

平成 26 年度
エンジニアリングアプローチを用いた地域
産業の活性化に関する調査研究報告書

平成27年3月

一般財団法人 エンジニアリング協会



RING!RING!
プロジェクト
競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助金により作成しました。

<http://ringring-keirin.jp>



序

本報告書は、公益財団法人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26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。

当協会は、創立以来、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26年度は、これまでの成果の蓄積等を踏まえながら、共通基盤的課題調査研究として「エンジニアリングアプローチを用いた地域産業の活性化に関する調査研究」に取り組みました。調査研究の実施にあたっては、当協会の常設委員会である「研究開発企画委員会」の中の「循環型社会システム研究部会」が中心となって調査研究を行い、その成果を報告書として取りまとめたものです。

本調査研究では、持続可能な社会構築を目指した循環型社会、低炭素社会の実現に向けて、特に平成26年度は、バイオマス技術の活用と普及についての調査および都市部との連携による6次産業化システムについて調査することに焦点を当てた現地調査に注力し実施いたしました。

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とともに、これらの成果が我が国エンジニアリング産業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。

平成27年3月

一般財団法人エンジニアリング協会
理事長 高橋 誠

まえがき

循環型社会システム研究部会は、これまで20年以上にわたり、持続可能な循環型社会および低炭素社会の実現に向けて、資源循環のための社会システムのあり方や静脈物流のあり方を調査研究している。ここ数年は特に東日本大震災からの復興支援を念頭に置いて、地方活性化への貢献が期待できる各種バイオマスの活用技術、および災害廃棄物の広域処理などに焦点を当て、各種支援のあり方も含めた今後の方向性について提言して来た。

平成26年度は、当部会のこれまでの成果を踏まえ、「地域」への貢献の期待が大きい有力なバイオマス技術を絞り込んで、そのさらなる活用と普及策を検討すると共に、当部会と並行して活動を続けて来ている別部会であるエネルギー・環境研究部会のこれまでの活動成果も踏まえ、農林水産業を中心とした「地域」と工業を有する「都市」との連携推進による地域活性化策の検討と、それに基づく提案を目指した。また、これらの検討においては、エンジニアリング産業や建設産業の幅広い視点と、実績のある様々な技術を活用して総合的且つ現実的なシステムをつくり上げるエンジニアリングアプローチを重視して、調査研究活動を進めることを意識した。

このような背景の下に、今年度は循環型社会システム研究部会が主体ではあるが、実態としてはエネルギー・環境研究部会との合同体制で、上述の方針に基づく調査研究を2年間で進めることを計画した。1年目の今年度は、現状把握と課題抽出および対策の方向性検討を、以下の2つのWG体制で進めた。

- 1) 第1WG：バイオマス技術の活用と普及
- 2) 第2WG：都市部との連携による6次産業化システム

第1WGでは、地域で貢献するバイオマス技術として、特に木質バイオマス利用技術およびメタン発酵技術の活用に関心をもち、現状を把握・分析し、他の再生可能エネルギーの状況等も踏まえて、今後の普及拡大のための課題抽出および対策検討を行なった。また、新たなバイオマス技術についても調査し、地域活性化への貢献の可能性を検討した。

第2WGでは、地域の農山漁村の活性化を目的とした「6次産業化」や、BCN（バイオコミュニティネットワーク：Bio Community Network）という生物資源を中心に据えた新しい社会システム構築の考え方をさらに具体化・展開し、地域と都市のネットワークのあり方について、農村地域の産業活性化度合いの定量的評価指標も含めて検討した。

両WGとも、現地調査による実態把握と生の声を聞くことを優先し、且つケーススタディや定量的な分析評価も実施して、具体性、実現性、持続性（経済性）のある検討を行なうことで、問題点や課題の抽出、対策案の提示等を行うことを心がけた。本調査研究が、循環型社会、低炭素社会実現に向けての方向性、方策検討に少しでも役立ち、さらにはエンジニアリング・建設産業の発展の一助となることを期待する。

循環型社会システム研究部会長 神田伸靖

平成 26 年度 「循環型社会システム研究部会」 委員名簿

部会長 神田 伸靖 三井造船（株） 技術開発本部 アドバイザー
副部会長 小口 深志 前田建設工業（株） 技術研究所 技師長

第 1 ワーキンググループ
バイオマス技術の活用と普及

委員名	企業名	所属・役職
主 査 大島 義徳	(株)大林組	技術本部 技術研究所 環境技術研究部 副課長
副主査 池田 穰	(株)安藤・間	技術本部 環境開発部 担当課長
副主査 伊藤 忠彦	西松建設(株)	技術研究所 主席研究員
委 員 西村 伸	東急建設(株)	土木本部 土木技術設計部 技術グループ 技術グループリーダー
委 員 西口 公二	(株)奥村組	土木本部 土木統括部 技術担当次長
委 員 南 亮太	新明和工業(株)	環境システム本部 営業部 課長代理
委 員 石橋 洋一	新日鉄住金 エンジニアリング(株)	環境ソリューション事業部 バイオマス事業推進部 企画・開発室 シニアマネージャー
委 員 斉藤 政宏	三井造船(株)	技術開発本部 千葉技術開発セン ター バイオプロセスグループ 主管研究員
委 員 帆秋 利洋	大成建設(株)	環境本部 環境開発部 新エネルギー開発室 室長
オブザーバー 片平 智仁	大成建設(株)	環境本部 環境開発部 新エネルギー開発室 主任
オブザーバー 井上 護	循環物流システム研究所	所長
オブザーバー 加藤 利崇	(株)竹中工務店	環境エンジニアリング本部 主任
オブザーバー 野入 菜摘	メタウォーター(株)	プラントエンジニアリング 事業本部 新事業技術部

第2ワーキンググループ
都市部との連携による6次産業化システム

委員名	企業名	所属・役職
主査 岡 辰哉	(株) I H I	エネルギー・プラントセクター プロセス・機器エンジニアリング部 プロセスグループ 主査
副主査 田中ゆう子	東亜建設工業(株)	海の相談室 室長
委員 小西 俊久	出光エンジニアリング(株)	エンジニアリング部 プロセス設計グループ 技術主任
委員 佐藤 英輔	富士通(株)	政策渉外室 シニアマネージャー
委員 若林 毅	富士通(株)	イノベーションビジネス本部 ソーシャルイノベーション ビジネス統括部 シニアディレクター
名誉顧問 広松 猛	元 広島国際大学教授	元 エネルギー・環境研究部会長

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

平成26年度

エンジニアリングアプローチを用いた地域産業の活性化に関する調査研究

目 次

序

まえがき

循環型社会システム研究部会名簿

第 I 部 バイオマス技術の活用と普及

第 1 章 調査研究の経緯と目的	1
1.1 バイオマス技術の進展と現状	1
1.2 調査の概要	4
1.2.1 調査研究の進め方	4
1.2.2 視察調査訪問先と講演会	5
第 2 章 地域で貢献するバイオマス技術	7
2.1 木質バイオマス利用	7
2.1.1 森林・林業の概要	7
2.1.2 木質バイオマス資源の活用状況	10
2.1.3 木材のカスケード利用の経済性	20
2.2 地域の静脈施設をコアとしたバイオマス技術	26
2.2.1 下水処理施設とバイオマス	26
2.2.2 ごみ焼却施設とバイオマス	36
2.3 今後の展望と課題	46
第 3 章 新たなバイオマス利用技術による地域活性化の可能性	50
3.1 微細藻類の活用技術	50
3.1.1 微細藻類の開発動向	50
3.1.2 国内の藻類バイオマス取り組み事例	53
3.1.3 微細藻類バイオ燃料化技術開発の課題	56
3.1.4 微細藻類と地域活性の可能性	58
3.2 微生物燃料電池	59
3.2.1 概論	59
3.2.2 微生物燃料電池効率化技術	60
3.3 今後の展望と課題	66

第4章	バイオマスとその他の再生可能エネルギー	68
4.1	我が国のエネルギー政策・環境政策	68
4.1.1	エネルギー政策基本法	68
4.1.2	地球温暖化対策基本法案	68
4.1.3	固定価格買取制度（FIT、Feed-In Tariff）	69
4.2	再生可能エネルギーの普及状況	70
4.2.1	我が国の再生可能エネルギーの発電比率	70
4.2.2	再生可能エネルギーの伸び	71
4.2.3	バイオマス発電設備の推移	72
4.3	再生可能エネルギーのコスト試算	72
4.3.1	再生可能エネルギー発電コストの算出方法の基本的な考え方	72
4.3.2	コスト算出における前提条件	73
4.3.3	再生可能エネルギーの発電コストの比較	74
4.3.4	再生可能エネルギーのシステム費用と運転維持費	78
4.3.5	バイオマスの熱利用	79
4.3.6	廃棄物系バイオマス活用ロードマップ	81
4.4	バイオマス利活用の普及に向けた取り組み	83
4.4.1	バイオマスエネルギーの利用ポテンシャル	83
4.4.2	バイオマス活用事例	83
4.5	今後の展望と課題	85
第5章	バイオマス利用の事例調査（視察と講演会）	88
5.1	東濃ひのき製品流通共同組合視察	88
5.2	南但クリーンセンター視察	95
5.3	珠洲市浄化センター視察	100
5.4	黒部浄化センター視察	107
5.5	講演会「藻類の燃料・原料に関する研究について」	117
5.6	講演会「微生物燃料電池」	121
第6章	まとめ	123

第Ⅱ部 都市部との連携による6次産業化システム

第1章 調査研究の経緯と目的	127
1.1 調査研究の内容	127
1.2 視察調査訪問先	128
第2章 地域産業活性化のための新しい6次産業化	129
2.1 地域産業を活性化するための日本型成熟社会のあり方	129
2.1.1 競・助の社会システム	129
2.1.2 TPPに対抗できる地域産業の増収増益の方策	130
2.1.3 新しい6次産業化	130
2.2 地域の農業のための新しい6次産業化	131
2.2.1 営農の効率化による営農コストの低減	132
2.2.2 植物原料模擬肉の開発による新輸出市場開拓	134
2.2.3 農地ソーラー発電による増収・増益	135
2.2.4 地域の副業としての役割を担うブランド化・リゾート化	139
2.3 地域の林業のための新しい6次産業化	139
2.3.1 製品化新技術の地域導入と木材の新市場の開拓	140
2.3.2 山間地での地産エネルギーの地消	146
2.3.3 地域の副業としての役割を担うブランド化とリゾート化	148
2.4 地域の水産業のための新しい6次産業化	148
2.4.1 陸上淡水養殖による漁獲量の安定化	149
2.4.2 離島における水産業の新しい6次産業化	150
第3章 植物工場起点の地域活性化（地域資源の活用）	153
3.1 背景	153
3.2 植物工場について	154
3.2.1 植物工場の2つのタイプ	154
3.2.2 歴史	154
3.3 植物工場における技術	155
3.3.1 環境制御技術	156
3.3.2 自動化技術	156
3.3.3 エネルギー・資源活用技術	156
3.4 事例調査：富士通グループ会津若松 Akisai やさい工場	157
3.4.1 植物工場設立の意義と特徴	158
3.4.2 地域活性化に向けて	159
3.5 地域活性化の可能性	160
第4章 水辺の活用による地域の活性化	163
4.1 水辺の機能とネットワーク	163

4.1.1	人々にとっての水辺とその機能	163
4.1.2	活力ある地域づくりと水辺のかかわり	164
4.2	水辺の抱える課題	165
4.2.1	気候変動と治水	165
4.2.2	水辺に対する意識	167
4.3	水辺の保全と地域の活性化	169
4.3.1	国内水辺の利用事例	169
4.3.2	海外の海辺活用事例	171
4.3.3	水辺による地域の活性化	172
第5章	生物資源を主眼とした農村地域活性化に関する指標化	174
5.1	生物資源の保有する機能と地域への恩恵	174
5.1.1	生物資源の保有する機能	174
5.1.2	生物資源の地域への恩恵	176
5.2	生物資源の保有機能を主眼とした農村地域活性化の指標の提案	177
5.2.1	調整・保全機能	178
5.2.2	供給機能	179
5.2.3	感性・文化的機能	180
5.3	提案指標に基づく農村地域の評価の行い方	181
第6章	BCN（バイオコミュニティネットワーク）構想のAHP分析による	
	 定量的評価手法の提案	183
6.1	BCN（バイオコミュニティネットワーク）構想の研究経緯と概要	183
6.2	AHP分析法（定量的評価法）の概要	189
6.2.1	AHP分析法とは	189
6.2.2	AHPの適用事例	190
6.2.3	AHPの手順	190
6.3	BCN構想のAHP分析（定量的評価法）のための3つの評価構造軸	193
6.3.1	評価項目の全体構造	193
6.3.2	T軸：都市域での生物資源の活用度「需要」	195
6.3.3	S軸：里山・里海での生物資源の育成・保全・活用度「供給」	196
6.3.4	C軸：コミュニティネットワークの形成状況	197
6.4	AHP分析での評価項目の重み付け実施と考察	198
6.4.1	重み付け評価者の構成	198
6.4.2	3つの軸での基幹評価項目の重み付け分布	199
6.4.3	T軸における重み付け分布	199
6.4.4	S軸における重み付け分布	199
6.4.5	C軸における重み付け分布	203
6.5	AHP分析に参加した評価者の総意としての重み付け結果と考察	204
6.5.1	T軸における重み付け結果と考察	204

6.5.2	S 軸における重み付け結果と考察	205
6.5.3	C 軸における重み付け結果と考察	206
6.6	都市地域と里山・里海の組合せの定量的評価計画	207
6.6.1	日本型成熟社会に向けた BCN 構想の意義	207
6.6.2	都市地域と里山・里海の組合せによる AHP 評価計画	207
第 7 章	事例調査	209
7.1	富士通グループ会津若松 Akisai やさい工場視察	209
7.2	千葉市ソーラーシェアリング実証現場視察	214
第 8 章	まとめ	219
あとがき		221

第 I 部 バイオマス技術の活用と普及
～地域産業の活性化への貢献の可能性～

第1章 調査研究の経緯と目的

首都圏をはじめとする大都市圏への人口集中や、少子高齢化、人口減少などにより、地方の労働力が失われ、地方の持続可能性を担保していくことが急務となっている。農林水産業の従事者の高齢化が進み、農業従事者の平均年齢は66歳で65歳以上の占める割合は64%（2012年農水省）と、時速可能性が危ぶまれている。さらに、貿易自由化の流れから海外製品との競争や、肥料や飼料の高騰などにより、地方経済への更なる悪影響が懸念されている。内閣も地方再生の国务大臣を任命するなど、対策は国民的な課題と位置づけられている。

我々は、バイオマス技術を普及させることなどにより、循環型社会の形成を促進し、持続的実現するための方策について、調査研究を行ってきた。バイオマスには、地域の雇用を促進する効果や、他の産業との連携による波及効果が期待できるため、バイオマス利用技術は、地域発展との親和性が高い技術であると期待される。

バイオマスの利用促進を進めるとともに、これを地域の発展に繋げていく方策を検討することを目的として検討を進めた。以下に、2年の調査予定のうちの1年目の成果について述べる。

1.1 バイオマス技術の進展と現状

我が国におけるバイオマス利用の促進施策は、2000年の循環型社会形成基本法の施行や、2002年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」などを契機として進められてきた。特に近年は、2002年の「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）」や、2012年の「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（固定価格買取制度（FIT）」の施行により、再生可能エネルギーのひとつとしてバイオマス発電が位置づけられ、発電の面からも導入が促進されている。再生可能エネルギーの導入状況は表1.1-1のように太陽光が2050年の想定572億kWhを認定量では上回る843億kWhとなっているのに続き、バイオマス・廃棄物発電も認定量では251億kWhと想定値の217億kWhを超えて順調に導入が進められている。

表 1.1-1 再生可能エネルギーの計画認定の傾向と展望

発電電力量(億kWh) ※括弧内は発電電力に占める割合	2013 (現在)	2020 (長期エネ需給見 通し(再計算))	2030 (2030年のエネ ルギー需給の姿) (A)	認定済案件が運転開 始した場合 (2014年6月末時点) (B)	2030(2030年のエ ネルギー需給の 姿)との比較 (B/A)
太陽光	92(1.0%)	308(2.9%)	572 (5.6%)	843(8.3%)	147%
風力	49(0.5%)	88(0.8%)	176 (1.7%)	67(0.7%)	38%
地熱	26(0.3%)	34(0.3%)	103 (1.0%)	37(0.4%)	36%
水力	800(8.5%)	805(7.7%)	1,073 (10.5%)	822(8.1%)	77%
バイオマス・廃棄物	37(0.4%)	179(1.7%)	217 (2.1%)	251(2.5%)	116%
合計	1,004(10.7%)	1,414(13.5%)	2,140(21.0%)	2,020(19.8%)	94%

※2013年における発電電力量については自家消費分は含まない。

出典：経産省 HP 最近の再生可能エネルギー市場の動向について

http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/016_01_00.pdf

このように、FIT制度、すなわち発電量の面からのバイオマス利用は、2030年目標を達成できそうだという見通しを受けて、「バイオマスの導入は、十分に進んでいる」と言えるだろうか。バイオマスの導入には、発電の面からも疑問があり、発電だけにとらわれなければ、まだまだ促進すべきであると考えられる。

まず、発電において、認定された計画の確実な実施が懸念されている。各再生可能エネルギーの導入量の傾向では、図 1.1-1 に示すように、太陽光のみは、FIT 導入後の急速な進展がなされたことがわかるが、バイオマスは、FIT 制度導入前の 2011 年までの導入ペースに比べて、鈍化していることが分かる。バイオマス発電では、採算の取れやすい大型案件の計画が先行している傾向があり、計画量は増加したものの、これを現実に移すのに時間がかかっていることが、原因として考えられる。その場合、原料調達などの実現性の面から、円滑な導入が進まないことや、無理に計画を推進した結果、材料を輸入にたよったり、無理をした原料調達を実行したりといった持続可能性を危惧される例が生じることが懸念される。

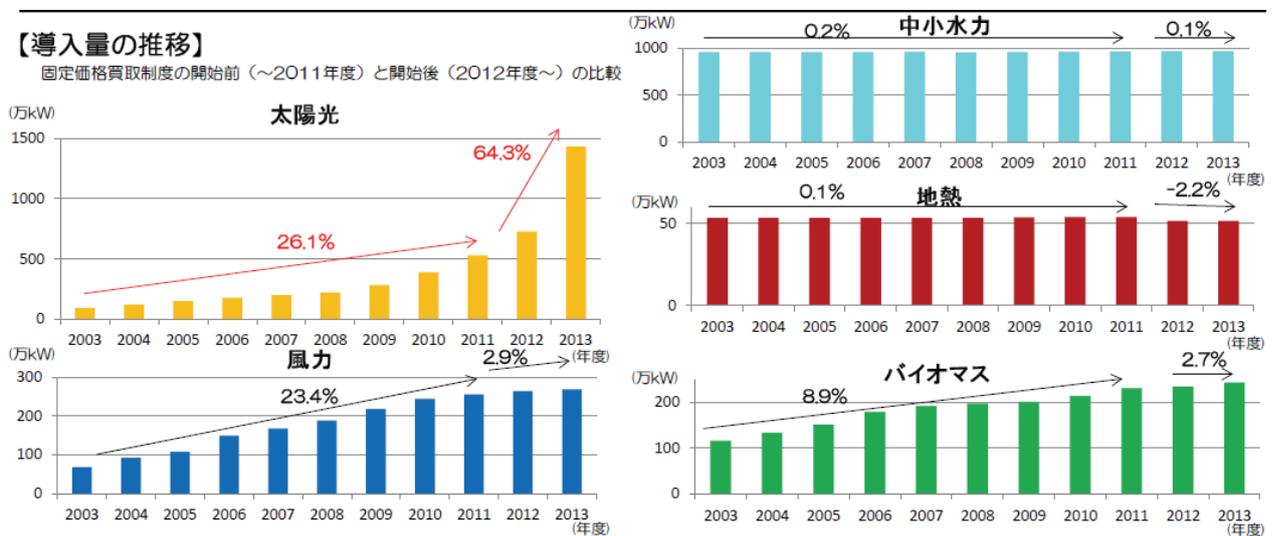


図 1.1-1 再生可能エネルギーの導入状況

出典：経産省 HP 最近の再生可能エネルギー市場の動向について

http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/016_01_00.pdf

発電以外の側面からも考えたい。図 1.1-2 に再生可能エネルギー導入の意義について、環境省のまとめた資料からの抜粋を示す。バイオマス以外の再生可能エネルギーにも地域への貢献が期待できるものの、他の再生可能エネルギーは、表 1.1-2 に示すように、主に設備製造や建設・設置に雇用が生じるため、設備を輸入したり、建設や設置プラント業者が地元以外の企業であった場合、必ずしも地域の雇用に貢献せず、貢献したとしても、一過性のものになる割合が大きい。一方で、バイオマスは、材料の収集運搬や設備の運転やメンテナンスなど、維持管理の雇用の割合が大きいいため、地元の雇用創出に寄与する。雇用を含めたバイオマス関連技術の地域活性化への貢献の可能性には、以下が挙げられる。

- 農畜産業の廃棄物を利用できるなど地域産業との相乗効果が期待される
- 地域の継続的な雇用創出に貢献する
- ストックが可能で出力変動が少ない分散型電源として使える

○ 災害時の非常用電源としても期待できる
 バイオマスをさらに有効活用することで地域活性化に貢献する可能性は、大きいと期待される。

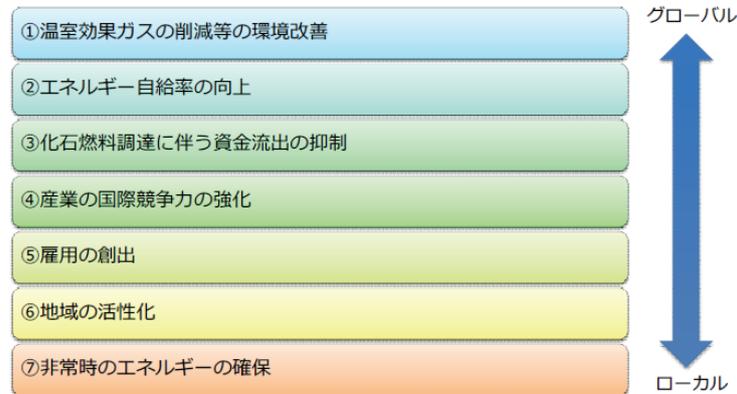


図 1.1-2 国レベルでの再生可能エネルギーの導入の意義

出典：環境省 HP 平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書 <https://www.env.go.jp/earth/report/h26-01/>

表 1.1-2 再生可能エネルギー発電導入による雇用効果

	設備製造 [人・年/MW]	建設・設置 [人・年/MW]	維持管理 [人/MW]
石炭	0.003	14.4	0.25-3.2
天然ガス	0.001	3.4	0.47
バイオマス	0.4	3.9	4.4
水力	0.5	10.8	0.22
陸上風力	12.5	2.5	0.4
洋上風力	24	4.8	0.77
太陽光	9.1	31.9	0.4
地熱	3.3	3.1	0.74

出典：環境省 HP

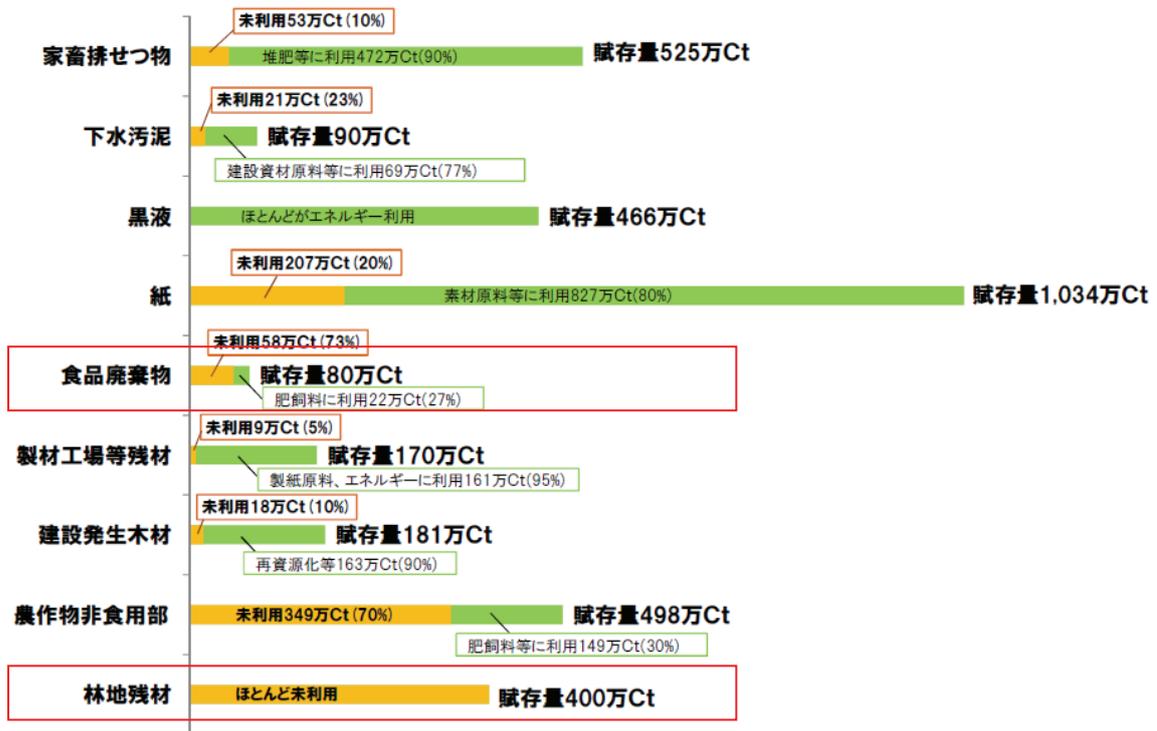
バイオマスには、上述したように地方活性化など、我が国の課題に対しての親和性が、他の再生可能エネルギーよりも大きいものと推測された。そこで、他の再生可能エネルギーとの比較を行うことで、こうした特長を明らかにし、その特長に見合った導入目標や促進策があってもいいのではないかと考えた。本年度は、その準備として、他の再生可能エネルギーとバイオマスとの状況やコスト面の比較を行うための状況整理を行った。

また、欧州では、再生可能エネルギーに関して、発電面だけでなく、輸送燃料と、熱源の面からも導入目標を立てて取り組んでいる。発電と輸送燃料、熱源に直接貢献できるのはバイオマスだけであり、化石燃料の利用削減や CO₂ 削減の面からは、発電以外の一次エネルギー全般への再生可能エネルギーの貢献を進めて行くのであれば、バイオマスの貢献への期待は引き続き大きいと言える。

1.2 調査研究の内容

1.2.1 調査研究の進め方

調査では、地域社会で貢献の可能性が大きいバイオマス源として、図 1.2.1-1 似示すように更なる利用促進の余地がある木質バイオマスと食品廃棄物に着目し、普及促進のための方策を検討した。検討にあたっては、文献等の情報検討だけでなく、地域で運用されている施設への視察を通じて、優れた点や苦勞した点について掘り下げた検討ができるように努めた。



※本資料の賦存量は「バイオマス活用推進基本計画」(平成22年12月閣議決定)に記載されている数値をもとに炭素トン換算にした

図 1.2.1-1 バイオマスの賦存量と利用可能量

出典：農水省 HP に加筆

<http://www.maff.go.jp/j/biomass/suisinkaigi/05/pdf/sanko1.pdf>

林地残材などの木質バイオマスを持続可能な方法で活用していくためには、木材の利用促進および、森林経営との一体化した推進が重要である。国内の木材生産とバイオマス利用を両立している事例に注目し、視察を行うと伴に、バイオマス利用だけでなく森林経営と木材生産の面からも現状と課題を取りまとめた。

食品廃棄物の利用促進にあたっては、下水処理場やごみ焼却施設といった静脈施設をバイオマス利用拠点としての活用を推進する動きが活発化していることに着目した。単位重量あたりのエネルギー量は少ないものの、季節的にも安定して量を確保しやすい下水汚泥とカロリーが高い食品残渣や農業廃材を混ぜることで、希釈がなくても発酵を安定させ、消化の悪い下水汚泥の利用効率を向上させるなどの相乗効果が期待できる。また、ごみ焼却施設に隣接して比較的加水が少なく済む乾式メタン発酵との組合せにより、エネルギー

一回収だけでなく、周辺状況が許せば、消化液や堆肥利用することで、水分の多い食品残渣などを焼却するエネルギーを省く効果も期待できる。現在、すでに静脈施設との併用を開始している事例の視察を行い、運用に当たってのメリットや問題点を抽出し、今後の普及に向けた課題としてとりまとめた。

バイオマス利用技術は、上記のような木質発電やメタン発酵、廃棄物の燃焼発電や固形燃料化など、多種多様なものが実用化されているが、新たな実用化を目指して研究されている技術もある。こうした新規技術が、今後のバイオマスの更なる普及や地方産業に貢献する可能性を検討する。本年は、新技術として、有機廃液等を原料として直接電気を取り出す「微生物燃料電池」と、航空機燃料をはじめとして石油代替となる油脂系材料などにも応用が期待されている「微細藻類」の培養と活用技術についてとりあげ、文献調査だけでなく、技術の進展とそれぞれの分野で注目されている研究者を招いての講演会を開催し、最新情報を元に、技術の現状と今後の展望についてとりまとめた。

最後に、バイオマスと他の再生可能エネルギーとの比較を、制度面と導入傾向、運営コストと言った面から比較した。

1.2.2 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

下記のバイオマス活用施設を視察した。

(1) 東濃ひのき製品流通協同組合 <木質発電+熱利用→製材利用>

岐阜県白川町を中心とする多数の製材工場や建設業者が存在する地域において、木端材・おが粉・樹皮などの木材資源を活用して発電している施設。発電分は施設内の動力や照明として自給し、余剰電力を売電している。発電より製材の乾燥用の熱源利用として活用しており、製材は地域型住宅ブランド化事業（国土交通省）等により地域ブランド材として生産が増加している。10年間続いている我が国初の木質発電所。

(2) 南但クリーンセンター <焼却炉+乾式メタン発酵・発電>

一般廃棄物（ごみ）の減量化・再資源化を推進するための総合的静脈施設。高効率原燃料回収施設とリサイクルセンターで構成され、高効率原燃料回収施設は、バイオマス設備と熱回収設備で構成。可燃ごみからメタンガスを回収し、発電利用して、FITにて売電。発酵残渣と発酵に適さない可燃ごみは焼却処分する。

(3) 珠洲市浄化センター <下水・し尿処理施設+メタン発酵・熱利用>

珠洲市で発生する下水汚泥やし尿処理施設の前処理として湿式の中温メタン発酵を組み合わせた施設。地元スーパー等からの事業系混合厨芥を受け入れることでエネルギー回収量を増やす一方で、生ごみ焼却負担を軽減。バイオガスは場内で熱利用。

(4) 黒部浄化センター <下水処理施設+メタン発酵・発電・熱利用>

市内最大の下水道処理施設で、砂ろ過やオゾン処理等の高度処理を導入し、処理水を用いた公園「アクアパーク」で水循環の大切さを伝えるなど、意欲的な取り組みを実施している。下水や浄化槽汚泥以外に、デスポーザ生ごみや事業系食品残渣（コーヒー粕）を受け入れ、発電量を確保している。発電は、回収した排熱とともに場内利用を実施。施設内の80%相当の電力を賄っている。15年のPFI事業として実施。

2) 講演会

バイオマスの新利用技術について講演会を2件実施した。

(1) 微生物燃料電池

講師：東京薬科大学生命科学部 渡邊 一哉 教授

有機性廃棄物から、直接電気を取り出すことが可能な「微生物燃料電池」について、その技術の概要と課題などについて講演していただいた。

現在、発電する微生物の解析や、ラボで安定して発電する電極の開発は進み、パッシブな活性汚泥として、有機廃水処理や下水処理に応用するための企業が主体となった研究開発が期待される段階とのこと。

(2) 藻類の燃料・原料に関する研究について

講師：株式会社デンソー 機能材料研究部 藏野憲秀氏

(株)デンソーで開発している藻類 *Pseudococcomyxa* sp.は、油脂含有量が野外培養でも40%と非常に高く、生育温度が広いため夏冬を通じた培養が可能と期待される。また、酸性下で増殖可能（pH3-4）のため、コンタミ防止が容易で、屋外での粗放的な低コスト培養に適している。増殖速度は、160時間で0.4g/Lに到達する。すでに33kLの野外培養に成功しているが、更なる高性能株を獲得すべく、育種や遺伝子改変、新たな株のスクリーニングを試みている。

藻類は、燃料だけでなく、様々な物質の生産でも注目されつつある。

第2章 地域で貢献するバイオマス

2.1 木質バイオマス利用

2.1.1 森林・林業の概要

我が国における森林は、太古から戦後しばらくまでは、木材は主に建築材料や燃料として利用されていた。近年においては、地球温暖化の観点からも二酸化炭素低減を目的とした森林の整備等も求められている。一方で、戦後植林された人工林を中心とした木材が利用の時期を迎えており、国内の豊富な森林資源を循環利用することが重要な課題となっている。(図 2.1.1-1)

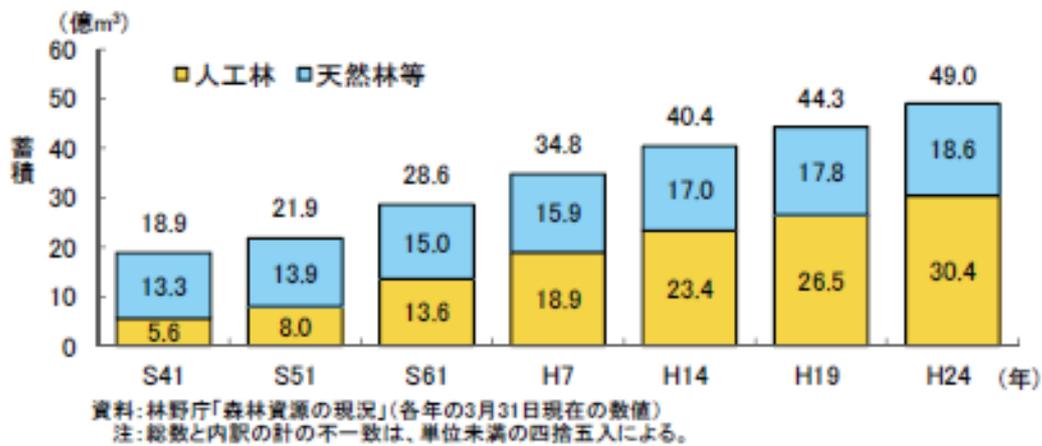


図 2.1.1-1 我が国の森林資源の推移

出典: 林野庁 HP

しかしながら、外材の輸入、鋼やコンクリートの普及、エネルギーにおいては石炭や石油が一般に使用されるようになり、木材の需要は減少している。また、林業、木材産業に目を向けると、このような背景の中で、長期にわたる林業産出額、林業所得の減少、森林所得者の経営意欲の低迷、国産材の生産、流通構造の遅れ等引き続き厳しい状況である。(図 2.1.1-2)

このような状況を踏まえ、林野庁が10年後の木材自給率50%以上を目指すべき姿として、2009年に森林・林業再生プランを作成した。本プ

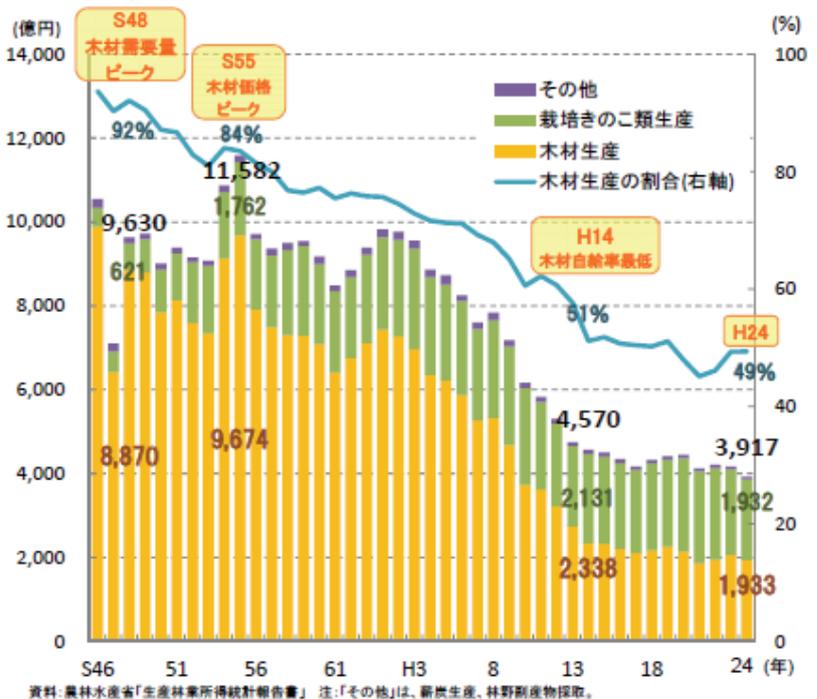


図 2.1.1-2 林業産出額の推移

出典: 林野庁 HP

ランでは『森林の有する多面的機能の持続的発揮』、『林業・木材産業の地域資源創造型産業への再生』、『木材利用・エネルギー利用拡大による森林・林業の低炭素社会への貢献』を基本理念として木材などの森林資源を最大限活用し、雇用・環境にも貢献するような取り組みを目指すとしている（図 2.1.1-3）。



図 2.1.1-3 森林資源の循環利用による林業の成長産業化の概念

出典：林野庁 HP

森林の持続的経営を行いつつ、木材生産や森林バイオマスの利用効率を向上させた国の代表格として、ドイツとオーストリアがある。ドイツとオーストリアでは森林の運営計画の立案資格を国家資格のマイスターとして定めているが、林野庁では、これら林業先進国に学ぶために、マイスターを招いたヒアリングを実施し

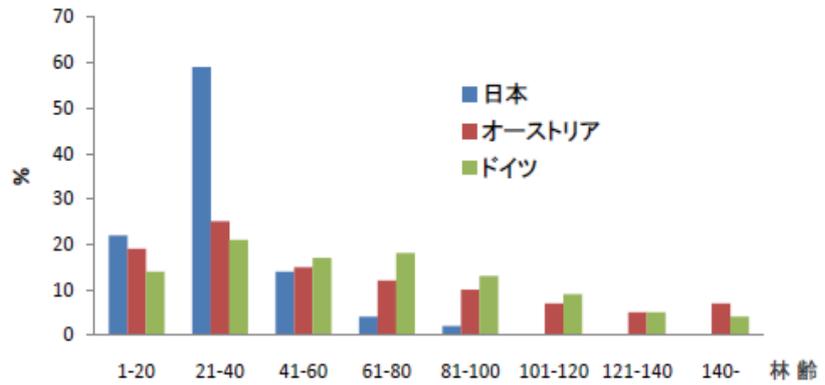
表 2.1.1-1 日本と欧州の森林の状況

国名	面積	蓄積	用材生産量
日本	2,510万ha	44億m ³	1,765万m ³
ドイツ	1,108万ha	34億m ³	6,803万m ³
オーストリア	386万ha	12億m ³	1,652万m ³

※森林・林業白書、FAO2007 yearbook of forest products、BWI

出典：林野庁 HP

ている。彼らの指摘によると、表 2.1.1-1 に示すように、日本はこれらの林業先進国より、森林面積でも材料蓄積でも勝るものの、図 2.1.1-4 に示すように、樹齢構成が偏っており、無計画な短期的なコスト面だけを考えた場合、皆伐など持続可能性が脅かされる可能性がある。皆伐の禁止など、基本的な方針は、法律等で明確に縛った上で、森林利用の可能性を積極的に広げていくことが望まれる。



※森林・林業白書、オーストリア森林在庫調査、BWI

図 2.1.1-4 日本と欧州の樹齢構成

出典：林野庁 HP

我が国でマイスター制度に類似するものとして、森林管理士（フォレスター制度）が整備されているが、この受験の主たる対象が公務員となっている。公務員の多くは、定期的な転勤を基本とする中で、また、民有林と公共の森林が補完し合う必要がある中で、公務員にのみ指導的な立場を依存する立場は、森林の多様性を担保していくという上述の立場からは好ましくない。専門教育を受け、現場で実践経験を積んだものが国家試験を経て、指導的立場になるような制度にし、官と民の専門家が開かれた立場で計画を補完しあえるような、欧米型のシステムを参考にすべきところは多い。

一方で、今年度、我々が視察に訪れた東濃ひのき製品流通協同組合においては、木製材の生産のうち乾燥工程の熱源を、廃棄物として処分されていた端材やおが粉、樹皮などをエネルギー利用して賄い、余ったエネルギーで発電する方式で 10 年以上の運用を続けている。木製材も、地元ブランドとして需要を伸ばしており、木質バイオマスも、エネルギー効率のよい熱利用を優先し、発電を補助的に行うなど、CO₂削減の面からは合理的なシステムを採用している優れた先例と言える。当組合では、最も利用促進を図りたい未利用材・間伐材（図 2.1.1-5）の利用にも取り組みは始めている。欧州に制度的な面で学びつつ、こうした優れた取り組み例を参考にし、日本に合った促進策を採っていくことが重要である。

■ 木質バイオマスの発生量と利用状況



図 2.1.1-5 木質バイオマスの利用状況

出典：林野庁 HP

2.1.2 木質バイオマス資源の活用状況

1) 我が国の森林資源の方向性

日本には森林バイオマスとして再生可能エネルギー源の賦存量が、60億 m³と、欧州最大の森林蓄積量を誇るドイツの34億 m³に比して非常に高いポテンシャルを保有している。しかるに、木材価格の低迷、路網の未整備や人材育成・機械整備の遅れ等を端に発して林業は衰退の一途をたどり森林育成の障害となっている。しかしながら、森林は、二酸化炭素の吸収のほか、地下水を豊かにするなどの水源のかん養、土砂災害の防止、木材・キノコ・山菜といった林産物の供給、保健休養の場の提供など、私たちにとって欠かせない役割を担っており、健全な森林に育てていくために、国産の木材（国産材）を積極的に使うことを重要視している。政府は森林資源の成熟を背景として、2020年までの木材自給率50%を目標に改革を進めており、木材生産量は大幅に増加する見込みである。森林資源のエネルギー活用には、木材流通規模（動脈・静脈）を大きくし、その中で発生する端材や成分抽出後の処理材等を再生可能エネルギーに繋げる様なカスケード利用を目指している（図2.1.2-1）。

木質バイオマス等の再生可能エネルギーの活用を継続的に延ばしていくには、現在FITで申請の多い大型案件だけでなく、農山漁村地域における地域密着型小規模発電や熱利用など、細かく地域の実情に応じた小規模発電や熱利用の設備の整備を進め、森林資源の活用等と連携させて促進させることが重要である。

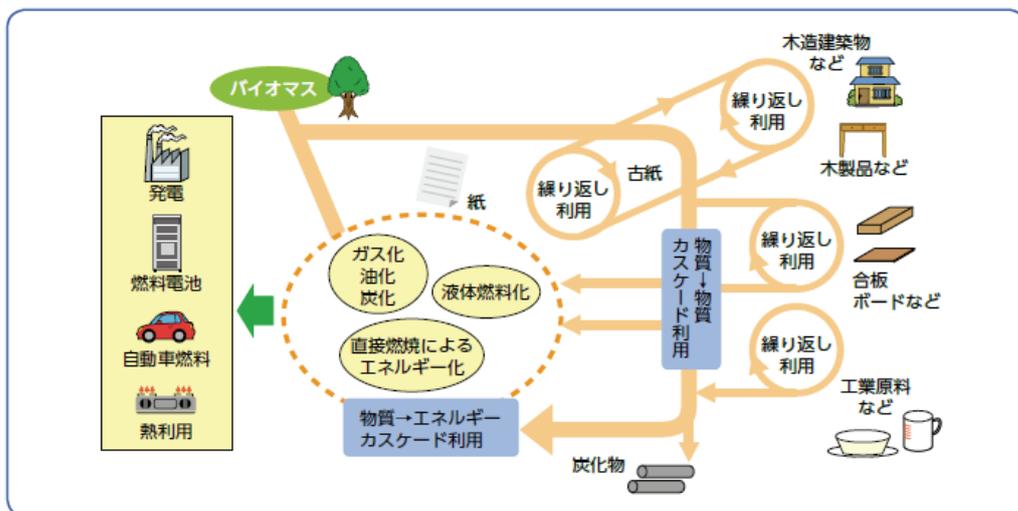


図 2.1.2-1 標準的なシステムフロー

出典：島根県バイオマス活用推進計画

2) 木材の流通・利用・廃棄までの現状・計画

(1) 木材の供給量

我が国における国産材（用材）の供給量は、「新流通・加工システム」や「新生産システム」による国産材の加工・流通体制の整備等により、2004年ころから僅かながら増加傾向にある。平成24（2012）年の国産材供給量は、前年比1.6%増の11,969万 m³であった（図2.1.2-2）。

木材輸入量（用材）は、国内における木材需要の減少や木材輸出国における資源的制約等により、減少傾向で推移し平成 24（2012）年の木材輸入量は、5,095 万 m³ となっている。さらに、近年の木材の輸入形態は丸太から製品へと急速にシフトしてきて、9 割近くが製品での輸入となっており、製材加工業の国外シフトも懸念される。製品で輸入された木材は 4,531 万 m³ であり、製品別ではパルプ・チップが 2,569 万 m³、製材品は 1,037 万 m³、合板等は 646 万 m³、その他が 280 万 m³（同 5%）となっている。

国内の木材離れが進むことや、製造業の国外シフトにより、木材利用インフラが弱体化することに歯止めをかける必要がある。輸入材と国産材を問わず、まず木材利用産業を守りつつ、国産材の供給を高めていく必要がある。

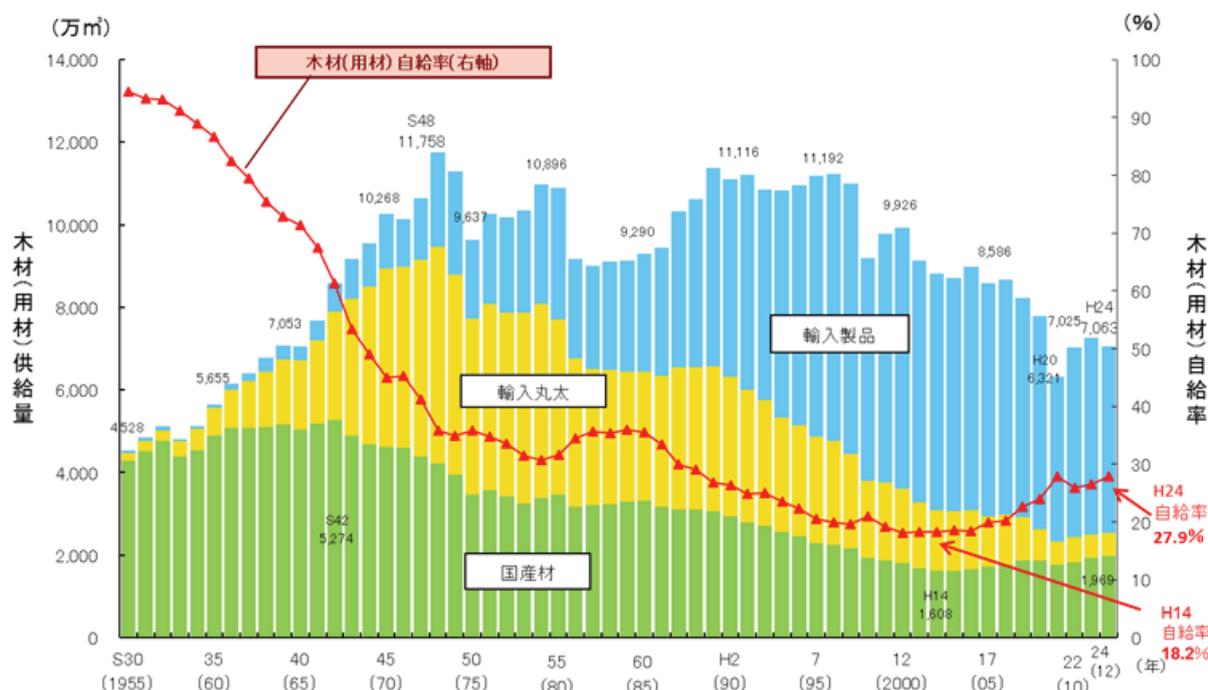


図 2.1.2-2 国産材供給量

出典：森林・林業白書

(2) 木材の需要

我が国の木材需要量の推移をみると、戦後の復興期と高度成長期の経済発展により増加を続けたが、昭和 48（1973）年秋の第 1 次石油危機（オイルショック）、昭和 54（1979）年の第 2 次石油危機等の影響により減少と増加を繰り返し、昭和 62（1987）年以降は 1 億 m³ 程度で推移した（図 2.1.2-2）。

しかし、平成 3（1991）年のバブル景気崩壊後の景気後退等により、平成 8（1996）年以降は減少傾向となり、平成 20（2008）年秋以降の急速な景気悪化の影響により、平成 21（2009）年の木材需要量（用材）は 6,321 万 m³ を示した。しかし、近年はやや持ち直し、平成 24（2012）年には 7,063 万 m³ となっている。

平成 24（2012）年における製材用材の需要量（丸太換算、以下同じ。）は 2,605 万 m³。我が国の木材需要量の 37% を占めているが、需要量は平成 24（2012）年、ピーク時の 3 分の 1 程度となっている。

合板用材の需要量は 1,029 万 m³ で、我が国の木材需要量の 15% を占めている。合板用材の需要量は、製材用材と同様平成 8 (1996) 年以降は漸減傾向で推移している。

パルプ・チップ用材の需要量は 3,101 万 m³ で、我が国の木材需要量の 44% を占めている。平成 24 (2012) 年にパルプ生産に利用されたチップは 2,773 万 m³ で、このうち 911 万 m³ (33%) が国産チップ、1,862 万 m³ (67%) が輸入チップであった。

(3) 木質バイオマスのエネルギー利用

木材は近年、再生可能エネルギーの一つとして注目され、主に「木材チップ」や「木質ペレット」の形態で利用が進められている。また、薪の利用も注目されている。平成 24 (2012) 年度に、全国でエネルギー源として利用された間伐材由来の木質バイオマス量は前年比約 3 割増の 81 万 m³ であったが、平成 23 (2011) 年 7 月に閣議決定された「森林・林業基本計画」では、平成 32 (2020) 年は燃料用等のパルプ・チップ用材の利用目標を 600 万 m³ と定め、更なる大幅増を目指している。木質バイオマスのエネルギー利用に向けて、「カスケード利用」が前提になるが、石炭火力発電所や木質バイオマス発電所における未利用間伐材等の利用、地域における熱電併給システムの構築、効率的な発電・熱供給システムの開発等を図っていくこととしている。

カスケード利用を前提とするのは、木材の利用を増やすことが重要であり、発電等のエネルギー利用に補助政策を出すことが、林業などの木材生産に繋がるようにとの意図が感じられる。ただし、国産材の増産は計画的に持続可能な形で、段階的に進めて行く必要がある一方で、前項で述べたような木材加工の国外シフトも懸念される中、輸入材の国内加工の下支えも重要な観点である。

木材チップの原料は、製材工場等で発生する「工場残材」と建築物の解体等で発生する解体材・廃材である「建設発生木材」が主である。工場残材の大部分は、自工場内で木材乾燥用ボイラ等の燃料や、製紙等の原料として利用されている。建設発生木材は、再利用が義務付けられている事で利用が進み、木質バイオマス発電用の燃料として需要が増えている。

しかし、今後、工場残材や建設発生木材の発生量が急激に増加することは見込まれないことから、木質バイオマスのエネルギー利用を進めるためには、未利用間伐材等の活用が不可欠であり、未利用間伐材を低コストで安定供給できる体制を確立し、利用の拡大が必要となっている。一方で、輸入木材を使っても、仮設事務所や土木工事の仮設機材など、比較的回転の速い分野での木材利用を増やすことで、その廃材の流通も増えて、カスケード利用の下流の安定を促し、木材利用用途が増えることで、国産材の競争できる市場を増やすような、カスケード利用のパイプを太くするような政策にも期待したい。

3) 森林バイオマスエネルギー施設と資源量

平成 25 年度現在、主な木質バイオマスを 1 万 m³/年以上利用する施設は混焼・専焼含め 100 施設以上全国に存在している(図 2.1.2-3)。

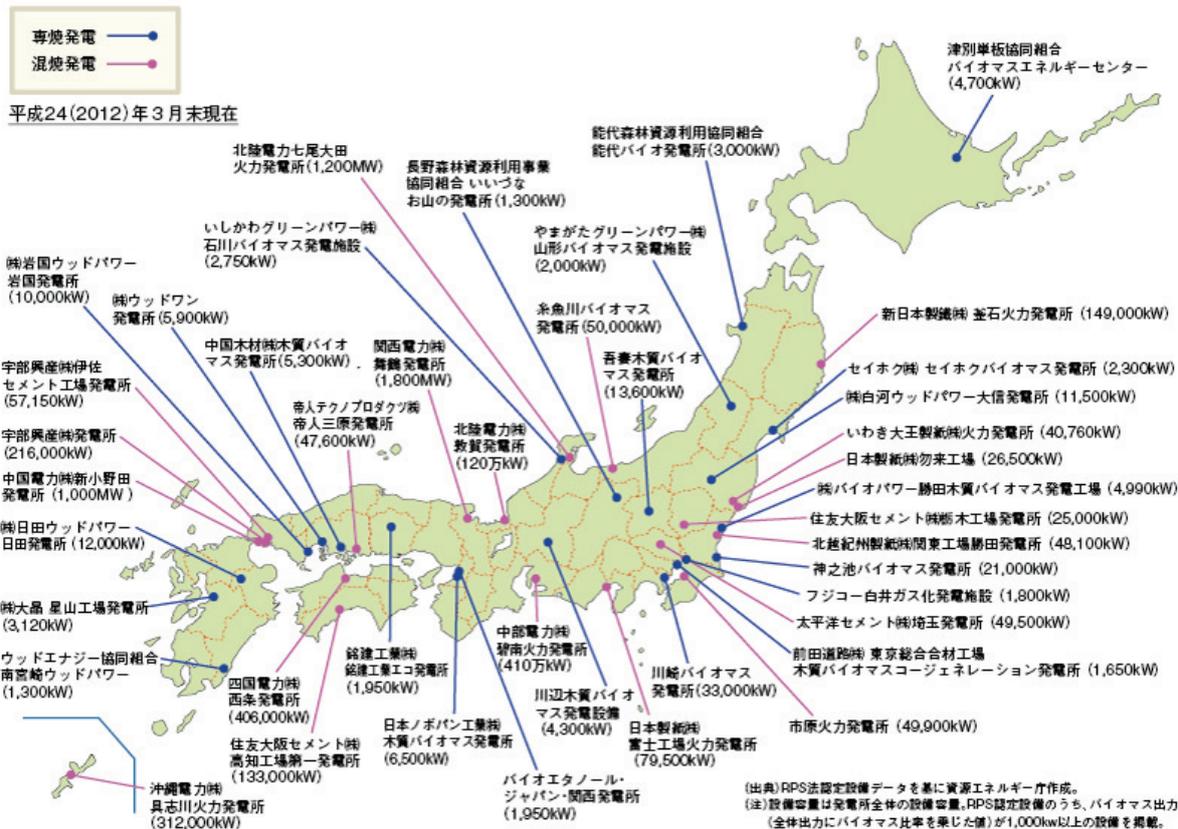


図 2.1.2-3 主な木質バイオマス発電所位

出典：森林・林業白書

この様な中、森林バイオマスを原料として稼働している専焼施設の総発電量は約 28.4 万 kW(表 2.1.2-1)。混焼施設総発電量は電力会社等の火力発電所において 1,684 万 kW (1~3%程度混焼と見込み) (表 2.1.2-2)、ならびに製紙会社やセメント会社等におけるものが 631 万 kW (3~7%程度混焼と見込み) (表 2.1.2-3)。その他の一般廃棄物等清掃工場が 217kW (50%強混焼と見込み) とされている。これら発電量から想定される必要な森林バイオマス資源量は年間 1,477 万 m³ (5,000kW の発電量で年間 6 万 t 消費と想定：丸太生材 1 m³/t 換算) と推定される。

また現在、稼働計画中の物が発電量換算で 230 万 kW(表 2.1.2-4)もあり、これらで 2,770 万 m³。総計で 4,247 万 m³ 近くもの量が必要とされている。現在の森林材総需要量 7,063 万 m³ からすると膨大な量であり、現在考えられているバイオマス利用ポテンシャルが建設発生木材の最大利用量が 820 万 m³ (丸太換算、以下同じ)、製材工場残材等 900 万 m³、廃パレット 200 万 m³ 林地残材で 1,600 万 m³ (バイオマス活用推進基本計画より換算) とすると、当然、海外からの輸入に依存することになってしまう。

再生資源エネルギー活用の観点から言うと現在稼働中の施設も含め、カスケード利用や熱利用等多方面での検討が必要で有ると共に、森林バイオマス資源調達に関する統括的な管理、計画調整が必要である。

表 2.1.2-1 主な木質バイオマス発電所（稼働中）

発電事業者	発電所名称	設備規模	発電所所在地	備考
稼働施設				
龍田牧場	龍田牧場バイオマス発電所	80kw	北海道常呂郡訓子府町	
長野森林資源利用事業協同組合	長野森林資源利用事業協同組合「いづな お山の発電所」	1,300kw	長野県長野市中曽根	
銘建工業株式会社	銘建工業株式会社本社工場エコ発電所	1,950kw	岡山県真庭市勝山	
鈴木牧場	鈴木牧場バイオマス発電所	25kw	北海道河東郡士幌町	
菱秋木材株式会社	菱秋木材株式会社1号発電所	990kw	秋田県能代市字悪戸	
能代森林資源利用協同組合	能代バイオマス発電所	3,000kw	秋田県能代市誠淵	
米子市	米子市クリーンセンター	4,000kw	鳥取県米子市	
神之池バイオエネルギー株式会社	神之池バイオマス発電所	21,000kw	茨城県神栖市東深芝	
セイホク株式会社	セイホクバイオマス発電所	2,300kw	宮城県石巻市潮見町	
日本分蜜糖工業会	石垣島製糖株式会社バガス発電施設	1,800kw	沖縄県石垣市	
株式会社町村農場	町村農場バイオマス発電設備	65kw	北海道江別市篠津	
日本分蜜糖工業会	球陽製糖株式会社バガス発電施設	1,800kw	沖縄県うるま市字川田	
津別単板協同組合	津別単板協同組合バイオマスエネルギーセンター	4,700kw	北海道網走郡津別町	
江別市	江別浄化センター消化ガスコージェネ発電施設	250kw	北海道江別市工業町	
東濃ひのき製品流通協同組合	森林資源活用センター発電所「森の発電所」	600kw	岐阜県加茂郡白川町	
東京都下水道局森ヶ崎エナジーサービス株式会社	森ヶ崎発電所	3,200kw	東京都大田区昭和島	
株式会社 大晶	星山工場発電所	3,120kw	熊本県合志市福原	
株式会社福岡クリーンエナジー	東部工場発電所	29,200kw	福岡県福岡市	
株式会社 日田ウッドパワー	木質専焼バイオマス発電所 日田発電所	12,000kw	大分県日田市	
株式会社白河ウッドパワー	木質専焼バイオマス発電所 大信発電所	11,500kw	福島県白河市	
日本ノボパン工業株式会社	日本ノボパン木質バイオマス発電所	6,500kw	大阪府堺市堺区築港南町	
房谷牧場	房谷牧場バイオマス発電所	40kw	北海道河東郡士幌町	
川辺バイオマス発電株式会社	川辺木質バイオマス発電所	4,300kw	岐阜県加茂郡川辺町	
川崎バイオマス発電株式会社	川崎バイオマス発電所	33,000kw	神奈川県川崎市川崎市	
株式会社ミツウロコ岩国発電所	岩国バイオマス発電所	10,000kw	山口県岩国市	
日本分蜜糖工業会	宮古製糖株式会社バガス発電施設	2,300kw	沖縄県城辺町字砂川	
日本分蜜糖工業会	宮古製糖株式会社バガス発電施設	920kw	沖縄県宮古島市伊良部字	
グリーン発電大分	天瀬発電所	5,700kw	大分県日田市	
日本分蜜糖工業会	大東糖業株式会社バガス発電施設	1,800kw	沖縄県南大東村字在所	
株式会社吾妻バイオパワー	吾妻木質バイオマス発電所	13,600kw	群馬県東吾妻町	
南西糖業株式会社	徳和瀬工場発電所第2号発電設備	1,750kw	鹿児島県大島郡徳之島町徳和瀬	
ウッドエナジー協同組合	南宮崎ウッドパワー発電所	1,300kw	宮崎県日南市	
南国興産株式会社	南国興産バイオマス発電設備	1,950kw	宮崎県都城市高城町	
日本分蜜糖工業会	北大東製糖株式会社バガス発電施設	850kw	沖縄県島尻郡	
有限会社仁成ファーム	仁成ファームバイオマス発電設備	50kw	北海道阿寒郡阿寒町	
中国木材株式会社	中国木材本社工場木質バイオマス発電プラント	5,300kw	広島県呉市広多賀谷	
環境リサイクルエネルギー株式会社	バイオマス発電所「豪力」	2,750kw	長崎県佐世保市宮津町	
株式会社バイオマスパワーしずくいし	バイオマスパワーしずくいし発電所	250kw	岩手県岩手郡雫石町	
バイオエナジー株式会社	バイオエナジー株式会社食品循環資源リサイクル施設発電設備	1,000kw	東京都大田区城南島	
サミット明星パワー株式会社	サミット明星パワー糸魚川バイオマス発電所	50,000kw	新潟県糸魚川市上刈	
株式会社グリーン発電会津	グリーン発電会津 木質バイオマス発電所	5,700kw	福島県会津若松市河東町	
オロチ	オロチ	160kw	鳥取県日南町	
株式会社ウツティかわい	ウツティかわいバイオマス発電	5,800kw	岩手県岩手郡宮古市	
みやざきバイオマスリサイクル株式会社	みやざきバイオマスリサイクル発電所	11,350kw	宮崎県川南町	
秩父市	ちちぶバイオマス元気村発電所	115kw	埼玉県秩父市上吉田	
株式会社バイオパワー	勝田木質バイオマス発電所	4,990kw	茨城県ひたちなか市	
フジコー	白井ガス化発電施設	1,800kw	千葉県白井市	
前田道路株式会社	木質バイオマスコージェネレーション発電所	1,650kw	東京都江東区	

(前頁続き)

発電事業者	発電所名称	設備規模	発電所所在地	備考
稼働施設				
バイオ・エタノール・ジャパン	関西発電所	1,950kw	大阪府堺市	
やまがたグリーンパワー株式会社	山形バイオマス発電施設	2,000kw	山形県村山市	
いしかわグリーンパワー株式会社	石川バイオマス発電施設	2,750kw	石川県羽咋郡宝達志水町	
合計発電量		284,505kw		
森林バイオマス資源量	6万t/年/5,000kw換算	341万t		

出典：森林・林業白書、バイオマス利活用技術、バイオマス発電所一覧より作成

表 2.1.2-2 主な木質バイオマス混焼発電所（電力会社）

発電事業者	発電所名称	設備規模(kW)	発電所所在地	備考
混焼施設（電力会社）				
北海道電力株式会社	砂川3号	125,000kw		2010年度実証試験開始
東北電力株式会社	能代1・2号	1,200,000kw		2012年度運用開始
北陸電力株式会社	敦賀2号	700,000kw		2007年度運用開始
東北電力株式会社	原町1・2号	2,000,000kw		2015年度運用開始
中国電力株式会社	三隅1号	1,000,000kw		2013年度運用開始
東京電力株式会社	常陸那珂1号	1,000,000kw		2013年度実証試験完了
中国電力株式会社	新小野田1・2号	1,000,000kw		2007年度運用開始
関西電力株式会社	舞鶴1号	900,000kw		2008年度運用開始
沖縄電力株式会社	具志川1・2号	312,000kw		2009年度運用開始
北陸電力株式会社	七尾大田2号	700,000kw		2010年度運用開始
中部電力株式会社	碧南1～5号	4,100,000kw		2010年度運用開始
九州電力株式会社	芥北1・2号	1,400,000kw		2010年度実証試験開始
電源開発株式会社	松浦1・2号	2,000,000kw		2010年度実証試験開始
四国電力株式会社	西条1・2号	406,000kw		2005年度運用開始
合計発電量		16,843,000kw		
森林バイオマス資源量(3%混焼)	6万t/年/5,000kw換算	606万t		

出典：森林・林業白書、電気事業における環境行動計画より作成

表 2.1.2-3 主な木質バイオマス混焼発電所（製紙・セメント会社等）

発電事業者	発電所名称	設備規模	発電所所在地	備考
混焼施設（製紙・セメント会社等）				
日本製紙株式会社	旭川工場発電所	51,900kw	北海道旭川	
王子製紙株式会社	苫小牧工場発電所	268,150kw	北海道苫小牧	
日本製紙株式会社	釧路工場発電所	132,500kw	北海道釧路	
日本製紙株式会社	白老工場発電所	122,000kw	北海道白老	
新日本製鉄株式会社	釜石工場発電所	149,000kw	岩手県釜石市	
株式会社秋田プライウッド	向浜工場発電所	4,500kw	秋田県向浜	
酒田共同電力株式会社	酒田共同電力発電所	350,000kw	新潟県酒田市	
日本製紙株式会社	石巻工場発電所	229,300kw	宮城県石巻市	
常盤共同火力株式会社	7・8・9号機	1,450,000kw	福島県いわき市	
株式会社サミット明星パワー	糸魚川バイオマス発電所	50,000kw	新潟県糸魚川市	
いわき大王製紙株式会社	いわき大王(株)火力発電所	41,093kw	福島県いわき市	
日本製紙株式会社	勿来工場発電所	26,500kw	福島県いわき市	
北陸電力株式会社	七尾大田火力発電所2号機	700,000kw	石川県七尾市	
中越パルプ工業株式会社	高岡工場内発電施設	120,000kw	富山県新港市	
太平洋セメント株式会社	埼玉発電所	49,500kw	埼玉県日高市	
北越紀州製紙株式会社	関東工場勝田発電所	48,100kw	茨城県ひたちなか市	
住友大阪セメント株式会社	栃木工場	25,000kw	栃木県佐野市	
市原グリーン電力株式会社	市原火力発電所	49,900kw	千葉県市原市	
日本製紙株式会社	富士工場発電所	79,500kw	静岡県富士市	
日本大昭和板紙吉永	吉永工場第10ボイラー	29,000kw	静岡県富士市	
王子製紙株式会社	三島工場発電所	524,110kw	静岡県三島市	
特殊東海製紙株式会社	島田工場火力発電所	101,250kw	静岡県島田市	
大興製紙株式会社	第二火力発電所	35,000kw	静岡県富士市	
兵庫パルプ株式会社	兵庫パルプ発電所	18,000kw	兵庫県丹波市	
王子製紙株式会社	米子工場発電所	119,000kw	鳥取県米子市	
株式会社クラレ	倉敷事業所玉島発電所第3号発電機	17,800kw	岡山県倉敷市	
岡山市	東部クリーンセンター	12,100kw	岡山県岡山市	
王子マテリア	呉工場発電所	82,600kw	広島県呉市	
帝人テクノプロダクツ株式会社	三原発電所	47,600kw	広島県三原市	
株式会社トクヤマ	徳山製造所発電所(5,7,8,9, 東2)	552,000kw	山口県徳山市	
宇部興産株式会社	伊佐セメント工場発電所	57,150kw	山口県美弥市	
住友共同電力株式会社	壬生川火力発電所	250,000kw	愛媛県西条市	
丸住製紙株式会社	大江工場汽力発電所	145,900kw	愛媛県西条市	
住友大阪セメント株式会社	土佐発電所	61,000kw	高知県洲崎市	
太平洋セメント株式会社	大分工場発電所	119,000kw	大分県佐伯市	
旭化成エヌエスエネルギー	延岡発電所	50,000kw	宮崎県延岡市	
旭化成ケミカルズ	延岡動力部第二火力発電所木質バイオマス発電設備	14,000kw	宮崎県延岡市	
王子製紙株式会社	日南火力発電所	60,800kw	宮崎県日南市	
王子マテリア株式会社	大分工場発電所	42,800kw	大分県大分市	
王子マテリア株式会社	佐賀工場火力発電所	25,200kw	佐賀県佐賀市	
合計発電量		6,311,253kw		
森林バイオマス資源量(7%混焼)	6万t/年/5,000kw換算	530万t		

出典：森林・林業白書、バイオマス利活用技術、バイオマス発電所一覧より作成

表 2.1.2-4 主な木質バイオマス発電所（計画）

発電事業者	発電所名称	設備規模(kW)	発電所所在地	備考
計画中				
下川町		5,000kw	北海道下川町	2015年度稼働を目指す。未利用材
住友林業、住友共同電力		50,000kw	北海道紋別市	2016.12営業運転開始。未利用材等、PKS【*】、石炭
三井物産、イワクラ		12,000kw	北海道苫小牧市	2014年度に建設。未利用材等
王子グリーンリソース		25,000kw	北海道江別市	2015.7稼働予定。未利用材等
津軽バイオマスエナジー		6,250kw	青森県平川市	2015年売電開始予定。未利用材、剪定枝等
津軽エネルギー		3,000kw	青森県五所川原市	未利用材等
エリナス、フジコー		6,250kw	岩手県一戸町	2016.2運転開始予定。未利用材、製材端材
野田新エネルギー開発		11,500kw	岩手県野田村	2015.7運転開始。間伐材、PKS等
ウツティかわい		5,800kw	岩手県宮古市	製材廃材、未利用材。FIT認定
宮古市BCP協議会		3,000kw	岩手県宮古市	木質バイオマス等。熱・水素利用も
日本製紙		149,000kw	宮城県石巻市	。2017年度中に稼働予定。間伐材等。石炭火力に1割程度混焼
気仙沼地域エネルギー開発		800kw	宮城県気仙沼市	2014.3稼働予定。未利用材等。コジェネ
トーセン		2,500kw	山形県鶴岡市	2015.4稼働予定。未利用材、製材端材
日立造船		5,800kw	茨城県常陸太田市	2015.3完成予定。未利用材
トーセン		2,000kw	栃木県那賀川町	2014年稼働予定。製材端材、未利用材
昭和シェル		49,000kw	神奈川県川崎市	2015.12稼働予定。木質ペレット、PKS。FIT認定
大月バイオマス発電		11,500kw	山梨県大月市	2016年末運転開始予定。剪定枝、間伐材、PKS等
関川村		2,800kw	新潟県関川村	木質ガス化。未利用材
グリーンエネルギー北陸		5,750kw	富山県射水市	2015.4稼働予定。未利用材等
輪島ブルーエナジー		3,000kw	石川県輪島市	2015年売電開始予定。未利用材等
神鋼環境ソリューション		6,000kw	福井県大野市	2016年春稼働予定。未利用材、製材廃材
丸紅		37,000kw	福井県敦賀市	2016年試運転。米、豪からの輸入チップ
征矢野建材、長野県、塩尻市		10,000kw	長野県塩尻市	2015年稼働を目指す。製材端材、未利用材
南木曾新エネルギー開発		11,500kw	長野県南木曾町	2016年運転開始。PKS、未利用材、剪定枝等
岐阜バイオマスパワー		5,000kw	岐阜県瑞穂市	2015年秋稼働予定。未利用材。FIT認定
王子ホールディングス		40,000kw	静岡県富士市	2015.3までに稼働予定。未利用材、RPF、石炭等
特殊東海製紙		22,700kw	静岡県島田市	2016.10稼働予定。木質バイオマス燃料等
中山名古屋共同発電		110,000kw	愛知県武豊町	木質ペレット等。石炭火力に30%バイオマス混焼。
三重エネウッド協同組合		5,800kw	三重県松阪市	2014.11完成予定。未利用材
中部プラントサービス		6,000kw	三重県多気町	2016年度稼働予定。未利用材等
いぶきグリーンエナジー		3,550kw	滋賀県米原市	2015.1営業開始予定。リサイクル材、一般木材。FIT認定
関西電力		5,000kw	兵庫県朝来市	2015年度未運転開始目標。未利用材
日本海水		16,530kw	兵庫県赤穂市	2015.1稼働目標。間伐材、建築廃材等。FIT認定
I・T・O		6,500kw	奈良県大淀町	2015年度操業開始予定。未利用木材
ナカバヤシ		6,250kw	島根県松江市	2016年稼働開始予定。間伐材、林地残材、製材残材。FIT認定
しまね森林発電		12,700kw	島根県江津市	2015.4稼働予定。未利用材、PKS。FIT認定
日新		5,700kw	鳥取県境港市	2015.4稼働を目指す。製材廃材、未利用材。FIT認定
真庭バイオマス発電		10,000kw	岡山県真庭市	2015.4稼働予定。未利用材、製材廃材。FIT認定

(前頁続き)

発電事業者	発電所名称	設備規模(kW)	発電所所在地	備考
計画中				
中国木材		9,850kw	広島県呉市	2016年末稼働。製材廃材、未利用材
ウッドワン		5,800kw	広島県廿日市市	2015年春稼働。一般木材。FIT認定
電源開発		350,000kw	広島県竹原市	竹原火力発電所2号機。FIT認定。石炭火力混焼
土佐グリーンパワー		6,250kw	高知県高知市	2015.4発電開始予定。未利用材。FIT認定
イーレックスニューエナジー		29,500kw	高知県高知市	2013.6商業運転開始。PKS。FIT認定
グリーンエネルギー研究所		6,500kw	高知県宿毛市	2015.1発電開始予定。未利用材、製材端材。FIT認定
オリックス		112,000kw	福岡県北九州市	2017年以降運転予定。リサイクル材、一般木材。石炭との50%混焼
中国木材		10,000kw	佐賀県伊万里市	2015年度末稼働。一般木材、未利用材
日本製紙		5,000kw	熊本県八代市	2015.3から発電開始予定。未利用材
有明グリーンエネルギー		5,600kw	熊本県荒尾市	2016.4稼働予定。製材廃材、未利用材
水俣市		5,800kw	熊本県水俣市	2015年末までの操業を目指す。未利用材等
グリーン発電大分		5,700kw	大分県日田市	2013.11稼働。未利用材。FIT認定
ファーストエスコ		18,000kw	大分県豊後大野市	2015年稼働予定。未利用材、一般木材
太平洋セメント		50,000kw	大分県佐伯市	2015年度稼働目標。PKS、未利用材、石炭
グリーンバイオマスファクトリー		5,000kw	宮崎県都農町	2014.6営業開始予定。未利用材
王子グリーンリソース		25,000kw	宮崎県日南市	2015.3稼働予定。未利用材等
サンシャインブルータワー		2,376kw	宮崎県串間市	2014.12稼働予定。未利用材等
中国木材		18,000kw	宮崎県日向市	2015年稼働予定。一般木材
日本エネルギーソリューション		11,400kw	宮崎県日向市	未利用材
宮崎森林発電所		5,000kw	宮崎県川南町	未利用材
霧島木質発電		5,700kw	鹿児島県霧島市	2015.3稼働予定。未利用材
中越パルプ工業		23,700kw	鹿児島県薩摩川内市	2015.11発電開始予定。未利用材
合計発電量		23,054,853kw		
森林バイオマス資源量	6万t/年/5,000kw換算	27,666万t		

出典：森林・林業白書、バイオマス産業社会ネットワークより作成

4) 森林バイオマスの持続的かつ健全な発展

この様な状況の中、政府は平成13年7月に施行された森林・林業基本法に基づき、森林・林業基本計画を策定し、5年おきに見直しを行い現在まで2度実施され、森林および林業に関する施策を総合的かつ計画的に推進している。平成23年7月に策定された森林・林業基本計画では森林の有する多面的機能の発揮を図りつつ、林産物の供給および利用について目標を述べている。特に「森林の有する多面的機能の持続的発揮」、「林業・木材産業の地域資源創造型産業への再生」、「木材利用・エネルギー利用拡大による森林・林業の低炭素社会への貢献」という3つの基本理念の下、10年後(平成33年)の木材自給率50%以上を目指すべき姿として掲げた。

具体的には森林の有する多面的機能の発揮に関する目標(表2.1.2-5)で、木材等生産機能の発揮が特に期待される育成単層林を整備するなど、森林資源の循環利用を図ると

共に自然条件等を踏まえた育成複層林への誘導を進めている。

森林から生産される木材の需要を確保し適切に利用する事は、森林施業のサイクルを円滑に循環させ林業の持続的かつ健全な発展および環境負荷の少ない循環型社会の形成に直結する事から、供給目標については森林機能の発揮に向けた整備・保全が前提として供給される木材の量であり、利用目標については今後の需要動向の中で各般の課題への取組が適切処置されたものとして用途別木材利用量(表 2.1.2-6)を示している。

国内の森林資源が「緑の社会資本」として、恩恵が将来にわたり享受されるためにも持続的かつ健全な発展に対する供給量に対しては負荷を掛けず、森林の有する多面的機能の発揮を考慮した持続的、継続的な発展が見通せる量の確保が前提となる。発電を主眼においた促進策をとれば、木質バイオマスエネルギー施設の発電効率の観点から、施設規模だけで論じられてしまい、本来の再生可能エネルギーの活用と言う観点から外れてしまう。木材の「多様な用途」と「持続可能な運用」を念頭に、その流通域、流通システムに応じた適正な生産量の中で上手に活用するような検討が求められる。

表 2.1.2-5 森林の有する多面的機能の発揮に関する目標と森林区分の内訳

	平成22年	目標とする森林の状態			(参考)指向する森林の状態
		平成27年	平成32年	平成42年	
森林面積(万ha)					
育成単層林	1,030	1,030	1,020	1,000	660
育成複層林	100	120	140	200	680
天然生林	1,380	1,360	1,350	1,310	1,170
合計	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510
総蓄積(百万m ³)	4,690	4,930	5,200	5,380	5,450
ha当たり蓄積(m ³ /ha)	187	196	207	214	217
総成長量(百万m ³ /年)	7.4	6.8	6.1	5.5	5.4
ha当たり成長量(m ³ /ha年)	2.9	2.7	2.4	2.2	2.1

育成単層林	(万ha)
木材等生産機能の発揮が特に期待されるなど育成単層林として整備される森林	660
公益的機能の一層の発揮のため自然条件等を踏まえて育成複層林に誘導される森林	350
公益的機能の発揮のため伐採が強度に規制されているなど天然生林に誘導される森林	20
天然生林	(万ha)
主に天然力により健全性が確保され公益的機能の発揮のため天然生林として維持される森林	1,150
各種機能の発揮のため継続的な育成管理により育成複層林に誘導される森林	230

注1：森林面積は、10万ha単位で四捨五入している。
注2：目標とする森林の状態及び指向する森林の状態は、平成22年を基準として算出している。
注3：平成22年の値は、平成22年4月1日の数値である。

出典：森林・林業基本計画 平成23年7月

表 2.1.2-6 木材供給量の目標と用途別利用量の目標

第2表 木材供給量の目標

(単位：百万m³)

	(実績) 平成21年	(目標) 平成27年	(目標) 平成32年	(参考) 平成42年
木材供給量	18	28	39	50

第3表 用途別の利用量の目標

(単位：百万m³)

	利用量			総需要量		
	(実績) 平成21年	(目標) 平成27年	(目標) 平成32年	(実績) 平成21年	(見通し) 平成27年	(見通し) 平成32年
製材用材	11	14	19	26	27	30
パルプ・チップ用材	5	9	15	29	36	37
合板用材	2	4	5	8	8	9
その他	1	1	1	2	2	2
合計	18	28	39	65	72	78

注1：用途別の利用量は、百万m³単位で四捨五入している。

注2：パルプ・チップ用材は、主に製紙用に利用されてきたが、平成32年の利用量の目標のうち、6百万m³はパーティクルボード等木質系材料としての利用や木質バイオマス発電等エネルギー源としての利用を見込んでいる。

注3：「その他」とは、しいたけ原木、薪炭用材等である。

出典：森林・林業基本計画 平成23年7月

2.1.3 木材のカスケード利用の経済性

1) はじめに

木材のカスケード利用とは、木材をマテリアルやエネルギーとして用途を変えながら多段階的に利用することである。これにより一段階の利用に比較して、資源を繰り返し有効活用できる。またカスケード利用することで、木質としての炭素貯蔵効果が持続され地球温暖化の抑制に資するなどのメリットがある。しかしながらカスケード利用により持続可能な林業に必要な新材の消費が抑制されてしまうことや、カスケード利用した製品の価格が新材製品のそれより上昇する可能性も考えられる。

ここでは木材のカスケード利用として、マテリアルとして木製遮音壁と丸太筋工、サーマルとして木質チップといった活用を例に、製材所の事業成立性に関し定量的な評価を試みた。

木製遮音壁は、我が国ではまだ数十 km の施工実績しかないものの、フランスなど欧州では、木材製品のもつ景観価値や環境性能の高さから高速道路において多用されている(写真 2.1.3-2)。また我が国での木製遮音壁の年間木材使用量として 90,000m³/年、法面緑化に使われる丸太法枠工の年間木材使用量として 67,000m³/年それぞれポテンシャルがあるとされている(出展：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書、pp.3-74,2010.)。今回想定したモデル製材所はこれら年間木材使用量の数%を賄うものである。

2) カスケード利用の例

図 2.1.3-1 に、今回の試算例における新材利用とカスケード利用の概念を示す。新材利用の場合は、モデル製材所にて木製遮音壁、丸太筋工がそれぞれ製作される。多段階のマテリアル利用の場合は、モデル製材所にて新材で木製遮音壁を製作し、15年以上供用後の木製遮音壁を現場で解体後、別現場に運搬し丸太筋工として組み立てカスケード利用すると仮定する。サーマル利用の場合は、製材所にて新材で木製遮音壁を製作するとともに、15年以上供用後木製遮音壁を現場で解体し、木質チップ化後に木質バイオマス発電事業者へ引き渡すものとした。

(1) モデル製材所

表 2.1.3-1 にモデル製材所の概要を示す。原木取扱量 6,000m³/年の比較的小規模の製材所を想定した。加工歩留 50%とし新材利用の場合は、木製遮音壁、丸太筋工それぞれ 1,500m³/年、カスケード利用の場合は新材で木製遮音壁 3,000m³/年製作するとともにリサイクル材で、丸太筋工(マテリアル・カスケード利用の場合)、木質チップ(サーマル・カスケード利用の場合)、それぞれ 3,000m³/年を現場にて製作するものとした。こうした新材利用、マテリアル・サーマルカスケード利用それぞれによる事業を想定し、現場作業を含む製材所事業のプロジェクト内部収益率(PIRR)が 8.0%以上になることを事業成立の条件とした(出展：国土交通省：国土交通省所管事業を対象とした VFM(バリュー・フォー・マネー)簡易シミュレーション、2003)。その場合の各事業における木製遮音壁、丸太筋工それぞれの製品単価を求めた。

(2) 木製遮音壁と丸太筋工

木製遮音壁としてカスケード利用により丸太筋工に加工しやすい木製部材からなるタイプを想定した。例えば長野県におけるカラマツ製遮音壁である(出典：柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫：設置後 20 年を経過したカラマツ製遮音壁の性能評価(1)20 年経過の現状と非破壊検査の結果、第 58 回日本木材学会大会発表要旨集、pp.387-388, 2008.)。1985 年に中央自動車道飯田 IC 南付近に 200m 施工され現在も供用されている(写真 2.1.3-1)。

木製遮音壁として 15 年以上供用後カスケード利用により丸太筋工として用いる部材は、既にある程度腐朽している。しかし丸太筋工ではその機能である法面安定化への寄与は、丸太筋工から植栽樹木へ徐々に移行していく(出典：今井久・池田穰・柴田直明：木材の腐朽と根系効果を考慮したのり面緑化工の安定性評価 - 丸太筋工を用いたのり面緑化工を例として -、ハザマ研究年報、2011)(図 2.1.3-2)。

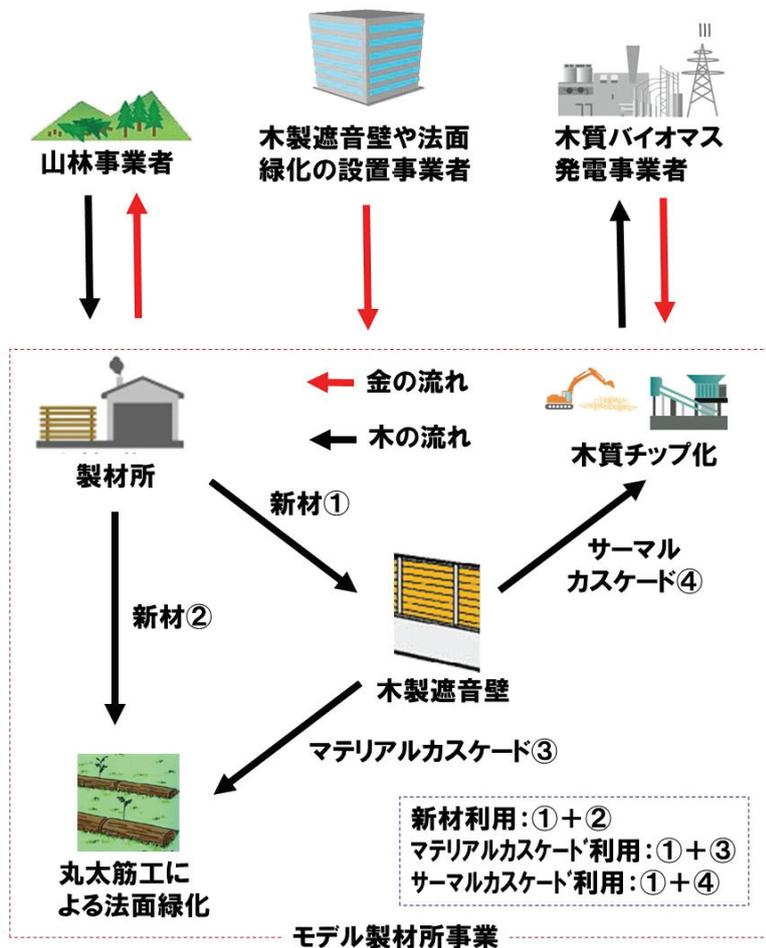


図 2.1.3-1 新材利用とカスケード利用の概念図

表 2.1.3-1 想定したモデル製材所の概要

項目	値	備考
事業期間	15年	
工場	2.5億円	事業費としては他に調査設計費(工場+土地の10%)
土地	1.5億円	
敷地面積	2,000m ²	
補助金	事業費の1/3	補助金, 自己資金以外は長期借入金
自己資金	事業費の15%	
従業員	10~30人	年間木材製品生産量を考慮して従来利用:15名 サーマルカスケード利用:20名 マテリアルカスケード利用:30名
原木取扱量	6,000m ³ /年	
加工歩留	50%	
減価償却	償還期間15年, 定額法	

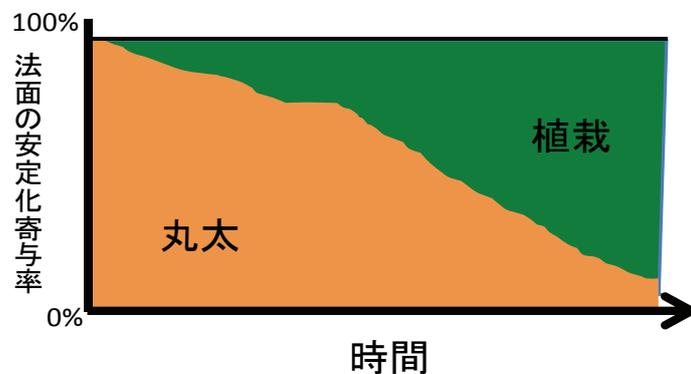


図 2.1.3-2 丸太筋工による法面の安定化メカニズムのイメージ

このように丸太筋工では経時的な腐朽が前提とされており木製遮音壁をカスケード利用することにおいて、品質・機能上の問題はないと考えられる。

製材所での製作コストとしては、木製遮音壁の場合、木材単位体積あたりの単価を材工で約9万円/m³と仮定した。また丸太筋工のそれは約6万円/m³と仮定した。また製材所の人員は、新材のみで木製遮音壁・丸太筋工を制作する場合は15名、マテリアルカスケードでは供用後の木製遮音壁を丸太筋工に加工する手間も考慮して30名、サーマルカスケードでは供用後の木製遮音壁をチップ化する手間を考慮して20名を

それぞれ仮定した。またチップ化のコストとして 2,000 円/m³ (1m³=0.4t として 5,000 円/t) を外注すると仮定した。

3) モデル製材所の事業収支

表2.1.3-2および図2.1.3-3～図2.1.3-5に新材利用、マテリアル・サーマル各カスケード利用した場合の事業収支と経済性評価指標、木と金の流れをそれぞれ示す。収入としては新材利用の場合は、木製遮音壁（新材）と丸太筋工（新材）それぞれの売上、マテリアルカスケード利用の場合は木製遮音壁（新材）と丸太筋工（リサイクル材）それぞれの売上、そしてサーマルカスケード利用の場合は、木製遮音壁（新材）とチップ生産それぞれの売上となる。主な支出としては、人件費、一般管理費、原木調達費、メンテナンス費である。一般管理費は人件費総額の1割、原木調達の単価は15,000円/m³、メンテナンス費は製材所事業費の5%とした。新材利用の場合、木製遮音壁の単価を89,600円/m³、丸太筋工の単価を63,800円/m³とするとPIRRは8.0%であった。なおマテリアルカスケード利用の場合、遮音壁と丸太筋工の単価の比率は、新材利用の場合と同一（1.4：1）とした。



写真 2.1.3-1 木製遮音壁（長野県のカラマツ製遮音壁）と丸太筋工の事例

表2.1.3-2 新材利用、カスケード利用した場合の事業収支と経済性評価指標

大項目	小項目	新材利用	マテリアルカスケード利用	サーマルカスケード利用	備考
収入	木製遮音壁単価(万円/m ³)	8.960	5.895	7.875	変動値
	木製遮音壁生産量(m ³ /年)	1,500	3,000	3,000	
	木製遮音壁売上(万円/年)	13,440	17,685	23,625	単価×生産量
	丸太筋工単価(万円/m ³)	6.380	4.197	—	変動値
	丸太筋工生産量(m ³ /年)	1,500	3,000	—	
	丸太筋工売上(万円/年)	9,570	12,591	—	単価×生産量
	木質チップ単価(円/m ³)	—	—	2,000	5,000円/t, 1m ³ =0.4tとして換算
	木質チップ生産量(m ³ /年)	—	—	6,000	端材(一般木材)3,000m ³ /年+リサイクル木材3,000m ³ /年
木質チップ売上(万円/年)	—	—	1,200	単価×生産量	
	収入計(万円/年)	23,010	30,276	24,825	
支出	従業員数(人)	15	30	20	
	人件費(万円/年)	6,000	12,000	8,000	400万円/年×従業員数
	一般管理費(万円/年)	600	1,200	800	人件費総額×0.1
	原木取扱量(m ³ /年)		6,000		
	原木調達費(万円/年)		9,000		1.5万円/m ³ ×6,000m ³
	メンテナンス費(万円/年)		1,250		2.5億円(工場の事業費)×0.05
	支出計(万円/年)	16,850	23,450	19,050	
経済性評価指標	PIRR(プロジェクト内部収益率)		8.0		目標値

マテリアルカスケード利用、サーマルカスケード利用の場合それぞれの従業員数以外の条件を同一にしてPIRRが8.0%となるように各カスケード利用の木製遮音壁、丸太筋工の各製品単価をもとめた。その結果マテリアルカスケード利用における木製遮音壁(新材)の単価は、58,950円/m³、丸太筋工(リサイクル材)のそれは41,970円/m³となった。一方、サーマルカスケード利用では木製遮音壁(新材)の単価は78,750円/m³となった。これらの結果よりカスケード利用では、原木取扱量一定の条件で雇用者数を増やし、製品単価を低減できる可能性が示された。すなわち持続可能な林業のためにカスケード利用は検討する価値がある。

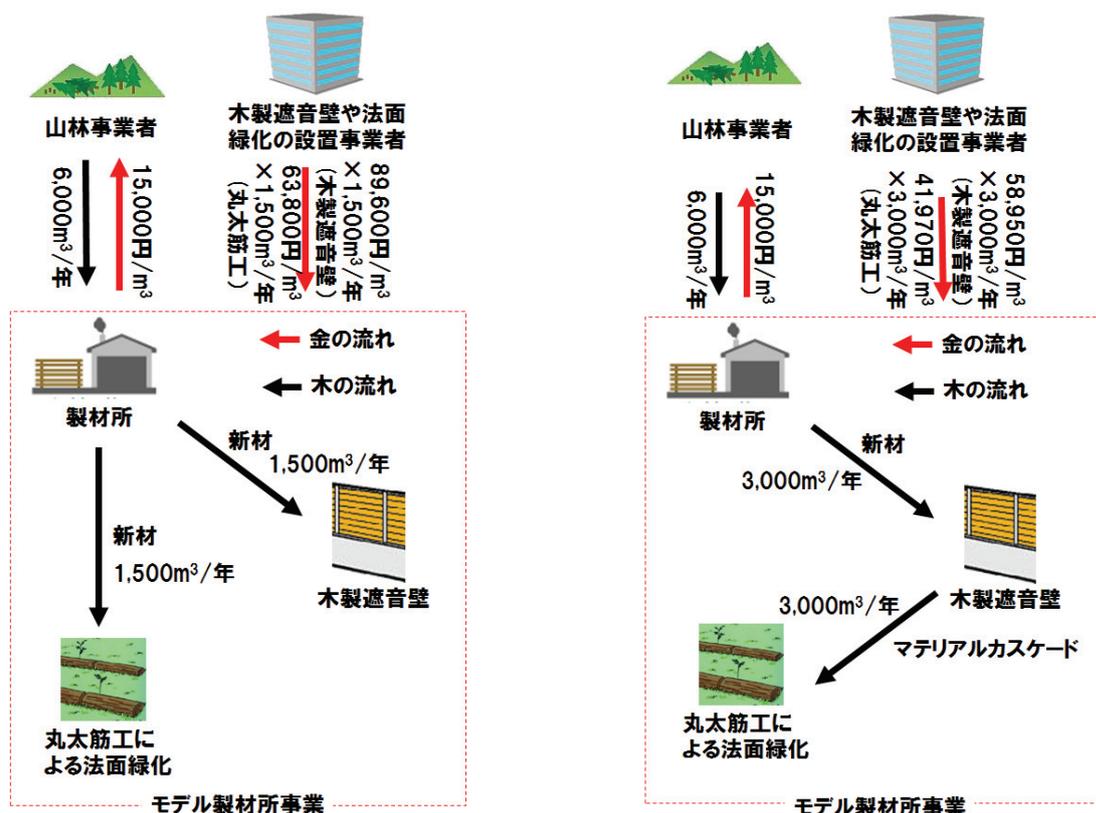


図 2.1.3-3 新材利用の木と金の流れ 図 2.1.3-4 マテリアルカスケード利用の木と金の流れ



写真 2.1.3-2 フランスにおける木製遮音壁

出典: tertu 社パンフレット

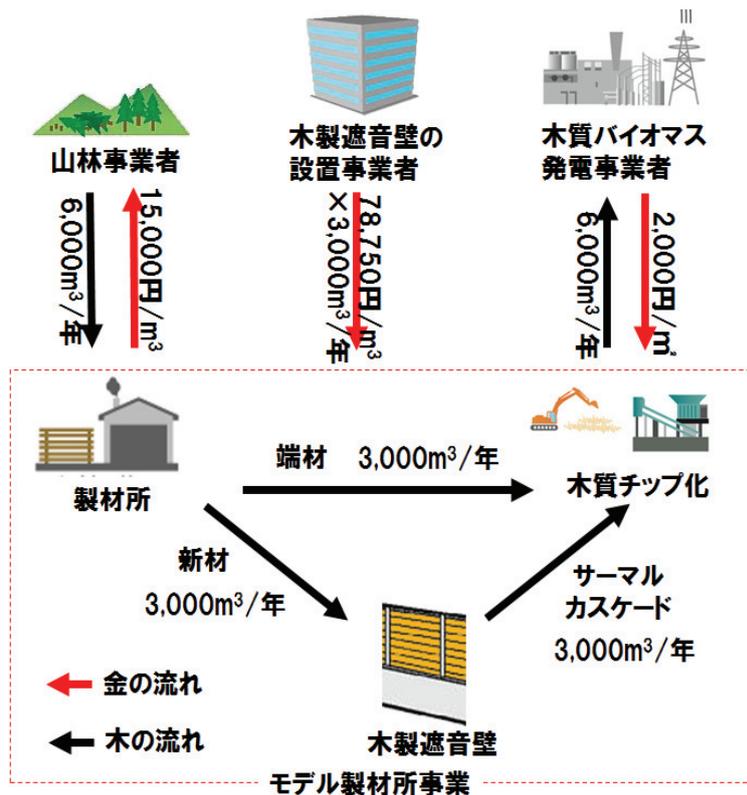


図 2.1.3-5 サーマルカスケード利用の木と金の流れ

4) おわりに

2010年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の対象構造物は建築分野だけでなく土木分野も含まれる。土木において木材が広く利用されるためにはコスト比較も重要である。ここでは木製遮音壁と丸太筋工を対象としたカスケード利用と新材利用の製材所事業としてのコスト比較を行なった。その結果カスケード利用の優位性が示唆された。土木用木材製品の普及展開においてこうしたカスケード利用を活用することも有効であると思われる。

2.2 地域の静脈施設をコアとしたバイオマス技術

バイオマス利用の代表的な課題のひとつに、分散している資源を効率的に収集するシステムがある。下水処理場やごみ処理施設といった代表的な静脈施設には、必然的にバイオマス資源が集まる仕組みができており、一定の敷地面積も有していることから、これら静脈施設を地域のエネルギー循環利用のコアとする考え方が提唱されている。国土交通省を中心とした新下水道ビジョンや、環境省を中心とした廃棄物系バイオマスロードマップがある。こうした動きの現状を把握し、期待される点とバイオマス利用促進に繋げていくための課題を抽出することを目的として調査を行った。

特に、実際に上記のコンセプトで運用されている施設を視察し、今後の同様な試みに応用すべき優れた点と、課題についてとりまとめた。

2.2.1 下水処理施設とバイオマス

1) はじめに

健全な水循環および資源循環を目指すことを目的として平成 17 年 9 月に策定された『下水道ビジョン 2100』（国土交通省）は、その後の社会情勢の大きな変化を背景として、平成 26 年 7 月に『新下水道ビジョン』として取りまとめられ、下水道が果たすべき使命を実現するための長期ビジョンと中期目標が示された（図 2.2.1-1 参照）。

下水処理場は、交通や排水などのインフラと土地、排熱や汚泥などの資源が集まる場所であることから、未利用資源・エネルギーの有効利用の促進および低炭素化の推進を図ることで、他事業との連携により社会の中核としての役割を担うことのできる施設であるといえる。年間の下水処理量は約 147 億 m^3 であり、下水汚泥の発生量は、約 223 万トンである。下水汚泥は、年間約 40 億 kWh の発電量（約 110 万世帯の年間電力消費量）に相当するエネルギーポテンシャルがある。

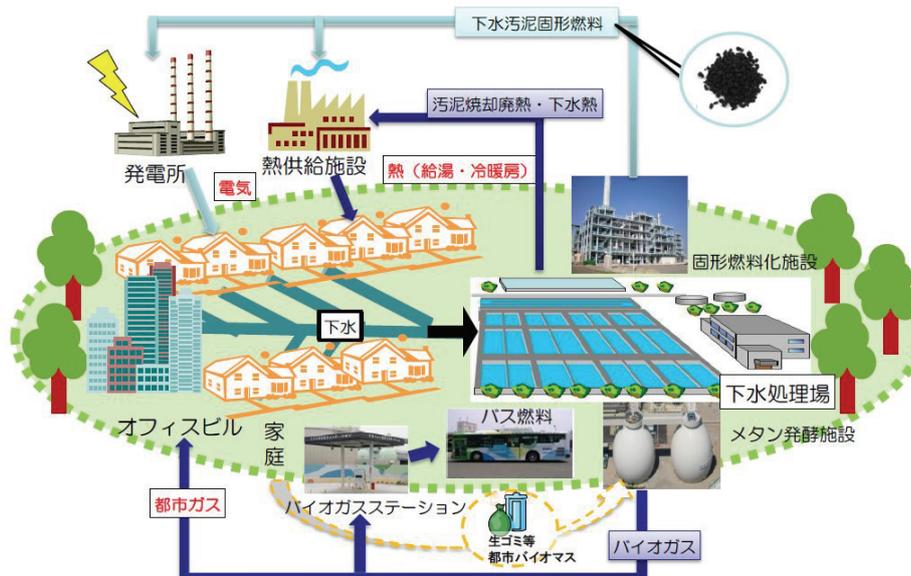


図 2.2.1-1 下水道を核とした都市のエネルギー循環

出典：国土交通省 HP

下水汚泥は、安定的に発生しかつ集約型のバイオマスで、下水汚泥中の固形物の約 8 割は有機物としてエネルギー利用が可能である。しかしながら、その下水汚泥エネルギー化率は未だ低い水準にある（平成 23 年度末で約 13%）。有効利用を阻害する要因としては、利用施設等の初期投資が大きいことがあり、特に地方においては、規模が小さくスケールメリットが働かない処理場が多くあること、また、導入検討や維持管理を行う人材の不足等があげられる。下水汚泥を始めとした再生エネルギー利用の核として下水処理場を活用する構想が期待される一方で、地域での活用にはまだ課題があると言える。

地域のバイオマスを下水処理場に集約する取り組みとして、汚水処理施設共同整備事業（MICS）が実施されている（平成 24 年度末で 30 道府県 96 箇所）。また、し尿・浄化槽汚泥や生ごみ等のバイオマスを下水処理場にて共同処理し、資源化利用する取り組みも実施されている。

将来、人口が減少することで下水道に流れる資源やエネルギー量が減ることが予想され、流入する下水量の減少により消化槽などの施設に余裕が出ることになる考えると、集約処理は将来的に大きなテーマとして考えられる。

以上のことから、当研究部会では、下水処理場を中心としたバイオマス利用促進の可能性について、特に地域での活用に着目して調査を行った。調査では、し尿・浄化槽汚泥や生ごみ等のバイオマスを下水処理場にて共同処理を実施している施設を訪問し、現状と課題を調べた。

2) 汚泥の発生量と再資源化の現状

我が国における下水汚泥処理の現状は、下水処理場の数が 2,150 箇所あり、下水処理施設からの発生汚泥量は年間約 223 万 DS-t である。発生汚泥のうち 78% が有効利用されており、60% がセメント原料化等の建設資材、15% が緑農地利用されている。また、下水道バイオガスは、年間約 3 億 m³ 発生するが、有効利用されているのは約 7 割（2 億 2,000 万 m³）であり、残りは焼却処分されている。また、有効利用されているバイオガスの用途は、約 2 割がガス発電、同じく 2 割が汚泥焼却の補助燃料などに使われており、その他は消化槽の加温など場内利用されている。

なお、下水処理場における混合消化システムは、全国の下水汚泥処理施設の中で、嫌気性消化を行っている処理場が約 370 箇所あり、そのうち消化ガス発電設備を有する処理場が 46 箇所、また、そのうち生ごみを混合消化している処理場が 5 箇所である。このことから、今後さらに効果的に活用する余地が残されているといえる。

下水汚泥の有効利用の現状を図 2.2.1-2 に、また、下水道バイオマスのリサイクル率を図 2.2.1-3 に示す。

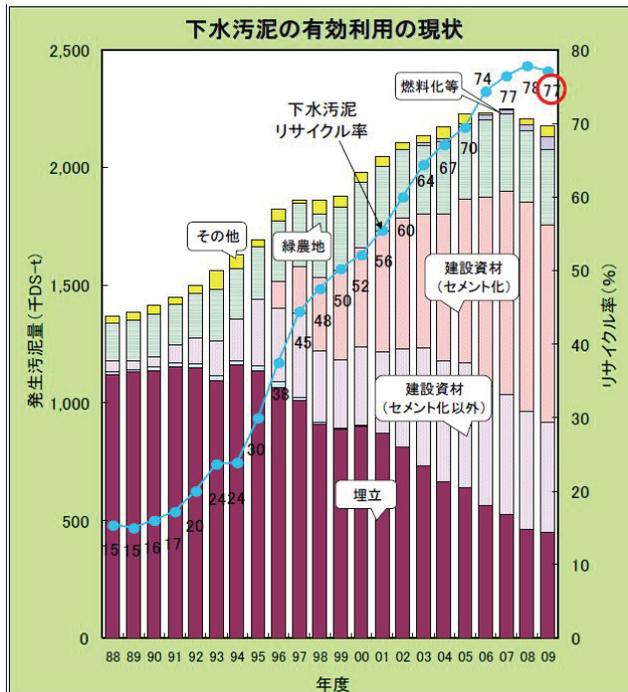


図 2.2.1-2 下水汚泥の有効利用の現状

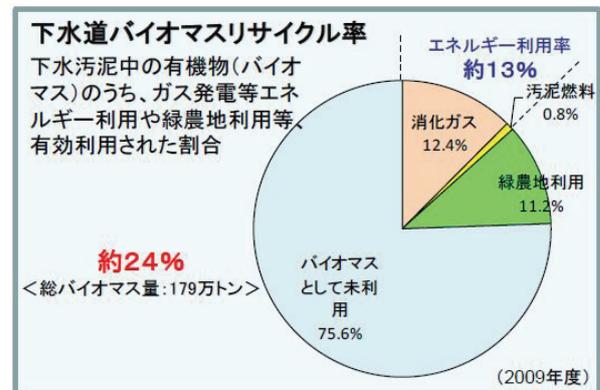


図 2.2.1-3 下水道バイオマスリサイクル率

出典：国土交通省 HP

3) 生ごみの下水処理場への受け入れとディスプレイの普及

下水処理場におけるバイオマス混合メタン発酵は、循環型社会の構築、温室効果ガスの削減による地球温暖化防止、下水処理施設の有効利用、下水汚泥が保有するエネルギー利用の多様化・エネルギー回収、埋立処分場の延命化・埋め立て量の減量化等を目的として、地方中小規模都市を中心に施設が増えつつある。

施設の建設にあたっては、以下に示すような国土交通省と環境省の各種事業制度等を活用して建設することができる。

- ① 新世代下水道支援制度（未利用エネルギー活用型、機能高度化促進事業新技術活用型）【国土交通省】
- ② 汚水処理施設共同整備事業(MICS)【国土交通省】
- ③ 循環型社会形成推進交付金制度【環境省】

嫌気性消化+消化ガス利用を行っている施設では、食品廃棄物を受け入れることにより、ガス発生量の増加やエネルギー自給率の向上、および温室効果ガスの削減が期待できる。食品廃棄物も利用効率が低く、利用促進が期待されるバイオマス資源である。含水率が高いことから主にメタン発酵によって利用することが求められるが、主要原料として位置付けるには安定した量の確保が大きな課題となっている。下水汚泥に合わせて食品廃棄物の有効利用が促進されることは、下水汚泥の量あたりのガス発生量が小さいという欠点を補うだけでなく、食品廃棄物の利用率向上にも寄与する有効な方策と言える。含水量の大きい食品廃棄物を焼却から有効利用に回すことによっても、焼却処理の負担を軽減し、間接的にも温室効果ガスの削減に寄与するものと期待できる。

生ごみの下水処理場への受け入れ方法には、分別回収方法とデスポーザ回収の方法がある。デスポーザによる生ごみ混合消化は、処理場における生ごみの前処理が不要であり、また、生ごみの収集には下水道管を活用して行うため運搬コストも不要であることから、経済性では収集車で回収する場合より良好であるといえる。表 2.2.1-1 に分別回収とデスポーザの得失を示す。

表 2.2.1-1 分別回収とデスポーザの得失

	分別回収	デスポーザ
法規制	一般廃棄物処理施設の許可取得（届出）が必要	特になし
地元対応	ごみ収集車出入りに対する地元同意	特になし
異物混入	住民の協力度合いによっては異物混入多い	基本的に少ない
負荷変動	ごみ収集パターン等によって大きく変動	基本的に負荷変動は少ない
設備費用	ごみ受け入れ施設に膨大な費用が必要	デスポーザ設置に各家庭で 10～20 万円程度の負担
維持管理	ごみの収集作業、受け入れ施設の管理運営費等	基本的に不要

出典：「下水汚泥と食品廃棄物混合処理の現状と課題について」

平成 25 年 5 月日本下水道事業団

デスポーザ回収は多くの都市で処理槽付を条件とされているが、最近は直投式デスポーザを認める都市が増えつつある。デスポーザは、平成 23 年度時点において、29 市町村が直接投入型を導入しているが、デスポーザ由来の生ごみ・事業系食品残渣の受け入れ等を行うにあたり、法律上の中間処理業または運搬業の許可の扱いに留意する必要がある。

4) 事例紹介

(1) 珠洲市浄化センター

(a) 概要

珠洲市は能登半島の最先端に位置し、産業は第 1 次産業が主体であり特に沿岸漁業が盛んで、人口が約 1 万 6 千人の自然が豊かな土地である。公共下水道事業、農業集落排水事業、合併処理浄化槽整備事業の 3 事業の普及率は 67%となっている。

珠洲・バイオマスエネルギー推進プランは、浄化センターの施設を併用し、下水汚泥をはじめ農業集落排水汚泥や浄化槽汚泥、し尿といった有機性廃棄物に加え、生ごみ等の 5 種類（表 2.2.1-2 参照）を混合処理し、発生したメタンガスをエネルギーとして施設内で全量使用するとともに、処理残物を乾燥させ、肥料として農地還元している。本事業は、国土交通省と環境省の連携の補助対象事業として全国初の試みとして行われた先進的な事業である。

(b) 事業概要

隣町と共同運営の下水処理施設の老朽化と、町村合併により共同運営が解散となったことから、し尿処理設備の再整備が急務となる中、『下水道ビジョン 2100』の方針を背景として、複合バイオメタン発酵施設の導入が決定された。

処理対象物として地元スーパー等からの事業系混合厨芥などを受け入れることでバイオガスとしてのエネルギー回収量を増やす一方、生ゴミ焼却負担を軽減している。バイオガスによってボイラを回し、汚泥乾燥とメタン発酵槽の加温に活用しており、汚泥等の減容化施設の維持管理に必要なエネルギーの約 3 割をまかなっている。乾燥した汚泥は、肥料として有効活用されている。

事業主体：珠洲市

竣工：平成 19 年 7 月

建設費：1,247 百万円

(補助対象事業費 1,377 百万円 (補助金 654 百万円、47.1%))

水処理施設：処理能力 3,600m³/日

メタン発酵施設：処理能力 51.5t/日

表 2.2.1-2 処理量 (5 種類の受け入れ品目)

処理対象	主な由来 (市内のみ)	処理量 t (日平均)	
		計画	実績 (H25)
下水汚泥	下水処理場 2 カ所	15.3	20.4
し尿	住宅	7.6	4.6
浄化槽汚泥	住宅	8.1	7.0
農業集落排水汚泥	農業集落排水施設	0.5	0.4
生ごみ	スーパー、養護施設等	0.7	0.5
合計		32.2	32.9

(c) 施設の特徴

原料収集において、下水汚泥、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥に加え、カロリーの高い発酵原料として生ごみを添加していることで地域の生ごみの有効利用促進に寄与している。副産物処理として、汚泥から堆肥を製造し、全て有効利用している。堆肥は、大学との共同研究で安全性と周辺への影響がないことを確認し、肥料登録を行っており、家庭菜園と牧草用として主に利用している。

(e) 施設導入のメリット

環境負荷削減効果は、メタン発酵施設の導入により化石燃料由来の CO₂ 排出量が大幅に減少し、温室効果ガス排出量が約 1/5 と大幅に削減している (図 1.2.1-4)。

処理コストでは、全てを焼却する場合の燃料費と処分費が大幅に削減できることから、従来約 1/4 と大幅に削減している (図 1.2.1-5)。



図 2.2.1-4 コスト削減効果



図 2.2.1-5 環境負荷削減効果

出典：珠洲市より受領資料

(2) 黒部浄化センター

(a) 概要

黒部市は、旧黒部市と旧宇奈月町が平成 18 年に合併し、人口 42,000 人で、黒部川の扇状地にあり、水が豊富で自然豊かな土地である。

公共下水道には 3 つの処理場があり、農業集落排水 9 地区で下水処理が行われ、公共のエリア外は合併浄化が計画されている。整備率は、公共下水道 61.2%、農業集落排水 24.6%、合併浄化槽 7%で、市全体の汚水処理施設の整備率は 92.8%となっている。

黒部浄化センターは、1 日当たりの最大処理能力は 22,000m³ で、市内最大の下水道処理施設である。砂ろ過やオゾン処理等の高度処理が導入され、高度処理水を利用して、水循環の大切さをアピールする「アクアパーク」が整備され、下水道の普及促進・イメージアップが図られており、周辺環境と調和した地域に親しまれる施設として運営されている（図 2.2.1-6、写真 2.2.1-2）。



図 2.2.1-6 浄化センター全体平面図



写真 2.2.1-2 施設全景

(b) 事業概要

し尿や浄化槽汚泥について、これまで2市2町の事務組合で処理が行われてきたが、施設の老朽化による改築更新の際に、し尿のみの簡易処理施設として更新し、農業集落排水汚泥と浄化槽汚泥については各自自治体で処理することとした。また、これまで下水汚泥処理の業者委託について、委託先の休止や閉鎖、値上げなどの恒常的なリスクを抱えていた。

このような背景から、今後の循環型社会に適応した有効利用方法について本事業への取り組みが検討され、下水汚泥と食品残渣等を活用することにより、バイオマス資源の循環利用システムを構築することを目的として平成23年5月に運用が開始された。本事業は、民間事業者の資金・経営能力および技術力を活用するPFI事業による下水道バイオマスエネルギー利活用施設、国内第1号稼働案件であり、モデルケースとして注目されている。事業はPFI法のBTO方式が採用されたことから、民間の事業資金を用いて施設を建設し、その後に施設を市に所有権移転して事業者により管理運営している。

補助金は、建設費約16億円のうち約7億円である。補助率は汚泥に係る施設については55%、食品残渣に係る施設については補助メニューによって異なり、コーヒー粕への補助はない。

汚泥処理では、処理対象物を混合し、メタン発酵させてバイオガスを取り出し、そのバイオガスを使い汚泥燃料化（乾燥汚泥）と発電を行う。乾燥汚泥は、石炭代替燃料として利用されるほか、培養土原料として利用される。この事業により、これまでの汚泥の処理方式と比較して年間約1,000トンのCO₂が削減される。

表2.2.1-3に事業概要を、表2.2.1-4にバイオマス受け入れ量示す。

表 2.2.1-3 事業概要

事業名称	黒部市バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業
事業方式	PFI（BTO方式）
事業期間	設計・建築期間：平成21年4月～平成23年4月（2年1ヶ月） 維持管理・運営：平成23年5月～平成38年4月（15年間）
処理対象物	[既存下水処理施設より] 下水汚泥（濃縮汚泥）、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、ディスポーザ生ごみ [飲料メーカーより] 事業系食品残渣（コーヒー粕）
事業費	総事業費約36億円 建設費 約16億円（うち国交省補助金約7億円） 維持管理運営費 15年間で約20億円
事業者選定	公募型プロポーザルによる総合評価方式
事業者 (SPC)	名称：黒部Eサービス株式会社 出資者：水ing株式会社、株式会社荏原製作所

出典：黒部市より受領資料

表 2.2.1-4 バイオマス受入量（平成 36 年計画値）

下水汚泥（濃縮汚泥）	24,000m ³ /年
農業集落排水汚泥（濃縮汚泥）	1,000 m ³ /年
浄化槽汚泥（濃縮汚泥）	130 m ³ /年
ディスポーザ生ごみ（濃縮汚泥）	680 m ³ /年
事業系食品残渣（コーヒー粕）	2,800 m ³ /年
合計	28,610 m ³ /年

出典：黒部市より受領資料



写真 2.2.1-3 ディスポーザ



写真 2.2.1-4 コーヒー粕ホッパ

(c) 事業効果

システムの特徴は、化石燃料を使わずにバイオマスエネルギーだけで汚泥を乾燥燃料化することであり、①CO₂が削減される、②下水汚泥、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、食品残渣を一体的に処理することから処理コストが削減できる、③新事業による地域経済の活性化、④PFI 事業により処理コストの削減が図れる等の効果がある。

(e) PFI の利点と課題

本事業では、官民でリスクを分担し、民間事業者に事業運営におけるインセンティブを付与しており、その利点と課題は以下のとおりである。

まず、利点として、汚泥利用先の確保は事業者のリスクあることから、市は汚泥利用先の確保について事業期間中の 15 年間は心配しなくてよいこと、また、民間事業者の資金・技術・経営能力を活用できるので事業コストの縮減および財政支出の平準化が図れることがあげられる。

次に、課題として、市はバイオマス量・質について、計画したものを事業者に確実に提供しなければならないことから、食品残渣を確保しなければならないこと、また、事業者に対する契約内容の履行のモニタリングにおいて、市担当者の人事異動に伴い、その都度担当者が膨大な契約内容を熟知する必要があることがある。

(f) 今後の課題

原料の受け入れについて、浄化槽汚泥の当初予定の不足分をコーヒー粕の増量により補っているものの、ディスポーザの設置に対し補助を行って普及促進を図って

いる。しかし、既存の住宅への組み込みは出費が大きいことからあまり進んでいない。

また、国の制度等への要望として、汚泥の固形物燃料の JIS 化における含水率の規格の緩和措置や、エネルギー量のあるコーヒー粕を化石燃料に替わる燃料として国庫補助対象として認められれば、事業化もスムーズであった。これらの点は、今後の普及展開における国の制度面での課題といえる。

5) 地域における下水処理場の拠点運用の展望

地域での下水処理場に隣接したバイオマス利用施設のうち、事前検討で運用状況が良好とみられた 2 つの施設を視察した。これらの施設においては、建設にあたって、下水処理施設のエネルギー利用の理念に基づく、国土交通省や環境省の補助金を活用しているが、その目的であった、CO₂削減や省エネには貢献する施設と言える。こうした下水処理場隣接のバイオマス利用施設に期待される主な項目とその視察先での達成度を、表 2.2.1-5 にまとめた。これらの施設では、下水処理の省エネを目指しているながらも、近隣の食品廃棄物の有効利用促進にも貢献している。特に、黒部市では、15 年の PFI 事業を展開し、新たに獲得した有用資源による発電量の増加分は、運営会社の利益となるため、さらなる利用促進の拡大に努力を続けている。また、常駐作業員によるメンテナンスが必要であり、両施設で地元雇用に貢献している。

表 2.2.1-5 下水処理場隣接バイオマス利用施設への期待に対する達成状況

下水処理場隣接バイオマス利用 施設に期待される点	視察先の達成状況	
	珠洲市	黒部市
① 下水汚泥の有効利用促進 (CO ₂ 削減等)	良好 小規模ながら熱利用などで CO ₂ 発生量 1/4。	良好 施設利用電力の 8 割程度 に加え、排熱利用実施。
② 近隣の食品廃棄物の利用促進	実施 少量ながら近隣の食品廃棄物 を受け入れ。	実施 ディスプレイ生ごみと事 業系食品残渣を受け入れ。
③ 雇用や産業との協力など地元 貢献	維持管理人員(数名)は地元在 住。堆肥を無償提供。	運営会社に地元雇員。環境 都市として産業観光を定 期的に実施。

一方で、心配された雇用促進の障害に対して、視察先が採っている工夫について、表 2.2.1-6 にまとめた。両施設とも、地域で良好に運営されているとの評判を得て選定した視察先であったが、より立地地域の人工規模が小さい珠洲市と、一定規模の産業と人口を有する黒部市では、共通する工夫と異なる状況があった。まず、初期投資については、補助金の有効活用が大きいと言える。上述のように、環境負荷が小さく維持管理コ

スト削減による安定運用が期待できる施設として補助目的に合った施設が建設されているのであれば、こうした補助は促進策として有効であり、今後も続けていく必要があると言える。

また、小規模で事業採算性が採れにくい点については、珠洲市では、エネルギー効率のよい熱利用に絞り、また廃液処理を広い面積がいるものの省エネ・省コストで実施でききるオキシデーションディッチ法を採用し、発酵残渣を堆肥として全量利用できているなど、小規模に見合った運用法を適切に実施しており、同種の地域でも参考になる面が多いと感じられた。黒部市では、事業系生ごみを受け入れることなどで、施設の運用効率を向上させる努力を行っている。規模の確保については、広域処理の導入も期待されるが、市町村単位では調整を図る権限がないため、都道府県等の扱うべき課題になる。両市の視察を通じて、広域処理を進めるには、市町村レベルで運営している下水処理を、都道府県が敢えて介入するだけのインセンティブが必要で、長期展望に立った促進政策が必要になると感じた。

導入を検討し、維持管理を行う人材の不足は、両市ともに、継続する課題と捉えていた。珠洲市では、限られた人数で維持管理を行っており、家庭からの生ごみや近隣の食品残渣などの拡大といった新たな取り組みに興味はあっても、これを行うだけの余力はない様子であった。黒部市は、PFIにより民間事業者と協力しながら運用する工夫がなされている。市としても、契約分の原料確保の責務と、契約内容のわかる人材への業務引き継ぎなどは課題としており、転勤が前提となる公務員がバイオマス利用を担当することの難しさは感じられたものの、PFIの維持管理期間を15年と長めに設定していることは、こうした苦労の軽減に寄与しそうである。

表 2.2.1-6 下水処理場隣接バイオマス利用施設の導入に向けた工夫

下水処理場隣接バイオマス利用施設 建設の障害	視察先の達成状況	
	珠洲市	黒部市
① 利用施設等の初期投資が大きい	補助金の有効活用。 対象事業費 1,377 百万円 補助 654 百万円 (約 47%)	補助金の有効活用。 建設費約 16 億円のうち約 7 億円。
② 規模が小さくスケールメリット が働かない	発電より効率のよい熱利用 に特化。 発酵残渣を全量堆肥利用、 廃液処理は面積を要するが 低負荷のオキシデーション ディッチ法。	事業系生ごみも受け入れ るなど、原料確保を工夫。
③ 導入検討や維持管理を行う人材 の不足	計画等を行う人員は不足気 味。	PFI の 方式で建設と運用 を行うことにより民間を 活用。運用期間は 15 年と 長期。

2.2.2 ごみ焼却施設とバイオマス

1) はじめに

ごみ焼却施設は一般廃棄物を処理する市町村に設置され、地域における循環型社会形成の要といえる施設である。東日本大震災以降、このごみ焼却施設の役割に変化が生じてきている。すなわち、ごみ焼却施設は従来からの地域生活環境の保全を図りつつも、地域の自立・分散型エネルギー拠点としての重要性が再認識され、災害時も含めた地域のエネルギーセンターとしての役割が期待されるようになっている。今後のごみ焼却施設の整備では、このような災害対策への意識の高まりを踏まえた施設であると同時に、地球温暖化対策の強化にも資する施設とする必要がある。

地球温暖化対策の強化については、環境省では「廃棄物処理施設の省エネルギー化・創エネルギー化を進め、地域の廃棄物処理システム全体で温室効果ガスの排出抑制およびエネルギー消費の低減を図る」こととされている。廃棄物系バイオマスの利活用に関しては、バイオマス活用推進基本法（平成21年6月）に基づく基本計画において、バイオマスの利用率目標が定められている（表2.2.2-1参照）。

一方、災害対策の強化については、通常のごみ処理に加え、焼却施設を災害廃棄物を円滑に処理するための拠点と捉え直し、広域圏で一定程度の余裕を持った焼却能力を維持する必要がある。また、施設の耐震化、地盤改良、浸水対策を推進することで、廃棄物処理システムの強靱性を確保することが求められている。国土強靱化基本法（平成25年12月）に基づく基本計画では、廃棄物処理について「大量に発生する災害廃棄物の処理の停滞により復旧・復興が大幅に遅れる事態」を回避するため、災害廃棄物の処理に関する現状の課題がまとめられている（表2.2.2-2参照）。

以上の背景を踏まえ、今後のごみ焼却施設に関しては地球温暖化対策と災害対策の両面から整備を進めていく必要がある。今回、一般廃棄物（燃えるごみ）の現状と焼却施設の現状を調査し、一般廃棄物からバイオガス化する乾式メタン発酵技術を取り入れた最新のごみ焼却施設について現地調査したので、施設の特徴および拠点施設としての役割等について以下にまとめる。

2) 廃棄物系バイオマス利活用の現状

(1) バイオマスの利用率目標

バイオマス活用推進基本計画（平成22年12月閣議決定）では、バイオマスの種類ごとに表2.2.2-1に示す利用率目標が設定されている。このうち、一般廃棄物（燃えるごみ）で収集される紙と食品廃棄物については、以下の方針が示されている。

①紙：

年間発生量約2,700万トンのうち約80%が古紙としてマテリアル利用されており、今後も引き続き再生紙として利用推進する。再生紙として利用困難な紙はエタノール化やバイオガス化を推進し、2020年に約85%を目指す。

②食品廃棄物：

年間発生量約1,900万トンのうち約27%の利用に留まっている。食品事業者の食品廃棄物については、食品リサイクル法に基づき飼料・肥料等へ約57%が再利用されている。しかしながら、一般家庭から排出される食品廃棄物の利用率は約6%と

低く、飼料・肥料化の他、メタン発酵等によるエネルギー利用を拡大し、2020年に約40%を目指す。

以上のように、古紙回収に出されない紙ごみは、そのほとんどが「ごみ」として処理されているのが現状であった。また、一般家庭での生ごみは再利用そのものが行われず、そのほとんどが「ごみ」として処理されている傾向であることがわかった。特に、一般家庭から排出される生ごみは、多数の場所から少量が排出され、かつ組成も複雑であるので、今後バイオマスとしての利用率を高めるためには、生ごみの分別収集の導入が望ましいと考えられる。しかしながら、この方法は地域住民の協力が必要不可欠であり、地域の特徴や人口規模などによって、個別に導入手法を検討する必要があると思われる。

一方、生ごみを従来どおりの可燃ごみとして収集し、機械装置により生ごみを選別する方法も開発されている。兵庫県南但広域行政事務組合では、乾式メタン発酵システムを採用し、生ごみと紙ごみの混合物からバイオガス化するシステムを稼働させている。この方法は処理システムの負荷が増えるが、生ごみの分別収集というハードルを下げるので、地域住民のコンセンサスが得やすいと思われる。

表2.2.2-1 バイオマスの利用率目標

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)	
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・バイオマス活用推進基本計画

(2) 廃棄物施設に求められる強靭性

国土強靭化アクションプラン2014(平成26年6月国土強靭化推進本部決定)では、現状の廃棄物処理施設の脆弱性が数値で示され、脆弱性に対する各々の強靭化プログラムと数値目標が重要業績指標として設定された。表2.2.2-2によると、例えば現状のごみ焼却施設における災害時自立稼働率は27%(H25年)であるとされている。本ア

アクションプランでは、この災害時自力稼働率を今後の10年間で80%（H35年）まで高めるとしている。その他、ストックヤードの整備率、処理計画の策定率、教育・訓練プログラムの開発、有害物質把握実施率などが特定されており、本アクションプランは、ごみ焼却施設が地域の災害拠点として機能するための新たな視点を提供していると思われる。

表 2.2.2-2 災害時の廃棄物処理に関わる課題

8-1) 大量に発生する災害廃棄物の処理の停滞により復旧・復興が大幅に遅れる事態
<ul style="list-style-type: none"> ○ 災害廃棄物を仮置きするためのストックヤードの候補地が十分検討されていないため、災害廃棄物の発生量の推計に合わせ、ストックヤードの確保を促進する必要がある。 ○ 自立稼働可能なごみ焼却施設は中核市以上の市で約3割（H25）であり、老朽化対策と合わせ自家発電設備の設置等災害対応力強化を図る必要がある。 ○ 市町村における災害廃棄物処理計画の策定率は1割未満（H22）であり、計画策定を促進するとともに、実効性の向上に向けた教育訓練による人材育成を図る必要がある。 ○ 災害廃棄物による二次災害防止のために、有害物質に係る情報と災害廃棄物対策を連動させた災害廃棄物処理計画の策定を促進する必要がある。 ○ 災害廃棄物の他地域自治体の受入協力を合わせ、貨物鉄道及び海上輸送の大量輸送特性を活かした災害廃棄物輸送の実施について検討する必要がある。
<p>（重要業績指標）</p> <p>【環境】ストックヤード整備率 46%（H22）</p> <p>【環境】ごみ焼却施設における災害時自力稼働率 27%（H25）</p> <p>【環境】災害廃棄物処理計画の策定率（市町村） 8%（H22）</p> <p>【環境】廃棄物処理技術と教育・訓練プログラムの開発（市町村） 2%（H25）</p> <p>【環境】有害物質把握実施率 21%（H22）</p>

出典：国土強靱化アクションプラン2014（案）

3) ごみ焼却施設の現状

市町村におけるごみ焼却施設の築年数ごとの分布を図2.2.2-1に示す。全ごみ焼却施設1,221施設のうち約1/3が築年数20年を超え、施設の老朽化が進んでいることがわかる。

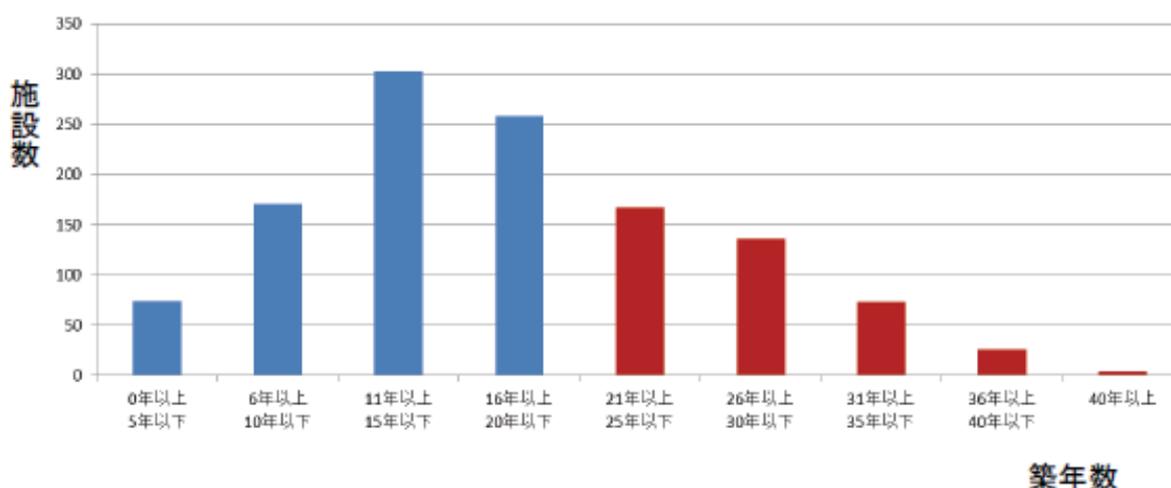


図2.2.2-1 市町村の廃棄物焼却施設の築年数

出典：環境省・廃棄物系バイオマス活用の方向性

ごみ焼却施設の更新期間を30年とした場合、バイオマス利用率目標年次である2020年さらに10年後の2030年までに更新時期を迎える施設数を表2.2.2-3に示す。2020年で約37%の施設が更新対象であることがわかる。国土強靱化対策とあわせて、今後、計画的に施設更新がなされるはずであるが、食品廃棄物等を有効利用する意欲のある自治体では、バイオマス利活用施設の導入拡大に向け、これらの焼却施設の更新・廃止のタイミングが絶好の好機になるとと思われる。

表2.2.2-3 焼却施設の更新施設数

	全施設数	2020年迄に更新を迎える施設			2030年迄に更新を迎える施設		
		施設数	処理能力 合計 (t/日)	年間処理量 (t/年)	施設数	処理能力 合計 (t/日)	年間処理量 (t/年)
全体(組合含む)	1,221	446	67,549	11,099,078	990	140,337	25,426,754
大都市	124	44	19,710	3,307,122	90	42,375	8,193,003
地方中心都市	272	113	23,446	3,865,778	223	42,941	7,749,909
小規模都市	310	127	9,083	1,365,239	271	17,164	2,734,102
農山漁村	134	43	665	74,828	112	1,732	201,916
組合	381	119	14,645	2,486,112	294	36,125	6,547,824

(注) 2030年までに更新を迎える施設数には、2020年までに更新を迎える施設を含む。

出典：環境省・廃棄物系バイオマス活用の方向性

4) 都市規模別の生ごみの現状

都市規模別の食品廃棄物等(家庭系廃棄物と食品リサイクル法対象外の事業系廃棄物)の発生量を表2.2.2-4に示す。大都市では平均で約300t/日の食品廃棄物等が発生しているが、地方中心都市では約50t/日に減少し、小規模都市では約10t/日、農山魚村では約2t/日であることがわかる。

バイオガス化施設の導入を検討している自治体(表2.2.2-5)では、処理量40~70t/日で計画されている事例が多くみられた。今後は処理量50t/日クラスの需要が多く見込まれると思われる。しかしながら共通の課題としては、生ごみの分別収集は市民に新たな負担がかかること、人口減少の中で安定した量の確保方法を考えること、持続的な採算性の検証等が必要である。

表2.2.2-4 都市規模別の自治体数と食品廃棄物等発生量

	自治体数 (件)	発生量 (トン/年)	発生量/自治体 (トン/日)
全体	1,751	11,865	18.6
大都市	34	3,714	299.2
地方中心都市	259	4,595	48.6
小規模都市	691	2,916	11.6
農山漁村	767	640	2.3

出典：環境省・廃棄物系バイオマス活用の方向性

表2.2.2-5 バイオガス化導入の検討状況（ヒアリング調査）

	市町村名	A	B	C
大都市	1 名古屋市		●	
	2 京都市	●		
	3 宇都宮市			●
	4 鹿児島市	●		
地方中心都市	5 藤沢市	●		
	6 町田市	●		
	7 前橋市			●
	8 長岡市	●		
地方中心都市～小規模都市	9 大崎市		●	
	10 掛川市		●	
	11 防府市	●		
	12 糸島市			●
	13 生駒市		●	
小規模都市	14 大府市	●		
	15 中野市			●
	16 みやま市		●	
	17 養父市	●		
	18 朝来市			
	19 阿蘇市			●
	20 白石町			●
農山漁村	21 宮津市	●		
	22 天草市	●		
	23 別海町	●		
	24 多気町	●		
	25 足寄町	●		

A: 事業化に向けて計画中
(一部稼働を含む)

B: 計画は未策定だが前向き

C: 計画断念または予定なし

出典：環境省・廃棄物系バイオマス活用の現状

5) 都市規模別を想定したバイオマス利用モデルの設定

図2.2.2-2に導入が想定される都市規模と5種類の利用モデルとの関係を示す。利用モデルは表2.2.2-6に示すように、食品廃棄物（可燃ごみ含む）のバイオマス利活用を5種類のパターンで示したものである。なお、ここでの利用形態はガス化・炭化・液体燃料化を想定している。ガス化に関しては、生ごみの分別収集方法や紙ごみ混入の有無で、残渣処理方法が異なるものとなっている。

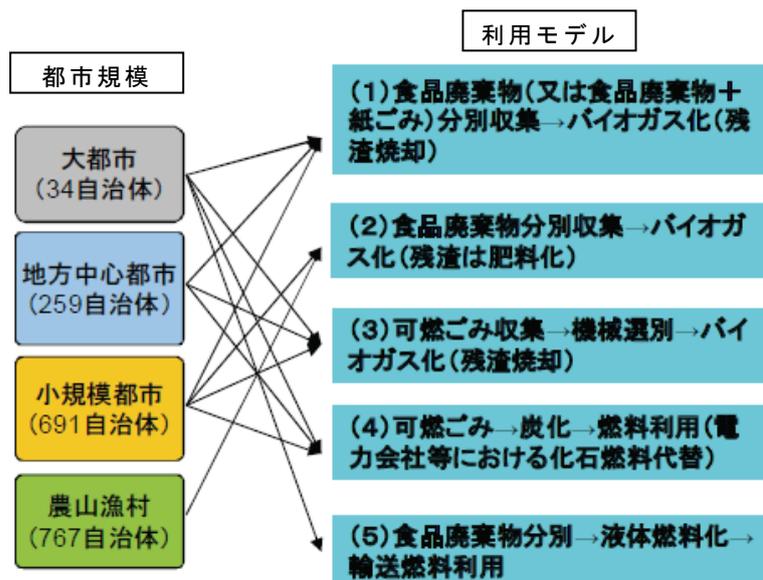


図2.2.2-2 食品廃棄物（可燃ごみ）の都市規模と利用モデルとの関係

出典：環境省・廃棄物系バイオマス活用ロードマップ

表2.2.2-6 食品廃棄物（可燃ごみ含む）の利用モデル

利用モデル No.	生ごみ		紙ごみ 混入	利用 形態	残渣 処分方法
	分別 収集	機械 選別			
(1)	○	—	可	ガス化	焼却
(2)	○	—	否	ガス化	肥料化
(3)	×	○	可	ガス化	焼却
(4)	×	—	可	炭化	燃料化
(5)	○	—	否	液体燃料化	(研究中)

注) ○：必要、×：不必要、—：該当しない

ここに、ごみ焼却施設では残渣の焼却が簡単にできるので、エンジニアリング的にはモデルNo.1またはNo.3が選択できる。後述する兵庫県南但広域行政事務組合の施設は、本モデルのNo.3に該当する。

なお、本利用モデルは将来のバイオマス利用目標を踏まえ、あるべき姿を実現するためのバイオマス活用ロードマップ検討用に整理されたのであり、現在稼働しているバイオガス化施設をモデル化したものではないことに注意されたい。

6) 乾式メタン発酵について

兵庫県南但広域行政事務組合の施設（以下、南但クリーンセンター）では、バイオガス化装置に乾式メタン発酵槽を用いている。一般に、メタン発酵は発酵槽へ投入する固形分濃度の違いにより、湿式方式と乾式方式（表2.2.2-7）に、発酵温度の違いにより中温方式と高温方式（表2.2.2-8）に分類される。

表2.2.2-7 湿式方式と乾式方式

	湿式方式	乾式方式
固形物濃度	～10%	15～40%
発酵温度	中温、高温	高温
国内実績 (生ごみ等を処理 している施設)	<ul style="list-style-type: none"> ・北空知衛生センター（北海道深川市） ・リサイクルン（北海道滝川市） ・クリーンプラザぐるくる（北海道砂川市） ・ジャパンリサイクル㈱（千葉市） ・富山グリーンフットリサイクル㈱（富山市） ・バイオマス資源化センター（大分県日田市） 	<ul style="list-style-type: none"> ・カンボリサイクルプラザ（京都府園部町） ・防府市クリーンセンター（山口県防府市） ・南但クリーンセンター（兵庫県朝来市）

出典：環境省・メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアルに加筆

(1) 湿式方式

有機物の固形分濃度を10%前後に調整した後、メタン発酵槽へ投入する。生ごみ等を対象とした場合は、希釈水が必要となる場合がある。発酵槽は酸生成とメタン生成を1槽で行う場合が多いが、可溶性や酸発酵の促進のため、前後に可溶化槽を設ける例もある。

(2) 乾式方式

メタン発酵槽へ投入する有機物の固形物濃度が15～40%程度のものを対象としている。このため、一般的に湿式方式に比べ、水処理の規模が小さくて済む。また、湿式方式では処理しにくい剪定枝や紙ごみ類を投入することができる。

(3) 中温発酵

35℃付近で活性するメタン生成菌により発酵を行う方法である。一般に中温発酵は高温発酵に比べ、負荷変動やアンモニア阻害に強い。しかし、その一方で有機物の分解速度が遅いので、メタン発酵槽の容量は大きくなる。

(4) 高温発酵

55℃付近で活性するメタン生成菌により発酵を行う方法である。中温発酵に比べ、有機物の分解速度が速いため、槽の容量を小さくできるが、負荷変動やアンモニア阻害に弱い。

表2.2.2-8 発酵温度による特徴の比較

	中温発酵	高温発酵
発酵温度	約35℃	約55℃
有機物負荷	小さい	大きい
発酵期間	20～25日程度	10～15日程度
必要とするエネルギー	少ない	多い
アンモニア濃度の上限	～4,000ppm	～3,000ppm

出典：環境省・メタングス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル

(5) 乾式メタン発酵槽の事例

南但クリーンセンターにおける乾式メタン発酵槽を図2.2.2-3に示す。現地調査結果によると、固形物濃度は約20%、発酵温度は約55℃、発酵期間は約20日とのことであった。施設の詳細は視察報告書（5.2 南但クリーンセンター）を参照されたい。

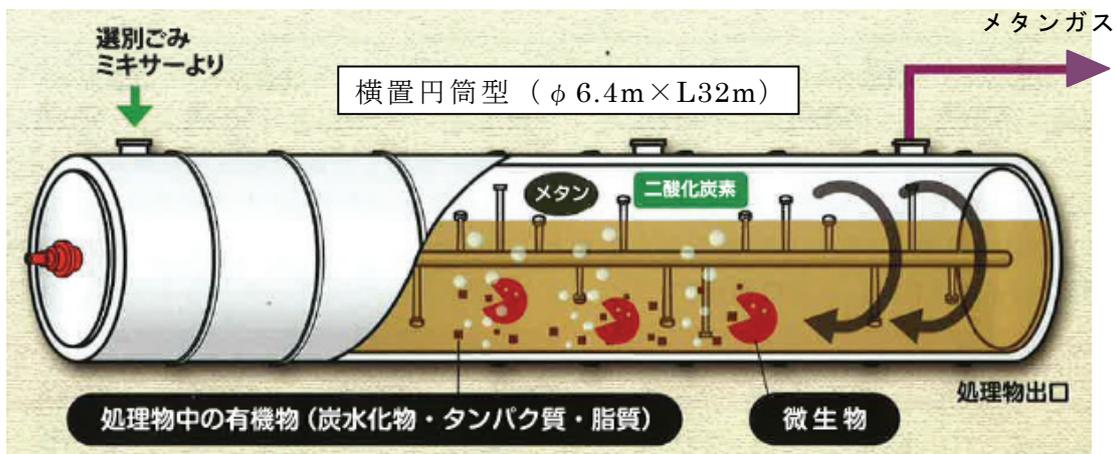


図2.2.2-3 乾式メタン発酵槽

出典：南但クリーンセンターのリーフレットに加筆

7) 乾式メタンコンバインドシステム

2020年までに供用30年を迎えるごみ焼却施設は全国で400施設以上あり、これらの市町村（組合を含む）では、焼却施設の更新とバイオガス化施設の新設を並行して行い、メタンコンバインドシステムを構築することが期待される。南但クリーンセンターは、このメタンコンバインドシステムとして稼働を始めている。

バイオガス化技術に関しては、現状の可燃ごみの収集システムを大きく変える必要のない乾式メタン発酵技術が有利と考えられる。この場合、食品廃棄物や紙ごみ以外も含んだ一般廃棄物を処理するためには、前処理設備として機械選別機を導入する必要がある。機械選別機には、円筒スクリーン回転式トロンメルをはじめ、様々な形式の機械選別機が開発されている。導入目的に合った機器を選定する必要がある。

南但クリーンセンターに導入された機械選別機を図2.2.2-4に示す。本選別機はハンマーブレードとスクリーンによって構成されており、投入されたごみは回転するハンマーブレードで破碎され、スクリーン径以下のものが選別ごみとしてメタン発酵槽へ送られる。スクリーン径以上のもの、比重の軽いプラスチックや紙ごみの一部は、選別残渣として焼却炉へ送られる。

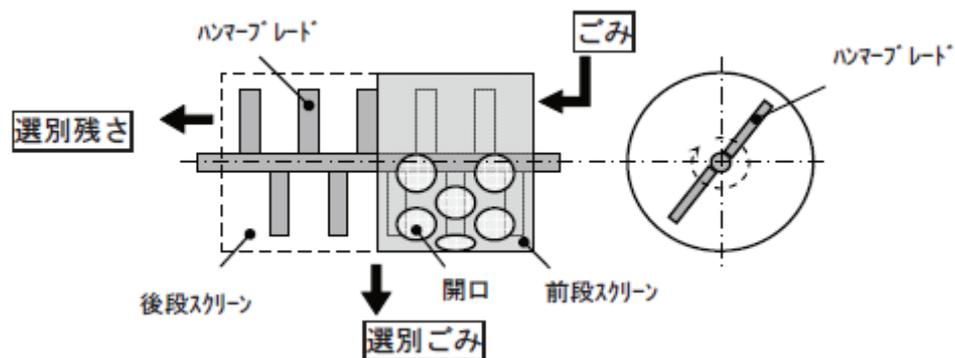


図2.2.2-4 ハンマーブレード式選別機

出典：環境省・メタンガス化(生ごみメタン)施設整備マニュアル

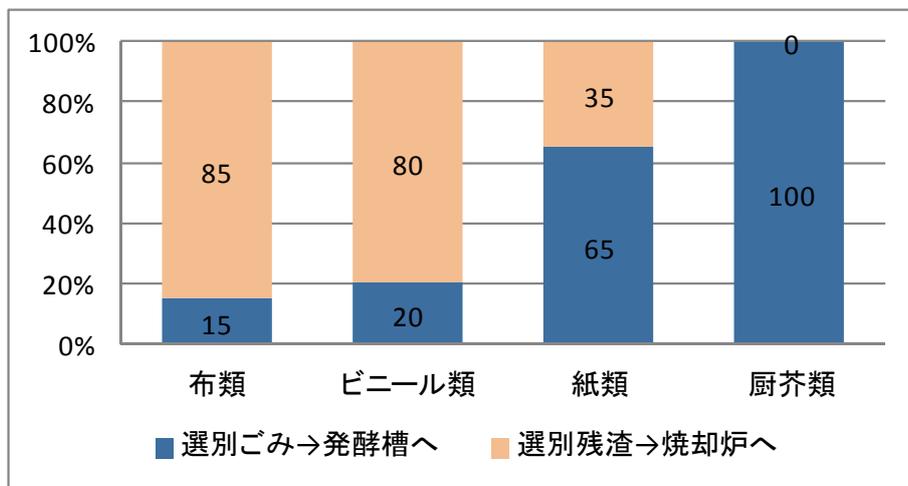


図2.2.2-5 ごみ種類ごとの選別実績

出典：南但クリーンセンター視察研修資料より作成

南但クリーンセンターでの機械選別実績を図2.2.2-5に示す。本選別機により生ごみ（厨芥類）はほぼ100%選別でき、紙類は主に水分を含むものが約65%選別ごみとされる。布類とビニール類も15～20%が選別ごみとして発酵槽へ送られてしまう。しかしながら、発酵残渣は脱水後に焼却処分されるので、前処理設備の精度としては現状で問題ないとのことであった。

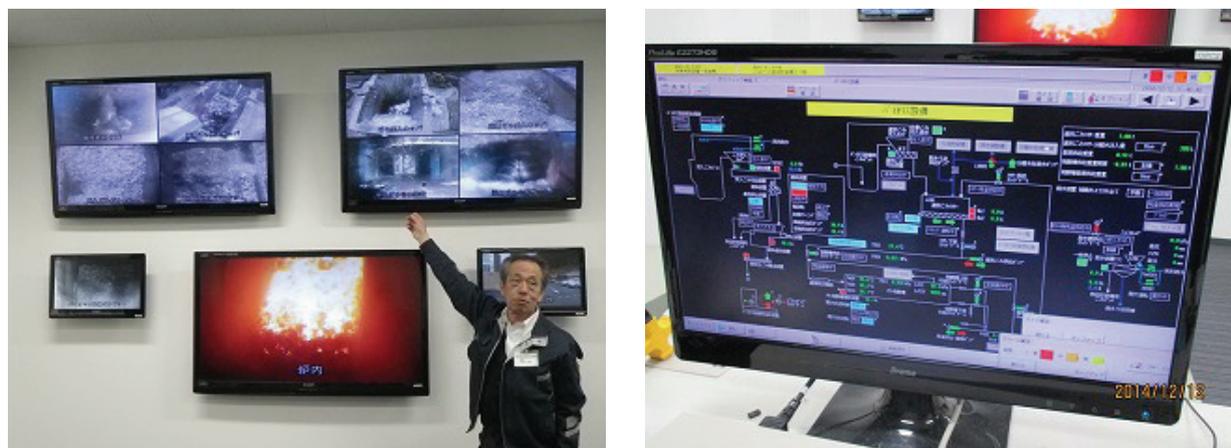


写真2.2.2-1 運転管理室（南但クリーンセンター）

8) 南但クリーンセンターの特徴

ごみ焼却施設とバイオマスについて、乾式メタンコンバインドシステムに着目し、実施例である南但クリーンセンターの現地ヒアリング調査を行った。

南但クリーンセンターでは、メタンコンバインド方式の施設を高効率原燃料回収施設と位置付け、バイオマス設備と熱回収設備を一体的に運営管理している(写真2.2.2-1)。また、同一敷地内にリサイクルセンターを併設し、不燃ごみ・プラスチック容器・紙容器・ペットボトル等の再資源化を推進している。また、地方自治体施設では日本発のバイオマス発電設備（メタン発酵ガス）の設備認定を受け、固定価格買取制度（FIT）にて余剰電力を電気事業者に売電している。なお、南但クリーンセンターでメタンコンバインド方式を選定した理由は以下のものであった。

- ①南但地域の施設規模でもバイオガス発電が可能（FIT認定により維持管理費の低減が可能）である
- ②燃えやすいごみと燃えにくいごみを分けて処理できるので、ごみの資源化・減量化が進めやすい
- ③生ごみ・紙ごみをガス化させることにより全体の焼却量を約15%削減できる
- ④高効率原燃料回収施設とすることで、交付金の交付率が高くなる

ここに、南但クリーンセンターは兵庫県養父市と朝来市のごみ処理を担う施設であり、両市は単独では小規模都市にあたるが、整備した施設の処理能力は50t/日クラスであり、地方中心都市レベルに匹敵していることがわかった。これは両市が連携することで、通常時のごみ処理を効率的に行うだけでなく、処理能力に一定の余力を持たせることで、非常時の災害対策拠点施設としての強靱性を高めた結果と考えられる。

ごみ焼却施設におけるメタンコンバインド方式は、今後全国の焼却施設の更新に合わせ、普及拡大が期待されることから、南但クリーンセンターは先進的な取組み事例として大いに参考になるとと思われる。

9) 周辺地域レベルでの連携

南但クリーンセンターは1つの焼却施設に1つのバイオガス化施設が対応するメタンコンバインドシステムであった。一方、大都市とその周辺地域レベルで考えた場合、**図2.2.2-6**に示すような、1つの大規模焼却施設に対して複数のバイオガス化施設が対応するメタンコンバインドシステムも考えられる。これは、大規模焼却施設を地域レベルの中核施設と位置付け、バイオガス化施設の発酵残渣を一括焼却することで効率的なエネルギー回収を目指すものである。この場合、バイオガス化施設は分散した処理システムとして各地域の特徴に合わせる事が可能である。また、各バイオガス化施設は小型な自立・分散型エネルギー源となり、かつ、大規模焼却施設に発酵残渣を供給するエネルギー源ともなりえる。この他にも地域に合った様々なバリエーションが考えられよう。例えば、更新すべき焼却施設の敷地面積が狭い場合などは、このような取組みが有効と思われる。今後の課題としては、残渣輸送体制の構築等が考えられる。

また、周辺地域にバイオガス化装置を併設することで、焼却施設に余力が生まれる。この余力を非常時の災害廃棄物処理の受入余力として活用すれば、周辺地域レベルで連携して廃棄物処理施設の強靭性を高めることが可能と思われる。

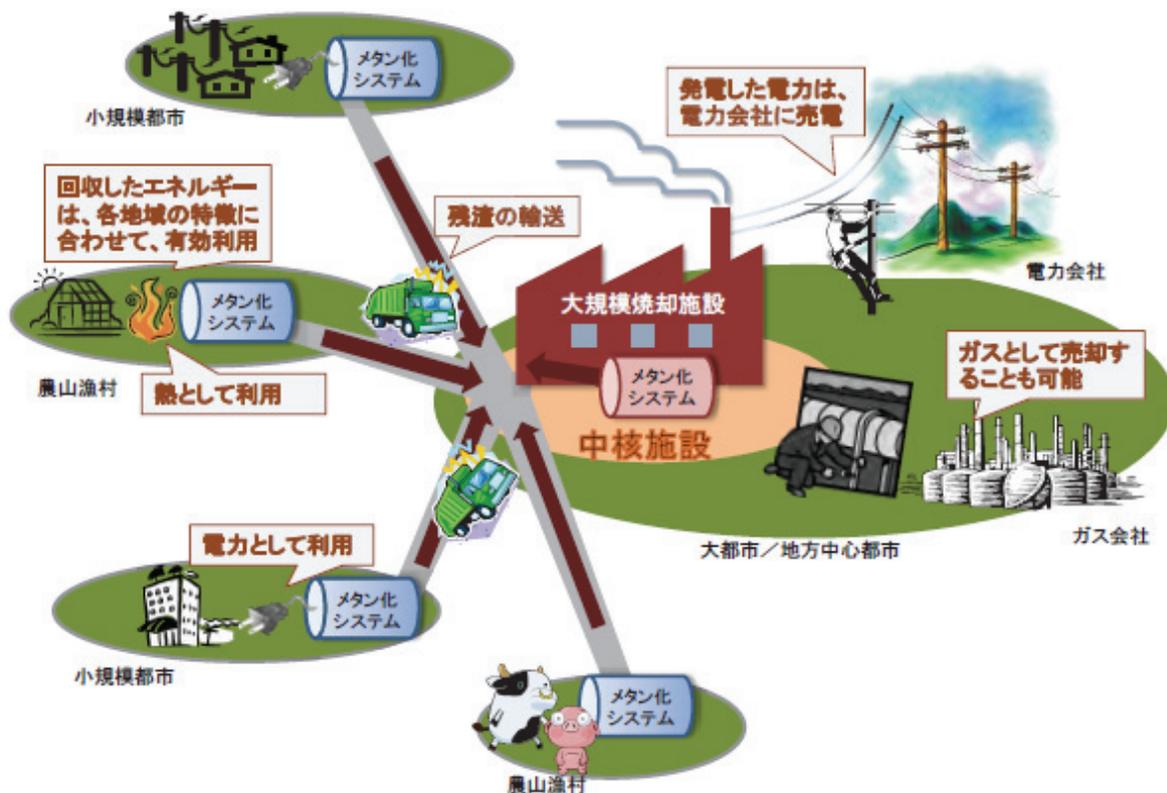


図2.2.2-6 周辺地域レベルでのメタンコンバインドシステム（イメージ）

出典：環境省・平成25年度廃棄物系バイオマス活用導入促進事業委託業務報告書

2.3 今後の展望と課題

地域の経済的な発展のために、エンジニアリング的な面からの貢献の可能性を探る中で、バイオマス利用技術が果たせる役割は大きいと考えて調査を進めた。ここでは、更なる利用促進の余地がある残置林材を含む木質バイオマスの利用と、食品廃棄物の利用促進にも寄与しうる下水処理場や焼却施設などの静脈施設に隣接するメタン発酵施設の可能性について検討した。

「木質バイオマス利用」として、FIT制度を元に発電を主体とした促進策が進められる一方で、発電に主眼をおいて採算性を考えると5000kWを超えるような大型施設が先行し、それでは地域での持続的発展に繋げられる地域は限られる。国内での木材生産・林業や、木材加工と木製品の利用を経て、廃材や林業における未利用材を利用する木質バイオマス技術の発展が大事と考え、「森林・林業の概要」と「木質バイオマス資源の活用状況」といった現状把握した。さらに、「木材のカスケード利用の経済性」として、木材カスケード利用の有効性を試算した。

我が国は、森林面積が約70%を占め、資源自給率の向上に向けて木材利用の持つポテンシャルは非常に魅力である。国内の林業や木材利用の現状を見ると、森林面積や木材蓄積量といったポテンシャルに比べ、欧州には生産力で大きく劣り、森林振興の課題が大きいことや、輸入材を含めた木材需要の下降傾向が進むだけでなく、丸太用材の輸入が落ちて製品の輸入が増えるなど、国内木材加工業の衰退も懸念されている。仮設建材や土木仮設材など、回転の速い分野での利用を促すなどして、木材のカスケード利用の下流側への材料供給と、木材生産の上流側への市場拡大を図りつつ、木材の加工業の下支えも行うなどの促進策に期待が持たれる。

このような視点から、木材カスケード利用のコスト試算では、木材のガードレールや土止め材としてのマテリアル利用と、木質チップ化のサーマル利用を例にして検討した。試算では、潤滑な運用がなされることを条件に、カスケード利用は新材を使うよりもコスト優位性が向上する結果となった。木材加工や流通の網を太くする政策が望まれる。

また、視察に訪れた東濃ひのき製品流通共同組合では、木材生産のための乾燥につかう熱源を廃棄物として処理されていた端材やおがくずで賄い、さらに余ったエネルギーで発電するという、木製品を主とし、エネルギー利用は効率のよい熱利用を優先するという、理にかなった運用により、小規模ながら10年を経て安定経営している。こうした小規模でも回せる活用例を広げるような補助政策も引き続き重要であると実感できた。

下水処理場と焼却施設をコアとしたバイオマス利用について、下水処理場隣接型で2件と、焼却処理併設型で1件の事例を視察し、その結果などを元に、当該技術の優れた点と課題について検討した。下水処理場は、環境省や国土交通省の『新下水道ビジョン』などにより、また、焼却施設には災害対策の拠点・エネルギー分散化の面からの期待も寄せられるなど、国の施策面でも注目されている。

下水処理場隣接型は、珠洲市と黒部市で、いずれもFIT制度の施行前に稼働あるいは着工しており、メタン発酵で得たガスは場内でのエネルギー利用している。珠洲市と黒部市のそれぞれで3/4と4/5のエネルギーを賄っており、省エネ型の処理施設を実現しているだけ

でなく、地域の食品廃棄物の利用促進、地元雇用の創出にも貢献している。両施設ともに補助事業を活用しているが、省エネと地域での貢献を考えると、同じような例を増やすべく、補助制度への積極的な評価を期待したい。規模が小さいことに関しては、珠洲市では、エネルギーは効率のよい熱利用に特化し、汚泥の100%肥料化と排水の省力処理といった小型なりの工夫をしていた。規模的な面も考えて、両施設を参考にできる地域は多いものとする。

一方課題については、運用面での工夫を継続的に行うには、地方自治体などでは人材が不足している点がある。また、広域連携の実現は、実際に静脈施設を運用している自治体よりも上の例えば都道府県レベルの調整が必須であるが、実際に苦勞している担当者は市町村にいるなどのギャップがある。既に供用している施設の改善や、より広域連携することの効果の試算などは、例えば国等の補助事業によって、民間の力を引き出して、具体的な計画・試算例を作るなどの試みが考えられる。

焼却施設では、乾式メタン方式を導入している兵庫県内陸にある南但クリーンセンターを視察した。ごみ焼却設備とメタン発酵の組合せにおいて、なるべく含水率を増やさないように処理し、紙ゴミなども活用しやすいような半固形を前提とした乾式メタン方式は、期待が持たれる。当施設は、朝来市と養父市のごみ処理を担っており、両市を合わせることで採算規模を確保している。規模をある程度持つことで、防災拠点としての発電能力も保有することに繋がる。焼却施設の利用拡大のために、大いに参考になる施設と言える。今後は、こうした市町村連携を、地方に任せたままで、日本の全体トータルとして最適な方向に向かうのか、と言った点や、南但市はFITを主体として成立したが、規模によってはFITのみでは初期投資が間に合わない地域でも当該システムの有効性の検討がなされることが課題と考えられる。

上記の下水処理施設の活用も併せて、国の支援を得た上で、民間の知恵を借りやすくするような検討事業を計画することも有効であろう。

以上のように、木質バイオマス利用と、静脈施設をコアとしたバイオマス利用技術の2方向から検討を進め、それぞれの分野で優れた事例から学べる点と、今後の当該技術の普及に向けた課題とをまとめた。

来年度は、こうした課題をより具体的に掘り下げること、解決策の提言などに繋げていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省所管事業を対象としたVFM（バリュー・フォー・マネー）簡易シミュレーション、2003.
- 2) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫：設置後20年を経過したカラマツ製遮音壁の性能評価(1) 20年経過の現状と非破壊検査の結果、第58回日本木材学会大会発表要旨集、pp.387-388, 2008.
- 3) 今井久・池田穰・柴田直明：木材の腐朽と根系効果を考慮したのり面緑化工の安定性評価 - 丸太筋工を用いたのり面緑化工を例として - 、ハザマ研究年報、2011.
- 4) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会：土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書、pp.3-74,2010.
- 5) 林野庁HP
- 6) tertu社パンフレット
- 7) 島根県農林水産部：島根県バイオマス活用推進計画、平成25年3月
- 8) 林野庁：平成25年度 森林・林業白書、平成26年5月 森林・林業白書
- 9) 富士通総研（FRI）経済研究所：木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題、研究レポート№409、2013年10月
- 10) 資源エネルギー庁：バイオマスエネルギー利用の現状について、平成21年2月
- 11) 林野庁：森林・林業基本計画、平成23年7月
- 12) 電気事業連合会：電気事業における環境行動計画、2014年9月
- 13) 社団法人地域環境資源センター：バイオマス利活用技術情報データベース
- 14) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画、平成22年12月
- 15) 農林水産省：バイオマスをめぐる現状と課題、第5回バイオマス活用推進会議、平成24年2月2日
- 16) 久保山裕史：木質バイオマス発電の動向と課題、森林・木材産業シンポジウム、平成26年1月24日
- 17) 新下水道ビジョン：国土交通省水管理・国土保全局下水道部、公益社団法人日本下水道協会、平成26年7月
- 18) 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）：国土交通省、国土技術総合研究所、平成26年9月
- 19) 再生と利用：公益社団法人日本下水道協会
- 20) 下水道循環のみち研究会第18回セミナー講演会資料：一般社団法人日本下水道施設業協会、2013年3月
- 21) 環境省廃棄物・リサイクル対策部：廃棄物処理施設整備をめぐる動向と今後の方向性について、生活と環境、Vol.59、No.9、2014
- 22) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画、平成22年12月
- 23) 国土強靱化推進本部：国土強靱化アクションプラン2014（案）、平成26年6月
- 24) 環境省：廃棄物系バイオマス活用の現状、平成25年6月
- 25) 環境省：廃棄物系バイオマス活用の方向性、平成25年6月
- 26) 環境省：廃棄物系バイオマス活用ロードマップ、平成25年6月
- 27) 環境省：メタンガス化（生ごみメタン）施設整備マニュアル、平成20年1月

- 28) 南但広域行政事務組合:エンジニアリング協会循環型社会システム研究部会向け視察研修資料、平成26年12月
- 29) 環境省:平成25年度廃棄物系バイオマス利活用導入促進事業委託業務報告書、平成26年3月

第3章 新たなバイオマス利用技術による地域活性化の可能性

ガス化、固形燃料化など、様々な技術が実用化されてきている。バイオマスは、原料が様々であり、規模や残渣利用の可否などによっても、コスト最適な方法が異なるため、今後も普及を進めて行くには、適用可能な技術を増やし、採用可能な選択肢を広げることも重要になってくる。本調査研究においては、まだ実用化段階にはないものの、大学等により研究が進められ、将来の実用化が期待される技術に着目して、その実用化の課題と、地域活性化の面で活用できる可能性について検討した。

まず、微細藻類の燃料等への利用技術を挙げた。従来のバイオマス利用技術は、一部で資源作物等の研究は行われているものの、いずれも未利用バイオマスを原料として活用し、直接又はメタン発酵により燃焼させ、熱・電気としてエネルギー利用するものと言える。微細藻類は、バイオマス原料として、成長速度が速く、陸生植物との栽培環境の違いから食糧との競合が避けられるとともに、輸送用液体燃料の製造が可能である。現在、国内外においてその培養技術、エネルギー転換技術の開発が進められている。

もう一つの注目されるバイオマス利用の新技术として、「微生物燃料電池」を挙げた。微生物燃料電池は、微生物を活用して排液等に含まれる有機物を分解すると同時に、直接電気エネルギーを得ることができる技術であり、下水・廃水処理分野の大幅な省エネルギー化を可能とする技術として注目を浴びている。

本章では、次世代バイオマスとして期待される「微細藻類利用技術」および「微生物燃料電池」について、その開発背景、技術開発動向およびその実用化に向けた課題について紹介する。

3.1 微細藻類の活用技術

3.1.1 微細藻類の開発動向

1) 開発背景および動向

微細藻類は、単位面積あたりの収穫量が通常の作物の数十倍から数百倍と言われており、世界人口の増加等による食料不足や、化石資源の枯渇に対して重要な資源生産技術になり得るとして注目を集めている。特に、藻類は炭化水素や油脂、色素など様々な有機物を蓄積する傾向があるため、燃料や化学製品の原料の生産に適していると期待される。

特に、航空燃料へのバイオ燃料の導入の動きが強まる中で、航空燃料に向く炭素数の油脂を製造する微細藻類も存在していることから、注目を浴びている。航空燃料に関しては、EUは2050年までに全ジェット燃料の40%を持続可能性のある低炭素燃料に置き換えるという目標を掲げるなど、バイオ燃料の導入に熱心であり、ICAO(国際民間航空機関)やIATA(国際航空運送協会)が公表している国際航空のCO₂削減の具体的な枠組みにおいても2050年目標の達成にはバイオ燃料の導入が不可避と考えられている。日本の航空産業も無視できない状況と言える。

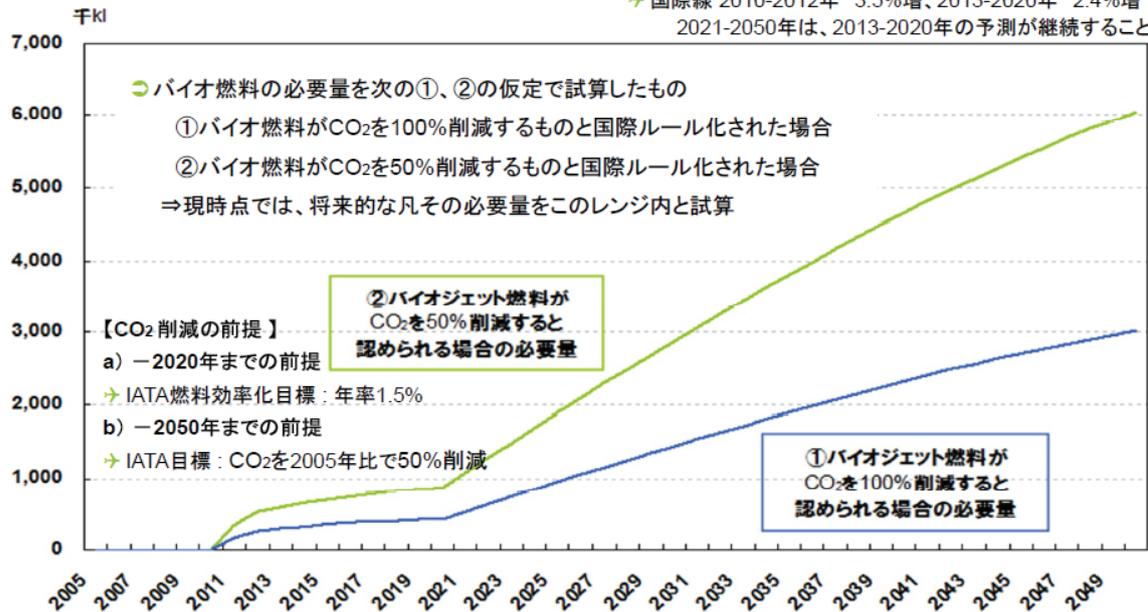
・CO₂削減に求められるバイオジェット燃料量

【需要予測の前提(定期航空協会予測)】

→ 国内線 2010-2012年 1.3%増、2013-2020年 1.0%増

→ 国際線 2010-2012年 3.5%増、2013-2020年 2.4%増

2021-2050年は、2013-2020年の予測が継続することを前提



⇒ 2050年迄のCO₂削減のIATA目標達成には、相当量のバイオジェット燃料が必要

図 3.1.1-1 航空燃料のCO₂削減に向けた必要量の試算例

出典：バイオジェット燃料の動向（定期航空協会）2014年3月

このような状況を踏まえ、国内でも従来からあるクロレラやユーグレナなどの健康食品としての藻類とは別に、藻類の産業利用の可能性に向けた動きが見られる。藻類によるバイオ燃料の製造を中心に、藻類の産業利用について調査した。

バイオ燃料等の藻類技術の開発の対象となっている微細藻類は油脂含有量が多いものであり、栽培により得られた藻体より油脂を抽出・改質し、輸送用燃料（ディーゼル燃料、航空機燃料等）として利用することが期待されている。特に航空機は、自動車と比べCO₂削減策として動力源の転換は難しく、ジェット燃料代替としてのバイオ燃料が有力な削減策と期待されており、微細藻類が将来の有力なバイオマス原料候補となっている。さらに、従来のバイオ燃料の原料である菜種やパーム等は食糧との競合の問題が指摘されているが、微細藻類は陸生植物と比較して成長速度が速いため、単位面積当たりのバイオマス収量が多く、また陸生植物とは生育環境が異なるため、食糧との競合が回避できる可能性がある。

微細藻類は1950年代から開発が行われており、特にオイルショックを受けて代替エネルギー開発が盛んに行なわれた1970-90年代の米国DOE（エネルギー省）での研究開発プログラムおよび国内では1980-90年代にNEDO（(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構）とRITE（(財)地球環境産業技術研究機構）で実施されたサンシャイン・ニューサンシャイン計画が有名である。その後の原油価格が安定していた時期は、微細藻類の研究も低調であったが、地球温暖化問題におけるCO₂削減要求および近年の急激

な原油価格高騰から、2000年代になって世界的に再度バイオマス原料としての微細藻類が注目されるようになってきている。

現在日本国内における微細藻類の生産・燃料利用技術開発を実施している主な機関として、①株式会社デンソー、②筑波大学、③ユーグレナ、④ネオ・モルガン研究所、IHI、⑤電源開発、⑥スメーブジャパンが挙げられる。前記機関において、商業生産をしているのはユーグレナとスメーブジャパンだけであり、この2社も燃料製造ではなく、藻類の食品利用での生産である。燃料製造に対しては、各社とも低コスト生産、大量製造技術等の課題の解決に取り組んでいる段階であり、燃料製造技術確立まではまだ時間を要すると考えられる。

海外においても、米国を中心に微細藻類燃料化技術開発が推進されている。米国では2007年に制定された **Energy Independence and Security Act** においてバイオ燃料導入・義務化が定められ、バイオエタノールを中心にバイオ燃料導入が進んでいる中、微細藻類も先進的バイオ燃料生産のための重要な原料と位置付けられ、米国 DOE が技術開発・実証の事業支援策を積極的に実施している。米国における特出すべき動きとしては、サファイアエナジー社が135億円を投資して400m×1.6kmの微細藻類培養施設（写真3.1.1-1）を建設し、商業運転を開始しており、世界の微細藻類開発者が同社の今後の動向に注目している。



写真 3.1.1-1 米国サファイアエナジー社微細藻類培養施設

出典：Sapphire Energy 社：<http://www.sapphireenergy.com/>

2) 微細藻類によるバイオ燃料製造技術

図 3.1.1-2 に微細藻類からのバイオ燃料製造工程を示す。微細藻類からバイオ燃料を製造するプロセスは、主に培養工程、濃縮・乾燥工程、油抽出工程、燃料精製工程で構成されている。培養工程では、油脂含有率の高い微細藻類をオープンポンドやフォトバイオリクターを用いて大量に培養し、藻類をろ過や沈降分離等で収穫する。得られた微細藻類は水分を多く含んでいるため、濃縮・乾燥工程では、遠心分離等の固液分離装置による濃縮や气流乾燥等の乾燥により高濃度又は乾燥した藻体を得る。抽出工程では、藻体に含まれる油脂分を溶剤等を利用して抽出し、得られた油脂分を燃料精製工程において、輸送用燃料に利用できるように改質する。藻類が製品である燃料に類似した油脂や炭化水素を生産するため、製造工程は、他のバイオマスからの燃料製造工程に比較しシンプルと言える。

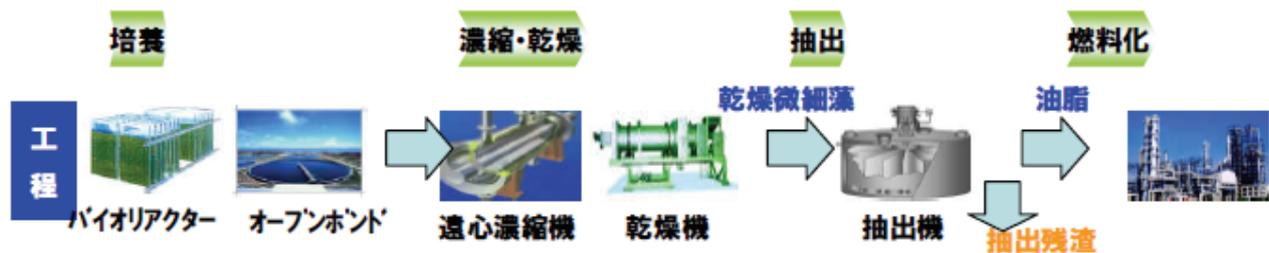


図 3.1.1-2 微細藻類からのバイオ燃料製造工程

出典：産業競争力懇談会 COCN 農林水産業と工業の連携研究会
微細藻燃料分科会 2010 年度研究会最終報告書

3.1.2 国内の藻類バイオマス取り組み事例

1) 株式会社デンソー

デンソーは、藻類からの燃料製造を目指し、安価な培養法を可能とする藻株の獲得などの面から、成果を上げつつある（開発担当者の蔵野氏を招いた講演会の内容は、5章を参照）。デンソーで開発している微細藻類は、*Pseudococcomyxa* sp.である。本藻類の特徴として、油脂含有量が40-60%と高く、生育温度が広いため夏冬も培養ができる可能性があるとともに、酸性下（pH3-4）での育成が可能であるため、他藻類・雑菌等の混入（コンタミ）の抑制・制御が行いやすいことなどが挙げられる。

現在、デンソーでは、屋外培養施設による培養を実施しており、愛知県西尾市に2m×10m と 3m×20m のレースウェイ型の屋外培養施設を保有している。本屋外培養施設では、将来の藻類培養手法を視野に、CO₂源としてはLNG コージェネレーションシステムの排ガス、培養水としては活性汚泥の活性炭を通す前の処理水、藻体の乾燥にはコージェネレーションシステム排ガス（150℃）をドライヤー熱源として、微細藻類の培養・燃料化に利用している。3m×20m（60m²）の培養槽からは1週間で2.5kgの乾燥藻類、800mLの粗抽出オイルが得られる。またデンソーでは、農林水産省プロジェクトにおいて、石油代替燃料を目的に、微細藻類の屋外大量培養からその利活用におけるコスト削減、省エネルギー化、CO₂削減に向けた技術開発に取り組んでいる。またNEDOのプロジェクトにおいて、藻類の遺伝子改変や育種・改良技術の開発を実施している。

2) 株式会社ユーグレナ

ユーグレナ社は、微細藻類としてミドリムシを活用した事業開発・生産技術開発を実施している。ミドリムシは栄養価が高く、ユーグレナ社では既にミドリムシを機能性食品として事業化を開始しているが、ミドリムシに含まれる軽質の油脂がジェット燃料に向いているため、将来はバイオ燃料の事業化も目指している。

ユーグレナ社では、微細藻類燃料化に関する技術開発において、NEDOの「戦略的次世代バイオマス利用技術開発事業（次世代技術開発）」を複数受託しているとともに、また科学技術振興機構のチーム研究「CREST」にも参加しており、積極的な研究開発を推進している。NEDOプロジェクトでは、有用バイオ燃料生産技術開発で高知大学、京都大学、東京大学、バイオジェット燃料開発ではJX日鉱日石エネルギー、日立プラント

テクノロジーと連携している。また CREST では、バイオ燃料生産基盤技術開発で、島根大学、近畿大学と連携している。また他にもミドリムシに関する様々な研究で、大阪府立大学、兵庫県立大学とも連携している。バイオ燃料事業化に向けた取組みとして、いすゞ自動車と共同で次世代バイオディーゼルの実用化共同研究「DeuSEL プロジェクト」を 2014 年に開始し、活動の一つとして、いすゞ自動車藤沢工場のシャトルバスに、ユーグレナ社がミドリムシから製造したバイオディーゼルを使用している。

3) 株式会社ネオ・モルガン研究所、株式会社 IHI

ネオ・モルガン研究所と IHI は、微細藻類としてボツリオコッカスを改良した「榎本藻」を活用したバイオ燃料実用化の研究開発を実施している。榎本藻は、国内で発見されたボツリオコッカスの一種を榎本平神戸大教授の指導のもとで燃料生産に適した性質を持つように開発された藻である。榎本藻の特徴として、従来のボツリオコッカスに比較して増殖速度を飛躍的に向上させたこと、濃度での培養を可能としたことおよび高いコンタミ耐性等が挙げられる。

ネオ・モルガン研究所と IHI は、微細藻類バイオ燃料の実用化を目指し、共同で IHI NeoG Algae 合同会社を設立し、藻類由来バイオ燃料の基礎研究および実証研究を実施している。2013 年 11 月には 100m² 規模の屋外培養槽でバイオ燃料用藻類の安定培養に成功したとの報告がされている。ネオ・モルガン研究所、IHI と神戸大学は、NEDO「戦略的次世代バイオマス利用技術開発事業」を受託し、微細藻類の高速培養、藻体濃縮に関する研究を実施している。

4) 筑波大学

筑波大学では、微細藻類としてボツリオコッカスとオーランチオキトリウムを中心に研究開発を行っている。ボツリオコッカスは炭化水素の含有率が高いことが特徴であり、オーランチオキトリウムは光合成をしない従属栄養生物であるが、下水等の有機物を栄養として利用できる可能性があるとともに、育成速度が早く炭化水素含有量が多い特徴がある。

筑波大学は仙台市、東北大学と連携し、「東北復興次世代エネルギー研究開発プロジェクト（微細藻類のエネルギー利用に関する研究）」において、下水処理場を利用してオイルを生産する藻類バイオマスの研究・開発を推進している。具体的には、下水中の有機物を利用できるオーランチオキトリウムなどのオイル産生従属栄養生物と、窒素・リン酸などの富栄養化因子を利用するボトリオコッカスなどのオイル産生独立栄養性藻類とを組み合わせることで、下水からオイルを生産する技術を開発する。東日本大震災により被災した仙台市の南蒲生浄化センターに屋外試験設備を建設し、2016 年までに基盤技術の確立を行う計画である。また筑波大学は、独自に大規模実証施設を 2014 年に建設し、平成 27 年度までに屋外大量培養技術確立を目指している。

また筑波大学渡邊教授が発起人となり平成 22 年に設立した藻類産業創成コンソーシアムは、会員数が 100（大学、企業、個人含む）を超え、産学が連携して藻類の産業利用やそれに関わる技術開発課題の探索、藻類に関する国内外の調査および情報の収集・提供・交換を実施している。本コンソーシアムにおいては、福島県の復興の一環として

6) スメーブジャパン株式会社

スメーブジャパンは、微細藻類としてナンノクロロプシスを利用した藻類製造販売事業、バイオ燃料製造技術開発を実施している。ナンノクロロプシスは、稚魚養殖の高栄養飼料に用いられてきた実績もあり、良質のタンパク質やオメガ3不飽和脂肪酸を多く含んでいるため栄養補助食品として利用ができる。また油の含有量も多いためバイオ燃料への利用も期待されている。

スメーブジャパンの微細藻類培養技術は、イスラエルのシームビオテック社から導入したものであり、宮城県石巻市に屋外培養施設を建設し、そこで培養したナンノクロロプシスを栄養補助食品として販売している。現在の屋外培養設備の能力は藻類乾燥重量で年間16tであるが、すでに第2工場の計画もあり、今後積極的に藻類ビジネスを進めていくと見られる。技術開発の面でも、農林水産省プロジェクトでバイオ燃料のための油抽出に関連する技術開発を東北大学等との共同研究で実施している。

3.1.3 微細藻類バイオ燃料化技術開発の課題

微細藻類の開発は国内外で実施されており、栄養補助食品等の目的では、いくつかの企業で商業化が実現しているが、微細藻類由来バイオ燃料の本格的な事業化においては、まだ課題が多くあると認識されている。特に、燃料需要に対応した培養設備のスケールアップおよび従来燃料に対して経済性を確保するための製造コストの低減が主な技術課題と考えられる。前述(3.1.2(2))したように、藻類からの燃料製造は、藻類が製品に近い油脂を製造することから、比較的単純な工程を見込めるものの、図3.1.3-1に試算例を示すように燃料としての販売単価が安いことから、製造単価の低減圧力は強い。

表 3. 1.3-1 米国 Solazyme 社の販売価格の予測

製品	販売価格 1 トンあたり
燃料	1,800~2,000 ドル
化学製品	1,800~5,000 ドル
栄養品	2,500~20,000 ドル
スキンケア商品	20,000 ドル~2,000K ドル

出展：農山漁村における藻類バイオマスファームの
事業化可能性調査報告書（2012）

微細藻類バイオ燃料の製造は、複数の工程で構成されており、前記技術課題を解決するためには各工程での課題抽出・対策検討および微細藻類の培養から燃料製造までの一貫生産システムの最適化が必要となる。以下に、微細藻類バイオ燃料製造の各工程において技術課題として認識されている代表的なものを示す。

1) 微細藻類培養工程

培養工程の主な技術課題として、①微細藻類種の選定、②大量培養が挙げられる。

微細藻類種の選定では、培養場所の環境適合性（淡水・海水、温度等）、高油脂生産性等がポイントとなる。

大量培養技術の課題としては、培養方式の選択（屋外培養、もしくはフォトバイオリクターのような閉鎖系での培養）により課題が大きく異なるが、培養での省エネルギー化、水資源確保、CO₂供給源確保・方法は重要である。特に屋外培養の場合は、コンタミ対策は重要な課題となる。設備面では、スケールアップ技術が課題としてある。培養設備においては、ラボ・実証での結果を大規模商業設備で再現できるか検証する必要がある。また大量培養した微細藻類の回収方法として、沈降分離やろ過が考えられるが、省エネルギー化、設備費用等の観点で最適な方法の検討が必要である。

2) 濃縮・乾燥工程

濃縮・乾燥工程の技術課題として、省エネルギー化が挙げられる。培養した微細藻類は多量の水分を含んでおり、低エネルギーで水分と藻体を分離する技術が必要である。藻体の乾燥が必要な場合は、乾燥での消費エネルギーが大きくなると想定され、微細藻類から得られるバイオ燃料エネルギーと消費エネルギーのバランスを十分に検討して乾燥工程を検討する必要がある。バイオ燃料製造においては、乾燥工程は省略し、湿式での油抽出技術を選定することが好ましいと考えられる。

3) 油抽出工程

微細藻類からの油抽出技術としては、水熱処理や薬剤処理が考えられる。選定した藻類毎に技術課題は異なると考えられるが、省エネルギー化は重要である。前述したように油抽出工程で、藻体に水分が含まれて良いか乾燥が必要かは、前工程のエネルギー消費に大きく効いてくるので、全体プロセスでの検討が必要である。

4) 燃料精製工程

回収した油分は、水素化・異性化等の技術を用いて燃料化することが考えられる。既存の石油精製技術が活用できる可能性があるが、バイオ燃料製造全体コストとして経済的に難しい場合は、既存技術をさらに省エネルギー化、低コスト化する努力が必要となることも考えられる。

5) その他

製造コスト低減には、初期投資費用の削減が必須であり、各工程で採用される設備は、その設備建設費も含めて検討される必要がある。また製造工程からは、微細藻類の残渣や廃水が発生するため、その処理・有効利用技術、設備検討が必須である。

3.1.4 微細藻類と地域活性の可能性

微細藻類による地域活性の可能性としては、微細藻類の培養・燃料製造施設を未活用の土地で実施することが考えられる。前述（3.1.3項）での仙台市や東松島市、南相馬市のように復興地からも期待を寄せられている。微細藻類は他のバイオマスと比較して成長速度が速いものの、光合成の日光照射量を確保するために広い土地が必要となる。例えば、年間 10,000kL の油を微藻類から生産するためには、油収率を 50kL/ha として 200ha の土地が必要となる。一方で、現在地方における未利用の土地として耕作放棄地があり、その面積は全国で約 40 万 ha にもなると言われている。この土地を微細藻類の培養施設として利用することで、地域におけるバイオ燃料産業を創出できる可能性があり、コストダウンなど実用化に向けた技術の進展に期待したい。

また、微細藻類の培養工程では光合成に必要な二酸化炭素ガス、燃料製造工程では濃縮・乾燥に必要な熱源が必要となる。微細藻類培養に必要な土地があり、その土地に隣接して燃料燃焼排ガスを排出する既存の工場等が存在している場合、その燃料燃焼排ガスを微細藻類培養の二酸化炭素源および濃縮・乾燥の熱源として利用できる可能性があり、微細藻類バイオ燃料事業の経済性を向上できる。

その他に、地域における木質等のバイオマスを活用して、バイオマス発電事業とその排熱・排ガスを利用した微細藻類バイオ燃料化事業を組み合わせる可能性も考えられる。東松島市の計画（図 3.1.4-1）では、メタン発酵消化液の活用など、バイオマス事業との組合せに期待している。木質やメタン発酵など従来のバイオマス利用分野との組合せにより、藻類事業化の可能性が拡大することに期待したい。また、東松島市の飼料化や石巻市スメープジャパン社の燃料プラス栄養食品のように、地域における利用においては、必ずしも燃料利用に限定せず、藻類の持つ多面的な機能にも注目して事業化計画に取り組むことも、実現性の向上の選択肢になるかもしれない。

添付資料12バイオガス発電事業 概要図

再生可能エネルギーと食料に循環

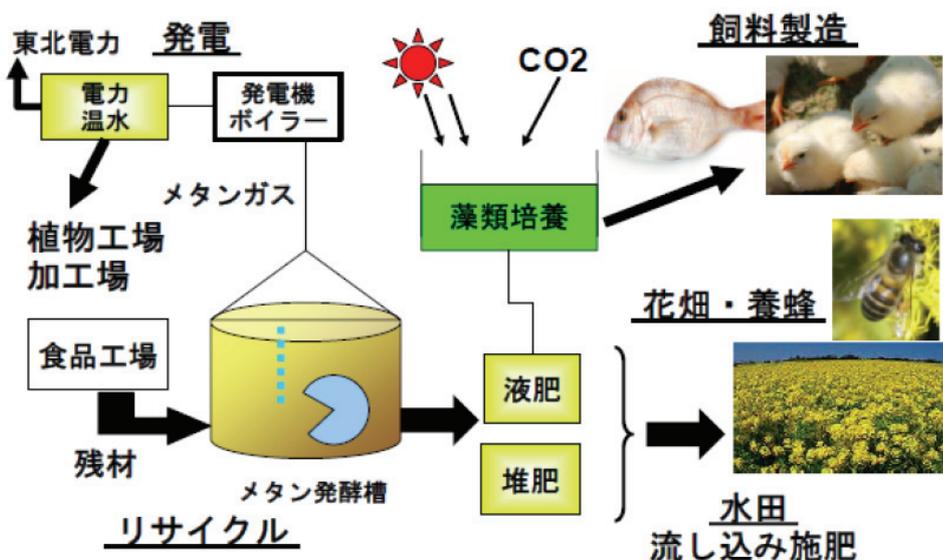


図 3.1.4-1 東松島市バイオマス産業都市構想におけるメタンガス事業など

出典：東松島市バイオマス産業都市構想 平成 25 年 4 月

3.2 微生物燃料電池

3.2.1 概論

微生物燃料電池とは、微生物が有機物を分解する際の代謝能力を利用して有機物中の化学エネルギーを電気エネルギーに変換する装置である。電池であるためプラス極（カソード）とマイナス極（アノード）からなる。マイナス極では、有機物が微生物により酸化分解される時に発生する電子を電極で回収する。その電子は外部回路を經由してプラス極に移動する。移動した電子はカソード極で、酸化剤の還元反応により消費される。マイナス極でおきる化学反応とプラス極で起きる化学反応の酸化還元電位（電子を授受する能力）の勾配に従い電子が流れる。二つの極の電位差と外部回路を流れる電流の積に相当するエネルギーが外部回路において得られる。廃棄物バイオマスなどのエネルギー利用を可能にするものとして期待されている。微生物燃料電池の概念図を図 2.1.1 に示す。

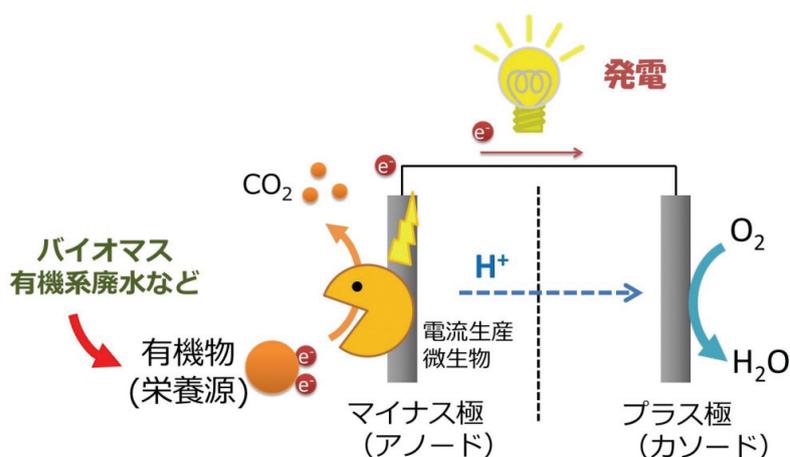


図 2.1.1 微生物燃料電池の概念図

出典：<http://pathos.ls.toyaku.ac.jp/applife/keywords/>

微生物燃料電池とは/

微生物燃料電池の歴史は 1911 年のイギリス、ダラム大学のポッターによる実験が挙げられる。その実験内容は酵母培養液中にプラチナ電極を挿入し、いくつかの培養条件で電圧の上昇を確認した。この実験は、微生物による有機物の分解反応は電位エネルギーの放出を伴うことを示すために行われたが、プラチナの触媒作用では鉍産物の水素などから電流が発生したものと考えられる。その後、2000 年ごろに電極呼吸菌が発見され、このような微生物が土壌などの環境中に広く生息していることが知られるようになり、現在の微生物燃料電池の研究開発が行われ始めた。

微生物燃料電池は微生物の持つ多様な代謝能力を利用して有機物分解および現状では微量であるが発電ができるという観点からバイオマス廃棄物や廃水処理に対しての利用が注目されている。バイオマス廃棄物や廃水処理に利用できることから、未利用バイオマスや工場排水や下水処理場への展開が考えられ、新たなバイオマス利用技術として地域活性化の可能性が期待できる。しかし、微生物群集の制御、電極のコスト、装置の高効率化などの課題も存在する。本章では、微生物燃料電池の効率化技術とバイオマスや廃水処理への応用と課題について紹介する。

3.2.2 微生物燃料電池効率化技術

微生物燃料電池の効率化技術として装置開発、カソード開発、アノード開発、微生物育種制御が進められている。ここでは上記の4つの視点からの事例を紹介する。

1) 微生物燃料電池の装置開発

微生物燃料電池の構造として二槽式と一槽式がある。二槽式と一槽式の概念図を図

3.2.2-1に示す。二槽式ではマイナス極であるアノード (Anode) とプラス極であるカソード (Cathode) が別れている。2つの槽はプロトン交換膜で隔たれている。一方、一槽式はカソードを従来のものから、エアーカソードを用いることで成り立っている。これにより、カソード槽が平面になり省スペース化が図れる。エアーカソードは、膜状の構造であり遮水性があり酸素透過性がある。大気中から透過した酸素は槽内側にコーティングされた白金等の触媒によりプロトンと反応して水になる。2つの方式を比べると一槽式は槽内に透過した余剰の酸素が微生物によって消費されるために有機物からのエネルギー回収効率は低くなるが、二槽式よりもコストやメンテナンス性を考えるとランニングコストが抑えられるため実用化しやすい構造である。

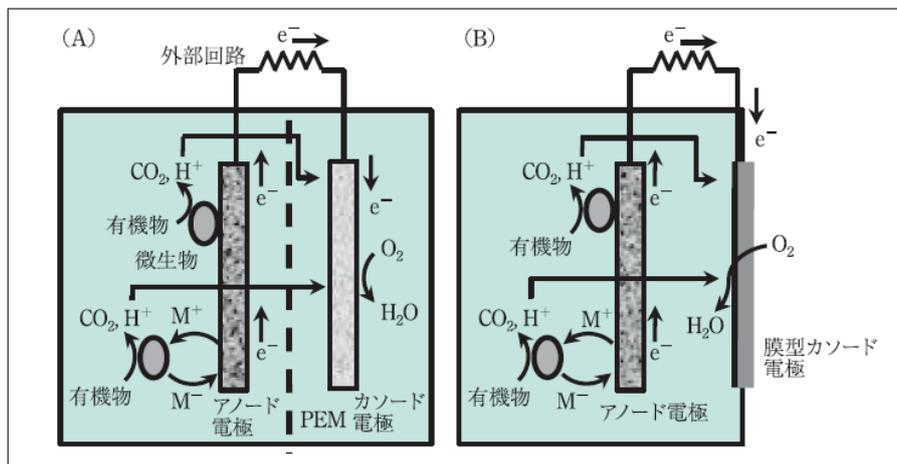


図 3.2.2-1 二槽式 (A) と一槽式 (B) の概念図

出典 : https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/50/3/50_150/_pdf

2) カソード開発

一槽式の微生物燃料電池の実用化を考える上で、エアーカソードの開発・発展が重要となってくる。より安価で性能を維持したスケールアップ可能な電極が求められている。エアーカソードで起きている反応は酸化還元反応である。この反応でもっとも活性があるといわれているものがプラチナ (Pt) である。しかし、プラチナは高価なものであり、触媒としてプラチナに代わるものが求められている。微生物燃料電池における酸素還元触媒の役割は、電子、プロトン、酸素を触媒表面上で水 (または過酸化水素水) に還元することにある。酸化還元触媒の評価項目として、①酸素還元反応に要する電圧が低い、②速い反応速度である、③反応特異性が高い、④劣化が少なく長期使用による耐久性がある、⑤触媒コストが低いなどが挙げられる。触媒としては、大きく分けて4つの分類がある。それぞれに活性の特徴やコスト面での一長一短があり目的によって触媒を使い分ける必要がある。

(1) Pt/C 触媒

現在、微生物燃料電池で、一般的に用いられているのは、微粒子したプラチナが炭素粉末に担持された Pt/C 触媒であり、微生物燃料電池の標準触媒といえる。この触媒の長所は、他の金属に比べ触媒活性が高いため、酸素還元反応に要する電圧が低い、触媒反応速度が速いなどがあげられる。一方、短所としては触媒特異性が低く、有機物分解に生じる一酸化炭素による被毒を受ける。市場価格が高いなどが挙げられる。特に、コスト面の短所を解消するために、触媒の使用量を減らすことや、電極面積を減らす、より微粒子にすることで表面積を増やして触媒効率を上げるなどの工夫によりコスト高を相殺している。

(2) 窒素/炭素系触媒

窒素/炭素系触媒は、大きく分けて有機合成によって作られた触媒と、活性炭のように植物や石炭、石油などの炭素を含む原材料を高温処理によって炭化した触媒に分けられる。これらの触媒は、いずれも炭素骨格の一部が窒素原子に置き換わった構造を含んでいるのが特徴である。そして、炭素骨格に含まれる置換された窒素原子付近の構造が活性天として関与することが明らかになっている。酸素還元活性を示す窒素置換された炭素骨格は、活性炭にも含まれているため、微生物燃料電池の酸素還元触媒として用いられている。活性炭はおがくず、硬質の木材チップ、木炭、泥炭などから作られる粉末活性炭と木炭、ヤシ殻炭、石炭、オイルカーボン、フェノール樹脂などから作られる粒状活性炭、レーヨン、アクリロニトリル、石炭ピッチ、石油ピッチ、フェノール樹脂などから作られる繊維状活性炭に分類される。活性炭系触媒の酸素還元活性は、原料の窒素含有量や窒素置換された炭素骨格の種類に依存すると考えられ、廃棄バイオマスなどを使用した活性炭の構造を制御する技術を確認することができれば、活性炭触媒は十分な触媒性能、省コスト、廃材リサイクルを満たすことができ、非常に有用な触媒となる可能性がある。

(3) 金属/窒素/炭素系触媒

金属/窒素/炭素系の酸素還元触媒は炭素骨格に窒素ドーピングしたものに、コバルト、鉄、マンガン、ニッケル、銅などの遷移金属を配位させ、錯体となることで活性化エネルギーの低い経路が特徴である。また、窒素/炭素触媒に加え金属を配位させることで Pt/C 触媒よりも触媒活性が高くなる傾向が示されてもいる。

(4) 微生物膜系触媒

カソード表面上に自然に形成される微生物膜の中には酸素還元反応を行う触媒となる微生物が存在する。これを用いたカソードをバイオカソードと呼んでいる。そして、バイオカソードで優占化していた微生物群は *Sphingobacterium*、*Bacterpdes*、*Acinetobacter* などが報告されている。これらの細菌群がカソードの酸素還元反応に関与している可能性が示唆されている。このような微生物触媒は前述した化学触媒に比べて出力の面では劣るが、コストが低く、活性が長期間維持でき、幅広い電子受容体を利用できるなどの特徴がある。

3) アノード開発

微生物燃料電池ではアノードにおいて微生物が有機物を分解し、電極に電子を放出する。すなわちアノードでの最低限の要求性能としては、導電性をもち、アノード槽の環

境下で腐食せず、微生物に分解されない性質を備える必要がある。発電量の向上は、アノード表面積の増加と、アノードに付着する微生物数の増加に起因している。現在、アノードの素材として広く使用されているのが炭素材料である。炭素材料は導電性を持ち、微生物に分解されにくく、表面積が大きく、空隙率が高く、比較的成本が低いことなどの特性を備えているため頻繁に使用されている。炭素材料のアノードでは炭素繊維を加工したものが代表的であり、カーボンペーパー、カーボンクロス、カーボンメッシュ、カーボンフェルト等が挙げられる。一方、炭素繊維を使用しない、多孔質体もある。また、炭素材料に導電性ポリマーをコーティング材として用いられてもいる。コーティング材として頻繁に用いられるものでポリアニン（PANI）がある。導電性ポリマーをコーティングすることで電流密度が向上することがわかってきている。しかし、導電性ポリマーは微生物に分解されやすい点が指摘されている。炭素材料の表面処理を行うことで微生物燃料電池の出力向上を図る研究もされている。表面処理としてはアンモニアガスを用いるものや表面を酸化させる処理方法などが挙げられる。

また、高い導電性をもつ材料として金属が検討されている。しかし、耐腐食性の面から使用できる金属は限られ、ステンレスやチタン、金の利用が試みられている。ステンレスやチタンでは電極表面で微生物が増殖しにくく、発電が難しいとみられる。金を用いたアノードでは炭素材料と同等以上の性能を示すことがわかっている。

4) 微生物育種制御

微生物育種制御として外部抵抗の変化が安定性にどのような影響を与えるかといった観点で研究がされている。シュワネラ菌を使用し、外部抵抗を低抵抗と高抵抗に変化させるなどして実験を行ったところ、低抵抗では初期高出力でその後著しく低下し、高抵抗では初期は安定し徐々に出力低下し、定期的に抵抗を調整した場合には30日にわたって出力を維持するといった結果となった。適度に休ませる（電流制御）を行うことにより長寿命化することが明らかになっている。また、与える抵抗によって遺伝子発現も変動することが明らかになっている。電圧印加によりスタートアップの短縮や電気生成細菌の集積の制御も研究されている。

3.2.3 微生物燃料電池のバイオマスや廃水処理への応用と課題

微生物燃料電池の実用化に向けてバイオマスや廃水処理への応用が検討され研究がすすめられている。ここではその応用事例と課題を紹介する。

現在、生活下水や工場廃水の処理には活性汚泥法という微生物処理法が広く用いられている。しかし、活性汚泥法は、曝気に多大な電気エネルギーを消費し、また電力供給が止まると処理ができなくなるという問題を抱えている。また、余剰汚泥の引抜と処理も必要になってくる。ここに微生物燃料電池を利用すると活性汚泥法に比べ、省エネルギー・省コストになる利点が挙げられる。微生物燃料電池は嫌気処理であるため曝気の必要がなく、活性汚泥法に比べて余剰汚泥もほとんど発生しないため、装置を導入するだけでも消費エネルギーの削減効果が期待できる。また、消費エネルギーの削減とともに発電によるエネルギーも得ることができる。

バイオマス廃棄物のエネルギー利用に関しては、メタン発酵による嫌気消化槽が実用化されている。また、生産されたバイオガスからの発電も行われている。メタン発酵と微生物燃料電池を比較した場合、微生物燃料電池のメリットとして直接電気を生産できることや微生物群集が安定であることなどが挙げられるが、廃棄物処理速度やエネルギー生産速度といった効率の面では追いついていない。処理速度で微生物燃料電池がメタン発酵の代わりとなるためには、更なる高効率化技術が必要となる。

また NEDO の委託事業「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発プロジェクト・微生物触媒による創電型廃水処理基盤技術開発 (PL:東京大学橋本和仁教授)」における、東京大学、東京薬科大学、積水化学工業株式会社、パナソニック株式会社による共同開発において、東京薬科大学生命科学部応用生命科学科の渡邊一哉教授らは、廃水処理に適した新たな微生物燃料電池装置の開発研究を行った。具体的には、絶縁膜(プロトン交換膜)を挟んで正極と負極を一体化した"カセット電極"を作成し、このカセット電極を微生物反応槽に複数挿入することで、スラローム型流路を形成した微生物燃料電池である。

実験室サイズの本形式の装置 (容積約 1L) を用いた模擬廃水処理実験において、水滞留時間 9 時間、有機物処理速度 $1.3\text{kg-COD m}^3/\text{d}$ という効率を達成した。この効率は、並行して行った活性汚泥法による模擬廃水処理実験の効率と同等であった。実験に用いた微生物燃料電池装置を図 3.2.3-1 にスラローム流式カセット電極型微生物燃料電池の模式図・構造・概念図を図 3.2.3-2 に示す。

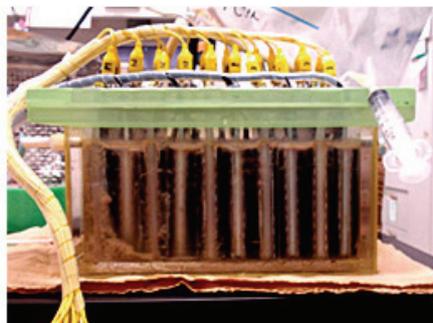


図 3.2.3-1 実験に用いた微生物燃料電池

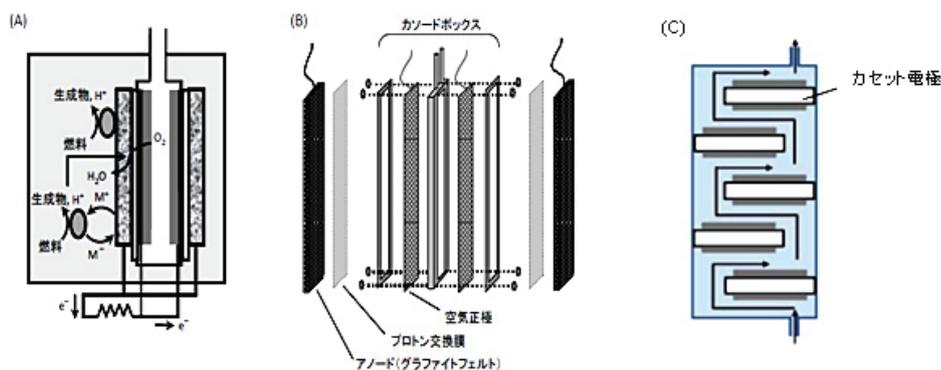


図 3.2.3-2 (A)カセット電極型微生物燃料電池の模式図 (B)カセット電極の構造 (C)スラローム型流路の概念図

出典 : http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100197.html

また、群馬大学の渡邊教授らは硝酸イオンを電子受容体とし、脱窒細菌の代謝作用の利用を想定した脱窒バイオカソードを微生物燃料電池のカソードとして適用することを試みている。本系では、①従来型微生物燃料電池のような高価なプラチナ触媒が不要、②微生物の自己増殖で容易かつ安定的な電極活性の維持が期待される。また、③有機物除去のみならず脱窒処理という新たな廃水処理機能が微生物燃料電池へ加わることになる。脱窒バイオカソードを利用した微生物燃料電池の概要を図 2.3.3 に示す。

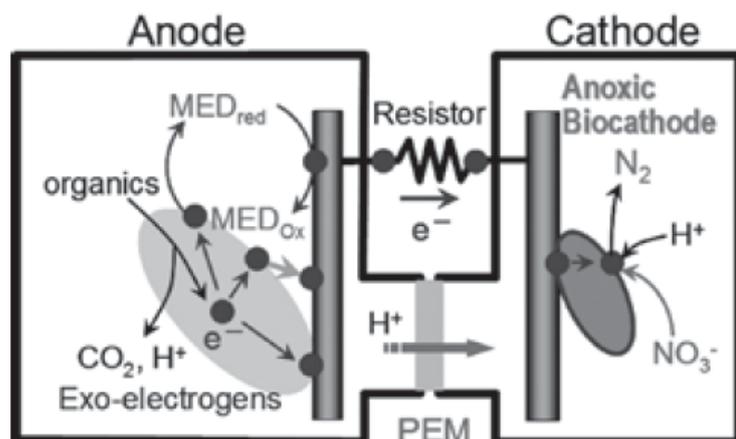


図 2.3.3 脱窒バイオカソードを利用した微生物燃料電池の概要

出典： http://www.ccr.gunma-u.ac.jp/09/2012/Pdf/CenterNews2012_P072.pdf

岐阜大学流域圏科学研究センターの廣岡佳弥子准教授と市橋修特任助教の研究グループでは、微生物燃料電池を用いてリン回収の技術を開発した。微生物燃料電池によるリン回収の概念図を図 2.3.4 に将来イメージを図 2.3.5 に示す。

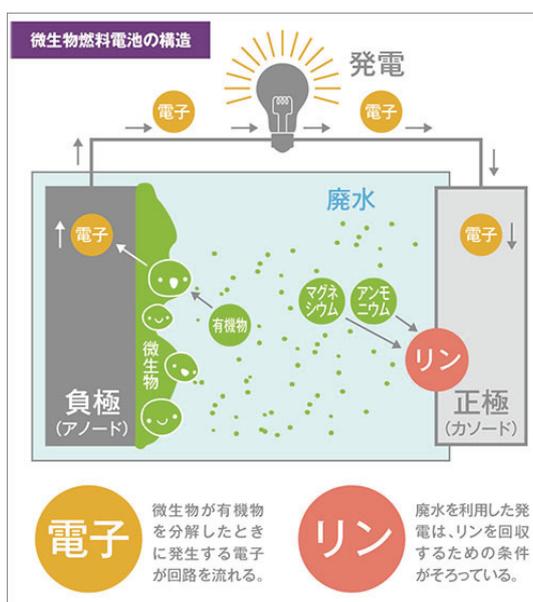


図 2.3.4 微生物燃料電池によるリン回収の概念図

出典： http://www.gifu-u.ac.jp/about/publication/g_lec/special/201411.html

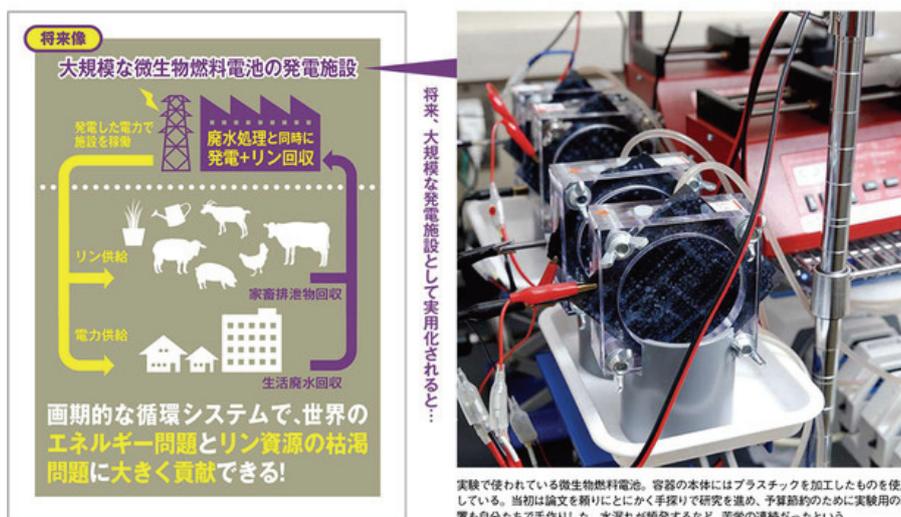


図 2.3.5 将来イメージ

出典： http://www.gifu-u.ac.jp/about/publication/g_lec/special/201411.html

この技術はカソード側にリンが析出しそれを回収するというものである。従来のリン回収技術としては MAP 法(Magnesium Ammonium Phosphate)や HAP 法(Hydroxyapatite)では pH 調整のために大量の薬剤が必要となる。しかし、岐阜大学の開発した技術では pH 調整を行わずにリン回収を行うことができる。また、養豚廃水を利用した実験でもリンをカソードへ回収できることが確認されている。しかし、リンを回収するためにはカソードから析出したリンをそぎ落とさなければならず回収コストや大型化への課題もある。

そして、微生物燃料電池は有機物を分解するという視点からみると前述の他にも牛糞や酪農排水、水圏堆積物であるヘドロや水田などの多岐に渡り利用が可能であり、様々な研究開発が行われている。このように、微生物燃料電池は地域の未利用バイオマス利用の可能性もある。実用化までの大型化やコスト、材料開発、微生物制御などの課題もあるが、さらに研究が進めば地域活性化の一助となるであろう。

3.3 今後の展望と課題

今年度は、新たなバイオマス利用技術として「微細藻類利用技術」と「微生物燃料電池」に注目し調査を実施した。

微細藻類は、国際的な航空会社の枠組みでは、2050年までにバイオ燃料の実用化を期待されており、国内での需要も伸びる可能性がある。国内需要分を輸入することは否定されていないが、この取り組みの趣旨からは、国産バイオ燃料への期待もある。ただし、現時点でバイオ燃料製造に利用するには、製造コストが高く、化石燃料由来の液体燃料に対して経済性を確保し、事業を成立させるには、まだ時間が必要であると考えられる。商業化に向けては製造コスト低減の技術開発を進めて行く必要があり、政府による技術開発・実証への支援や、商業設備への補助、バイオ燃料使用義務化等の政策的な後押しが期待される。

また微細藻類は、バイオ燃料としての特性だけでなく、健康食品など付加価値が高い商品としての利用や、飼料などの少量でも活用できる分野でも期待される。復興地でもこうした面も含んだ事業計画が出されており、藻類の持つ多面的な分野への可能性にも期待したい。需要が大きく社会的なインパクトも大きいバイオ燃料の実用化にあたっては、健康補助食品・化粧品等の販売単価が高い製品による事業化により、バイオ燃料技術開発の資金を確保しながら進めることも有効な手段の一つと考える。

微生物燃料電池は、廃水処理へ本格導入するには、まだ材料開発を含めた高効率化、大型化や低コスト化等の技術的課題が残っている。しかしながら、本技術は、農業・酪農分野、水質浄化等、多岐に渡る分野に導入できる可能性を秘めており、今後の精力的な開発推進が期待される。

今年度の調査研究で取り上げた技術以外にも、大学や研究機関等においてまだ様々なバイオマス関連の技術開発が進められている。来年度も新たなバイオマス利用技術の調査研究を継続し、将来の地域活性化の一助となるような技術について技術の持つ可能性と、普及に向けた課題について調査を行いたい。

参考文献・情報

- 1) 産業競争力懇談会 COCN：農林水産業と工業の連携研究会 微細藻燃料分科会 2010年度研究会最終報告書
- 2) 定期航空協会（2014年）：バイオジェット燃料の動向「加速する世界の動きと日本のこれから」http://gsdm.u-tokyo.ac.jp/file/140308s4k1_terasaki.pdf
- 3) 株式会社ユーグレナ：<http://www.euglena.jp/>
- 4) IHI NeoG Algae 合同会社：<http://www.neo-morgan.com/INeoG/>
- 5) 筑波大学：藻類バイオマスエネルギーシステム開発実証・実験設備パンフレット
- 6) 東北復興次世代エネルギー研究開発機構：微細藻類のエネルギー利用に関する研究開発、<http://net-tohoku.sakura.ne.jp/wp/task2>
- 7) 電源開発株式会社：微細藻類を用いたバイオ燃料生産の将来展望、電気論評 2010.10
- 8) スメーブジャパン株式会社：<http://www.smabe.co.jp/index.html>
- 9) 仙台市 HP：藻類バイオマスに係る研究開発の推進
<http://www.city.sendai.jp/business/d/sourui.htm>
- 10) 藻類産業創成コンソーシアム（2012）：農山漁村における藻類バイオマスファームの事業化可能性調査報告書
- 11) 東松島市バイオマス産業都市構想（平成25年4月）：東松島市バイオマス産業都市構想におけるメタンガス事業など
- 12) 株式会社エヌ・ティー・エス：微生物燃料電池による廃水処理システム最前線
- 13) 東京薬科大学 生命エネルギー工学研究：
<http://logos.ls.toyaku.ac.jp/~bioenergy1/index.html>
- 14) 公益社団法人 日本農芸化学会 化学と生物 Vol.50 No.3 2012：
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu/50/3/50_150/_pdf
- 15) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：<http://www.nedo.go.jp/>
- 16) 群馬大学 研究報告 電力の直接的回収が可能な新規廃水処理プロセスの開発 微生物燃料電池型廃水処理の可能性：
http://www.ccr.gunma-u.ac.jp/09/2012/Pdf/CenterNews2012_P072.pdf
- 17) 岐阜大学 大学案内：
http://www.gifu-u.ac.jp/about/publication/g_lec/special/201411.html

第4章 バイオマスとその他の再生可能エネルギー

4.1 我が国のエネルギー政策・環境政策

4.1.1 エネルギー政策基本法

東日本大震災の際の東京電力福島第一原発の事故を踏まえ、我が国では原子力発電に依存しない電力供給体制の見直しが進められており、なかでも現在はまだ主要電源とはなっていない再生可能エネルギーやコジェネの活用を視野に入れた検証が進められている。

2002年6月に制定されたエネルギー政策基本法では、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るためにエネルギー基本計画を策定することを定め、少なくとも3年に1度の頻度で内容について検討を行い、必要に応じて変更を行うこととしている。この基本法に基づき、2003年10月に最初の計画が策定され、その後、2007年3月に第二次計画、2010年6月に第三次計画が策定された。この第三次計画では、2030年に向けた目標として、電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力および再生可能エネルギー由来）の比率を約70%とすること等を記載していたものの、策定後のエネルギーを巡る著しい環境変化により、我が国のエネルギー政策は、大規模な調整を求められる事態に直面することとなった。こうした中、2014年4月に策定された第四次計画では、中長期（今後20年程度）のエネルギー需給構造を視野に入れ、今後取り組むべき政策課題と、長期的、総合的かつ計画的なエネルギー政策の方針をまとめている。

再生可能エネルギーについては、固定価格買取制度の適正な運用を基礎としつつ、環境アセスメントの期間短縮化等の規制緩和を今後とも推進するとともに、高い発電コスト、出力の不安定性、立地制約といった課題に対応すべく、低コスト化・高効率化のための技術開発、大型蓄電池の開発・実証や送配電網の整備などの取組を積極的に進めていくこととしている。また、再生可能エネルギーを用いた分散型エネルギーシステムの構築は、地域に新しい産業を起こし、地域活性化につながるものであるとともに、緊急時に大規模電源などからの供給に困難が生じた場合でも、地域において一定のエネルギー供給を確保することに貢献するものである。このため、小規模な再生可能エネルギー源を組み合わせた分散型エネルギーシステムの構築を加速していくよう、個人や小規模事業者も参加しやすくするための支援を行っていくものとしている。

バイオマスの利用促進に関しては、木質バイオマス等 大きな可能性を有する未利用材の安定的・効率的な供給による木質バイオマス発電および木質バイオマス熱利用等について、循環型経済の実現にも資する森林資源の有効活用・林業の活性化のための森林・林業施策や農山漁村再生可能エネルギー法等を通じて積極的に推進し、農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギーの導入を推し進めていき、さらに、下水汚泥、食品廃棄物などによる都市型バイオマスや耕作放棄地を活用した燃料作物バイオマスの利用を進めるものとしている。

4.1.2 地球温暖化対策基本法案

温暖化対策を推進し、地球環境の保全ならびに現在および将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的として、2011年の第176回国会に再提出された法案であ

る。地球温暖化対策として、国内排出量取引制度や再生可能エネルギーの全量固定価格買取制度の創設を重要な施策として位置づけた。

4.1.3 固定価格買取制度（FIT、Feed-In Tariff）

エネルギー需要の多くを海外からの化石燃料に頼っている我が国は、世界的なエネルギー需要が増加している現在においては、今後も厳しい状況が続くと予想される。こうした中、太陽光や風力に代表される再生可能エネルギー（水力除く）の普及率は、わずか2.2%に過ぎない。日照条件や風況に恵まれている我が国において再生可能エネルギーの普及が進まない最大の理由は、再生可能エネルギーの発電コストが高価なことにある。

再生可能エネルギーの固定価格買取制度（図4.1.1-1）は、現在は普及率の低さ等が原因で高価な再生可能エネルギーを電力会社が一定価格で買取ることを定めた制度であり、まだコストの高い再生可能エネルギーの導入を加速するものである。対象となる再生可能エネルギーは、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスの5種類であり、買取価格は、定期的に見直しが行われ、最終的に経済産業大臣が定めることになっている。平成26年度の買取価格は表4.1.1-1の通りであり、バイオマスに関してはメタン発酵ガスと間伐材等由来の木質バイオマスの買取価格が優遇されている状況である。

一方、この再生エネルギーで発電されたその地域の電力会社が一定価格で買取ることを国が約束した制度が2年余りで見直しを余儀なくされている状況もある。これは複数の一般電気事業者（電力会社）において、再生可能エネルギー発電設備の接続申し込みに対する回答保留が生じたためである。これを受け、総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会新エネルギー小委員会および同小委員会系統ワーキンググループにおいて、問題点の整理および当面講ずべき対応策の検討を行い、新たな出力制御システムの下での再生可能エネルギー導入への移行および固定価格買取制度の運用見直しを進めた。見直し案は、太陽光発電の接続申し込みが殺到する状況を踏まえ、申し込みが接続可能量を上回った場合、電力会社は現行ルールの上限30日を超えて無補償の出力制御を行うことを前提に接続することが可能になる、今後の接続に関しては出力制御の対象を拡げ、家庭用も含む500kW未満の太陽光発電、風力発電も対象とし、時間単位の制御へ移行するといったものである。現在、関連する法律、施行規則の改正案についてのパブリックコメントの募集を実施している段階である。

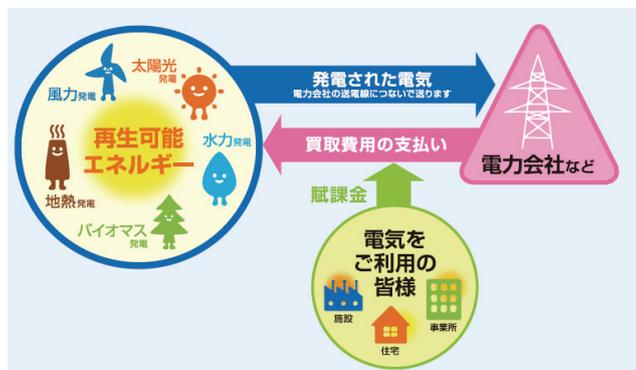


図 4.1.1-1 再生可能エネルギーの固定価格買取制度

出典：再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック

表 4.1.1-1 平成 26 年度の買取価格

電源	調達区分	調達価格1kWh当たり	調達期間
太陽光	10kW以上 	32 円(+税)	20 年
	10kW未満(余剰買取)	37 円	
	10kW未満(ダブル発電・余剰買取)	30 円	
風力	20kW以上	22 円(+税)	20 年
	20kW未満 	55 円(+税)	
風力 洋上 (※1)	—	36 円(+税)	
地熱	1.5万kW以上 	26 円(+税)	15 年
	1.5万kW未満	40 円(+税)	
水力	1,000kW以上30,000kW未満	24 円(+税)	20 年
	200kW以上1,000kW未満	29 円(+税)	
	200kW未満	34 円(+税)	
活用 中小水力 (※2)	1,000kW以上30,000kW未満	14 円(+税)	20 年
	200kW以上1,000kW未満 	21 円(+税)	
	200kW未満	25 円(+税)	

(※1)建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶によるアクセスを必要とするもの。
(※2)既に設置している導水路を活用して、電気設備と水圧設備を更新するもの。

電源	バイオマスの種類 	バイオマスの例	調達価格1kWh当たり	調達期間
バイオマス	メタン発酵ガス(バイオマス由来)	下水汚泥・家畜糞尿・食品残さ由来のメタンガス	39 円(+税)	20 年
	間伐材等由来の木質バイオマス	間伐材、主伐材(※3)	32 円(+税)	
	一般木質バイオマス・農作物残さ	製材端材、輸入材(※3)、パーム椰子殻、もみ殻、稲わら	24 円(+税)	
	建設資材廃棄物	建設資材廃棄物、その他木材	13 円(+税)	
	一般廃棄物・その他のバイオマス	剪定枝・木くず、紙、食品残さ、廃食用油、汚泥、家畜糞尿、黒液	17 円(+税)	

(※3)「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」に基づく証明のないものについては、建設資材廃棄物として取り扱う。

出典：再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック

4.2 再生可能エネルギーの普及状況

4.2.1 我が国の再生可能エネルギーの発電比率

我が国の発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合は図4.2.1-1に示す通り、2013年の時点で10.7%（推計値）であり、水力を除けばわずか2.2%に過ぎない。他の諸外国と比較してもその割合は低いものとなっている。我が国で普及が遅れている原因には、地理上の問題から来る太陽光、風力のコスト高があげられるほか、バイオマスについてはエネルギー密度の低いバイオマスを効率的に収集するインフラ整備の遅れ、熱量に合わせた需要とのマッチングが他国と比べて最適化されていないことが挙げられる。

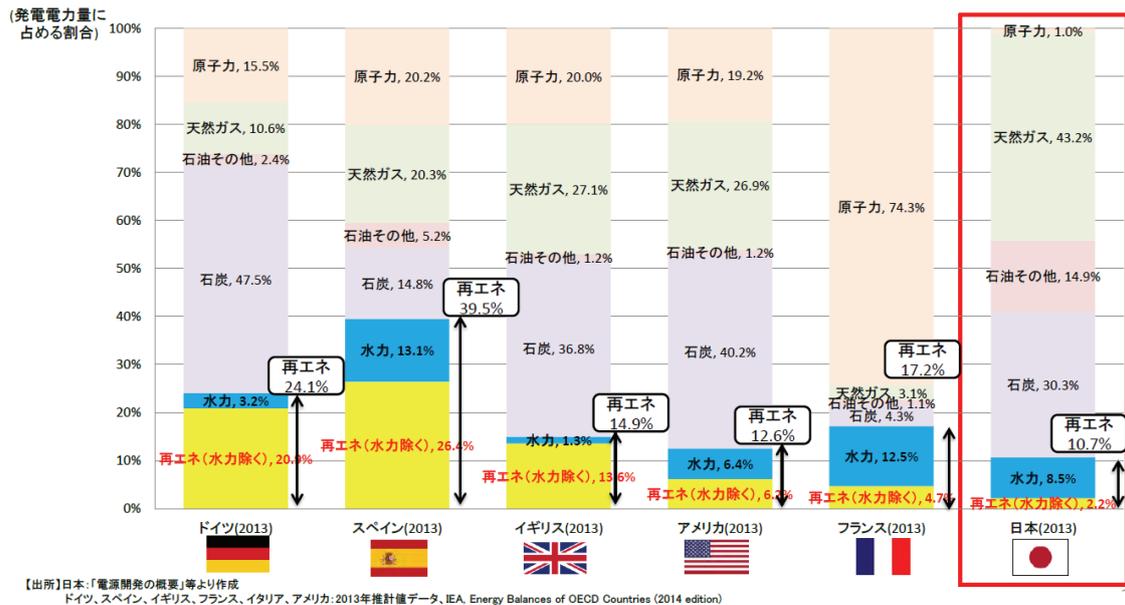


図 4.2.1-1 我が国の再生可能エネルギーの発電比率

出典：再生可能エネルギーの状況について

4.2.2 再生可能エネルギーの伸び

我が国では、補助金による支援やRPS制度による支援から、固定価格買取制度(FIT)へとシフトしてきたことにより、ファイナンス環境が改善され、再生可能エネルギーへの投資が活性化したため、再生可能エネルギーの普及は加速している。なかでも、太陽光発電設備の導入が順調であるが、バイオマス等のその他の再生可能エネルギーも着実に普及が進んでいる。なお、平成24年7月に開始された固定価格買取制度(FIT)により、平成25年度の再生可能エネルギー発電設備導入量は前年度比32%の上昇があり、この制度が再生可能エネルギーの普及のためには不可欠であることが分かる。今後の更なる普及のためには、送電網の整備、規制改革の推進といった事業環境の整備が求められている。

表4.2.2-1 平成26年1月末時点における再生可能エネルギー発電設備の導入状況

再生可能エネルギー発電設備の種類	設備導入量 (運転を開始したもの)			認定容量 固定価格買取制度導入後 平成24年7月～平成26年1月末
	固定価格買取制度導入前 平成24年6月末までの累積導入量	固定価格買取制度導入後 平成24年度の導入量 (7月～3月末)	固定価格買取制度導入後 平成25年度の導入量 (4月～1月末)	
太陽光 (住宅)	約470万kW	96.9万kW	113.3万kW	237.0万kW
太陽光 (非住宅)	約90万kW	70.4万kW	460.8万kW	2,877.4万kW
風力	約260万kW	6.3万kW	1.1万kW	96.7万kW
中小水力	約960万kW	0.2万kW	0.3万kW	25.3万kW
バイオマス	約230万kW	3.0万kW	8.9万kW	84.6万kW
地熱	約50万kW	0.1万kW	0万kW	1.3万kW
合計	約2,060万kW	176.9万kW	584.4万kW	3,322.3万kW (851,455件)
		761.3万kW (562,278件)		

出典：再生可能エネルギーの状況について

4.2.3 バイオマス発電設備の推移

バイオマス発電には、石炭火力混焼や廃棄物発電などの大規模発電から、チップボイラー、家畜糞尿バイオガス発電に至るまで、種類・規模は多岐にわたる。バイオマスは、大気中のCO₂を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性により地球温暖化対策にも有効であり、今後も普及していくことが見込まれる。図4.2.3-1の通り、2014年5月末の時点では、バイオマス発電の認定設備数が170件、導入設備数が56件となっており、固定価格買取制度(FIT)による一定の効果が見られるものの、バイオマス発電設備の設備容量は、太陽光等と比較すると未だ伸びが小さいと考えられる。

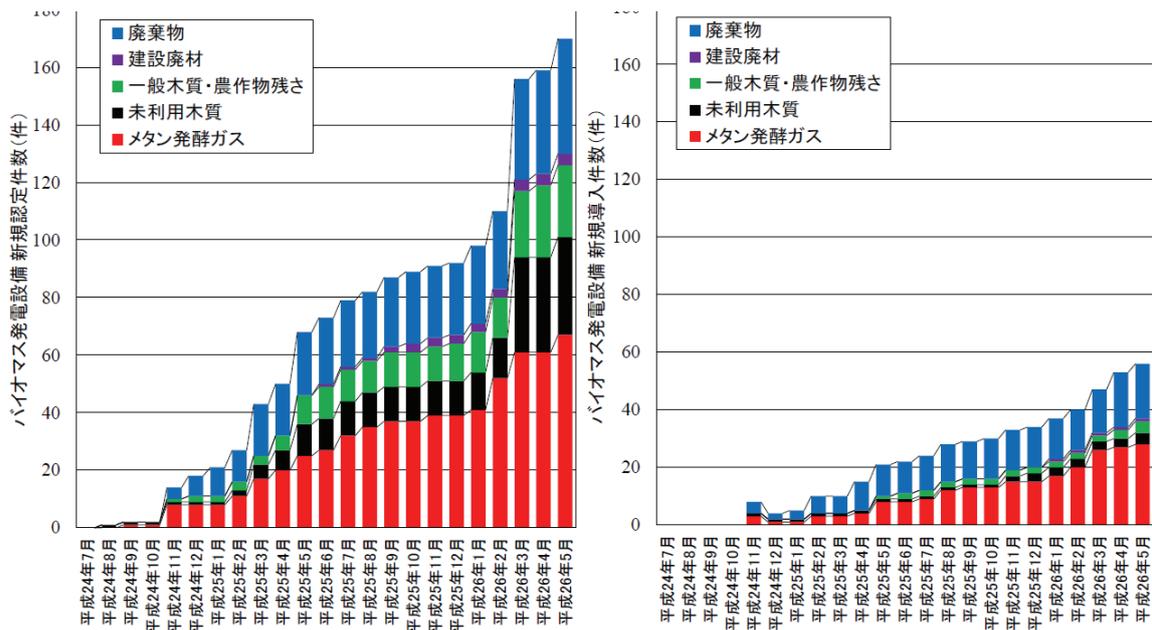


図4.2.3-1 バイオマス発電設備の推移（新規認定分と導入設備数）

出典：バイオマス発電事業の持続的な普及に向けて

4.3 再生可能エネルギーのコスト試算

4.3.1 再生エネルギー発電コストの算出方法の基本的な考え方

エネルギーのコスト試算については、平成23年に政府のエネルギー・環境会議が設けたコスト等検証委員会が取りまとめた「コスト等検証委員会報告書」の中で十分な議論が行われている。この報告書でのコスト試算では、これまでの原子力や火力などの発電コスト試算とは異なり、再生可能エネルギーやコージェネレーションなどの新たな電源、さらには省エネルギーに関しても試算を行っている。また、発電コストのみならず、事故リスク対応費用やCO₂対策費用、政策経費などのいわゆる社会的費用も加味するなど、徹底的な検証が行われた。この試算に当たっては、経済産業省、環境省、農林水産省をはじめとする各省庁、電力会社などの関係事業者および国際機関が持つ最新の情報、委員会に参加した委員各位の知見を集約しており、この意味で最新の知見を集約した戦略策定の基礎となり得るものと考えられている。本項では、コスト等検証委員会報告書におけるコスト試算について紹介する。

コスト等検証委員会では、将来の見通しを示すことが可能なモデルプラントをベースとした試算を基本としており、試算方法の基本的なスキームは次の通りである。

- ①最近の実績などから、各電源のモデルプラントを設定（性能、出力、規模など）
 - ②各モデルプラントの発電費用算出の前提となる条件を設定（建設費、燃料費、稼働率、稼働年数、人件費など）
 - ③モデルプラントが稼働している間に必要となる総費用を総発電量で割って、発電原価を算出
 - ④総費用に社会的費用も追加
- 以上をまとめると次のようになる。

$$\frac{\text{資本費} + \text{運転管理費} + \text{燃料費} + \text{社会的費用(環境対策費用(CO}_2\text{対策費用)} + \text{事故リスク対応費用} + \text{政策経費)}}{\text{総発電電力量}}$$

各電源のモデルプラントを前提とした発電コスト(円/kWh)

4.3.2 発電コスト算出における前提条件

1) 稼働開始年

2010年、2020年、2030年それぞれに稼働を開始するモデルプラントを想定している。但し、洋上風力（浮体式）については、2012年時点では我が国で実用化されていないことから、2020年、2030年のモデルプラントのみを設定している。

2) 割引率

割引率とは、長期的な投資効率を評価する等の目的で、将来の金銭的価値を現在の価値に割り引く（換算する）際に用いる利率を1年あたりの割合として示したものである。割引率は、経済情勢や評価の目的により変わりうることから、割引率を幅広く設定し、0%、1%、3%、5%の4通りを試算している。

3) 出力規模

太陽光、陸上風力、小水力、バイオマスについては、直近3年間に建設が終了した設備に対する補助実績のデータや、関連事業者へのインタビューにより設定している。洋上風力については、海外の洋上着床式ウィンドファームを参考に設定、一般水力については、2004年試算以降の直近7年間に稼働した発電所3基をサンプルプラントに採ってその平均値としている。地熱については、NEDOの地熱開発促進調査を基に絞り込んだ、開発可能資源量の密度の高い重点地点全31地点の発電出力の平均としている。

4) 設備利用率

関連事業者へのインタビュー、経済産業省ガイドライン、実績等を踏まえ設定している。

5) 稼働年数

実態を踏まえつつ、電源の比較という観点も考慮し設定している。

以上の前提条件から各電源のコスト試算を行うための試算条件（出力規模、設備利用率、稼働年数）をまとめると表4.3.2-1になる。なお、今後の地域産業の活性化に必要な発電事業の一つとなりうる木質専焼バイオマス発電の出力規模は、5,000kwで設定されている。また、設備利用率は、太陽光や風力と比較すると高く設定できることがわかる。

表 4.3.2-1 再生可能エネルギーのコスト試算条件

電源	太陽光住宅用	太陽光小ソーラー	風力(陸上)	一般水力	小水力	地熱	バイオマス木質専焼	バイオマス石炭混焼
出力規模	4kW	1200kW	2万kW	1.2万kW	200kW	3万kW	5000kW	75万kW
設備利用率	12%	12%	20%	45%	60%	80, 70, 60, 50, 10%	80, 70, 60, 50, 10%	80, 70, 60, 50, 10%
稼働年数	25年 20年	25年 20年	25年 20年	60年 40年	40年 30年	50年 40年 30年	40年 30年	40年 30年

出典：再生可能エネルギーの発電コスト試算について

4.3.3 再生可能エネルギーの発電コストの比較

1) 再生可能エネルギーの発電コスト

(1) 風力（陸上・洋上ー着床式）

陸上風力については、立地条件により建設コストが異なるが、系統制約もなく建設コストが安いケース等の条件がそろったケースでは2010年モデルプラントで10円/kWh程度、2030年モデルプラントで9円/kWh程度（割引率3%、設備利用率20%、稼働年数20年）と、原子力、石炭、LNGと同等のコストになりうると試算された。

洋上風力については、資本費を陸上風力の1.5～2倍と見込み、2020年モデルプラントで9.4～23.1円/kWh、2030年モデルプラントで8.6～23.1円/kWhと試算した（割引率3%、設備利用率20%、稼働年数20年）。洋上風力は、今後のイノベーション次第では、コスト低下も期待できる。なお、洋上風力には他に浮体式があるが、今回の試算の前提としては、コスト算定に必要なデータが不足することから対象としていない。

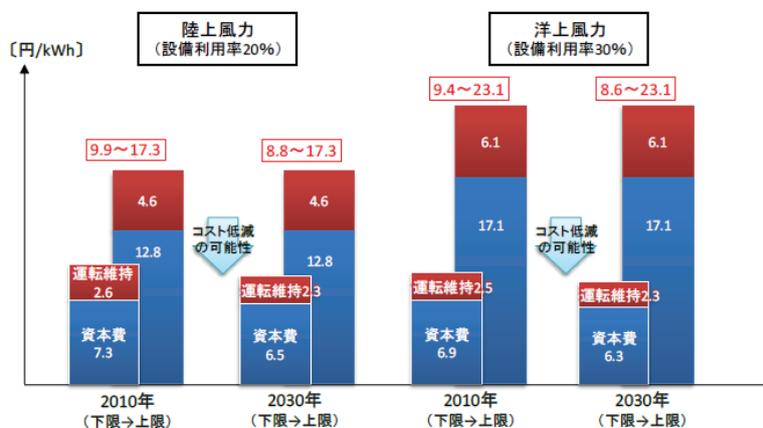


図 4.3.3-1 風力発電の発電コスト

出典：コスト等検証委員会報告書

(2) 地熱

地熱については、再生可能エネルギーの中では、長い年月にわたり、安定的な発電が可能という特徴があり、コストも9.2～11.6 円/kWh と試算され（割引率3%、設備利用率80%、稼働年数40年）、コスト的には原子力や石炭と同レベルと言える。

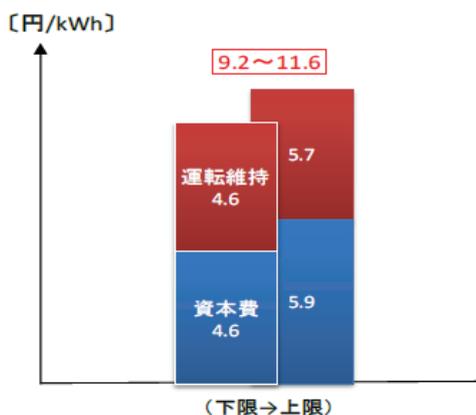


図 4.3.3-2 地熱発電の発電コスト

出典：コスト等検証委員会報告書

(3) 太陽光（住宅用・メガソーラー）

太陽光については、2010年モデルシステムの発電コストは、30 円/kWh 以上（割引率3%、設備利用率12%、稼働年数20年）と、他の電源と比べても、高い水準であるものの、足元でも、システム価格が低下しつつあり、また、2030年には量産効果などにより、大幅な価格低下が期待され、現在の2分の1から3分の1にまでコストが下がる可能性がある。これが実現できれば、石油火力（割引率3%、設備利用率10%、稼働年数40年）よりも安い水準が達成される。次世代太陽電池など革新的な技術が実現すれば、さらに下がる可能性もある。

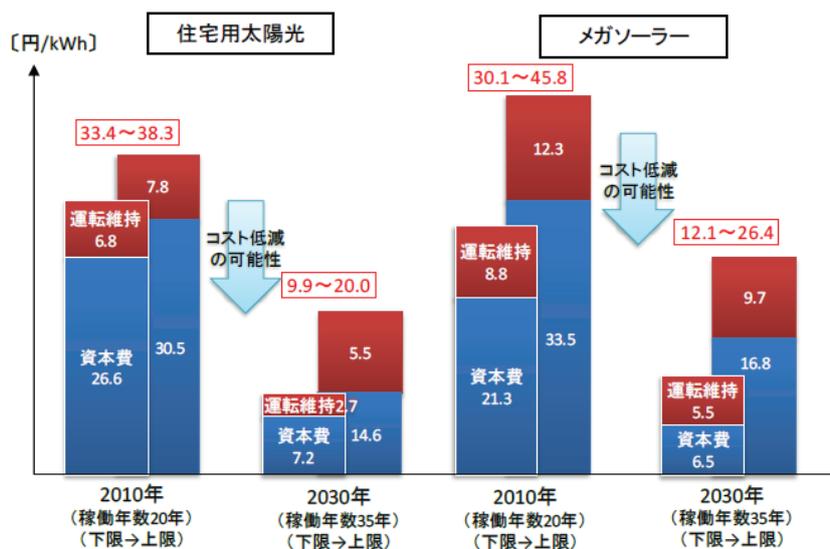


図 4.3.3-3 太陽光発電の発電コスト

出典：コスト等検証委員会報告書

(4) 一般水力・小水力

一般水力の発電コストは、10.6円/kWh(割引率3%、設備利用率45%、稼働年数40年)であり、ベース電源としても他の電源と比して同レベルである。小水力の発電コストは、19.1~22.0円/kWh(割引率3%、設備利用率60%、稼働年数40年)と試算された。

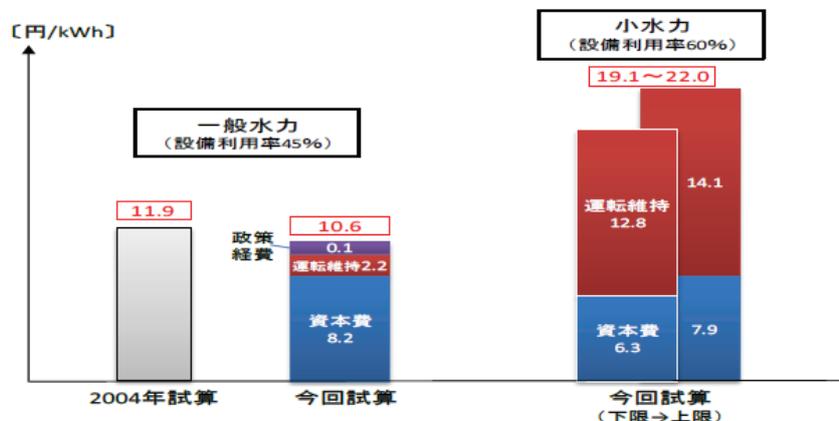


図 4.3.3-4 水力発電の発電コスト

出典：コスト等検証委員会報告書

(5) バイオマス (木質専焼・石炭混焼)

石炭混焼の発電コストは、石炭混焼を行っている石炭火力発電所全体で見ると、CO₂対策費が減少する一方で、木質チップの単位発電量当たり価格が石炭よりも高いこと等から、通常の石炭火力発電(2010年モデルプラント)の発電コストが9.5~9.7円/kWhであるのに対し、石炭混焼(バイオマス割合重量比3%)の発電コストは9.5~9.8円/kWhと試算された(割引率3%、設備利用率80%、稼働年数40年)。

木質専焼の発電コストは、17.4~32.2円/kWh(割引率3%、設備利用率80%、稼働年数40年)と他の電源と比べても高い水準であるが、これは燃料として未利用間伐材を活用するためには、山間部における収集・運搬等の作業が必要となること等によるものである。

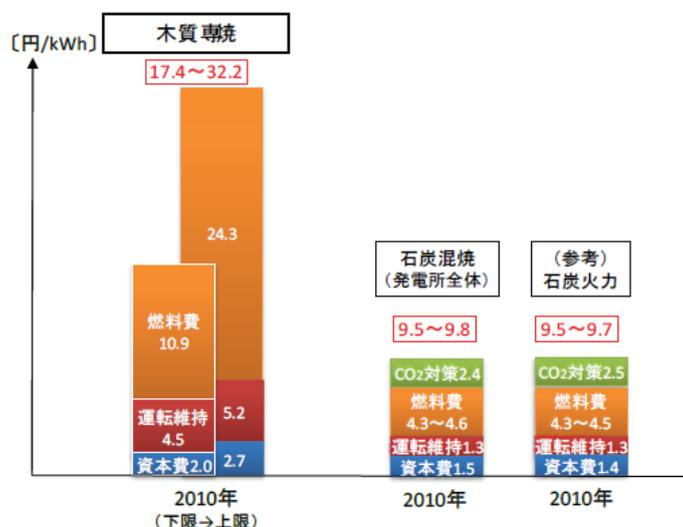


図 4.3.3-5 バイオマス発電の発電コスト

出典：コスト等検証委員会報告書

2) 各種再生可能エネルギー間の発電コスト比較

風力や地熱については、立地制約や系統安定・増強といった課題はあるが、これらの課題を解決することにより、条件がよい場所については、原子力、石炭などと対抗しうるコスト水準にあり、一定の役割を担う可能性がある。太陽光に関しては、大量導入に当たっては、電力システム全体としての系統安定化などの課題はあるものの、世界市場の拡大に伴う量産効果によりコストの低下が見込まれ、石油火力よりもコスト面で優位となり、ピーク時の需給の逼迫の改善に資する電源として期待される。小水力やバイオマス等は、地域資源の有効活用による新しいエネルギーシステムの構築に貢献しうるため、需要家や地域による主体的な選択によって新たなエネルギーミックスの一翼を担いうと考えられている。

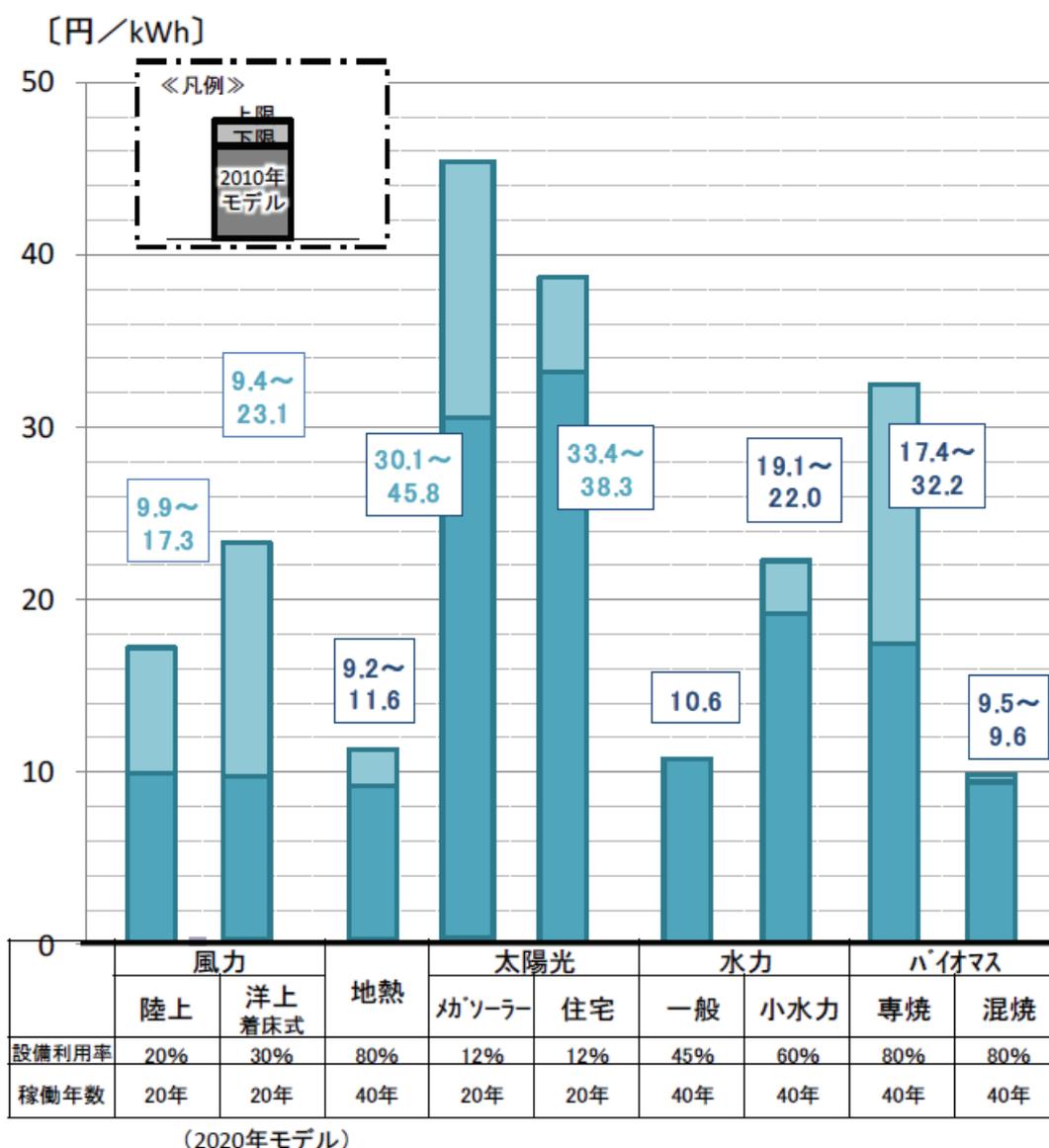


図 4.3.3-6 各種再生可能エネルギー間の発電コスト比較

出典：再生可能エネルギーの発電コスト試算について

4.3.4 再生可能エネルギーのシステム費用と運転維持費

再生可能エネルギーの導入にあたっては、そのシステム費用（設備費）と運転維持費を把握しておくが不可欠である。特にバイオマスを原料とした発電を進める場合は、原料の種類、その収集に伴う費用によってシステムの構成が大きく異なるため、システム費用が大きく異なる場合がある。また、運転維持費は、原料価格に影響される以外にも、運営形態によっても左右される。

今年度視察を実施した珠洲市浄化センター、黒部浄化センターは、下水処理場内にメタン発酵設備を設置し、バイオガスをそれぞれ熱利用、発電しているが、こうした既存インフラとの融合により、原料の確保が容易となり運転維持費の低減が期待できる。なお、南但クリーンセンターは、熱回収設備（焼却設備）とバイオガス化設備を組み合わせたコンバインドシステムであり、一般廃棄物処理施設においても固定価格買取制度(FIT)が適用可能なことを示した事例である。

再生可能エネルギーのシステム費用と運転維持費は、様々な要因で変動するものの、ここでは、平成26年度の固定価格買取制度(FIT)の調達価格（買取価格）の算定根拠となったシステム費用と運転維持費を表4.3.4-1に紹介する。

表 4.3.4-1 再生可能エネルギーのシステム費用と運転維持費

電源	システム費用 (万円/kw)	運転維持費 (万円/kw/年)
住宅用（10kW未満）太陽光	38.5	0.36
非住宅用（10kW以上）太陽光	29.0	0.6
陸上風力発電	30.0	0.6
地熱	123	4.8
木質バイオマス	41	2.7
廃棄物バイオマス	31	2.2
メタン発酵バイオガス	392	18.4

一方、システム費用と運転維持費以外にも、土地造成費、土地賃借料、および接続費用等も十分検討をしておく必要がある。さらに表4.3.2-1に示した設備利用率および稼働年数は重要な要素であり、単に出力あたりのシステム費用が安価な場合でも、設備利用率が低い場合は、システム費用は実質的に高価になる傾向があるうえ、安定的な電源供給が難しいことを示す。システム費用については、今後、再生可能エネルギーの普及や技術の向上が進むにつれて下がっていくことが期待されている。

表4.3.4-1において、バイオマス関連のシステム費用および運転維持費が高い傾向にあるが、バイオマス関連の発電では、発電以外にも熱源の供給が可能であることや廃棄物処理としての重要な役割を持たすことが可能であり、太陽光、風力による発電にはないメリットがあるため、今後、こうした面での評価を行っていく仕組みが望まれる。

4.3.5 バイオマスの熱利用

バイオマス発電のメリットは、発電以外にも熱源の供給が可能であることは前項で触れた。木質バイオマスを利用した場合のエネルギー効率（熱源）は、小型のストーブであっても80%以上となる。一方、発電効率という面では、木質バイオマス原料の含水率等により幅はあるものの、地域単位で導入が可能な5,000kWクラスの発電設備であっても、効率はせいぜい20%程度である。ちなみに、今年度視察を行った東農ひのき製品流通協同組合の600kWの発電効率は規模が小さいことも手伝い、約10%程度である。

世界全体、OECD加盟国および日本において、一次エネルギー供給全体に対する再生可能エネルギー供給の割合は、それぞれ2011年時点で13.0%、8.1%、4.2%である。世界全体ではこの数値は経年で概ね横ばいであり、OECD加盟国、日本では近年増加の傾向にある。また、供給されている再生可能エネルギーの中では、特にバイオ燃料（固体・液体）・廃棄物の割合が高い（図4.3.5-1～3）。世界全体において特にその傾向は顕著である。途上国における薪等の非商業用バイオマスの利用が大きな割合を占めると推測される。

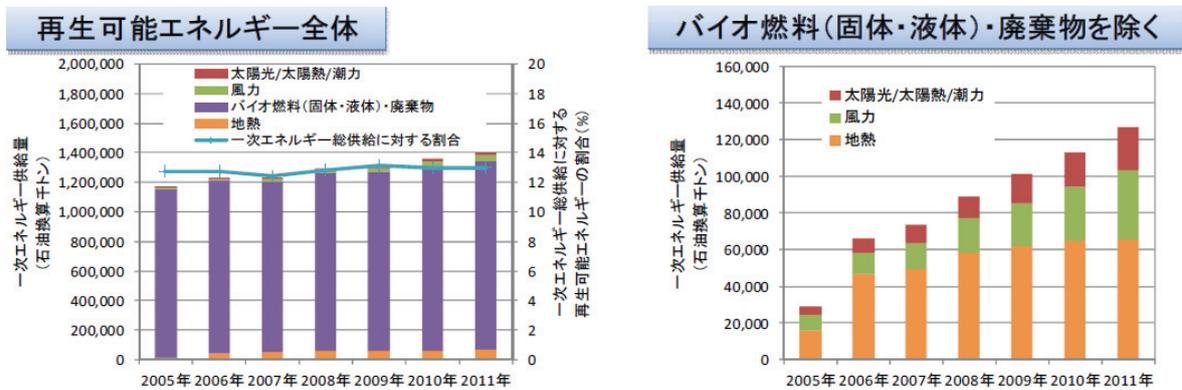


図4.3.5-1 再生可能エネルギーによる一次エネルギー供給の供給実績（世界全体）

出典：2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書

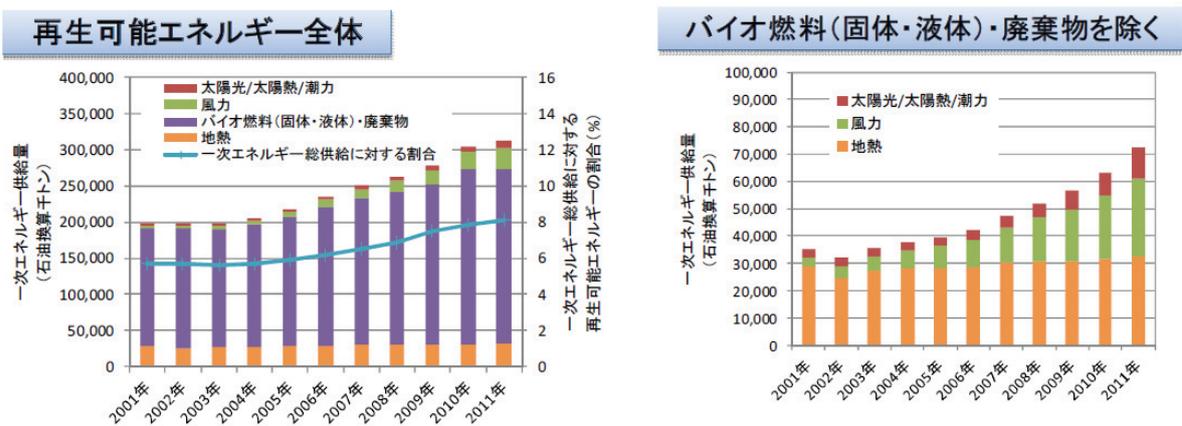


図4.3.5-2 再生可能エネルギーによる一次エネルギー供給の供給実績（OECD加盟国）

出典：2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書

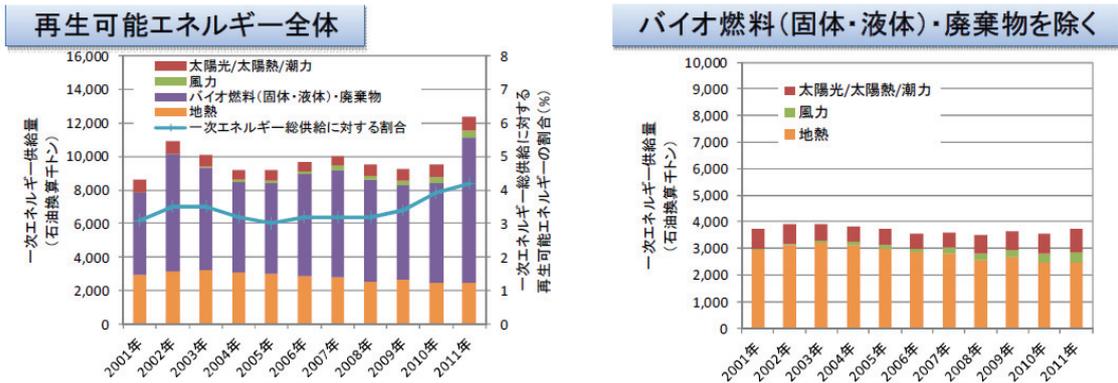


図4.3.5-3 再生可能エネルギーによる一次エネルギー供給の供給実績（日本）

出典：2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書

現在のところ、日本における再生可能エネルギーの推進については、固定価格買取制度 (FIT)が主体になっており、発電ベースで考えることが多い。しかし、熱の利用を含めた一次エネルギーとして見た場合は、バイオマスが寄与する割合は非常に高く、今後、省エネやCO₂削減を目指す観点では、このような統計的な事実を元に目標設定と達成率管理を考えていくべきである。つまり、一次エネルギーの削減、温暖化の防止のためには、熱電併給が可能なバイオマスの利用を推進していくべきである。日本でも熱利用を促進する動きはある。図4.3.5-4に示す地域再生可能エネルギー熱導入促進事業補助事業等により採択額は未だ小さいものの、熱利用設備の採択件数が徐々に増えてきている。こうした動きとともに、熱利用が、エネルギー換算でどのくらい貢献しているのか、きちんと統計をとる仕組みも重要で、そうすることで、こうした取り組みの成果と、固定価格買取制度(FIT)等の電力面からの支援との関連性などが見えてきて、バランスの良い支援に近づくものと考えられる。

○地域再生可能エネルギー熱導入促進対策事業
【補助率 1/2以内】
地方自治体等による熱利用設備導入及び地方自治体と連携して行う熱利用設備導入に対し、その最大1/2を補助。

○再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業
【補助率 1/3以内】
民間事業者による熱利用設備導入に対し、その最大1/3を補助。

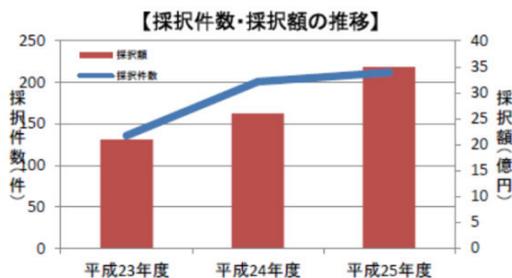


図4.3.5-4 地域再生可能エネルギー熱導入促進事業

出典：再生可能エネルギーを巡る現状と課題

一方、EUでは、再生可能エネルギーの導入目標を、発電と輸送燃料、熱供給のそれぞれで掲げている。燃料や熱供給に直結する再生可能エネルギーは、バイオマスだけなので、この意味でもバイオマス導入が推進されている。EUに加えてドイツや英国、日本での再生可能エネルギー導入見通しを表4.3.5-1に示した。日本では再生可能エネルギー電力の割合以外の統計値は整理されておらず、熱供給や輸送燃料の導入目標が定まっていないことが分かる。

表4.3.5-1 再生可能エネルギー導入目標

	EU	ドイツ	英国	日本※
最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合	24.5-25.5% (14.1%)	19.6% (12.4%)	15% (4.2%)	—
電力供給に占める再生可能エネルギー電力の割合	39.2-39.8% (23.5%)	35% (23.6%)	31% (10.8%)	18% (10.0%)
熱供給に占める再生可能エネルギー熱の割合	28-29% (15.6%)	15.5% (11.1%)	12% (2.3%)	—
輸送燃料に占める再生可能エネルギー燃料の割合	8.7-9% (5.1%)	13.2% (6.9%)	10.3% (3.7%)	—
出典	[EREC, 2010] Eurostat統計値	[ドイツ政府,2010] [ドイツ連邦環境省, 2010] Eurostat統計値	[英国政府,2010] Eurostat統計値	[国家戦略室,2012]

出典：2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書

日本で固定価格買取制度(FIT)導入が閣議決定された時も、原発事故に関わる代替電力の観点から議論されてきた。『日本の固定価格買取制度(FIT)には、理根がない』との評も聞くが、将来に達成したい目標の優先順位や具体像に乏しいために、固定価格買取制度(FIT)以外の補助制度との関連づけがしにくい。また、何故20年固定なのかも、制度ありきで進んでいるので、期間の妥当性も議論しにくい。

固定価格買取制度(FIT)を推進してきて、意識も高まってきたところで、熱利用の観点や燃料調達を持続可能性の面からの目標設定と併せて、再生可能エネルギー全体をどうしていきたいか、大枠での目標を設定して、統合的に進めて行くことが重要である。

4.3.6 廃棄物系バイオマス活用ロードマップ

今年度視察を行った南但クリーンセンターは、熱回収設備（焼却設備）と乾式のバイオガス化設備を組み合わせた新しいコンバインド方式の一般廃棄物処理施設であり、今後の普及が望まれる。環境省は、廃棄物系バイオマス活用ロードマップにおいてコンバインド方式のコスト試算を行っている。その要約を以下に紹介する。ちなみに、バイオガス化の方式には湿式と乾式があるが、その明確な区分けは存在しないようである。

既存の焼却処理施設を更新する際の選択肢として、バイオガス化施設が経済性や環境負荷の面でどの程度の有利さを有するのかを明らかにすることを目的とし、「湿式メタンコン

バインド」「乾式メタンコンバインド」「全量焼却」の比較を行っている。まず、小規模都市での展開を念頭に、生ごみ 20t/日（可燃ごみ 65t/日）での 3 方式の比較を行った。結果は、「乾式メタンコンバインド」が最も経済性と環境負荷の面で優れていることが示された。試算においては、乾式メタン発酵設備が紙ごみを含めて処理するために 40t/日としている一方で、湿式メタン発酵が生ごみのみのため 20t/日と施設規模に 2 倍の差（コンバインドとして設ける焼却処理施設はその逆の関係）があることに伴い、施設規模やバイオガスの原料の違いによる最終的な売電量が大きく異なることを示している。ただし、経済的には収支がプラスとなっているが、発電量が 5% 下振れした場合には相殺されてしまう程度の幅であることも示された。続いて、実際の導入事例等へのヒアリングの際に「湿式メタン発酵の場合には 50t/日程度の規模があると経済性（事業採算性等）が向上する」という指摘があったことを踏まえ、生ごみ 50t/日（可燃ごみ 162t/日）での 3 方式の比較を行った。試算の条件として、乾式メタンコンバインドは 102t/日規模での試算を行ったが、実際に同規模の事業が実施されている実績は無く、今後このような施設規模のものが稼働した場合の経済性や環境負荷としての参考にする意味で試算を行った。結果は、湿式メタン発酵に関する経済性が改善し、プラスに近く改善することが示され、全量焼却との比較では、規模を大きくするとその差が拡大することが示された。上記の生ごみ 20t/日（可燃ごみ 65t/日）、生ごみ 50t/日（可燃ごみ 162t/日）についてはすべて自治体直営事業（人件費は行政コストとして別建て）を前提に試算を行った。この条件では、湿式・乾式ともに、例えば焼却施設の更新と合せてバイオガス化施設（湿式）を導入しようとする際に、焼却処理施設を一定規模維持することによって結果的に施設整備費支出を小さくするといった工夫が可能であり、更なる経済性の向上を図ることが可能である。最後に、民間事業として既に展開例のある、「湿式」「焼却なし（処理委託）」「生ごみ 100t/日規模（湿式メタン発酵 2 系統）」の設備についての試算を行った。都市部ではこの 100t/日の事業が拡大する余地があり、また民間事業者の参入による効率的な事業運営等の期待も踏まえ、条件設定等に反映させている。事業実施方法も、自治体直営ではなく PFI や DBO 等を踏まえ、処理手数料を kg あたり 30 円と設定した上で、法人税引前内部収益率の比較を行っている。結果は、補助金なしの場合でも 4.62% の内部収益率を確保する事業構造であることが示されたが、当然のことながら施設整備に係るイニシャルコストを下げられればその値は改善する傾向にある。民間事業の実施のおおよその目安である内部収益率 10% を確保する水準として補助率 1/3 としているが、入札等の効果的な活用でイニシャルコストを低く抑える手法を組み合わせることで、より大きな内部収益率を前提に事業化を推進することが重要である。

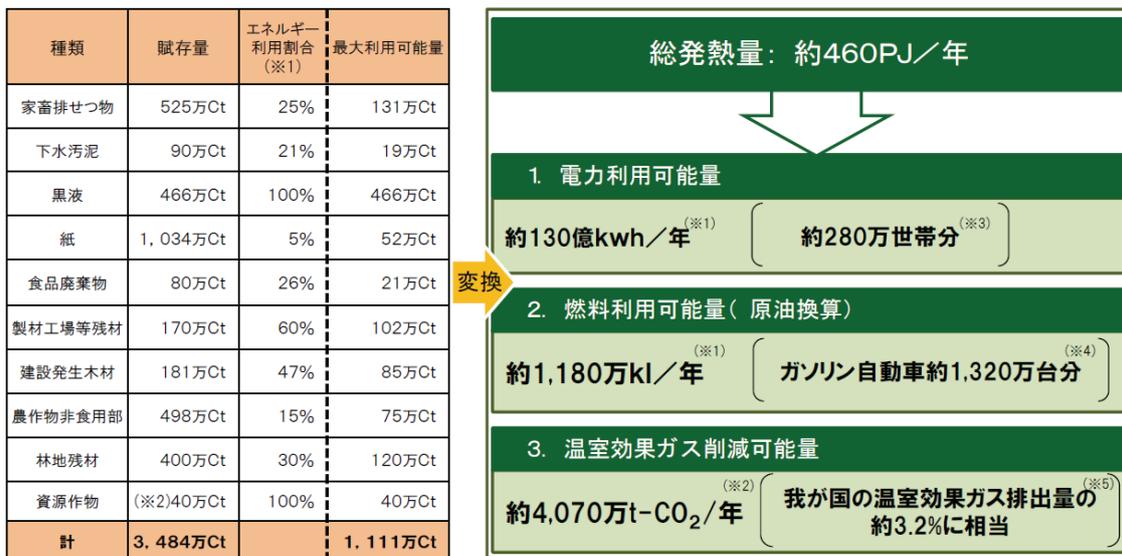
4.4 バイオマス利活用の普及に向けた取り組み

バイオマスは、地域に密着したエネルギー源であることから、自治体を始め、地域が主体となって導入促進を図ることが重要であり、国民各層がエネルギー問題を自らのこととして捉える機会を創出するものである。加えて、再生可能エネルギーを用いた分散型エネルギーシステムの構築は、地域に新しい産業を起し、地域活性化につながるものであるとともに、緊急時に大規模電源などからの供給に困難が生じた場合でも、地域において一定のエネルギー供給を確保することに貢献するものである。このため、小規模な再生可能エネルギー源を組み合わせた分散型エネルギーシステムの構築を加速していくよう、個人や小規模事業者も参加しやすくするための支援を行っていく必要がある。

4.4.1 バイオマスのエネルギー利用のポテンシャル

表4.4.1-1は、国内のバイオマスの賦存量およびそれらのエネルギー利用のポテンシャルを示したものである。エネルギー利用割合は、2020年における利用率目標を全てエネルギー利用向けの増加により達成するものと仮定し、試算したものである。また、電力利用可能量130億kWh/年は、発電ロス等を勘案し試算したものであり、総発電量から単純に換算した場合は、約10倍の値となる。

表4.4.1-1 バイオマスのエネルギー利用のポテンシャル



出典：バイオマスをめぐる現状と課題

4.4.2 バイオマス活用事例

バイオマスの活用については、その利用技術の到達レベルの横断的な評価に基づき、関係7府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）・自治体・事業者が連携し、コスト低減と安定供給、持続可能性基準を踏まえつつ、技術とバイオマスの選択と集中等によるバイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現していくための指針として、関係7府省が共同でとりまとめた「バイオマス事業化戦略」が平成24年9月に

策定された。このバイオマス事業化戦略においては、関係府省・自治体・事業者が連携して原料生産から収集・運搬、製造・利用までの経済性が確保された一貫システムを構築し、バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくりを目指す「バイオマス産業都市」の構築を推進することとされ、関係7府省が共同でバイオマス産業都市の構築を目指す地域を選定し、支援していくこととしている。

こうした中、一般社団法人日本有機資源協会は平成26年3月に「バイオマス産業都市構想作成の手引き」を作成した。この手引きでは、我が国の農村部・都市部の各地域における豊富なバイオマスをエネルギーやマテリアルとして創意工夫を活かして活用する事例を紹介しており、バイオマス活用による事業化を目指す地域産業の展開にとって良い参考事例となっている。バイオマス産業都市構想作成の手引きの中で紹介されている平成24年度バイオマス産業都市構築可能性調査事業のモデルを表4.4.2-1に示す。

表 4.4.2-1 バイオマス産業都市構築可能性調査事業のモデル

番号	モデル名	地域類型	事業主体	原料	変換技術
1	生ごみ・食品廃棄物のメタン発酵による発電(都市型)	都市、広域	民間事業者、(官民連携)	生ごみ(家庭系、事業系)、食品廃棄物(産業廃棄物)	メタン発酵(発電・ガス利用)
2	生ごみ・食品廃棄物・家畜排せつ物・汚泥等の複合メタン発酵による発電・熱利用・肥料化(中都市・農村連携型)	中都市-農村広域連携	自治体、民間事業者、官民連携(地域による)	生ごみ(家庭系、事業系)、食品廃棄物(産業廃棄物)、家畜排せつ物、汚泥(下水、し尿、農業集落排水等)	メタン発酵(発電・ガス利用)、肥料化(液肥化・堆肥化)
3	生ごみ・食品廃棄物のメタン発酵によるガス利用・肥料化	都市、農山村	自治体、民間事業者、官民連携(地域による)	生ごみ(家庭系、事業系)、食品廃棄物(産業廃棄物)	メタン発酵(ガス利用)、肥料化(液肥化・堆肥化)
4	家畜排せつ物のメタン発酵による発電・熱利用・肥料化	農山村、広域	自治体、民間事業者、官民連携(地域による)	家畜排せつ物、(生ごみまたは食品廃棄物)	メタン発酵(発電・ガス利用)、肥料化(液肥化・堆肥化)
5	木質バイオマス発電	都市・農山村広域連携	民間事業者	木質バイオマス(間伐材、製材工場等残材、建設発生木材)	直接燃焼、(熱分解ガス化)
6	木質バイオマス発電・熱利用(コジェネレーション)	農山村	民間事業者、(官民連携)	木質バイオマス(間伐材、製材工場等残材)	直接燃焼、(熱分解ガス化)
7	バイオマス等の混合燃料による発電	広域、自治体	民間事業者、官民連携(地域による)	木質バイオマス、汚泥(下水、し尿、農業集落排水等)、RPF等	直接燃焼(熱分解ガス化)
8	バイオマス固形燃料の製造	農山村、広域	自治体、民間事業者、官民連携(地域による)	木質バイオマス、汚泥(下水、し尿、農業集落排水等)、紙こみ等	固形燃料化(RPFを含む)
9	バイオディーゼル燃料(BDF)化と副産物の活用	広域	民間事業者、自治体、官民連携(地域による)	廃食用油(家庭系・事業系一般廃棄物、産業廃棄物)、〔資源作物〕	バイオディーゼル燃料化、副産物の活用(メタン発酵・堆肥化)
10	バイオマスの総合的な活用	都市-農村連携を含む広域連携	自治体、民間事業者、官民連携(複合)	家畜排せつ物、食品廃棄物、木質バイオマス、廃食用油、農業残さ等	メタン発酵(発電・ガス利用)、直接燃焼(熱分解ガス化)、バイオディーゼル燃料化、バイオエタノール化等

出典：バイオマス産業都市構想作成の手引き

4.5 今後の展望と課題

1) 今後の展望

再生可能エネルギーを用いたエネルギーシステムの構築は、地域に新しい産業を起こし、地域活性化につながるものであるとともに、緊急時に大規模電源などからの供給に困難が生じた場合でも、地域において一定のエネルギー供給を確保することに貢献するものである。このため、今後地域において、さらなるバイオマス利用を普及させていくためには、バイオマスの持つ以下のメリットを最大限に生かしていく必要がある。

(1) 木質バイオマス

- ① 発電地産地消によるエネルギー自給率の向上と、地域自立型エネルギー供給体制の構築
- ② 温室効果ガス発生量の削減・森林整備および林業と地域の活性化
- ③ 環境、生物多様性等の保全・新規事業および雇用の創出

(2) バイオガス

- ① 原料の確保が可能であれば、太陽光・風力等の他の再生可能エネルギーと比較して安定的な電力供給が可能になり、電力自給率の向上や温室効果ガス発生量の削減に寄与する。
- ② 廃棄物処理を始めとする地域の環境問題を解決しながらエネルギー（電気・熱）を生み出すとともに、河川・地下水等の環境保全に貢献できる。
- ③ 有機肥料製造等により、農山村地域の産業における雇用創出や産業連携（6次産業化）等の地域活性化に貢献する。
- ④ 下水道等の既存インフラとの連携が可能である。

2) 今後の課題

バイオマスを用いた再生可能エネルギー関連のプラントは、太陽光や風力といったその他再生可能エネルギーと比較すると、以下の面で今後解決していくべき課題がある。

- ① バイオマスプラントは、地元の調整、原料収集の調整、諸手続き等が必要であり、計画から稼働、系統連系まで時間がかかり、未だ認定件数も少ないことから、一定期間の買取価格維持に対する配慮が必要である。
- ② 系統が脆弱な地方に資源（原料）が豊富という特性から、送配電線の容量制約の影響を強く受けている。限られた資源である電力系統を有効利用する観点から、発電量の安定性というバイオマス発電のメリットを考慮した送配電線への接続ルールが必要である。
- ③ 熱利用（熱電併給）が可能であるが、立地条件等によっては難しい場合があることから、他の熱利用産業との連携に対する支援等の配慮が必要である。
- ④ 固定価格買取制度(FIT)等の支援を受けることにより、バイオマス発電設備の普及や市場の拡大を進め、機器の技術革新や量産効果の発現等を通じて価格低減を進める必要がある。

- ⑤ バイオガス発電については、メタン発酵施設から発生する消化液への評価が一般化すればその価値が上がり、発電コストの低下につながることから、消化液の有効性の認知拡大に対する支援が必要である。
- ⑥ 木質バイオマス発電については、特に、未利用木質バイオマスを最大限活用するために、大規模発電の隙間を埋める小規模発電が必要であり、小規模木質バイオマス発電の区分設定や、人員確保・人件費負担や各種検査にかかる初期費用負担等の軽減（コスト削減）のための規制緩和等の配慮が必要である。また、焼却灰処理についても十分な事前検討を要する。
- ⑦ 規模、対象が大きくなるほど地域内関係者（自治体、民間事業者、関係団体、住民等）の連携が難しい。

参考文献

- 1) 経済産業省 エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月）
- 2) 地球温暖化対策基本法案
- 3) 経済産業省 再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック
- 4) 経済産業省 再生可能エネルギーの状況について(系統ワーキンググループの背景)
- 5) 内閣官房国家戦略室 再生可能エネルギーの発電コスト試算について
- 6) コスト等検証委員会報告書
- 7) 日本有機資源協会 バイオマス発電事業の持続的な普及に向けて
- 8) 日本有機資源協会 バイオマスをめぐる現状と課題
- 9) 経済産業省 バイオマスの事業化に関する課題
- 10) 経済産業省 最近の再生可能エネルギー市場の動向について
- 11) 環境省 廃棄物系バイオマス活用ロードマップ
- 12) 森林・木材産業シンポジウム 木質バイオマス発電の動向と課題
- 13) 2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書
- 14) 日本有機資源協会 バイオマス産業都市構想作成の手引き

第5章 バイオマス利用の事例調査

5.1 東濃ひのき製品流通協同組合 視察

調査日：平成 26 年 11 月 6 日（木）13 時～16 時

場 所：〒509-1113 岐阜県加茂郡白川町三川 1539

1) 説明者

東濃ひのき製品流通協同組合 専務理事 渡邊 信吾氏

2) 入手資料

- ・白川町「森の発電所」ご案内
- ・平成 25 年度再生可能エネルギーの活用による地域活性化に関する調査事例集（国交省国土政策局、平成 26 年 3 月）

3) 事業概要

岐阜県白川町を中心とする多数の製材工場や建設業者が存在する地域において、廃棄物として処分されていた端材・おが粉・樹皮などの木材資源を 100%活用して発電している施設である。発電した電力を施設内の動力や照明として自給しているほか、余剰電力を電力会社に売電している。（表 5.1-1）

表 5.1-1 事業概要

事業主体	東濃ひのき製品流通協同組合
施設名	森の発電所 (森林資源活用センター)
事業開始年月	2004 年 3 月

出典：東濃ひのき製品流通協同組合 HP



写真 5.1-1 施設全景

出典：東濃ひのき製品流通協同組合 HP

4) 事業の経緯

事業の経緯は下記のとおりである。

- 1998年9月 ・白川町、東白川村、八百津町、七宗町の地域の製材会社、建設会社、森林組合など63社により東濃ひのき製品流通協同組合を設立
- 1991年 ・製品センター開設
- 2000年 ・地域の木材関係事業者等が木質系廃棄物の処理や有効利用を研究する木煙トリートメント推進会議発足
- 2001年3月 ・廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃棄物処理法）の改正
- 2002年12月 ・小型焼却炉の使用禁止
・林野庁 木質バイオマスエネルギー利用促進モデル事業に採択され、施設整備に着手
- 2004年3月 ・森の発電所の竣工、稼働
- 2011年 ・木材乾燥機を2基増設
- 2013年3月 ・固定価格買取制度の認定を受ける

製材所等で発生する端材はもともと焼却処理をしていたが、廃棄物処理法の改正によりそれまで使用していた焼却炉が使用できなくなったことと、処理コストの高い木くずの処理にも苦慮していたこともあり、木くずの焼却施設が必要であったことが事業開始のきっかけであった。

5) 設備能力と処理の仕組み

本施設の設備能力は表 5.1-2、処理フローは図 5.1-2 のとおりである。製材所、建設会社等で発生した木くず等を破碎、焼却し、その熱で製造された蒸気を発電や木材乾燥用の蒸気熱として供給している。(図 5.1-3)

表 5.1-2 設備能力

破碎設備	3t/時間
チップサイロ容量	200m ³
ボイラ燃料	木くず
燃料使用量	2.5t/時間
蒸気発生量	7.5t/時間
蒸気圧力	1.96M Pa
発電機出力	600kW
乾燥能力	35m ³ ×5 室

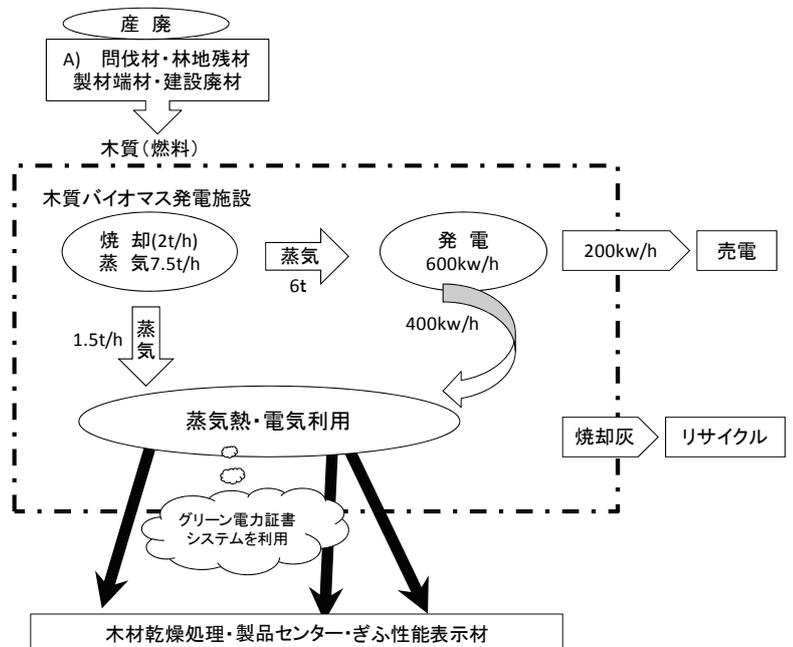


図 5.1-2 処理フロー

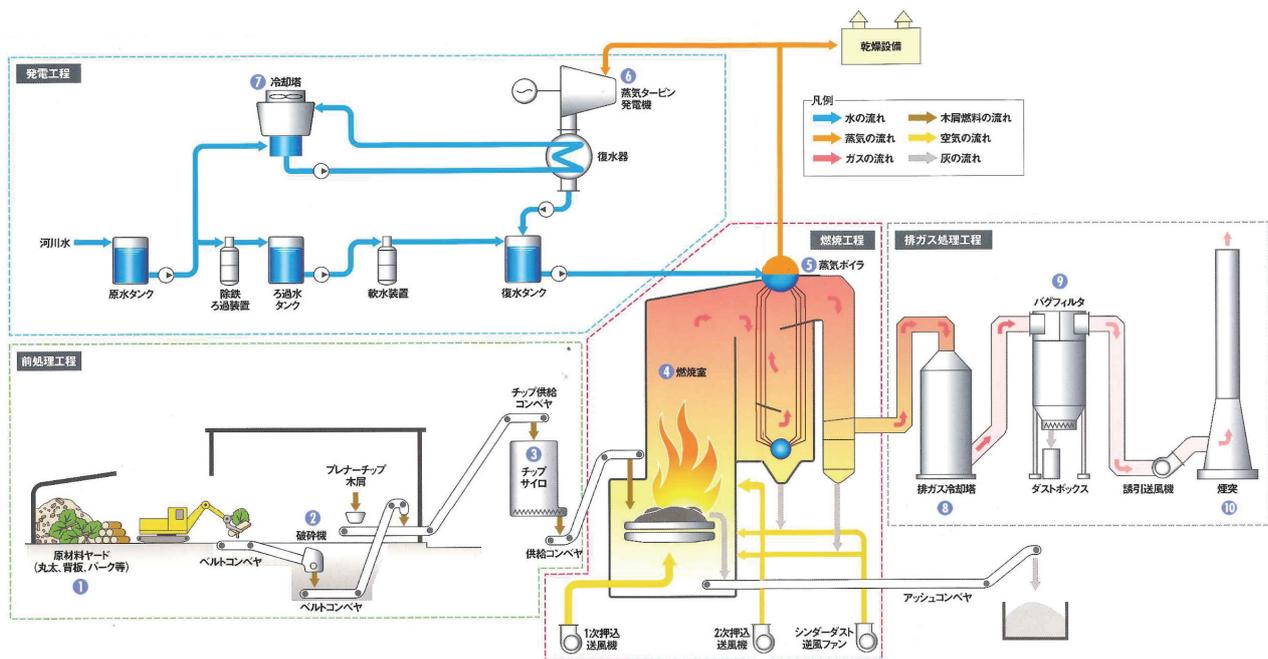


図 5.1-3 処理の仕組み

出典：東濃ひのき製品流通協同組合提供資料より

小径木や間伐材などの原料は不足傾向にあるが、2012年9月以降は建築廃材が従前の2倍に増えている他、販売量が大幅に伸びている地盤補強用の木杭を製造する際の削りくずなどもバイオマス発電に利用している。

6) 稼働状況等

(1) 稼働状況

2013年の発電量は255.2万kWhで、ここ数年増加傾向にある。発電された電力は、以前はプレカット工場で使用していたが、現在は木材を乾燥させる設備や機械等級区分構造用製材(寸法、材質、強度性能などの品質規格である製材のJAS制度)の木材強度の自動計測などに使用している。

乾燥は住宅構造材がメインとなっており、施設内に2011年に木材乾燥機を2基増設し、現在合計5基を運用している。余剰電力は売電しているが、売電量も一定ではないため、発電で得られる収入よりも木材乾燥機の運転に係る燃料を削減できていることのメリットの方が大きい。

(2) 運転維持管理

- ・年間の維持管理費は120,000千円である。売電収入は12,000千円/年で、収入は維持管理の10%である。内訳は、人件費を含めた管理費が8,000千円/月、点検費等2,000千円/月で年間120,000千円である。
- ・運転管理者は8名で、4組×2人/組、3組が運転し1組が休みとしている。人員としては、緊急時(運転員の休み等)の対応を考えると少ないかもしれない。
- ・燃料は建設廃材など逆有償で受入れている比率は60%以上であり、この収入が70,000千円/年ある。もしこれが全て有償で購入するとなれば80,000千円/年の赤

字となる。未利用材や端材は有償で買入れしており、これは地元への配慮のためである。

・燃料の逆有償・有償の単価

建設廃材等：逆有償で 7 千円/t の収入

未利用材：有償で 3 千円/t で買入れ。但し供給者には県と町から 3 千円/t の上乗せがあるので供給者の収入は 6 千円/t となる。

端材：有償で 3 千円/t で買入れ。供給者への県と町からの上乗せはない。

7) 事業推進のポイント

(1) 事業が推進できた要因

- ・国などの補助を最大限に活用し、初期費用を低く抑えられたこと。
- ・住宅用構造材のみならず、土木資材や間伐材等木材利用の全てを手掛けているため、燃料となる材料の入手が容易なこと。
- ・熱利用（乾燥）が主体で、発電電力も自家利用が多いという理想的な状況であること。

(3) 事業にあたって苦労した点

- ・費用が掛からなかった焼却処理に対し、処理費用を支払って頂くことになるため、組合員に意識が定着するまでに時間を要した。なお、現在ではご理解いただいている。
- ・燃料供給の際の搬送時の設備トラブルが多い。一度発電が停止すると蒸気タービンの値が 0 になる必要があるため、再稼働するまでに数時間かかる。
- ・プラントを建設するにあたって 2 年を要した。プラント建設および施設費はもちろんだが、その間の人件費なども合わせると、想定していたよりも多くの費用が掛かっている。
- ・立木が倒れて送電線に触れる等電力会社にトラブルがあって停電した場合には、発電した電力は逆流できないため、手動で蒸気を捨てながら使う分だけ電力を作るようなことをしなければならない。
- ・本施設は日本では当時は最初の本質発電施設であった。その時期はダイオキシンが問題となっていた時期でもあり、燃焼温度は 1,200℃で運転した。クリンカーにより炉が半年で損傷し、レンガの貼り替えなど想定外の補修費がかかった。
- ・燃料チップは、含水率が高いと発熱量が少ないので乾燥チップが良い。また、チップは長時間堆積すると内部のチップが腐食するため早いうちに燃焼する必要がある。
- ・燃料チップが破砕チップだとベルトコンベヤでのトラブル源になるので、コンベヤのトラブルを防ぐために品質の良い切削チップがよい。
- ・ボイラ以外のトラブルでは、チップの搬送用バケット式コンベヤのトラブルが多く、木くずの詰り、チェーン切れで発電を停止することが多くある。チェーンは 5 年で全てを交換した。

(4) 事業における工夫点

- ・建設に際し、補助金をうまく活用して初期費用（発電所の建設費用）を抑えられた。

- ・木材乾燥に関して、木材の種類によってヒノキは1週間、スギは2週間など、乾燥にかかる時間が異なるため、生産量を揃えるために設備を増やして対応している。

(5) 地域住民の反応、地元への貢献について

- ・木材業者が集積していることもあり、発電所の建設や運営に際して、近隣や住民との、齟齬は特になかった。
- ・間伐材を利用したいというだけでは事業が成立しないため、地域特性が重要である。

8) 地域活性化の効果

(1) 環境問題・国土資源管理などへの対応

- ・焼却処理ができずに困っていた製材所等から発生する木くずや建築廃材などを受け皿として、組合員の役に立っているほか、熱利用によって乾燥させた資材を地域ブランドとして販売することで、組合の収益にも貢献している。
- ・周辺地域では重油の需要がなく入手困難であるため、単価の高い灯油を使用するが、バイオマスの熱で乾燥させることで、その分の費用(約135千円/日)が節約できる。

(2) その他の効果

- ・余剰電力は減少したものの、売電単価がFITで約10円/kWhアップしたため(7→17円/kWh)、12,000千円の収入となっている。
- ・本施設の視察者はFIT導入後に増加傾向にあり、2012年は55組(約700名)であった。以前は木材業者等の同業者が多かったが、最近では木材利用が可能な地域の行政機関等が多い。

9) 現在の課題と今後の展開

(1) 現在の課題

- ・廃材、一般廃棄物、間伐材の3種類に分けているが、間伐材は含水率が50%以上と高いため乾燥させないと利益にならない。このバイオマス比率は含水率の高い材は実質の嵩比重に対して熱量換算比率とするため大きく下回る。
- ・設置から10年が経過しており、施設の故障が発生している。
- ・近隣に他バイオマス発電所など競合が多いが、原料としても燃料としてもチップの需要が拡大している。
- ・燃料として利用できる絶対量が限られているため、新施設が開業することなどでチップの取合いが再燃する可能性がある。現在は組合員に費用を負担してもらって処理しているが、買取りが行われるようになると、そちらに流れる可能性も否定できない。

(2) 今後の展望

- ・地域型住宅ブランド化事業(国土交通省)等で地域材の生産が増加している。人工乾燥が必要となる木材JASで生産し木材の販売量が増えており、事業は拡大傾向である。

- ・経済動向の変化や新施設の登場で変わる可能性はあるが、ここ数年は好調な状態が継続するのではないかと考えている。
- ・間伐材については、一度に集めずに分散利用することを構想している。間伐材を林道わきに置き、ある程度乾燥させてから集めるというもの。乾燥コストも下がるので試してみたい。

10) 木質発電事業・施設について

(1) 木質チップの確保と灰の処理

- ・20年間運転するための木質チップの確保は絶対必要である。チップは水分率40～50%が望ましい。チップは幹部分からのものが良質であり、原木のチップは高額である。
- ・発電所側のチップの購入単価は、3千円/t程度の買取額を希望している。山に植林できる費用を上乗せすることを考えて、より高い単価で購入する場合は7.5～9千円/tは出せるのではないか。
- ・燃焼灰は、建設廃材を受け入れている関係で、セメント原料として引き取ってもらっている。処理費は24千円/tであり、年間処理費は14,000千円となっている。1tの建設廃材を燃やすと燃焼灰が80kg発生することから、1tの燃料を使用すると約2千円の灰処理費がかかる。飛灰は45千円/tで場外での処理をしている。灰の処理は重金属などの分析を行って性状を把握することが重要である。

(2) 発電設備の系統数

- ・木質発電施設を連続で発電するためには、一般的には複数系統のボイラ・発電設備が望ましい。(3系統として2系統運転で1系統予備等)

11) 所感

- ・森の発電所は、建設当初から発電よりも熱利用を主体にした施設で、しかも町内の木質系廃棄物の処理のための施設なので、FIT対応の木質発電所と同様に考えることはできない。
- ・本施設では、燃料の木材の多くを逆有償に頼っており、事業性を上げている。これが有償になると事業性が大幅に悪くなるが、木材の乾燥用に熱を有効に利用しており、この点は本施設の存在意義があると考えられる。
- ・発電量が600kWで発電効率は10%程度と低く、熱利用を併用することが本施設の総合効率を上げている。小規模の木質発電施設では、熱利用ができないと総合効率が悪いことが明らかである。
- ・廃棄物処理施設としての扱いでどちらかというと迷惑施設のイメージを持つが、本施設に関しては、地域特性を生かした事業を行っていることもあり、周りからは地域に貢献できる施設としての位置づけであるのではないかと感じた。



写真 5.1-2 施設外からの写真



写真 5.1-3 蒸気ボイラ



写真 5.1-4 チップサイロ



写真 5.1-5 蒸気タービン



写真 5.1-6 間伐材



写真 5.1-7 蒸気ボイラ等



写真 5.1-8 乾燥室（蒸気利用）



写真 5.1-9 集合写真

5.2 南但クリーンセンター 視察

調査日：平成 26 年 12 月 12 日（金）9:45～12:15

場 所：〒669-5243 兵庫県朝来市和田山町高田 817-1

1) 説明者

南但広域行政事務組合 南但クリーンセンター環境課
課長 高岡 好和 氏

2) 入手資料

- ・南但ごみ処理施設「南但クリーンセンター」パンフレット
- ・南但クリーンセンター高効率原燃料回収施設「運転管理モニタリング」資料
- ・視察研修資料（エンジニアリング協会宛）

3) 施設概要

南但クリーンセンターは、平成 25 年 5 月に完成した兵庫県南但地域（養父市・朝来市）における一般廃棄物（ごみ）の減量化・再資源化を推進するための総合的な拠点施設である。本施設は図 5.2-1 に示すように、高効率原燃料回収施設とリサイクルセンターで構成される。本報告書は、高効率原燃料回収施設についてまとめたものである。

高効率原燃料回収施設は、バイオマス設備と熱回収設備で構成されている。このうちバイオマス設備では、可燃ごみからメタンガスを回収、ガスエンジン発電機で発電し、固定化価格買取制度（FIT）にて売電する。熱回収設備では、発酵残渣と発酵に適さない可燃ごみを焼却処分する。各々の処理能力を表 5.2-1 に示す。

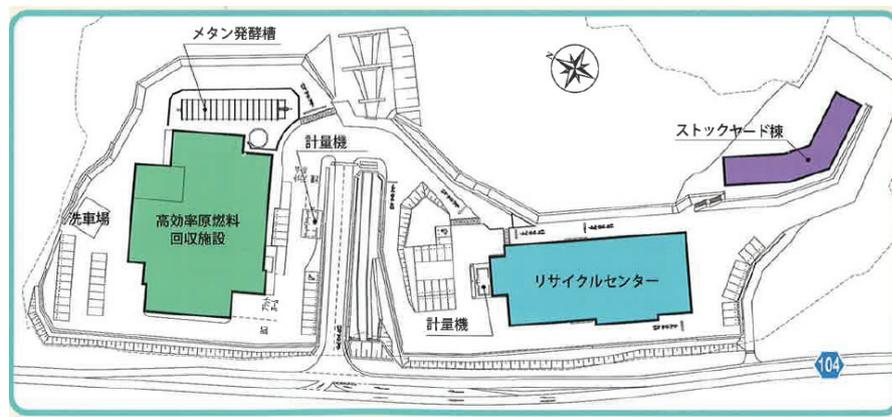


図 5.2-1 施設配置図

出典：南但ごみ処理施設パンフレット

表 5.2-1 処理能力

設 備	処理能力 (t/day)	稼働 (h/day)	備 考
バイオマス設備	36	24	可燃ごみ
熱回収設備	43	24	
リサイクルセンター	17	5	粗大ごみ,不燃ごみ,資源ごみ等

出典：南但ごみ処理施設パンフレットより作成

4) 南但ごみ処理施設整備事業の経緯

養父市および朝来市では、個別にごみ焼却施設を整備して平成元年から供用していたが、両市の施設ともに老朽化が進みつつあり、かつ将来の新たなごみ分別にも対応できない等の課題を抱えていた。また、新たな施設は将来の人口減少に伴う計画ごみ処理量の減少や循環型社会形成推進を踏まえた施設にする必要があった。そこで、両市は平成13年にごみ処理広域化推進協議会を結成し、一般廃棄物（ごみ）等の処理方法を検討してきた。表 5.2-2 に事業経緯を示す。整備計画決定から施設供用開始までに、約 12 年を要したことがわかる。

表 5.2-2 南但ごみ処理施設整備事業の主な経緯

平成 13 年 1 月	兵庫県ごみ処理広域化計画を踏まえ、次期処理施設整備は南但 8 町で広域的に取り組むことを決定
平成 15 年 5 月	施設建設の候補地を決定
平成 18 年 12 月	可燃ごみの処理方式を「バイオマス＋焼却方式」に決定
平成 19 年 3 月	一般廃棄物（ごみ）処理基本計画を改定
平成 19 年 8 月	生活環境影響評価書の縦覧
平成 22 年 7 月	土地造成工事の開始
平成 22 年 9 月	施設整備工事の開始
平成 25 年 4 月	南但ごみ処理施設の供用開始

出典：南但広域行政事務組合ホームページより抜粋作成

5) 施設整備工事の概要

- ・敷地面積：約 31,000m²
- ・工期：平成 22 年 9 月～平成 25 年 5 月
- ・工費：63 億 2,310 万円

6) 高効率原燃料回収施設の概要

本施設のシステムフローを図 5.2-2 に、施設全景を写真 5.2-1 に示す。本施設へ搬入された可燃ごみは、概ね以下のように処理される。

【バイオマス設備】

- ① プラットフォームから受入ごみピットに投入
- ② 破砕装置による一次破砕
- ③ 破砕選別装置でメタン発酵に適するごみを選別してメタン発酵槽へ
- ④ メタン発酵に適さない可燃物は熱回収設備ピットへ
- ⑤ 乾式メタン発酵（55℃×20 日間）→ガス発電→FIT 売電
- ⑥ 発酵残渣は脱水して熱回収設備ピットへ

【熱回収設備】

- ⑦ 熱回収設備ピットのごみはストーカ炉で焼却処理→熱回収
- ⑧ 焼却灰は再資源化へ（セメント原料）

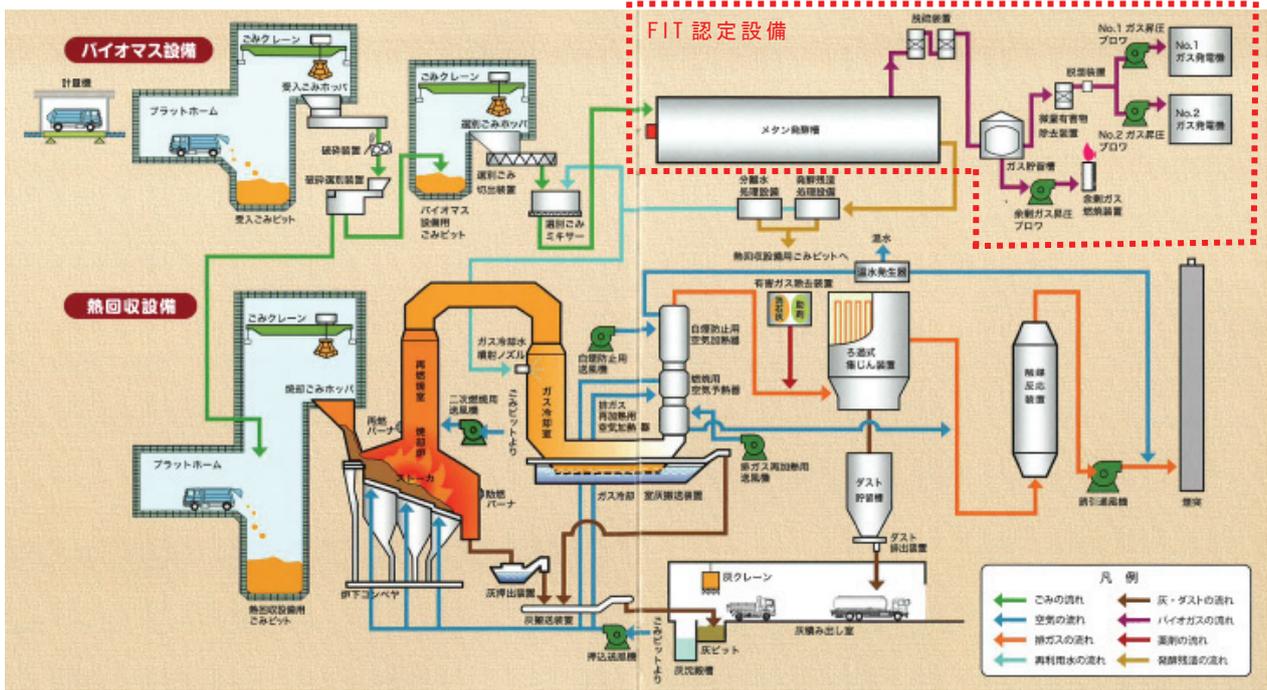


図 5.2-2 システムフロー図（高効率原燃料回収施設）

出典：南但ごみ処理施設パンフレットに FIT 認定設備の範囲を加筆



（高効率原燃料回収施設）



（バイオマス設備）

写真 5.2-1 施設全景

なお、メタン発酵槽より後流部分(図 5.2-2 の点線内)が FIT 認定設備となっている。本施設のガスエンジン発電機は 191kW×2 台であり、FIT 認定設備を別系統で受電することで余剰電力が発生する。本施設では、この余剰電力を関西電力(株)へ売電している。供用初年度である平成 25 年度の年間発電量は約 1,400MWh であり、年間売電量は約 1,100MWh であった。写真 5.2-2 にガス発電機を示す。なお、本施設の発電能力は施設全体の消費電力の約半分であり、全体で 1 系統受電とした場合には余剰電力は生じないこととなる。ここに、本施設のように 1 需要場所で 2 系統受電が行える条件は、新規に設置する発電設備であること（既存設備の増設は不可）、再生可能エネルギー特措法の認定設備であること等が定められている（電気事業事業法施行規則附則第 17 条）。



写真 5.2-2 ガス発電機



写真 5.2-3 機械選別装置

7) 所感

南但クリーンセンターは、熱回収設備（焼却設備）とバイオガス化設備を組み合わせたコンバインドシステムであり、人口 6 万人程度の地方都市規模でもバイオガス発電による FIT 売電が可能であることがわかった。

本バイオマス設備では、可燃ごみの中の燃えにくい生ごみ等を施設側で機械選別して処理するので、各家庭での生ごみ分別は行わないで良いシステムを住民に提供しているのが印象的である。また、発酵残渣は熱回収設備で焼却できるので、メタン発酵特有の出口処理でも手間が掛からない構造となっている。ここに、機械選別はブレードハンマーとスクリーンを組み合わせた装置（写真 5.2-3）で行われ、生ごみ（厨芥類）はほぼ 100%、紙ごみは約 65%分離されメタン発酵槽へ送られる。なお、本機械選別ではビニール類等の発酵不適物が 15～20%程度混入するが、乾式メタン発酵方式で処理されること、発酵残渣は焼却されることから、入口での機械選別精度が問題にはなっていない様子であった。また、メタン発酵槽からの排水は処理後、熱回収設備で有効利用しており、バイオガス化設備からの臭気は焼却炉に吹き込んで脱臭している。

このように、コンバインドシステムは従来の湿式メタン発酵システムと比べ、入口および出口双方の処理について手間が掛からないシステムが可能であることから、堆肥化物の需要のない都市域でも有効なシステムと考えられる。



写真 5.2-4 視察状況

8) 地元貢献

本施設が完成したことによる地元貢献としては、リサイクルセンターにおける再生品の無償提供や環境教育施設としての利活用、施設運営に係る組合職員の新規採用（平成24年度に10名）等があげられる。今後、平成28年度から高効率原燃料回収施設が全面民間委託になる予定であり、民間事業者によるさらなる地元採用が考えられる。

本施設では、平成25年8月から施設見学を受け入れ始め、1年余りで約2,500名の訪問者があった。可燃ごみを機械選別し、焼却+バイオガス発電のコンバインド方式に注目が集まっている様子であった。



(乾式メタン発酵槽)



(ガスフォルダー)



(環境モニタリング)



(リサイクルセンター)

写真 5.2-5 施設内容

5.3 珠洲市浄化センター 視察

調査日：2014年11月6日（木）13:00～15:45

場所：〒927-1212 石川県珠洲市熊谷町2部43番地

1) 説明者

珠洲市役所 生活環境課主幹（兼 下水道係長）

女田 良明 氏

2) 受領資料

『複合バイオマスメタン発酵施設の導入』説明 PPT

『珠洲市浄化センターバイオマスメタン発酵施設』パンフ

3) 概要

(1) 取り組みの背景

隣町との共同でし尿処理施設を隣町敷地に作って運営していたが、施設の老朽化が進んでいた折に、隣町が他の町村と合併して同施設も解散となった。この下水や農業集落排水など、し尿処理設備の再整備が急務となる中で、国交省と環境省の補助事業を連携して活用し、バイオマス利用施設として計画した。

し尿類以外に、地元スーパー等からの事業系混合厨芥を受け入れることでバイオガスとしてのエネルギー回収量を増やす一方で、生ゴミ焼却負担を軽減している。回収したバイオガスによってボイラを回し、汚泥乾燥とメタン発酵槽の加温（37℃）に活用しており、汚泥等の減容化施設の維持管理に必要なエネルギーの約3割をまかなっている。

乾燥した汚泥は、肥料として地元で無料配布している。配送はせずに場内渡しの条件であるが、全量が有効活用されている。

(2) 珠洲市浄化センター事業概要

①事業主体：珠洲市

②事業内容：

- ・水処理施設(オキシデーションディッチ法、処理能力 3,600m³/日（2系列）)
- ・湿式中温メタン発酵（37℃、HRT19日以上、処理能力 51.5t/日）

③処理量

表 5.3-1 5種の受入れ品目の処理量

処理対象	主な由来（市内のみ）	処理量 t（日平均）	
		計画	実績（H25）
下水道汚泥	下水処理場2カ所	15.3	20.4
し尿	住宅	7.6	4.6
浄化槽汚泥	住宅	8.1	7.0
農業集落排水汚泥	農業集落排水施設	0.5	0.4
生ゴミ	スーパー、養護施設等	0.7	0.5
合計		32.9	32.9

出典 受領資料パンフレット

(3) バイオガス等 珠洲市浄化センター施設の概要

①竣工：平成19年7月

②建設費：1,247百万円

(補助対象事業費1,377百万円 (国交省958百万円、環境省419百万円))

活用補助金 654j百万円 (国交省515百万円、環境省139百万円))

補助率 47.1%

③主要施設・機器

スイングハンマー式破碎分別機

メタン発酵槽 (500m³、37℃中温発酵)

ガスホルダ (400m³)

スクリーンプレス式汚泥脱水機

間接加熱式蒸気乾燥機 (ボイラ)

4) 処理施設

施設のシステムフローを図5.3-1、全景写真を写真5.3-1に示す。

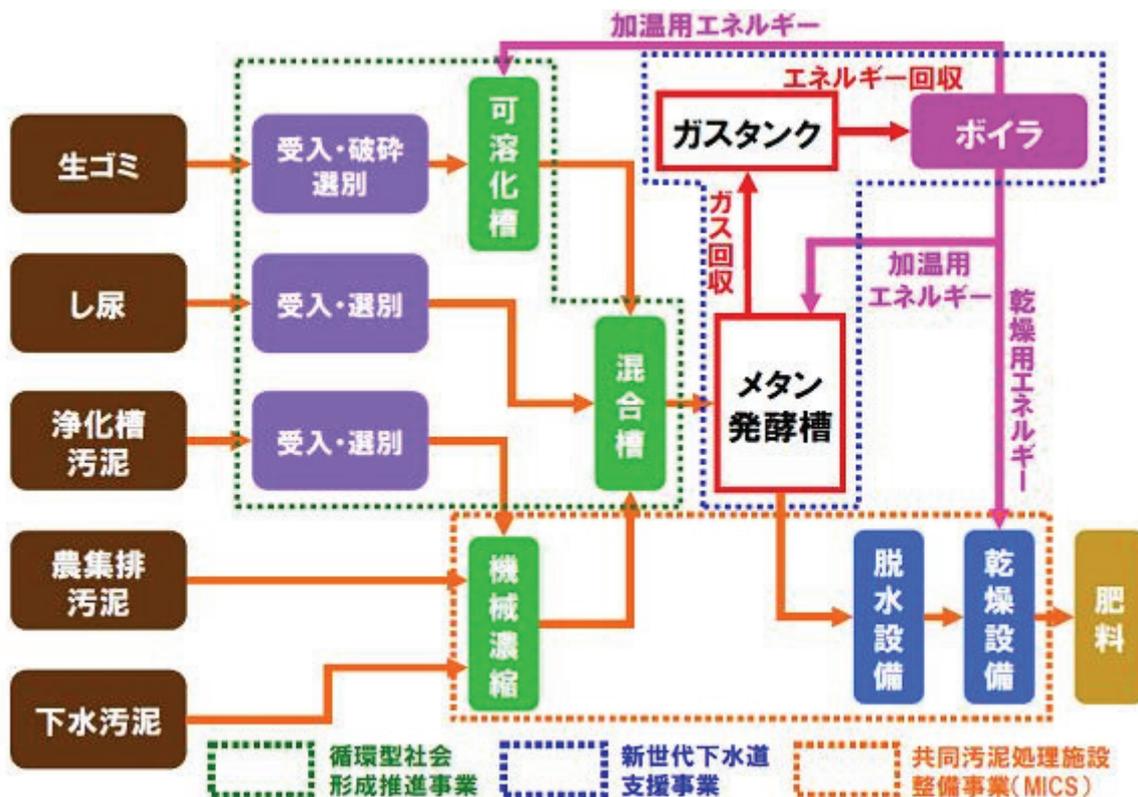


図 5.3-1 施設のシステムフロー

出典：珠洲市 HP

珠洲市浄化センター施設全景



写真 5.3-1 施設全景

出典：珠洲市 HP

5) メタン発酵施設の特長

(1) 事業としての特長

- ・ 国交省の新世代下水道支援事業と、環境省のリサイクル推進事業と、2省の補助事業を連携させた初めてのケース。
- ・ 発電利用はせず、場内での熱利用に特化しているため、安定した運用が可能になっている。ボイラで肥料用の乾燥と、メタン発酵槽の加温に利用し、施設の利用エネルギーの約3割をまかなっている。

(2) 原料収集

- ・ 公共下水道や農業集落排水、浄化槽など、下水関連の処理を主目的にしつつ、カロリーの高い発酵原料として生ゴミも添加している。生ゴミとしては、市内の病院や学校、スーパーからの事業系混合厨芥を受け入れている。生ゴミは、全32.9t/日の受け入れ量のうち、0.5t/日。
- ・ 人口は減少しており、処理量も減少傾向のため、メタン発酵原料も減少している。原料が減少しても、積極的に材料を多角化したり、広域処理を積極的に目指したりはしていない。
- ・ 一般家庭からの生ゴミ受け入れについては、検討したことはあるが、現状でよい回収方法がないことと、現状でRDF化しており、緊急に困っているテーマではないため、現状維持となっている。

(3) 副産物処理

- ・汚泥から製造した堆肥の利用について、(財)下水道新技術推進機構と共同研究により、堆肥の安全性と周辺影響がないことを確認し、敷地内で栽培試験を実施した。検査を行って、肥料登録を行っている。
- ・堆肥の栽培試験は、栽培に有効であることのデモンストレーションと、実績につながったのではないかと。堆肥として、全て利用されている。
- ・堆肥の利用先は、家庭菜園と、牧草用になっている。無償ながら、予約しての現地渡しであり、輸送費負担もなく、活用されている。
- ・消化液は、オキシデーショondiッチ法で処理している。メタン発酵を活用することによる、廃液処理の負荷増大はあまりないと言える。

(4) 運営の工夫

- ・やや郊外にあるという立地のため、住民との結びつきなどを積極的に推進している訳ではないが、小学生が定期的に見学する施設になっている。
- ・下水関連施設として、かなり先駆的に取り組んだ事例であるため、他県からの見学や講演依頼も多い。

6) 施設導入のメリット

メタン発酵施設等を導入することによる温室効果ガスの排出量は、図 5.3-2 に示すように 1/5 程度と大幅に削減できており、その削減幅は燃料代の消費削減による。環境面での貢献や、化石燃料に頼らない持続可能なシステムの構築の面で大きく貢献していることが分かる

汚水処理のコストを図 5.3-3 に示す。全てを焼却する場合の燃料費が、ほぼ削減できること、省力化した上に、熱源はメタン発酵で得られることから、処理費は年間 5,700 万円圧縮できる。建設費がおよそ 12 億 5 千万円で、約半額の補助金が出たことから、10 年の運転でコスト的なメリットも得られている。

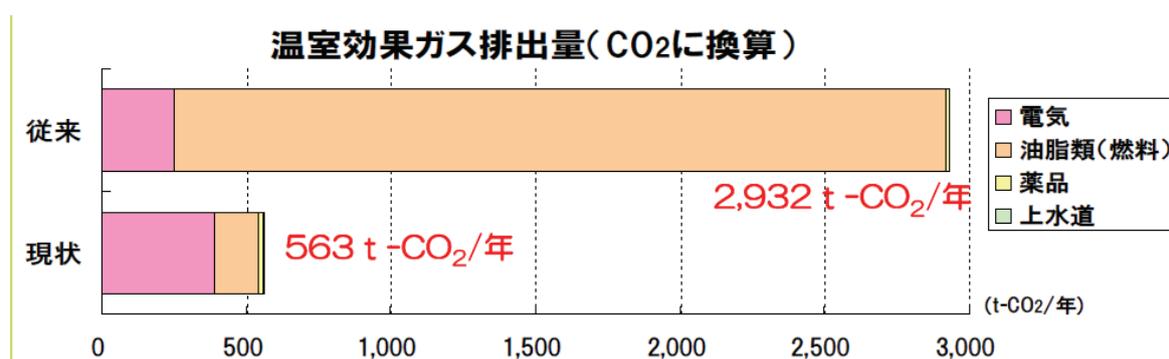


図 5.3-2 温室効果ガス排出量の施設導入前後の比較

珠洲市 HP より

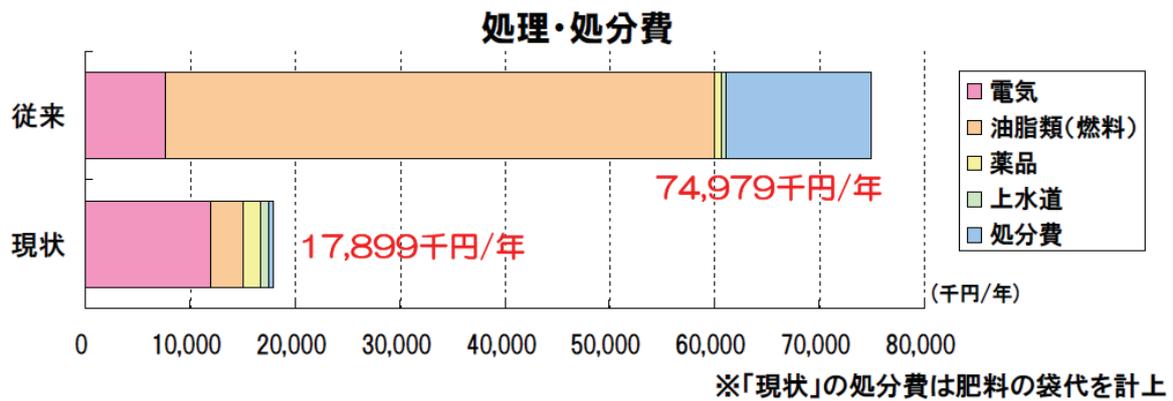


図 5.3-3 処理・処分費の施設導入前後の比較

珠洲市 HP より

7) 所感

メタン発酵を含む当該施設は、下水処理を可能な限り省エネルギーで実施するという目的を持って、安定して運営している事業の好例と言える。下水処理を省エネ型のオキシデーションディッチ法で実施し、これに相性のよいメタン発酵を適性規模で実施している点が、運営を安定させているのものと推察される。エネルギー効率の悪い発電を行わず効率の良い熱利用に絞れており、副産物から生産した堆肥を滞りなく地元で活用できているなど、規模を適性に保つことの重要性が窺える。規模が適性で、発電を諦めた分、原料確保の苦勞からも免れている。

下水汚泥や汚水処理において、温室効果ガスの削減や化石燃料消費などを大幅に削減することで、持続可能な社会システムの構築に貢献する一方で、補助金等の活用により経済的にも下水汚泥等の処理費削減分でメリットの出る施設といえる。小規模で実施するシステムとしては、参考になる点が多い施設と言えるのではないかと。

【参考写真】



写真 5.3-2. 発酵槽



写真 5.3-3. 施設全景



写真 5.3-4. 生ゴミ受入施設



写真 5.3-5. し尿受入状況



写真 5.3-6. 可溶化施設



写真 5.3-7. 視察状況



写真 5.3-8. ガスホルダ



写真 5.3-9. 場内ガス配管



写真 5.3-10. ボイラ



写真 5.3-11. 肥料乾燥機



写真 5.3-12. 生物脱臭装置

5.4 黒部浄化センター 視察

調査日：平成 26 年 11 月 7 日（金） 10：00～12：30

場 所：〒938-0041 富山県黒部市堀切 1188 黒部浄化センター

1) 説明者

黒部市 下水道部工務課 計画係長 村椿謙一 氏
上下水道部工務課 主査 宮崎千夏 氏

2) 受領資料

- ・パンフレット「黒部浄化センター」
- ・資料「ディスポーザってなあに？」
- ・資料「生産者保証票」（肥料の名称：くろべ緑化王）
- ・パンフレット「黒部溪谷」
- ・パンフレット「黒部」
- ・パンフレット「漁協から浜を！魚の駅「生地」」

3) 概要

(1) 黒部浄化センターの概要

黒部市は、旧黒部市と旧宇奈月町が平成 18 年 3 月 31 日に合併し、面積 427.96km²、人口 42,000 人（富山県の約 1 割）で、黒部川の扇状地にあり、水が豊富で自然豊かな土地である。市では「名水の里住みよい黒部」をテーマに水に関わるふるさとづくりが推進されており、下水道に関しても、従来の迷惑施設ではなく水と緑を創出し自然環境の保全に資する積極的施設となるように取り組みが行われている。

公共下水道処理場は、宇奈月浄化センター・内山浄化センター・黒部浄化センターの 3 つの施設があり、農業集落排水の処理施設は 9 地区で下水処理が行われている。また、公共のエリア外は合併浄化槽での処理が計画されている。平成 25 年度末の整備率は、公共下水道 61.2%、農業集落排水 24.6%、合併浄化槽 7%であり、市全体の污水処理施設の整備率は 92.8%となっている。

黒部浄化センターは、市内最大の下水道処理施設であり、1 日当たりの最大処理能力は 22,000m³である。平成 4 年に供用が開始され、平成 7 年には砂ろ過やオゾン処理等の高度処理が導入され、当時としては全国的に見て先進的な取り組みがなされた。また、高度処理水を利用して、水循環の大切さをアピールする「アクアパーク」（写真 5.4-1）が整備され、場内に修景施設を整備して下水道処理水の見える化が行われており、来場者に下水道の必要性を体感してもらうことで、下水道の普及促進・イメージアップが図られている。さらに、隣接して総合公園が整備され、周辺環境と調和し地域に親しまれる施設として運営されている（図 5.4-1）。



写真 5.4-1 アクアパーク

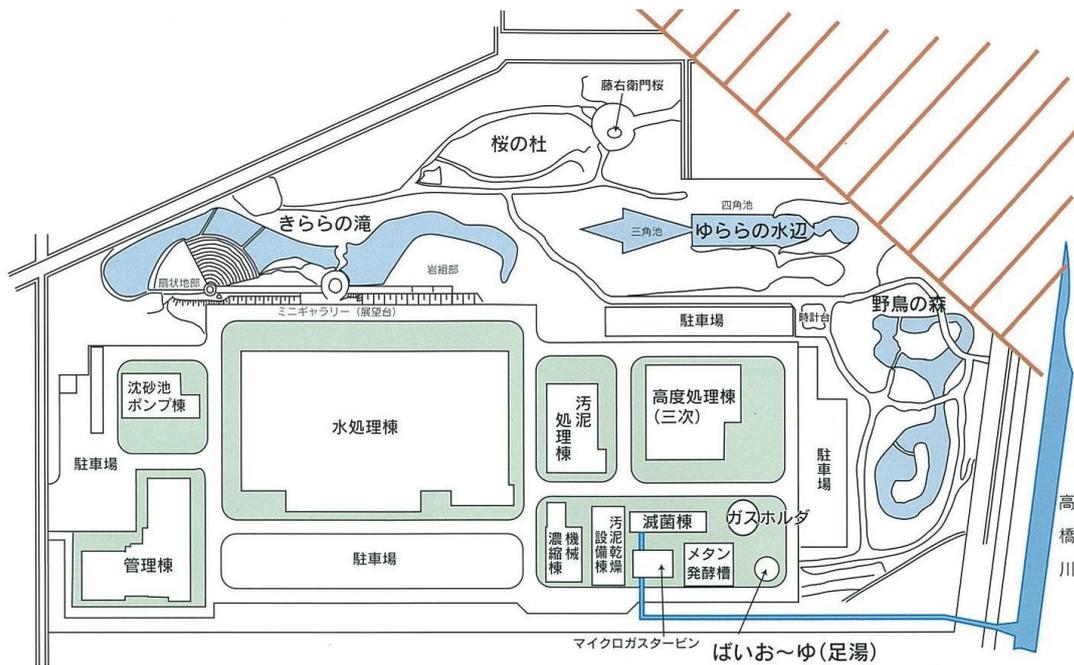


図 5.4-1 浄化センター全体平面図

出典：受領資料パンフレット

(2) バイオマスエネルギー取り組みの背景

バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業は、これまでし尿や浄化槽汚泥について黒部市をはじめとする 2 市 2 町で構成する事務組合で処理が行われてきたが、施設の老朽化から、改築更新する際にし尿のみを簡易処理する施設として更新し、農業集落排水汚泥と浄化槽汚泥については各自治体で処理する方針が出された。また、これまで下水道汚泥は、埋め立てやセメント会社への持ち込みなどの業者委託が行われていたが、委託先の休止や閉鎖、値上げなどの恒常的なリスクを抱えていた。

このような背景から、今後、循環型社会に適応した有効利用方法について本事業への取り組みが検討され、下水道汚泥と食品残渣等を活用することにより、バイオマス資源の循環利用システムを構築することを目的として平成 23 年 5 月に運用が開始された。本事業は、民間事業者の資金・経営能力および技術力を活用する PFI 事業による下水道バイオマスエネルギー利活用施設、国内第 1 号稼働案件であり、モデルケースとして注目されている。

事業のあゆみ

- ・ H15 年 基本構想策定
- ・ H16～17 年 市町村合併協議で一時停滞
- ・ H18 年 合併後実施計画策定
- ・ H19～20 年 PFI 事業の可能性調査、アドバイザー業務
- ・ H21 年 4 月 PFI 事業本契約を PFI 事業者（黒部 E サービス株式会社）と締結
- ・ H21 年 8 月 施設着工
- ・ H23 年 5 月 施設供用開始

4) 黒部市バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業

(1) 事業スキーム

事業は PFI 法に基づき実施され、BTO 方式が採用されたことから、民間の事業資金を用いて施設を建設し、その後に施設を市に所有権移転して事業者により管理運営している。計画当初は BOT を目指したが、BOT 方式は事業が完了して初めて所有権が移るので事業終了まで国庫補助が出ないということから BTO 方式が採用された。表 5.4-1 に事業概要を示す。

平成 38 年度のバイオマスの受け入れ量の計画値は、下水汚泥とディスポーザー由来生ごみ、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、事業系食品残渣を合わせて、年間 29,132m³ である。

この事業により、これまでの汚泥の処理方式と比較して年間約 1,000 トンの CO₂ が削減される。

表 5.4-1 事業概要

事業名称	黒部市バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業
事業方式	PFI (BTO 方式)
事業期間	設計・建築期間：平成 21 年 4 月 ～ 平成 23 年 4 月 (2 年 1 ヶ月) 維持管理・運営：平成 23 年 5 月 ～ 平成 38 年 4 月 (15 年間)
処理対象物	[既存下水処理施設より] 下水道汚泥 (濃縮汚泥)、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、ディスポーザー生ごみ [飲料メーカーより] 事業系食品残渣 (コーヒー粕)
事業費	総事業費約 36 億円 建設費 約 16 億円 (内国費約 7 億円) 維持管理運営費 15 年間で約 20 億円
事業者選定	公募型プロポーザルによる総合評価方式
事業者 (SPC)	名称：黒部 E サービス株式会社 出資者：水 ing 株式会社、株式会社荏原製作所

(2) 施設概要

汚泥処理では、処理対象物を混合し、メタン発酵させてバイオガスを取り出し、そのバイオガスを使い汚泥燃料化（乾燥汚泥）と発電を行う。乾燥汚泥は、石炭代替燃料として利用されるほか、培養土原料として利用される。主要機器・設備仕様を表 5.4-2 に示す。また施設の状況を写真 5.4-2～12 に示す。

表 5.4-2 主要機器・設備仕様

メタン発酵設備	処理能力 80m ³ /日
ガスホルダ	容量 600 m ³
マイクロガスタービン	出力 95kW
太陽光発電	出力 10kW
汚泥乾燥設備棟	地上 3 階・地下 1 階



写真 5.4-2 ディスポーザ



写真 5.4-3 コーヒー粕ホッパ



写真 5.4-4 原料混合槽



写真 5.4-5 奥: コーヒー粕粉砕機



写真 5. 4-6 奥：機械濃縮棟
手前：汚泥乾燥設備



写真 5. 4-7 乾燥機



写真 5. 4-8 左：メタン発酵槽設備建屋
右：ガスホルダ



写真 5. 4-9 乾燥汚泥ホッパ



写真 5. 4-10 バイオガスボイラ



写真 5. 4-11 マイクロガスタービン



写真 5. 4-12 ばいお～ゆ（足湯）

(3) バイオマス受入量

浄化センターでのバイオマスの受け入れ量を表 5.4-3 に示す。

表 5.4-3 バイオマス受入量 (平成 36 年計画値)

下水道汚泥 (濃縮汚泥).....	24,000 m ³ /年
農業集落排水汚泥 (濃縮汚泥).....	1,000 m ³ /年
浄化槽汚泥 (濃縮汚泥).....	130 m ³ /年
ディスポーザ生ごみ (濃縮汚泥).....	680 m ³ /年
事業系食品残渣 (コーヒー粕).....	2,800 m ³ /年
合計	28,610 m ³ /年

(4) 処理フロー

処理方法の主な流れは以下のとおりである。処理フローの概要を図 5.4-2 に示す。

- ① バイオマスの対象である、下水から流入する汚泥、家庭からのディスポーザ生ごみ、それと車両輸送されてくる農業集落排水汚泥、コーヒー粕が入ってくる。
- ② 下水汚泥とディスポーザ生ごみは、標準活性汚泥法プラス高度処理の水処理過程で発生する汚泥を取り出し、そこに農業集落排水汚泥を加えて濃縮処理する。
- ③ 濃縮された汚泥がバイオマス施設の混合槽に入ってくる。混合槽には別途車両輸送されたコーヒー粕が入ってきて、汚泥とコーヒー粕が混合される。
- ④ 次にメタン発酵槽で発酵させることによってガスと消化汚泥が取り出せる。
- ⑤ ガスは精製してガスホルダにいったん貯め、ボイラの燃料として利用する。
- ⑥ ボイラから出てきた蒸気の利用方法は、大半は汚泥を乾燥する乾燥機の熱源として利用し、一部メタン発酵槽の発酵を促進させる発酵槽の加温用に利用している。
- ⑦ ガスの総量の約 6 割をボイラで使い、ボイラで使わなかった分は発電機の燃料として利用する。
- ⑧ 発電はマイクロガスタービンというコンパクトな発電機を採用しており、場内の電力として利用している。
- ⑨ ガスの一部は、場内で開放している足湯施設にも利用する。
- ⑩ メタン発酵槽から出てくる消化汚泥は、引き抜き時は濃度 3~3.5%で、凝集剤を添加して絞り出すことにより含水率が約 80%になる。
- ⑪ 次に脱水した汚泥を乾燥器により乾燥することで、含水率は 40%程度になる。乾燥機の熱源はボイラのスチームを用いる。
- ⑫ ここまで乾燥させることで、汚泥が燃料としての価値が出てくる。
- ⑬ 最終の乾燥汚泥は発電業者の石炭の代替燃料として利用、あるいは肥料として売却する。

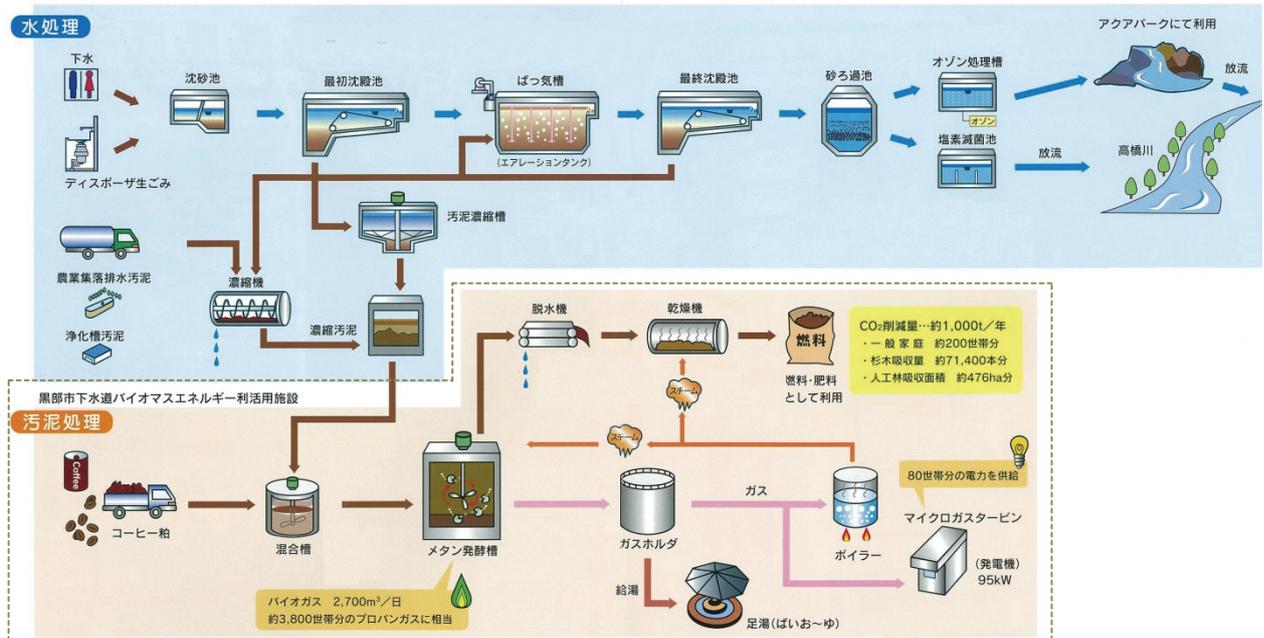


図 5.4-2 処理フロー

(5) 事業効果

システムの特徴としては、化石燃料を使わずにこれまで廃棄物とされていたバイオマスが持っているエネルギーだけで汚泥を乾燥燃料化することであり、その効果は以下のとおりである。

- ①資源循環システムの構築により CO₂ が削減される。
- ②個別処理されていた下水汚泥、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、食品残渣を一体的に処理できることから処理コストが削減できる。
- ③新たな事業ということから地域経済が活性化される。
- ④PFI 法に基づく事業実施により民間企業の資金・経営能力・実施能力を活用できることから処理コストの削減が図れる。
- ⑤全国的に先駆けた事業ということから市内の交流人口の活性化が図れる。

(6) PFI の特徴

本 PFI 事業における特徴は以下のとおりである。

- ①15 年間の長期間であること。
- ②官民でリスクを分担し、詳細契約内容を締結していること。
- ③民間事業者以下のインセンティブを付与していること。
 - ・コーヒー粕の一部収入を事業者の収入としている。
 - ・コーヒー粕は排出事業者から処理費を受けている。
 - ・コーヒー粕の量の確保は市のリスクであることから市が計画している量・質について担保する必要があるが、それ以外で事業者が他から搬入する場合は事業者独自の収入としてよいこととしている。

(7) PFI の利点と課題

本 PFI 事業における利点および課題は以下のとおりである。

(a) 利点

- ①汚泥利用先の確保は事業者のリスクとなっており、市は汚泥利用先の確保について事業期間中の 15 年間は心配しなくてよい。
- ②PFI 事業ということで民間事業者の資金・技術・経営能力を活用できるので事業コストの縮減および財政支出の平準化が図れる。

(b) 課題

- ①市のリスクとしてのバイオマス量・質について、計画したものを事業者確実に提供しなければならないこと。食品残渣の確保が市のリスクになっているので苦慮している。
- ②事業者に対し、募集要項、要求水準書、事業者からの提案等の契約内容が確実に履行されているかモニタリングすること。モニタリングは契約や威容を熟知した上でモニタリングする必要があるが、市の人事異動で担当者が 3~5 年以内に代わることから、その都度担当者が契約内容を熟知していかなければならないことが難しい。

(8) 主な質疑

①補助金の有無とその比率について

- ・建設費約 16 億円の内、補助金は約 7 億円である。補助率は汚泥に係る施設については 55%、食品残渣に係る施設については 0 のものや 1/4 のもの等補助メニューによって異なる。コーヒー粕についての補助は得られず市単独で整備している。

②対応に苦勞した規制や慣例について

- ・廃掃法の取り扱いに関し、一般廃棄物と産業廃棄物を受け入れることで県の環境部局との折衝がかなり大変なところであった。あくまでもこの施設は下水処理場なので一般廃棄物や産業廃棄物の処理施設ではなく、運営会社は産廃の許可等の取得はしていない。

③ディスポーザ処理生ごみの受け入れおよび普及について

- ・全国的には下水道への直接投入は認められておらず、下水処理場の固形物負荷が上がるため、粉碎した生ごみは溜槽に貯めて沈殿させ、引き抜いて処理するのがほとんどである。しかし、黒部市では、ディスポーザの生ごみは、バイオマスエネルギーという観点から資源物という位置づけで直接投入を導入している。
- ・他の直接投入を行っているところでは基本的に固形物負荷が上がるということで、設置に対して下水道使用料のほかに課金しているようであるが、黒部市としては、流れてきたものがエネルギーに転化されることにより相殺されるという考えでディスポーザ設置による処理費の課金はしていない。
- ・黒部市では、ディスポーザの普及促進を図っていききたいということから、最大 3 万円までの設置に対する補助をしている。しかしながら、ディスポーザが普及しない理由として、ディスポーザの価格のほかに配管・配線等の設置費でトータル 10~12

万円程度の費用が掛かることが要因と考えられる。新築の家は結構付いていると思われるが、既存の家での出費(設置費 12 万円－補助 3 万円＝出費 9 万円)が大きい。

④受入れ原料の大まかな割合と受け入れ原料の計画値と実際の差について

- ・受入原料の割合は食品残渣が約 1 割、汚泥が約 9 割である。計画値との差は汚泥 8 割、食品残渣 120%で計画とは少し変わってきている。浄化槽汚泥が当初予定の半分位しかなく、現在ディスポーザの普及も 430 台程度となっており、コーヒー粕の増量により補っている。

⑤PFI 事業計画における地元貢献策の提案内容と達成度について

- ・地元金融機関、工事業者等の人材を活用している。

⑥下水処理場など静脈施設を集合することで、当初見込んだメリットについて

- ・計画どおり進んでいることからメリットはある。

⑦発電量および電力の利用について

- ・昨年はマイクロガスタービンで約 45 万 kW であり、別途太陽光発電も行っている。発電した電力はすべて浄化センター内で使用している。
- ・バイオガスは H₂S とシロキサンを除去し、バイオガスボイラ、マイクロガスタービンで利用している。発電効率は 28～30%、熱はメタン発酵槽の加温（高温発酵）および消化汚泥の乾燥に利用している。95kW のマイクロガスタービンで発電し、55～60kW はバイオガス施設で利用、残りは下水処理場で利用している。年間総発電量で考えるとバイオガス設備の運営の 80%程を賄っている。
- ・コージェネレーションを採用しており、発電に伴って生じる排熱については蒸気にして発酵槽の加温用に利用している。

⑧FIT の計画について

- ・計画はない。施設ができてからの話であったので対応できなかった。

⑨コーヒー粕の搬入および処理について

- ・飲料会社（アサヒ飲料、北陸コカコーラ、サントリー）からコーヒー粕を受け入れており、産廃のマニフェストと同様の様式のものを作成して管理している。
- ・コーヒー粕は、混合槽からメタン発酵槽へ行く間で発酵を促進するため、前処理として粉碎し発酵槽に投入している。

⑩乾燥汚泥の利用について

- ・乾燥汚泥は年間 1,275t 発生しており、熱量が 19MJ/kg ある。
- ・石炭代替の燃料および肥料として利用しており、燃料は 30%、肥料は 70%である。
- ・石炭代替としては県内の製紙会社で年 300 t 利用され、今後は売却を予定している。そのため今は粉体であるが、今後は造粒して出荷を予定している。肥料は処分費を支払っているが、一部（5t/年）は取りに来て貰って売却している。

⑪地元からの環境に対する積極的な取り組みへの理解について。また、理解を得るために、工夫していること、逆に、地元理解のお陰で助かっていることについて

- ・こういった事業を行っているということで理解は得られている。下水処理施設のところで浄化槽汚泥、農集排汚泥、食品残渣という当初の条件と違う廃棄物を受け入れることについて快く合意を得ることができたことが助かっている。

- ・隣に併設している美術館や総合公園の建設については、できた時期は異なるが計画は同時にしている。もともとそのような施設が必要だというニーズがあったところに、この施設が迷惑施設なので、この地域の振興を図るために文化施設もという条件もあり建設された。
- ⑫外向きの環境都市としてのアピールの成果や手応えに関し、例えば、観光への好影響など、エネルギーを得られること以外での波及的なメリットについて。
- ・施設の視察および市内の他の産業（YKK、黒部峡谷等）と併せた産業観光を定期的に行っていることで交流人口が増加している。
- ⑬国に要望したい、もしくははしていることについて
- ・コーヒー粕は補助対象外だが、コーヒー粕は下水汚泥の10倍のエネルギー量があるので、化石燃料に替わる燃料として考えており、ぜひ国庫補助対象にしてほしかった。
 - ・乾燥汚泥は燃料としての価値があるので民間事業者の発電の代替燃料に採用されている。汚泥の固形物燃料のJIS化が図られたところだが、含水率20%以下でないとダメということで、ここでの乾燥汚泥（含水率40%）についてはJISの規格外になってしまう。実際40%でも燃料としての価値はあるので規格の緩和措置を図っていただきたい。

5.5 講演会「藻類の燃料・原料に関する研究について」

- 1) 講演日時：2014年10月24日
- 2) 場所：一般財団法人エンジニアリング協会
- 3) 講演者：株式会社デンソー 機能材料研究部 バイオ材料研究室 藏野憲秀氏
- 4) 講演概要

(1) 株式会社デンソーおよび自己紹介

デンソーは売上げ4兆円規模の愛知県に所在するトヨタ自動車のグループ会社である。自動車の部品の供給が主な事業であるが、QRコードの開発も行っている。藏野氏は、2008年に海洋バイオテクノロジー研究所からデンソーへ移籍した。

(2) 藻類について

生物は動物と植物、花の有無、水中・地上で分類できる。藻類は、花を咲かせない水中植物であり、大型藻類としては昆布、ノリ等、微細藻類としてクロレラ、ミドリムシ等がある。その中で微細藻類は、単細胞で油を貯めることで知られている。

生物を学問的に分類すると真正細菌、古細菌、真核生物があり、藻類は真核生物に分類される。光独立栄養の藻類は光合成で酸素を発生する。筑波大の研究などで知られるオーランチオキトリウムはラビンチュラの仲間に従属栄養生物である。

藻類の大きさは、ミカズキモで20 μ m程度、ミドリムシで30 μ mくらいの大きさである。

微細藻類から得られる燃料としては、珪藻からはTAG、ボトリオコッカスは炭化水素、ユーグレナからはワックスエステル、シアノバクテリアからはTAG・エタノールが得られる。シアノバクテリアからの燃料製造は、国内では開発されてなく、米国のベンチャー企業が取り組んでいる。

藻類からは燃料だけでなく、以下の多様な生産物が得られ、今後利用される可能性がある。

- 澱粉
- 多糖類（昆布等のぬめり成分）
- タンパク（スピルリナ）・・・アフリカで培養して、飢餓を救う取り組みもあり。
- 色素

アスタキサンチン・・・ヤマハ発動機がヘマトコッカスから作っていたが、撤退。
米国では伸びている。

フコキサンチン・・・北海道大学で研究されている。抗肥満効果など。

- 毒性化合物・・・貝毒
- 健康食品・・・クロレラ、スピルリナ
- 魚類の養殖餌料、家畜飼料
- 脂質／炭化水素・・・燃料・重油・軽油
- 金属吸着材・・・油の搾りかす→王水に溶けた金属の回収に使える。
- 生理活性物質・・・抗酸化剤。

クロレラ粉末とスピルリナ粉末のように、藻体の構成成分にはタンパクが多い。

藻類からの燃料以外の高付加価値製品として、健康食品、色あげ材（養殖魚）等があり、www.oilgae.com の Web サイトには藻類の応用利用として、食品、餌、インク、バイオプラスチック原料、化粧品原料、廃水処理、CO₂固定等、様々な例が記載されている。

(3) 藻類大量培養の歴史について

1950年代初頭、徳川生物研究所の田宮先生が米国からのアドバイス（食糧難対応）で研究を進め、クロレラ屋外大量培養に成功した。1959年には、米国でレースウェイで培養した藻類からエネルギーを取るためにメタン発酵が実施された。1978～1996年、米国 DOE でのプログラムが推進され、その後の 1990年～2000年、日本でもニューサンシャイン計画において、工場排ガス中の CO₂利用をターゲットとした藻類培養（CO₂固定）のプロジェクトが実施された。2004年、筑波大がボツリオコッカスで環境省プロジェクトを実施し再注目される。米国では、2007年からブッシュ大統領が推進したバイオマス政策の下、注目されていたバイオエタノールの背後で藻類ベンチャーが多数立ち上がり、研究が行われた（現在、多くのベンチャーは、残っていない。）。エクソンも藻類開発を立ち上げたが、現在は中断している様子である。

日本での開発プロジェクト事例として、RITE 生物的 CO₂固定プロジェクトを紹介する。16の企業、4大学が参加し、平成 12年までの 10年間実施された。開発テーマが 2つあり、テーマ 1は CO₂固定する細菌・藻類の探索・育種、テーマ 2は CO₂固定、有用物生産（鶏の餌が出口）のトータルシステム開発である。テーマ 1では、菌・藻類の採取、スクリーニング、供試株の育種・遺伝子組換え、培養条件最適化を実施した。テーマ 2では、バイオリクター開発で 200L 規模試験、培養の上流・下流開発、トータルシステム検討を実施した。海洋バイオテクノロジー研究所では、直接受光型のフォトバイオリクターを開発し、畳大の大きさで光路長 1.5cm のアクリル箱による培養を実施した。薄いアクリル箱を平行に並べることにより適度な強度の太陽光均一照射して、強光障害を防げるようにした。本プロジェクトでは、目標を達成する藻類とリアクターの開発に成功した。トータルシステムデザインとして、1km²の面積で 1,000MW の発電所が排出する CO₂の 4%を直接間接に固定するものである。しかしながら、経済的には問題があり成立しない。藻類の出口として想定していた鶏の餌の価格は 1kg 当たり 30円であるが、リアクターによる藻類培養には 1kg 当たり 300円がかかる。コスト削減が最大の課題であった。

(4) 微細藻類燃料開発推進協議会の取り組み

藻類の開発は課題が大きく、オール JAPAN として取り組む必要があるとの認識の下、COCN でロードマップを作成し、JX、IHI、デンソーが発起人となり、2012年 5月 25日に「微細藻類燃料開発推進協議会」が設立された。協議会の目的は、一貫生産システムの開発であり、活動計画としては、基盤技術を強化・評価軸の作成・ロードマップ実施に必要な政策提言があげられる。

藻類燃料生産の全体プロセスの重要なポイントとして、上流では年間を通じて使える藻類・生産性向上（育種、突然変異、組換え）、中流ではコンタミ対策、水リサイクル、下流では濃縮・固液分離・抽出・燃料化のコスト削減、副産物の高付加価値化、全体としては、LCA、GHG、EPR 向上等があげられる。

(5) デンソーの取り組み

デンソーで開発している藻類は、*Pseudococcomyxa* sp.であり、油脂含有量が高く、生育温度が広く、夏冬も培養ができる可能性がある。屋内の培養では油脂含有量 60%、屋外培養では油脂含有量 40%程度を達成している。また、酸性下で増殖可能(pH3-4)、であり、コンタミ防止につながる。増殖速度は、160時間で0.4g/Lに到達する。培養条件として、窒素をコントロールすることで油脂含有量を増やすことができる。窒素が少なくなると油を貯めだす特性がある。

デンソーの屋外培養施設として、愛知県西尾市の製作所にレースウェイポンド(2m×10m²本と3m×20mを3本、総稼働容積33kL)を設置した。培養のCO₂源として、LNGコジェネ排ガス(SO_xなし、サーマルNO_x少し)を直接通気している。培養水としては、活性汚泥の活性炭を通す前の処理水を利用している。コジェネの150℃排ガスをドライヤー熱源に使用している。60m²の池において、1週間で2.5kgの乾燥藻類、800mLの粗抽出オイルが取れる。屋外培養における増殖速度温度は、平均水温22.2度(良い気候)で平均増殖速度12.1g/m²/日であった。コンタミ耐性についても実験を実施し、中性培養と酸性培養をPCR-DGGEで比較した結果、中性だと1-2日間で藻類を食べる原生生物が出てくるが、酸性では出てこないことを確認し、コンタミが抑制できていると判断している。

デンソーでは、農林水産省プロジェクトで石油代替燃料製造開発などを出口とする屋外大量培養、NEDOのプロジェクトで藻類の遺伝子改変や育種・改良技術の開発を実施している。後者では、幾種類かの有用突然変異体の変異部位をゲノム解析によって特定し、この変異を遺伝子操作により意図的に1つの細胞(微細藻)に組み込み、優れた形質を集約すること研究している。ただし、突然変異体は屋外培養で使用が可能であるが、遺伝子操作した藻は現在のところ開放系では培養できない。

研究過程で得た変異体のうち、優れた株の特性として、クロロフィルが少なくして相互遮蔽が少ないために高密度培養が可能なものや、油脂含有量が高いもの等があげられる。遺伝子の解析では、遺伝子の変質と性質を分析し、多くの変異が入っている中から意味のある変異を選んで特定するのが難しい。

また、環境中からの新規株の探索を京都大学と共同研究で実施している。木の幹、ガードレール、空中からも取れる。狙いは極限環境で、温泉地(酸性温泉、CO₂が多い温泉等)には面白い藻類が生息している。好適株(増殖速度が速く、油が多い)を選抜し、これに対して突然変異・遺伝子組換えを実施する。

新規取得株への遺伝子導入方法の検討を行ってきた。エレクトロポレーションと、アグロバクテリウム、パーティクルガンを順に試し、パーティクルガンを用いた場合にのみ遺伝子組換えに成功した。有用な変異が、導入ではなく機能欠損によるものもあり、この場合はTALEN(遺伝子を狙い撃ちで破壊する手法)を用いることを検討した。ただし、この手法による低クロロフィル株の作製には時間がかかるため、他の手法も試している。また、機能獲得型の油脂含有型変異として、窒素濃度に関わらず、常に油を貯める株の取得を目指している。窒素欠乏によって誘因される転写因子があると仮定し、窒素欠乏時のRNA-seqを行い転写因子遺伝子を探索している。ゆくゆく

はその転写因子遺伝子に常時発現するような強力なプロモーターを繋げることで、常時油を貯める細胞を作ることを目指している。

(6) 国内における藻類開発動向

藻類産業創成コンソーシアムでは、福島藻類プロジェクトを実施している。南相馬市において、藻類を用いて排水処理を実施し、得られた藻類バイオマスを燃料転換することを目的としている。

筑波大学では、大規模実証施設を建設しており、2014年11月2,3日に一般公開する予定である。

NEDO では戦略的次世代バイオマス利用技術開発事業が実施されている。

JST による CREST における藻類開発は、1 件数億円の予算が出ている。「さきがけ」は、個人向けの研究開発事業である。

筑波大は、仙台に下水処理場に研究所を設置して研究を推進中である。排水処理にオーランチオキトリウム、窒素・リンを利用したボトリコッカス培養を検討している。

その他、電源開発、ネオモルガンの榎本藻、スメーブジャパンのナンノクロロプシス（EPA 製造、年間 16t 製造）、ユーグレナ（シャトルバスに燃料供給）がある。

(7) 世界の藻類開発状況

世界中で藻類プロジェクトが実施されており、北米、ヨーロッパ、豪州に大きなプロジェクトがあるが、実はタイも進んでいる。

NREL や日本が中心となって、測定・評価の標準化の検討がされている。

米国の藻類開発は、軍がバックアップしている。プレーヤーとして、ベンチャー企業であるサファイヤエナジー、ソラザイム（有機物の油化） Heliae（光と有機物両方で増える藻類が特徴）等がいる。

サファイヤエナジーは、現在、藻類開発のトップランナーであり、135 億円投資して 400m×1.6km の培養施設を建設した。使っている藻類はイカダモと報告されている。培養池はもともと農地だった場所で、地下水の塩濃度が上がったために耕作放棄された土地を利用している。藻類関係者はこの事業性に注目しており、もしサファイヤが失敗すると藻類開発全体にも影響があると考えている。

COCN の藻類開発ロードマップとして、技術完成 2020 年、3,000ha の土地で 100,000kL/y の油生産（海外立地）をあげている。



写真 5.5-1 講演風景

5.6 講演会「微生物燃料電池」

- 1) 講演日時：2014年9月19日
- 2) 場所：一般財団法人エンジニアリング協会
- 3) 講演者：東京薬科大学生命科学部 渡邊 一哉 教授

(1) 東京薬科大学および今回の講演について

東京薬科大学は東京都八王子市に本部を置く大学である。1880年設立の東京薬舗大学から数えると130年の歴史があり、現在は薬学部と生命科学部の学科が存在する。生命エネルギー工学研究室では、「人間社会に新たな物質循環システムを創る」というフィロソフィーのもと、有用微生物機能の探索、微生物を利用したプロセスの開発に注力し研究を進めている。今回、講演していただいた微生物燃料電池は「朝日新聞グローバル」や「ドラえもん ふしぎのサイエンス」への掲載やテレビに取り上げられるなど一般的にも認知されてきている技術である。

(2) 微生物燃料電池と電流生成菌について

微生物燃料電池の歴史は1911年イギリスのダラム大学のポッター氏による実験から始まる。微生物燃料電池の基本的な仕組みは、微生物が有機物を分解する際の代謝能力を利用して有機物中の化学エネルギーを電気エネルギーに変換する装置である。

電流生成菌として知られている有名な菌としては、シュワネラ菌 (*Shewanella oneidensis* MR-1株) であり様々な研究が行われている。シュワネラ菌は生命エネルギーの獲得として通常の「酸素呼吸」とは別に「電気呼吸」を行っている。そのため、微生物燃料電池としての利用が可能となる。電流生成菌は様々な場所におり、東京薬科大学の応用生命科学ゼミナールの一環として学生が「微生物がいそうなもの」と「微生物のエサになりそうなもの」を用意し微生物燃料電池装置に入れ、発電を試した。その結果、用意された畑の土や海水と米ぬかや魚の内臓などの様々な組み合わせの条件から発電が確認された。

環境中には多様な微生物が生息し、それらの間には様々な相互作用が働いていると考えられている。そこで、土壌微生物であるジオバクター (*Geobacter*) とチオバチルス (*Thiobacillus*) の2種が共生しているところに、酸化鉄粒子を添加したところ、従来の共生的代謝に比べ10倍の代謝速度が得られた。これにより環境中にも電極や電線が存在し、微生物同士が電子のやり取りをしているという共生的エネルギー代謝「電気共生」があるということが発見された。

また、電極電位が遺伝子発現に与える影響を調査したところ、シュワネラ菌を異なった電位で生育させたところ、中間代謝産物として、+0.4VではD-乳酸菌、0VではL-乳酸菌が蓄積され、電位環境によって代謝が変わるということも明らかになってきた。

(3) 微生物燃料電池の開発・発展について

微生物燃料電池の開発として装置開発、アノード開発、カソード開発、微生物育種制御が進められている。まず装置開発として現在、主な微生物燃料電池装置の方式は、2槽式と1槽式に分けられる。2槽式はマイナス極であるアノード (Anode) とプラス極であるカソード (Cathode) が別られているものである。1槽式は空気正極を使用しておりプラス極であるカソードは空気中にある。その際、カソードの材料として膜

状のものが使用されマイナス極であるアノードが存在する槽内へ酸素が供給できるようになっていることがポイントである。

次にアノード開発としてアノード素材の改良・開発が行われている。アノードとして必要な条件は導電性があり腐食や分解されない素材である。発電量と表面積の関連が明らかになってきている。そこで、グラファイトフェルトにカーボンナノチューブで直接修飾し、出力密度を増大させるといった開発も行われている。

カソード開発ではエアーカソードの開発が行われている。エアーカソードを取り入れることで省スペースでより実用化しやすい構造となる利点がある。エアーカソードは空気透過性があり、不透水性であり、材質はカーボクロスに PTFE、ナフィオン・Pt/C 触媒を用いて構成されている。

最後に微生物育種制御として外部抵抗の変化が安定性にどのような影響を与えるかといった観点で研究がされている。シュワネラ菌を使用し、外部抵抗を低抵抗と高抵抗に変化させるなどして実験を行ったところ、低抵抗では初期高出力でその後著しく低下し、高抵抗では初期は安定し徐々に出力低下し、定期的に抵抗を調整した場合には 30 日にわたって出力を維持するといった結果となった。適度に休ませる（電流制御）を行うことにより長寿命化することが明らかになっている。また、与える抵抗によって遺伝子発現も変動することが明らかになっている。

(4) 微生物燃料電池の水処理への応用

現在の下水处理場では活性汚泥法が採用されている。活性汚泥法は 100 年前の技術であり、曝気・攪拌が必要であるため下水処理に日本の総電力使用の 0.5%以上が使用されており、電力供給が止まると下水処理ができなくなる。また、下水汚泥は、産業廃棄物の 2 割を占めている。この活性汚泥法と微生物燃料電池を比較すると、微生物燃料電池では有機物を分解し微生物が増殖するエネルギーの一部を電気として回収できるため、活性汚泥法に代わる 21 世紀の省エネ水処理として期待されている。電極本体を反応槽内に挿入することで微生物燃料電池となるカセット電極型微生物燃料電池の実験では、対象廃水が電極との接触時間と面積が増大するようにカセット電極を流路がスラローム状になるように設置し実験を行った。その結果、余剰汚泥の減少と電気回収という利点から 80%以上の省エネとなることが確認された。今後はスケールアップしていき、新たな水処理技術として国家成長戦略である水ビジネスの一翼を担うものと期待される。



写真 5.6-1 講演風景

第6章 まとめ

バイオマス利用技術を推進することで、地方の活力に繋げるための方策を立案することを目指して調査を行う。本年度は調査の1年目として、既に地方でのバイオマス利用を実施している優れた先例への視察調査や、今後の実用化が期待される新たな技術についての識者の講演会を開くなど、先進技術者との情報交流を含めて、当該技術の課題の整理と、今後への期待について取りまとめた。また、バイオマスと再生可能エネルギーを比較することで、バイオマス促進策をどの様に進めるべきかを明確にすることを目的とした調査も進めた。

【地域で貢献するバイオマス技術】

1) 木質バイオマス利用について

小規模ながら10年の運用実績を誇る「森の発電所」を含めた「東濃ひのき製品流通共同組合」を視察した。発電を行い、売電収入を得ているものの、端材やおがくずの燃焼エネルギーは、まず製品の乾燥に使い、ついで場内の電力利用を賄った上で余ったものを売電するという運用をしており、売電ありきの運用をしていない。木材製品の地域ブランドとしても向上できており、木材流通に併せて、適正規模での運用と、効率のよい熱利用を優先している点で参考にすべき点が多い施設と言える。FIT主体では、大型案件を誘発する傾向があるので、こうした廃材利用を小規模でも行える方式を丁寧に後押しする政策も重要であると考えられた。

また、国内の輸入材も含めた木材需要は、低下傾向にあり、さらに丸太材よりも製品輸入の割合が増えるなど、木材加工業の国外移転も懸念される状況が進んでいる。森林や木材ストックでは、欧州最大のドイツにもひけをとらない我が国の木質利用を推進していくには、林業と木材加工、流通、エネルギー利用といった一連の流れを効果的に増やしていくことが重要である。国内での土木材料利用と、木質チップ利用を例に、カスケード利用と新材利用のコスト比較の試算を行い、カスケード利用を推進していける土壌を築くことが、全体システムとしてのコストダウンに繋がることを示した。林業の保全やエネルギー利用の推進策が成されているが、繋がりを意識して、木材加工や利用の促進、それと連携したエネルギー利用の優遇など、バランスのよい支援策が望まれる。

2) 静脈施設をコアとしたバイオマス技術

下水処理場と焼却施設をコアとしたバイオマス利用について、下水処理場隣接型で2件と、焼却処理併設型で1件の事例を視察した。

下水処理場隣接型として視察した珠洲市と黒部市のそれぞれにおいて、施設利用エネルギーの3/4と4/5を賄っており、省エネ型の処理施設を実現しているだけでなく、地域の食品廃棄物の利用促進、地元雇用の創出にも貢献している。両施設を参考にできる地域は多いものとする。両施設ともに補助事業を活用しているが、省エネと地域での貢献を考えると、同じような例を増やすべく、補助制度の発展的な運用に期待したい。

一方、運用面での工夫を継続的に行うには、地方自治体などでは人材が不足している点が課題である。広域連携の実現に関しても、実際に静脈施設を運用している自治体よりも上の例えば都道府県レベルの調整が必須であるが、実際に苦勞している担当者は市町村にいるなどのギャップが課題と言える。既に供用している施設の改善や、より広域連携することの効果についての試算などは、例えば国等の補助事業によって、民間の力を引き出して、具体的な計画・試算例を作っていくなどの推進策が考えられる。

焼却施設では、乾式メタン方式を導入している兵庫県内陸にある南但クリーンセンターを視察した。ごみ焼却設備とメタン発酵の組合せにおいて、なるべく含水率を増やさないように処理し、紙ゴミなども活用しやすいような半固形を前提とした乾式メタン方式は、期待が持たれる。当施設は、朝来市と養父市のごみ処理を担っており、両市を合わせることで採算規模を確保している。規模をある程度持つことで、防災拠点としての発電能力も保有することに繋がる。焼却施設の利用拡大のために、大いに参考になる施設と言える。上記の下水処理施設の活用も併せて、国の支援を得た上で、民間の知恵を借りやすくするような検討事業を計画することも有効であろう。

【新たなバイオマス利用技術による地域活性化の可能性】

新たなバイオマス利用技術として「微細藻類利用技術」と「微生物燃料電池」に注目し調査を実施した。

微細藻類は、現時点でバイオ燃料製造に利用するには、製造コストが高く、事業を成立させるには、まだ時間が必要であると考えられる。商業化に向けては製造コスト低減の技術開発を進めて行く必要があり、政府による技術開発・実証への支援や、商業設備への補助、バイオ燃料使用義務化等の政策的な後押しが期待される。また微細藻類は、バイオ燃料としての特性だけでなく、健康食品など付加価値が高い商品としての利用や、飼料などの少量でも活用できる分野でも期待される。復興地でもこうした面も含んだ事業計画が出されており、藻類の持つ多面的な分野への可能性にも期待したい。

微生物燃料電池は、廃水処理へ本格導入するには、まだ材料開発を含めた高効率化、大型化や低コスト化等の技術的課題が残っている。しかしながら、本技術は、農業・酪農分野、水質浄化等、多岐に渡る分野に導入できる可能性を秘めており、今後の精力的な開発推進が期待される。

【バイオマスとその他の再生可能エネルギー】

我が国におけるバイオマス利用の促進施策は、2000年の循環型社会形成基本法の施行や、2002年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」などを契機として進められてきた。特に近年は、2002年の「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）」や、2012年のFIT制度の施行により、再生可能エネルギーのひとつとしてバイオマス発電が位置づけられ、発電の面から導入が促進されている。しかし、認定量は増大したものの、導入量はFIT導入前より鈍化している気配もあり、今後もFIT以外の促進策も含めた検討が必要と考える。

太陽光などその他の再生可能エネルギーとバイオマスを比較し、バイオマスは、地元雇用への波及効果が期待できる点や導入施設の許容電力と発電実績の比較からみても

稼働率において 10 倍前後も優位である点、保存可能で有事のエネルギー源として期待できる点などから、社会への貢献度は他の再生可能エネルギーにない意義もあることを整理した。しかも、熱利用を含めた一次エネルギーとして見れば、バイオマスの割合は支配的に大きく、欧州では再生可能エネルギーを一次エネルギーの用途である熱利用や輸送燃料としても重視して、導入目標を立てている。我が国では、再生可能エネルギーの導入を発電面から見ているが、本格的に CO₂ 削減やエネルギー自給率向上のために再生可能エネルギー導入を考えるのであれば、熱利用や輸送燃料なども含めた総合的な目標を立てて、取り組むべきと考える。熱利用や燃料も含めて考えた場合、多面的な機能を持つバイオマスへの期待は自然と高くなるため、これに応じた多面的な支援を行うべきだと考える。

来年度は、さらに検証を進めて、バイオマスの促進策のあり方について、掘り下げて考えていきたい。

謝辞

最後に「バイオマス技術の活用と普及」に関する調査に取り組むに当たり、地方自治体および先進的な事業施設を訪問させていただきました。それぞれの施設や設備を丁寧にご説明いただき、事業背景や現状について、大変貴重なご意見を拝聴することができました。

また、講演いただいた渡邊一哉先生と蔵野憲秀氏には、それぞれ微生物燃料電池と微細藻類の燃料や原料利用といった、先進的なバイオマス利用技術についてご講演をいただき、新しい技術への期待と現状の課題について、熱意を持ってご解説いただきました。本調査を進めるにあたり、大きな示唆を与えていただきました。

ここに成果報告書の発行に際し、紙面をお借りして関係各位に心より厚く御礼申し上げます。

第Ⅱ部 都市部との連携による6次産業化システム

第 1 章 調査研究の経緯と目的

第一次産業である農林水産業は、古来より人の生活の基盤となる衣食住を直接支える根幹的な産業として、自然資源が豊富な地域で脈々と継続・利活用されてきた。一方で、産業技術の高度化や経済システムの複雑化に伴って、第二次産業や第三次産業の占める割合が急速に高まり、これまで第一次産業を支えてきた農村などの地域から、人・もの・経済・情報が大都市へと流出する現象が止まらない。その結果、大都市への人口や経済の一極集中はその地域の荒廃をもたらし、第一次産業の存続が危ぶまれる地域が増加している。

そこで、農林水産省は地域の農山漁村の活性化を目的とした「6次産業化」（第一次・二次・三次産業の数字を足し合わせ、あるいは掛け合わせた意味の造語で、農林漁業生産と加工・販売の一体化や、地域資源を活用した新たな産業の創出を促進することを目指した言葉）を推進している。これは、自然がもたらす資源に対していかに付加価値を高めるか、ということに他ならない。

さて、我々は 2009 年度から 2013 年度まで、エンジニアリング協会 エネルギー・環境研究部会の調査研究活動の中で、BCN（バイオコミュニティネットワーク：Bio Community Network）という生物資源を中心に据えた新しい社会システム構築の考え方を提案してきた。その概要については第 6 章の 6.1 において紹介しているが、BCN は 6 次産業化の基盤となる生物資源（バイオ）の価値をより高度に認識したうえで、人・もの・経済・情報の流れ（コミュニティ）をその地域内で完結させるのではなく、その周辺地域や都市との連携を図る（ネットワーク）ことによって人・もの・経済・情報の流れを成立させるべきである、という考え方である。

この第 II 部では、以上に述べた 6 次産業化や BCN の考え方をさらに具体化し、展開させるために行った事例調査や検討の経過について取りまとめた。なお、2014 年度は、循環型システム研究部会の 2 年間の調査研究期間の 1 年目ということで、問題の提起および概略の提案の位置づけとなる。

1.1 調査研究の内容

第 II 部においては以下の三つの視点に基づいて調査・検討を行っている。

- ① 6 次産業化における新たな産業構造と地域・都市間の関わり方（第 2 章、第 3 章）
- ② 地域の主体を成す水系や農村の視点で見た地域活性化のあり方（第 4 章、第 5 章）
- ③ BCN の考え方に基づいた地域と都市のネットワーク化のあり方（第 6 章）

①においては、地域と都市におけるエネルギー・経済システム等に関する諸政策を明確に分けることが重要であることを提示し、地域活性化の可能性が高い農・林・漁業における 6 次産業化の事例について調査を行った（第 2 章）。さらに、農における最先端の事例として、地域にある IT 関連工場を植物（野菜）工場に改装し、高度な技術を駆使して高付加価値の野菜生産を行うことによって、地域活性化の拠点づくりを目指した事例について調査を行った（第 3 章）。

②においては、島国である我が国にとって大きな面積を占める海域沿岸域や、大小さま

さまざまな河川・湖沼の水系が有する諸機能について、水の生産や水産・漁業の場としての機能はもとより、物質循環、環境調整や文化的な機能が重要であることを明確にし、これら水辺の活用による地域の活性化における課題を提示した（第4章）。また、生物資源が豊富である農村地域について、農村が有する生物資源を主眼とした調整・保全機能、供給機能、および感性的・文化的機能について整理し、諸機能の中で農村地域の活性化の度合いを評価できるようなシステムの構築を目指した指標化を試みた（第5章）。

③においては、生物資源が有する諸機能や、地域と都市とのネットワーク化（すなわち、我々が提唱するBCN）について、エンジニアリングアプローチが定量的に可能となるような手法（AHP分析）を提案し、BCN構想の評価体系の構築と、BCN研究に携わってきた11名による評価項目の重み付け結果と若干の考察を加えた（第6章）。

1.2 視察調査訪問先

2014年度に視察調査した訪問先を以下に示す。

なお、視察調査の詳細については第7章（事例調査）およびその他の関連各章で引用した内容を参照されたい。

① 富士通グループ会津若松 Akisai やさい工場（関連：第3章ほか）

地域にある半導体製造工場におけるクリーンルーム等を使った新規ビジネスとして、クラウドサービスを活用した植物工場を立ち上げ、付加価値の高い機能性野菜の生産を行っている状況を調査した。

② 千葉県ソーラーシェアリング実証現場（関連：第2章ほか）

耕作地で営農しながら太陽光発電を行うソーラーシェアリングは、今後の農地や農村地域の有効な地産エネルギーとして活用できると期待し、ソーラーシェアリングの推進・普及に力を入れている活動団体（一般社団法人ソーラーシェアリング協会）に現地にて視察・ヒアリングの調査を行った。

第2章 地域産業活性化のための新しい6次産業化

人と経済の一極集中がもたらす経済格差、少子高齢化に伴う限界集落、グローバル経済信奉がもたらした食料自給率の低下など地域産業に元気がないことに伴う弊害は大きい。さらに環太平洋戦略的経済連携協定（TPP：Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement）の締結は地域産業を崩壊させかねない危うさを含んでいる。日本の地域産業を活性化するために、かつて日本の高度経済成長を牽引した経験をもつエンジニアリング産業の果たせる役割について検討した。

農林水産省を中心に進められている6次産業化施策は、農林水産業を中心とした地域産業活性化のための施策であり、現在、①「六次産業化・地産地消法」と、②「農商工等連携促進法」の2つの法律に基づく法認定による3種類の6次産業化整備支援事業が進められているが、これら施策による経済効果は国内総生産（GDP：Gross Domestic Product）に占める割合ではまだまだ小さく地域産業全体を活性化するに至っていない。日本の地域産業が元気を取り戻し、新しい成熟モデルとして世界の中で輝くためには現在進められている6次産業化施策に加えてエンジニアリングアプローチによる規模感のある「新しい6次産業化」の施策が望まれる。本章ではエンジニアリングアプローチによる地域産業活性化として農林水産業の「新しい6次産業化」について2013年度までのエンジニアリング協会 エネルギー・環境研究部会の調査研究をベースに提案する。

2.1 地域産業を活性化するための日本型成熟社会のあり方

2.1.1 競・助の社会システム

日本社会が今後も持続的に発展するためには輸出によって外貨を獲得する現在の産業構造を維持した上で、持続可能で元気な地域社会を取り戻すことが重要である。

本款では、国際競争力を保ち続ける大都市を中心としたグローバル産業とBCN（バイオコミュニティネットワーク：概要については第6章の6.1を参照されたい）をベースとした持続可能な地域社会を支える地域産業を並立させる「競・助の社会システム」（図2.1.1-1）を提案する。

国際競争によって外貨を獲得するグローバル産業は、現在の「競い合いの社会」のまま市場交換経済と新自由主義に一層特化し、エネルギー調達コストを国際取引価格とするTPPの枠組みの中で切磋琢磨してゆけばよい。

これに対して生命と文化を育む地域社会と地域社会を発展させるべき地域産業は持続可能性を重視し、生物や自然の価値である自然資本（NC：Natural Capital）と共生しながらエネルギーと食糧と水を地産地消（自給自足）する「助け合いの社会」を構築していく必要がある。

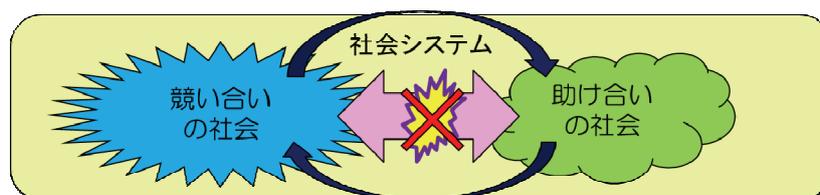


図 2.1.1-1 「競・助の社会システム」のイメージ

このような「競・助の社会システム」を構築するベースとして、都市住民と地域住民には次の3つの着眼点に基づく合意が必要である。

1つ目は、自然資本と労働価値・知恵・文化などの人が生み出す価値を「真の価値」として再認識し、交換手段である貨幣やバーチャルな金融ゲームにとらわれない。

2つ目は、自分が受けとり・与える恩恵（真の価値）が目に見える形でトレーサブルな（履歴が辿れる）状態にする。

3つ目は、都市住民と地域住民が相互の恩恵（真の価値）に対して感謝と畏敬の念を持ち、持続のための相互支援（図 2.1.1-2）に取り組む。



図 2.1.1-2 都市と地域の相互支援のイメージ

2.1.2 TPP に対抗できる地域産業の増収増益の方策

グローバル産業と地域産業の経済システムは「競・助の社会システム」の中で運用されるべきであるが、その上で収益拡大やコスト削減の努力なしには地域産業を活性化して持続可能とすることはできない。そこで、地域産業を活性化し増収増益するための新しい6次産業化を提案したい。

新しい6次産業化とは、下記の3点を精力的に行い地域全体の経済をトータルで増収増益していくというものである。

- ①農林水産業などの本業を高度化しながら生産品の製品化プロセスを地域の中に導入する。
- ②地産エネルギー（RE：Regional Energy）を固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）によって安定的に利益化する。
- ③地域全体の副業の役割を担うブランド化やリゾート化分野の商品サービスも開拓する。

そしてこの3点の実施によってもたらされる売上の合計額によってTPP体制後の輸入産物との競争に対抗しようという発想である。

2.1.3 新しい6次産業化

地域産業を活性化するための新しい6次産業化とは、表 2.1.3-1 に示すように、下記のA～Eに基づく収益を地域の多くの事業主体者が明確な役割分担の基に連携して総収益として得られている状態を指す。

- A：本業の高度化（本業そのものを高度化（高価値化・高効率化）して増収増益する）
- B：生産品の製品化（製品の機能を向上させる加工を地域に導入し地域で自ら実施する）
- C：地産エネルギー販売（本業を優先しつつFIT対象の地産エネルギーを販売する）
- D：副業としてのブランド化（安心安全な高品質製品を国内外に通信販売する）
- E：副業としてのリゾート化（地域の特性を生かしたおもてなしのサービス業を展開する）

表 2.1.3-1 新しい6次産業化の内訳

新しい6次産業化								
A：本業の高度化	B：生産品の製品化	C：地産エネルギー販売	D：地域の副業的の役割を担うブランド化			E：地域の副業的の役割を担うリゾート化		
支援システム構築	製品化の取り込み	FIT対象（含自給自足）	政府系Web展開			政府系Web展開		
第1次産業	第2次産業	第2次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業
本業の効率化	地域内での製品化	地域産業と一般家庭	安心安全	加工・梱包	国内外通販	地域特性製品	地域特性製品	おもてなし

次に、新しい6次産業化の想定例を表2.1.3-2に示し、次節以降で農業・林業・水産業のそれぞれの新しい6次産業化について提案例を紹介する。ここに示した本業の高度化技術、製品化技術の地域導入、地産エネルギーの開発など新しい6次産業化にエンジニアリング産業が貢献できる領域は広い。

表 2.1.3-2 地域産業活性化のための新しい6次産業化

	本業	本業の高度化	生産品の製品化	地産エネルギー販売	ブランド化	リゾート化
農業	米	農機・人材共有化	共同精米、共同梱包	ソーラーシェアリング ため池ソーラー発電	アジアの高品質需要向けの 高品質米+政府Web直販	体験農業+観光
	豆	農機・人材共有化	植物原料模倣肉の加工	ソーラーシェアリング		体験農業+観光
	やさい	多品種、多季節生産化	生鮮梱包	ソーラーシェアリング	海外高品質需要家向けの 高品質やさい+政府Web直販	野菜工場+レストラン
	茶		カテキン、消臭剤	バイオマス地域給湯	高品質緑茶	
畜産業	肉	IT成長管理		バイオガス	和牛、松坂牛	
	牛乳	搾乳ロボット	生鮮輸送	コンバインドサイクル		畜産体験+観光
	鶏卵			鶏糞ボイラー地域給湯		
漁業	近海	深層冷水養殖 陸上淡水養殖 設置型漁礁（風力発電）	生鮮梱包	海洋温度差発電 海流発電、波力発電 風力発電	ミネラルウォーター	遊漁船+宿、観光 水産加工、漁業体験
	遠洋	洋上浮体漁礁（風力発電）		海流発電、洋上風力発電		
	材木	樹種計画生産 路網整備 搬出機械化	高層建材用大断面集成材 木造ガードレール 木質ハイブリッド集成材 建材用耐火材加工 家具用硬質ボード加工	薪ストーブ戸別暖房 小水力自給発電	木炭製造+直販 （圃場改質/燃料炭） キノコ栽培+直販	
温泉	観光	国際観光化	入浴剤精製	地熱発電+地域給湯		野菜工場+レストラン 海外安心安全志向層向けの 移住用リゾート

新しい6次産業化では地産エネルギーをFITの対象とすることで、地域産業の経営安定化に直接的に寄与させることを提案する。地産エネルギーは分散型で生産規模が小さいため自給自足の場合もあるが、経営安定化のためには自給自足分も含めてFITの対象にする必要がある。自給分および余剰分を含めて発電電力の全量をFIT対象として売電し、そのうちの自給分を再び購入することにより、各々収益と費用としてカウントするのである。このような「全量買取制度」はドイツなどで行われており、現在の我が国は「余剰買取制度」となっている。

現在の経済システムでは、エネルギーや食品の自給自足分は価値を創出しているにも関わらず金額の収支が発生していないことからGDPにカウントされない。それゆえ地産エネルギーを大幅に導入すると数値上の見かけの経済規模が縮小することが懸念されるので、これを回避するために自給自足の地産エネルギーもGDPにカウントすることが必要である。

2.2 地域の農業のための新しい6次産業化

地域の農業のための新しい6次産業化について表2.2-1に示し、以下に述べる。

表 2.2-1 農業の新しい6次産業化

農業の新しい6次産業化								
A：本業の高度化	B：生製品の製品化	C：地産エネルギー販売	D：地域の副業的の役割を担うブランド化			E：地域の副業的の役割を担うリゾート化		
支援システム構築	製品化の取り込み	FIT対象（含自給自足）	政府系Web展開			政府系Web展開		
第1次産業	第2次産業	第2次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業
農機/人材の共有化	植物原料模擬肉	ソーラーシェアリング	安心安全	加工・梱包	国内外通販	農業体験	加工品体験	おもてなし

- A：本業の高度化では、日本の農業事業者が海外の農業事業者と比較して面積規模を拡大することが難しいことによる生産性の非効率や就業者の高齢化などを克服しうる活性化施策として、農業機器や労働力の共有化などが想定される。
- B：生製品の製品化では従来の精米作業などの枠を超えて、新しい産業を興してその新しく開拓した市場のシェアを獲得する野心的な提案としたい。
- C：地産エネルギー販売では今年度現地調査を行ったソーラーシェアリングを中心に改めて紹介する。
- D/E：地域の中の副業の役割を担うブランド化とリゾート化では安心安全でトレーサビリティ情報の確立した日本ブランド構築と国内外向け政府系 Web 展開を提案する。

2.2.1 営農の効率化による営農コストの低減

図 2.2.1-1 は政府・地域社会・農家の役割とその影響の範囲をイメージし日本農業発展の輪として示したものである。

三つの輪は、それぞれ内側から、農家、地域社会、政府を意味しており、それらの輪の大きさは負荷と他に及ぼす影響の範囲をイメージしている。最も内側の歪んだ四角は稲作農家の年間労働負荷変化率を反映しており、負荷の偏る春の田植え（写真 2.2.1-1）あるいは秋の稲刈り（写真図 2.2.1-2）が多忙なことを示している。

年に 1 度限られた期間しか使用しないこのような稼働率の小さい高価な機械を個人で所有するのは効率的ではないが、日本の農家では零細兼業農家を含めてほとんどの農家が 1 式の装置を所有しているのが現実である。

農業の 1 年にエンジニアリングの概念を持ち込み、地域（自治体や農協団体）が契約仲介者となりシステムチックな共有化のための管理運営を行うことで、日本農業の効率化を可能にすることができるのではないだろうか。

このほかの効率化の提案として湛水直播（写真 2.2.1-3）について紹介する。湛水直播とは、周囲を鉄分と焼石膏によってコーティングした種を育苗せず直接田に播種する方法で、従来の移植栽培と比べ約 60%の労働時間の短縮と約 36%の生産コストの低減が見込まれる技術とされている。

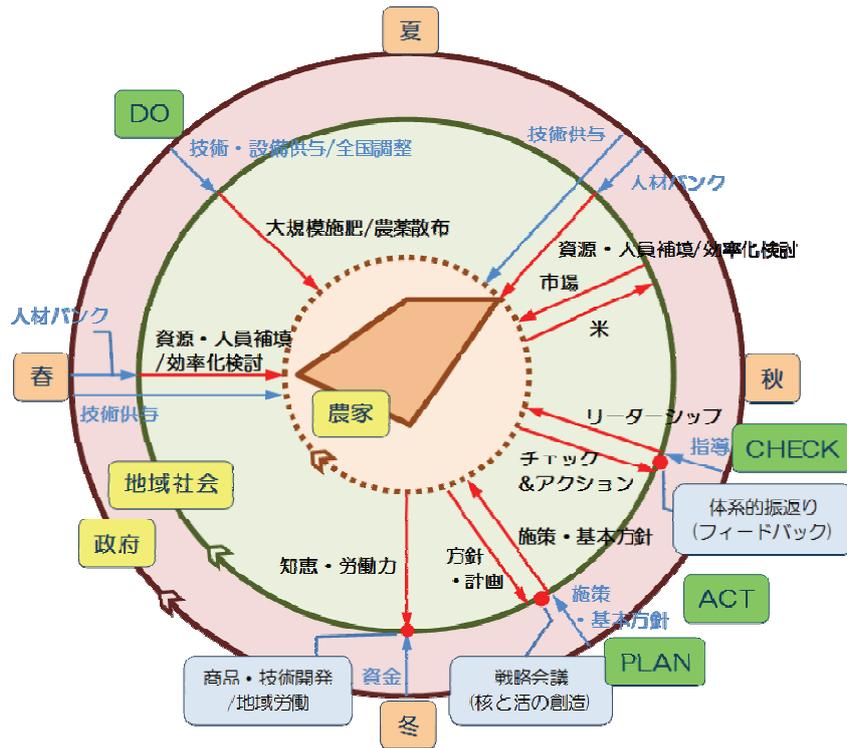


図 2.2.1-1 日本農業発展の輪

出典：エンジニアリング協会エネルギー・環境研究部会 2013 年度調査研究報告書



写真 2.2.1-1 春の農業機械の例

出典：Google 画像検索「耕運機、田植え機」で抽出



写真 2.2.1-2 秋の農業機械の例

出典：Google 画像検索「稲刈り機、精米機」で抽出



写真 2.2.1-3 鉄コーティング種

出典：全農 HP（左）、櫛クボタ HP（右）

2.2.2 植物原料模擬肉の開発による新輸出市場開拓

2050年の世界人口は90億人と想定されており、現在の地球上の食料生産能力のままでは食料争奪紛争が起こりかねない危険を孕んでいる。食料争奪紛争を起こさない持続可能（サステナブル）な社会を考えるには食料供給体制を根本から変えてしまうような大胆な提案が必要ではないだろうか。

1kgの肉を生産するために必要な穀物量は、牛肉の場合10~30kg、豚肉の場合4~8kg、鶏肉の場合2~4kgである。つまり肉食をすることは穀物の供給量を大きく減らしてしまうことになるので、世界全体で考えれば食肉の消費量を減らす試みが効果的であると考えられる。日本の持っている技術を駆使して既に商品化（図2.2.2-1）されている植物原料模擬肉（植物タンパク+糖質+植物油+食物繊維）をさらにおいしい食材として発展させることができれば、世界中に植物原料模擬肉の新しい市場を開拓した上でその市場シェアを確保することができるだろう。

世界のベジタリアンの市場規模は宗教上の理由による需要家（世界のヒンドゥー教徒は8.5億人存在）のほかに、健康志向の需要家（OECD加盟国12.5億人の数十%が対象）、さらに思想的理由による需要家など、現時点の地球上の総人口70億人の10%以上が食べ続ける市場が存在することになる。そして模擬肉の原料として、植物タンパク・糖質・植物油・食物繊維を利用することは、地域の農業に新たな産物を生むことと生産量を増やすことを可能とする。例えば茨城県の大豆や千葉県の花落花生などは生産量を増やすことが可能となるだろう。



図 2.2.2-1 植物原料模擬肉の既存商品例

出典：三育フーズ株式会社 HP、有限会社カネ久越後屋商店 HP、株式会社マイセン HP

さらに食糧で期待される新市場としては、薬物野菜を栽培することが困難な世界の乾燥地帯向けに（図 2.2.2-2）、新鮮な薬物野菜を提供するための植物工場（図 2.2.2-3）を提供することも新たな市場開拓である。詳細については、第 3 章 植物工場起点の地域活性化（地域資源の活用）を参照されたい。

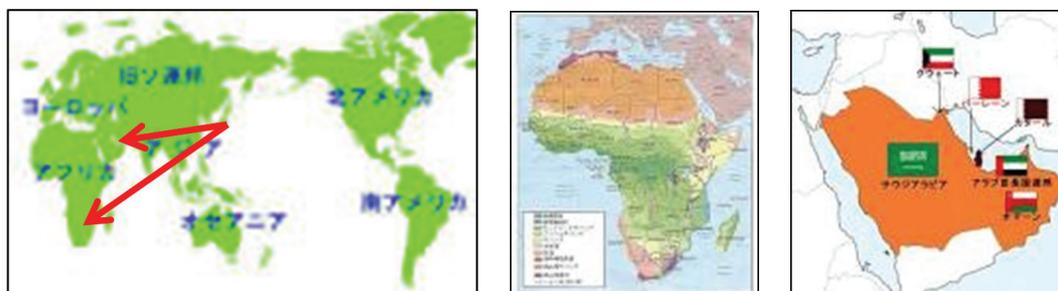


図 2.2.2-2 世界の乾燥地帯（植物工場の輸出想定先）

出典：Google 画像検索「世界地図、アフリカ地図、中東地図」で検索



図 2.2.2-3 既存植物工場例（2014 年 9 月 30 日 部会現地調査）

富士通グループ HP

2.2.3 農地ソーラー発電による増収・増益

農村地域からの地産エネルギー量をどの程度に見積もれるかについては表 2.2.3-1 を参照されたい。農村地域から得られる地産エネルギー総量はグローバル産業を除く国内の一般用電力消費量である約 6,600 億 kWh/年を賄い得るポテンシャルを有していることがわかる。

表 2.2.3-1 農村における再生可能エネルギー利用のポテンシャル

再生可能エネルギー種別		対象範囲	年間エネルギーポテンシャル換算値 (単位：kWh/年)
小水力		農業用水路4万km内を対象 (用水路3万km、排水路1万km)	85億
		国内河川全域	787億
太陽光	ソーラーシェアリング	農地でのソーラーシェアリング (国内全農地471万ha中50万haの農地の3割の面積にパネル敷設)	1,577億
		耕作放棄地17万haの全域の3割の面積にパネル敷設	536億
		国内全農地の3割の面積にパネル敷設	14,853億
	ため池 水上発電	ため池での水上太陽光発電 (国内ため池の全未利用水面34万haのうち3割の水面積にパネル敷設)	1,072億
国内ため池の未利用水面全面にパネル敷設		3,574億	
バイオマス	2002年推定値	森林(木質系バイオマス)を含めた農山村を対象	1,964億
		農畜産地を対象	747億
		バイオマス全体	3,683億
	2012年バイオマス事業化戦略での推定値	電力利用可能量	220億
燃料利用可能量		1,980億	
電力・燃料利用可能総量		2,200億	

出典： エンジニアリング協会エネルギー・環境研究部会 2013 年度調査研究報告書

1) 耕作地におけるソーラーシェアリング

ソーラーシェアリングとは植物の光飽和点という植物が必要とする光の量を把握しながら余分な光エネルギーをソーラーパネルを用いて電気エネルギーとして回収する技術を用いた営農方法(図 2.2.3-1)である。

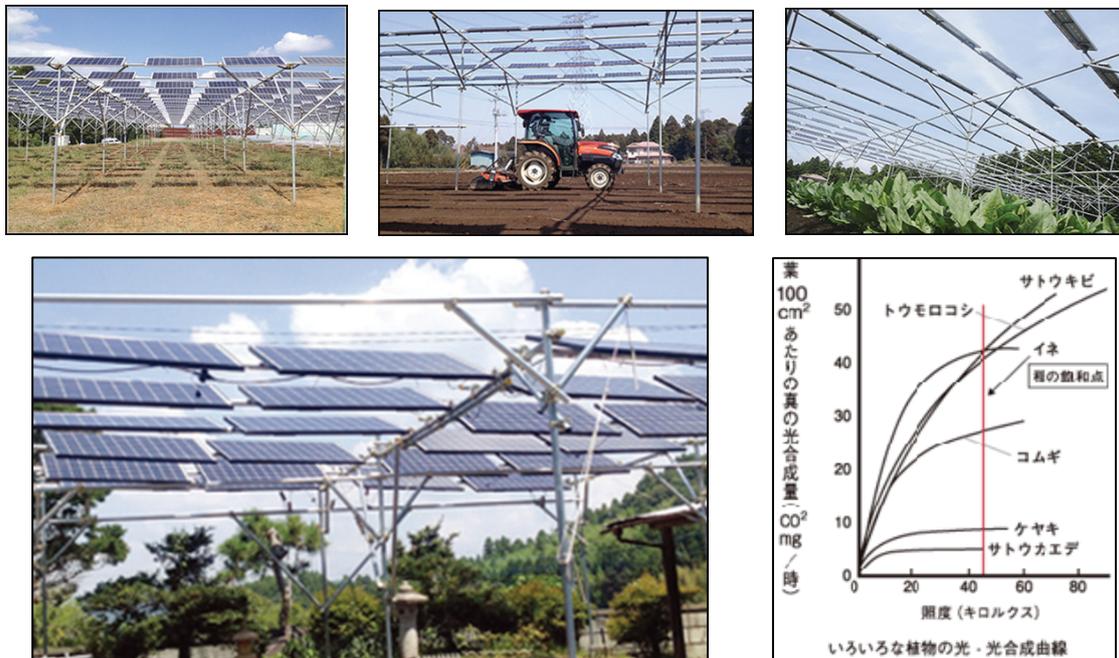


図 2.2.3-1 ソーラーシェアリングの実証風景と光飽和点

出典：(社)ソーラーシェアリング協会 HP

2014年11月11日（火）にエンジニアリング協会循環型システム研究部会メンバーが一般社団法人ソーラーシェアリング協会の行う千葉市緑区（林農園）の実証実験場を視察したので7.2節で詳細に報告するが、ここで一部特徴について記載する。

ソーラーパネルの架台の支柱は鉄製の短管パイプに抜け止めの鉄板を括り付けたものを深さ500mm程度まで埋め込むことで、これまでのところ風による倒壊を防げているとのことで、千葉県においては雪害による破損も発生していないとの話であった。現在、軽量化のため薄型のソーラーパネルを開発中であり、さらに新しい取り組みとしてビニールハウス型が実証されようとしていた。

ソーラーシェアリングの取組では、農業の継続を最優先にすることで地域の農業委員会との信頼関係を構築することが重要である。そして農業を継続し生産量を増大させるために最も重要なことは農産物の成長に必要な太陽光量を農産物に供給することであり、そのためにはソーラーパネルによる斜光率を適切に管理することが必要となる。ソーラーシェアリング協会による実証試験では30%の斜光率でニンジンやジャガイモの生産量には変化がなく、ラッカセイやサトイモなどの生産量は向上し、トウモロコシの生産量は低下したとのことである。

農家の収入増加の実績としては国内の平均的な農業収入が約38万円/年・haであるのに対してFIT(38円/kWh)による売電収入は約100万円/年・haであったという。

つぎに、日本全土においてソーラーシェアリングで得られるエネルギー総量の試算結果を記載する。日本の全農地471万ha（日本全土の13%）のうち10.6%の50万haに設置したと仮定し、さらに実際には生産する植物の種類ごとに異なるが農産物の生産効率を最大に維持するための斜光率を30%と仮定して表2.2.3-2に示す。その結果、年間総発電量は1,577億kWhと試算され、ソーラーシェアリングの潜在的なポテンシャルは大きいと推定された。なお、発電出力は0.1kW/m²、年平均稼働率は0.12と仮定している。

表 2.2.3-2 ソーラーシェアリングで得られるエネルギー総量

① 全設備容量：

$$4,710,000\text{ha} \times 0.106 \times 10,000\text{m}^2/\text{ha} \times 0.3 \times 0.1\text{kW}/\text{m}^2 = 150 \text{ 百万 kWh}$$

② 年間総発電量：（昼夜や天候による日照時間から、稼働率を12%とする。）

$$150 \text{ 百万 kWh(設備容量)} \times 0.12 \times 24\text{h}/\text{日} \times 365 \text{ 日/年} \\ = 1,577 \text{ 億 kWh/年 (大型原発約 16 基分に相当する。)}$$

2) ため池における水上ソーラー発電

農村における農地以外のソーラー発電エリアとして有望視されているのがため池である。ため池は降水量の少ない地域における農業用水の確保源として欠かせないが、全国に21万か所あり、その未利用水面の面積は34万haと推定されている。ため池や調整池における水上ソーラー発電は写真2.2.3-1に示すように愛知県の東郷調整池や埼玉県桶川市の後谷調整池で始められている。

つぎに、全国のため池ソーラー発電で得られるエネルギー総量の試算結果を記載する。仮にため池の未利用水面 34 万 ha の 30%の水面に水上ソーラー発電を実施した場合のポテンシャルは、表 2.2.3-3 のように試算され、水上ソーラーによる潜在ポテンシャルもソーラーシェアリングの場合と同様に大きいと推定された。なお、水上ソーラーにおいてもソーラーシェアリングの場合と同様に、発電出力 0.1kW/m²、年平均稼働率は 0.12 と仮定している。



①東郷調整池



②後谷調整池

写真 2.2.3-1 ため池や調整池における水上ソーラー発電の例

出典：東郷調整池は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業振興施策」、後谷調整池は桶川市 HP

表 2.2.3-3 ため池ソーラー発電で得られるエネルギー総量

①設備容量：

$$340,000\text{ha} \times 0.3 \times 10,000\text{m}^2/\text{ha} \times 0.1\text{kW}/\text{m}^2 = 102 \text{ 百万 kWh}$$

②年間発電量：（夜や雲による日照時間から、稼働率を 12%とする。）

$$102 \text{ 百万 kWh(設備容量)} \times 0.12 \times 24\text{h}/\text{日} \times 365 \text{ 日}/\text{年} \\ = 1,072 \text{ 億 kWh}/\text{年} \text{ (大型原発約 11 基分に相当)}$$

3) 農畜産系残渣バイオマスによる地産エネルギーの地域給湯と自家暖房

表 2.2.3-1 に示したように、バイオマス全体としてのエネルギー利用可能量は大きい、バイオマスは資源としての利用価値やカスケード利用による大量の CO₂ 固定機能によってこそ、その価値を最大限に生かせ、また持続可能資源として維持することが可能となることから、図 2.2.3-2 で示すバイオマスのエネルギー利用可能量の全体をエネルギー利用対象とすべきではない。食品廃棄物や農業残渣、家畜糞尿・尿尿に限って、地産地消の燃料利用として地域給湯と自家暖房を中心に取り組むことを提案する。

農畜産系 残渣バイオマス利用可能量:269PJ/年(電力換算 1kWh=3.6MJ)
 ポテンシャル **747 億 kWh/年**

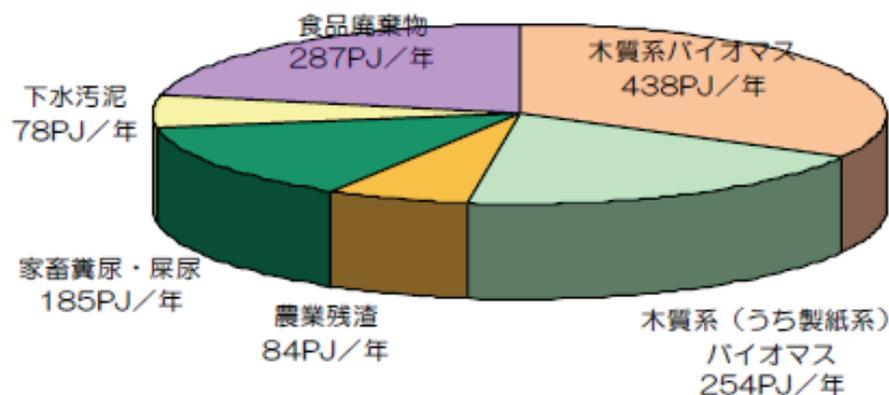


図 2.2.3-2 バイオマスにおけるエネルギー利用可能量の資源別内訳

出典：資源エネルギー庁「バイオマスエネルギー開発・利用戦略の検討状況」2002.11

2.2.4 地域の副業としての役割を担うブランド化・リゾート化

農畜産物のブランド化については、例えば北海道の夕張メロンやすでに世界で市場をつくっている和牛や日本米などに続くブランド化が必要であり、国内外向けの高品質栽培と生産から流通に渡る全てのトレーサビリティ情報までを含めた高品質商品の開発に取り組むことを提案する。また政府の役割としては、世界にスピーディーに間違いなく供給できるシステムとして、政府系の直販ネットシステムを構築することが必要となる。

リゾート化に関しては、児童・生徒を対象とした体験農業(写真 2.2.4-1)による健やかな成長プログラムや、国内外のシニア層を対象とした定年後移住就農による充実感と安心感を得られるサービスプログラムの構築を提案する。



写真 2.2.4-1 農業体験のワンシーン

出典：Google 画像検索「農業体験」で抽出

2.3 地域の林業のための新しい6次産業化

地域の農業のための新しい6次産業化について表 2.3-1 に示し、以下に述べる。

表 2.3-1 林業の新しい6次産業化

林業の新しい6次産業化								
A：本業の高度化	B：生産品の製品化	C：地産エネルギー販売	D：地域の副業的の役割を担うブランド化			E：地域の副業的の役割を担うリゾート化		
支援システム構築	製品化の取り込み	FIT対象（含自給自足）	政府系Web展開			政府系Web展開		
第1次産業	第2次産業	第2次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業
林業機械/人材共有	集成材加工/主材加工	小水力/バイオマス	キノコ	新鮮梱包	国内外通販	木炭体験	製品化体験	おもてなし

- A：本業の高度化では、日本の林地が海外の林地に比較して急傾斜であり路網整備が不十分で非効率であることに起因して、林業事業者の多くが低所得で高齢化しているという実態を克服する必要がある。
- B：生産品の製品化では、木を主材として製材することに加えて、新しい適用先として木造高層建築や木製ガードレール、木造津波避難ビルなどを提案する。
- C：地産エネルギー販売では、木質バイオマスの資源としての利用価値およびカスケード利用による CO₂ 固定機能を優先し、エネルギー利用は地域内での給湯と暖房に限定することを提案する。
- D/E：副業としてのブランド化とリゾート化では木炭の取組を紹介する。

2.3.1 製品化新技術の地域導入と木材の新市場の開拓

林業の活性化のためには木材の大量需要を作り出すことが必要であるが、その中でも木造建築物の大量普及が最も効果的である。最近、木造建築物が見直される風潮にあるが、新しい技術である木造高層建築用大断面集成材を製品化する体制を地域に導入すること、および産学官による法整備と安全性能向上技術開発などの諸施策によって木造高層建築を積極的に普及させていくことで、林業の活性化が可能である。さらに、木製ガードレールや木造津波避難ビルなど公共事業による積極利用も有効な方策である。

林業が活性化し木造高層建築や木製ガードレール・木造津波避難ビルなど木材が積極使用されれば、CO₂の長期固定が可能となる。その上、建築工事や土木工事に使用するコンクリートや鋼材の使用量を削減することになり、セメント生産や鉄鋼生産で排出されるCO₂を大きく減らすことで地球温暖化対策にも貢献できる。

1) 日本の木造建築物にみる木造建築物の強度と耐久性

日本には東大寺大仏殿や法隆寺五重塔および法隆寺金堂（写真 2.3.1-1）のような古くて大型の木造建築物が多くあり、木造大型構造物の強度を保証している。また、法隆寺五重塔など世界最古の木造建築物が木材の寿命において不利とされる温暖な湿潤気候においても十分な耐久性があることを実証している。



写真 2.3.1-1 東大寺大仏殿、法隆寺五重塔および法隆寺金堂

出典：ウィキペディア Web サイト

2) 新しく開発された大断面構造用集成材の性能

近年、大断面構造用集成材が開発され大型の高層建築が可能となった。大断面集成材の持っている優れた性能について以下に記す。

(1) 形状の自由性

大断面集成材には規格品もあるが、幅、厚さ、長さともにサイズに制限がなく梁材などはあらかじめムクリ（上方に凸型に湾曲）をつけて製造できるので、ロングスパンのダイナミックな木造建築が可能となる。自由に形や大きさを設計できるうえ、工場で生産できるため寸法精度を高くでき、品質を安定させられるので、個性的な形状の建築物を生み出すことが出来る。

(2) 軽量性

割れ目や節など木の弱点を取り除き、質の一定した良材だけを使用して強力な接着剤で張り合わせることで、強度はムク材の 1.5 倍以上にもなり単位重量当たりの曲げ強度・圧縮強度が他の素材よりも強くなるので、建築物の軽量化が可能である。

(3) 耐火性

大断面集成材は耐火性に優れている。表面は焦げるが焦げた炭化層により内部への酸素供給や熱の伝導を遮断できるため、燃え尽きるリスクが低い。高温に対して強度が保たれるので、鉄のように軟化して建造物が倒壊することがない。

(4) 吸音性

集成材は呼吸する素材のため、湿度の高い時は水分を吸収し、乾燥したときは水分を放出するので、室内プールや体育館には最適の素材である。また断熱性、保湿性に優れ、夏の暑さや冬の寒さも伝えにくく結露もないため、優秀な省エネ素材である。さらに、含水率が 12%前後で木材にとって一番安定した状態で水分を保持しているため、腐朽や蟻害にあうことが少ない。また、人間にとって不快な高音と低音の音を吸収する働きがあり、余分な音を吸収することで快適な音響空間をつくりだせる。

(5) 耐薬品性

集成材は塩分や酸やアルカリに傷みにくいので、他の建築用材が苦手とする場所や用途に適用でき、潮風や雨にさらされる建築にも用いることができる。

3) 欧州における木造高層建築時代の到来

大断面集成材が普及したことでヨーロッパを中心に木造高層建築が建ち始めている。ロンドンには 9 階建ての木造高層マンション「Murray Grove (マレイ・グローヴ)」(写真 2.3.1-2) がある。また、スイスのチューリッヒには 6 階建ての木造マンション(写真 2.3.1-3) がある。



写真 2.3.1-2 ロンドンの9階建て木造高層マンション「マレイ・グローヴ」

出典：Waugh Thistleton 社 HP



写真 2.3.1-3 チューリッヒの6階建て木造マンション

出典：ひと・環境計画のエコ姫 HP

4) ラーメン工法による木造建築物の大型化

欧州の取組に対して日本では建築基準法の制限で木造高層マンションは建設されていないが、国内においても大断面集成材を使用したラーメン工法によって大型の木造建築物が実現しているので、写真 2.3.1-4、写真 2.3.1-5 で紹介する。



写真 2.3.1-4 埼玉県立武道館

出典：銘建工業(株)HP

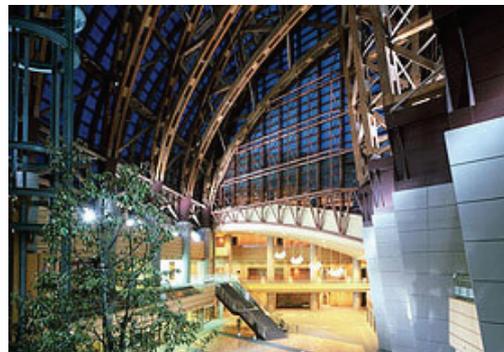


写真 2.3.1-5 倉吉パークスクエア

出典：銘建工業(株)HP

5) 次世代木造高層建築物

そう遠くない未来に向けた期待感のある準備が始まっている。建築会社 C.F. Moller はストックホルム（スウェーデン）に建築される高層マンションの設計コンペに木造 34 階建て木造住宅の企画（図 2.3.1-1）を提出した。



図 2.3.1-1 C.F.Moller 社の木造 34 階建て住宅イメージ

出典：C.F.Moller 社 HP

そしてカナダの建築家マイケル・グリーンがバンクーバーでの建設を提案している 30 階建ての木造高層ビル（図 2.3.1-2）や、建築家のマイケル・チャーターズがシカゴで提案している 30 階建ての木造高層ビル「ビッグウッド」（図 2.3.1-3）などもある。



図 2.3.1-2 バンクーバーの
30 階建ての木造高層ビル計画

出典：Fast 社 HP



図 2.3.1-3 シカゴの 30 階建て
「ビッグウッド」計画

出典：シカゴ Curbed 社 HP

林業における生産品の製品化の地域への導入では、大断面集成材を地域で「育林→伐採→製材→形状受注→設計→集成材加工→出荷」まで行い、地域が高度な価値を創り出してその価値に相当する利益を得られること、および木造高層建築の普及により木材消費量を増加させることが本旨である。そして、木造高層建築の普及のためには産学官の連携による木造高層建築の安全性確保、耐久性向上とコストパフォーマンスを成立させることが重要である。つまり、学による安全性・耐久性研究、官の法整備と普及施策、産の商品化とコストダウン努力が必要であり、さらに産学官の次世代を目指した協力によって高機能で耐震・耐火に優れた材料開発や火災の延焼を防止できるような木材と他の材料を組み合わせたハイブリッド建築などを開発することが望まれる。

6) 木製ガードレール

既に実用化され日本各地で普及の取組が始まっている木製ガードレール（写真 2.3.1-6）は製鉄による CO₂ 排出量を削減しながら木材による CO₂ 固定化にも貢献できるなど、地域に取り込める即効性のある木材製品化（第二次産業）の一例と言える。

自治体や国などの行政機関における早急な法整備と、公共工事における積極的支援による木製ガードレールの普及推進が望まれる。



写真 2.3.1-6 木製ガードレール（ビスタガード）の施工例

出典：北海道立林産試験場 HP

7) 木造津波避難ビル

東日本大震災の後、大規模な津波に対する国土強靱化計画が進められている。地震の多い日本列島ではいつ起こるかわからない津波への備えが必要だが、現在のコンクリートと鉄骨によって津波を抑え込む国土強靱化の対策（写真 2.3.1-7）がベストな選択であろうか。

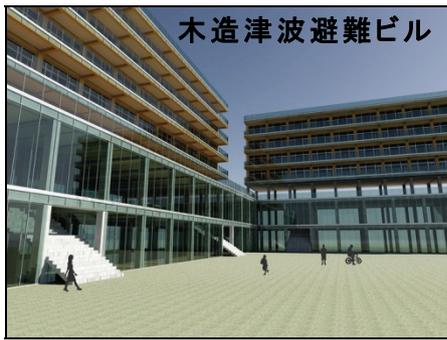


写真 2.3.1-7 津波対策の現状

出典：Google 画像検索「防波堤、避難タワー」で抽出

BCN 構想では人が幸福に生きていくために美しい景観の中で生物資源と共生しながら生きることを目指しており、本報告書の第 3 章にも記述されているように、現在の海岸線の姿を残しながら人と海洋資源が共生する里海の考え方を発展させ美しい日本の海岸景観を残すことが重要であると考えます。

百年千年といった長期的視野に立った津波災害対策を高さ 20m～30m もあるようなコンクリートに委ねることが正解だとは思えない。日本列島では景観と人命を同時に守ることができる木造津波避難ビルと津波救難艇の組み合わせ（写真 2.3.1-8）が相応しいと考える。



木造津波避難ビル



津波救命艇(低層用)

写真 2.3.1-8 津波避難ビルと津波救命艇の組み合わせ

出典：NPO 法人 teamTimberize HP, 株式会社 IHI HP

木造津波避難ビルの構造を図 2.3.1-4 に示す。木造津波避難ビルには木質ハイブリッド集成材が使用される。木質ハイブリッド集成材は鉄骨を内蔵した集成材で、地震・火災・津波などの複合災害に強い構造になっている。木材と鉄骨を組み合わせることで、木材の燃え止まり現象によって火災時に木材被覆部が燃え尽きないため、内蔵された鉄骨の高温化を防ぎ、高温による鉄骨の変形や溶解を抑えることができる。鉄骨部分の強度が維持されるため、火災の後に大きな津波に襲われても構造を維持することが可能となる。

地震にも火災にも津波にも強い構造といえるが、普段は木の部分しか見えず無機質な高層ビルが海岸線に立ち並ぶという景観ではなく、木に囲まれた穏やかな社会の姿を実現することができる。

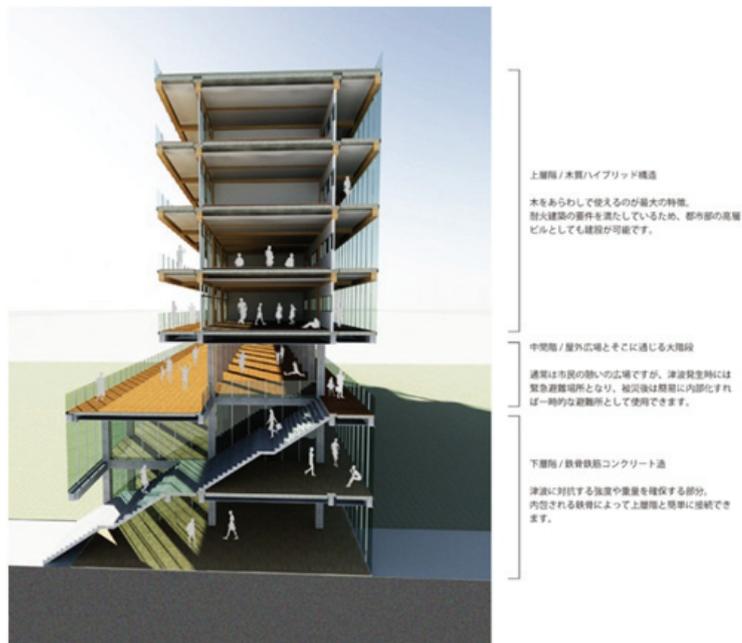


図 2.3.1-4 津波避難ビルの構造

出典：NPO 法人 teamTimberize HP

8) 木づかい：家具、文具

木造建築や木造構造物にとどまらず、林野庁の「木づかい運動（2005年～）」に合わせる形で NPO 団体や個人や企業などによる木づかいの活動が展開されている。一例としてコクヨ・グループによる木材をふんだんに使用した家具や文具の商品開発事例（写真 2.3.1-9）があるが、その細やかな木材普及活動は自治体による施策の参考となる。



写真 2.3.1-9 コクヨの国産間伐材の家具

出典：コクヨ・グループ HP

9) バイオプラスチック等のバイオマス系新素材の開発

バイオマスの活用法として、既に製品化されたウッドプラスチックがあるが、このほかに木質バイオマスをバイオプラスチックの原料とする技術開発が各国で取り組まれており、一部の種類のプラスチックから実用化が始まっている。

さらにバイオプラスチックを木材に含浸させる新素材の開発やセルロースナノファイバーを原料とした新素材の開発など、日本の素材産業が将来の世界の素材産業を牽引することに期待するところである。

2.3.2 山間地での地産エネルギーの地消

1) 山間地での薪による地域給湯と自家暖房

山間地で最も大きな地産エネルギー対象はバイオマスである。2.2.3 で示したようにバイオマス全体としてのエネルギー利用可能量（前掲の図 2.2.3-1）は大きなものであるが、BCN で提言している通り、木質バイオマスは木材資源としての利用価値やカスケード利用（第 6 章の図 6.1-1）による CO₂ 固定機能によってこそ、その価値を最大限に生かせ、また持続可能資源として維持することが可能である。したがって、木質バイオマス全体についてはエネルギー利用を優先せず、間伐材や枝葉と樹皮などを原料とした地域給湯と自家暖房（地産地消の燃料利用）をエネルギー利用の中心に据えることを提案する。図 2.2.3-3 で示すバイオマスのエネルギー利用可能量の全体をエネルギー利用の対象とすべきではない。

山間地におけるもっとも身近で手間のかからない自給自足が可能な地産エネルギーは薪である。東京都の檜原村（図 2.3.2-1）では東京都中央区の森から中央区民や NPO 法人がボランティアで切り出した間伐材を地元の熟年者によって薪にしたあと薪ボイ

ラーに入れて共同浴場「数馬の湯」を運営していた。このような取り組みは、ほかにも道志村や真庭市など日本各地で大規模に行われている。

将来的には図 2.3.2-2 に示したドイツマウエンハイムの地域給湯・暖房システムのように、地産エネルギーによってエネルギー購入のための出金を域内循環資金に変え、地域の雇用と資本を生み出せるような目標に向かう道筋が伺える。

繰り返しになるが、森林バイオマスの賦存量と成長量という持続可能性の観点から考えると、バイオマスによる発電については慎重に行うべきであり、バイオマス発電をFIT 対象とするのみならず、森林バイオマスの育成を勘案したカスケード利用等に関するバイオマス利用全体の施策が望まれる。

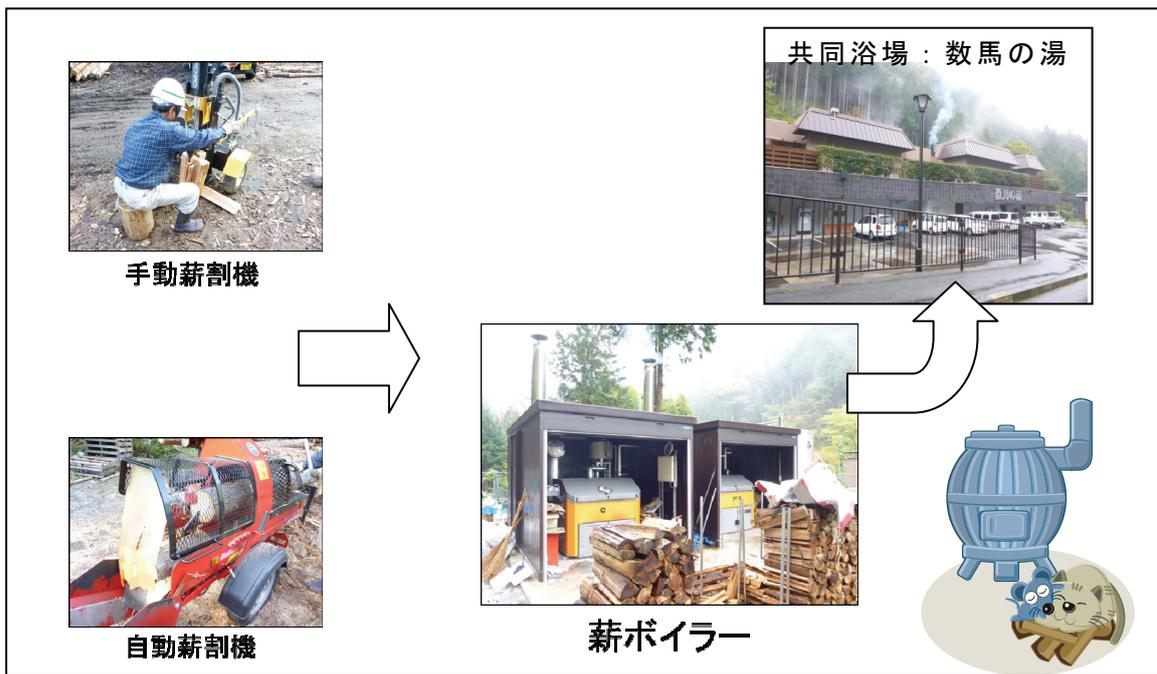


図 2.3.2-1 薪による地産エネルギー自給自足（檜原村）

出典：エンジニアリング協会エネルギー・環境研究部会 2013 年度調査研究報告書

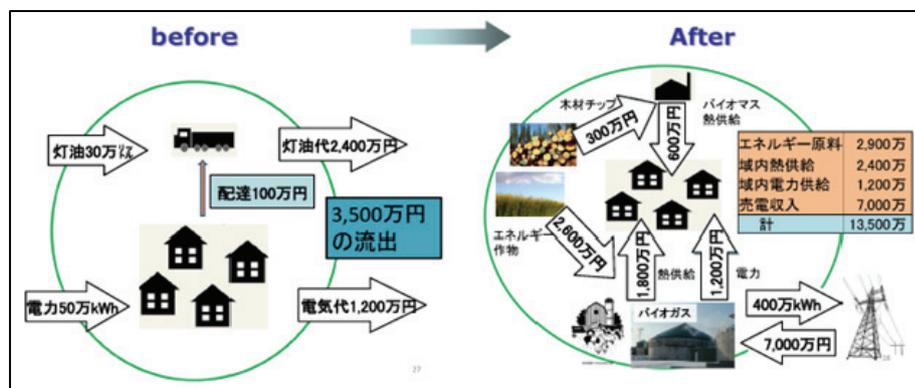


図 2.3.2-2 ドイツマウエンハイム地区バイオエネルギー村取組前後の収支バランス比較

出典：NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク研究会(2012年3月19日)配布資料

2) 山間地での小水力自家発電

日本の山には豊かな水があり、檜原村における山間部で目にした写真 2.3.2-1 のように、どの地域でも急峻な山肌を豊かな水が勢いよく流れ落ちている。小規模分散エネルギーのため売電できるような発電規模は望めないが、この分散エネルギーを自家発電として各家庭が活用し、その価値を自家発電であっても FIT 対象とすることによって、山間地域からの出銭削減と地域の平均年収の増加が期待できる。



写真 2.3.2-1 小水力発電を可能とする檜原村の急な水の流れ

2.3.3 地域の副業としての役割を担うブランド化とリゾート化

山間部の新しい 6 次産業化については今後も追加の調査が必要である。写真 2.3.3-1 に示した檜原村にある東京都の森での炭焼き体験小屋の視察において、木炭を使った土壌改良による高付加価値農産物生産と良質木炭製造を複合させた新しい 6 次産業化モデルにつなげることができると考えた。木炭のほかにもストーブ用ペレットの生産販売やきのこ栽培と販売などいろいろな地域ブランドを紡ぎだすことができるのではないだろうか。



炭焼き小屋

写真 2.3.3-1 東京都の森の体験用炭焼き小屋

2.4 地域の水産業のための新しい 6 次産業化

地域の水産業のための新しい 6 次産業化について表 2.4-1 に示し、以下に述べる。

表 2.4-1 水産業の新しい 6 次産業化

水産業の新しい6次産業化								
A：本業の高度化	B：生製品の製品化	C：地産エネルギー販売	D：地域の副業的役割を担うブランド化			E：地域の副業的役割を担うリゾート化		
支援システム構築	製品化の取り込み	FIT対象(含自給自足)	政府系Web展開			政府系Web展開		
第1次産業	第2次産業	第2次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業	第1次産業	第2次産業	第3次産業
陸上淡水養殖	生鮮梱包	海洋温度差/海流発電	深層水	飲料水化	国内外通販	釣り/ダイビング	加工品体験	おもてなし

- A：本業の高度化では、世界の水産物の需要増加に影響を受けずに日本近海の資源量を維持することが可能となる陸上淡水養殖を紹介する。
- B：生製品の製品化では、離島における生鮮水産物の製品化の例を紹介する。これに加えて、鮮度を維持できる新しい梱包技術の開発が期待される。例えばオゾン水や好適環境水など高品質ブランドにつながるような鮮度保証の梱包技術の開発が望まれる。
- C：地産エネルギー販売では、離島における地産エネルギーについて紹介する。
- D：地域の中での副業の役割を担うブランド化について離島での取組を紹介する。

2.4.1 陸上淡水養殖による漁獲量の安定化

近年の健康志向とともに料理文化がグローバル化していることもあり、世界の水産物の需要が急激に増えている。現在のままのペースで水産物資源を獲り続ければ、遠くない将来に世界の海の水産物資源が枯渇する恐れは拭いきれない。持続可能な社会を構築するためには水産物資源を減らさない画期的な提案が必要である。

水産物資源を減らさないための方策として有効なのは養殖であるが、海上での養殖事業は適地選定や気候条件などの面で拡大に限界があることが予想される。ましてや地球温暖化に伴う気候変動の時代においては今後の養殖漁業の安定経営には困難が予想される。

日本が世界に差別化できる技術として、岡山理科大学の山本准教授のグループが開発した、天候や海洋の環境に左右されずに漁獲量を安定することができる好適環境水（写真 2.4.1-1）による陸上淡水養殖（閉鎖循環式魚類養殖）技術（写真 2.4.1-2）がある。



写真 2.4.1-1 好適環境水による海水魚と淡水魚の混合試験
（金魚と熱帯魚およびアジとニシキゴイ）

出典：岡山理科大学 HP

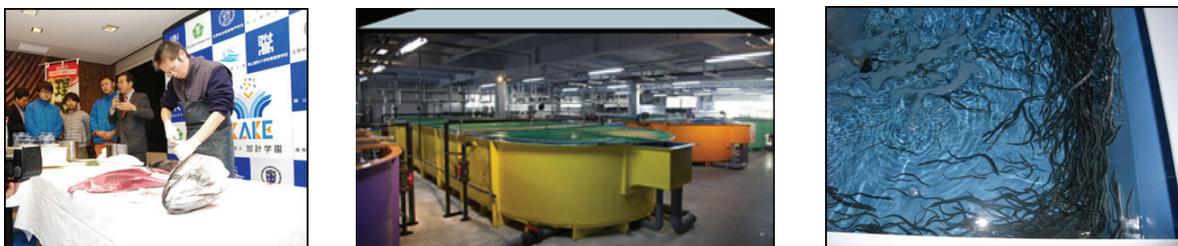


写真 2.4.1-2 陸上養殖マグロの試食会と陸上養殖試験風景（シラスウナギの養殖）

出典：岡山理科大学 HP

この技術は魚の浸透圧調整に関わるナトリウム・カリウム・カルシウムの3成分について最適な濃度に調整した「好適環境水」を使用した陸上淡水養殖技術で、陸上海水養殖と同様に温度管理が容易なことから魚の成長が早い。この技術を国内の多くの地域で普及させ、

従来の漁業と組み合わせて新しい地域水産業として発展させることができれば、世界の水産物市場に占める日本の水産物製品シェアを拡大していくことも夢ではないと考える。

2.4.2 離島における水産業の新しい6次産業化

離島などの海洋域では、例えば久米島において、海洋深層水を利用した下記の事業が行われており（写真 2.4.2-1 および図 2.4.2-1）、これらは複合した新しい6次産業化と位置づけられる。

- ①海洋温度差発電による電力の自給自足（地産エネルギー）
- ②海洋深層水の冷熱を利用した車海老や海ブドウや海苔の養殖（高度化、ブランド化）
- ③深層水の淡水化によるミネラルウォーター製造販売（ブランド化）
- ④深層水の冷熱利用農業（本業の高度化）
- ⑤深層水からのレアメタルの回収

日本各地の離島やリアス式海岸などの沿岸域でも同様の取組が可能である。また、海域における地産エネルギーとして海洋温度差発電のほかに、写真 2.4.2-2 に示す、海流発電・洋上風力発電・波力発電・潮流発電（干満のたびに発生する沿岸域と沖との間で発生する海水の流れを利用）なども実証試験段階にある。

水産業の活性化については、本報告の「第4章水辺の活用による地域の活性化」を別途参照されたい。

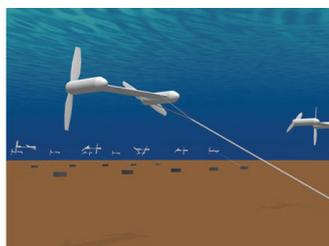


写真 2.4.2-1 久米島海洋温度差発電施設

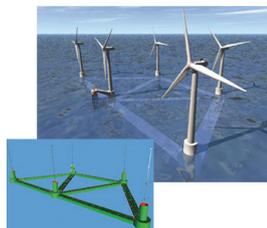


図 2.4.2-1 車海老と海ブドウと海苔の深層水養殖品
および深層水ミネラルウォーター

出典：久米島町観光協会 HP



①海流発電



②洋上風力発電



③波力発電（マイティホエール）

写真 2.4.2-3 海域における地産エネルギー（発電）

出典：(株)IHI HP

参考・引用文献

- 1) 一般財団法人エンジニアリング協会エネルギー・環境研究部会、2013年度調査研究報告書
- 2) 全農 HP、鉄コーティング
http://www.zennoh.or.jp/eigi/pdf_noukai/noukai_tetsu.pdf
- 3) 株式会社クボタ HP 鉄コーティング
http://www.jnouki.kubota.co.jp/jnouki/html/agriculture_info/tetsuko/
- 4) 農業大学校 HP <http://www3.ocn.ne.jp/~noudaiky/link.htm>
- 5) 三育フーズ株式会社 HP 植物原料模擬肉 <http://san-ikufood.com/>
- 6) 有限会社カネ久越後屋商店 HP 模擬肉 <http://www.onikumitai.net/>
- 7) 株式会社マイセン HP <http://www.maisen.co.jp/shopping/oniku/oniku.html>
- 8) 富士通グループ HP、やさい工場
<http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/vegetable-plant/>
- 9) 一般社団法人ソーラーシェアリング協会 HP
<http://solar-sharing.org/solarsharing/index.html>
- 10) 財団法人日本水土総合研究所 HP、東郷調整池
<http://www.jiid.or.jp/works/jishu/pdf/05.pdf>
- 11) 桶川市 HP、後谷調整池 <http://www.city.okegawa.lg.jp/shisei/51/233/p001451.html>
- 12) 資源エネルギー庁「バイオマスエネルギー開発・利用戦略の検討状況」2002.11
- 13) ウィキペディアで東大寺、法隆寺を検索
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%9D%B1%E5%A4%A7%E5%AF%BA>
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%95%E9%9A%86%E5%AF%BA>
- 14) Waugh Thistleton 社 HP ロンドンの木造高層マンション
<http://www.waughthistleton.com/project.php?name=murray>
- 15) ひと・環境計画のエコ姫 HP
スイスの木造マンション <http://ecohime.exblog.jp/6085205/>
- 16) 銘建工業株式会社 HP、大断面集成材建築
<http://www.meikenkogyo.com/gallery/gallery.html>
- 17) C.F.モラー社 HP、木造高層建築構想
<http://www.cfmoller.com/r/Wooden-Skyscraper-i13265.html>
- 18) Fast 社 HP 木造高層建築構想
<http://www.fastcodesign.com/1669322/the-future-is-the-past-a-skyscraper-made-totally-from-wood#1>
- 19) シカゴ Curbed 社 HP <http://chicago.curbed.com/tags/michael-charters>
- 20) 北海道立林産試験場 HP 木造ガードレール <http://www.fpri.hro.or.jp/>
- 21) NPO 法人 teamTimberize HP、津波避難ビル
http://www.timberize.com/hukkou_hinan.html
- 22) 株式会社 IHI HP 救命艇 <http://www.ihico.jp/ihico/press/2011/2011-11-28/>
- 23) コクヨ・グループ HP 家具・文具

http://www.kokuyo.co.jp/products/recommend/20130201_2.html

24) 一般財団法人エンジニアリング協会エネルギー・環境研究部会、2012年度調査研究報告書

25) NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク研究会(2012年3月19日)配布資料

26) ヤマト姫の玉手箱 HP、好適環境水

<http://www.ameblo.jp/global7ocean/entry-11354538307.html>

27) 岡山理科大学 HP、陸上淡水養殖 <http://www.ous.ac.jp/gyogyo/index.html>

28) 久米島町観光協会 HP、海洋深層水 <http://www.kanko-kumejima.com/type/other/>

第3章 植物工場起点の地域活性化（地域資源の活用）

3.1 背景

元来、食料は地域に根ざした産業として農村で生産され、都市で消費される図式があり、そういった意味で農村/地域と都市は連携していた。しかしながら、日本で農業従事者の高齢化をはじめとした農村人口の減少が社会問題となっているのは既知のところであり、この図式は成り立たなくなる可能性がある。

植物工場には大きく2つのタイプ（太陽光型、人工光型）があり、違いは後述するが、人工光型は都市でも食料生産できる工場であり、従来の図式と違った農村/地域と都市との連携を形作る可能性を秘めている。合わせて輸送コストの減少、輸送エネルギー消費の減少、計画生産による廃棄ロス削減といった面で循環型社会形成に寄与するものである。食の安全・安心への関心が高まる中、昨今注目が集まる植物工場は、こういった側面からも注目が集まっていると言えよう。

日本では図3.1-1のグラフに示すとおり、太陽光型を含め2014年3月末時点で383カ所が設置されている。

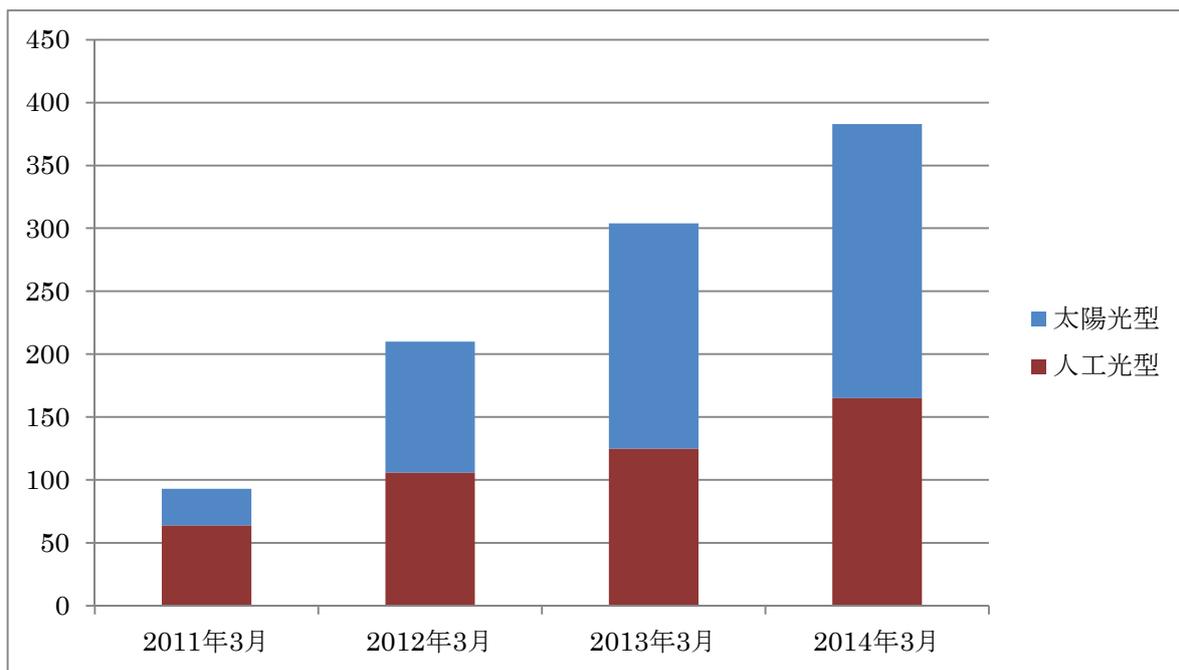


図 3.1-1 植物工場の数（参考値）

出典：一般社団法人日本施設園芸協会の報告書より作成

これらの植物工場は日本全国各地で設置されており、なかにはエネルギー供給等に地域資源を活用した例も多く、また遊休施設の活用や地産地消への取組み、住民とのコミュニケーションなど地域との密接なつながりが見られることから、本章では植物工場を起点とした地域活性化の可能性を考察する。

3.2 植物工場について

3.2.1 植物工場の2つのタイプ

植物工場とは、「施設内の温度、光、炭酸ガス、養液などの環境条件を自動制御装置で最適な状態に保ち、作物の播種（種まき）、移植、収穫、出荷調整まで、周年計画的に一貫して行う生産システムのこと」で、大きく太陽光型と人工光型の2つのタイプがある。

1) 太陽光型

環境制御設備を有した高度な温室といえる施設。太陽光の利用を基本とし、日照量が不足している際に高圧ナトリウムランプや蛍光灯などの人工光で補光を行う施設もある。

トマト、パプリカなどの果菜類、レタスなどの葉物野菜、イチゴといった食産物だけでなく、バラなど花きの栽培も行われている。

栽培に太陽光を利用できる一方、栽培ラックを複数段積み上げての栽培は難しく、生産量を確保するためには広大な敷地が必要となるため、都市部ではなく郊外での導入が主流となっている。

2) 人工光型

太陽光をまったく使わずに、高圧ナトリウムランプや蛍光灯などの人工光のみを利用して栽培を行う施設。最近では電気代のコストダウンにつながるLED利用の研究開発および栽培も行われている。

また、栽培室を密閉構造にすることにも特徴があり、これにより植物の栽培に適した条件を人工的に作り出し、安定した環境で計画的に作物を生産、収穫できる。現在、栽培は葉物野菜が中心となっており薬用植物の栽培も進められている。

蛍光灯やLEDといった熱発生が少ない光源を利用するため、栽培ラックを複数積み上げることが可能で、限られた空間で効率的に生産量を高めることができる。そのため近年では都市部での設置も進んでおり、店舗などで小型植物工場の導入も見られる。

3.2.2 歴史

植物工場の始まりは意外と古く、1957年デンマークの農場と言われている。日照時間に制限のある北欧において露地の作物栽培効率が悪いことから、ガラス温室内で太陽光+補光（冬季）により、発芽から育成、収穫、包装、低温保存までを一連の工程で行い、1週間で出荷を行った。現在の太陽光型植物工場と同じ生産システムを採用していたと言えよう。

1960年代にオーストリアの企業が立体式の植物工場を稼働させており、1980年にはウィーンに53階建ての工場を建設した。

現在高度に発達したオランダの施設園芸は「太陽光型植物工場」とも言えるもので、1970年代には、施設園芸の大型化、自動化が進められていた。また米国においては、1980年代にゼネラル・エレクトリック社が、ランプを使用した施設を開発した。人工光型植物工場の走りと言えよう。

一方、日本における実用化への歴史は、1974年に株式会社日立製作所中央研究所で始められた研究からと言われている。当時の社会的な背景として1970年代に2度起こったオイル・ショックがあり、石油による暖房に依存しない栽培技術の研究が進められたことが挙げられよう。

その後、1985年に筑波で開催された「国際科学技術博覧会」で株式会社日立製作所が回転式レタス生産工場を展示し、同年株式会社ダイエーが千葉のショッピングセンター「ららぽーと」の野菜売り場に店舗型植物工場の先駆となる施設を設置した。

1990年代に入ると、農林水産省「先進的農業生産総合推進対策事業」により、キューピー株式会社や川鉄ライフ株式会社（現JFEライフ株式会社）など企業による参入が見られた。

現在は、植物工場の第3次ブームと言われている。2009年に農林水産省および経済産業省による生産コストの削減を目指した補助事業が開始され、多くの研究機関、企業が植物工場の研究開発に参入することとなった。さらには、2013年に農林水産省が、施設園芸の発展にむけて地域資源の活用、施設の集約化、IT活用による所得向上と雇用創出を目的とした「次世代施設園芸導入加速化支援事業」をスタートさせ、図3.2.2-1の一覧に示すとおり、2014年現在9拠点で進められている。

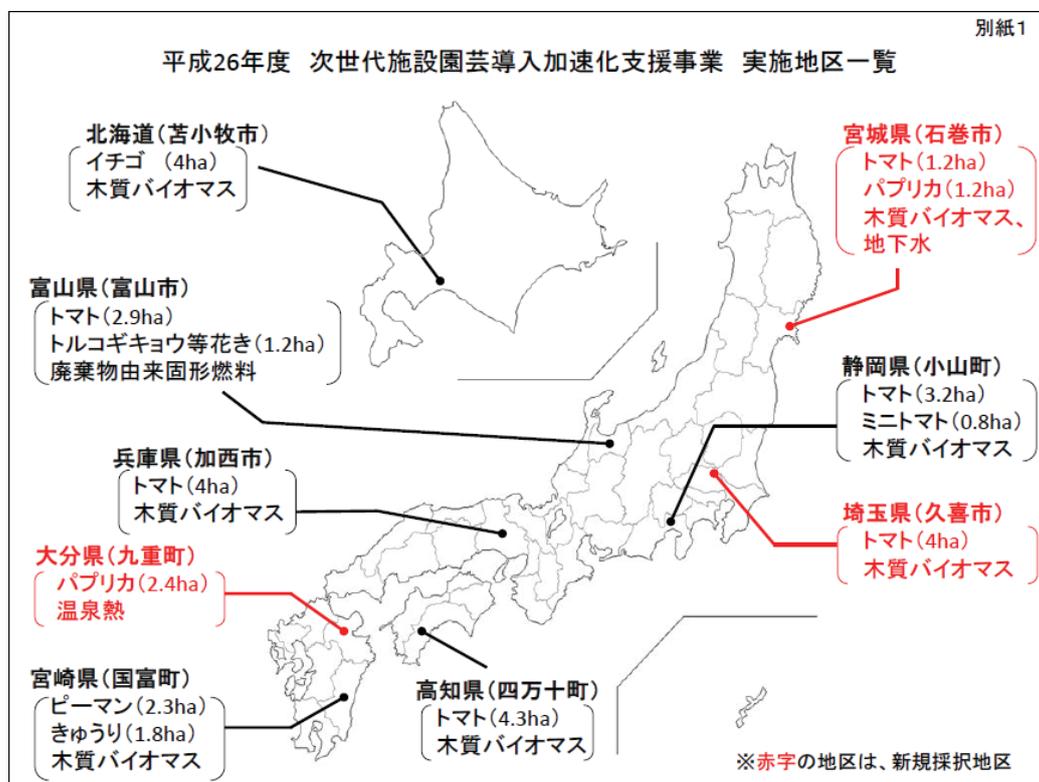


図3.2.2-1 平成26年度次世代施設園芸導入加速化支援事業実施地区一覧

出典：農林水産省HP

3.3 植物工場における技術

植物工場では、さまざまな技術を導入することで、施設内の光、温湿度、養液などの環境条件を作り出している。作り出した環境によって植物に特定の機能性成分（ビタミン、ポリフェノール等）を豊富に持たせることや、味や食感をコントロールすることが可能となるため、これらの技術は栽培する植物そのものを特徴付け、ひいてはその地域発の特色ある生産物の供給につながる重要な要素と言える。植物工場で採用されている主な技術を以下に示す。

3.3.1 環境制御技術

1) 光

植物の生育に必要な光合成のためのエネルギーとなる光をどのように照射するか、これは植物工場にとって大きな要素である。どのような波長の光をどれくらい照射するか、光の質と量の制御は植物の生育に大きく影響すると同時に、光源となる蛍光灯やLEDをどう使用するかは、イニシャルコストやランニングコストに影響してくる。

2) 空調（温湿度、CO₂濃度）

植物にとって生育に適した気温に保つため、生産する植物に応じた室内温度の制御、根から必要な栄養素を十分に吸収するのに適した湿度の制御、光合成を活発にするためのCO₂濃度の制御、これらを施設内でばらつきのないようにする空気の流れを制御する技術が必要となる。

人工光型植物工場においては、外界と遮断するために密封性を確保し、かつ断熱を行う必要がある。日本は、半導体製造の際に使用されるクリーンルームの設計・建築技術や、住宅の断熱、自家用車の空調技術に優れており、電機業界や建設業界など異業種からの参入が盛んになっている理由であろう。

3) 養液

植物工場では、植物への養分と水分の供給を主に養液で行うことになる。生産する植物の種類によって好ましい養液の成分組成は違っており、適したpH（水素イオン濃度：酸度と関係）とEC（電気伝導率：養分濃度と関係）や温度の制御が必要になる。

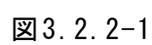
これらの環境制御は、植物の状態や時間に応じて統合的に行われる必要があるため、大規模な工場では温度、湿度などはすべてセンサーで制御し、収集したデータを基にITにより自動でコントロールされることが一般的になっている。

3.3.2 自動化技術

植物工場の経営上の課題の一つにコスト高が挙げられ、なかでも人件費は大きな要因となっており自動化にはその削減効果が見込まれる。播種（種まき）、移植、定植、収穫といった一連の作業において自動化技術は研究・開発が進められており、植物の成長に合わせて栽培ラックを自動で搬送するシステムを既に導入している工場もある。また、全ての作業を自動化するシステムの開発を行う企業も現れている。

一方、作業の自動化は雇用に影響があるため、地域活性化の観点からはトレードオフの関係になる一面がある。自動化技術導入のレベルは地域における工場の位置付け、ビジネスモデルによるものになるだろう。

3.3.3 エネルギー・資源活用技術

植物工場においては、エネルギーコストも大きな課題となることから、自然エネルギー活用の研究・実用実証も進められている。太陽光発電による電力供給をはじめ、図3.2.2-1に示した農林水産省の事業でも、木質バイオマスや地下水、温泉等を利用した熱供給などでコストダウンが図られている。

地域が保有する資源を活かすことで植物工場の採算性が高まり、採算性が高まることで生産される植物の競争力が高まり地域に収益をもたらす。植物の生産増加に伴い更なるエ

エネルギー供給が必要となり資源関連産業を活発にする。自然エネルギー活用技術は、植物工場を起点としたその地域固有の産業構築の可能性を秘めており、地域活性化の大きな要素と言える。

3.4 事例調査：富士通グループ会津若松 Akisai やさい工場

富士通グループは、富士通ホーム&オフィスサービス株式会社（以下、FHO社）を事業主体として、福島県会津若松市において、半導体工場のクリーンルームを転用した完全密閉の人工光型植物工場を展開している。

その植物工場は、JR会津若松駅にほど近い工場団地内にある富士通セミコンダクター株式会社会津若松工場内にあり、2,000m²の実装面積を持ち、同社が半導体製造で培ったものづくり技術を活用して、腎臓病患者も口にできる低カリウム野菜を栽培している。

我々は、写真 3.4-1, 3.4-2 に示すとおり 2014 年 9 月 30 日に本植物工場を訪問した。



写真 3.4-1 富士通セミコンダクター会津若松工場



写真 3.4.2 植物工場（模擬クリーンルーム）見学

3.4.1 植物工場設立の意義と特徴

富士通グループがこの植物工場をてがけるにあたり、その意義として図 3.4.1-1 に示すとおり富士通の技術により、①腎臓病患者を含むお客様に食の喜びを提供する、②農業のイメージを一新することがある。また、「震災地域である福島から将来の輸出産業を見据えた新たなビジネスモデルを展開する」（FHO 社佐藤彰彦先端農業事業部長代理。当時）ことも意識された。

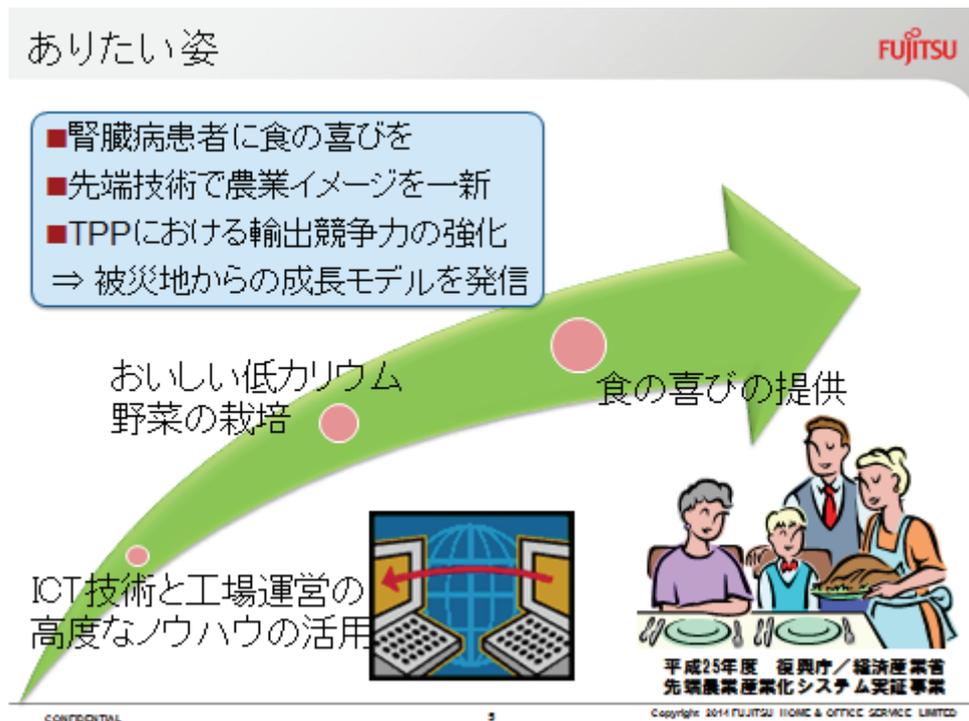


図 3.4.1-1 植物工場の意義

出典：配布資料「会津若松 Akisai やさい工場」

富士通グループの植物工場の特徴は、異分野の技術の掛け合わせにあり、主な内容は次の通りである。

1) 栽培技術

秋田県立大学の特許をベースに会津富士加工株式会社が小規模量産を行っている低カリウム野菜の栽培ノウハウを採用した。

2) 半導体製造技術

低カリウムレタスの栽培、収穫、包装まで全ての工程をクリーンルーム内で実施している。プラントエンジニアリングの技術に加え、ロット管理、品質管理、原価管理といった工業生産の考えを農業に適用した。

3) データ解析技術

温度、湿度、CO₂濃度、気流、照明の明るさ、養液をITでコントロールし、栽培環境と作物品質の相関を把握している。

半導体製造工場であった利点を活かし、特別高圧形態での受電により安定した電力を比

較的低価格で利用することや、24時間365日稼働工場の監視機能を活用することが可能なことも本工場の特徴となっている。

また、人工光型植物工場の課題の一つである省エネルギー化に対するノウハウ、機能性野菜の栽培に必要なクリーン化には、保有するプラントエンジニアリングを活用した。さらには、装置やクリーンルームの最適条件の割り出しに対する技術応用やトヨタ生産方式による効率的な生産を実施しており、「製品がレタスに変わっただけでやっていることは半導体製造と同じ」（FHO社宮部治泰生産部長）状況にある。クリーンルーム内の様子を写真3.4.1-1に示す。



写真 3.4.1-1 クリーンルームを活用した植物工場

一方で生産設備の自動化はそれほど進めていない。量産、コストダウンのポイントになると思われるが、その理由として、自動化は効率化や標準化の後に実施するべきで、まだその状況に達していないことに加え、「地域貢献、雇用の意味からも過度の自動化・省人化は慎重に進める方針」（佐藤氏）としている。

3.4.2 地域活性化に向けて

植物工場設立の際の意義の一つに福島からの成長モデル発信があったとおり、随所に地域が意識されている。

既存の農業従事者と直接競合しない機能性野菜である低カリウムレタスを選択したことや、栽培技術には福島県内企業の技術を採用している。福島県立医科大学とは、透析患者における低カリウムリーフレタスの有用性について臨床試験を共同で実施し、その結果をもとに、低カリウム野菜の市場創造に取り組んでいる。

現状での目に見える形での地域貢献としては、25名の新規雇用（訪問日現在）が挙げられ、今後の事業発展とともに雇用増も見込まれる。

また、小中学生の見学の受け入れを実施し、最新の農業の現場や食の楽しさを伝えるなど、次世代育成支援にも力を注いでいくとしている。すでに、未来の農業のあり方を学ぶ

小学5年生向けのカリキュラムを開発し、福島県内を中心に授業を展開する予定としている。

さらに、会津若松市と東北電力株式会社および富士通株式会社は、経済産業省補助事業によるスマートコミュニティ導入促進事業に着手しており、メガソーラー発電設備やエネルギーコントロールセンターが、植物工場と同じ敷地内に建設されている。また、半導体工場として省エネに有望な半導体の量産が予定されている。植物工場では、図3.4.2-1に示すとおり、これらの事業との連携、製品の活用により更なる省エネルギーを図り、省エネルギーの先端工場として地域の観光資源や宿泊施設との連携を図っていくとしている。



図 3.4.2-1 会津スマートコミュニティ事業との連携

出典：配布資料「会津若松 Akisai やさい工場」

3.5 地域活性化の可能性

地域の活性化には、地域資源、いわゆる水や森林といった天然資源だけでなく、産業や人材、歴史や文化など、その地域に有する有形、無形のもの全ての活用が大切だと考える。さらにはそれらをいかに有効に使うか、ノウハウの蓄積も資源になりうると言えるだろう。

訪問した富士通グループでは、地域の大学が有する特許や県内企業の技術、地域の人材を活かして低カリウム野菜を栽培し、県内大学と協力して生産品の市場創造に取り組み販路を拡大しており、地域資源を大いに活用していた。

図3.2.2-1に示した農林水産業の事業においても、地域の自然、産業、技術を活かして植物工場へのエネルギー供給を図り、採算性を高める取り組みが進められている。政府が進める地域活性化に向けた取組みにおいては、①超高齢化・人口減少における持続可能な都市・地域の形成、②地域産業の成長・雇用の維持創出が施策テーマになっているが、木質パ

イオマスなどエネルギー創出事業と植物工場の連携は、生産品のコスト競争力を高めることと合わせて、エネルギーと食の地産地消を可能とする側面があり、地域の持続性にも関係してくる。また植物工場での軽作業は高齢者や障害者を働き手とすることを可能とすることから、植物工場は施策テーマに向けた取組みとしても相応しいと言える。

植物工場で生産される植物の市場規模は、図 3.5-1 に示すように、年々拡大を続けることが予想されている。同時に各地で植物工場設立が進むことが予想され、競争も激しくなることから、今後各工場では生産品の付加価値向上や独自性のあるビジネスモデルの構築が求められることになろう。

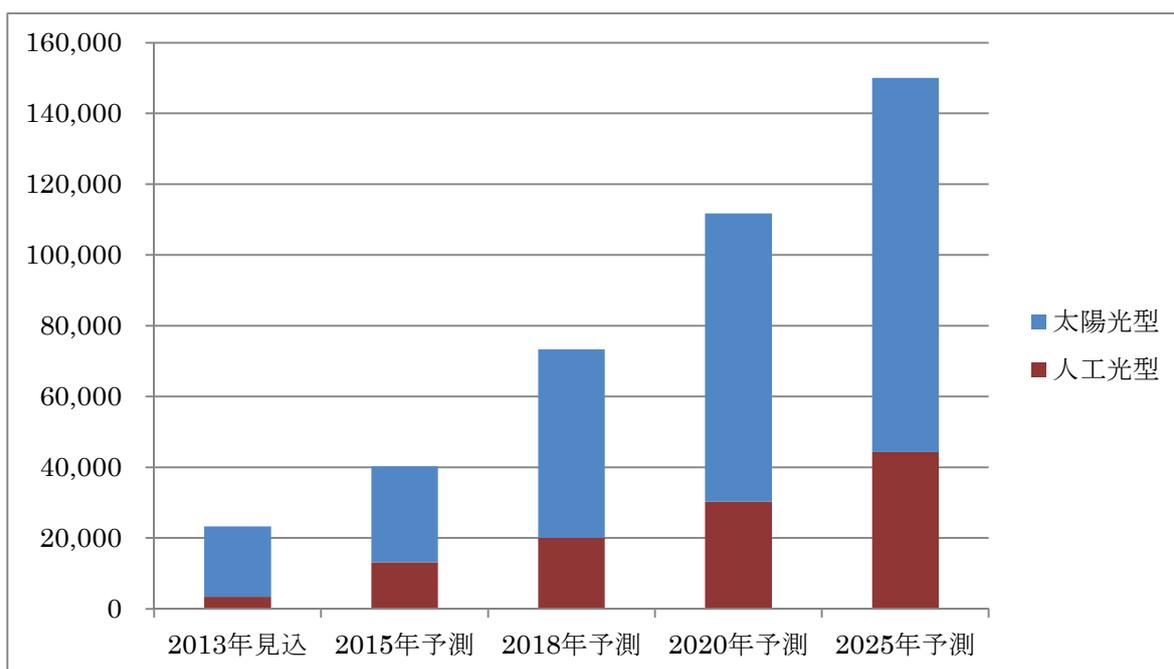


図 3.5-1 国内植物工場の生産額予測 (単位：百万円)

出典：株式会社矢野経済研究所の 2013 年調査結果より作成

ビジネスモデルの一つとして海外展開が挙げられる。世界の人口は国際連合の報告では 2050 年には約 96 億人を超えると予想され、食料問題や飢餓は世界的に大きな問題となっている。日本に限らず世界的にも農村人口の減少、都市人口の増加は進んでいる。また環境的に野菜の周年栽培が難しい地域も少なくない。土地を有効に活用し、環境に左右されずに、安全で安心な食物を栽培できる植物工場は、これらの問題解決への一助となる可能性を秘めている。現地の状況、ニーズに対応する必要はあるが、日本の植物工場システムは世界的にも高いレベルにあると言われており、野菜栽培にとって厳しい極寒、乾燥の地であるモンゴルへ進出した企業もある。

海外進出をいかに直接的に地域活性化に結びつけるかは課題となるが、地理的要因から夏期の野菜を県外からの調達に頼っている沖縄で取り組まれている、太陽光や太陽熱、海洋深層水を活用した亜熱帯特有の完全閉鎖型の植物工場システムの構築は、一つのモデルケースとなる可能性があると思われる。日本各地で展開されている植物工場の成功事例の

ノウハウをモデル化し、寒冷地や乾燥地など類似環境の国へ展開することも可能性として考えられる。

地域活性化の起点として幅広い可能性を有する植物工場ではあるが、ビジネスとして成り立つことが前提となる。その為には一層のコスト削減が必要な状況であり、省エネ・創エネシステムや環境制御システム等の発展にむけてエンジニアリング産業の果たす役割はまだまだあると考える。

参考・引用文献

- 1) 一般社団法人日本施設園芸協会 平成25年度次世代型通年安定供給モデル構築支援・環境整備事業報告書
- 2) 図解でよくわかる植物工場のきほん 誠文堂新光社
- 3) 農林水産省 HP 特集 野菜をめぐる新しい動き 植物工場の可能性(1)
http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1002/spe1_01.html
- 4) 植物工場ラボ HP <http://plantfactory.info/>
- 5) 株式会社みらい HP <http://miraigroup.jp/>
- 6) 国立大学法人琉球大学農学部 沖縄型植物工場 HP
<http://www.okinawapf.jp/index.jsp>
- 7) 株式会社矢野経済研究所 植物工場市場に関する調査結果 2013
- 8) 国際連合 World Population Prospect, The 2012 Revision
- 9) 国際連合 World Urbanization Prospects, The 2014 Revision

第4章 水辺の活用による地域の活性化

4.1 水辺の機能とネットワーク

4.1.1 人々にとっての水辺とその機能

国土交通省の「水辺とまちの未来創造プロジェクト」では、美しさと風格を備えた賑わいのある水辺づくりを推進するにあたり、全国に自慢の水辺写真を募集した。各地から寄せられた写真には、四季のうつろい、祭り、子供たちの水遊びなど、未来に残したい思いの水辺があふれている。水辺は図4.1.1-1に示すように私たちの生活に潤いを与え、地域の魅力的な交流の場となっている。しかし、人口減少や少子・高齢化が進む我が国において、これまで築いてきた人々と水辺の関係が今後も良好に維持されるのであろうか。本章では「水辺」に着目し、その機能や魅力を地域の活力とするための方策について検討した。

表4.1.1-1に示すように流域を構成する森林から海洋に至る水辺の機能は、私たちの目に触れにくいものから身近にふれあえるものまでさまざまである。これら要素の連携により流域の物質循環等が良好に保たれ、気候の調整や生物多様性の保全、生物生産などが成り立っている。流域を構成するそれぞれの水辺が密接に関係しあい、図4.1.1-1のようなネットワークを形成して、私たちの生活を支えている。

近年、漁師が森林保全に取り組んでいるケースが増えている。これは、海を豊かにするためにはその上流の森から供給される栄養塩等が重要であること、すなわち水辺ネットワークの機能がよく知られるようになったからである。



図4.1.1-1 水辺ネットワーク

出典：環境省HP 里海ネットに加筆

表4.1.1-1 水循環の構成要素とその機能

流域を構成する要素	機能
◇ 森林（水源地、湧水、地下水等）	○ 水源・地下水涵養
◇ 農村（水田、ため池等）	○ 貯留・浸透・保水
◇ 河川	○ 栄養塩供給・循環
◇ 湖沼	○ 自然浄化能力
◇ 湿地	○ 里地里山（田畑）の保全
◇ 都市（市街地の河川、運河、濠等）	○ 緑地の保全
◇ 沿岸・海洋（砂浜、干潟、藻場、磯場、サンゴ礁、漁業、港湾等）	○ 生物の生息場
	○ 生物生産の保全
	○ 生物多様性保全
	○ ヒートアイランド緩和
	○ 親水・自然とふれあう空間
	○ 歴史や文化を育む空間
	○ レクリエーション空間

4.1.2 活力ある地域づくりと水辺のかかわり

国土交通省は今後我が国が直面する人口減少、少子高齢化、エネルギー問題等の課題を踏まえた上で、「持続可能で活力ある国土・地域づくり」に向けた取り組みをまとめている。

「①持続可能な社会の実現、②安全と安心の確保、③経済活性化、④国際競争力と国際プレゼンスの強化」の4つの価値を実現するための主要政策を示したもので、①の具体的な政策として図4.1.2-1に示すように「水と緑のネットワークの形成」や「水循環の再生」、「自然環境やまちとの調和による地域の付加価値向上」などが挙げられている。「水と緑のネットワークの形成」は、多様な主体が連携して湿地や干潟などの保全・再生し、それらをつなぐことで、より豊かな生態系を創出する取り組みであり、「水循環の再生」は、地下水の適正な保全と雨水や再生水の利用を推進し、健全な水循環を図るものである。

このように水辺を地域の活力とするためには、水辺それぞれの機能に加え、流域全体の自然環境や周辺のまちとの連携を視野に入れることが重要である。

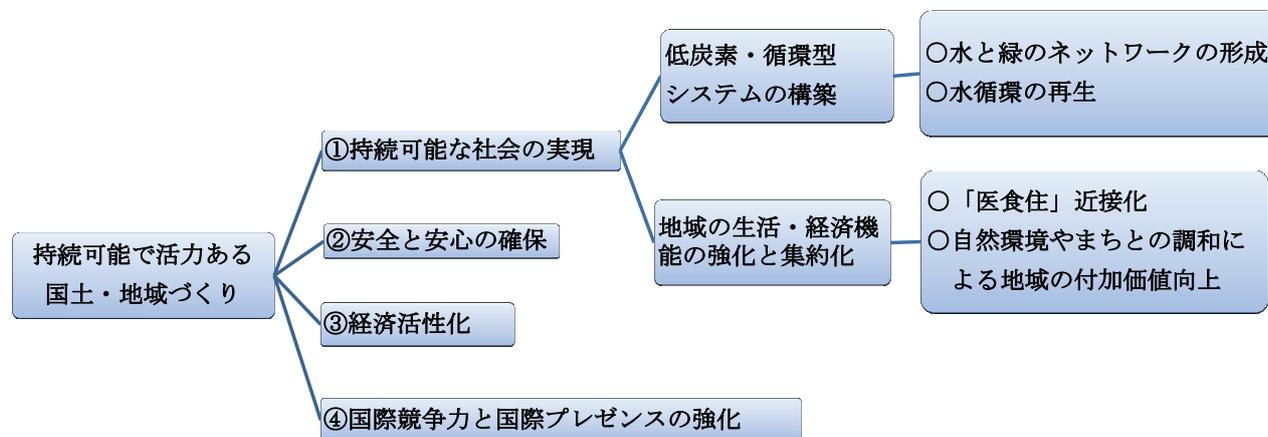


図 4.1.2-1 持続可能で活力ある国土・地域づくり

出典：国土交通省 HP を基に作成

4.2 水辺の抱える課題

4.2.1 気候変動と治水

近年、世界各地でハリケーンやスーパー台風による高潮災害などが発生している。我が国においても、時間雨量50mmの短時間強雨の発生件数が約30年前の約1.4倍に増加し、また日降水量100mm、200mm以上の大雨発生日数も増加している。とくに2013年は約1割の観測所で観測史上1位の1時間雨量が記録されている。最近の水害・土砂災害を表4.2.1-1に示す。また、2013年夏には関東、中部、四国地方を中心に降水量が平年に比べて少なく、豊川水系の宇連ダムでは利水貯水量がほぼ0%になるなど、各地で取水制限が行われた。今後も全国各地でこれまでに経験したことのない規模の豪雨や渇水の発生が懸念される。とくに水辺における危機管理の重要性は、東日本大震災による津波を経験し、一層強く認識されているところである。地震や津波対策では、「レベル1：比較的発生頻度の高い一定程度の外力」や「レベル2：最大クラスの外力」に対する防災・減災が進められている。今後の水害対策については、気候変動による影響を踏まえた外力の設定が大きな課題とされる。図4.2.1-1に示すように悪影響を予測するとともに、新たな気候条件を利用する「適応策」の技術開発が急務である。

また、我が国には変化に富む沿岸環境が存在し、それによって多様な生物が生息している。しかし、沿岸域に人口や産業が集中しているため、藻場、干潟、マングローブ林、サンゴ礁などの減少や生息環境の悪化、さらに生態系の劣化や生物多様性の損失が指摘されている。とくに、閉鎖性が強い湖沼や内湾などでは、近年貧酸素水塊の発生などにより水生生物の生息が脅かされ、水産物への影響も深刻である。さらに図4.2.1-2にも示されているように、今後気候変動による水質の悪化や生態系への影響が懸念される。水の安定供給や水質保全などへの取り組みが今後一層必要である。

表4.2.1-1 最近発生した水害・土砂災害例

水災害の発生	水害・土砂災害
2011年9月	台風12号により紀伊半島の一部で2,000mmを超える大雨。新宮川水系で我が国観測史上最大の洪水発生。深層崩壊の土砂災害も発生。死者・行方不明者98名、被災建物棟数約3万棟。
2012年7月	九州北部豪雨により、矢部川水系で我が国観測史上最大の洪水発生。堤防が決壊し、熊本県阿蘇地方で86件の土砂災害が発生。死者・行方不明者32名、被災建物棟数約12,000棟。
2013年9月	台風18号により由良川水系で大規模な浸水被害が発生し、福知山市、綾部市の約3万8千世帯に避難指示が発令。死者・行方不明者7名、被災建物棟数約12,000棟。
2013年10月	台風26号により伊豆大島では連続雨量が80mmを超える大雨となり、土石流により発生した流木が被害を拡大し、死者36名の被害が発生。
2014年8月	広島市で午前1時から3時間で217mmの降水量を記録する大雨となった。夜半の豪雨が予測できず、また避難勧告前に土砂災害が発生したため、死者74名の甚大な被害が発生。

出典：国土交通省 HP 第18回気候変動に適応した治水対策検討小委員会資料を基に作成

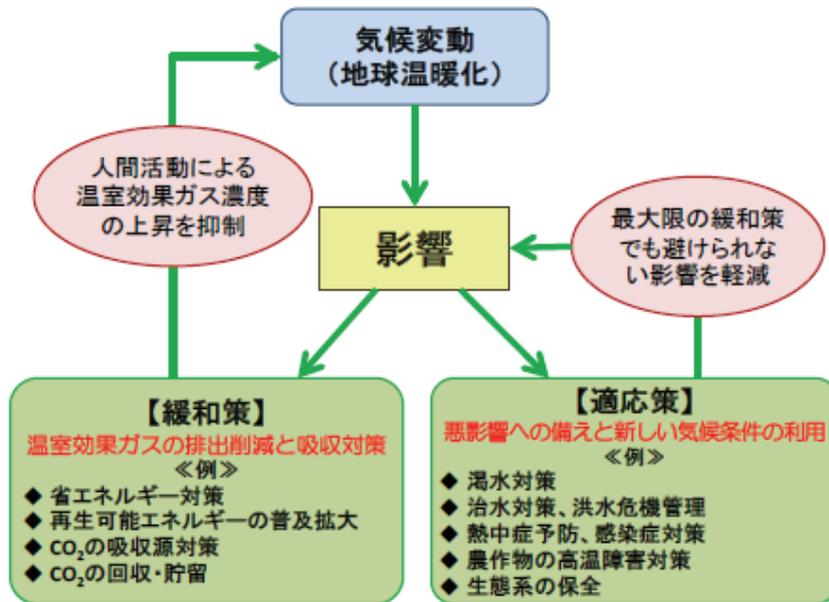


図4.2.1-1 気候変動と緩和策・適応策の関係

出典：文部科学省・気象庁・環境省,日本の気候変動とその影響

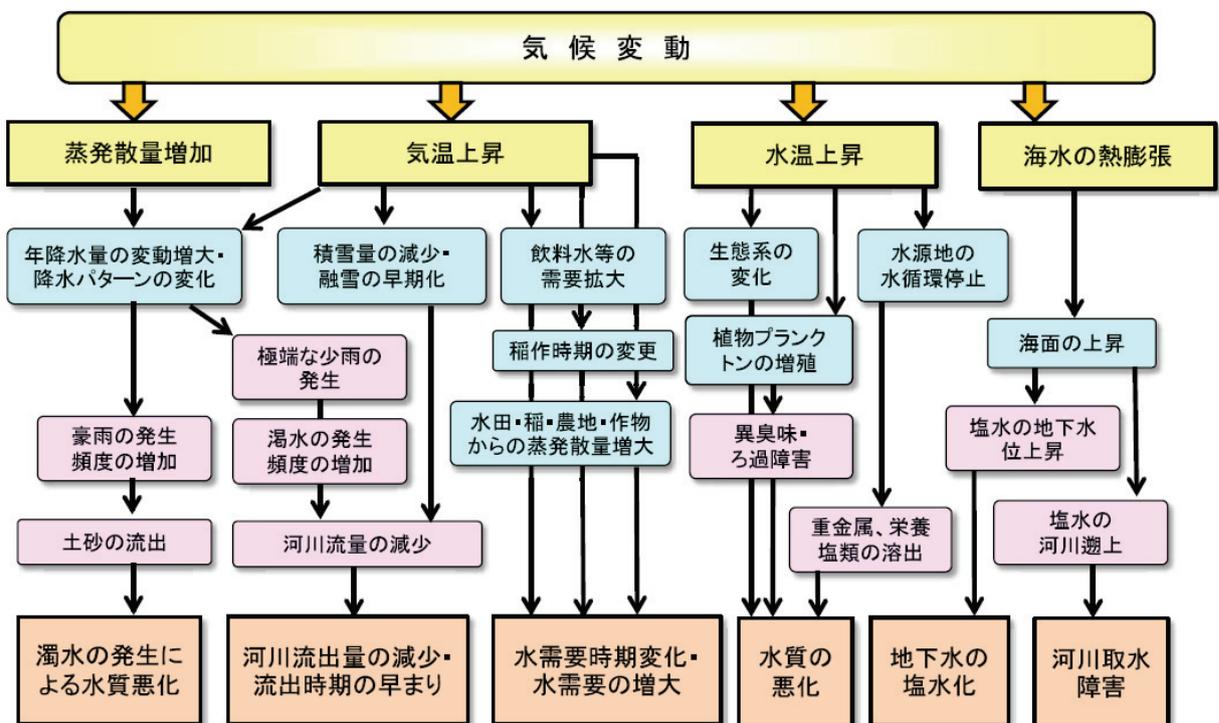


図4.2.1-2 水環境・水資源における気候変動

出典：文部科学省・気象庁・環境省,日本の気候変動とその影響

4.2.2 水辺に対する意識

環境省が2006年度に実施した環境モニター・アンケート「水辺環境について」の調査結果を次に示す。都道府県ごとに選考された全国500人を対象に実施された同調査結果によると、身近な水辺が「良い環境だと思う」と答えた人は38%、「良い環境とは思えない」が40%を占めた。水辺の利用は図4.2.2-1に示すように川では「週1回以上」「月1回程度」「年数回程度」の3つに分かれているが、海の回答では圧倒的に「年数回程度」が多かった。これは図4.2.2-2にみられるように、川における利用に比べ、海では遊泳による利用が多いことから利用時期が限られると考えられる。川、海ともに「風景や眺めを楽しむ」が利用として多い。このため「親水の間として改善したほうが良いと思う点」への回答では川、海ともに「水質」「ゴミ」を問題視する人が多かった。

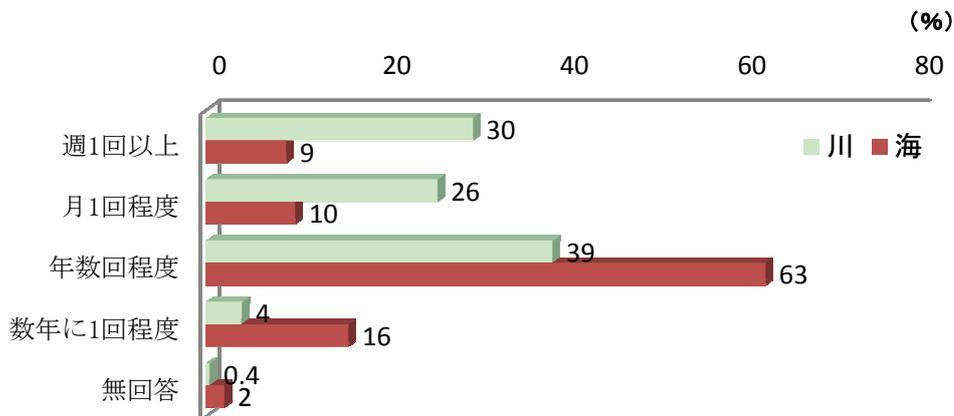


図4.2.2-1 水辺の利用頻度

出典：環境省 HP を基に作成

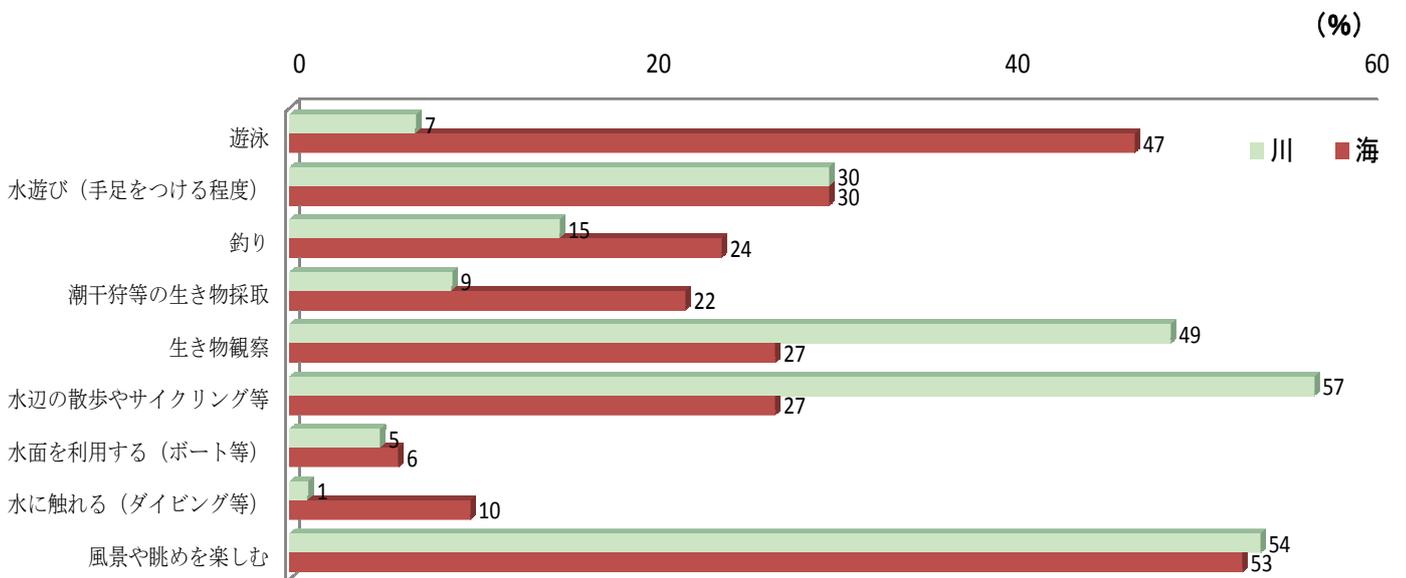


図4.2.2-2 水辺利用の内訳

出典：環境省 HP を基に作成

一方、内閣府が行った 2014 年の「水循環に関する世論調査」では、図 4.2.2-3 に示すように 2008 年の調査結果に比べ、安心・安全・安らぎを求める意見が増える傾向がみられた。図 4.2.2-4 に示すように水環境に関する意識に関しては、約 40%の回答者が満足しているが、水質や景観の問題、生物の生息場や水辺空間の不足、水辺に近づきにくいなど、水環境が抱える課題も見えてくる。

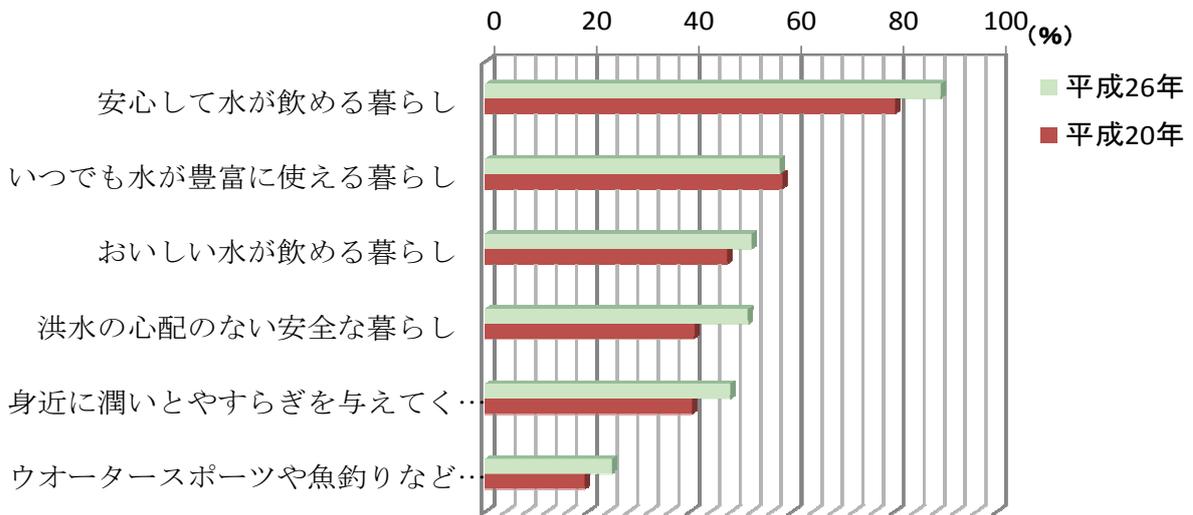


図4.2.2-3 水と関わる豊かな暮らし（複数回答）

出典：内閣府 HP より抜粋

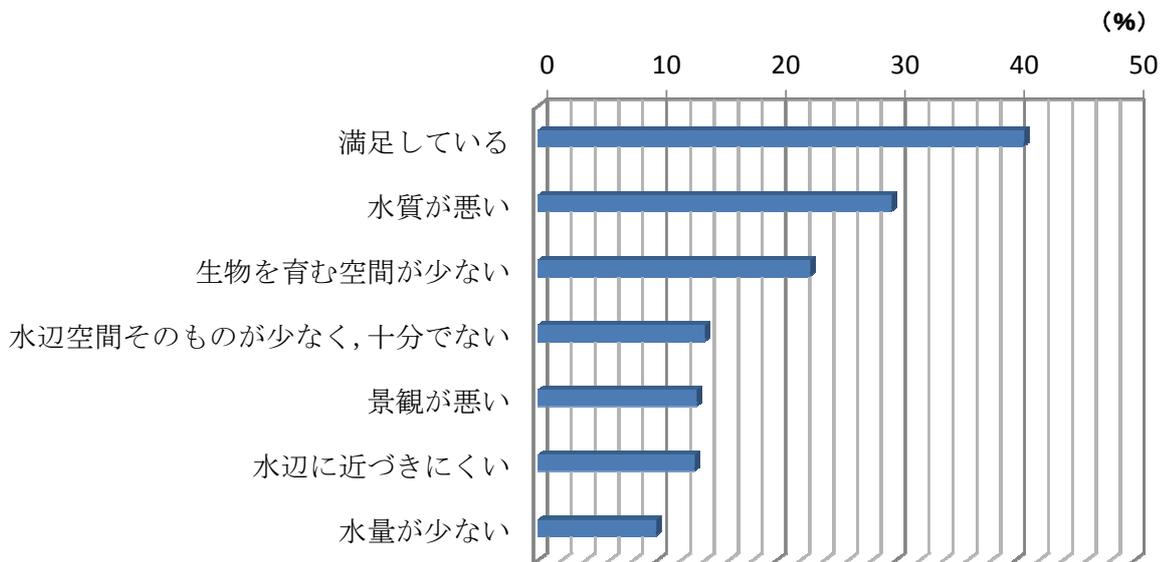


図4.2.2-4 水環境に関する意識（複数回答）

出典：内閣府 HP より抜粋

4.3 水辺の保全と地域の活性化

これまでみてきたように、我が国の水辺は気候変動や自然災害によるリスクを回避し、豊かな自然環境を維持する上で、さまざまな課題を抱えている。安心・安全・安らぎをもたらす水辺を将来に伝えるためには、多様な主体が流域単位で連携することが有効である。上流の住民と下流の住民のコミュニケーションが進めば、人口が減少して荒廃した水辺があっても、多様な知恵が集まり、放置されずにすむかもしれない。

次に豊かで魅力的な水辺を後世に正しく伝えていくためのヒントを探る。

4.3.1 国内水辺の利用事例

国土交通省国土計画局では、民間を含む多様な主体が複数のプロジェクトを実施することにより、単独のプロジェクトでは実施が困難な目標を達成する事業手法として「プロジェクト・パッケージ」を紹介している。そして、同事業手法を成功させるポイントは、①「古さ」を「付加価値に」、②マイナスイメージ、ハンディキャップにとらわれない、③異なる分野の機能を「組み合わせる」、④「小さな成功体験」を積み重ねる、⑤「にぎわい」と福祉」の双方の課題を解決する、⑥都市の空洞化から脱却に向けた取り組み、⑦錯綜する課題をまとめて解決するという7つであるとする。ポイント②の例として、図4.3.1-1を紹介する。横須賀市には軍港としての長い歴史がある。一般にはマイナスイメージになりやすい「軍港」という水辺を強みにし、「軍港めぐり」に加えて、この地域の特性を「海軍カレー」などユニークな発想で展開している。

また、図4.3.1-2に示すように2004年3月より河川敷地占用許可準則の緩和により、これまで民間事業者が主体的に取り組むことができなかった水際利用が、社会実験

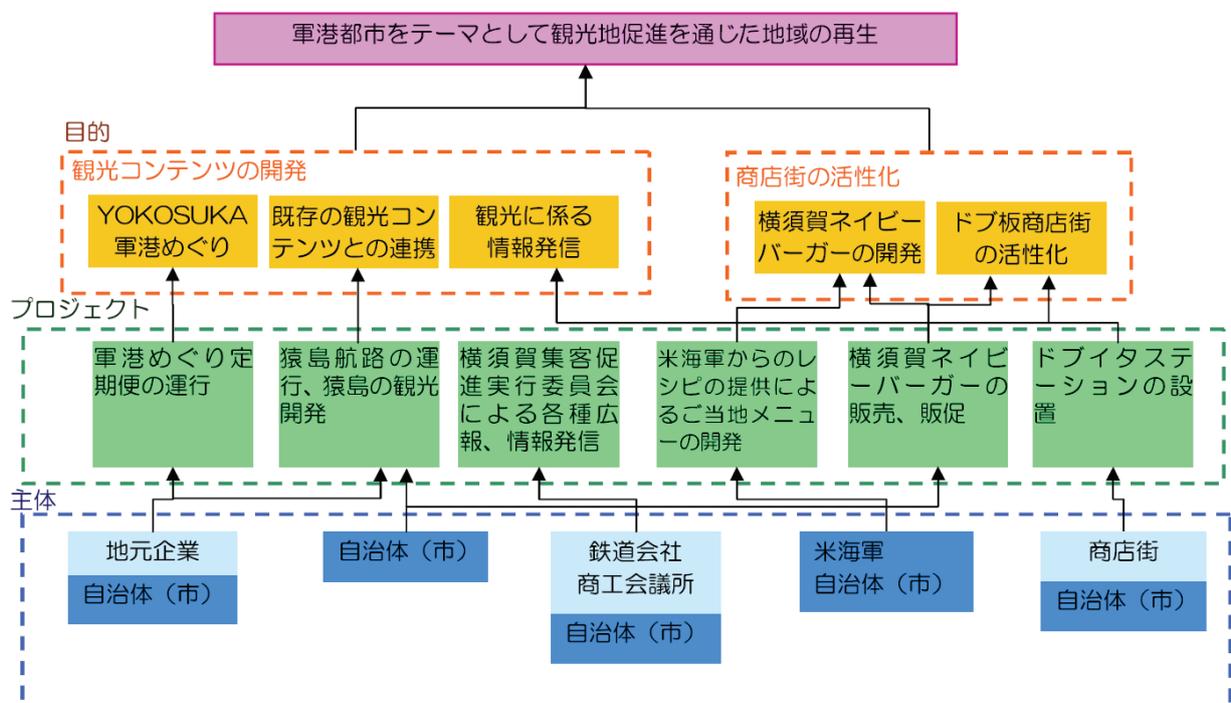


図 4.3.1-1 プロジェクトパッケージの構造図

出典：国土交通省 HP プロジェクトパッケージのすすめ

(特例措置)として①沙流川(北海道平取町)、②利根川(千葉県香取町)、③堀川(名古屋市)、④堂島川等(大阪市)、⑤道頓堀川(大阪市)、⑥箕面川(大阪府箕面市)、⑦京橋川等(広島市)、⑧那珂川等(福岡市)の全国8区域において許可された。これは河川敷地をイベント施設やオープンカフェなどとして利用し、にぎわいのある水辺空間を創出したいという要望に応じて実施されたものである。

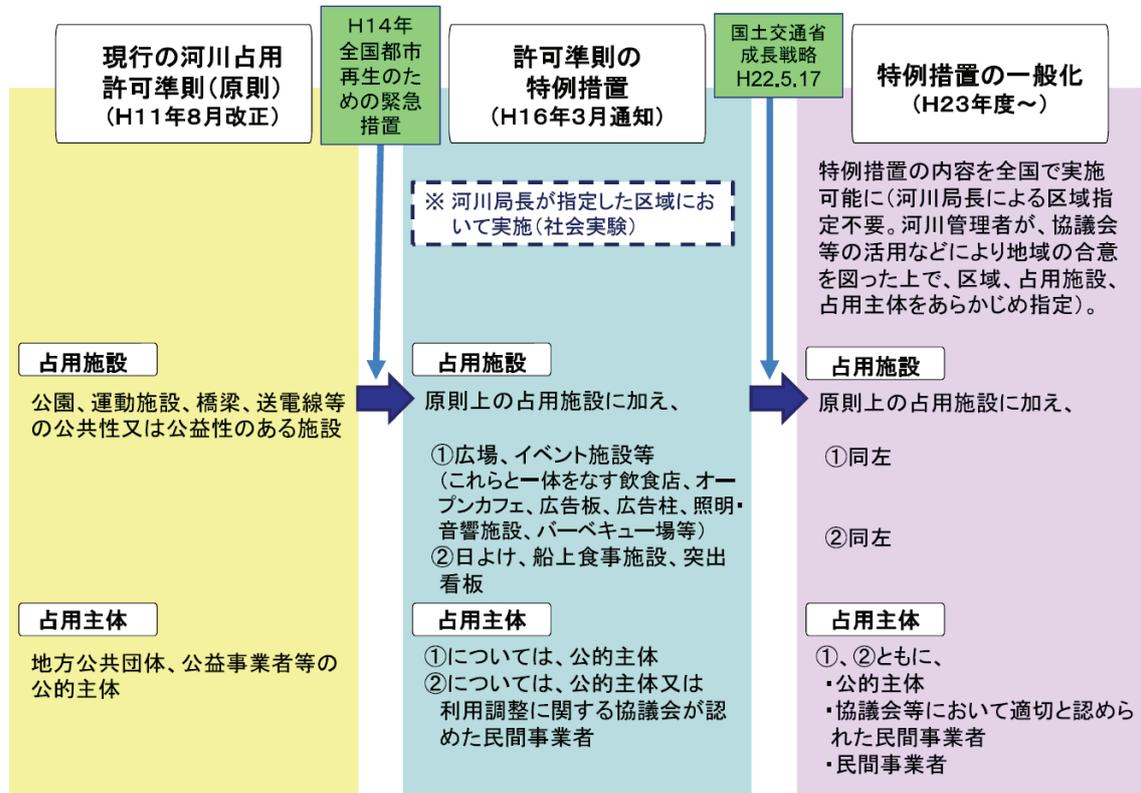


図 4.3.1-2 地域活性化のための河川敷地の占用に関する規制緩和

出典：国土交通省 HP

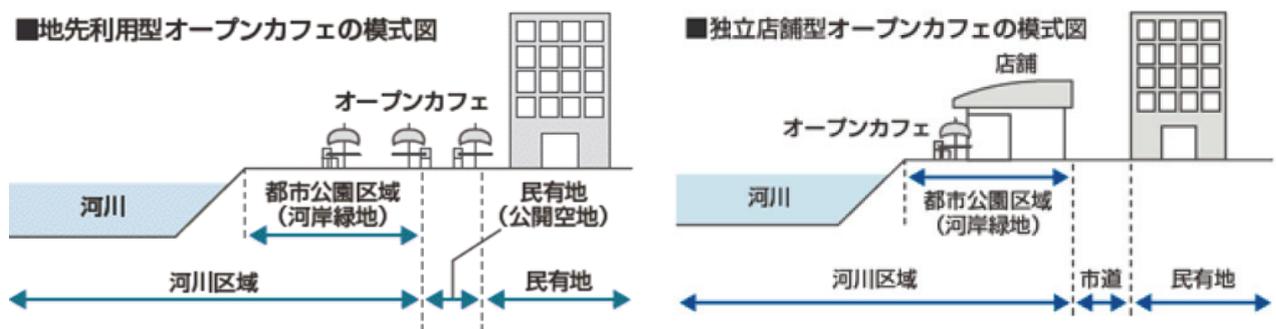


図 4.3.1-3 広島市京橋川における2タイプのオープンカフェ

出典：広島市 HP

たとえば、広島市では JR 広島駅と都心部を結ぶ動線上にあって、水辺と市街地が一体となったまちづくりが期待できるという理由から、京橋川において図 4.3.1-3 のような2タイプのオープンカフェが実施されている。カフェの実現には、共通の目標を持った

多様な主体からなる推進体制の構築や場所の選定、出店しやすい条件を設定するための事前ヒアリング、そしてカフェ営業に伴う不法駐車・駐輪対策など地元対応が重要とされる。オープンカフェの実施により、新たな観光スポットができ、水辺の魅力や夜間の安全性が高まるなどの効果が上がっている。

一方、東京都は「水辺活用ハンドブック」を作成し、水辺のさまざまなイベントを紹介するとともに、水際を利用するにあたり必要となる届出や申請についても図 4.3.1-4 のように具体例を示している。

以上のように、多様な主体による水際の利用を通じて、水辺を将来にわたって豊かに保全するノウハウの蓄積が重要である。

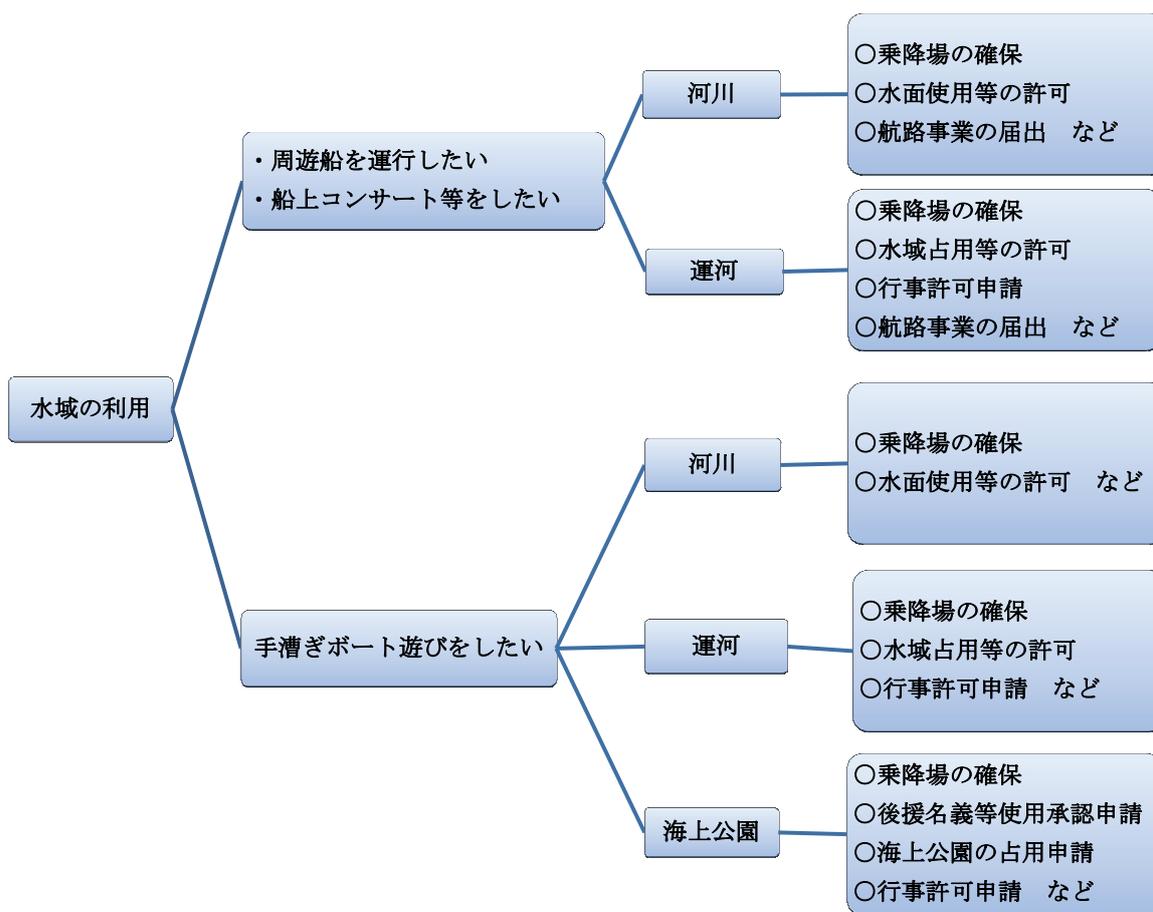


図 4.3.1-4 水域利用における主な届出・申請

出典：東京都 HP 水辺活用ハンドブック

4.3.2 海外の海辺活用事例

米国における海辺を活用した地域活性の事例を表 4.3.2-1 に示す。いずれも大規模な開発事例であり、図 4.3.2-1 に示す補助金などが活用されている。

一方、我が国と同じ島国である英国市民と海との関わりについて、2012 年の英国市民を対象としたアンケートの結果が興味深い。休暇旅行のうち海岸へ旅行する市民が約 3 割を占める。英国市民は夏季に限らず、さまざまな季節に海岸でリフレッシュし、散歩やレジャー、観光などを楽しんでおり、海岸へ気軽に出かける生活スタイルが定着している。地

元の人々にも、また観光客にも海岸が親しまれる理由として、海岸に沿って続く 10～20 mと幅広いプロムナード（遊歩道）の存在が大きい。背後の都市部から海岸への動線や目線を意識した海岸部が、人々を海岸へ引き寄せるのである。

表 4.3.2-1 海外の海辺活用事例

(1)海辺を観光地として活用した事例	①テキサス州 コーパスクリスティ市	・マリンレジャーの魅力を市民、観光客へ紹介 ・子供たちの環境学習
	②カリフォルニア州 ロングビーチ市	・大規模ショッピングセンター、ホテル、水族園、観光クルーズにより大量失業者を救済
	③サウスカロライナ州 チャールストン市	・海辺と既存の市街地との調和を図り、旧市街の魅力をアピール
(2)海辺を高級住宅街として開発した事例	ジョージア州	・観光地化による周辺住民への騒音や、交通渋滞などの被害は避けられるものの、経済効果は低く、住民の賛否は分かれる。
	フロリダ州	
	サウスカロライナ州	

出典：財団法人自治体国際化協会 CLAIR REPORT より作成

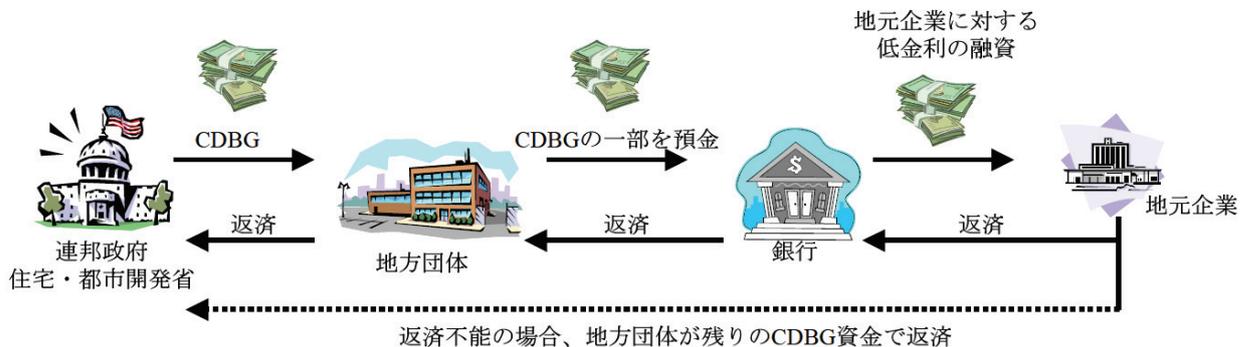


図 4.3.2-1 コミュニティ開発補助金制度

出典：財団法人自治体国際化協会 CLAIR REPORT

4.3.3 水辺による地域の活性化

これまで水辺の抱える課題やその活用事例についてみてきた。人口と産業が集中する都市部の水辺を多くの人々が魅力を感じるように展開していくことは、難しいと考えがちである。しかし、水辺は、社会、経済、科学、教育、文化、芸術、レクリエーションなど様々な分野で人々と関わっており、多様な人々が集まりやすいという強みがある。先に述べたプロジェクト・パッケージにおいても「異なる分野の機能を組み合わせる」が成功のポイントの1つとされた。よって、水辺は地域の活性化における重要な要素の1つと考えられる。たとえば、人口減少に伴って進められるコンパクトなまちづくりにおいては、流域全体を視野に入れた遊水機能の保全（農地、緑地、森林等の機能の保全）やオープンカフェのよ

うな水辺の憩いなどを取り入れることにより、水辺ネットワークを活かした魅力的なまちへの展開が期待される。さらに、身近に水辺があることにより、忘れがちな自然災害や気候変動の脅威を普段から意識し、水辺の整備や管理に関する豊かな経験や技術が後世に継承されると考えられる。

参考・引用文献

- 1) 環境省 HP, 里海ネット
<http://www.env.go.jp/water/heisa/satoumi/01.html>
- 2) 国土交通省 HP, 持続可能で活力ある国土・地域づくり
http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo08_hh_000069.html
- 3) 環境省 HP, 文部科学省・気象庁・環境省, 日本の気候変動とその影響
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/>
- 4) 内閣府 HP, 水循環に関する世論調査
<http://survey.gov-online.go.jp/>
- 5) 広島市 HP
<http://www.city.hiroshima.lg.jp/index2.html>
- 6) 東京都HP, 水辺活用ハンドブック
<http://www.tokyo-innerharbor.com/mizube-h.pdf>
- 7) 財団法人自治体国際化協会HP
<http://www.clair.or.jp/j/forum/pub/docs/294.pdf>
- 8) 英国PIERS研究会, 英国Piers調査報告書2014 (2014,12)

第5章 生物資源を主眼とした農村地域活性化に関する指標化

農村地域は言うまでもなく農林水産業を生産の基盤として人の生活と経済活動が成立されるべき地域である。一方で、例えば農業は食料を供給する役割だけでなく、その生産活動を通じた国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承等様々な役割を有しており、これらの役割による効果は地域住民をはじめ国民全体が享受し得るものである¹⁾。

さて、農村地域においては、地域活性化の施策のひとつとして、いわゆる「バイオマス」の活用が挙げられる。しかし、バイオマスを効率的に利活用・循環するためには、財政的な観点などから、ひとつの施政域内の単位では完結できない場合もあり得る。特に発生するバイオマスのもととなる森林資源などは、その機能を保持するための整備コストがかかる。その受益者は流域全体にまで及ぶことから、バイオマスに関わる物の流れとともに人や資金の流れに関する仕組みづくりも不可欠である。以上の考えに基づき、市町村レベルの地域内で発生するバイオマスに対して、バイオマスのみならず生物がもととなる自然環境等が有する機能を評価し、その地域を含む流域や都市に与える効果をも反映することにより、その地域の活性化につなげていく必要性を訴えてきた²⁾。

本章の目的は、農村地域においてもっとも貴重な資源となり得る生物資源をとらえて主眼に置き、地域の活性化に不可欠であり、かつ広域的な貢献性が問われるような指標を掲げて評価ができるシステムを作成することにより、その地域における活性化と繁栄をもたらす道標の一助とするものである。

5.1 生物資源の保有する機能と地域への恩恵

一般に利活用の対象として使われる「バイオマス」という言葉は、生物系の残渣など比較的狭義的な扱いであった。しかしながら、バイオマスを中心にしたマスバランスやネットワーク化に向けた検討を進めてきたなかで、里山をはじめとした農村地域や農業、生物多様性など総合的な効果を評価するに当たっては、バイオマスそのものの運用上の評価に留まらず、森林や農地そのものの存在の意義や自然生態系保全の必要性など、より広範な見解における評価に妥当性が見出されるものと考えられる。そこで、本章においては、図 5.1-1 に示すように、「生物資源」を「バイオマス」(再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの)より広範な、森林、農地などを含めた生物の総体としてとらえ、農村地域の持つ機能の対象として取り込むこととする。

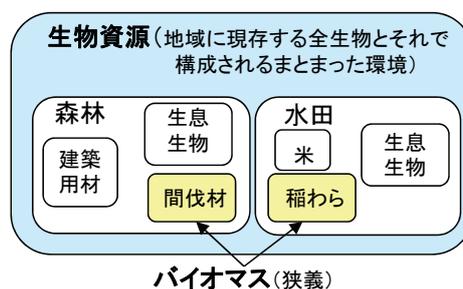


図 5.1-1 本章における生物資源とバイオマスとの関係模式図

5.1.1 生物資源の保有する機能

新たな視点でとらえられる生物資源については、それから人がどのような恩恵を被ることができるかが重要となるため、生物資源をとりまく保有機能について調査を行った²⁾。その時に参考としたものは、生態系サービス、農業・農村の多面的機能、森林の多面的機能、

および環境経済学分野における自然の持つ「環境機能」等であり、これらの保有する機能の例をもとに、新たに「生物資源の保有する機能」を表5.1.1-1に取りまとめて展開した。なお、それぞれの機能に対し、諸機関で試算した経済評価額を併記した。

表 5.1.1-1 生物資源の保有する機能と経済評価額試算例²⁾

生物資源としての保有機能			森林の 経済評価額 (億円) ¹⁾	農業・食料関連 産業の経済計 算(億円) ²⁾	農業・農村の 経済評価額 (億円) ³⁾	漁業・漁村の 経済評価額 (億円) ⁴⁾
調整・保全機能 (生物系の存在そのものもしくは存在する場としての機能)	大気系調整	気候緩和			105	
		CO ₂ 吸収・固定	12,391			
		大気系浄化			99	
	土壌系調整	土砂崩壊防止	84,421		1,428	
		土壌浸食防止	282,565		1,745	
		土壌流出防止				
		土壌系浄化				
	水系調整	洪水緩和	64,686		28,789	
		水源涵養	87,407		12,887	
		流況安定				
		水系浄化	146,361			68,582
	生態系保全	生物生産・生息				
		生物多様性維持				
疫病制御	生物系全体の疫病制御					
供給機能 (生物系が存在する場から人が生物系を採取し、人の糧とする機能)	食糧	一次産物 (生物系の直接摂取)		117,000 (農・漁業)		
		二次産物 (一次産物の加工品)		381,000 (関連製造業)		
	水 (生物系浄化水)	水 (生物系浄化水)				
		健康維持・生活品	一次産物 (生物系の直接摂取)			
		二次産物 (一次産物の加工品)				
	エネルギー	燃料	2,261			
		熱				
		電気				
	その他バイオマス	生活系残渣				
		農・畜産系残渣			64 (食物残渣等の 廃棄物処理 費用の軽減)	
森林系残渣						
	水産系残渣					
感性的・文化的機能 (人が生物系の存在そのものもしくは存在する場として感じ、文化的な行動を起こす源となる機能)	五感刺激	景観	22,546		22,565	13,846
		保健・療養	(保健・レクリエーション)		(保健休養・安らぎ機能 (文化的機能))	(保養・交流・教育機能)
	学習・教育	原体験				
		体験学習				
		自然教育				
		伝統継承				
		生物系調査・研究				
	芸術・レクリエーション	視覚系芸術				
		音響系芸術				
		スポーツ				
		芸能				
宗教・祭礼	宗教・祭礼					
(計)			702,638	498,000	68,788	

出典：

- 1) 日本学術会議答申「地球環境・人間生活にかかわる農業および森林の多面的機能の評価について」
- 2) 大臣官房情報評価課情報分析評価室：平成20年度農業・食料関連の経済計算（速報）
- 3) 農林水産省農業総合研究所：農業・農村の有する多面的機能の経済的評価，1998.6
- 4) 日本学術会議答申「地球環境・人間生活にかかわる水産業及び漁村の多面的な機能の内容及び評価について」

5.1.2 生物資源の地域への恩恵

前掲の表 5.1.1-1 にあるように、生物資源の保有する機能は、①調整・保全機能、②供給機能、③感性的・文化的機能に分類された。これらの機能を農村地域にあてはめた場合の貢献をかみ砕いて示すと、おおむね図 5.1.2-1 のようになる。以下、機能ごとの地域への恩恵について簡単に述べる。

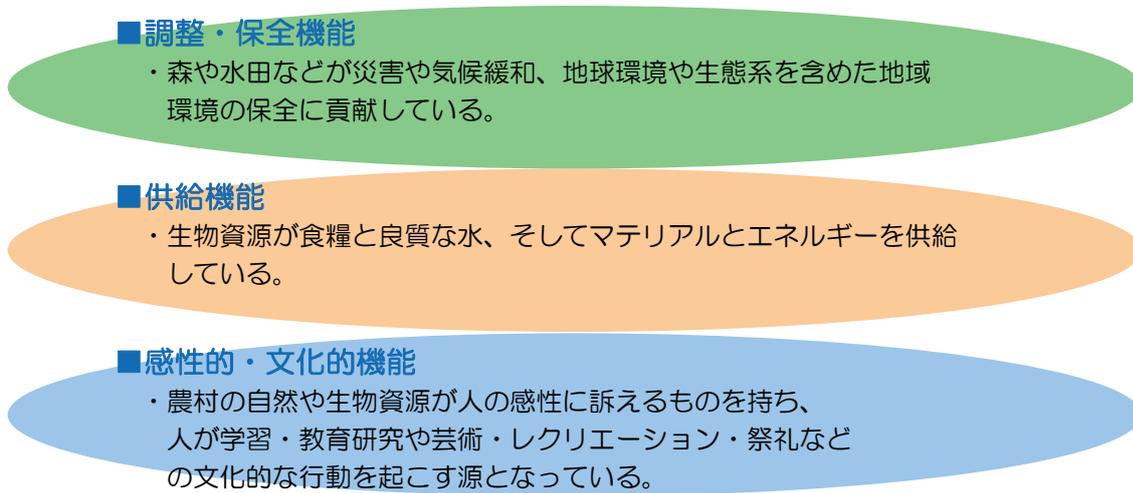


図 5.1.2-1 生物資源の農村地域への貢献の概要

1) 調整・保全機能

その地域を形成している森林や水田など比較的広域に存在する自然的な資源が、洪水や土砂災害等の災害を緩和するとともに、CO₂吸収源となり地球温暖化を防止するというマクロな気候緩和や、自然の水循環が促される結果としてのミクロな気候緩和に貢献することも期待される。また、大気・土壌・水系の環境保全や浄化にも貢献し、さらに、これらの自然資源は多様な生態系の形成に欠かせないものである。

2) 供給機能

生物資源は、食糧や水などのように人に対して直接的な供給源となる点で、非常に重要である。いわゆる狭義の残渣系のバイオマスも、有用なマテリアルやエネルギーに変換される点においてこの供給機能に該当する。

3) 感性的・文化的機能

その地域を形成している自然的な資源が良好な景観を生みだし、観光的資源として活用されるような機能である。さらに、グリーンツーリズムなどの自然体験学習の場として、あるいは特殊な生態系を形成し、学術的な対象となったり、おもに人の感性に訴えられ、それに起因して人の活動が促されるような機能である。このような機能は観光資源のように地域への貢献度が経済性等に比較的反映されるような対象から、学習・教育などのように、数値的な評価が難しいようなものまである。

5.2 生物資源の保有機能を主眼とした農村地域活性化の指標の提案

以上に述べた生物資源が有する各種機能は、農村地域において最大限に有効に活用されていることが、地域活性化のための重要な条件であると考えられる。本節では生物資源が有する各種機能をベースとした農村地域活性化の指標を提案する。

ここでは、3つに分類された生物資源の保有機能ごとに、農村地域においてその機能がうまく利活用されているかの判断ができるような項目をリストアップした。その結果を表5.2-1に示し、各項目について説明を加える。なお、表中の左欄は対象となる農村地域が生物資源の保有機能を自らどの程度活用しているかを見るための項目であり、右欄は当該農村地域が生物資源の保有機能を活用するに当たり地域外へのアクションをどのように行っているかを見るための項目である。

表 5.2-1 生物資源を主眼とした際に「活性化された農村」であるための項目群

関連する自然や生物資源の保有機能	地域内での自然や生物資源の恩恵を認めて活用しているか？	自然や生物資源の恩恵を地域外に認めさせ、地域外からの人的・物的・経済的効果を産みだしているか？
調整・保全機能	緑被率の維持	地域外参入者による開発に関わる調整のための制度・システム
	炭素固定源としての森林の管理制度・システム	森林の管理制度・システム運用のための助成
	水系の多自然化事業	多自然化事業に関わる助成
	生物多様性や貴重生物種保全等の地元活動	生物多様性や貴重生物種保全等に関するトラスト・基金等制度
供給機能	農林畜水産物とその他採取物(生産額)	農林畜水産物とその他採取物の地域外への流通(販売額)
	二次加工製品(生産額)	二次加工製品の地域外への流通(販売額)
	6次産業化に関わる具体的な計画とその遂行	6次産業化に関わる地域外からの人的・物的・資金的誘致制度・システム
	水源の確保とその保全	水の販売
		水源税
	地産エネルギーとその自給	地域外へのエネルギー提供・収入
	FIT収入	
	バイオマス残渣の活用	バイオマス残渣処理費に関わる助成
バイオマスタウン等の計画とその遂行	バイオマスタウン等に関わる助成	
感性・文化的機能	自然景勝地等の観光資源	観光関連収入
		景勝地等の観光地保全のための措置(みどり税・観光税等を含む)
	自然教育・体験学習等の制度・システム	都市部などの自治組織等との交流制度・システム 地域外からの人的誘致・体験制度・システム
	自然や生物資源に関わる地元NPO・企業等の活動	地域外NPOや企業等からの人的・物的・資金的援助等
	自然や生物資源に関わる文化的活動の企画やイベント開催	文化的活動に関する地域外からの人的・物的・資金的援助等
自然や生物資源に関する地元での研究の題材	自然や生物資源の研究に関する地域外からの研究者や研究費等の確保	

5.2.1 調整・保全機能

1) 緑被状況

農村地域は食糧生産の場としての農地はもとより、気候緩和に貢献する森林や、洪水緩和や水源涵養に貢献する河川・湖沼等の水系とその流域の植生帯など、広範にわたる生物資源によって成り立っている。一方で、人の生活の場としての人工物が過密になると、農村地域で特徴づけられる緑被の割合が減少し、農村地域として維持していくうえでそのバランスが問われることになる。このように農村地域において生物資源による調整・保全機能を総合的にみる尺度として「緑被率」が適当であり、これを維持していくことが農村地域における必要条件になると考えられる。

緑被率を維持することは、地域での諸開発に伴う経済効果と乖離する関係になる場合が想定されるが、本来農村が有する生物資源による調整・保全機能を損なうような地域外参入者の過度な開発行爲については、抑制に向けた調整が行われるような制度・システムが必要とされる。

なお、緑被率についてはウェブソフト等による地理情報等をもとに、比較的簡易に表すことが可能である。

2) 炭素固定源としての森林の管理制度・システム

森林を適切に管理し、そのような森林から生産された木材を使って製品を作り、流通させ、消費者に届ける。このように森林の望ましい管理方法と、その森林に由来する製品を認証する「森林認証」という制度がある³⁾。農村地域においてこれらの制度を適切に取り込み、運用することにより、結果として炭素固定源や生態系保全のための森林の育成管理がなされることになる。

また、林野庁は、「地球温暖化防止の推進や木材の安定供給を進めていくためには、現在の小規模零細で高コストな施業方法を見直し、施業の集約化により路網整備と高性能林業機械の活用を進め、間伐等の生産コストを削減していくことが不可欠である」とし、2011年度より森林整備地域活動支援交付金制度を見直している⁴⁾。そして、森林経営計画制度の施行に合わせ、森林の経営の委託を受けて森林経営計画を作成し、計画的に集約化施業を行う取組を重点的に支援している。

以上のように、農村地域において「森林認証制度」を取り込んでいるか、また、国や地方の森林整備と管理に関わる助成制度を積極的に活用しているかなどは、その件数や助成額などをもとに、地域の活性化を見る一つの尺度となり得る。

3) 水系の多自然化事業

旧建設省が1991年に「多自然型川づくり事業」の名称で全国通達したことを端に発し、河川が本来有する曲線形状に基づく流れや植生の多様性を再現するような事業が一般的になってきた。それにより水系調整機能が回復するだけでなく、流域の生態系が多様になり、また、流域内外の人が水辺を楽しむ機会を作ることに貢献している。特に農村地域では農業に欠かせない用排水路網と併せて多自然型の河川やため池を整備することにより、より美しい里山風景が造られる。以上より、その地域における多自然化事業の件数や助成額などが農村地域の活性につながる尺度になり得る。

4) 生物多様性や貴重生物種の保全活動

「里山」という言葉で代表される農村地域は、村落、水田およびその灌漑施設である河川、池沼、湿地、雑木林などをその構成要素とし、そのすべてが人の手によって造成・維持管理されてきた、二次的自然の中でも極めて人為度の高い環境である⁵⁾。一方で生物多様性の観点からみると、農村的自然の擁した生物群は種数・個体数ともに極めて豊富であり、どのような原生自然にも勝るとは劣るものではないといわれている。しかしながら、近年では過疎化や高齢化による維持管理の放棄により、二次的な自然環境が遷移し、その環境でしか生息できない生物が絶滅危惧種に指定されるケースが増している。

このような状況において、昔ながらの里山風景を維持するための具体的な行動として、里山の生物多様性や貴重生物種の保全活動が盛んにおこなわれることは、その地域の生物資源の保全と地域活動の活性化につながる。評価尺度としては、地域内における活動団体の数や規模などが考えられる。

5.2.2 供給機能

1) 農林畜水産物とその他採取物

農村地域における農林畜水産物の生産量や生産額、および地域内外への販売額は、その農村における経済規模を評価する指標であり、生物資源としての供給機能を直接的に表すものでもある。

2) 二次加工製品

農村地域で生産された一次産物としての農林畜水産物を地元で二次的に加工し、より付加価値を高めることは地元の産業振興に大きく貢献し、地域外との流通・経済のネットワーク構築上においても重要な要素となる。

3) 6次産業化に関わる具体的な計画とその遂行

上記一次・二次産物の生産・流通・販売といったバリューチェーンの中で、さらに新たな上下流との関係を作り上げて経済性を向上させる手段として、「6次産業化」がある。6次産業化の詳細な内容については他章に譲ることとするが、農村での6次産業化については2010年に公布された「六次産業化・地産地消法」において、その促進に向けた運用や支援策について施策化されており、その地域でこれらの施策の取り込みをどの程度行っているかが重要となる。

4) 水源の確保とその保全

水源地とその流域の水源地林は公共の財となる水供給に欠かせないだけでなく、水源涵養や災害防止など様々な公益的機能を有する国の基本インフラである。近年、外国資本によって水源地流域の森林が買収されており、水源地の保全に対して多くの関心が寄せられている。農村地域にとって水源地の確保とその保全は必要不可欠からざるものであり、このような外的勢力による水源地の収奪はその地域の存続を危ぶむ一大事である。

このため、水源地保全に関する諸施策が講じられている。例えば、水源地保全地域の

指定制度や水源地の公有地化の動きもある。また、水源林などの森林整備等の支援を主な目的とした都道府県による「森林環境税」などの独自課税制度もある¹⁾。農村地域における水源地の確保と保全はこれらの施策に則って行われているかが、その地域の活性化に大きく寄与している。また、その地域で良質な水が供給・販売されているかなども活性化の評価尺度として重要である。

5) 地産エネルギーとその自給

農村地域における地産の再生可能エネルギーとしては、農村地域の特性をもとに試算された潜在ポテンシャルを踏まえると、小水力発電、太陽光発電、バイオマス発電が有力であるとされている⁶⁾。最近の農林水産省関連の規制改革の取組みのうち、再生可能エネルギー関わる事項については、農地やそれに従属する場所における再生可能エネルギー関連施設の設置に関わるものがほとんどである。特に、太陽光発電については転用許可に関する規制緩和政策が明確にされており、高い潜在エネルギーポテンシャルを持つソーラーシェアリング(農地にソーラーパネルを設置し、営農をしながら太陽光発電を行う方法)の実現に向けた行政側の前向きな意向がうかがえる。そのほかに、森林法における指定解除により、太陽光、風力、地熱、バイオマス等の再生エネルギー施設設置を促し、小水力発電の許可制から登録制への緩和措置により小水力発電の普及が期待されている。

農村地域でのエネルギー対策は自然環境の中で実施されることが前提となるため、自然生態系へ大きな影響を与えない範囲でいかに有効にエネルギー化されるかが重要である。電力変換する場合は固定価格買取制度(FIT)の活用も地域活性化の尺度の一つとなり得る。

6) バイオマス残渣の活用

農林畜水産の一次産物から分離されるバイオマス残渣は飼料、肥料などのマテリアル利用のほかに、熱や燃料、電気へのエネルギー変換が可能である。さらに、生活系の生ごみや下水・排水系の残渣などを併せてエネルギー等に利活用することも考えられる。これらの施策を推進するために、2004年に農林水産省が、地域循環型の地域形成を目的としたバイオマスタウンの募集を開始し、市町村等の自治体単位での構想・計画・実施が行われており、2012年にはバイオマス事業化戦略という形で引き継がれてきている。これらの施策は狭義の生物資源(バイオマス)の利活用を地域レベルで実施し、地域を活性化するという狙いがあるので、農村地域におけるこれらの施策の活用状況は、地域活性化の重要な尺度となり得る。

5.2.3 感性・文化的機能

1) 自然景勝地等の観光資源

一般に自然景勝地等の観光資源は原生の自然に近いものとイメージされるが、近年では里山のように二次的な自然で形成される景観と、その地域で採れた産物の販売をセットにして貴重な観光資源として位置づけるケースも出始めている。このように、もともとその地域にある自然景勝地のみならず、農村地域としての観光資源も含めた地域活性

化の尺度が考えられる。評価尺度としては、その地に訪れた人数や関連収入のほかに、地域保全のための助成額や税収なども考えられる。

2) 自然教育・体験学習等の制度・システム

農村地域では、水田などの農地や雑木林、雑草地、ため池などの潤沢な二次的自然を、生物観察・調査、体験農林業などさまざまな自然教育や体験学習等の場として地域内外に提供できる。また、農村地域において自然教育や体験学習システムを構築することにより、都市部などの地域外の就学者との交流が進み、これが自治体レベル同士の交流制度などに発展することも期待できる。さらに、農林畜水産業をベースとした6次産業化に向けた若年就業者の確保にもつながる可能性があり、このような制度・システムを保有することが地域活性化の一指標としてあげられる。

3) 自然や生物資源に関わる諸活動・イベント開催・研究対象

農村地域における生物資源の保全等に関わる活動や観光的な要素を含めたグリーンツーリズム、体験を活かした活動の企画や実践は、近年では地元内外の企業やNPOが率先して行うケースが増している。また、大学等の研究機関が生物資源や農村活性化そのものの研究対象として、農村地域を題材とする例も多い。さらに、古くからその地域に伝承される文化・芸能に加え、新たな芸術的なイベントがその地域で企画されるようなこともある。これらの活動の数やその規模、および活動に伴う地域内外からの物的・人的・資金的な流れの規模は、その地域の活性度を表す重要な尺度となり得る。

5.3 提案指標に基づく農村地域の評価の行い方

農村地域が活性化の現況を確認し、取り組みの方策を検討するうえで、以上に述べたような生物資源を主眼とした農村地域の活性化に関わる指標を活用することは有効な手段であると考えられる。なお、農村地域の対象となる範囲はさまざまであると考えられるが、基本的には市町村といった自治行政単位を一つの農村地域とすることが、施策上望ましいと考えられる。なお、自治体による人口や面積の大小については、各尺度の中で正規化補正する必要がある。

具体的に正規化された指標の提案と実在の自治体における検討事例の紹介等については次年度に譲り、本節においては、架空の自治体を対象とし、架空の提案指標により評価した結果のイメージを、**図 5.3-1** に例示するに留めることとする。

例えば、**図 5.3-1** に示された農村地域（自治体）においては、「A村は緑豊かで農産物が多く採れ、水源も確保されているが、その良さが村内であまりよく認識されていないので、6次産業化、観光、文化的活動などにもっと力を入れることにより、村がより活性化することが期待される」といった総評がされるようなイメージである。

なお、次年度においては、実在の自治体に関するホームページなどweb上での調査と実際の現地聞き取り調査などを実施し、各種指標の評価尺度の詳細について検討を重ねていく所存である。



図 5.3-1 生物資源を主眼とした仮の地域活性化指標による架空自治体（A村）の評価結果のイメージ

参考・引用文献

- 1) 農林水産省 HP, 農村地域の活性化
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/t1_t_04.html
- 2) 一般財団法人エンジニアリング協会, 平成 24 年度大震災後のエネルギーベストミックスと新バイオマス社会に関する調査研究報告書<エネルギー・環境関連分野>, (2013.3)
- 3) WWF JAPAN HP, FSC (森林管理協議会) について
<http://www.wwf.or.jp/activities/nature/cat1219/fsc/>
- 4) 林野庁 HP, 森林整備地域活動支援交付金制度等施業集約化に向けた取組
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/koufukin/>
- 5) NPO 法人自然環境復元協会, 環境再生医, 環境新聞社, p.25, (2008.8)
- 6) 一般財団法人エンジニアリング協会, 平成 25 年度大震災後のエネルギーベストミックスと新バイオマス社会に関する調査研究報告書<エネルギー・環境関連分野>, (2014.3)

省等で推進してきたバイオマスタウンの考え方を融合させる。特に、農林畜水産系バイオマスや、下水汚泥や生ごみなどの生活系バイオマスとの間で、相互に処理・利活用していくようなネットワークシステムが、域内で効率的に形成されることが重要となる。

さらに、このような考えを発展させ、同じく図 6.1-1 のバイオマスのカスケード利用や炭素循環を促すようなイメージを構築した。つまり、人はバイオマスの恵みによって生かされていることを認識し、この恩恵に感謝と畏敬の念を持って、バイオマスを基軸とした自然や生物との共生社会を作り上げることを目指すべきである。

エネルギー・環境研究部会において検討を重ねてきたこれまでの BCN 構想では、扱ってきた「バイオ」の対象がバイオマス主体に限定されていた。しかしながら、バイオマスを中心にしたマスマバランスやネットワーク化に向けた検討を進めてきた中で、里山や農業、生物多様性など総体的な効果を評価するに当たっては、バイオマスそのものの運用上の評価に留まらず、森林や農地そのものの存在の意義や自然生態系保全の必要性など、より広範な見解における評価に妥当性が見出されるものと考えられた。そこで、BCN 構想について一昨年度は以下のような新たな視点を提案している。

バイオマスを効率的に利活用・循環するためには、財政的な観点などから、ひとつの施政域内の単位では完結できない場合もあり得る。特に生成するバイオマスの基となる森林資源などは、その機能を保持するために整備コストがかかる。その受益者は政策域外にまで及ぶことから、バイオマスに関わる物の流れとともに人や資金の流れに関する仕組みづくりも不可欠である。この考えに基づき、BCN 構想では、図 6.1-2 に示すような市町村レベルの域内で発生するバイオマスに対して、都道府県レベルから都道府県を跨った広域レベルにまで、バイオマスのみならず環境機能のエネルギー資源、供給、自然同化、財（人材等）、サービスにわたる、多角的なコミュニティネットワークを築き上げる必要性を訴えてきた。

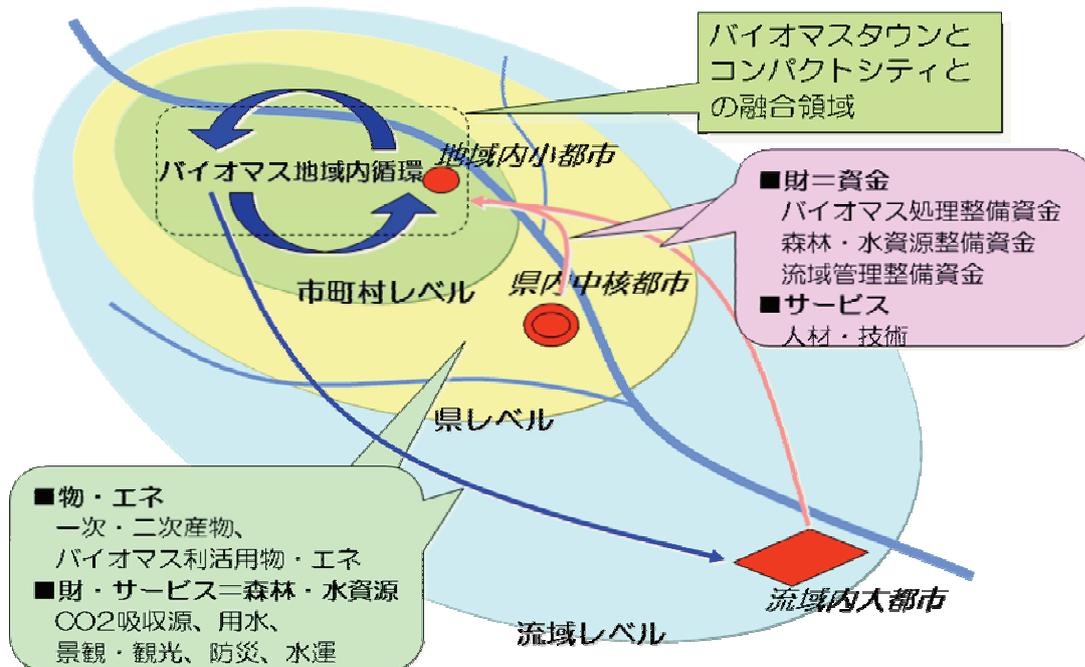


図 6.1-2 BCN 構想の形成イメージ図

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

そして昨年度は大規模プロジェクトマネジメントで使われる「構造化分析手法」を導入し、BCN構想を具現化する手順にエンジニアリングアプローチを試みた。なお、同手法については、昨年度の報告書に詳しく説明しているため、ここではBCN構想の構造化分析結果のみを再掲載する。構想のシステム外観図を図6.1-3に、要求辞書を図6.1-4にそれぞれ示した。

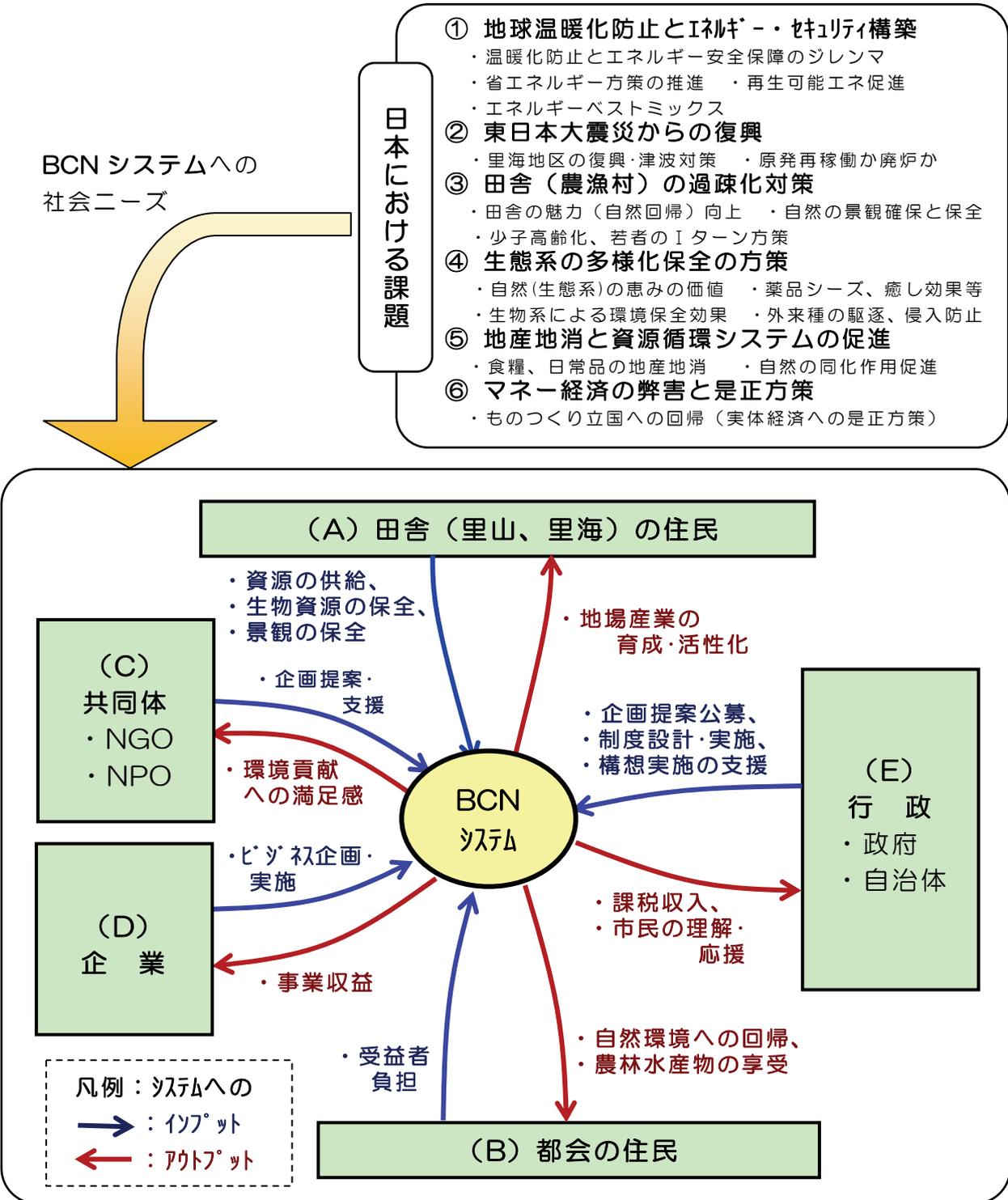


図 6.1-3 BCN 構築のためのシステム外観図 (コンテキスト・ダイアグラム)

(A) 田舎（里山、里海）の住民



BCNシステム



- ・ **資源の供給** = [再生可能エネルギー | 農林水産物 | (その他)]
再生可能エネルギー = [木質バイオマス | 家畜糞尿 | 食物残渣バイオマス | 太陽光 | 風力 | 地熱 | (その他)]
農林水産物 = [穀物 | 野菜 | 果物 | 肉類 | 鶏卵 | 魚類 | 海藻 | (その他)]
- ・ **生物資源の保全** = /* 自然環境（多様な生態系）で生物資源の機能を持続可能な状態に再生・復元・創出する* /
生物資源の機能 = 生物資源の持つ [① 調整・保全機能（森林、里山・里海など） + ② 供給機能（農林水産物など） + ③ 感性的・文化的機能（森林、里山・里海など）] の3つの機能
- ・ **景観の保全** = /* 自然の持つ地形、海岸線、森林、湖沼などが創る優れた景勝を生かして生活する* /
- ・ **地場産業の育成・活性化** = 第1次産業 [林業 | 牧畜業 | 農業 | 水産業 | (その他)] の第6次産業化など + 雇用創出新地場産業の案 = [ソーラーファーム | 放棄耕地活用 | 溪場干潟ミチゲーション | 森林バイオマス | (その他)] 案
第6次産業キーワード = [農業 + 林業 + 水産業 + 生産 + 加工 + 供給 + 観光サービス + 物流システム + 経済システム]
森林バイオマス = [森林 + 木材 + 木質バイオマス] の利用価値
森林の利用価値 = [① 直接利用 + ② 間接利用 + ③ 貯蓄 + ④ 遺産 + ⑤ 存在 + ⑥ 代償の利用] 価値
森林のキーワード = [生物多様性 + 地球温暖化 + 炭素固定（ゼロエミッション） + バイオリファイナリー + カスケード利用 + エネルギー化]

(B) 都会の住民



BCNシステム



- ・ **自然環境への回帰** = /* 自然の持つ素晴らしさを求め、都市と農村の交流、子供達への環境学習を行う* /
都市と農村の交流 = [大人 + 子供] の [体験学習 | 原体験 | 自然環境教育・啓蒙 | 景観学習] の受益者負担
- ・ **受益者負担** = /* 環境の持つ4機能に対して、享受する人が適正な経済的負担を負う* /
経済的負担の評価 = /* 生物資源の持つ3機能で、①調整・保全機能と③感性的・文化的機能の経済的評価は難しく、②供給（農林水産物：第1次産業）の貨幣価値（市場価格）は機能価値より著しく低い* /

(C) 共同体（NGO, NPO）



BCNシステム



- ・ **企画提案・支援** = /* 行政や市民等に対して、環境保全に対する貢献の呼びかけを行い、支援活動などを行う* /
- ・ **環境貢献への満足感** = /* ボランティアによる市民活動により環境貢献への充実感や満足感などを得る* /

(D) 企業



BCNシステム



- ・ **ビジネス企画・実施** = BCN構築に関する [情報収集 + 事業計画 + 技術開発 + 実施・活動]
= [コンサルタント | 情報ネット | 観光サービス | 設計 | 製造 | 販売 | (その他)] 業務の企画・実施
- ・ **事業収益** = /* 企業活動として計画・投資し、活動結果として得た適正な収益 * /

(E) 行政（政府、自治体）



- ・ **企画・提案の公募** = /* 行政が民間企業、NPOなどに対して、様々な企画提案・構想提案を公募する* /
- ・ **制度設計・実施** = [再生可能エネルギー買取制度 | 環境税導入 | 生物多様性国家戦略 | (その他)] の政策・施策・法整備
- ・ **構想実施の支援** = /* 行政側に選定・採用された各種構想やプロジェクトに、補助事業、税制優遇などを行う* /
各種構想案 = [バイオマスタウン | コンパクトシティ | バイオマス日本 | (その他)] 構想案
- ・ **課税収入** = /* BCN構築にも使う税金 * / = [目的税 | 支援税 | 利用税 | 追徴金 | (その他収入)]
- ・ **市民の理解・応援** = /* 行政の長は市民（国民）の総意（選挙）により選ばれるため、行政側には最重要課題* /

図 6.1-4 BCN構築のための要求辞書（データ・ディクショナリー）

これらの両図に沿って、BCN構築の目的を視覚的（絵画的）に捉えることができる。つまり図 6.1-3 の上部で BCN(バイオコミュニティネットワーク)構想がなぜ必要なのかを、日本を取り巻く社会背景として 6つの項目に整理して記述した。そして同図の下部に示す、BCN システムと関係する各部署（ターミネータ）との I/O 関係について表現している。これは BCN 構想を実現するために各部署が何をするべきか（インプット）、それによって各部署が何を得られるのか（アウトプット）を図化によって一目で表現したものである。これらは昨年度報告書（参考文献 2）参照）で詳細に解説しているので、ここでは部署ごとの注釈、補足説明にとどめる。

1) 田舎（里山、里海）の住人

- インプット

- ・資源の供給：田舎（里山、里海）では都会に対して、再生可能エネルギーの供給や、穀物、野菜、畜産物の食料の供給が行われる。
- ・生物資源の保全：自然環境（多様な生態系）で生物資源の機能を持続可能な状態に再生・復元・創出する。
- ・景観の保全：自然の持つ地形、海岸線、森林、湖沼などが創る優れた景勝を生かして生活する。

- アウトプット

- ・地場産業の育成・活性化：第 1 次産業から第 6 次産業化、雇用創出が図れる。

2) 都会の住人

- インプット

- ・自然環境への回帰：自然の持つ素晴らしさを求め、都市と農村の交流、子供達への環境学習を行う。

- アウトプット

- ・受益者負担：環境の持つ 4 機能に対して、享受する人が適正な経済的負担を負う。

3) 共同体(NGO、NPO)

- インプット

- ・企画提案・支援：行政や市民等に対して、環境保全に対する貢献の呼びかけを行い、支援活動などを行う。

- アウトプット

- ・環境貢献への満足感：ボランティアによる市民活動により環境貢献への充実感や満足感などを得る。

4) 企業

- インプット

- ・ビジネス企画・実施：BCN 構築に関する様々な情報収集、事業計画、技術開発、実施・活動を行う。

- アウトプット

- ・事業収益：企業活動として計画・投資し、活動結果として得た適正な収益。

5) 行政（政府、自治体）

● インプット

- ・ 企画・提案の公募：行政が民間企業、NPO などに対して、様々な企画提案・構想提案を公募する。
- ・ 制度設計・実施：再生可能エネ買取制度(FIT)、環境税導入、生物多様性国家戦略、その他の政策・施策・法整備などがある。
- ・ 構想実施の支援：行政側に選定・採用された各種構想やプロジェクトに対し、補助事業、税制優遇などを行う。各種構想案にはこれまでバイオマスタウン、コンパクトシティ、バイオマス日本、その他構想案がある。

○ アウトプット

- ・ 課税収入：BCN 構築にも使う税金で、目的税、支援税、利用税、追徴金があり、その他収入も考えられる。
- ・ 市民の理解・応援：行政の長は市民（国民）の総意（選挙）により選ばれるため、行政側にとっては最重要課題である。

6.2 AHP 分析法（定量的評価法）の概要

BCN 構想を大規模プロジェクトマネジメントとして捉えた場合、構造化分析によって「誰が何をして、如何なる効果が得られるか」を客観的に視覚的（絵画的）に把握できることは大変有意義であり、昨年度の報告書で詳述している。

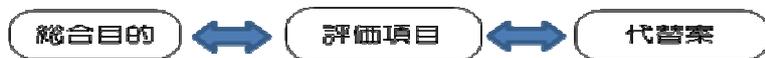
一方、BCN 構想が具現化された場合や、計画段階においてどの程度の完成度があるのかを定量的に示すことができれば、次の実行計画への効果的な意思決定に反映することができる。この目的のために、ここでは AHP 分析法を全面的に採用した。

6.2.1 AHP 分析法とは

国家においては軍事・外交・内政の諸問題に対し、また企業においては変化する事業環境に対し、科学的に思惑なしで最適の戦略を決定することは国家や企業の繁栄に重要である。個人においても、毎日の食事のメニューや洋服選びから、進学・就職・自動車・住居選びに至るまで意思決定の連続であり、複数の選択肢の中から科学的に思惑なしで最適なものを選び出すことは人生を豊かにすることにつながると考える。

このような意思決定を支援するため、1971 年に米国ピッツバーグ大学の Saaty 教授が開発したツールが、階層意思決定分析：AHP（Analytic Hierarchy Process）である。AHP は、「道」・「天」・「地」・「将」・「法」の五事という評価項目を基本に、敵味方の戦力を比較計量し客観的に把握すれば勝利に導けるという孫子の兵法に潜む科学的論拠を究明することで発想・開発されたものである。

AHP 分析法とは複雑な状況下で科学的な意思決定を行う手法である。問題解決のためには、まず問題の要素を、



の関係でとらえて、次に示す手順を踏む。

- ① 評価項目の階層構造を構築（体系化）する。
- ② 総合目的からみて評価項目の重要さ（重み付け）を求める。
- ③ 各評価項目からみて各代替案の重要度を評価する。
- ④ これらを総合目的からみた代替案の評価に定量的に換算する。

すなわち、評価の過程で今までの経験や勘を生かし、作成されたモデルに対して、

- ① 人間の持っている主観や勘が反映されている。
- ② 多くの目的を同時に考慮できている。
- ③ あいまいな環境を明確に説明できる。
- ④ 意思決定者が容易に使うことができる。

意思決定には、まず課題があり、これを解決する複数の代替案（候補）がある。それらの中から最適な一つを選定するための評価基準が存在する。複雑な課題では評価基準が幾つかの階層構造となるので、階層構造に基づく分析法、または階層分析法とも呼ばれている。AHP では、まず複数の評価基準に対し、次々とペア（一対）比較し評価基準に関する

る重要度（重み）を算出する。次に、各評価基準に基づき複数の代替案のペア比較を行い代替案に関する重要度を算出する。このペア比較は、脳における思考メカニズム、すなわちペア比較では的確な判断をすることができるが、複数に対する一括判断はあいまいになることを理論のベースにしている。つまり、AHP分析法では、人間の勘や直感というあいまいな部分を数値化して最適な代替案を見だし、最終的に人間が意思決定するのを促すもので、あらゆる課題に適用できることが特徴である。

分かり易い例として、ある大学で入試選抜があったとする。その大学では理科系に強い学生を選抜したいとの趣旨がある場合は数学・理科の配点を重くし、国語・社会には配点を軽くする（評価項目の重み付け）であろう。そして受験者（代替案）には全科目を受験させて、採点結果を集計すれば理科系に強い学生を一元的に選抜できることになる。このように、目的（適切な選抜方法）に応じて複数の評価項目（受験科目）を選定し、それらの評価項目間でペア比較によって重み付け（科目ごとの配点）をして、代替案（受験生）の総合評価（科目成績の合計点）をすれば、合理的な意思決定（合格者の決定）ができる。

6.2.2 AHPの適用事例

有名な適用事例としては、1996年から1997年にAHP分析法の開発者であるSaaty教授自らがペルー当局からの依頼で政府の取るべき行動を検討したペルー日本大使公邸人質事件があり、日本では1992年に制定された国会等の移転に関する法律のもとで1996年から国会等移転審議会において審議され、1999年に候補地の中から「栃木・福島地域」、「岐阜・愛知地域」を選定し答申された国会等首都機能移転候補地選びなどがある。また、企業においても研究所の知的生産性を表す成果指標の重要度を算出し、研究開発のマネジメントに活用した事例などの報告もある。

そしてまた、AHPが大規模プロジェクトで採用・建設にまで至った事例としては「関西新国際空港の敷地選定」が最も有名である。各分野の専門家により、意思決定の比較分野（評価項目）には利便性、管制・運航、環境、建設、既存権益調整、地域計画、開発効果などが選定された。そして、泉州沖、神戸沖、播磨灘の3箇所の候補地（代替案）についてそれぞれに定量的評価が行われ、最終的には現在の泉州沖が最高点の評価結果となり建設地として最終決定された。

6.2.3 AHPの手順

基本的なAHP分析手順は図6.2.3-1に示すようなプロセスによって代替案の定量的評価値を計算して行く。すなわち、課題を分析して階層図を作成する階層化、評価基準や代替案のペア（一対）比較、評価基準や代替案に関する重要度の算出、総合的な重要度の算出である。

1) 階層化

課題（求めたい代替案それぞれの評価値）に対して、評価要素の抽出とそれらの階層構造図を作成する。この評価構造図は並列式でも良いが、一般には評価の基本項目である大項目から枝葉となる中・小項目となるように階層構造に整理するのが合理的であり、全体の評価構造の体系化にも繋がる。

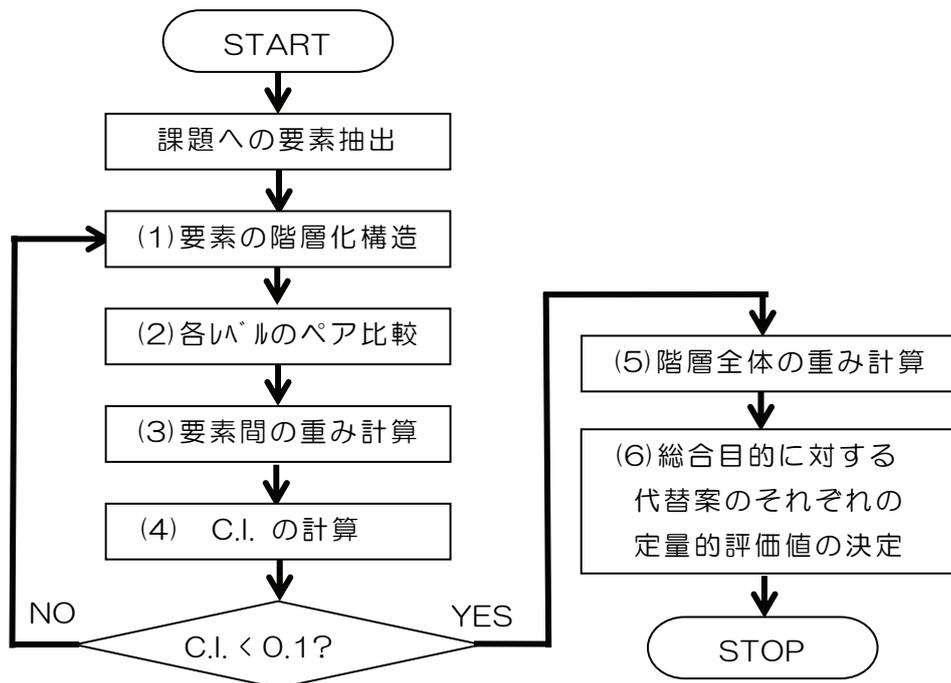


図 6.2.3-1 AHP 分析のプロセス

2) 各レベルのペア（一対）比較

まず評価基準の重要度を算出するため、各階層レベルごとに次々とペア比較し、評価基準に関する一対比較行列を求める。このときの重要度の尺度、すなわち、どちらがどの程度重要かを判断する数値には表 6.2.3-1 に示す数値 1～9 が用いられる。

これは、人間の両手または両足の数が 10 であり、この程度の分解能を持ち合わせていることによる。

また、重要性に付く形容詞は人間の判断尺度に近いとも言われている。これらの尺度の中間値は 2、4、6、8 の値を用いる。ペア比較において反対に重要度が低い場合は逆数を用いる。例えば評価項目「A」が評価項目「B」より「かなり重要でない」の場合は重要度が 1/5 の値とする。

表 6.2.3-1 重要性の尺度とその定義

重要性の尺度	定義
1	同等に重要 (equal importance)
3	すこし重要 (weak importance)
5	かなり重要 (strong importance)
7	明らかに重要 (very strong importance)
9	絶対に重要 (absolute importance)

(2、4、6、8 は中間のときに用いる)

3) 要素間の重み計算（数学的説明）

いま、 n 個の評価項目があり、その本来の重要度を、 W_1, W_2, \dots, W_n とする。この時、

評価項目 i と評価項目 j との対比較値 a_{ij} を式(1)のように定める。

$$a_{ij} = W_i / W_j \quad (1)$$

例えば、評価項目 i と評価項目 j の重要度をペア比較する場合、評価項目 i が評価項目 j より「明らかに重要」判断した場合には $a_{ij} = 7$ 、反対に評価項目 j が評価項目 i より「明らかに重要」と判断した場合には $1/7$ とする。ここで、ペア比較行列の対角要素は $1/a_{ij}$ である。ペア比較行列を $A = [a_{ij}]$ 、行列 A の固有ベクトルを λ とする。このとき、行列の固有値は n 個存在するが、その最大固有値を λ_{\max} とすると、式(3)が成り立つ。この固有ベクトル R が重要度ベクトルに対応する。すなわち、マトリクス A の固有ベクトルを算出することにより、重要度 R を求めることができる。

$$A = \begin{pmatrix} W_1 / W_1 & W_1 / W_2 & \dots & W_1 / W_n \\ W_2 / W_1 & W_2 / W_2 & \dots & W_2 / W_n \\ W_3 / W_1 & W_3 / W_2 & \dots & W_3 / W_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_n / W_1 & W_n / W_2 & \dots & W_n / W_n \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \vdots \\ r_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$AR = \lambda_{\max} \cdot R \quad (3)$$

4) C.I. (整合度) のチェック

なお、対比較の過程では、個人差はあるものの必ず判断の揺らぎが発生するので、その揺らぎの度合いを評価するパラメータとして、式(4)に示す整合度 C.I.

(Consistency Index) を定義し、経験則より 0.1 (場合によっては 0.15) 以下を有効と判断する。それ以外の場合には、整合性 (首尾一貫性) の乏しいデータとして棄却する。

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) < 0.1 (0.15) \quad (4)$$

例えば、評価項目 A、B、C があったとして、それらの重要度 (重み) のペア比較として、 $A > B$ 、 $B > C$ と評価したのに拘らず、 $A < C$ と評価した場合、C.I. はかなり大きな値となり、その判定は信頼できない。

5) 階層全体の重み計算

AHP 分析は図 6.2.3-2 の例では合計 3 回行った後、階層化されたそれぞれの評価項目の全体での重みを計算する。AHP 分析ごとに、重みの合計は 1.0 になるよう標準化されているので、例えば r_{111} と r_{112} は、 r_{11} によって案分されることになるので、右側での全重みの

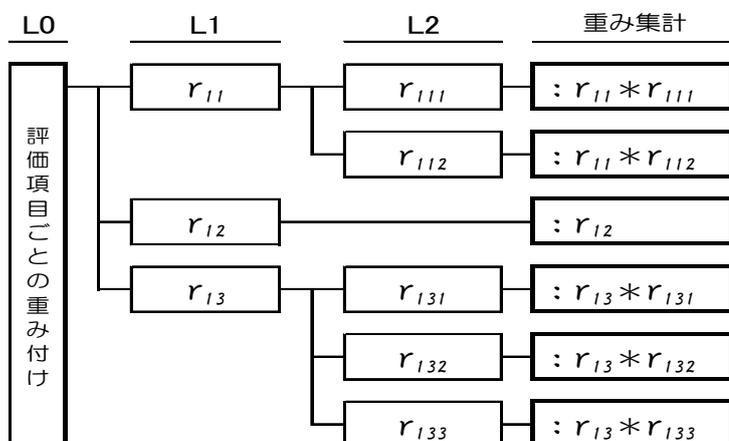


図 6.2.3-2 階層化された評価項目の全体重み

合計は、1.0 となる。

6) 総合目的に対する代替案のそれぞれの定量的評価値の決定

最終的に各評価基準に関して算出した代替案の重要度に、評価基準の重要度を掛けて総和を求め、総合的な重要度を算出する。

6.3 BCN 構想の AHP 分析（定量的評価法）のための 3 つの評価構造軸

前節で述べた AHP 分析手法を全面的に使う、本節では BCN 構想での都市地域と里山・里海の具体的な組合せを定量的に評価する手法について提案する。今回、検討したプロセスを図 6.3-1 に示した。

この図式は昨年の報告書で詳しく紹介した「構造化分析手法：CASE」に基づく手法で示している。

今年度は図中のバブル①、②、③について検討を行った。バブル④については次年度以降の課題として、6.6 節において検討計画を記述する。

ここで、エンジニアリング協会の過去の報告書とはエネルギー環境研究にて昨年度まで約 5 年間の報告書に記述した BCN 構想の研究成果に関する記述を意味している。

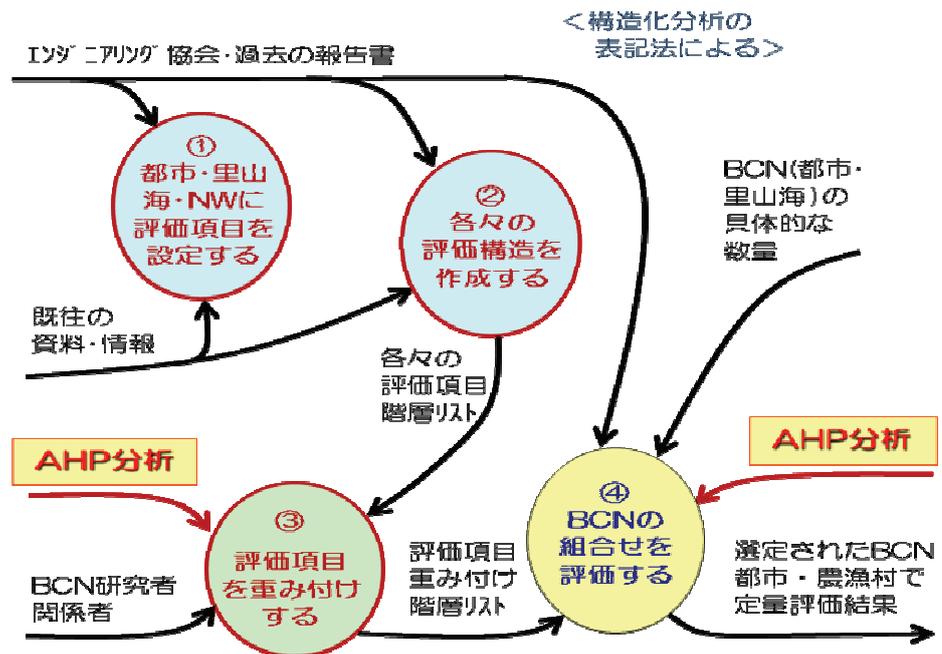


図 6.3-1 BCN 構築の具体的ネットワークでの評価プロセス

6.3.1 評価項目の全体構造

BCN とは 3 つのキーワードの頭文字を並べたもので、それぞれのキーワードの意味を以下のように定義する。

① バイオ：「生物系資源」

- ・「バイオマス：再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」より広範な意味としてとらえる。
- ・森林、農地、人を含めた生物の総体、遺伝子組換え菌など生物に関わるあらゆる対象を「バイオ(生物系資源)」として BCN の対象に取り込む。

② コミュニティ：「共同体」

- ・「地域社会：Local Community」といった、人の生活を中心とした コミュニティより広範な意味としてとらえる。

- ・ 太陽エネルギー、水、土など生体に不可欠な要素を含めた生態系や生物集団なども「コミュニティ」として扱う。

③ ネットワーク

- ・ 最終的にはバイオコミュニティが産する機能の恩恵を最大限に受けられるように、人が主体的にネットワークを築き上げることを目的とする。

BCN のこの定義に従い、具体的な構想の評価にあたって図 6.3.1-1 に示すように、3 つの基本評価軸を設定した。すなわちレベル 2 として、**T 軸**：「資源需要」都市域での生物資源の活用度、**S 軸**：「資源供給」里山・里海の生物資源の育成・保全・活用度、**C 軸**：コミュニティネットワークの形成状況、である。また、レベル 3 では評価項目が、**T 軸**は 2 項目、**S 軸**は 5 項目、**C 軸**は 2 項目に細分される。

なお、具体的な BCN 構想の評価にあたっては、**T 軸**、**S 軸**、**C 軸**、それぞれで評価し、統合評価は行わないことにした。この理由は、3 軸共に独立すべき評価軸であり、3 軸に重みを付けて統合評価する意味はないからである。

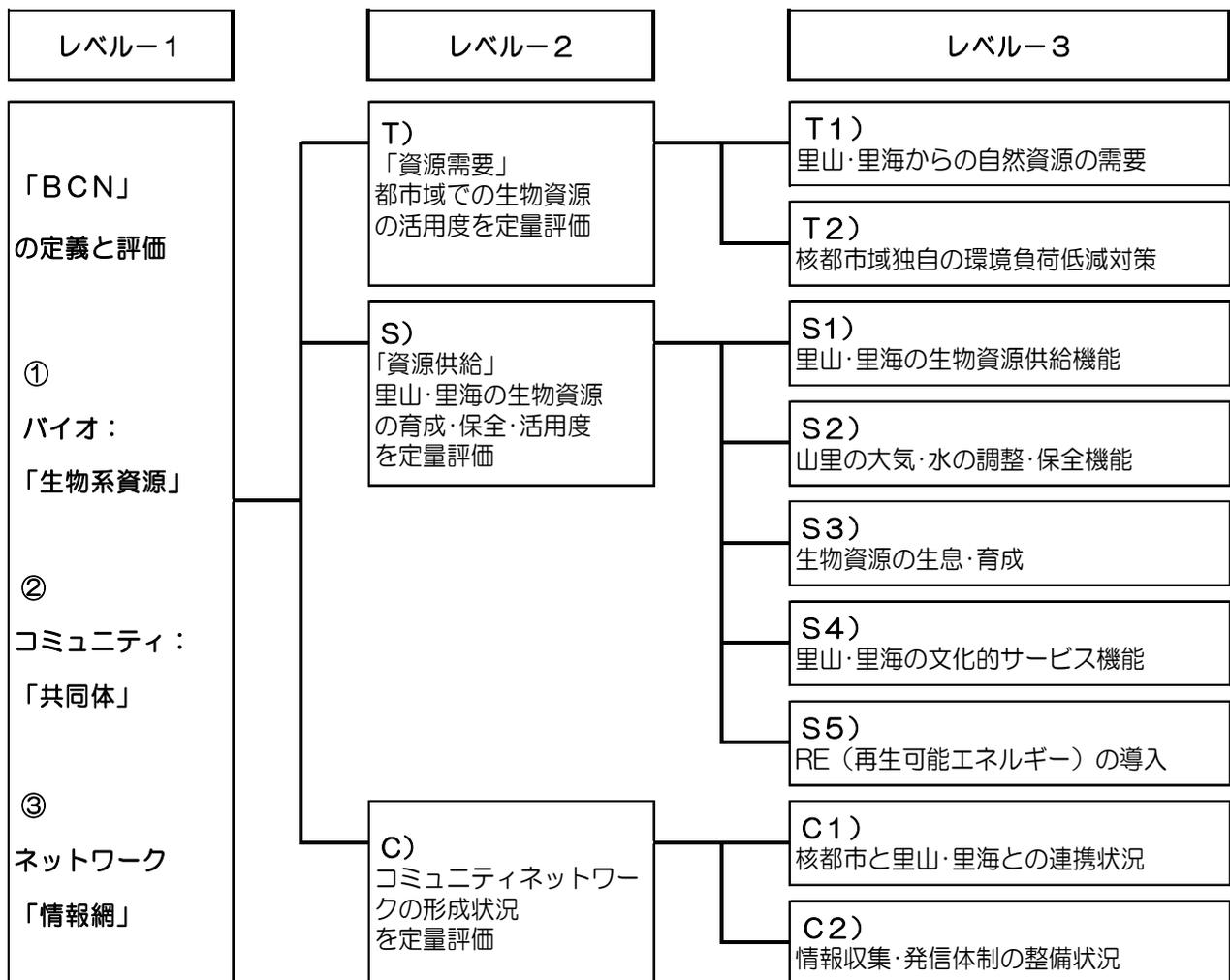


図 6.3.1-1 BCN 構想の評価項目の 3 つの基軸

6.3.2 T軸：都市域での生物資源の活用度「需要」

まず都市域について考える。言うまでもないが、都市域には里山・里海に比較して人口や施設が集中しており、当然のことながら生物資源への需要度も高い。この生物資源は殆どの場合、里山・里海から供給されるものであるが、都市域での生物資源の有効利用、そして環境負荷低減の努力も大変重要である。以上の観点からT軸（都市域）では、図6.3.2-1に示すように、T1:自然資源の需要、T2:独自の環境負荷低減、を基幹評価項目（レベル3）として、（レベル4）では、それぞれに3評価項目、5評価項目に細分化した。そして、同図には、複数人でペア比較を行うに当たって、評価項目の言葉の解釈が統一されるように、すべての細分評価項目ごとに「内容と考え方」を記述した。この方式を取れば、（ペア比較による重み付けを行う）評価者間の評価項目での言葉の解釈が統一されるので、個人的な解釈のバラつきを防げることになり、客観性・不偏性が増すことになる。

ちなみに、T24：震災・津波対策は、1995年1月17日の阪神淡路体震災、2012年3月11日の東日本大震災、が我々の記憶に新しいところで、BCN構想では都市地域に限らず重要度は高いと考えら得る。

レベル-2	レベル-3	レベル-4	内容と考え方	代用特用例
T) 「資源需要」 都市域での 生物資源の 活用度を 定量評価	T1) 里山・里海 からの 自然資源 の需要	T11) 食糧・水 資源の需要	・里山から肉・穀類きのこ・野菜など食糧需要、 水（浄化飲用、灌漑用、冷却用など）の需要 ・里海（港）から魚介類などの需要	・隣接都市の 居住人口
		T12) 森林木材 の需要	・木造建築物の構造部材、一般建物の二次部材、 建具・家具の木材需要	・都市地域の住宅 新築件数で推定
		T13) エネルギー 資源の需要	・近隣バイオマス残渣・燃料発電 ニーズが顕在 ・スマートグリッドシステムの普及、ビルの外断熱化、 屋上・壁面緑化、省エネ設備の導入	・都市地域での 電力使用実績
	T2) 核都市域 独自の環境 負荷低減 対策	T21) 大気汚染 対策	・ゼーゼル車の都心への乗り入れ規制 ・小規模焼却処分の禁止（すべて廃棄物収集の 社会システム）	・大気汚染状況 広報量
		T22) 食品残材・ 廃材の有効活用	・家庭・レストランの料理端材、期限切れ食品の再処理 （家畜飼料、コンポスト化等）の社会システムの構築必要 ・ゴミ収集と処理システム	・都市地域の生活 廃材再利用状況
		T23) 上下水道 の充実	・中水（雨水）の有効利用 ・下水道の排熱利用 ・住宅地での下水道の完全普及	・本下水道の 普及率
		T24) 震災・津波 対策	・一時避難場所（公園、小中学校）の確保充実 ・道路幅員拡張 ・木造住宅の不燃化 ・ビルの災害時非常食などの備蓄	・住宅の不燃化率
		T25) ヒートアイ ランド対策	・ビルの屋上・壁の緑化、アスファルト路面の反射率向上 ・壁面の蒸発面設置など	・都市の公園など の敷地率 ・ビルの緑化率

図 6.3.2-1 BCN 構想の T 軸「都市域」の評価項目展開と考え方

6.3.3 S軸：里山・里海での生物資源の育成・保全・活用度「供給」

次に、都市地域に供給する側の里山・里海での自然資源の育成・保全・活用度の評価項目について考える。里山・里海ではそこに住む人々の生活向上は勿論のこと、都市域への自然資源（食糧、資材など）の供給、都市域に住む人々への「自然回帰」、「癒し効果」などを供給するための自然育成・保全活動など、評価項目は多岐にわたる。以上の観点から、図6.3.3-1に示すように、基幹評価項目（レベル3）として、S1：生物資源の供給、S2：大気浄化・災害防止、S3：生物資源の育成場、S4：景観サービス提供、S5：再生可能エネルギー、に分割した。そして、（レベル4）では、さらに細分化した評価項目に分けて、合計13の評価項目にしている。また、T軸の説明で述べた理由により、これら13個の細分化項目にはすべて「内容と考え方」を記述した。

レベル-2	レベル-3	レベル-4	内容と考え方	代用特性例
S) 「資源供給」 里山・里海の 生物資源の 育成・保全・ 活用度を 定量評価	S1) 里山・里海の 生物資源 供給機能	S11) 食糧・水資源の供給	・里山から肉・穀類・きのこ・野菜など供給、水（浄化飲用、灌漑用、冷却用など）の供給 ・里海（港）から魚介類などの供給	・里山・里海からの 移出量
		S12) 原材料の供給	・里山から繊維・木材・飼料・鉱物など1次産物供給 ・里山から燃料（I補給）・肥料（コンポスト）などの2次産物供給	・里山・里海からの 移出量
		S13) 遺伝・薬用資源の供給	・里山では農作物の品種改良による食糧増産、化粧品・染料などの開発 ・医薬品には生物多様性（未発見種）保護が重要	・里山・里海からの 移出量
		S14) 観光資源の供給	・工芸品・観賞植物・ペット動物・ファッションなどの美的観賞用の生物資源	・里山・里海からの 移出量
	S2) 里山の調整・ 保全機能	S2.1) 気候・大気質調整	・里山での炭素固定（CO ₂ 抑制）、植生と降雨調整 ・里山での気候緩和、微粒塵・化学物質等の捕捉	・広報統計値
		S22) 水量調整による洪水災害・灌漑・干ばつ防止	・里山森林の土壌侵食抑制で、洪水被害（土砂崩壊・流出）の緩和、灌漑、干ばつ防止	・広報統計値
	S3) 生物資源の 生息・育成 の場提供	S31) 地力維持、花粉媒介	・里山森林、野草の土壌肥沃度化、花粉媒介、種子散布、病虫害抑制	・広報統計値 から推計
		S32) 里山、里海の固有生物の保全	・遺伝的多様性の維持（特に遺伝子プールの保護）	・広報統計値
	S4) 里山・里海の 文化的サービス 機能	S41) 里山、里海の景観（癒し効果）保全	・里山：森林浴、イベント、景観・観光の保全・維持 ・里海：水辺遊び、釣り場、海水浴、リゾート・観光の保全・維持	・年間の観光客・保養客の人数
		S42) 文化・芸術ヒント、環境教育の場提供	・文化・芸術・祭礼のインスピレーション場を提供 ・科学知識の蓄積と環境教育の場を提供	・広報統計値 から推定
	S5) RE (再生可能 エネルギー) の導入	S51) 家畜糞尿・バイオマス残渣の有効活用	・従来からの家畜糞尿の燃料化、コンポスト化 ・間伐材の製品化、製材屑の燃料化	・メタン燃料化率
		S52) 田畑で太陽光発電（ソーラーシェアリング）の実施	・農地法の改訂などで、田畑に太陽電池の設置が容易になった。	・太陽電池の発電量/賦存量
		S53) 地域特性を生かした他の地産I補給の開発	・太陽光発電を除く、太陽熱利用、風力発電、地熱発電、森林バイオ燃料などの地域特性を生かした他の地産I補給の開発・設置	・他のエネ導入量/使用電力

図 6.3.3-1 BCN 構想の S 軸「里山・里海」の評価項目展開と考え方

6.3.4 C軸：コミュニティ・ネットワークの形成状況

都市域と里山・里海のそれぞれでのコミュニティは勿論重要であるが、さらに重要なのは両者間のコミュニティとそれを繋ぐネットワークである。つまり図 6.3.4-1 に示すように C 軸の基幹評価項目（レベル 3）として、C1：両者間の連携状況、C2：それぞれの情報集・発信体制、に分かれ、さらに（レベル 3）では C1 は 3 つに、C2 は 2 つの細分評価項目に分類される。

また、T 軸、S 軸と同様な理由により、合計 5 個の細分化項目にはすべて「内容と考え方」も記述している。C 軸のコミュニティやネットワークは他の軸に比較すると、施設などのハードウェアよりも制度・活動などのソフトウェアが多く、その定義は人それぞれの解釈があるので、特に「内容や考え方」には明文化が大切である。

レベル-2	レベル-3	レベル-4	内容と考え方	代用特性例
C) コミュニティ ネットワーク の形成状況 を定量評価	C1) 核都市と 里山・里海の 連携状況	C11) 核都市と里山・里海間の交通アクセス	・核都市と里山・里海間の距離が近く、また交通アクセス手段も充実して、人的交流・物流も盛んである	・年間のイベント数（外部の参加者数）
		C12) 核都市からの人的・資金的な援助体制	・各都市（需要側）からの里山・里海（供給側）に対する資金面人的援助が盛んで、市民の理解合意を得ている	・広報統計値から推定
		C13) 環境教育イベントの規模・頻度	・里山・里海での環境教育、体験学習、研究会などイベントが豊富	・年間のイベント数（外部の参加者数）
	C2) 情報収集・ 発信体制の 整備状況	C21) 地場産業（里山・里海）の情報発信	・地場産業からの情報発信手段が豊富にあり、核都市での配信実績も多い	・広報統計値から推定
		C22) NGO/NPO活動	・NGO/NPO活動が盛んである	・広報統計値

図 6.3.4-1 BCN 構想の C 軸「コミュニティ・ネットワーク」の評価項目展開と考え方

6.4 AHP 分析での評価項目の重み付け実施と考察

前節で詳細に述べた BCN 構想の 3 つの軸の評価項目の階層化体系に対して、本節では AHP 分析で重み付けを行ったプロセスと結果の考察について記述する。

6.4.1 重み付け評価者の構成

AHP 分析では人件の持つ最大長所である評価項目間のペア比較を大原則にしている。このため、評価する分野で多くの知識、見識を有する大人数での評価が客観性、正統性により近づくことが期待できる。この理由から、表 6.4.1-1 に示すように、過去にエンジニアリング協会・エネルギー環境研究部会で BCN 構想に関わりのあった委員等 11 名に、ペア比較評価をお願いした。全員が多忙にもかかわらず、多大の時間を掛けて真剣に比較して頂いたことに、深大なる感謝の意を表したい。

表 6.4.1-1 BCN 構想の AHP 分析への評価者リスト（50 音順）

NO	氏名	当協会における BCN 構想への関わり	現在の所属
1	岡 辰哉	H20・21 エネ環・委員、H22～25 同・主査、 H26 循環型社会システム・主査	(株)IHI エネルギー・ プラントセクター・主査
2	小口 深志	H24 エネ環・副部長、H25 エネ環・部長 H26 循環型社会システム・副部長	前田建設工業(株) 技術研究所・技師長
3	高橋浩也	H20～23 エネ環・主査（森林バイオマス）	スチールプラン テック(株)
4	竹山佳奈	H23～25 エネ環・委員（生物多様性）	五洋建設(株) 環境事業部・主任
5	田中ゆう子	H22～23 エネ環・主査（生物多様性）	東亜建設工業(株) 海の相談室・室長
6	玉手文彦	H19～23 エネ環・事務局	元・三菱重工(株)
7	広松 猛	～H22 エネ環・部長、～H25 名誉顧問	元・広島国際大学教授
8	道木英之	～H23 エネ環・主査他（バイオマス、 生物多様性等）	元・東洋エンジニア リング(株)
9	安田洋一	H23～24 エネ環・委員（日本の農業）	千代田化工(株) エネ環境 P 部・主任
10	矢野歳和	H23～24 エネ環・部長	元・宮城大学教授
11	吉田耕治	H20～22 エネ環・委員（森林バイオマス）	元・(株)フジタ工業 現・金城学院大学

なお、各評価者から収集した AHP 分析結果にはそれぞれの学識・業務経験に基づいているので、一概に信頼性を判定できない。そこで、各評価者の AHP 分析結果ごとに 6.2 節の式(4)に示す整合度 C.I. (Consistency Index) を計算し、経験則より 0.1（場合によっては 0.15）以下を有効と判断した。数人の方からの C.I. が 0.1 を上回るか所があったが、その評価趣旨を尊重したく、ペア比較の比率を若干調整することで、すべての C.I. が 0.1 を下回るように修正した。つまり、11 名の重み付け評価は個々では整合性のある評価結果であるため、「11 名の総意としての評価項目の重み付け」が完成することになる。

6.4.2 3つの軸での基幹評価項目の重み付け分布

基幹評価項目に対する11名のペア比較分布を図6.4.2-1に示した。まずT軸（都市地域）の2つの基幹評価項目（T1, T2）のペア比較を見ると意見が大きく分かれている。しかし、相乗平均はT1（自然資源需要）の重みがT2（環境負荷低減）の1.15倍となり、人間の生存希望が強くなるのは当然かも知れない。

次にS軸（里山・里海）の5つの基幹評価項目のペア比較分布では、それぞれにバラツキの幅があるが、相乗平均値（重みの大小関係）には、それぞれの傾向が見受けられる。例えばS2（大気水の調整）とS5（REの導入）は大きく意見が分かれるものの相乗平均では同程度の重みとなる。また大変特徴的なのはS3（生物資源の育成）とS5（REの導入）とでは明確に意見が分かれ、分布に2つの山が存在する。つまり、生物資源を大切に考えるグループとエネルギー確保を重要視するグループが完全に分かれている。しかし、相乗平均をとるとS3がS5の1.11倍で、同程度の重みとなる。

3つ目のC軸（コミュニティネット）では2つの基幹評価項目（C1, C2）となり、そのペア比較の倍率分布は図6.4.2-1での最下段に示している。この比率分布は比較的良くまとまって山形状となっており、全員の評価には偏った見方がないと云える。相乗平均値からC1（都市と里山・里海の連携）がC2（情報収集・発信体制）よりも1.97倍重要であると評価していることが分かる。

6.4.3 T軸における重み付け分布

T軸（都市域）では、T1:自然資源の需要、T2:独自の環境負荷低減、の2つの基幹評価項目（レベル3）に対して、（レベル4）では、それぞれに3評価項目、5評価項目に細分化した。したがって、これらの細分化評価項目に対して、重み付け（ペア比較）の評価者11名の分布状況を図6.4.3-1に示している。

基幹評価項目（T1）における3つの細分化評価項目でのペア比較分布と相乗平均から、T11（食糧・水資源需要）が圧倒的に重要でT12（森林木材需要）の3.65倍、T13（エネルギー資源需要）の2.86倍となっている。この理由は人口の集中する都市域では里山・里海からの「生きるための食糧確保」を大きく期待していることによる。

次に、基幹評価項目（T2）における5つの細分化評価項目でのピア比較分布状況をみると圧倒的に大きいのはT24（震災・津波対策）である。今回の東日本大震災では臨海部での未曾有の津波被害であったことは記憶に新しい。世界的にも歴史的に見てもいわゆる大都市は臨海部（平野）に生まれ発展してきた事実があり、山間部では極めてまれである。しかし一方、高地（山間）においては地震時の斜面崩壊（山津波）や、高地も平野も共通である集中豪雨でのがけ土砂崩れ、洪水など自然災害は都市防災上、極めて深刻である。したがって11名の評価者はT24を臨海都市と想定したのであり、妥当な評価と云えよう。

6.4.4 S軸における重み付け分布

S軸（里山・里海）では、都市地域に供給する側の里山・里海での自然資源の育成・保全・活用度の評価項目について考えた図6.3.3-1に示すように、基幹評価項目（レベル3）として5項目に分割したが、（レベル4）では、さらに細分化し、合計13の評価項目にしている。図6.4.4-1には評価者11人により、この細分評価項目のペア比較を一覧にしている。

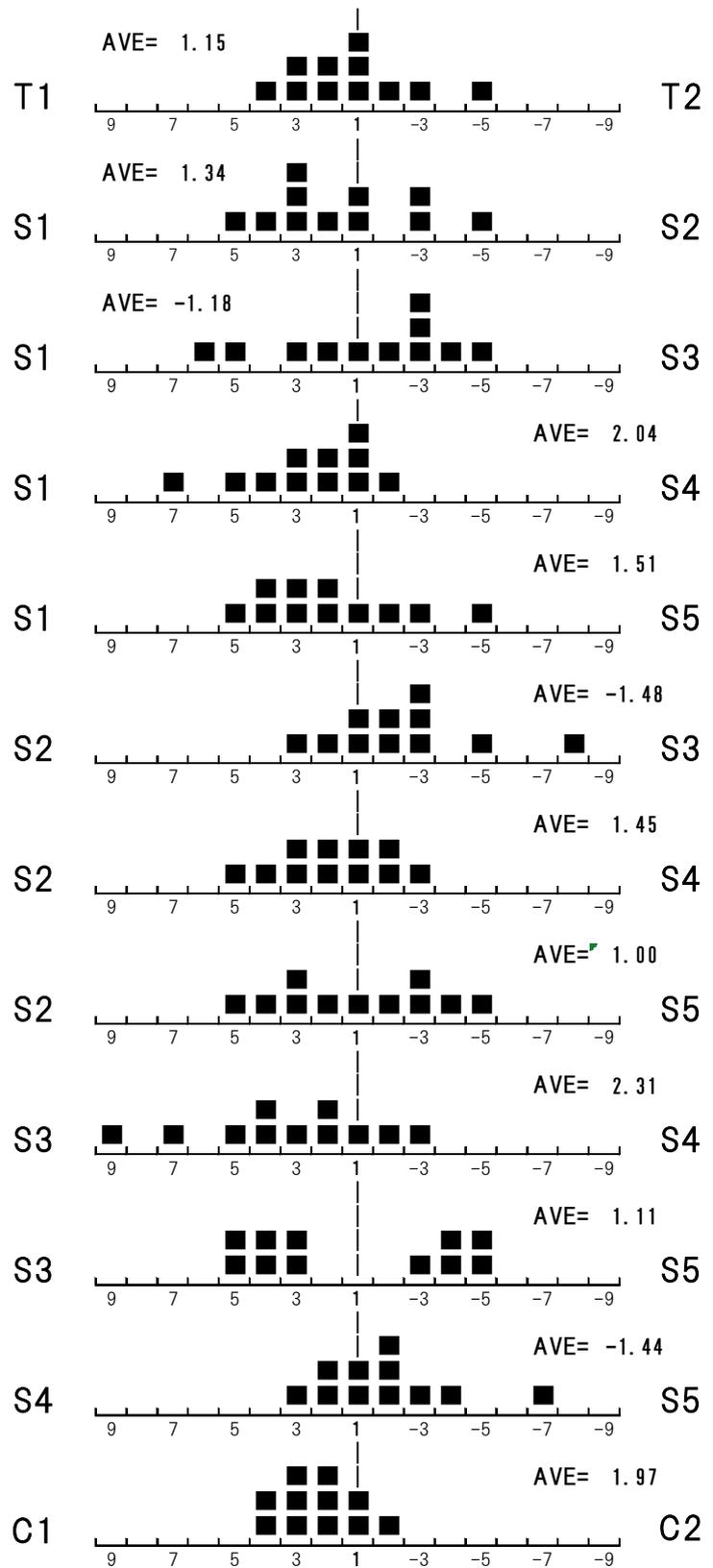
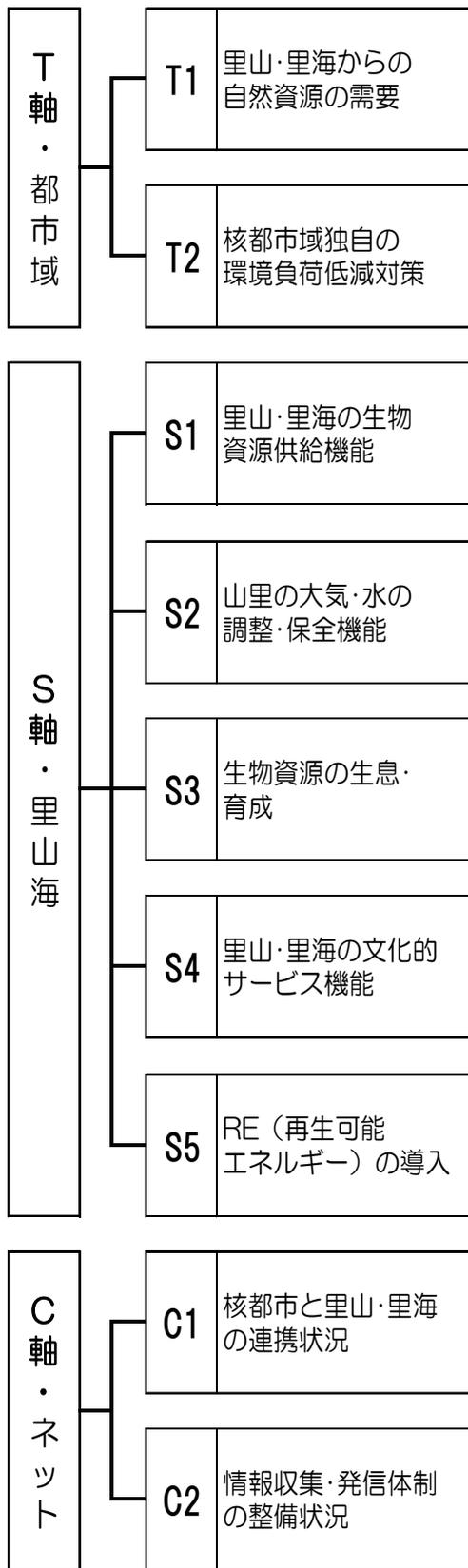


図 6.4.2-1 3つの軸での基幹評価項目に対する評価者11名の重み付け分布状況

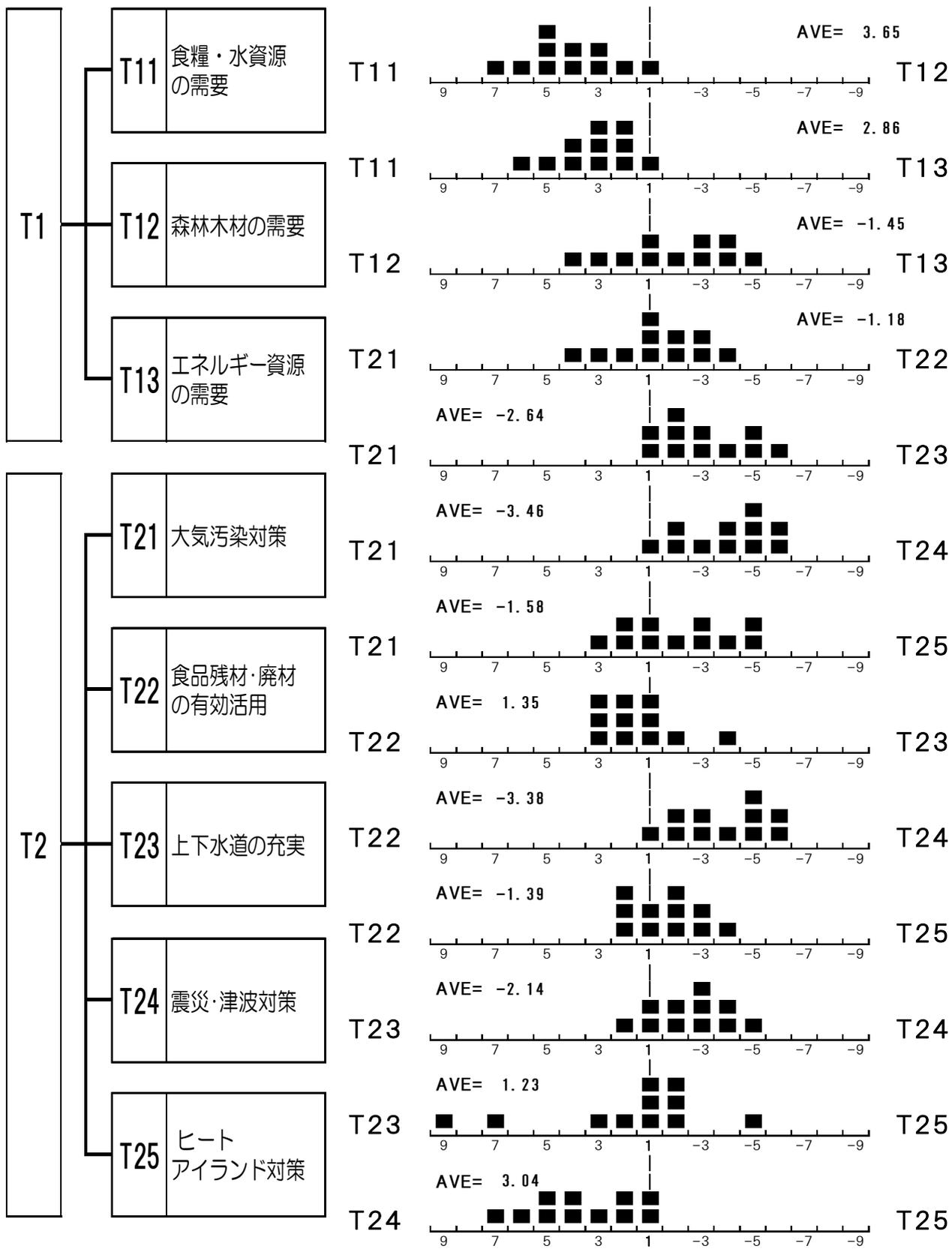


図 6.4.3-1 T軸：都市域における評価者 11 名の重み付け分布状況

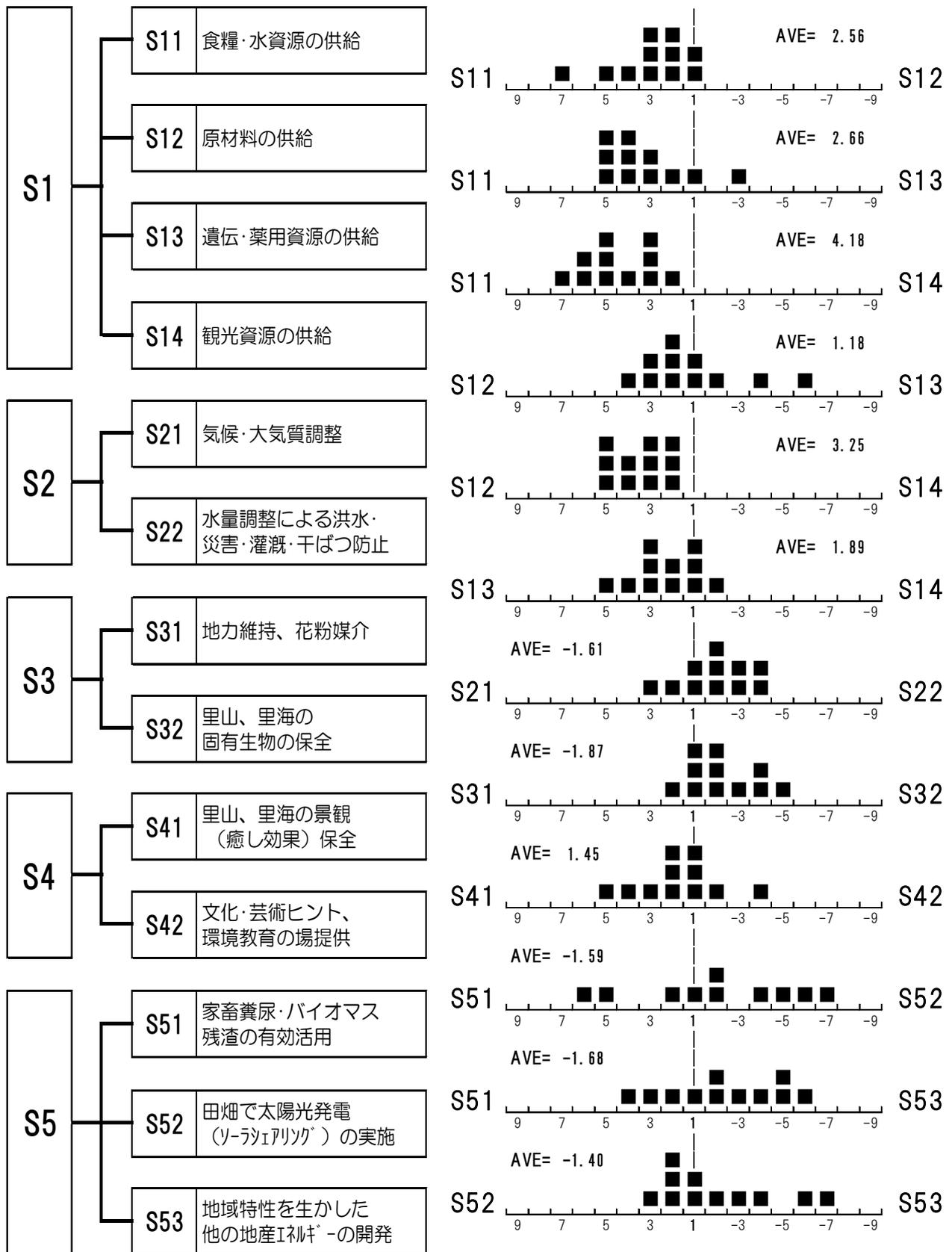


図 6.4.4-1 S 軸：里山・里海における評価者 11 名の重み付け分布状況

基幹評価項目 S1（生物資源の供給）のグループで際立って大きく重要度を持つのは S11（食糧・水資源供給）であり、これは T1（都市の食糧・水資源需要）にも対応している。次に重要度の高いのは S12（原材料の供給）があり、森林からの建築・家具材料などが期待される。

6.4.5 C軸における重み付け分布

図 6.3.4-1 に示したように、C 軸の基幹評価項目（レベル 3）として、C1：両者間の連携状況、C2：それぞれの情報集・発信体制、に分け、さらに（レベル 3）では C1 は 3 つに、C2 は 2 つの細分評価項目に分類した。その細分評価項目ごとの 11 名によるペア比較（重み付け）の分布状況を図 6.4.5-1 にまとめて示した。C1 グループ、C2 グループ共に、細分評価項目分布の偏りに特徴はなく、相乗平均値も -1.6~1.4 程度に収まっている。

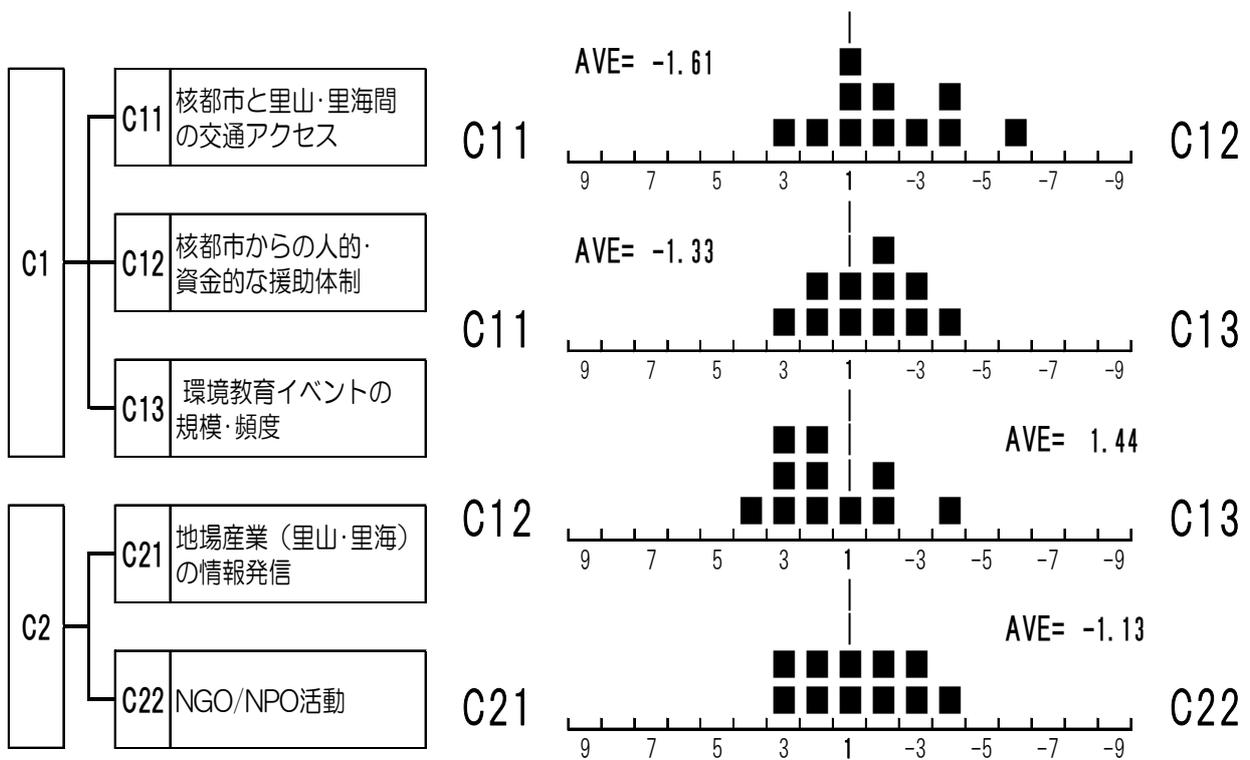


図 6.4.5-1 C 軸：コミュニティネットワークにおける評価者 11 名の重み付け分布状況

6.5 AHP 分析に参加した評価者の総意としての重み付け結果と考察

前節では BCN 構想の研究に関与してきた、11 名による AHP 分析のためのペア比較（重み評価）の分布状況（統計値）について考察した。なお、評価者 11 名の全員の評価については、6.2 節での(4)式の示す C.I.値をチェックし、C.I.<0.1 となるように若干の修正を加え、個人別の評価が合理性を持つようにしている。以下、T 軸（都市域）、S 軸（里山・里海）、C 軸（コミュニティネットワーク）の順で、11 名のペア比較（重み評価）値の相乗平均値を使った階層構造にそった重み付け結果とその考察について記述する。

6.5.1 T 軸における重み付け結果と考察

T 軸（都市域）では 2 つの基幹評価項目 T1 と T2 があるので、まずこれに対して 11 名のペア比較（重み付け）の相乗平均値で AHP 分析し、T1、T2 の重み比率を求めた。そして、基幹評価項目 T1 に対する T11、T12、T13 の 3 つの細分評価項目を再び AHP 分析でそれぞれの重み比率を求め、T1 の重み比率をそれぞれに乗算（案分）することで、全体としての重みを計算している。全く同様に基幹評価項目 T2 に対する T21、T22、T23、T24、T25 についても処理をして、最終的に図 6.5.1-1 に処理プロセスと全体での重み結果を一覧図として描いている。図中の左側は階層化された評価項目の AHP 分析の重み計算プロセスを示し、右側は細分項目の重み（全体に対する百分率）で示している。なお、中心にある評価重み順位は大きいものから番号を振ったものである。

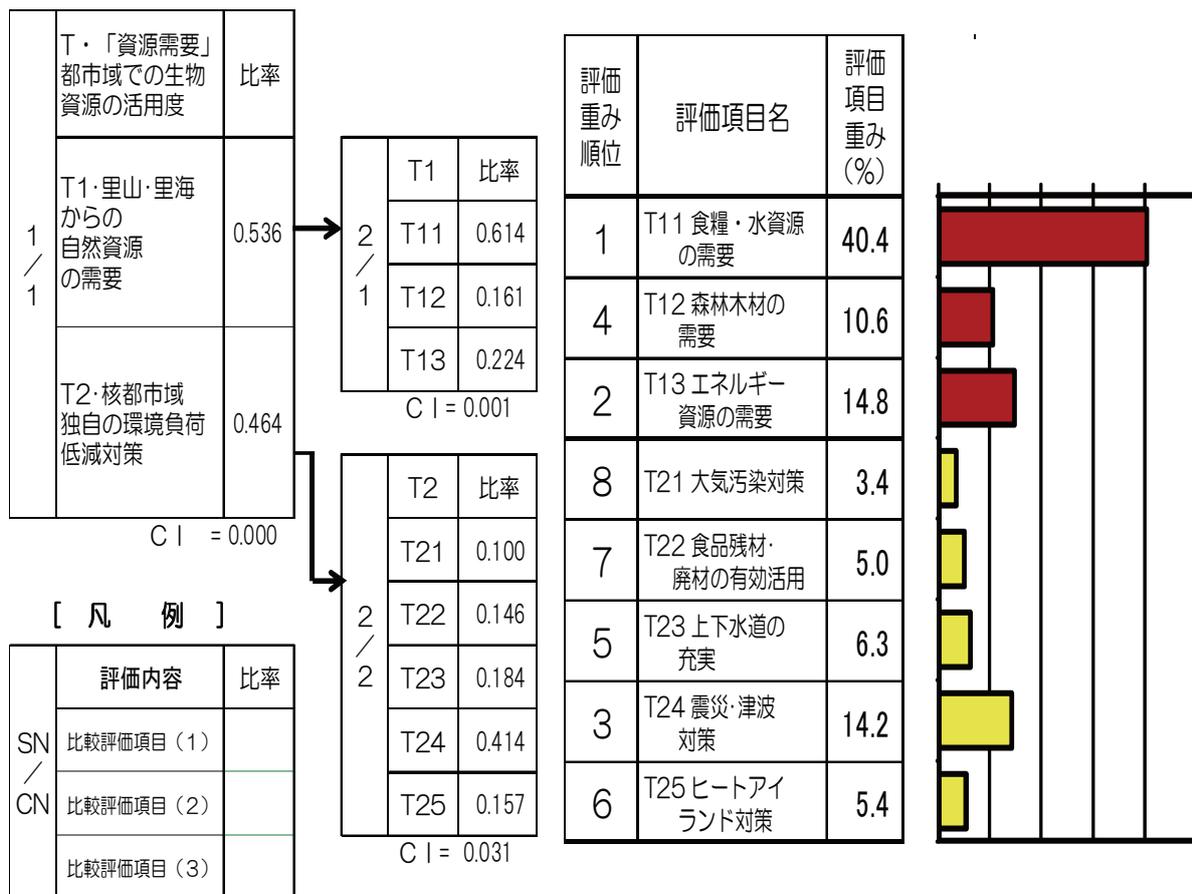


図 6.5.1-1 T 軸（都市域）での生物資源の活用度「需要」の重み付け結果

T軸（都市域）では8つの細分評価項目の重みが求められたが、重みの最大は、T11（40.4%：食糧・水資源の需要）で、最小はT21（3.4%：大気汚染対策）であり、両者の差（倍率）は実に約12倍の開きがある。この程度の開きでは具体的な都市部のBCN評価にはT21の重みで累積計算しても殆ど意味がないであろう。グラフの形状から考えて、実際には重みの大きい順から①T11（40.4%：食糧・水資源の需要）、②T13（14.8%：エネルギー資源の需要）、③T24（14.2%：震災・津波対策）、④T12（10.6%：森林木材の需要）、の4つの評価項目を採用すれば十分な定量評価ができると判断する。

6.5.2 S軸における重み付け結果と考察

S軸（里山・里海）でもT軸と同じ方法で、結果を図6.5.2-1に示した。ここでは細分評価項目が13個もあり、重みの最大はS11（18.0%：食糧・水資源の供給）、最小はS14

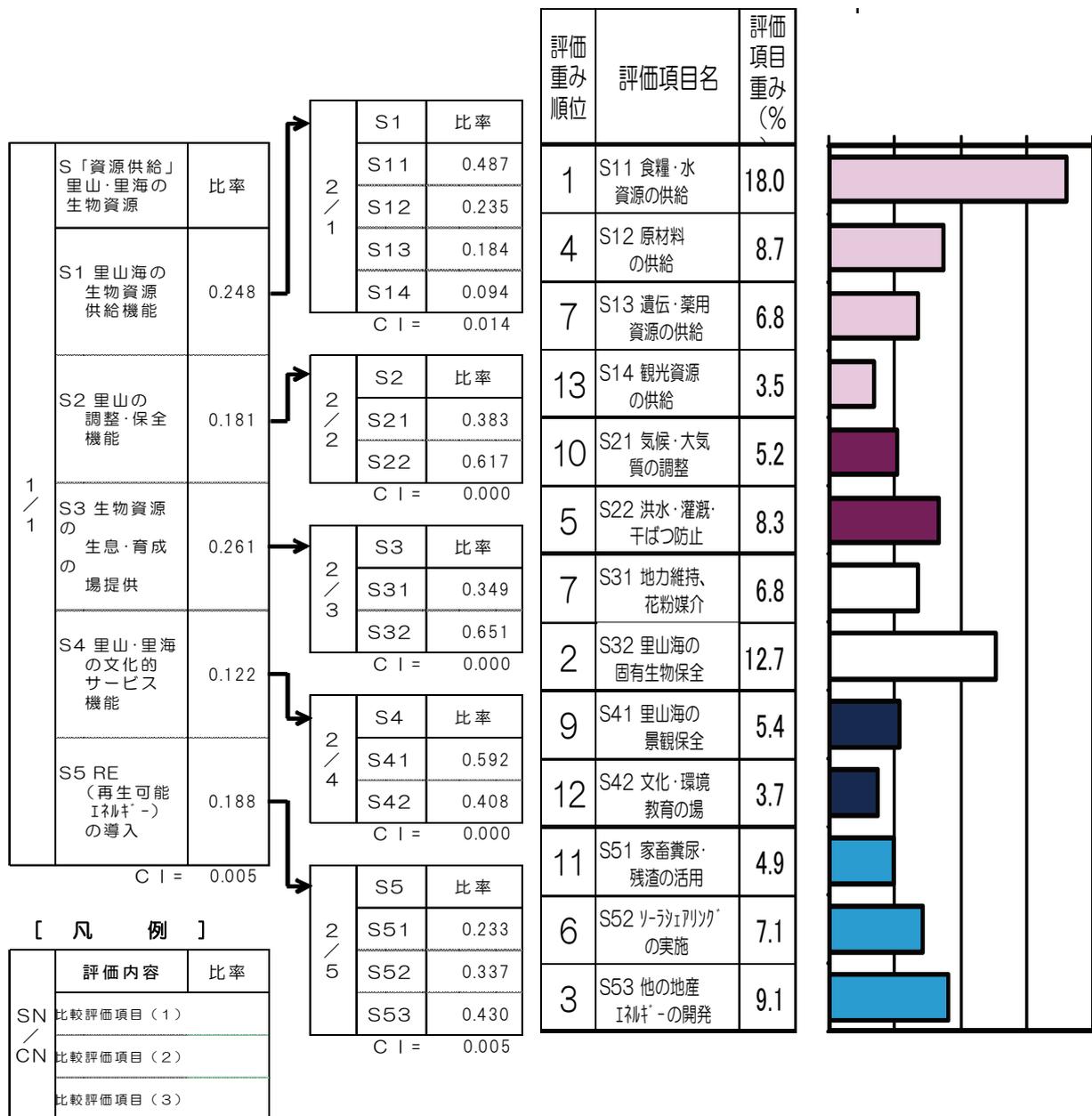


図 6.5.2-1 S軸（都市域）での生物資源の活用度「需要」の重み付け結果

(3.5%：観光資源の供給)で、その差(倍率)は約5倍とそれほど大きくない。しかしながら、具体的な里山・里海をBCN評価するには評価項目数を縛る方が実用的である。そこで、グラフの形状から考えて、重み5%以上のものを採用したい。すなわち、大きいものから順に、①S11(18.0%：食糧・水資源の供給)、②S32(12.7%：固有生物種保全)、③S53(9.1%：他エネルギー開発)、④S12(8.7%：原材料の供給)、⑤S22(8.3%：洪水・灌漑・干ばつ防止)、⑥S52(7.1%：ソーラーシェアリング)、⑦S13(6.8%：遺伝子・薬用資源)、⑧S31(6.8%：地力維持・花粉媒介)、⑨S41(5.4%：景観保全)、⑩S21(5.2%：気候大気調整)とする。

6.5.3 C軸における重み付け結果と考察

C軸(コミュニティネットワーク)の基幹評価項目(レベル3)として、C1：両者間の連携状況、C2：それぞれの情報集・発信体制、に分け、さらに(レベル3)ではC1は3つに、C2は2つの細分評価項目に分類した。C軸でもS軸、T軸と全く同じ方法で、重み評価結果を図6.5.3-1に示した。

ここでは細分評価項目が5個しかなく、重みの最大はC12(32.2%：人的・資金的援助)、最小はS21(11.8%：地場産業情報発信)で、その差(倍率)は2.7倍で他の軸と比較すると大きくない。また、重みが4位(C22)、5位(C21)の2評価項目がC2から枝分かれしたものであるため、重み上位3項目を採用すればC1だけを選ぶことになる。したがって、評価項目の絞り込みにあたって、C22(13.4%)とC21(11.8%)を加算して、C2(25.2%：情報収集発信整備)に統合する。つまり整理された評価項目は大きいものから順に、①C12(32.2%：人的・資金的援助)、②C2(25.2%：情報収集発信整備)、③C13(23.7%：イベント規模・頻度)、④C11(18.8%：都市・里山間の交通)、とする。

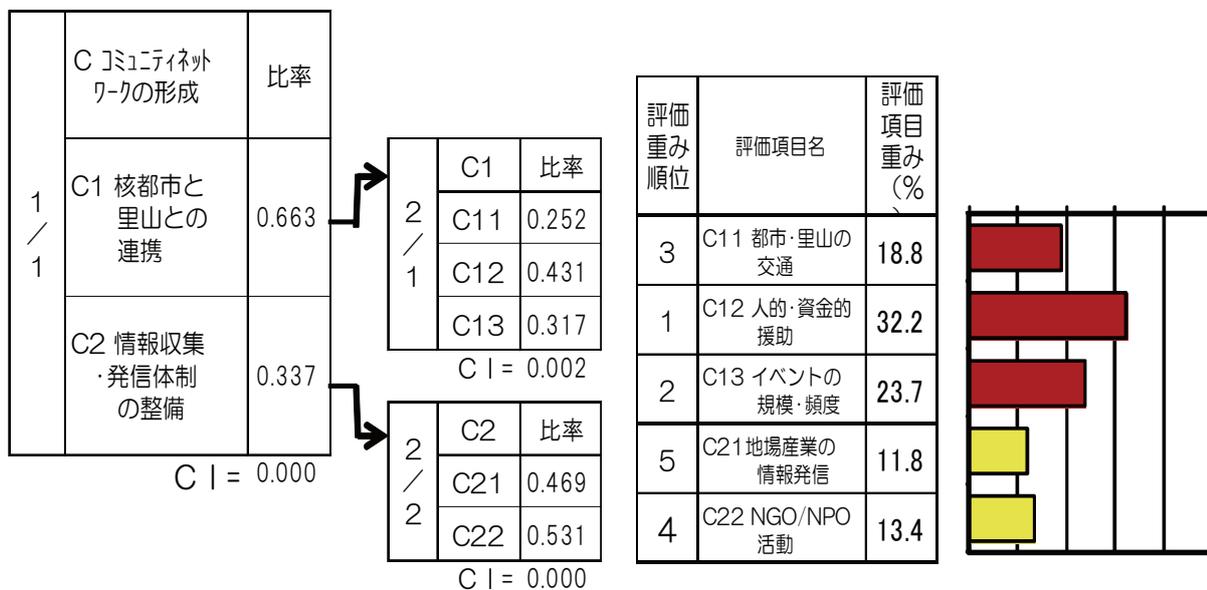


図 6.5.3-1 C軸(コミュネット)の形成状況評価の重み付け結果

6.6 都市地域と里山・里海の組合せの定量的評価計画

6.6.1 日本型成熟社会に向けた BCN 構想の意義

日本は戦後すぐに、先進国の一員として高度成長を遂げてきた。この間、深刻な公害問題などが生じたが環境保全関連の技術開発も進み経済成長としては返って貢献するという皮肉な結果にもなった。しかし、地球環境問題は経済成長や資源消費との「トリレンマ」構造の関係と言われて久しいが、未だ解決の糸口さえないのが現状と言えよう。人類だけが遠い将来を科学的に見通せる能力を持っているわけで、3千万種ともいわれる地球上の全生物を代表して、持続可能な発展を図る必要がある。

江戸時代、大都市江戸には3,000軒の古着屋があったといわれる。布の生産は専ら人手によるもので大変貴重であり、晴れ着から雑巾に至るまで何度も用途を変えた。つまり、生活の知恵による循環型社会を形成しながらも「豊かな生活」を満喫していたと思われる。そしてバブル崩壊頃までの日本は治安と共に日常生活には困らないという、大変幸せな社会であった。日本でのバブル絶頂期が1988年頃で、この年は地球環境問題が世界中で話題になり「地球環境元年」ともいわれる。そして1990年には「バブル崩壊」と共に、失われた20年と云われる経済低迷期に突入した。この時期は、新興国の技術追い上げによる先端技術立国である日本企業の苦戦、それによる非正規社員とワーキングプアの増加、それに連動した結婚年齢の上昇と少子化、そして高齢化による社会保障の高負担化等など、成熟した社会であるはずの日本の将来が不安である。

以上のように日本を取り巻く背景は図6.1-3の上部の6項目に集約されよう。そして、この6項目を完全にとまではいかないが、大きな効果が挙げられると期待できるのが、我々の提言する「日本型成熟社会におけるBCN構想」である。この構想実現のためには、(A)田舎の住人、(B)都会の住人、(C)NGO/NPO等の共同体、(D)企業、(E)政府・行政、のそれぞれの組織・立場からのBCN構築への働きかけが必要で、それによりそれぞれの形で恩恵が受けられることになる。生態系の考えに立てば、物質は元来から循環しているものである。これまでの人間社会では、この点について配慮されたことがなかった。不要物は単純に廃棄され、それは自然の循環システム、あるいは自然の浄化作用に任された。人間の活動量がさほど大きくない間は、これで何とかあった訳であるが、現在ではそれが大きく生活環境を圧迫するようになった。BCN構想では、これを改めて人間の視野に収め、都会地域と周辺の里山・里海とで物質・資金循環や人的交流を活発化して、すべての人達が意義ある人生を送れるようにするというのが日本型成熟社会での新しい循環システムであるとも言える。

6.6.2 都市地域と里山・里海の組合せによる AHP 評価計画

BCN構想の意義と目的は上述した通りであるが、この構想を構築する前段階、あるいは構築途中での進捗度合いを定量的・客観的に評価できれば、大変重要なツールとなる。すなわち大規模プロジェクトの完成度合いを定量的に測れる「ものさし」となる。

現在、具体的なBCN評価事例として、都市域が東京都中央区、里山が東京都檜原村のコミュニティネットワークを取り上げて、定量的評価のための情報収集中である。檜原村内には中央区が「中央区の森」と称する広大な森林保全に人的・資金的援助を行い、また中

中央区に住む家族に「森林学習」、「環境合宿」などを開いている。また、数例の BCN 評価の組合せ候補も定量評価を計画中であり、将来その結果を報告したい。

参考・引用文献

- 1) エンジニアリング協会：平成 24 年度 エコ・ヒューマン・エンジニアリングに関する調査研究報告書 第 2 分冊<エネルギー環境関連分野>第 II 部 新バイオマス社会の提案、第 1 章 BCN (バイオコミュニティネットワーク) 構築の新視点、& 第 3 章 耕作放棄地利用：産地バイオマスエネルギー創出のための計画アセスメント事例
- 2) エンジニアリング協会：平成 25 年度大震災後のエネルギー・ベストミックスと新バイオマス社会に関する調査研究報告書 第 II 部 新バイオマス社会の提案 第 1 章 BCN (バイオコミュニティネットワーク) 構築の実現に向けて：成熟社会に向けたエンジニアリング視点からの再整理と提案
- 3) 意思決定支援ツール AHP の適用事例、笠原久美雄、電子情報通信学会誌.Vol.88、No.3、2005.
- 4) 地域特性を活かしたエネルギーベストミックスの設定、広松猛、環境経済政策学会大会報告集、2004.10.
- 5) 東日本大震、ウェブサイト、<http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 6) 東日本大震災からの復興の状況に関する報告、復興庁、2013.11.
http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-1/20131112_kokkaihoukoku.pdf
- 7) 高齢社会対策 | 政策統括官 (共生社会政策担当) 内閣府、
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/gaiyou/index.html>
- 8) 若者の定住化 (U ターン、転出) について - 倉吉市、
<http://www1.city.kurayoshi.lg.jp/kikaku/sougou/10jiso/pdf/.../46-49.pdf>
- 9) 過疎と農村景観保存、岡田文淑、
http://www.geocities.jp/o_fumiyoshi/html/muranami/shinkaso.html
- 10) 過疎化市町村マップ、全国過疎化地域自立促進連盟、
<http://www.kaso-net.or.jp/map/tokyo.htm>
- 11) 農村景観の評価と保全、竹内和彦、環境情報科学、10-4,1981
- 12) エンジニアリング協会：平成 23 年度低酸素社会・安全安心社会実現のためのエンジニアリング産業時術戦略に関する調査研究報告書<エネルギー環境関連分野>第 IV 部 バイオマスボトルネック解消とバイオマスによる炭素固定第 3 章 BCN 構想を高度化した社会システムへの組み込み
- 13) 生物多様性と生態系サービスの経済的価値の評価、環境省自然環境局
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/valuation/shuhou.html>
- 14) 生物多様性と私達、香坂玲著、岩波ジュニア新書、2011.5.20.
- 15) さとやま、鷲尾いずみ著、岩波ジュニア新書
- 16) 里山資本主義、藻谷浩介・NHK 広島取材班、角川書店、2013.7.10.

第7章 事例調査

第Ⅱ部のテーマである「都市との連携による6次産業化システム」に関して検討を行ううえで、特に現場の状況の把握が欠かせないとされた以下の2か所について、現地視察による調査を実施した。以下にその概要を報告する。

7.1 富士通グループ会津若松 Akisai やさい工場視察

調査日：平成26年9月30日（火） 13：30～15：30

場所：〒965-8502 会津若松市門田町工業団地3～6番地

富士通セミコンダクター株式会社会津若松工場内

1) 説明者

富士通ホーム&オフィスサービス株式会社
先端農業事業部長代理（当時）佐藤 彰彦氏
生産部 宮部 治泰氏

2) 入手資料

- ・会津若松 Akisai やさい工場 説明資料
- ・「キレイヤサイ」紹介リーフレット

3) 概要

(1) 植物工場ビジネスの狙い

半導体製造を担っていた会津若松工場は構造改革を経て、人員規模が縮小、遊休資産も存在していたことから富士通グループでは、

- ① 半導体製造で培った技術や休止中のクリーンルームを使った新規ビジネス
- ② リファレンスモデルとしての、富士通のクラウドサービス「食・農クラウド Akisai（秋彩）」の拡販、機能改善
- ③ 付加価値の高い機能性野菜でのマーケットに早期参入、事業性の確保を狙いとして、2013年に富士通ホーム&オフィスサービスを事業主体として、植物工場ビジネスへの参入を決定した。

(2) 施設概要

Akisai やさい工場は、図7.1-1に示す会津若松工場二番館内のクリーンルームで稼働している。視察日現在の施設概要を以下に示す。

- ① 使用クリーンルーム : 2,000m²（全体 8,000m²）
- ② 栽培面積 : 1,400m²
- ③ 設備台数 : 450 台
- ④ 栽培品目 : 機能性野菜（低カリウムレタス）
- ⑤ 収穫数 : 3,500 株/日

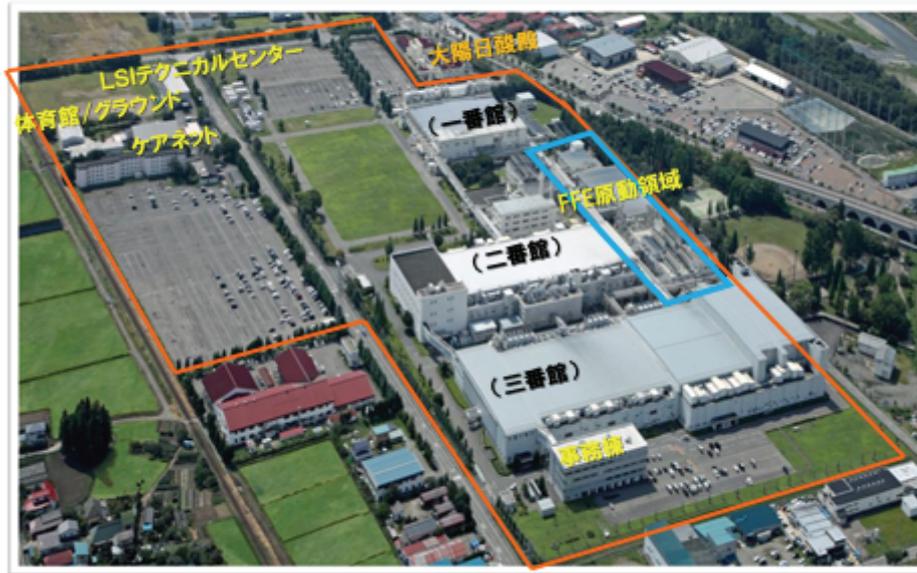


図 7.1-1 富士通セミコンダクター会津若松工場レイアウト

出典：配布資料「会津若松 Akisai やさい工場」

(3) 栽培品目について

会津若松 Akisai やさい工場では、現在、低カリウムのレタスを栽培し、写真 7.1-1 で示すように「キレイヤサイ」のブランド名で販売している。

腎臓に障害があると、尿からカリウムを排出することが困難になり、カリウムが体内に蓄積され、高カリウム血症を招き、不整脈や血圧の低下などの症状を引き起こす場合があります。腎臓病患者はカリウムが多く含まれる生野菜の摂取に制限がある。

富士通ホーム&オフィスサービスでは、カリウム摂取制限のある透析患者や腎臓病患者に安心して生で食べられるレタスを栽培、販売することを通じて食の喜びを提供したいとしており、1,300 万人以上いる腎臓病患者の 20～30%をメインマーケットと想定し、市場規模は 300 億円と見ている。現在、栽培はレタスのみだが 各種機能性野菜栽培の研究・開発を進めている。

「キレイヤサイ」低カリウムレタスの特徴を以下に示す。

- ① 低カリウム
カリウム含有量が 1/8～1/10。
- ② 洗わないで食べられる
クリーンルームで栽培しているため極めて雑菌が少ない。無農薬。
- ③ 2 週間以上長持ち
腐食の進行が遅く、冷蔵で 2 週間以上新鮮な状態を保つことができる。
- ⑤ レタス本来の甘み
硝酸態窒素の含有量が少なく、苦味、えぐみが少ない。



写真 7.1-1 「キレイヤサイ」ブランド

出典：富士通ホーム&オフィスサービスより提供

(4) 半導体工場インフラと IT の活用

低カリウムレタスの栽培では、操業している半導体工場のインフラの有効活用とともに、異分野の技術を掛け合わせた先端農業が実施されている。

① 栽培技術

秋田県立大学の特許をベースに会津富士加工株式会社が小規模量産を行っている低カリウム野菜の栽培ノウハウを採用。

② 半導体製造技術

栽培、収穫、包装まで全ての工程をクリーンルーム内で実施。プラントエンジニアリングの技術に加え、ロット管理、品質管理、原価管理といった工業生産の考えを農業に適用。

③ データ解析技術

温度、湿度、CO₂濃度、気流、照明の明るさ、養液を IT でコントロールし、栽培環境と作物品質の相関を把握。

(5) 販路戦略

低カリウムレタスの主な販路を以下に示す。

① 医療系販路

病院/透析施設の売店、医療/健康食品/弁当のネット販売、デパート・スーパー等

② 業務系販路

温泉旅館（食事・お土産）、ホテル、レストラン、生協などスーパー（袋売り・惣菜用）、コンビニエンスストア、学校給食等

このほか、インターネット販売やカタログ販売も実施している。

(6) 今後の展開

図 7.1-2 に示すように、企業、研究機関とパートナーを組み、半導体工場ならではの実験・開発環境をパートナーに提供し、植物工場では研究成果を基に低カリウム野菜のパイロット生産を実施する。それらの知見をデータベース化、解析し、その情報を基にパートナーが更に研究を進めるといった循環型のインキュベーション施設へ展開する構想を持っている。



図 7.1-2 インキュベータセンター（構想中）の概要

出典：配布資料「会津若松 Akisai やさい工場」

以下、視察の状況を写真 7.1-2 に示す。



①富士通ホーム&オフィスサービス



②セミナールームにて説明



③セミナールームに隣接した模擬クリーンルーム



④模擬クリーンルーム内での説明
(クリーンルーム用作業服を着用)



⑤クリーンルーム見学



⑥クリーンルーム内（栽培ラックは7段）



⑦クリーンルーム内（光の照射が栽培ラック毎に制御されている）



⑧クリーンルーム見学後低カリウムレタスを試食

写真 7.1-2 会津若松 Akisai やさい工場視察状況

7.2 千葉市ソーラーシェアリング実証現場視察

調査日：平成 26 年 11 月 11 日（火） 10：00～12：00

場 所：〒267-0052 千葉市緑区下大和田町2169番4号

（一社）ソーラーシェアリング協会 実証実験場（林農園）

1) 説明者

一般社団法人 ソーラーシェアリング協会
代表理事 大村 淳 氏

2) 入手資料

- ・パンフレット「一般社団法人 ソーラーシェアリング協会」

3) 概要

(1) ソーラーシェアリング協会の概要「ソーラーシェアリング」は、耕作地に架台を設け、約 3m 上空にスリット状の太陽光パネルを、隙間を開けて設置し、光飽和点を超える太陽光を利用して、営農を続けながら太陽光発電を行う仕組みのことをいう。図

7.2-1 に示すように、植物はある照度以上の光量で光合成量が一定となる「光飽和点」が存在し、それ以上の光量は余剰となることが知られている。例えば、イネについては直射日光の照度（100klx（キロルクス））の半量弱の 40～50klx が最大光合成量に相当する光飽和点であり、イネにとっては太陽光量の半量以上が余剰となる。この現象を利用し、写真 7.2-1 に示すように、ソーラーパネルの間隔を適当量開けて農地に設置することにより、パネル隙間からの光量で作物生産するとともに太陽光発電を行うという考え方である。これは農業の高齢化の問題、後継者不足の問題等

をも解決する可能性を持っており、2013年4月1日に農水省から通知された営農型太陽光発電設備に関するガイ

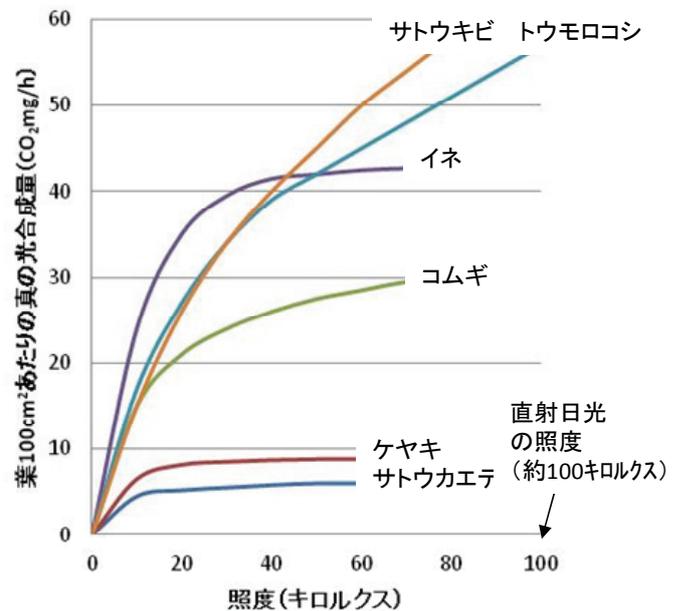


図 7.2-1 各種植物の光-光合成曲線

出典：ソーラーシェアリング協会 HP



写真 7.2-1 ソーラーパネル設置写真

出典：ソーラーシェアリング協会 HP

ドライン等を受けて、民間主導で新しい農業のあり方の具体を提案すべく「一般社団法人ソーラーシェアリング協会」を立ち上げた。

ソーラーシェアリング協会の活動内容は下記のとおりである。

- ・「ソーラーシェアリング」の普及活動によって再生可能エネルギーの推進に寄与する。
- ・各地域の農政局・農業委員会と連携して地域の農産業の活性化とイノベーションを創造する。
- ・耕作放棄地を農地に甦らせる「農地カムバック運動」を推進する。
- ・モジュール、架台、パワコンなど「ソーラーシェアリング」に適した製品を開発する。
- ・会員向けの会報誌を制作して情報を提供する。
- ・太陽光発電による「電活農業（ソーラーで発電した電気を農業に活かせる）」の実現を目指す。
- ・各地で「ソーラーシェアリング」の実証実験を行い、遮光率と作物の生育状態のデータを収集し、今後に活用する。

ソーラーシェアリング協会では、本視察を実施した千葉市緑区のほかに、茨城県土浦市荒川沖にも実証試験施設を有し、さらに、京都府福知山市、岐阜県各務原市、大阪府泉南市、埼玉県越谷市、千葉市若葉区、愛媛県今治市などでのソーラーシェアリング施設について情報提供・支援している。

また、農林水産省報告「農作と太陽光発電を両立させるシステムの事業化可能性調査」において作成された図 7.2-2 により、ソーラーシェアリングの普及の効果を明確化し、図 7.2-3 に示すようなソーラーシェアリングのネットワーク化を図っている。

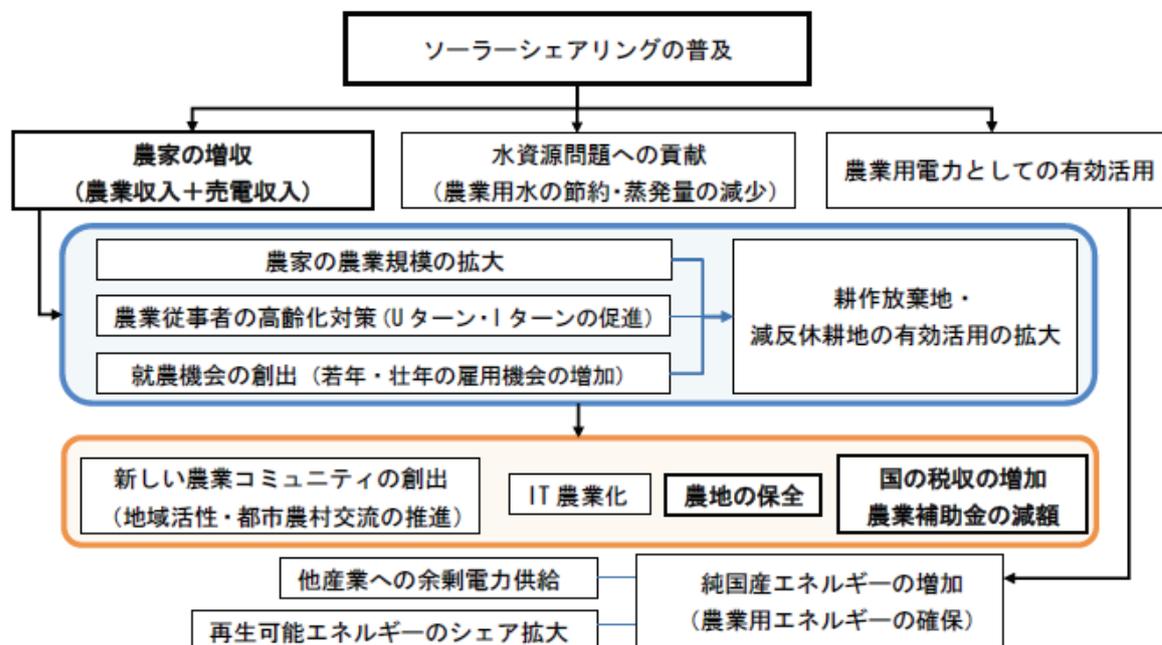


図 7.2-2 ソーラーシェアリングの普及の効果

出典：農林水産省「農作と太陽光発電を両立させるシステムの事業化可能性調査」要約

■ソーラーシェアリングネットワーク図

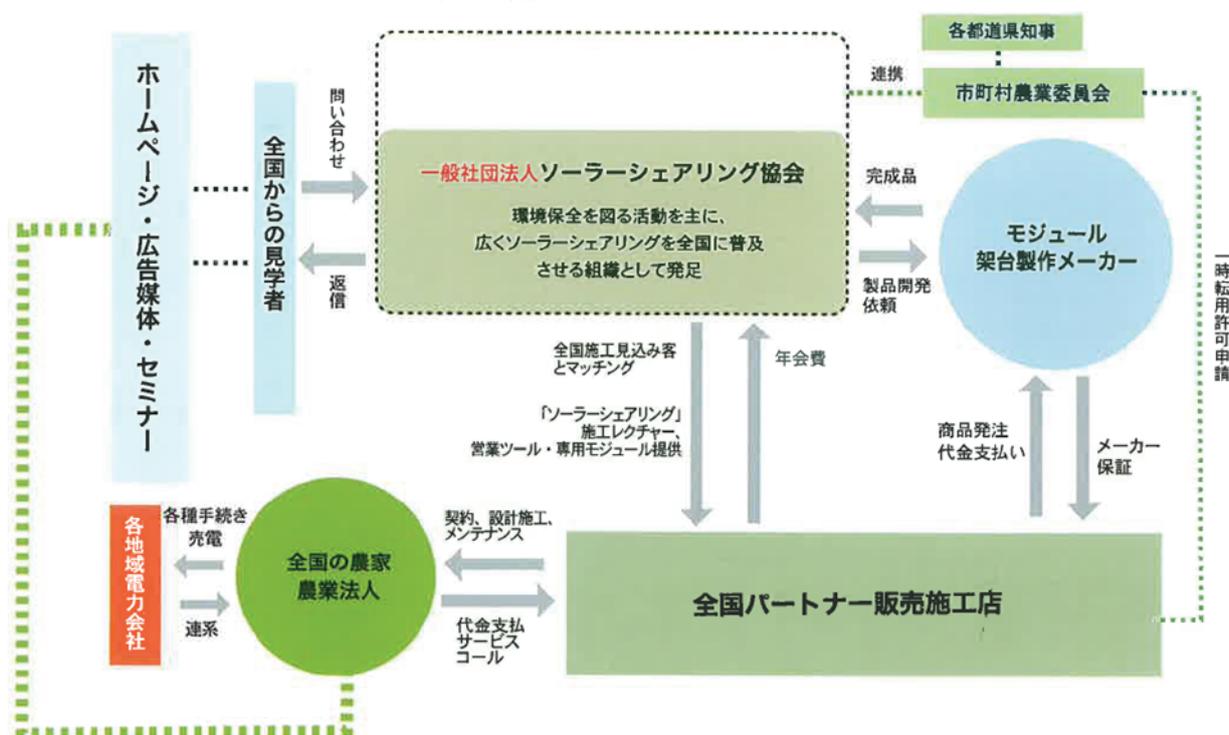


図 7.2-3 ソーラーシェアリング協会を介したネットワーク化

出典：一般社団法人ソーラーシェアリング協会パンフレット

なお、2013年4月1日に発表された農林水産省の指針は、下記のような内容となっている。

- ① 太陽光パネル架台の支柱部分を農地の一部転用とみなし、農業委員会の許可なしでは導入できない。
- ② 転用は一次転用扱いとして導入計画により許可し、3年ごとに審査し、見直す。
- ③ 営農の継続が担保されるとともに、作物の生産に支障がない遮光率で作業車の利用可能な空間が確保されていること。
- ④ 支柱は簡易な構造で、技術的・経済的に撤去が担保された計画であること。

(2) 千葉市緑区の実証現場の概要

千葉市緑区における実証施設の概要は以下のとおりである。

- ① 総発電量：24.57kW（パワーコンディショナ4台設置）
- ② モジュール：協会推奨のGWソーラー製モジュール（90W）272枚
- ③ 太陽光発電設備（株）面積：645m²
- ④ 遮光率：27%、傾斜角：30°、方位角：30°
- ⑤ 作物：ニンジン、サトイモ、ネギ、シロナ、カブ、ラッカセイ、アシタバ等
- ⑥ 太陽光パネルまでの高さ：3.5m
- ⑦ 実証内容：多種の作物を育ててパネルの陰による影響を確認する。

また、ソーラーシェアリング協会の大村代表理事からは、下記のようなコメントを頂

いた。

- ① 作物については、太陽光発電設備の陰による影響はほとんどなく、逆に、サトイモやラッカセイは発育が良かった。
- ② FIT による電力収入については、38 円/kWh で契約し、10 年以内で回収される見込みである。
- ③ 農地への太陽光発電システムの設置にあたっては、図 7.2-4 に示すように、初期の段階で農業委員会の許可を得る必要があり、このステップでの折衝が最も高いハードルとなっている。
- ④ 太陽光パネルの架台はコスト等の関係で短管パイプを使用しているが、パネルの角度はレンチでパイプを回転できるように工夫している。架台としての耐用年数は 20 年未満と捉えている。
- ⑤ 規模としては、低圧の 50kW 未満が望ましいと考えている。50kW 以上になると、高圧用の受電設備が必要となり、設備設置上ネックとなる可能性がある。
- ⑥ 架台（支柱）の間隔は農機の稼働を考慮して 5m としているが、現在、6m の間隔が取れるアルミ架台を開発中。支柱部分はスチールの SG メッキを使用（SG メッキ：アルミマグネシウム合金メッキ）。また、支柱を利用して鳥獣被害防止柵を設置するなど考えられる。
- ⑦ 現在ソーラーシェアリングの設置に対する直接的な補助金制度はないが、農林水産省が実質ソーラーシェアリングを認めた経緯から、今後より前向きな助成を期待している。
- ⑧ ソーラーシェアリングの考え方をさらに発展させて、ハウス栽培への太陽光パネルの設置を考えており、この現場でも新たにビニルハウスを設置した実証の段取りを始めている。

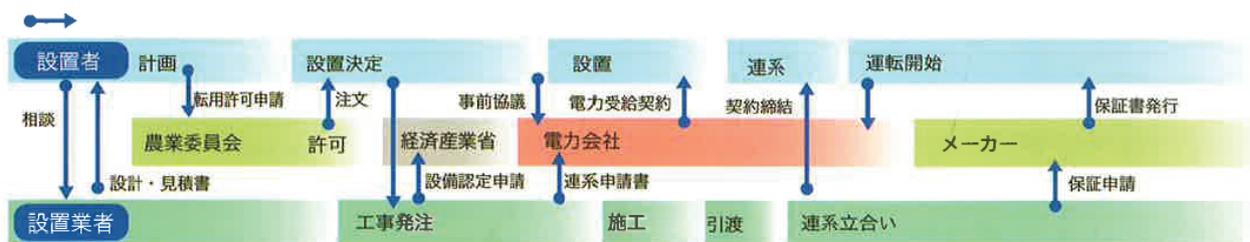


図 7.2-4 ソーラーシェアリングの相談から運転までの流れ

出典：一般社団法人ソーラーシェアリング協会パンフレット

以下、現地の状況を写真 7.2-2 に示す。



①ソーラーシェアリング施設全景



②太陽光パネル設置状況



③作物栽培状況



④パワーコンディショナ設置状況



⑤パワーコンディショナ緒元



⑥ビニルハウス設置準備状況



⑦ビニルハウス設置状況（2015年1月8日時点）

写真 7.2-2 千葉市緑区実証現場の視察状況写真

第8章 まとめ

第Ⅱ部では「農林水産業を中心とした地域産業」を取り上げ、「地域」を対象とした人・もの・経済・情報の循環のあり方や事例等について検討を行い、併せて、都市と地域との連携による地域産業活性化に関する提案に向けた整理を行った。以下に、章を追ってその概要を取りまとめる。

第2章では「地域産業の活性化のための新しい6次産業化」と題し、地域の根幹となる農林水産業を6次産業化するための諸施策に加えて、エンジニアリングアプローチが可能となる技術分野や施策の考え方について調査検討を行った。まず、地域活性化には農林水産業に関わる諸産業の増収増益が第一義であり、そのためには、①本業（農林水産業）の高度化、②地域で調達可能な再生可能エネルギーによる収益、および③6次産業化におけるブランド化・リゾート化といった3つの業（わざ）が重要であるとした。そして、農・林・漁の業ごとに、6次産業化に向けた注目される施策や考え方について紹介をした。農業に関しては、農地における地産エネルギーとしてのソーラーシェアリングの可能性について紹介し、人・物の公的レンタルシステムによる営農の効率化と農のブランド化・リゾート化について言及した。林業に関しては、消費が進まない国内産の木材を大量かつ高度に使うための業として、大断面構造用集成材の性能に触れ、欧米で近年先進的に進められている木造高層ビルの概要を紹介し、我が国における各種木質構造物への適用について言及した。また、山間地での木質バイオマスや小水力によるエネルギー産業化について事例紹介した。漁業に関しては、離島における高度な6次産業化の事例を掲げた。特に、海洋温度差発電や海流発電といった再生可能エネルギー施設の設置に併せて、業として行われる海洋深層水製造販売や最新の養殖技術について触れた。

第3章では「植物工場起点の地域活性化(地域資源の活用)」と題し、事例調査に基づいた検討を踏まえて、植物工場が地域おこしの核となり得ることについて言及した。植物工場は、光や空調等の環境制御技術、水耕や種苗調達等の栽培管理技術、自動化技術、およびエネルギー・資源活用技術など、最先端の技術が集積されたものであるが、これらの集積技術を地域に持ち込むことによって、従来の生産品とは競合しない高付加価値な食材の生産と雇用の増加が見込まれる。また、高度技術の地域への定着により、基幹インフラの充実が図られ、当地域の観光資源との連携や都市・地域間の交流が盛んとなることが期待される。さらに、海外展開に向けた工場システム構築ノウハウのモデル化について、今後深化した調査検討を行う必要があることを示した。

第4章では「水辺の活用による地域の活性化」と題し、自然的な循環の源でもある「水」を中心にとらえ、水と人との接点となり、さらに都市と地域を結ぶ流域を形成する「水辺」の活用が、その地域の活性化に欠かせないものであることを示した。まず、水辺が有する諸機能について紹介し、つぎに、水辺と人との距離が遠ざかっている現状を示した。人を水辺に近づけるためには、水辺の保全と活用の両輪を動かす必要があるとし、その方策としての、水辺のイベント事例や水際利用に関する規制緩和の内容等について紹介した。ま

た、海外での海辺の大規模活用事例を紹介するとともに、我が国の水辺活用に関わる諸課題について言及した。

第5章では「生物資源を主眼とした農村地域活性化に関する指標化」と題し、我が国の地域を代表する「農村」に焦点を当て、農村が豊富に有する「生物資源」を中心とした地域活性化の指標づくりを試みた。まず、「生物資源」を、森林や農地等を含めた生物の総体として拡大解釈し、生物資源の保有する機能を取りまとめた。つぎに、生物資源の保有する調整・保全機能、供給機能、感性的・文化的機能の諸機能ごとに、「活性化された農村」であることを評価するための指標を抽出した。抽出は、地域の農村がその機能を自ら活用しているかといった観点と、農村地域外に対してどのようなアクションをとればその地域の活性化につながるか、といった観点で行われた。そして、提案された指標をもとに具体的な農村地域の現況を把握することが、今後の農村地域の活性化につながるという可能性を示した。

第6章では、「BCN（バイオコミュニティネットワーク）構想のAHP分析による定量的評価手法の提案」と題し、2009年に提案し検討を継続してきたBCN構想の内容を紹介したうえで、「都市」と「里山・里海」および関連する活動主体を介して形成されるBCNシステムについて、AHP分析法によるその有意性の検証を行うことを試みた。AHP分析法は、ある総合目的に対して多様な評価項目に基づいて意思決定する際に、その評価や意思決定に関わる項目を階層化し、知識経験や勘などをもとに数量的に重みづけを行うことによって、具体案（代替案）を提示するための手法である。本章では特に、T軸（都市）とS軸（里山・里海）およびこれらを結ぶC軸（コミュニティネットワーク）という3つの軸で評価項目を階層化し、BCNの検討を行ってきた複数者の評価をもとに重みづけを行った結果を示した。この結果をもとに、生物資源を介した都市と地域における関係性を密にすることの重要性が示唆された。

第7章では、「事例調査」と題し、第2章に関連するソーラーシェアリングの実証サイトを視察した内容と、第3章に関連する植物工場の現地調査内容について取りまとめた。

以上、2014年度は、これまで第1次産業を基幹産業としてきた「地域」の活性化の鍵を握る「6次産業化」について、最新の施策動向に基づいた新たな視点を掲げた。また、「地域」と「都市」のあるべき姿に関わる指標等について提案を行うとともに、地域活性化には人的・資金的援助をはじめとした「都市との連携」が大きな重みを持つことを確認した。2015年度は、各章において取り上げた調査・提案項目に対して、より深化させた調査検討を行うとともに、新たな課題についても取り組んでいく所存である。

最期に、第II部「都市部との連携による6次産業化システム」に関する調査研究に取り組むに当たり、富士通株式会社グループ殿の会津若松市の植物工場および一般社団法人ソーラーシェアリング協会殿の千葉市ソーラーシェアリング実証サイトにおける先進的施設を見学させていただき、大変貴重なご意見やアドバイスを頂きました。ここに成果報告書の発行に際し、紙面をお借りして関係各位に心より厚く御礼申し上げます。

あしがき

今年度は、2カ年計画の「エンジニアリングアプローチを用いた地域産業の活性化に関する調査研究」の1年目にあたり、持続可能な循環型社会、低炭素社会の実現に向け、第1WGではバイオマス技術の活用と普及について調査を行い、第2WGでは地域と都市部との連携による6次産業化システムについて調査活動を実施した。両WGとも、現地調査によって実態を直接把握し、生の声を聞き、資料調査だけでは得られない一次情報に基づくオリジナルな分析、検討を加えることを重視した。

第1WGでは、林業等地域産業との融合やカスケード的利用等を含めた木質バイオマス技術の普及拡大、および地域の静脈公共施設をコアとしたメタン発酵技術の活用拡大に向けた課題と対策について、4カ所の現地視察を含めて重点的に調査、検討した。これを補完する意味で、他の再生可能エネルギーと異なるバイオマスの特性を踏まえた普及促進策、支援制度についても検討した。その結果、地域で貢献するバイオマス技術として、木質バイオマスに関してはFIT制度による売電ありきの考え方ではなく、本来の特徴を活かした利用形態のあるべき姿を、成功事例の分析、欧州との比較分析、他の再生エネルギーとの比較等により提示することができた。また、メタン発酵に関しては下水汚泥処理場やごみ焼却設備等地域の静脈施設と組合せた新しいコンセプトの事例を調査し、その有効性と展開可能性について提示した。一方、地域に貢献する新しいバイオマス技術として、微細藻類と微生物燃料電池について調査し、その課題と可能性を整理した。

第2WGでは、6次産業化における新たな産業構造と地域・都市間の関わり方、地域の主体を成す水系や農村の視点で見た地域活性化のあり方、BCN（バイオコミュニティネットワーク）の考え方に基づいた地域と都市のネットワーク化のあり方等について調査、検討した。その結果、これまで第1次産業を基幹産業としてきた「地域」の活性化の鍵を握る「6次産業化」について、最新の施策動向に基づいた新たな視点を提示でき、「地域」および「都市」のあるべき姿に関わる指標等についても提案できた。さらに、里山・里海・水辺など生物資源が有する諸機能や、地域と都市とのネットワーク化について、エンジニアリングアプローチが定量的に可能となるような手法（AHP分析：Analytic Hierarchy Process／階層意思決定分析）を採用したBCN構想の評価体系を構築し、評価項目の重み付けを含めた事例解析により、その有効性と具体的な活性化策について提示できた。

両WGとも今年度提示した課題、対策の方向性等について、来年度は現地視察等による事例分析や支援制度のあり方の調査、検討を深め、具体性、実現性、持続性（経済性）のある提言に繋げたいと考えている。また、これらの成果が、今後のエンジニアリング・建設産業の社会への貢献に僅かでも寄与できれば幸いである。提示した課題や対策案が個々のテーマとして発展することも期待している。

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、ご指導を賜りました関係者の方々、および委員の皆様には深く感謝いたします。

循環型社会システム研究部会長 神田伸靖

書名 平成 26 年度
エンジニアリングアプローチを用いた地域産業の
活性化に関する調査研究報告書
発行 平成 27 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 株式会社カントー