階段を上り地上へ脱出に要する時間

階段の歩行距離と階段上りの歩行速度から求めるが、通常の歩行速度 27m/min の 30%程度を見込む。

(6)　避難行動時間

(1)～(5)の時間を合計したものが、避難行動時間となる。

地下空間の安全のための検討資料として、東京都 HP「東京都地下空間浸水対策ガイドライン」、国交省河川局 HP「地下空間における浸水対策ガイドライン」、日本建築防災協会 HP「地下街等浸水時避難計画策定の手引き」がある。

4.6.14 用語

洪水	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、又は河道から氾濫すること
浸水	洪水等で、ものや建物が水に浸かった、水が入りこむこと
冠水	洪水等で、田畑や作物が水を被ること
溢水(いつすい)	堤防のない河川で、水が溢れ出ること
湛水(たんすい)	水をたたえること
越水(えつすい)	増水した河川の水が堤防を越えて溢れ出ること
破堤(はてい)	堤防が洪水で決壊すること
出水	大雨や融雪などにより川の水量が増大すること
増水	平常の水位よりも水かさが増すこと
氾濫	川の水がいっぱいになって溢れ出すこと
内水氾濫	河川の水位の上昇や流域内、下水道排水区域などでの多量の降雨などにより、雨水排水が困難となり浸水すること。これに対して、河川の氾濫を外水氾濫ともいう
洪水予報指定河川（指定河川）	水防法により、洪水予報の対象として国土交通大臣または都道府県知事が指定した河川
流域平均雨量	実況および予想の河川の流域ごとの面積平均雨量。河川の洪水と関係する
再現期間	ある現象が平均的に何年に1回起きるかを表した値
確率降水量	ある再現期間に1回起こると考えられる降水量 過去の降水量の観測データをもとに、50年、100年といった長期間に1回の稀な大雨はどれくらいかを確率分布を当てはめ統計的に推定した値
BIA	Business Impact Analysis：影響度分析、ビジネスインパクト分析：事業、業務が停止した場合、その停止期間が企業に与える影響を分析し、重要業務や許容される中断期間、目標復旧期間、ボトルネックの抽出等の評価を実施するプロセス
MTPD	Maximum tolerable Period of Disruption：(最大)許容中断時間：業務が中断した場合、許容されうる最長の中断時間
RTO	Recovery time Objective：重要業務を復旧させるべき目標時間のこと

4.6.15 Webから入手できる参考文献一覧

上にあげたものも含め、インターネットから入手可能な水害対策および BCP のための参考文献の一覧を示す。

「洪水ハザードマップ作成の手引き」国交省
「浸水想定区域作成マニュアル」国交省
「中小河川浸水想定区域図作成の手引き」国交省
「洪水浸水想定区域図作成指針」熊本県
「急流河川における浸水想定区域検討の手引き」国交省
「高潮・津波ハザードマップのあり方に関する検討」国交省
「高潮・津波ハザードマップ作成マニュアル(案)」国交省
「津波・高潮ハザードマップ作成･活用事例集」国交省
「土砂災害ハザードマップ作成のための指針の解説(案)」国交省
「下水道 BCP 策定マニュアル(地震編)」国交省
「業務継続のための官庁施設の機能確保に関する指針案」国交省
「ボランティアによる水害復興作業マニュアル(案)」
「水害ボランティア作業マニュアル」レスキューストックヤード
「水害被害からの復旧、復興プロセスに関する研究―2004 年台風 23 号から」
「集中豪雨から学ぶ―08.7.18 長浜市短時間豪雨による水害被害報告」滋賀県
「内水ハザードマップ作成の手引き(案)」国交省
「都市域氾濫解析モデル活用ガイドライン(案)－都市浸水」国土技術政策総合研究所
「NILI2.0 都市域氾濫解析モデル・マニュアル」国土技術政策総合研究所
「東京都地下空間浸水対策ガイドライン」東京都
「地下空間における浸水対策ガイドライン」国交省
「地下街等浸水時避難計画策定の手引き」日本建築防災協会

参考文献

1) (社)日本損保協会　自然災害に備えて　水害とは－概論
http://www.sonpo.or.jp/protection/disaster/flood/0001.html
2) 内閣府；事業継続ガイドライン　第二版；
http://www.bousai.go.jp/MinkanToShijyou/guideline02.pdf
3) 国土交通省　XバンドXバンドMPレーダ雨量観測（試験運用実施中）
http://www.river.go.jp/xbandradar/index.html
4) 東京都下水道局　東京アメッシュ
http://tokyo-ame.jwa.or.jp/
5) 気象庁　異常気象リスクマップ「100年に1回の大雨」は何mmくらい？；
http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/sfc_qt.html
6) 国土地理院「地図閲覧サービス“ウォッちず”」
http://watchizu.gsi.go.jp/
7) 国土地理院「電子国土ポータルサイト」
http://portal.cyberjapan.jp/index.html
8) 板橋区洪水ハザードマップ
http://www.city.itabashi.tokyo.jp/c_kurashi/009/009967.html
9) 佐藤他「洪水氾濫の数値計算及び家庭被害について」,第37回水理講演会論文集1989.2
10) 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
11) (社)日本ファシリティマネジメント推進協会；ファシリティマネージャーのための事業継続管理
12) 中小企業庁；中小企業BCP策定運用指針　第1版；
http://www.chusho.meti.go.jp/bcp/index.html
13) 事業継続機構（BCAO）；中小企業BCPステップアップガイド；
http://www.bcao.org/data/01.html
14) 国土交通省河川局「中小河川浸水想定地域図作成の手引き」（平成17年6月）p.14；
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/050705/04.pdf
15) 中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」報告（平成22年4月）
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402_shiryo_2.pdf
16) 気象庁；異常気象リスクマップ　大雨が増えている：
http://www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/heavyrain.html
17) 気象庁；アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html
18) 気象庁；レーダーナウキャスト
http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/
19) 気象庁；解析雨量・降水短時間予報
http://www.jma.go.jp/jp/radame/index.html
20) 神戸市　レインマップこうべ250
http://rainmap-kobe250.jp/

21) 埼玉県　埼玉県内の雨量・水位
http://micos-sa.jwa.or.jp/metro/saitama/pc_web/
22) 国土交通省　洪水ハザードマップ作成の手引き
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/hazardmap/index.html
23) 国土技術総合政策研究所　「NILIM2.0　都市域氾濫解析モデル」
http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/nilim/index.html
24) ㈱日立エンジニア・リングアンド・サービス　リアルタイム洪水シミュレータ「DioVISTA/FloodSimulator」
http://www.hitachi-hes.com/products/product03/p03_08.html
25) 国土交通省　「内水ハザードマップ作成の手引き（案)」の改定について(H20.12)；
http://www.mlit.go.jp/report/press/city13_hh_000040.html
26) 国土交通省　「津波・高潮ハザードマップ作成・活用事例集」の作成について(H17.7)；
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/050728_.html
27) 国交省河川局　土砂災害ハザードマップ作成のための指針と解説(案)（H17.7)；
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/050729/01.pdf
28) 国土交通省　砂防の役割と対策　土石流とその対策；
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link03021.htm
29) 国土交通省　砂防の役割と対策　地すべりとその対策；
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link03031.htm
30) 国土交通省　砂防の役割と対策　がけ崩れとその対策；
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link03041.htm
31) 国土交通省　ゼロメートル地帯の高潮対策検討会　第 3 回検討会参考資料「大規模浸水を想定した被害最小化対策の例」
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/shinngikai/takashio/051214/ref3.pdf
32) 組立式防水壁(アルミ合金製止水板
(有)エムアンドケイ　「ＩＢＳ簡易洪水防止壁システム」IBS Removable Floodwall
http://www.mkltd.co.jp/ibs.html
33) Aufstockbare Mobilwand Freudenberg / Main
http://www.hochwasserschutz.de/de/produktbereiche/hochwasserschutz/hochwasserschutzsys
34) 日本ピット　施工実績 JP-WP-1-D　脱着式
http://www.nihon-pit.co.jp/HP/bousui-9sekou.htm
35) 新日軽防潮板（止水版）G 型　公共施設設置例
http://shinnikkei.lixil.co.jp/products/building/exterior/water/water_gex.html
36) 岡村製作所　スイング式防水板
http://www.okamura.co.jp/product/security/public/b-sw.html

37) 日工マシナリー　スイング式防水板
http://www.nikko-net.co.jp/machinery/toshibousai/swing.html
38) (株)日本ピット　手動起伏式防潮板
http://www.nihon-pit.co.jp/HP/bousui-6syudou.htm
39) 新日軽防潮板（止水版）SLT 型　学校施設設置例
http://shinnikkei.lixil.co.jp/products/building/exterior/water/water_sltex.html
40) 岡村製作所　スライド式防水板
http://www.okamura.co.jp/product/security/public/b-sl.html
41) 日本ピット　施工実績 JP-WP-1-D　JP-WP-ST　シート式
http://www.nihon-pit.co.jp/HP/bousui-9sekou.htm
42) 岡村製作所　防水扉
http://www.okamura.co.jp/product/security/public/waterproofdoor.html
43) 新日軽防潮板（止水版）　OP4 型（片開き戸）　設置例
http://shinnikkei.lixil.co.jp/products/building/exterior/water/water_op4ex.html
44) 静岡市　積み土のう工
http://www.city.shizuoka.jp/deps/bosai/siz_vfld_works_tumido.html
45) NPO　レスキューストックヤード　水害作業ボランティア作業マニュアル
http://rsy-nagoya.com/rsy/common/pdf/suigai-manual.pdf
46) 東京都 HP「東京都地下空間浸水対策ガイドライン」平成 20 年 9 月
http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/topics/h20/topi046_01.pdf
47) 国土交通省「地下空間における浸水対策ガイドライン」平成 14 年 3 月
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/
48) 日本建築防災協会 HP「地下街等浸水時避難計画策定の手引き」平成 16 年 5 月

第５章　地域の自立（分散型）に向けて

5.1　水害地域における被害の特徴とその対応策について

治水され安全なはずの水が、暴れだして人里を襲い、町を破壊するほどの猛威を振るうとは、平穏な日常生活からは想像を絶した出来事であり、慌てふためいて、冷静な対応はとても出来ない現実に、突然直面することになるのが豪雨水害の恐ろしさである。

5.1.1　水害地域における被害の特徴

台風や豪雨により水害が発生した場合には、地形的な被害やライフラインへの被害は必ず発生すると言っても過言ではない。

土砂災害、具体的には、土石流・地すべり・がけ崩れが水害時には必ず発生し、復旧には相応の時間を要するケースが多いと考えられる。

停電のピーク被害としては、数千数万戸単位となる、送電線に被害が無い限り、復旧は早いようである。都市ガスが供給停止することもあるが、地域事情によりプロパンガスを利用の場合には、直接的な被害はないと考えられる。

上水道では、ピーク被害として 100 戸から数万戸単位で断水が発生することが多く、復旧は早いと考えられるが、給水車を利用してのサービス維持が一般的に行われている。下水道は、処理場やポンプ場に被害が発生しない限り、問題ないが、仮に管渠に被害が発生したケースでも、応急復旧配管とポンプ圧送の組合せによりサービスを維持することが可能である。

通信関係では、固定電話回線が、数千・数万単位で使用不可となることが発生し、携帯電話の基地局が、数十数百局単位で停波することもあるが、通常は早く復旧するとみられる。

放送関係では、テレビジョン中継局が、商用電源遮断等により停波することや、中波ラジオ放送局が、中継回線遮断により放送停止することもあるが、これらも期間は短いと考えられる。

水害発生から洪水が引いた後の、日常生活の回復には、道路の交通やライフラインが必要なので、災害救助法が適用されてその災害復旧にあたるのが通常である。このようなことは、毎年発生しているので、水害へ備えることは他人事ではない。

5.1.2　水害被害への対応策について

水害は大きな被害をもたらすことが多く、従来からの防災施設・整備だけでは、完全には防ぎきれないのが現状である。

しかし、水害の被害に遭った住民にとっては、ライフライン（電気・水道・ガス等）の確保が、日常生活の回復に向けて最も必要であり、地方公共団体や各事業者にとって重要業務となっている。

特に、土砂崩れ等が原因で発生したライフラインの損傷では、復旧には相応の時間が必要となってしまう。従って、日常生活のいち早い回復のために、「水害 BCP」の策定が望

ましい。

第 4 章で提案した「水害 BCP ガイドライン」に沿って、各地方公共団体においてそこの地域事情を反映させた「水害 BCP」が策定がされていくことを期待したい。

5.2　推進ロードマップについて

「水害 BCP 策定ガイドライン」の今後の推進と普及については、以下のように中長期的に展開していくことが望ましい。

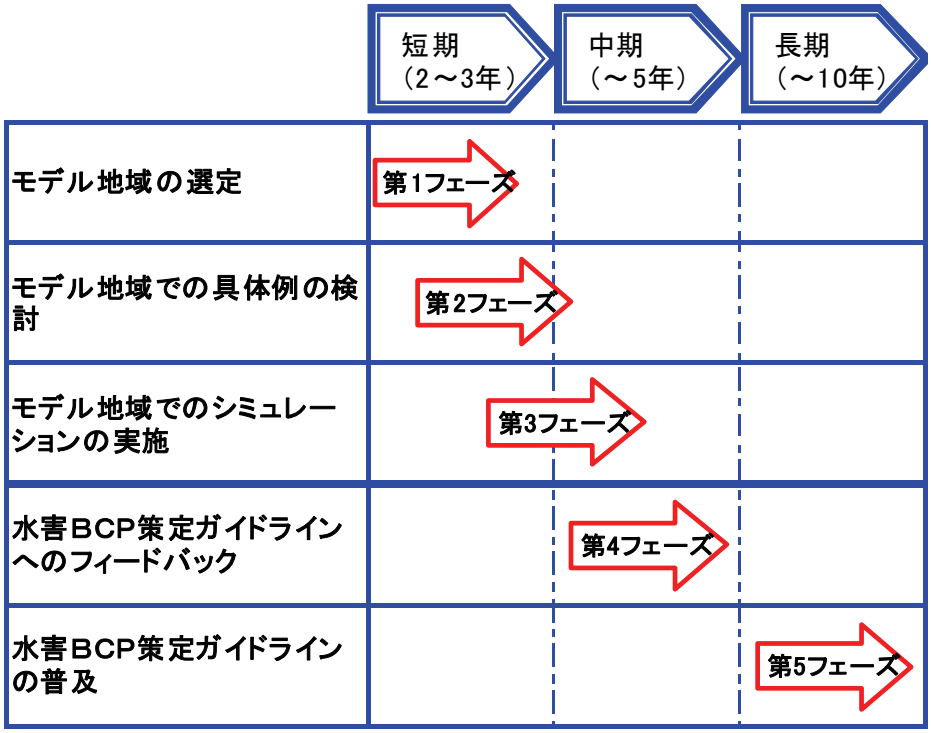


図 5.2-1　水害 BCP 策定ガイドラインの普及ロードマップ

5.3　これからの時代の水害復興への方向性について

不幸にして、台風や集中豪雨による水害で大きな被害を受けた地域においては、尊い人命が損なわれることがないように、まずは急速な対応や応急復旧が急務である。そして、水害対策が一応の成果を収めたら、次には地域の恒久的な復興計画のスタートとなる。

高度成長時代においては、増え続ける人口増大圧力に対応するために住宅地や商業地の開発を行うことにより、公共施設や土木施設が新しく整備され快適な生活環境が提供されると同時に、地域の開発・整備の一環として災害復旧・復興の対策も実施されてきた。

しかしながら、21 世紀となり、わが国の経済は低成長時代に突入し、日本の総人口も減少していく時代になった。

国立社会保障・人口問題研究所は、平成 22 年国勢調査の人口等基本集計結果、ならびに同年人口動態統計の確定数が公表されたことを踏まえ、これら最新実績値に基づいた新

たな全国将来人口推計を行ない平成 24 年 1 月 30 日に発表 [1]した。

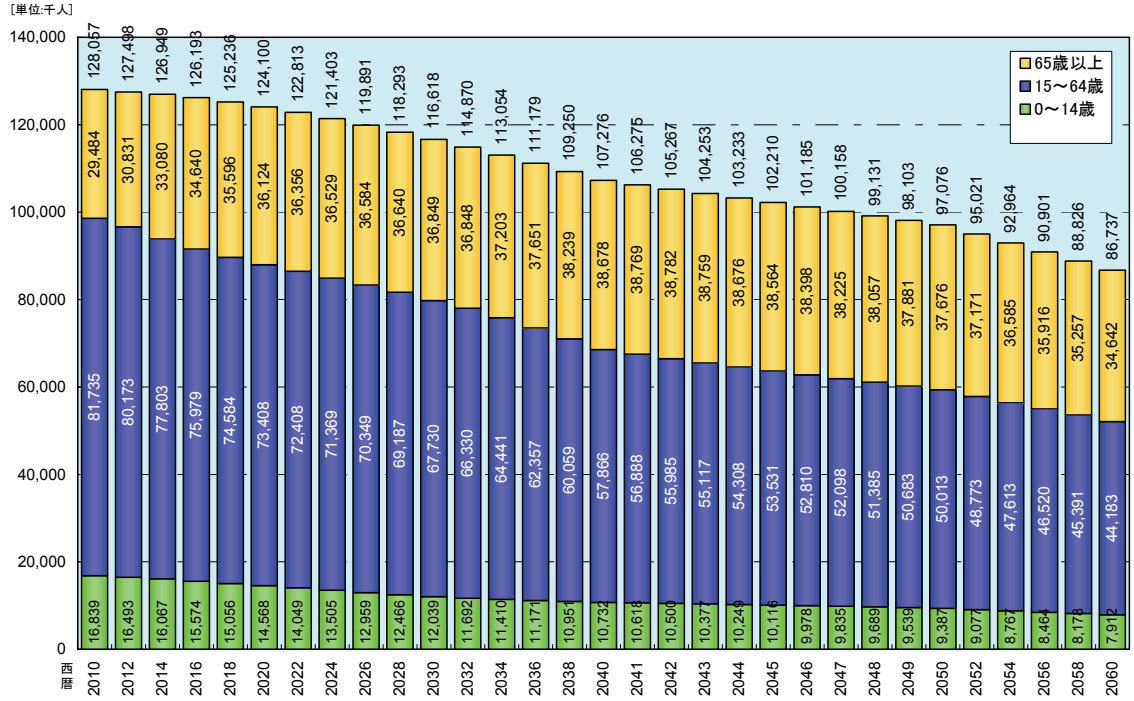


図 5.3-1　年齢 3 区分(0～14 歳, 15～64 歳, 65 歳以上)別人口(出生中位(死亡中位)推計) [1)]
(国立社会保障・人口問題研究所データを元に作成)

平成 22 年(2010 年)国勢調査による 1 億 2,806 万人から、平成 32 年(2020 年)には、総人口で 395 万人(4.1%)、生産年齢人口で 832 万人(10.2%)が減少し、平成 42 年(2030 年)には、総人口で 1,144 万人(10.3%)、生産年齢人口で 1,400 万人(17.1%)が減少するとの推計となっている。(**図 5.3-1 参照**)

また、大都市圏から離れた地域ほど人口の減少と高齢化のスピードが早まると想像される。従って、特に、農村部や山間部などの水害の影響が大きいと考えられる地域のおいては人口減少や少子高齢化の影響が、水防団等の地域防災のソフト的システムの維持・継続の障害となることが予想される。

従って、これからの時代における水害被害からの復旧時には、地方公共団体が、地域防災のソフト的システムの見直しと災害情報伝達手段の強化について、より現実的な検討が必要となる。

人口減少が顕在化した今日では、大規模な防災設備の整備計画の立案・実施は困難ではないでしょうか。これからは、高度な ICT 技術を活用したソフト対策による減災対策についても検討すべき段階と考えられる。

また、災害情報伝達についても、防災無線だけでは豪雨時等には不十分であることが指摘されており、FM ラジオを配布してミニ FM 局による災害情報を発信している市町村もあるが、今後は、公衆無線 LAN(Wi-Fi)の普及が急速に進むことが予想されるので、ICT 技術を積極的に導入する必要があると考えられる。

地域によっては、英語だけでなく、ポルトガル語や中国語など多言語による災害情報発

信のニーズがあり、その対応にはWEBやｅメールによる災害情報を発信することにより、親切・適切な行政サービスの提供が可能になると思われる。

河川堤防や道路状況の監視においては、ICT 技術の積極的な導入により高度化が進んでいるが、これからは、個々住宅に提供している電気・水道・ガス・通信等のライフラインにおいても、スマートメーターの導入や公衆無線 LAN（Wi-Fi）の活用による常時監視により、供給状況や水害被害状況を瞬時に把握できる高度化・スマート化が進んでくることが予想される。水害被害を受けた地域は復旧・復興を機に、電気・水道・ガス等にスマートメーターを設置してスマートユーティリティネットワーク[注1]を構築することにより、自立した「防災スマートシティ」への第一歩を進めることを検討課題として頂きたいと考える。（図 5.3-2）

注１：スマートユーティリティネットワーク(SUN)
ガス、電気、水道メータに無線機を搭載し、無線通信を介して検針データを効率的に収集する無線通信システム。電波の劣化等を考慮したうえで所望のサービスエリアを確保することや、システムメンテナンスの見地より省電力動作を確立することが主な技術課題と考えられる。将来的には、検針データの収集にとどまらず、収集データに基づいた、エネルギーの制御･管理技術等にも有効利用されることが予想される。

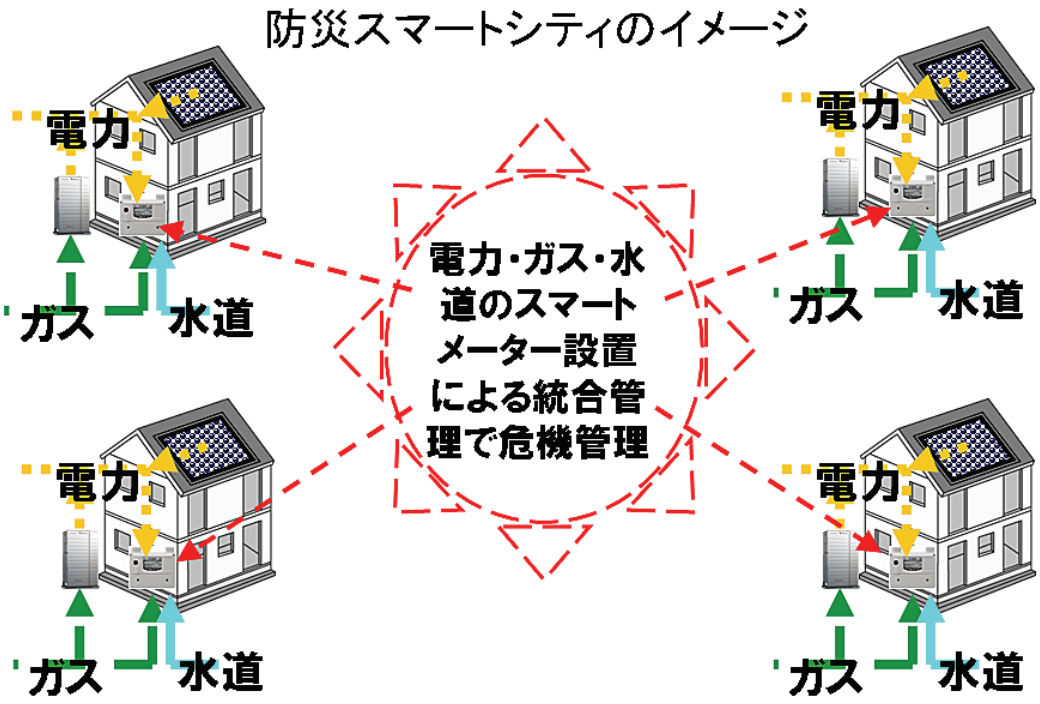


図 5.3-2　「防災スマートシティ」のイメージ（当研究部会作成）

5.3.1　環境未来都市選定について [2)]

「防災スマートシティ」の実現には、地域エネルギーやスマートグリッドを組み合わせたスマートシティへの取組・実現が不可欠である。

これらの先進的な取組として、内閣官房地域活性化統合事務局が「環境未来都市」構想の実現を図るため、2011 年 9 月に提案の公募を実施した。その結果、30 件の提案があり、

環境未来都市評価・調査検討会による評価等を経て、環境未来都市を選定した。

表 5.3.1-1　環境未来都市選定都市

タイトル	提案者名	概　要
人が輝く森林未来都市しもかわ	北海道下川町	低炭素・省エネルギーの分野における低炭素化商品等に経済的インセンティブが付与される制度の構築等の取組が特に優れていると評価
柏の葉キャンパス「公民学連携による自律した都市経営」	千葉県柏市、東京大学、千葉大学、三井不動産株式会社等	エネルギー、交通、福祉、災害対応、都市情報システム、創業支援など包括的な取り組みが検討されており、先駆的なシステムイノベーションの構築が期待。
OPEN YOKOHAMA－ひと・もの・ことがつながり、うごき、時代に先駆ける価値を生み出す「みなと」	神奈川県横浜市	CO_2 削減の中での都市イノベーション、スマートグリッドのサンプルとしては面白い。クリエイティビティーに焦点を当てているのも面白い。
コンパクトシティ戦略による富山型都市経営の構築～ソーシャルキャピタルあふれる持続可能な付加価値創造都市を目指して～	富山県富山市	低炭素・省エネルギーの分野における公共交通の利便性の向上等の取組が特に優れていると評価。
北九州市環境未来都市	福岡県北九州市	高度な環境対策を中核に据え、超高齢化対策やビジネス展開など他の課題へのシナジーも意識した計画となっており、産業、環境、都市マネジメントを包括するイノベーションシステム
気仙広域環境未来都市	岩手県大船渡市、陸前高田市、住田町、一般社団法人東日本未来都市研究会	齢化社会が進む中で自然災害が多発する時期を迎えるに当たり、広域連携に基づく高齢化社会での復興モデル構築を目指した提案
釜石市環境未来都市構想	岩手県釜石市	想定される再生可能エネルギー（電力、熱）等から期待される産業基盤のニーズと、地域に存在する産業力（技術をもつ高齢者）のシーズとのマッチング次第で、自立モデルの確立に期待
愛と希望の復興	宮城県岩沼市	高齢化社会と医療福祉・省エネルギーの各課題解決のために非常に有効なモデル
東日本大震災からの復興～あの日を忘れず　ともに未来へ　東松島－新～	宮城県東松島市	低炭素、高齢者介護と、防災コミュニティ形成を統合的に検討するイノベーションモデルの検討
次世代に繋ぐ循環型都市　南相馬	福島県南相馬市	東日本大震災と原子力発電所災害による被災地域の今後の再生という特別な前提条件のもとになされた提案

「やっぱり新地がいいね」～環境と暮らしの未来(希望)が見えるまち～	福島県新地町	震災からの復興とエネルギー問題・交通や情報インフラ整備による高齢化社会対応を目指す提案

出典：「環境未来都市」構想 WEB[2)]

これらの提案に共通するキーワードは「高度なエネルギーマネジメント」であり、これとライフラインの危機管理を組み合わせることにより**当研究部会は**「防災スマートシティ」構想へとステップアップさせることを考えている。以下に、選定された環境未来都市構想の一例を紹介する。

5.3.2 気仙広域環境未来都市構想[3)]

本市は、昨年 3 月 11 日の東日本大震災後、長期にわたって大規模な停電が続き、地域において自ら電力を生み出し､安定的に供給できる環境づくりの必要性を痛感させられた。

東京電力福島第一原子力発電所の事故を機に、これまで化石燃料や原子力に依存してきたわが国のエネルギー政策は、戦略の見直しを迫られている。来年 7 月からは、太陽光や風力など、地球環境への負荷が少ない「再生可能エネルギー」で発電した電力の買い取りに関し、電力会社への義務づけがスタートする。このようなことから、今、各地で再生可能エネルギーの導入への関心が高まっている。

また、本市では、市民生活や既存産業の振興、都市・産業基盤の再構築とともに、新たな産業創出による雇用の場の確保が急務となっている。

そこで、早期の復興を果たすため、今後の広域連携について気仙地域の 3 首長で話し合い、東日本未来都市研究会からの提案に基づき、地産地消型エネルギー社会の構築や超高齢化社会に対応した住みよいまちづくり、エネルギー産業の集積を中心とした地域振興に連携して取り組むこととし､「気仙広域環境未来都市」として共同提案されたものである。（**図 5.3.2-1**）

図 5.3.2-1　気仙広域環境未来都市 [3)]

出典：大船渡市「気仙広域環境未来都市」

■目指す将来像と主な取り組み

「気仙広域環境未来都市」が目指す将来像と、それを実現するための主な取り組みは次のとおりである。

（1）地産地消型エネルギー社会の構築

気仙地域における相当程度の電力を自ら生産し、情報通信技術を使いながら、安定的に供給を図り、地域全体のエネルギー消費を最適化する地産地消型エネルギー社会を構築する。

・蓄電池付大規模太陽光発電所の建設（**図 5.3.2-2**）

・ハイブリッド・エネルギーシステム[注2]の構築

注 2　ハイブリッド・エネルギーシステムとは、既存の電力会社からの系統電力と、新たに建設する自然エネルギー設備からの電力を組み合わせて使用するための仕組み。

・自然エネルギー活用型スマートグリッド[注3]の構築

注 3　スマートグリッドとは、次世代送電網といわれ、電力の流れを供給側と需要側の両方から制御し、最適化できる送電網のことで、専用の機器やソフトウェアが送電網の一部に組み込まれている。

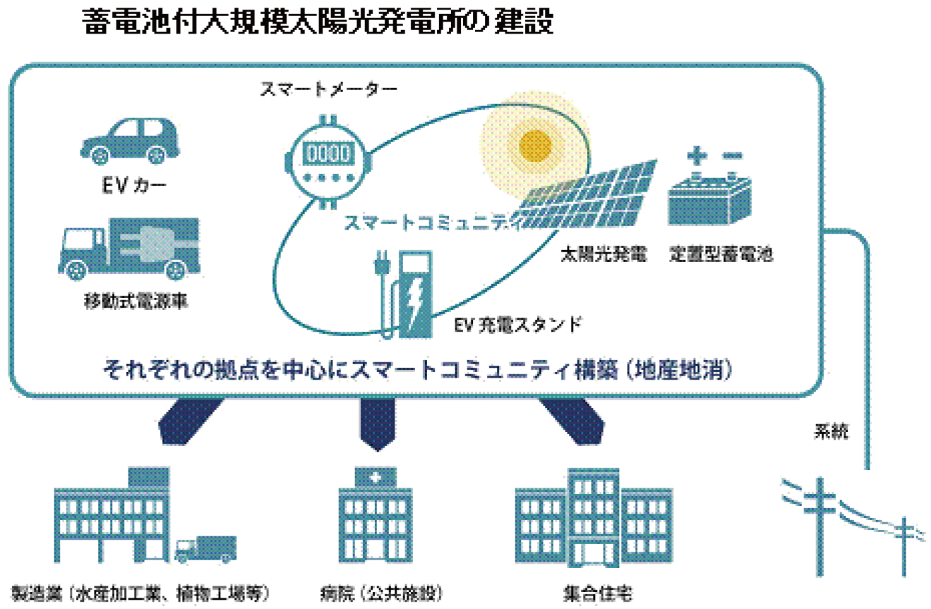


図 5.3.2-2　蓄電池付大規模太陽光発電所の建設 [3)]

出典：大船渡市「気仙広域環境未来都市」

（2）超高齢社会に対応し、誰もが暮らしやすいまちづくりの推進

住宅の高台移転に伴い、生活に必要な機能が近接し、高齢者などとって住みよい、小回りのきくまちづくりを進める。

- 高台を活用したコンパクトなまちづくり
- 高齢者にやさしい交通環境と先進移動手段の整備（マイクロ電気自動車、電気バスなど）
- 介護・福祉の先進モデルの創出
- 農業振興による高齢者の雇用創出（植物工場の整備など）

（3）産業振興と社会基盤の進展

エネルギー産業の集積､情報通信技術を生かした農林水産業の振興などを図りながら、地域社会の発展基盤づくりを進める。

- 大規模定置型蓄電池製造企業の誘致
- 電気エネルギー管理・運用システムの農林水産業への導入（植物工場、製氷・冷蔵倉庫の電気使用量の適正管理など）
- 地産地消型木造環境住宅団地開発モデルの創造

当研究部会では、次年度から具体的に「防災スマートシティ」の構想について検討を進める予定としている。概略スケジュールを以下に示す。

表 5.3.2-1「防災スマートシティ構想」検討の取組全体のスケジュール

	H.24 年度	H.25 年度
①既往の自然災害の実態調査		
水害を引き起こした気象条件、降雨データ		
水害地区の地形条件、被害領域の分布、被害額		
水害情報の伝達状況、避難誘導の状況		
②主要自治体における自然災害からの防御施設・手段の調査		
防災手段の具体例		
防災計画立案の経緯		
防災施設の分布状況		
防災施設の具体的諸元		
③スマートシティに関連する ICT 技術の調査		
スマートシティの概念		
スマートシティ関連で施行されている実施例		
スマートシティに応用可能と思われる ICT 技術		
④被害予測手法と避難誘導の情報伝達手段の調査		
洪水の影響エリアの予測手法		
避難勧告の発令時期と避難誘導情報の伝達方法		
⑤各種防災施設と低炭素都市化との関係性調査		
防災施設としての調整池の水を、散水等ヒートアイランド対策として利用する可能性の検討		
⑥従来のスマートシティの概念に防災施設の計画・運用を入れ込むための検討		

参考文献

1）国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計)」、
http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/gh2401.asp
2）内閣官房地域活性化統合事務局 「環境未来都市」構想
http://futurecity.rro.go.jp/
3）大船渡市「気仙広域環境未来都市」、
http://www.city.ofunato.iwate.jp/www/contents/1325048069240/index.html

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、2 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 水害の事例
② 企業 BCP と地域 BCP（DCP）の現状
③ 水害 BCP 策定ガイドライン
④ 地域の自立（分散型）に向けて

各項の調査研究結果を概括すると以下のとおりである。

① 水害の事例

・平成 23 年 3 月に起きた東日本大震災で被災した松島市・東松島市・石巻市・女川町を視察し、7 か月経った今日でもがれきの処理や幹線道路の応急復旧には進展が見られたが、破壊された RC 造建物や堤防・鉄道・道路・上下水道施設等はそのままであり、改めて津波による被害の凄まじさを目の当たりにした。

・平成 16 年/平成 23 年の 7 月に 2 度にわたり起きた豪雨水害で被災した五十嵐川・刈谷田川流域の新潟県三条市・長岡市・見附市を視察し、平成 16 年の災害を契機に河川整備や防災無線システムの整備、住民の水害への意識の高さなどが相まって、平成 23 年の災害では人的被害・住家被害とも大幅に下回ったことが確認された。また、平成 16 年に被災した㈱コロナ社様を訪問し、当時の状況やその後の対策について貴重なご意見を拝聴することができた。

② 企業 BCP と地域 BCP（DCP）の現状

・企業 BCP では、東京都 BCP 策定支援事業での「5 ステップで BCP をつくる」、国土交通省荒川下流河川事務所の「事業所の水害対策　事業継続計画（BCP）作成のすすめ」、水害 BCP 策定への取組み事例として「㈱上島熱処理工業所へのヒアリング」、平成 23 年(2011 年)末に発生したタイ水害での BCP の現状などを紹介した。

・地域 BCP(DCP)では、企業 BCP との相違や実際の取組みとして、東京駅周辺防災隣組についてのヒアリング、東京都防災対策指針、「防災隣組」育成促進モデル事業として新宿駅周辺滞留者対策訓練ワークショップ、日建設計総合研究所の山口県と山口大学との共同研究、香川大学危機管理センターの取組みなどを紹介した。

③ 企業対する水害 BCP の現状とガイドラインの策定

・水害 BCP ガイドラインとして、水害 BCP の考え方、進め方、有効な手法・対策、展開についてまとめた。

・また、参考資料として、洪水の種類、水害の変遷、水害の予想、洪水ハザードマップ、浸水想定区域、洪水シミュレーション、その他の災害ハザードマップ、浸水対策事例、水害復旧計画の立案、水害後片付け作業時の注意事項、地盤高を知る資料、地下階から安全に避難できるかどうかの判定法、用語集、Web で入手できる参照文献一覧などを紹介した。

④ 地域の自立（分散型）に向けて

・水害対策における地域の自立を目指し、最も重要となるエネルギー自立に向け、現在取り組まれている各自治体の動向をまとめた。

・2 年間の成果について、エンジニアリング産業の強みを生かし、水害 BCP ガイドラインの推進と普及のロードマップを整理した。

2 年間の「都市・地域における水害被害の傾向と対策」を総括すると、水害による被害は増々大きくなる傾向にあり、1 企業や個人の防衛では守りきれない状況となっている。隣接・間接地域とも連携した地域社会全体での「自助」「公助」「共助」の連携により、防災を進めることが重要であると考える。

その中で、最も重要な要素は、エネルギー（電気、熱）の確保であり、従来の広域電力会社やガス・石油会社からの受給に依存しているだけでは、応急対応できない状況も発生してきており、緊急時の自前の電力確保やガス・石油・防災備品の備蓄基地の整備が不可欠であり、エンジニアリング産業は、今後の課題として検討していくことが重要であると考える。

本調査研究にあたり、参照させていただきました参考文献につきましては、各章の末尾に整理しています。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㈱コロナ様、㈱上島熱処理鉱業所様、財団法人都市防災研究所様には、ここで謹んで御礼を申し上げます。

都市・地域研究部会長　　宗守信雄

－人間と社会生活分野－

平成２３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 ····· 541

第１章　はじめに ····· 543
1.1　調査研究の背景と目的 ····· 543
1.1.1　背景 ····· 543
1.1.2　目的 ····· 543
1.1.3　調査研究概要 ····· 543
1.2　調査研究の経緯 ····· 544
1.2.1　調査の方向性 ····· 544
1.2.2　調査の実績 ····· 545

第２章　技術および制度の動向 ····· 546
2.1　技術動向 ····· 546
2.1.1　規格から見た動向 ····· 546
2.1.2　経済産業省の取り組み ····· 546
2.1.3　厚生労働省の取り組み ····· 547
2.1.4　ロボット工業会 ····· 548
2.1.5　TERAS ····· 548
2.1.6　ロボットビジネス推進協議会 ····· 549
2.1.7　知能モジュールの技術開発 ····· 550
2.2　現地調査・事例紹介 ····· 550
2.2.1　株式会社安川電機 本社・八幡西事業所 ····· 551
2.2.2　株式会社テムザック ····· 555
2.3　自治体動向（ロボット産業振興会議：福岡県） ····· 560
2.3.1　同会議の概要 ····· 560
2.3.2　同会議の見解：実証の重要性 ····· 562
2.3.3　同会議の見解：産業化の課題 ····· 563
2.4　BMI の技術動向 ····· 563

第３章　安全と認証 ····· 567
3.1　講演会 ····· 567

3.2　NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト ····· 567
3.2.1　プロジェクト概要 ····· 567
3.2.2　生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発 ····· 570
3.2.3　安全技術を導入した生活支援ロボットの開発 ····· 571
3.3　生活支援ロボット安全検証センター ····· 573
3.3.1　生活支援ロボット安全検証センター 施設概要 ····· 573
3.3.2　生活支援ロボット安全検証センター 体制と機能 ····· 574
3.4　認証、リスクとベネフィット ····· 576
3.4.1　日本人がイメージする「認証」 ····· 576
3.4.2　リスクとベネフィット ····· 577

第４章　生活支援・福祉戦略とロボティクス技術における海外動向 ····· 580
4.1　高齢社会への取り組み ····· 580
4.1.1　スウェーデンにおける高齢社会への対応と日本との比較 ····· 580
4.1.2　日本における高齢社会への課題認識と対応例 ····· 582
4.1.3　スウェーデンと日本における在宅ケアの課題認識と対応 ····· 583
4.1.4　日本における介護保険法改正と在宅・遠隔サービスの可能性 ····· 584
4.1.5　高齢社会での医療福祉ビジネスとロボティクスのニーズの視点 ····· 587
4.2　海外の医療福祉ビジネスとロボティクスビジネスの動向 ····· 589
4.2.1　欧州の医療福祉ビジネスと介護ロボット事業動向 ····· 589
4.2.2　米国の遠隔ロボット事業動向 ····· 592
4.3　医療福祉向けクラウドロボティクス産業の可能性 ····· 595
4.3.1　東アジアの医療福祉産業や介護ロボット市場と今後の対応 ····· 595
4.3.2　医療福祉向けクラウドロボティクスサービスの可能性 ····· 595

第５章　今後の動向と可能性 ····· 598
5.1　サービスロボット普及ロードマップ ····· 598
5.2　IT 活用の可能性 ····· 605

第６章　おわりに ····· 610
6.1　本報告書のまとめ ····· 610
6.2　謝辞 ····· 610

参考文献 ····· 611

平成 23 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　中原　　光春	鹿島建設㈱	技術研究所　研究管理グループ 担当部長
主　査　近藤　　正芳 （部会長代行）	㈱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 情報技術グループ　主任研究員
委　員　辻森　　俊行	川崎重工業㈱	営業推進本部　事業開発部 プロジェクト企画課 基幹職
委　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 知識科学研究科客員教授）
委　員　無津呂　大輔	東急建設㈱	技術研究所　メカトログループ
委　員　山本　　治正	㈱日立プラントテクノロジー	メカトロニクス事業本部 ロジスティクスセンタ 新製品開発部　部長

事務局　牧尾　盛喜　　一般財団法人エンジニアリング協会　技術部　研究主幹

まえがき

研究開発企画委員会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、技術分野などにとらわれず、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、今後の方向性検討などの調査・研究を行っている。

新産業研究部会は、平成 22 年度・平成 23 年度に「生活氏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。

2010 年に政府が掲げた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。

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産業用ロボット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、必要性が認識されており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いない。そのためビジネスとして成り立っていない。

一方、健康・福祉系分野の技術は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、サービスロボットは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。

当研究部会では、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・海外の調査をおこない、2 年目は、実用化へ向けて特にリスクと安全性評価を中心として行政や各企業の取り組みの調査をおこなった。

当研究部会の 2 年間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、という構図が明らかになってきた。リスクに対する受容性という文化的な素地はすぐに解消できるものではないが、一方で NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクトを中心にサービスロボットが満たすべき安全基準の策定も進められている。自治体や業界団体による啓蒙活動、これまで積み重ねてきた実証実験の成果も含め、市場展開に向けた努力が徐々に実を結びつつある。

からくり人形から受け継がれる日本のものづくりの後継であるロボット産業も、他の産業と同じくグローバリゼーションの中で、国際標準化という岐路に立たされている。高い

技術力を備えながら国際展開できず､ガラパゴスと揶揄される日本の携帯電話の例もあり、国内ロボット産業にとってこれからが正念場である。国際標準化の主導権を握ることで国際市場を先導できるため、中国や韓国が非常に力を入れている部分であるが、日本ではそこまで重要なものとは認識されていない。

世界に類を見ない高齢化社会を迎える日本にとって、生活支援分野、健康・福祉分野でのサービスロボット技術利用は世界中から注目されている。ロボット大国として自らの技術に自信を持つだけではなく、国際化に向けてのアピールも必要となるであろう。

新しい技術を用いて新たな分野でビジネスを展開するためには多くの困難があるが、新産業の創造・育成にむけて着実に前進するために、本報告書が少しでも役立つならば大きな喜びである。

平成 24 年 3 月 新産業研究部会　主査　近藤正芳（部会長代行）

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

新興国の追い上げにより日本の多くの産業が低迷する中で、高齢化に伴い医療・福祉機器市場は急成長している。しかし、国内で使用される最新の医療機器（特に治療機器）の多くが外国製という残念な事実がある。

幸い、政府が「ライフ・イノベーション」の掛け声の下、生活支援、医療・福祉機器の産業化を推進し始めたので、今こそ企業はこの成長市場に進出し、全体をシステムとして磨き上げる好機である。

そのためには大学内部だけの医工連携に企業が早い段階で割り込むことで、市場のニーズを把握して資金を投入し、商品化と営業活動のノウハウを投入すべきである。海外に負けない競争力を持つことで､海外にシステムとして売り込み､収益を上げることができる。

ただし、医療・福祉に必要なサービスロボットの開発・普及は現状では出遅れている。その開発には､工学や機械システムを応用した､安全性･信頼性の造り込みが必要である。

BMI(ブレイン・マシン・インターフェイス)分野では、脳計測装置や脳科学の進歩によって、脳内の生理反応を計測する研究が活発化している。また、脳波など人体が発信する様々な生体信号（バイオシグナル）を測定する技術も医療や研究の分野で使われてきた。この技術により、高齢者・障害者が、頭で考えるだけで福祉機器を操作するとか、声を出すことができない方が介助者と意思疎通をする仕組みができる。

1.1.2 目的

エンジニアリング会社や建設会社が、内外で急成長が見込まれる生活支援、医療・福祉機器市場に、サービスロボットなど RT、BMI、運営ノウハウを含めたトータルシステムを武器として参入するための方策等を検討する。

1.1.3 調査研究概要

①生活支援、医療・福祉（機器、施設建設を含めたトータルシステム）について、産業化や個々のサービスロボット、BMI、建設設備・備品などの現状調査（安全性のグローバルルール、免責を含む）を行う。

②生活支援、医療・福祉分野に必要な機能や機器・設備などを包括的に調達・運用・管理・更新する機能を、エンジニアリング産業や建設産業がビジネスとしてどのように担うかの検討を行う。

③外国の事例研究と専門家や担当者へのヒアリングと意見交換を行う。医学・生理学系の研究者、工学系の研究者、ならびに BMI に関する実験を行っている方へのヒアリング。

④スウェーデンを含む追加調査（国民の経済的負担、合意形成、eHealth 戦略、ICT

フル活用、PHR）をおこなう。

⑤分析の視点は、「成長産業におけるエンジニアリング会社や建設会社の優位性活用」と「技術中心ではなく人間中心イノベーション（新機軸）の在り方」である。

1.2 調査研究の経緯

1.2.1 調査の方向性

調査は**図 1.2.1-1** に示すフローに従って進めることとした。

①1 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。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。

②2 年目は、実用化へ向けた課題について、特にリスクと安全性評価を中心として行政や各企業の取り組みの調査をおこなった。

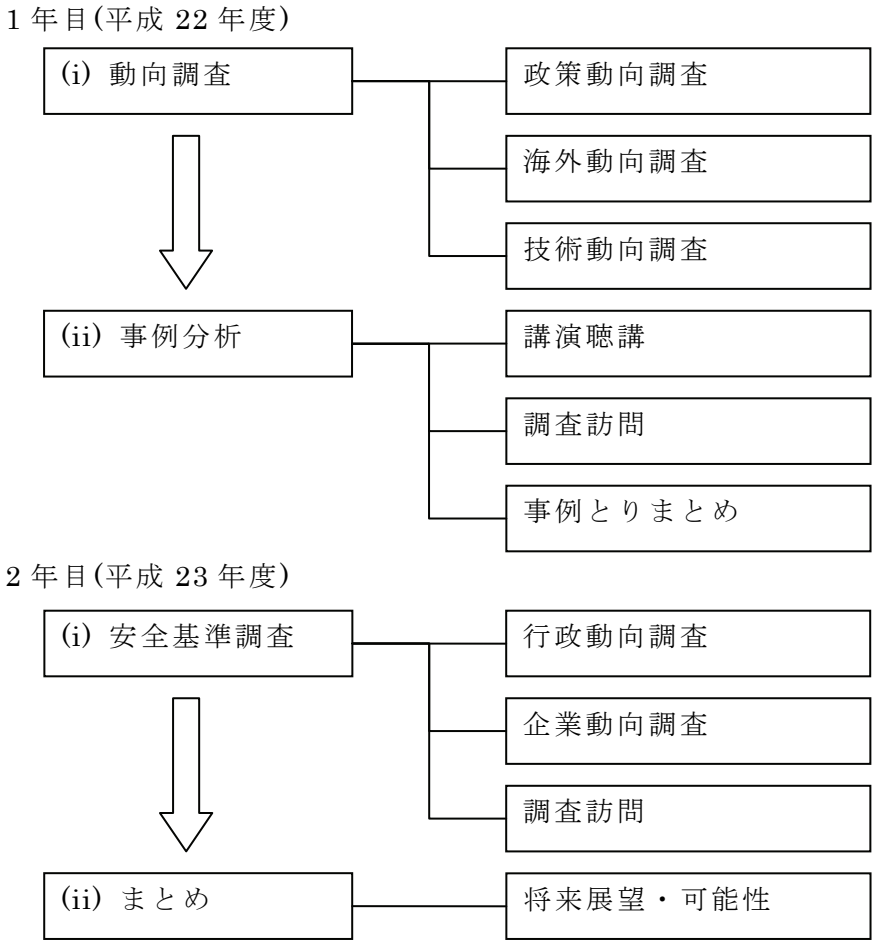


図 1.2.1-1 調査研究フロー

1.2.2 調査の実績

表 1.2.2-1 に本研究部会の調査研究実績を示す。

表 1.2.2-1 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 eHealth
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

日程	内容
2011 年 5 月 16 日	第 1 回部会 活動計画・活動方針の確認
2011 年 6 月 21 日	第 2 回部会 安全性検証資料読み合わせ
2011 年 7 月 14 日	第 3 回部会 つくば公道実験
2011 年 8 月 11 日	第 4 回部会 調査訪問先、講演会候補者選定
2011 年 9 月 22 日	第 5 回部会 WG 次期テーマ討議
2011 年 10 月 20 日	第 6 回部会 安全検証センター調査
2011 年 10 月 24 日	講演 産業技術総合研究所 大場光太郎 氏
2011 年 11 月 17 日	現地調査 (株)安川電機 (株)テムザック
2011 年 11 月 18 日	現地調査 福岡県ロボット産業振興会議
2011 年 11 月 22 日	第 7 回部会 調査訪問まとめ
2011 年 12 月 22 日	第 8 回部会 WG 報告書構成検討
2012 年 1 月 17 日	第 9 回部会 WG 報告書一次原稿確認
2012 年 2 月 22 日	第 10 回部会 WG 報告書二次原稿確認
2012 年 3 月 22 日	第 11 回部会 WG 報告書最終確認

第２章 技術および制度の動向

2.1 技術動向

2.1.1 規格から見た動向

生活支援分野のロボット技術と産業用ロボット技術の大きく異なる点として、製品に求められる安全性がある。生活支援分野では産業機器よりも厳しい安全性が求められる。ここでは、メーカが製品開発する際に適用する規格の面から技術動向を概観する。

製品に適用する規格として、機械安全に関する国際規格の構造には、電気電子分野の国際標準化を実施する IEC(国際電気標準会議）と、機械や管理について ISO(国際標準化機構）で作成する規格がある。この規格は階層化され、基本安全規格としてのＡ規格、グループ安全規格としての B 規格、個別の製品規格のＣ規格がある。A 規格では、あらゆる機械類に対して適用できる基本概念や設計原則を規定し、ISO12100：基本概念、設計のための一般原則、ISO14121：リスクアセスメントの原則がある。B 規格は大きく 2 つに大別され、B-1 規格は特定の安全側面に関する規格、B-2 規格は安全防護（手段）に関する規格に分類できる。代表的な安全に関する A 規格、B 規格を**表 2.1.1-1** に示す。

生活支援ロボットは技術が確立された分野ではないため、開発段階にあるロボットやすでに製品化されたロボットがこれらの規格をすべて満足しているわけではなく、適用規格は各社の判断によっている。なお、JIS、ISO、IEC の規格は財団法人日本規格協会から入手することができる。

表 2.1.1-1 ISO/IEC の安全に関する規格

	ISO ： 機械系規格		IEC ： 電気系規格	
A規格	ISO12100	基本概念、設計のための一般原則	IEC60204	電気設備安全規格
	ISO14121	リスクアセスメントの原則	IEC61496	電気感光性保護装置安全規格
B規格	ISO14119	インタロック規格		
	ISO14120	ガードシステム規格	IEC61508	機能安全規格
	ISO13850	非常停止規格	IEC60947	スイッチ類規格
	ISO13855	安全距離規格	IEC61000-4	EMC規格
	ISO14118	突然の起動防止規格	IEC60742	絶縁トランス規格
	ISO13851	両手操作制御装置規格	IEC60079	防爆安全規格
	ISO13856	マットセンサ規格	IEC61310	表示・マーキング
	ISO14122	アクセス手段・通路などの規格	IEC62061	プログラマブル電子制御システムの機能安全
	ISO13852	上肢の安全距離	IEC/TS62046	人検出用保護装置の適用
	ISO13853	下肢の安全距離		
	ISO13854	押しつぶし回避の最小すきま		
	ISO13849-1、ISO13849-2、ISO/TR13849-100	制御システムの安全関連品		

2.1.2 経済産業省の取り組み

日本においては、経済産業省が「次世代ロボット安全性確保ガイドライン検討委員会」（委員長：向殿政男 明治大学 理工学部長）における検討を踏まえ、2007 年 7 月に「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」を策定した。 ここで示された次世代ロボットの安全性の考え方を基本とし、2009 年から、NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）で「生活支援ロボット実用化プロジェクト」を実施している。ロボット開発に

は、不特定多数の人が関与し、使用条件や使用状況が変化する実際の環境下での対人安全技術が確立されていないものが多い。そこで、本プロジェクトでは、民間企業の独自の取り組みにゆだねているだけでは本格的な産業化が期待できないとの判断から、安全検証をおこなう認証機関、試験機関、安全性に基準に関する国際標準規格を整備することを目的として実施している。なお、本プロジェクトについては、**第 3 章**で詳しく述べる。

図 2.1.2-1 にロボット分野の導入のシナリオを示す。2015 年以降の本格普及段階に備えビジネス振興と技術開発の両面からのアプローチが進んでいる。

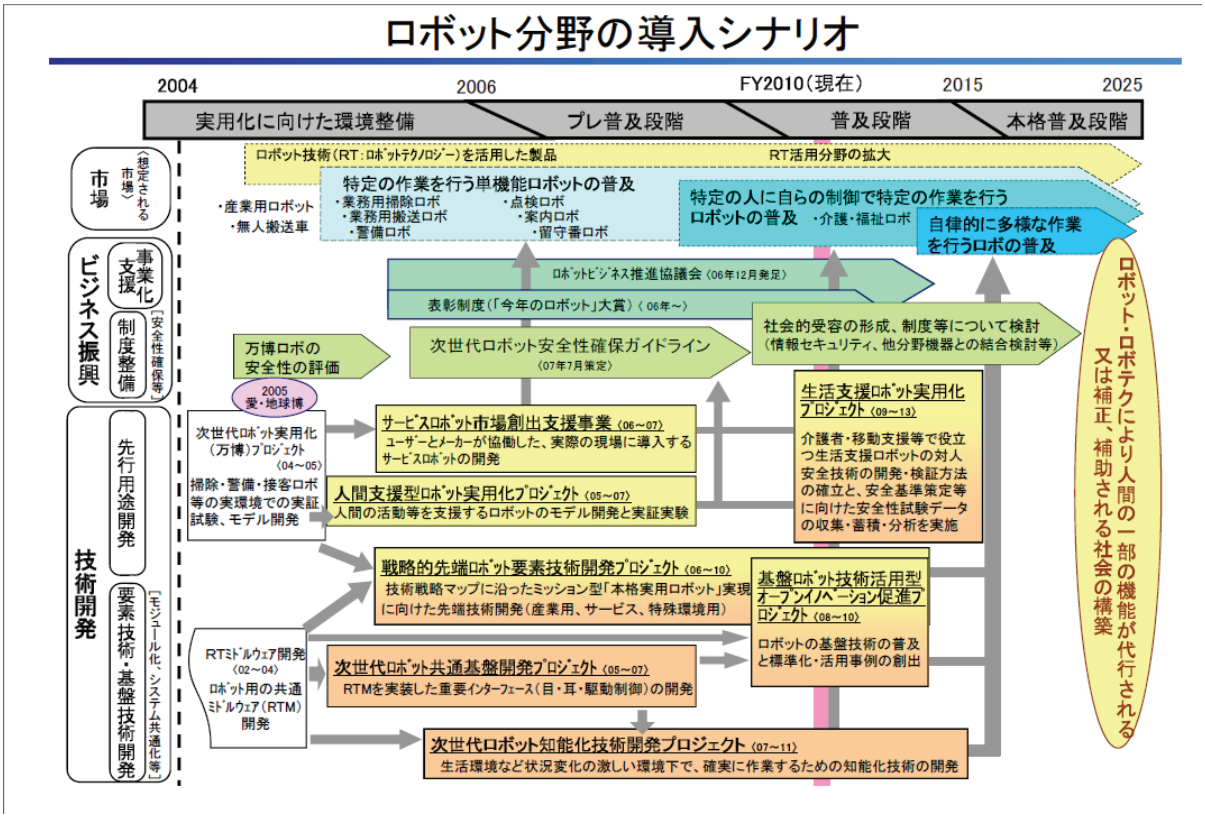


図 2.1.2-1 ロボット分野の導入シナリオ

出典：経済産業省 技術戦略マップ 2010 ロボット分野

2.1.3 厚生労働省の取り組み

厚生労働省では 2010 年 9 月に「介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト」検討会を実施し検討を行っている。

福祉用具を必要とする人は、虚弱な高齢者・障害者が多く、特に高齢者による製品欠陥、誤使用による事故が急増している。この場合、単に福祉用具を製品としてとらえた工学的安全性の評価だけでは不十分である。検討会では、利用者の状態像や使用する環境にも着目した臨床的な観点で、安全性や使い勝手などを第三者機関が評価し、安全性や利便性に関する評価、公表および情報提供をおこなう環境整備を推進する。

評価機関における臨床的評価は理学療法士やエンジニアなどの専門職からなる評価チームにより、試作機器を高齢者が使用した場合の安全性や適応における問題点などについて検証を行い、介護保険施設などにおけるモニター調査は評価機関における検証により、

一定の安全性が確保された機器について、評価機関から依頼を受けた介護保険施設などにおいて入所者によるモニター調査を実施する支援事業を行っている(図 2.1.3-1)。

一方、医療福祉分野では薬事法の制約がある。承認・認証適用外の場合には医療機器としての効能をアピールすることができず、海外で使用された機器類が日本では使えないことが生じ、医療福祉分野のロボットでも同様のことが発生する。また診療報酬（保険点数）の対象機器でないと健康保険が適用されないため医療機関などへの導入が難しいこともあり、具体的な動きはでていない。

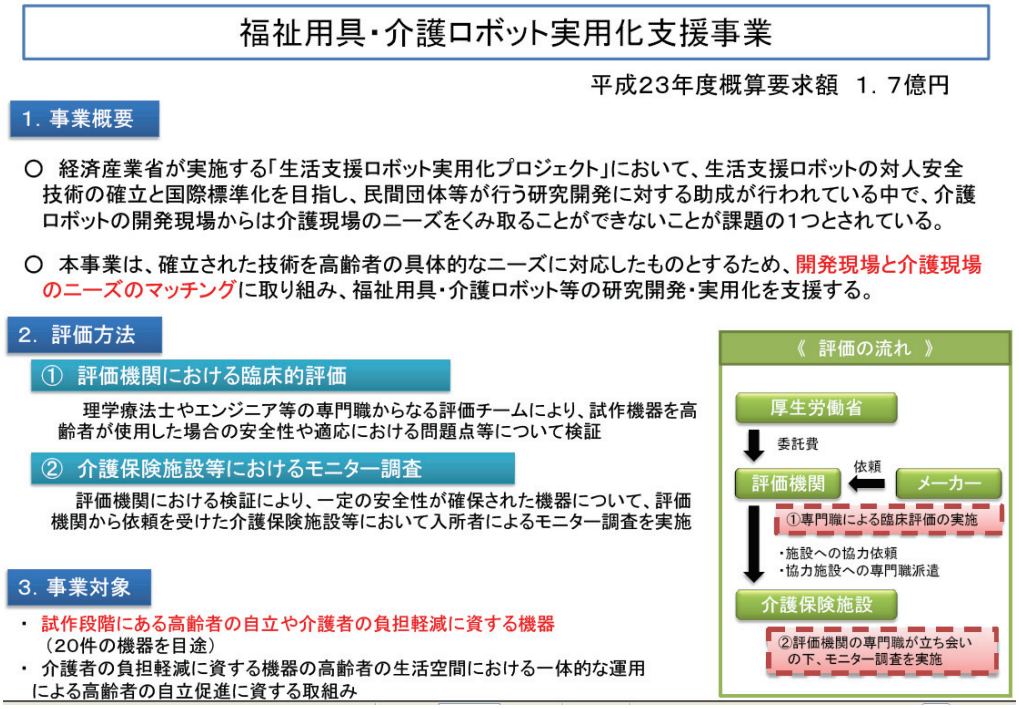


図 2.1.3-1 福祉用具・介護ロボット実用化支援事業

出典：介護現場とロボット/平成 22 年 9 月厚生労働省

2.1.4 ロボット工業会

社団法人ロボット工業会では ISO/TC 184/SC 2/WG 7 Robots in personal care (Roots and robotic device – safety requirements – Non-medical personal care robot)を議論している。DIS の投票は 2012 年に開始される予定である。

一方、生活支援ロボットと性格が一部重複する災害対応ロボットの安全基準については、社団法人日本機械工業連合会、社団法人日本ロボット工業会が調査・研究を行っている。

2.1.5 TERAS

ソフトウエア産業を取り巻く環境は極めて厳しく、増大の一途をたどる開発規模、グローバル化による海外競争の波、ISO26262、IEC61508 に代表される品質と安全に関する規制の厳格化など、多くの課題がある。従来は「正しい製品」をつくることがすべてであったが、今後はその「正しい製品」が「正しい方法」でつくられたことを示す説明責任が発生する。ソフトウエア開発において生成されるドキュメント類（要求仕様書、設計書、テ

スト仕様書、テスト成績書など）間のトレーサビリティを管理するツールプラットフォームを構築し、トレーサビリティを管理することで、“本質的品質”と“品質説明力”を向上させ、機能安全や第三者による検証を支援する必要がある。

この状況を打開し国際競争力を維持して行くために、2011 年 10 月に一般社団法人 TERAS (Tool Environment for Reliable and Accountable Software) が発足した。設立には特別会員としてキャッツ株式会社、日商エレクトロニクス株式会社、株式会社電通国際情報サービス、株式会社豊通エレクトロニクス、情報技術開発株式会社、株式会社エヌアイデイ、株式会社ベリサーブ、正会員として株式会社ヴィッツ 、株式会社 OTSL、株式会社ガイア・システム・ソリューション、株式会社 NTT データ MSE、富士通セミコンダクター株式会社が参加している。一般社団法人 TERAS は平成 23 年度「産業技術実用化開発事業費補助金（組込みシステム基盤開発事業(品質説明力向上に向けたオープンツールプラットフォーム構築事業)）」に採択された。**図 2.1.5-1** に TERAS 概念図を示す。

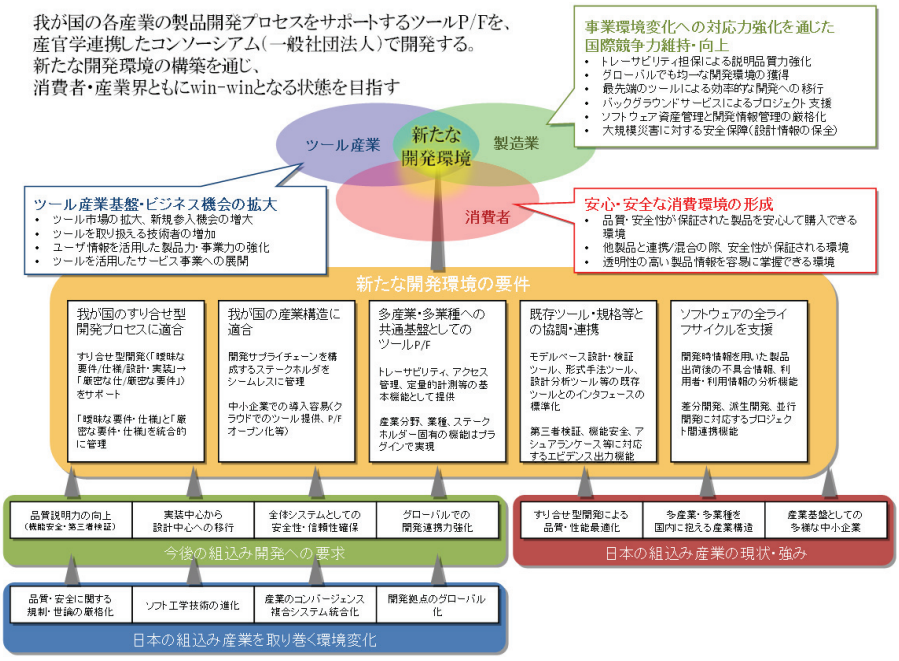


図 2.1.5-1 TERAS 概念図

出典：TERAS Web ページ TERAS 活動

2.1.6 ロボットビジネス推進協議会

パナソニック(株)、トヨタ自動車(株)、(株) 日立製作所、(株) 安川電機などが役員となり、ロボットメーカー、ロボットを使うサービス提供者、規格認証機関、シンクタンク、自治体、ベンチャーキャピタル保険事業者、リース事業者など 200 団体以上が参加している。産業・研究分野の壁を越えて、事業者・研究者・技術者・政策決定者の連携と相互理解を強め、実社会で活躍する RT（ロボットテクノロジー）の開発と、これを活用したソリューションビジネスの開拓を促進する。これによって、RT 開発の成果を社会に還元し、豊かな生活とよりよい社会を実現することを目的として活動している。具体的には RT に

かかわる起業やビジネスチャンスを拡大するための共通基盤（ロボットが活動する環境での安全、エレベータ、通信などの共通規格、ロボットにかかわる保険、RT ミドルウェアなど）を産学官連携のもとで検討を行い、整備を進めている。

2.1.7 知能モジュールの技術開発

NEDO では次世代ロボット知能化技術開発を 2008 年から 2011 年に実施した。これは生活支援ロボットに限定したものではなく、汎用的なロボット開発に関するプロジェクトである。

ロボット開発では多くの専用部品やシステムが使われており、汎用部品が使えないことがロボットの普及を阻害する一因になっている。プロジェクトでは、汎用性の高いソフトウエアの知能部品を開発し、ロボットの機能要素部品(モジュール)としてそろえる。そして、これらを組み合わせることで効率的なシステム開発ができることをめざす。モジュールを開発する部品メーカと組合せをおこなう組立てメーカが分業することで、ローコストなロボットを開発し社会に普及することが期待される(図 2.1.7-1)。

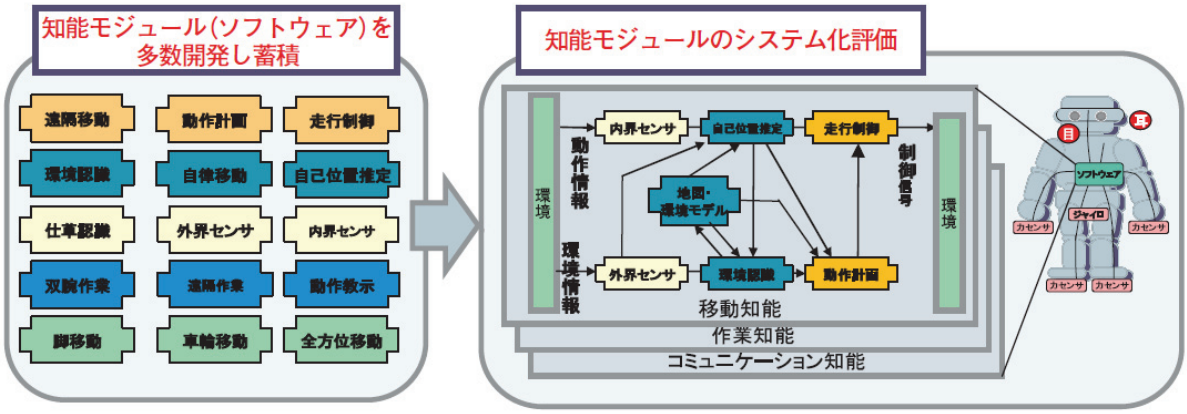


図 2.1.7-1 ロボット知能ソフトウエア

出典：NEDO 機械システム技術開発 2010

2.2 現地調査・事例紹介

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。本年度は、生活支援、福祉医療関連ロボットを中心に、ロボット開発の現状と技術動向について、企業や自治体を訪問し現地調査を行った。

本研究部会で、2011 年 11 月 17 日（木）に株式会社安川電機本社・八幡西事業所（福岡県北九州市）ならびに株式会社テムザック（福岡県宗像市)、2011 年 11 月 18 日（金）にロボット産業振興会議（福岡県福岡市、福岡県庁内）を訪問した。

第 3 章にあるように、人と接する可能性のある生活支援ロボットについて安全基準の整備が急がれている。安全基準ができるまで、生活支援ロボットのメーカは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、取り組みについてヒアリングおよび討議を行った。

2.2.1 株式会社安川電機 本社・八幡西事業所

安川電機は、炭坑用電動機（モータ）技術を核として、1915 年（大正 4 年）7 月に創業した（創業時名称：安川電機製作所）**図 2.2.1-1** に示すとおり、現在では、ロボット関係の売上高が全体売上げの 28%（838 億円：2011 年 3 月期)を占めるロボット生産のトップ企業である。産業用ロボットを中心に、生産台数は、月産 2650 台であり、出荷台数は 2002 年から世界一、現在はアジアでのシェアをのばしつつある。

また、安川電機でのロボット関連の沿革を**表 2.2.1-1** に示す。

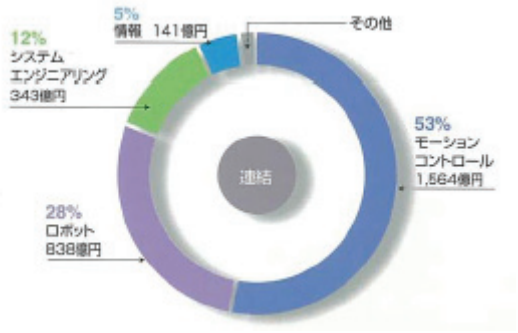


図 2.2.1-1 セグメント別売上高の構成（2011 年 3 月期）

出典：安川電機 パンフレット

表 2.2.1-1 安川電機でのロボット関連の沿革

1977年（昭和52年）	垂直多関節産業用ロボット「MOTOMAN-L10」を発表（MOTOMAN1号機）
1983年（昭和58年）	通商産業省大型プロジェクト「極限作業ロボットの開発」に参加
1987年（昭和62年）	真空ロボットを開発
1988年（昭和63年）	MOTOMAN累計出荷1万台を達成
1990年（平成2年）	活線作業ロボットを開発
1997年（平成9年）	高クリーン度対応ロボット「MOTOMAN-CRシリーズ」を製品化
1998年（平成10年）	MOTOMAN累計出荷5万台を達成
2003年（平成15年）	MOTOMAN累計出荷10万台を達成
2005年（平成17年）	新世代産業用ロボット（双腕ロボット・腕ロボット）を製品化
2006年（平成18年）	MOTOMAN累計出荷15万台を達成
2008年（平成20年）	MOTOMAN累計出荷20万台を達成

出典：安川電機パンフレットより抜粋

安川電機は 2015 年に創立 100 周年を迎える。それに向け同社は「先進国の少子高齢化社会や環境エネルギー問題など、台頭する地球規模の課題に対し、同社のコア技術を生かして問題解決に取り組む」ことを 2015 年ビジョンとして掲げている。そのビジョンの下、ロボティクスヒューマンアシスト事業領域と環境エネルギー事業領域を柱として事業に取り組んでいる。**図 2.2.1-1** に取り組む事業領域を示す。

ロボティクスヒューマンアシスト事業領域では、産業用ロボットを中核としながら、「より人に近い分野で人と共存するロボット市場の創造をめざす」としている。「人と共存」では複雑な作業対応、「人とのコミュニケーション」では案内・軽作業の支援、「人をアシスト」では搬送・移動支援、パワーアシストなどを念頭に置いている。

図 2.2.1-1 安川電機の 2015 年ビジョンの下で取組む事業領域

出典：安川電機 パンフレット

産業ロボットについては、1977 年の国内初の全電機式産業用ロボット「MOTOMAN」1 号機（**写真 2.2.1-1**）を生み出してから、溶接、組立、塗装、搬送など、様々な自動化ロボットを開発してきた。現在は双腕・7 自由度のロボット生産を可能にしている。

写真 2.2.1-2 は、「人との共存」をめざすロボット「SmartPal（スマートパル）」である。モートマンセンタのロボットプラザ（見学施設）にある SmartPal は、カメラのシャッターを押し、写真撮影を行い、プリントされた写真を、スライドに乗せて、来場者に渡すデモンストレーションを行っている。また、2011 国際ロボット展では、各種センサのレベルアップを図り人との親和性を高めた新形 SmartPalⅦを出展している。

写真 2.2.1-1　MOTOMAN1 号機

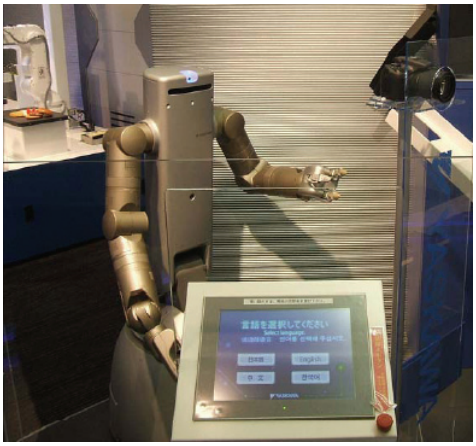


写真 2.2.1-2 SmartPal「ロボット写真館」

医療福祉関連では、直接的なロボット活用の前に、作業支援ツールとしての用途がある。**図 2.2.1-2** に示すリハビリ支援ロボットは、介護士の負担軽減や、ばらつきの無い同じ動きを提供できるメリットが発揮されている。すなわち、患者のリハビリ効果が、介護士の技量に左右されず、客観的な反復回数と力という指標で評価できることになる。ロボットが得意とする、同じ動きを繰り返す、という能力が活用されている事例である。生活支援やアミューズメント関係のロボットを、ロボットプラザでの見学および安川電機のホームページより紹介する。

写真 2.2.1-3 は、「お助けアーム」である。旅行かばんを開けて、収納場所（後方の戸棚）から必要な日用品をアームがつかみ、かばんに納めている様子である。動作は俊敏であると同時に、ビールグラスや風船もつかむことができる。物の位置情報を内包するとともに、物のつかみ方をセンサで感知しているロボットである。

図 2.2.1-2 リハビリ支援ロボット
出典：安川電機 ホームページ

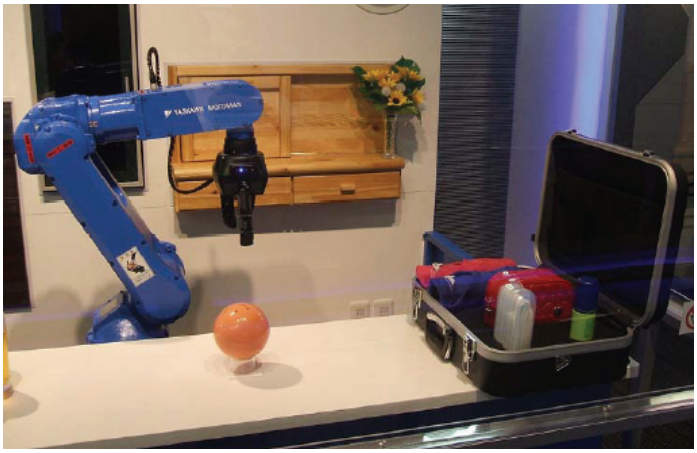


写真 2.2.1-3 お助けアーム

写真 2.2.1-4 は、「ロボットウエイトレス」である。中央のロボットアームが、客のテーブルに、後方の料理を配膳する。このアームは、柔らかいものも特殊なロボットハンドですくって配膳することが可能になっている。

写真 2.2.1-4 ロボットウエイトレス

アミューズメント関係のロボットもモートマンセンタ（ロボットプラザ含め）や安川電機ホームページで紹介されている。

写真 2.2.1-5 は、来場者とロボットが点滅ボタンを押すモグラたたきロボットで、動作スピードが速い。

その他にも、**写真 2.2.1-6** に示す「3D 迷路占いロボット」がロボットプラザに設置されている。複雑に配置された立体レール上をボールが転がるようにセットされている。レールは随所で欠損しているので、ロボットがボールの通過のためにレールをアームで添える動作をおこなう。ボールの最後に受ける 3 箇所がそれぞれ、大吉、中吉、吉となっており、占いロボットの名称になっている。

写真 2.2.1-5 ロボットプラザにあるモグラたたきロボット

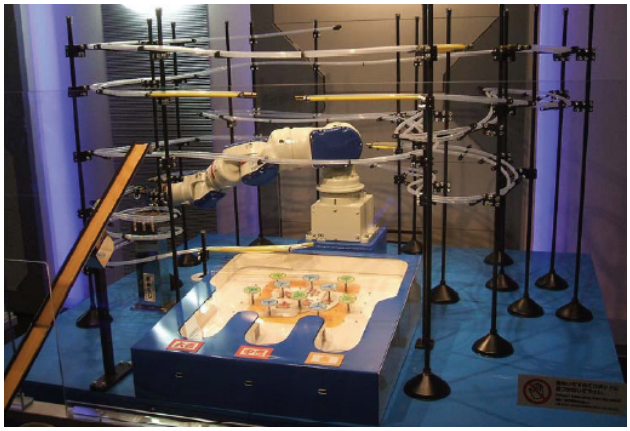


写真 2.2.1-6 3D 迷路占いロボット

図 2.2.1-3 は、ロボットによる一坪店舗で、ソフトクリームの販売を実際に社員食堂で行っている。ただし、食品販売の場合は食品衛生法に従う必要があるので、ロボット販売はしておらず、社内やイベントなどで人間の監視下のもと稼働させているのが実情である。このことからも、ロボットの普及では、法規制をいかにクリアするかという課題があることがわかる。

図 2.2.1-3 社員食堂にある一坪店舗「やすかわくん」（ソフトクリーム販売）

出典：YASKAWANEWS No.297, Winter 2011

安川電機では､人との共存をめざして、人の動きに近い視覚や力覚をもったロボットが開発されつつある。しかし、事業としての展開には多くの課題があり、爆発的な普及の目途はなかなか見えていない。ロボット産業として見ると、安定的需要が見込める既存の自動車産業用ロボットを基盤とし、さらに自律性や汎用性をもった生活支援分野や医療福祉分野へ展開していくことが期待される。現地調査でのヒアリングでは、近い将来にロボットが身近にいる環境が現れるとしたら、一般的に想像されるようなロボットの形ではなく、目に見えなくてもロボット技術が大いに活用・展開されていくのではないか、とのご意見をいただいた。

「法律に適合していて、世の中が受け入れてくれて、収益があがる」を満足しないと、企業としてのメリットが無い。日本には技術開発の専門家は多いが、使い方の専門家は海外と比べ少ない、との感想もいただいた。

そして、人とロボットが共存する世の中となるには、安全の問題解決が欠かせない。日本国内でも安全の問題を実証する機会が増えてきたが、軍事目的で実証される海外の状況と比べると、まだまだ不足している。特に日本では、人命に関する部分はかなり慎重に対応しており、リスクに対する文化の違いが感じられる。海外と日本の違いを認識し、むしろ違いを活用していく発想も必要となるであろう。

2.2.2 株式会社テムザック

株式会社テムザックは、福岡県宗像市に本社を構えるロボットの開発・製造・販売をおこなう企業である。「人とロボットの安全で快適な共存社会を創出する」を趣旨に 2000 年 1 月 4 日に設立した。社員数は 20 名、そのうち 16 名が技術者である。

テムザックは、2000 年にベルトコンベアなど食品加工機械を製造する(株)テムスから独立した企業であり、ロボットの開発から販売までをおこなう。ロボットを製作している企業の多くはいろいろな製品の中のひとつとしてロボットを作っているというケースであるが、ロボット専業企業は少ない。

当研究部会で 2011 年 11 月 17 日に訪問し、経営企画部広報室の井野重秋副室長から丁寧な説明を受けた。話題になったレスキューロボット援竜や家庭用ロボット番竜をはじめ、社屋にはこれまで開発してきた様々なロボットが多数展示されている。そして、実際にそれらのロボットが動くところも見学した。

写真 2.2.2-1 は、テムザックが独立するきっかけとなったとも言える遠隔操作型ロボットテムザックⅣ号機（TMSUK04）である。スカートを履いた人のような形状のロボットであるが、このスカート部に多数のモータがあり、これらモータが駆動し腕部の関節が稼働する。また、テムザックが得意とする遠隔操作技術により、腕の形状に準じたコントローラーを用いて操縦することが可能になっている。過去にはテレビ番組の企画で、電話回線（PHS）に接続して東京のスタジオから大阪のテムザックⅣ号機を操縦し、商店で買物をするなどの実験をした。研究の目的もあり計 15 機が製作された。

写真 2.2.2-1 TMSUK04

写真 2.2.2-2 は、家庭用ユーティリティーロボット番竜 BANRYU－T73S である。番竜の動きは番犬のようであるが、デザインは竜の名前のとおり恐竜をイメージしたものである。留守宅の異常（人・音、におい、温度など）をロボットに搭載されているセンサが検知し、持ち主の携帯電話への通報や、リアルタイムの画像を見ながらの遠隔操作が可能である。

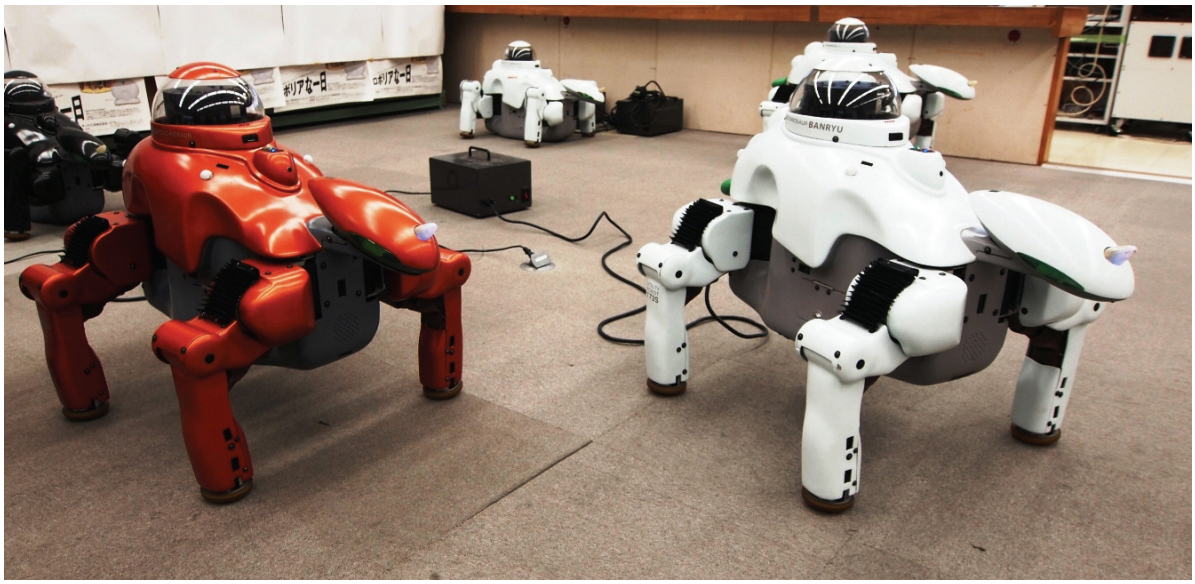


写真 2.2.2-2 番竜 BANRYU－T73S

写真 2.3.2-3 は、家庭向けの留守番ロボット T7-4 ロボリアである。ロボリアは番竜の要素技術から産まれたものであるが、丸みのあるデザインや、いろいろな光を発するなど、家庭向けをより意識した親しみやすい機体である。携帯電話（NTT docomo FOMA）を用いて接続しており、家の中の監視、および、家屋内に起きた異常をユーザーに通報することも可能である。

写真 2.2.2-3 T7-4 ロボリア

これら家庭向けに開発されたロボットには、そもそも適合すべき安全基準が無かったため、家電の安全基準を適用した。医療ロボットであれば病院などの専門機関で扱われ、操作・管理も専門家がおこなうが、介護ロボットなど家庭向けのロボットになると、活躍の場は家庭である。そこで家庭内に置かれ一般の人が使用する器具として、家電の安全基準を適用することとなった。また一般の家庭向けロボットとして最大限に注意すべきは子供である。親しみやすいユーモラスな動きをするロボットになるほど子供が興味を持ち、触れる、乗りかかる、などをしがちである。子供を意識すると、機能面だけではなく、意匠においても配慮しなければならない。例えばテムザックの番竜は、馬乗りされないように背中に当たる部分に球体を配置している。

その他に、以前、福岡の市街地（商店街）でロボットのデモンストレーションをおこなった際、多くの人が集まってしまい、警察が出動する事態になったことがあった。その際に「では、ロボットを逮捕するのか？」という問答になったとのことで、それが福岡県、北九州市および福岡市が「ロボット開発・実証実験特区」計画を申請するきっかけになったというエピソードも聞かせていただいた。

写真 2.2.2-4 は、レスキューロボット T-53 援竜である。操縦体験をさせていただき、双腕である上に多くの可動箇所がある機械をどうやって操作するのか、その操作方法は実に興味深いものであった。操縦桿の押しボタンで動かす関節を選択するという発想は、この種の機械操作におけるひとつの完成した答えであると思われる。

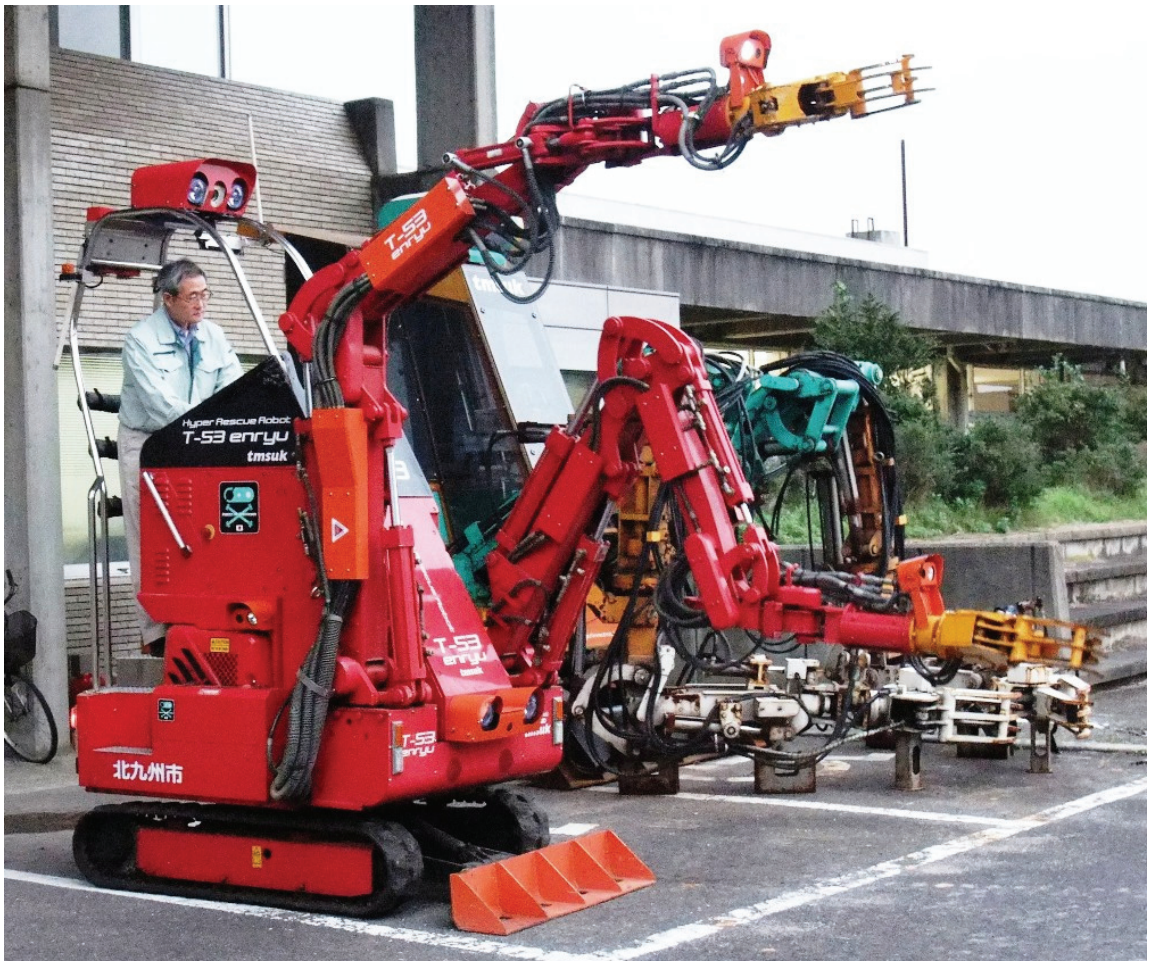


写真 2.2.2-4 レスキューロボット T-53 援竜

上述した機体の他、同社には数多くのロボットが展示されている。年間 3～4 機程度製作しており、これまでに約 30 種類のロボットを開発した。同社は主にプロトタイプ製作で、実際にプロトタイプを作ってみて、実際の環境で試してみることを重視している。テムザックは、様々な大学との共同研究を実施し、数多くの製品を生み出している。大学だけでなく異業種とのコラボレーションによって生み出された製品もある。これらは我々に近未来を想像させることができる様々な種である。

同社には介護向けのロボットもある。介護ロボットには切実なニーズがあり、試作品でもすぐ欲しいと言ってくるユーザーさえいる。一方、製作者としては実証実験を進め、様々な課題をクリアした上で提供したいと考えている。このようなジレンマもあり、介護分野でユーザーの要求に応じることはたいへん難しいことであると実感する。

また、医療ロボットにも薬事法の大きな壁がある。実際の現場に導入するためには海外で実績を積んでから逆輸入する方法や、医療機器ではなく医療練習用教材としての導入方法を考えている。**図 2.2.2-1** は、歯科医の医療練習用教材として同社のロボット技術を応用した例である。

顔面拡大　　全身

図 2.2.2-1 歯科患者ロボット 昭和花子

出展：テムザック ニュースリリース

井野氏からは、サービスロボットは使う人がいるから意味があり、実際に使う人の意見を聞きながらブラッシュアップすべきという意見をいただいた。また、技術的な問題もまだ多いが、普及させるためにはコスト面で低価格化を進めることも必要だろう、とのことであった。

上述のとおり、テムザックでは大別して受付・案内・警備、家庭、レスキューの三本柱の目的で役立つロボットを開発している。現状は市場の黎明期であり、ロボット専業の経営は困難なところもあるが、図 2.2.2-2 や図 2.2.2-3 に示すような新たなパーソナルモビリティの形を提案するなど、意欲的な挑戦を続けている。

図 2.2.2-2 ユニバーサルビークル RODEM

出展：テムザック ニュースリリース

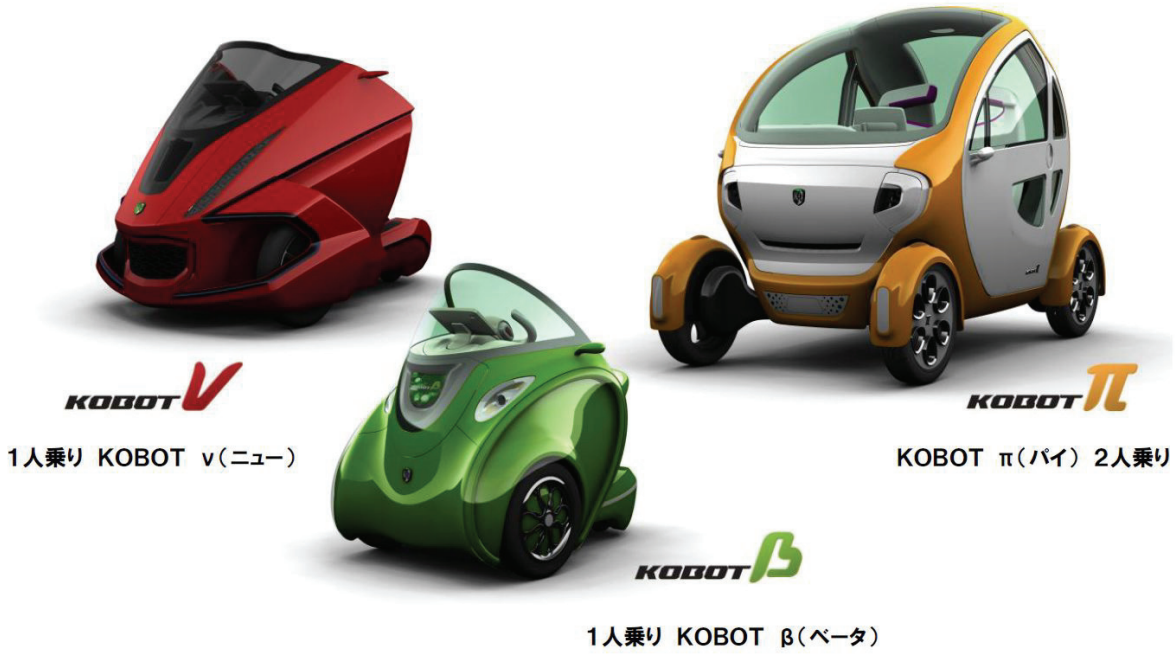


図 2.2.2-3 電動モビリティ KOBOT

出展：テムザック ニュースリリース

2.3 自治体動向（ロボット産業振興会議：福岡県）

生活支援ロボット普及のための自治体動向として、福岡県の取り組みを訪問調査した(**写真 2.3-1**)。福岡県は、北九州市、福岡市と「ロボット産業振興会議」の事務局を担当している。

写真 2.3-1 訪問ヒアリング風景（福岡県福岡市、福岡県庁内）

2.3.1 同会議の概要

北九州は「鉄の町」として、ものづくり文化の気運が高い地盤であり、ロボット関係のベンチャーや中小企業が北九州周辺に集中している。また、福岡県は国立・私立大学の理工系学生数が全国 4 位（2010 年度）である。これら県内に集積する大学など研究機関や

関連企業のポテンシャルを活用して、産学官連携組織「ロボット産業振興会議」を発足し、ロボット産業振興のため研究開発支援、市場開拓支援、情報発信や社会的気運醸成などの取り組みを進めている。

本振興会議の設立は 2003 年 6 月 9 日で、設立時 99 だった会員数は、2011 年 12 月 14 日現在、311 に増えている。振興会議への参加は県内に限定せず、全国の企業や団体が参加可能である（**図 2.3.1-1**）。

研究開発については、これまでの実施テーマ数累計が 66 テーマ、非産業用ロボットの製品化実績が 25 製品、総売上額は約 20 億円に上る（会員報告に基づく）。**図 2.3.1-2** に製品化実績の例を示す。

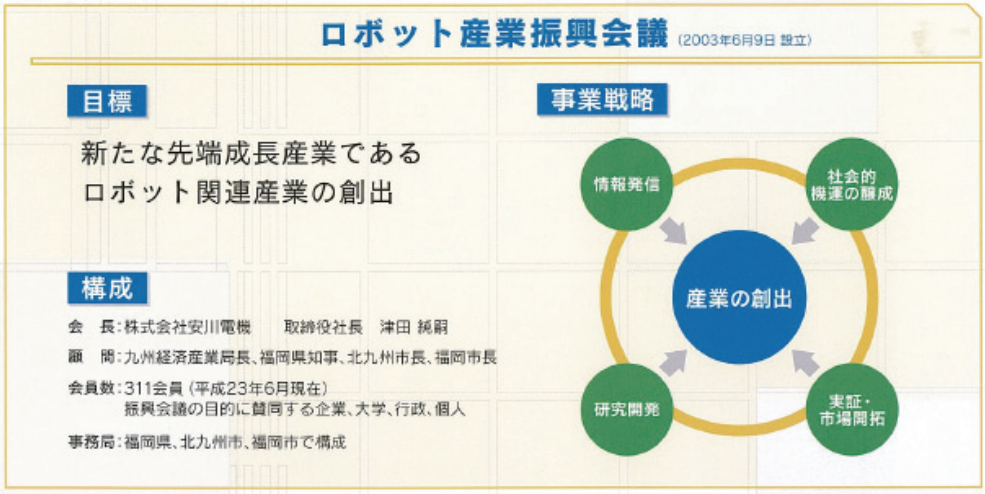


図 2.3.1-1 ロボット産業振興会議 目標・構成・事業戦略

出典：「ロボット産業振興会議」パンフレットより抜粋

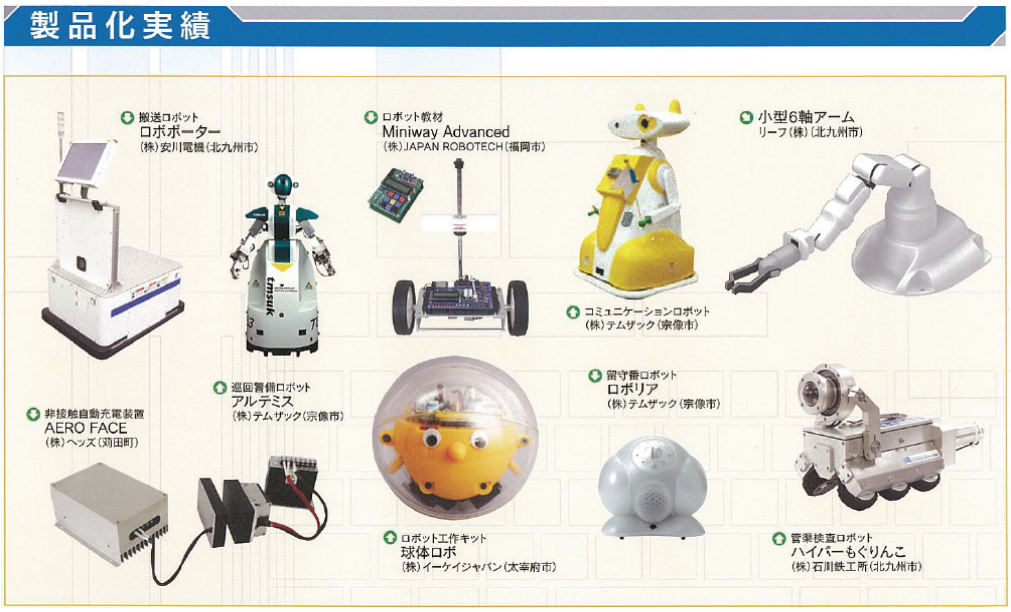


図 2.3.1-2 ロボット産業振興会議 製品化実績例

出典：「ロボット産業振興会議」パンフレットより抜粋

市場開拓支援として、公道におけるロボットの歩行・移動をともなう実証実験をおこなうための道路交通法の規制緩和を求めて、2003 年 11 月 28 日に我が国初の「ロボット特区」の認定を受けている。この特区の申請については、2.2.2 で紹介するテムザック社より行政に相談があったことがきっかけとなっている。これからロボットを社会に出していくのにこの状態のままでは困る、というところからスタートした。現在でも、中洲にある商業施設「キャナルシティ」では、ALSOK 社のガードロボットが稼動している。**図 2.3.1-3** に、2011 年 9 月より運用が開始された ALSOK 社のインフォメーションロボット（夜間は館内巡回、定点監視などの警備を行う）「An9－PR」を示す。

図 2.3.1-3 ALSOK 社インフォメーションロボット「An9-PR」

出典：ALSOK 社 ホームページ

情報発信・社会的気運の醸成についての取組みについては、ロボットとふれあうことができる一般向け施設「ロボスクエア」（運営：福岡市）をあげることができる。ロボスクエアの年間来場者数は 12 万人以上である。ロボスクエアでは、ロボットを展示するだけでなく、ショーや工作教室などのイベント、教材用ロボットの販売などを通じて、子供たちにロボットとふれあい慣れ親しむ機会を作り出している。高専ロボコンやロボカップなどで、福岡の学校が優秀な成績をあげていることからも、県のマインドの高さがうかがえる。

また海外との交流については、2011 年 11 月 7 日に北九州国際会議場において「日中韓ロボット研究者交流ワークショップ」を開催した。3 ヶ国のロボット関連企業や研究者 222 名が参加し交流を深め、共同研究やビジネス交流を促進した。

2.3.2 同会議の見解：実証の重要性

研究開発支援事業を始めた当初は、開発者（大学研究者など）が持つシーズを、企業と組んで研究開発を進めたものの、使い手側（ユーザー）のことを考えずに作り手側の一方通行でものを作って、いわゆる「自画自賛」で終わってしまい、企業の利益につながらない、すなわち施策の成果につながらないものが多かった。

最近では、開発期間中に必ず現場に持ち込んで実証実験を行い、ユーザーとすり合わせをして、ニーズを把握して事業を終える計画となっているものがほとんどで、開発者の意識が変わってきたと言える。特区の申請をしたのもロボットを現場で動かせる環境が整っ

ていなかったからであり、数年前からは「現場で実証をしないと、売れるようなロボットは作れない」ということがわかってきた。特に、医療・介護・生活支援分野では、実際の利用現場で実証実験をおこなわなければならない、との意識がますます高まっている。

実証実験をおこなう上で苦労したことは、①警察の認可 ②活動時間の問題 ③環境に応じたチューニング で、警察の認可については、特区になったことで申請手続きが簡便になった。行政がメーカと警察の間に入ることでスムーズにことが運ぶようになったと言える。実証実験では、現地に充電設備がないため、ロボットの活動時間が限られてしまう。また、天候や時刻などの外部環境に影響されるセンサ類の調整に時間がかかり、実験がなかなか始められないということもあった。このような問題点も、常に外部環境が一定の研究室内ではなく、実際に利用される現場での実験によって明確になったものである。

2.3.3 同会議の見解：産業化の課題

日本では、アニメーションや SF の影響で、ユーザーに「ロボットは万能」という過大な期待がある。そのユーザーは、現実のロボットに対して、その過大な期待と比較して、「どうしてこれがロボットなの？」「まだこんなものか」という評価をする。生活支援ロボットの市場創出に向けては、ユーザーの過大な期待のすべてを満足するものではなく、用途・機能を絞り込んでターゲットに明確にしたリーズナブルな価格設定の製品開発が必要である。例えば 2.3.1 項で述べたロボスクエアでは、子供向け入門用ロボットを販売しているが、子供のおこづかいで買える価格にしている。また大学向け倒立振子の教材キットなどは、大学の予算で買える設定となっている。

自動車の機能を極端に言えば、「人間が運転して道路を走る」というものになるが、ユーザーが、自動車と同じくらいの金額を支払ってもよいと思えるような機能を持つロボット、またはロボットの用途が、現在はまだ実現できていない。生活支援ロボットの産業化のためには、製品開発と同時に、ユーザーのニーズにあった用途・機能の開発が必要である。

2.4 BMI の技術動向

健康・福祉系医療機器など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。

脳科学の産業応用は多岐にわたるが、大きく分けて次の 6 種類がある。

①脳活動の計測技術
②脳活動を評価に利用する技術
③脳活動に働きかける技術
④脳活動を外部機器の制御に利用する技術
⑤脳活動をユーザーに知らせる技術
⑥脳の仕組みをまねた技術

このうち、BMI は「④脳活動を外部機器の制御に利用する技術」に該当する。

表 2.4-1 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、脳内物質など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)など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など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おこな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など)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、脳内物質などの脳活動情報を利用し、外部の機器を動かす BMI 技術などがこれに該当する。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ーや、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脳活動をユーザーに知らせる技術	①の計測機器が表示する脳波や血流、脳内物質など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などが企画されている。
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などが該当する。

出典：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」調査報告書

人間が持っている入力系は五感といわれ様々であるが、出力系は何らかの筋肉を動かすことだけである。そして、筋肉からの出力ができなくなるのが ALS(筋委縮性側策硬化症)であり、疾病によって手足や顔の表情も含め全身が動かなくなる。しかし、脳は正常に機能しているため、脳活動を計測し BMI 技術を用いることで、外部に意思を伝えることができる。

図 2.4-1 は、ALS 患者と意思疎通をするための装置である。日立製作所が開発した光トポグラフィを用いて、頭部の特定の個所に赤外光センサを取付け、患者の脳血流量変化を検出することによって、問いかけに対して「肯定的」なのか「否定的」なのかを判定する。比較のために安静時間と回答時間あわせて 1 回の回答に 36 秒かかり、正答率は 80%(ALS 患者集計)ではあるが、これまでにまったくコミュニケーションできなかった患者との意思疎通が可能になる。また、重度身体障害者日常生活用具の補助としての支給もあるため、入手しやすくなっている。

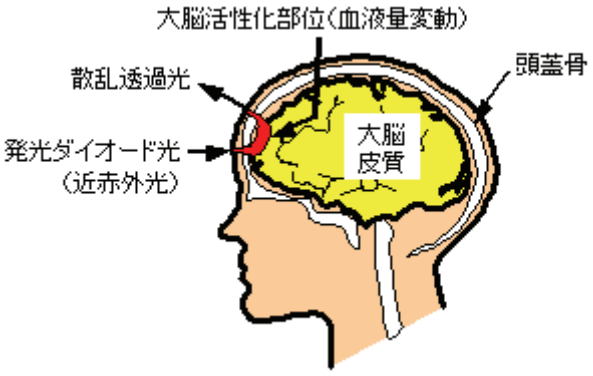


図 2.4-1 医療福祉機器 ALS 患者と意志疎通をするための装置

出典：エクセル・オブ・メカトロニクス株式会社 ホームページ

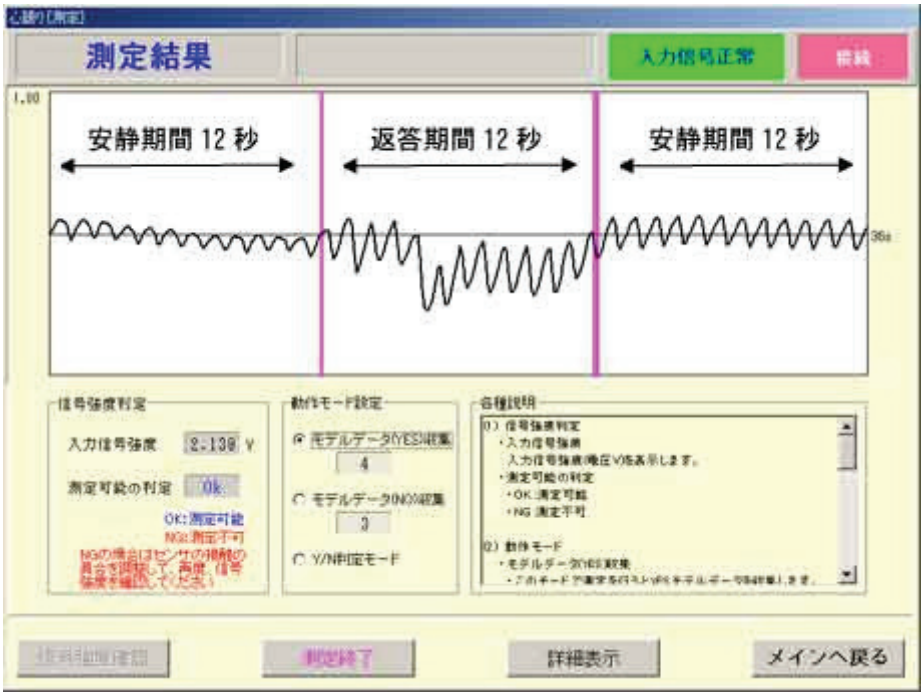


図 2.4-2 患者の意思判定結果

出典：エクセル・オブ・メカトロニクス株式会社 ホームページ

同じく、ALS 患者に対して、脳波から運動意図を読みとり、ロボットに代行させる研究も進められている。従来は、脳に多数の針電極を刺して脳活動を計測し解読する技術が研究されてきたが、長期間安定して計測することが難しいなど、問題点も多かった。

大阪大学、国際電気通信基礎技術研究所（ATR)、東京大学などによる研究グループ最近の研究では、脳の表面におくシート状の電極を用いて、脳を傷つけることなく、高い精度で長期間安定して脳信号を計測できることが実証されている。そして、脳波（脳表脳波）を解読することにより、運動意図を読み取ることができ、ロボットのリアルタイム制御が可能であることを世界で初めて実証した。

「⑤脳活動をユーザーに知らせる技術」についても、脳活動を推定しながら画面に表示

し、患者や医療従事者に見せることでリハビリテーションに役立てる応用が検討されている。

ATR と慶應義塾大学が開発した「脳ダイナミクス推定技術」を用いることで、リハビリテーションの過程で脳活動がどのように変化するかを確認することができ、運動や行動の結果だけではなく脳活動そのものを評価しながら、機能回復へとつなげることが可能となる。脳活動の推定方法は 2 段階からなり、まず空間的な精度は高いが時間的な精度は劣る NIRS と呼ばれる装置を用いる。次に、時間分解能は高いが空間分解能が劣る脳波（EEG）を計測する。この 2 つの異なる情報を統合し、EEG で観測される電位変化を引き起こす脳内の「電流源」を推定する。測定は、プローブ、電極を頭皮に配置させるだけなので、装置の移動も可能になり、診療の現場やリハビリテーション中に脳活動を推定することが可能になる。

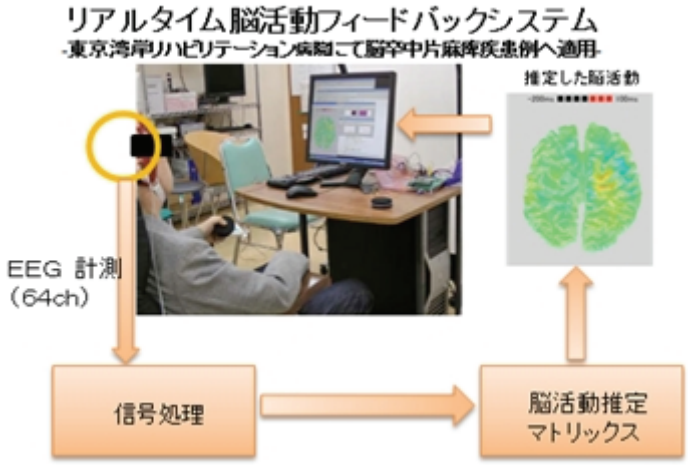


図 2.4-4 脳ダイナミクス推定技術

出典：ATR ニュースリリース

IBM では、「今後 5 年間で人々の生活を一変させる 5 つのイノベーション(Five Innovations That Will Change Our Lives within Five Years)」のひとつとして、「人の心を読むことが空想から現実に(Mind reading is no longer science fiction)」をあげている。BMI に関連する分野では、まずゲームやエンターテインメント分野で市場に導入され、さらに医療分野でも脳梗塞後のリハビリや自閉症などの脳疾患の研究に役立てられるようになると予想している。

すでに現時点でも、Interactive Productline 社の Mindball、NeuroSky 社の MindSet など、玩具やエンターテインメント用途に一般向けの製品として販売されている。脳計測や脳科学の研究は現在各国で多くの研究が進められており、数年後、医療用途に十分な精度を達成できれば、筋力の衰えた高齢者でもロボットの支援を受けて日常活動が可能になるかもしれない。

第３章 安全と認証

新産業研究部会平成 22 年度の調査研究では、サービスロボットは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とした。また、サービスロボット普及の課題として、安全技術だけではなく新たな技術・製品に即した法整備の問題をあげた。

本年度は、サービスロボットの安全に関する社会の取り組みを調査し、現状と課題をまとめた。

3.1 講演会

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 副部門長 大場光太郎氏に依頼して、生活支援ロボットの安全と認証についてご講演いただいた。大場氏は、次世代ロボット普及のために、システムを高信頼かつ安全（ディペンダブル）に構成するための技術についての長期的な体系化を図る研究開発を進めている。本章は、大場氏のご講演内容を中心に論を進める。

実施日　：2011 年 10 月 24 日
開催場所：一般財団法人エンジニアリング協会 6 階 C・D 会議室
講演者　：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 副部門長
　　大場光太郎 氏
演題：　「安全と認証について －生活支援ロボットを中心に－」
出席者：　11 名

写真 3.1-1 講演風景

3.2 NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト

3.2.1 プロジェクト概要

「NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト」とは、

我が国では、少子高齢化が急速に進展しており、労働力の不足が懸念されています。このため、ロボット技術は産業分野だけではなく、介護・福祉、家事、安全・

安心などの生活分野への適用が期待されています。しかしながら、生活支援ロボットの安全性技術に関する内外の規格などが未整備であるために、民間企業の独自の取組では技術開発も産業化も加速されないことから、安全性基準に関する国際標準などの整備が求められています。そのため、本プロジェクトでは、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・機能安全に係る試験を行い、安全性などのデータを取得・蓄積・分析し、安全性検証手法の研究開発を実施します。

として、下記の 2 つの取り組みからなっている（**図 3.2.1-1**）。

①生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

（安全性をどうやって評価するのか）

ロボット分野に適用できるリスクアセスメント手法を新規開発する。また、機械・電気安全、機能安全などに関し、策定した試験・評価方法や手順について、国際標準提案をおこなう。

②安全技術を導入した生活支援ロボットの開発

（安全規格に基づいたロボットを製作する）

「移動作業型（操縦が中心）」、「移動作業型（自律が中心）」、「人間装着（密着）型」、「搭乗型」の 4 タイプについて安全技術を搭載したロボットを開発する。

図 3.2.1-1 生活支援ロボット実用化プロジェクト概要

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

本プロジェクトは、産業技術総合研究所 知能システム研究部門 部門長 比留川 博久氏をプロジェクトリーダとする、産官学の 29 の団体（22 年度末より 11 団体が新規参加）で構成されている（図 3.2.1-2）。

研究開発機関は平成 21 年度(2009 年度)から平成 25 年度(2013 年度)までの 5 年間で、図 3.2.1-3 に示すような研究開発マイルストーンをあげている。

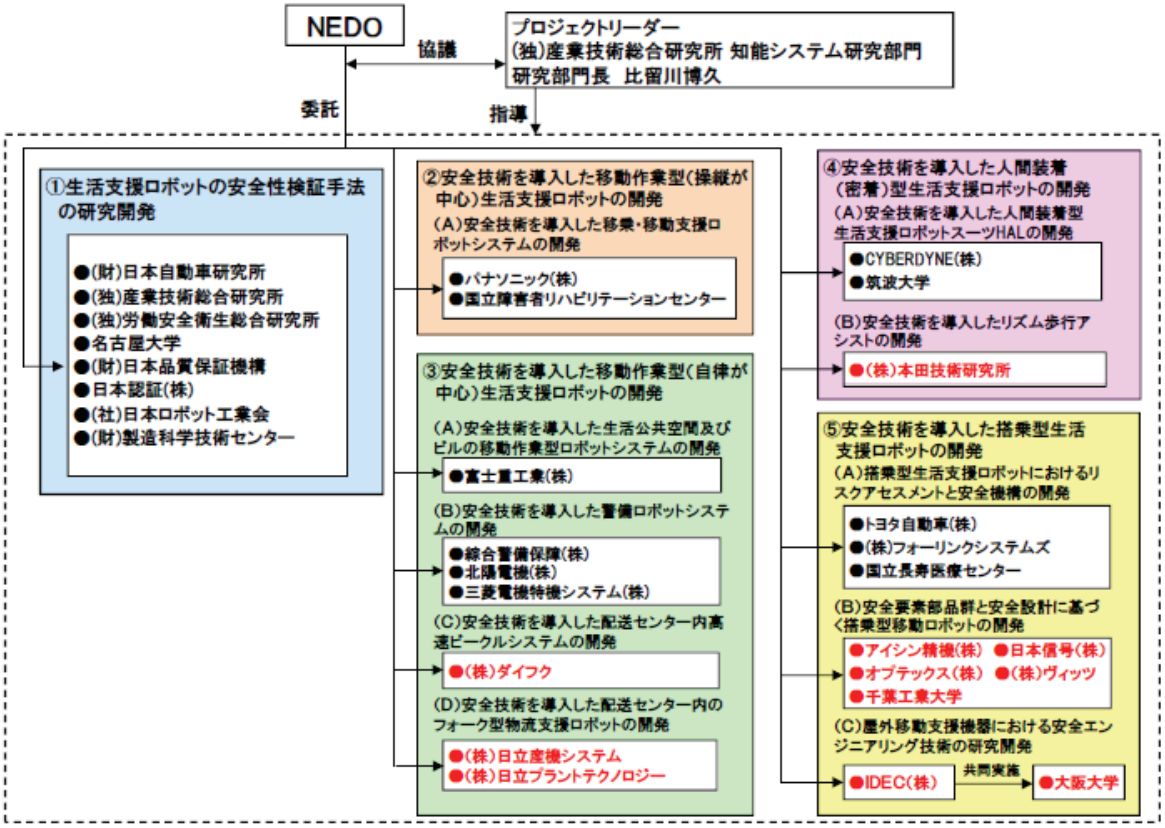


図 3.2.1-2 生活支援ロボット実用化プロジェクト実施体制

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

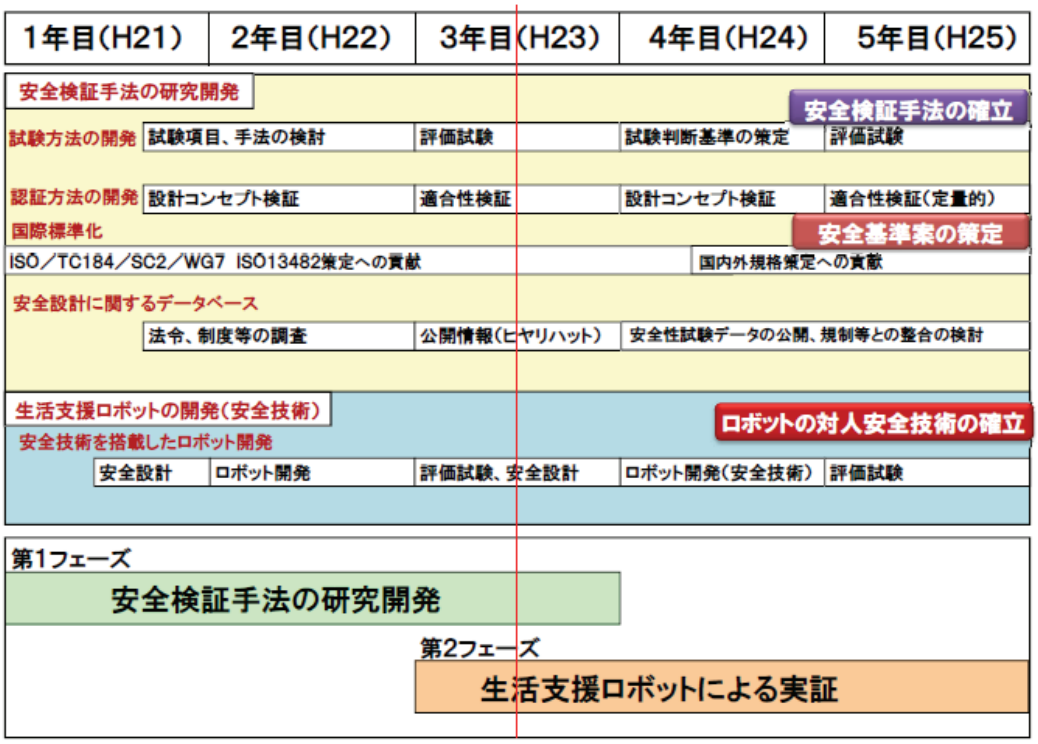


図 3.2.1-3 生活支援ロボット実用化プロジェクト 開発マイルストーン

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

3.2.2 生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

生活支援ロボットのリスクアセスメント手法を確立し、生活支援ロボットの開発者に提供するために、全般的な事項については JIS B9702：機械類の安全性-リスクアセスメント原則、手法については ISO/TR14121-2：機械類の安全性-リスクアセスメント原則-第 2 部：実践の手引きおよび方法の例などを参考にアセスメント手法を開発している。

試験・認証方法については ISO/IEC Guide65（JIS Q0065）「製品認証期間に関する一般要求事項」に準拠した認証機関、ISO/IEC 17025（JIS Q17025）「試験所および校正機関の能力に関する一般要求事項」に準拠し、プロジェクト終了後に設立・継続できるような体制の構築をめざしている。試験方法については国際標準化の国内委員会と連携し、ISO13482 の試験法・要求事項の具体化および、認証基準の標準化を図る。国際規格ベースでの安全検証のため、茨城県つくば市に「生活支援ロボット安全検証センター」を設立し、安全検証のために必要な設備を導入済みで、低コストで効率的なサービスを提供することをめざしている。

認証に関しては、生活支援ロボットの安全認証を取得するためのソフトウエア開発手法や開発プロセスを一般の技術者に普及させる目的で、「機能安全※ソフトウエア開発ガイドライン」を策定する。産業を特定しない機能安全規格である IEC61508 を基盤として生活支援ロボット向けの要素を盛り込む。IEC61508 は全体で約 2500 ページの膨大かつ難解な規格のため、IEC61508 で規定した全安全ライフサイクルに適合した開発プロセス・フェース・タスクの定義、認証用ドキュメントに求められる留意事項と記載事項の定義、開発を支援するための要素と内容の定義、開発する組織に求められる要素と内容の定義を実

施する。

※「機能安全」について

NEDO の生活支援ロボット実用化プロジェクトで行われている取り組みの中で「機能安全」は一般にはなじみの薄い概念である。機能安全は、欧州規格名称“Functional Safety”をそのまま日本語に置き換えた言葉で、安全に関する言葉であることは想像できるが、その内容までは言葉からはわからない。「本質安全」と対比される概念で、「本質安全」が、機械が人間や環境に危害を及ぼす原因そのものを低減、あるいは除去して安全を確保するのに対し、「機能安全」は、機能的な工夫（安全を確保する機能）を導入して、許容できるレベルの安全を確保することを指す。この概念の説明の例としてよく対比されるものに「鉄道の線路と道路との交差」がある。線路と道路の交差部を立体交差にすれば、踏み切り上で事故に遭遇する可能性はない。これが「本質安全の概念」で、ロボットも動作空間と人間とを完全に分離することができれば事故（ここでの「事故」は、「人に及ぼす危害」を言う）を起こす可能性は存在しないが、生活支援の目的からそのような選択肢は現実的でない。一方の「機能安全」は、踏み切りにおける警報機や遮断機の設置に相当する。これらが設置されていても絶対的に安全とはいえないが、許容できるレベルの安全は確保している。生活支援ロボットにおいては各種のセンサと制御技術で許容できるレベルの安全を確保する。この安全のために用いる制御機器（ハードウェア、ソフトウェア共）には、機器の故障が発生した場合でも人に危害を及ぼさない安全性能が必要となる。IEC61508 では安全性能を表す尺度として安全度水準（SIL）を SIL1 から SIL4 まで 4 段階定めており、SIL4 が最高の水準となる。低頻度作動要求モードと高頻度作動要求モード(または連続モード）の 2 種類の運転モードにおける、各 SIL に対応した目標機能失敗尺度が規定し、必要とされる機器の選定と設計が求められる。 実現手段としては SIL の認証を受けた機器の選定、制御系は多重化と自己診断が有効な実現手段となる。産業機器で一般的に使用されている制御装置や制御機器では対応できず、制御系内部での通信にまで高い信頼性が要求されるため、開発コスト、製作コストの両方が高くなり、認証までを含めて市場が形成されていない生活支援ロボットではその傾向が顕著になることが予想される。

3.2.3 安全技術を導入した生活支援ロボットの開発

生活支援ロボットの運用形態に着目し、その種類に応じた要素技術（安全技術を含む）の開発をおこない、前項で述べた安全性検証手法とあわせて導入することで、安全規格に基づいた生活支援ロボットを製作する。**表 3.2.3-1** に生活支援ロボットの種類と要素技術を示す。

表 3.2.3-1 生活支援ロボットの種類と要素技術

ロボットの種類	ニーズ，背景	概要	要素技術
操縦を中心とした移動作業型ロボット	少子高齢化が急速に進展しており、介護を必要とする高齢者・障害者が増え、その人たちを支える体制の整備が急務となっている。そのため、この分野への新しい技術であるロボット技術による支援の強化が求められている。しかし、このような介護・福祉分野へのロボット技術の活用は、利用者に加えて家族等の人との共存が必須となるため安全性の確保が必要なこと、作業内容が多様であること等から困難となっている。	操縦を中心とした移動作業型ロボットは、人の生活環境下で、ユーザーの指示によって、安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現する。	a)移動・作業技術 生活環境下において、ユーザーの指示より、移動や作業（マニピュレーション等）を効率よく安全に行うための技術。
			b)ユーザーインタフェース技術 直感的に操作可能で、利用者の負担の少ないユーザーインタフェース技術により操縦動作の安全性の確保、ユーザーに適切な情報を提示することによりロボットが周囲の人を含む作業環境に対して安全性を確保する技術。
			c)ユーザーへの適用(フィッティング)技術 利用方法が簡便であり、様々な身体状況のユーザーが、安全に利用できる適用技術。
			d)安全な退避技術 ロボットへの供給電源（バッテリ等）が、突然遮断された場合でも、ロボット本体が安全に停止、退避がなされる技術。
			e)ユーザー拘束時の安全開放技術 ロボットが故障等によって、ユーザーや第三者の身体を拘束するような状態に陥った場合でも安全かつ容易に開放できる技術。
自律を中心とした移動作業型ロボット	次世代ロボットの大きな特徴の一つは、自ら環境を認識してその情報に基づき、物理的移動を伴う作業を行う「自律性」であり、これによって複雑な環境下においても人に代わって様々な作業を行うことができる。我が国の社会が直面している少子高齢化社会に伴う労働力不足や、家庭における高齢者の生活支援等の大きな問題を解決する鍵を握る。しかし、この自律性を有する移動作業型のロボットは、従来の安全規格、概念への適合が難しく、また技術的にも確立されていない部分がある。	自律を中心とした移動作業型ロボットは、周囲の環境を認識し、自律的な判断に基づいて安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現するロボットである	a)安定走行技術 自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加減速や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術
			b)人・障害物回避技術 静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。
			c)自律走行技術 自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全性要素技術を使い安全に自律走行する技術。
			d)自己診断技術 ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報又は修復することにより、安全に運用する技術
			e)危険予防技術 ロボットの動作や行動を人に事前に認識させることや人の行動を予測することにより安全に運用する技術。
人間装着（密着）型ロボット	高齢者・障害者においては、身体機能が低下する傾向にあり、それが高齢者・障害者の自立を制限している。さらに、一層の身体機能低下への悪循環を加速している。また、要介護者の急増は介護者不足、介護労働負担を増加させている。これらの課題を解決するために人間の身体機能を拡張・増幅・支援する技術の開発が必要である。	人間装着（密着）型生活支援ロボットとは、人間に装着し、装着者の意思を反映した随意的、自律的機能によって制御される実用的なロボットである。	a)装着時機能安定技術 人に装着して人間の身体機能を拡張・増幅・支援するための駆動力制御に加え、歩行や作業に付随して生じる負荷変動、外力、障害物衝突などに対して自律的に対処し安全に人の動作を支援する技術。
			b)制御技術 装着者の意思を反映し、随意的、自律的機能によって制御する技術。
			c)安全管理技術 動作支援中の環境情報を取得し、この情報を用いて安全確保を行うための管理技術。
			d)自己診断技術 ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報または対処することにより安全に運用する技術
			e)安全要素技術 モータ、バッテリ、センサ等の人間装着（密着型）型生活支援ロボットを構成する基盤部品に関する安全技術・リスク低減技術。
搭乗型ロボット	人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在、自動車から自転車まで各種移動体が存在するが、少子高齢化の進展や CO2 ガス発生削減等の社会的課題を解決していくため、今後、高齢者や環境に配慮した移動体が求められてくる。具体的には、商業施設、駅・空港等の交通施設、オフィス、家庭に至るまで、不特定多数の歩行者や家族、他の移動体や障害物と同一空間内に共存し、搭乗者による操作または自律走行が可能な搭乗型生活支援ロボットが必要となる。	搭乗型生活支援ロボットは、人を乗せて、操縦者の指令により、または自律的に安全かつ自在に移動する機能を実現する。	a)安定走行技術 搭乗者または、自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加減速や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術。
			b)人・障害物回避技術 静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。
			c)自律走行技術 操縦者不在時の自律走行及び操縦アシストを含めた半自律走行時、②に記述する自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全要素技術を使い安全に自律・半自律走行する技術。
			d)操縦者の意図推定、操縦支援技術 広範囲な利用者にとって簡便に操縦できるものとするために、短時間での習熟により操作できるような操縦者の意図推定、操縦支援技術を備え、安全に走行する技術。
			e)協調走行技術 ロボット間及びロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御等による協調走行を安全に実施する技術。
			f)自己診断技術 ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報または修復することにより安全に運用する技術。

出典：NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」事業原簿（公開部）をもとに編集

3.3 生活支援ロボット安全検証センター

前項の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において、生活支援ロボットの安全性を検証するための試験技術の研究開発拠点として、「生活支援ロボット安全検証センター（Robot Safety Center：RS Center）」が 2010 年 12 月、つくば市に開所された(図 3.3-1)。

図 3.3-1 生活支援ロボット安全検証センターの外観

出典：NEDO パンフレット「生活支援ロボット実用化プロジェクト」より抜粋

3.3.1 生活支援ロボット安全検証センター 施設概要

生活支援ロボット安全検証センターは、内部を図 3.3.1-1 に示すような 4 つの試験エリアに分けている。

図 3.3.1-1 生活支援ロボット安全検証センター内部エリア概要

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

各試験エリアの概要は下記のとおりである。

1) 走行試験関連エリア

人の生活環境で活動する生活支援ロボットは、人との接触により人に危害を及ぼす可能性がある。そのため人との接触の前に、電気、電子、プログラマブル電子機器などによる安全機能が働いて、ロボットが停止や衝突回避をする「機能安全（機能による安全確保)」が必要になる。

走行試験関連エリアは、試験するロボットを動作させる場所と、その動きを記録する計測装置を備えており、ロボットの機能安全に関する試験を実施する。

①平坦路走行試験装置
②傾斜路走行試験装置
③環境認識性能試験装置
④ロボット走行状態模擬装置
⑤3 次元動作解析装置
⑥障害物接近再現装置

2) 対人試験関連エリア

生活支援ロボットが人とぶつかった際に、人に対してどれだけの危害が及ぶかを計測するため、衝突試験や転倒試験などを実施する。

⑦衝突安全性試験装置
⑧静的安全性試験装置
⑨人体ダミーとダミー検定装置

3) 強度試験関連エリア

生活支援ロボットに必要な強度が備わっているかを確認するため、耐久性や衝撃、荷重、耐環境性、振動など、他の工業製品と同様の機械強度試験を実施する。

⑩複合環境振動試験機
⑪衝撃耐久性試験機
⑫耐荷重試験機
⑬装着型生活支援ロボット耐久試験機
⑭ベルト型走行耐久性能試験機
⑮ドラム型走行耐久性能試験機
⑯重心移動制御装置
⑰装着型生活支援ロボット強度試験機

4) EMC 試験関連エリア

電波を遮断する電波暗室内にて、生活支援ロボットに強力な電波を照射したときのロボットの動作変化を観察したり、ロボット自身が動作時に発生する電磁ノイズを測定したりする試験を実施する。

⑱電波暗室

3.3.2 生活支援ロボット安全検証センター 体制と機能

生活支援ロボット安全検証センターは、**図 3.3.2-1** に示す体制で、「安全性認証機関」、「安全性試験機関」、「試験研究機関」、「標準化提案機関」の機能を持つ。NEDO 生活支援

ロボット実用化プロジェクト期間中は、図 3.2.1-2 に示したプロジェクト参画団体以外の利用・立入りはできない。

図 3.3.2-1 生活支援ロボット安全検証センター 安全認証体制

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

NEDO プロジェクト終了後は、一般利用者に向けてロボットの安全性を確認するための第三者認証機関・試験機関をめざす。2014 年の認証開始を目標とする。

「第三者認証」とは、「機械は必ず故障する、人は間違いを起こす」、との前提から、その製品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、設計者およ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おこなうことを言う。

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、立会検査を実施する。そして、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お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。

生活支援ロボットの安全認証は、完成したロボットをいきなり試験機関に持ち込んでも認証されるものではない。そのロボットの使用対象や使用条件によって、リスクアセスメントや各種試験、設計マネジメント、ドキュメントなど、安全の妥当性審議に必要な材料が異なるためである。そのため、安全認証について課題の指摘や助言をおこなう「認証コ

ンサル」は、生活支援ロボットの設計段階からかかわる必要があると考える。生活支援ロボット安全検証センターでは、この「認証コンサル」に関するノウハウが蓄積されつつあり、現在でも海外の認証機関からの問い合わせが多い。

3.4 認証、リスクとベネフィット

3.4.1 日本人がイメージする「認証」

独立行政法人 産業技術総合研究所では、2010 年 11 月に「製品の安全性イメージに関する調査」を実施した。同調査によれば、「製品を選択・購入するとき認証マークを確認するか？」の質問に対して、「必ず確認する・だいたい確認する」と回答した消費者の割合は、ドイツの 68.3%に対して、アメリカ 49.0%、日本 32.7% (図 3.4.1-1)で、日本人は認証に対して意識が低いことがわかる(図 3.4.1-1)。また同調査で、「製品の安全確保にとって最も重要な取り組みは何か？」の質問に対しては、一般機械、生活支援ロボット共、「中立的な専門機関による認証が最も重要」と回答した人の割合が最も高い(図 3.4.1-2)。

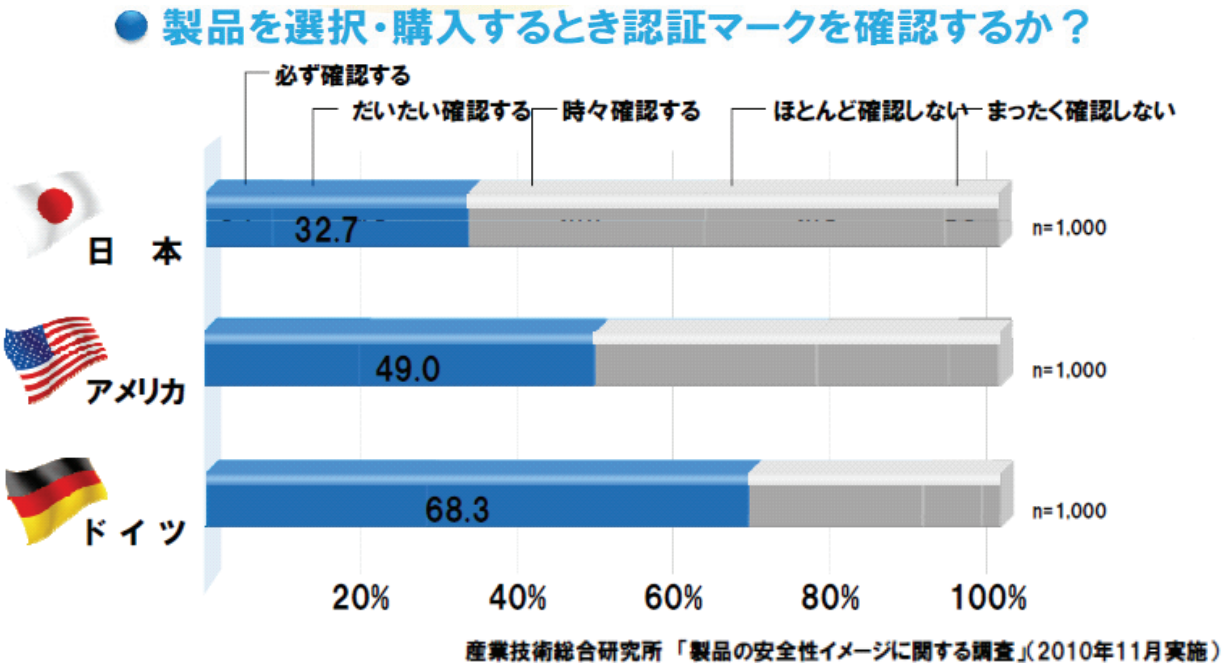


図 3.4.1-1 製品安全性と認証への関心

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

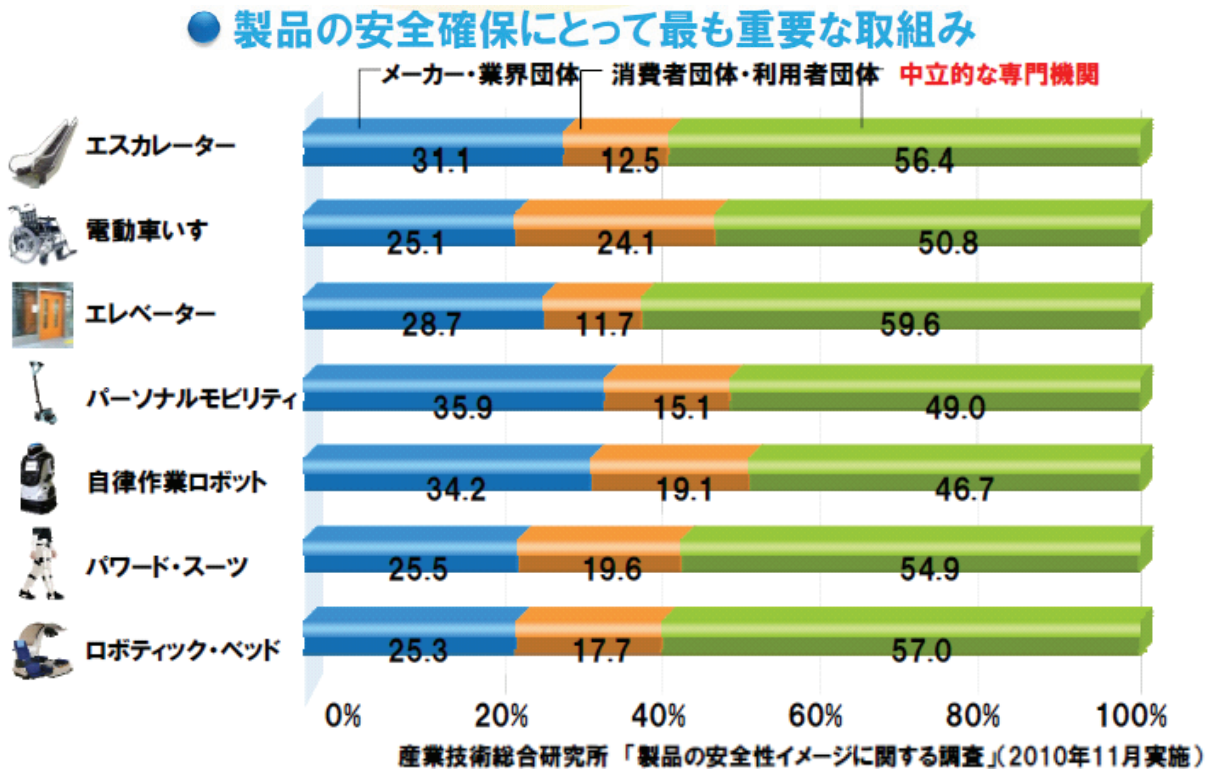


図 3.4.1-2 製品の安全確保への関心

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

日本では、「安全とは、安らかで危険のないこと」、「危険とは、危害または損失のおそれがあること」とされており、日本での安全は「すべての危害のないこと」を求められる。このため日本では、「些細な危害から重大な危害まで、あらゆる危害は一切発生させてはならない。従って、危険と判断したものはすべて対策を実施しなければならない」という考え方が強い。

一方、欧米では「危害をまったくなくすことはできないので、些細な危害はある程度発生してもやむを得ない。しかし、重大な危害は決して起こしてはならない」とされており、国際規格における安全は「許容できないリスク（危険状態）がないこと」を求めている。

製品の設計者および製造者が、合理的（経済的、技術的）に最善を尽くしてリスクを低減し、残ったリスクが許容できる範囲内であることを第三者によって確認・評価されることが安全の認証であることは前項で述べた。安全認証とは、訴訟に対する「自己防衛」である。しかしながら、日本人がイメージする認証は、日本における安全を求めていると思われる。

3.4.2 リスクとベネフィット

使用者が、製品を使用するのはその製品がもたらすベネフィットを受けるためである。しかし、製品を使用するには多かれ少なかれ、安全性についてのリスクをともなう。すでに世の中で一般的に使われている製品と、生活支援ロボットのリスクとベネフィットの関係図を図 3.4.2-1 に示す。

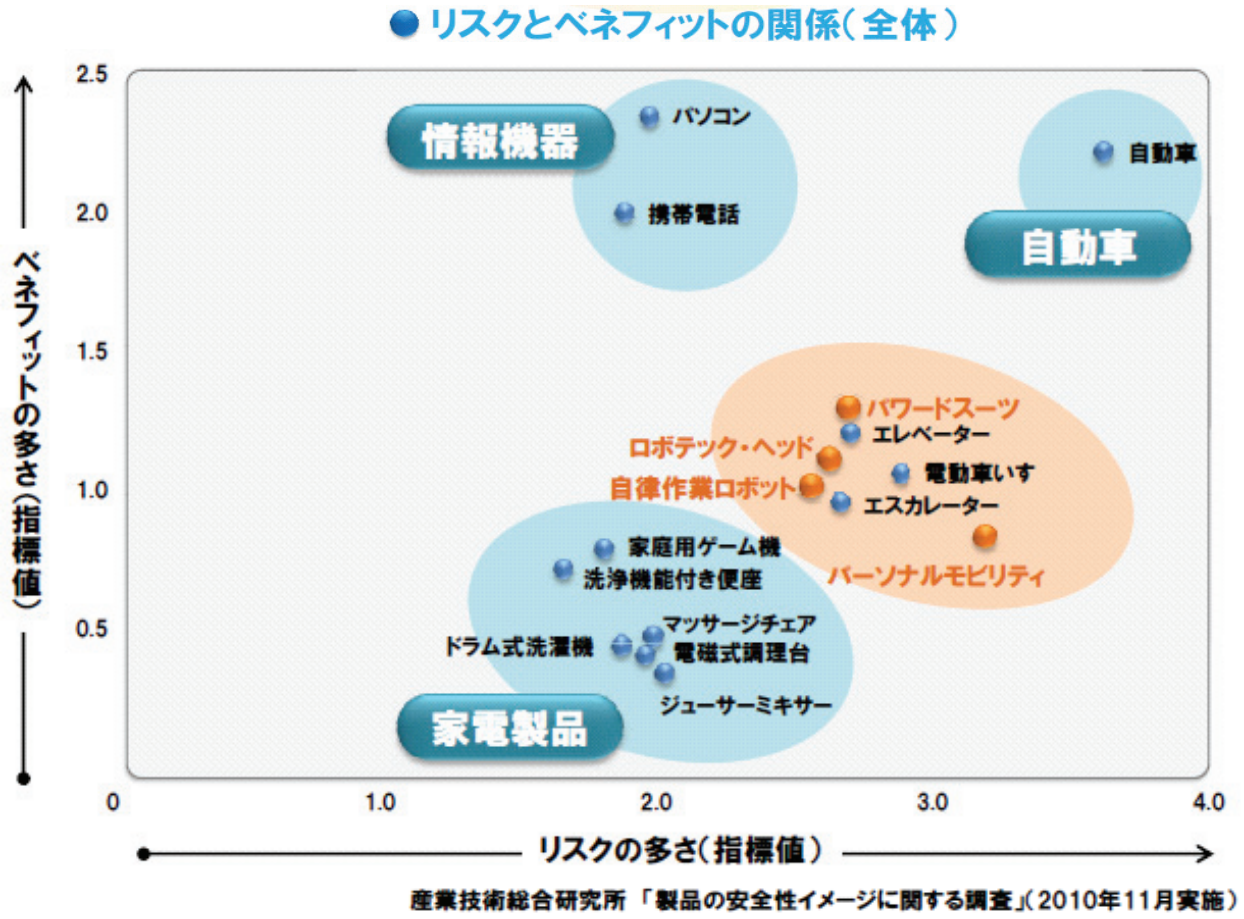


図 3.4.2-1 製品のリスクとベネフィットのバランス

出典：大場光太郎氏講演資料より抜粋

図 3.4.2-1 中の、黒文字で示された青の点は既存工業製品（家電製品、情報機器、自動車、エレベータ、電動車いすなど）で、オレンジ文字で示されたオレンジの点は生活支援ロボット（パワードスーツ、パーソナルモビリティなど）をあらわす。この図によると、生活支援ロボットのリスクとベネフィットのバランスは、エレベータやエスカレーター、電動車いすなどと同等（中リスク―中ベネフィット）と考えられており、社会に受容される範囲内である。

リスクは大きいが社会に受容されている製品として、自動車を例にあげる。自動車は、消費者から「高リスク―高ベネフィット」の製品と考えられている。自動車の重大なリスクの一つに「接触事故による危害」があげられる。このリスクについては、メーカによる製品の安全性向上よりも、道路交通法や自動車保険制度などの「法制度」によるリスク管理が、社会に受容される要因になっている（表 3.4.2-1）。

表 3.4.2-1 自動車における法制度によるリスク管理の例

リスク	法制度によるリスク管理		
	インフラ面	法律面	保険制度面
・接触事故による危害	・車道/歩道の整備 ・交通信号の整備	・運転免許証による運転者の管理 ・車検による整備状態の管理 ・速度制限	・自動車保険制度による保障

大場氏の講演では、「生活支援ロボットを受け入れるために、社会学的な見地からの議論が重要」との指摘があった。

日本国内において生活支援ロボットを普及させ、産業として成立させていくためには、消費者、メーカ、行政で下記のような議論を進める必要があると考える。

①消費者が、ロボットに対する過度の期待を捨てる。

②機能・目的を絞り込んだ生活支援ロボットを、特区制度などを活用してフィールドで実証をおこない、得られるベネフィットを確認する。

③消費者が『安全＝絶対安全』という意識を捨て、ベネフィットを得る代わりに許容できるレベルのリスクは受容する、という考えを持つ。

④リスクが許容できるものであることを、消費者・メーカ双方のために公正に評価する『第三者認証」という文化を、日本に定着させる。

⑤生活支援ロボットのベネフィットとリスクのバランスは、社会に受容されるものなのかを評価・確認する。ベネフィットに価値があるのであれば、新しい法制度の整備または既存の法制度の改定を検討する。

第４章 生活支援・福祉戦略とロボティクス技術における海外動向

「すべての社会は生きること、生きながらえることをめざす。老人をいかに処遇するかによって社会は、その真の姿を露呈する」とは、フランスの哲学者シモーヌ・ド・ボーヴォワールのことば（「老い」（朝吹三吉訳））である。

将来の RT テクノロジーや医療福祉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ための、文理融合・専門分野横断的なスコープと複眼思考が必要となる。そこで本章では、今後の生活支援や健康医療の分野での国内外の政策的・社会学的取り組みとロボティクス事業・産業の関係性を調査した結果を整理した。

まずスウェーデンと日本における高齢社会への課題認識と在宅ケア向かう近年の取り組みを概観する。これをベースに日本の介護保険法改正による新サービスの展望を述べ、在宅・遠隔サービスの可能性とロボティクスニーズにふれる。さらに海外の医療福祉ビジネスやロボティクスの事業動向に関して欧米のトピックスを説明した上で、中国をはじめとした東アジアの市場の潜在性に言及する。そして日米が主導している健康管理データの共通ネット化とサービス展開を参考に、クラウドロボティクスサービスの可能性にふれる。

4.1 高齢社会への取り組み

高齢社会とは、国家や社会の活力がなくなる衰退への過程なのか、それとも人生を全うする理想社会の実現のどちらであろうか。前者をめざすなら、「意味ある長生き」あるいは「長生きを喜べる社会」とはどのようなものかとの問いを常に持ち続ける必要がある。国立長寿医療研究センターの大島伸一教授は、以下のように日本の高齢社会の特徴を端的に指摘している（AGING FORUM 2011「大島伸一教授」資料より引用）。

①いつの時代も高齢者はいた
②延びたのは寿命ではなく平均寿命
③変化するのは人口構造と人口ピラミッド
④「65 歳以上が高齢者」には合理性がない
⑤今の 75 歳は 20 年前の 60 代前半の体力
⑥いつの時代にも動ける高齢者はいた
⑦虚弱化は 80 歳前後から進む。
⑧乳幼児期と死亡前にはひとの助けがいる
⑨定年制（社会保障制度）は 20 世紀の制度
⑩高齢化による社会の変化は急速である

以上のような特徴を前提として、本節ではスウェーデンにおける高齢社会への課題認識と近年の取り組みを概観する。これをベースに日本の介護保険法改正による新サービスの展望を述べ、在宅・遠隔サービスの可能性にふれる。

4.1.1 スウェーデンにおける高齢社会への対応と日本との比較

福祉先進国といわれてきたスウェーデンの福祉社会への取り組みについては、前年度の報告にも述べてきた。今年度の報告では主にスウェーデン大使館で開催されたセミナー「日

本とスウェーデンの高齢化社会―効果的な政策と解決法」(2011 年 9 月 29 日開催)から、主な課題認識と最近の取り組みを以下に整理した。

写真 4.1.1-1 「日本とスウェーデンの高齢化社会―効果的な政策と解決法」の模様

エーヴァ・ニルソン=ボーゲンホルム氏（社会保健省高齢者コーディネータ）の「健康と高齢化社会に関するスウェーデンの政策」によれば、高齢者によいケアを実現するために日ス間で異なる戦略を相互に学ぶ意味があるとして、高齢者にとって「活発で、安心安全な、自立した生活」をめざしている。「現在スウェーデンでは 95%が自宅で生活しており今後 85 歳以上がふえる。これによりコストが高くなる。 社会サービスと医療との連携が益々重要であり、高齢者ケアのための有効な指標を確立して、実績連動型などの施策につなげたい。そしてケア提供者も選べる自由な選択制度を導入したい」と述べていた。

ストックホルム県フィリッパ・ラインフェルト県会議員（県議会医療担当、現首相の妻）などの 2 名の発表「ストックホルムにおけるヘルスケアの取り組み」などによれば、ラースティング（県）では、税金の 20%が高齢者対応など福祉に投入されており、保育制度は世界一のレベルにあることから、少子化はとまっているという。市町村が児童保育や介護に責任を、県が医療に責任を持ち、初期からの急性期まで対応している。現在は企業にも委託している。民間では団体契約が中心であり、個人の保険利用は数%でまだわずかである。

またストックホルム県では若年層が流入しているにもかかわらず高齢者人口が増えている。これにより医療介護の負担は同じだが、その時期は人生の後半にずれる。ヘルスケア施設の拡充を要する。しかしエーデル改革以来のここ 30 年の取り組みで治療期間は減っていてベッド数は大幅に減少できた。しかし今は再びベッド数の増加が要請されている。老人病棟に増やすことにより急性期病棟に必要数を確保するためである。新カロンリンスカ病院は、高度専門化医療に特化し、老人医療が 50%増加。また eHealth が四分の一になってきた。全額給付から一定額の個人医療負担も実施するようになっている。

さらに「医療選択制度モデルで改善されてきた。これにより病院本来の業務特化を促進できる。さらに生産性の向上が必要である。患者中心の医療の実現をめざしたい。200 万人の県民は知識レベルが高いことから、医療サービスの満足度調査で待ち時間や医療の質を高めることへの要望がある。老人のように複数の疾患をかかえる人むけに直接診療により救急医療の負担をへらすことも重要になってくる。」とした。

そして医療技術は常に発展しており 医薬品や治療について生涯教育が必要になってきた。これは医療リスクの低減や医療スタッフの負担の軽減にもなる。例えば胃潰瘍などは外科対応より薬品（ルーセック）の利用にシフトすることなども検討している。

4.1.2 日本における高齢社会への課題認識と対応例

一方、同セミナーにおいて、東京大学秋山弘子特任教授（高齢社会総合研究機構）は、「高齢化社会のためにコミュニティを再設計する」として日本の状況と高齢化社会の再設計をめざす対応例を以下のように述べた。高齢社会の現状認識について下記を紹介した。

①現在の日本人の平均寿命：女性が 86 才、男性が 80 才

②75 才以上の人口割合は 2005 年:9 %、2030 年:20%、2055 年:25%に増加すると予測。

③高度成長期の上京者が現在退職時期にあり今後都市部の高齢化が問題となる。

④独居者は、現在は 10%だが、将来 40%に及ぶ可能性がある。

また、75 才以上の高齢者の身体機能の変遷について Active aging や加齢による自立性の調査結果から下記を指摘した。

①20 年前から比較して歩行速度は速くなっており、かつての 10 才下の年代と同じに。

②75 才は長寿者となるか病弱・短命者となるかの分岐点となっている。この分岐点をいかに遅らせるか課題となってくる。

③そのために、a)環境をつくる、b)きずなをつくることが重要である。

その上で、千葉県柏市と福井県福井市での社会実験の状況を紹介した。2030 年をめざして、加齢者にも優しい生活環境と雇用環境を両立し、長寿、健康、豊かさのバランスある社会の実現について説明した。

スウェーデンの参加者からは、「高齢者の病院の状況」に関する質問に対して、秋山教授は、「いまは 5 年計画の 2 年の段階であり、医療ニーズに会わせながらプライマリ医療を地域に作ること。しかしながら地元医師会は必ずしも歓迎しない場合が多い」などと答え、また「若い人の働く環境、雇用環境との両立」に関する質問について「労働力不足に対応する外国からの人材流入は限定的であり、高齢者のうちの比較的若い方、また技術を利用することが今後大事になる」と指摘した。

双方を交えたパネル討論では、司会者から、現在 65 才以上が日本では 23%、寿命は 50 年で 30 歳のびた。一方スウェーデンは 90 年代に高齢化横ばいに、家族政策が成功した。今後慢性期の医療をどうするか、日本では民営でやってきた。今後住まいと医療と福祉をどう組み直していくか、との問題提起に対して以下のようなコメントがあった。

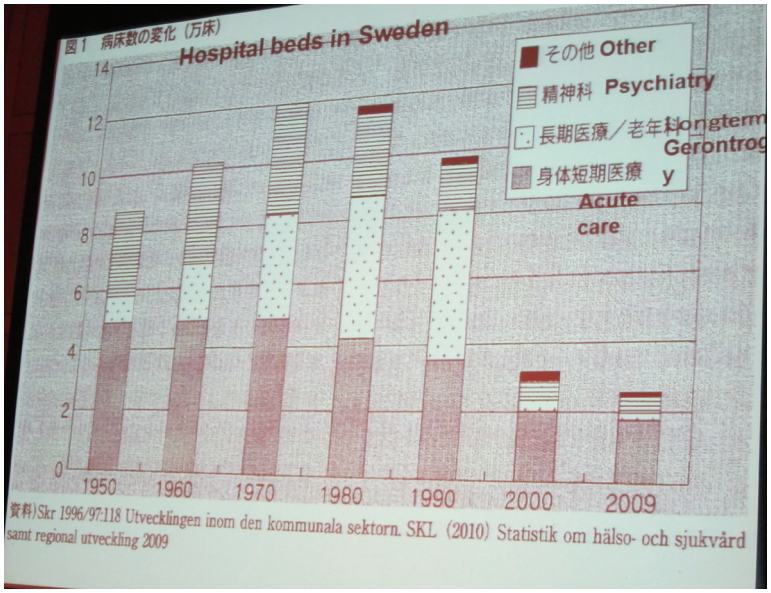


写真 4.1.2-1 スウェーデンにおける病床数の変化

出典：セミナー「日本とスウェーデンの高齢化社会―効果的な政策と解決法」より

4.1.3 スウェーデンと日本における在宅ケアの課題認識と対応

1) 在宅ケアに向けた意識変化

同セミナーにおいて、ボーゲンホルム氏は、「若い人の参入が必要であり日本ではまだ必要数の 1/2 しか満たしていないときく。このためには社会の世代間のきずながより重要になる。スウェーデンではエーデル改革により病床数の急激な減少を達成し 12 万床から 3 万床になった。これにより病院中心から地域の在宅ケアにシフトし取り組んできた」という。日本でも長期療養ベッドを少なくしたい社会的要請があるが、安心がキーワードととなり進んでいない。

さらに、「改革 により老人ケア、精神科ケア が在宅で可能になってきた。そして 1990 年代半ばに精神病院や老人病院をなくした。小規模なホームが増加し、在宅ケアが拡大することにより社会コストの改善につながった。しかし現在、その反省もある。」

最初は在宅したがらない意識が強く、かつ家族も在宅でない方が楽と考えた。しかし現在、在宅が主流となっており、このような意識の変化が重要であった。社会からの介助レベルも下がっている。本当は病院より自宅で暮らしたいのが普通である。病院中心では尊厳を失ってしまう。意識を変えていくことが重要である。また「在宅の方が安全であり、かつ家族のもとで、感染も少ない」と考える。さらに別議員から「1996 年に精神病院閉鎖した。全員が地域社会のメンバーとの意識の下で。90%の人が改善し 5%は低下と評価した。私も 95 才の母が一人暮らしをしており、健常者むけケアセンタを利しており用、今は自分の家がよいといいている。」との自身の体験を疲労していた。

2) 在宅ケア・自立とコミュニティとのリンク・統合

秋山教授は、地域の受け皿や、住まいと人を接続することに関して、柏市での包括的な再設計事例から、在宅ケアには、住宅と輸送システム、コミュニティ組織やボランティア組織、さらに専門家も可能な限り参加することを述べた。また若い人と融合して住んでもらうこと、そして歯科医も重要という。レストランも町の中心に位置してデリバリーもおこなうことなども紹介し、米国でも、すばらしい在宅医療事例があることも述べた。

ラインフェルト氏は「コミュニティと病院とのリンク」を指摘し、また一人で孤立せずデイセンターで楽しい時を過ごすことや周囲の人も互いによく知ること、これらをボランタリサービスで提供することの重要性も述べた。ボーゲンホルム氏は「在宅ケアには、食事、医療、リハビリが必要であり、デイケアセンターにいけない人のための施策も必要である。通常のコミュニティへの統合を考えている。」と述べた。

また多摩地区 10 市の医師会での取り組みも参加者から紹介された。「20 年間、在宅医療に取り組んできてすでに実績を積んでいる。リハビリ前置主義だが、まだ介護主体である、さらに摂食嚥下をいれたい。これには市民の理解が必要である」と述べた。しかし地域の意識はいまだに 1970 年代のスウェーデンの意識と同じ程度という。また日本では、「国が責任、医療は県、介護は市町村が担当しているといえる。スウェーデンでは政治の信頼があるから、責任がとることができ税金もとれる。日本では消費税もできない政治・社会の現状がある」との指摘もあった。

最後の総括コメントでは、ボーゲンホルム氏は「共通の金(税金)をどこに使うのかの（合意形成）すること」、ラインフェルト氏らは､「健康な子供を育てることを目標に、両親やフルタイムの仕事に従事する夫婦が､広く話しあいをすること」また「日本には情報と技術がある。チャンスをいかすことが重要で、テクノロジーからも可能性がもたらされる」ことなどの指摘があった。

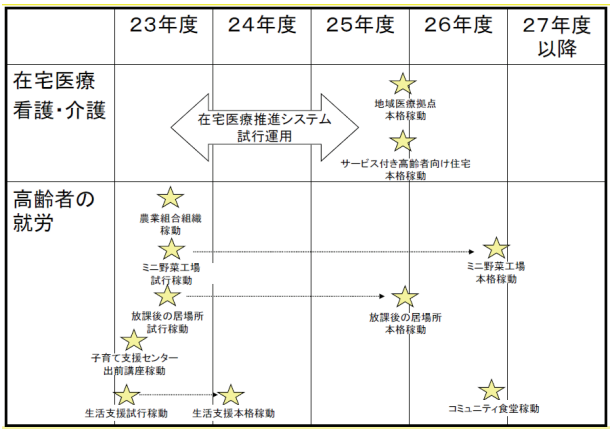


図 4.1.3-1 「長寿社会のまちづくり」の例
出典：柏市豊四季台地域高齢社会総合研究会資料より

秋山教授は、スウェーデンから学ぶことは、自立してやっていこうとしていることで、日本ではあと 20 年で半分（の高齢者）は子供に頼れずひとりで生活することになる中で、ケアだけでなく、安心感と幸福感をもっていけるか。両国がいっしょに学ぶ意義を確認した。

4.1.4 日本における介護保険法改正と在宅・遠隔サービスの可能性

日本では 2012 年 4 月に介護保険制度改正が実施される。団塊の世代が後期高齢者となる 2025 年を見据えて、在宅を中心に中重度や医療必要度の高い要介護者を支える仕組みが盛り込まれている。また同時並行で、地域で高齢者の生活を支える「地域包括ケアシステム」の整備が進められようとしている。

1) 介護保険法改正と新たな地域密着型・包括的サービス創設

介護保険制度の見直しの主な内容は、「介護保険制度の見直しについて（パンフレット)」によれば、まず以下に示す 2015 年の高齢者像を将来展望している。

- 高齢者人口の増加：2015 年には「ベビーブーム世代」が高齢期(65 歳)に到達し、その 10 年後(2025 年)に高齢者人口はピーク(3,500 万人)となる。我が国は、高齢化の「最後の急な上り坂」の時期を迎える。
- 高齢者独居世帯の増加：2015 年には、「高齢者の独居世帯」は約 570 万世帯（高齢者世帯の三分の一）に増加し、高齢者夫婦のみ世帯も約 610 万世帯となると見込まれている。特に、高齢者独居世帯の増加は都市において著しい。
- 痴呆性高齢者の増加：現在、約 150 万人である痴呆性高齢者が、2015 年には約 250 万人に増加すると予想されている。

これを見つめた上で、下記の(1)～(3)に示すような課題への対応をおこなおうとしている。

(1) 介護予防の推進 「介護」モデル⇒「介護＋予防」モデル

高齢者ができる限り介護を必要としない、あるいは重度化しないようにすることをめざし、「新予防給付」や「介護予防事業」の導入など、予防重視型システムへの転換を図っている。例えば、「体力をつける」「口と歯の健康を守る」「健康的に食べる」ことなどを目的に、個人個人の体力や状態に合わせた介護予防教室や個別指導などが各地域で行われる。

(2) 痴呆ケアの推進 「身体ケア」モデル⇒「身体ケア＋痴呆ケア」モデル

現行のサービスの基本は、身体障害を有する高齢者に対する「身体ケア」においている。今後は「痴呆ケア」に軸足を置き、「高齢者の尊厳の保持」を基本に、環境変化の影響を受けやすい痴呆性高齢者の特性に配慮した小規模・多機能型サービスなどの「地域密着型サービス」の創設や、早期の診断・対応から始まる「継続的な地域支援体制」の整備、虐待防止のための「権利擁護システム」の充実が望まれる。

(3) 地域ケア体制の整備 「家族同居」モデル⇒「同居＋独居」モデル

高齢者独居世帯や高齢者夫婦のみ世帯が、介護が必要となってもできる限り住み慣れた地域で人生を送ることができるよう、「地域密着型サービス」の創設や、「地域包括支援センター」の設定などによる「地域ケア体制」の整備を進めている。

制度見直しの具体的な内容を、**表 4.1.4-1** に示す。

表 4.1.2-1 介護保険制度の見直しの具体的な内容

項　目	主な内容	備　考
Ⅰ　給付の効率化・重点化		
1.総合的な介護予防システムの確立	①「予防重視型システム」への転換 ②「総合的な介護予防システム」確立 ③関連サービスの見直し	・要支援・要介護１のサービスの効果改善 ・市町村の責任主体化、新・予防給付 ・訪問介護、通所リハビリの再編など
2.施設給付の見直し	①保険給付の範囲・水準の見直し ②施設サービスのあり方	・「介護費用」に重点化 ・利用の弾力化と機能の地域展開
Ⅱ　新たなサービス体系の確立		
1.地域密着型サービスの創設など	①地域密着型サービスの創設 ②関連サービスの整備	・地域の特性に応じた多様で柔軟な提供 ・「小規模・多機能型」「地域見守り型」など
2.居住系サービスの体系的見直し	介護保険対象を「特定施設入所者生活介護」にも拡大	・「包括型」のほか「外部サービス利用型」も
3.医療と介護の関係	地域における両者の包括的マネジメント	・医療ニーズの他界重度者に対応した医療型多機能サービスや介護施設における医療、ターミナルケアへの対応
Ⅲ　サービスの質の確保・向上		
1.ケアマネジメントの体系的見直し	①在宅と施設、医療と介護の連携評価 ②ケアマネの独立性重視	・包括的・継続的マネジメント ・専門性の確立、資格後進性の導入
2.地域包括センターの整備	地域における総合的なマネジメントを担う中核機関	・総合的な相談窓口機能、介護予防マネジメント、
3.「情報開示」徹底と「事後規制ルール」	利用者によるサービス選択の実効あるものとするため、全事業者に徹底	・事業者の「指定更新制」の導入
4.専門性を重視した人材育成と資質の確保	資格要件や研修の見直し、痴呆ケア	・介護職員は将来「介護福祉士」を基本とする方向
Ⅳ　負担の在り方の見直し		**略**
Ⅴ　制度運営の見直し		**略**

出典：厚生労働省「介護保険制度の見直しについて（パンフレット）」より抜粋整理

2) 介護保険法改正による在宅・遠隔サービスの可能性

日本での介護保険法改正により、新たな在宅・遠隔サービスの可能性が考えられる。

図 4.1.4-1 に示すように、今後、都道府県が管轄してきた広域利用の一般的サービスから、市町村が管轄する生活圏域を利用する地域密着型のサービスの創設・導入・普及が予想される。これは今までよりも、小規模・多機能サービスであり、地域見守り型サービス、痴呆専用型デイサービス、地域夜間対応型サービス、小規模居住系・小規模入所系サービスなどが想定される。

また一方、これらのサービスと関連する在宅療養支援拠点サービスのイメージは、例えば図 4.1.4-2 がある。

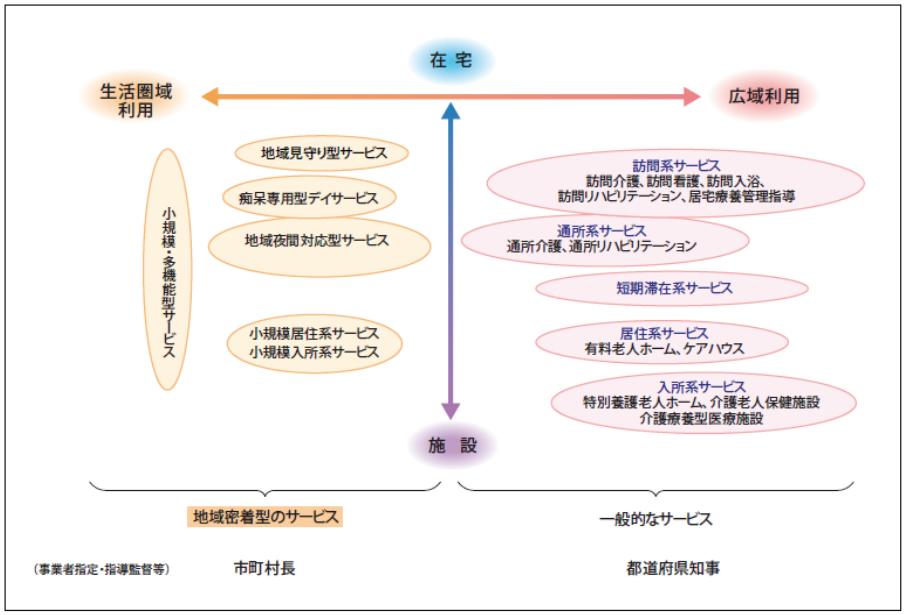


図 4.1.4-1 介護保険制度改正による地域密着型サービスの創設概念図

出典：厚生労働省「介護保険制度の見直しについて（パンフレット)」より抜粋

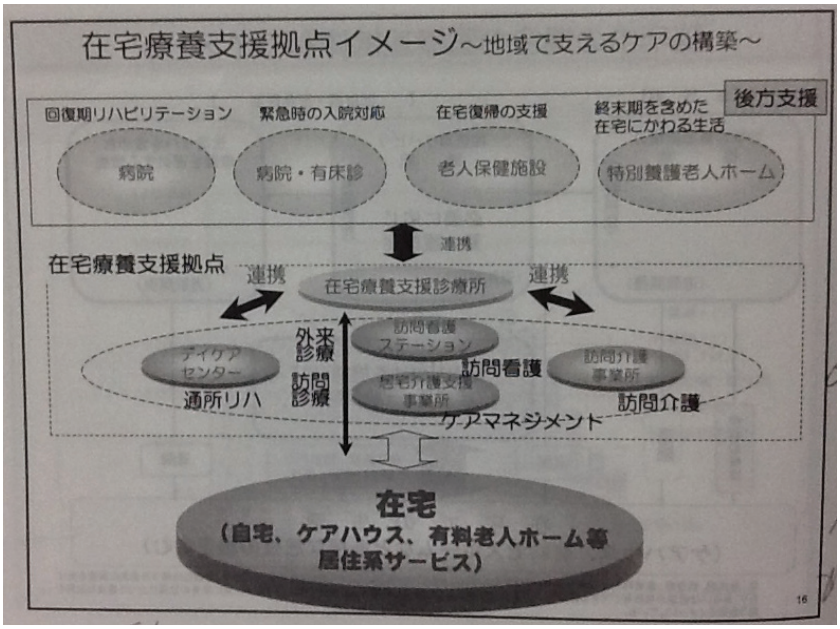


図 4.1.4-2 在宅療養支援拠点イメージ図

出典：AGING FORUM 2011「東京大学辻哲夫教授」資料より抜粋

ところで国立長寿医療研究センターの大島伸一教授が指摘（日経 BP 社 AGING FORUM2011）しているように、高齢社会とは、「元気な高齢者から元気を奪わない社会」「支援」が必要な時に気兼ねなく支援を受けることができる社会」、すなわち「長生きを喜べる社会」といえよう。それは「全世代にとって喜べる社会」でありかつ「ゆとりのある社会」が要請される。これは、①価値観の変化と②イノベーションが重要な役割を果たす。

価値観の変化とは、「シンポ・成長・技術至上」「個の尊重」から地域・自然から世代・社会における有限・持続・調和を前提とした「共存・共生」の価値が一層みなおされよう。一方、イノベーションの機会は、ドラッガーによれば、

①予期せぬことの生起
②現実とあるべき姿のギャップ
③ニーズの存在
④産業構造の変化
⑤人口構造の変化
⑥ものの見方、感じ方、考え方の変化
⑦新しい知識の出現

にもたらされるという（『イノベーションと起業家精神』）。

世界でかつて経験しなかった日本の超高齢化社会の到来は、上記の機会の①～⑤の要因に大きく関係する。前述した意識の変化は⑥をもたらす可能性が高い。ICT やロボット技術のかつてない進歩は、④や⑦に相当しよう。このような広い視点に立つと、在宅を基軸とした地域密着型のサービスは、新しい技術やインフラを用いて、地域や在宅起点の新しいサービスの創出が十分見込まれる。

世界中の先進諸国が高齢化する中で、アジアの高齢化は急速である。これらの国々は日本の動向を注視していることは間違いないであろう。ここに巨大な市場が想定されるであろうし、技術・社会インフラの援助を通して国際的な貢献にもつながることになる。

4.1.5 高齢社会での医療福祉ビジネスとロボティクスのニーズの視点

高齢社会での医療福祉ビジネスとロボティクスのニーズの視点を、以下の 2 つの側面から検討する。

1) 認知症になっても安心な医療と社会

国立長寿医療センターの鳥羽研二教授は、認知症になっても安心な医療と社会の中期的課題として、認知症の解明による治療応用、そしてもの忘れセンターなどを、また喫緊の課題としてケア困難性の検討を通して、在宅ケアへの応用を提案している（日経 BP 社 AGING FORUM2011）。

もの忘れセンターの理念は、「一日でも長く在宅しで穏やかに暮らすため、認知症に対する患者・家族の希望をかなえる」ことという。目標は、

①認知機能の維持
②周辺症状の速やかな改善
③生活機能の改善
④老年症候群（転倒、誤嚥、失禁）などをおこさない

⑤介護負担感の軽減
⑥身近な場所での認知症に対する介護サービス利用の情報提供
⑦緊急時の入院対応
などをあげている。

そして、高齢者医療の未来型モデルであり続けるために、
①家族患者を含めたチーム医療、開かれた医療空間
②最先端診断システム、医療工学、ロボット
③脳の予備脳、脳の可塑性などへの取り組み
を指摘している

また、在宅生活と認知症医療を支える仕組みとして、
①医療（在宅医療、訪問介護、サポート医）
②生活（ヘルパー、配食サービス、訪問入浴、ボランティア）
③地域（認知症サポータ、登録商店、都市団地再生プロジェクト、新しい隣組）
④支援機器
をあげている。

この中で、**図 4.1.5-1** に示すような医療のパラダイムの転換も想定している。このような大きなパラダイム転換の中で、新たな医療福祉ビジネスやロボティクスの役割を考えていくことが、益々重要となろう。

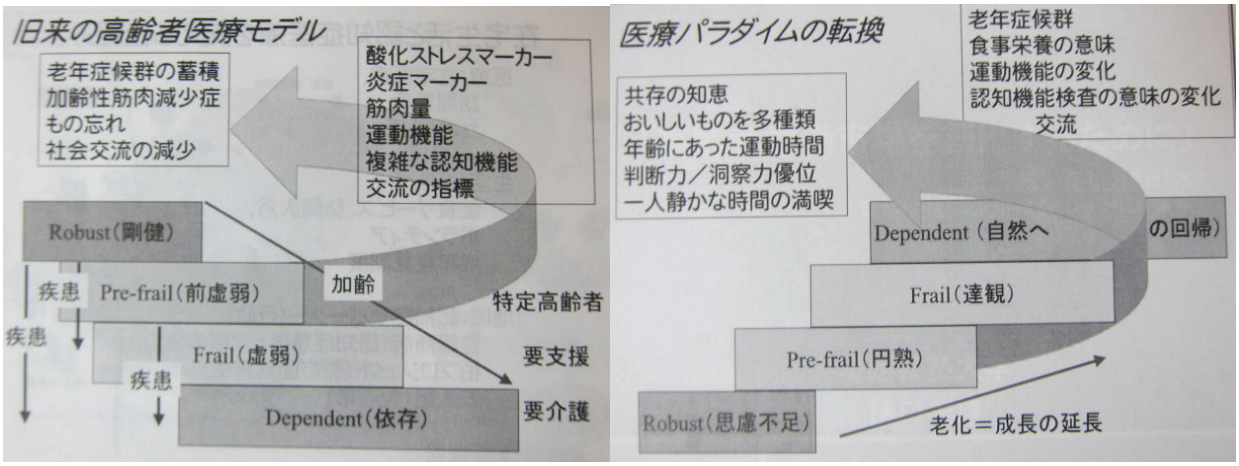


図 4.1.5-1 旧来の高齢者医療モデルと医療パラダイムの転換

出典：日経 BP 社 AGING FORUM2011 国立長寿医療センターの鳥羽研二教授
「在宅生活を支える医療とは 特に認知症について」予稿資料より

2) 高齢者労働市場を創出すること

慶應義塾大学の樋口美雄教授は、生涯現役社会が求められる要因として、
①少子高齢化により労働力人口の減少
②就業者の減少による消費支出の縮小
③年金支給開始年齢の引下げ
④企業の活力向上・技能の継承
をあげた上で、a)定年年齢の引き上げ、b)定年性の廃止、c)再雇用制度の導入、などの

オプションを述べている。c)について、65 歳以上の多様な働き方を以下のように列挙している。

①技能伝承
②ジョブシェアリング
③専門技術を活用した在宅勤務
④シニアサブマネージャ
⑤シニアスタッフ店舗
⑥地域企業の共同受け皿会社
⑦出身企業による自営の支援
⑧NPO への支援
⑨起業支援の NPO など

そして高齢者活用のポイントとして、「保障と拘束の関係から自己選択のできる関係へ」「その人の背負っている生活にではなく、仕事に給付する」「職務の明確化と公平な査定の実現」「能力開発支援」「柔軟で多様な生き方」などをあげている。

これらの指摘は、高齢者の仕事環境に関する今後のニーズを引き出すことができよう。これに対して、高齢者の仕事をサポートする環境を検討、遠隔環境で仕事を提供するサービスなどが構想される。

4.2 海外の医療福祉ビジネスとロボティクスビジネスの動向

本節では、海外の医療福祉ビジネスやロボティクスビジネスの事業動向を、欧米のトピックを説明した上で、中国などアジア市場の潜在性に言及する。そして日米が主導している在宅の健康管理データの共通ネット化とサービス展開を例に、クラウドロボティクスサービスの可能性にふれる。

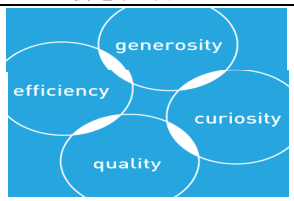
4.2.1 欧州の医療福祉ビジネスと介護ロボット事業動向

将来の RT テクノロジーや医療福祉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と複眼思考が必要となる。そこで本章では、今後の生活支援や健康医療の分野での国内外の取り組みとロボティクス事業・産業の関係性を調査した結果を整理した。

1) スウェーデン医療福祉関連企業のビジネス事例

スウェーデン大使館で開催された「ビジネスソリューション」セミナー(2011 年 9 月 29 日)においてプレゼンのあったスウェーデン医療福祉関連企業のビジネス事例を表 4.2.1-1 に整理した。

表 4.2.1-1 スウェーデン企業の福祉ビジネス例

企業名	事業内容	関連する図とURL
SYMBIOCARE シンビオケア	スウェーデンのヘルスケアを国際的に促進するスウェーデン政府と産業界のイニシアティブで発足した企業、関連団体、コンサルタントのネットワーク。スウェーデンのヘルスケアモデルに基づき、「健康と医療が境界を超え連携し、ヘルスケア分野のすべての機能が一つの大きなシステム内で一体化することにより結果として相乗効果」をめざすアプローチ。経済的持続性と最良のヘルスケアサービスの両立をめざす。	 http://www.swedishtrade.se/sv/affarsomraden/halso-och-sjukvard/symbiocare/
ARJOHUNTLEIGH JAPAN アージョハントレー日本	ヘルスケアとライフサイエンス分野のソリューションプロバイダー企業。お客様が求める国際的品質基準に適合した高品質な製品の提供をめざす。ゲッティンゲグループの一員として、ケアを受ける側である患者や施設利用者のために、安全で快適な解決策を提供する。患者移乗と移動のためのリフト、入浴装置や衛生機器、傷のケアや感染コントロールに着目した機器など	 http://www.ArjoHuntleigh.com
3D DENTOMED スリーディー・デントメッド	2003 年より在宅および福祉施設で過ごす高齢者や身体の不自由な方々に対し、訪問歯科サービスを提供。カロリンスカ研究所開発の可動式の歯科治療ユニットにより、一般の歯科クリニックと同じ内容が施設・在宅でも受診可能で、スウェーデン国内で約 3 万人治療実績。また歯科治療・口腔ケアを専門チームがあり、介護職員に口腔ケア教育も。	 http://www.dentomed.se
ERICSSON JAPAN エリクソン・ジャパン	スウェーデンに本社を置くエリクソンは、通信・サービスのリーディングプロバイダ。世界で加入者 20 億人のネットワーク運用をおこなう。175カ国、従業員数9万人。ヘルスケア業界にも力を入れ、エリクソンのヘルスケアソリューションの一つであるエリクソンモバイルヘルス(EMH)は医療機器から計測された生体情報を、モバイルネットワークを介して収集、解析する仕組みを提供。医療機関などに対して、EMH による高度で効率の高い医療サービスの構築・運用を支援。	 http://www.ericsson.com/jp/
INVEST IN SKÅNE スコーネ地方企業局	スコーネ地方(スウェーデン南部)の貿易・投資促進活動を目的として、投資および事業拡大を考えている企業に無料の相談およびサービスを提供。例えば下記の企業などを紹介。 ①イラストラ・ケア社(Illustra Care): 地方自治体向けの高齢者介護プラン作成システム。 ②クロス・ライフスタイル・ソリューションズ社(Cross Lifestyle Solutions):心血管疾患および糖尿病患者を対象とした遠隔測定システム、 ③クンクタス社(Cunctus):在宅患者の健康および服薬状況をチェックするモニタリングシステム	ILLUSTRA CARE CROSS Lifestyle Solutions Cunctus http://invest.skane.com/ http://www.illustracare.se/ http://www.cross-solutions.com/ http://www.cunctus.se/
MEDICPEN メディックペン	1999 年に設立されたストックホルム証券取引所上場企業。デジタル式錠剤ディスペンサー、Medimi™は薬の飲み忘れ防止機能と服薬記録管理機能を兼ね備えた最新のディスペンサー。服薬記録はビル単位でデータベースに転送でき医師や看護師・患者の家族が服薬状況を随時確認可能。Medimi™は様々な患者グループや医療サービス、スウェーデン障害研究所と共同開発、欧州で特許取得。	 http://www.medicpen.se/
NEAT ELECTRONICS ニート・エレクトロニクス	高齢者介護用警報装置のヨーロッパのリーディングサプライヤー。ヨーロッパ・南米の 20 カ国以上に販売。在宅および施設における被介護者向けにセキュリティ・安全・見守り用に無線通信インフラ技術を採用、日本の無線・通信規格を満たしている製品も多数。在宅ケア電話 NEO は IP、コールボタンの ATOM が付属。警報装置には煙感知器や、ドア警報装置、ベッドアラーム、てんかん患者用アラーム、転倒感知アラームなど。介護施設向けではアラームやナースコールシステムを警報装置と携帯受信機を組合せ、介護スタッフに警報通知する。認知症患者向けの位置確認装置は、在宅ケア電話や介護施設のシステムに組込み利用可能。	 http://www.neatelectronics.se/se/index.htm

出典：スウェーデン大使館「ビジネスソリューション」セミナー(2011 年 9 月 29 日)

スウェーデン大使館商務部配布資料より抜粋し独自に整理

以上のように、産官連携ネットワーク、移乗リフト、訪問歯科サービス、遠隔医療システムメディックペン社：飲み忘れ防止機能付き薬箱、施設/独居老人/高専賃向け高齢者安否検知システムなどが含まれており、当日展示や事業紹介が行われた。

前年度度報告にも述べたように、スウェーデンは、自らの福祉国家の経験で培われた制度や技術を、海外に展開する政策を官民連携の上で推進している。

2) 欧州の生活支援・福祉関連ロボット事業の動向

欧州における生活支援･福祉関連ロボットについて､新しいコンソーシアム活動 Robot companion for citizen（RCC）とデンマークの実証試験のみ整理する。

Robot companion for citizen（RCC）は､欧州のロボットを人間社会に役立てようとする学際的科学技術の主導的なイニシアティブであり、ホームページには、以下のように RCC の概念を説明している。「RCC は、広義の意味で福祉のサポート・継続のため人を支援する感覚を有するマシン（sentient machines）の生態系である。RCC は柔軟な特性をもち堅い構造の秀逸な統合に基づく「ソフトボディ」をもち、感覚的、認知的、進化的な能力をもつ」としている。

この RCC のビジョンを具体的には、イタリア、聖アンナ大学院大学にあり欧州や国際的なメンバーも含む CA-RoboCom コンソーシアム(Coordination Action for the design and description of the FET Flagship candidate Robot Companions for Citizens)が推進する。すでに EC からのファンドも得ており、さらに今後 10 年で多額の投資も見込まれているため、本分野の進展が注目される（http://www.robotcompanions.eu/project)。

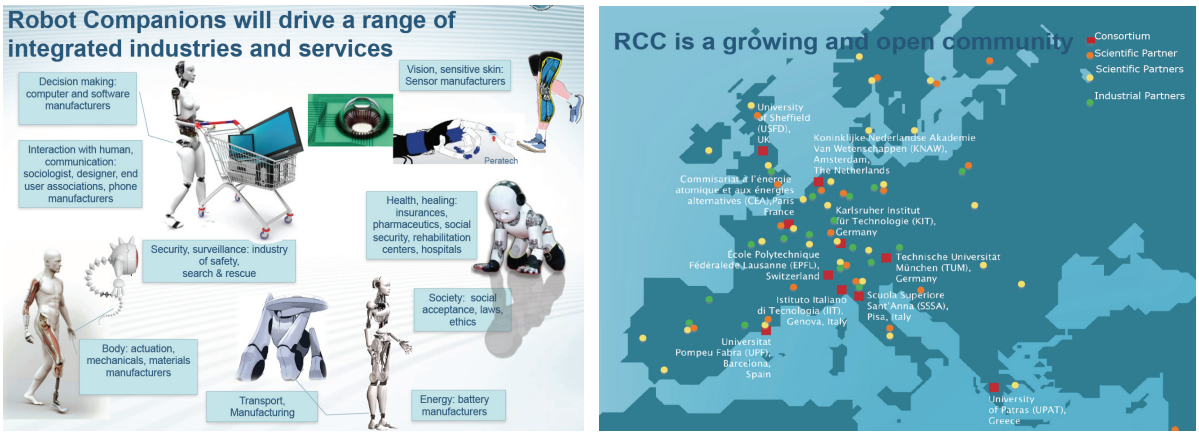


図 4.2.1-1 Robot companion for citizen 説明図例

出典：http://www.robotcompanions.eu/の資料より

3) デンマークの介護福祉ロボットの海外提携戦略

第 3 章でも述べているように、ロボットの商品化には医療・介護施設などでの実証試験が必要とされる。しかしそれには専門スタッフを要することから、国内では進展しない現状がある。この解決策として、海外で実証試験をおこなう事例が増えてきた。

特にあと 10 年で高齢者の比率が 20%以上と見込まれるデンマークは､国策として医療・福祉分野の維持継続のため、ロボットの利用により医療や介護の効率化を進めている。

そこで必要な介護施設を提供するなど、積極的に日本の自治体や企業と連携を進めている。また提携企業は、デンマークでの新技術受容性や PARO 事例で実証済みの安全規格 CE マーク取得時間の早さも魅力のようである。

現在までの主な臨床試験や実証試験などの提携を**表 4.2.1-2** に示す。

デンマークで培った使い勝手やインタラクションデザインと、日本の産官における先端技術のパートナーシップの進展が注目されよう。そしてロボット技術の海外流出の観点からも日本でも実証のためのシステムを立ち上げる必要があろう。そのためには利用者を開発のプロセスに引き入れ、ともに開発を進めていくような価値共創プロセスが要請される。

表 4.2.1-2 日本の産官学とデンマークとの連携例

組織名	事業内容	関連する URL
産業技術総合研究所	セラピーロボット「PARO」の実証試験（EU 各国にも）	http://www.ambtokyo.um.dk/ja/menu/AboutUs/News/CyberdyneParo.htm
サイバーダイン(株)	ロボットスーツ「HAL 福祉用」の実証実験	http://www.ambtokyo.um.dk/ja/menu/AboutUs/News/JapaneseRobotCompanyOpensOfficeInDenmark.htm
パナソニック(株)	福祉関係団体と共同事業で介護分野ロボットの大規模な実証試験	http://www.ambtokyo.um.dk/ja/menu/AboutUs/News/PanasonicRobots.htm
テムザック(株)	現地法人を設立、遠隔介護用ロボット「ROBORIOR」の実証実験	http://www.tmsuk.co.jp/admin_tools/data/110627_1.
大阪市: －アクティブリンク(株) －アールテクス(株)	自治体では初めてデンマーク政府と医療系ロボットを含む経済交流促進協定(MOU)を締結、以下などが含まれる。 電気刺激により負荷を印加することで訓練などに利用できる「ハイブリッド訓練機」 医療機関・施設と提携し「手指関節リハビリロボット」の実証試験	http://www.city.osaka.lg.jp/hodoshiryo/keizaikyoku/0000126635.html

下記のデンマーク大使館の web 記事や他の関連資料も参考に独自に整理

http://www.ambtokyo.um.dk/ja/menu/AboutUs/News/JapaneseRobotCompanyOpensOfficeInDenmark.htm

NHK クローズアップ現代：http://cgi4.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail.cgi?content_id=3053

ロボナブル記事：http://www.robonable.jp/news/2011/06/29robo-rabo.html

ロボタイム記事：http://robo-times.com/05-bap/plc/2011/06/bap-plc110624a.html

4.2.2 米国の遠隔ロボット事業動向

米国では、2011 年 6 月 24 日のカーネギーメロン大学におけるオバマ大統領演説において先端製造パートナーシップ (Advanced Manufacturing Partnership: AMP)を通した米国の製造業の復興を促進するための広範囲な活動の一環である国家ロボットイニシアティブ(National Robotics Initiative) を発表した。国立科学財団(the National Science Foundation)などが研究投資プログラムを発表した。「国家ロボットイニシアティブ」は、人間の能力の増強を目的として、人間とロボットの強さの違いを利用した、人間と一緒に、また人間の傍らで働くロボットの開発に力を入れる。次世代ロボット開発に必要な中核技術への投資に加え、このイニシアティブは以下のような能力を持つロボットなどのアプリケーションをサポートする(NEDO 海外レポート No.1077 を参照)。

・製造業部門の労働者の生産性を高める
・危険かつ高価な任務において宇宙飛行士をサポートする
・科学者による新規の救命薬品発見の加速を手助けする
・微生物による汚染を急速に検出して食品の安全性を高める

そこで国際電気通信基礎技術研究所（ATR）知能ロボティクス研究所の萩田所長、環境知能研究室の宮下敬宏室長の各講演（2011 年 7 月 12 日、CIAJ 講演会クラウドネットロボティクス(CNRT)産業）を基に、米国の遠隔ロボット事業の動向にフォーカスし本款と 4.2.3 および 4.3 を整理した。上記の宮下敬宏室長の「遠隔操作 RT ビジネス」講演によれば、ロボットを遠隔地から操作し、なにかをしてもらうことに大きなビジネスチャンスがある。米国では研究開発が活発化しているとして以下をあげる。

・行くことができない場所で作業できる。　例）原子炉など
・移動時間をゼロにできる。　例）米国では仕事に利用
・同時に複数箇所に存在できる。　例）2～3 倍の仕事をする

米国の遠隔操作ロボットビジネスの事例を、**表 4.2.2-1** に示す。

表 4.2.2-1 米国の遠隔操作ロボットビジネス例

組織名	事業概要
Intouch Health 社	設立 2002 年、手術用「ダビンチ」を開発した Yulun Wang 会長兼 CEO 創業 社員 110 名、直近2年間成長率 210% 企業 web:　http://www.intouchhealth.com/ 主力製品:　RP（Remote Presence Robotic System）シリーズ PR-7i:　医師が遠隔操作し診察 RP-Lite:　看護者が手動移動、医者と協力し診察 RP-Vantage:遠隔地の専門医に手術時のアドバイスを受ける 事業モデル:　病院へのリース、リース料：月額$5,000～6.000/台 実績:　全米約 350 病院が導入、2000 人以上の意思が利用中 その他:　米食品医薬局（FDA）承認 HIPPA（医療情報のプライバシー保護・セキュリティ確保に関する法律）を遵守
Willow Garage 社	設立 2006 年、Google 社 eGroup を立ち上げた Scott Hassan 氏が創業 社員 55 名、ロボット開発の営利・非営利の中間ハブ的存在をめざし、プラットホーム的な製品を提供。さらに製造販売会社 Suitable Technology 社設置 企業 web:　http://www.willowgarage.com/ https://www.suitabletech.com/ 主力製品:　RP（Remote Presence Robotic System）シリーズ ROS:　パーソナルロボット PR 開発用ソフト・プラットフォーム PR2:　PR ハードウエアプラットフォーム、社内移動 Texai:　Telepresence RT 用ハードウエア、社外から操作し社員と会話 実績:　Texai は社内で 27 台使用中、2012 年販売予定
Anybots 社	設立 2001 年、YahooStore 開発者の Trevor Blackwell 氏が創業 企業 web:　https://www.anybots.com/ 主力製品　GB:　在宅就労、テレワークを支援、2010 年秋から販売開始

出典：2011 年 7 月 12 日、CIAJ 講演会「クラウドネットロボティクス産業」資料や各社 web を基に独自に整理

InTouch Health 社の Remote Presence ロボットは、TV 会議システムに車輪をつけたようなものである。いわば 動く TV 会議システムであり、秀逸なジョイスティック操作や患者のバイタルデータの表示機能を備えている。遠隔地の医師がロボットに”乗り移り”、

診察、リハビリ指導、他の医師との会議などを実現する。米国では、医師は、施設に所属せず、病院を施設として利用する背景がある。また複数の施設を移動する範囲が広範囲に及ぶことも多いため、その労力が解消される便益は大きい。

ワン社長は、ダビンチの技術ライセンスを SRI 社に売り、それをもとに 2002 年に創業したという。FDA 承認また HIPPA 遵守により、ビジネスが開始できた。日本では、まだ遠隔診断ができないため、手術トレーニングなど TV 会議的に診察を伴わない形で進出を検討している模様である。主力製品の PR-7i を**図 4.2.2-1** に示す。

一方、Willow Garage 社は、Linux と同様な方法で普及に重点を置き、ROS や PR2 を配布販売する。PR2 は 2011 年秋時点で 11 機関に β 版を無償提供中という。Texai は、2012 年春以降に、販売を予定している。同社は、グーグル社創業の一人、Scott Hassan 氏が設立した。Texai の説明図を**図 4.2.2-2** に示す。

その他、比較的初期から取り組んできたベンチャー企業の Anybots 社も存在する。

図 4.2.2-1 PR-7i の使用事例

出典：http://www.intouchhealth.com/より

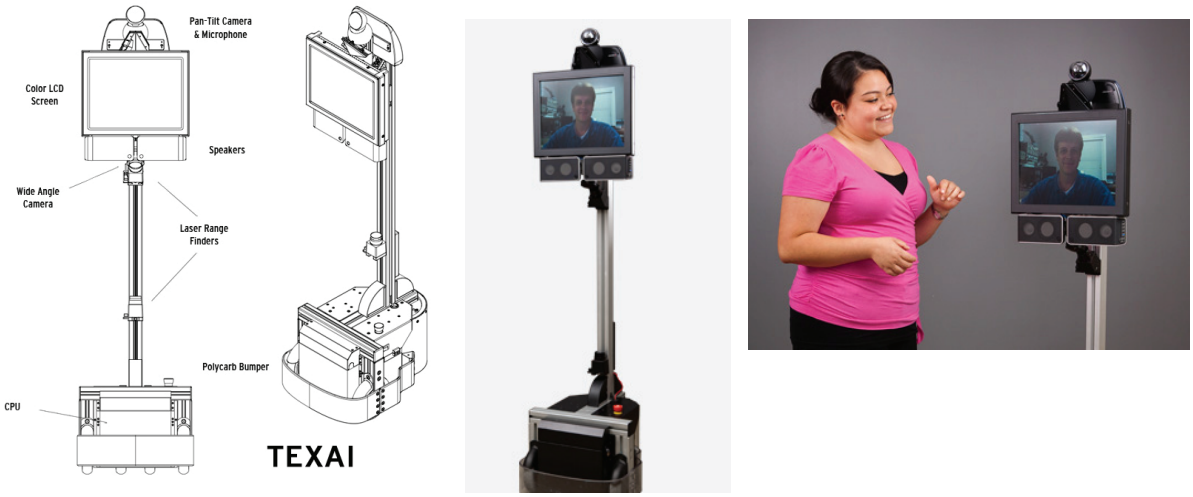


図 4.2.2-2 Texai の説明図
出典：http://www.willowgarage.com/より

4.3 医療福祉向けクラウドロボティクス産業の可能性

4.1 では、高齢社会への取り組みをスウェーデンや日本に関して、そして相互の比較をしながら述べ、高齢社会での医療福祉ビジネスやロボティクスへのニーズの視点を説明した。4.2 では、欧州の医療福祉ビジネスやロボット導入事例やビジネス戦略を述べ、さらに米国の遠隔ロボット事業動向を説明した。

そこで、本節では、東アジアにおける医療福祉産業や介護ロボット市場への期待を述べながら、今後のロボッティクス産業の方向性にふれる。

4.3.1 東アジアの医療福祉産業や介護ロボット市場と今後の対応

今後、世界中の先進国家が一部の例外を除き次第に高齢化してゆく。なかでも日本を含むアジアの高齢化は急速である。そこで、技術を有する日本の動向が注目されている。

例えば、中国では、総人口 13.5 億人のうち、都市部の人口が年々増加しており、すでに 6 億人(45.7%)となっている。また、60 才以上の人口が、1.6 億人(2008 年)に対して今後、2.5 億人(2020 年)、さらに 4 億人(2050 年)と予想される。また障害者が、0.8 億人(2008 年)→1.7 億人（2050 年)とも見込まれている。このような状況に対して、中国政府の「国家科学技術開発計画」の重点課題(2011～2015 年)には、高齢者や障害者に対応するロボットシステムなどが指定されている（ATR 知能ロボティクス研究所萩田所長資料より)。

韓国、台湾なども同様な傾向にあり、東アジアには、高齢社会への取り組みが必要な市場が爆発的に拡大すると見られる。

日本は、すでに TV などの電子製品市場は市場を奪われつつあり、日本での実験環境や法律整備および標準化、そしてロボティクスを用いたソリューションの開発・提案が要請されている。

4.3.2 医療福祉向けクラウドロボティクスサービスの可能性

最後に、医療健康機器とネット環境を結ぶ健康管理サービスにおける標準化動向を紹介

しながら、クラウド環境にリンクしたロボティクスサービスの可能性を述べる。

1) 健康管理サービス例：コンティニュア・ヘルス・アライアンスの展開

電子機器・家電の見本市 CEATEC2011 では、歩数計、体重計、体組成計および血圧計などには通信機能を持つ製品が増えてきている。データを PC や携帯電話を通して収集し、ユーザーがデータベース化された健康医療情報を確認しながら健康管理に用いることが次第に拡大している。同様なサービスは Nike+iPod によるジョギングの「パーソナルトレーナ」サービスが有名である。近年、タニタやオムロンなどの歩数計によるサービス、また帝京大などの大学病院では、健康データをクラウドシステムに蓄積することで糖尿病などの診療に活用し、患者の治療意欲を支援、かつ医師へのアドバイスをおこなう試みを進めている。

このような病院、企業、家庭、個人で健康医療データを共有するための国際規格「コンティニュア」が立ち上がってきた。「コンティニュア(Continua)」は、関連 web によれば（http://www.continuaalliance.org)、2006 年に国際規格が制定され、現在、主な IT 企業や健康医療機器や通信機器メーカを含めて 240 社以上が参加している。Continua alliance は NPO の形態をとるコンソーシアムである。本規格は、国の IT 戦略本部が展開する「どこでも MY 病院」に採用されている。どこでも MY 病院は「これまで医療機関のみで利用されていた患者情報を、患者本人が一元管理して活用することを目的とした自己医療・健康情報活用サービス」である。「個人の医療・健康等の情報を個人が所有し、自己責任のもと第三者の利用を可能とすることにより、少子高齢化・医師の偏在化・核家族化等が進展する我が国において、国民一人一人が、自分に適した質の高いサービスを享受できることを目的」としている（http://gocce-duva.com/myh/)。

東日本大震災後に被災地での患者の血圧データなどが、大学病院に送付され、健康作りに利用されているという。コンティニュアのイメージを**図 4.3.2-1** に示す。

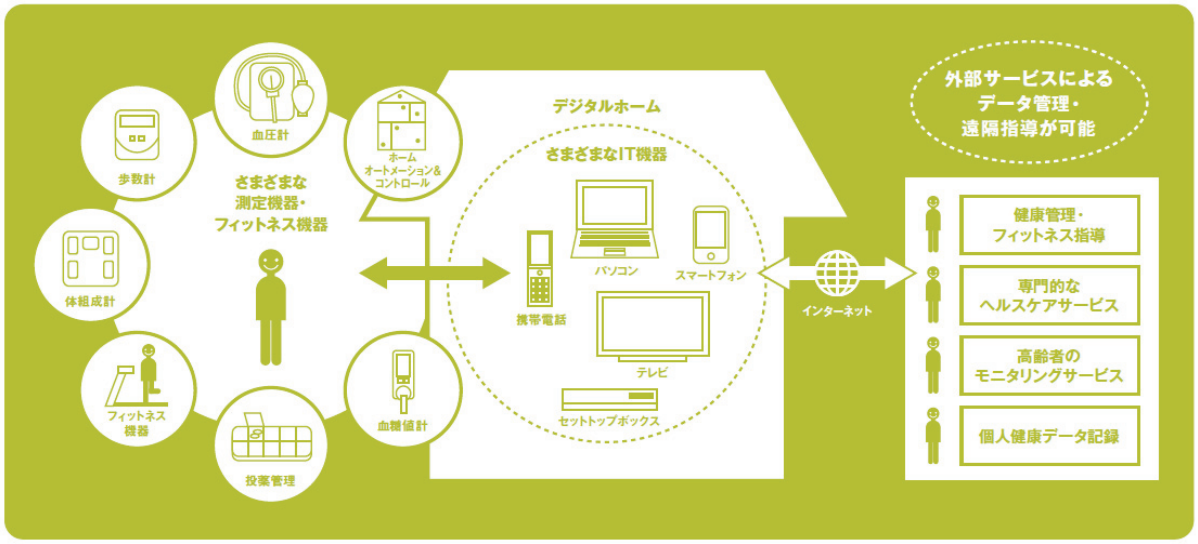


図 4.3.2-1 国際規格コンティニュアの使用イメージ

出典：http://www.continua.jp/掲載の資料より抜粋

2) クラウドロボティクスサービスの可能性

ATR 萩田氏の講演によれば、健康医療データベースを社会や地域のために使うこと、皆で共有し合うことにより、日本型地域密着型ビジネスを構築できるはずであり、その場合のツールとしてクラウドにつながったロボティクスが役割を果たすことが重要としている。今後は、クラウドとの連携も視野にいれた単体のロボティクスの知能と環境側の知能を連携するシステムが重要であると強調している。

そして、さらに遠隔操作の機能が加わることにより、新たな雇用創出にもつながるという。例えば ATR で開発中のロボビーによる遠隔観光案内サービスは地域のことに精通する高齢者の参加のきっかけと期待されるという。また買物支援として、車いす型ロボティクスによる店舗内回遊サービスなどをあげている。

国際規格コンティニュアの例に見られるように、健康医療データの標準化と通信機能そしてクラウドシステムが連携する環境がそろえば、今までにないサービスが生まれる可能性が高い。健康医療機器がロボッティクス化し、移動可能でかつ人間に適応的に動作すれば、より必要なデータをモニタリングするツールとなることは容易に予想できる。このようなサービスの創出と展開が望まれよう。

第５章 今後の動向と可能性

サービスロボットの役割として、人の代わりに仕事をする、または人の補助をすることがあげられる。正しくは災害対策ロボットして別の分類をしなければならないが、事故が発生した原発内で人に代わって作業をするロボットもまたサービスロボットと言える。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）による津波で東京電力福島第一原子力発電所はその機能を失い、深刻な原子力発電所事故が発生した。この事故の復旧において高濃度の放射線が満ちた空間に調査のためはじめに投入されたのは海外製のロボットであった。国産のロボットはなぜ運用されなかったのか、また、原発関連以外でも被災地で消火活動や救助活動を行ったロボットはいなかったのか、を検証しなければならない。放射線を受けながらの活動やレスキューだけがサービスロボットの果たす役割のすべてではないが、今後も起こる可能性がある自然災害に備え、いつまでにどのようなロボットを開発していくべきか、という課題も考慮しながら、サービスロボットの今後に関し考察する。

5.1 サービスロボット普及ロードマップ

日本では、ロボットの応用分野や要素技術ごとに米国と欧州との比較による国際競争力の分析が何度か行われている。例えば 2001 年に日本ロボット工業会および日本機械工業連合会が発行した「平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」では、「我が国のロボット分野の国際競争力を商品化レベルから見た場合、製造業分野で競争力が高いことから総じて「ロボット技術力」も高く、競争力があると思われがちであるが、原子力、宇宙、海洋、災害対応、医療・福祉などの非製造業分野は、欧米と比較して必ずしも高くはない。また、ロボットの要素技術レベルの国際競争力では、日本がマニピュレーション、移動技術などのハードウエアや下位レベルの制御技術で高いレベルにあるものの、高度な知能ソフトウエア、メディア技術、ネットワーク技術などは米国に対し劣っている。」と評している。

表 5.1-1 においてサービスロボットや福祉ロボットは平均レベルであるが、ホームロボットや医療用ロボットは競争力が低いという評価である。またこの表に医療用ロボットに関しては「日本のこの分野は技術的には国際レベルにあるが、それが市場に出るにはいくつかの課題がある。本表の評価は技術開発から商品化までのすべてを対象とした評価である。」というただし書きがある。

表 5.1-1 ロボット分野の国際競争力比較

（A）（応用技術）

（○：競争力あり、△：平均レベル、×：競争力弱い）

応　用　分　野	日　本	米　国*1	欧　州*2
製造業用ロボット（産業用ロボット）	○	△	△
建設ロボット	○	×	×
福祉ロボット	△	△	○
医療用ロボット注2）	×	△	×
原子力ロボット	△	○	○
災害対応ロボット	×	△	△
宇宙ロボット	△	○	△
エンタテイメントロボット	○	○	×
バイオ産業用ロボット	×	△	△
農業用ロボット	△	△	○
ホームロボット	×	×	×
サービスロボット	△	△	△
畜産ロボット	△	△	○
海洋ロボット	△	○	○
探査ロボット	×	○	△

＊1 カナダを含む。

＊2 欧州のロボット研究の盛んな国のみを考慮。

注1）国際競争力（応用技術）とは、①他国に真似をされるようなオリジナルな製品を開発する力、②他国に製品を輸出する力、③国内で他国を超える製品市場を持つ力、④市場をプロモートする力、などを総合的に評価したもの。

注2）日本のこの分野は技術的には国際レベルにあるが、それが市場に出るにはいくつかの課題がある。本表の評価は技術開発から商品化までのすべてを対象とした評価である。

出典：日本ロボット工業会「平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」

薬事法の関係で導入が難しいとされる医療用ロボットであるが、今から 10 年前と現在とではこのただし書きの状態がほとんど変化していないように思われる。10 年間で動きが無いようであれば、この先劇的な政治改革や意識改革が無い限り、今から 10 年後においても同じ事を言っていなくてはならない事となる。サービスロボットの普及を考えるにあたり、薬事法の改正は急務である。そうしなければ、10 年のうちに技術はこれからも進歩するが、普及する場が与えられなければ、技術者はモチベーションを保てなくなり、進歩が止まってしまう可能性がある。

同報告において、技術移転を加速する方策として「アカデミアのシーズが産に移転されるまでに 10 年以上もの期間を要している。RT 産業の迅速な成長を促すには、技術移転の期間を短くするための産学官連携が求められる。そのための技術戦略策定の視点を持つことが重要である。」とあり、**図 5.1-1** のような提唱がなされているが、10 年前の想定に対し、実状はすでに遅れをとっている。日本の経済状態の悪化なども原因となり、十分な研究開発投資ができなかった点も原因となっている。

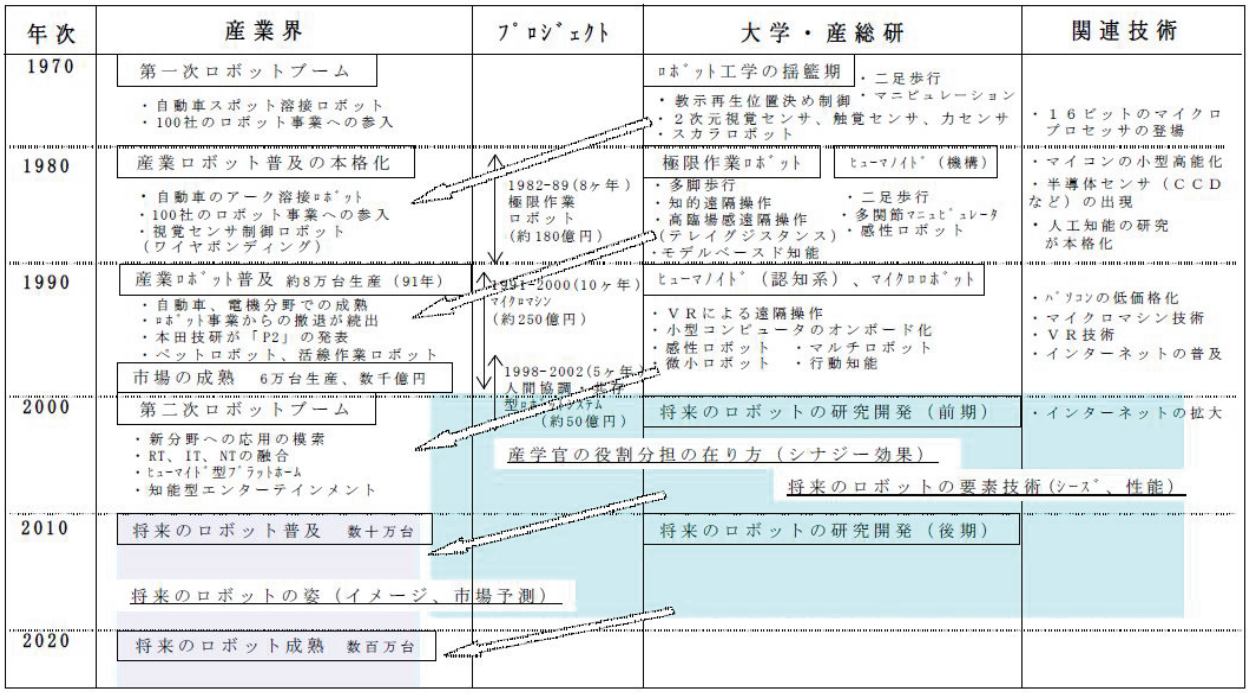


図 5.1-1 ロボット技術の変遷

出典：日本ロボット工業会「平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」

アイロボット社の自動掃除機 Roomba(ルンバ)(**図 5.1-2**)が家電量販店で販売されているように、ロボットが当然のごとく家電品として陳列棚に並ぶ形が、サービスロボット普及のひとつのイメージである。アイロボット社のルンバの独壇場であった自動掃除機の分野において、東芝から Smarbo(**図 5.1-3**)という機種が発表されたことを見れば、必ずしも軍事向けロボット開発をしていなくともよいことがわかる。問題の根底は、軍事用ロボットであるかどうかという点ではなく、普及するために何が必要なのかという見方をすることである。今も世界各地に兵士を派遣し、実際に戦闘を行っている米国であればすぐに実証の場があり、そこで判明する知見をフィードバックすることでさらに開発が進む。必要とされる場がすでに準備されていて開発をおこなうのと、「起きるかどうかわからない。おそらく起きるだろうけれど起きて欲しくない」という事故や災害の時にだけ活躍できればよいものをすべてが想定の中で開発するのは大いに異なる。

図 5.1-2 自動掃除機 Roomba

出典：アイロボット社ウェブサイト

図 5.1-3 自動掃除機 Smarbo

出典：東芝ウェブサイト

普及のロードマップを考えるにあたっては、技術的側面だけでは不十分である。これまでに示されているロードマップを見る限り、技術開発よりむしろ法整備の遅れが目につく。そして普及して行くに最も重要と思われる需要の面である。高齢化社会、介護の現場は人手不足、と言われ続けているが、まだロボットの出番は無い。早く導入して欲しいという声があっても、導入コストを聞いた途端、不要または我慢すると言われる可能性が高い。どうしても目先の出費に目が向いてしまい、ロボット導入によって発生する利点に興味を持てない。また価格と比較して機能面での不満を持ってしまい、導入が進まない。

高齢者人口の推移を考慮すると、「本当に人手が足りないので導入して欲しい」という需要が一気に発生するのは、早くても人口が多い現在 40 歳前後の世代が高齢者となる 20 年先ではないかと思われる。

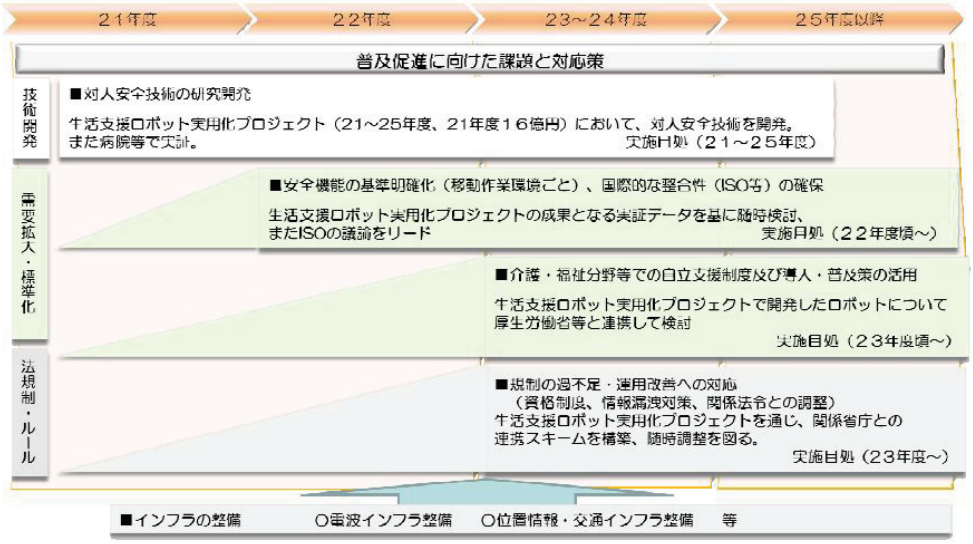


図 5.1-4 サービスロボット普及促進に向けたロードマップ

出典：ロボット産業政策研究会 報告書

ロボット産業政策研究会の 2009 年 3 月の報告書には、図 5.1-4 に示すロードマップが示されている。また NEDO 作成の技術戦略マップ 2009 ロボット分野においてサービスロボットについては、**図 5.1-5** および**図 5.1-6** に示すロードマップが示されている。NEDO の戦略マップは技術開発にかかわる事項に関して記されたものであり、普及に関する記述はない。

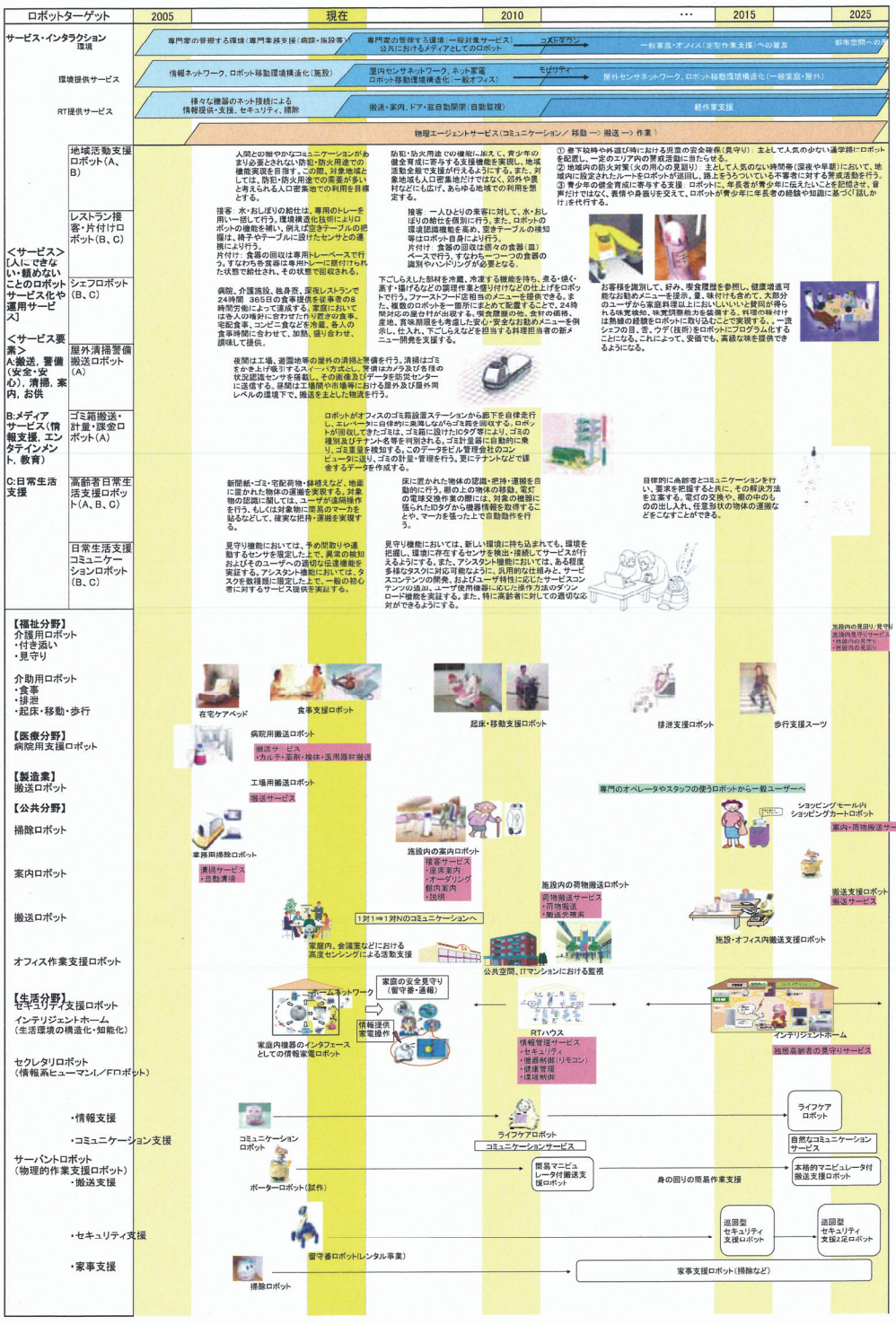


図 5.1-5 NEDO 技術戦略マップ

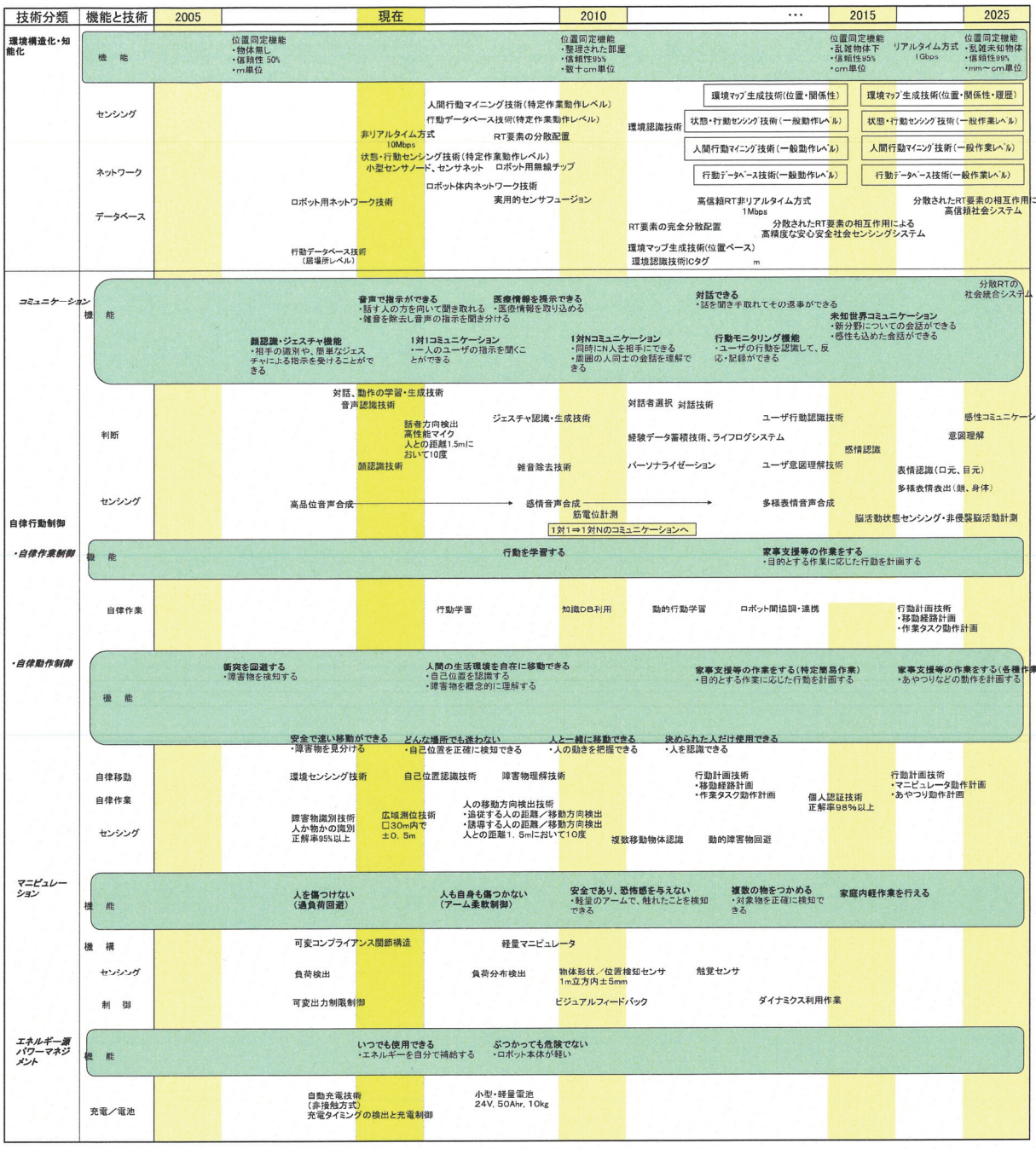


図 5.1-6 NEDO 技術戦略マップ

そこで過去からの推移や現況を見た上で、**図 5.1-7** にエンジニアリング協会独自のサービスロボット普及に関するロードマップを描き提案する。

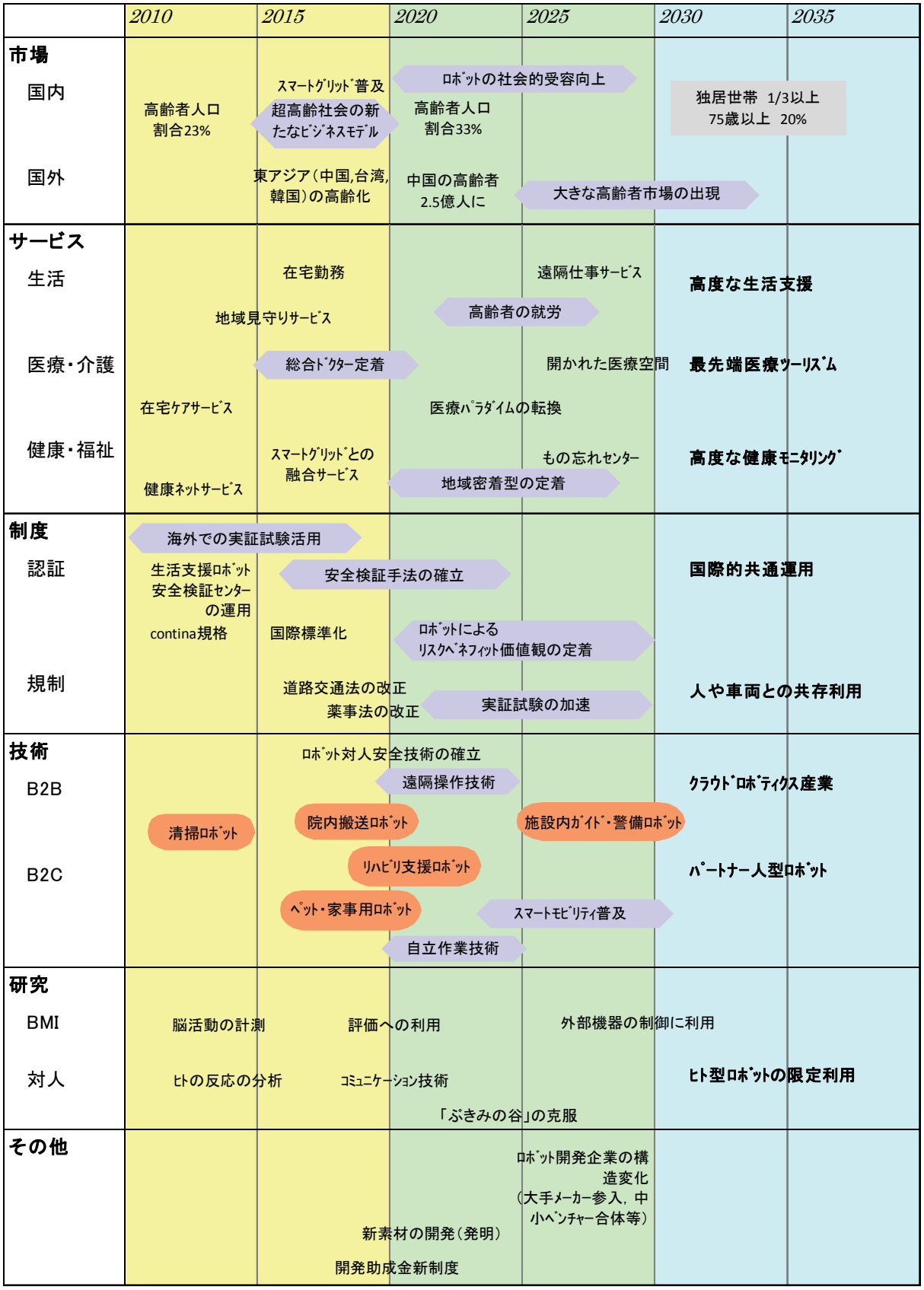


図 5.1-7 サービスロボット普及に関する想定ロードマップ

高齢者数の増加は今後も続き、大きな高齢者市場が発生することは間違いない。ワークスタイルも、IT を活用することで、必ずしも所属する企業の社屋へ足を運ぶ必要がなくなり、生活スタイルの変化が生まれることが予想される。また身体能力の差が影響を及ぼさない業務であれば、高齢者でも就労が可能となる。現在は人手が不足している医療や介護の現場においても、負担の低減は可能であり、現地に行かなければできなかったより手厚い見守りも可能となる。

このような技術の進歩のみで変化が訪れる部分は普及にあたっての障害は少ないが、サービスロボットが人に接するものである以上、認証制度の整備や規制緩和は今まで以上にスピードを上げて取り組まなければ普及は望めない。例えば**第 2 章**において紹介したように、薬事法が足枷となって導入に時間を要してしまう現状を変えていくことが、まず第一歩である。法整備や安全検証体制が確立すれば、実証試験も比較的容易に実施でき、実証と改良のサイクルが早くなり、よりよいロボットが次々と世に出てくることが予想できる。

図 5.1-7 で示したのは 20 年先までの予想であり、実際には大きな革新は望めないかもしれない。高齢化社会の到来は間違いないが、それに対して制度改正、技術開発、実証がどこまで足並みを揃えていくことができるかに注目しておく必要がある。

（株）ロボリューションの小西康晴氏は日刊工業新聞社のポータルサイト内コラムで、

『スマートフォンは、購入時は基本機能を搭載しているのみで、ユーザーが使い続けていくことで、自分に必要なアプリケーションをダウンロードし、自分仕様にカスタマイズしていきます。このモデルに習うと、ロボットも機能を『分散化』し、それらをユニット化することで「完成していない共通な基本 RT ユニット（「入力」「制御」「出力」）に、自分が必要なハードウエア（機能ユニットと感性ユニット）を追加し、自分仕様のロボットへと組み上げ、自分だけのかけがえのない存在へと昇華させていく」というストーリーが描けます。』

と述べている。また

『ロボットの「分散化」→「ネットワーク化」は、構成する要素技術の進化と、提供されるサービスのさらなる広がりにより実現され、より個別ニーズに対応できるロボットが提供できるようになる。』

とも語っている。

現状はそれぞれ特化した機能のみを有するロボットが大半を占めているが、ビジネスモデルを構築し普及させていくためには、小西氏の考察のように自由度が高く、ユーザー個々でカスタマイズができるロボットが多く世に出てくる必要があると思われる。

5.2 IT 活用の可能性

ツイッターやフェイスブックといった電子的ネットワークを介して人と人とがつながるシステムが近年飛躍的に広まった。フェイスブックはアラブの民主化運動の原動力ともなり、いまや国の方向を左右するほどのものとなった。

また最近の携帯電話製品を見ると、大半の端末はスマートフォンであり、通信業界も多くの機器を投入している。ここで注視すべきなのは、この携帯端末は無線で情報をやりとりできる基本機能に様々なアプリケーションをインストールし、多様な機能を有する機器

に変化するという点である。つまり、何かを制御するためのアプリケーションがあれば、無線を通じ遠隔地にあるネットワークに接続された機器を制御しうるということである。

危険性も存在するが、あらゆるものがネットワークに接続された世界というものは、もはや夢物語ではなくなりつつある。その世界を実現可能にする技術がようやく追いつきつつあるが、人の想像による産物は何年も前から存在していた。漫画家寺沢武一氏が 1987 年に発表した漫画作品「MIDNIGHT EYE ゴクウ」には、2014 年の東京を舞台に左目に「神の目」といわれるすべてのコンピューターにアクセス可能な端末を埋め込まれた主人公が登場する。「すべてのものがコンピューターにリンクされた近未来」を描いた作品であるが、四半世紀前に現在の我々に近い状態をすでに人は想像できていた。漫画やアニメーション作品はその内容が荒唐無稽であると扱われがちであるが、こうした人間の想像力こそが実際のもの作りの原動力になっているのもまた事実である。

内閣府の平成 23 年版高齢化社会白書(高齢化の状況及び高齢社会対策の実施の状況に関する年次報告）を見ると、

・我が国の総人口は 2010 年 10 月 1 日現在、1 億 2,806 万人。
・65 歳以上の高齢者人口は過去最高の 2,958 万人（前年 2,901 万人)。
・65 歳以上を男女別に見ると、男性は 1,264 万人、女性は 1,693 万人で、性比は 74.7。
※性比とは女性人口 100 人に対する男性人口
・総人口に占める 65 歳以上人口の割合（高齢化率）は 23.1%（前年 22.7%)。
・「65～74 歳人口」（前期高齢者）は 1,528 万人、総人口に占める割合は 11.9%。
・「75 歳以上人口」（後期高齢者）は 1,430 万人、総人口に占める割合は 11.2%。

とあり、今の我が国は 5 人に 1 人が高齢者という社会である。また、

・今後、総人口が減少する中で、高齢化率は上昇。
・高齢者人口は、いわゆる「団塊の世代」（1947～1949 年に生まれた人）が 65 歳となる 2015 年には 3,000 万人を超え、その後も増加。2042 年以降は高齢者人口が減少に転じるが高齢化率は上昇。
・2055 年には高齢化率は 40.5%に達し、2.5 人に 1 人が 65 歳以上。
・2055 年には 75 歳以上人口が総人口の 26.5%となり 4 人に 1 人が 75 歳以上。

という試算結果があり、平成 67（2055）年には、2.5 人に 1 人が 65 歳以上、4 人に 1 人が 75 歳以上と予測されている。

報道などで「我が国は世界のどの国も経験したことのない高齢社会を迎えている」ということを耳にする機会も多々ある。この超高齢化社会において、サービスロボットの活躍の場が発生してくると考えられるが、それを支えるのが IT 技術である。

少し想像の世界を記す事にする。

結婚相手を選ぶためにネットワークを使う。もちろん人と人とが直接対面して、日々の付き合いの中で相手を探し見つけ、結婚までに至るのが普通かもしれないが、結婚直前までネットワーク上でしか会ったことがない人もそのうち出てくるかもしれない。

晴れて結婚に至り、今までの住まいを離れ新居を構えることとなれば、住宅検索サイトで探す。今でも活用されているが、現状は各不動産仲介業者の店先に掲示されている情報の電子化に近い。最終的には店舗に足を運ぶこともなく、また物件巡りもリアルタイム映

像などを通信で確認するなどして済ませられる。

新居には家具や家電品が必要である。今でも散見されるが、家電量販店などで買おうと思っている物品を手にとり目で見て確認し、ネットの価格情報を見て最安店から購入するスタイルが増加するのではないだろうか。もはや量販店は商品展示施設化してしまう日がくるかもしれない。現地に行かなければ手に入らないものや情報があり、簡単にそうなることはないと考えられるが、物品の持った感触や重さを極めて正確に疑似体験可能な仕組みがどこにでもあれば、実在の店舗は存在意義を失う。

家の外に出れば、電車や自動車をはじめとした交通機関があり、様々な安全策が施されている。

例えば一部の鉄道会社では、ワンマン運転を行っている路線の駅にホームドアを設置し、乗客のホームからの転落を防止している。車両ごとにドアの位置が異なるなど、ホームドアには設置の上で解決が必要な課題もあるが、巨大なネットワークでもある鉄道においては、危険防止のための技術が今後も続々と投入されていくと考えられる。現在は車掌がモニターと目視で閉扉時の安全確認を行っているが、画像解析技術を追加したモニターで、より一層安全確認が確実になる可能性もある。

また自動車も安全技術がより進化することが考えられる。一部車種に搭載している車載カメラを利用した安全技術は、あくまでも補助装置の位置付けであるが、こうした補助技術が普及していくことで交通事故は今よりももっと減少する。自動車が常時ネットワークに接続できる街づくりを進めると、道路状況だけでなく自車以外の情報を取り込むことも可能になるので、入り組んだ路地などでの出会い頭の衝突も未然に防ぐことも考えられる。自動車の安全技術は、街づくりと連動してなされるべきである。

独立した子供も歳をとり、親もまた高齢者となる。離れて暮らす親の様子を見守る手段は今でもいろいろあるが、そのサービスを受給するためには相応の対価を要求されているのが現状である。もちろんサービスを事業としている業種では顧客が負担する費用に応じて手厚いケアを約束しているのであるが、貧富の差によって高齢者が受けるケア内容に著しい格差がある社会は生み出すべきではない。象印の「みまもりホットライン i-pot」は月あたりの利用料が 3,000 円である。発作を起こして倒れたなど緊急事態には対応ができないが、最低限の日々の見守りは可能である。あらゆる見守りシステムがこの程度の投資で導入できる事が理想的である。

ここまで IT の可能性について様々述べてきたが、これらは電気（電力）が無ければまったく機能しない。電池で稼働する機器類も、電池が空になれば機能を失う。ネットワークを支えるインフラストラクチャも物理的にはつながっていたとしても、電力供給が無ければ機能しない。今我々の世界から電気が無くなることは考えられないこととなっているのが現実である。少なくとも IT に関する物事を考える際、電気は常に存在していなければならない。2011 年は夏期に計画停電が実施されるなど、多くの人が不便を感じた。しかし計画停電は一日あたり数時間で解放される苦行のようなものである。頻繁に停電が発生し、国民生活の基盤自体が不安定な状態では IT の活用など考えられないが、IT ありきで構築されたものが日本にはあふれており、今後もネットワークに接続して機能を発揮する機器やシステムが多数産み出されるだろう。

2～3 時間の計画停電でも不自由さを感じ、その間ネットワークが機能しないというだけ

で不安になる人さえ出てくる。震災の影響もあり、「絆」というキーワードを頻繁に目にするようになった。もちろんこれは家族や友人のつながりを再認識する機会が多かったということもあり、多くの人が意識したキーワードである。しかし人の熱（温度）のある部分にのみ目を向けがちで、日頃便利に使っている携帯電話やインターネットなどのつながりは、つながって当たり前と思っていることが多いのではないだろうか。

IT は、様々な場で様々な使われ方をし、今後も我々の生活を支え豊かにしてくれると考えられる。同時にこれらを機能させ続けるための電力供給をいかに維持していくかも忘れてはならない。そのような電力不安を一時的にでも解消してくれる技術を紹介する（**図 5.2-1**）。昨今注目されるスマートハウスの一例であり、電気自動車をエネルギー機器として位置付けるものである。今後も自動車業界また住宅業界や不動産業界の動きや考え方にも注目し続ける必要がある。

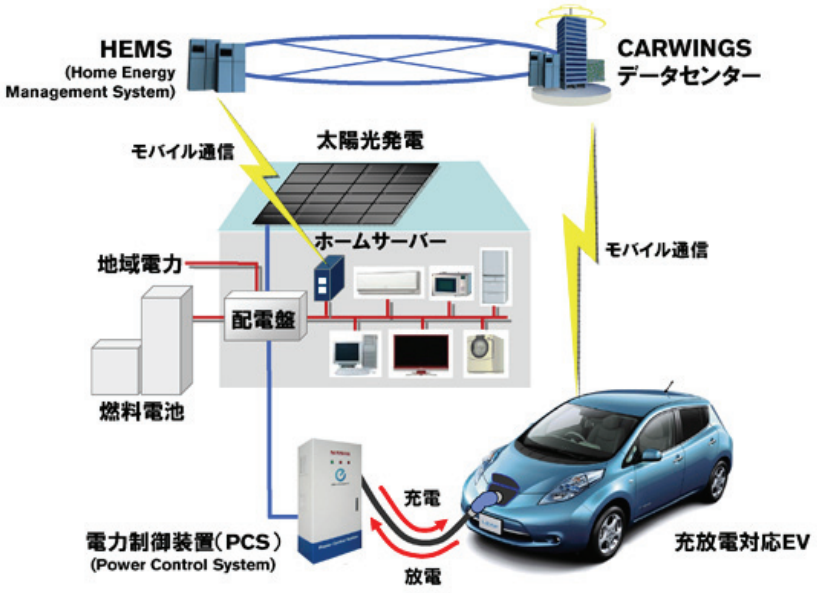


図 5.2-1 日産が開発中の LEAF to Home システム

出典：日産ウェブサイト

最近クラウドという言葉を耳にすることが多くなった。複雑に絡まりつながったネットワーク世界に様々なコンテンツが提供されており、各種端末からそのサービスを享受することができるようになることで、ネットワークにつながらない社会は考えにくくなった。当然ながらネットの世界がすべてではなく、人の温かみがあるつながりは今後も決して失われてはならず、見えない人や世界とつながることに嫌悪感を示す世代もいる。重要なことはクラウドに支配されることなく、人それぞれが自分の都合のよい形で上手に利用をすることである。そして、今後到来する社会が、決して排他的なものでなく、いかなる人にも優しいものでなくてはならないということである。**図 5.2-2** に示すようなタイプのロボットはその答えのひとつとも言えよう。単に見た目が優しく、各種のセンサの情報に対して様々な反応を示すというだけでなく、ネットワークに接続する端末でもある。クラウドの一般的なイメージは**図 5.2-3** のようなものであるが、人を穏やかな気持ちにさせる端末

もあってよいのではないだろうか。

また、第 4 章(4.3.2)で述べたクラウドロボティクスサービスのような新たなサービスの出現が望まれる。

図 5.2-2　子ぐま型ソーシャルロボット

出典：富士通ウェブサイト

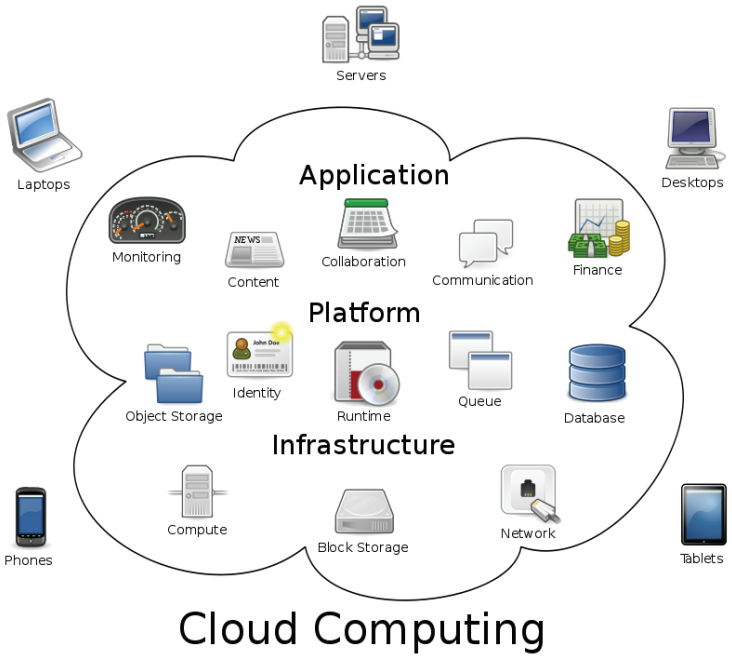


図 5.2-3 クラウドコンピューティングの一例

第６章 おわりに

6.1 本報告書のまとめ

新産業研究部会では、二年間にわたり「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、並びに健康・福祉系医療機器等の活用」の調査を行ってきた。

1 年目は、なぜ日本で生活に密着した健康・福祉系の分野のビジネスが成り立っていないのか、を調査し、安全性の担保が必要であることがわかった。

2 年目の本年は、主に安全性の観点から国内および海外の技術動向や制度動向を中心に調査した。

第 2 章では、国内の動向に関して、先進的な取り組みをおこなっている企業や自治体の事例を調査した。

第 3 章では、安全性と認証、国際標準化について、動向や方向性を調査した。

第 4 章では、海外における動向を調査した。

第 5 章では、二年間の調査をまとめ、今後の動向と可能性について考察した。

本報告書で取り上げたロボット技術などは、技術的な課題だけではなく、制度や運用など社会ルール的な課題も解決しなければ普及しない。メーカやサービス事業者だけではなく、中立的な検証・評価機関の存在が不可欠である。本当に必要な人に使えるサービスを提供するために、特定の企業だけではなく、産官学連携して社会に受け入れられる産業にすることが必要である。

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。

6.2 謝辞

本調査研究を進めるうえで参照させていただいた多くの参考文献については末尾に整理し、また、図表などは出典を明記しています。

本研究部会の活動に際して、各種機関を訪問し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。

以下に調査させていただいた機関名と講師の方々を記載させていただきます。

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 副部門長 大場光太郎 様
株式会社安川電機 技術開発本部 技術企画グループ 永吉明 様
株式会社テムザック 経営企画室 広報室 副室長 井野重秋 様
福岡県 商工部 新産業・技術振興課 新産業プロジェクト室 企画主幹 末廣利範 様
福岡県 商工部 新産業・技術振興課 新産業プロジェクト室 主任主事 高倉奈美 様

参考文献

第 2 章

1) 経済産業省 ロボット政策ホームページ http://www.meti.go.jp/policy/robotto/
2) ニュースリリース「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」のとりまとめについて、平成 19 年 7 月 9 日、経済産業省
3) 平成 22 年度「災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書」、平成 23 年 3 月、社団法人 日本機械工業連合会、社団法人 日本ロボット工業会
4) 生活支援ロボット実用化プロジェクト」事業原簿（公開部)、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 機械システム部
5) TERAS ホームページ http://www.teras.or.jp/
6) 「YASKAWA」株式会社安川電機パンフレット
7) 「YASKAWANEWS」No. 297, Winter 2011
8) 株式会社安川電機ホームページ http://www.yaskawa.co.jp/
9) 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
10) 大阪大学 プレスリリース 2011/10/31 http://brainprogram.mext.go.jp/media/event/111103osaka_yoshimine.pdf
11) ATR プレスリリース 2011/11/24 http://www.atr.jp/html/topics/press_111124_j.html
12) IBM Press Release 2011/12/19 http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/36290.wss
13) 小泉英明「脳の科学史:フロイトから脳地図、MRI へ」角川 SS コミュニケーションズ
14) 岸宣仁 「ロボットが日本を救う」文春新書

第 3 章

1) NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクト ホームページ http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html
2) 安全技術応用研究会 「リスクアセスメント実践技術の解説」
3) NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」事業原簿

第 4 章

1) シモーヌ・ド・ボーヴォワール :『老い』(朝吹三吉(翻訳), 人文書院,1972.01).
2) 日経 BP 社 AGING FORUM2011 「真の高齢化対応を理解し、新市場の創出を」資料, 2011.09.2011.
3) 日本とスウェーデンにおける高齢化社会－効果的な政策と解決法、スウェーデン大使館科学技術部セミナー, 09.29.2011.
4) 厚生労働省「介護保険制度の見直しについて（パンフレット)」.（www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/tp040922-1.html）
5) 柏市豊四季台地域高齢社会総合研究会「長寿社会のまちづくり」資料.（http://kashiw

a-toyoshikidai.org/pages/20000）
6）NEDO 海外レポート No.1077,2011.9.15（www.nedo.go.jp/content/100184034.pdf）
7）宮下尊宏：ネットワークロボッティクス産業における遠隔操作ロボットビジネス動向、(社)情報通信ネットワーク産業協会パーソナルロボット調査研究 WG 講演会、2007.12. 2011.
8）萩田紀博：アクティブシニアと障害者のためのクラウド・ネットワークロボティックス産業、(社)情報通信ネットワーク産業協会パーソナルロボット調査研究 WG 講演会, 2007. 12.2011.
9）CEATEC2011:コンティニュア関連配付資料,2011.10.05-08.
10）日本経済新聞：SUNDAY NIKKEI「健康管理、ネットで」,2011,10.09.
11）どこでも MY 病院：http://gocce-duva.com/myh/

第 5 章

1）日本ロボット工業会「平成 12 年度 21 世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」
2）ロボット産業政策研究会 報告書
3）NEDO 技術戦略マップ

書 名　平成 23 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 24 年 3 月
一般財団法人　エンジニアリング協会
〒105-0001
東京都港区虎ノ門三丁目 18 番 19 号
TEL　03（5405）7201（代表）
印 刷　(株)リョーサン