

CRDS-FY2005-SP-01

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 CT CTCGCC AATTAATA
 TAA TAATC
 TTGCAATTGGA CCCC
 AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
 ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
 AA TAATC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
 CTCGCC AATTAATA
 ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTCGCC AATTAATA
 TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 ATTAATC A AAGA CCT
 GA C CTA ACT CTCAGACC
 0011 1110 000
 00 11 001010 1
 0011 1110 000
 0100 11100 11100 101010000111
 001100 110010
 0001 0011 11110 000101

00 11 001010 1
 0011 1110 000001 001 00001 0111101
 0101 000111 0101 00001
 001101 0001 0000110
 0101 11
 00110 11111100 00010101 011

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 CT CTCGCC AATTAATA
 TAA TAATC
 TTGCAATTGGA CCCC
 AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
 ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
 AA TAATC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
 CTCGCC AATTAATA
 ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTCGCC AATTAATA
 TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 ATTAATC A AAGA CCT
 GA C CTA ACT CTCAGACC
 0100 11100 11100 101010000111
 001100 110010
 0001 0011 11110 000101
 0011 00011111100 0

平成17年8月 00 11 001010 1

戦略プロポーザル
 未来型バイオマスエネルギーシステム
 基盤技術

 Center for Research and Development Strategy

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

001101 0001 0000110
 0101 11
 00110 11111100 00010101 011

要 旨

将来の温室効果ガス削減と化石燃料資源の節約のための重要な技術として、バイオマスエネルギーの育成、利用基盤技術の研究開発に関する戦略を提案する。

バイオマスは生物起源の炭化水素で、原理的には太陽エネルギーによって固定された炭素を主成分としている。すなわち、生物によって固定された太陽エネルギーとも言える。再生産が保証されている限り大気中の二酸化炭素を増加させることはないため、カーボンニュートラルとされ、温室効果ガス排出削減に有効であり、且つ太陽がある限り枯渇しないため化石燃料資源の節約にも寄与できる。

バイオマスのエネルギーポテンシャルは、2050年時点で2000年の世界の一次エネルギー総需要の半分をまかなえる程度であるとされ、バイオマスエネルギーに対する期待は大きい。欧米はバイオマス利用に熱心に取り組んでおり、長期的には石油からバイオマスへのある程度のシフトも予想される。しかし、世界においても日本においても、バイオマスエネルギー利用の普及率、利用のエネルギー効率ともに低く、そのポテンシャルを活かしきれていないのが実情である。特に日本では国土の狭さのため、バイオマスのポテンシャルは日本の一次エネルギー需要の数%とされているが、現実に使われているのは一次エネルギー需要の1%強と低い値にとどまっている。

わが国は資源の大部分を海外に頼っている大量輸入国として、将来の代替資源の主力であるバイオマス利用のニーズは非常に高いにもかかわらず、国内の産出量が小さいことと、その育成・収集コストの高さから、欧米諸国に比べ利用システムの普及に向けた取組が遅れている。将来の世界的なバイオマスへのシフトに対応するためには今後、海外産バイオマスの利用を視野に入れたバイオマスエネルギー戦略を立て、そのために必要な高度な技術の開発を推進する必要がある。

このような背景の下、温室効果ガス削減と化石燃料資源の節約に対するバイオマスエネルギーの寄与と、その寄与を最大化するための課題を明確化する目的で、科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ「バイオマスエネルギー利用システムの普及・高度化に向けた研究開発課題」を開催した。ワークショップでは①バイオマスの生育量を増やす、②バイオマスエネルギー利用の普及率を上げる、③バイオマスエネルギー利用のエネルギー効率を上げる、という三つの目的を掲げ、産学官から利用システム、育成、変換、廃棄物処理等に関する有識者・研究者に参加いただき、二日に分けて討議を行った。一日目は主としてシステム側から見た課題につき討議し、二日目は2週間間をおいて要素技術を議論した。また、社会・経済・政治的環境が与える影響を無視して研究開発課題の重要度、優先度を検討することは困難であることから、討議は研究開発課題のみに限定せず、社会的課題、経済的課題、制度的課題を含む全体像をスコープに入れて討議を進めた。

その結果、長期的国家ビジョンとして、

- ・市場原理に基づいた基幹産業として、バイオマス産業を育成する

・アジアを中心として国際的に調和の取れたバイオマス利用により、地域の発展とセキュリティを確保する、
などが提案され、それに対応したシナリオ、具体的施策、研究開発課題が抽出された。

それらの研究開発課題のうち、将来においてバイオマスによるエネルギー供給が飛躍的に増大するための基盤となる課題を抽出し、以下のような具体的達成目標を設定した：

【具体的達成目標】

将来においてバイオマスエネルギーが基幹エネルギーとして温室効果ガス排出削減、化石燃料代替に寄与し、かつその供給、利用が基幹産業として成立するに必要な生育量の増大、利用効率の向上、普及拡大のための基盤技術を開発する。具体的には例えば以下のような基盤技術の確立を目指す。

- ① エネルギー作物の生育速度を向上する、あるいは乾燥地、汽水域等の栽培不適地でも生育できる品種改良技術
 - (a) 生育速度・環境耐性関連遺伝子の解明と操作技術
- ② セルロース、リグニン等バイオマスに含まれる分解困難な成分から高効率に気体ないし液体燃料を製造する技術
 - (a) セルロースの生化学的糖化技術、高活性酵素
 - (b) 熱化学反応の生成物制御技術、ガス精製技術
- ③ バイオマスエネルギーシステムの省力化、
 - (a) 栽培、収集のための監視、トレース技術
- ④ 設備耐久性向上技術
 - (a) 高耐食材料、汚れ付着抑制・自己浄化技術

Executive Summary

A research and development strategy is proposed for fundamental technologies of growing and utilizing biomass, which are essential to reduce greenhouse gas emission and fossil fuel consumption in the future.

Biomass is hydrocarbons accumulated in plants and animals, mainly composed of carbon solidified by solar energy. In other words biomass is a form of solar energy fixed in living things. As long as reproduction is secured, it does not increase carbon dioxide content in the atmosphere, and is considered as carbon neutral. It is effective measure for reducing greenhouse gas emission as well as for saving fossil energy resources as long as the sun exists.

The energy potential of biomass in year 2050 is estimated as some half of the total primary energy consumption of the world in year 2000. Expectancy for it is high. The United States, European countries, and some of the other nations are moving toward higher utilization of biomass. However, both the diffusion and energy efficiency of biomass energy systems are low, and the potential has not been fully exploited. In Japan, especially, though biomass energy potential accounts for several percent of the primary energy consumption, only a little over 1 % has been actually utilized so far.

Japan is in serious need for utilization of biomass as a heavy importing country, who depends highly on foreign natural resources. Yet, the action for biomass utilization is far behind these countries, mainly due to small domestic potential of biomass supply and high cost to produce and collect biomass. It is essential, in order to cope with the worldwide shift toward biomass energy, to form a strategy in view of utilization of overseas biomass and to promote research and development of advanced technology.

A strategic workshop for projecting future science and technology titled “— R&D subjects for spreading and advancing biomass energy systems —” has been held to elucidate the contribution of biomass energy to cutting greenhouse gas emission and saving fossil energy consumption, and measures to maximize it.

Three objectives; ① to increase growth rate of biomass, ② to diffuse the biomass energy system, ③to improve the energy efficiency in biomass energy systems, have been set. With attendees from industrial, academic, and governmental organizations, who have specialty in systems technology,

nurturing or conversion of biomass, waste processing and so on, the discussion has been conducted for two days. On the first day, the issues relevant to the systems technology have been discussed. The second day, which was two weeks later, was planned for debates on element technologies in the system. Since it was difficult to examine the importance or priority of R&D subject without considering influences of social, economic, and political conditions, these conditions as well as technologies were taken into the scope of the workshop.

The workshop has produced a long term national vision in which;

- Biomass sector is to be established as a key industry based on market principle, and
- The development and resource security in Asia are to be secured through internationally well balanced utilization of biomass in the region.

The scenarios, action items, and R&D subjects to bring about the vision have been proposed as well, out of which fundamental R&D subjects for build a basis to increase biomass energy contribution dramatically have been extracted, and the following target has been established:

【Specific Target】

To develop fundamental technologies for increasing growth of biomass, improving energy efficiency and spreading its use, which are required for biomass energy to contribute in reduction of greenhouse gas emission and fossil fuel consumption, and to form a viable key industry for supply and use of biomass. As more specific examples, the following technologies are aimed at;

- ① Breed improvement technology to increase growth rate of energy crops, or to raise them in unsuitable land for cultivation such as desert or coastal lagoon,
 - (a) Elucidation and manipulation technology of genes related to growth rate or tolerance to environment
- ② High efficiency production technology of liquid fuel from materials difficult to decompose such as cellulose or lignin,
 - (a) Biochemical conversion technology to convert cellulose to sugar, and high activity enzyme
 - (b) Thermochemical technology to control yield composition, and to refine product gas
- ③ Labor-saving technology for biomass energy system,

- (a) Monitoring and tracing technology for cultivation and collection of biomass
- ④ Durability improvement technology.
 - (a) Corrosion resistant material, technology for prevention of stain deposition and/or self cleaning

目 次

要旨/ExecutiveSummary	i
[1] 背景.....	1
1.1 社会ニーズ.....	1
1.2 対応策	2
[2] バイオマスのポテンシャル.....	5
2.1 世界のバイオマス	5
2.2 国内のバイオマス	8
[3] 戦略ワークショップ	10
3.1 課題検討の方針.....	10
3.2 技術の俯瞰	12
3.3 ワークショップでの提言.....	12
[4] 国際比較と日本の取組み	18
[5] 戦略プロポーザル.....	22

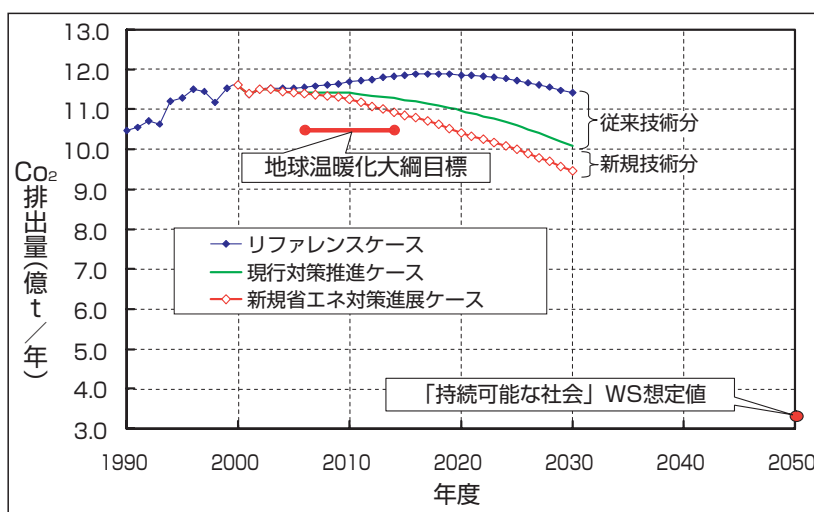
[1] 背景

1.1 社会ニーズ

持続的発展が可能な社会の構築は、現代の科学技術における最重要な社会ニーズの一つである。重要な指標として、温室効果ガス、特にエネルギー起源の二酸化炭素排出量があり、その低減は焦眉の課題である。図1-1は総合資源・エネルギー調査会需給部会が2004年6月にまとめた報告書¹⁾から取った二酸化炭素排出量の見通しであるが、2005年2月に発効した京都議定書の削減目標を満足するために定めた地球温暖化大綱の目標である、2008年～2012年でエネルギー起源の二酸化炭素排出量を1990年のレベルと同じにする、という条件を満足していない。

同図右下端にある赤丸は、当センターで2004年5月に開催した戦略ワークショップ

「持続可能な社会システム実現のためのシナリオと課題」²⁾における想定値（制限値）である。当該ワークショップでは、2050年における社会ビジョンと、そこに至るシナリオ、またそのためにおおむね2030年までに達成すべき研究開発課題の抽出を図った。



総合資源エネルギー調査会需給部会 中間とりまとめ(2004/6)のデータ使用 *2004/5実施、IPCCのB1シナリオに基づき想定した世界平均の一人当たり排出量ベース

図1-1 日本の二酸化炭素排出量見通し

この想定値は日本の一人当たり二酸化炭素放出量を、気候変動に関する政府間パネルIPCCの持続可能なシナリオの一つであるB1シナリオでの世界平均と同じとしている。

これは放出量を現在の1/3に低減することを意味する。ここまで達成できるのか、すべきかという点で議論の余地はあるが、研究開発の長期戦略策定に当たって、省エネルギー

表1-1 「持続可能な社会システム」ワークショップ想定値

前提条件	項目		単位	現状値	2050年の想定値	2050値/現状値比
	前提条件	総人口	日本	億人	1.3*	1.0
世界			億人	63.4*	90.0	1.4
GDP		日本	ドル/人・年 兆ドル/年	33,000** 4.3**	60,000 6.0	1.8 1.4
		世界	ドル/人・年 兆ドル/年	5,100** 32**	17,000 150	3.3 4.7
CO ₂ の排出量		日本	トン/人・年 億トン/年	9.4*** 12***	3.4 3.4	0.4 0.3
		世界	トン/人・年 億トン/年	3.6*** 230***	3.4 310	0.9 1.3

*: 2003年 ** : 2001年 *** : 2000年

による不便さ、精神的・肉体的苦痛を最小限に抑え、日本の産業競争力を強化するためにも、そうした目標を達成できるレベルの科学技術を目指すことは意義があると考えられる。

しかし、温室効果ガスの排出のような地球規模の課題は、日本だけが削減すればすむという問題ではない。図1-2にア

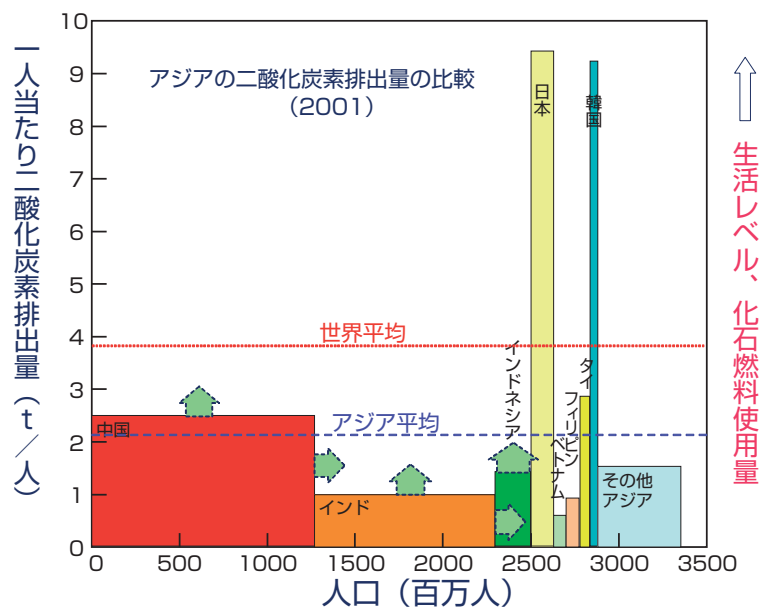


図1-2 アジアの二酸化炭素排出量

ジア各国の二酸化炭素排出量を示す。同図は横幅が各国の人口、縦軸が一人当たりの二酸化炭素排出量、すなわち面積が二酸化炭素排出量を示す。アジアでは人口の増加と開発途上国の工業化、生活レベルの向上に伴って二酸化炭素の排出量が急増しており、この傾向は今後も継続すると予想される。また二酸化炭素の排出量は化石燃料需要とも対応しており、需要の急増は原油等化石燃料の市場の不安定化にもつながることが懸念される。このことから、日本のみならず、アジア全体において温室効果ガスの排出および化石燃料の使用量を削減することは、わが国の持続可能性、産業競争力の維持にとっても重要な課題である。

1.2 対応策

その実現に向けて、わが国においても様々な取組がなされている。基本的には化石燃料の使用量を減らせばよく、方策としては省エネルギー等によって、エネルギーの使用量そのものを減らすことと、化石燃料を二酸化炭素を排出しないエネルギーで代替することの二通りがある。現状の見通しから言って、そのどちらかをやればすむわけではなく、両方の推進が必要である。ここではまず後者について検討する。

表1-2は日本の非化石エネルギー、すなわち二酸化炭素を排出しないエネルギーのポテンシャルと課題を列挙したものである。原子力以外は再生可能エネ

表1-2 日本の非化石エネルギーのポテンシャルと課題

項目	潜在量 (百万kℓ/年)	課題
太陽光・熱	18.4~37.2*	低密度、時間・日間・季節変動、コスト
風力	1.0~2.0*	サイトの制約、低密度、時間変動、コスト
水力	~20.0*	ほぼ限界に近い利用率
地熱	小	サイトの限定、設備耐久性
バイオマス	10*~29**	発生個所の分散性、質の多様性 ⇒コスト、普及率、効率の制約
原子力	—	社会の認知、廃棄物処理・処分の確立

参考：日本の一次エネルギー需要約5.9億kℓ (2002年)

*：エネルギー経済統計要覧2004年版より³⁾
*：日本エネルギー学会報告書より⁴⁾

ルギーであり、資源論的には事実上無限と考えてよい。このうち太陽光・熱は大きいポテンシャルはあるものの、コストが高い上に時間・日間・季節変動が大きく、大きい蓄電容量を設置するか、他の電源と併用せざるを得ないという問題があるため、なかなか普及が進まない。風力は年間を通じ風速がある程度大きい時間が続かないと設備容量に比し十分な量の発電ができず、経済的に見合わない。水力は安定性が高く、コスト的にも有意なエネルギー源ではあるが、既に国内で水力発電用に使える地点はほとんど使われており、きわめて小規模の分散型水力しか残されていないため、今後大きい寄与は期待できない。地熱は経済的に設置できる地点は水力以上に限定されており、ポテンシャルは小さい。原子力は最も有力な非化石エネルギーであり、燃料サイクルが確立できれば準国産エネルギーとして大きい寄与が期待できる。しかし、社会の受容性の問題があることと、輸送用エネルギー源としての適性等を考えると、原子力のみですべてのエネルギーをまかなうことは非現実的である。

これに比し、バイオマスは使用する際には二酸化炭素を排出するが、それは植物が生育する際に太陽エネルギーによって固定した大気中の二酸化炭素であることから、使用量を補うだけの生育量があれば、すなわち再生が確保されれば、大気中の二酸化炭素を増やさない。このことからバイオマスはカーボンニュートラルなエネルギーと呼ばれる。

再生可能エネルギーの中でバイオマスに対する期待は大きい。表1-2に2005年3月に発表された総合資源エネルギー調査会需給部会の2030年のエネルギー需給展望⁵⁾に示された2010年の新エネルギー導入見通しを示す。廃棄物とバイオマスを併せたバイオマス系エネルギーの寄与は現行の地球温暖化大綱では新エネルギー全体の60%程度であったものが、今回の追加対策では80%以上になっている。可燃性廃棄物には化石燃料起源のものも入るが、環境省の循環型社会白書⁶⁾のデータによれば全廃棄物の54%がバイオマス起源であるのに対し、化石燃料起源の廃棄物はわずか3%程度であり、近年分別やプラスチックのリサイクルが進展していることを考えると、今後の可燃性廃棄物はほとんどがバイオマス起源と考えても大きい誤りではないと思われる。

バイオマス利用に関しては平成14年12月バイオマスニッポン総合戦略⁷⁾が閣議決定

表1-2 新エネルギー導入見通

万kℓ

	2002年度	2010年度			現行大綱 目標
		レファレンス	現行対策	+追加対策	
太陽光発電	15.6	62	118	118	118
風力発電	18.9	32	134	134	134
太陽熱利用	74	74	74	90	439
未利用エネルギー	4.6	5	5	5	58
廃棄物+バイオマス発電	174.6	230.6	586	586	586
廃棄物熱利用	164	164	186	186	14
バイオマス熱利用	-	-	67	308	67
黒液・廃材等	471	483	483	483	494
バイオマス系小計	809.6	877.6	1322	1563	1161
総計(総供給比%)	923 (1.6)	1051 (1.7)	1653 (2.7)	1910 (~3)	1910 (~3)

総合資源エネルギー調査会需給部会、平成17年3月

され、また循環型社会構築の観点からは、平成16年6月のG8サミットにおいて、日本が3R（Reduce：廃棄物の発生の抑制、Reuse：再使用、Recycle：再生利用）イニシアティブを提唱、合意を得た。現在、各省、各機関において精力的な取組が始まり、軌道に乗りつつある。こうした中、次の段階として持続可能社会のビジョンに基づく長期的な達成目標と、それに向けた具体的な研究開発戦略の立案が望まれている。

参考文献

- 1) 2030年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）、総合資源・エネルギー調査会需給部会、平成16年6月
- 2) 科学技術の未来を展望する戦略ワークショップー持続可能な社会システム実現のためのシナリオと課題一、JST研究開発戦略センターワークショップ報告書（CRDS-FY2004-WR-01）、平成16年
- 3) エネルギー・経済統計要覧 2004年版、エネルギー経済研究所編、(財)省エネルギーセンター発行、平成16年1月
- 4) 平成13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の利用・普及政策に関する調査）報告書、日本エネルギー学会、平成14年5月
- 5) 新エネルギー対策の方向性について、総合資源エネルギー調査会需給部会 第11回資料6、平成17年
- 6) 循環型社会白書、平成16年 (<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/junkan/h16/index.html>)
- 7) バイオマス総合戦略、平成14年 (<http://www.maff.go.jp/biomass/senryaku/senryaku.htm>)

【2】バイオマスのポテンシャル

バイオマスは植物や動物など生物起源の炭化水素で、原理的には太陽エネルギーによって固定された炭素を主成分としている。すなわち、生物によって固定された太陽エネルギーとも言える。再生産が保証されている限り大気中の二酸化炭素を増加させることはないため、カーボンニュートラルとされ、温室効果ガス排出削減に有効であり、且つ太陽がある限り枯渇しないため化石燃料資源の節約にも寄与できる。

バイオマスには廃棄物・残さ・未利用系、資源作物等の種類がある。現在多く使われているバイオマスは廃棄物や残さである。廃棄物および残さは元々の利用目的があつて、そのために栽培、収集や加工が行われたバイオマスであり、廃棄物は一度以上他の用途に使ったものであるのに対し、残さは他の用途に使う部分をとった後のバイオマスを指し、基本的には未利用である。一方、未利用バイオマスはわざわざ栽培しているわけではないが利用ニーズがないため、使うためには通常新たに人手を掛けて収集する必要がある。資源作物は、通常、食料以外の目的で使うために栽培、収集、加工される。大規模な栽培は生態系の保全上の問題を引き起こす可能性がある。また、資源作物は土地の利用に関して食料と競合し、食料のニーズとの関係で生成量に変化する可能性があるが、廃棄物、残さ、未利用のバイオマスについては基本的に、発生量は他の因子で決まる。こうした様々な視点からの重要度の違いによって、施策や対応技術等が異なる。

2.1 世界のバイオマス

ポテンシャル

WEC報告書¹⁾によれば世界のバイオマス生育量は2200億odt (oven-dry tones)/年と膨大であり、エネルギー量としては現在の世界の一次エネルギー使用総量の10倍にもなると言われている。しかし、実際にエネルギー源として使える量の評価には大きな幅がある。図2-1はエネルギー学会編「バイオマスハンドブック」²⁾に記述されている利用可能バイオマス量の様々な評価結果の比較である。2050年での予測だけを取り出してみてもAlcamoの74EJ/年からFischerの453EJ/年までの幅がある。ただし、前者の予測値はエネルギー作物の分を含んでおらず、後者のそれはエネルギー作物と残さ系バイオマス以外に薪の寄与を110EJ/年分見込んでいる。これ以外の3件は182~206と比較的狭い範囲に分布しており、おおむね180EJ/年以上の量は期待できると考えて検討を進めて差し支えないと思われる。

図2-2に山本らによる2100年時点での残さ系バイオマスの種類ごとの内訳を示す。これもモデルによって評価されたものであり、数値が一人歩きすることは避ける必要があるが、誤差を見込んでも、地域ごとにかかなりの差があること、木質系残さ、草本系残さが同程度に大きいこと、畜糞等の高湿分バイオマスは比較的少ないが、アフリカ等の特定の地域では無視できない割合を占めること、等がわかる。技術開発の戦略立案に当っては、こうした地域差、種ごとの生成量の大きさを考慮することも必要である。

	評価期間	年	地域	エネルギー作物 [EJ/年]	まき(薪) [EJ/年]	バイオマス残さ [EJ/年]	合計 [EJ/年]
Hall ^{a)}	1991	1911	82	-	-	87	-
Dessus, et al. ^{b)}	1985~2050	2050	10	15	65	26	106
Johansson, et al. ^{c)}	1985~2050	2050	10	128	10	68	206
Alcamo ^{d)}	1990~2100	2050	13	-	-	74	74
		2100		-	-	208	208
IPCC-BI ^{e)}	2025~2100	2050	7	135	-	48	183
		2100	-	229	-	96	325
Fischer, et al. ^{f)}	1990~2050	2050	11	147~207	91~110	132~135	370~453
GLUE-11 ^{g)}	1961~2100	2050	11	110	-	72	182
		2100		22	(378)	114	136

- a) D. Hall (1991)
b) B. Dessus and F. Pharabod (1992)
c) T. Johansson, et al.: RIGES (Renewable-Intensive Global Energy Scenario) (1993)
d) J. Alcamo: CWS (Conventional Wisdom Scenario) (1994)
e) R. Watson, et al.: BI (Biomass-Intensive Variant) (1996)
f) G. Fischer and L. Schrattenholzer (2001), ここでの作物の供給可能量は余剰耕地によるものではなく草地によるもの。
g) H. Yamamoto, K Yamaji and Fujino (1999), GLUEの新型燃料用丸太の供給可能量は理論的な可能性を示したもので試算値、またエネルギー作物のポテンシャルは計算条件のパラメーター設定に依存して大きく変化し得るものとの留保あり。

エネルギー学会編「バイオマスハンドブック」より

図2-1 バイオマス供給可能量の予測値

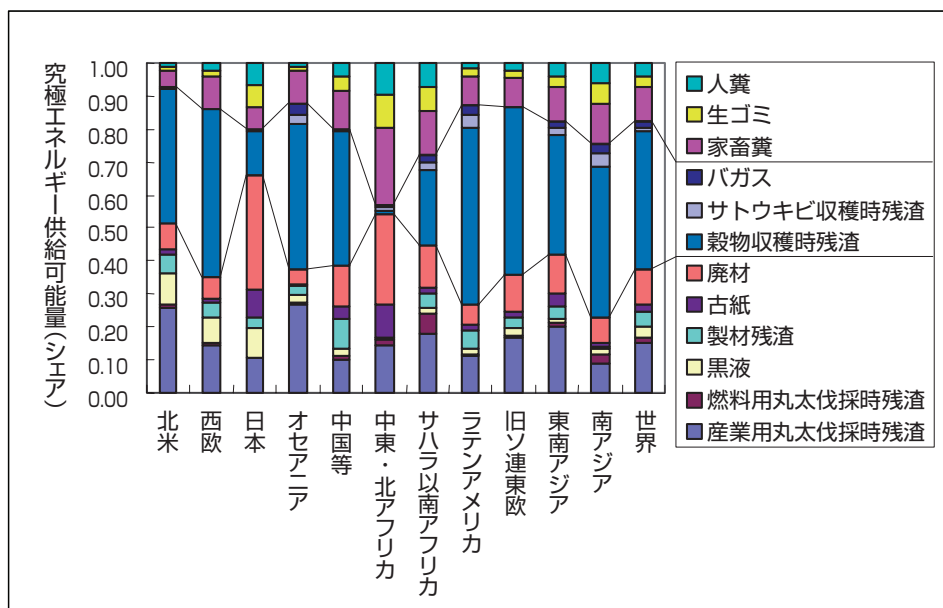


図2-2 廃棄物・残さ系バイオマス生成量の内訳

利用の現状

WEC報告書に示されたデータに基づいて作った世界の地域ごとの木質系バイオマスとバガスの使用によるエネルギー量を図2-3に示す。農業廃棄物や一般廃棄物についてはデータがそろっていないため、含めていない。この合計は世界で約25EJ/年となる。同報告書によれば、その他も含めると約55EJ/年となるが、これは世界の一次エネルギー

総需要の13%に相当する。

使い方には地域・国による差が非常に大きく、例えば南アフリカと北部を除くアフリカでは一次エネルギーの60から86%を木質系バイオマスによってまかっている。アフリカ全体の平均でもバイオマスの寄与は約40%になる。また、この多くが薪あるいは炭の形で調理や暖房に使われている。アジア全体ではバイオマスの寄与は7%とされるが、ラオス、カンボジア等ではそれぞれ97%、79%と依存率が非常に高いなど、アジア内での地域差も大きい。

また、木質バイオマスの利用に関しては必ずしもすべての地域で再生を確保して採集しているとは限らず、結果的にレガシーバイオマスを消費しているのみという可能性もある点は注意が必要である。

一方バイオマスによる発電も行われ、2001年には世界の総発電量は79.6TWhであった。その中でもアメリカ合衆国はバイオマスによる総発電量の52%を占め、フィンランドが10%でこれに次ぐ。その大部分は木質や固体廃棄物によるものである。この総発電量は0.29EJに相当し、仮に発電効率10%と仮定して、発電用燃料としての使用量を計算すると2.9EJとなる。これは世界のバイオマスエネルギー使用総量25EJの11%強でしかなく、バイオマスの大部分が単純に熱そのものとして使われていることが分かる。一旦電気にすれば高COPヒートポンプ等による総合利用効率向上も可能なことから、バイオマス発電の今後の普及と効率向上が期待される。

バイオマス起源の液体燃料は世界各国で急激に生産が伸びており、エタノールについては2001年の3200万kℓから2003年には3800万kℓへと増加した。最大の生産国はブラジルで1200万kℓ（2002年）、次いで米国が1160万kℓ（2003年）、以下中国、インドと続くが、いずれも急速な増産を図っている。ブラジルでは当初補助金等によりエタノール産業の育成を図ったが、企業の大規模化、収穫の機械化等により現在では無水アルコールが2001年で28ドル/バレルと石油と競合できるレベルに達している。バイオディーゼル（BDF）についてはドイツを筆頭にEU全体で230万kℓの生産能力を有し、かつ免税措置等の普及策によって生産・利用の拡大を図っている。米国はDOEが大豆生産業界と協力し、普及の促進を進めつつあり、最近ブラジルでもBDF生産者、関連機器生産者、利用者等に資金援助を開始し、エタノールとあわせバイオ液体燃料の大生産国を目指している。また東南アジアにおいてはパーム（油椰子）オイルを原料としたBDFの産業が立ち上がりつつあり、BDF生産、利用は世界規模で進む傾向にある。

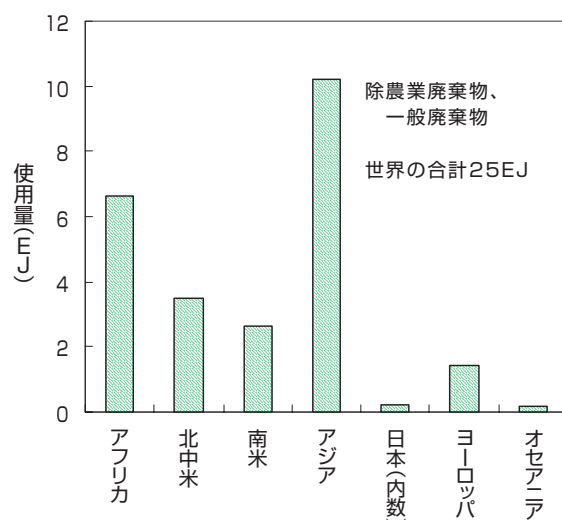


図2-3 世界の木質系バイオマス（含黒液）+バガス使用量（2002年）

2.2 国内のバイオマス

ポテンシャル

山地、山本等⁴⁾はバイオマスの一次生産物から中間加工品、副産物、最終商品、廃棄物という各種バイオマス形態での物質収支を表にしたバイオマスバランス表も用い、国内におけるバイオマスエネルギーの究極的な供給可能量を算出している。それによれば、我が国におけるバイオエネルギー資源の対象となる副産物・廃棄物バイオマス（残渣系バイオマス）は、合計で1.5EJ、石油換算で約3,700万トンと見積もら

れる（ただし間伐材利用は含まず）。これらの値は、バイオマスのすべてが使用可能とした最大値であり、実際には耕地への藁のすきこみとしての利用や、リサイクルとしての利用、さらには技術的問題などで必ずしも全てが利用可能とはならない。そこでバイオマス種ごとの回収ロス等を考慮した現実的総合利用率を設定し、かつ古紙等のマテリアルリサイクル率も考慮することで実際に利用可能と考えられる量（実際的供給可能量）を算出すると0.9EJ、石油換算で約2,100万トンとされる。バイオマス種ごとの究極、および実際的供給可能量を図2-4に示す。

これらの供給可能量予測値は、今後の社会的、技術的な変化によって変動はありうるものの、現時点では国内のバイオマスは、国内総一次エネルギー（22.8EJ/y（石油換算54,672万トン）（2001年））のおよそ4%程度をまかなえる能力をもちうることを示している。これは世界最大である我が国の太陽光発電の供給量が石油換算で14.4万トン（石油換算15.6万kℓ、2002年⁶⁾）であることを考えると、比較的大きなエネルギー源である。

利用の現状と2010年目標値

平成17年2月に行われた第11回総合資源エネルギー調査会需給部会の資料6)によれば、2002年度における新エネルギーの導入量は石油換算854万トン（923万kℓ）で国内総一次エネルギーの1.6%を占めている。各項目は図2-5に示すが、バイオマス関連の項目（黒液、バイオマス熱利用、廃棄物熱利用、廃棄物発電+バイオマス発電）の総和

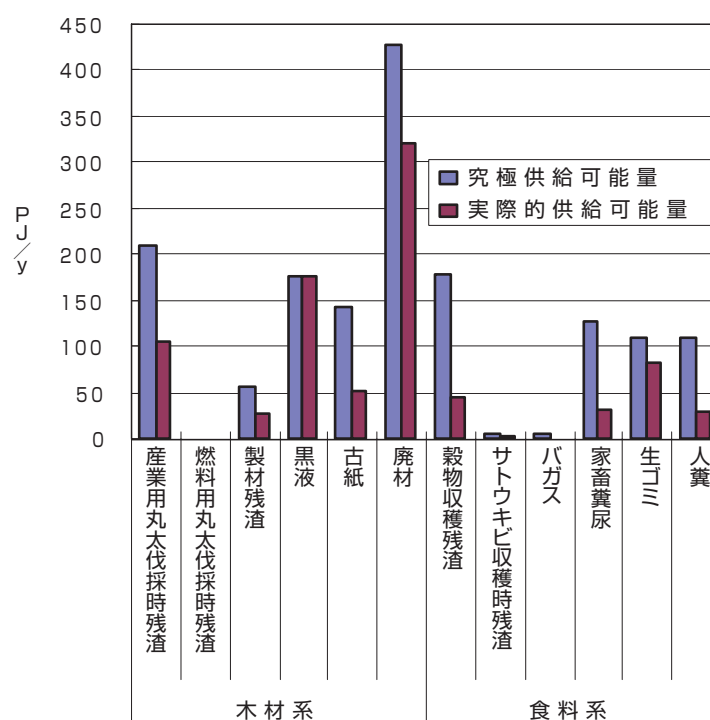
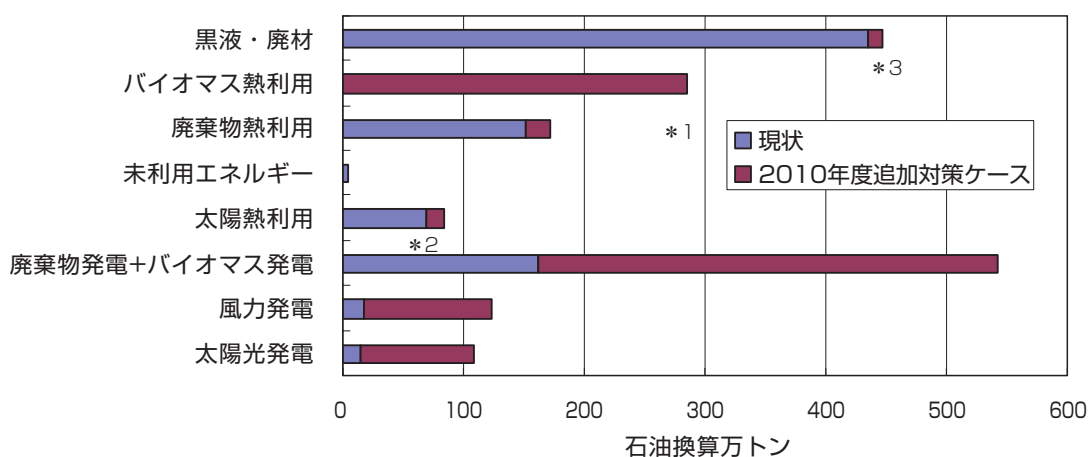


図2-4 バイオマス種ごとの供給可能量



- ※ 上記発電分野及び熱分野の各内訳は、目標達成にあたっての目安である。
 *1 輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料(50万kℓ)を含む。
 *2 未利用エネルギーには雪氷冷熱を含む。
 *3 黒液・廃材等はバイオマスの1つであり、発電として利用される分を一部含む。黒液・廃材等の導入量は、エネルギーモデルにおける紙パの生産水準に依存するため、モデルで内生的に試算する。

図2-5 新エネルギー導入の見通し⁶⁾より作成

は、石油換算でおよそ750万トンにおよび、新エネルギーの大部分を占めているが、上記バイオマスの実際的供給可能量（石油換算約2,100万トン）と比較すると、およそ三分の一の利用に留まっているのが現状である。同図には2010年度に現行対策および今後の追加対策を行う際の目標も示されているが、第1章で述べたようにバイオマスに対する期待は大きい。

しかし、国土の狭さからポテンシャル自体が低いことと、栽培や収集のコストが高いこともあって、日本のバイオマスエネルギーの普及率は低く、欧米の取組と比べて立ち遅れていることは否定できない。

参考文献

- 1) World Energy Council: 2004 Survey of Energy Resources, 19th World Energy Congress & Exhibition, Sydney, Australia, 5-9 Sept. 2004
- 2) エネルギー学会、“バイオマスハンドブック”、オーム社、平成15年7月
- 3) 山本博巳、“世界的・長期的なバイオエネルギーの供給可能量”、本ワークショップ講演資料
- 4) 山地、山本等、“バイオエネルギー”、ミオシン出版、2000年
- 5) 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 報告書”、平成14年
- 6) 新エネルギー対策の方向性について、総合資源エネルギー調査会需給部会 第11回資料6、平成17年

[3] 戦略ワークショップ

バイオマスに関する研究開発戦略立案のため、2005年3月26日と4月9日の2日に亘ってワークショップを開催し、有識者、研究者の立場からの課題抽出を行った¹⁾。表3-1に参加者を示す。産学官から、バイオマスの育成、転換・利用技術、システム技術、政策等の関係者が参加し、一日目はシステムの観点から、二日目は要素技術の観点から討論した。

本ワークショップの当初の目的は、バイオマスが温室効果ガス排出量削減および化石燃料の使用量削減に対し、どれだけの寄与が期待できるか、どのような研究開発課題を推進すればその期待を達成できるかを知ることであった。

しかし、討議の過程で、そうした研究開発の成果を活用する上で、社会・経済・政治的環境が与える影響も重要であることが指摘され、そうした影響を無視して研究開発課題の重要度、優先度を検討することは困難であることが明らかとなったことから、本ワークショップでは研究開発課題のみに限定せず、社会的課題、経済的課題、制度的課題を含む全体像をスコープに入れて討議を進めた。

3.1 課題検討の方針

大きい期待が寄せられるバイオマスであるが、現在は、その利活用の普及率、および利

表3-1 ワークショップ参加者

稲葉 敦	総合コーディネータ (独) 産業技術総合研究所 LCAセンター	総合コーディネータシステム
山本 博巳	(財) 電力中央研究所 社会経済研究所	システム
服部 順昭	東京農工大学大学院 共生科学技術研究部	システム
田中 勝	岡山大学 大学院環境学研究科	システム
藤江 幸一	豊橋技術科学大学 エコロジー工学系	システム
仲 勇治	東京工業大学 資源化学研究所	システム
山地 憲治	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	システム
玄地 裕	(独) 産業技術総合研究所 LCA研究センター	システム
長田 隆	(独) 農業・生物系特定産業技術研究機構 北海道農業研究センター	バイオマス生産、システム
中川 仁	(独) 農業生物資源研究所 放射線育種場	バイオマス生産
小林登史夫	宮城大学 食産業学部	バイオマス生産
澤 一誠	三菱商事株式会社 機械新規事業開発ユニット	変換技術、システム
迫田 章義	東京大学 生産技術研究所	変換技術・システム
松村 幸彦	広島大学大学院 工学研究科	変換技術
横山 伸也	東京大学大学院 農学生命科学研究科	変換技術
小島 紀徳	成蹊大学 応用化学科	変換技術
柳下 立夫	(独) 産業技術総合研究所 バイオマス研究グループ	変換技術
坂西 欣也	(独) 産業技術総合研究所 循環バイオマス研究ラボ	変換技術
白井 義人	九州工業大学大学院生命体工学研究科	変換技術
斉木 隆	(社) アルコール協会	変換技術
小井沢和明	NEDO 新エネルギー技術開発部	変換技術
羽田謙一郎	みずほ情報総研(株) 環境・資源エネルギー研究部	法律・施策
藤本 潔	農林水産省 大臣官房環境政策課 資源循環室	法律・施策

用効率が低く、日本においても世界においても、そのポテンシャルを活かしきれていないのが実情である。特に日本では普及率が低く、欧米に比べ取組が立ち遅れている。

バイオマス利用に関する現在の研究開発には三つの方向があると考えられる。第一は、既存の技

術をベースとして地域の特性に合わせた、より現実的なシステムを組み上げ、普及率を向上するための研究開発、第二はバイオマスの特性に合わせて、より高効率に、あるいはより低環境負荷でバイオマスを利用するための利用高度化技術の研究開発、第三は再生されるバイオマスの量そのものを増やすための研究開発である。図2-1に示すように、バイオマス全体のポテンシャルに対し、普及率と利用効率を掛けたものが現実の寄与であり、どちらが低くてもバイオマスは本来持っているポテンシャルが十分発揮できない。また、再生されるバイオマスの量そのものを増やすことは利用できる資源の増大につながり、同様に重要な課題である。2050年頃までにはこのいずれもが技術的に可能な最高レベルを達成することが望まれる。

ただし、温室効果ガスの濃度上昇、およびその結果としての地球温暖化は温室効果ガスの排出量と固定化量の差の累積値に依存し、それぞれ数十年、数百年という時定数を持つ積分現象である。2050年までの間に膨大な量の温室効果ガスが排出されてしまえば、それ以降だけ排出量を減らしても温暖化の抑制は困難である。したがって現在から2050年に至る期間の温室効果ガス排出量削減も同様に重要な課題である。普及率の向上は短期的な成果が見込め、この問題への対処の観点からは期待が大きい。一方、持続可能な社会の構築のためには利用効率や資源量も長期的な課題として重要である。この観点から、研究開発戦略においては普及率の向上、利用効率の向上、再生資源量の増大の三つの課題を時間軸の中できちんと位置づけた上で、いつ、どの課題に取り組むべきかを明確にすることが望まれる。

バイオマス研究開発のもう一つの問題として、バイオマスの質の多様性と地域性があり、普及率にしても利用効率にしても、それらを向上する技術や方策は多様となることが予想される。また、使い方についても、発電や液体燃料といった用途から、数百度以上の高温の熱利用、給湯・暖房用の中低温の熱利用までさまざまなモードがある。こうした地域・バイオマス種・利用技術・利用形態ごとの課題と、その解決による日本／アジア／世界全体としての＜一次エネルギーポテンシャル×普及率×利用効率＞への寄与を検討することにより課題の重要度、効果の評価を行い、研究開発戦略に資することを目指す。

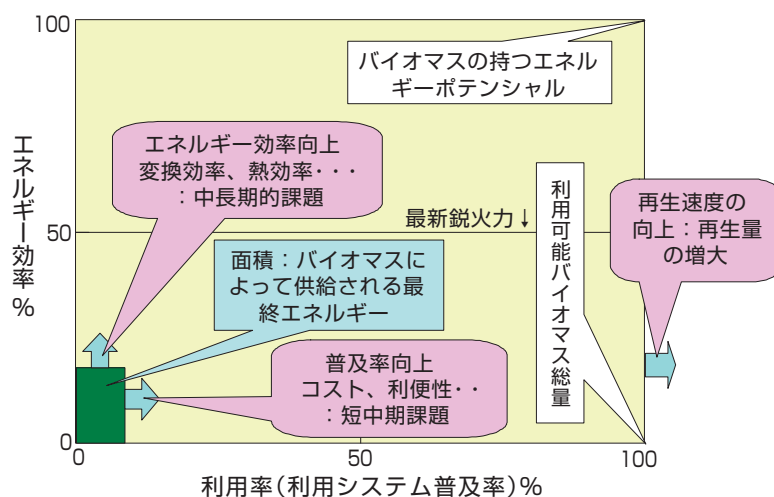


図3-1 バイオマスエネルギー利用の課題

3.2 技術の俯瞰

バイオマスエネルギー研究開発課題の俯瞰表を表3-2に示す。課題を検討する場合、下記の各フェーズをスコープに入れる必要がある。

- ・ 育成（育種も含む）、
- ・ 収集、
- ・ マテリアル利用、
- ・ 変換、
- ・ 利用、
- ・ 副産物利用、
- ・ 廃棄物（廃液）処理

バイオマスが温室効果ガス低減対策として有効とされる根拠は再生によりカーボンニュートラルであるからであり、それを保証し、さらに使える資源量を増やすには育成(育種も含む)は重要な課題である。またバイオマスは土地面積に対する密度が低く、且つ地域性が高いことから、一般に大きい手間、エネルギー、コストを要し、普及を妨げる重要な要因となっている収集は大きい課題である。エネルギーとしての変換と利用は当然であるが、貴重な資源であるバイオマスをより有効に使うという観点から一次バイオマスをマテリアルとして利用したり、副産物をエネルギー以外に利用することは重要である。しかし、マテリアル利用全体はそれだけで一つのワークショップが必要なほど大きい検討課題であり、本ワークショップでは時間等の制約からマテリアル利用に全面的に踏み込むことは避け、エネルギー利用との整合性・接点に関する議論に止めた。

検討すべき課題としては以下のようなものがある。

- ・ 利用効率向上のための要素技術、
- ・ コスト低減のための要素技術、
- ・ 有害排出物削減等のためのフェーズごとの要素技術、
- ・ 各フェーズを統合するためのシステム技術、
- ・ システムを効率よく運用するための情報技術、
- ・ システムが普及し、自律的にバイオマス利用が進むための社会的課題、等。

ワークショップではこれらの全体を考慮して討議を行い、技術課題を抽出した。

3.3 ワークショップでの提言

ワークショップにおいては以下の提言が出された。

【1】長期的国家ビジョンとそれを達成するシナリオの構築

バイオマス利用を以下のような持続的発展を目指した長期的な社会ビジョンの中で位置づけ、推進する：

- (1) 食飼餌料・資源・環境・エネルギー等、広い視野からのナショナルセキュリティを確保

表3-2 バイオマスエネルギー研究開発課題

バイオマスのエネルギー利用課題 俯瞰表		バイオマス種										記号の意味		
		木質系	草本系		農業残渣	畜産廃棄物	都市廃棄物			糖・でんぷん	油糧作物	◎：関連大 ○：関連やや大 ◇：解決すべき課題あり -：関連なし 重要度・成功見込み等は本表には含まない	備考	
Dry/Wet		D	D	W	D	W	D	W	W	W	-			-
例		製材廃材、林地残材、エネルギー林	ネピアグラス、牧草	アオサ、ホテイアオイ	わら、粉殻、バガス	家畜糞尿	建築廃材	下水汚泥	し尿	食品業・水産業・家庭生ゴミ	サトウキビ、トウモロコシ、穀類、他	パーム、アブラナ、他		
課題														
育成：資源量の拡大	土地利用拡大	◎*	○	○	-	-	-	-	-	-	◎	◎	*砂漠・汽水域・休耕地の利用	
	早生樹・生育速度向上	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	◎	◎		
	遺伝子関連技術	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	◎	◎		
	アグロフォレストリー	◎	◎*			-	-	-	-	-	◎	◎	*ケニアで実績あり	
収集	情報化	◎					◎				○	○		
	自動化・省力化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎		
マテリアル利用	構造材	◎	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-		
	プラスチック		-	-	-	-		-	-	○	◎			
変換	処理	CCA対策	-	-	-	-	-	◎	-	-	-	-	-	
		非酸糖化	◎	-	-	-	-		-	-	-	-	-	
	熱化学的変換	熔融ガス化		○		○		◎						
		部分酸化ガス化	◎	◎		◎		○						
		低温流動層ガス化	◎	◎		◎		○						
		急速熱分解	◎	○		○		○						
		スラリー燃料化	◎					○						
		超臨界メタノール抽出	◎											
		超臨界水ガス化			◎		◎		◎	◎	◎			
	生物化学的変換	炭化	◎	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	
		エステル化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	
		エタノール発酵	◎	○	-	○		◎			○	◎	◎*	*パーム樹植替時
		メタン発酵			◎		◎		◎	◎	◎			
		アセトン・ブタノール発酵					○				○	◎		
		水素発酵				◎	○	○		○	○	◎		
酵素構造		○				○		○	○	○	◎	-		
微生物関連技術	○				○		○	○	○	◎	-			
エネルギー利用	発電	直接燃焼発電	◎	○	○		○						蒸気条件改良	
		混焼発電	◎	○	○		○							
		スターリングエンジン	○	○	○		○						非バイオマス分野と共通	
		内燃機関（含運輸）	○	○	○		○				○	○	非バイオマス分野と共通	
	燃料電池	○	○	○		○							非バイオマス分野と共通	
	熱利用	低温（発酵等）	○	○	○		○							
		中温（暖房、調理等）	○	○	○		○							
高温（工業）		○*	○*	○*		○*					○	○	*ガス化した場合	
副産物利用	肥飼餌糧	-	○		○	○	-	○	○	○	-	-		
	廃液中アンモニアの利用	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
廃棄物処理処分	廃液					◎		◎	◎	◎				
	灰処理	○	○				◎							

- (2) 非枯渇性資源であるバイオマスエネルギー以外の用途も含めて複合的に最大限に利活用
 - (3) 市場原理に基づいた基幹産業として、バイオマス産業を確立
 - (4) アジアを中心として国際的に調和の取れたバイオマス利用により、地域の発展とセキュリティを確保
- ビジョンを達成するシナリオは以下の通り：
- (5) バイオマス利用に対する社会的受容性を確保する
利用施設の立地、廃棄物系バイオマスの分別、雇用機会の多様化と増大等
 - (6) 海外のバイオマス利活用の戦略を確立する
開発輸入（バイオマス起源液体燃料等）、京都メカニズムの利用（植林等）、日本の技術活用、リーダーシップ確立等
 - (7) マーケット指向ビジネスモデルと、世界レベルの基幹産業としてのバイオマス産業育成計画を策定する
税制（環境税or優遇税制）等、経済的インセンティブの長期計画
 - (8) 上記社会ビジョンに沿った法制度の整備を進める
RPS法、廃掃法、バイオマス燃料・使用設備の規格等
 - (9) 中長期的戦略に基づく研究開発を推進する
資源量の増大、普及促進、効率向上のための技術等

【2】 具体的施策

- (10) バイオマスの利活用に向けた多様な分野の科学技術の融合を図る【interdisciplinary】
- (11) 複数の機関・組織で推進されているプロジェクトの協調・協力を進める
【intersectional】
- (12) 海外（特にアジア）とのバイオマス利活用・研究開発に関するネットワークを構築する【international】
- (13) 日本を含むアジアにおいて地域の特性にあったバイオマスタウンの構築を進める
- (14) 国内外未利用作物、未利用のバイオマス育成可能地の活用を促進する
- (15) 海外産バイオマスの利用促進と、それに向けた日本の科学技術の活用方針を策定する
- (16) 個々の地域に関するバイオマス利活用システムの設計・評価を進める
- (17) 広範囲の関連するデータ類を収集・蓄積整理して、より効率的な利活用のためのデータベースを構築する
- (18) 小規模なバイオマス利活用組織のためデータベースの管理・保守や、共通試験機能を持つセンター的組織を設置する
- (19) 基幹的遺伝資源類の収集・特性検定や関連する人材の育成と知識の普及を促進する拠点（センター）を構築する

【3】研究開発課題

以下に研究開発課題を述べる。また表3-3～3-5に具体的な開発課題を示す。各課題には具体例を示してあるが、実際の推進にあたってはこれらに限定されるものではなく、他の可能性も含め推進すべきである。

バイオマス資源の拡大に向けた以下の課題の研究開発を推進する。:

(a) 品種改良

育種・遺伝子操作等を活用した早生樹による再生速度増大、環境耐性種による利用可能地拡大

(b) 国内外未利用地（乾燥地、汽水域、休耕地、沿岸域等）の調査、最適作物の選定、利用技術

現地社会・経済状況、土地の質、植物遺伝資源の調査。

(c) 土地の生産力の維持・栽培管理技術

有機性資源・土壌生態系の利用、栄養塩類の循環、持続的耕作技術、資源作物と周辺の環境の調和、アグロリフォレストリー等

(d) 収穫・搬送技術

リモートセンシング・ロボット等による省力化

バイオマス利用の普及拡大に向けた以下の課題の研究開発を推進する：

(e) バイオマス利用技術システム評価・設計技術

地域の特性に合わせた最適な設備・利用方式の組合せ、複合利用の最適化、効率・コスト評価

(f) バイオマス利用社会システム評価・設計技術

利用規模・地域サイズの最適化、地域内最適利用・運用計画、地域間の流通・役割分担の最適化、LCA的手法による環境影響・メリット評価、長期需給・収支計画に基づくリスクヘッジ

(g) データ収集・管理技術およびそれを用いたデータベース構築

地域別・種類別資源、物質フロー、製品需給、利用効率、コスト他

(h) バイオマスの収集・搬送の省力化・自動化

生育・発生地、種類・形状などの多様性に対応できるロボット技術

バイオマス利用の効率向上等に向けた以下の課題の研究開発を推進する：

(i) 廃棄物系バイオマスの場合の有害物検出・分別・除去・無害化技術

CCA（銅、カドミウム、砒素）含有廃材の分別、CCA抽出、排出抑制型の減容

(j) 熱化学変換プロセスの熱損失低減、タールの生成量低減・除去技術

ガス化（熱分解・水熱）、液化（BTL）

(k) 処理前後のバイオマスおよび生成物の省エネルギー脱水、分離技術

多段効用缶・ヒートポンプの熱回収の高度化、分離膜・同利用技術

- (l) 低環境負荷・低エネルギー消費廃棄物・廃液処理
 灰、コンポスト、メタン発酵廃液他
- (m) 木質バイオマスの無酸・低酸糖化技術
 セルロース、リグノセルロース等の糖化。酸糖化と酵素糖化の組合せ
- (n) 高効率発酵技術
 エタノール発酵：C5糖とC6糖の同時並行発酵、セルロース直接発酵、発酵菌の遺伝子操作等による活性・動作温度等改良
 メタン発酵：発酵菌の複合挙動解明伝子操作等による活性・動作温度等改良
- (o) バイオマス利用施設の長寿命化、保守負荷低減
 低コスト耐環境材料・設計・運用技術、自己修復型設備、IT活用

表3-3 資源作物関連の研究開発課題

区分	種類	栽培・生産量増大	収穫・搬送	前処理・変換技術	後処理技術 周辺技術	副産物利用
糖・でん粉作物	サトウキビ	品種改良（育種、遺伝子操作） 遺伝子資源の調査・維持	収穫・搬送の省力化・自動化技術	効率的な乾燥技術 高性能酵素 発酵菌改良他	高効率蒸留脱水、膜脱水	バガス、ストーク、粉殻、蔓等の利用
	コーン					
	イネ					
	その他穀物					
	イモ類					
油糧作物	その他	栽培地域の拡大	生育場所に適合した収集、搬送技術	低熱消費搾油 メタノール不使用エステル化（酵素、オゾン、他） 高品位化	グリセリン回収 アルコール回収	搾油残さ利用 グリセリンの利用 生成ガス利用
	パーム	・乾燥地 ・汽水域				
	アブラナ	・休耕地、伐採放棄林				
	ダイズ	・沿岸域				
	ヒマ	栽培管理技術 ・有機性資源・ 土壌生態系の利用				
	ジョジョバ					
その他						
木質・草本	マングローブ	・栄養塩類の循環 ・持続的耕作技術 ・IT技術の利用による省力化、自動化	収穫・搬送しやすい品種の選定・品種改良	廃棄物系木質と共通		
	ユーカリ					
	ネピアグラス					
	その他					
マリンバイオ	海藻類	漁業との連係 複合養殖		メタン発酵技術、共処理技術	残さ処理・処分	ファインケミカル併産 栄養塩類循環
	その他					

参考文献

- 1) CRDS科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ「バイオマスエネルギー利用システムの普及・高度化に向けた研究開発課題」報告書CRDS-FY2005-WR-01、平成17年7月

表3-4 廃棄物・残さ・未利用系バイオマスの研究開発課題

方式		収集・搬送・分別技術	前処理技術	エネルギー変換技術	後処理技術 周辺技術、他	副産物利用・ 処理・処分
気質・草本	直接 燃焼	①間伐材系（林地残材、土場残材）日本特有な急峻で狭隘な山林からの収集・運搬技術として・システム機械化技術・GIS・IT技術の適用で効率化・枝葉はバンドル化技術・多量（可能な限り大型化）収集②建築廃材系は安定した量の確保③草本系バイオマス・未利用地や放棄地における不耕起栽培等の栽培技術の構築	一定の乾燥－ペレット化	－	ペレットストーブ、ペレットボイラ開発・普及	灰利用・処理・処分
			一定の乾燥－チップ化	高効率燃焼ボイラ	建廃の場合CCA対策（抽出、溶出防止、減容）	
			一定の乾燥－微粉化	－	火力ボイラ多量混焼技術	
	熱分解ガス化		効率的な乾燥技術	高効率ガス化・改質	建廃の場合CCA対策（抽出、溶出防止、減容）ターール低減、分解	
	ガス化經由液体燃料			合成合成工程の効率化		
エタノール発酵	可溶化、糖化酸使用量低減、酵素糖化	C5糖とC6糖複合発酵、高性能酵素、発酵菌改良他	高効率蒸留脱水、膜脱水自動車のエタノール対応	リグニンの有効利用		
食廃・畜廃・下水汚泥	メタン発酵	①食廃・畜糞の経済的大規模収集②衛生・防臭技術③下水汚泥との混合処理物の収集・運搬	①発酵不適物除去技術 ②可溶化技術 ③破碎・スラリー化技術	①高効率発酵技術（高性能酵素、発酵菌他）②乾式メタン発酵技術	排水処理効率化消化残さ処理	堆肥化・利用 液肥化・利用 消化汚泥の処理・利用
	直接燃焼		効率的な乾燥技術	高効率燃焼ボイラ	臭気対策技術	灰利用・処理
	熱分解ガス化		①効率的な脱水・乾燥技術 ②顕熱・潜熱回収利用技術	高効率ガス化・改質	臭気対策技術	灰利用・処理
	水熱ガス化・炭化		①不適物の除去 ②可溶化技術	高効率水熱ガス化・炭化	高効率水熱ガス化・炭化	水熱残さ処理・利用
	BDF化		家庭、給食センターからの収集・運搬食品加工工場からの収集・運搬	不純物・水分除去	エステル化	グリセリン回収アルコール回収燃料品質管理

表3-5 システム技術関連の研究開発課題

		評価・最適化対象	データ
技術システム	効率	設備構成 複合利用 設備運転・運用	要素機器性能、排出特性、資源性状、発生量、資源コスト、ロケーションファクタ
	コスト		
	有害排出物		
社会システム	普及率	利用規模・地域規模 地域内最適利用・運用 地域間流通・役割分担 環境影響：間接メリット 長期需給・収支計画によるリスク	地域別資源発生量、性状、分布、製品のフロー・需給バランス、各種コストデータ、外部価値データ、地域産業構造
	コスト、収益		
	有害排出物		
	地域振興・雇用		
	社会的価値		
廃棄物処分			

【4】国際比較と日本の取組

バイオマス利活用および研究開発状況の国際比較を表4-1に示す。米国は木材を主体としたバイオマス発電が進んでいる。EUも米国に次いでバイオマス発電容量が大きい。特に北欧ではバイオマスエネルギーの割合が大きい。液体燃料に関してはブラジルがエタノール生産で世界トップであり、バイオマス燃料の輸出国を指向している。米国はブラジルに次いでエタノール生産量が多く、且つその生産量を急速に伸ばしている。EUはエタノールに適したトウモロコシやサトウキビの生産量が低く、エタノールの生産は米国やブラジルほど多くはないが、ドイツを中心にアブラナ起源のバイオディーゼル燃料（BDF）に取り組んでいる。中国は欧米からも協力を取り付けて推進中である。

表4-1 バイオマス利活用および研究開発状況の比較

国	利活用状況	研究開発・技術
米国	発電1200万kW* エタノール1120万kℓ（2003） BDF 40万kℓ	モジュラー発電システム、コジェネ開発中 セルロース前処理、糖化酵素改良によりコスト 1/30（0.1～0.18\$/Gal）
EU15	発電900万kW* エタノール200万kℓ BDF 230万kℓ （内ドイツ126万kℓ：2003）	リグノセルロース起源バイオ燃料、外部コスト 評価・LCA・モデル研究
ブラジル	発電69万kW エタノール1260万kℓ（2002） BDF開発に着手	BDF製造プロセス、ガソリン・アルコール両用 エンジン、アルコール航空機
中国	エタノール300万kℓ（2004、含非 エネルギー）	米DOE、EU等と協力、開発に着手
日本	発電5万kW 全体として一次エネルギーの1.4%を 供給	普及・地域活性化を中心に開発を推進

データ：WEC 2004 Survey of Energy Resources

* Platts Data Base 2005版（含廃棄物）

BDF：バイオディーゼル燃料

研究開発という観点では、米国が木質やトウモロコシの芯、葉などに含まれるセルロースを糖化するプロセスの開発を進めている。本年2月には、セルロースの前処理プロセスの改良と新しい糖化酵素により、セルロースを使ったエタノールの製造コストを従来の30分の1に低減する技術を開発したと発表。また、これまで大規模な木質バイオマス発電を中心に進めてきたが、より小規模でバイオマス発電を行うモジュラー発電システムの開発や、熱電併給システムの開発も進めている。EUもリグニンやセルロースからバイオ燃料を作る技術の開発を進めているが、それ以外にバイオマスの利用普及を目指したシステム評価技術にも力を入れている。ブラジルも普及のための技術が中心で、エタノールにより適した自動車や航空機の技術開発等を進めている。

図4-1にわが国のバイオマス関連の研究開発ファンドを示す。太枠で示したものはその中でエネルギーに関係したものである。これらの中で特に研究開発を目指したものは文部科学省のリーディングプロジェクト「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」、農林水産省の「農林水産バイオリサイクル研究」、NEDOの「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」の三件である。表4-2はそのうちリーディングプロジェクトのテーマを示したものであるが、普及を目指したシステム関連の技術、廃棄物のガス化関連技術、廃棄物の使用時の安全性にかかわる技術が中心となっている。表4-3は農林水産バイオリサイクル研究のテーマであるが、食品・畜産廃棄物の利用普及を目指した周辺技術と、地域循環のためのシステム技術が中心となっている。表4-4にはNEDOのバイオマスエネルギー高効率転換技術開発および、その一部として平成16年から開始したバイオマスエネルギー転換要素技術開発のテーマを示す。木質バイオマスの混焼等、既存ないし比較の実証レベルに近い技術の改善を中心とした研究開発を進めている。

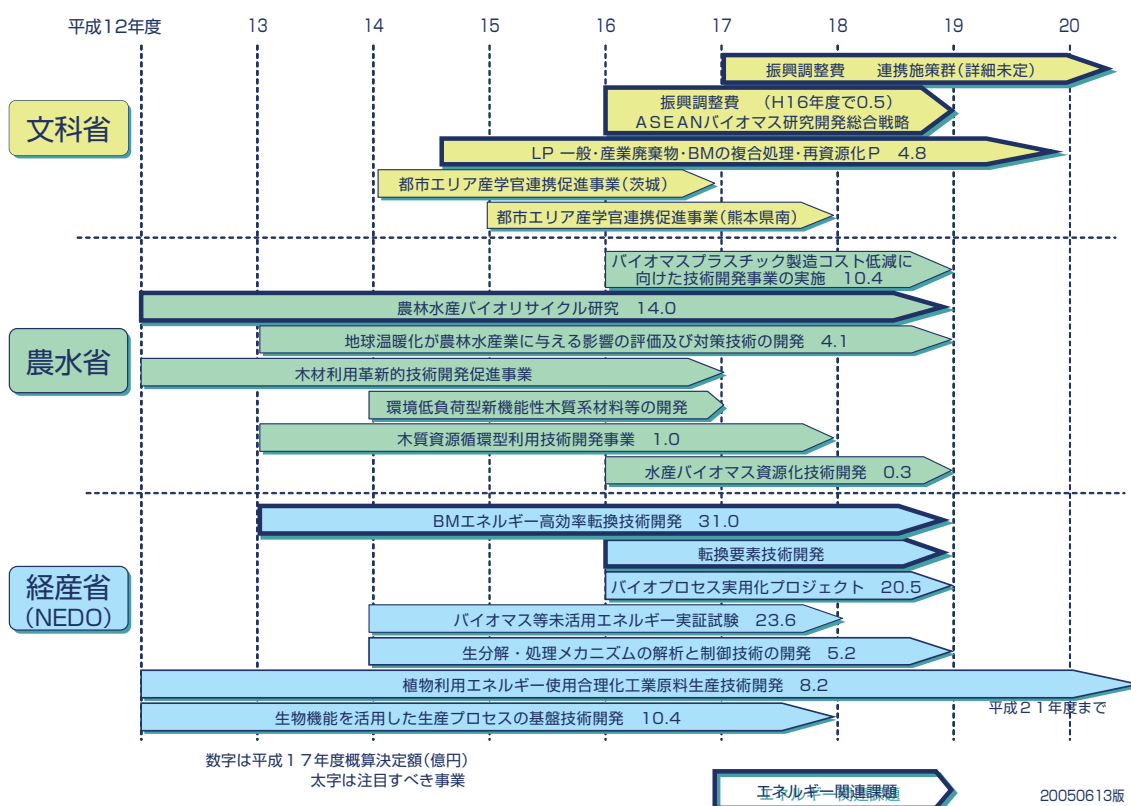


図4-1 バイオマス関連ファンド

表4-2 リーディングプロジェクト「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」(文科省) テーマ

- (1) 廃棄物・バイオマス情報プラットフォームの構築<<全体システム>>
 - 1. システム設計の全体モデルの構築
 - 2. バイオマス循環シミュレーションシステムの開発
 - 3. シナリオ評価のためのモデル・環境の開発
 - 4. アセスメント技術情報システムの開発
- (2) 廃棄物・バイオマスシステムの物流システムの開発<<物流システム>>
 - 1. 運行管理・監視システムの開発
 - 2. 地域における短中期的物流計画支援手法の開発
 - 3. 静脈物流にかかわるビジネスモデルの開発
- (3) 廃棄物から高効率にエネルギー及び資源を回収するプロセス技術開発<<プロセス技術>>
 - 1. 廃棄物やバイオマス等の低発熱量原料から高濃度有機ガスを取り出すガス化高効率変換技術の開発
 - 2. 高効率ガス化システム技術の開発
 - a ラボ試験機による高効率ガス化反応研究
 - b 廃棄物・バイオエネルギー変換技術データベースの構築
 - c ガス化炉内での触媒機能研究
 - 3. ガスエンジン等による高効率発電技術の開発
 - 4. 水素化、液体燃料合成技術の開発
- (4) 固体・ガス状試料の安全性評価システムの開発<<環境・安全性評価>>
 - 1. 灰の埋立処分に伴う溶出実験による安全性
 - 2. 灰・土壌、排ガス、浸出水の安全性評価
 - 3. 燃焼炉周辺での有害物質拡散に関する安全設計
 - 4. 灰の安定化・安全化に関する研究
 - 5. 廃棄物・バイオマス再資源化の情報プラットフォームと安全性評価データの相互接続システムの構築

表4-3 農水省「農林水産バイオリサイクル研究」テーマ

- (1) バイオマスの変換・利用技術の開発
 - ① 食品廃棄物等の減量化・循環利用技術の開発
 - ② 家畜排せつ物等の臭気低減・循環利用技術の開発(組替拡充)
 - ア 光触媒等を活用した畜産臭気の高減技術の開発、液肥・堆肥の組み合わせ利用技術及び安全性確保技術の開発
 - イ 家畜排せつ物等の処理・利用技術の開発
 - ③ 作物資源由来の工業原材料生産技術の開発
- (2) バイオマスの総合利用による地域循環システムの実用化
 - ① 地域循環利用システム化技術の開発
 - ② 多段階利用による地域モデルの構築(拡充)
 - バイオマスの地域性を考慮した、個別技術を最適に組み合わせたバイオマスの多段階利用による地域モデルの構築と、その経済面・環境面の評価
 - ③ 地域モデルの実証(拡充)
 - バイオマス利活用地区の実現可能性調査及びバイオマス変換プラントの実用化試験を通じた地域モデルの実証

表4-4 NEDO「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」採択テーマ

<p>平成13年度</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 石炭・木質バイオマス混焼技術の研究開発 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 ③ バイオマスの低温流動層ガス化技術開発 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 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醗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 ⑥ 有機性廃棄物の高効率水素・メタン醗酵を中心とした二段醗酵技術研究開発 ⑦ 高効率二段醗酵による有機性廃棄物のエネルギー転換技術開発 <p>平成15年度 4テーマ採択</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発 ② 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 ③ 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 ④ 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 <p>平成16年度 「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」として採択</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 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 (2) 消化ガスからのメタン回収及び精製用VPSA（Vacuum Pressure Swing Adsorption）プロセスの研究開発 (3) 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 (4) バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発 (5) 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 (6) 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 (7) 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 (8) マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉砕技術の研究開発
--

【5】 戦略プロポーザル

前章までの検討に基づき、以下に戦略を提案する。戦略立案に当っては、特に効果が大きく、且つ大きなブレークスルーが期待できる研究開発課題であって、これまでのファンディングで手がけられていないもの、あるいは手がけられているが、更にいっそうの飛躍が必要な課題を抽出した。それらの課題と、ワークショップで抽出された課題の関係を図5-1に示す。これらの結果に基づき、以下の戦略を提案する。

【1】 名称

未来型バイオマスエネルギーシステム基盤技術の開発

【2】 具体的な達成目標

将来においてバイオマスエネルギーが基幹エネルギーとして温室効果ガス排出削減、化石燃料代替に寄与し、かつその供給、利用が基幹産業として成立するに必要な生育量の増

廃棄物・残渣・未利用バイオマスの研究開発課題

	方式	収集・搬送・分別技術	前処理技術	エネルギー変換技術	後処理技術 周辺技術、他	副産物利用・ 処理・処分
気質・草本	直接燃焼	①間伐材系（林地残材、土場残材）日本特有な急峻で狭隘な山林からの収集・運搬技術として・システム機械化技術・GIS・IT技術の適用で効率化 ・枝葉はバンドル化技術・多量（可能な限り大型化）収集 ②建築廃材系は安定した量の確保	一定の乾燥－ペレット化	－	ペレットストーブ、ペレットボイラ開発・普及	灰利用・処理・処分
			一定の乾燥－チップ化	高効率燃焼ボイラ	建廃の場合CCA対策（抽出、溶出防止、減容）	
			一定の乾燥－微粉化	－	火力ボイラ多量混焼技術	
	熱分解ガス化	①効率的な乾燥技術 ②可溶化技術 ③破砕・スラリー化技術	高効率ガス化・改質	建廃の場合CCA対策（抽出、溶出防止、減容）ターール低減、分解		
	ガス化経由液体燃料		合成合成工程の効率化			
エタノール発酵	可溶化、糖化酸使用量低減、酵素糖化	C5糖とC6糖複合発酵、高性能酵素、発酵菌改良他	高効率蒸留脱水、膜脱水自動車のエタノール対応	リグニンの有効利用		
食廃・畜廃・下水汚泥	メタン発酵	①食廃・畜糞の経済的大規模収集②衛生・防臭技術③下水汚泥との混合処理物の収集・運搬	①発酵不適物除去技術 ②可溶化技術 ③破砕・スラリー化技術	①高効率発酵技術（高性能酵素、発酵菌他）②乾式メタン発酵技術	排水処理効率化消化残渣処理	堆肥化・利用 液肥化・利用 消化汚泥の処理・利用
	直接燃焼		効率的な乾燥技術	高効率燃焼ボイラ	臭気対策技術	灰利用・処理
	熱分解ガス化		①効率的な脱水・乾燥技術 ②顕熱・潜熱回収利用技術	高効率ガス化・改質	臭気対策技術	灰利用・処理
	水熱ガス化・炭化		①不適物の除去 ②可溶化技術	高効率水熱ガス化・炭化	高効率水熱ガス化・炭化	水熱残渣処理・利用
	BDF化		家庭、給食センターからの収集・運搬食品加工工場からの収集・運搬	不純物・水分除去	エステル化	グリセリン回収アルコール回収燃料品質管理

図5-1 ワークショップ抽出課題との関係

資源作物関連の研究開発課題

区分	種類	栽培・生産量増大	収穫・搬送	前処理・変換技術	後処理技術 周辺技術	副産物利用
糖・でん粉作物	サトウキビ	品種改良 (育種、遺伝子操作)	収穫・搬送 の省力化・ 自動化技術	効率的な乾燥 技術 高性能酵素 発酵菌改良他	高効率蒸留脱 水、膜脱水	バガス、ス トーク、粉 殻、蔓等の利 用
	コーン					
	イネ					
	その他穀物	遺伝子資源の調査・ 維持				
	イモ類	栽培地域の拡大				
	その他					
油糧作物	パーム	乾燥地 ・汽水域 ・休耕地、伐採放棄林 ・沿岸域	生育場所に 適合した収 集、搬送技 術	低熱消費搾油 メタノール不 使用エステル 化(酵素、オ ゾン、他) 高品位化	グリセリン回 収 アルコール回 収	搾油残さ利用 グリセリンの 利用 生成ガス利用
	アブラナ					
	ダイズ					
	ヒマ	栽培管理技術 ・有機性資源・ 土壌生態系の利用				
	ジョジョバ					
	その他					
木質・草本	マングローブ	栄養塩類の循環 ・持続的耕作技術 ・IT技術の利用によ る省力化、自動化	収穫・搬送 しやすい品 種の選定・ 品種改良	廃棄物系木質と共通		
	ユーカリ					
	ネピアグラス					
	その他					
マリンバイオ	海藻類	漁業との関係 複合養殖		メタン発酵技 術、共処理技 術	残さ処理・処 分	ファインケミ カル併産 栄養塩類循環
	その他					

システム技術関連の研究開発課題

		評価・最適化対象	データ
技術システム	効率	設備構成 複合利用 設備運転・運用	要素機器性能、排出特性、資源性状、 発生量、資源コスト、ロケーション ファクタ
	コスト		
	有害排出物		
社会システム	普及率	利用規模・地域規模 地域内最適利用・運用 地域間流通・役割分担 環境影響・間接メリット 長期需給・収支計画によるリスク	地域別資源発生量、性状、分布、製 品のフロー・需給バランス、各種コ ストデータ、外部価値データ、地域 産業構造
	コスト、収益		
	有害排出物		
	地域振興・雇用		
	社会的価値		
	廃棄物処分		

図5-1 ワークショップ抽出課題との関係(続き)

大、利用効率の向上、普及拡大のための基盤技術を開発する。具体的には例えば以下のよ
うな基盤技術の確立を目指す。

- ① エネルギー作物の生育速度を向上し、あるいは乾燥地、汽水域等の栽培不適地でも生
育できる品種改良技術
 - (a) 生育速度・環境耐性関連遺伝子の解明と操作技術
- ② セルロース、リグニン等バイオマスに含まれる分解困難な成分から高効率に液体燃料
を製造する技術
 - (a) セルロースの生化学的糖化技術、高活性酵素
 - (b) 熱化学反応の生成物制御技術、ガス精製技術

- ③ バイオマスエネルギーシステムの省力化、
 - (a) 栽培、収集のための監視、トレース技術
- ④ 設備耐久性向上技術
 - (a) 高耐食材料、汚れ付着抑制・自己浄化技術

【3】目標設定の背景および社会経済上の要請

世界的な温室効果ガス排出量の増加、石油資源の残存埋蔵量減少、原油価格の高騰の中で、バイオマスは再生可能エネルギーの主力として各国で導入と開発が進められている。欧米各国では既に木質バイオマスの直焚きを中心とした発電が大量に導入されており、近年はバイオマス起源の液体燃料（エタノール、バイオディーゼル油）を中心に増産と技術開発を進めている。これに比較しわが国は、国内のバイオマス生育量が小さく、且つその収集にコストがかかることからバイオマスのエネルギー利用は遅れている。しかし、長期的には世界全体の動きとしてバイオマスエネルギーへの依存率が高まることが予想され、国産および海外産のバイオマスを含め、原材料バイオマスの供給の確保が必須の課題である。

一方、バイオマスの変換、利用技術に関しては世界的にもまだ効率が低く、バイオマスが上記問題の解決に寄与するためには、飛躍的な科学技術の向上が必要である。わが国のバイオマスの育成、変換、利用に関する技術基盤は高いレベルにあり、これを更に発展させて画期的な技術を確立し、海外と協力してバイオマス産業を立ち上げることにより、海外産バイオマスの供給を確保することが可能となる。また、こうした技術は限られた国内産のバイオマスを最大限活用するためにも有効である。

【4】目標設定の科学的裏づけ

バイオマスエネルギーの研究に関してはこれまで、NEDO、農水省、文科省のプロジェクトで廃棄物利用を中心とした普及のための研究開発が行われてきている。これらの研究では既存の技術を元に、地域の特性に合わせた実証試験や、それらの結果に基づく改良を進めている。また、そうした中から将来に向けた高度化、効率向上のための課題も抽出され、一部については取組みが始まっている。

バイオマスの生育速度や、環境耐性については育種を中心に研究が進められている。一方、近年ゲノム解読と並行して遺伝子操作技術が進歩してきており、生育速度や環境耐性に関連した遺伝子を発見し、操作することは可能な範囲の目標になりつつある。セルロースの分解については、濃硫酸や希硫酸を使う方法は以前よりあるが、分解後の酸の処理等の問題があり、欧米でもわが国でも、酵素を用いた生化学的な分解、糖化技術の開発が進められつつある。また、システムの省力化や耐久性関連の技術については、ナノ材料科学、情報科学の一つの適用対象として有望である。こうした多様な分野の技術を結集することにより、わが国の温室効果ガス排出、化石資源の枯渇、価格高騰といった問題に対処できるバイオマスエネルギーシステム基盤技術の確立が可能となる。

戦略プロポーザル

**未来型バイオマスエネルギーシステム
基盤技術
CRDS-FY2005-SP-01**

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター
井上グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地
電話 03-5214-7485
ファクス 03-5214-7385
<http://crds.jst.go.jp/>
平成17年8月

©2005 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。