

システム技術開発調査研究

18-R-12

革新的バイオマス利用システムの  
実現可能性に関する調査研究  
報 告 書  
— 要 旨 —

平成19年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 財団法人 地球環境産業技術研究機構

**KEIRIN**



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。  
<http://keirin.jp>





## 序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業を巡る経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムの調査研究等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 政策研究院 リサーチフェロー 藤正 巖氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を実施しております。

この「革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）に委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果がひとつの礎石として役立てば幸いです。

平成 19 年 3 月

財団法人機械システム振興協会

## はじめに

本報告書は、財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）が、財団法人機械システム振興協会から平成 18 年度事業として受託した「革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査研究」の成果を取りまとめたものである。

地球温暖化が進んでいくなか、その主要な原因である二酸化炭素の排出量の増加を抑制すべく、世界各国で省エネルギー技術、非化石燃料への転換技術、回収・貯留技術など様々な取り組み、研究開発が進められている。

二酸化炭素削減のみならず化石燃料の枯渇問題からも、これまでの化石燃料に依存しているエネルギー供給システムを非化石燃料へ転換することは非常に重要であり、その対策技術のひとつとして、大気中に拡散した二酸化炭素を、植物を中心としたバイオマスとして固定し、利用する技術の拡大が世界で注目を集めていることは周知の事実である。

海外、特に欧米においては、古くからバイオマス利用は盛んに進められており、なかでも、バイオエタノールはエネルギーセキュリティの観点からも、積極的に導入を図るべく高い目標を掲げるなどして取り組みを加速している現状である。

一方、国内においては、ここ数年来バイオマス利用の動きが活発化してきており、資源の海外依存度が大きい日本においては、まさに必要不可欠な対策とされている。

しかしながら、バイオマス資源の利用を困難としている原因は、「賦存の希薄さ」という特質にあり、これを背景とする様々な課題を克服しなければならないことはいままでもない。

こうした状況を踏まえ、本調査研究では、国内外の技術動向や革新的なバイオマス利用技術の調査、及び国内への適用可能性についての検討を行い、革新的バイオマス利用システムの実現に向けた検討シナリオの基本骨格を取りまとめた。

本報告書が今後の国内でのバイオマス利用に向けた技術戦略として活用されるとともに、地球温暖化対策技術開発の促進、ひいては、機械工業の振興に寄与できれば幸いである。

最後に、本調査研究の実施にあたり、ご指導・ご支援いただいた関係者各位に心から感謝を申し上げます。

平成 19 年 3 月

財団法人 地球環境産業技術研究機構

# 目 次

序.....	i
はじめに.....	ii
目 次.....	iii
1. 調査研究の目的.....	v
2. 調査研究の実施体制.....	vi
3. 調査研究の内容.....	ix
第1章 バイオマス利用システムの課題の整理.....	1
1.1 バイオマス利用に係る国内動向.....	1
1.1.1 バイオマス関連政策の概要.....	1
1.1.2 平成19年度 主要省庁の実施事業概要.....	17
1.1.3 技術戦略マップの概要.....	23
1.1.4 バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ.....	31
1.1.5 NEDOのバイオマスエネルギー関連事業計画.....	35
1.2 国内調査報告、プロジェクトの分析.....	36
1.2.1 国内調査報告の分析.....	36
1.2.2 プロジェクトの分析.....	36
1.2.3 まとめ.....	46
1.3 海外動向、技術調査.....	52
1.3.1 海外のバイオマス関連政策の概要.....	52
1.3.2 海外の技術動向.....	71
1.3.3 まとめ.....	79
1.4 調査結果に基づく国内と海外での現状の比較.....	83
第2章 バイオマス利用の態様別革新的技術シーズの収集・整理.....	87
2.1 技術の整理.....	87
2.2 生物化学的変換プロセス.....	90
2.2.1 世界と日本のバイオマス.....	90
2.2.2 バイオマスエネルギー変換技術.....	91
2.3 熱化学的変換プロセス.....	105
2.3.1 現状のバイオマス利用態様別の技術開発課題.....	105
2.3.2 課題克服のために必要な利用システム検討.....	107
第3章 有望な革新的技術シーズの評価と適用可能性の検討.....	108
3.1 革新的バイオマス利用技術シーズの評価.....	108
3.2 国内適用性の検討.....	109
3.3 熱化学的変換.....	110
3.3.1 重点化技術シーズの国内適用検討.....	110
3.3.2 課題の再整理.....	116
3.4 生物化学的変換.....	121
3.4.1 重点化技術シーズの国内適用性検討と課題の再整理.....	121
第4章 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ.....	126
4.1 ガス化.....	126

4.2 バイオコール.....	128
4.3 バイオエタノール.....	129
4.4 バイオマスガス化成分（CO）を利用した BTL 技術.....	130
4.5 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ.....	131
4. 調査研究の成果.....	x
5. 調査研究の今後の課題及び展開.....	xii

## 1. 調査研究の目的

地球温暖化問題の解決に向けては、長期的には、環境と調和した経済社会システムの構築、すなわち、エネルギー利用に関わる社会システムの改革が不可欠であり、いわゆる「循環型社会」の実現が謳われている。

ここで、その意義の中心となるべきは、化石燃料利用によるエネルギー供給システムを炭素循環型システムに転換することであり、当面、大気中に拡散した二酸化炭素を循環し得る植物を中心としたバイオマス利用の拡大が唯一の対応策である。言わずもがな、こうした対応は内外で進められており、バイオエタノールの利用等が現実的な選択肢となっている。しかしながら、我が国におけるバイオマス利用を展望すると、資源の海外依存が当面避けられないなどの問題も存在する。

国内でのバイオマス資源の活用を困難としている原因は、大きく次の2点に代表されるが、いずれも、バイオマス資源の「賦存の希薄さ」という根本的な特性に依存している。

- ①大量収集は、困難かつ高コスト。
- ②分散型利用は、エネルギー効率が悪い。

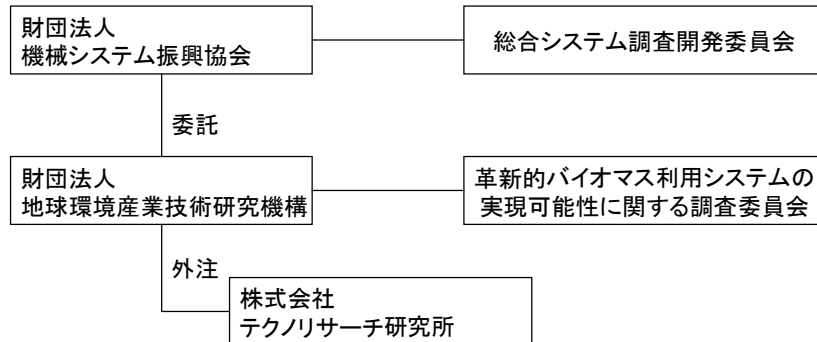
こうしたバイオマス資源の持つ特性は、世界共通の課題であり、大規模な炭素循環を実現し、二酸化炭素排出削減に有意な効果を期待するためには、現在、内外で検討されている革新的プロセスを活用して課題を克服する必要がある、なかんずく、地勢的にバイオマス資源の利用に不利とされる我が国にあっては、他に先駆けた取り組みが行われてしかるべきである。

本調査研究は、バイオマス利用の拡大を目指して行われている海外諸国の革新的プロセスを調査し、近年、立ち遅れが見られる我が国への適用可能性を評価すること等により、2015年をターゲットとした取り組みの骨格を明らかにし、循環型社会システムの実現に向けた、更なる、具体的シナリオ作成の基礎を提供することを目的としている。

## 2. 調査研究の実施体制

財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人地球環境産業技術研究機構内に外部有識者と当財団研究員等からなる「革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査委員会」を設置して調査を実施した。

また、一部の業務（国内外文献調査）は、財団法人地球環境産業技術研究機構より外部専門機関（株式会社テクノリサーチ研究所、以下「TRI」という）に外注を行った。





## 総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委員	埼玉大学 地域共同研究センター 教授	太 田 公 廣
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 副研究部門長	金 丸 正 剛
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

# 革新的バイオマス利用システムの実現可能性に関する調査委員会名簿

(順不同・敬称略)

委員長 独立行政法人産業技術総合研究所 坂西欣也  
バイオマス研究センター  
研究センター長

委員 広島大学大学院先端物質科学研究科 西尾尚道  
分子生命機能科学専攻  
教授

委員 京都大学生存圏研究所 本田与一  
助教授

調査研究実施者 財団法人地球環境産業技術研究機構  
化学研究グループ グループリーダー 藤岡祐一  
化学研究グループ 主任研究員 余語克則  
微生物研究グループ 主任研究員 稲富健一  
化学研究グループ 研究員 小玉聡

事務局 財団法人地球環境産業技術研究機構  
企画調査広報グループ 専門役 村上嘉孝  
企画調査広報グループ 主幹 佐藤孝行

### 3. 調査研究の内容

#### (1) バイオマス利用システムの課題の整理

ここでは、主に植物バイオマスを対象に、内外のバイオマス利用システムの活用状況・開発動向・課題を既存文献・専門家ヒアリングにより調査し取りまとめる。

#### (2) バイオマス利用の態様別革新的技術シーズの収集・整理

上記と並行して、バイオマス利用の課題とされる、

①大量収集は、困難かつ高コスト。

②分散型利用は、エネルギー効率が悪い。

を克服し得る革新的技術シーズを大規模利用のための輸送コストの大幅低減・分散利用システムの高効率化の観点から、海外の研究機関などにおける検討状況調査、及び専門家へのヒアリングを通じて収集し、画期的な改善が達成可能と考えられる技術の整理を行う。

#### (3) 有望な革新的技術シーズの評価と適用可能性の検討

以上で収集した革新的技術シーズの評価を行い、我が国における適用可能性を検討する。

(評価項目)

2015年をターゲットとしたときの、技術開発課題解決の困難度

我が国に適用した際のメリット・デメリット

(調査方法)

有識者等へのヒアリングを踏まえ適用可能性の評価を行う。

評価の前提として、欧米諸国における適用戦略についての調査を並行して実施する。

#### (4) 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ

以上の検討結果を踏まえ、2015年近辺を目途とした革新的バイオマス利用システムの実現に向けた検討シナリオの基本骨格を取りまとめる。

(調査方法)

現行課題・欧米諸国の政策動向・革新的技術シーズ集・我が国への適用可能性評価結果を基に、有識者の意見を踏まえ、革新的バイオマス利用システムの実用化シナリオの骨格を取りまとめる。

# 第1章 バイオマス利用システムの課題の整理

## 1.1 バイオマス利用に係る国内動向

### 1.1.1 バイオマス関連政策の概要

#### (1) 全体概要

##### ①背景

2001年以降、バイオマスエネルギーを巡る状況は大きく変わってきた<sup>1)</sup>。2002年、バイオマスエネルギーが新エネルギーのひとつとして定義づけられるとともに、RPS法が制定され、バイオマスエネルギーの利用が促進された。2005年4月には、京都議定書目標達成計画において、2010年度におけるバイオマス発電やバイオマス熱利用の導入目標が設定され、特に輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料については、原油換算50万kLという導入目標が明記された。

表 1.1-1 2001年以降のバイオマスエネルギーを巡る状況の変化

2001年	○ 追加的な新エネルギー対策を取りまとめ、導入目標量を1,910万kL。
2002年	○ 3月、「地球温暖化対策推進大綱」にて2010年度新エネ導入目標量が設定。このときは、住宅用太陽熱利用を約900万台見込み、太陽熱利用の目標値を高く設定。 ○ 9月、ヨハネスブルグで開催された「持続可能な開発に関する世界首脳会議」において採択された「実施計画」には、バイオマスを含めた再生可能エネルギーに係る技術開発、産業化の推進などが位置付けられ、バイオマスの総合的な利活用は国際的な合意事項となっているところである。 ● バイオマスエネルギーが新エネルギーのひとつとして定義づけられる。 ● RPS法（電気事業者による新エネルギーなどの利用に関する特別措置法）が制定され、バイオマスエネルギーの利用が促進される。
2003年	● 3月、「揮発油などの品質の確保などに関する法律」が改正され、ガソリンへのエタノールの混合上限が3%と定められる。
2004年	□ 「バイオマスタウン」の取り組み開始
2005年	○ 2月、「京都議定書」発効。 ○ 4月、「京都議定書目標達成計画」において、2010年度におけるバイオマス発電、バイオマス熱利用の導入目標が設定される。輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料については、原油換算50万kLという導入目標が明記される。
2006年	□ 3月、社会情勢の変化を背景に、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が改定され、バイオマスエネルギー、特に輸送用バイオマス由来燃料が推進される。 ● 5月「新・国家エネルギー戦略」によりエネルギーの安全保障の立場から、バイオマスエネルギーの導入が促進される。

○：温暖化対策関連、●：新エネルギー関連、□：バイオマス・ニッポン関連

<sup>1)</sup> 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会中間報告(案) (2006.10.26)

2006年3月には、こうした社会情勢の変化を背景に、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が改定され、バイオマスエネルギー、特に輸送用バイオマス由来燃料の推進が位置付けられている。

これまでバイオマスエネルギーは、「気候変動枠組条約」に基づく京都議定書の発効に伴い、2005年4月に京都議定書目標達成計画の中で第一約束期間に向けた取り組みのひとつとして重点が置かれてきた。

一方、国連以外の場においても新たな取り組みが進められている。2005年7月に英国で開催されたグレンイーグルズ・サミットでは、エネルギーと気候変動問題を一体的に対処することの重要性について、首脳レベルで共通の認識が得られ、「気候変動、クリーンエネルギー及び持続可能な開発に関するグレンイーグルズ行動計画」が合意された。これにより、G8プロセスにおいても主要排出国間の協力を通じたエネルギー使用の効率化及び気候変動への対応を目的とした検討が行われている。

更に、米国のイニシアチブにより、2006年1月に「クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ（APP）」が閣僚レベルで正式に立ち上げられた。増大するエネルギー需要、エネルギー安全保障、気候変動問題へ対処することを目的としており、具体的にはクリーンで効率的な技術の開発・普及・移転のための地域協力を推進することとしている。

このように気候変動問題への対応は、エネルギー政策と表裏一体の地球的規模の課題として重要性を増し様々な場面での取り組みが拡大しつつある<sup>2)</sup>。

世界における温暖化対策の変化と、国内におけるバイオマス関連政策を次ページに記した。

---

<sup>2</sup> 新・国家エネルギー戦略（2006.5）

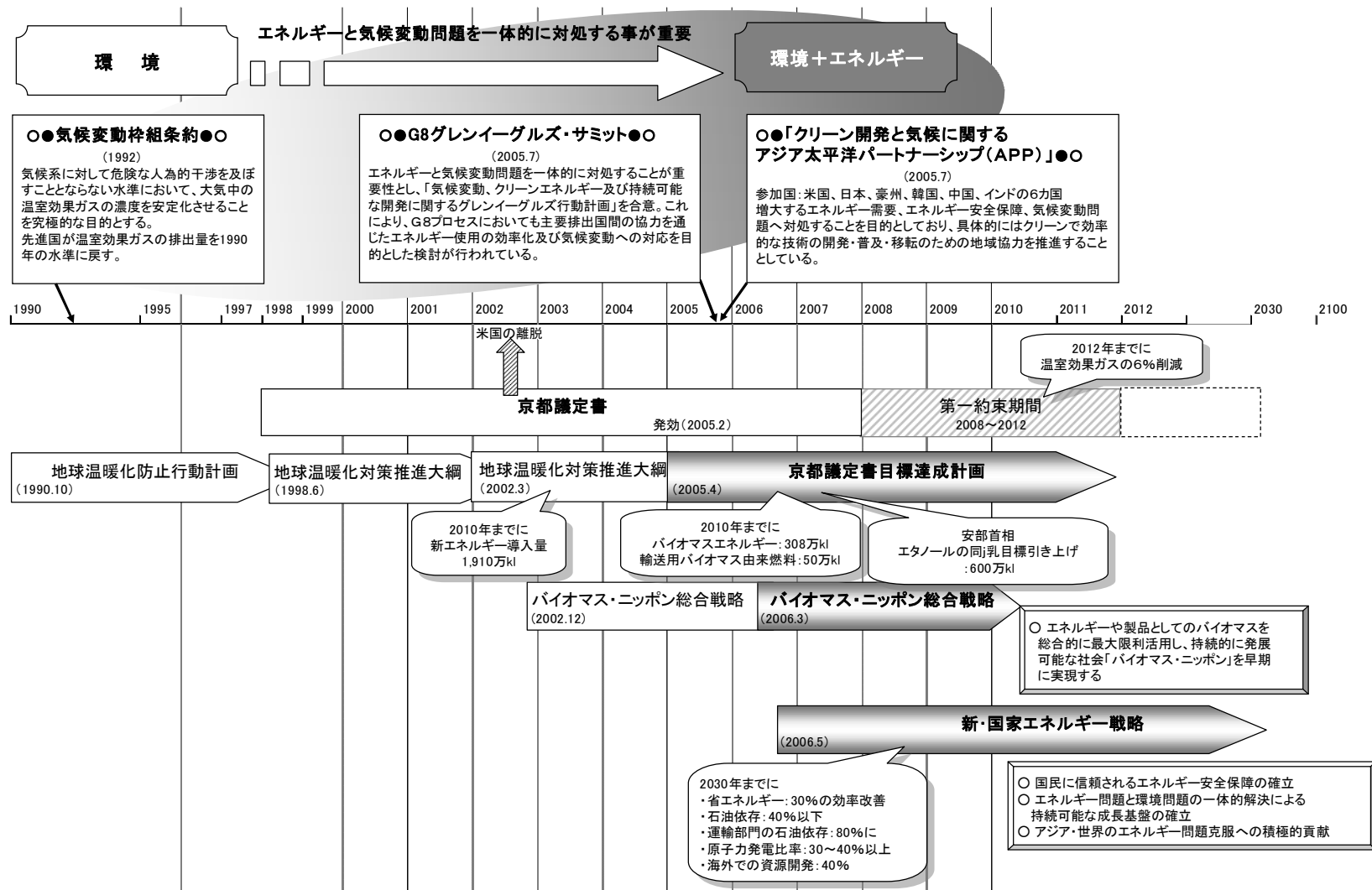


図 1.1-1 バイオマス関連政策と背景<sup>3)</sup>

<sup>3)</sup> 各種資料より TRI 作成

## ②各省庁の動向

2005年4月に「京都議定書目標達成計画」で掲げられた2010年の目標は、2002年3月に「地球温暖化対策推進大綱」の目標と比べて、新エネルギー全体では1,910万kLと変更はないが、内訳は太陽熱利用からバイオマス熱利用に大幅にシフトしている。

経済産業省は同達成計画に基づき新エネルギーの導入目標を見直ししている。また、18年5月の「新・国家エネルギー戦略」では、省エネルギー目標（2030年までに少なくとも30%の効率改善）、石油依存度低減目標（2030年までに40%を下回る水準）、運輸部門における石油依存度低減目標（2030年までに80%程度）、原子力発電目標（2030年以降においても発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上）、海外での資源開発目標（2030年までに40%程度）などの目標を掲げている。

環境省は「京都議定書目標達成計画」を受け、平成18年5月に発表した「エコ燃料利用推進会議報告書 ー輸送用エコ燃料の普及拡大についてー」、「エコ燃料利用推進会議報告書 ー熱利用エコ燃料の普及拡大についてー」において2010年の目標値（原油換算50万kLのエコ燃料を導入）、2020年の目標値（原油換算約200万kLのエコ燃料を導入）、2030年の目標値（原油換算約400万kLのエコ燃料を導入）を設定している。

一方、バイオマス・ニッポン総合戦略ではエネルギーや製品としてのバイオマスを総合的に最大限利活用し、持続的に発展可能な社会「バイオマス・ニッポン」を早期に実現する事を目標としているが、バイオマス導入目標値は設定しておらず、ガス化プラントなどの規模別変換効率目標やバイオマス年間賦存量を推定しているに留まっている。

農林水産省は体系的な数値目標は掲げていないが、平成19年度の政策目標に新たなバイオマス・ニッポン総合戦略のポイントとして、「国産バイオ燃料を5年後に単年度5万kL以上導入」といった政策目標を掲げている。

## (2) 京都議定書目標達成計画

### ①概要

バイオマスエネルギーの利用は二酸化炭素排出削減を目標とする方向からも進められ、「京都議定書目標達成計画」<sup>4)</sup>に、新エネルギー導入の数値目標が掲げられている。同計画では、2010年度までに温室効果ガスを6%削減するために、新エネルギーを原油換算で1,910万kL導入するとし、その内バイオマスエネルギーは308万kL（輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料50万kLを含む）としている。

### ◎ 京都議定書目標達成計画（平成17年4月）<sup>4)</sup>

<我が国の地球温暖化対策の目指す方向>

我が国は、京都議定書の6%削減約束を確実に達成する。加えて、更なる長期的・継続的な排出削減を目指す。21世紀が「環境の世紀」とされ、地球温暖化問題への対処が人類共通の重要課題となる中、我が国は、他国のモデルとなる世界に冠たる環境先進国家として、地球温暖化問題において世界をリードする役割を果たしていく。

<目標値の根拠となる関連施策>

○ 新エネルギー対策の推進（バイオマス熱利用・太陽光発電等の利用拡大）

■ 対策評価指標（2010年度）：新エネルギー導入量 1,910万kL（原油換算）

■ 対策効果 排出削減見込量：約4,690万t-CO<sub>2</sub>

■ 対策効果 排出削減量の積算時に見込んだ前提：

新エネルギー	見込んだ排出削減量
太陽光発電	118万kL
風力発電	134万kL
廃棄物発電+バイオマス発電	586万kL
太陽熱利用	90万kL
廃棄物熱利用	186万kL
バイオマス熱利用	308万kL (輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料(50万kL)を含む)
未利用エネルギー	5万kL
黒液・廃材等	483万kL

※これらの内訳は、一応の目安とされている。

<sup>4)</sup> <http://www.env.go.jp/houdou/gazou/5937/6699/2278.pdf>



## ②新エネルギー導入目標の設定

京都議定書目標達成計画において、2010年に新エネルギー導入目標を原油換算で1,910万kL（我が国の一次エネルギー供給量の約3%相当）とし、バイオマス熱利用は原油換算308万kL、その内数として輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料を原油換算50万kLとした。2005年4月に「京都議定書目標達成計画」で掲げられた2010年の目標は、2002年3月に「地球温暖化対策推進大綱」の目標と比べて、新エネルギー全体では1,910万kLと変更はないが、内訳は太陽熱利用からバイオマス熱利用に大幅にシフトしている。京都議定書目標達成計画における対策の削減量の根拠となるバイオマスについては、経済産業省が推計を実施し以下のように公開している<sup>5</sup>。

### 新エネルギー対策の推進（バイオマス熱利用・太陽光発電等の利用拡大）

#### 廃棄物発電、バイオマス発電の利用

##### 【一般廃棄物発電】

- ・ 今後、廃棄物処理の広域化・大規模化の進展、焼却処理施設の更新が想定されており、これに伴い、発電設備の設置率が高まるとともに、併設される発電設備の容量及び設備利用率の向上（50%→65%）が見込まれる。

##### 【産業廃棄物発電】

- ・ 現在、発電を行っていない処理施設に発電設備導入が普及するものと見込まれる。直近の導入量の伸び率は年間80%（2001年度/2002年度）となっており、一方で、2010年度の目標（目安）達成に必要な伸び率は年平均40%（2010年度/2002年度）となっている。したがって、2010年度の目標（目安）の達成が見込まれる。

##### 【バイオマス発電】

- ・ 現在は、主に建設廃材を用いた大規模木質バイオマス発電の普及が進んでいるところ。現時点から2007年度までの計画値の伸び率は約20%強であり、それ以降で2010年度の目標（目安）の達成に必要な伸び率は約20%であることから、このままの伸び率で行けば、2010年度の目標（目安）の達成が見込まれる。
- ・ 今後は、更に、電力会社による石炭火力発電所における木質バイオマス混焼発電の取り組みといった新たな形でのバイオマス利用も進展すると見込まれることから、これらにより、2010年度の導入目標（目安）達成が見込まれる。

#### バイオマス熱利用

- ・ ガソリンにバイオエタノールから製造されるETBEを混入することにより導入を見込む。また、エタノール混合ガソリン（E3）について、国内流通実証実験を行っているところであり、地域における取り組みや計画中のものもある。将来的にも、地域における取り組みは増大していくと見込む。更に、バイオディーゼル燃料（BDF）についても、既に京都市をはじめとして70箇所以上で利用が進められており、そのほかにも計画を有する地域もある。これらにより、2010年度までに輸送用で合計50万kL程度の利用が見込まれる。
- ・ このほかにも、自治体によるバイオエタノールのボイラへの利用が進展し、業務用バイオエタノールとしての利用が見込まれる。
- ・ また、バイオマス・ニッポン総合戦略に基づき政府としてバイオマスタウン構想を推進しており（平成22年度で500市町村）これによっても、バイオマス熱利用の促進が見込まれる。

<sup>5</sup> 経済産業省、「新エネルギー対策の推進（バイオマス熱利用・太陽光発電等の利用拡大）」

表 1.1-2 新エネルギー導入目標 (単位：原油換算 万 kL)

		2002 年度	2010 年度				2030 年度 <sup>6)</sup> (参考)
			レファレンス <sup>7)</sup> ケース	現行対策推進 <sup>8)</sup> ケース	目標ケース <sup>9)</sup> (2002 年設定)	目標ケース <sup>10)</sup> (2005 年設定)	
発電分野	太陽光発電	16	62	118	118	118	2,024
	風力発電	19.7	32	134	134	134	269
	廃棄物発電＋ バイオマス発電	174.6	230.6	586	586	586	494
熱利用分野	太陽熱利用	74	74	74	439	90	112
	廃棄物熱利用	164	4.4	14	14	186	423
	バイオマス熱利用	68	-	67	67	308 <sup>11)</sup>	
	未利用エネルギー <sup>12)</sup>	4.6	9.3	58	58	5.0	87
	黒液・廃材等	471	487	487	494	483	537
合計		991.9	574.7	700	1,910	1,910	3,946

<sup>6)</sup> 総合資源エネルギー調査会が 2005 年 3 月に報告した「2030 年のエネルギー需給展望」よりの引用。

<sup>7)</sup> 新エネルギー部会報告書 (2001 年 6 月) において「現状対策維持ケース」として推計された 878 万 kL を基本に 2010 年の新エネルギー導入量を 1,051kL としたときの見通し。

<sup>8)</sup> 発電分野については、2003 年 4 月から本格施行された RPS 法の円滑な実施、太陽光発電を始めとする技術開発の加速化、風力発電の系統連系対策・立地規制調整等の補強・拡充により、目標達成の確実性を高めることが可能と見込む。一方、熱分野については、その導入が必ずしも順調に進んでいない分野もあり、導入加速のための追加対策が採られない場合は、250 万 kL 程度目標を下回る可能性が高く、発電・熱を含めた総計は、1,653 万 kL に留まると見込む。

<sup>9)</sup> 2002 年 3 月に「地球温暖化対策推進大綱」において掲げた目標値。

<sup>10)</sup> 2005 年 4 月に「京都議定書目標達成計画」において設定された目標値。

<sup>11)</sup> 輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料 (50 万 kL) を含む。

<sup>12)</sup> 未利用エネルギーには雪氷冷熱を含む。

### (3) バイオマス・ニッポン総合戦略

国内におけるバイオマス関連政策の中心的存在は「バイオマス・ニッポン総合戦略」で、地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、農林水産省をはじめとした関係府省が協力して、バイオマスの利活用推進に関する具体的取り組みや行動計画を平成14年12月に閣議決定した。

平成18年3月に、これまでのバイオマスの利活用状況や平成17年2月の京都議定書発効にあわせて開始された「京都議定書目標達成計画」を踏まえて見直しを行い、「バイオマス・ニッポン総合戦略」を改定した。国産バイオ燃料の本格的導入、林地残材などの未利用バイオマスの活用などによるバイオマスタウン構築の加速化などを図るための施策を推進するとした。

表 1.1-3 バイオマス年間賦存量と利活用の展開方向<sup>13)</sup>

	現状	2010年	2020年	2050年	利活用の展開方向
廃棄物系 バイオマス	3,280				<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物系バイオマスは、廃棄物処理費を付加して収集されるため、利活用のコストとして使用できる。</li> <li>・食品廃棄物や建設発生木材は、制度の浸透、収集・輸送、変換の効率化などにより進展する。</li> </ul>
未利用 バイオマス		660			<ul style="list-style-type: none"> <li>・農作物非食用部、林地残材などの未利用バイオマスは、<u>効率的な収集システムの確立、生産・流通・加工のコストダウン、製品・エネルギー利用の拡大を目指した取り組みの強化、電力需要の創出、新たな技術を活用したビジネスモデルの導入</u>などにより、その利活用が進む。</li> </ul>
資源 作物			620		<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギーや製品への変換効率が大幅に向上し、バイオマスに対して原料代を支払ったうえで<u>化石資源に由来するエネルギーや製品価格に対抗できる</u>ことを期待。</li> <li>・未利用地に、<u>エネルギー源や製品の原料とすることを目的とする「資源作物」</u>が栽培されるようになると推測。</li> </ul>
新作物				4,600	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>海洋植物や遺伝子組換え植物</u>といった新作物による効率的なバイオマスの生産の可能性を含め、飛躍的に生産量が增大していることを期待。</li> </ul>

<sup>13)</sup> バイオマス・ニッポン総合戦略、平成18年3月

＜技術的観点からの具体的目標：2010年＞

- 直接燃焼、ガス化プラント等含水率の低いバイオマスをエネルギーへ変換する技術
  - ・バイオマス日処理量 **10t 級プラントのエネルギー変換効率：電力 20%、熱 80%**
  - ・バイオマス日処理量 **100t 級プラントのエネルギー変換効率：電力 30%**
- メタン発酵等含水率の高いバイオマスをエネルギーへ変換する技術
  - ・バイオマス日処理量 **5t 級プラントのエネルギー変換効率：電力 10%、熱 40%**
- バイオマスを製品へ変換する技術において
  - ・現時点で実用化しているバイオマス由来のプラスチックの原料価格を **200 円/kg**
  - ・リグニンやセルロース等の有効活用を推進するため、**新たに実用化段階の製品を 10 種以上**作出

＜「バイオマス・ニッポン」の進展シナリオ＞

- ・バイオマスの種類に応じた利活用の展開方向（関連部のみ抽出）

**廃棄物系バイオマス：略**

**未利用バイオマス：2010年頃**を見通せば、現時点では、収集コストの面から農地に放置される等未利用である農作物非食用部、林地残材といった未利用バイオマスが、生産・排出者側の努力も含めた効率的な収集システムの確立、川上から川下までの一貫した林業コスト全般の縮減を図るシステムの導入などによる生産・流通・加工のコストダウン、製品・エネルギー利用の拡大を目指した取り組みの強化や電力需要の創出、さらには新たな技術を活用したビジネスモデルの導入などにより、その利活用が進むことが期待される。未利用バイオマスの年間の賦存量としては、湿潤重量で約 1,700 万 t、乾燥重量で約 1,500 万 t が見込まれる。これを**エネルギーに換算すると約 260PJ**（原油換算で約 660 万 kL）、炭素量に換算すると約 640 万 t に相当する。

**資源作物**：現時点では、さとうきび等からバイオエタノールを製造し、ガソリンとの混合燃料として利活用するなどの実験・実証レベルの取り組みや、地域における展示的取り組みなどにとどまっているが、**2020年頃**には、エネルギーや製品への変換効率が大幅に向上し、バイオマスに対して原料代を支払ったとしても化石資源に由来するエネルギー価格や製品価格に対抗できるようになることが期待される。この場合、未利用地に、エネルギー源や製品の原料とすることを目的として、いわゆる「資源作物」が栽培されるようになるものと推測される。資源作物の年間の賦存量を試算すると、湿潤重量で約 2,200 万 t、乾燥重量で約 1,300 万 t が見込まれる。これを**エネルギーに換算すると約 240 PJ**（原油換算で約 620 万 kL）、炭素量に換算すると約 600 万 t に相当する。

**新作物**：現時点から半世紀後、すなわち **2050年頃**には、海洋植物や遺伝子組換え植物といった新作物による効率的なバイオマスの生産の可能性を含め、飛躍的に生産量が増大していることが期待される。廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス、資源作物の年間の賦存量を単純に合計すると、すべてを**エネルギーに換算すると約 1,800PJ**（原油換算で約 4,600 万 kL）、炭素量に換算すると約 4,300 万 t（国内で生産されるプラスチックに含まれる全炭素量の約 4.3 倍）に相当する。

注) 2006年6月30日、国産輸送用バイオ燃料推進本部が農林水産省に設置され、2012年までに国産バイオ燃料単年度5万kL以上を目標としている。

<sup>14)</sup> [http://www.maff.go.jp/biomass/pdf/h18\\_senryaku.pdf](http://www.maff.go.jp/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf)

#### (4) エコ燃料利用推進会議報告書

環境省は「京都議定書目標達成計画」を受け、平成 18 年 5 月に「エコ燃料利用推進会議報告書 ー輸送用エコ燃料の普及拡大についてー」、「エコ燃料利用推進会議報告書 ー熱利用エコ燃料の普及拡大についてー」を公開している。

#### ◎ エコ燃料利用推進会議報告書（平成 18 年 5 月）

#### ○ 輸送用エコ燃料の普及拡大について<sup>15)</sup>

##### <エコ燃料導入目標>

京都議定書目標達成計画においては、輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料の利用について、**2010 年度に原油換算 50 万 kL** の導入が見込まれている（輸送用燃料全体約 8,600 万 kL の約 0.6%に相当）。

##### <現状>

- ・ バイオエタノールについては、全国 6 地域でバイオエタノールの製造、エタノール 3%混合ガソリン (E3)の製造・流通・利用に係る実証事業が展開。
- ・ バイオディーゼル(BDF)については、国内では廃食用油を原料とした BDF 製造・利用の取り組みを実施。一般家庭からの廃食用油回収が基本で効率的な回収体制の整備が課題。また、ニート (100%)BDF 及び BDF 混合軽油の燃料品質の確保が重要。
- ・ 広く普及可能と見られる、バイオエタノール及び BDF についても最大限取り組みを加速しても、国産エコ燃料は 3.6~4.6 万 kL で、2010 年度に原油換算 50 万 kL の導入目標を達成するためには、相当量の輸入エコ燃料(差引 45~46 万 kL)が必要。

##### <普及目標>

##### (1) 2010 年（第一約束期間 2008~2012 年）

**原油換算 50 万 kL のエコ燃料を導入**(輸送用燃料全体の約 0.6%に相当)。レギュラーガソリンの E3 化及びハイオクガソリンの ETBE 添加により、ガソリン需要量全体の最大 1/2 にバイオエタノールを導入。また、E10 対応車の市場投入、全新車の E10 対応化を目指す。BDF については、地域の取り組みとしてのニート又は B20 等の高濃度の混合軽油での利用を促進。低濃度の BDF 混合軽油 (B5) のより広範な利用を具体化。

##### (2) 2020 年

**原油換算約 200 万 kL のエコ燃料を導入**(燃料消費量が現状から約 2 割削減された場合に輸送用燃料全体の約 3%に相当)。レギュラーガソリンの E3 化 (一部 E10 化) 及びハイオクガソリンの ETBE 添加により、ガソリン需要量全体の約 2/3 にバイオエタノール(原油換算約 110 万 kL)を導入。このうち、約 60 万 kL の国内生産量を確保。この時点で既販車の一部は E10 対応化済み。引き続き E10 対応化の進展を図る。油需要量全体の約 1/3 に BDF を混合又はエコ軽油、BTL を導入(必要となるこれらエコ燃料は原油換算約 90 万 kL)。BDF 又はエコ軽油は国産植物油、BTL は各種廃棄物や森林資源等国内バイオマスからの生産を最大限確保することとし、アジア地域等からの輸入と併せて必要量を確保。

##### (3) 2030 年

**原油換算約 400 万 kL のエコ燃料を導入**(燃料消費量が現状から約 5 割削減された場合に、輸送用燃料全体の約 10%に相当)。ガソリン需要量すべてについて E10 化(必要となるバイオエタノールは原油換算約 220 万 kL)。各種廃棄物やエネルギー資源作物、森林資源の活用による国産バイオエタノールの供給を最大限確保することとし、ブラジルやアジア地域等からの輸入と併せて必要量を確保。軽油需要量全量に BDF を混合又はエコ軽油、BTL を導入(必要となるこれら燃料は原油換算約 180 万 kL)。国内バイオマスからの生産を最大限確保することとし、アジア地域等からの輸入と併せて必要量を確保する。

<sup>15)</sup> [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf\\_ecofuel/04/ref02.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/04/ref02.pdf)

表 1.1-4 目標値<sup>16)</sup>

		2010年	2020年	2030年
全体	輸送用エコ燃料導入量	50万kl(原油換算)	約200万kl(原油換算)	約400万kl(原油換算)
	輸送用燃料中のエコ燃料の割合	約0.6%	約3%	約10%
	輸送用燃料の消費量の抑制	現状維持(約8,600万kl)	現状の約2割削減	現状の約5割削減
ガソリン代替	バイオエタノール導入割合	需要量全体の最大1/2にE3とETBEを導入	需要量全体の2/3にE3(一部E10)とETBEを導入	需要量全体にE10を導入
	バイオエタノール導入量	約80万kl(約48~49万kl) - BDF輸入相当分	約190万kl(約110万kl)	約380万kl(約220万kl)
	うち国産	約5万kl(約3万kl)	約100万kl(約60万kl)	輸入を含め約380万kl
	うち輸入	全体導入目標量と国産エコ燃料+輸入BDFとの差分	約90万kl(約50万kl水準)	ブラジルに加え、アジア地域等からの輸入も想定
	自動車の対応	第1約束期間中に全新車のE10対応化	既販車のE10対応の進展	既販車まですべてE10対応
軽油代替	BDF・エコ軽油・BTL導入割合	ニート利用を中心に現行の2~3倍増の国産BDF導入+輸入相当分	ニート利用に加え、需要量全体の1/3にBDF・エコ軽油・BTLを導入	ニート利用に加え、需要量全体にBDF・エコ軽油・BTLを導入
	BDF・エコ軽油・BTL導入量	約1.1~1.6万kl(約1~1.5万kl)+輸入相当分	約100万kl(約90万kl)	約200万kl(約180万kl)
	うち国産	約1.1~1.6万kl(約1~1.5万kl)	輸入を含め約100万kl	輸入を含め約200万kl
	うち輸入	今後の動向を踏まえて見込む	アジア地域等からの輸入も想定	アジア地域等からの輸入も想定
	自動車の対応	スーパークリーンディーゼルの販売	スーパークリーンディーゼルの大幅普及(ガソリン:軽油比率の最適化)	既販車までほぼスーパークリーンディーゼル化(ガソリン:軽油比率の最適化)

\*1 導入量で数字を併記しているものは、( )内は原油換算量。

\*2 2020年及び2030年のエコ燃料導入量のうち、ガソリン代替と軽油代替の内訳は、ガソリン:軽油の最適比率として(クリーンディーゼル乗用車の普及・将来見通しに関する検討会報告書(2005年4月))による57:44という試算値を仮定し、それぞれに占めるエコ燃料の割合は同じと仮定して算定。

\*3 BDFの輸入については、民間事業者によりすでに具体化している計画(約1.8~6万kl/年)があり、今後の動向を踏まえて適切に見込むことが必要。

<sup>16)</sup> [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf\\_ecofuel/04/ref02.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/04/ref02.pdf)

◎ エコ燃料利用推進会議報告書（平成 18 年 8 月）

○ 熱利用エコ燃料の普及拡大について<sup>17)</sup>

<目標：京都議定書目標達成計画（2005 年 4 月）>

- ・ 新エネルギー対策の推進による **2010 年度の新エネルギー導入量を原油換算 1,910 万 kL**（我が国の一次エネルギー供給量の約 3%相当）、これによる排出削減見込量を約 4,690 万 tCO<sub>2</sub> と見込んでいる。
- ・ バイオマス熱利用については、**原油換算 308 万 kL** の導入が見込まれており、その内数として、**輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料の利用については、原油換算 50 万 kL** の導入が見込まれている。また、バイオエタノールのボイラへの利用の進展、バイオマスタウン構想の推進によるバイオマス熱利用の促進も記されている。

<目標：バイオマス・ニッポン総合戦略(2006 年 3 月)>

- ・ 見直しの背景として、輸送用燃料の導入など大幅なバイオマスエネルギーが必要で、国産バイオマス輸送用燃料の導入の道筋を描くことが必要であることがある。
- ・ エコ燃料の利用促進に関する具体的な目標として、**2010 年度を目途に、マテリアル利用及びエネルギー利用全体で、食品廃棄物や下水汚泥、家畜ふん尿、建設発生木材等の廃棄物系バイオマスについては炭素換算で 80%以上**（賦存量：炭素量換算 3,050 万 t、原油換算 3,280 万 kL）、**農作物非食用部や間伐材等の未利用バイオマスについては炭素換算で 25%以上**（賦存量：炭素量換算 640 万 t、原油換算 660 万 kL）、利活用されるものとしている。また、**エネルギー源や製品の原料とすることを目的として、炭素量換算で 10 万 t 程度**の資源作物が利活用されるとしている。

<普及目標>

(1) 2010 年（第一約束期間 2008～2012 年）

熱量ベースでバイオマス利用の 9 割以上を占める廃棄物系バイオマスにより、熱利用目標の導入量全体をカバーするものと仮定すると、現状の熱利用実績は、有効利用されている廃棄物系バイオマスの約 6%の熱利用に相当する原油換算 79 万 kL 程度であり、約 17%まで熱利用の比率を上げることにより、2010 年目標の 258 万 kL の達成を目指すこととする。そのため、短期的には廃棄物系バイオマスを中心として、必要な熱利用の新規導入を大幅に進め、状況に応じてマテリアル利用からの転換等を図る。

(2) 2030 年

中長期的には、廃棄物系バイオマスの利用率を 100%とし、そのうち約半分をエコ燃料として熱利用することを目標とする。未利用バイオマスについては、利用率を 50%とし、そのうち約 8 割程度をエコ燃料として熱利用することを目標とする。エコ燃料への変換率については、高度利用の進展等により全体の平均で 80%を達成するものと見込む。なお、高度利用の進展により、中長期の導入量の目安には輸送用燃料も含まれることになる。その結果、長期的な導入量の目安は、バイオマス賦存量全体の約 4 割に相当する量（原油換算約 1,260 万 kL）となり、2010 年度の輸送用燃料を含むバイオマス熱利用の導入目標 308 万 kL の約 4 倍となる。

<sup>17)</sup> [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf\\_ecofuel/rep1808/full.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/rep1808/full.pdf)

表 1.1-5 熱利用エコ燃料の短期的な（2010 年度）普及目標と導入量の目安（参考値）<sup>18)</sup>

(単位：原油換算万 kL)

	バイオマス 賦存量*1	バイオマス 利用率*2	熱利用 比率*3	エコ燃料 変換率*4	エコ燃料 導入量
廃棄物系バイオマス	約 2,640	80%	17%	70%	258
未利用バイオマス	約 660	25%	—	80%	—
合計	約 3,300	—	—	—	258

- \*1 バイオマス賦存量は、2005 年度実績と同じ数字を仮定
- \*2 バイオマス利用率は、バイオマス・ニッポン総合戦略の目標
- \*3 未利用バイオマスについても熱利用の導入拡大を図るが、  
計算上は廃棄物系バイオマスのみ熱利用を仮定
- \*4 既存技術の変換率を参考に設定

表 1.1-6 熱利用エコ燃料の中長期的な（2030 年度）普及目標と導入量の目安（参考値）<sup>18)</sup>

(単位：原油換算万 kL)

	バイオマス 賦存量*1	バイオマス 利用率*2	熱利用 比率*2	エコ燃料 変換率*2	エコ燃料 導入量
廃棄物系バイオマス	約 2,640	100%	50%	80%	約 1,050
未利用バイオマス	約 660	50%	80%	80%	約 210
合計	約 3,300	—	—	—	約 1,260

- \*1 バイオマス賦存量は、2005 年度実績と同じ数字を仮定
- \*2 バイオマス利用率、熱利用比率、エコ燃料変換率は、目標として設定

<sup>18)</sup> [http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf\\_ecofuel/rep1808/full.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/rep1808/full.pdf)



## (5) 新・国家エネルギー戦略

経済産業省は18年5月に「新・国家エネルギー戦略」を発表した。エネルギーの安全保障の立場から、2030年までに省エネルギー目標として少なくとも30%の効率改善、石油依存度は40%を下回る水準に、運輸部門における石油依存度は80%程度に押しとどめるとしている。この戦略を実現するための取り組みの中でバイオマスに関連するものは「運輸エネルギーの次世代化計画」「新エネルギーイノベーション計画」である。

### ◎ 新・国家エネルギー戦略（平成18年5月）<sup>19)</sup>

#### <数値目標>

- **省エネルギー目標**：2030年までに少なくとも**30%**の効率改善を目指す。
- **石油依存度低減目標**：2030年までに**40%**を下回る水準を目指す。
- **運輸部門における石油依存度低減目標**：2030年までに**80%程度**を目指す。
- **原子力発電目標**：2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を**30～40%程度**以上にする 것을 目指す。
- **海外での資源開発目標**：2030年までに**40%程度**を目指す。

#### <概要>

- (1) 戦略によって実現を目指す目標
  - 国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立
  - エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立
  - アジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献
- (2) 戦略策定に当たっての基本的視点
  - 世界最先端のエネルギー需給構造の実現
  - 資源外交、エネルギー環境協力の総合的強化
  - 緊急時対応策の充実
- (3) 戦略実施に際しての留意事項
  - 中長期にわたる軸のぶれない取り組みとそのための明確な数値目標の設定
  - 世界をリードする技術力によるブレークスルー
  - 官民の戦略的連携と政府一丸となった取り組み体制の強化

#### <実現に向けた取り組み>

1. 戦略を構成する具体的なプログラムと位置付け
2. 省エネルギーフロントランナー計画
3. 運輸エネルギーの次世代化計画（後述）
4. 新エネルギーイノベーション計画（後述）
5. 原子力立国計画
6. 総合資源確保戦略
7. アジア・エネルギー環境協力戦略
8. 緊急時対応の強化
9. エネルギー技術戦略の策定
10. 「新・国家エネルギー戦略」の実現に向けて

<sup>19)</sup> <http://www.meti.go.jp/press/20060531004/senryaku-houkokusho-set.pdf>

- ◎ 新・国家エネルギー戦略（平成 18 年 5 月）
- 運輸エネルギーの次世代化計画<sup>20</sup>

<数値目標>

**運輸部門の石油依存度を 2030 年までに 80%に低減**

<目標>

石油市場における需給逼迫などエネルギー市場の変動にも柔軟に対応でき、高効率な運輸インフラを確立するため、2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80%程度となることを目指し、必要な環境整備を行う。

<具体的取り組み>

- (1) 自動車燃費の着実な改善
- (2) 燃料多様化に向けた環境整備

① バイオマス由来燃料供給インフラの整備

バイオエタノールを原料として製造される ETBE に関するリスク評価や、バイオエタノールの活用に係る実証実験を進める。バイオマス由来燃料供給インフラの整備を進めるため、早急に、土壌汚染対策及びバイオマス由来燃料導入のために必要な給油所の地下タンク・配管等の環境・安全対策に対し、適切な支援等の措置を講じる。

② ディーゼルシフトの推進

③ バイオマス由来燃料及び GTL の一層の活用のためのインフラ整備

バイオエタノールの安定供給や経済性の確保などの課題に留意しつつ、自動車等のインフラ面の整備が不可欠。国は自動車産業に対し、モデルチェンジする車種をバイオエタノールが 10%程度混合されたガソリンにも対応した車とするよう対応を促しつつ、2020 年頃までを目途に、対応車の普及状況を勘案し、既販車の安全性及び排ガス性状を確認した上で、品確法施行規則に定めるエタノールを含む含酸素化合物の混合上限規定を見直す。バイオマス由来燃料や GTL を中長期的に一層活用していくため、各燃料の供給安定性や、環境適合性・安全性といった車両側の対応も見極め、中長期的な導入促進目標や環境整備の在り方について総合的に検討。

(3) バイオマス由来燃料、GTL 等新燃料の供給確保

① バイオマス由来燃料の供給促進・経済性向上

バイオマス由来燃料の供給促進に向け、国産バイオエタノール生産拡大に向けた地域の取り組みを支援、開発輸入支援の在り方を検討、バイオエタノール大規模実証事業、木材などセルロース系原料からの高効率エタノール製造技術開発など、バイオマス由来燃料の経済性向上を支援。

② 次世代燃料に関する技術開発促進

我が国独自の GTL 技術は、従来利用が困難であった CO<sub>2</sub> を含む天然ガスの利用を可能とするため、技術開発を一層促進する。GTL 製造技術を応用して、BTL、CTL 等、次世代液体燃料に関する技術開発を急ぐ。また CTL に関するアジア諸国との協力を行う。

(4) 電気・燃料電池自動車等の開発・普及促進

- ① 電気・燃料電池自動車等の普及促進策
- ② 新世代自動車向け電池に関する集中的な技術開発の実施
- ③ 燃料電池自動車に関する技術開発の推進

<sup>20</sup> <http://www.meti.go.jp/press/20060531004/senryaku-houkokusho-set.pdf>

◎ 新・国家エネルギー戦略（平成 18 年 5 月）

○ 新エネルギーイノベーション計画<sup>21)</sup>

<数値目標>

一次エネルギー供給に占める石油依存度を、2030 年までに 40%を下回る水準

<目標>

産業としての自立を目指しつつその導入拡大を図ることによって、2030 年までに、例えば以下のような方向性で普及に取り組む。

- ・ 太陽光発電に要するコストを火力発電並みとする。
- ・ バイオマスエネルギー、風力発電による地産地消型の取り組みを推進し、地域におけるエネルギー自給率を引き上げる。
- ・ 自動車の新車販売の多くをハイブリッド化するとともに、電気自動車・燃料電池自動車の導入を促進する。

<具体的取り組み>

① 成長ステージに応じた導入支援措置による「需要」と「供給」の拡大

- a. 普及期に移行しつつある新エネルギーの市場拡大
- b. 離陸準備段階にある新エネルギーの中長期的な成長支援

② 周辺関連産業や地域との融合を通じた厚みのある「産業構造」の形成

- a. 太陽光発電産業群の形成
- b. 燃料電池・蓄電池などの戦略的分野における関連産業群の育成
- c. 風力、バイオマスなどを活用した地域ビジネスの育成
- d. 次世代エネルギーパークの整備

③ 革新的なエネルギー高度利用の促進

超燃焼とエネルギー貯蔵を鍵として、化石燃料依存からの脱却を可能とするような将来のエネルギー経済を支える基幹技術を戦略的に開発する。また、化石燃料自体の有効利用も含め、革新的技術の開発と普及を推進し、エネルギーの高度利用を促進する。具体的には、非シリコン系太陽電池の開発・普及、シリコンの皮膜化による薄型太陽電池の開発、バイオ技術などを活用したバイオエタノールの高効率製造技術の開発、バイオマス起源ガス活用技術の開発、次世代蓄電池技術の開発、燃料電池の抜本的低コスト化、非在来型石油等重質油利用拡大技術の開発、メタンハイドレート生産技術の開発や石炭ガス化複合発電など、エネルギーの可能性を開くための新たな技術オプションの開拓を続ける。

④ 新エネルギー・ベンチャービジネスに対する支援の拡大

<sup>21)</sup> <http://www.meti.go.jp/press/20060531004/senryaku-houkokusho-set.pdf>

### 1.1.2 平成19年度 主要省庁の実施事業概要

平成19年度バイオマス関連プロジェクトを省庁別に抽出（バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議資料などを参照）し、以下のように整理した<sup>22)</sup>。

総務省	
ETBE(エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル)の安全対策の検討	エネルギー対策としてETBEの導入に向けた準備が進められていることから、ETBEの安全対策について検討を実施。
沖縄県におけるバイオエタノールの安全対策の検証	平成19年度より標記検証が予定されており、この中でE3を用いた給油取扱所の検証も行われる予定であることから、消防庁においてもE3の実用段階での安全対策の検証を実施。
文部科学省	
一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト	都市・地域から排出されるバイオマス・一般廃棄物の無害化処理と再資源化を図るとともに、その実用化と普及を目指し、要素技術、影響・安全性評価及び経済・社会システム設計に関する研究開発を産学官の連携により行う。
都市エリア産学官連携促進事業（実施地域の一部）	全国各地で、バイオマス分野を含めた様々な分野において、大学等の「知恵」を活用し、新事業の創出などを目指した産学官共同研究などを実施する。

<sup>22)</sup> 環境分子科学研究第Ⅱ期、[http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/progmeet/chem/proc02/chempg02\\_135.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/project/envpt/progmeet/chem/proc02/chempg02_135.pdf)

農林水産省 <sup>23)</sup>	
1. バイオ燃料地域利用モデルの整備と技術実証への支援	輸送用バイオ燃料の利用推進に向け、地域における原料作物の調達から燃料製造・供給まで一体となった取り組みを支援するため、バイオ燃料実証事業地域協議会の事業活動経費、ならびに輸送用バイオ燃料製造・貯蔵・供給施設の設置・改修などに要する経費及び大規模技術実証に要する経費を助成。
2. 資源作物の導入等に向けた研究開発等－(1) 地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発(技術会議)	バイオ燃料への利用に向けた国産の資源作物の育成と低コスト栽培技術などの開発、バイオマスをエネルギーやマテリアルとして利活用する技術を最適に組み合わせたバイオマス利用モデルの構築・実証・評価研究を重点的に実施。
3. バイオマスタウンの構築等バイオマスの総合的利活用の推進	地域で発生・排出されるバイオマス資源を可能な限り循環利用する総合的利活用システムを構築するため、バイオマスタウン構想の策定やバイオマスの変換・利用施設などの一体的な整備などの取り組みを支援。
4. その他のバイオマス利活用のための条件整備<革新的な研究・技術開発の推進>－(1) 地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価と高度対策技術の開発(技術会議)	地域有機性資源の特性に応じたバイオマスエネルギー生産技術の開発・実証・実用化。
4－(2) 低コスト木質資源利用技術開発事業(林野庁)	林地残材、製材工場残材などの未利用木質資源の利用の推進を図るため、木質成分のうち未開拓の天然資源であるリグニンを低コストで分離・精製する技術及びその成分を用いた高度利用技術の開発を実施。
4－(3) 木質バイオマス成分高度化利用技術開発事業(林野庁)	木質バイオマス抽出成分などの利用技術開発推進体制を構築し、試験研究機関などのシーズと民間企業などのニーズの効率的な連携を促進することにより実用化に向けた技術開発を実施。
5. その他のバイオマス利活用のための条件整備<木質バイオマス利活用の推進>－(1) 木質バイオマス利活用推進対策事業(林野庁)	バイオマス利用に関する技術を有する民間企業などから提案された地域モデルを実践。木質バイオマスを総合的に利用するモデルの構築。木質ペレットの規格化。木質ペレットを使用する意義などについての普及活動を実施。

<sup>23)</sup> <http://www.maff.go.jp/biomass/support/h19kakugaisan.pdf>

経済産業省	
1. 技術開発－①新エネルギー技術研究開発	2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、エネルギー転換分野における従来技術の高度化を推進するとともに、2010年度以降の中長期的観点に立ち、バイオエタノールの高効率製造技術の開発など新エネルギー次世代技術の開発を行う。
1－②新エネルギーベンチャー技術革新事業	ベンチャー企業などを対象とした多段階選抜型新エネルギー技術開発を支援することにより、他分野のベンチャー企業などが持つ潜在的な技術オプションを顕在化させ、新エネルギー産業の構築を図る。
1－③植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発	省エネルギーで環境調和型である等の優位性を有する植物機能を活用した工業原料や有用シクロ化物質などの高付加価値物質のモノ作り技術の基盤を構築するため、植物の物質生産機能の解析や物質生産制御技術などの開発を行うとともに、高付加価値物質生産のための組換え植物の基盤技術や閉鎖系での栽培システムの開発などを推進する。
2. 実証試験・モデル事業－ ①E3 地域流通スタンダードモデル創成事業	沖縄県宮古島において、バイオエタノール3%混合ガソリン（E3）の製造から給油までのフィールドテストを実施し、安全性、経済性などの観点から最適なE3流通モデルの確立を目指す。
2－②バイオマス由来燃料導入調査研究	ガソリンに混合して活用するバイオマス由来燃料のひとつであるETBE（Ethyl Tertiary Butyl Ether＝エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）について、影響などに関する調査研究を実施する。
2－③バイオマス由来燃料導入実証事業	給油所におけるETBE混合ガソリンの漏洩対策の確実性及び常時監視システムの有効性の検証などを行う。
2－④地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業	一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性などの状況・データを把握し、信頼性の向上に資するため、実フィールドでの実証試験を行う。

2-⑤バイオマスエネルギー地域システム化実験事業	バイオマスの収集・運搬からエネルギー転換・利用まで、一貫したプロセスの最適化を図るため、地域主導による先導的モデルを構築する。
2-⑥バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業	バイオマス及び雪氷熱のエネルギー利用を円滑化するための実証試験を実施する。
2-⑦新エネルギー等地域集中実証研究	地域内に存する太陽光発電、燃料電池発電などの新エネルギーなどによる分散電源と電力需要家を情報通信網で連絡し連携制御を行うことによって地域におけるエネルギー利用効率の向上を図る実証研究を行う。生ゴミなどから発生させたバイオガスをエネルギー源とする燃料電池、ガスエンジンや太陽光発電の新エネ複合システムを導入し、市役所、住宅などへ電力・熱を供給する。
3. 導入支援-①新エネルギー事業者支援対策事業	「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」に基づき認定を受けた利用計画に従って新エネルギーを導入する先進的な事業者に対して補助を行う。より環境負荷が少なく、経済制約の高い再生可能エネルギーに支援を重点化するとともに、新エネルギーの種別に補助率などの見直しを行い、事業者による新エネルギー導入コスト削減に向けた取り組みを促す方向で支援を行う。
3-②地域新エネルギー導入促進対策事業	新エネルギーの導入促進において、地方公共団体などや非営利民間団体が行う地域における先進的な取り組みに対し、導入事業費の一部を補助する。地域における新エネルギー導入の中長期的計画に基づき実施される事業や普及啓発事業を伴う事業を重点的に支援する。
4. バイオマス利活用環境の整備-①バイオマス等未活用エネルギー事業調査	バイオマスエネルギー及び雪氷冷熱エネルギーの導入を円滑化するための事業可能性調査を実施する。
4-②地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業	地域レベルでの新エネルギー・省エネルギーを推進するに当たり、各地方公共団体などの取り組みを円滑化するため、地域における新エネルギーの導入・普及啓発のための「ビジョン」策定を行う。

国土交通省	
1. 北海道関係 ①バイオガス利用システムを軸としたバイオマス利活用地域モデル構築調査	廃棄物系バイオマスの利活用促進やCO <sub>2</sub> 排出量の削減等のため、家畜排泄物などから産出されたバイオガスをメタンガスに精製シトラクタなどの燃料として利用できるシステムを構築しバイオマス利活用地域モデルの策定と普及に向けた調査・検討を行う。
1-②住宅等へのバイオガス活用型モデル事業	廃棄物系バイオマスである家畜排泄物などから産出されるバイオガスエネルギーを住宅などへ多角的に利用することにより、地域で消費するエネルギーは地域で産み出す「エネルギー地産地消」の地域モデルを新たに構築し普及・啓発を図る。
2. 自動車関係 ①次世代低公害車開発・実用化の促進	地球温暖化対策に資することを目的として、DME、LNG、バイオマス燃料などの新燃料を利用するなど石油代替性に優れた次世代低公害車の開発・実用化を促進するため、試作車両の実証走行試験などを行うことにより、実用性を検証し技術基準などの整備を行う。

環境省	
1. 地球温暖化防止を目的としたバイオマス利活用の推進－①エコ燃料実用化地域システム実証事業	石大都市圏におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)供給システムの確立及び沖縄宮古島などにおける地域のバイオマス資源を活用したエコ燃料生産・利用の拠点づくりを支援し、自立的なエコ燃料生産・利用システムの確立を図る。
1-②(新)エコ燃料利用促進補助事業	廃棄物などからのバイオエタノール製造、家畜糞尿からのバイオガス精製及びこれらエコ燃料の利用に必要な設備の整備について、その費用の一部を補助することによりエコ燃料の製造・利用に取り組む事業者を支援する。
1-③地球温暖化対策技術開発事業	既存の対策技術に加え、新たな対策技術の開発・実用化・導入普及を進めていくため、基盤的な温暖化対策技術の開発について公募提案を求め、優れた技術開発の実施に係る提案と確実な実施体制を有する民間企業や公的研究機関などを選定し、委託(又は補助)によりこれを実施する。これにより、木質バイオマスのエネルギー利用技術の開発やE10への対応促進のための技術実証など、バイオマスエネルギーの利用促進に資する技術開発を推進する。
1-④廃棄物処理施設における温暖化対策補助事業	高効率な廃棄物エネルギー利用施設及び高効率なバイオマス利用発電施設などの整備事業(新設、増設又は改造)であって、一定の要件を満たすものについて、これに伴う投資の増加費用に対して補助を行い、温暖化対策に資するバイオマスエネルギーの有効活用を推進する。



1-⑤地球温暖化対策ビジネスモデルインキュベーター（起業支援）事業	温暖化対策ビジネスモデルとして一定のフィージビリティが確認されている先見性、先進性の高い事業について、本格的なビジネス展開を図るにあたって必要な核となる技術に係る施設整備費などについて支援することにより、新たな温暖化対策ビジネスモデルの市場導入を促進するもの。
2. 循環型社会の形成に向けたバイオマス利活用の推進-①生ごみリサイクル施設整備事業（循環型社会形成推進交付金のうち）	循環型社会形成推進のための廃棄物処理・リサイクル施設の整備を、国と地方が一体となって進めるための、循環型社会形成推進交付金により、生ごみリサイクル施設の整備を促進する。特に、生ごみなどから、微生物によりメタンを主成分とするガスを回収するエネルギー回収推進施設（高効率原燃料回収施設）について、他の施設より高い交付率で整備を推進していく。
2-②エコ・コミュニティ事業	バイオマスの利活用を含む循環型社会の形成に向けた取り組みのアイデアであって、NPO/NGOなどの民間団体や事業者が地方公共団体と連携して行うものを公募し、実証事業として実施することによりリデュース（排出抑制）、リユース（再使用）を中心とする循環型社会に向けた取り組みを推進していく。
2-③廃棄物処理等科学研究費補助金（競争的資金）	廃棄物の適正処理やリサイクル、循環型社会システムの構築について、研究者、企業などが行う研究や技術開発を公募し推進する。バイオマスについては、「廃棄物系バイオマス利活用促進に関する研究・技術開発」を重点テーマに設定し、積極的に研究・開発を支援する。
2-④バイオマス系廃棄物のリサイクル・エネルギー利用のためのデータベース化・モデルシステム化調査	生ごみなどのバイオマス系廃棄物のリサイクルとエネルギー利用を進めるため、都市部・農山漁村部の地域特性を踏まえつつ、バイオマス系廃棄物の成分データや原単位をデータベース化し、安定・確実な循環利用を図ることが出来る需要と供給の組み合わせ例や循環ループのモデルシステムを設計する。

### 1.1.3 技術戦略マップの概要

経済産業省は、2005年度より産業などの約20強の分野において、将来にわたって必要な技術開発の道筋をしめした、技術戦略マップを策定し公開している。

技術戦略マップは毎年度ローリングすることとしており、2006年度の技術戦略マップを項目と小項目を整理すると以下ようになる。

表 1.1-7 経済産業省の技術戦略マップ 2006<sup>24)</sup>

分野	小分野	項目	小項目
環境・エネルギー分野	CO <sub>2</sub> 固定化・有効利用	大規模植林	バイオマスの革新的利用
	3R	バイオマス	バイオマスエネルギー技術の開発
			物質・エネルギー生産技術
			バイオマスのマテリアル利用技術
	エネルギー（運輸）	(1) 自動車	バイオマス燃料 (エタノール又はETBE・BDF、BTL)
			航空機
	(2) エネルギー（産業）	省エネルギープロセス	バイオマス生産・利用促進技術 (バイオテクノロジー等の活用)
		プロダクション (物質・エネルギー併産)	バイオマス利用 バイオマス IGCC バイオマス IGFC
		物質エネルギー再生	バイオマスガス化
	エネルギー（転換）	(3) 再生可能エネルギー利用技術	バイオマス利用（直接燃料、メタン発酵、エタノール発酵ガス化・ガス化改質、バイオマスガス化燃料・水素製造、燃料作物生産、大規模バイオマス発酵水素製造）
製造産業分野	グリーンバイオ	生物機能を活用した物質生産（宿主別技術） (4) 微生物 (5) 植物	微生物を利用した物質生産（国内バイオマスからの糖質回収とその活用→物質生産方法の確立→バイオマスからの化学品生産技術の実用化（バイオリファイナリー技術））
		(6) 生物機能を活用したエネルギー生産技術 (廃棄物の有効利用によるエネルギー生産)	有用菌の発酵槽への導入技術の開発→効率的なメタン、水素製造のシステムの確立

<sup>24)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006

次ページ以降に以下の6項目についてその概要を記載する。

- (1) 自動車
- (2) エネルギー（産業）
- (3) 再生可能エネルギー利用技術
- (4) 生物機能を活用した物質生産－微生物
- (5) 生物機能を活用した物質生産－植物
- (6) 生物機能を活用したエネルギー生産技術

(1) 自動車

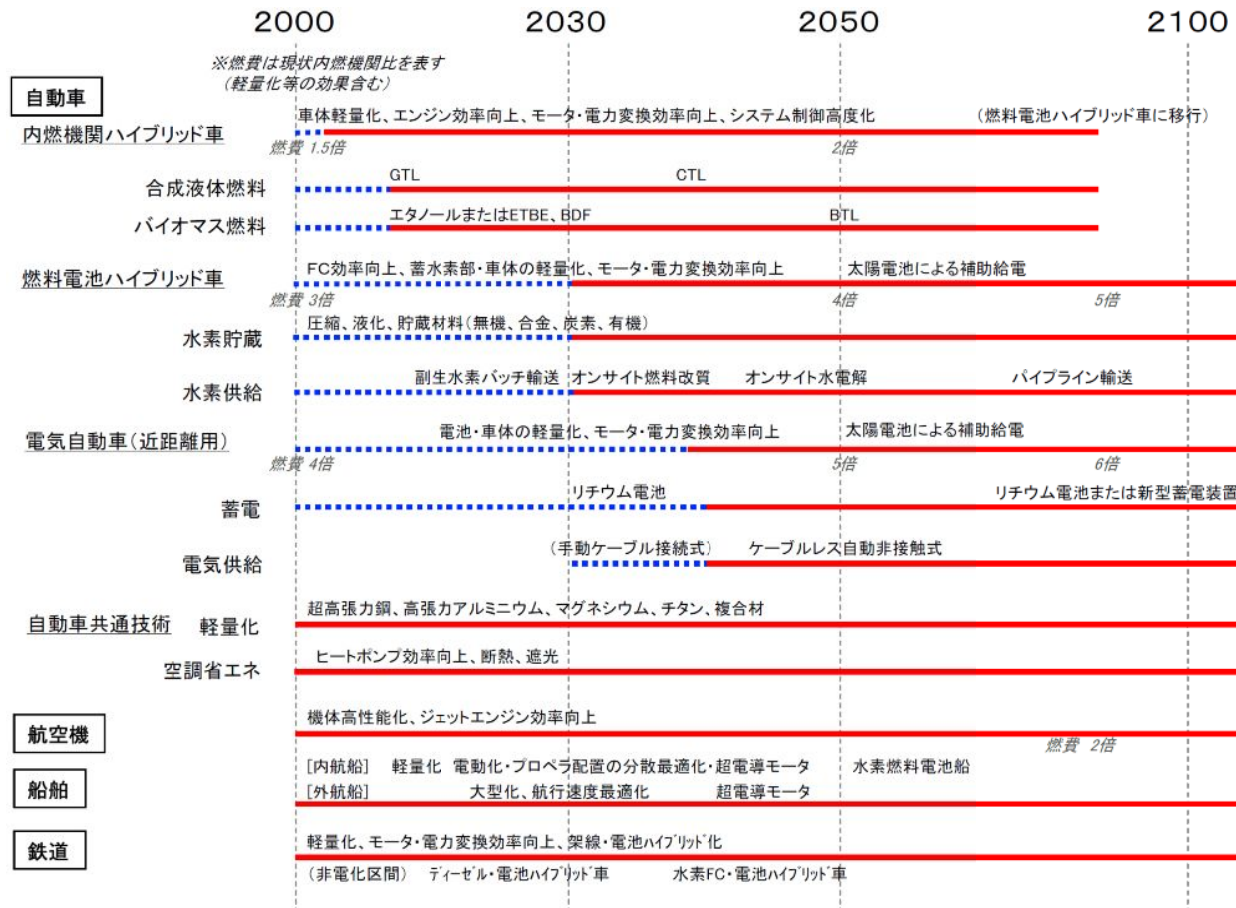


図 1.1-2 技術戦略マップー自動車<sup>25)</sup>

<sup>25)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006

(2) エネルギー（産業）



図 1.1-3 技術戦略マップーエネルギー（産業）<sup>26)</sup>

<sup>26)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006

### (3) 再生可能エネルギー利用技術

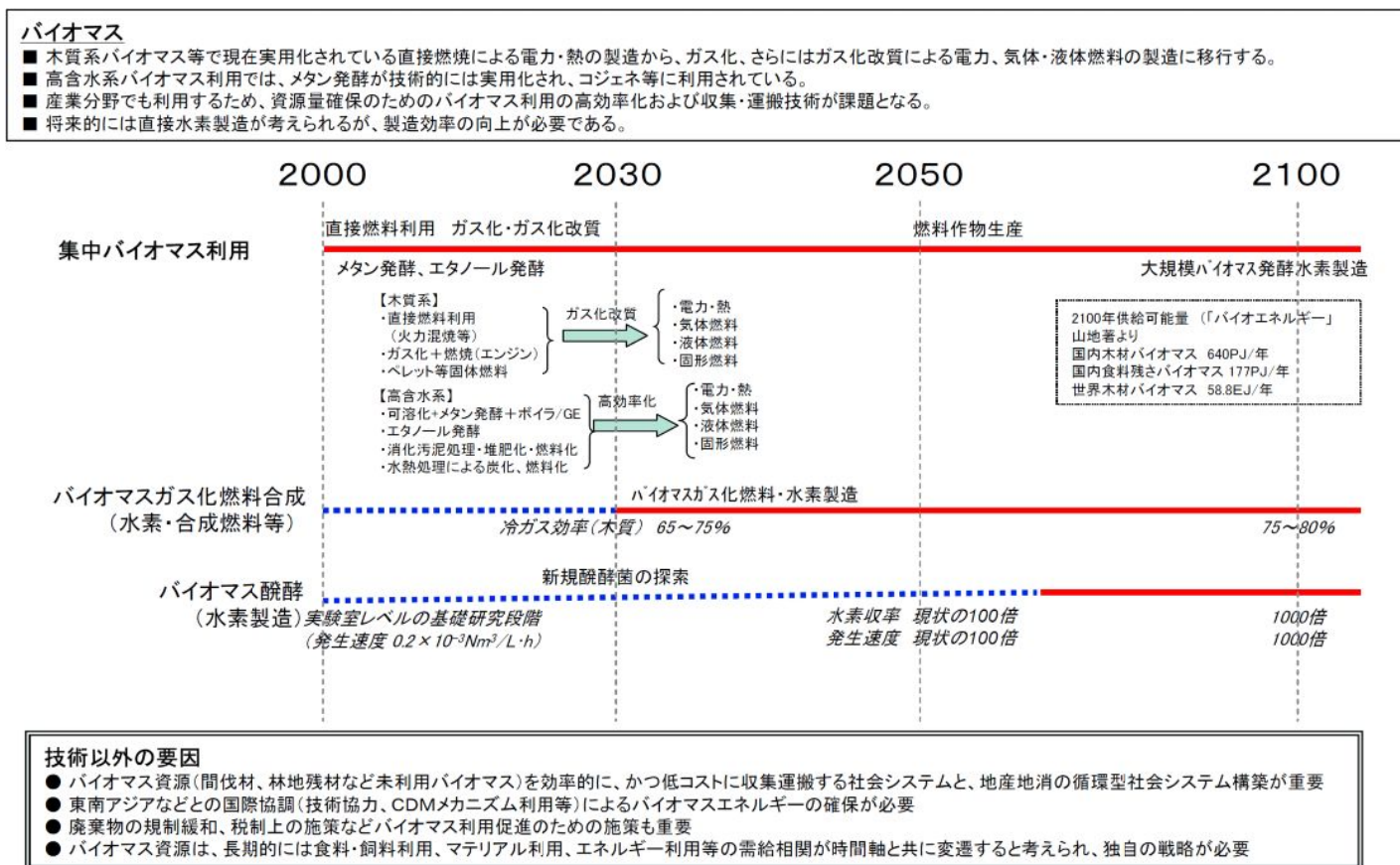


図 1.1-4 技術戦略マップー再生可能エネルギー<sup>27)</sup>

<sup>27)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006

(4) 生物機能を活用した物質生産－微生物

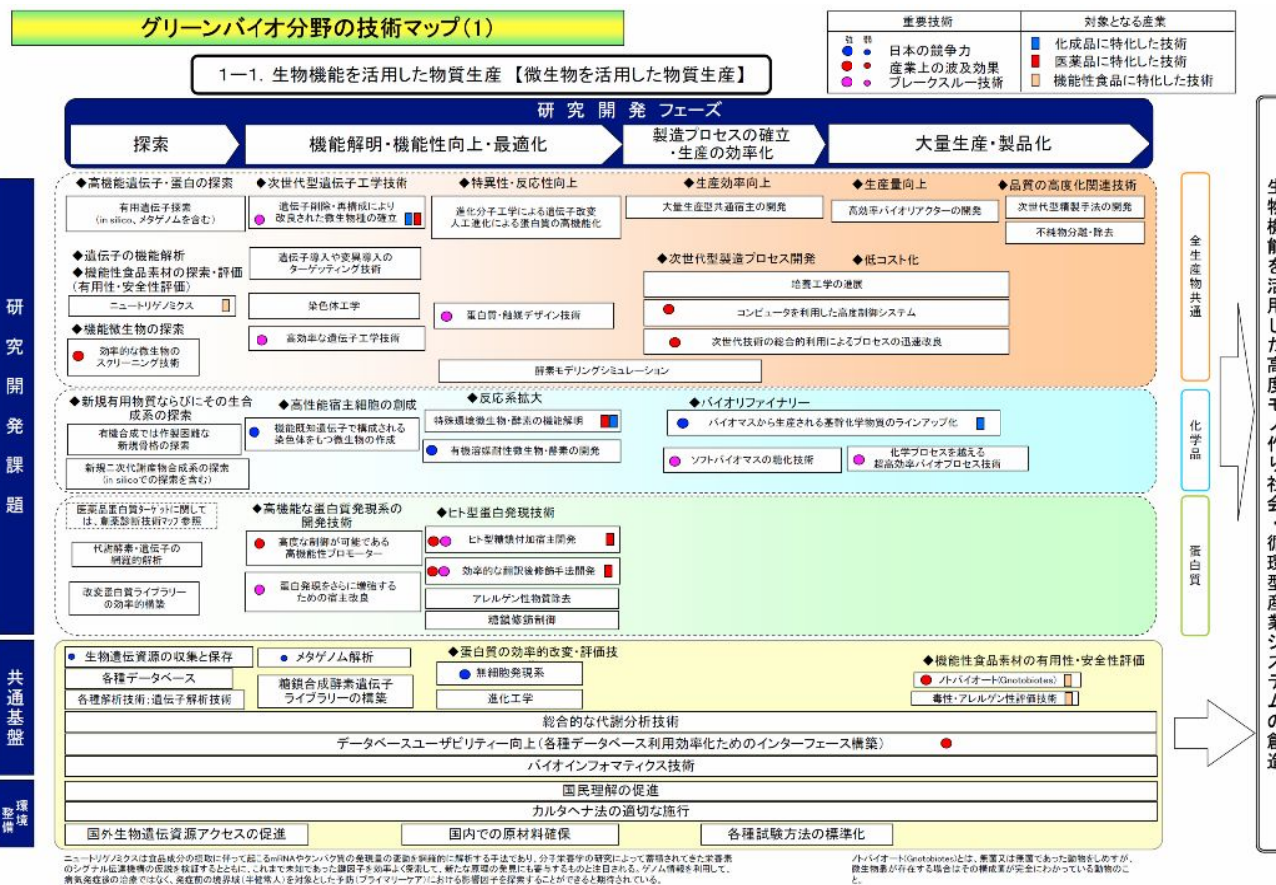


図 1.1-5 技術戦略マップー生物機能を活用した物質生産(微生物)<sup>28)</sup>

<sup>28)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006



(5) 生物機能を活用した物質生産－植物

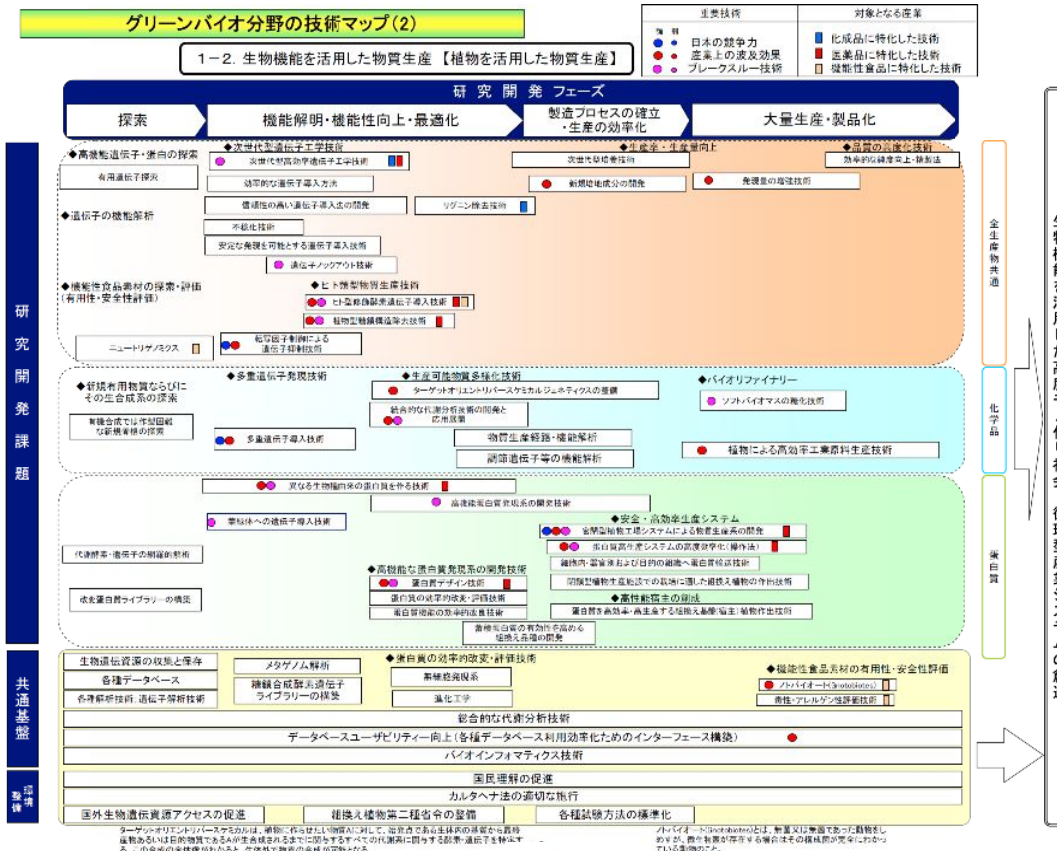


図 1.1-6 技術戦略マップー生物機能を活用した物質生産（植物）<sup>29)</sup>

<sup>29)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006



(6) 生物機能を活用したエネルギー生産技術

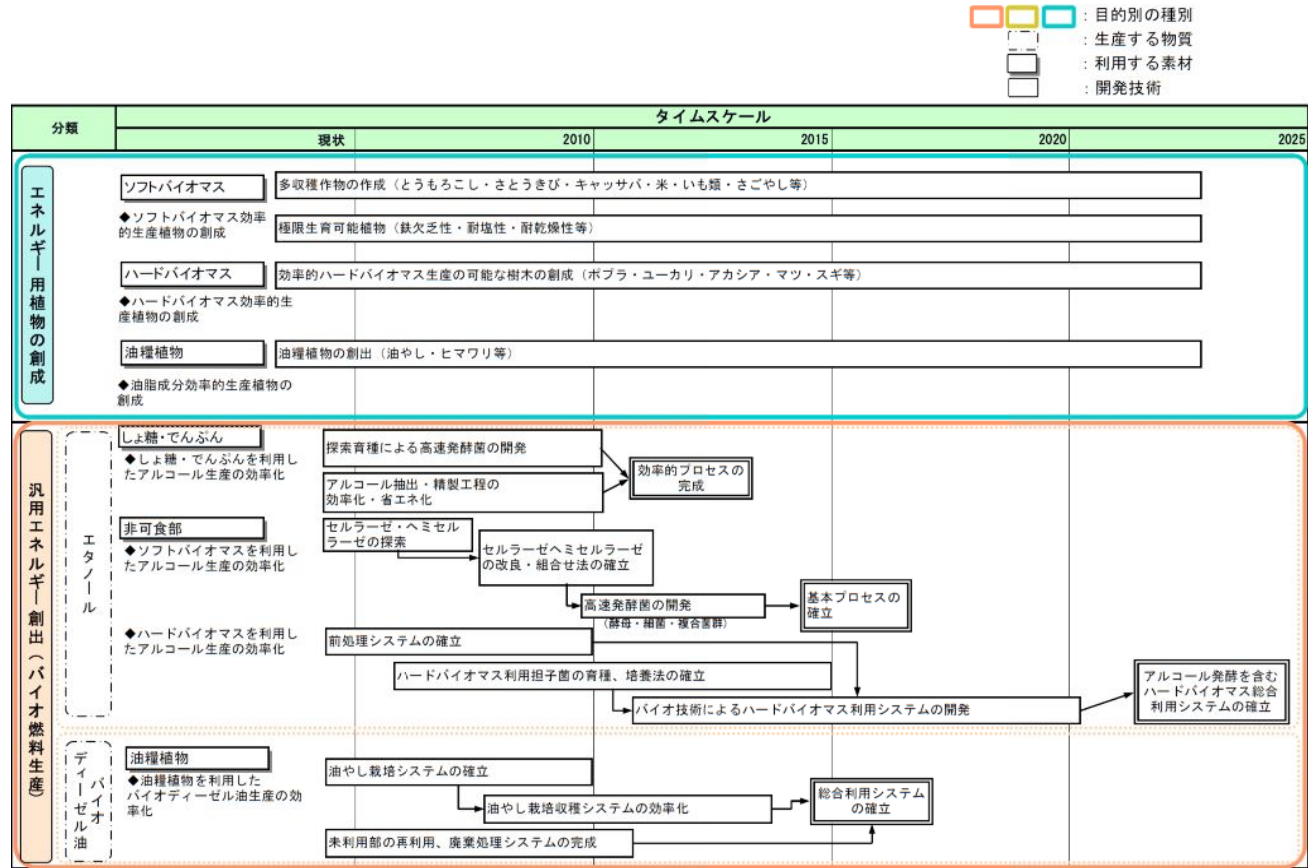


図 1. 1-7 技術戦略マップー生物機能を活用したエネルギー生産技術<sup>30)</sup>

<sup>30)</sup> 経済産業省 技術戦略マップ 2006

#### 1.1.4 バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ

エネルギー総合工学研究所は「バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定に関する調査」事業を平成16年1月14日から6月末日までの期間で実施した<sup>31)</sup>。

NEDOが実施している「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」及び「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査」事業で網羅されていない諸々の技術もあり、今後バイオマスのエネルギー変換技術の実用性を高めるためには、幅広くそして関連した技術の情報を収集して、その技術の位置付けをバイオマスエネルギー変換技術の分野において整理するを目的としている。

本ロードマップは、特にバイオマスのエネルギー変換に関連する『技術』に限定し、国内のバイオマス種毎に区分けし、その該当するバイオマス種を各種最終エネルギー形態に変換した場合に「関連する技術群」を網羅的に体系化し、その技術群に関して幅広い視点にて時系列的（現状、中期（2010年頃）、長期（2020年以降））に整理している。

本ロードマップの制作に当たっては、大学や公的機関の委員からなる「バイオマス技術戦略調査委員会」を設置し、実施計画の審議、調査作業成果の審議をするとともに、変換技術及びその目標値設定などに対し、客観的な評価をしている。

一方、変換技術などを網羅的に調査するため、研究機関やメーカーなどのメンバーからなる「ロードマップ作業部会」を設置し、技術開発動向及びその実用化時期・性能について、集中的に調査を実施している。

また、中立的な研究機関のメンバーからなる作業部会「幹事会」を設け、具体作業の実施方法、調査成果の検討並びに表現方法の検討などを行っている。

次ページ以降に木質バイオマス、ソフトバイオマスの直接燃焼、ガス化に関連する部分を抜粋して記載する。

---

<sup>31)</sup> (財)エネルギー総合工学研究所、バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定に関する調査成果報告書、平成16年6月

## (1) 木質バイオマス

### ①直接燃焼システム

木質バイオマスの直接燃焼システムであるが、他と比較して既に確立された技術が多いことが特徴として挙げられ、ストーカ燃焼によるものは既に実用例が多くある。

直接燃焼システムにおける電力変換技術としては、燃焼によるもののため蒸気タービンでの発電が主流となる。蒸気タービン発電は技術的には確立されたものであるが、特に小規模では燃料電池などの他の電力変換システムと比べ今後の大幅な効率向上は難しいものと考えられる。

一方、直接燃焼システムでも大規模な石炭火力混焼システムは他と比較して高効率のエネルギー変換が可能であるため、今後の技術確立とともに木質バイオマスの混焼率の向上が望まれている。また、この石炭火力混焼システムでは、前処理としての木質の微粉碎技術が重要な技術課題となっており、繊維質を多く含み破碎しにくい木質の微粉碎処理の性能向上及びその動力低減に今後の進展が望まれている。

### ②ガス化システム

木質バイオマスのガス化システムについては、流動層ガス化、噴流層ガス化など種々のガス化技術の開発が盛んに行われている。それぞれのガス化技術に特徴があり現時点で優劣を付けることは難しいが、いずれも現状は実証試験の段階にあり、2010年頃の商用化を目指している。

ガス化システムにおける電力変換としては、ガスエンジン発電、ガスタービン発電などの選択肢が多く、また長期的には燃料電池発電の適用に大きな期待が寄せられているが、直接燃焼システムと比べると小規模でも高効率での適用可能性が高い。

これらガス化技術に共通する課題として性能、信頼性の向上はもとよりのことであるが、長期的にはより高効率な発電が期待できる燃料電池への適用を念頭においたガス化ガスの改質触媒の高性能化、ガス精製技術の向上などが挙げられている。

更に木質バイオマスは、糖化後発酵によるエタノールへの変換や高温ガス化後触媒反応によりメタノールやDMEに変換することができる。地球温暖化対策技術としてガソリンエンジンにエタノールを混合するE3などが検討されているが、再生可能なエタノール生産技術としては、エタノール発酵が最も有望である。糖やデンプンを含む作物からのエタノール生産は、ブラジルや米国で実用化されているが、資源量の多い木質系バイオマスからのエタノール生産技術は、中期的には必須の技術と考えられる。発酵法については、効率の良い糖化プロセスとエタノール分離技術の研究開発が重要であろう。糖化プロセスとしては、従来の硫酸法に加え、超臨界・亜臨界水処理や酵素法の研究が行われており、今後の研究の進展が期待される。

### ③課題

素材として提供される木質バイオマスには、間伐材などの林地残材、製材工場のオガ屑、建築廃材など、発生場所や発生形態の違いが大きい。林地残材では効率的で経済的な収集システムの確立が課題になっており、一方建築廃材ではACC処理（毒性の砒素、銅、クロムなどを含んだ防腐剤、防蟻剤の除去、無毒化）が課題になっている。これらの周辺技術についても技術開発を進めていくことが必要である。

④特性ロードマップ

次図は木質バイオマスの特性ロードマップである。2010年断面においても、2020年以降においてもガス化プロセスへの技術開発期待度が高い。

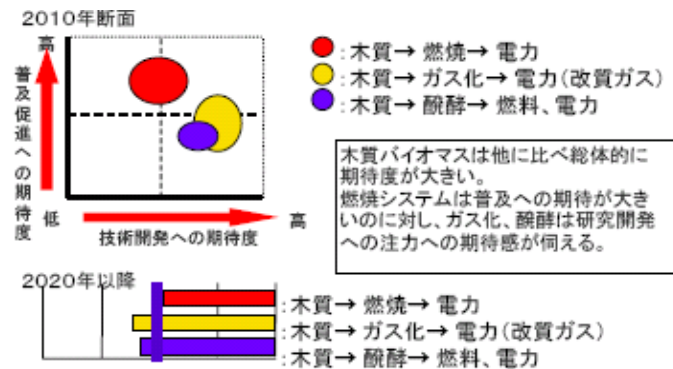


図 1.1-8 木質バイオマスの特性ロードマップ<sup>32)</sup>

注) 2020年以降の図では棒グラフが左へ伸びているほど広く普及する可能性が高い。

(特性ロードマップ作成法)

具体的な評価手法としては、重点化に関する各評価軸の配点基準を設け、

- ・ 2010年時の評価軸は次に示す5評価目について、5点法にて各々の評価を行った。  
「エネルギー効率」、「環境特性」、「経済性」、「実現性」、「新規性」
- ・ 2020年時の評価軸はシステムの将来性について、◎、○、△の3段階評価を実施した。  
なお、各特性評価項目間は等価とし、重みは付けないこととした。

本方式により、バイオマス技術戦略委員会の委員を中心とした有識者(16名)へ、各システムについて時間軸に応じた検討を依頼し、これを取りまとめ、特性ロードマップを作成した。

今後の方向性を明確化する手法のひとつとして、本評価結果より各々のバイオマス変換システムについての評価軸のうち、エネルギー変換効率、環境特性及び新規性、実現性及び経済性に分離し、前者は「技術開発の推進」、後者は「技術導入・普及」に注力すべき技術として整理した。

<sup>32)</sup> (財) エネルギー総合工学研究所、バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定に関する調査成果報告書、平成16年6月

## (2) ソフトバイオマス

本ロードマップでのソフトバイオマスの分類は「食品廃棄物（大規模）・生ゴミ（小規模）・農産廃棄物」に含まれる。

### ①メタン発酵

食品廃棄物・農産廃棄物系のバイオマスに適用する主なシステムはメタン発酵であるとしている。

### ②ガス化

食品加工工場から排出される食品廃棄物を対象としてガス化システムの適用例がある。対象としてはコーヒー滓、果汁抽出滓などがあるが比較的大規模に収集可能であることからガス化改質技術を適用した開発の可能性が見出せるとしている。

### ③特性ロードマップ

メタン発酵が主体であるがガス化も視野に入っている。

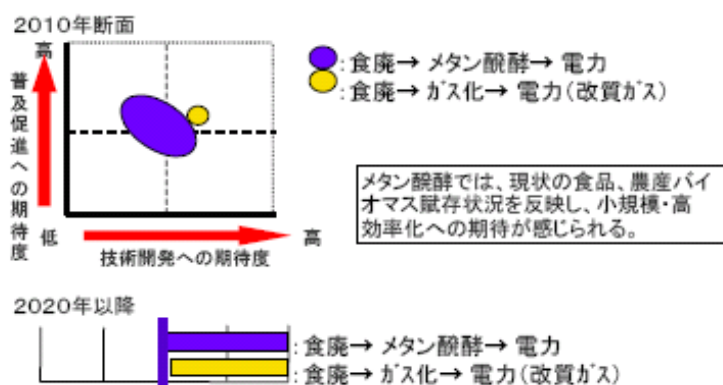


図 1.1-9 食品廃棄物（大規模）・生ゴミ（小規模）・農産廃棄物の特性ロードマップ<sup>33)</sup>

注) 2020年以降の図では棒グラフが左へ伸びているほど広く普及する可能性が高い。

(特性ロードマップ作成法)

(1)と同様にして作成した。

<sup>33)</sup> エネルギー総合工学研究所、バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定に関する調査成果報告書、平成16年6月

### 1. 1. 5 NEDO のバイオマスエネルギー関連事業計画

NEDO では次図のように 2010 年の導入目標へ向け技術開発⇒実証⇒社会実験⇒導入・普及のストーリーを描いている。

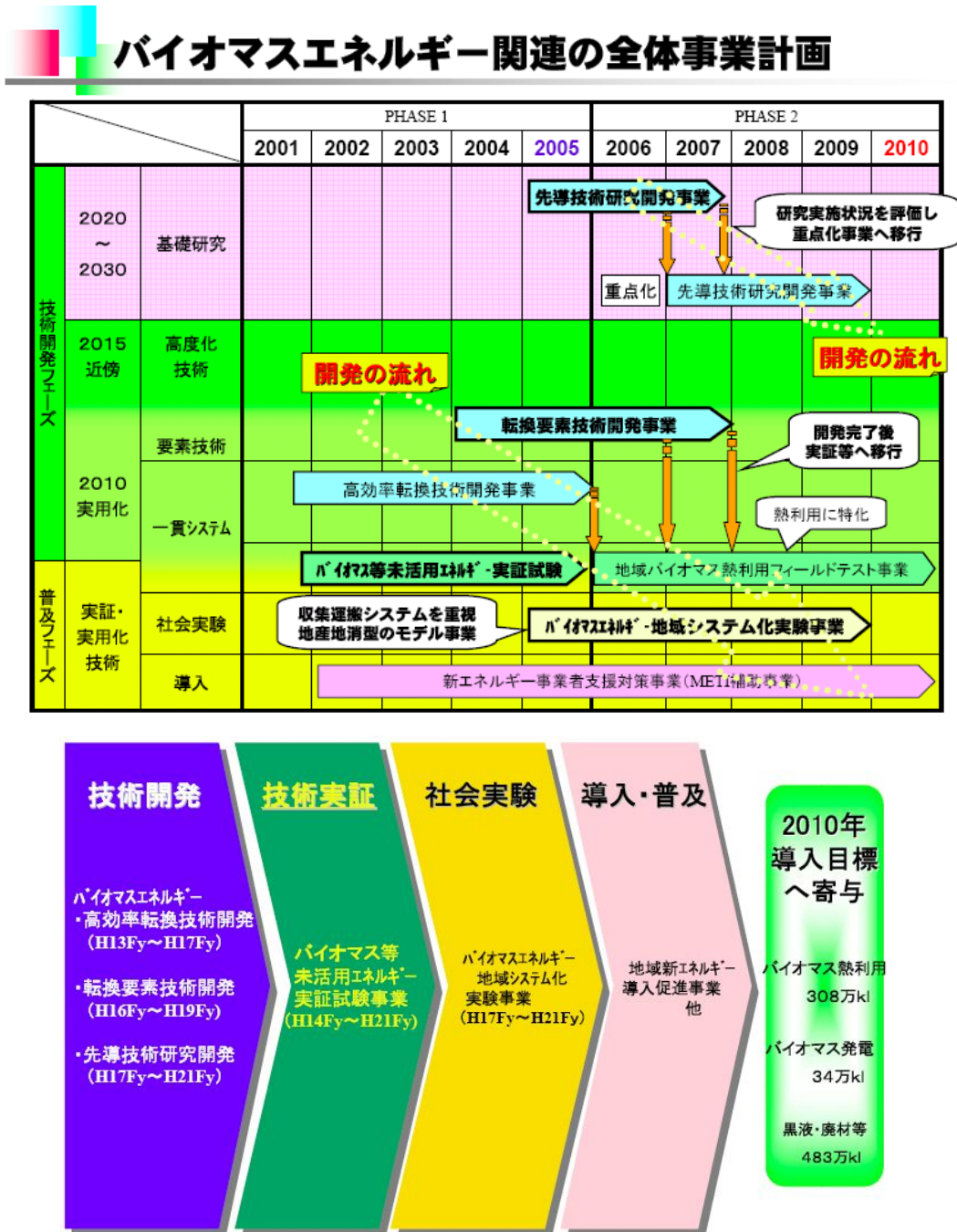


図 1. 1-10 NEDO のバイオマスエネルギー関連事業計画<sup>34)</sup>

<sup>34)</sup> NEDO、NEDO におけるバイオマスエネルギー実証試験事業の概要について、H18.7.20



## 1.2 国内調査報告、プロジェクトの分析

### 1.2.1 国内調査報告の分析

本節では、バイオマスの収集・運搬のコスト評価に関する調査報告に絞って、過去に実施された国内での調査報告にお基づく技術的課題、経済性評価などの分析を実施した。その結果を表 1.2-9 に記載する。

### 1.2.2 プロジェクトの分析

#### (1) バイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業

本節では、NEDO のバイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業及びバイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査の中から、木質バイオマスのガス化に絞ってプロジェクトを抽出し、調査・分析を実施した。

##### ①概要

本技術開発では、廃棄物系バイオマスを主な対象とし、地域特性・性状など異なった個性を持つ多種多様なバイオマス資源を、利用し易いエネルギー形態へ高効率に転換する技術を開発し、バイオマスエネルギーの普及促進に資することを目的としている。

2001 年度に 7 テーマ、2003 年度に 4 テーマを公募・採択し、研究開発委託事業を推進している。

また、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の中の《他分野との連携、周辺技術の開発》の趣旨に則り、更にバイオマスエネルギーの導入普及を加速させるため、現状技術に比べ有意な差を有する要素技術を研究開発する「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」をバイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業の一環として 2004 年度から開始している。2004 年度に 8 テーマを公募・採択し共同研究開発事業を推進している。



図 1.2-1 バイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業のプロジェクト体系 (2001-2005) <sup>35)</sup>

<sup>35)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/gijutsu.html>

次表にバイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業の全プロジェクトの概要を記載する。その中で、番号に○印を付けたプロジェクトに関しては、②にその詳細を記載する。

表 1.2-1 バイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業のプロジェクト一覧

(詳細調査対象プロジェクトは○印)

NO.	プロジェクト名称	実施期間	実施者
①	石炭・木質バイオマス混焼技術の研究開発	2001-2003	中国電力、日立製作所、バブコック日立
②	木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発	2001-2004	川崎重工業、(財) エネルギー総合工学研究所
③	バイオマスの低温流動層ガス化技術開発	2001-2005	出光興産、(独) 産業技術総合研究所
④	バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発	2001-2004	三菱重工業、中部電力、(独) 産業技術総合研究所
5	セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール発酵 技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発	2001-2005	日揮、関西ペイント、物産ナノテク研究所、(社) アルコール協会、(独) 産業技術総合研究所
6	有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵 を中心とした二段発酵 技術研究開発	2001-2005	鹿島建設、荏原製作所、西原環境テクノロジー、(財) バイオインダストリー協会、(独) 産業技術総合研究所
7	高効率二段発酵 処理による有機性廃棄物のエネルギー転換技術開発	2001-2004	ヤンマー
⑧	下水汚泥の高効率ガス変換発電システム開発	2003-2005	三菱重工業、日本ガイシ、(財) エネルギー総合工学研究所
9	有機物の分解促進による下水汚泥高効率嫌気性消化システムの開発	2003-2005	栗田工業
⑩	高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発	2003-2005	(財) 電力中央研究所、神戸製鋼所、石川島播磨重工業
11	二段階反応法によるバイオディーゼル燃料 (BDF) 製造技術の研究開発	2003-2005	旭化成
12	固体酸化物電解セルを用いたバイオガスからの高純度水素製造プロセスの開発	2004-2006	荏原製作所



13	消化ガスからのメタン回収及び精製用 VPSA プロセスの研究開発	2004-2006	三菱重工業
14	中圧水蒸気による下水汚泥の高効率燃料転換技術の研究開発	2004-2006	月島機械
⑮	バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発	2004-2006	シーテック、中部電力
⑯	バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発	2004-2006	JFE エンジニアリング
17	バイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度排水処理技術の開発	2004-2006	清水建設、長崎菱電テクニカ
18	ゼオライト膜によるバイオマスエタノール濃縮の研究開発	2004-2006	日本ガイシ
19	マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉碎技術の研究開発	2004-2006	中央化工機

## (2) バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業

### ①概要

バイオマス・雪氷エネルギーという、地域において活用可能な未活用エネルギーの利用に係る実証試験として運転データの収集・蓄積・分析を行い、これらのノウハウ・データ蓄積などによって、今後のバイオマス等未活用エネルギーの本格的な導入に寄与させることを目的とした事業。

実証試験設備を設置した上で運転データを収集する事業（実証試験事業）、及び同実証試験の実施に係る調査事業（実証試験事業調査）を、提案公募方式により決定した者との共同研究として実施している。

実証試験事業は共同研究対象費用の 1/2 を NEDO が負担し、実証試験事業調査は 1 件あたり 1,000 万円を上限として共同研究対象費用の 100% を NEDO が負担する。

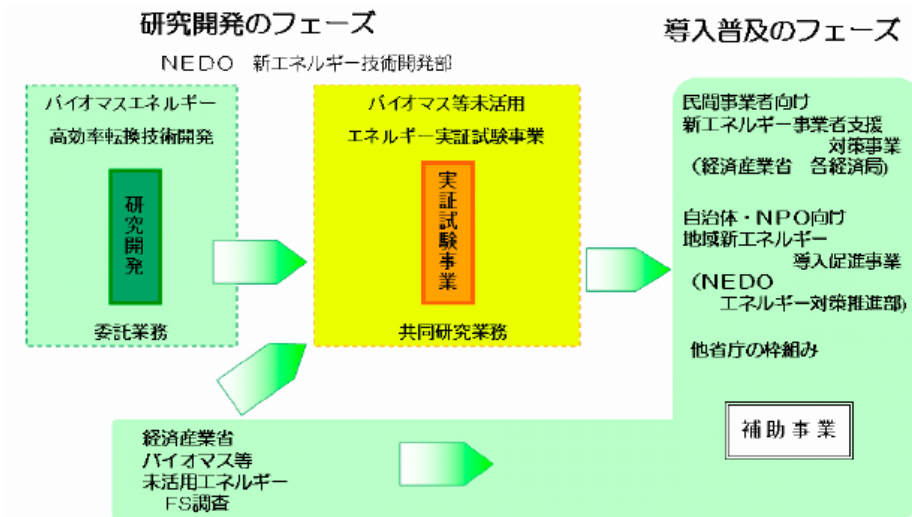


図 1.2-2 事業体系<sup>36)</sup>

表 1.2-2 過去の採択実績一覧<sup>37)</sup>

	実証試験事業		実証試験事業調査	
	バイオマス	雪氷	バイオマス	雪氷
2002 年度	7 件	2 件	24 件	4 件
2003 年度	9 件	3 件	48 件	5 件
2004 年度	12 件	3 件	24 件	2 件
2005 年度	12 件	0 件	公募せず	

次表以降に各年度の採択者の一覧を記載する。

<sup>36)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/gaiyou.pdf>

<sup>37)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/kenkyuu.html>

表 1.2-3 2002 年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査  
採択者一覧<sup>38)</sup>

	区分	提案者名	研究開発テーマ
実証試験事業	バイオマス	栃栗本鐵工所	モジュール式メタン醗酵システムによる家畜排せつ物からのバイオガス回収・コージェネ利用実証試験事業
	バイオマス	東京ガス㈱	海産未活用バイオガスを利用したエネルギー・コミュニティに関する実証試験事業
	バイオマス	日揮㈱	未利用木質バイオガスの水熱反応による燃料化実証試験事業
	バイオマス	兵庫県一宮町	一宮町小型木質バイオガス・スコープエネルギーシステム活用モデル実証試験事業
	バイオマス	中外炉工業㈱	山口県における森林バイオガスのガス化・改質及びガスエンジン・コージェネレーションシステムの実証試験事業
	バイオマス	サンポット㈱	木質ペレット燃料の活用実証試験事業
	バイオマス	大幸テック㈱	木質バイオガスの熱分解により発生する木煙の改質燃料化システムによるマイクロ・ピッチ・コージェネレーションシステムの実証試験
	雪氷	みちのく村山農業共同組合	J Aみちのく村山零温雪室倉庫保冷システム実証試験事業
	雪氷	工藤建設㈱	工藤建設㈱ハイブリットエコ・ドーム雪冷房実証試験事業
実証試験事業調査	バイオマス	㈱ダスト栗原	食肉加工工場余剰汚泥並びに下水汚泥によるバイオマス・コージェネレーション事業
	バイオマス	大丸食品㈱	改質水と膜分離技術を活用した油分の多い生ごみのメタン発酵及び発生ガスの冷凍・冷蔵庫等利用システムの調査事業
	バイオマス	電源開発㈱	食品廃棄物によるバイオマス・リファイナリー事業調査
	バイオマス	熊本県阿蘇郡蘇陽町	有機性廃棄物からのメタン回収ときのこ栽培施設への利用に関する調査事業
	バイオマス	㈱秀岳荘	アウトドア事業で発生する生ゴミ嫌気発酵システムの導入に関する実証設置調査事業
	バイオマス	鳥取県畜産農業協同組合	鳥取家畜ふん尿のバイオマスエネルギー調査事業
	バイオマス	㈱明電舎	家畜ふん尿からのバイオガスを利用した燃料電池・コージェネレーションシステム実証試験事業調査
	バイオマス	ユニレックス㈱	地域的農水産系バイオマス資源対応高品質バイオガス精算システムの実証試験事業調査
	バイオマス	別海農業協同組合	個別酪農家における遊休サイロ利用バイオガスプラント実証試験調査事業
	バイオマス	沖縄県東村	沖縄東村バイオマスエネルギー調査事業
	バイオマス	(社) 化学工学会	木質系廃棄物活用高温ガス化ガス利用燃料電池・コージェネレーションシステム検討調査事業
	バイオマス	日本工営パワー・システムズ㈱ ヤンマー㈱	製材所おが屑を利用したコージェネレーションシステム事業調査
	バイオマス	森林組合おわせ	移動式木質ペレット燃料製造機の導入可能性に係る調査事業
	バイオマス	(財) 福岡県環境保全公社	バイオマスエネルギーを活用した未来型キャンパスの創造事業
	バイオマス	兵庫県水上町	未利用木質バイオマスガス化・コージェネレーションによる公共施設等への熱電供給実証設備調査事業
	バイオマス	㈱白磁社	木質系不要物等未活用エネルギーを熱化学的変換技術によりガス化、燃料電池に利用する実証試験事業・同事業調査
	バイオマス	高知県大正町	小型木質バイオマスエネルギーの経済性確立のための調査事業
	バイオマス	兵庫県八千代町	兵庫県八千代町木質バイオマス等実証試験事業調査
	バイオマス	三重県宮川村	宮川村における木質バイオマスエネルギー利用の可能性調査事業
	バイオマス	丹後リゾート総合企画㈱、㈱UFJ 総合研究所	里山の有効なエネルギー利用モデル確立事業調査
	バイオマス	沖縄県伊江村	エネルギー作物によるバイオマスエネルギー島内自給利用事業
	バイオマス	小豆島バス㈱	地域における廃食用油回収システム及び菜の花栽培自給による公共交通維持システム確立事業
	バイオマス	㈱神戸製鋼所 シビルコンサルタンツ(有)	木質系バイオマスを利用した植物残さからのメタン回収、発電熱供給実証試験プラント設置調査事業
	バイオマス	島根県益田市	益田市バイオマス・エタノール製造事業調査
	雪氷	足寄町農業共同組合 ㈱セテック	人参など根菜類低温出荷用、自然冷熱利用の実証試験事業調査
	雪氷	工藤建設㈱	なめこ・椎茸栽培雪冷房設備事業調査
	雪氷	山形県尾花沢市	雪山による簡便冷房システム実証試験事業調査
雪氷	(財) 若狭湾エネルギー研究センター	雪と寒剤の混合による低温冷熱利用システムに関する調査事業	

<sup>38)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/h14.pdf>

表 1.2-4 2003 年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査  
採択者一覧<sup>39)</sup>

	区分	提案者名	共同研究テーマ
実証試験事業	バイオマス	株式会社 立川CSセンター	木質系バイオマス・ガスコージェネ設備実証試験事業
	バイオマス	株式会社 PCGエンジニアリング	木くず炭化に伴う排熱供給事業
	バイオマス	株式会社 明電舎	家畜ふん尿からのバイオガスを利用した燃料電池コージェネレーションシステム実証試験事業
	バイオマス	シダックス株式会社	廃食料油のリサイクル技術開発と実用化のための実証試験事業
	バイオマス	株式会社 石橋石油	廃植物油リサイクル燃料を使用するコージェネレーションシステム実証試験
	バイオマス	株式会社 ダスト栗原	「食肉加工工場余剰汚泥並びに下水汚泥によるバイオスコージェネレーション事業と寒剤の混合による低温冷熱利用システムに関する実証試験事業
	雪氷	財団法人 若狭湾エネルギー研究セン	雪氷エネルギー利用温室の実証試験事業
	雪氷	北海道富士電機株式会社	雪氷エネルギー利用温室の実証試験事業
実証試験事業調査	バイオマス	学校法人 東海大学	流木及び製材屑を燃料とした木質バイオマスガス化発電装置の実証試験事業調査
	バイオマス	株式会社シーテック	移動式小型バイオマスガス化発電事業調査
	バイオマス	日本フロン株式会社	木質系廃棄物を利用したガラス発泡軽量建設資材装置への熱供給事業
	バイオマス	青森県	青森県津軽地域におけるりんご剪定枝等農業バイオマスのエネルギー利用可能性事業調査
	バイオマス	株式会社OTTO	電磁誘導加熱熱型ガス化炉による木くずのガス化コージェネレーション事業
	バイオマス	トラスト企画株式会社	木質系バイオマスの熱分解ガス化事業調査
	バイオマス	山口県	山口県におけるバイオマスエネルギー実証・実業化プロジェクトと連携した森林バイオマスの低コスト燃料化システムの実証試験事業調査
	バイオマス	平澤林産有限公司	林地残材・未利用間伐採等の低コスト収集システムとの組み合わせによる木質バイオマス熱供給実証プラント設置事業調査
	バイオマス	中西製材株式会社	木くずのペレット化による工場内プロセス熱利用システムの導入可能性事業調査
	バイオマス	南富良野町森林組合	南富良野町森林組合における間伐及び林地未利用バイオマス資源エネルギー化事業調査
	バイオマス	北海道足寄町	足寄町における木質ペレット製造と燃焼熱利用事業調査
	バイオマス	神奈川県自然環境保全センター	森林バイオマスの熱利用システム実用化に関する実証試験事業調査
	バイオマス	大阪ガス株式会社	バイオマス乾留ガス燃料化事業調査
	バイオマス	東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所、オリンピア工業株式会社	バイオマス粉末ネットワークの構築による地域再生事業調査
	バイオマス	北海道・北海道ガス株式会社・株式会社北海道熱供給公社	エネルギーの有効活用および地域経済活性化に向けた地域熱供給事業への木質バイオマス導入に関する事業調査
	バイオマス	宇部テクノエンジニアリング株式会社	食品残渣と廃木材のガス化によるエネルギー利用実証事業調査
	バイオマス	ニセコ運輸有限公司	廃棄物処理場における有機廃棄物ガス化コージェネレーションに関する実証試験事業調査
	バイオマス	新冠町農業協同組合	畜産廃棄物のバイオマス・コンプレックス利用及びエネルギー変換システムの高効率化実証試験事業調査
	バイオマス	株式会社 ブランテック	バイオマスエネルギーを利用した燃料化システム実証試験事業調査
	バイオマス	北海道河東郡士幌町	地域新エネ集中パワーセンター構想～個別型家畜ふん尿バイオガスプラントによるバイオガス生産、バイオガスの輸送、電力・熱化、公共施設での利用に関する事業調査
	バイオマス	京都府船井郡八木町	バイオマス・メタン発酵設備からのエネルギー有効利用事業調査
	バイオマス	ダイヤモンドエンジニアリング株式会社	鶏糞のバイオ乾燥及び熱分解ガス化コージェネレーション事業調査
	バイオマス	岩手県葛巻町	中山間地における蓄糞・木質バイオマス複合化メタンストックシステム・システムの実証事業調査
	バイオマス	三和エンジニアリング株式会社	下関市バイオマス事業調査
	バイオマス	東京ガス株式会社	卸売市場における食品廃棄物等未活用バイオマスエネルギーシステム実証試験事業調査
	バイオマス	オタフクソース株式会社	塩分、油分含有の廃調味料からのメタン発酵によるエネルギーの回収システム実証事業調査
	バイオマス	福井県大野郡和泉村	和泉村における「環境立村」の実現に向けた生ごみと木質系バイオマスの活用による複合型施設の設定可能性事業調査
	バイオマス	東京農工大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター	生ゴミの家畜飼料化・堆肥発酵熱利用による物質循環システム研究事業調査
	バイオマス	福岡市役所	アオサを原料としたメタン発酵等生物化学的変換技術による燃料化システム実証試験事業調査
	バイオマス	三菱重工業株式会社	水熱前処理を活用した下水汚泥の高効率メタン発酵発電技術事業調査
	バイオマス	鹿児島県出水市	出水市下水処理場バイオマスエネルギー実証試験事業調査
	バイオマス	豊田通商株式会社	下水汚泥のバイオマス燃料化実証試験事業調査
	バイオマス	株式会社 村上製作所	奈良県吉野地域のし尿からのバイオガス回収・コージェネ実証試験事業調査
雪氷	株式会社 今組	有機栽培糞貯蔵施設雪冷房設備事業調査(仮称)	
雪氷	新潟県十日町市・鹿島建設株	専用容器を利用した雪冷熱エネルギーの地域供給システム実証試験事業	

<sup>39)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/h15.pdf>



表 1.2-5 2004 年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査  
採択者一覧<sup>40)</sup>

	区分	共同研究者	共同研究テーマ
実証試験事業	雪氷	株大林組	低温凍結熱媒と雪氷による氷点下貯蔵庫事業
	雪氷	北海道岩見沢市	自然地形を活かした雪堆積場からの自然融解水の冷熱利用事業
	雪氷	国策建設株	地下駐車場を利用した雪冷房設備事業
	バイオマス	清水建設株	日高地区の重金属含有ダココロに対する無害化処理バイオマスエネルギー活用実証試験事業
	バイオマス	日本車輛製造株	一戸町奥中山地区畜産バイオガス標準モデル実証プラント事業
	バイオマス	八木建設株 宇部テクノエンジ株	木質バイオマスガス化およびガスエンジンコージェネレーションによる生産設備への電気・熱利用実証試験事業
	バイオマス	高知県	中山間地域における森林バイオマス資源の有効利用技術開発事業
	バイオマス	三井造船株	木質系バイオマスを主原料とするエタノール製造技術実証試験事業
	バイオマス	新興プランテック株 東洋システム株 (有)大友産業	鶏糞ガス化燃焼熱発電実証試験事業
	バイオマス	東京ガス株 株タクマ	下水汚泥を利用したガス化システムに関する実証試験事業
実証試験事業調査	バイオマス	秩父市	秩父市バイオマス・コージェネ施設設備事業調査
	バイオマス	極東サービスエンジニアリング株	都市・産業系バイオマスの熱分解ガス化コージェネ実証試験事業調査
	バイオマス	鈴与商事株	穀物ダストの熱分解ガス化燃料発電による未活用エネルギー利用の実証試験事業調査
	バイオマス	(社)静岡県環境資源協会 光陽産業株 静岡ガス株	小規模バイオマスガスプラントと天然ガス併用型燃料電池発電システム導入に関する実証試験事業調査
	バイオマス	かどや製油株	ごま油製造工程廃棄物のメタン発酵によるエネルギー回収システム実証事業調査
	バイオマス	三造有機リサイクル株	生ゴミ飼料化プラント副生油(食品抽出油)の燃料化利用事業調査
	バイオマス	学校法人東海大学	大学キャンパスおよび周辺を対象とした廃食用油を燃料とする給湯用ボイラー活用調査事業
	バイオマス	千葉三港運輸株	廃棄物レス型設備による廃食油からのバイオディーゼル燃料製造に係わる実証試験事業調査
	バイオマス	静岡県富士市 富士常葉大学	富士市バイオマス(生ごみ等)活用事業調査
	バイオマス	福岡県大木町	大木町資源循環型社会形成事業調査
	バイオマス	国立大学法人北海道大学 北海道足寄町	足寄町バイオマス資源の集約処理による地域エネルギー供給事業調査
	バイオマス	国立大学法人山梨大学	水素分離膜を利用したバイオガス燃料電池コージェネレーション事業調査
	バイオマス	(有)鳥栖環境開発総合センター	鳥栖における未活用バイオエネルギー利用のメタン発酵によるエネルギー回収総合システム実証試験事業調査
	バイオマス	農事組合法人支倉牧場生産組合 株北海道自然エネルギー研究センター	サイト内エネルギー自己完結型地域内有機廃棄物資源循環利活用システムの構築事業調査
バイオマス	(財)にいがた産業創造機構	エコアイランド佐渡島の未利用バイオマスと下水汚泥の混合消化方式によるガス化・コージェネレーション事業調査	

<sup>40)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/h16.pdf>

表 1.2-6 2005 年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査  
採択者一覧<sup>41)</sup>

	区分	共同研究者	共同研究テーマ
実証試験事業	バイオマス	積水ハウス株式会社	製材残材を用いたガス化コージェネレーション実証試験事業
	バイオマス	キッコーマン株式会社	キッコーマン株式会社野田工場におけるバイオガス利用高効率コージェネレーションシステム実証試験事業
	バイオマス	特定非営利活動法人里山倶楽部	公園内木質バイオマス有効活用システム実証試験事業
	バイオマス	光陽産業株式会社 静岡ガス株式会社 石川島芝浦機械株式会社 静岡県静岡工業技術センター 社団法人静岡県環境資源協会	小規模バイオガスプラントと天然ガス併用型燃料電池発電システム導入に関する実証試験事業
	バイオマス	アサヒビール株式会社	沖縄地区における燃料製造のためのサトウキビからのバイオマスエタノール製造技術に関する実証試験事業
	バイオマス	明治乳業株式会社 富士電機システムズ株式会社	小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業
	バイオマス	株式会社明電舎	ロータリーエンジンを適用した木質バイオマスガス化発電システムの実証試験事業
	バイオマス	株式会社タクマ	焼酎粕のアルカリ水素メタン発酵によるエネルギー回収技術に関する実証試験事業
	バイオマス	JFE電制株式会社	廃食用油・木屑両用発電実証試験事業
	バイオマス	株式会社コーンズ・エージー 農事組合法人支倉牧場生産組合	サイト内エネルギー自己完結型地域内有機廃棄物資源循環活用システムの構築実証試験事業
	バイオマス	株式会社原弘産	STING法によるバイオディーゼル燃料製造実証試験事業
バイオマス	やまぐち県酪乳業株式会社	乳製品製造工程における食品残さのメタン発酵システム実証試験事業	

表 1.2-7 バイオマスエネルギー利用一覧表<sup>42)</sup>

バイオマス種	件数	熱利用	熱・電気(コージェネレーション)利用			燃料製造
			エンジン	マイクロガスタービン	スターリングエンジン他	
木質	17	11・20・22・34・35	4・5・10・21・24 33・39・40	7	42	3・25
食品廃棄物	6	19・36	41		37	
畜糞	5	1	12・44	28	23	
廃食用油	4	46			43	13・14・45
汚泥	2		15・27			
海洋性植物	1		2			
漁業廃棄物	1	26				
一般廃棄物	1					32
農業廃棄物	1					38
雪氷	8	8・9・16・17・18 29・30・31				

<sup>41)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/h17.pdf>

<sup>42)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/gaiyou.pdf>

木質系バイオマス関連のプロジェクトは次図のようになっている。また、ソフトバイオマスのガス化関連のプロジェクトは存在せず、ソフトバイオマス関連は沖縄でのサトウキビからのエタノール製造のみであったため、ここでは割愛した。



図 1. 2-3 バイオマス等未活用実証試験事業研究設備設置場所（木質）<sup>43)</sup>

この中で、表 1. 2-8 の 12 プロジェクトを調査した。このプロジェクトの詳細を表 1. 2-9 に記載する。

<sup>43)</sup> <http://www.nedo.go.jp/shinene/baio/gaiyou.pdf>

表 1.2-8 調査対象の12プロジェクト

No.	実施者	実施地点	プロジェクト名称
1	宍粟市	兵庫県宍粟市	一宮町小型木質バイオマスガスコージェネレーションシステム活用モデル実証試験事業
2	大幸テック(株)	山形県西置賜郡小国町	木質バイオマスの熱分解により発生する木煙の改質燃料化システムによるマイクロタービン・コージェネレーションシステムの実証試験事業
3	中外炉工業(株)	山口市	山口県における森林バイオマスのガス化・改質及びガスエンジンコージェネレーションシステムの実証試験事業
4	(株)立川CSセンター	山形県東田川郡庄内町	木質バイオマスガスコージェネ設備実証試験事業
5	九州電力(株)、西日本環境エネルギー(株)	福岡県糟屋郡篠栗町	バイオマスエネルギーを活用した未来型キャンパスの創造事業
6	トリスミ集成材(株)	奈良県五條市	製材所オガ屑を利用したコージェネレーションシステム実証試験事業
7	八木建設(株)、宇部テクノエンジニア(株)	徳島県阿南市津乃峰町西分	木質バイオマスガス化及びガスエンジンコージェネレーションによる生産設備への電気・熱利用実証試験事業
8	月島機械(株)	岩手県岩手郡葛巻町葛巻	森林の間伐施業に伴う木質バイオマスのガス化熱電併給システム実証試験事業
9	中西製材(株)	福井県越前市家久町	木くずのペレット化による工場内プロセス熱利用システムの導入実証試験事業
10	積水ハウス(株)	滋賀県東浅井郡浅井町	製材残材を用いたガス化コージェネレーション実証試験事業
11	特定非営利活動法人里山倶楽部	大阪府吹田市万博記念公園	公園内木質バイオマス有効活用システム実証試験事業
12	(株)明電舎	石川県鳳珠郡穴水町	ロータリーエンジンを適用した木質バイオマスガス化発電システム実証試験事業



### 1.2.3 まとめ

#### (1) 国内調査報告

資源エネルギー庁、NEDO、北大、広島県、兵庫県、山口県、宮崎県、愛媛県などが実施した木質バイオマスの収集運搬関連の調査報告を分析した結果以下のような点が明らかになった。

##### ①収集運搬に関する技術的課題

以下のような課題が指摘されている。

- ・ スケールメリットによる高効率化、低コスト化
- ・ 機械化の促進によるコスト削減
- ・ 全木収集の導入による収集材積の向上
- ・ 機械集材の距離にあった路網整備
- ・ 運搬時の密度の向上（チップ化、圧縮結束化）
- ・ 輸送距離の削減（発生地点近傍に施設設置）
- ・ 地域全体での計画的施設導入（集積センターなど）
- ・ 森林バイオマス生産コスト算出シミュレーションシステムの構築
- ・ 「製材廃材（バーク）」、「建設廃材」の有効利用
- ・ 剪定枝・間伐材と廃プラのハイブリッド集積・加工プロセス

##### ②収集運搬に関する経済性評価

輸送距離や地域特性を考慮した試算が行われている。広島県林業技術センターは、現状の採算ベース（目標）である 10,000 円/乾重 t にするためには、一層の低コスト化が必要であるとしている。

試算結果は最も低いもので 2,600 円/生重量 t（山口県：残渣の山土場までの収集コスト）であるが、一般的には乾燥重量 t 当たり 15,000 円/t 以上であり、一層の低コスト化が必要であることを指摘している。

表 1.2-9 国内調査報告総括

調査主体	内容	技術的課題	経済性評価	タスクフォースでのコメント
資源エネルギー庁: バイオマスエネルギーの開発と利用の拡大に向けた課題と取り組みの方向性	バイオマスエネルギーの開発と利用の拡大に向けた課題と取り組みの方向性について取りまとめ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資源の収集輸送の負担が大きい</li> <li>・スケールメリットによる高効率化、低コスト化が困難</li> </ul>	間伐材伐採・集材・運搬コスト: 18,300 円/t (輸送費は 40km の輸送を想定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①各種制度整備、収集システム構築による原料費、集約・輸送費の低減</li> <li>②プラントの大規模化や技術革新などによる発電効率の向上や建設単価の低減</li> <li>③施設設置等における政策支援</li> </ul>
NEDO: バイオマスエネルギー導入ガイドブック (第2版)	バイオマスの位置付け・導入意義・利用技術の概要、バイオマス種類別の導入事例・導入検討の流れ・ケーススタディについて解説	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械化の促進によるコスト削減</li> <li>・全木収集の導入による収集材積の向上</li> <li>・機械集材の距離にあった路網整備</li> <li>・運搬時の密度の向上</li> <li>・輸送距離の削減 (発生地点近傍に施設設置)</li> <li>・地域全体での計画的施設導入</li> </ul>	引用元は上記と同様 <ul style="list-style-type: none"> <li>・間伐材: 18,300 円/t</li> <li>・林地残材: 7,500 円/t</li> <li>・未利用樹: 20,000 円/t (輸送費は 40km の輸送を想定)</li> </ul>	特になし
北海道大学大学院農学研究科森林資源科学講座: 木質系バイオマスの道内普及を考える	木質バイオマスの道内普及を検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>①入り口 <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマスの賦存量</li> <li>・バイオマスの集荷・運搬コスト</li> </ul> </li> <li>②利用 <ul style="list-style-type: none"> <li>・変換利用技術の高効率化、低コスト化、安全性</li> </ul> </li> <li>③出口 <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱利用、コージェネ、燃料生産</li> <li>・需要・供給、市場性</li> </ul> </li> </ul>	林地残材: 3,268 円/t-生重量 (製材端材は 1,500 円)	低コスト化には倒木処理、造成事業、間伐事業などの作業の際に未利用資源 (残材、間伐材など) の集材も合わせて行う複合事業化の検討が必要
広島県林業技術センター: 森林バイオマスの効率的供給システムの開発	用材生産時に生じる枝・葉や根曲がり部などの林地残材をエネルギー資源として効率的に供給するシステムを確立するためその発生量の推定や収集方法運搬コストの低減化技術を検討	林地残材の利用施設までの運搬コストの低減を図るには、減容化が重要であり、その手法としてチップ化と圧縮結束化について検討	林地残材: 現場でチップ化し運搬した場合は約 14,000 円/乾重 t、現場で圧縮結束した場合は約 15000 円/乾重 t、現場から残材のまま施設に運搬しそこでチップ化した場合は 12,000~16,000 円/乾重 t (運搬距離は 30km と仮定)	現状の採算ベース (目標) である 10,000 円/乾重 t にするためには、一層の低コスト化が必要である。今後、機械の改良等による処理効率の向上と実用化が望まれる
ひょうごエコタウン推進会議: バイオマスの有効利用産業研究会 平成 16 年度調査報告	ドライ系バイオマスを中心とするハイブリッド集積センターの構想を検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>①各バイオマスの収集・輸送に関する検討</li> <li>②廃プラの集積ポテンシャル⇒集積すべきバイオマス種、廃プラの選定</li> <li>③集積センターのスキーム</li> <li>④経済性評価</li> <li>⑤今後の課題 (各バイオマスの出口製品の可能性の検討)</li> </ul>	収集運搬コスト試算 (t) 0-10km: 15,000 円 11-20km: 16,000 円 21-30km: 18,000 円 31-40km: 20,000 円 41-50km: 22,000 円 51-60km: 26,000 円 61-70km: 30,000 円 71-80km: 33,000 円 81-90km: 37,000 円 91-100km: 42,000 円	剪定枝・間伐材と廃プラのハイブリッド集積・加工プロセスによるバイオマス集積センター構想を提示

調査主体	内容	技術的課題	経済性評価	タスクフォースでのコメント
山口県: 森林バイオマス利用における木材等低コスト供給システムの開発	やまぐち森林バイオマスエネルギー・プランに基づき、森林バイオマスの供給からエネルギー利用に至る一貫した利用システムを構築し、「エネルギー地産地消」を推進	「森林バイオマス生産コスト算出シミュレーションシステム」を構築し、低コスト化について検討	素材生産と残渣収集について 21 パターンの作業システムを検討 残渣の山土場までの収集コストは、2,600 円～18,100 円/t と試算	・プロセッサによる造材時に素材、小径木、残渣に分別集積し、分別毎の運搬の効率化により低コスト化を図れる ・枝葉や梢端部の運搬は嵩張るため運搬効率が低下するが、大量供給のためには収集が必要。そこで、チップ化、圧縮することにより低コスト化を図れる
宮崎県: 木質バイオマス資源の調達に関する調査	様々な木質バイオマスの発生量や利用状況等について、分析・把握を実施	「現在有効利用されていない資源」を対象に発生量を把握した「林地残材」「未利用間伐材」以外で未利用率が高い資源としては、「製材廃材（パーク）」、「建設廃材」が挙げられる	①林地残材（主伐）の収集コスト：1m <sup>3</sup> あたり 1 万円（1t あたり 2.6 万円）程度 ②間伐材の収集コスト：1m <sup>3</sup> あたり 9 千円（1t あたり 2.4 万円）程度 ③松くい被害木の収集コスト：駆除は、国などの補助金を受けて実施されるものでコストは発生しない ④製材残材：各製材工場などで発生・集積されていることから、自己の事業所において利用する場合には新たなコストは発生しない。処理費をかけて廃棄物処理されているものもある ⑤廃ほだ木：有価物として販売されるケースは少ないと考えられるため、搬送コストのみで活用可能 ⑥建設廃材：逆有償での活用も期待	「現在有効利用されていない資源」を対象に発生量を把握した「林地残材」「未利用間伐材」以外で未利用率が高い資源としては、「製材廃材（パーク）」、「建設廃材」が挙げられる
愛媛県: バイオマスの生産・利活用方策	①山のモデル（森林・竹林、畜産）、②野のモデル（米、菜の花）、③海のモデル（海藻）を提案するとともに、その生産性、利活用方法及び利活用量等の試算を示す	林地残材の搬出システムの確立: 小型搬出機械などの開発も必要	地域内で発生・生産する木質バイオマスを森林組合などが中心となって、一体的に利活用を推進（コスト試算はしていない）	・森林組合などの組織機能の充実 ・各種の支援制度の充実化
みずほ情報総研: 研究レポート 木質系バイオマス取引価格調査結果	47 都道府県に木質系バイオマス資源に関する取引価格・処理コストに関するアンケート	—	木質系バイオマスの取引価格の全国平均は、約 2.5 円/kg となった。特に製紙用途が約 8 円/kg と、高い価格で取引されている。一方、農業で使われる堆肥用途は取引価格が低く、逆有償の場合も多いという結果が得られた。	

## (2) プロジェクト

NEDO のバイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業（2001-2008）とバイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査（2002-2009）の中から木質バイオマスのガス化に絞ってプロジェクトを抽出し、処理対象、製品、効率、製品製造量、比例費、固定費、補助金、製品価格などについて調査した。その結果について、表 1.2-10 に総括する。

バイオマスエネルギー高効率転換技術開発事業でのコスト計算は目標性能を基本として試算した値が中心であり、過小評価されている。

一方、バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査で実際の実証プラントでの結果を見ると、大幸テック株式会社（実施地点：山形県西置賜郡小国町）のマイクロタービンコージェネで熱単価 260 円/kWh、発電単価 340 円/kWh となっており、(株)立川 CS センター（実施地点：山形県東田川郡庄内町）のガスコージェネにいたっては発電コストが約 2,500 円/kWh と非常に高コストとなっている。発電単価が比較的小さいケースとしては、月島機械株式会社（実施地点：岩手県岩手郡葛巻町）のシステムがあり、約 14 円/kWh となっている。

表 1.2-10 プロジェクト総括

	前提条件					比例費		固定費			補助金	製品価格	
	実施者	実施年	処理対象	製品	効率	製品製造量 [時]	比例費計	比例費/製品単 位	固定費計	償却年数			固定費/ 製品単位
石炭・木質バイオマス混焼技術の研究開発	中国電力(株)、(株)日立製作所、パブコック日立(株)	2001-2003	木質バイオマス(竹材を含む)	電力	発電端効率 29% (専焼)	10MWh	—	8.3 円/kWh	2,200,000,000	15	2.9 円/kWh	想定せず	11.2 円/kWh (製造原価)
木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発	川崎重工業(株)、(財)エネルギー総合工学研究所	2001-2004	木質バイオマス	電力	・冷ガス効率 75%以上 (商用機規模ベース) ・発電端効率 20%以上	150kWh	—	8 円/kWh	—	15	12 円/kWh	想定せず	20 円/kWh (製造原価)
バイオマスの低温流動層ガス化技術開発	出光興産(株)、(独)産業技術総合研究所	2001-2005	木質バイオマス	電力	・冷ガス効率 75%以上 (商用機規模ベース) ・タール分解率 95%以上	—	751,505,000	—	7,917,047,000	7.1	—	想定せず	—
バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発	三菱重工業(株)、中部電力(株)、(独)産業技術総合研究所、RITE	2001-2004	木質バイオマス	メタノール	・冷ガス効率 75%以上 (商用機規模ベース) ・メタノール収率 50%wt 以上 (商用機規模ベース)	0.83t/時 (20t/日)	—	54 円/L-軽油換算	—	20	19 円/L-軽油換算	想定せず	73 円/L-軽油換算 (製造原価)
下水汚泥の高効率ガス変換発電システム開発	三菱重工業(株)、日本ガイシ(株)、(財)エネルギー総合工学研究所	2003-2005	下水汚泥	電力	発電端効率 21.5%	1,890kWh	2,120,000,000	—	5,800,000,000	20	—	想定せず	—
高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発	(財)電力中央研究所、(株)神戸製鋼所、石川島播磨重工業(株)	2003-2005	コーヒー焙煎滓、バカス	バイオガス	・脱水熱効率 90%以上 (商用機ベース) ・総合冷ガス効率 75%以上 (商用機規模ベース)	440Nm <sup>3</sup>	61,000,000	166 円/Nm <sup>3</sup>	405,000,000	10	110 円/Nm <sup>3</sup>	想定せず	276 円/Nm <sup>3</sup> (製造原価)
バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発	(株)シーテック、中部電力(株)	2004-2006	バイオマス	電力	・バイオマス燃焼効率 : 99%以上 ・発電端効率 : 20% (LHV) 以上 (商用システムベース)	—	—	—	—	—	—	—	—
バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発	JFE エンジニアリング(株)	2004-2006	バイオガス	精製ガス	タール除去率 ≥ 90%	—	—	—	—	—	—	—	—
一宮町小型木質バイオマスガスコージェネレーションシステム活用モデル実証試験事業	兵庫県宍粟市	2003-	間伐材	電力、熱	—	30kWh(ガス発生量 70Nm <sup>3</sup> /h)	100 円/日 (原料費)	—	29,988,000	—	—	14,994,000	—

	前提条件						比例費		固定費			補助金	製品価格
	実施者	実施年	処理対象	製品	効率	製品製造量 [時]	比例費計	比例費/製品単 位	固定費計	償却年数	固定費/ 製品単位		
木質バイオマスの熱分解により発生する木煙の改質燃料化システムによるマイクロタービン・コージェネレーションシステムの実証試験事業	大幸テック株式会社 実施地点:山形県西置賜郡小国町	2003-	木質バイオマス	電力、熱	—	29kWh	約 2,000,000	—	約 190,000,000	—	—	95,000,000	①熱単価 260 円/kWh ②発電単価 340 円/kWh
山口県における森林バイオマスのガス化・改質及びガスエンジンコージェネレーションシステムの実証試験事業	中外炉工業株式会社 実施地点: 山口市	2003-2004	森林バイオマス	電力、熱	発電効率: 31.6%	176kWh (電力) 274kWh (熱)	1,110,000	3-4 円/kWh	300,000,000	—	—	150,000,000	—
木質バイオマスガスコージェネ設備実証試験事業	(株)立川 CS センター 実施地点:山形県東田川郡庄内町	2004-	木質バイオマス	電力、熱	—	50kWh	6,000,000	—	120,000,000	62.1	—	60,000,000	約 2,500 円 /kWh
バイオマスエネルギーを活用した未来型キャンパスの創造事業	九州電力株式会社 西日本環境エネルギー株式会社 実施地点: 福岡県糟屋郡篠栗町	2004-	木質バイオマス	木質ガス	冷ガス効率: 約 50~75% (目標)	82.8Nm <sup>3</sup> /h (ガス発 熱量 1100kcal/Nm <sup>3</sup> )	—	—	44,000,000	—	—	22,000,000	—
製材所オガ屑を利用したコージェネレーションシステム実証試験事業	トリスミ集成材株式会社 実施地点: 奈良県五條市	2005-	木質バイオマス	電力、熱	発電効率: 30 % 熱回収効率: 39 %	300 kWh 338 Mcal/h	—	—	—	—	—	—	—
木質バイオマスガス化及びガスエンジンコージェネレーションによる生産設備への電気・熱利用実証試験事業	八木建設株式会社 宇部テクノエンジ株式会社 実施地点: 徳島県阿南市津乃峰町 西分	2005-	建設廃木材チップ	電力、熱	—	30kWh	—	—	200,000,000	—	—	100,000,000	—
森林の間伐施業に伴う木質バイオマスのガス化熱電併給システム実証試験事業	月島機械株式会社 実施地点: 岩手県岩手郡葛巻町	2005-	間伐材	電力、熱	発電効率: 24%、熱回収 率: 51% 総合効率: 75%	120kWh	—	—	200,000,000	—	—	100,000,000	発電単価: 約 14 円/kWh
木くずのペレット化による工場内プロセス熱利用システムの導入実証試験事業	中西製材株式会社 実施地点: 福井県越前市	2005-	木質バイオマス	熱	ボイラ効率: 70%	最大熱出力: 789,689kJ/h	700,000 円/月	—	45,400,000	—	—	22,700,000	—
製材残材を用いたガス化コージェネレーション実証試験事業	積水ハウス株式会社 実施地点: 滋賀県東浅井郡浅井町	2006-	木屑	電力、熱	冷ガス効率: 67% 発電効率: 25%	発電出力: 175kWh	1,621,000	—	253,000,000	11.5	—	12,650,000	—
公園内木質バイオマス有効活用システム実証試験事業	特定非営利活動法人里山倶楽部 実施地点: 大阪府吹田市万博記念 公園	2006-	木質バイオマス	電力、熱	総合効率: 80%以上	熱 14kWh、電力 0.85kWh	—	—	11,300,000	—	—	5,650,000	熱単価: 8 円 /MJ
ロータリーエンジンを適用した木質バイオマスガス化発電システム実証試験事業	株式会社明電舎 実施地点: 石川県鳳珠郡穴水町	2006-	木屑	電力、熱	—	発電出力: 36kWh 熱供給量: 243 kJ/ h	—	—	約 200,000,000	—	—	100,000,000	—

## 1.3 海外動向、技術調査

### 1.3.1 海外のバイオマス関連政策の概要

#### (1) アメリカ

##### ①国家エネルギー政策 (NEP<sup>44</sup>)

国家エネルギー政策は、エネルギーセキュリティの観点から、海外依存度の高い石油をバイオエタノール、バイオ製品等で代替することを究極の目標としている。

国家エネルギー政策の基本的目的は以下の5項目である。

- ・ 省エネルギーの近代化
- ・ エネルギー・インフラの近代化
- ・ エネルギー供給の拡大
- ・ 環境水準の向上と環境保全の加速
- ・ エネルギーセキュリティの向上

米国の現状—1970年代以来の重大なエネルギー危機に直面



風力、太陽、バイオマス等の再生可能エネルギー、  
代替燃料、原子力発電の推進など供給力増大に重点

図 1.3-1 NEP の基本的認識<sup>44)</sup>

##### ②バイオマスプログラム (Biomass Program)

バイオマスプログラムは、1978年に開始されたバイオ燃料プログラム (The Biofuels Program(BFP))、1991年に開始されたバイオ発電プログラム(The Biopower Program(BPP))、工業技術局 (OIT) が実施してきたバイオマス関連研究の3つを統合し、DOE と農務省 (USDA) の連携のもと2003年3月から開始された。

バイオマスプログラムは、生化学的転換、熱化学的転換のそれぞれの開発も目標としているが、それらが組み合わせられてはじめて可能となる、その先のバイオリファイナリーによるバイオ燃料や、化学製品、エネルギーの生産が最終的な目標である。

また、バイオマスは液体輸送燃料の代替エネルギーとして利用できると同時に、地域経済の発展、石油輸入依存の軽減、MTBE やその他毒性の強い添加物の削減を実現し、大気汚染、水質汚染、温室効果ガスの放出を削減することも期待されている。

<sup>44</sup> National Energy Policy : 2001年5月

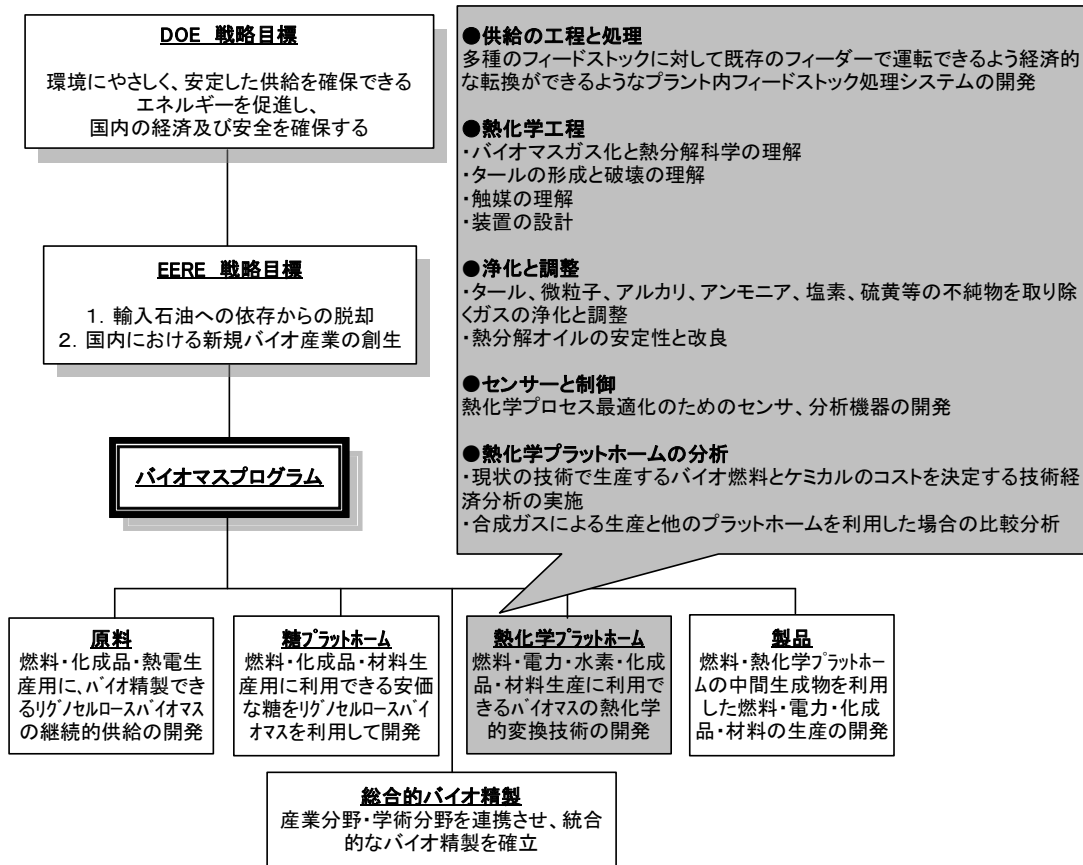


図 1.3-2 バイオマスプログラムの目標<sup>45)</sup>

<2007-2012年の計画>

バイオマスプログラムでは、2005年8月に、2007年から2012年までの複数年計画を発表した。この計画の発表に際してこれまでのプログラムの進捗状況を振り返り、国立再生可能エネルギー研究所と民間の製造業者の連携により、セルロース酵素の大幅なコストダウンが実現したこと、また近い将来バイオマス由来の製品が商用化される段階にある事を報告している。デュポン社が「統合化されたトウモロコシベースのバイオリファイナリー」をNRELと共同で研究開発し、トウモロコシからグルコースを生産する技術開発と実用化研究を行っている例<sup>46)</sup>などがある。

このように米国では、技術指向のベンチャー企業、関連産業における主要既存プレーヤーと政府が協力して、この分野の展開を図っていることが特徴である。

また本計画には達成目標の数値も細かく記載されている。糖の生産コストを2003年の15セント/lbから2012年に10セント/lbとすること、バイオマス合成ガスの生産コストを2003年の7.25\$/100万Btuから2012年に4.34\$/100万Btuにすることを掲げている。具体的に1年刻みでどこまでコストを削減し、そのためにはどのような技術を確立するのかの目標も掲げられている。

<sup>45)</sup> <http://www1.eere.energy.gov/biomass/> より作成

<sup>46)</sup> NEDO 海外レポート No.965



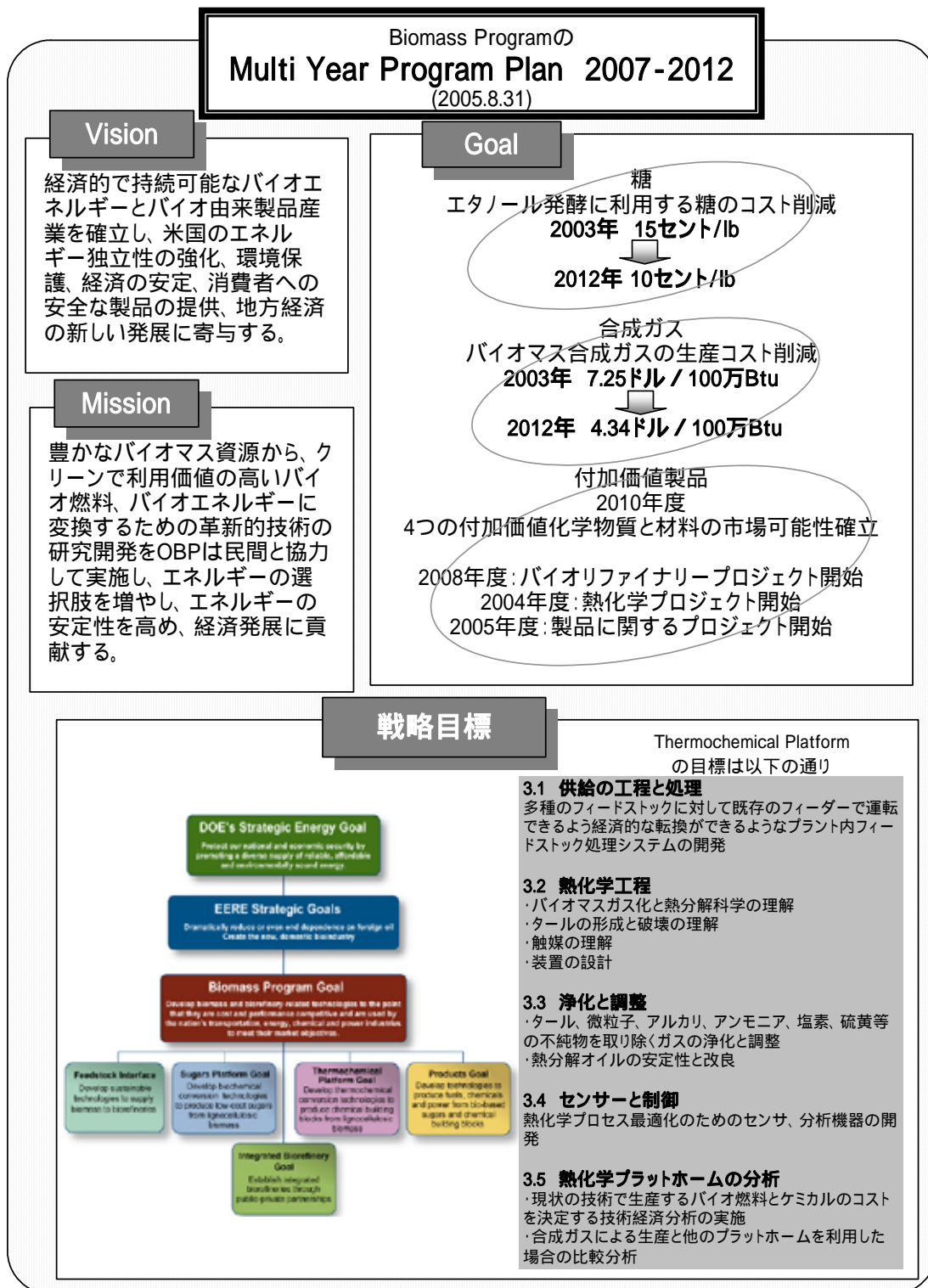


図 1.1-3 2007-2012年の計画<sup>4)</sup>

<sup>4)</sup> <http://www1.eere.energy.gov/biomass/>、<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp.pdf> より TRI 作成

### ③先進イニシアチブ（Advanced Energy Initiative）

2002年2月発表された先進イニシアチブでは、2007年度のバイオマス研究予算を65%増加して1億5000万\$とした。これはガソリンやディーゼルなどの燃料に代わる、国内で生産できる再生可能なエネルギー源の開発を進めようとするもので、米国の石油輸入への依存度を低減するのがこのイニシアチブの目的である。

トウモロコシだけでなく木屑、茎、スイッチグラス（エネルギー作物）からエタノールを作る革新的な技術を開発し、2025年には中東からの石油輸入量を75%削減しようとしている。

### ④ゲノミクスGTLプログラム

ゲノミクスGTLプログラムは、微生物を利用して国内のエネルギー需要に画期的な解決法の開発を目指すプログラムである。本プログラムの科学的目標は、微生物及び分子システムにおける構造的、機能的設計の根本原理を理解することと、エタノールや水素などのバイオ燃料の生産に最も適した微生物や酵素をモデル化、予測、設計することである。

現在の課題は、自然界における数千のセルロース分解プロセスの解析、エタノールやその他の液体燃料の発酵による生産、生物光分解性水素生産である。

2005年12月、エネルギー省（DOE）科学局の生物科学研究（OBER）と、DOE エネルギー効率化・再生エネルギー（EERE）が共同で、「Biomass to Biofuels Workshop（ワークショップーバイオマスからのバイオ燃料生産）」を開催した。このワークショップの目的は、セルロース性エタノール製造の急速な発展を妨げる障壁や問題を明らかにすることと、共同研究課題の一環として生物学の最新ツールを共同で利用し、それらの問題の解決方法を見出すことで、「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」と題したバイオ燃料研究の報告書として2006年7月に発表された。

今後5年間は研究期間とし、高効率で経済的に収穫、分解、エタノールへの変換を行う持続可能な方法を開発するため、既存の原料に関する理解を深める。セルロース性バイオマスの酵素分解では、熱化学プロセスと生物学プロセスを組み合わせ、5、6炭素糖、リグニンに分解してから、糖を共発酵させることでエタノールなどの最終生成物を作成する。

次の5年間は技術開発段階とし持続可能性、収穫量及び組成の強化された次世代エネルギー作物の開発、新しい生物学体系を介したバイオマスの同時糖化・糖の共発酵プロセスの開発を行う。

その先の5年間はシステム統合段階とし、並行的に開発された2つの成果（エネルギー作物と、特定の農業生態系向けのバイオリファイナー）を統合する。この統合システムでは新規酵素、改良酵素を用いてバイオマスを糖化し、複数の安定した発酵プロセスを組み合わせ植物や微生物に適用し、燃料エタノール生産全工程を簡素化し加速する。

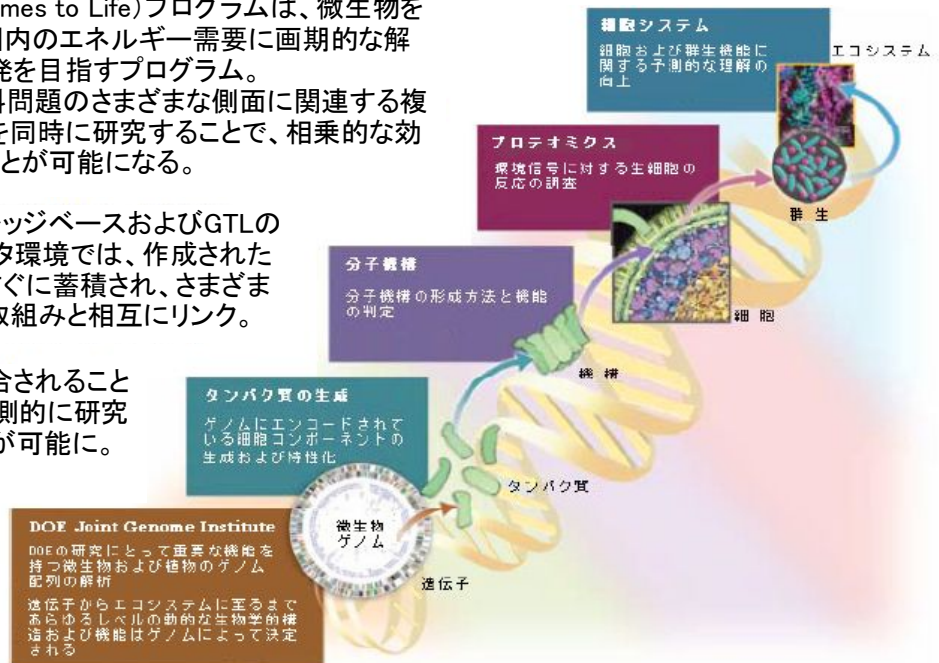
以下に、ゲノミクスGTLプログラム、「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」の概要を示す。

# genomics : GTL Program

GTL (Genomes to Life)プログラムは、微生物を利用して国内のエネルギー需要に画期的な解決法の開発を目指すプログラム。バイオ燃料問題のさまざまな側面に関連する複数の体系を同時に研究することで、相乗的な効果を得ることが可能になる。

GTLのナレッジベースおよびGTLのコンピュータ環境では、作成されたデータはすぐに蓄積され、さまざまな研究の取組みと相互にリンク。

情報が統合されることにより、予測的に研究を行うことが可能に。



出所) Genomic:GTL Roadmap , August 2005  
NEDO海外レポート No.984

図 1.3-4 ゲノミクス GTL プログラムの概要<sup>48)</sup>

<sup>48)</sup> 各種資料より TRI 作成

セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決  
 次図のような体系になっている。

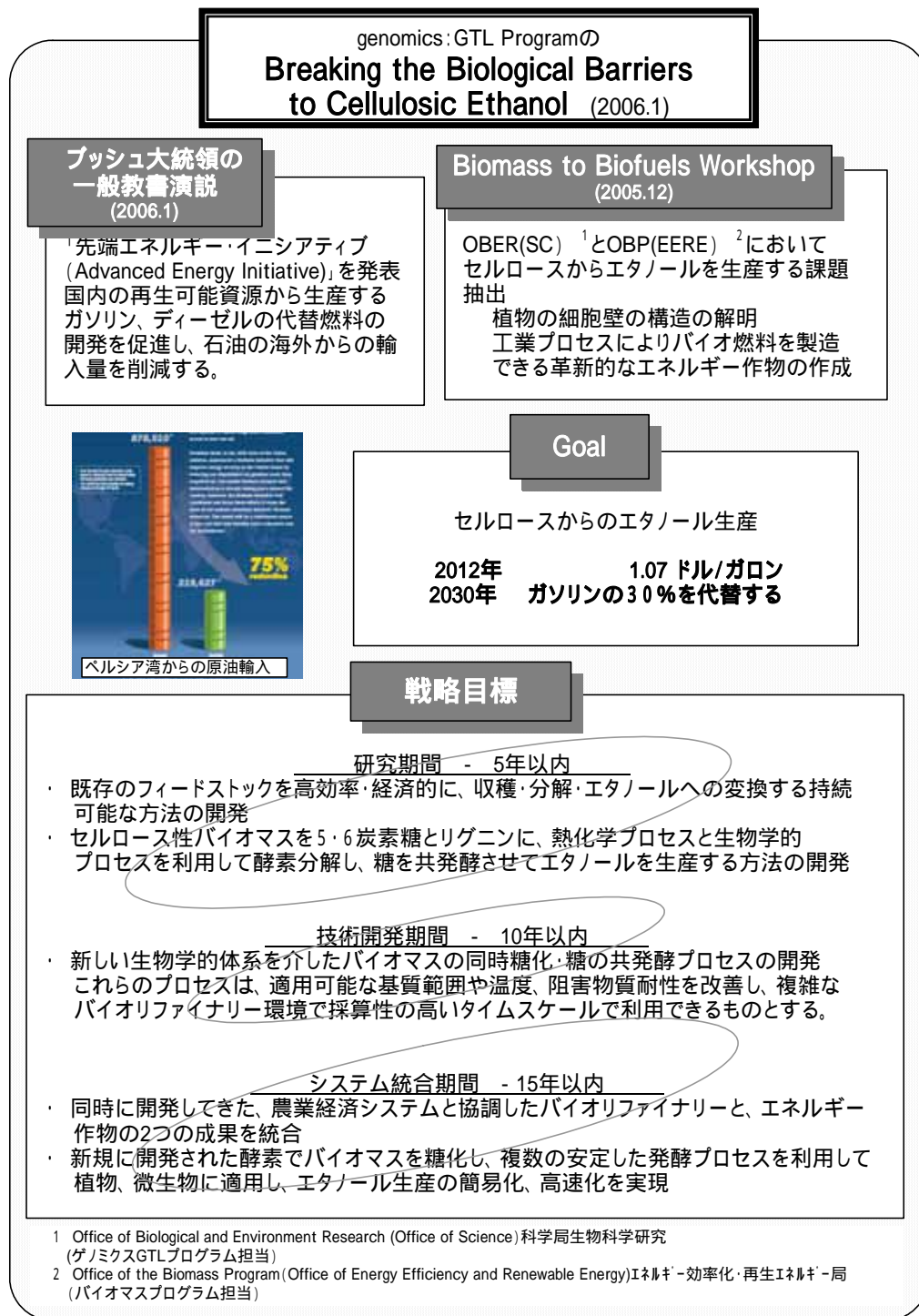


図 1.1-5 「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」の概要<sup>6)</sup>

<sup>6</sup> 各種資料より TRI 作成

## (2) 欧州

### ①EU

欧州委員会 (EC) は、EU が行う研究開発助成の中心的政策手段である第 7 次研究開発フレームワーク計画 (FP7) を、2005 年 4 月に発表した。FP7 が FP6 と大きく異なっている点は、バイオテクノロジー分野において、レッド、グリーン、ホワイトの 3 つのバイオテクノロジー (医学、農業、産業) のすべてが組み入れられている点である。特に産業バイオテクノロジーは学際的な領域であり、再生可能な原料、バイオエネルギー、新材料となる新作物の開発、持続可能な生産工程など、他研究領域との連携が欠かせない。

一方、エネルギー需要の増加、CO<sub>2</sub> 排出削減取り組みの逼迫にもかかわらず、EU には「共通のエネルギー政策」と呼べるものがないとの認識から、2006 年 3 月、共通エネルギー政策の策定の叩き台となる、『安全で競争力があり、持続可能なエネルギーのための欧州戦略 [COM (2006) 105]』と題したグリーンペーパーを公表した。

また運輸部門におけるアプローチとして、「運輸部門でのバイオ燃料あるいは他の再生可能燃料の利用を促進する欧州議会・理事会指令 2003/30/EC」(バイオ燃料指令) が 2003 年 5 月に既に発表されており、加盟国市場で販売されるバイオ燃料、あるいは他の再生可能燃料のシェアを 2005 年末までに 2%、2010 年末までに 5.75%にするという目標が掲げられた。しかし、バイオ燃料の 2005 年のシェアは目標値の半分にも到達していない。欧州委員会では「バイオ燃料指令」の見直しとして、2006 年 2 月に「バイオ燃料のための EU 戦略」を発表した。その間 EC は「バイオマス分野の行動計画」も発表しており、運輸、暖房、電力生産部門に関して 20 以上の行動が提案されている。

最近では 2006 年 6 月に EC のバイオ燃料研究諮問委員会 (BIOFRAC) が「欧州連合におけるバイオ燃料—2030 年以降に向けてのビジョン」を発表した。この報告書で EU は、2030 年までに道路運輸部門の燃料需要量の 4 分の 1 相当をクリーンで CO<sub>2</sub> 排出効率が良いバイオ燃料に置き換えることを目標としている。この目標の達成により EU は化石燃料の輸入依存度を大幅に減らすことが可能となる。また、バイオ燃料は持続的で革新的な技術を使って生産されなくてはならないとしている。またバイオマス燃料は、バイオマス生産者、バイオ燃料生産者、自動車産業にも大きな経済効果をもたらすことが期待されている。

以下に「EU のエネルギー政策の流れ」、「欧州委員会の主な政策」、「欧州連合におけるバイオ燃料—2030 年以降に向けてのビジョン」の概要を示す。

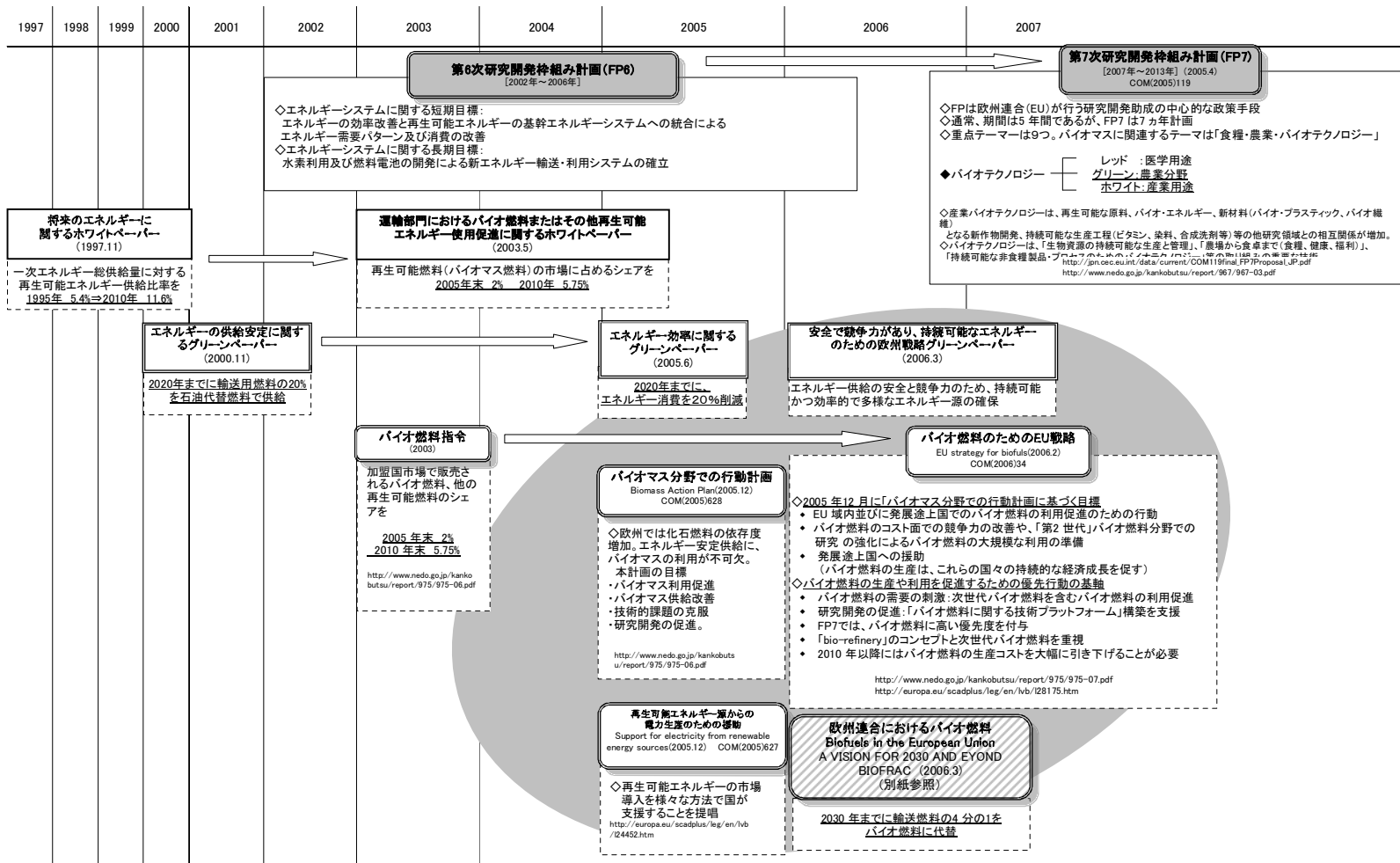


図 1.3-6 EU のエネルギー政策の流れ<sup>50)</sup>

<sup>50)</sup> 各種資料より TRI 作成

## EC(欧州委員会)の最近の取り組み

### 第7次研究開発枠組み計画(FP7)

[2007年～2013年] (2005.4)  
COM(2005)119

FP7は欧州連合(EU)が行う研究開発助成の中心的な政策手段  
通常、期間は5年間であるが、FP7は7ヵ年計画  
重点テーマは9つ。バイオマスに関連するテーマは「食糧・農業・バイオテクノロジー」

バイオテクノロジー

- レッド : 医学用途
- グリーン: 農業分野
- ホワイト: 産業用途

産業バイオテクノロジーは、再生可能な原料、バイオ・エネルギー、新材料(バイオ・プラスチック、バイオ繊維)となる新作物開発、持続可能な生産工程(ビタミン、染料、合成洗剤等)等の他研究領域との相互関係が増加。  
バイオテクノロジーは、「生物資源の持続可能な生産と管理」、「農場から食卓まで(食糧、健康、福利)」、「持続可能な非食糧製品・プロセスのためのバイオテクノロジー」等の取り組みの重要な技術。

[http://jpn.cec.eu.int/data/current/COM119final\\_FP7Proposal\\_JP.pdf](http://jpn.cec.eu.int/data/current/COM119final_FP7Proposal_JP.pdf)  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/967/967-03.pdf>

### バイオマス分野での行動計画

Biomass Action Plan(2005.12)  
COM(2005)628

欧州では化石燃料への依存度が増加しており、  
今後、エネルギーの安定供給するためには、  
バイオマスの利用が不可欠である。  
本計画の目標は、バイオマスの利用の促進、  
バイオマス供給の改善、技術的課題の克服、  
研究開発の促進である。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/975/975-06.pdf>

### 再生可能エネルギー源からの 電力生産のための援助

Support for electricity from  
renewable energy sources(2005.12)  
COM(2005)627

再生可能エネルギー  
の市場導入を様々な  
方法で国が支援する  
ことを提唱

<http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l24452.htm>

### バイオ燃料のためのEU戦略

EU strategy for biofuels(2006.2)  
COM(2006)34

2005年12月に「バイオマス分野での行動計画に基づく目標」

- ・ EU 域内並びに発展途上国でのバイオ燃料の利用促進のための行動
- ・ バイオ燃料のコスト面での競争力の改善や、「第2世代」バイオ燃料分野での研究の強化によるバイオ燃料の大規模な利用の準備
- ・ 発展途上国への援助  
(バイオ燃料の生産は、これらの国々の持続的な経済成長を促し得る)

バイオ燃料の生産や利用を促進するための優先行動の基軸

- ・ バイオ燃料の需要の刺激: 次世代バイオ燃料を含むバイオ燃料の利用促進
- ・ 研究開発の促進: ECは「バイオ燃料に関する技術プラットフォーム」の構築を支援
- ・ FP7では、バイオ燃料に高い優先度を付与
- ・ 「bio-refinery」のコンセプトと次世代バイオ燃料を重視
- ・ 2010年以降にはバイオ燃料の生産コストを大幅に引き下げる必要がある

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/975/975-07.pdf>  
<http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28175.htm>

図 1.1-7 欧州委員会の主な政策<sup>8)</sup>

<sup>8)</sup> 各種資料より TRI 作成



# Biofuels in the European Union - A VISION FOR 2030 AND BEYOND - BIOFRAC<sup>1</sup> (2006.3)

## Vision

- 2030年までに輸送燃料の4分の1を環境に優しいバイオ燃料に置き換える
- 化石燃料の輸入依存度を大幅に削減
- バイオ燃料は持続的で革新的な技術を使って生産
- バイオ燃料によりバイオマス供給者、バイオ燃料生産者、自動車産業に好機をもたらす。

## テクノロジー・ロードマップ

### Phase ~2010年

- ・既存技術の改良
- ・次世代バイオ燃料とバイオファイターの研究開発
- ・次世代バイオ燃料の実証プラント

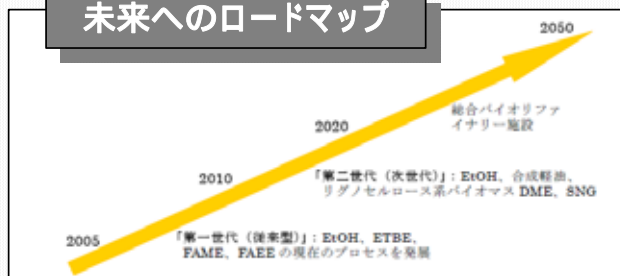
### Phase 2010年~2020年

- ・次世代バイオ燃料生産の展開
- ・バイオファイター・コンセプトの実証。
- ・リグノセルロース系バイオマス燃料と統合バイオファイター・プロセス改良のための研究開発
- ・資源作物と持続可能な農業の開発

### Phase 2020年~

- ・次世代バイオ燃料の大規模生産
- ・統合バイオファイター複合施設の展開

## 未来へのロードマップ



## 現在のバイオ燃料と次世代バイオ燃料

第一世代（従来型）バイオ燃料				第二世代（次世代）バイオ燃料			
種類	名称	バイオマス原料	生産技術	種類	名称	バイオマス原料	生産技術
バイオエタノール	従来型バイオエタノール	サトウキビ、穀類	加水分解 + 発酵	バイオエタノール	セルロース系バイオエタノール	リグノセルロース原料	高度加水分解 + 発酵
植物性油	植物性油 (PPO)	油糧作物 (例：菜種)	圧搾抽出	合成バイオ燃料	BTL, FT 軽油, (バイオ) 合成軽油, バイオメタノール, 炭 (混合) アルコール, バイオ DME	リグノセルロース原料	ガス化 + 合成
バイオディーゼル	エネルギー作物 SOF, 各種メチルエステル (RME), 脂肪酸メチル/エステルエステル (FAME/FAEE)	油糧作物 (例：菜種)	圧搾抽出 + エステル交換	バイオディーゼル	水素化処理バイオディーゼル	植物性油/動物性油	水素化精製
バイオディーゼル	廃棄物起源バイオディーゼル FAME/FAEE	廃棄物/料理用油/フライ用油/動物性油	エステル交換	バイオガス	SNG (合成天然ガス)	リグノセルロース原料	ガス化 + 合成
バイオガス	精製バイオガス	Wet 法	消化	バイオ液体	-	リグノセルロース原料	ガス化 + 合成, 生物学的工程
バイオガソリン (ETBE)	-	バイオエタノール	化学合成				

1 Biofuels Research Advisory Council 欧州委員会のバイオ燃料研究諮問委員会  
<http://www.biomatnet.org/publications/1919rep.pdf>  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/984/984-01.pdf>

図 1.1-8 「欧州連合におけるバイオ燃料 - 2030年以降に向けてのビジョン」の概要<sup>9)</sup>

<sup>9)</sup> 各種資料より TRI 作成



## ②ドイツ

### a. 将来のエネルギー供給のための持続性のあるエネルギー政策：2001.10

旧経済技術省（現経済労働省）

2020年代に及ぶエネルギー政策のシナリオを発表。この報告書の副題は『確実に供給でき、環境を保全し、経済性がある』となっており、原子力なしのエネルギー及び環境政策を推し進めていく方針を示している。なかでも、バイオ燃料に関しては2010年までに化石燃料の5.75%をバイオマスに置き換えるというEUの目標と同等の目標を掲げている。

### b. 改正再生可能エネルギー法<sup>53</sup>：2004.7

目的は再生可能エネルギーによって電力を生産する技術の一層の発展を推進し、電力供給に占める再生可能エネルギーの割合を2010年までに少なくとも12.5%、2020年までには少なくとも20%まで引き上げること（これらの数値目標が法的に設定された）。

バイオマス発電については従来よりも更に優遇されている。

・買取り価格の引き上げ：出力に応じ2004年の8.4～9.9 €/kWh →2005年から8.4～11.5 €/kWh

・単一バイオマス資源利用施設：買取り価格を更に2.5～6.0 セント/kWh 加算

従来の再生可能エネルギー法による再生可能エネルギー発電電力の買い取り義務化により、バイオマス発電量は順調に増大し、2003年のシェアは1.2%となっている。なお、2003年の再生可能エネルギー発電シェアは7.9%である（風力3.1%、水力3.5%が大きい）。

### c. 研究白書2004年版<sup>54</sup>

教育研究省（BMBF）

エネルギー分野の研究開発を助成する上で、連邦政府が掲げるエネルギー政策上の目標は、原子力を利用せず、補助金なしでも将来性のある長期的なエネルギー供給体制を整えることにある。

この観点から推進される非原子力エネルギー研究開発の重点は以下の分野。

- ・エネルギー需要の低減化
- ・エネルギー利用効率の改善
- ・再生可能エネルギーの利用促進

連邦政府は2001年から2003年にかけて実施された未来投資プログラムの燃料電池分野研究の中で、発電及び熱源用の地熱利用、太陽熱発電、オフショア風力エネルギー利用研究、燃料電池とバイオマス、省エネルギー化、既存建築物の省エネルギー化、その他の革新的な駆動技術などに関するエネルギー研究開発を促進している。なお、未来投資プログラムは期間を2005年まで延長し、精力的に開発を進めている。

エネルギー研究開発の重点分野における助成策は、化石エネルギー、再生可能エ

<sup>53</sup> <http://217.160.60.235/BGBL/bgbl1f/bgbl104s1918.pdf>

<sup>54</sup> Report of the Federal Government on Research 2004、[http://www.bmbf.de/pub/bufo\\_2004\\_eng\\_full\\_version.pdf](http://www.bmbf.de/pub/bufo_2004_eng_full_version.pdf)

エネルギーと省エネルギー化、原子力研究、原子力施設・試験施設の撤廃処理、核融合研究の主要テーマ分野に分けられる。

- d. 「第4次エネルギー研究とエネルギー・テクノロジー」プログラム（1996-2005）  
再生可能エネルギーと省エネルギー化の中の「バイオエネルギー」分野がバイオマス関連研究開発で年間約700万€の予算額。

バイオマス分野は、消費者保護・食糧・農業省(BMVEL)の管轄である。研究支援は、燃料準備とバイオマスからの熱、電気、燃料としての利用技術とその商用化の改善に集中している。「再生可能資源の研究開発、デモンストレーション・プロジェクトの促進プログラム」の枠組みにおいて、バイオガスの生産と利用の研究開発に資金が提供されている。

表 1.3-1 研究開発予算の概要<sup>55, 56, 57)</sup>

項目	プログラム名	期間	予算額 (百万€/年)
① 化石エネルギー	第4次研究プログラム エネルギー技術	1996-2005	14.32
② 再生可能エネルギー と省エネルギー化	第4次研究プログラム エネルギー技術	1996-2005	135
	「生物エネルギー」の分野 の研究は、「再生可能原料の 研究開発、デモンストレー ションの支援プログラム」 の枠組みの中で消費者保 護・食糧・農業省 (BMVEL) が支援	期限なし	現在 約7
③ 原子力エネルギー	原子炉安全性研究	—	2003年：約6.67
	最終処分場における研究	—	2003年：約7.37
	核物質のモニタリング	—	2003年：約0.08
④ 核融合	核融合研究	2002年—	112.10

<sup>55</sup> 改正再生可能エネルギー法(<http://217.160.60.235/BGBL/bgbl1f/bgbl104s1918.pdf>)

<sup>56</sup> Report of the Federal Government on Research 2004 ([http://www.bmbf.de/pub/bufo\\_2004\\_eng\\_full\\_version.pdf](http://www.bmbf.de/pub/bufo_2004_eng_full_version.pdf))

<sup>57</sup> NEDO 海外レポート特別号 ドイツにおける新エネルギー等実態調査、2005年度 No.3

ドイツにおける最近のバイオマス政策の動向を総括すると次図のようになる。



図 1.1-9 ドイツバイオマス政策の動向

### ③フランス

#### a. 科学技術政策

フランスの科学技術政策は、科学技術研究省間委員会（CIRST）において基本的方針が策定されてきている。優先研究領域は、生命科学、環境・エネルギー、情報通信の3つの領域である。

#### b. エネルギー政策

フランスのエネルギー政策は2003年11月に発表されたエネルギー白書にその基本方針が記載されている。エネルギー政策の優先事項として以下の4つが挙げられている。

- ・国民は、いかなる場所においても、妥当な価格で高品質のエネルギーを受ける権利を有する。
- ・フランス及び国内企業の経済競争力を強化する。
- ・地球環境保護（温室効果ガス排出削減）：2050年には温室効果ガス排出量を現在の4分の1にすることを目標
- ・エネルギーセキュリティの確保

これらを達成する主要原則として以下の3つを挙げている。

- ・省エネルギーとエネルギー有効利用の推進
  - ・エネルギーミックスの多様化
  - ・2020年までに既存の原子力発電所の更新の準備
- この中で、「エネルギーミックスの多様化」の主要な目標として、再生可能エネルギーの開発を挙げ、次のような明確な数値目標が示されている。
- ・2015年までに再生可能熱エネルギー生産を50%増加させる。これは、石油換算500万tに相当し、太陽エネルギー利用とバイオマスの開発によってなされる。
  - ・発電分野においては、再生可能エネルギーの割合を21%まで高める。それは、水力とバイオマスも同様であるが、風力が重要となる（2010年で1,000万kWの容量）。

更に具体的な制度として、大規模プロジェクトについては技術毎の競争入札制度を導入し、25万kWのバイオマス、バイオガスの導入促進を図るとしている。また、減税措置の設置により「バイオ燃料」の段階的開発支援を継続するとしている。

#### c. R&Dの基本戦略

エネルギー白書の中でのR&Dの基本戦略には以下のように書かれている。

- ・省エネルギー型で温室効果ガスの排出の少ない車の開発
- ・再生可能エネルギーのコスト低減、効率向上（特に、太陽電池、バイオ燃料）
- ・環境にやさしい水素燃料の利用(特に輸送部門)
- ・CO<sub>2</sub>ガスの削減（隔離）

EU指令を受け、バイオ燃料（ヒマワリや菜種油などから作る軽油の「バイオディーゼル」とてんさいや小麦などから作る「エタノール」）のコスト低減と効率向上を1つのR&D基本戦略としている。

（注）同国は、EU指令を受け「2007年までにバイオ燃料使用を3倍に拡大し、

2010年に向け更に2倍にする」ことを宣言した。政府がメーカーに対してバイオ燃料の生産枠を許認可する体制（減税財源内での生産許可制）を敷いている。

白書によると、全エネルギー消費の4.5%は、熱利用再生可能エネルギーに依っており、熱利用再生可能エネルギーはフランスにおける再生可能エネルギー消費の2/3を占める。

2001年の熱利用再生可能エネルギーの種類別比率は以下のとおりとなっている。

- ・76%：木材と木屑：戸別暖房（薪の利用が多い）及び集中暖房、産業用コージェネ
- ・15%：家庭ゴミ
- ・3%：バイオ燃料
- ・2%：バイオガス。ゴミから発生するメタンガス回収、ゴミのメタンガス化
- ・1%：地熱。イルドフランス地方（首都圏）では中温の地熱が利用されている（13万戸相当）
- ・3%：その他。太陽熱（給湯、給湯・暖房併用システム）、収穫作物のクズ、ヒートポンプ熱利用再生可能エネルギーに占める割合は木材（エネルギー源）が最も多く、フランスは木材・エネルギーの利用では欧州トップである。

#### d. ADEME（環境・省エネ庁）の計画

2006年を目処に以下の目標値が設定されている。

- ・木材・エネルギー：毎年、30万石油換算tの木材を化石燃料に代えて利用する。  
自治体、サービス部門、工業分野での投資援助、2002年末時点で14万3000石油換算t/年の代替効果
- ・バイオガス：毎年+15万石油換算t、バイオガス促進プランを準備中

このように、熱利用再生可能エネルギーの採用を積極的に進める（2015年をメドに+50%）としており、特に、フランスが高いポテンシャルを保有しながら未開発のバイオマス、太陽熱、地下浅部地熱の開発に注力している。

フランスにおける最近のバイオマス政策の動向を総括すると次図のようになる。

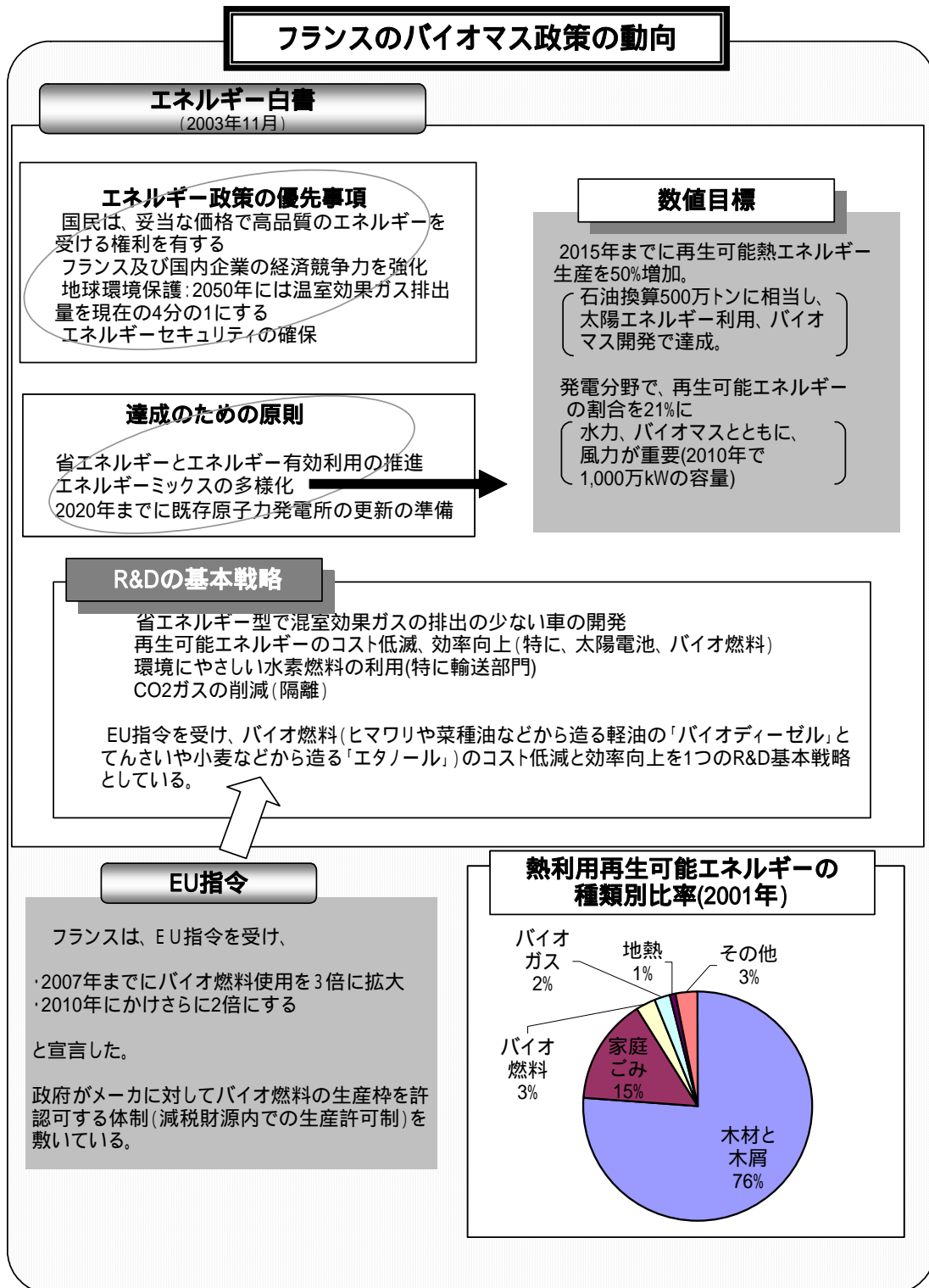


図 1. 1-10 フランスバイオマス政策の動向<sup>15)</sup>

<sup>15)</sup> 各種資料より TRI 作成

#### ④スウェーデン

##### a. バイオマスエネルギー重視の政策

スウェーデンは国土面積の 52%が森林であり、森林産業、特に製材及び製紙・パルプ産業が非常に盛んである。また国土が高緯度に位置しているため暖房エネルギーが必要で、以前からバイオマスエネルギーが活用されてきた。一次エネルギーに占めるバイオマスエネルギーの比率は約 17%（2005 年推計値）となっている。

##### b. 環境税

エネルギー製品に対して、3 つの異なる燃料税、エネルギー税、炭素税、硫黄税が課される。バイオ燃料は、エネルギー税が免除、炭素税、硫黄税が課されないため、燃料コストが抑えられ、導入が促進されている。そのため 2003 年末の時点で E85（85%エタノールの混合ガソリン）の消費者価格は 1L あたり 7.5 クローナであったのに対し、95 オクタンのガソリンは 9.30 クローナである。エタノールはスウェーデン国内では穀類や森林資源から作られるが、その生産コストは 1L あたり 4 クローナ（62 円/L : 1 クローナ=15.5 円で換算）である。

##### c. バイオマス関連補助金

バイオマスエネルギー施設建設のための補助金の支給、個人家庭で石油用ボイラを木質ペレット用に転換する際にも補助金が与えられる。

##### d. 持続可能なエネルギーシステムのための政策

エネルギー関連政策の 3 本の柱のひとつが持続可能なエネルギーシステムのための政策である。2005 年度のエネルギー関連政府予算案は 1396 百万クローナで、1 クローナ=15.5 円で換算すると 216 億円程度の規模である。

- ・電気市場政策
- ・他のエネルギー市場政策
- ・持続可能なエネルギーシステムのための政策

##### e. 持続可能なエネルギーシステム関連の技術開発

「持続可能なエネルギーシステムのための政策」の中でバイオ燃料等に関連するものとしては「燃料に基づいたエネルギーシステム」項目で以下のようなテーマ分野別の目標が掲げられている。

- ・バイオ燃料の活用として、灰の有効利用の研究を促進
- ・ペレットの国内生産における技術分野の支援
- ・熱電併給施設においては効率化を図るため IGCC（Integrated Gasification Combined Cycle、ガス化複合発電）の導入モデルの研究を継続支援
- ・輸送燃料としての水素ガス利用の継続的推進（ヴェルナモ・プロジェクト）
- ・輸送燃料のための、セルロースからのエタノール生産パイロット施設建設

2005 年以降補助金配布を優先する 6 分野のひとつに「バイオ燃料に基づいたエネルギーシステム」を掲げ、バイオ燃料の必要性の増加に伴い、原料からエネルギー生産までの過程（栽培－技術－輸送）全体研究が必要になるとしている。優先分

野は以下のとおり。

- ・他の森林産業と統合されたバイオ燃料生産の拡大と開発
- ・燃料生産とエネルギー生産の統合
- ・貯蔵、準備、加工等における燃料の品質

熱電併給分野においてはバイオ燃料に基づいた熱電生産を促進するとしている。

f. グリーン認証制度

2003年5月にバイオマス CHP 発電の発展を目指してグリーン認証制度を導入。グリーン電力供給者は発電量 MWh 毎に認証を得ることができ、通常の電気と別に販売できる。消費者は一定のグリーン電力購入を義務付けられ、この認証価格は北欧電力プール市場で約 25€/MWh となっている。これによって、バイオマス燃焼 CHP への投資が刺激されている（エネルギー税、炭素税、硫黄税が免除されるためバイオマス燃料をコスト面から有利にしている）。

（参考）

スウェーデン大使館投資部の情報によるとスウェーデンの電力料金は日本と比べると、住宅向けでほぼ 2 分の 1、産業向けになるとほぼ 4 分の 1 のこと。上記 b 項に近い時期では 2002 年 2 月現在の値を参考とすると、産業用で日本が約 13 円/kWh に対し、スウェーデンは 3.5 円/kWh である。従って、140 円/€で換算すると約 25€/MWh となり認証価格とほぼ同等である。



スウェーデンにおける最近のバイオマス政策の動向を総括すると次図のようになる。

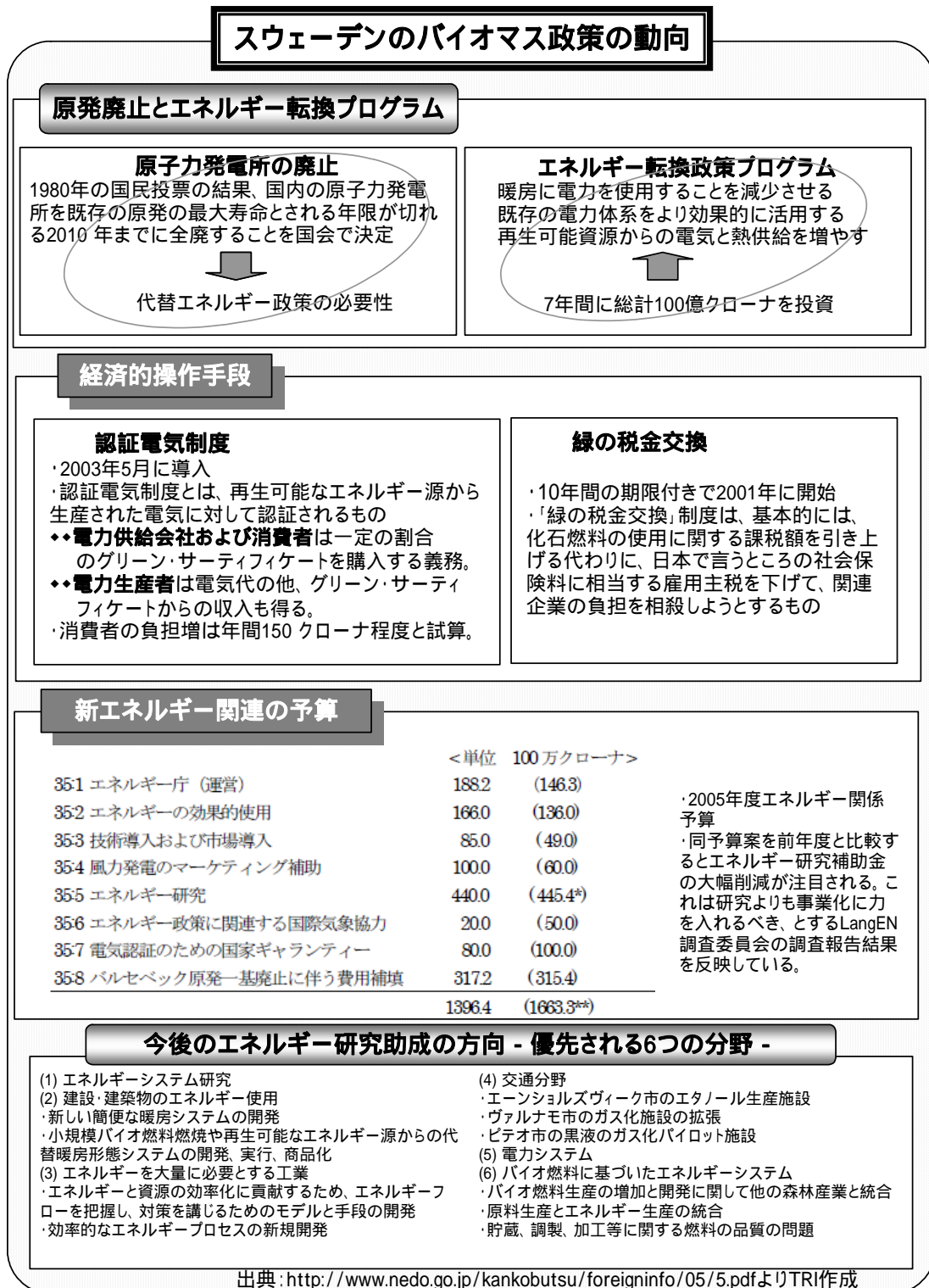


図 1.1-11 スウェーデンのバイオマス政策の動向

### 1.3.2 海外の技術動向

#### (1) アメリカ

米国のガス化プロジェクトには DOE 関連とその他州政府などのプロジェクトがある。米国では他国と違い、資源作物の利用も視野に入れて研究開発が行われているのが特徴である。また、熱化学変換において米国で報告されている技術的課題は以下のとおり。

表 1.3-2 熱化学変換における技術的課題

段階	課題
原料の供給、加工、取り扱い	サイズの縮小化、貯蔵と取り扱い、脱水、乾燥
ガス化 熱分解	部分的酸化、空気ブロー、酸素ブロー、間接フラッシュ熱分解、スチーム熱分解、真空熱分解
ガスのクリーンアップ 高温分離	微粒子の除去、タール改質、ベンゼン除去、S、N、Cl 緩和高温ろ過、アルカリ除去
ガス調整 収集／分離	メタン改質、CO <sub>2</sub> 除去、H <sub>2</sub> /CO 調整、硫黄研磨 エアロゾル収集、マイクロろ過、化学的安定化、水素化、脱水
燃料合成 アップグレーディング	C1 化学、FT 液、MTG、混合 OH アップグレーディング、製品分離

一方、バイオマスプログラムで実施又は終了したプロジェクトは 100 件強あり、以下にガス化技術を中心とした案件の詳細を記載した。

主要技術	Biomass Gas Clean-Up Using a Therminator “Therminator”を利用したバイオマスガスのクリーンアップ
開発者(国名)	Clemson 大学(米国)、2004-2008 年度
概要	<p>“Therminator”プロセスを利用して、バイオマスガス化合成ガスからタール、アンモニア、硫化水素を取り除く。</p> <p>2 基の流動床炉の間を循環する 3 つの機能触媒を使用して、以下の 3 つを達成することとしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ タール濃度を 0.1g/m<sup>3</sup> 以下、アンモニアの分解を 90%以上とする</li> <li>・ 硫化水素を 20ppm 以下にする</li> </ul> <p>タスクは以下の 4 段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 触媒の試験とスケールアップ</li> <li>・ プロセスのモジュールをベンチスケールで設計、開発</li> <li>・ Cratech ガス炉において 2 つのシステムの間での合成ガスの流れを確認し、改良する</li> </ul>

	・ 工学評価ならびに商用化評価を行う
課題	バイオマスガス化システムの商用化には、合成ガスのクリーンアップと合成ガスの組成を一定にすることが課題となっている。
参照先	<a href="http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/therminator.pdf">http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/therminator.pdf</a>

主要技術	Catalytic Hydrothermal Gasification of Wet Biomass Feedstocks ウェットバイオマスの触媒式熱水ガス化
開発者 (国名)	Antares Group, Inc.、Eastman Chemical Company、 Galleon Engineering, Inc.、Pacific Northwest National Laboratory (米国)、2005-2008年度
概要	本プロジェクトは、低温で触媒式熱水ガス化(LTCHG: low-temperature, catalytic hydrothermal gasification) プロセスを利用して含水量の多い廃棄物を合成ガスに転換する方法を開発するものである。 Eastman Chemical's Kingsport Plant の廃水施設からバイオスラッジサンプルを採取し、固形量、炭素・水素・窒素量、ミネラル分を測定。
利用方法	現在処理するのにコストのかかるウェットな一般廃棄物、産業廃棄物からのガス化技術
参照先	<a href="http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/hydrothermal_gasification.pdf">http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/hydrothermal_gasification.pdf</a>

主要技術	Biomass-Derived Hydrogen from a Thermally Ballasted Gasifier 熱バラストガス化 (Thermally Ballasted Gasifier) によるバイオマス
開発者 (国名)	Iowa State University (米国) 2001-2007年度
概要	スイッチグラス(資源作物)を原料として傍熱型ガス化(バラスト式ガス化)により、燃料電池用の水素が多量に含まれるガスに変換する。プロセスの熱分解の熱モデルは開発が完了している。ガス化システムの最適化とフルスケールでの経済性について、引き続き検討中。
利用方法	燃料電池用水素
課題	(1)ガス化の全体の冷ガス効率の改善、(2)塩化水素の信頼できる測定法の確立、(3)混合粒子の汚染制御システムの実証、(4)触媒反応による二酸化炭素吸着システムの可能性評価、(5)統合型バラストガス化システム経済性評価
参照先	<a href="http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/thermally_ballasted_gasifier.pdf">http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/thermally_ballasted_gasifier.pdf</a>

また、特許、文献調査も行い、主なものを以下に列挙した。

特許名	嫌気性エタノールと酢酸塩を生産する微生物 <i>Clostridium Ijungdahlii</i> <i>Clostridium Ijungdahlii</i> , an anaerobic and acetate producing microorganism UP patent:5173429
発明者(国名)	Gaddy James L.他(米国)
概要	ATCC No.49587(American Type Culture Collection)の特性を持つ新しい微生物は、 <i>Clostridium Ijungdahlii</i> と命名された。嫌気性の条件下で水溶性栄養培地で培養すると、合成ガスのCOとH <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> からエタノールと酢酸塩を作ることができる。最適な生育条件では、酢酸塩を、非生育条件ではエタノールを優位に作る。

特許名	廃棄ガスと <i>Clostridium Ijungdahlii</i> からの生物学的エタノール製造 Biological production of ethanol from waste gas with <i>Clostridium Ijungdahlii</i> US patent:6136577
発明者(国名)	Gaddy James L. (米国)
概要	石油精製で黒炭、コークス、アンモニア、メタノールを生産するように、工業的なプロセスで廃棄を変換して利用価値のある製品を製造する方法、ならびに装置を明らかにした。この方法は廃棄ガスをバイオリアクターに導入し、有機酸、アルコール、H <sub>2</sub> 、SCP (Single-cell protein)、有機酸の塩等、嫌気性微生物の発酵により様々な製品に変換する。その後、これらの有価物は回収、分離、精製する。

特許名	微生物発酵によるエタノール生産を増加させる方法 Methods for increasing the production of ethanol from microbial fermentation US patent:0030211585
発明者(国名)	Gaddy James L. 他(米国)
概要	少なくとも1種類の還元ガスに含まれるガス状基質の嫌気性微生物発酵によるエタノールを継続的、安定的に生産するためには、液体栄養培地において嫌氣的に酢酸を作るバクテリアのバイオリアクターを培養すること、バイオリアクターにガス状基質を供給すること、バイオリアクター中のバクテリアを酸化還元電位を還元したりNAD(P)H/NAD(P)比を増やすなりして操作すること、バクテリアの活動後バイオリアクターの状態を安定的に安定した細胞濃度に保つことが必要である。バイオリアクター中の遊離酢酸濃度は5g/L以下に維持されなくてはならない。本方法ではバイオリアクター中の発酵液体培養液において、一日あたり10g/L以上のエタノールを生産することができる。エタノールと酢酸塩の製造比は、1:1から1:20まで可能である。

文献名	一酸化炭素から <i>Butyribacterium methylotrophicum</i> が n-ブタノールを生産する証明 Evidence for Production of n-Butanol from Carbon Monomixide by <i>Butyribacterium methylotrophicum</i>
著者（国名）	Andrew J.Grethlein（米国）
概要	主に一酸化炭素と水素の混合物である合成ガスの生物学的変換は、燃料や製品を作る化学プロセスに代わり得るもうひとつの方法である。代謝最終産物としての酢酸塩と酪酸塩に加えて、 <i>Butyribacterium methylotrophicum</i> はCOガスから直接n-ブタノールを生産することがわかった。この微生物のCO株により2.7g/lのブタノールが生産された。この発見により一酸化炭素からブタノールを生産する代謝経路の存在が示された。

文献名	バイオマス発生炉ガスからエタノールへの発酵 Fermentation of Biomass-Generated Producer Gas to Ethanol
著者（国名）	Rohit P.Datar 他（米国）
概要	バイオマス発生炉ガスからエタノールへの発酵の実証はスイッチグラス（資源作物）をガス化して実施した。流動床ガス炉で発生した発生炉ガスは、N <sub>2</sub> が56.8%、COが14.7%、CO <sub>2</sub> が16.5%、H <sub>2</sub> が4.4%、CH <sub>4</sub> が4.2%であった。発生炉ガスはクロストリジウムバクテリアの発酵を利用して4-Lのバイオリアクターでエタノールと他の製品に利用された。バイオマスから生産した発生炉ガスの細胞濃度、水素の取り込み、酸/アルコール生産量を同じ成分のクリーンなボトルガスと比較した。その結果、(1)細胞の成長は止まっていたが死滅してはいなかった。(2)エタノールは細胞の成長が止まると生産される。(3)H <sub>2</sub> の利用は停止。(4)発生炉のガスを出してクリーンなボトルガスを注入すると、細胞は再び成長を始める。

## (2) EU

EUが20年来進めてきたバイオマスの熱分解、ガス化について、SAVEとALTENERの専門委員会で見直しを行っている。その概要を以下に示す<sup>59)</sup>。

### ①ガス化技術と規模

次図のようにガス化技術と規模を体系化している。

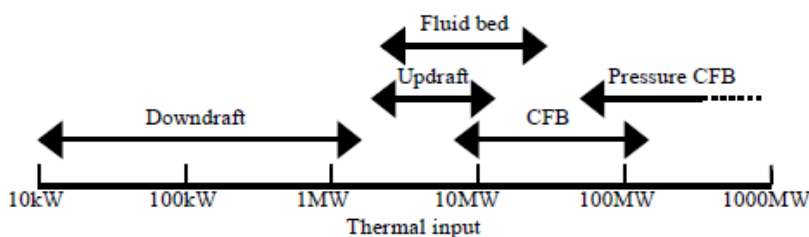


図 1.3-12 ガス化技術と規模<sup>60)</sup>

### ②技術的課題

以下の点を課題としてあげている。

- ・ 低圧ガス炉では、バイオマス燃焼で開発された技術を適用する事が可能であるが、高圧ほどメカニカルな問題、ガス濃度の問題が生じ、解決が困難である。
- ・ 高アルカリ、灰分の多い燃料など、様々な燃料に対応できるガス化炉の開発が必要。スケールアップも慎重に行う必要がある。燃焼、熱分解/還元を多段階にすることも開発中。
- ・ 発電する際のガスのクリーニングで、効果的で経済的なタールの除去が課題。

### ③研究開発のポイント

- ・ モデリング
- ・ Heating value
- ・ ガスのクリーニング：微粒子、経済性実証、高温ガスクリーニング、灰、タール除去、タールの変換と除去
- ・ フィルタ、コンデンサ、熱交換

<sup>59)</sup> A V BRIDGWATER、Bio-Energy Research Group, Aston University, The future for biomass pyrolysis and gasification:status, opportunities and policies for Europe (2002.11)  
[http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report\\_p536\\_v2.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report_p536_v2.pdf)

<sup>60)</sup> [http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report\\_p536\\_v2.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report_p536_v2.pdf)

表 1. 3-3 タールの変換・除去法<sup>61)</sup>

<b>Internal thermal</b>	<b>addition of oxygen and steam</b>
Ultra-high gasification temperature	oxygen and steam
Physical separation	e.g. wet scrubbing, adsorption, centrifugation
Internal catalyst	e.g. nickel or dolomite bed
External catalyst	secondary reactor with e.g. nickel or dolomite
External thermal	secondary reactor with addition of oxygen or air
External reverse flow	secondary reactor with addition of air or oxygen

④欧州、米国、カナダで商用化されているガス化炉の内訳<sup>62)</sup>

- ・ downdraft type : 75%
- ・ 固定床システム : 20%
- ・ updraft type : 2.5%
- ・ その他 : 2.5%

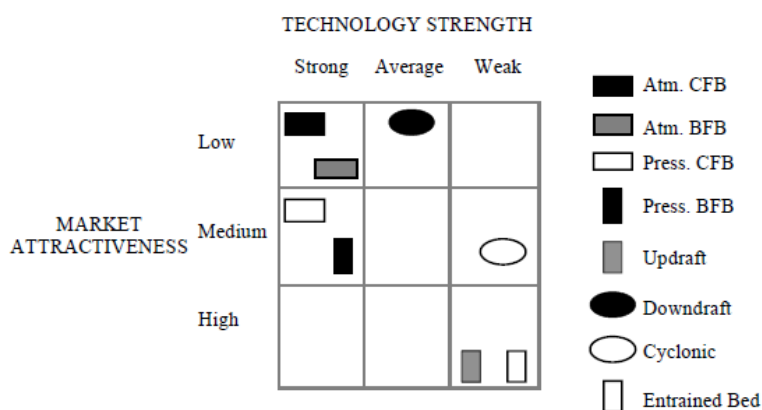


図 1. 3-13 電力の技術開発と戦略計画の相関図<sup>63)</sup>

⑤ガス化のロードマップ<sup>62)</sup>

風力などの再生可能エネルギー、バイオマスの中でも熱分解や燃焼技術の改良を考えると、技術、課題の克服に限られた財政資源を有効に利用する事が大切である。そのため、次図の右上、左下の開発が重要であるとしている。

<sup>61)</sup> [http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report\\_p536\\_v2.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/publications/doc1/report_p536_v2.pdf)

<sup>62)</sup> K. Maniatis, Directorate General for Energy & Transport, European Commission, Progress in Biomass Gasification: An Overview

[http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km\\_tyrol\\_tony.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km_tyrol_tony.pdf)

<sup>63)</sup> [http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km\\_tyrol\\_tony.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km_tyrol_tony.pdf)

	EXISTING TECHNOLOGY	NEW TECHNOLOGY
EXISTING MARKETS	<b>Market Penetration</b> Co-Firing Firing Waste + BM	<b>Product Development</b> Methanol H2 Fischer-Tropsch
NEW MARKETS	<b>Market Development</b> IGCC - 30-75 MWe Gasification 1-5 MWe Hot Air Gas Turbines	<b>Product Diversification</b> Chemicals from Biomass Monomer recovery Materials recovery

図 1.3-14 EU のバイオマスロードマップの概念<sup>64)</sup>

また、FP6 (第 6 時枠組み計画) のプロジェクトの中で Biomass/Gasification 関連のものを表 1.3-6 に記載した。

### (3) ドイツ

ドイツでは、バイオディーゼルには動力燃料に課税される鉱油税が免除されているため、その利用が普及しており、エタノール製造開発は遅れを取っている。

バイオマスガス化プロセスとしてはコーレン社の開発した Carbo-V プロセスがあり、最近、同社ではバイオディーゼル燃料「サン・ディーゼル」を開発した。

主なものを表 1.3-6 に記載した。

### (4) スウェーデン

スウェーデンは最近、リグニンを化学触媒として再利用するのではなく、石炭と同等のエネルギー価値を持つ新エネルギー源としての商業化に成功した。2006 年より本格的な活動が始まり、2009 年には 4 万 t までリグニンを増やし石炭を木質燃料リグニンに置き換える予定である (詳細は個別プロジェクトに記載)。

スウェーデンの商用ガス化炉は以下のとおりである。

<sup>64)</sup> [http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km\\_tyrol\\_tony.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/km_tyrol_tony.pdf)



表 1.3-4 スウェーデンの商用ガス化炉

Process	Location	Type	Size (MW fuel)	Fuel	Commissioned date	Application	Status
Komako	Filipstad	DD	2	green chips	1986-90	boiler	n.o.
WGE	Oskarshamn	DD	2	RDF, pellets, wood		boiler	n.o.
Eisenmann	Rättvik	UD	6.5	chips, rubber, peat	1986-90	lime kiln	n.o.
Bioneer	Lid	UD	10 (6+4)	wood chips	1986	boiler/dryer	operating
Bioneer	Vilhemina	UD	5	sod peat	1986	boiler	operating
Foster Wheeler	Norrsundet	CFB	20	bark/wood chips	1983	lime kiln	operating
Foster Wheeler	Karlsborg	CFB	25	bark/wood chips	1985	lime kiln	operating
Kværner (Götaverken)	Värö	CFB	35	bark/wood chips	1987	lime kiln	operating
BIOFLOW (test unit)	Vämamo	PCFB	18	wood chips	1994-96	IGCC	operating
Kværner (test unit)	Frövifors	EF	4	black liquor	1993	boiler	operating
Chemrec	Piteå	EF	0.5	black liquor	-	pilot	planned

DD = downdraft reactor  
 UD = updraft reactor  
 EF = entrained flow reactor  
 n.o. = not in operation

スウェーデンではガス化に関して多くのプロジェクトが進行している。主なものを表 1.3-6 に記載した。

### 1.3.3 まとめ

#### (1) 技術動向

米国では、他国と違い、資源作物の利用も視野に入れてガス化の研究開発が行われているのが特徴である。

欧州では、技術的な進展はあるものの実用化には問題のあるものが多いが、Harboøre プラントのように商用化されたガス化プラントもある。バイオマスのガス化は、フィンランド (Lahti)、オーストリア (Zeltweg)、ベルギー (Ruien) で商用化が進んでいる。IGCC はスウェーデン (Värnamo) で技術的には成功を収めているものの、Vermont では 2003 年に開発を終了している。また、メタノール、フィッシュートロップ・ディーゼル、水素を製造する合成ガスの開発も進んでいる。

バイオマスガス化を経た水素製造技術についても研究が行われている。

一方、バイオマスの微生物によるエタノールなどの発酵技術に関する特許も出されている。

#### (2) 技術的課題

米国では、以下の点を課題としてあげている。

表 1.3-5 熱化学変換の技術的課題

段階	課題
原料の供給、加工、取り扱い	サイズの縮小化、貯蔵と取り扱い、脱水、乾燥
ガス化 熱分解	部分的酸化、空気ブロー、酸素ブロー、間接フラッシュ 熱分解、スチーム熱分解、真空熱分解
ガスのクリーンアップ 高温分離	微粒子の除去、タール改質、ベンゼン除去、S、N、Cl 緩和高温ろ過、アルカリ除去
ガス調整 収集／分離	メタン改質、CO <sub>2</sub> 除去、H <sub>2</sub> /CO 調整、硫黄研磨エアロゾ ル収集、マイクロろ過、化学的安定化、水素化、脱水
燃料合成 アップグレイディング	C1 化学、FT 液、MTG、混合 OH アップグレイディング、製品分離

EU では、以下の点を課題としてあげている。

- ・ 低圧ガス炉では、バイオマス燃焼で開発された技術を適用する事が可能であるが、高圧ほどメカニカルな問題、ガス濃度の問題が生じ、解決が困難である。
- ・ 高アルカリ、灰分の多い燃料など、様々な燃料に対応できるガス化炉の開発が必要。スケールアップも慎重に行う必要がある。燃焼、熱分解/還元を多段階にすることも開発中。
- ・ 発電する際のガスのクリーニングで、効果的で経済的なタールの除去が課題。

表 1.3-6 バイオマスガス化などの主要技術

国名	テーマ/技術名	実施者	実施年	現状	利用方法	課題
米国	Biomass Gas Clean-Up Using a Therminator “Therminator”を利用したバイオマスガスのクリーンアップ	Clemson 大学	2004-2008	2基の流動床炉の間を循環する3つの機能触媒を使用して、以下の3つを達成することとしている。 ・タール濃度を0.1g/m <sup>3</sup> 以下とする ・アンモニアの分解を90%以上とする ・硫化水素を20ppm以下にする	バイオマスガス化合成ガスからタール、アンモニア、硫化水素を取り除く	合成ガスのクリーンアップと合成ガスの組成を一定にすること
米国	Catalytic Hydrothermal Gasification of Wet Biomass Feedstocks ウエットバイオマスの触媒式熱水ガス化	Antares Group, Inc.他	2005-2008	Eastman Chemical's Kingsport Plantの廃水施設からバイオスラッジサンプルを採取し、固形量、炭素・水素・窒素量、ミネラル分を測定	現在処理するのにコストのかかるウエットな一般廃棄物、産業廃棄物からのガス化技術	ウエットバイオマスの低コストガス化
米国	Biomass-Derived Hydrogen from a Thermally Ballasted Gasifier 熱バラストガス化 (Thermally Ballasted Gasifier) によるバイオマス	Iowa State University	2001-2007	プロセスの熱分解の熱モデルは開発が完了している。ガス化システムの最適化とフルスケールでの経済性について、引き続き検討中	燃料電池用酸素	(1)ガス化の全体の冷ガス効率の改善、(2)塩化水素の信頼できる測定法の確立、(3)混合粒子の汚染制御システムの実証、(4)触媒反応による二酸化炭素吸着システムの可能性評価、(5)統合型バラストガス化システム経済性評価
米国	<i>Clostridium ljungdahlii</i> <i>Clostridium ljungdahlii</i> , an anaerobic and acetate producing microorganism 嫌気性エタノールと酢酸塩を生産する微生物	Gaddy James L.他	— (特許)	ATCC No.49587(American Type Culture Collection)の特性を持つ新しい微生物は、 <i>Clostridium ljungdahlii</i> と命名された。嫌気性の条件下で水溶性栄養培地で培養すると、合成ガスのCOとH <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> からエタノールと酢酸塩を作ることができる	エタノールと酢酸塩	製造効率
米国	Evidence for Production of n-Butanol from Carbon Monoxide by <i>Butyribacterium methylotrophicum</i> 一酸化炭素から <i>Butyribacterium methylotrophicum</i> が n-ブタノールを生産する証明	Andrew J.Grethlein	— (文献)	代謝最終産物としての酢酸塩と酪酸塩に加えて、 <i>Butyribacterium methylotrophicum</i> はCOガスから直接n-ブタノールを生産することがわかった。この微生物のCO株により2.7g/lのブタノールが生産された	n-ブタノール	同上
米国	Fermentation of Biomass-Generated Producer Gas to Ethanol バイオマス発生炉ガスからエタノールへの発酵	Rohit P.Datar 他	— (文献)	バイオマス発生炉ガスからエタノールへの発酵の実証はスイッチグラス(資源作物)をガス化して実施	エタノール	同上
米国	二重CFB SylvaGas プロセスのスケールアップ	Battelle/FERCO	2000-	米国バーモント州 Burlington 近郊の McNeil 発電所を10TPDから200TPDにスケールアップした。2000年後半、連続運転で320TPD、11-14MJ/Nm <sup>3</sup> の合成ガス生産を達成	合成ガス	—
米国	バガスガス化プラントにおける Renugas®プロセス	GTI	-1997	米国ハワイ州 Maui で12TPDのバガスガス化プラントを100TPDにスケールアップしたが、低密度のバイオマスの取り扱い及び供給に問題があり、1997年に終了	バイオガス	低密度のバイオマスの取り扱い及び供給に問題
EU	The KTH Cluster of Research Infrastructures in Sustainable Thermal Power Generation (FP6-INFRASTRUCTURES) 持続可能な熱発電に関する KTH 研究クラスター	SUSPOWER	2004-2007	実施中	バイオマス、廃棄物、石炭において、大気圧、加圧下で利用できるガスオイル	バイオマス、廃棄物、石炭の低コストガス化技術
EU	バイオマスガス化ガスによる SOFC 燃料電池 SOFC Fuel cell fueled by biomass gasification gas (FP6-SUSTDEV)	GREEN-FUEL-CELL	2004-2007	チャーのベッドをガスオイルのベッドと組み合わせたチャー清浄化大型技術を開発検討したところ、SOFCに適したガス化に成功	燃料電池	ガス化システムによるガスは、高価な清浄システムをつけないければ使用できず、経済面で成り立たない

国名	テーマ/技術名	実施者	実施年	現状	利用方法	課題
EU	Renewable fuels for advanced powertrains (FP6-SUSTDEV) 革新的輸送燃料としての再生可能燃料	RENEW	2004-2007	パイロット生産された DME と BTL は欧州の自動車メーカー4 社で検討	CH <sub>4</sub> 、メタノール/DME、エタノール（熱化学、酵素分解）、新規 BTL 燃料など	リグノセルロースバイオマスからの合成ガス生産技術
EU	BIOMASS FUELL CELL UTILITY SYSTEM (FP6-SUSTDEV) バイオマス燃料電池の利用	BIOCELLUS	2004-2007	実施中	燃料電池	燃料電池とガス清浄化技術は燃料ガスにダスト、タールやアルカリ、重金属などの汚染物質の混入を防ぐ
EU	Advanced Biomass Gasification for High-Efficiency Power (FP6-SUSTDEV) 高効率発電のための革新的バイオマスガス化	BIGPOWER	2005-2008	(1)ガスエンジン、(2)MCFC、(3)IGCC、の3つのタイプが開発、検討されており、その性能と技術-経済可能性が欧州各国で実施されている事例で検討中	(1)ガスエンジン (2)MCFC (3)IGCC	バイオマスからの小規模発電において、経済的で信頼できる高効率ガス化技術を開発
EU	Biomass Fluidised Bed Gasification with in situ Hot Gas Cleaning (FP6-SUSTDEV) その場で高温ガスの正常化を行うバイオマス流動床ガス化	AER-GAS II	2006-2008	実施中	バイオガス	バイオマスから高水素、高熱位、低タール/アルカリ/硫黄のガスを生産するためガスの清浄化を統合する低コストのガス化プロセスを開発
EU	Clean Hydrogen-rich Synthesis Gas (FP6-SUSTDEV) きれいな水素リッチな合成ガス	CHRISGAS	2004-2009	ウェーデンの Varnamo バイオマスガス化センターを中心に進められており、既に開発されているバイオマス燃料の加圧 IGCC CHP プラントをパイロットプラントとして実施。また大規模化による環境への影響も検討	水素リッチな合成ガス	バイオマス（残渣も含む）から水素リッチな合成ガスを生成するエネルギー効率のよい経済的な方法の開発
EU	T Research Capacity of TUBITAK-MRC Institute of Energy in the Fields of Integrated Biomass Gasification with Power Technologies (FP6-INCO) TUBITAK-MRC エネルギー研究所における発電技術とバイオマスガス化の総合的研究	BIGPOWER	2005-2008	実施中	水素リッチな合成ガス	エネルギー転換技術、バイオマス可能性評価、燃料特性、燃料の前処理、固定床・流動床ガス化技術、ガス正常化技術、水素リッチガス生産、電力生産、統合型電力サイクル、技術の生態系への影響評価、技術移転
ドイツ	合成軽油「サン・ディーゼル」	コーレン社(ドイツ ザクセン州フライベルク)	実施中	バイオマスをガス化する画期的な技術「Carbo-V プロセス」を開発し、世界特許を取得。同プロセスを利用したパイロットプラントは、すでに 98 年に運転を開始。動力燃料製造用の商業プラントは 2003 年 10 月に建設を開始し、燃料の製造は 2005 年に開始	バイオディーゼル燃料	税引前のサン・ディーゼルの価格は、通常のディーゼルオイルの 2~2.5 倍。税制上の優遇措置がなければ競争力をもてない
ドイツ	Production and Utilization of Ethanol by the Homoacetogen <i>Acetobacterium woodii</i> Homoacetogen <i>Acetobacterium woodii</i> によるエタノール生産と応用	Heike Buschhorn 他	— (文献)	<i>Acetobacterium woodii</i> は、培養液のリン酸塩濃度が 0.2 から 8.4mM のときに酢酸塩の他に、エタノールを発酵産物として作る。かなりの量のアラニンも見つかっている (2-11mM)	エタノール	製造効率
フィンランド	バブリング流動床バイオマスガス化プロセス	Foster Wheeler Corporation	— (文献)	50MWth の BFB ガス炉をフィンランド Verkaus に設置、運転している。このプラントではアルミニウムを含むプラスチック廃棄物の 15%をガス化、年間 2,500t のアルミニウムを回収	合成ガス	—
フィンランド	循環流動床バイオマスガス化プロセス	Alstrom/Foster Wheeler Corporation	1988-	1980年代半ばより BMG プラントを建設していた FW は、CFB BMG を 45MWh にスケールアップし、フィンランドの Lahti に Lahden Lämpövoima Oy Kymijärvi 混焼プラントを建設した。1988 年初めに開始したプラントでは、40-70MWh、30,000 時間以上運転している	バイオガス	—
フィンランド	15MWth 高圧(20bar)Renugas パイロットプラント	Carbona	2000 頃	GTI の Renugas 技術のライセンスを使用し、15MWth 高圧(20bar)Renugas パイロットプラントをフィンランドの Tampere に建設し試験した。Carbona は様々なバイオマス廃棄物を用い 2,000 時間の高圧ガス化運転を実証し、IGCC 用の高温ガスをろ過の評価も行った。2004 年 10 月 Carbona は 5.4MWe の低圧	バイオガス	—

国名	テーマ/技術名	実施者	実施年	現状	利用方法	課題
				Renugas 実証プロジェクトをデンマークの Skive で開始すると発表		
スウェーデン	加圧式バイオフィロー BMG IGCC プロセス	Sydkraft Ab	1993-1999	CHP (9MWh、6Mwe) 用加圧式バイオフィロー BMG IGCC プロセスがスウェーデンの Värnamo にて、8,500 時間の運転に成功した。高温ガスクリーンアップつき加圧式ガス炉と close-coupled Alstom's (現在は一部 Siemens) Typhoon ガスタービンによる発電の統合型で 3,600 時間の運転に成功	電力	—
英国	CFB BMG プラント	TPS/Studsvik	—	イギリスの北ヨークシャーの Eggborough で促成木バイオマスを利用し発電するもので、従来のガスクリーニングと Typhoon ガスタービンで 8MWe の出力	電力	設計と運転に問題があり、一次生ガス熱交換器がオーバーヒートし固形物が詰まるというトラブルのため、プラントは閉鎖
オランダ	Pöls 製 CFB ガス化 BMG プラント	Lurgi 社	—	オランダ Geertruidenberg の BMG プラントを 85MWth にスケールアップした。この混焼プラントでは下流の熱交換器における濃縮を最小化し、生ガスの温度 400-450 度を維持している。この条件だと重金属、アルカリ化合物を濃縮して除去することが可能で、サイクロンセパレータは 65-70% の効率	バイオガス	—

## 1.4 調査結果に基づく国内と海外での現状の比較

世界各国でバイオ燃料の開発が活発になっているが、長期的な展望に立つとその目指す方向は違っている。

米国は短期的には既存のバイオマス資源からバイオ燃料を製造するとしているが、長期的には資源作物からの燃料製造、あるいは製造プロセスを単純化した組換え・新種微生物による燃料製造を目指している。

欧州ではバイオ燃料における長期展望が発表され、バイオ燃料を大幅に導入するとはしているが、リグノセルロース系バイオマスのガス化と合成でバイオ燃料の製造を目指している。しかし EU では各国で利用できるバイオマスの状況が大きく異なり、現在のところ足並みがそろわないのが実態である。

海外において行われているような大規模（最大 1,000 t/日規模）直接燃焼発電・熱利用、ガス化発電、石炭混焼発電等が国内でも導入される可能性がある。なお、海外、特に北欧では熱需要が多いという背景があり、売電や地域熱供給等が行われていることから大規模化が可能となっている。現状で木質系発電が成功しているのは、製材工場などで廃材を産業廃棄物として有償で引き取っているものを利用して発電する場合、あるいは森林組合などの組織が適正な価格で間伐材や未利用材を引き取っている場合であるが、安定的に一定量を確保することが困難なことも多く、事前の検討が大事である<sup>65)</sup>。

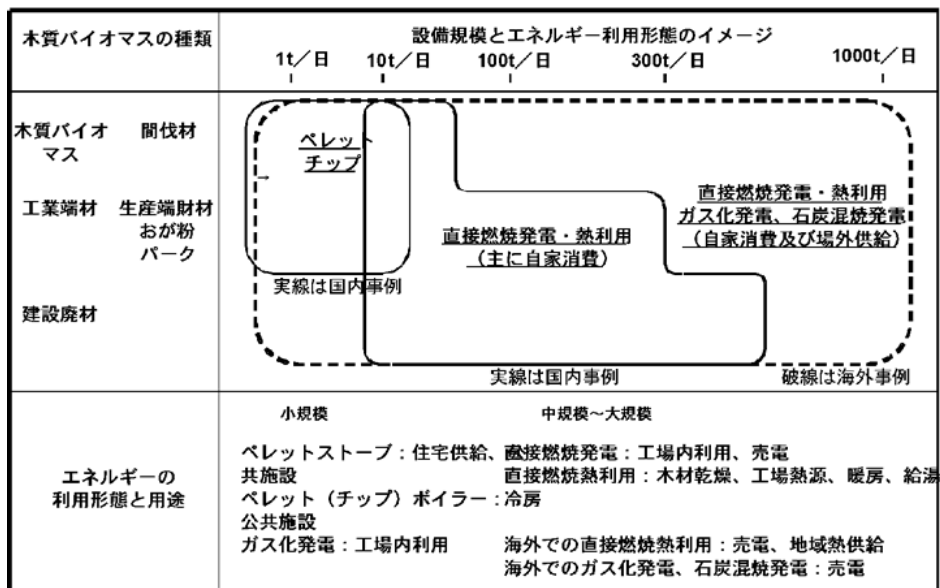


図 1.4-1 国内外の利用事例と規模<sup>65)</sup>

次ページに、バイオマスの技術戦略、バイオマスガス化の現状、バイオマスガス化のコスト、バイオマスの収集コストなどの国内と海外での現状の比較を取りまとめた。

<sup>65)</sup> 横山伸也、わが国における木質バイオマスの現状と課題、エネルギー・資源、Vol.26, No.3 (2005)

表 1.4-1 国内と海外での現状の比較

項目	日本	米国	欧州																				
バイオマスの技術戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>・京都議定書目標達成計画において、2010年に新エネルギー導入目標を原油換算で1,910万kL（我が国の一次エネルギー供給量の約3%相当）とし、バイオマス熱利用は原油換算308万kL、その内数として輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料を原油換算50万kLとした。</li> <li>・バイオマス・ニッポン総合戦略（平成18年3月）での技術的な観点からの目標：直接燃焼、ガス化プラント等含水率の低いバイオマスをエネルギーへ変換する技術の2010年の目標値</li> <li>○バイオマス日処理量10t級プラントのエネルギー変換効率：電力20%、熱80%</li> <li>○バイオマス日処理量100t級プラントのエネルギー変換効率：電力30%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマスプログラムは、生化学的転換、熱化学的転換のそれぞれの開発も目標としているが、それらが組み合わされてはじめて可能となる、その先のバイオリファイナリーによるバイオ燃料や、化学製品、エネルギーの生産が最終的な目標である。</li> <li>・2007-2012のプログラムではガスクリーン化、スイッチグラスの水素ガス化などを実施。</li> <li>・短期的には既存のバイオマス資源からバイオ燃料を製造しているが、長期的には資源作物からの燃料製造、あるいは製造プロセスを単純化した組換え・新種微生物による燃料製造を目指している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオマス分野での行動計画でバイオマス利用促進、供給改善、技術課題の克服などを掲げている。</li> <li>・バイオ燃料における長期展望が発表され、バイオ燃料を大幅に導入するとしている。次世代バイオ燃料ではリグノセルロース系バイオマスのガス化と合成でバイオ燃料の製造を目指している。</li> <li>・2030年までに輸送燃料の1/4をバイオ燃料に代替する目標を掲げている。</li> <li>・FP7では、バイオテクノロジー分野において、レッド、グリーン、ホワイトの3つのバイオテクノロジー（医学、農業、産業）のすべてが組み入れられ、産業バイオテクノロジーは再生可能な原料、バイオエネルギー、新材料となる新作物の開発、持続可能な生産工程などを実施。</li> </ul>																				
バイオマスガス化の現状	実証試験レベル	一部で実用化（固定床ガス化）	実用化例が多い（固定床ガス化、循環流動床など）																				
バイオマスガス化のコスト	<p>システム実証試験ではコスト的にも実用化に近いレベルのシステムが出てきているが規模が小さく熱需要がないケースも多く高コスト。</p> <p>&lt;ガス化発電単価の事例&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大幸テック（山形県小国町）：340円/kWh</li> <li>・立川CSセンター（山形県庄内町）：2,500円/kWh</li> <li>・月島機械（岩手県葛巻町）：14円/kWh</li> </ul> <p>&lt;新たな動き<sup>66)</sup>&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2005年JFEエンジニアリングが国内最大級のバイオマスガス化商用施設を受注。出力は国内最大の2000kW。</li> <li>・2006年3月に月島機械が秩父市から出力120kWの施設を受注。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状では商用化プラントはない。</li> <li>・バイオマス合成ガスの生産コスト目標</li> </ul> <p>2003年 7.25\$/100万BTU 2012年 4.34\$/100万BTU (参考) 参照</p>	<p>採算ベースに乗っているケースが多い（規模大）。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・税制優遇などによる燃料コストの優位性（スウェーデン）<sup>67)</sup></li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>石油</th> <th>石炭</th> <th>天然ガス</th> <th>木質ペレット</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>燃料価格</td> <td>1.4</td> <td>0.7</td> <td>1.6</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>炭素税・硫黄税</td> <td>2.2</td> <td>2.6</td> <td>1.3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>3.6</td> <td>3.3</td> <td>2.9</td> <td>1.7</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) 日本の税抜き灯油価格を1とした場合の比率</p> <p>&lt;発電単価の事例（フランス16MWガス化発電プラント）<sup>68)</sup>&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・13円/kWh（1€=150円換算）：事業者が要求している買い取り価格（一般卸売価格5.3円/kWh）</li> </ul>		石油	石炭	天然ガス	木質ペレット	燃料価格	1.4	0.7	1.6	1.7	炭素税・硫黄税	2.2	2.6	1.3	0	合計	3.6	3.3	2.9	1.7
	石油	石炭	天然ガス	木質ペレット																			
燃料価格	1.4	0.7	1.6	1.7																			
炭素税・硫黄税	2.2	2.6	1.3	0																			
合計	3.6	3.3	2.9	1.7																			
バイオマスの収集コスト	ケーススタディなどで収集コストの試算を実施しているが、採算ベース（目標）である10,000円/乾重tに対し、試算値は15,000円/乾重t以上。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・米国ハワイ州Mauiで12TPDのバガスガス化プラントを100TPDにスケールアップしたが、低密度のバイオマスの取り扱い及び供給に問題があり、1997年に終了。</li> <li>・収集コストに関するデータはない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フィンランドの発電燃料向け木質系バイオマス価格は1.5万円/t程度（Biowatti社）<sup>69)</sup>。</li> <li>・伐採コストの比較<sup>70)</sup></li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>日本</th> <th>オーストリア</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>伐採コスト(円/t)</td> <td>4,000-15,000</td> <td>2,000-3,500</td> </tr> </tbody> </table>		日本	オーストリア	伐採コスト(円/t)	4,000-15,000	2,000-3,500														
	日本	オーストリア																					
伐採コスト(円/t)	4,000-15,000	2,000-3,500																					

<sup>66)</sup> <https://www.fuji-keizai.co.jp/market/06058.html>

<sup>67)</sup> NTS、バイオマスエネルギーの特性とエネルギー変換・利用技術、2002.4.30

<sup>68)</sup> <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/983/983-01.pdf>

<sup>69)</sup> NTS、バイオマスエネルギーの特性とエネルギー変換・利用技術、2002.4.30

<sup>70)</sup> 横山伸也、わが国における木質バイオマスの現状と課題、エネルギー・資源、Vol.26, No.3 (2005)

項目	日本	米国	欧州
			注) オーストリアも山間地のデータ
バイオマスガス化の技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・収集運搬システム：道路整備などのインフラと収集システムの整備が今後の課題</li> <li>・前処理工程：破碎、乾燥、ペレット化の経済性</li> <li>・ガス化工程：海外技術の導入が中心で規模が小さく、効率、コストが課題</li> <li>・後処理：米欧と同様にクリーンアップ対策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・収集運搬システム：農産廃棄物以外の林地残材などの木質に関して収集システムは未整備。</li> <li>・前処理工程：ウェットバイオマス対策など</li> <li>・ガス化工程冷ガス効率向上、ダウンドラフト固定炉の操業安定化</li> <li>・後処理：触媒によるクリーンアップに DOE は精力的に取り組んでいる。アップドラフト固定床炉のタール除去対策も課題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・収集運搬システム：スウェーデンでは木質エネルギーが一次エネルギーの 20% を占めており、紙・パルプ産業の収集システムの一環として林地残材収集は既にインフラが整備されている。オーストリアなどの山間部においても収集用道路が整備されている<sup>71)</sup>。</li> <li>・前処理工程：破碎、ペレット化では日米に優位</li> <li>・ガス化工程：ガス化効率向上（燃焼・熱分解・還元が多段化）、多様なバイオマス対応可能な炉の開発</li> <li>・後処理：特に経済性に重点を置きクリーンアップ（触媒、高温クリーンアップ、フィルタなど）に取り組んでいる。</li> </ul>
バイオマスガス化のプロダクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メタノール</li> </ul>	燃料電池用水素など	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガスオイル</li> <li>・燃料電池用水素</li> <li>・CH<sub>4</sub>、メタノール、DME、エタノール、BTL、BDF</li> </ul>
微生物によるプロダクト生産	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エタノール</li> <li>・酢酸塩</li> <li>・n-ブタノール</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酢酸塩</li> <li>・エタノール</li> </ul>

<sup>71)</sup> 横山伸也、わが国における木質バイオマスの現状と課題、エネルギー・資源、Vol.26, No.3 (2005)



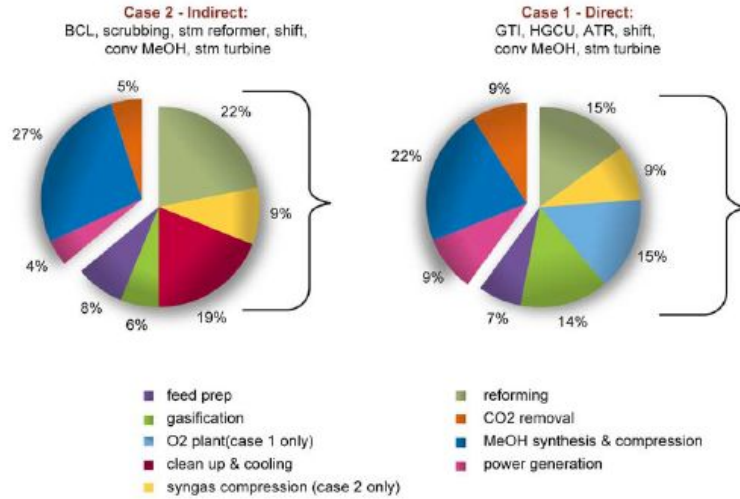


図 1.4-2 合成ガスの製造にかかるコストの割合

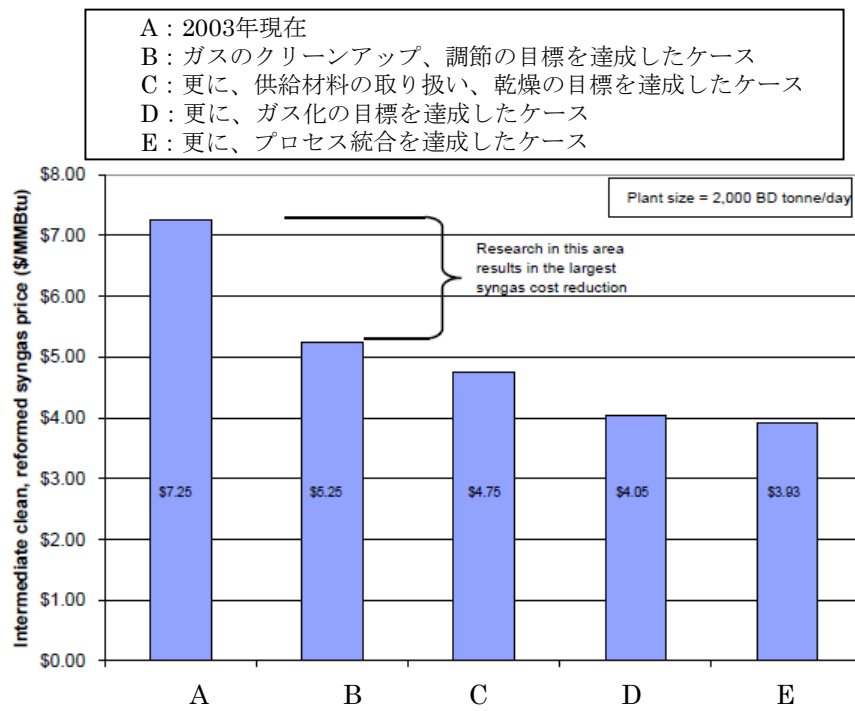


図 1.4-3 コスト削減効果

## 第2章 バイオマス利用の態様別革新的技術シーズの収集・整理

### 2.1 技術の整理

バイオマスの各種熱化学的変換法と、それに適したバイオマスの組み合わせを表 2.1-1 に示した。

表 2.1-1 バイオマス資源と利用技術の対応<sup>72)</sup> と賦存量<sup>73)</sup>

	Dry/ Wet	賦存量 [PJ/y]	技術進展の程度	変換技術											
				燃焼		熱化学的変換				生物化学的変換					
				直接燃 焼発電	混焼発 電	ガス化	熱分解	超臨界メ タール処 理	超臨界 水ガス 化	炭化	エステ ル化	メタン発 酵	エタノー ル発酵	水素発 酵	微生物 燃料電 池
				実用化	実証	実用化	実証	基礎	基礎	実用化	実用化	実証～ 実用化	木質系 実証	実証	基礎
規模		大規模	大規模	大規模	大規模	小規模	小規模	小規模	小規模	小規模	小規模	小規模			
木質系バイオマス	D	271	製材残材・林地残材	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	D	428	建築廃材	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	D		エネルギー作物	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
製紙系バイオマス	D	142	古紙	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
草木系バイオマス	牧草	D	0	牧草・ネピアグラス	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	水草・海草	W		アオサ、ホテイアオイ	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	農業残渣	D	183	トウモロコシ、稲藁、籾殻、麦藁	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
糞尿、汚泥系バイオマス	W	128	家畜排泄物	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	W	110	下水汚泥、し尿浄化槽汚泥	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
食品廃棄物系バイオマス	W	110	食品廃棄物、水産加工残渣	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
その他バイオマス	糖・でんぷん		甘藷	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	植物油		廃食用油、菜種油、パーム油	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ 変換技術の対象として適切と考えられるバイオマス種  
 ■ 最適ではないが利用できるバイオマス種

この表には、それぞれの技術の現在の進捗状況（実用化、実証、基礎）とバイオマスの賦存量をあわせて示した。この表に示されている技術を以下に解説する。

#### (1) 直接燃焼発電

バイオマスを直接燃焼して熱として利用する、あるいはボイラ発電を行う技術。木質系廃材、未利用材やバガスを用いて既に実用レベルに達しているが、既設設備は熱効率が低いものが多い。

#### (2) 混焼発電

石炭火力発電所などで石炭等の化石資源とバイオマスを混合燃焼する技術であり、バイオマスの添加による発電効率などの低下を抑えて、安定運転することを目指す。

<sup>72)</sup> NEDO、バイオマスエネルギー導入ガイドブック第2版、2005年

<sup>73)</sup> 山地憲治編著、バイオエネルギー、2000年12月

### (3) ガス化

バイオマスを高温でガス化させ、そのガスを用いて発電や熱、化成品の合成に利用する。この際、タールの発生が問題となる。また、超臨界条件を利用して加水分解反応によりガス化する技術が研究されている(図 2.1-1)。生成したガスを触媒や微生物を用いてメタノールや有機酸に変換する研究も行われている。

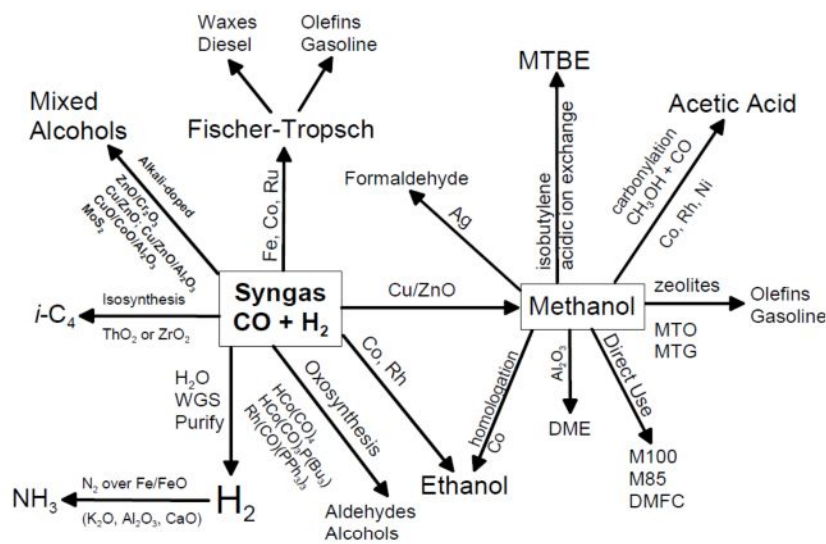


Figure 1: Diagram of Syngas Conversion Processes Covered in This Report

図 2.1-1 バイオマス合成ガスからの各種化成品の合成<sup>74)</sup>

### (4) 熱分解

高温条件や高温高圧水中でバイオマスを分解し、油状の生成物を得る。

### (5) 超臨界水ガス化

超臨界水中では加水分解反応が迅速に進行し、同時に有機物が効率よく分解されることを利用してバイオマスなどをガス化する。

### (6) 炭化

バイオマスを酸化剤遮断下にて加熱し、熱分解させて炭素含有率の高い固体(炭)を得る。

### (7) エステル化

植物油や廃食用油をメチルエステル化し、バイオディーゼル燃料を生産する。製造コストがディーゼル燃料より高い(~90 円/L)ため、今後改良が必要であるが技術的には完成している。

<sup>74)</sup> NREL 報告書, Preliminary Screening - Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas, 2003 年 12 月

#### (8) メタン発酵

家畜排泄物や食品廃棄物を嫌気性発酵させることにより、メタンガスを発生させる。この技術は処理廃液の処理が問題となるため、低水分含量の原料でもメタン発酵が可能な微生物を利用し、廃液を発生させない技術も検討されている。

#### (9) エタノール発酵

でんぷん系資源を用いたエタノール生産技術は既に実用化されている。ガソリンに混ぜ、自動車燃料として使用する目的で、世界で約 4,000 万 kL が生産され、アメリカ、ブラジル、中国が主な生産国である。米国では、2012 年までに年間 3,000 万 kL 程度までバイオエタノール生産を拡大する予定で、価格はガソリンと同水準を目標としている。日本国内ではバイオ燃料の原料とする余剰作物がほとんどないため、セルロース系バイオマスからの転換が注目されている。この場合、原料の前処理→酵素糖化→エタノール発酵の手順で製造される。この手法の技術的課題は、リグニン除去前処理での非硫酸法への転換、低コスト酵素糖化、高速発酵、発酵阻害物質の影響回避などである。バイオエタノールは温暖化対策やエネルギー安全保障、農業対策などを目的として今後も世界的な増産が続く見込みである。

#### (10) 水素発酵

嫌気性細菌の発酵を利用して水素を製造する。最近、RITE により蟻酸経由で高効率にバイオ水素を製造するシステムが開発された。

#### (11) 微生物燃料電池

バイオマスから直接電気エネルギーを回収する装置として注目されている。従来の燃料電池の貴金属触媒を微生物に置き換えることにより、いろいろな有機物やバイオマスを燃料として、温和な条件で電力変換が可能である。最近、直接電極と反応する微生物 *Geobacter* などが見出され、反応効率が上昇している。

以上より、湿潤バイオマスは生物化学的転換ないし水熱的転換、乾燥バイオマスは熱化学的変換が好ましい傾向がある。これらの転換プロセスについて、熱化学的及び生物化学的転換プロセスに分類し、それぞれについてバイオマス利用様態別の技術開発課題を整理し、課題克服のために必要な利用システムを検討する。

## 2.2 生物化学的変換プロセス

### 2.2.1 世界と日本のバイオマス

世界の地域別バイオマスエネルギー賦存量（EJ＝エクサジュール）は、表 2.2-1 のようになっている。廃棄物系の賦存量の多い地域はアジアで世界全体の 44% を占め、北米は 18%、欧州は 15% を占めている。アジア地域では、中国、インド、インドネシア、タイの賦存量が大きい（表 2.2-1）。東京大学の山地は、1990 年時点での世界全体のバイオマスバランス表を解析し、間伐材を除く残渣系バイオマスの発生総量は 83.5EJ としている。内訳は、木材系残渣が 32EJ、食料系残渣が 51.5EJ である。

表 2.2-1 世界<sup>75)</sup>及びアジア諸国<sup>76)</sup>のバイオマスエネルギー賦存量

	廃棄物系				プランテーション系	合計
	林産系	農業系	畜産系	小計		
アジア	5.9	27	15	49	38	87
オセアニア	0.4	1.0	1.1	2.6	14	17
ヨーロッパ	5.0	8.0	3.8	17	24	41
北米	7.7	9.5	3.1	20	21	41
南米	1.9	5.2	5.4	13	18	30
アフリカ	2.0	3.3	5.6	11	27	38
総計	23	55	34	112	142	288

注) プランテーション系の資源量はプランテーション用地に転用可能と想定した面積等からの計算上の値であり、実在の資源量とは異なる。その他の値は98年の穀物生産実績等を元に試算。

	廃棄物系				プランテーション系	合計
	林産系	農業系	畜産系	小計		
中国	1.7	10	6.2	18	16	35
インド	1.1	7.0	6.3	14	3.5	18
タイ	0.1	1.0	0.3	1.5	0.7	2.2
インドネシア	1.0	1.8	0.8	3.6	1.9	5.5
マレーシア	0.4	0.5	0.1	1.0	0.1	1.1
フィリピン	0.1	0.5	0.2	0.9	0.3	1.2
総計	4.5	21.2	14.0	39.7	22.8	42.6

世界の陸地のバイオマス存在量（ストック）は乾燥重量にして約 1.2-2.4 兆トン、エネルギー換算で約 24,000-48,000EJ と評価されている。その大部分は陸上の樹木であり、海洋のバイオマス存在量はその 300 分の 1 程度に過ぎない。賦存量は毎年のバイオマスの純一次生産量（フロー）は 1,289 億トンと見積もられている。毎年再生産される量の範囲でバイオマス資源を持続可能に利用する限りにおいて、バイオマスエネルギーは再生可能エネルギーとみなすことができる。

<sup>75</sup> 資源エネルギー庁、新エネルギー対策課プレゼン資料、平成 14 年

<sup>76</sup> （財）地球環境産業技術研究機構、バイオマス資源を原料とするエネルギー変換技術に関する調査（Ⅱ）、平成 12 年 3 月

全世界の消費エネルギーの内 11%がバイオマス由来である。アジア地域のバイオマス国内消費量は軒並み高く、中国は賦存量の 49%、インドは 59%を占めている。今回調査したタイを中心としたアセアン地域は、多種類のバイオマス資源を有するものの、バイオエタノール等に変換されて有効利用されることは少なく、食料、飼料、燃料、更に廃棄物として燃やされて処理されているのが現状である。しかし、年間を通じて温度が高く土地が肥沃で高いバイオマス生産能力があり、エネルギー資源作物の導入にも適している。タイの一次エネルギーは原油、天然ガス、石炭が主であるが、薪や木炭などの再生可能資源も 15%ほど使用されている。タイ政府では、サトウキビを原料とするバイオエタノール生産工場を 20 箇所ほど稼働させる予定であり、輸送用燃料（ガソリン）にバイオ燃料を混入させる計画である。2011 年までにエタノールを 10%程度ガソリンに添加した自動車燃料アルコールブレンドガソリン（E10）を目標としている。その他のバイオ燃料としては、この地域はパーム油をメチルエステル化したバイオディーゼルの製造が盛んであり、特にマレーシア、インドネシアが生産地として注目されている。

表 2.2-2 に日本のバイオマス賦存量とエタノール得量を示す。このように、日本でバイオマスをすべて利用すると、約 1,000 万トンのバイオエタノールが製造可能である。1990 年時点での我が国のバイオエネルギー利用量は、紙パルプ産業における黒液・廃材利用とごみ発電を合わせ石油換算約 500 万トン（208PJ）、また、間伐材を除く残渣系バイオマスの供給総量は 1,547PJ と算出されている。

表 2.2-2 日本のバイオマス賦存量とエタノール得量<sup>77)</sup>

資源	賦存量 万トン/年	利用可能量 万トン/年	エタノール得量* 万トン/年	バイオマス発生比率
古紙	1,991	280	99	0.65/紙
稲わら	1,015	678	194	1.40/米
もみ殻	219	61	13	
林地残材	214	196	59	0.89/木材
間伐材	323	187	56	
未利用樹	1,230	1,230	369	
製材残材	465	193	58	0.82/木材
建築残材	477	458	137	
合計			985	

株三菱総合研究所「平成14年度 新エネルギー等導入促進基礎調査

バイオマスエネルギー開発・利用戦略に関する調査研究」より

## 2.2.2 バイオマスエネルギー変換技術

再生可能資源バイオマスからの大規模なエネルギー生産は、地球温暖化に対する長期的、根本的解決法として大きく期待されているが、しかし原料であるバイオマスの中でも今後重要な資源になると予想されるソフトバイオマス（セルロース／ヘミセルロース）やハードバイオマ

<sup>77)</sup> バイオリファイナリーの研究・動向調査 2005年7月 JBA、地球環境関連技術の推進に関する調査 2005年3月 RITE

ス（木質系）の効率的生物分解や再資源化などの技術ハードルは高い。一方、微生物によるセルロース分解は、基礎的な段階を超え、実用化への取り組みが米国で始まっている。欧米では急速にバイオ燃料（バイオエタノール、バイオディーゼル）のマーケット拡大が進んでいる。このようなバイオマスエネルギー変換の基本政策や、数値目標など産官学のバイオエネルギーへの取り組み等について欧米は政府が強力なリーダーシップを取っている（第1章参照）。日本もバイオマス高度利用技術の研究開発と政策の遂行を的確に行い、地球温暖化対策としてバイオマスエネルギー変換技術を推進かつ確立していく必要がある。

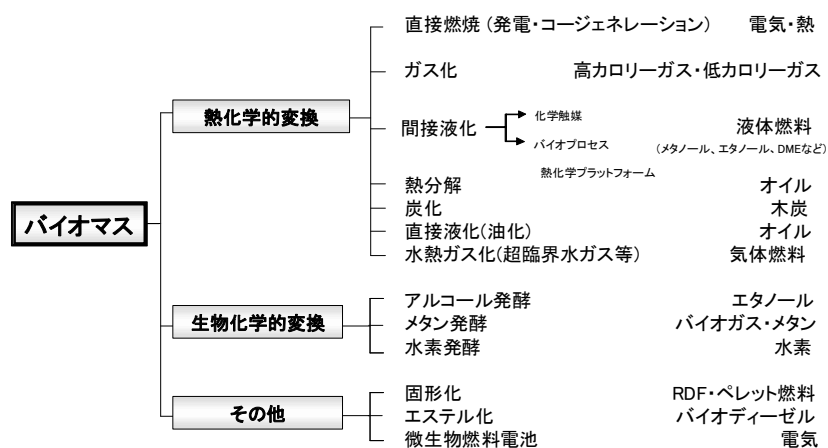


図 2.2-1 バイオマスエネルギー変換体系図

生物学的変換プロセスには図 2.2-1 に示すように、大別してアルコール発酵やバイオガスのような発酵と、バイオディーゼルの2つがバイオ燃料として実用化が進んでいる。その他、バイオマスをガス化した後、微生物によりエタノールに変換する技術開発が米国で進展している。また、燃料電池と組み合わせるバイオ水素生産及び、微生物で直接発電する微生物燃料電池などがトピックスとして挙げられる。

### (1) バイオエタノール

石油危機時代以降も米国は DOE（エネルギー省）を中心に“エタノール製造研究”を維持し、現在の大規模開発へと継続している。DOE は 2015 年までには 20 ¢/L 以下まで製造コストを低下させ、熱量エネルギー換算においてもガソリンとの競争が可能になるとしている。技術開発のポイントは、醸造用微生物を用いるのではなく工業的製造プロセスに適した微生物を選定してバイオテクノロジーを応用し【エタノール製造微生物】を創製することにある。

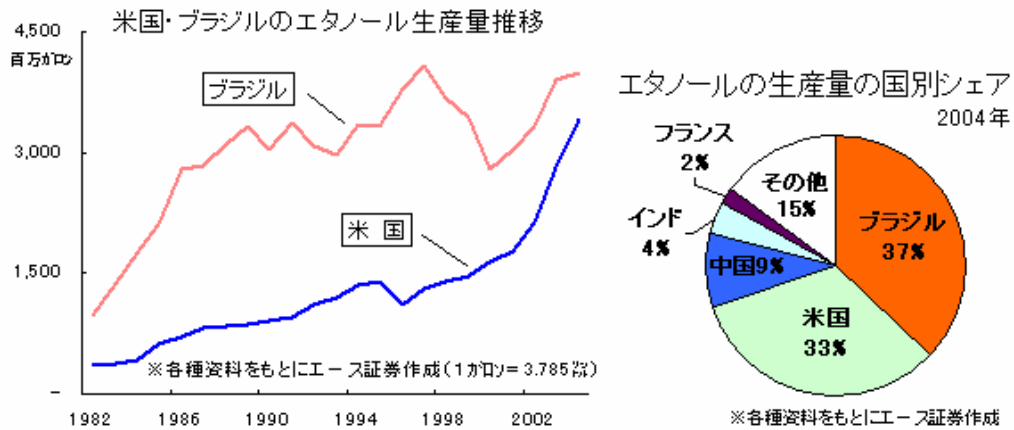


図 2.2-2 エタノールの米国とブラジルでの生産量推移と生産国の国別シェア<sup>78)</sup>

### ①米国のバイオエタノール

米国においては1970年代後半からエタノール混合ガソリンが販売開始され、主にとりもろこしを原料としたエタノールを10%程度ガソリンに添加した自動車燃料アルコールブレンドガソリン(E10)の使用が普及している。現在、一次エネルギーにおけるバイオマス利用は3%であるが、2020年には6%まで増加すると見込まれる。2007年1月現在、米国のエタノールプラントは100箇所以上で年間生産能力は約50億ガロンの見込みであり、過去半年で生産能力は10%以上拡大している。エタノール向けトウモロコシ需要は08年の収穫高の約5割に相当する約1億4千万トンである。最近の海外の開発動向をみると、エタノール生産量が増加する改良トウモロコシの研究や、バカス、稲藁、木材系廃棄物等のリグノセルロースからエタノールを生産する技術開発が行われている。

一方、近年の原油価格高騰を受け、各国でバイオエタノール事業が急速に展開されている。2005年の世界のエタノール生産量は122億ガロン、うち、米国が43億ガロン、ブラジルが42億ガロンとほぼ並んでいる(図2.2-2)。米国では原料はコーンが中心であり、2005年エネルギー政策法では2012年までに75億ガロンのバイオ燃料の使用を義務付けている。ブッシュ大統領は2006年1月一般教書演説で2025年までに中東からの原油輸入の75%を代替燃料に置き換えるという国家目標を示したが、その中で、リグノセルロースを原料とするバイオエタノール製造技術を6年以内に実用化するとの発表を行い、2012年迄に商用化するとしている。更にブッシュ大統領は、2007年1月の一般教書演説で2017年までにガソリン消費量の20%削減を打ち出した。削減はバイオエタノール等の代替燃料で補う計画である。表2.2-3は米国の代表的なバイオエタノールメーカーを示す。

<sup>78)</sup> エース証券 <http://www.ace-sec.co.jp/topics/060714.html>



表 2. 2-3 主要なバイオエタノールメーカー<sup>79)</sup>

	操業中	建設・増設中	合計
<b>Archer Daniels Midland</b>	<b>1,070</b>		<b>1,070</b>
<b>VeraSun Energy</b>	<b>230</b>		<b>230</b>
<b>Aventine Renewable Energy</b>	<b>150</b>	<b>57</b>	<b>207</b>
<b>Hawkeye Renewables</b>	<b>50</b>	<b>150</b>	<b>200</b>
<b>ASAlliacnes Biofuels</b>		<b>200</b>	<b>200</b>
<b>Midwest Grain Processors</b>	<b>50</b>	<b>102</b>	<b>152</b>
<b>US BioEnergy</b>		<b>145</b>	<b>145</b>
<b>New Energy</b>	<b>102</b>		<b>102</b>
<b>Advanced Bioenergy</b>		<b>100</b>	<b>100</b>
<b>米国合計</b>	<b>4,336</b>	<b>1,981</b>	<b>6,317</b>

(2006/1 現在 再生可能燃料協会 単位百万ガロン)

## ②ブラジルの DEDINI 社のシステム

ブラジルの砂糖・アルコール生産企業であり、機械設備メーカーでもある DEDINI グループは、2003 年 6 月にサトウキビの穂先、葉及びバガス等からエタノールを生産する新しい製造法を開発したと発表した。当該技術は「DEDINI 高速水溶処理方法 (DHR)」と呼ばれる繊維質の糖化技術であり、通常では 4 ～8 時間を要する糖化工程を最長でも 15 分間で終了し、連続処理システムも備えている。ブラジルはエタノール燃料の世界的な需要増を見込んで、アジア諸国等への輸出や技術移転等に取り組むなどの動きも見られている<sup>80)</sup>。

## ③EU での取り組み

EU のエネルギー白書は、バイオエネルギーの生産と利用についての一般的な目標を設定しており、2005 年にはバイオ燃料（再生可能燃料）の使用量を 2%に、2010 年には更に 5.75%に設定している。輸送部門が占める CO<sub>2</sub> ガスの排出量は全体の 28%に達し、1990 年から 2010 年までに排出される CO<sub>2</sub> ガスの増加分の 90%は、輸送部門によると推定されている。バイオ燃料としては、バイオディーゼルとバイオエタノールが考えられるが、2010 年までの 5.75%の増加分は、バイオエタノールに換算すると、1,000 万トンに相当する。そこで代替案として、スターチに依存しない方法として、木質系バイオマスの成分であるヘミセルロースやリグノセルロースを原料としてエタノールを作る方法が注目されている。

EU のバイオエタノールの主要な生産国はスペイン、スウェーデン、フランスで、スウェーデンでは、すべてのガソリンに直接ブレンド（～20%）され、また E85 燃料を使用

<sup>79)</sup> [http://knak.cocolog-nifty.com/blog/2006/06/post\\_f724.html](http://knak.cocolog-nifty.com/blog/2006/06/post_f724.html)

<sup>80)</sup> <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/915/915-04.pdf>

する車両や、エタノールだけで走るバスが既に運行中である。現在、エタノールは、酵母を用いて種々の農作物由来の糖（sugar cane, corn, wheat, barley）の大規模発酵によって生産されている。もうひとつのバイオエタノール生産方法として、5 炭糖（ペントース）の発酵に焦点を当てた研究がされており、VTT（フィンランド）では、キシロース代謝系を微生物に組み込む遺伝子組み換え系の研究が進んでいる<sup>81)</sup>。

#### ④月島機械の取り組み

バイオエタノールについて、丸紅(株)と共同で2001年BCI社(米国)から技術導入し、木質系のバイオマスからエタノールを製造するプロセスの実用化に取り組んでいる。木質系バイオマスではC5糖分を比較的多く含むため、従来の酵母では収率が下がり商業化を妨げる一因になっていた。1980年代にフロリダ大学のイングラム博士が、C5糖を取り込む大腸菌にアルコール発酵菌である *Zymomonas mobilis* の遺伝子を組み込んだ遺伝子組換え菌 KO11 株を開発し、C5糖のエタノール変換が可能となった。月島機械では KO11 を含むエタノール製造プロセスを導入、改良し、木質系バイオマスからのエタノール製造設備の実用化を検討している。環境プロセス開発センター（千葉県市川市）の実証プラントで2004年1月から総合運転を開始した（図 2.2-3）。燃料チップ（建築廃材）を粉砕、水に浸け、水分を高め、希硫酸と蒸気で加水分解する。得たヘミセルロースからのC5糖分は遺伝子組み換え菌で発酵させ、90%の収率でアルコールを取り出している。

- |                   |        |
|-------------------|--------|
| ■ 場所              | ■ 運転期間 |
| 米国レイジアナ州ジェニングス    | 2年間超   |
| ■ 処理量             | ■ 運転員  |
| 第1)パイロットプラント 1T/日 | 6名     |
| 第2)パイロットプラント 4T/日 |        |
| ■ 原料              |        |
| バガス、刎穀、ウッドチップ     |        |



図 2.2-3 パイロットプラントの概要<sup>82)</sup>

#### ⑤国内バイオエタノール実証事業

資源エネルギー庁資料からの資料によると（H18年10月）、現在6箇所国内バイオマス資源を用いたバイオエタノールで生産が行われている（既に終了したPJもある）。原料

<sup>81)</sup> バイオリファイナリーの研究・動向調査 2005年7月 JBA、月間地球環境 2003年 5,6月号欧州のバイオマス利用、地球環境関連技術の推進に関する調査 2005年3月 RITE

<sup>82)</sup> <http://www.tsk-g.co.jp/tech/industry/bio.html>

としてはサトウキビ、トウモロコシなどが多く、伊江島でも年間 1t ほどのエタノールが生産され、ガソリンと混合される予定である。特に新しい発酵技術などの使用例はない(図 2. 2-4)。

### 国内のバイオエタノール燃料実証事業の現在の取組状況

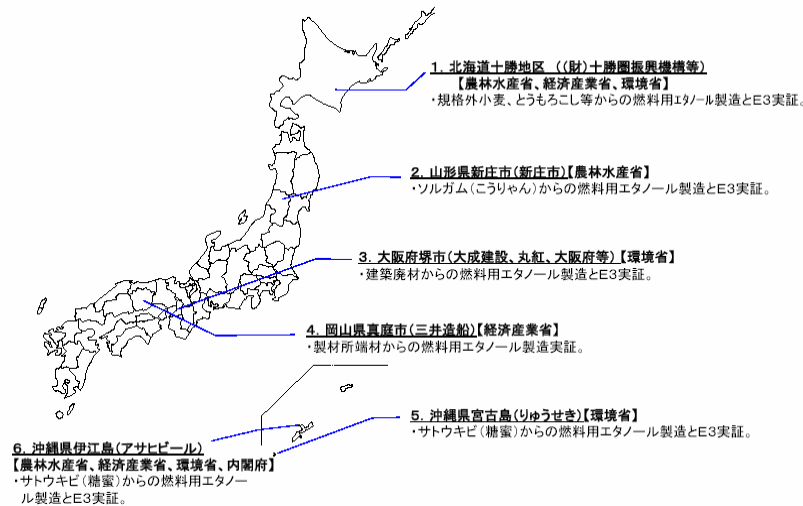


図 2. 2-4 国内のバイオエタノールプロジェクト

#### ⑥バイオエタノール・ジャパン・関西(株)<sup>83</sup>

2007年1月16日、バイオエタノール・ジャパン・関西(株)により、世界初の廃木材を主原料としたバイオエタノール製造施設が稼動した。大成建設(株)他5社により設立され、従来エタノールの製造が難しいといわれてきた木質系バイオマスを主原料とし BCI 社技術を用いることによりバイオエタノール製造を可能とした。当施設では年～5万トンの廃木材から 1,400kL のバイオエタノールを製造し、今後年間製造量を 4,000kl にまで引き上げる予定(図 2. 2-5)。

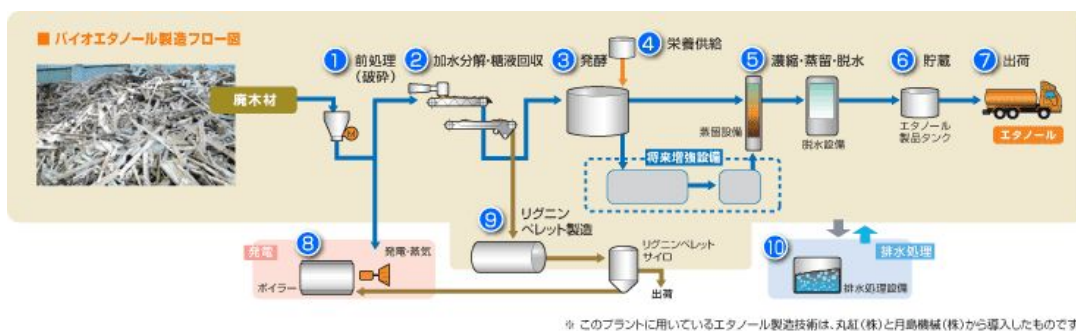


図 2. 2-5 バイオエタノール・ジャパン・関西(株)バイオエタノール製造工程

<sup>83</sup> <http://www.bio-ethanol.co.jp/about/index.html>

⑦【RITE プロセス】

米国目標のプロセスでは、エタノールは微生物が分裂成育していく際の「分泌物」としてエタノールが生成される。これに対し RITE プロセスによるエタノール製造では、反応器に高密度で「触媒（微生物細胞）」を充填し連続反応様式による製造であり、大幅なコストダウンが可能となる（図 2.2-6）。RITE では、高生産性を実現できる RITE プロセスを利用し、燃料用エタノールの生成に取り組んでいる。RITE 菌は本来、エタノールを生成しないが、エタノールを合成する 2 つの遺伝子を取り出し、RITE 菌に導入することで有用 RITE 菌を開発した。本プロセスでは、従来の酵母の数十倍もの高効率を達成し反応槽も非常にコンパクトにすることができる。工業プラントの建設が非常に容易になるほか、更に効率を上げるため様々な新たな遺伝子を導入することでバイオエタノール代謝の強化も進めている<sup>84)</sup>。

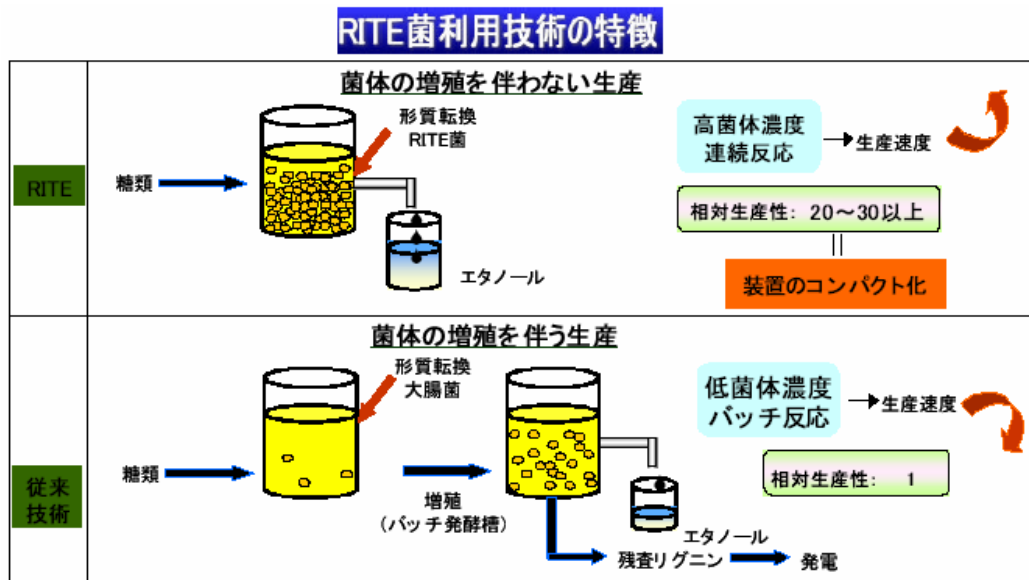


図 2.2-6 RITE 技術の特徴、遺伝子改良、国際特許、バイオエタノール コスト比較<sup>85)</sup>

<sup>84)</sup> <http://www.bio-ethanol.co.jp/about/index.html>  
[http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/biseibutsu/01/01\\_top.html](http://www.rite.or.jp/Japanese/labo/biseibutsu/01/01_top.html)

<sup>85)</sup> RITE ホームページより引用。 <http://www.rite.or.jp/Japanese/>

## (2) バイオディーゼル

バイオディーゼル関連の研究開発は EU が先行しているが、アメリカでも、転作作物の候補としてバイオディーゼルの原料である大豆の栽培が盛んに行われるようになってきた。一方、廃油を使用した場合、様々な油を混合して原料にするため、製品にした際の品質管理が大変難しくなってくる。また、B100 等（100%ディーゼル）の高濃度のバイオディーゼルを使用した場合、エンジンの燃料供給ホースがゴム製の場合、劣化の速度が速くなるなどの問題点がある。植物油はディーゼルエンジンの燃料に活用できるが、通常は植物油をメタノールと化学反応させ、メチルエステルに変えて使用する<sup>86)</sup>。バイオディーゼルの生産はドイツ、フランス、イタリアの3ヶ国で世界の生産量のほとんどを占めている<sup>87, 88, 89, 90)</sup>（図 2.2-7、表 2.2-4）。EU ではバイオマス燃料などの再生可能燃料の市場に占めるシェアを、2005 年末までに 2%、2010 年までに 5.75% とし、目標値が基準値を下回った場合、その加盟国は欧州委員会に正当な理由を説明する義務がある。

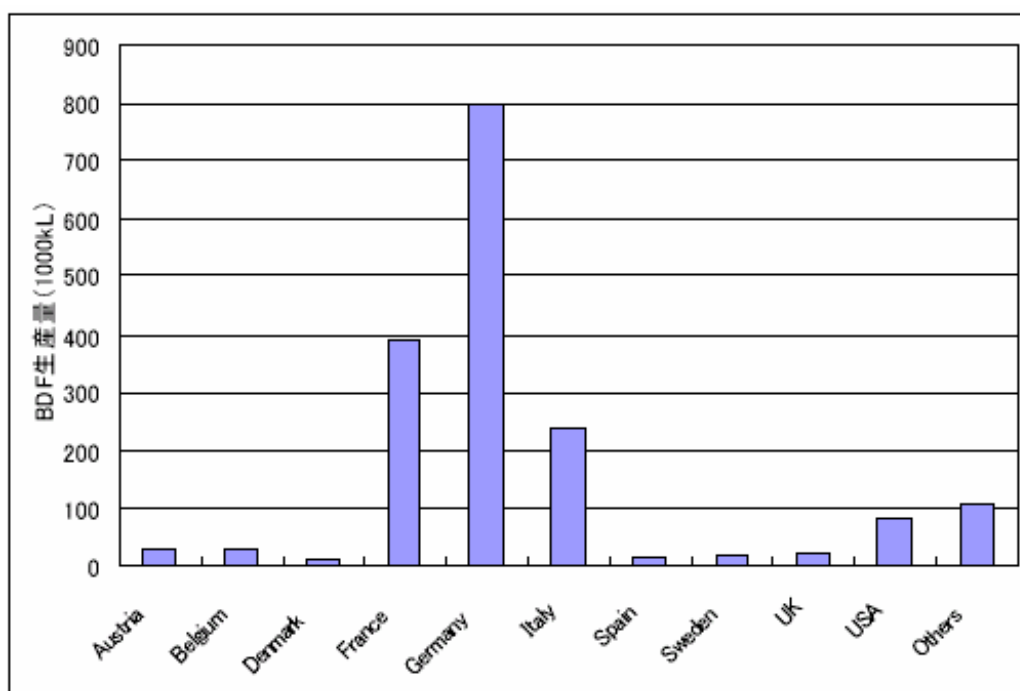


図 2.2-7 主要国のバイオディーゼル燃料生産量<sup>91)</sup>

<sup>86)</sup> サンケアフューエルズ <http://www.suncarefuels.com/bdfproject.html>

<sup>87)</sup> <http://www.teagasc.ie/research/reports/crops/4321/eopr-4321.htm>

<sup>88)</sup> <http://www.teagasc.ie/research/reports/crops/4321/eopr-4321.pdf>

<sup>89)</sup> [www.nrel.gov/docs/fy04osti/34796.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34796.pdf)

<sup>90)</sup> Description of the President's Hydrogen Initiative & DOE/EERE,

[http://gcep.stanford.edu/pdfs/hydrogen\\_workshop/Sverdrup.pdf](http://gcep.stanford.edu/pdfs/hydrogen_workshop/Sverdrup.pdf)

<sup>91)</sup> 海外の導入実態、関連施策の動向、資源エネルギー庁第8回燃料政策小委員会、2003年6月

表 2.2-4 主要なバイオディーゼル燃料（BDF）生産国と関連データ<sup>91)</sup>

	BDF生産量 (万kL) *1	原油輸入量(万kL) (輸入依存度)(%) *2	軽油消費量 (万kL) *3
ドイツ	約80	13,770(83.0%)	2,828
フランス	約39	9,729(78.4%)	3,018
イタリア	約24	9,504(76.7%)	1,878
アメリカ合衆国	約8	59,574(57.0%)	11,556
チェコ	約5	815(83.7%)	238
オーストリア	約3	1,145(80.9%)	408
ベルギー	約3	3,157(55.2%)	569
イギリス	約2	-5,104(-23.3%)	1,713
ポーランド	約2	2,150(86.1%)	288
スロヴァキア	約2	286(47.2%)	75

米国においては、バイオディーゼルは、大豆、植物、動物油などから作られ、現在年間約3,000万ガロンが生産されているが、石油燃料に比べて生産コストが高く、市場での競争力が弱いため、コスト削減と汎用化に向けた研究努力が行われている。日本でも京都市でもゴミ収集車の燃料としてバイオディーゼルが試みられている。

バイオディーゼルの課題については NEDO 海外レポート（2006.2.22）<sup>92)</sup>により次の指摘がなされている廃油を利用する場合の品質に関わる点と、大豆などの遺伝子組換え作物の使用についてである。製造面では、エステル化触媒のオイルへの混入防止のため固定化触媒の開発も行われている。バイオディーゼルの製造過程において避けられない副産物にグリセリンがある。バイオディーゼルはガロンあたり 0.73 ポンドのグリセリンが生成されるが、価格が下落し、有効な利用方法がない。可能性のある研究内容としては、高品質グリセリン生成などの研究が注目されている<sup>93)</sup>。

### (3) バイオ水素生産

水素は燃焼後に水しか出さない究極のクリーンエネルギーで燃料電池と組み合わせることで、今後のエネルギー源の主役になるとも言われている。アメリカ・ブッシュ政権では、「水素エネルギー社会の到来」を目指して、様々な取り組みが国家レベルで始まっている。2003年2月、アメリカのブッシュ大統領は「水素社会」の実現に向けた大規模プロジェクトを開始することを宣言した。エネルギー市場では将来、水素（燃料電池）が主役になると予想されており、米国が世界の水素市場をリードすることを狙い、水素燃料の早期実用化を目指している<sup>94)</sup>。2002年「水素ビジョン」(A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy to 2030 and Beyond) や 2002年「水素エネルギーロードマップ」(National Hydrogen Energy Roadmap) が策定されている（2007年段階ではバイオエタノールに注力）。水素生産の原料として長期的には再生可能な資源である太陽光や風力、バイオマスへと原料形態が移行することが望まれている。バイオマスの主成分である炭化水素は微生物が利用している化合物であり、微生物を利用したバイオ水素生産は、1)再生可能なバイオマス資源を

<sup>92)</sup> [www.nedo.go.jp](http://www.nedo.go.jp)

<sup>93)</sup> [www.nrel.gov/docs/fy04osti/34796.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/34796.pdf)

<sup>94)</sup> Description of the President's Hydrogen Initiative & DOE/EERE, [http://gcep.stanford.edu/pdfs/hydrogen\\_workshop/Sverdrup.pdf](http://gcep.stanford.edu/pdfs/hydrogen_workshop/Sverdrup.pdf)



原料として利用できること、2)有害廃棄物の排出を伴わない環境負荷の少ないプロセスであること等の利点がある。従来の微生物を利用した水素製造法は、大きく分けて二つに分類される。ひとつは微細藻類や光合成細菌など光合成微生物を利用した光依存型の水素生産であり、もうひとつは嫌気性微生物を利用した光非依存型の水素発酵法である（図 2. 2-8）。光依存型の反応系では光エネルギーの利用効率が低いが、水素発酵法では高い菌体濃度を得ることが可能なため、単位容積あたりの水素生産速度を L/h/L オーダーまで改善することができる。RITE では光非依存型の水素発酵法で、従来の約 50 倍ものバイオ水素高生産性を報告した。これは、大腸菌のギ酸水素リアーゼ (FHL) システムという代謝系を利用しており、バイオマス由来のギ酸から水素を発生させていることから注目を集めている。

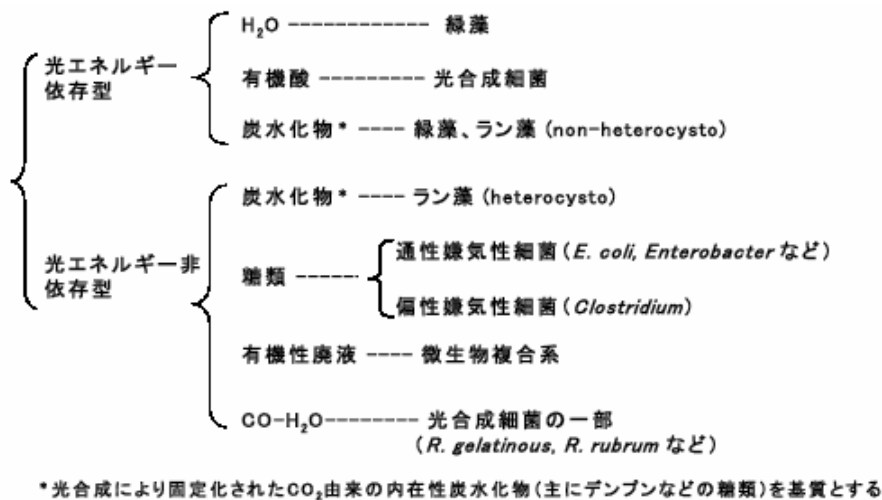


図 2. 2-8 水素発生様式と関与する微生物<sup>95, 96, 97)</sup>

2006 年に発表された DOE による水素生産のコスト目標では、2010 年度目標 2.5\$/gge(delivered)、2015 年目標は 2.0\$/gge(delivered)となっているが、バイオマスからの微生物による直接水素生産については、長期的テーマと位置付けられており、実用的な生産コストでは天然ガス由来の水素製造が先に進む<sup>98)</sup>。

#### (4) バイオマスガス化成分 (CO) を利用した BTL 技術

バイオマスの利用はトウモロコシやサトウキビなどのエネルギー作物が主であるが、将来的にはコーンストーバや稲わらや木材、建築廃材などのリグニン含量バイオマスの利用が拡大する。一方、バイオマスを燃料や有機化学品に変換するバイオリファイナリーの原料としては大きく分けて「糖」と「CO」の2種類がある。「糖」はトウモロコシ (デンプン) やセ

<sup>95</sup> Enhanced hydrogen production from formic acid with FHL-overexpressed *Escherichia coli*. A. Yoshida, T. Nishimura, H. Kawaguchi, M. Inui and H. Yukawa, *Appl. Environ. Microbiol* 2005 November; 71(11): 6762-6768

<sup>96</sup> バイオリファイナリーの研究・動向調査 2005年7月 JBA

<sup>97</sup> 地球環境関連技術の推進に関する調査 2005年3月 RITE

<sup>98</sup> Technical Plan-Hydrogen Production, Multi-year Research, 2006

ルコース系バイオマスの酵素加水分解産物であり、「CO」は木質系や蛋白質系の有機廃棄物を含めた多種類のバイオマス由来の熱分解ガス成分である。「CO」について最近注目を集めているのがガス化（水蒸気ガス化）であり、木質系だけではなく多種類の乾燥バイオマスをCO/H<sub>2</sub>として再資源化することが可能である（図 2.2-9）。

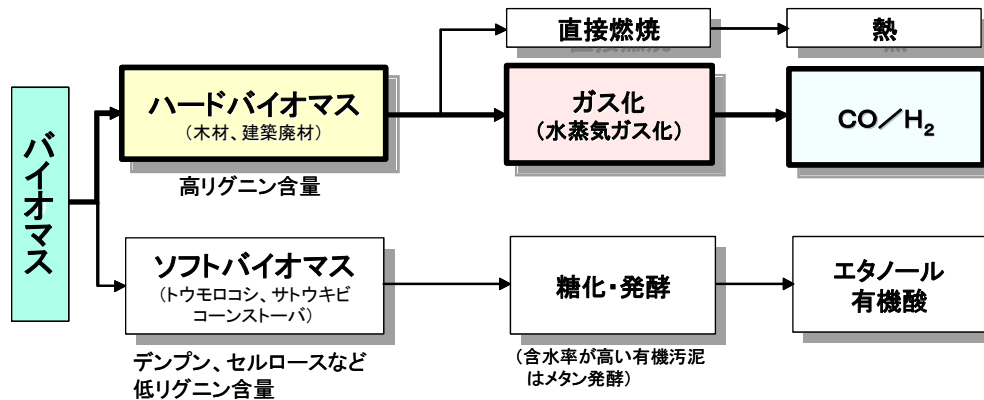


図 2.2-9 バイオマスからの化学品製造

しかし、CO から有価化学品への効率的な変換方法については技術確立されていないのが現状である。最近、この変換技術として常温でCOをアルコールや有機酸に直接変換できる微生物が見出され（図 2.2-10）、米国エネルギー省（DOE）や欧州ではこのような微生物を用いたバイオプロセスの研究開発が始まっている。このプロセスでは、CO変換微生物によりCOから高変換率でエタノール等を合成することが可能である<sup>99)</sup>。このCO変換微生物によるバイオプロセスは効率が高く、エタノール、メタノール、ブタノール、酢酸、プロピオン酸、アミノ酸等の生産が報告されている。ところが、この微生物は嫌気性細菌でありガス成分を直接取り込むため増殖が遅く、菌体触媒が十分に得られないため結果として生産性が低い等の課題があった。米国エネルギー省（DOE）を中心に研究が始まったばかりであり<sup>99)</sup>、大学ではミシシッピ州立大、アーカンサス大、オクラホマ大やベンチャー企業（図 2.2-11）との共同で開発が進められている。

<sup>99)</sup> Technical Report, National Renewable Energy Lab (DOE 研究所) December 2003, NREL/TP-510-34929



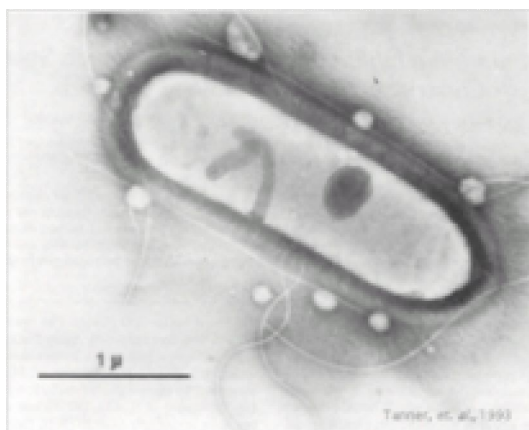


図 2.2-10 CO→エタノール変換微生物

### BRI Process Schematic

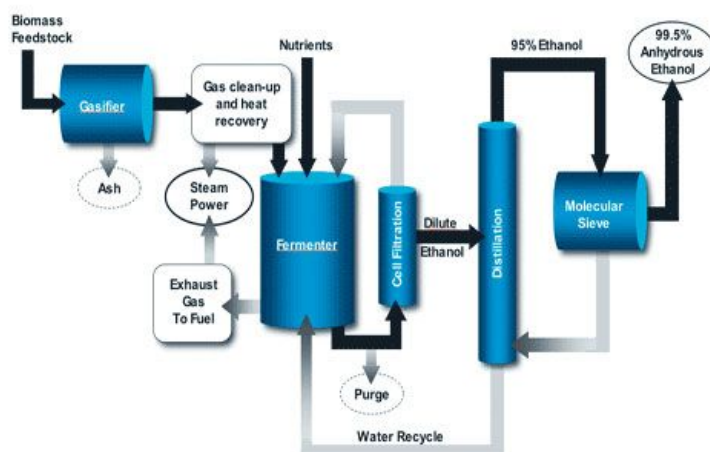


図 2.2-11 アーカンサスのベンチャー企業 BIOENGINEERING RESOURCES, INC  
バイオエタノール製造プロセス

#### (5) 微生物燃料電池

再生可能資源であるバイオマスや下水汚泥等の未利用有機資源から、直接電気エネルギーを回収する微生物燃料電池の研究が注目を集めている。現在、ほとんどの燃料電池は白金のような貴金属触媒が必須であるが、この触媒の部分を微生物に置き換えれば、いろいろな有機物やバイオマス燃料として、温和な条件で電気エネルギーを取り出すことが可能である。例えば、微生物細胞では、グルコースの酸化反応で放出される電子 (Primary electron donor は NADH) は、最終電子受容体 (酸素) に渡されて水になるが、微生物燃料電池ではこの電子を外に取り出して発電する。微生物は直接電極と反応しないため、電子を電極に渡す低分子の電子メディエータが必要である (図 2.2-12)

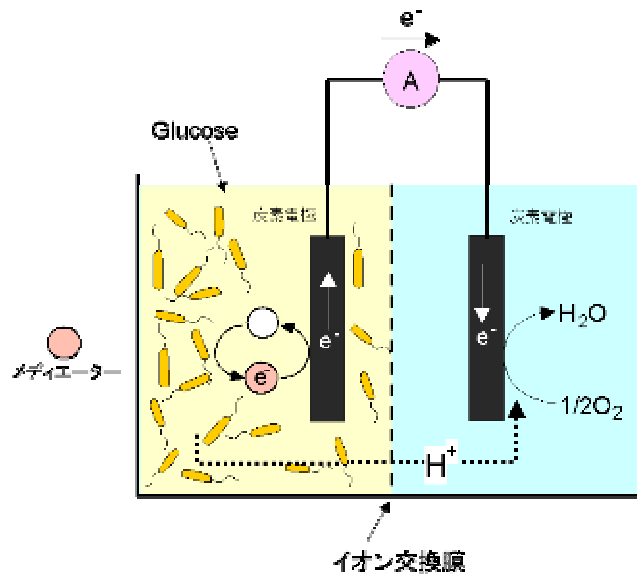


図 2.2-12 バイオマスを燃料とするメディエータ型微生物燃料電池

廃水処理にも微生物燃料電池が使用されている。1つはペンシルベニア州大が発表した「廃水処理と発電を同時に発電を行う微生物燃料電池」、他方はマサチューセッツ大の「バイオリメディエーションと発電の能力を有する微生物」の研究である。エネルギー回収に関しては、メタン発酵はメタンガスを回収（～50%炭素）できるのに対して微生物燃料電池は～200mW/m<sup>2</sup>（電極面積）しか発電できず、実用的にはかなり制限される。ペンシルベニア州立大学環境工学科 Prof. B. Logan は、Environ.Sci.Technol. 38 2281-2285 (2004) に初めて下水処理場の廃水を使ったデータが掲載した。今回開発された微生物燃料電池はシングルチャンバーから成り、長さは約 15cm で直径約 6cm（約 0.4L）。内部には黒鉛製の陰極が 8 個あり、バクテリアが付着する電極表面は合わせて約 230cm<sup>2</sup>である。また、陽極とプロトン交換膜が 1 つずつあり、汚泥の導入プラスチック管とつながっている（図 2.2-13）。

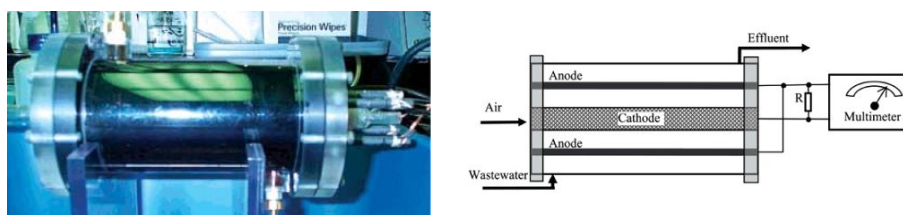


図 2.2-13 微生物燃料電池

微生物 FC に用いる微生物は低分子の電子メディエータ（キャリア）が必要であるが *Geobacter* 属や *Rhodospirillum rubrum* は、Fe<sup>3+</sup>イオンを還元することできるため、特別な電子キャリアは不要であり、そのため効率的な電極との酸化還元反応が可能であると期待されている。

*Geobacter sulfurreducens* (金属還元微生物) は University of Massachusetts at Amherst、Derek Lovley 教授が発見した細菌で地下水に溶けたウラン ( $\text{UO}_2^{2+}$  (6価) 除去等のバイオレメディエーションに期待されていることから、遺伝子解析が TIGR で行われた<sup>100)</sup>。電子供与体として共存する微生物の発酵産物である酢酸を必要とする。*Rhodospirillum rubrum* (金属還元微生物) はマサチューセッツ大 D. Lovley 教授の微生物燃料電池用の微生物で、論文は *Nature* に発表された<sup>101)</sup>。*G. sulfurreducens* と同じく、金属還元性を持つが、電子供与体としてグルコースを用いることができる点が特徴である

---

<sup>100</sup> Science, 302, 1967-1969 (2003)

<sup>101</sup> Nature Biotechnology, 21, 1229-1232 (2003)

## 2.3 熱化学的変換プロセス

### 2.3.1 現状のバイオマス利用態様別の技術開発課題

本節では、前述したバイオマス利用法のうち、熱化学的変換プロセス（直接燃焼発電、混焼発電、ガス化、熱分解、超臨界処理、炭化、エステル化）について、技術開発課題をまとめる。

#### (1) 直接燃焼発電

直接燃焼発電においては、木材に含まれるアルカリ分により灰の融点が低下するため、炉の壁面や伝熱部へ溶融した灰が付着し、伝熱部を閉塞するなどのトラブルが起こる。このため連続運転を行うことが出来なくなるため効率が低下する。これを防ぐためには熱回収温度を低下させる必要があるが、これに伴い発電における熱効率が低下する。更に、木材に水分が含まれるため、炉内で燃焼させるためには燃焼前のある程度の乾燥が必要となる。この乾燥の際、木材に含まれる水分の潜熱に相当するエネルギーが損失となり、既存の火力発電所ほどには効率を高めることは出来ない。

#### (2) 混焼発電

石炭と木材を混焼するため、程度は低いものの、上記の直接燃焼発電と直接燃焼と同様に灰の融点低下、潜熱分のエネルギーロスといった問題が起こる。

この発電法では既存の設備を使用でき、設備の初期投資が抑えられることが大きなメリットだが、既存発電所では混焼率を上げると、木材の粉砕動力や木材の乾燥に要するエネルギーを供給が不足し、混焼率の上限は1.4%程度とされている。混焼率を上げるためには粉砕設備や乾燥設備の増設が必要になり、熱収支のバランスも崩れるため、設備全般への改良が必要となる。

#### (3) ガス化

ガス化処理の過程でタールが発生する。このタールがガス化炉下流の温度の低い部分に堆積して流路の閉塞を起こすために対策が必要となる。これを解決するために現在様々なガス化技術が開発中である。更に、発生するガス（一酸化炭素と水素）の受け皿が、現状ではそれほど大きくない。これらのガスから化成品を合成できるが、メタノール以外の液体燃料合成のためには、新たな触媒を開発しなければならず、フィッシャートロプシュ合成では生成する炭化水素の分子量分布が広くなり、ガソリン～ワックスまでが生成する。このため、単一成分としての収率は低くなるとともに、大量生産を行った場合には目的物質以外の物質の処理に関しても利用用途の開拓が必要である。

#### (4) 熱分解

高温高压条件でバイオマスを処理することにより、ハンドリング性に優れた液体物質を得ることができるが、処理を行うために莫大なエネルギーと、高温高压に耐える反応器が必要となる。また大量の熱分解残渣が発生するために、この設備費や運転費を回収するためには高付加価値の製品を製造する必要があるが、またバイオマスの大量処理には向かないと考えられる。

### (5) 超臨界水ガス化

超臨界条件では反応性が高まることから、反応速度が加速され迅速な処理を行うことが期待できるが、高温高压場を作り出すためのエネルギーや反応器の製造コストの観点から、バイオマスの大量処理用途には向かないと考えられる。

### (6) 炭化

現状でも木炭の製造が行われていることから実用化された利用法であるといえるが、バイオマスの大量処理という観点では、製造にかかる時間が長いことから生産性・コストの面で不利である。

### (7) エステル化

植物油や廃食用油のディーゼル燃料化などとして実用化されている。植物油は現在主にパーム油から製造されているが、これを大量に利用するためには東南アジアなどでのパーム油生産量を大幅に増大させる必要があり、このことによる自然環境破壊が懸念される。このことはバイオマス利用による循環型社会の構築という本来の目的に逆行する可能性があるため、慎重な検討が必要となる。廃棄物（廃食用油）から製造を行う場合、資源量がさほど多くないため、バイオマスの大量利用という観点からは問題がある。

### (8) 熱化学的変換技術の比較

以上に述べた熱化学的変換技術を、生成物の需要、利用規模、技術課題の観点で図 2.3-1 にまとめた。

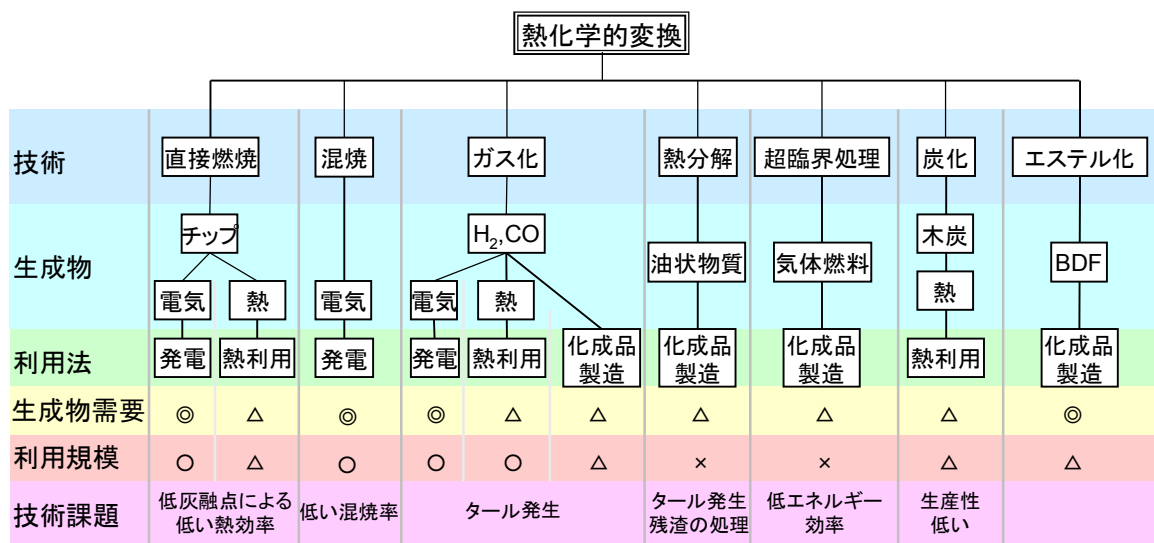


図 2.3-1 バイオマスの熱化学的変換手法のまとめ

生成物の需要の観点では、近未来（2015年）での利用を考慮に入れ、現状のインフラで多量に利用されるための設備が整っているか否かで判断した。このため、電力や移動体燃料の需要は大きい、水素や熱などの需要は小さいと見込んでいる。これは、現段階では水素や熱を大量に利用するインフラが整っていないことによる。

利用規模としては、熱分解、超臨界処理、炭化、エステル化は大量の利用は見込めないとした。熱分解、炭化に関しては生成物需要と同様の理由によるが、超臨界処理に関しては、処理する際の圧力が高く、消費エネルギーや反応器の費用が高くなると推測されるためであり、エステル化については原料となる植物油が食料と競合するため、廃油が主な原料と予想されるが、この原料の大量供給が期待できないためである。

以上より、生成物需要や利用規模の観点から有望と考えられるのは直接燃焼、混焼、ガス化と見られる。そこで、これらの技術の比較を表 2.3-1 にまとめた。

表 2.3-1 木質系バイオマスを用いた発電技術比較

転換手段	蒸気タービン	ガスエンジン	ガスタービン複合	高温燃料電池	技術課題	既存インフラ利用可否	評価 ◎:有望 □:大量に適さず △:技術開発要	
	上段:効率 下段:実現時期 ○~5年, ▲5年以上							
燃焼	20				材料腐食, 熱交換器ガス流路閉塞で転換効率が低い	可	開発に時間要。燃料貯蔵・輸送コスト大	□
	○							
混焼	38		44	48	混焼率が1.4%程度以下	可	大量処理に難	□
	○		▲	▲				
ガス化	30		40	44	ターレットラブル, 熱交換器閉塞	否	開発時間要。燃料貯蔵・輸送コスト大。環境へのインパクト小	△
	▲		▲	▲				

### 2.3.2 課題克服のために必要な利用システム検討

2.3.1 で述べた各種利用法のうち、バイオマスの大量利用という観点で有望なものは、直接燃焼、混焼、ガス化である。これらの利用技術に共通する問題点として、木材の加熱時に発生するターレットの発生、灰の融点低下が挙げられる。また、直接燃焼法と混焼法については、木材に含まれる水分も発電効率を低下させる原因となっている。これらの問題点の解決により、木質系バイオマスの大量処理への道が開けるが、それぞれ木材の本質的な特性に起因する問題であるため、個別技術の技術開発による解決よりも木材の前処理といったような原料の改質技術を開発するほうが効果的であると考えられる。更に、3.2 で詳述するが、特に日本国内においては木材の輸送にかかる費用が非常に高く、安価な木材の供給を妨げている。このため、木材のエネルギー密度を向上させ、輸送や貯蔵を容易にするような前処理技術の開発も期待される。

## 第3章 有望な革新的技術シーズの評価と適用可能性の検討

上記1～2章で収集した革新的技術シーズの評価を行い、適用可能性を検討した。

### 3.1 革新的バイオマス利用技術シーズの評価

ここでは、バイオマスを近未来的に大規模に利用することを念頭に、バイオマス利用技術シーズの評価と絞込みを行う。2.3.2 で触れたように、近未来な観点でのバイオマス利用を考えると、例えば水素など、新エネルギーを利用するためにはインフラの大規模な変更が必要となり、近未来では現実的ではない。このため、現時点で需要があるエネルギー（電力、移動体燃料）を供給できる技術の評価の対象とした。

その上で、各種利用法について、生産物のコストの観点で評価を行った。

これまで述べてきたように、バイオマスを大量利用するためにはその受け皿があることと、安価であることが重要である。近未来のスパンでこれら両方の条件を満たしうる利用法は発電法と考えられ、直接燃焼発電、混焼発電、ガス化発電がその候補として挙げられる。これらの技術は現在開発途上にあるが、バイオマスのコストが既存の化石燃料と比較して高価なこと、また水分やアルカリ金属の含有により高温・高効率燃焼に適さない物性となっており、これらの特性の改善によりバイオマスの利用用途拡大につながると期待される。

以下では、上記のバイオマス利用の上での問題が解決された場合の発電コストを試算し、バイオマスを用いた各種発電法の有望性を評価する。

## 3.2 国内適用性の検討

### (1) 日本における利用の問題

日本は、国土の多くが急峻な山地であることから耕作面積が国土の12%と限られており、また穀物自給率が24%と低いため輸入に頼っており、米国で推進されているような資源作物（トウモロコシやスイッチグラスなど）の大量栽培は難しい。その反面、年間平均降雨量が1,500-2,000mmで、暖帯林から温帯林が分布する日本では、降雨量が樹木の生長量の律速となることは少なく、国土の67%が森林となっており、木材の賦存量は豊富である。このため、日本におけるバイオマスの大量利用という観点からは、穀物系ではなく木質系バイオマスの利用が適しているといえる。

### (2) 木質系バイオマスの賦存量

木質系バイオマスの賦存量は、統計により差があるものの熱量換算でおよそ200~1,000PJといわれている。しかしながら、発生源は多岐にわたっており、それぞれ入手の難易度が異なる。たとえば、建設廃材はまとまった量が存在しかつ安価で入手できるものの、ポテンシャルの高い未利用樹は現状では収集のためのインフラがなく収集に手間がかかるため高価となっている。バイオマスの利用規模を拡大するためには、このような資源のコストをいかに低減させるかが重要である。



### 3.3 熱化学的変換

#### 3.3.1 重点化技術シーズの国内適用検討

これまでの検討で、熱化学的変換における重点化技術シーズとして、直接燃焼、ガス化、混焼が選択された。これらの技術を国内に適用する際の課題を以下に列挙し、図 3.3-1 にまとめた。

##### (1) 直接燃焼

直接燃焼発電においては、木材に含まれるアルカリ分により灰の融点が低下するため、炉の壁面や伝熱部へ溶融した灰が付着し、伝熱部を閉塞するなどのトラブルが起こる。また、木材に水分が含まれているため、現在用いられている化石燃料を用いた発電所並に発電効率を高めることは難しい。このため、木材を前処理するなどして、アルカリ分や水分の含有量を低減させることにより、現状の発電所と同程度の効率の高い発電法を開発することができると考えられる。

##### (2) ガス化

ガス化処理の過程で発生するタールがガス化炉下流の温度の低い部分に堆積して流路の閉塞を起こすために対策が必要となる。このため、ガス化の際にタールが発生しないような分解条件（運転条件や添加する触媒）を見出すことにより、発生したガスを燃料としたIGCC発電ができ、現状の発電所よりも更に高効率な発電法となる。

##### (3) 混焼

この発電法では既存の設備を使用でき、設備の初期投資が抑えられることが大きなメリットだが、既存発電所への混焼率の上限は1.4%程度とされている。これは木材の粉碎動力が大きいことと、(1)で述べたような水分やアルカリ分の含有に起因する。したがって、(1)と同様にこれらの特性を改善できれば、既存の高効率発電設備を用いることによるバイオマス燃料へのスムーズな燃料転換が期待できる。

転換手段	蒸気タービン	ガスエンジン	ガスタービン複合	高温燃料電池	技術課題	既存インフラ利用可否	評価 ◎:有望 □:大量に適さず △:技術開発要	
	上段:効率 下段:実現時期 ○~5年, ▲5年以上						材料開発に難。燃料貯蔵・輸送コスト大	□
燃焼	20				材料腐食, 熱交換器閉塞で転換効率が低い	可	材料開発に難。燃料貯蔵・輸送コスト大	□
	○							
混焼	38		44	48	混焼率が1.4%程度以下	可	大量処理に難	△
	○		▲	▲				
ガス化	30		40	44	タールトラブル, 熱交換器閉塞	否	開発時間要。燃料貯蔵・輸送コスト大。環境良	△
	▲		▲	▲				

**バイオマスを原料とする発電技術の進歩**

混焼率 up → 評価 ◎

タール分解 → 評価 ◎

図 3.3-1 技術進歩を考慮に入れたバイオマス発電技術開発の評価

また、これらの技術に共通する、原料である木質系バイオマスの調達に関する問題を以下に挙げる。

#### ・木質系バイオマスの価格

建築廃材など、木質系バイオマスを逆有償で利用できる場合もあるが、これらのものは資源量としては限られるので、大量かつ安定的に原料を供給するためにはある程度のコストを掛けて資源を収集することになる。このため、資源を高効率でエネルギーへ変換することが必要である。

木質系バイオマスを熱化学的変換プロセスで利用する場合、コスト面では化石燃料が競合対象となる。日本においては木質系バイオマスの収集コスト、輸送コストともに高く（図 3.3-2）、原料価格が非常に高価となる。化石燃料は近年価格が上昇傾向にあるものの、現状では化石燃料に対して価格面での優位性を見出すことは難しい。

木質系バイオマスが現状で非常に高価であることの原因のひとつは、大量に利用する仕組みがないことであり、利用量が増大することにより収集や運搬の効率化が図られコストが低減されると期待できる。現実には、木材を大量に製造しているスウェーデンなどでは、木材の収集効率が日本の 10 倍程度と非常に高い。これは、スウェーデンの森林が日本の森林と異なり平坦なため、機械化収集に適しているという面もあるものの、日本においても収集・運搬の効率化によるコストの低下は十分に見込むことができると期待される。

#### ・運搬に要するエネルギー

経済産業省により、「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」が定められている<sup>102</sup>。ここでは、木材を 14.5t 積み（12t～17t の平均）のトラックで輸送すると仮定する。この場合、燃費は 2.62km/L と見積もることが出来、軽油の燃焼熱は 38.2MJ/L であることから、輸送に要するエネルギーは  $38.2/2.62/14.5=1.01\text{MJ/t/km}$  となる。

木材の含水率を 40% とすると、乾燥重量あたりの輸送に要するエネルギーは 1.68MJ/t/km となる。図 3.3-2 のケースでは、木材集積所から発電所までの運搬距離は 40km であるから、輸送に要するエネルギーは 67.0MJ/drt-t となる。木材の発熱量は、表 3.3-1 より 16.7GJ/t であるから、この部分での発熱量の損失は 0.40% となる。トラック輸送の復路を考慮に入れても 0.80% となり、輸送によるエネルギーのロス是非常に小さいといえる。

<sup>102</sup> 経済産業省告示第六十六号、「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」、平成 18 年 3 月

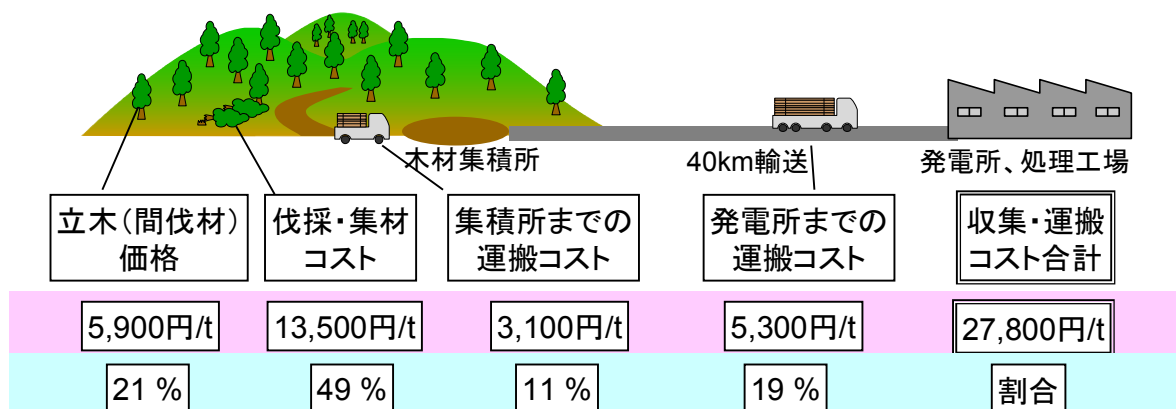


図 3. 3-2 日本国内における木材の収集・運搬コスト<sup>103)</sup>

石炭と木材の熱量を考慮すると、熱化学的変換プロセスの原料としての木材の優位性は更に低くなる（表 3. 3-1、「価格 円/kWh」）。カーボンクレジットなどバイオマス燃料の利用を促進する仕組みを導入したとしても、木質系バイオマスの利用を促進して大量のエネルギーを供給するためには、木質系バイオマスの収集や輸送コストをいかに安価にするかが重要である。

表 3. 3-1 化石燃料と木材の熱量あたりコスト比較

	熱量 GJ/t	価格 円/t	価格 円/GJ	価格 円/kWh
石炭 輸入原料炭	28.9	6,410	222	2.00
輸入一般炭	26.6	5,910	222	2.00
石油 C重油	44.4	26,500	597	5.37
LNG	54.5	29,300	538	4.84
国内木材	16.7	27,800	1,670	15.0
海外木材	16.7	15,000	898	8.08

バイオマス利用に共通する技術課題は、木質系バイオマスの収集や輸送コストをいかに安価にするかであり、そのためには、バイオマスを大量に取り扱い、毎年確実に利用が約束できる利用技術を確認することにより、収集や輸送技術開発にインセンティブを働かせ、インフラ改善を含めたスケールメリットを享受できる産業技術を構築することが重要である。利用技術として大量に取り扱え、貯蔵と輸送が容易で、熱効率が低い技術を調査する。

<sup>103)</sup> 林野庁、素材生産費等調査報告

## ・コストの比較

前述したように、コスト的及び技術の進捗状況から、近未来における木質系バイオマスの大量利用という観点では混焼によるバイオマスの発電用途での利用がもっとも好ましい。

しかし、現状では原料となる木質系バイオマスの価格が競合対象となる化石燃料と比較して高価であるため、既存の PC 発電と比較して発電コストが3倍以上高価である。価格が高価な原因は、主に木材の収集コスト、運搬コストが高価であることに起因する。また、木材に含まれているアルカリ金属が灰の融点を低下させ、溶解した灰が炉や伝熱管に付着して損傷するため、灰の融点以下での作業が必要となり、熱効率が低下する。また、直接燃焼を行う場合には木材に含まれる水分を蒸発させるためのエネルギーが損失分となる。混焼によって灰融点低下は緩和されるが、既存の発電設備では混焼率 1.4%程度以上で粉砕装置の不具合が発生するために混焼率を大きくできず、木質バイオマスの大量利用には適さない。以上のことから、バイオマスを発電用の燃料として大規模に使用するためにはコストの低減と混焼率の向上が可能となるような技術の開発が必要である。

## ・コストの再評価

第1章に示したプロジェクトのコスト試算は前提条件がそれぞれ異なるため、ベースとなるケースを仮定し、直接燃焼、ガス化及び混焼利用した場合について同等の条件でコスト比較を行った。

## ・コスト計算の前提条件

バイオマスを熱利用するケースでは、木材を専焼する場合と混焼する場合についてコスト計算を行った。専焼は、一般的な燃焼を行う場合と、IGCC で利用する場合を想定した。混焼については、石炭火力発電所で混焼するものとし、微粉炭ボイラで混焼する場合と、石炭 IGCC 発電所で用いる場合の4つのケースについてコスト計算を行った。

## ・発電効率の仮定

前述したように、火力発電プラントの発電効率はボイラの容量に影響を受ける。更に木材を燃料とするプラントでは、熱効率が低下する傾向がある。国内外の火力発電プラントを調査対象とした、発電容量と熱効率の関係を図 3. 3-3 に示す。直接燃焼発電、バイオマスガス化発電については、発電効率と容量の関係を対数近似し、発電所の容量に対する効率を計算した。微粉炭発電及び石炭 IGCC 発電では、効率は規模によらず一定となると仮定した(それぞれ 38%、45%)。

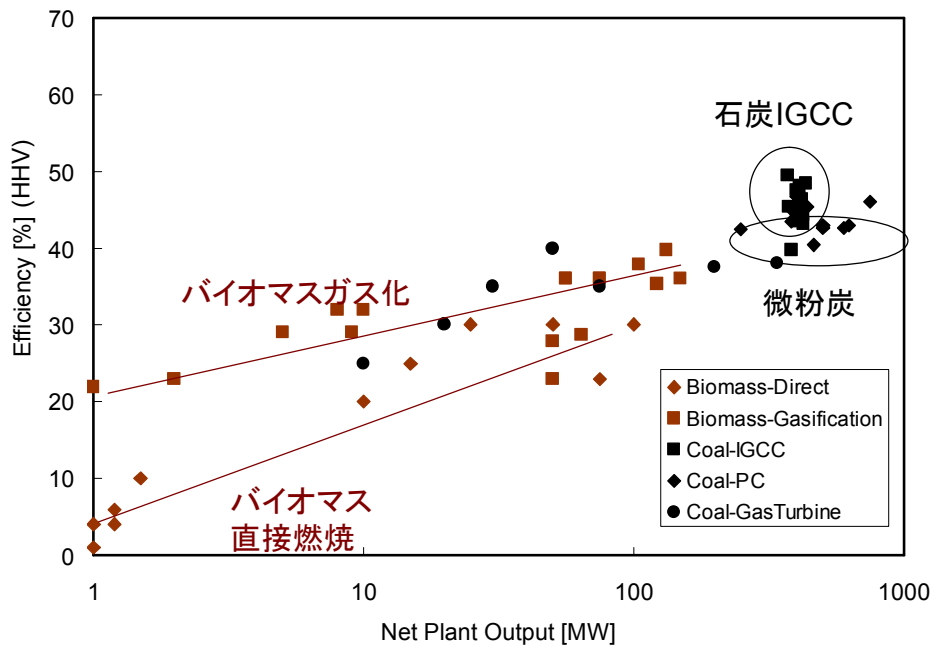


図 3.3-3 国内外の火力発電プラントの容量と熱効率の関係

・ 収集費用の仮定

図 3.3-2 より、立木価格、伐採・集材コスト、集積所までの運搬コストを足したもの(22,500 円/t) を収集費用とした。

・ 運搬費用の仮定

発電所の規模に応じて収集範囲が変化するため、以下の仮定を置いて収集範囲を計算した。  
 ①直接燃焼及びガス化発電の燃料として木材を用いる(専焼)場合、発電所は林地近傍に建設すると仮定した。参考文献<sup>104)</sup>より、林地の木材生産量を  $100\text{t/yr/km}^2$  と仮定し、発電所が1年間に消費する木材の量  $V[\text{t/yr}]$  を、発電所の規模及び発電効率から求め、これを木材の生産量で割ったものを収集範囲  $S[\text{km}^2]$  とした。更に、発電所の一面は市街地に面するものとして、収集範囲は半円状になると仮定した。この半円の全域から木材を収集すると仮定すると、収集距離の平均値  $\bar{r}[\text{km}]$  は、半円の半分の面積を占める円  $S'$  の半径となる。

②混焼発電で木材を用いる場合、既存の発電所まで輸送する必要がある。既存の石炭火力発電所は木材の生産地近傍に立地しているわけではないため、上記の林地の木材生産量に、日本の国土に森林が占める割合 ( $66\%=0.66$ ) を掛け、日本の平均的な木材生産量を  $66\text{t/yr/km}^2$  と見積もり、収集範囲は専焼発電の場合と同様に見積もった。

以上の計算により得られた輸送距離から輸送コストを計算した。輸送コストは、図 3.3-2 に示された「発電所までの輸送コスト」(5,300 円) を基に計算した。図示したケースでは

<sup>104</sup> 長野県三郷村、「地域内木質バイオマス資源のガス化コージェネレーションによる『ファインビュー室山』への電気熱供給に関する実証試験事業調査 調査報告書」、平成 17 年 3 月

運搬距離が40kmであることから、距離・重量あたりの運搬コスト(5,300÷40=132.5円/km/t)を求め、計算により得られた輸送距離を掛けて、それぞれのケースでの輸送コストを求め、発電コストに上乗せした。また、木材の所要量は、発電所の容量と、木材の熱量(16.7GJ/t)、プラントの運転日数(年間328日)から計算した。

#### ・ストックヤード費用の仮定

バイオマスはエネルギー密度が低いため、大量利用するためには、広大な貯蔵場所(ストックヤード)が必要である。木材の比重は0.36で、充填率を0.4、積み上げ高さを2mと仮定し、発電所で使用する木材の量から必要となるストックヤードの面積を求めた。ストックヤードの造成費用は1万円/m<sup>2</sup>とし、償却率を12%としてコストに上乗せした。

#### ・設備費用計算の仮定

直接燃焼法のプラントコストは米国エネルギー省で試算されたPCプラントコスト<sup>105)</sup>、ガス化は同じく米国エネルギー省で試算されたIGCCのプラントコスト<sup>105)</sup>をベースとした。なお、PC発電プラントにはCO<sub>2</sub>回収設備(MEAによる回収及び圧縮設備)が組み込まれた形で計算されているため、ここではこの装置を省いたコスト(721,880-125,510=596,370[×1,000\$])を用いて試算した。これらのプラントの出力(ネット値)はそれぞれ379.5MW、583.6MWである。出力についても、コスト同様CO<sub>2</sub>回収設備でのエネルギーロスを除いた値(379.5+36.3=415.8MW)を用いて計算した。以上のプラントコストと出力の関係から、0.7乗則を用いてプラントコストと出力の関係を求めた。

PC混焼、IGCC混焼においては、1,000MW規模のプラントへ混焼を行った場合を仮定した。

これらのケースについて、上述の発電効率、バイオマスの収集費用、運搬費用、ストックヤードの費用、設備費用を考慮に入れて、プラントの規模(又は混焼率)を変数としてコスト比較を行った。いずれのケースについても、設備の償却率を年率12%とした。

これらの仮定に基づいて発電コストを計算した。発電容量を変化させた際の発電コストの比較を図3.3-4に、それぞれのケースの内訳を図3.3-5に示す。現状の石炭火力発電所に対して設備の改良を行わずに混焼を行った場合、木材の乾燥に必要な熱量や、粉碎に要するエネルギーの点から混焼率を1.4%以上とすることが難しいため、図3.3-4の検討では混焼率の上限を1.4%、すなわち木材による発電量上限を1.4万kWeとしている。

これより、混焼発電が全体的に低コストとなっているが、現状の石炭火力発電コスト(約6円/kWh)と比較して高価であり、また混焼率の上限が1.4%となっているため、バイオマスの大量利用という観点からは問題がある。また、コスト計算には反映させなかったが、木材などを大量に貯蔵すると自然発火する恐れがあるため、ストックヤードにおける長期間の貯蔵では蓄熱しないような工夫(散水など)が必要となる。これにより原料の含水率が上がる可能性があるため、発電時の熱効率を低下させないような何らかの工夫が必要となる。

<sup>105)</sup> EPRI・DOE 報告書 “Updated Cost and Performance Estimates for Fossil Fuel Power Plants with CO<sub>2</sub> Removal” (2002)

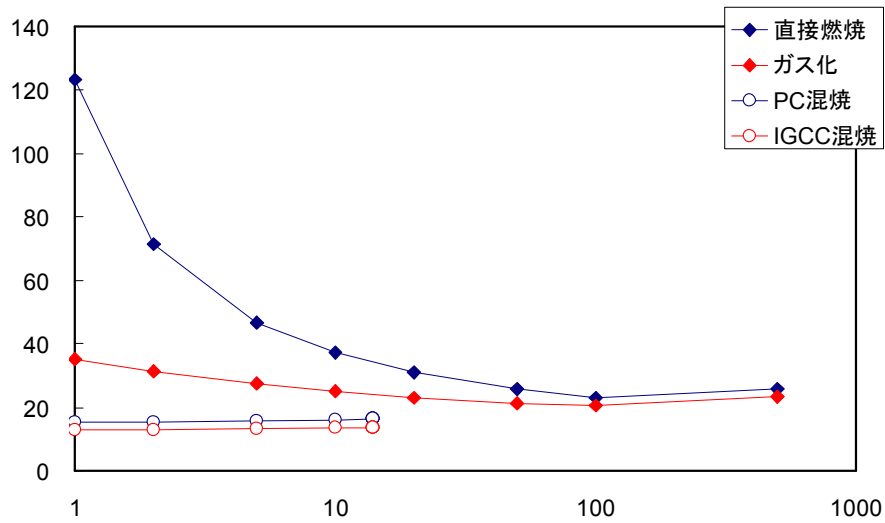


図 3.3-4 既存技術を用いた場合の発電容量とコストの関係

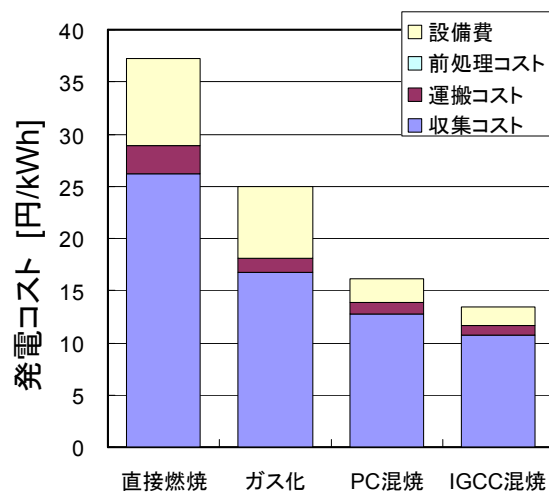


図 3.3-5 既存技術を用いた場合のバイオマス発電コスト比較

### 3.3.2 課題の再整理

#### ・輸送費用の低減、水の含有量削減、粉碎を容易にする前処理技術

国内においては、諸外国と比較して運搬コストが非常に高いため、木材の運搬費用がコストに与える影響が大きくなっている。また、今回は考慮に入れていない木材の粉碎コストも大きくなると予想される。

このコストを削減するためには、国内の輸送コストを下げるか、輸送効率を向上させる必要がある。輸送効率を向上させるためには、木材の圧縮や含水率の低下など、木材の嵩高さ

を解消しエネルギー密度を高めることが考えられ、これにより輸送コストが低減される。この処理は発電所における貯蔵設備の省スペース化という観点からも有利である。しかし木材を乾燥させると自然発火する危険性が大きくなるため、化学的により安定な形へ変換して輸送・貯蔵する必要がある。

木材の前処理法として現在用いられているものとしてペレット化が挙げられる。これは、木材を粉砕して 100℃～200℃へ加熱しリグニンを軟化させ、圧縮することでペレットを得るものである。しかし加熱のために水蒸気が必要となり、現状では製造コストが 30,000～40,000 円と効果である。また、比重も木材と同程度である。

過去における石炭から石油へのエネルギー転換が示すように、輸送や貯蔵など、ハンドリングを容易にするためには流体化することが望ましい。木質バイオマスを流体化するためには、構成分子を小さな単位に裁断して液化する方法と、流体を媒体としてその中に微細な固体のままの木質バイオマスをスラリー状に混合する方法が考えられる。分子の裁断による液化を行うためには高温高压条件と水素の添加が必要となる。2.3.1 の熱分解法における課題でも述べたとおり、このような変換には多額の設備費及び運転費が必要となり、付加価値がさほど高いとはいえない燃料への転換手法としては現実的でない。また、スラリー化する方法では、添加液として油を用いると、本来きれいな燃料として使用できる油に混ぜ物をするることになり、石炭発電所でしか用いることのできない燃料となってしまう。このような利用法により油の付加価値が低下するため、木材のハンドリング向上による価値の向上とのバランスは微妙なものとなる。添加液として水を用いると、燃焼時の水蒸気潜熱のロスが大きくなり、燃料として不適当なものとなる。

これらに対し、㈱ファーストエスコは、製材所等で発生する樹皮を炭化することにより木炭を製造し、高エネルギー密度の燃料として発電所での石炭補助燃料として販売している。現状ではこの技術は樹皮のみを対象としているが、より広範囲な木質系バイオマス源を転換原料として使用する技術を開発することで、この種の高エネルギー密度固体を大量に製造することが出来ると期待される。また、炭化処理を行うことにより燃料の微粉砕が容易になることに加え、更にそれにより木材に含まれるアルカリ金属の除去が容易になると期待され、混焼炉や専焼炉での木質系バイオマスの大量・高効率燃焼を行う上での問題が解決できる。木材の生産量は季節により変動するが、木材の生産量が低下する時期には石炭を燃料として用いることで、発電所の安定的な運転が可能となるメリットも生じる。このような炭化燃料をバイオコールと呼ぶこととし、この変換技術の概念図を図 3.3-6 に示す。



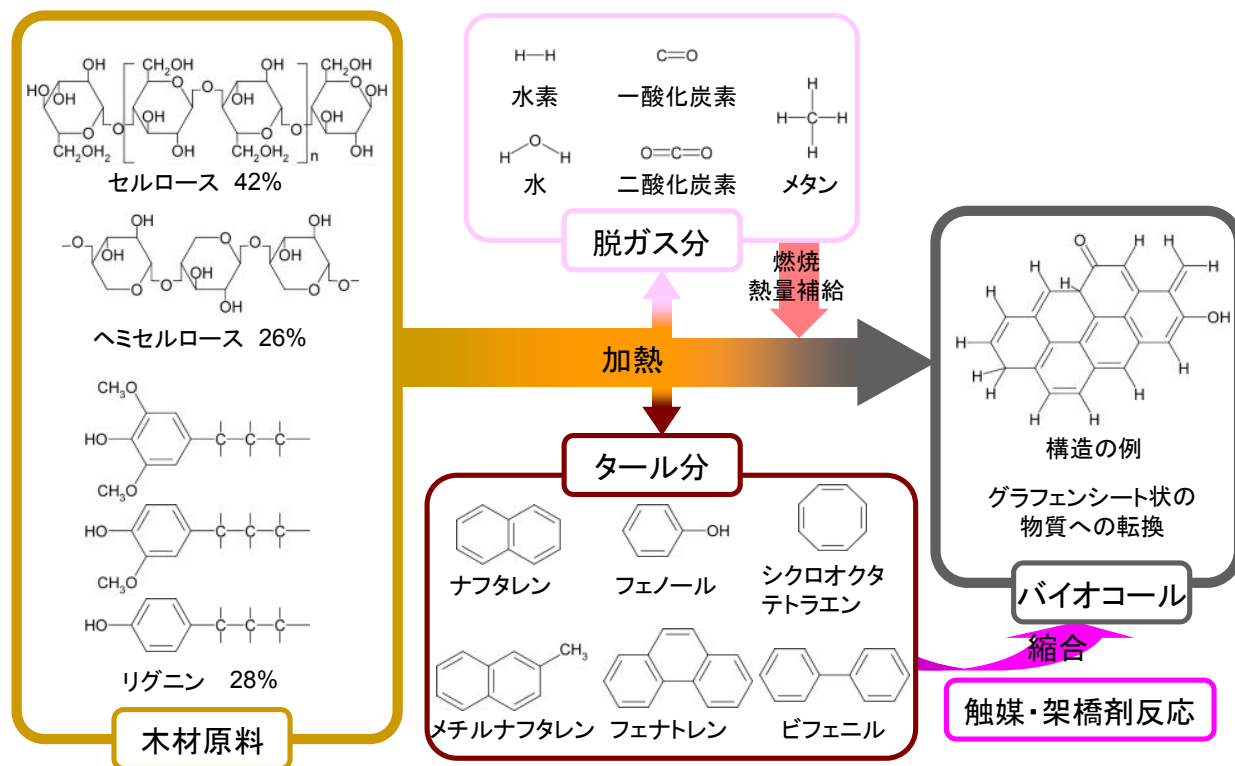


図 3.3-6 バイオコール製造の概念図

以上のような前処理法の効果を確認するため、木質系バイオマスを炭化処理することによりエネルギー密度が木材と比較して石炭並みの5倍となると仮定してコスト計算を行った。この際、変換過程で木材の熱量の7割がバイオコールへ転換されるとし、この変換工程に用いる設備の償却費用を1.7円/kWhとなると仮定した。この場合の発電コストの内訳を図3.3-7に示した。これにより、木材の前処理により混焼率の向上が可能となり、更に輸送コストが低減されるが、いまだに木質系バイオマスの収集コストが非常に高価であるため、発電コストも高価となっている。

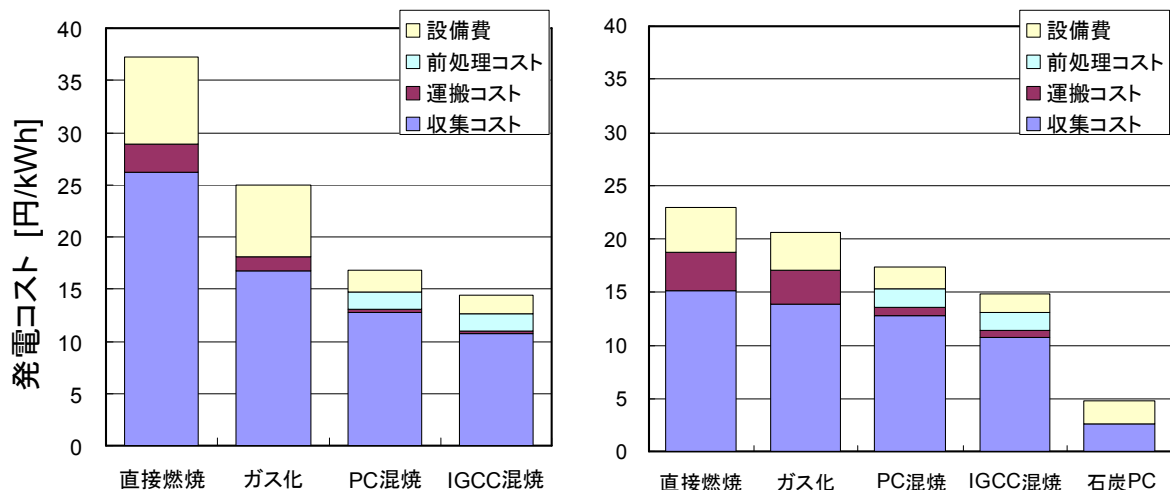


図 3.3-7 バイオコールを導入した場合のバイオマス発電コスト内訳

・ 灰の融点低下を防ぐアルカリ金属類の除去プロセス開発（イオン交換）

木材に含まれるアルカリ金属を除去するためには洗浄などの手段が考えられるが、木材の組織構造中にこれらの金属が含まれているため、単純な操作では除去は不可能である。

このため、木材の組織構造を変化させるような前処理、もしくはアルカリを不活性化するような添加剤の開発により、灰の融点を上げ、高温での燃焼を可能とする必要がある。

木材を炭化することにより木材の構造が細分化され、アルカリ金属が溶出しやすくなると期待されるため、上述した木材のバイオコール化はアルカリ金属除去の観点からも有望であると期待される。

・ 集木費用の低減を実現する、機械化などによる高効率・省力化

図 3.3-2 より、木材 1t あたり集木費用は 13,500 円かかっており、コストの大きな部分を占めている。これは前述のとおり日本の林地での集木効率は  $3\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$  と非常に低いため、収集作業の機械化が進んだスウェーデンでは  $30\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$  とされている<sup>106</sup>。日本においては、山地が急峻であるなどの問題から、この仕組みをそのまま持ち込むことによるこの程度までの高効率化は期待出来ないが、狭く急峻な山地でも運用可能な多脚機械や、木材を収集するための林道の整備などにより、収集コストを低減することができると期待される。

この効果を踏まえ、仮に木材の収集効率が現状の 10 倍となり、コストが 1/10 となったケースを仮定してコスト計算を行った。この場合の発電コストの内訳を図 3.3-8 に示した。これにより、混焼率を 10% としたケースでも、PC 発電と比較してコストは倍程度となり、カーボンクレジット制度などの導入によって既存の発電法と競合可能なレベルまでコストが低減されると期待できる。

<sup>106</sup> NEDO ホームページ、スウェーデンにおける木質バイオマスエネルギー利用を支える技術基盤及び社会基盤に関する研究調査：スウェーデンにおける木材生産ならびに木材産業の事情、平成 16 年 7 月 (<http://www.nedo.go.jp/itd/fesendo/h16/gaiyou/theme09/report07.html>)

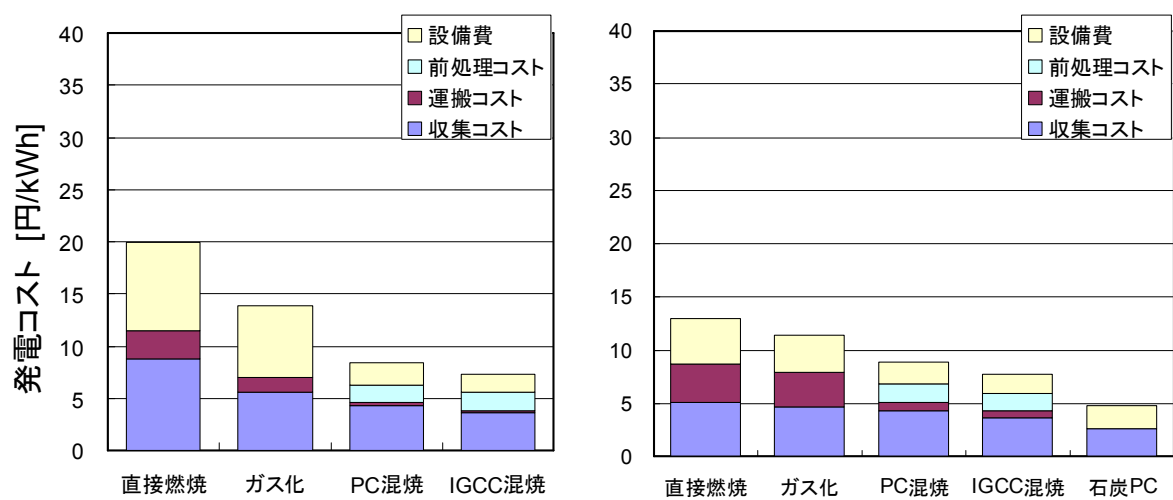


図 3.3-8 図 3.3-7 のケースで収集効率を 10 倍とした場合のコスト内

### 3.4 生物化学的変換

#### 3.4.1 重点化技術シーズの国内適用性検討と課題の再整理

##### (1) バイオエタノール

バイオエタノールは、サトウキビやトウモロコシなどを発酵させて作られガソリンに混ぜることで、自動車燃料（添加剤）としても使用する。世界で 4,100 万 kL（2004 年）が生産され、7 割をブラジルと米国が占めている。通常はガソリンに混合して利用されており、米国では E10（10%混合ガソリン）としての利用が一般的である。ブラジルでは地域振興、エネルギー対策のため、米国ではエネルギー安全保障、農業対策という側面が強い。現在の製造コストは、ブラジルのサトウキビが最も安く次に米国のトウモロコシを原料にした製造法が続く（図 3.4-1）。

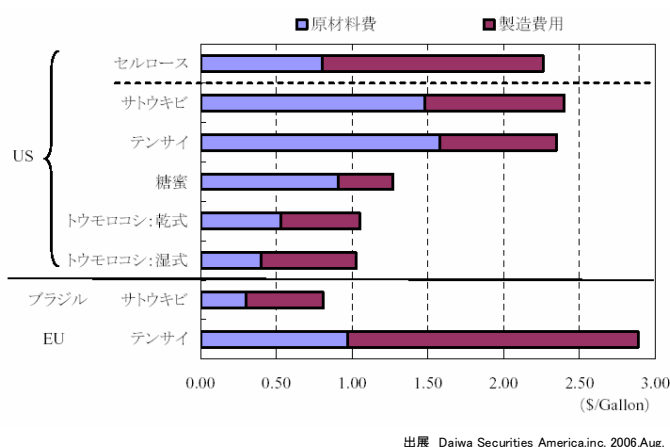


図 3.4-1 バイオエタノールの製造コスト比較

欧州ではドイツ、フランス、スペインではガソリンに ETBE（エタノールを原料とした添加剤）を～8%まで混合できる。米大統領の 2007 年一般教書では 2017 年までに 15%を代替燃料で賄う計画等を発表している。2007 年 1 月 現在、米国のエタノールプラントは 100 箇所以上で年間生産能力は約 50 億ガロンの見込みであり、過去半年で生産能力は 10%以上拡大している。エタノール向けトウモロコシ需要は 08 年の収穫高の約 5 割に相当する約 1 億 4 千万トンである。LCA の観点から見て CO<sub>2</sub> 排出量は 50～90%程度も削減されるが、ガソリンスタンド改造などの導入コストも必要である。

##### 【課題】

食糧自給率 40%の日本には、バイオ燃料の原料とする余剰作物がほとんどなく、国内で作ると価格がガソリンより割高になる。国内でのエネルギー作物利用は生産コストが高いことから現実的ではなく、農業残渣（稲藁、籾殻など）や建築廃木材、間伐材等の木質セルロース系資源が注目されている。今後、セルロース系バイオマスの製造コストが下がること、及びデンプン系のバイオエタノールは資源量が不足し、価格が既に高騰し始めている等から

今後は現在使用されていない廃棄物系のセルロースから、いかに安くバイオエタノールを製造するかが課題である（図 3. 4-2、図 3. 4-3）。ただしこれらは技術的にもセルラーゼの低価格化や効率アップ、木質系のリグニン除去は研究開発段階にあり、商業的な生産を行うにあたっての国内原料調達等の問題もまだ解決していない。

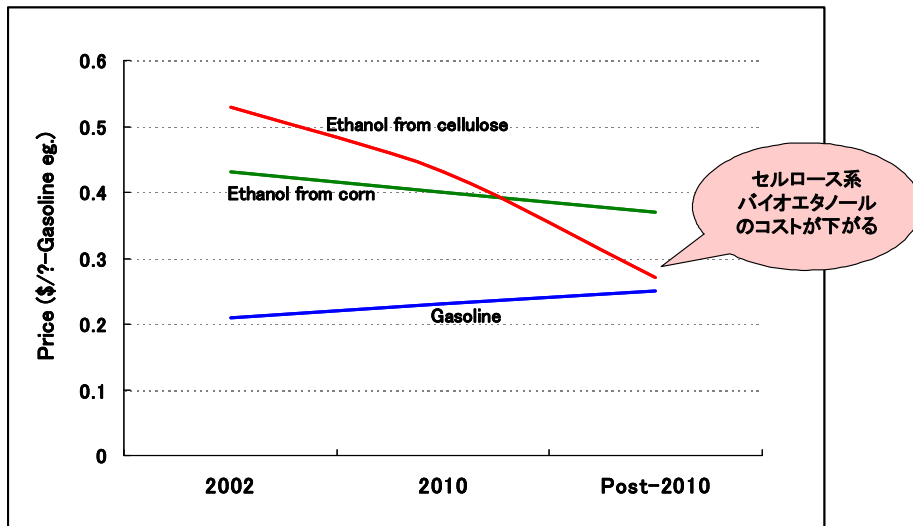


図 3. 4-2 将来的なバイオエタノール 価格比較<sup>107)</sup>

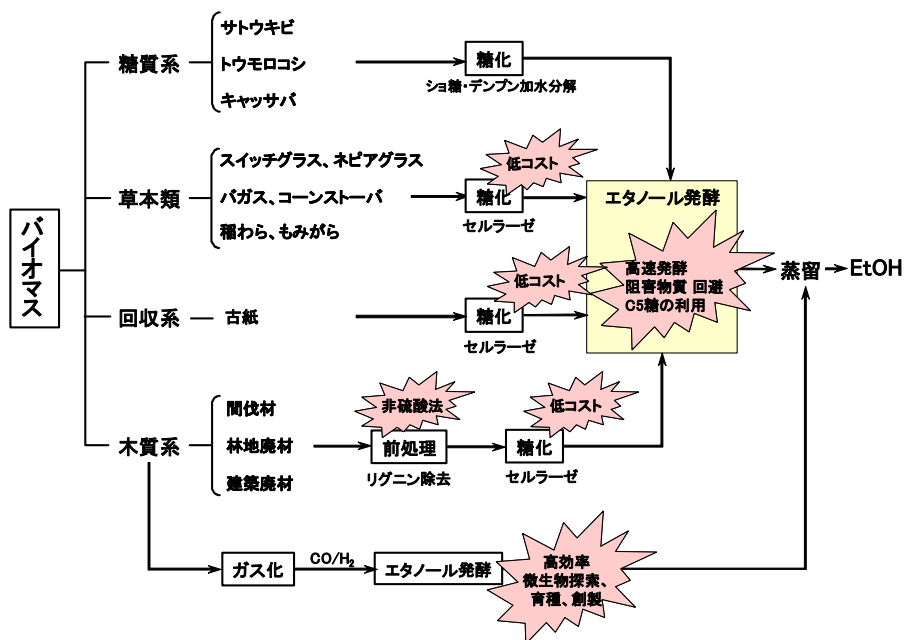


図 3. 4-3 バイオエタノールへの変換技術課題

<sup>107</sup> IEA International Energy Agency & NREL 資料

安倍総理は松岡農水相に、京都議定書で決まった 2010 年までにバイオエタノール 50 万キロリットルの導入計画を 600 万 kL に増額するよう指示した (2006 年 11 月)。ETBE エタノールとイソブチレンを合成した ETBE とエタノールを直接ガソリンと混合する方法があるがどちらか決着はついていない。課題をまとめると、低コストセルロース糖化の開発やリグニン除去工程での前処理での非硫酸法 (環境負荷低減) の開発など。バイオマス種類や樹種に最適な前処理 (非硫酸法、硫酸法は収率が悪く、環境負荷が大きい)、高速・高発酵収率バイオプロセスの開発、バイオエタノール精製法 (脱水)、発酵阻害物質の影響 (フルフラール、CCA : 防腐剤) 回避、原料費低減、セルロース系バイオマス回収系のインフラ整備、水の使用量削減 (NREL のレポート<sup>108</sup>) によるとエタノール生産のために 7.56 倍の水の補給が必要 : 図 3.4-4) などが挙げられる。一方、解決策や将来的に有望な技術としては、非硫酸法の開発 (水熱処理、メカノケミカル法)、高効率酵素糖化法の開発、高効率セルラーゼの育種生産、高速加水分解、セルラーゼのベストミックス、スペントースの発酵、高温発酵、同時糖化-発酵→ペントース発酵可能な微生物の育種 (C5 糖分解酵母育種、高温発酵菌育種) である。この中でも RITE プロセスは、前章でも触れたがペントース発酵可能、発酵阻害物質耐性や高生産性などで将来性が高いバイオエタノール生産 (発酵) プロセスである。

<i>Process Inlets</i>		
Stover Feedstock	98,039	14,706
Enzymes	6,824	6,255
Chemicals & Nutrients	7,239	0
Air	310,255	3,382
Well Water	186,649	186,649
Inlet Total	609,006	210,992
<i>Water Consumption/Generation</i>		
Prehydrolysis		-2,788
Saccharification		-2,736
Combustion		20,035
Wastewater Treatment		371
Consumption/Generation Total		14,882
<i>Process Outlets</i>		
Ethanol Product	24,686	122
Evaporative Losses	195,993	156,291
Vents to Atmosphere	375,443	68,051
Solids to Landfill	12,718	2,194
Outlet Total	608,840	226,658
Water Difference (inputs + consumption + generation - outputs)		-784

図 3.4-4 エタノールプラントにおける水収支<sup>108)</sup>

<sup>108</sup> NREL, Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, 2002

## (2) バイオディーゼル

バイオディーゼル燃料は主に植物の含有油脂を原料としたディーゼルエンジンを稼働させることができる軽油の代替燃料で、植物(ナタネ・ヒマワリ・大豆・パーム)由来の油とメタノールから化学合成したメチルエステルである。原料の油糧植物の価格は季節変動があり製造コストが原料価格に左右される。現在の製造コストは軽油と比べるとバイオディーゼルの方が高い。京都市の京都市廃食用油燃料化施設は、平成 17 年度には年間約 200 万 L 精製する予定となっており、バイオディーゼル燃料 1L を精製するに当たるコストは平成 17 年 7 月では、プラント等にかかるイニシャルコストを除いて 1L 当たり 85 円程度。

パーム油などの海外原料は、原料生産地における生態系や社会への影響、食糧との競合、未処理の廃液による深刻な水質汚染など様々な課題がある。また、副産物として 10% 程度のグリセリンは有効な用途がない。他に品質劣化、加熱費用、触媒がバイオディーゼルに混入、メチル化触媒が硫酸、苛性ソーダなどの環境負荷、バイオディーゼル燃料の分析方法、成分構成の決定と規格作り、グリセリンや含油排水の処理などがある。日本国内では廃食用油を原料とするバイオディーゼルにはほぼ限られている。滋賀県では、地域循環型社会の形成を目的とする"菜の花プロジェクト、京都市はバスに廃油起源のバイオディーゼルを使用している。自動車用燃料として販売することが認められる軽油中の FAME 含有量は 5.0wt% 以下とされている。

## (3) バイオ水素

バイオマスを原料とするバイオ水素生産システムは、二酸化炭素の排出にニュートラルであることから、これまで各国において研究がなされているものの、微生物水素生産のスピードが遅く、実用にまだ及ばないのが実情であった。バイオ水素生成法は発酵と光水素生産があり、どちらも常温常圧で機能し、スタートアップ時間の必要が無く、また燃料電池を痛める一酸化炭素等の副生物が生成されないなど、様々な利点が存在するが、出力が低いという問題を抱えている。光バイオ水素生産は水から水素を生産するために光合成の経路を使用するクリーンな方法である。しかし、太陽光からの水素の効率的な生産を促進するためには、これらの経路詳細な解明や緑藻やシアノバクテリアの改良等が必須である。バイオ水素生産の課題は、水素生産を効率的に行う安定な代謝経路を持つ微生物を探索すること、及び水素発生酵素であるヒドロゲナーゼを酸素耐性することによって、好気状態の下でも作動する微生物水素生産システムを開発することである。RITE 水素生産システムでは、遺伝子組換えにより水素生成能力を強化した菌株を作成し、この菌株を増殖させた後、反応槽内に充填し、グルコースやギ酸から連続的に水素生成を行わせる。これまでのバイオ水素生成法に比較して 2 桁以上高い生産性を示し、さらなる遺伝子組換えによって効率上昇の可能性がある。

## (4) バイオマスガス化成分 (CO) を利用した BTL 技術

バイオマスのガス化 (水蒸気ガス化) は木質系だけではなく多種類の乾燥バイオマスを CO/H<sub>2</sub> として再資源化することが可能である。水蒸気ガス化は転換効率 (重量比) が 40% 以上と高くハードバイオマス再資源化の有望技術の一つである。このバイオマスのガス化成分液体燃料に転換するプロセスを BTL と呼ぶ。BTL には FT (フィッシャー・トロプッシュ) 法が有名だが、最近、常温で CO をアルコールや有機酸に直接変換できる微生物が見出され、米国エネルギー省 (DOE) が研究開発を支援している。課題としては、嫌気性細菌であり

ガス成分を直接取り込むため増殖が遅く、菌体触媒が十分に得られないため結果として生産性が低いことが挙げられる。経済性に関しては、米国 DOE の再生可能エネルギー研究所が生産コストを計算している（次章参照）。Bioengineering Resources Inc.社と Mississippi Ethanol LCC でテストプラントを含めた検討がなされている。

#### (5) 生物燃料電池

再生可能資源であるバイオマスや下水汚泥等の未利用有機資源から、直接電気エネルギーを回収する装置として、微生物燃料電池が研究されている。いろいろな有機物やバイオマスを燃料として、温和な条件で電気エネルギーを取り出すことが可能である。廃水処理に微生物燃料電池を用いた場合の有機物除去率はメタン発酵と同じぐらいと報告されており（ペンシルベニア州大）、高速メタン発酵（UASB 法）と同じレベルと予想される。しかし、エネルギー回収に関しては、メタン発酵はメタンガスを回収（～50%炭素）できるのに対して微生物燃料電池は～200MW/m<sup>2</sup>（電極面積）しか発電できず、実用的にはかなり制限された使用法になると考えられる。



## 第4章 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ

日本の国土は約7割が森林であり、木質系バイオマスの賦存量は214～1,011PJ/年と計算されている。これを有効に利用する必要があるが、化石燃料と比較して価格が非常に高価となるため、導入が進まないのが現状である。

木質系バイオマスを熱化学変換プロセスにおいて用いる場合、原料コストが高価であることと、燃焼灰の融点低下による炉の汚損が問題となる。これらを解決するために、原料を炭化処理し、高エネルギー密度化して、更に生成物に含まれるアルカリ金属を除去することで、既存の化石燃料と同等以上の燃料が得られ、利用技術として大規模利用への道が開けるとの確約が得られる。

この手法により、運搬コストが低減され、また発電所において大規模燃焼を行う際の問題も解決されるが、収集コストの低減は未解決である。これを解決するためには、林地における集木を機械化することなどにより効率を向上させることが有効であり、それと並行して安定的な大量利用の技術的可能性に立脚したインフラ投資で、伐採、輸送にスケールメリットがもたらされる。

### 4.1 ガス化

バイオマスガス化が対象とする原料は、木質バイオマスである。これは、糖類あるいは草本類はバイオエタノールへ転換原料として使用されるため、それ以外のバイオマス原料として量的に有力な木質バイオマスが処理対象となる。木質バイオマスはガス化により、CO、H<sub>2</sub>まで分解されて合成原料となる。CO、H<sub>2</sub>からガソリン代替燃料あるいは化学原料が合成される。バイオマスガス化を成功させるために、次のような課題を解決する必要がある。

- ①木質バイオマスの収集コスト削減
- ②木質バイオマスの輸送・貯蔵コスト削減
- ③ガス化の際に副生するタール成分の低減、分解技術などの確立
- ④ガス化されたガスからの経済性あるガソリン代替、化学原料代替技術の確立

#### ①木質バイオマスの収集コスト削減

木質バイオマス、特に間伐材や林地残材は大規模利用の仕組みができていない。現状の伐採量は木材3m<sup>3</sup>/人 day程度であり、フィンランドやオーストラリアの1/10程度とされている。収集コスト低減には、伐採の機械化、機械化された伐採装置が森林内に入るような技術あるいはインフラの整備が必要である。このような社会システムを実現するにあたり、伐採技術・伐採機械、収集機械などに革新的技術ニーズがある。

#### ②木質バイオマスの輸送・貯蔵コスト低減

木質バイオマスを輸送するにあたっては、チップ化して袋詰めなどして運送が一般的であるが、かさ比重が小さく、燃料発熱量あたりで比較すると同じ量のバイオマスは、石炭の体積の1/8倍となり、トラック輸送の効率が非常に悪い。また、貯蔵でも同様に広い場所を必要とし、また自然着火の恐れがあり、長期の貯蔵では蓄熱しないような工夫が必要である。

③ガス化の際に副生するタール分の低減、分解技術などの確立

木質バイオマスからはタールが発生しやすく、発生したタールがガス化炉の下流で温度が下がった部分に析出して閉鎖などを起こす。このための対策としてタールの発生が小さくなるガス化技術の開発が進められているが、完全に解決されていない。タールの閉塞が起りやすいところを二系統にして、切り替えて使用するなどの工夫がされているものの、メンテナンスが大変である。したがって、バイオマスガス化におけるタール分解技術は革新的技術となる。

④ガス化されたガスからの経済性のあるガソリン代替、化学原料代替技術の確立

ガス化したガス中のCO、H<sub>2</sub>を、ガソリン、ディーゼル燃料、化学品の原料などに合成する技術は存在するが、現時点で実用的に供されている技術はフィッシャートロプシュ合成だけである。フィッシャートロプシュ合成は、生産される有機物の分子量分布が、ガソリンからディーゼル燃料、ワックスまでと幅広くなっており、特定の生産物だけを製造する技術ではない。したがって、バイオマスからの転換量が少量の場合は、副生成物についてもそれぞれの利用先を見つけて使ってもらうことは可能だが、大量になってくると合成しても使用されない生産物ができてくる。したがって、特定の生産物を製造できる経済的な技術の開発が必要であり、この新しい合成技術が革新的技術となる。

## 4.2 バイオコール

バイオコールは石炭発電所への混焼率を向上させるために提案された技術であり、現状の石炭発電所を利用できるように木質バイオマスの粉碎性、エネルギー密度、脱アルカリ、自然着火防止という特性を備えさせた燃料である。低温炭化により、ガス化時に発生するタール等を固体の形でバイオコール内に含有させる。この技術は机上検討のみで、まだ完成されていない。本技術が実用化されるためには、木質バイオマスをバイオコールへ転換させる過程での使用エネルギーをどれだけ低減させられるかが重要である。この革新的技術ができると、ガス化で課題となった、① 木質バイオマスの収集コスト削減、② 木質バイオマスの輸送・貯蔵コスト削減、③ ガス化の際に副生するタール成分の低減、分解技術などの確立といった課題が一気に解決することができる。

バイオコールは、触媒によりセルロースやリグニンなどを芳香族へ重合化しながら、低温炭化する技術であり、触媒ガス化技術、熱分解技術、脱アルカリ技術などから構成され、ひとつひとつはよく知られた技術であるが、それらをどのように組み合わせるか、あるいはどのようなシステムとするかが革新的技術である。

### 4.3 バイオエタノール

日本にバイオ燃料の原料とする余剰作物がほとんどないためバイオマスとしては余剰米とセルロース系原料（廃材、古紙、稲わら等）に限られ、更に回収システムの構築が必須である。国内ソフトバイオマスの場合は原料代として50円/kg以下が目標である。国内資源でバイオエタノール製造を行う時の対応や課題は、セルロース資源の確保、非硫酸処理による脱リグニン化技術、生物糖化（低コスト高活性セルラーゼの構築等）、高効率エタノール発酵、発酵阻害物質の影響を除く（フルフラール、CCA：防腐剤）等。表4.3-1に各プロセスでのコスト比較を示す。RITEプロセスによるバイオエタノール生産は、高効率かつ発酵阻害物質の影響を受けない優れたシステムである。

表 4.3-1 セルロース系バイオエタノール生産プロセスの比較

	原料	前処理	糖化	エタノール発酵	生産コスト
NREL 米国DOE 研究所	コーンストーバ	化学的 脱リグニン	酵素法 (セルラーゼ)	改良酵母	~30¢/ℓ
RITE	ソフトバイオマス	非硫酸法	酵素法	改良コリネ菌	~15¢/ℓ 目標値 RITE・HP資料
バイオエタ ノールジャ パン	建築廃材	破碎・化学的 脱リグニン	酸加水分解	改良 大腸菌/酵母	~50円/ℓ (目標値)

#### 4.4 バイオマスガス化成分（CO）を利用した BTL 技術

バイオマスガス化装置はバイオマス高温下でのガス化反応により、H<sub>2</sub>、CO などのガスに転換する。樹種などの原料バイオマスの種類によらず利用することが可能。嫌気性細菌のため増殖が遅く生産性が低いことが課題であるが、米国では二つのベンチャー企業が技術開発を行い現有技術で試験プラントを稼動中である。米国 DOE の再生可能エネルギー研究所のレポートでは、1日 4,500 ガロンのバイオエタノールを生産するプロセスが建設されたとして、イニシャルコストを除いたオペレーション及び原料代を入れて～50 円/L の試算となり（表 4.4-1）、発酵法の数年後の目標値とほぼ一致する。国内に最も多量に存在する木質資源の化学品・燃料への転換技術として今後の技術開発が望まれる。

表 4.4-1 CO 変換バイオエタノール コスト計算

Estimated Costs for Gasification Biological Ethanol Facility  
Mississippi Ethanol LCC/ NREL SR-510-31720-2002

	\$	\$
原料(木材)	103,500	103,500
電気代	240,000	125,000
燃料	1,477,400	400,000
水蒸気・水	6,200	6,200
下水処理	5,900	5,900
労務費	855,800	588,800
化学原料、オイル、グリス	208,800	104,400
メンテナンス	417,600	208,800
保険	313,200	156,600
税金	208,800	105,000
トータル運転・維持費用	3,837,200	1,804,200
エタノール生産コスト	\$1.6/gallon	\$1.0/gallon

4,500 gallon/d

#### 4.5 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ

2015 年近辺を目途とした革新的バイオマス利用システムの実現に向けた検討シナリオの骨格を年代順に記述するその全体イメージを図 4.5-1 に示す。

##### ①エネルギー資源の観点からのバイオマス大規模利用

- ・ 国内 1 次エネルギーとして輸送用エネルギーと民間エネルギーの年度ごとの伸びが大きく、これらをバイオマスエネルギーで置き換えることによって GDP の成長と CO<sub>2</sub> 削減の両方が達成できる。
- ・ バイオマス原料は季節変動の影響を受けやすく、大規模利用を行なうためにはその課題を克服する必要がある。バイオマス原料の貯蔵は嵩高く、また貯蔵の仕方いかんでは自然着火がおきる。現状は、バイオマス原料が輸送・貯蔵に向いていないために、発生した場所で利用する方針で技術開発が進められている。
- ・ 本調査の結果、バイオコールの小規模利用では経済性がでにくい理由が明らかとなり、大規模な利用技術の構築が重要なことが明らかとなった。このため、季節変動の影響を避けるためには大量貯蔵が容易な燃料を製造する技術が重要である。
- ・ また、既存のインフラを利用できることが普及を早めることになる。
- ・ 現在、国内で大規模に利用されているエネルギー源の用途としては、発電と輸送用がある。それぞれ既存の発電所、ガソリンスタンドが使用できるとインフラ整備のコストが削減でき、早期に代替バイオマス燃料の経済的な利用が可能になる。
- ・ どちらが利用先として適しているかを比較する。ガソリン代替としてはバイオアルコールと BDF の 2 つがある。

##### ②バイオマスからのガソリン代替燃料の製造

- ・ 選定にあたっては、代替バイオマス原料が食糧と競合すべきものは避けるべきである。
- ・ 輸送用エネルギーをバイオマス由来の燃料に置き換えるにはバイオアルコールと BDF（バイオディーゼル燃料）がある。
- ・ BDF のためにパーム油などを直接利用するのは、東南アジアでのパーム油生産の拡大によって資源収奪型の産業となり自然環境破壊が加速される可能性があり、循環型社会構築に逆行する可能性もあり、慎重な検討が必要である。
- ・ BDF の原料として国内の食用に使用された油を再利用して用いる場合、その資源量はあまり大きなものではなくなる。
- ・ バイオアルコールも、とうもろこしなどの飼料、食糧として利用されているものを原料とすると食糧価格の高騰を招くことになる。バイオアルコールは草本類を原料とすることが技術的には可能である。セルロースを主体とする草本類を原料としたバイオアルコール技術は一部の草本類では開始されているが、すべての草本類をバイオアルコールへ転換できる技術ができていない。このような技術が完成すれば、ガソリン代替燃料として受け入れが可能である。
- ・ 発電用燃料としては、そのまま燃焼させる場合とガス化して使用される場合があるが、それぞれ技術課題を抱えている。そのままバイオマスを燃焼する直接燃焼は、パルプ原料残渣を燃焼させる回収ボイラ技術として確立されているが、エネルギー変換効率が低い。これはパルプ原料残渣に含まれるアルカリ金属が燃焼発生灰の融点を低下させるため、伝熱

面への付着を防ぐために燃焼温度を低下させる必要があり、水蒸気温度が低くなるためである。

- ・ ガス化ではタールの発生によってガス化炉の連続運転が難しくなっている。
- ・ 微粉炭ボイラへの混焼は、直接燃焼とガス化と混焼率が1.4%程度であり、大規模利用技術として完成していない。
- ・ 燃焼・ガス化・混焼ともに利用技術として一長一短あるものの、バイオマスの燃料としての欠点である輸送・貯蔵は共通の課題である。石炭が石油に置き換わったのは、国内石炭の採掘条件悪化による石炭の高騰とともに、固体であることによるハンドリングの難しさが原因であった。
- ・ 輸送・貯蔵を容易にするためには流体化が望ましいが、流体化しても木質バイオマスに含まれる微量成分である灰や窒素、硫黄の完全除去は難しい。流体化したとしても、エネルギー転換装置は石炭と同様な仕様になる。
- ・ 流体化のための手段としては、木質バイオマスを構成する分子を小さな単位に裁断して木質バイオマスを液化する方法と、流体を媒体としてそのなかに微細な固体のままの木質バイオマス混合するスラリーの両方が考えられる。
- ・ 液化するには高温高压条件と水素添加が必要である。そのような設備を分散型で各地に設置することは経済性から考えて難しい。地域におくことが難しければ、大規模発電所への輸送簡便化に寄与しない。
- ・ スラリーとして油を使と、本来きれいな燃料として使用できる油を、石炭発電所でしか使えない燃料としてしまうことになる。そのような使用方法よりも、きれいな油として付加価値ある使用が望ましい。スラリーとして水を使用する場合には、燃焼時の水蒸気潜熱ロスが大きくなる。
- ・ ハンドリングしやすくするために、木材をペレット化する方法がある。これは、木材粉末100℃から200℃程度に加熱してリグニンをやわらかくし、高压を加えることによってペレットを製造する方法である。温度上昇させるために水蒸気が必要で、製造コストが30,000円~40,000円/tであり、比重は木材と同程度である。
- ・ 以上のように木質バイオマスの課題のひとつは輸送・貯蔵にあり、木質バイオマスを山元で簡易にエネルギー密度を上げ、輸送性、貯蔵性に富んだ物質に転換する技術ができると、木質バイオマスの利用が大きく進む。
- ・ 発電用燃料として、輸送・貯蔵が容易で、アルカリ金属の含有率が低く、ガス化時にタールの発生がない燃料を製造できればバイオマスの利用形態を大きく変え、革新的技術となる。

### ③木質資源とバイオコール

- ・ 木質バイオマスの賦存量は潜在的には1,000PJ程度（バイオマス・ニッポンの推定見積もりでは200PJ）あり、国内1次エネルギーの約5%になる。
- ・ 発電用燃料として適しているのは、木質バイオマスである。木質バイオマスは燃料としては小規模に利用されているものの、大規模な利用用途がない。したがって、未利用資源として残されているものの、採取・輸送などの利用技術が完備しておらず、木質バイオマスの利用は非常に高コストとなっている。
- ・ 現在木質バイオマスは、採取地域でエネルギーへの転換技術の開発が進められている。しかし、小規模な転換装置による転換効率の低さと、需給の不一致により、適応可能な地域

が限定されている。

- ・ 木質バイオマスには多量のリグニンが含まれており、このリグニンのためにバイオエタノールの生産が難しくなっている。
- ・ リグニンをバイオエタノールへ経済的に転換する技術の完成時期と、低温炭化して発電燃料とする技術の開発時期によって将来のシナリオが変化する。
- ・ 以上の問題を解決するような、リグニンをバイオマスへ転換する技術として、低温炭化して発電用燃料をつくる技術が考えられる。ここではこれをバイオコール技術とよぶ。

#### ④バイオエタノール技術

- ・ セルロース系バイオマスあるいは更に木質系バイオマスからのバイオエタノール技術ができると、バイオエタノールの製造が開始される。
- ・ しかし、原料は廃材、古紙、稲わらなど地域に分散しており、また資源の生成量は季節変動が、原料の確保・輸送・貯蔵の課題を克服できないシステムとしての運用となる。
- ・ バイオエタノールの製造時にバイオエタノールと発酵残渣が残り、これら残渣を燃料としてプラント内で燃焼・発電を行なう。しかし、この発酵残渣を用いた燃焼・発電プラントは小規模であり、電力と水蒸気は割高となる
- ・ 発酵残渣からバイオコールを生産し、大規模発電所で利用できる技術を開発する技術によって、バイオエタノールプラントの経済性が向上する。

#### ⑤バイオコールの本格的普及

- ・ バイオマスから、地域単位で、地域や季節に影響されない貯蔵・輸送が容易な発電燃料が、石炭と任意割合で混焼できると、大規模な石炭発電所が活用でき、発電コストは安価となる。
- ・ 発電所にはストックヤードがある。そこに製造したバイオコールを備蓄し、石炭との混焼率を季節変動に応じて変化させることにより、発電所をコンスタントに運転でき、またバイオコールの生産は大量利用への道が開ける。
- ・ バイオコールはバイオマス生産地近辺で、生産を行なう。初期のバイオコールは木質バイオマスから生産される。バイオコールの性状、コストが発電所の混焼用燃料として受け入れられると、木質バイオマスの適用先が確定し、森林の整備、インフラ整備、伐採技術の進展により、バイオコールが大量に流通しだす。
- ・ すなわち、木質バイオマスの利用用途が確立すると、国内森林からバイオマスを安価に採取する技術開発と投資が積極的になり、国内木質バイオマスの価格競争力が改善され、木質バイオマスの普及が進む。
- ・ 木質バイオマスのバイオコールとしての流通し、その製品規格が明確になると、その他のバイオマスや、バイオマスから有用成分抽出後の残渣などをバイオコールへ転換する技術開発が行なわれる。残渣とは、バイオマスのうちから薬品などの有用成分を抽出・加工して化成品とし、更にセルロース、ヘミセルロースをエタノールへ高効率に転換したあとの物質である。バイオコールの規格を基準にして、いろいろなバイオマス利用残渣をバイオコールへ転換する技術が派生する。

#### ⑥バイオエタノール・バイオコール併産プラントの出現

- ・ 国内の森林資源がエネルギー作物との位置づけで整備が進み、資源コストが安価になると



木質資源を原料としてバイオエタノール（発酵法あるいはバイオマスガス化）製造と発酵残渣を原料としたバイオエタノールの製造が各地で行なわれるようになる。

- 木質バイオマスは地域単位でバイオコールへと変換され、一方化成品やエタノールの生産に使用されたバイオマス残渣は工場単位でバイオコールへ変換されて、これらが石油を代替し、日本を支える燃料のひとつとなる。

⑦バイオコール発電所の出現

- バイオコールの供給拡大により、2030年頃には石炭を燃料とする発電所がバイオマス専焼可能な発電所へ進化する。バイオコール発電所はIGCCや燃料電池複合発電へと進化し、発電所の効率向上により国内エネルギー自給率も向上する。
- 新規発電所ではCO<sub>2</sub>削減のためのCO<sub>2</sub>回収・貯留技術が適用され、元々CO<sub>2</sub>ニュートラルである燃料から更にCO<sub>2</sub>削減を行なうことで、CO<sub>2</sub>削減へ大きな寄与となる。

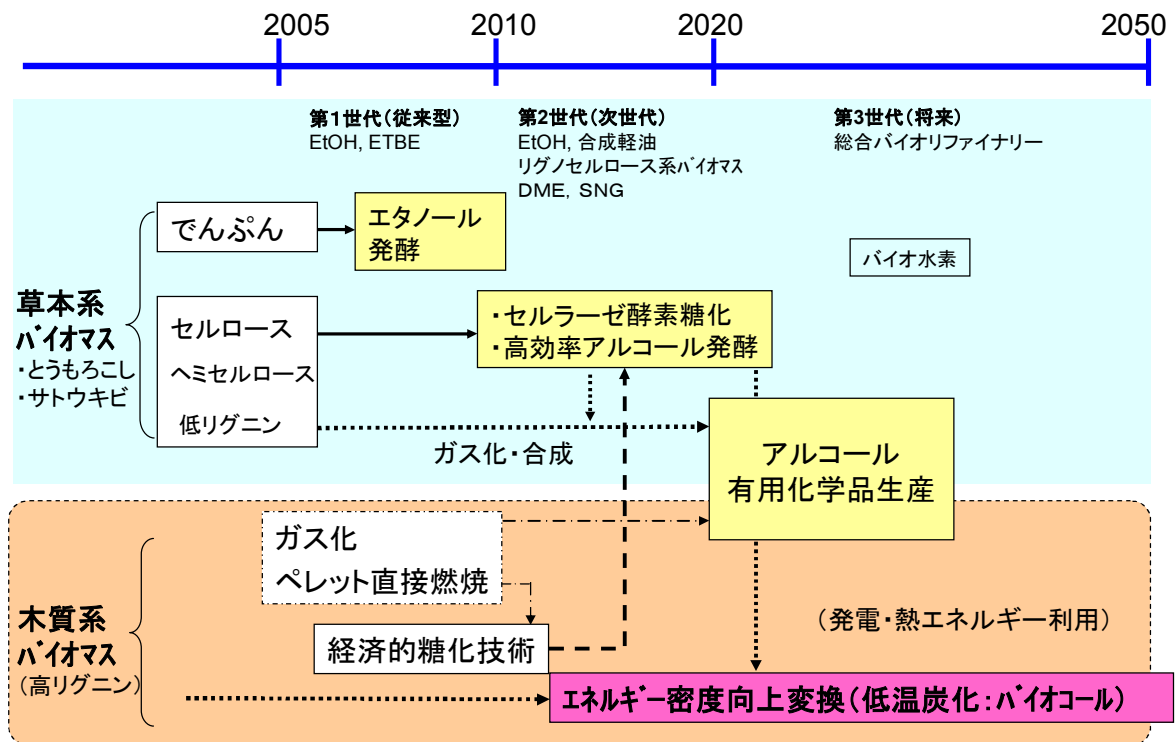


図 4.5-1 革新的バイオマス利用システムの実現に向けた検討シナリオの骨格

## 4. 調査研究の成果

本調査研究では、バイオマス利用技術に関して広汎な調査を行い、革新的なバイオマス利用システムを実現するためのシナリオをまとめた。

### (1) バイオマス利用システムの課題の整理

植物バイオマスを対象に、国内外の熱化学的変換、生物化学的変換、その他のプロセスにおけるバイオマス利用システムの活用状況・開発動向・課題を既存文献などにより調査し、課題を抽出した。

- ・国内では、バイオマスエネルギー利用を巡る状況が大きく変わり、法整備、バイオマス利用の導入目標明確化など政策面での利用促進、さらに、各省庁、自治体でのバイオマス関連プロジェクトを積極的に推進している。一方、収集・輸送・貯蔵に関する技術的・経済的課題があり、商業化に向けた低コスト化が課題である。
- ・米国では2017年にガソリンの15%をバイオエタノールへ転換する目標を設定。課題は食糧とエネルギーの競合である。欧州では木材を発電・熱供給資源とするために収集・輸送インフラの整備を進めた。今後は再生可能原料、バイオエネルギー拡大と、それら原料としての新作物開発が課題である。
- ・バイオマス大量利用技術が未確立。また国内資源である木質バイオマス（国内水力エネルギーに相当）の利用拡大が課題であり、バイオマスの用途は電力と移動体燃料代替が望ましい。

### (2) バイオマス利用の態様別革新的技術シーズの収集・整理

バイオマス利用の課題を克服し得る革新的技術シーズを、大規模利用のための輸送コストの低減・分散利用システムの高効率化の観点から調査し、技術の整理を行った。

- ・熱化学的変換では現在開発中の技術ではコスト高であり、そのなかでは混焼、ガス化が有望である。
- ・生物化学的変換では、バイオマス原料として食糧と競合しないセルロース、さらにはリグニンを含む木質セルロースへの転換技術が望まれる。

### (3) 有望な革新的技術シーズの評価と適用可能性の検討

上記(1)～(2)で調査した革新的技術シーズの評価を行い、革新的技術の絞込みとわが国における適用可能性を検討した。

- ・発電では、既存の石炭発電所を利用した混焼技術が最も有望で、混焼率が50%以上にできれば国内バイオマス全量処理が可能。その革新技術として、木質バイオマスを高エネルギー密度化、アルカリ金属不活性化、自然着火性低下を図るバイオコール技術に着目した。
- ・生物化学的変換技術では、近未来は草本類のセルロースからのバイオエタノール、将来に向けては有望な革新的技術シーズとして木質バイオマスからのバイオエタノールの革新技術とバイオマスガス化成分(CO)を原料とした有用物質合成技術に着目した。

#### (4) 検討成果によるシナリオの基本骨格の取りまとめ

2015 年近辺を目途とした革新的バイオマス利用システムの実現に向けた検討シナリオの骨格を取りまとめた。

- ・バイオエタノール生産技術は、食糧との競合を避け、セルロースに富んだ草本類からさらに木質バイオマスを原料とする技術開発の流れとなる。
- ・木質バイオマス低温炭化技術は、輸送・貯蔵・混焼率改善による石炭代替燃料化を達成し、大量利用基盤を造り国内一次エネルギーの一翼を担わせる。木質バイオマスの供給インフラが整い、木質バイオマス大量流通によってバイオエタノール供給原料低コスト化を図る。
- ・バイオエタノール転換残渣、木質バイオマスの有用成分抽出残渣、その他廃材料からもバイオコールへの転換技術が開発され、食糧からエネルギーまで植物を介した太陽エネルギーのロスがない利用技術となる。

## 5. 調査研究の今後の課題及び展開

米国は国内の広範囲な農地にエネルギー作物栽培により草本類を中心にしたバイオマスからのバイオエタノールの開発、日本、欧州では米国の動きをうけて本格的なバイオマス利用技術の開発に動き出そうとしているところである。

日本は国土の約7割を森林が占め、バイオマスはエネルギー資源としてのポテンシャルは大きく、国内森林資源は国内一次エネルギーの1～5%の潜在的な資源があると推算される。森林資源の有効利用を視野に入れた大規模バイオマス利用技術が望ましい。

この利用を阻んでいるのは、資源が薄く広く分散している、季節変動が大きな資源という性格である。また伐採は人手を中心に行なわれており、利用インフラ諸外国よりも遅れている点が、伐採コストを高いものとしている要因のひとつである。バイオマスの輸送・貯蔵が容易な利用形態を構築し、大規模利用が可能な革新的バイオマス利用技術を開発することで、大規模利用への道を拓くことで、伐採へのインフラ投資が喚起され伐採コストも低減する。

現在開発中の利用技術の中にこのような視点を取り入れることで、森林資源の有効利用技術実用化のデスバレーを乗り越えることが可能になる。バイオマスガス化・バイオエタノールは大規模でないと経済性がでず、いっぽう混焼は小規模から経済性がある。バイオマス大規模利用につながる道として、木質バイオマスの低温炭化によるバイオコールを使用した混焼技術の確立が急がれる。収集・輸送・貯蔵の経済性の改善目処が立った後に、低温炭化、バイオマスガス化、バイオエタノール技術を核にしたハイブリッドな木質バイオマス利用技術の体系が構築される。このために、

- ①原料調達・収集コスト低減可能性の検討
- ②木質バイオマスのエネルギー資源としての供給ポテンシャルの評価  
(石油・石炭大体供給源としての理想的な森林育成型態)
- ③革新的バイオマス最適変換システム・配分方法検討、経済性評価

といった調査研究を更に行い、バイオマスを資源の一部として組むための望ましい有望技術導入実現シナリオの詳細策定が必要であると考ええる。