

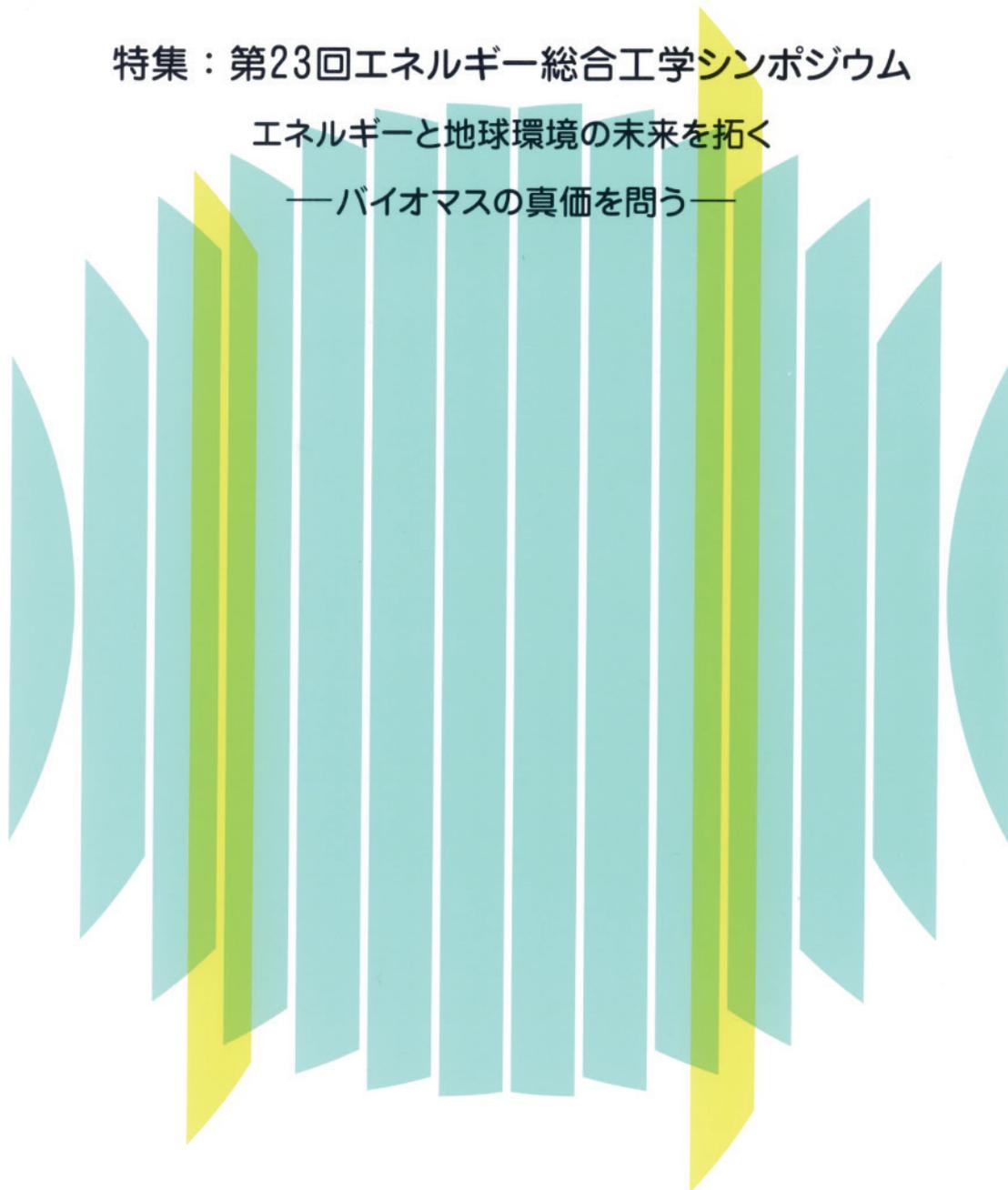
# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 30 No. 4 2008. 1.

特集：第23回エネルギー総合工学シンポジウム

エネルギーと地球環境の未来を拓く

—バイオマスの真価を問う—



財団法人 エネルギー総合工学研究所  
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

## 第23回エネルギー総合工学シンポジウム

# エネルギーと地球環境の未来を拓く —バイオマスの真価を問う—



挨拶を述べる 平工 奉文 経済産業省資源エネルギー庁 次長

日 時：平成19年 9月11日（火） 10：00～17：00

場 所：経団連ホール（経団連会館14階）

総合司会：プロジェクト試験研究部部长 小野崎 正樹

# 目 次

【開会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 副理事長	並 木 徹	…………… 1
【来賓挨拶】	経済産業省 資源エネルギー庁 次長	平 工 奉 文	…………… 3
【基調講演】	地球環境から見たこれからのエネルギー 三菱マテリアル(株) 名誉顧問	秋 元 勇 巳	…………… 5
【特別講演】	持続可能なエネルギーシステム 東京大学大学院 工学系研究科 電気工学専攻 教授	山 地 憲 治	…………… 16
【講演】	バイオマスのエネルギー利用における技術の現状と展開 (財)エネルギー総合工学研究所 参事	浅 見 直 人	…………… 28
【講演】	バイオマス資源の発電利用—現状と電源開発の取組み— 電源開発(株) 取締役	田 澤 浩 一	…………… 37
【講演】	世界のバイオエタノールビジネスの動向と商社の取組み 丸紅(株) 生活・環境機械部 部長代理	鳥 越 浩 明	…………… 45
【パネルディスカッション】	テーマ：バイオ燃料の将来を探る 司 会 駒 橋 徐 日刊工業新聞社 編集委員 パネリスト 五十嵐 泰 夫 東京大学大学院 農学生命科学研究科 応用生命工学専攻 教授 (五十音順) 西 尾 直 毅 日本アルコール産業(株) 相談役 森 光 信 孝 トヨタ自動車(株) BRエネルギー調査企画室 シニアスタッフエンジニア 湯 川 英 明 (財)地球環境産業技術研究機構 微生物研究グループ グループリーダー		…………… 54
【閉会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事	山 田 英 司	…………… 72
【研究所の動き】			…………… 73
【編集後記】			…………… 75

## 開 会 挨拶

並 木 徹 (財)エネルギー総合工学研究所  
副理事長



皆様おはようございます。本日、理事長の秋山からご挨拶申すべきところではございますが、体調が優れないため、私が代わりにご挨拶をさせていただくことにつきましてお許しをいただければと存じます。

本日、第23回エネルギー総合工学シンポジウムを開催させていただきましたところ、大変多数の方々にご参集いただきました。ご多用のところ誠にありがとうございます。今日ご出席の皆様方は、私どもの研究所の活動につきまして日頃より格段のご支援ご指導をいただいている方々ばかりでございます。大変高い席から恐縮に存じますが、この場をお借りしまして御礼を申し述べさせていただきます。

また、近年、エネルギー資源の需給逼迫、価格の高騰に伴い、あるいは環境問題に対する様々な課題に取り組む観点から、エネルギー関係者の方々には、格段のご尽力をいただいているところでございます。また、原子力等安全問題に関します国民全般の関心のより一層の高まりの中、国民生活の基盤を支えておられます皆様方のご尽力に対しまして、心から敬意を表する次第でございます。

今申し上げましたように、21世紀を通じて3Eの課題は大変大きな課題でございます。産官学が一致してこの問題に取り組んでいく必要があるわけでございますけれども、2007年6月のG8ハイリゲンダムサミットにおきまして、日本政府から“Cool Earth 50”という大変積極的な、世界全体を指導していこうという強いイニシアティブが提案されました。私ども、関係者の1人といたしまして大変心強く思うとともに、こういった国家戦略の中での活動に期待と敬意を表させていただくところでございます。また、こういった政府の取組みに呼応するような形におきまして、近年、国際的視野に則りましたエネルギー関係企業の活動の展開も大変力強い動きを感じる次第でございます。

エネルギー総合工学研究所は、約30年前、エネルギーと環境に関する課題につきまして、技術開発という観点から総合的に取り組んでいこうという趣旨に則りまして、産官学の合意によって設立させていただきました。その後も、皆様方のご支援によりまして、そういった課題、あるいは取組みにつきまして政策提言等々を行ってまいったところでございますけれども、近年、国家的観点からの技術戦略ということで、政府、あるいは産業界、学会のお力を得ながら、作業、政策提言を進めさせていただいているところでございます。

今後とも皆様方のご協力、お力をお借りしながら進めてまいりたいと思っております。どうぞよろしくお願い申し上げます。

さて、本日は、近年、世界的に進展が見られますバイオマスエネルギーについてシンポジウムを開催させていただきました。現状、あるいは今後の課題、今後の進むべき方向につきまして、各界有識者の方々からお話をいただきますとともに、パネルディスカッション、あるいは会場との討議等々を経ながら、今後に向けて具体的な方向性が示されることを期待して、企画させていただいた次第でございます。このシンポジウムにおきまして大きな成果が得られますことを期待しておりますし、確信をしておるところでございます。

本日は、大変積極的に国家戦略を推進しておられる、言わば戦略形成の中核でございます経済産業省資源エネルギー庁の平工次長にお見えいただいております。大変お忙しい時期ではございますけれど、今日お見えいただきましたことに、この場をお借りしまして御礼を申し上げる次第でございます。

また、シンポジウムの冒頭におきましては、三菱マテリアル株式会社名誉顧問の秋元勇巳様の基調講演、それから東京大学教授の山地憲治様の特別講演を頂戴し、また、分野、分野におきます各界の有識者の方々の講演、午後にはパネルディスカッションを行うこととしております。これらの貴重な時間をお割きいただきご講演いただく方々、それから、本日もご参集をいただきました皆様方に改めて御礼を申し上げますとともに、もう一度本日のシンポジウムの成果が大きく世界の環境とエネルギーの課題の克服に役立つことを祈念しましてご挨拶とさせていただきます。ご静聴ありがとうございました。

(拍手)

## 来賓挨拶



平 工 奉 文 (経済産業省 資源エネルギー庁 次長)

皆様おはようございます。第23回エネルギー総合工学シンポジウムの開催に当たりまして一言ご挨拶を申し上げます。

本日、かくも盛大にシンポジウムが開催をされますことに対し、まず祝意を表させていただきますと存じます。また、近年は、国際原油価格が極めて高水準で推移し続けるとともに、地球温暖化問題がますます深刻化している状況にあります。こうした中で、経済産業省といたしましても、エネルギー制約と環境制約の一体的解決に向け、昨年5月に『新・国家エネルギー戦略』、本年3月には『エネルギー基本計画』を策定いたしまして、軸のぶれないエネルギー政策を進めているところです。また、日本政府全体といたしましても、本年5月に安倍前総理より世界に向けて“Cool Earth 50”を提唱させていただき、地球規模でのエネルギー・環境問題の解決の道筋を示させていただいたところです。その実現に向けましては、エネルギー技術の果たす役割が非常に大きいので、当省も中長期的な視点に立ったエネルギー技術の開発を実施していくため、2030年を目途に『エネルギー技術戦略』を策定し、これをベースに“Cool Earth 50”の革新的エネルギー技術開発を推進していくこととしております。

そのような折りに、本日ここにエネルギー総合工学研究所の主催により、関係各界のご協賛を得て、「エネルギーと地球環境の未来を拓く」というテーマのもと、盛大にシンポジウムが開催されますことは誠に時宜を得たものと考えている次第です。

特に、本日のサブテーマは「バイオマスの真価を問う」となっております。バイオマス技術はエネルギー制約と環境制約の双方を同時に解決する鍵となることが期待されている大変重要な分野です。もちろん、バイオマス資源による高効率発電、あるいはバイオエタノール、バイオディーゼルフェューエルといったバイオ由来燃料の生産を経済的なコストで具体的に推進させていくことは容易ではありません。その実現には、わが国のエネルギー技術の英知を結集してイノベーションを生み出していくことが重要でありまして、産学官の緊密な協力のもと、様々な技術分野の専門家のノウハウを集結させることが必要と考え

ています。その意味で、関係各位の日頃のたゆまぬ調査研究活動に改めて敬意を表させていただきますとともに、本日ここでエネルギー制約と環境制約の同時解決に向けて、ハイレベルかつ多面的な議論が展開されますことを大いに期待申し上げる次第です。

最後に、本日のエネルギー総合工学シンポジウムを主催、協賛いただきましたエネルギー総合工学研究所及び関係の皆様、並びに本日ご列席の皆様方の益々のご健勝を心より祈念申し上げまして、私の挨拶にかえさせていただきます。

どうもありがとうございました。(拍手)

[基調講演]

## 地球環境から見たこれからのエネルギー

秋元 勇 巳 (三菱マテリアル(株)  
名誉顧問)



### はじめに

#### IPCC『第4次報告書』とラブロック『ガイアの復讐』

日本の2007年夏は大変な猛暑で、最高気温も真夏日の日数も各地で記録を更新しました。ヨーロッパでは、7月は非常に暑く、8月に入るとセーターが要るくらい寒いという、大変不順な気候が続いているようです。このような気候問題の原因として、地球環境に対する人間の活動の悪影響についての関心が非常に高まってきたと言えそうです。

2007年11月には「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)から『第4次報告書』が出ます。3つの作業部会のうち温暖化現象の科学的根拠を扱う第1部会は、人間活動が温暖化を起こしている確率が非常に高まっていると報告しています。前回のレポートでは「蓋然性がある」と

いう程度だったのですが、8割方それに間違いがないというように論調を高めたわけです。

温暖化の影響を扱う第2部会は、今後気温の上昇幅を2℃以内に抑えないと非常に広範な悪影響が出ると主張しました。温暖化対策を扱う第3部会は、2020年までに排出量を減少に転じさせないと大変なことになる。そのために、自然エネルギーは当然、今まで触れてこなかった原子力も含めて、化石燃料に代わるあらゆる手段を総動員させないといけないと警告したわけです。表1は報告書の主な結論です。

実はそれに先立つ2005年、「ガイア理論」の生みの親、ジェームズ・ラブロック博士が『ガイアの復讐』(邦訳は2006年中央公論社新刊)という本を上梓し、文明の存続が危機状態に陥っていると世界に警告して注目されました。

本日は、IPCCが報告している事実関係とラブロック博士が予告している危機の内容を中心に、バイオマスという本日の主題からは少しかけ離れるかも知れませんが、より全般的な立場からお話ししたいと思います。

表1 IPCC『第4次報告書』の主な結論

<ul style="list-style-type: none"><li>■温室効果ガス排出量は1970年～2004年に約70%増加 現状のままでは世界の温室効果ガス排出量は次の数十年も引き続き増加</li><li>■短期的な緩和(～2030年)<ul style="list-style-type: none"><li>・2030年の削減可能性は 炭素価格 \$ 20/t-<math>\text{CO}_2</math>で90-170億 t-<math>\text{CO}_2</math>/年</li><li style="text-align: right;">\$ 100/t-<math>\text{CO}_2</math>で160-310億 t-<math>\text{CO}_2</math>/年</li></ul></li><li>■長期的な緩和(2031年～)<ul style="list-style-type: none"><li>・温室効果ガス濃度を安定化させるためには 排出量はどこかでピークを迎える必要</li><li>・適切なインセンティブが提供されれば それぞれの安定化レベルは 現在実用化されている技術 または 今後10年間に実用化される技術の組合せにより達成可能</li><li>*エネルギー効率は多くのシナリオで重要</li><li>*安定化レベルが低い場合 シナリオは再生可能エネルギー・原子力・CCSに重点</li><li>・2050年に 温室効果ガスを445～710ppm<math>\text{CO}_2</math>-eqで安定化させた場合のマクロ経済影響は 世界平均でGDP 1%増加から5.5%損失までの値をとる</li></ul></li></ul>
--

## 実効的な枠組み作りに向けた努力

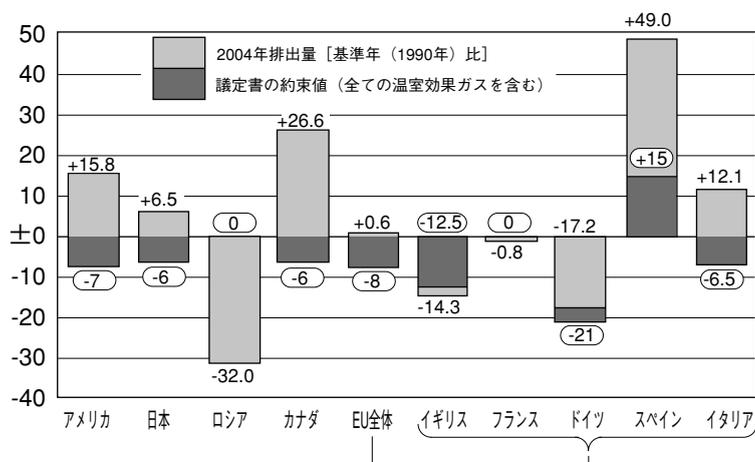
### 京都議定書と排出量実績

図1は京都議定書の約束値と温室効果ガスの排出状況です。ロシアのように大した環境対策もしていない国がホットエアをため込んでいますし、日本のように産業界をあげて環境、省エネ、技術の開発に取り組み世界最高のエネルギー効率をあげながら、民生や運輸セクターの伸長が排出を押し上げて、約束が未達という国も出てきています。何と云ってもトップダウンで国と企業に排出量のキャッピングをかぶせ、排出権取引といった金融手段で温室効果ガスの排出を減らしていこうという、いかにも制度好みのEU（欧州連合）らしいやり方が不公平性と硬直性を呼び起こし

ているようです。1990年を基準年としたことが、これに拍車をかけました。その時点で、日本の省エネルギー技術は格段に進んでいたわけですが、ヨーロッパでは、まだ遅れていた。ドイツに合併された東独などは、極めて効率の悪い泥炭燃焼の旧式火力が主力でした。そういう時代をベースにスタートさせる不公平さがアメリカの離脱、カナダの目標達成断念、途上国の不参加の要因の1つになっていると思われまます。いずれにせよ、現時点では世界の全排出量の30%にも満たない国しか京都議定書に入っていない。このまま延長しても世界の温室効果ガス削減効果には限界があるわけです。

### “Cool Earth 50”

2007年6月のドイツG8ハイリゲンダムサミットでは、環境サミットの色彩が色濃く出ま



(注) 中国、インド、ブラジルなどの発展途上国には削減数値目標は課せられていない。(出所：UNFCCC データ、環境省資料)

図1 京都議定書の約束値と温室効果ガス排出実績

表2 “Cool Earth50” ビジョン

#### 3つの提案

1. 「世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減する」と言う長期目標及び「革新的技術」と「低炭素社会づくり」を柱とする長期ビジョンの提唱
2. 2013年以降の国際的枠組み構築に向けた「3原則」の提示
3. 京都議定書目標達成に向けた国民運動の展開

#### ※革新的技術の例 (政府資料)

1. 革新的ゼロ・エミッション石炭火力発電 (石炭ガス化+CCS)
2. 先進的な原子力発電 (中小型炉・高温ガス炉・高速増殖炉)
3. 効率的で低コストな革新的太陽光利用技術
4. 水素をエネルギー源として利用するための革新的技術 (燃料電池車)
5. 超高効率な省エネルギー技術 (製鉄プロセスからの排出大幅削減等)

した。EU、中でも京都議定書の枠組みを延長強化したいドイツ、排出権をEU主導で決め、固定化しようとするやり方に反対するアメリカ、その間に立つ形で、安倍総理が“Cool Earth 50”という構想を掲げ、表2のような提案をしました。

京都で手にした既得権を守りながら、各国に排出権を割り当てていきたいEUの思惑は外されています。ドイツの顔を立てるため、2050年までに半減という大胆な数値目標は掲げながら、「1990年との比較で」というような不公平な縛りは外し、3原則を前提においたのです。

2008年7月には、洞爺湖でG8サミットが開催される予定です。このサミットも環境・エネルギー中心のサミットになることは必至です。ハイリゲンドラムサミットの成功の後、安倍総理は環境外交を積極的に展開し、インド、インドネシアなど、訪問される国々で、さまざまに環境イニシアティブを発揮されました。

1つの集大成は、2007年9月6日、シドニーで開かれたAPEC首脳会議の宣言の中に表われています。数値目標を入れたいという豪州の意向も取り入れながら、APEC途上国の考え方、またアメリカの主張にも配慮した、非常に合理的な宣言が出てきました。そこには「2030年までに域内のエネルギー効率を2005年比で25%改善する」ことが盛り込まれています。EU以外の世界の主要排出国が集まったこの会議で、日本国内で成功を収めている「トップランナー方式」を効果的に温暖化対策に

使っていく世界的な場が設定されたのは、画期的なことだと思います。日本レベルの優秀な省エネルギー技術、あるいは環境対策技術が世界に広まれば、エネルギー効率が上がり、自ずから温室効果ガス排出の削減に導かれます。制度で強制するトップダウンから技術で先導するボトムアップの方向に、視点を切り替えたのです。

安倍総理が出された3原則は、「ポスト京都」に関して、①主要排出国がすべて参加することが必要、②国によって事情が違うので柔軟かつ多様性のある枠組みでやっていく、③経済発展と環境保全を両立させることです。この3原則に則って「ポスト京都議定書」をにらんでいこうというわけです。

ハイリゲンドラムサミット、あるいは今度のAPEC会議を通じて、日本は「ポスト京都」に向けて、有効な地ならしを始めることができたのではないかと感じています。

---

## IPCCデータに見る気候変動の実態

---

### 急上昇している北半球の平均気温

北半球平均気温の上昇を年次別に見ていると、図2のようにそのカーブは、ホッケースティックを寝かしたように、先端が立ち上がっています（ホッケースティック現象）。19世

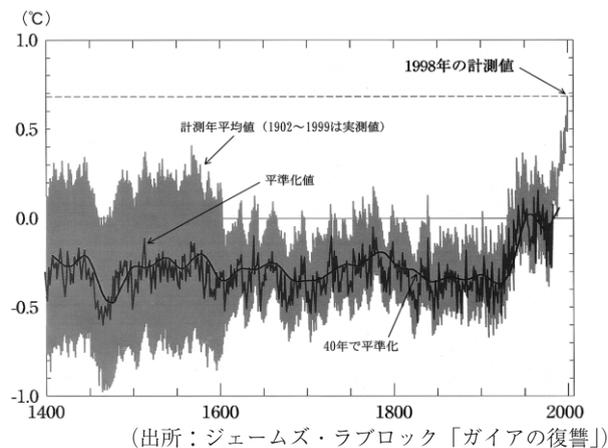


図2 北半球気温のホッケースティック現象

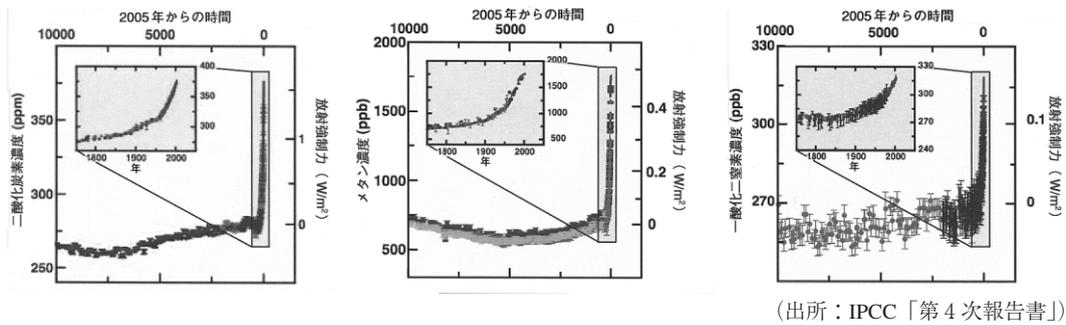


図3 温室効果ガスの濃度変化

表3 温室効果ガスのインパクト

	CO <sub>2</sub> (二酸化炭素)	CH <sub>4</sub> (メタン)	N <sub>2</sub> O (一酸化二窒素)	CFC-11 (クロ ロフルオロカ ーボン-11)	HFC-23 (ハイ ドロフルオロ カーボン-23)	CF <sub>4</sub> (パーフル オロメタン)
産業革命以前の濃度	約280 ppm	約700 ppb	約270 ppb	0	0	40 ppt
1998年の濃度	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
濃度変化率 <sup>b</sup>	1.5 ppm/年 <sup>a</sup>	7.0 ppb/年 <sup>a</sup>	0.8 ppb/年	-1.4 ppt/年	0.55 ppt/年	1 ppt/年
大気中の寿命	5~200年 <sup>c</sup>	12年 <sup>d</sup>	114年 <sup>d</sup>	45年	260年	> 50,000年

注 a 1990年~1999年の期間で、[各年の]変化率は、CO<sub>2</sub>では0.9~2.8 ppm/年、CH<sub>4</sub>では0~13 ppb/年の間を変動している。  
 b 変化率は、1990~1999年の期間で計算した。  
 c CO<sub>2</sub>は除去プロセスにより取込み速度が異なるため、単一の寿命を定めることはできない。  
 d この寿命は、ガスが自らの滞留時間に及ぼす間接的な影響を考慮した「調整時間」として定義されている。

(出所：IPCC「第3次報告書」)

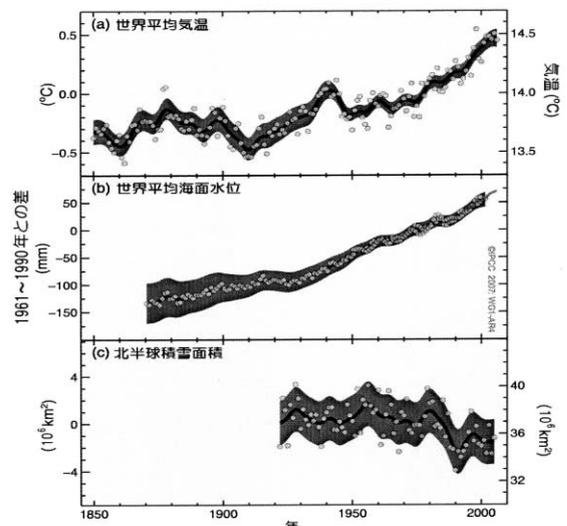
紀以前の気温は、木の年輪、珊瑚虫、あるいは氷のコアサンプル中の同位体元素などから推定しています。1900年頃まではどちらかと言えば、少しずつ平均気温が下がって、氷河期に向かうかと思われていたのが、19世紀の半ば頃から急な上昇に転じています。

温室効果ガスの濃度変化

図3は、温室効果ガスの排出量が近代になって急上昇していることと、平均気温が上がっていることとの間にかかなり強い相関性があるというIPCCの考え方を示したものです。

表3は、温室効果ガスのインパクトです。メタンの大気中の量は二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の200分の1ぐらいですが、同量のCO<sub>2</sub>の24倍の温室効果があるといわれています。亜酸化窒素は、大気中にCO<sub>2</sub>の1000分の1しかいないのですが、温室効果はCO<sub>2</sub>の200倍もあります。分解にも非常に長い時間がかかります。フロンガスは100%人間が出していますが、この効果はさらに大きくて、大気寿命もさらに長いのです。

図4は北半球の気温・海面・積雪量の変化です。最近50年間の気温上昇は1.3℃で、それより前100年の上昇0.74℃の約2倍です。海面上昇は、10年当たり3.1mmですが、以前の倍の速度です。積雪量も減り、北極の平均気温は、世界平均のほど2倍の速さで上昇しています。



(出所：IPCC「第4次報告書」)

図4 北半球の気温・海面・積雪量の変化

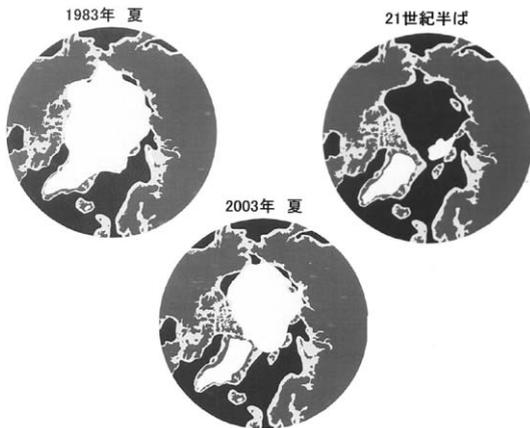


図5 北極圏の夏の浮氷面積の変化

図5で見ると、北極圏では、夏も残っている浮氷の面積が縮小してきています。2003年の夏はかなり氷が解け青黒い海の表面が表れてきています。この青黒い海は太陽光を吸収するので、さらに北極圏の気温を上昇させてしまいます。そういう悪循環が温暖化を加速させます。

『地球の復讐』からの警告

「ガイア理論」

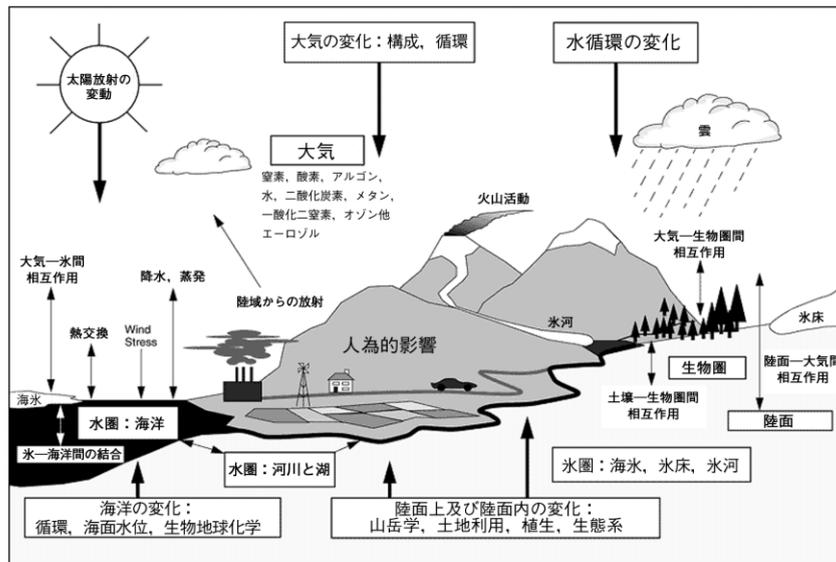
ラブロック博士は1970年に、なぜ地球がブル

ープラネットでいられるか、様々な角度から検討し、地表を構成する生き物と、色々な物質（水、岩石、空気）とが相互に作用して、自己調節システムを作り上げているからだという結論に達しました。あたかも地球全体が1つの生命体のように働いて、そこに生息する生物体が持続発展していくために有利な環境を保持しているという仮説、「ガイア理論」です。

地球に生息する植物群が光合成によって太陽エネルギーを取り込み、そのエネルギーを元手に非常に多様な生物群を進化させ、ブループラネットを出現させました。過去4億年にわたり大気中の酸素濃度は21%でほとんど変わらずにいますし、気温も生息する生物にとっては快適な範囲に維持されているのです。

気候システムの構成要素

地球の自己調節がどのようなネットワークで行われているか、その主な要因をイラスト化したのが図6です。太陽の光が、地上では主として森林、海では藻類や植物プランクトンによって栄養化され、それが動植物群を養う。そこで生じた老廃物が地下や海底の微生物群を支えて、再び植物に還元されていくというサイクルが、ガイアの活力の根源です。



(出所: IPCC「第3次報告書」を基に編集部で作成)

図6 気候システムの構成要素

このサイクルが非常に盛んな時には、その余剰が石油や石炭などの化石燃料になって地面の中にしまわれる。それを人間が掘り出して使っているというのが今の状況です。

陸上生態系での炭素収支の流れの中で、植物の1kcalを作るのに、効率を100分の1とすれば、太陽の入射光として100kcalが必要です。植物を食べる草食動物には、そのまた10分の1ぐらいしかエネルギーが渡っていきません。その動物を食べる肉食動物にはさらに10分の1。食物連鎖の頂点にいる人間は、さらにその数百倍を文明生活のために消費する。太陽エネルギーの収支から見れば、人類は生態系の資産を欲しいがままに収奪している非常に高くつく存在なのだということを、我々はもっと認識すべきでしょう。

#### 海洋生物による炭素循環プロセス

地球の海は太陽に照らされ、上の方に温かくて比重の軽い表層水ができ、下の方に比重の重い深層水ができます。下から熱せられることが少ないので、2つの層の間では対流が起きず、なかなか混ざらないというのが海洋の大きなポイントです。海洋生物、例えば珪藻類、プランクトン類などは、太陽が届く表層部分で繁殖しますが、その死骸は沈降して海底へ降りて行きます。表層で植物プランクトンが生き続けるには栄養分の補給が必要です。陸地から養分が表層部に流れ込んでくると、そこでは大繁殖しますが、補給がないと、いずれ養分を食いつくして餓死してしまいます。ですから、海流の大循環、あるいは台風のような大きな嵐による海のかき混ぜがないと、この炭素循環（鉛直混合）がなかなか進まず、海の砂漠化現象が起こってくるわけです。

藻類の働きも気候ネットワークで重要な役目を果たしています。藻類が光合成をして放出する硫酸ジメチルが、蒸発し空気中で酸化して硫酸を含む小さなエアロゾルになります。これが雲の形成に欠かせない凝結核として働

きます。したがって、海草の光合成が活発に働けば、硫酸ジメチルのおかげで雨が若干酸性になり、それが風化を加速して、藻類の繁殖に必要な栄養分を地表から海へ運んで来る、という好循環も成立します。これが温暖化防止にも良い影響を与えるのです。

#### 新たな安定状態に移行する地球—焦熱化現象

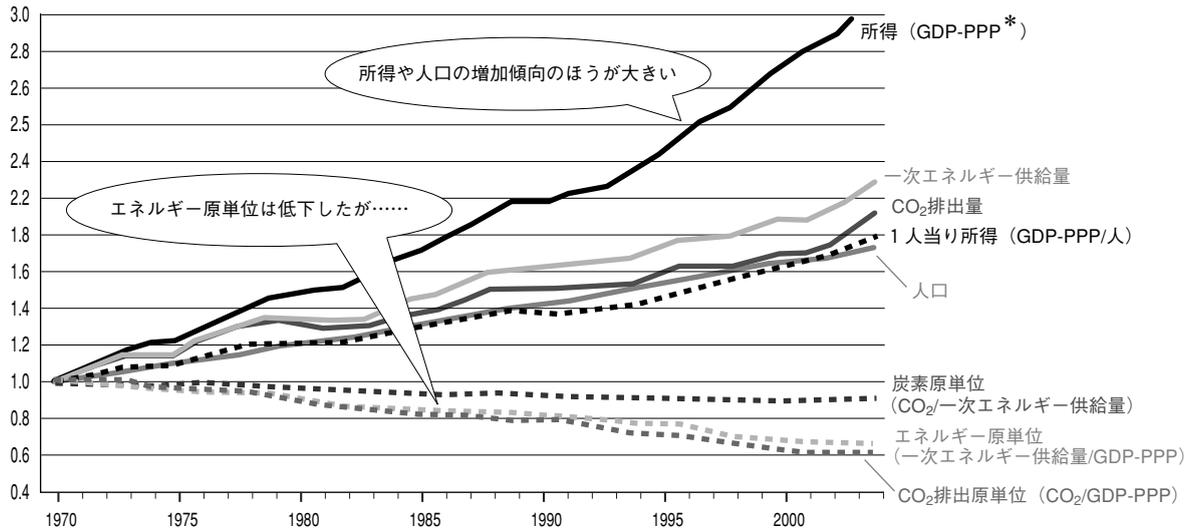
ところで、温暖化の危機と言いますが、単に平均気温が2～3度変化するだけなら、現代人類が誕生してからここ30万年の間にも何回も起こっていることで、厄介な問題ですが致命的とまでは言えません。ラブロックが心配するのは、人間がこのまま炭酸ガスを出し過ぎると、ある時点で制御不能の急激な温暖化が起り、6～7℃も高温になって、そこで安定化してしまう（焦熱化現象）ことです。これも地球にとっては自然現象の1つに過ぎないのですが、人間の文明社会にとっては致命的なことになりかねない。こういうことを『ガイアの復讐』の中で警告しているのです。

#### 5,500万年前にあった焦熱化現象

焦熱化現象は、5,500万年前の始新世時代に起こっています。その時、ほぼ1兆トンの炭酸ガスが大気に放出された結果、温帯地方で8℃、熱帯地方でも5℃ぐらい平均気温が上昇し、その影響が20万年続いたということが地質調査などで明らかになってきました。原因は、海底からのメタンガスの大量放出のようです。量的には大変な量ですが、放出には1万年かかっており、これは現代の速度よりは大変ゆっくりです。我々は、わずか150年の間に、温室効果ガス0.5兆トンを大気中に放出してしまいました。あと30年ぐらい今のまま続けていきますと、5,500万年前と同じ1兆トン放出してしまうことになります。

地質マーカーから調べますと、焦熱化時代の炭酸ガス濃度は900ppmであったことが判っ

1970年の値を1とした場合の指数



\* PPP：異なる通貨間で同じ商品の購買力が等しくなる為替レートのこと、国同士の物価水準の違いを補正したもの。  
(出所：IPCC「第4次報告書」)

図7 CO<sub>2</sub>排出量増加の要因（所得、人口、エネルギー消費量等）

ています。しかし、これは焦熱化が起こった後の値であって、焦熱化への引き金が引かれたのは、もっと低い値だったに違いありません。この、言わばPoint of no returnを越えてしまうと、温暖化は止めようにも止められなくなる、そして元へ戻るのに20万年もかかるということになるわけです。ラブロックのモデルでは500ppmを超えると、こうした正のフィードバックへの引き金が引かれる可能性が高まります。もうほとんど余裕はないのです。

の伸びはそれを上回る77%増となりました。つまり、より豊かな生活をする人の数が増えたために、総排出量が増えているのです。

[排出量で突出するアメリカと中国]

図8は2004年時点でのCO<sub>2</sub>国別排出量です。京都議定書批准国の排出量は、全体の4分の1ぐらいしか占めていないことが分かります。図9は1人当りCO<sub>2</sub>排出量で、アメリカは日本の倍、中国はまだ日本の3分の1です。

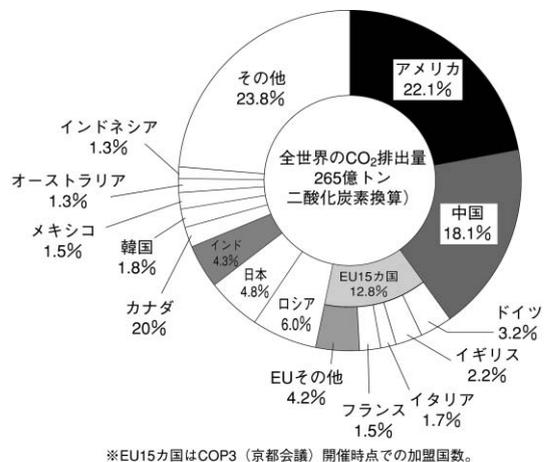
図10で国別排出量の推移を見ますと、近年、中国、インドが急速に排出量を増やしてきていることが分かります。

## CO<sub>2</sub>排出の現状と緩和技術

### CO<sub>2</sub>排出の現状

[増えた豊かな人口]

付加価値をあげるのに、どのぐらいエネルギーを使っているかを示す「エネルギー原単位」は、1971年～2004年に33%も減少しました。より少量のエネルギーで同じだけの生産物を作れるようになったのですから、本来なら排出量の低下に結びつくはずですが、図7で分かるように、この間に世界の人口が69%増、所得



※EU15カ国はCOP3（京都会議）開催時点での加盟国数。

(出所：環境省)

図8 CO<sub>2</sub>の国別排出量（2004年）

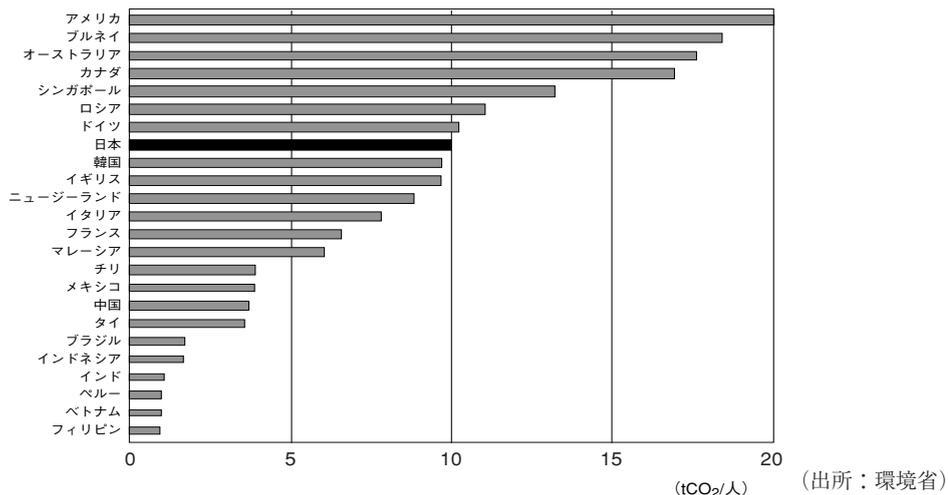


図9 1人当りCO<sub>2</sub>排出量 (2004年)

図11では真ん中の相関線から左上に外れるほどエネルギー使用が非効率な国で、右下に行くほど効率的な国となります。日本のエネルギー効率の高さは抜きん出ています。もう1つ印象的なのは、中国、中東あたりの途上国が左下の原点近くに固まっており、先進国との間では、GDP、1人当たりエネルギー消費量に格段の差があるということです。

### 世界平均気温の上昇の影響と緩和技術

地上の平均気温が上がるとどんな影響があるか。珊瑚の白化は2℃でもかなり顕著に現われます。平均気温が4℃も上がるような状況になると、生態系の40%の種が絶滅し、メタンの大量放出など正のフィードバック現象が出てきかねません。温暖化緩和技術には、エネルギー供給、運輸、建築、産業、農業、林業、廃棄物などの分野で色々なものが『第4次報告書』で取り上げられています。このうち、エネルギー供給分野では、石炭からガスへの転換、原子力発電、再生可能エネルギー、コンバインドサイクル、CCSの早期導入など掲載されています。しかし、化石燃料を使わない技術であっても、設備効率の善し悪しで温暖化の抑制効果には横綱と子供ほどの差が出てくることに注意しなければいけません。

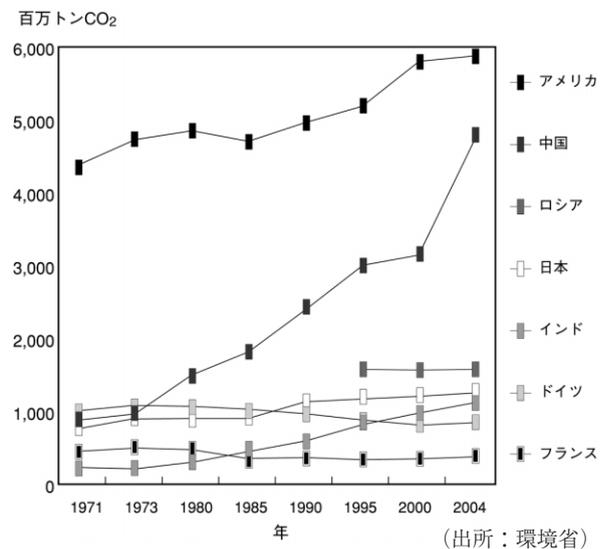


図10 国別CO<sub>2</sub>排出量の推移

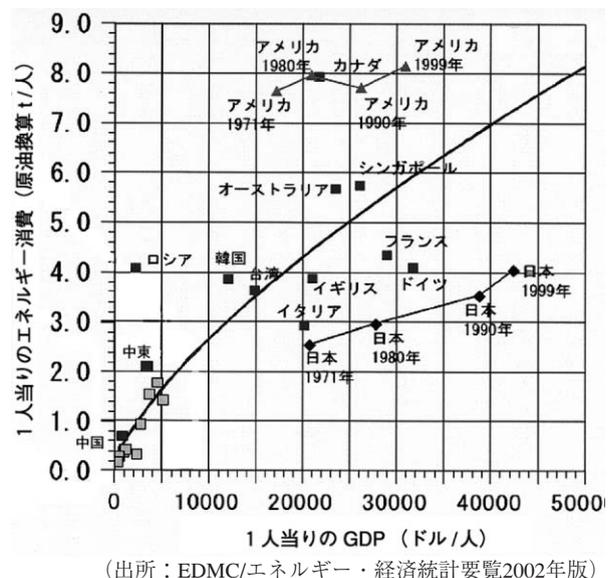
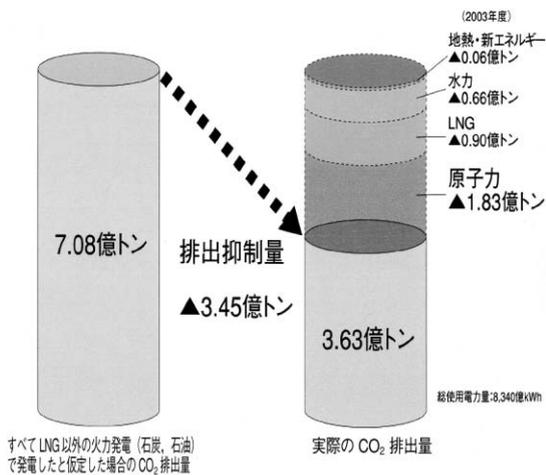


図11 GDPとエネルギー消費 (1999年)

[原子力のCO<sub>2</sub>削減効果]

原子力は非常に出力が大きいために、炭酸ガス抑制に果たせる力は絶大です。図12に示す2003年は、東京電力の不祥事件などの影響で原子力の稼働率が57%にまで落ち込んだ年でしたが、それでも、原子力によって1.83億トンというCO<sub>2</sub>削減効果が得られています。2005年に稼働率が70%に復旧しますと、削減量は2.3億トンにまで伸びました。原子力のように単体でこれだけ大きな削減効果を出せるエネルギーは他にはありません。アメリカ並の稼働率が得られるようになれば、京都議定書で約束した削減義務量の半分ぐらいを軽くカバーできる実力があるわけです。



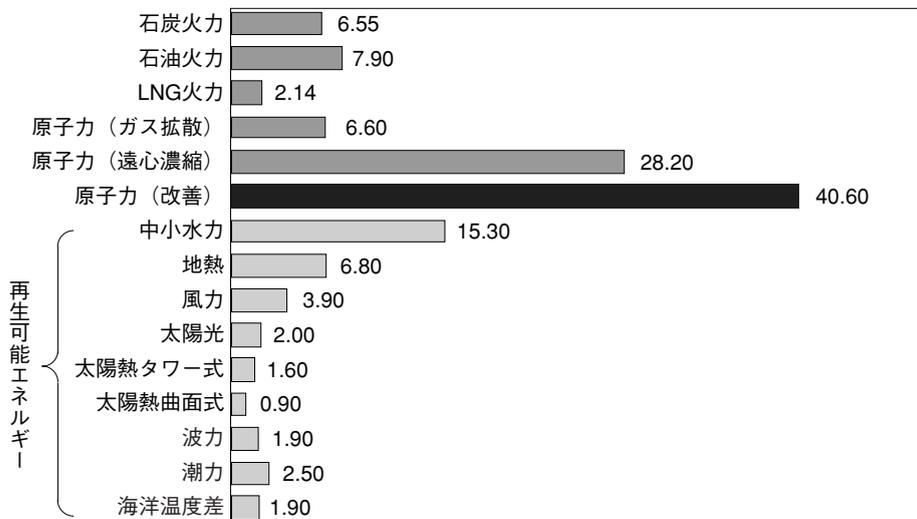
(出所：電気事業連合会試算)

図12 原子力のCO<sub>2</sub>削減効果 (2003年)

[発電のEPR評価]

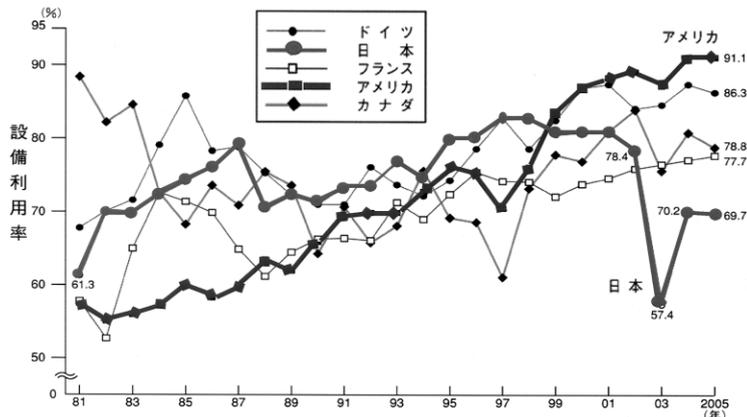
発電所を運転してエネルギーを取り出すには、まず、設備や材料を調達しなければならず、建設のためにもエネルギーは必要です。発電所の建設から廃止までの一生の間に使ったエネルギーと取り出したエネルギーとの比率がEPR (Energy Profit Ratio) で、発電方式毎にEPRを比較した結果が図13です。再生可能エネルギーのEPRはあまり高くありません。中には1を下回り、一生かかってもエネルギーのものが取れないものもあります。一般に、再生可能エネルギーは、系統電力のとどこかないところとか、ニッチな利用状況下では威力を発揮すると思いますが、基幹電源として使うには不向きだろうと思います。

ラブロック博士も「地球環境の危機的状況から脱却するには、原子力というポテンシャルのあるエネルギーを、偏見なしに使っていく必要があるのではないか」と強く主張しています。彼は原子力がそもそもの宇宙の「デファクトエネルギー」であり、放射能や核分裂も環境に不可欠な一部だということを認識している数少ない環境学者の1人です。注目していただきたいのは、彼がこの意見を公に表明したのが1988年(“Age of Gaia”)のことで、彼の環境学者としての立場は、以前から微動だにしていなかったということです。



(出所：電力中央研究所「電中研ニュースNo.439」)

図13 発電方法のEPR評価



(出所：原子力施設運転管理年報 他)

図14 主要国の原子力発電所の設備利用率の推移

[原子力の設備稼働率向上が日本の課題]

図14は主要国における原子力の設備稼働率の推移です。かつては日本が稼働率の高さを世界に誇っていた時代もありましたが、今はアメリカが非常に高い稼働率をあげています。世界で安全に高い稼働率をあげているところは、アメリカ、韓国、フィンランド、ドイツなど数々あります。日本の原子力安全実績は、今も世界のトップクラスを維持しており、稼働率が低いのは、社会制度や規制体系などの理由によるものです。こうした問題点を1つずつ解決していく必要があると思います。

[CCS]

今後取り組むべき技術の中で、IPCCが大きく取り上げているのは、炭酸ガスの貯留技術(CCS)です。日本では(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)が新潟県長岡市などで実験しています。技術的には非常にうまくいっていますが、分離回収費がかさむのが問題点の1つです。

[バイオマスへの期待]

日本では新エネルギー導入促進のために、2010年度における導入目標を定めています。その中で、バイオマスの占める位置が非常に大きくなっていることが注目点として挙げられると思います。実は、導入目標の発電分野838万klのうち586万kl(含む廃棄物発電)、

熱利用分野1072万klのうち791万klがバイオマスなのです。

[日本は省エネ技術で世界貢献を]

図15は、日本が世界に冠たる省エネ国であることの証拠です。同じGDPを生み出すのに、アメリカでは日本の2.7倍ものCO<sub>2</sub>を出しているわけですし、環境先進国を自負しているヨーロッパも実は日本の1.6倍も出しています。したがって、世界が日本並の効率でエネルギーを使用すれば、それだけで炭酸ガス問題は解決するわけです。

今度のAPEC会議の結論に「エネルギー効率を25%上げる」ということが盛り込まれたことは、こういった高効率技術を世界に広めるはずみとなるわけで、日本が貢献できる道筋がはっきりし、非常によかったと思います。

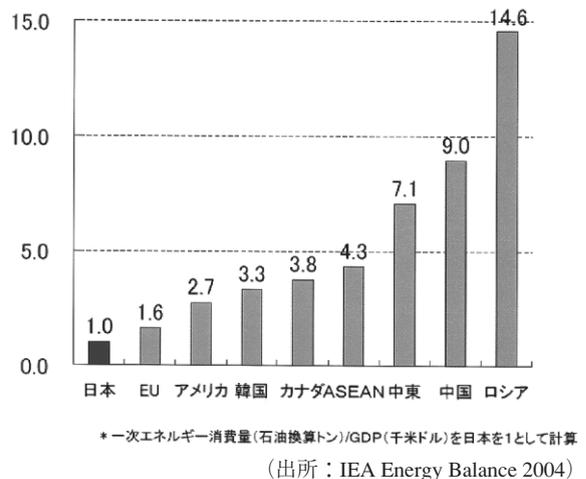


図15 エネルギー利用効率の国際比較

表4 長期的な安定化シナリオ

カテゴリー	放射強制力 <sup>※2</sup>	CO <sub>2</sub> 濃度	温室効果ガス濃度 (CO <sub>2</sub> 換算)	産業革命前からの気温上昇 <sup>※3</sup>	CO <sub>2</sub> 排出がピークとなる年	2050年のCO <sub>2</sub> 排出 (2000年比、%)	シナリオの数
	W/m <sup>2</sup>	ppm	ppm	°C	年	%	
I	2.5 - 3.0	350 - 400	445 - 490	2.0 - 2.4	2000 - 2015	-85 to -50	6
II	3.0 - 3.5	400 - 440	490 - 535	2.4 - 2.8	2000 - 2020	-60 to -30	18
III	3.5 - 4.0	440 - 485	535 - 590	2.8 - 3.2	2010 - 2030	-30 to +5	21
IV	4.0 - 5.0	485 - 570	590 - 710	3.2 - 4.0	2020 - 2060	+10 to +60	118
V	5.0 - 6.0	570 - 660	710 - 855	4.0 - 4.9	2050 - 2080	+25 to +85	9
VI	6.0 - 7.5	660 - 790	855 - 1130	4.9 - 6.1	2060 - 2090	+90 to +140	5
合計							177

(出所：IPCC「第4次報告書」)

急がれる長期的な安定化対策

IPCCが主張しているように、なるべく早い時期に大気中の炭酸ガス濃度を低水準で安定化させなければなりません。気温上昇を2℃以内に抑えるには、2015年までに排出を減少に転じさせ、2050年の排出量を2000年比の50%～85%削減する（カテゴリー1）のような大幅な削減が必要となります。しかし、従来模索されているシナリオは、表4に示すように、カテゴリー4のものが圧倒的に多く、理想と現実の間にはまだ大きな乖離があります。これをどう克服してゆくかが問題です。

色々な国に世界に冠たる日本の省エネ技術を供与して、炭酸ガス削減効果を高めるためには、京都メカニズムの中のCDM（Clean Development Mechanism）と呼ばれるシステムを積極的に活用してゆく必要があります。IEA資料によると、2006年5月時点で開発中のCDM案件の半分近くが発電系プロジェクトですが、CO<sub>2</sub>削減効果は非常に小さいのです。一方で、CO<sub>2</sub>効果の大きい原子力などが、一部ヨーロッパ諸国などの反対で、CDMの対象から外されているという状況があります。まず、こういう問題を改善しなければ、温暖化防止の実効はあがりません。

さいごに—「持続的な撤退」へ向けて

ラブロック博士は、「持続的な発展などはありません。持続的な撤退だ」と言っていますが、この言葉は「経済的な撤退をしろ」という意味ではありません。IPCCが言っているように、温室効果ガス排出を何とか抑えて減少へ持ち込んでいくことを「持続的な撤退」という表現で強調しているのです。そのためにも、必要な経済活動は維持しながら、その活力を原資として温暖化ガスの排出を押さえ込み、世界がより公平で住みやすくなるような文明の持続性を保っていくシナリオが必要になってくると思います。「2050年に50%削減」といった“Cool Earth 50”のビジョンを達成するためには、原子力などの強力な非化石エネルギー技術をはじめ、炭酸ガス抑制に効果のある技術イノベーションを広範に促進し、全世界に広めてゆくことが前提となります。ラブロックが言うように、我々人類は地球の疫病ではなく、その頭脳となり魂とならなければならない。そのような社会的環境を築き上げてゆくために、ここにおいでの皆様のご健闘を心からお祈りしたいと思います。

ご静聴ありがとうございました。（拍手）

[特別講演]

## 持続可能なエネルギーシステム

山地 憲治 (東京大学大学院 工学系研究科)  
電気工学専攻 教授



### はじめに

今日は3つのテーマでお話ししようと思います。まずは、学会会議の国際連合会のような組織IAC (Inter - Academy Council) から10月に発表になる“Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future”という報告書のエッセンス、それから再生可能エネルギーの役割、最後に、バイオマスへの期待について私のコメントを述べさせていただきます。

### “Sustainable Energy Future”のエッセンス

IACのレポート“Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future”は、「気候変動に関

する政府間パネル」(IPCC)のレポートと同様に、Lead Authors (執筆陣)を作って書かれたものです。私も執筆陣の一員だったので、今日はそのエッセンスである9項目の勧告から紹介します。

#### (1) エネルギー・アクセス

1. Meeting the basic energy needs of the poorest people on this planet is a moral and social imperative that can and must be pursued in concert with sustainability objectives.

- 一貧しい人々に電気とクリーンな燃料を提供する。
- 一エネルギーアクセスにおける国際的不平等とともに国内的な不平等を解決する。

Basic Energy Needsを満たされていない人々が地球上には20億人いると言われています。そういう貧しい人々に電気やクリーンな燃料を提供することが一番重要だという勧告です。エネルギーアクセスは、国際的な不平等だけでなく、国内的な不平等も随分あるということに着目する必要があるという指摘です。

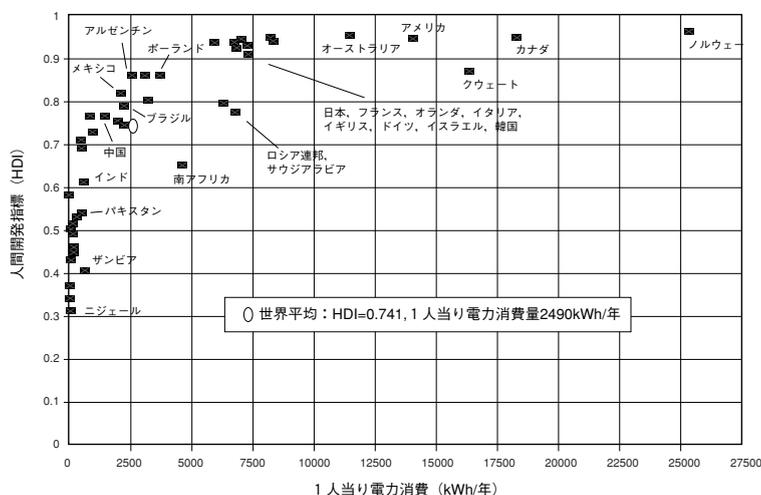


図1 電力消費と豊かさの関係

図1の縦軸は豊かさの指標で、Human Development Index（人間開発指標）という国連開発計画（UNDP）が作っているものです。横軸は1人当たり電力消費ですが、開発指標の低い国は電力消費も小さいことが分かります。インドのように電気をほとんど使っていないような国がいっぱいあります。この部分を何とかしなければいけないということです。これは、世界という視点から持続可能なエネルギーを考えると一番重要な問題ですが、先進国に住む我々がしばしば忘れがちなことだと私も思っています。なお、一国の中でのエネルギーの不平等も大きな問題です。例えば、インドネシアの農村部における調理風景（伝統的バイオマス利用）とインドネシア都市部での調理風景（LPG等を利用）は全く異なります。この国内の不平等問題への対処も重要です。

## (2) 脱炭素化

2. Concerted efforts must be made to improve energy efficiency and reduce the carbon intensity of the world economy.

- エネルギー効率向上と脱炭素化を目指す。
- 世界全体への先進技術の普及。
- CO<sub>2</sub>削減効果を反映した適切な価格シグナルの導入。
- ラベリングや規格・基準などで情報提供。

エネルギー効率を上げて、エネルギーの、あるいは経済のCarbon Intensity（炭素集約度）を下げる。まず、先進技術の普及が必要です。わが国は高い先進技術を持っているわけですから、これを普及していくことは非常に大きな効果を持つであろうと思います。また、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）削減効果を反映する適切な価格シグナルが必要です。「炭素取引のため」ということではありません。実は、世界にはエネルギー価格が不当に安い所もあります。そこでは、エネルギーが不当に無駄使いされているわけです。そういう無駄使いをさせないために、色々な経済条件、環境コストも含めた価格シグナルを出さなければいけないということです。

あと、情報が大事です。技術的なポテンシャルは非常に大きいのに、知らないということが、その技術の普及を阻むことがあるのです。図2はアメリカの冷蔵庫に関するグラフです。サイズは大きくなっていますが、1台当たりのエネルギー消費量は、オイルショック後、ぐんと下がり、しかも値段まで下がっています。こういうことが起こるということをよく知らせる必要があります。

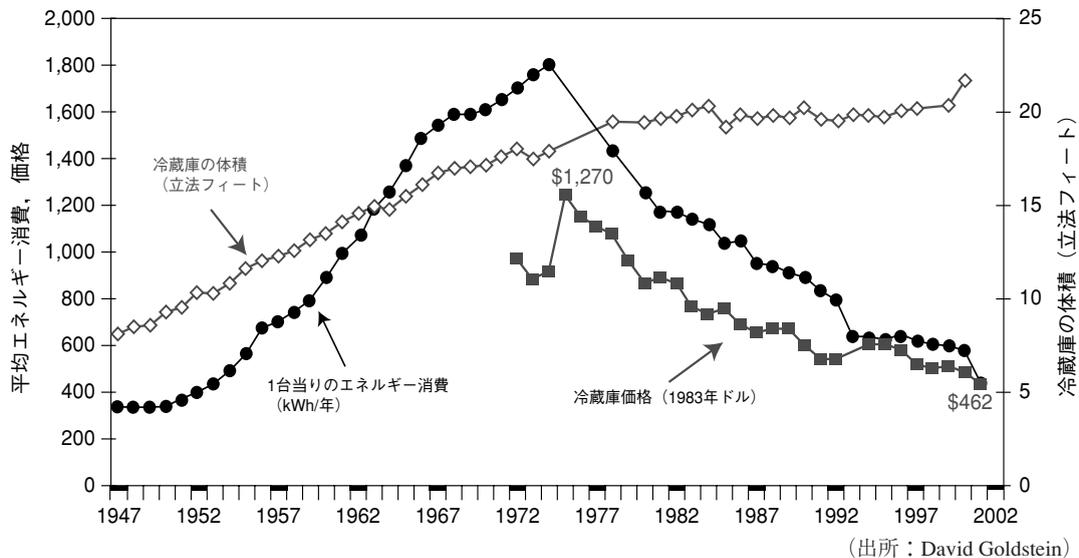


図2 米国における冷蔵庫の性能向上と省エネ

### (3) CO<sub>2</sub>の回収貯留 (CCS)

3. Technologies for capturing and sequestering carbon from fossil fuels, particularly coal, can play a major role in the cost-effective management of global carbon dioxide emissions.

- CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS) の推進。
- クリーンコール技術の開発普及。
- CO<sub>2</sub>漏洩等に関する懸念への対応。
- 既設石炭火力へも適用。
- バイオマスとCCSを組み合わせればCO<sub>2</sub>排出をマイナスにすることも可能。

資源量では石炭資源が非常に多いわけです。石炭資源をクリーンに使う技術は、ガス化や液化など色々ありますが、その中にCCSも入れて考えていくことが非常に重要だろう。これが、費用対効果の面でも温暖化対策として非常に大きな役割を果たすだろうと指摘しています。しかし、CCSではCO<sub>2</sub>を地中や海底に貯留するわけですが、その漏洩に関する懸念が人々の間にあるので、それへの対応を今からしておかなければいけないという指摘もあります。それから、世界では石炭火力が最も主要な発電プラントですから、既設の石炭火力への適用ということを考える。なお、私は2007年6月に“Cool Earth 50”と銘打って安倍首相が言った「2050年に世界全体で二酸化炭素を中心とする温室効果ガスを現状の半分にする」というのはまず実現不可能だと思っ

ていますが、それをやろうとすると、恐らく先進国は排出量をゼロあるいはマイナスにする必要があります。排出量をマイナスにできる技術は、カーボンニュートラルなバイオマスを使って、しかもCO<sub>2</sub>を大気へ戻さずにCCSと組み合わせることだと思います。例えば、IPCCのSRESシナリオを基準にして、平均気温の上昇幅を2℃以内に収めようとする、21世紀後半はCO<sub>2</sub>排出量がマイナスになる場合が出てきます。その時は恐らく、バイオマスとCCSとの組み合わせが非常に重要になる。バイオマスにはそういう意味もあります。

### (4) 地政学的紛争と経済的脆弱性

4. To reduce the potential for future geopolitical conflict and economic vulnerability associated with competition for oil and natural gas supplies, governments should commit to:

- 石油・天然ガスの需給安定化。
- 特に輸送部門の脱石油を目指す：  
バイオ燃料、プラグインハイブリッド車、水素燃料、交通インフラ改善等。
- 液体燃料製造のLCAの視点での評価。

いわゆるエネルギーセキュリティです。特に石油・天然ガスの需給安定化を目指すべきである。中でも、わが国の『新・国家エネルギー戦略』の中でも取り上げられている輸送部門の脱石油が強調されています。ここでも、バイオ燃料が非常に大きな役割を果たすでしょうし、プラグインハイブリッド車、それから、エンジンも考えた上での水素燃料、交通インフラ改善というのがあります。

エネルギー変換を繰り返す場合、局所的に見て良さそうでも、全体を見ないと本当に良いかどうか分からないことがあるので、LCA (Life Cycle Assessment) の視点での評価が重要だと指摘しています。エネルギーセキュリティのところから輸送部門へ一足飛びに飛んでいるのですが、輸送部門の脱石油に相当焦点を合わせた書き方になっています。

### (5) 原子力

5. Nuclear power currently supplies about 16 percent of world electricity generation; as a low-carbon resource it can play a significant role in the world's future energy portfolio but only if major concerns related to capital cost, safety, and weapons proliferation are addressed.

- 安全性の確保：高齢原子炉対策、廃棄物の安全な管理・処分。
- 核拡散対策：国際制度の構築と技術対策。
- 透明性あるプロセスによる原子力再評価。

原子力が非常に重要な役割を果たすと書いてあります。ただ、コストの問題、安全・安心の問題、核不拡散の問題、老朽化した原子炉の対策、廃棄物の安全な管理処分に取り組むという条件付きです。核不拡散対策は技術とは別のアプローチをする必要があります、国際制度の構築というところを指摘しています。ま

た、今後、原子力を世界規模で進めていくためには、世界の合意が必要で、透明性あるプロセスによって原子力を再評価するという動きをしたかどうかという提案をしています。

## (6) 再生可能エネルギー

6. Renewable energy in its many forms offers immense opportunities for technological progress and innovation. The contribution of renewable resources (e.g., wind, biomass, solar, geothermal, and hydropower) in the world's energy mix should be substantially expanded.

- 再生可能エネルギーの導入政策の充実。
- 薄膜PV等の技術開発。
- 密度の低いエネルギー源の大規模導入に伴う環境対策も重要。

再生可能エネルギー一般に相当大きな可能性がある。よく「再生可能エネルギーは人気があるけれども実力がない」と言われますが、そのあたりはかなり精査しています。中でも実力の点では、バイオマスに相当期待している。地熱に関してもかなり詳しい調査をしてあります。要するに、技術開発とともに、導入促進施策が大事だということ、技術開発の中では、特に太陽電池の薄膜型に言及しています。これはわが国の研究開発の今後の方向の中でも取り上げられていることと一致します。ただ、やはりこういうものは密度が薄いため、広大な土地が必要だし、設備も大規模になるので環境対策についても指摘をしてあります。

では、今の再生可能エネルギーはどれぐらい実力があるのか。表1に示します。2005年

で再生可能エネルギーが17.26EJあります(恐らく、薪や動物の排泄物を乾燥させたものなどの伝統的バイオマスがこのほかに約40EJあると思います)。その中で大きいのはモダン・バイオマスです。今世紀に入ってから年々の伸び率では、バイオエタノール、バイオディーゼル、地熱、小規模水力(1万kW以下の水力)、風力、太陽エネルギーが伸びています。風力は伸び率で26.56%ですが、絶対量ではまだ1.86EJに過ぎません。Low Temperature Heat(太陽の低温熱供給)は、太陽熱温水器の推定使用量ですが、太陽の利用は光よりもまだ熱の方がかなりの値になっています。しかも伸び率が結構高い。太陽熱は、わが国ではやや足踏み状態ですが、世界で見ると伸びています。

世界全体のエネルギー需要の伸び率(年率1.6%)に対して、再生可能エネルギー全体の伸び率は11.51%と急速です。やはり再生可能エネルギーというのは、今後に期待して良いということ。

## (7) バイオ燃料

7. Biomass-based fuels hold great promise for simultaneously addressing climate change and energy-security concerns, especially related to the world's current dependence on petroleum fuels for the transport sector.

- 輸送用燃料分野でのバイオ燃料の活用。
- 持続可能な農業など土地管理が重要。
- バイオリファイナリーでエネルギー以外の高価値物質も製造。
- 遺伝子工学(品種改良等)、生物化学変換(酵素利用等)を含め多様なバイオマス利用技術の開発。

表1 再生可能エネルギーの生産と成長

Source/Technology	Production (EJ) 2005年	Growth Rate (% per year for 2001-2005)
Modern Biomass Energy Total	9.18	2.50
Bioethanol	0.73	16.36
Biodiesel	0.13	34.27
Electricity	1.39	2.41
Heat	6.94	1.17
Geothermal Energy Total	1.18	18.37
Small Hydropower Total	2.08	27.47
Wind Electricity Total	1.86	26.56
Solar Energy Total	2.96	41.83
Low Temp Heat	2.78	41.92
Thermal Electricity	0.01	0.46
PV	0.17	~50.0
Marine Energy Total	0.01	0.46
Total Modern Renewables	17.26	11.51
Total Primary Energy Supply	477.10	1.60

Modern Renewables/TPES (in percent) : 3.6

※ モダンバイオマスエネルギー (Modern Biomass Energy) は、高エネルギー利用効率の商業エネルギー。近代的で高効率の設備(ボイラー、ガスタービン、液化設備など)で主に産業用に使用される。これに対して、伝統的バイオマスエネルギー (Traditional Biomass Energy) は、主に家庭にある小規模な設備(コンロ、暖炉など)で使用される低エネルギー効率(主に15%以下)の非商業エネルギーである。(山地憲治, 山本博巳, 藤野純一, “バイオエネルギー”, ミオシン出版(2000)より)

再生可能エネルギーの中でも特にバイオ燃料に期待がかかります。再生可能エネルギーは、ほとんどがモノではないため、電気や熱にする以外の利用法がありません。しかし、バイオマスはモノですから燃料になるのです。ただし、土地管理、食糧との競合の回避は重要です。さらに、バイオマスからは、エネルギー以外の高価値物質の製造もできます。これと組み合わせると言っているわけです。栽培の方では品種改良の遺伝子工学が、変換の方では発酵や糖化の生物化学変換など、最先端のバイオ技術と関係しています。

—エネルギー政策・制度の評価。  
—エネルギー教育・啓発・広報の充実。

第一次、第二次オイルショックの後増大したエネルギーR&Dの予算は、その後減少の一途を辿っています。それを逆転して増強する必要があります。また、国際協同のエネルギー開発では、国際熱核融合実験炉（ITER）だけでなく色々な展開が必要だろう。さらに、供給だけでなく需給統合システム、あるいは政策評価、エネルギーの教育・啓発の重要性などを9番目の項目で指摘しています。

## (8) 貯蔵, 輸送

8. Progress in developing cost-effective energy storage technologies, new energy carriers, and improved transmission infrastructure is needed to reduce costs and expand the contribution from a variety of energy supply options.

—革新的なエネルギー貯蔵・輸送システムの開発：水素利用、物理的・化学的エネルギー貯蔵→間歇的な再生可能エネルギーの利用。  
—電力グリッドの革新：長距離輸送、スマートグリッド。

水素利用のときの水素の貯蔵もあります。わが国もバッテリー技術は得意ですが、そういう貯蔵技術が重要だと述べています。特に、再生可能エネルギーの間欠性を考えると、貯蔵との組み合わせ、あるいは輸送と貯蔵をセットで考えるということを指摘しています。

電力グリッドの革新では、1番目のエネルギーアクセスのことを考えても僻地での小さいグリッド、先進的な所では電力自由化とも絡む情報通信技術を駆使したスマートグリッド、さらに、エネルギー計量の電子化とリモート計測、あるいはデマンドコントロールなどを指摘しています。

## (9) エネルギーR&Dの予算の増強

9. The science and technology community - together with the general public - has a critical role to play in advancing sustainable energy solutions and must be effectively engaged.

—エネルギーR&D予算の増強。  
—国際共同エネルギー研究開発の推進。  
—需給を統合したシステム効果の追及。

## 再生可能エネルギーの役割

「再生可能エネルギーは実力がないのになぜ注目するのか」という素朴な疑問がいつもあると思いますが、新再生可能エネルギーの増え方を見ると急成長しているのです。水力を含めると、少なくとも今後数十年程度はその供給力の増加が原子力の増加を上回りそうです。また、取り残された地域へのエネルギーサービス提供という点で、地元で利用できる再生可能エネルギーは非常に効果的です。特に、アジア地域では再生可能エネルギーが重要になってきます。

### 世界の電源構成と再生可能エネルギー

一次エネルギー統計を見ると、原子力に対して水力が3分の1ぐらいになっているものをよく見ますが、これは統計上のトリックです。発電電力量(kWh)で言うと、原子力と水力は現在のところ世界全体でほぼ同じ量です。ところが、一次エネルギー換算すると、水力は100%、原子力は発電効率30数%で換算する場合があります(わが国の総合エネルギー統計は違いますが)、一次エネルギーでは原子力が水力の3倍に増えるのです。

世界の電源構成を見ると、原子力は70年代、80年代に伸びたのですが、90年代には水力が再

び追いつきました。将来予測では、原子力は供給力増加に時間がかかるので、当面は水力の方が原子力を上回ると予想されています。水力を含めた再生可能エネルギーとなると、決して無視できるような小さいものではないということをは是非理解して頂きたいと思います。

図3は日本エネルギー経済研究所の見通しによる世界の一次エネルギーの増分の内訳の変化です。1971年から2004年ですと、化石燃料が多くて、原子力、水力、その他再生可能エネルギーの順ですが、今後の25年ぐらいの予測を見ると、原子力よりも再生可能エネルギーの増分の方が多いと見えています。

#### アジアにおけるエネルギー消費量の変化

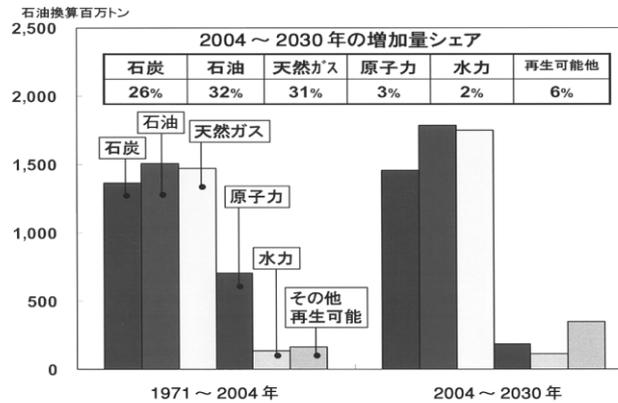
図4に示すように、アジアの技術進展ケースでは、石油、天然ガスの使用量を減らして温室

効果ガスを抑えるのですが、減少分を補うのは、原子力（石油換算で5,200万トン：約4,000万kW）、水力（同3,400万トン）、新エネルギー等（同8,600万トン）です。一番多いのは、新エネルギーです。つまり、向こう30年程度だと、再生可能エネルギーに対する期待は、原子力に匹敵、ないしはそれ以上ということなのです。

#### わが国の現状と現行目標—新エネの再定義

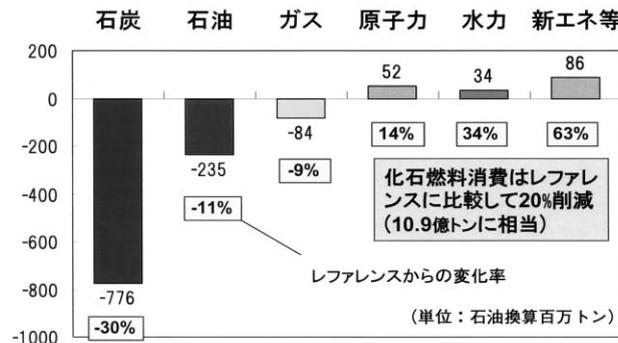
「日本は再生可能エネルギーに不熱心でありあまり使っていない」と思っている人がいるようですが、そうではありません。表2のように、電力分野での再生可能エネルギーで、日本は欧米に較べて全然見劣りしていません。風力、太陽光よりもバイオマスが多いです。

政策との関連では、2006年に「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会」において、



(出所：アジア世界エネルギーアウトック2006)

図3 世界の一次エネルギー消費増加量（エネルギー源別）



(出所：アジア世界エネルギーアウトック2006)

図4 技術進展ケースでの2030年におけるアジアのエネルギー消費量変化

表2 再生可能エネルギー導入比率（電力）

	日本	欧州 (EU15)	米国
水力	8.2%	10.1%	6.9%
地熱	0.33%	0.20%	0.37%
バイオマス	1.21%	1.38%	1.34%
風力	0.09%	1.62%	0.28%
太陽光	0.09%	0.02%	0.01%
合計	9.9%	13.3%	8.9%

(出典)日本のみ資源エネルギー庁データ。その他は IEA, "Energy Balances of OECD Countries, 2003-2004"  
(注)発電量は自家消費分を含む。

新エネルギーの定義の再整理を行ないました。日本の新エネルギーには、クリーンエネルギー自動車や燃料電池、天然ガスコージェネなど「利用側の新エネルギー」があったのですが、再生可能エネルギーとの対応をよくするために整理しました。再生可能エネルギーの中には大型水力や海洋エネルギー等がありますが、新エネルギーに指定して特に推進しようというのが、太陽熱・光、バイオマス熱・発電、風力、中小水力、地熱です。そのうち電力系統へ連系する部分については、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」(RPS法)で小売をする電気事業者に一定割合を「新エネルギー等電気」にするよう義務づけています。

また、日本は1974年に始まったサンシャイン計画以降、新エネ関係の開発プログラムを進めてきました。技術実証から導入普及、電力業界の取組み、RPSなどの法制度があります。かつては「技術プッシュ」型のやり方でしたが、最近では「市場プル」型に政策転換してきています。RPS法は新エネの市場を人工的に作った上で、その中で競争させようという仕組みになっています。

#### [太陽光の現状]

日本の太陽光発電は、設置容量で2005年にドイツに並べられ、今はドイツの方が多くなりまし

た。その背景には、ドイツの約70円/kWhでの買上制度（自家消費分含む）がありますが、その政策がいつまで続くかは疑問に思っています。導入政策としては、日本のRPS程度の、あるいは電力会社の余剰購入買い取りメニュー程度の「デマンド・プル」型の方が、太陽光の市場参入の活力を作ることに適していると考えています。

#### [風力の現状]

風力もやっと導入量が100万kWを超えてきました。世界では約6,000万kWで、ドイツだけで2,000万kWですから、それに比べると少ないです。2010年の300万kWという導入目標に届くのは難しいでしょうが、今後は洋上風力や新技術の開発に挑戦していく必要があると思います。

もう1つ解決すべき問題として、系統連系の問題があると思います。今でも入札は多いのに、電力会社が受け入れる量がそれより少なく決まっています。これは出力変動が激しい風力が系統に与える影響を心配してのことです。系統連系の問題を解決すれば、地上だけでももう少し導入量が増えると思います。また、これは技術課題であると同時に制度的課題でもあると考えています。

#### [新エネ導入目標]

新エネ導入目標（2010年度）の7割ぐらいはバイオマスです。発電分野838万klのうち586万kl（含む廃棄物発電）、熱利用分野1072万klのうち791万klがバイオマスです。

また、RPS制度では、小売電力量に占める「新エネルギー等電気」の比率を当初、2010年に年間総電気販売量の1.35%（絶対量122億kWh）としていましたが、最近4年延長し、2014年で160億kWhとしました。図5に進捗状況を示します。太陽光は設備利用率が低いことと、自家消費分を差し引いた分だけの勘定のためこの程度になっています。ここでもバイオマスの寄与が大きいことが分かります。

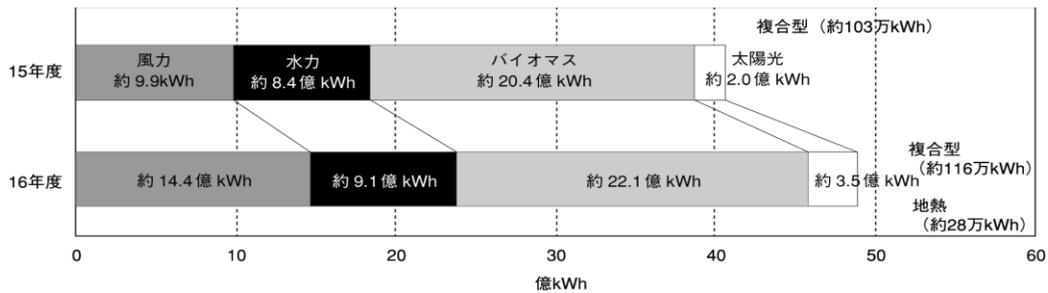


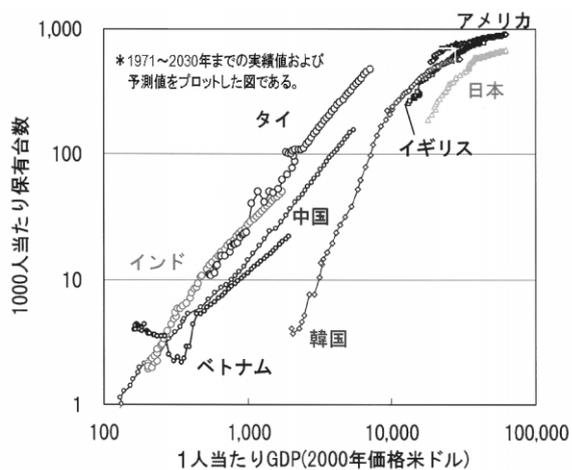
図5 新エネルギー等電気の供給総量

## バイオマスへの期待

### バイオエネルギーの位置づけ

バイオマスには色々な分類法があります。1つに、廃棄物系、未利用系、資源作物系という分け方があります。値段で見ると、廃棄物系は逆有償。未利用系は無料ですが収集コストがかかる。資源作物は栽培段階からコストがかかるので、価格は廃棄物系、未利用系、資源作物系の順に高くなるでしょうが、この逆の順で質の良いのが出てくるということになります。

ともかく、バイオマスは、種類が沢山あるために全体像がつかみにくいので、利用システムを考える時には、どこか一点に光を当てて見る(例えばエネルギーとしてだけ)のではなく、マテリアル利用も考えて、全体像を見ることが非常に重要だと考えています。



(出所：アジア世界エネルギーアウトック2006)

図6 モータリゼーションの進展

## アジアにおけるバイオ燃料の意義

### [アジアで進むモータリゼーション]

図6は豊かさ(1人当たりGDP)と自動車保有率の関係を表わしています。国土が狭いからだと思いますが、日本は豊かさに較べれば自動車保有率はモDESTな方です。韓国、中国、ベトナム、インド、タイ、いずれも急速に伸びています。中国でもこのために石油需要が物凄く増えてきているところで、バイオ燃料という再生可能エネルギーが自動車に使えるというのは非常に重要なポイントだと思います。

### [アジアにおけるバイオ燃料供給力]

図7は日本エネルギー経済研究所による2030年におけるバイオ燃料の導入シナリオです。レファレンスだと約1,300万トン(27万バレル/D相当)、石油消費量の0.6%ぐらい。技術進展ケースだと約2,400万トン(約50万バレル/D相当)になります。過大な期待はできないにしてもバイオ燃料は重要です。

世界的にはバイオエタノールが大きな注目を集めているのですが、アジア地域ではバイオディーゼルを特に重視すべきだと私は考えています。パームというバイオディーゼルの原料がアジアに多く賦存するという理由もあります。図8にアジアにおけるバイオエタノールとバイオディーゼルの導入可能量を示します。バイオエタノール3,200万トン(石油換算)に対してバイオディーゼルが3,600万トンです。アジアでは供給可能量としてバイオディーゼルの方が多いのではないかと思います。

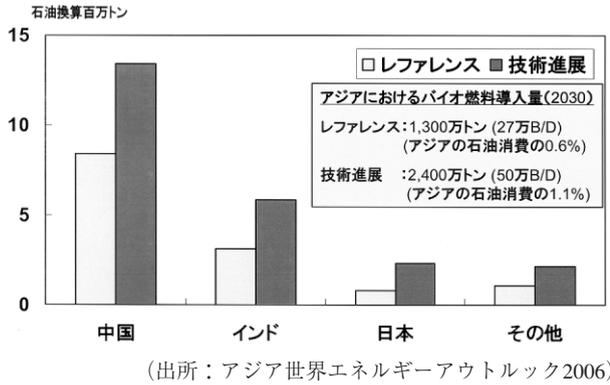


図7 アジアにおけるバイオ燃料 (2030年)

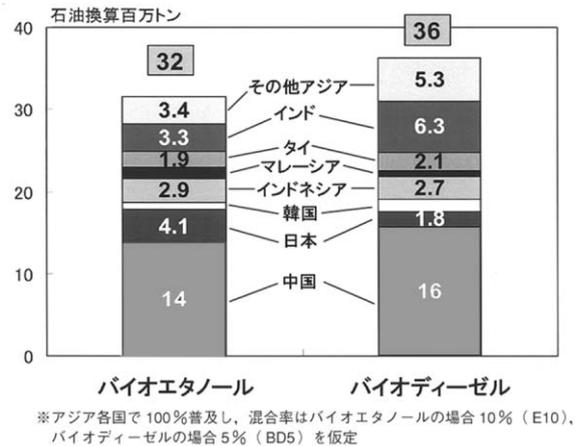


図8 アジアでのバイオ燃料導入可能量 (2030年)

### 世界のバイオエタノール生産

#### [ブラジルのバイオエタノール]

図9に示すとおり、ブラジルでは約3億トンのサトウキビ生産量のうち、半分がエタノール仕向け、残り半分が砂糖仕向けです。だから、サトウキビをエタノール用に栽培しているという部分があります。私はブラジルの人に「いっぱい土地があって供給力は十分だよ」と説得されました。面積を見るとそんな気もしますが、環境問題がまったくないわけではないと思っています。

#### [アメリカのバイオエタノール]

図10の2005年の数字は推測ですが、1,500万kl、これが今や2,000万kl近くになっていると思います。ブッシュ大統領の政策によってこのところ急激に増大しています。しかし、現状ではアメリカのトウモロコシ生産の中でエ

タノール仕向けはまだごく僅かです。だから、トウモロコシ価格が高騰しているのは、多分に投機的な要因があると考えられます。

### 世界のバイオディーゼル生産

バイオディーゼル燃料 (BDF) で先行しているのはヨーロッパです。図11で分かるように、特にドイツで盛んで、原料のほとんどは菜種油です。

今、インドネシア、マレーシアではパームがバイオディーゼルの原料として注目されています。パームは食品や化粧品に使われている油ですが、暖かい所だとそのままでもディーゼルエンジンの燃料になります。日本では固型化するでしょうが、パーム油をエステル化等の処理をすれば軽油代替燃料にはなります。パームの今後の展開が注目されることです。

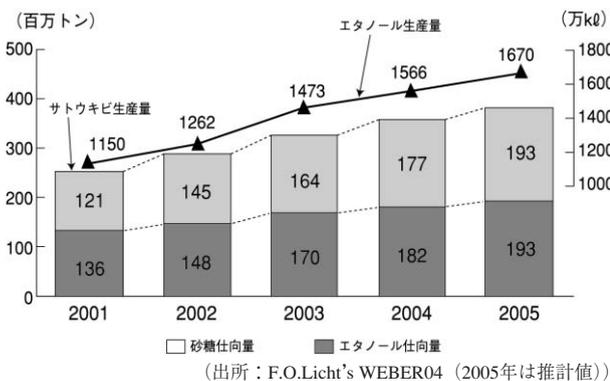


図9 ブラジルのエタノール生産

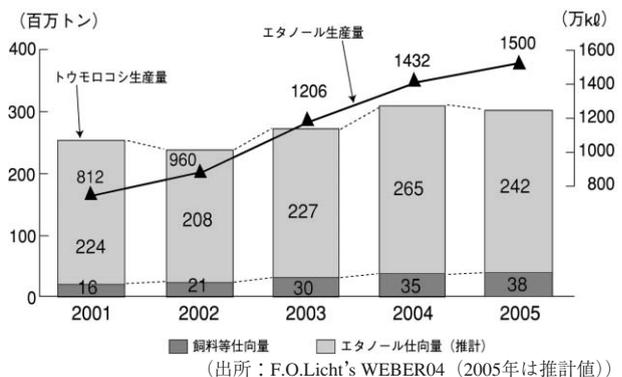
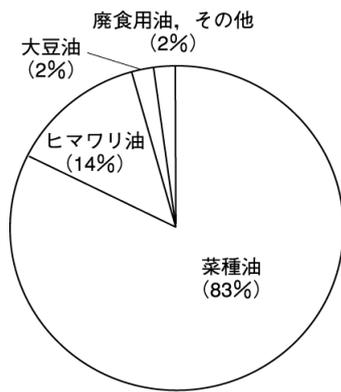
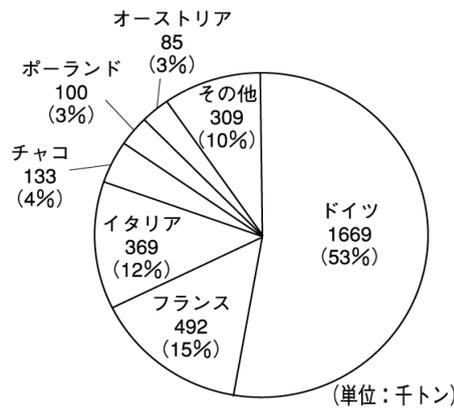


図10 アメリカのエタノール生産



【EUにおけるBDF原料比率】

(出所：第20回燃料政策小委員会資料)



【EUにおけるBDF生産量】

(出所：BIOFUEL BAROMETER, MAY 2006)

図11 EUにおけるバイオディーゼル (BDF)

表3 バイオマス資源とエネルギー転換技術の対応マトリックス

		バイオマス資源													
		木質系バイオマス		製紙系バイオマス			草本系バイオマス		糞尿・汚泥		食品廃棄物		その他		
		D	D	D	D	W	D	W	W	W	W	W	W	W	
	Dry/Wet														
	例示	製材地残材・間伐材	建築廃材	古紙	ネグティブグラス	ホアテイスアオイ	稲藁・もみ殻	トモコシ	家畜糞尿	厩舎汚泥	下水汚泥	食品加工廃棄物	甘藷	パーム油	菜種油
エネルギー転換技術	熱化学的変換	直接燃焼ボイラ	◎	◎	◎						◎				
		直接燃焼発電	◎	◎	◎					◎	△		◎		
		固定床燃焼	◎	◎	◎							◎		◎	
	熱化学的変換	流化床燃焼	◎	◎	◎						△	◎	◎		
		溶融ガス化	◎	◎											
		固定床ガス化	◎	◎						◎					
		低温度流動層ガス化	◎	◎						◎					
		噴流床ガス化	◎	◎		◎				◎					
		高カロリーガス化	◎	◎		◎				◎					
	生物化学的変換	急速熱分解	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			
		スラリー燃料化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎			
		直接液化	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎			
		超臨界水ガス化	◎	◎	◎	◎	△				◎	◎			
超臨界水処理		◎	◎	◎	◎	△				◎	◎			◎	
炭化		◎	◎	◎	△	△				◎	◎				
エステル化														◎	
生物化学的変換	メタン発酵	△			△	◎		◎	◎	◎	◎				
	エタノール発酵	◎	◎	◎				◎			◎	◎			
	アミノ酸発酵										◎	◎			
生物化学的変換	水素発酵			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎			

◎：実用化実績のあるもの  
 ○：実験的研究段階のもの（パイロット規模の実証試験を含む）  
 △：フィージビリティスタディ段階のもの

注）本マトリックスは下記出典の調査における導入事例、研究開発事例のとりまとめ結果であり、この表で無印等になっていることをもって資源/技術の適合性がないという短絡的な判断は避けるべきである。

出典）「新エネルギー等導入基礎調査 バイオマスエネルギーの利用・普及政策に関する調査」(社)日本エネルギー学会 平成14年5月

バイオマス資源とエネルギー転換技術

燃料用バイオマス以外にも木質系をはじめ、草本系から糞尿、食品廃棄物、澱粉、糖など、エネルギーに利用できるバイオマスが沢山あります。また、性状がドライかウェットかで処理が随分違ってきます。ウェットだと燃焼や熱化学変換には向きませんから、生物化学変換が注目されると思います。表3に、色々なバイオマスの種類に対する変換技術を示しました。

バイオマスの供給力

私どもの研究チームで10年来やっている、バイオマスの流れをシステムティックに捉える研究を紹介します。バイオマスは森林系、食料系、いずれも基本的に土地を利用します。木材系バイオマスだと図12、食料系だと図13のようになります。

バイオマスの主な用途は今のところ、エネルギー用よりも材料や食料用途ですが、バイオマスフローをシステムティックに追いかけて

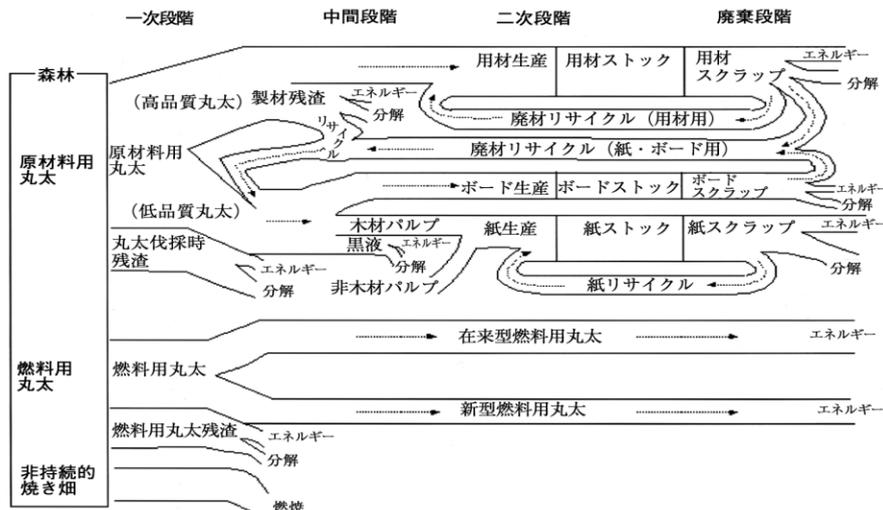


図12 検討した木材系バイオマスフロー

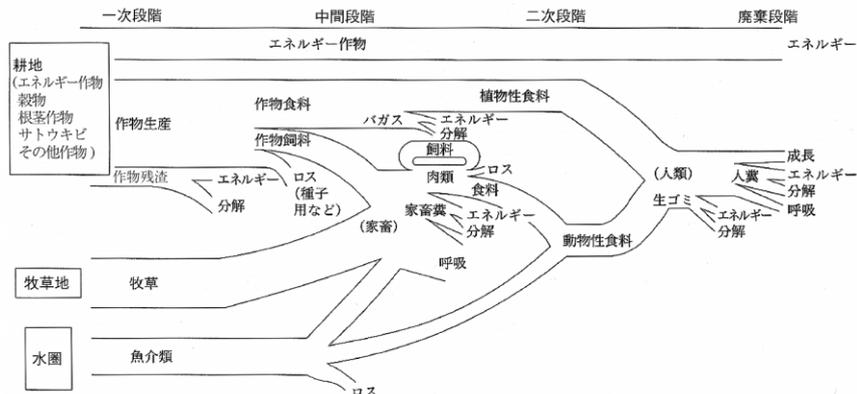


図13 検討した食料系バイオマスフロー

ていくと、副生的に出てくるバイオマスのエネルギーとしてのポテンシャルがどのくらい分かるわけです。

図14はバイオマス残渣の究極エネルギー供給可能量です。木とか紙とか食料などのバイオマス利用に伴って出てくる、林地残材、カンナ屑、あるいは食品廃棄物とかを全部集め

てどれだけのエネルギーになるか示しています。その残渣のエネルギーが今世界全体で約100EJ（石油換算で約25億トン）あります。現在の世界の一次エネルギー使用量は石油換算で約100億トンですから、その4分の1程度が我々が通常エネルギーだと思っていないバイオマスの残渣という形で存在するというこ

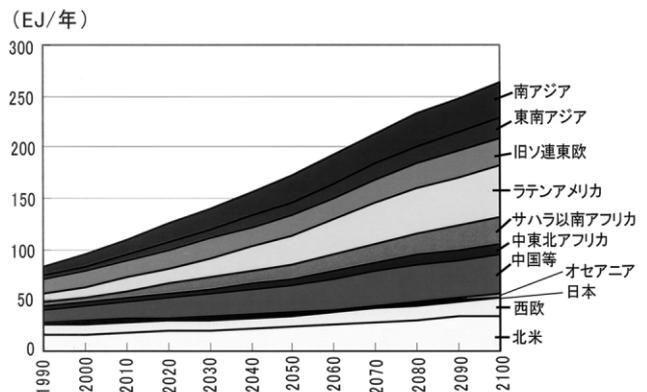


図14 バイオマス残渣の究極エネルギー供給可能量

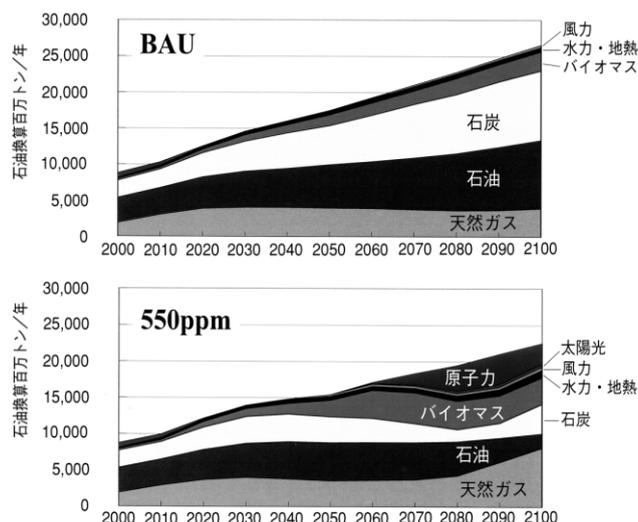


図15 一次エネルギー生産量 (BAU&550ppmケース)

とです。地域別で見ると、結構人口の多いところに残渣が多いですからなかなかいい分布をしています。そして、この残渣系バイオエネルギーの供給ポテンシャルは今後大きく増大していきます。このエネルギーを利用するのが廃棄物、あるいは未利用系のバイオマス利用ということになります。

こういうポテンシャル（残渣バイオマスに加えて、余剰耕地を利用したエネルギー作物生産も考慮する）を勘定に入れて、最適化型世界エネルギーモデルによって2100年までのシミュレーションを行なってみます。コストが最小になるようにエネルギー需要を満たしていくわけですが、その時にCO<sub>2</sub>の制約をかける（例えば、大気中濃度を550ppmにする）、かけない（BAU:Business As Usual）という条件の違いを考慮します。BAUケースが図15の上、550ppmに維持するケースが下です。CO<sub>2</sub>制約付きだと、植林、省エネ、天然ガスの燃料転換、バイオマス、太陽光、原子力、CCSといったものを組み合わせることによってCO<sub>2</sub>濃度を550ppm以下に保ちつつ一次エネルギー生産を増やしていくわけです。

この中で、原子力とバイオマスは競合するよりも協調補完します。BAUの場合、経済性優先で世界のエネルギーシステムを選ぶので、天然ガス、石油、石炭が増加します。原子力は2000ドル/kWという建設コストを仮定した

のでなかなか選ばれません。しかし、550ppmというCO<sub>2</sub>制約下で最適化すると原子力が21世紀後半にかなり導入されてきます。同時にバイオマスも相当増え、石油、石炭は物凄く減るとい形になります。つまり、原子力とバイオマスは共存するのです。

#### 「持続可能なエネルギーシステム」のために ライフスタイルの再考

持続可能なエネルギーシステムという時に、ライフスタイルが一番重要なポイントだと思います。Peter Menzelという人が色々な国へ行っ、家の中の持ち物を全部外へ出して撮った写真があります（Material World 2001）。様々なライフスタイルを直感的にうかがい知れる写真です。アフリカのマリ共和国では大家族で子供が多いが、ほんの少ししかモノを持っていない。でも楽しそうです。一方、日本人はモノをいっぱい持っています。これも楽しそうではありませんが、モノの量の差ほどとは思えません。モノを沢山持つライフスタイルのままでは、恐らく持続可能なエネルギーシステムの実現は難しいのではないかと考えています。

誠に拙い話ですが、以上で終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

（拍手）

[講演]

## バイオマスのエネルギー利用における技術の現状と展開

浅見直人 ( 助エネルギー総合工学研究所 参事 )



### はじめに

バイオマスのエネルギー利用における技術について、その特徴と基本的課題、導入目標とバイオマス量と転換技術、関連する政策的な推移と動向、研究開発と導入普及の現状、さらに新たな導入シナリオとロードマップ、まとめとして今後の技術開発と導入促進という順でお話しさせて頂こうと思います。

### バイオマスエネルギーの特徴と基本的課題

[特徴]

バイオマスとは、再生可能な形で利用できる生物由来の有機物です。バイオマスエネルギーとは、これらを原材料としてエネルギー利用可能な形態に変換した固体・液体・気体燃料及び電力・熱の総称です。バイオマスの原料、それ

の収集・運搬といったものが重要ですが、入手し易さという観点から分類しますと、図1のように廃棄物系、未利用系、資源作物系のバイオマスと分類できると思います。

バイオマスの炭素は、もともと大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を植物が光合成で固定したものであるため、燃焼等でCO<sub>2</sub>が発生しても実質的に大気中のCO<sub>2</sub>を増加させないという「カーボンニュートラル」という考え方は、地球温暖化防止に役立つとともに、その導入促進によって循環社会の形成、戦略的な産業の育成、あるいは農山漁村の活性化に役立つということが期待されています。

[基本的な課題]

バイオマスエネルギーは、太陽光のエネルギーの約0.1%が蓄積されていくと考えられており、その生いたちから、基本的には水分を非常に含有しやすいものです。約80%の水分が入りますと、低位発熱量ゼロという状況になります。また、バイオマスは、多種・多様

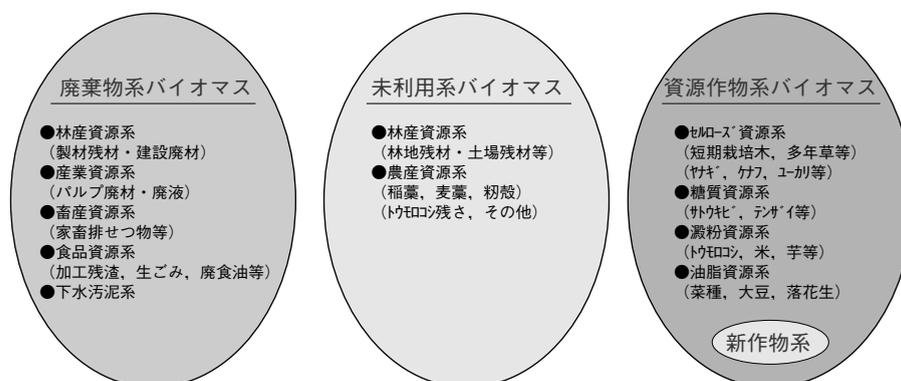


図1 バイオマスエネルギーの定義と種類

## 導入目標とバイオマス量と転換技術

で、発生分布が広く薄い、容積当たりのエネルギー密度も低いため資源の収集・運搬の負担が大きいという傾向があります。利用面では小規模分散型の設備になりがちで、スケールメリットが活かせず、高効率化、低コスト化が難しいという面があります。さらに、気候が比較的温暖な日本では熱利用などの需要供給のマッチングがとりにくいという基本的な課題があります。

そこで、バイオマスの特性を利用して、中小規模ながらも「地産地消型」の利用分野で技術開発、導入促進が図られてきました。ただ、これでは導入が緩慢にしかならないということで、需要が十分にある液体燃料、電力といった「大規模型」あるいは「広域消費型」の利用も促進しようという考え方が出てきました。この2つの柱で、導入あるいは技術開発をすることがこれからの展開になると考えられます。

### [導入目標]

表1が新エネルギーとしての導入目標です。2001年に作成され、2005年2月に見直して、バイオマスについては廃棄物発電とバイオマス発電を統合して586万klにしようということになっています。それから、バイオマスの熱利用としては、308万klを目標にすることになっています。308万klのうち、約50万klがバイオ燃料枠になっています(表1には2005年までの実績値と2010年目標値との比も示している)。

バイオマスの賦存量では、家畜排泄物、食品廃棄物、下水汚泥などが、重量ベースでは非常に多いのですが、高含水率であることからエネルギー的には必ずしも大きくなりません。

表1 新エネルギーの導入目標と実績

	1999/2002/ 2005年実績	2010年目標		2030年想定 (新エネ推進)	目標/実績比			
		2001/6策定	2005/2見直し		2010 1999	2010 2005		
[一次エネルギー原油換算万kl]								
発電分野	太陽光発電	5.3/15.6/35	118	同左	2024	約23倍	約3.4倍	
	風力発電	3.5/18.9/44	134		269	約38倍	約3.0倍	
	廃棄物発電	115/152/*2	552	統合	374	約5倍		
	バイオマス発電	5.4/22.6/252*2	34					586
熱利用分野	太陽熱利用	98/74/*3	439	↘	90	112	約0.9倍	*3
	未利用エネルギー (雪水冷熱を含む)	4.1/4.6*3	58	↘	5	87	約1.2倍	*3
	廃棄物熱利用	4.4/164/*3	14	↗	186		約42倍	*3
	バイオマス熱利用	—/68/142	67	↗	308*1	423	?倍	約2.2倍
	黒液・廃材等	457/471/685*3	494	↔	483	537	約1.1倍	約1.1倍*3
新エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給構成比)		693/992/1158 (1.2/1.7/2.0%)	1910 (約3%)		3946 (約10%)	約2.8倍	約1.65倍	

\*1: 内50万klがバイオフェューエル枠 \*2: 廃棄物発電とバイオマス発電の統合により合算  
\*3: 太陽熱、廃棄物熱、未利用エネルギー・黒液廃材等を含む

(出所: 総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会資料より作成)

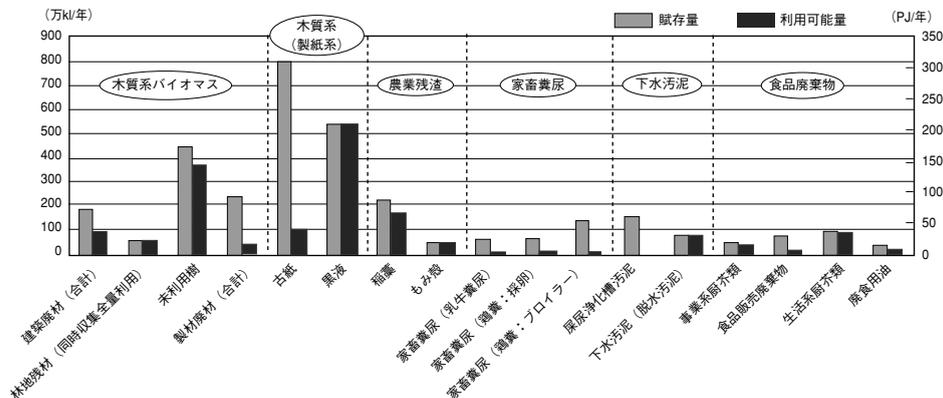


図2 各種バイオマスのエネルギー賦存量

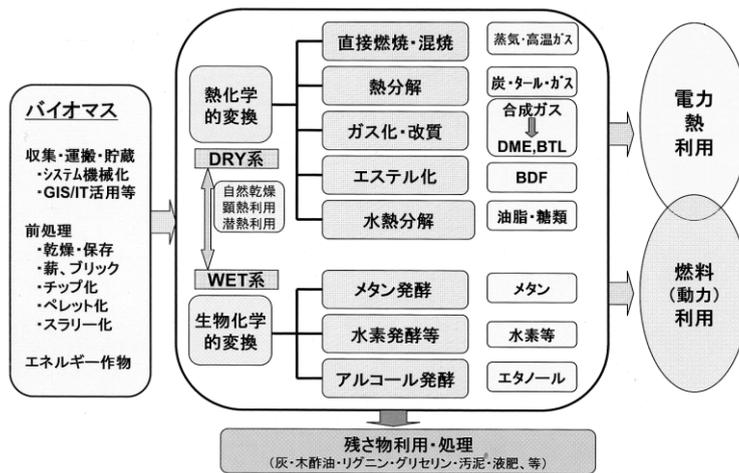


図3 エネルギー転換技術の整理

私どもで「エネルギー賦存量」という格好で整理したのが図2です。各種のバイオマスの賦存量は約3400万tで、このうちマテリアル利用その他を含めて利用可能な量は約半分です。

割合で見ますと、量的には少ないのですが、エネルギー利用可能量として多いのは圧倒的に木質系（約70%）だと言えます。

[エネルギー転換技術]

エネルギー転換技術は、図3のように、大きく熱化学的な変換と生物化学的な変換に分けられます。バイオマスも多種ありますが、ドライ系とウェット系に分けられます。ただ、このウェット系も自然乾燥その他、プロセスの顕熱や潜熱回収利用して効率的な乾燥法を用いればドライ系に移行できます。さらに、最近、乾式メタン発酵、あるいは木質系からエタノールを得るなどの乾燥系の変換が利用できるようにする技術開発が進んでいます。

関連する政策的な推移と動向

[政策・施策の経緯]

2001年にバイオマスエネルギーが「新エネルギー」として位置づけられました。それ以来、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が策定され、

これに呼応して、技術開発として、「バイオマス等未利用エネルギーの実証事業」、「高効率転換技術開発」、「地域システム化実験事業」といった取組みが進められてきました。この辺の基本的な考え方は、「地産地消型」でのバイオマス・エネルギーの利用でした。しかし、2005年2月に京都議定書が発効しますと、こういった緩慢な「地産地消型」の施策だけでは十分な導入達成が難しいということが分かってきました。

一方、欧米で作られたバイオ燃料の積極的な利用を図るという事情もありまして、2006年に新たな「バイオマス・ニッポン戦略」の策定、あるいは「新・国家エネルギー戦略」の策定がなされ、この中で特に運輸部門の石油依存低減に対応して、バイオマス由来燃料の導入促進が打ち出されたわけです。

表2の右欄のグレー部分は、私どもが関与したバイオマスの導入シナリオ、あるいはロードマップに関する研究です。最後は経済産業省の「エネルギー・環境総合戦略調査」ということで、「エネルギー技術戦略2007年」をまとめさせて頂きました。

[エネルギー技術戦略2007]

この「エネルギー技術戦略2007年」の中で、バイオマスは重要なポイントになっていますが、開発導入効果の大きな技術を抜粋したのが図4です。いわゆる糖・澱粉系のアルコール発

表2 バイオマスエネルギー導入に係わる政策・施策の経緯

年・月	政策・施策	年・月	技術開発事業・調査研究
2001.06	総合資源エネルギー調査会・新エネルギー部会 バイオマスエネルギーを新エネとして位置付け		
2002.01	新エネルギー法 政令改正 バイオマス等新エネルギーに追加	FY2001～ NEDO事業	バイオマス等未利用エネルギー実証事業
2002.03	地球温暖化対策推進大綱 新エネルギー導入目標設定	2002.03～ NEDO事業	バイオマスエネルギー-高効率転換技術開発
2002.05	電気事業者による新エネ等の利用の促進に関する特別措置法 (RPS法)	FY2002～ METI事業	新エネルギー事業者支援対策事業
2002.12	「バイオマス・ニッポン総合戦略」策定（6府省）	FY2004～ NEDO事業	バイオマスエネルギー-転換要素技術開発
2004.06	総合資源エネルギー調査会・需給部会・中間報告 2030年導入目標目安（新エネ進展ケース）	2004.06 NEDO事業	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
2005.02	京都議定書発効（COP3は1997年）	FY2005～ NEDO事業	バイオマスエネルギー-地域システム化実験事業
FY2005～	バイオマスタウン取組み	FY2005～ NEDO事業	バイオマスエネルギー-先導技術研究開発事業
2006.03	新たな「バイオマス・ニッポン総合戦略」の策定	2005.08 NEDO事業	バイオマスエネルギー-導入システム及びロードマップ等に 関する調査
2006.05	「新・国家エネルギー戦略」の策定	FY2006～ NEDO事業	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業
2006.10	総合資源エネルギー調査会・新エネルギー部会中間報告	2006.08 NEDO事業	バイオマスエネルギー-導入シナリオ及び総合ロードマップ策定 に関する調査
2007.03	エネルギー基本計画 (エネルギー政策基本法の規定に基づき国会に報告)	2006.09 NEDO事業	アジア諸国の未利用バイオマスの利活用調査
2007.04	技術戦略2007 導入シナリオ、技術マップ、ロードマップ	2007.03 METI事業	エネルギー-環境総合戦略調査（エネルギー分野における技術 戦略マップ策定に関する調査）

エネルギー技術	2010	2015	2020	2025	2030～	
個別技術						
バイオマス 燃料製造	アルコール発酵 (糖・デンプン系)	ETBE導入 21万t/年				
		C5糖のエタノール変換効率向上 低コスト資源作物 ETBE安全性確認 インフラ整備				
	セルロース系の エタノール化 (木質・稲わら等)	糖化プロセス効率化 C5糖のエタノール変換・発酵効率向上 リグニン等バイオプロの有効利用 収集運搬効率化・低コスト化				
		大規模エタノール製造技術 エネルギー回収効率向上 蒸留・脱水工程の省エネ 未利用木質資源の利用				
バイオディーゼル燃料 (BDF)	自己消費型BDF利用		地産地消型BDF利用			
	連続エステル化製造 高品質化・製造コスト削減 グリセリン等バイオプロ有効利用		水素化分解法 低コスト資源作物			
ガス化BTL製造						
	BTL製造技術 バイオマス/廃棄物ガス化技術 FT合成技術		BTL製造効率の向上 低コスト化 効率的廃棄物収集システム			
バイオマス・廃棄物 ガス化発電	実用規模実証					
	ガス化改質・高含水バイオマスのガス化効率向上 熱化学再生ガス化		燃料電池発電システム技術			
バイオマス資源供給	低カロリー対応ガスエンジン技術 集塵・タール処理技術		セメント製造への原料・燃料利用			
	林地残材等の効率的収集技術 列状間伐等による伐採・搬出の効率化・低コスト化		燃料作物生産技術(遠伝子操作・低環境負荷肥料・省水資源)			

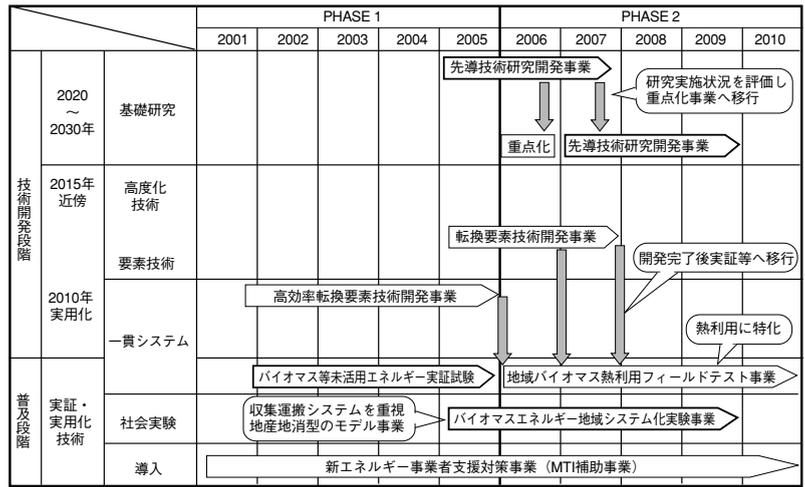
図4 「エネルギー技術戦略2007」

酵、木質などのセルロース系のエタノール化、バイオディーゼル燃料、ガス化とそれをFTプロセスでバイオマス・ツー・リキッド (BTL) にする製造技術、バイオマス廃棄物などのガス化発電などの技術が今後重点化されます。それにも増して自前のバイオマス資源の供給が今後重要なファクターになると思います。

図5が資源エネルギー庁、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の全体事業の実

施状況です。2001年に基本方針に従って高効率転換技術やエネルギー実証事業がスタートしました。その後、先導事業、地域バイオマス熱利用事業といったもので展開されています。

これを研究開発の段階別に整理しますと、基礎研究としては、平成19年度までに先導技術開発研究が約30件、研究開発としては高効率転換技術開発が11件、転換要素技術開発が30件、実証研究で未活用エネルギーの実証試



(出所：NEDO資料を基に作成)

図5 バイオマスエネルギー関連の全体事業計画

験事業が38件、熱利用フィールドテスト事業が24件、そして地域システム化実験事業が7件推進されています。

これを技術分野ごとに、先導技術から技術開発、実証開発で整理してみますと、基礎研究段階が約30件、研究開発段階が51件、実証研究が68件と、全体で約150件程度のテーマが採用されています。直接燃焼、メタン発酵、あるいは混焼技術は従来技術を用いて導入促進を図る。それから、バイオマス由来の液体燃料関係はさらに実証研究を経て実用化にもっていく。中間的な位置にあるのが熱分解ガス化・水熱技術ということになると思います。

[高効率転換技術開発]

●木質バイオマスのガス化発電システム

少し具体的に高効率転換技術開発事例についてお話しいたします。図6に示した採択11件のテーマの中に、木質バイオマスのガス化発電システムがあります。これは図7のように、木質チップを低温加圧流動層炉でガス化し、出てきたタールを含む可燃性ガスを燃焼器に通してガスタービンで発電を行います。熱は再利用を考え、電力と熱をコージェネとして考えるシステムです。既に技術開発が終わり、現在は高知県で地域システム化実験事業ということでトータルシステムとしての実用化を目指した研究が進められています。

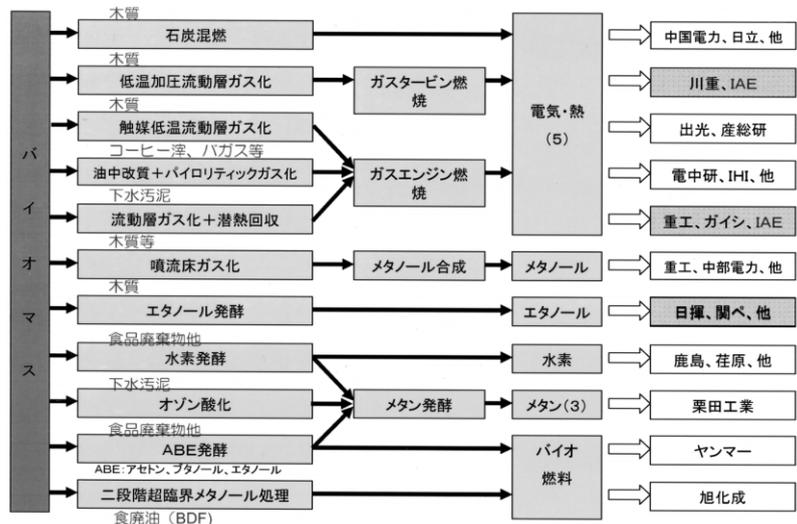


図6 バイオマスエネルギー高効率転換技術開発

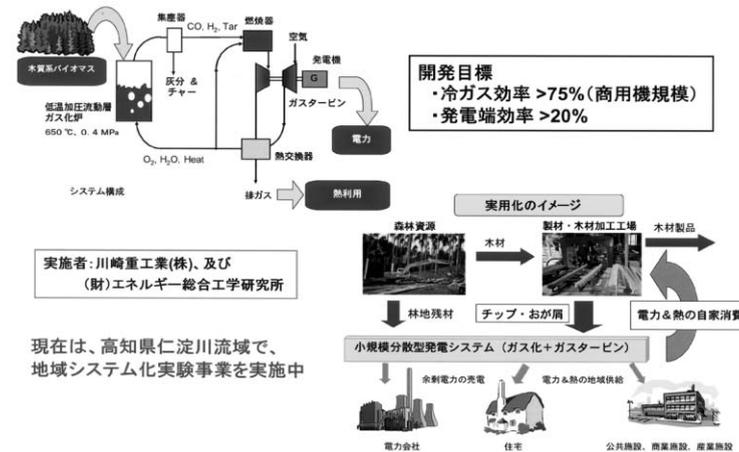


図7 木質ガス化発電システムの概念

●下水汚泥のガス化開発

下水汚泥を含水率75%くらいまで機械的な脱水を行います。これを用いてガス化流動層炉でガス化して精製をしてガスエンジンを回すシステムで、この重要なところは、全体の顕熱回収、及び潜熱回収をしてエネルギーセービングを行うところです。それによって、現在、約300トン規模の下水汚泥の燃焼発電では所内用電力の自給率が35%程度ですが、この技術を用いますと汚泥処理場全部をほぼ賄える見通しです。現在、東京都がこのガス化技術の導入を前向きに検討しています。

た自動車用燃料事業が立ち上げられ、年産3万klの生産が2009年初頭に開始される予定です。

●下水汚泥の火力混焼技術

脱水後の含水率75%程度の下水汚泥を高せん断力ニーダーを用いてスラリー化し、石炭と混焼する。25万kWの発電所で石炭に4%混ぜると、下水汚泥処理と同時に発電ができるというシステムです。これが開発されれば直ちにPFBC（加圧流動床複合発電）で発電が可能になります。

●セルロース系バイオエタノール発酵システム

廃木材などを細かくし、濃硫酸で処理して糖化する。そしてエタノール発酵を行うというシステム（「NEDO法」）です。このシステムが評価され、2006年6月に米国で廃木材を原料とし

【バイオマス地域システム化実験事業】

表3は地域システム化実験事業のリストです。この事業の特色は、バイオマスの収集・運搬から最後の残渣部分をいかに利用、あるいは処理するかというトータルシステムの開発にあります。もう1つの特徴は、例えば林

表3 バイオマス地域システム化実験事業（2005～2009年）

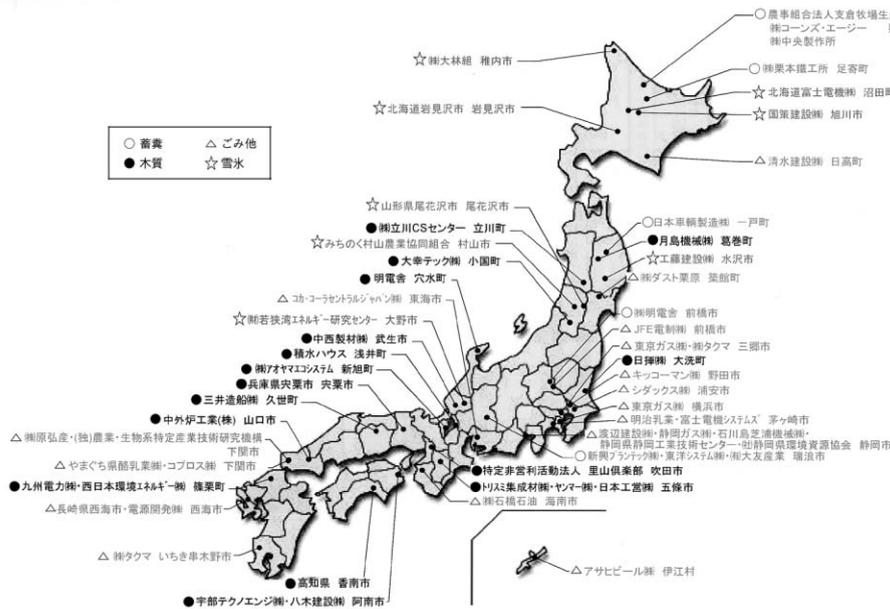
件名	受託業者	事業内容
山口県全域を大正とした「総合的複合型森林バイオマスエネルギー地産地消社会システムの構築」実証・試験事業	山口県	間伐材などを対象とした低コスト収集運搬システムとペレット化による活用・ガス化発電による利用・石炭火力発電所における混焼の3つの利用形態からなるシステム
草木系バイオマスのエネルギー活用システム実験事業	熊本県阿蘇市	傾斜地に自生する未利用の草木系バイオマス（主にススキ）を対象にした新規の採草・運搬システムとガス化ガスエンジンコージェネレーションシステムからなるシステム
「ウエルネスタウン最上」木質バイオマスエネルギー地域冷暖房システム実験事業	山形県最上町	森林GISを活用した最適な間伐・集運材システム、カスケード利用による効率的な収集運搬システムと生チップボイラーによる温水供給システムからなるシステム
高知県仁淀川流域エネルギー自給システムの構築	高知県仁淀川町	林地残材等を対象とし、規模に応じた適正な手法による収集運搬システムとガス化ガスタービンコージェネレーションシステム、ペレット利用システムからなるシステム
食品廃棄物エタノール化リサイクルシステム実験事業	新日本製鐵(株)	食品廃棄物を対象に低コスト分別収集システム、ICタグを利用した分別収集システムと糖化・エタノール発酵による無水エタノール製造システムからなるシステム
先進型高効率乾式メタン発酵システム実験事業	穂高広域施設組合	家庭系ごみ・事業系ごみ・剪定枝を対象にした効率的収集・サンプリングシステムとメタン発酵ガスエンジンコージェネレーションシステムからなるシステム
真庭市木質バイオマス活用地域エネルギー循環システム化実験事業	岡山県真庭市	林地残材等を対象とした低コスト搬出・加工システム、乾燥機能を有する輸送・保管システム、温水ボイラー・蒸気ボイラーによる熱供給システムからなるシステム

（出所：NEDOホームページ）

地残材、間伐材など、今まであまり動いていない材料を50%程度利用できることで、山林の動き方をウォッチしようというプロジェクトで、全国で7件が進展中です。

【バイオマス等未活用エネルギー実証研究】

図8は未活用エネルギーの実証研究の全国分布を示しています。畜糞、木質、ごみ、その他のプロジェクトが進行中です。

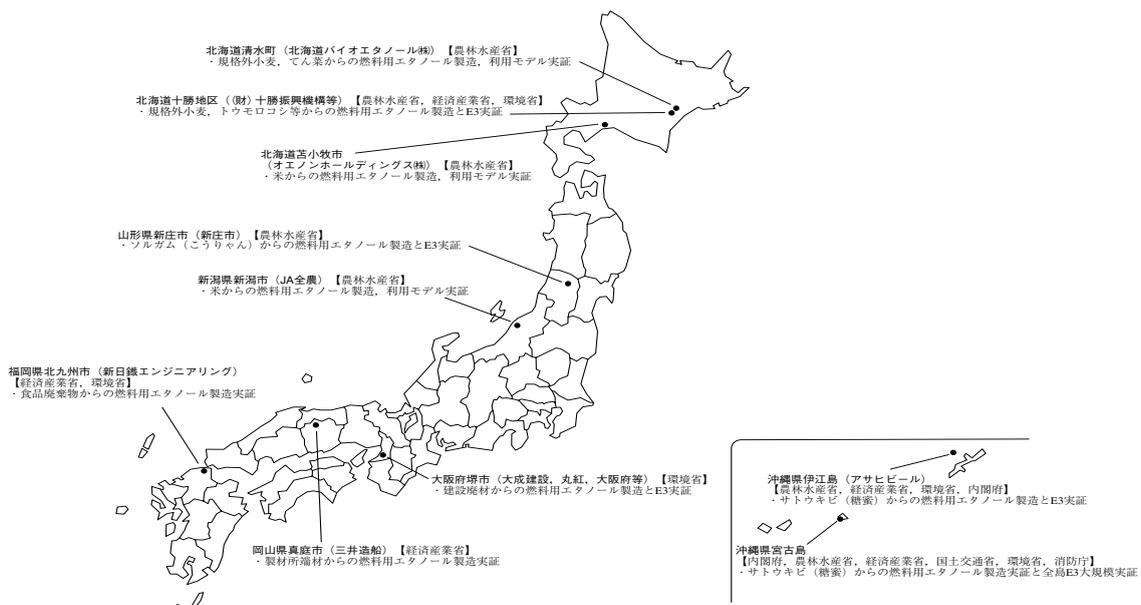


(出所：NEDOパンフレット「バイオマス等未活用エネルギー実証試験」(2007)より作成)

図8 バイオマス等未活用エネルギー実証研究の研究設備分布

【国内のバイオエタノール燃料実証事業】

図9は、バイオエタノール燃料に関する実証事業の取組み状況です。全国で10件の実証事業が進んでいます。これは経産省だけでなく、農水、あるいは環境省等関係省庁の協力事業としてスタートしています。その1つが沖縄県のバイオエタノール混合ガソリン実証試験です。従来のサトウキビの3倍ぐらいの収率をもったサトウキビを新手法で開発し、



(出所：総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料(2007年8月)を基に作成)

図9 国内のバイオエタノール燃料実証事業の取組状況

そこからより多くの糖蜜を作ってエタノール化する事業です。これは1.1kl/年と非常に小規模ですが、将来、こういった技術がより拡大していくことが期待されます。

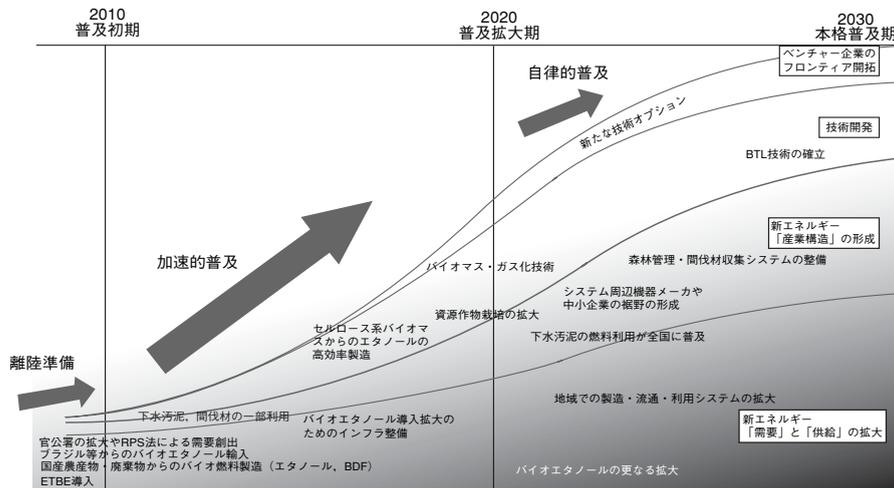
頃に国産エタノールを導入し始めようとしていることです。ガス化技術やそれを使ったBTL製造も徐々に導入していくという考え方です。

### 新たな導入シナリオとロードマップ

2001年からスタートしたバイオマス研究も図10に示すように、2010年離陸準備と位置づけています。2010年～2020年を加速的普及段階、2020年以降が事実的普及段階になっています。この中で注目して頂きたいのは、セルロース系からのエタノールの高効率製造技術で、2015年

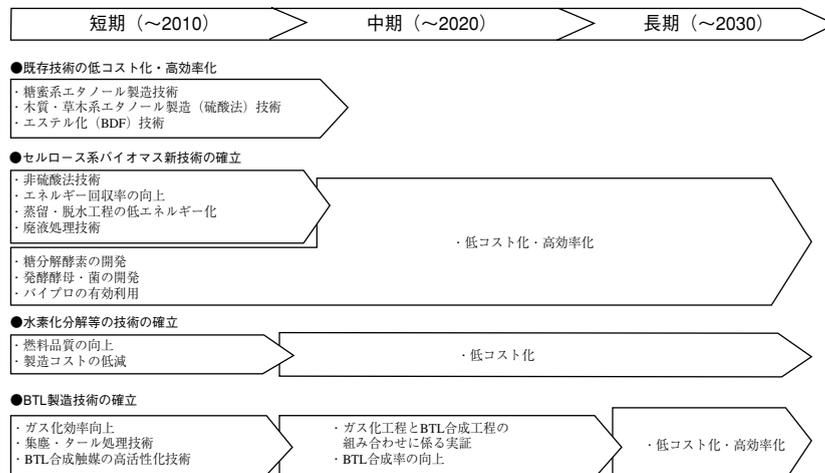
### [導入シナリオ]

木質・草木系バイオマス、食品廃棄物、下水汚泥、家畜ふん尿、油脂類について、バイオマスエネルギー転換・利用技術の導入シナリオを作りました。その中で、バイオマス由来液体燃料の導入シナリオに注目して取りまとめたのが図11です。糖蜜系などの低コスト加工、効率化。セルロース系のバイオマスの新技術の確立、それからBDF（バイオディーゼル燃料）等の水素化分解等の技術確立、それからガス化・BTLの技術と整理できます。



(出所：総合資源エネルギー調査会総合部会（第4回）配付資料を基に作成)

図10 新エネルギー等導入拡大のイメージ（バイオマスエネルギーの例）



(出所：NEDO)

図11 バイオマス由来液体燃料の導入シナリオ

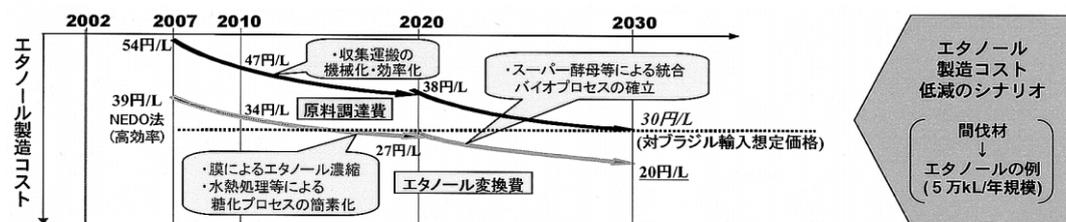


図12 国産バイオエタノール製造技術のロードマップ

[ロードマップ]

具体例として、バイオエタノールの製造技術のロードマップを図12に示します。2030年に向けたバイオマス戦略としては、国際賦存量の豊富な木質等からの付加価値の高いエネルギー利用拡大を図るために、セルロース系のバイオマスからのエタノールを重点化するという方針が打ち出されています。現在、国産バイオエタノールの価格は、試算しますと54円/ℓ程度です。2030年までにブラジルからの輸入想定価格（30円/ℓ）と同じにすることを目標にしています。下に書いてある20円/ℓとの差がバイオマス原料による部分で、3分の1ぐらいが原料価格の反映ということになります。現在、国産バイオエタノール製造技術の分野で、高効率転換技術開発（日揮：木質—エタノール製造技術）、転換要素技術開発（日本ガイシ：バイオエタノール濃縮技術他）、先導技術研究開発（神戸大：統合バイオプロセス技術他）、地域システム化実験（山口県：木質の低コスト収集・運搬システムの構築他）などが進展中です。今後、さらに関連研究開発が進められると思います。

表4 今後の展開のまとめ

- ①バイオマスエネルギー導入の促進：地産地消型十広域利用型  
バイオマス由来液体燃料の導入促進（輸入⇒国産化）
- ②バイオマス原材料：廃棄物系⇒未利用系、資源作物系へ  
林地残材、列状間伐、エネルギー作物、短期収穫植物
- ③エネルギー変換技術：プロセスの高効率化・低コスト化  
セルロース系バイオマスからのエタノール製造技術  
ガス化電力・熱コジェネ利用技術
- ④実証段階から普及段階にある技術の導入支援  
直接燃焼、混焼、メタン発酵、固形燃料等  
各種規制・制度の見直し、ベンチャー企業の革新技術活用
- ⑤アジア諸国・ブラジル等での開発と輸入可能性検討  
バイオマス由来液体燃料、CDM

なります。木材については、1960年代の生産量を維持していれば自給率40%は確保できたはずですが、1965年には70%以上の自給率であったものがこれだけ縮小されています。この食糧とか木材、まさにバイオマスで、これが低いということは、わが国がいかにバイオマス資源も海外に依存しているかということを示しています。今後、わが国独自の資源の確保が重要になると思いますが、そのためには農林政策の抜本的な改革やエネルギー行政の見直しが重要と思われます。

さらに、パラダイムシフトという考え方。社会的なレベルでは経済効率優先社会からエネルギー・環境重視社会へと。これは既に始まっている部分もありますが、もう少し推進しなければいけないと思います。それから個人レベルで考えますと、日本人本来の美德であった「もったいない」という考え方、それから手間暇を惜しまない、こういった生活の考え方へシフトしていくことが重要と思います。このシフトが行われれば、省エネも進みますし、バイオマスのエネルギー利用も進展すると私は思っています。

ご静聴ありがとうございました。（拍手）

今後の展開

今後の展開について表4にまとめました。5つの項目について展開があるものと思われます。

最後に、自給率の話で終わりにしたいと思います。わが国のエネルギー自給率は、20%といわれていますが、原子力を除くと4%程度です。食糧自給率は、カロリーベースで40%です。個別の自給率では、植物油2%、豆類7%、澱粉10%、砂糖34%、木材20%と

[講演]

## バイオマス資源の発電利用—現状と電源開発の取組み—

田澤 浩一 (電源開発(株) 取締役)



### はじめに

電源開発 (JPOWER) は、石炭火力を多く持っているということもあり、石炭利用と地球環境問題の両立が社会的責任を果たしていくための重要課題と認識しており、その観点から、バイオマス資源の発電利用の取組みを行なっています。

また、日本では「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)が制定され、2003年4月から制度が施行され

たこともバイオマス資源を利用する発電事業の追い風となっています。この制度は、エネルギーの安定化かつ適切な供給を確保及び新エネルギー等の普及を目的に、電気事業者に対し、毎年販売電力の一定割合について、新エネルギー等から発電される電気(新エネルギー等電気)の利用を義務づけた制度です。ここでいう新エネルギーとは、風力、太陽光、地熱、中小水力、バイオマスが含まれています。

図1は、バイオマスの種類、分類ですが、当社は、主に廃棄物系バイオマスを用いた発電事業に取り組んでいます。

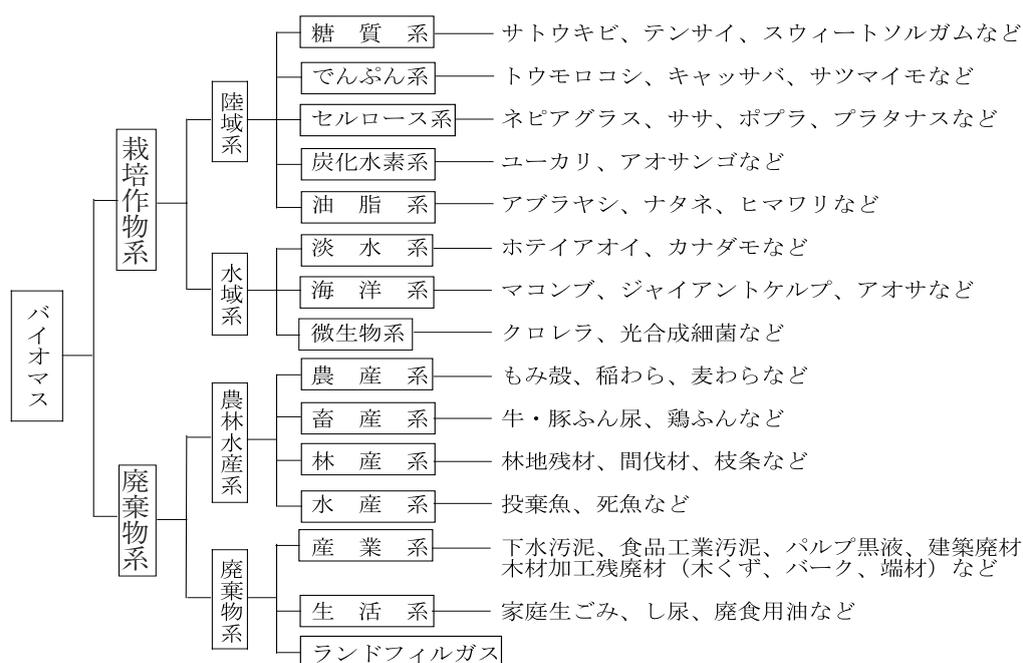
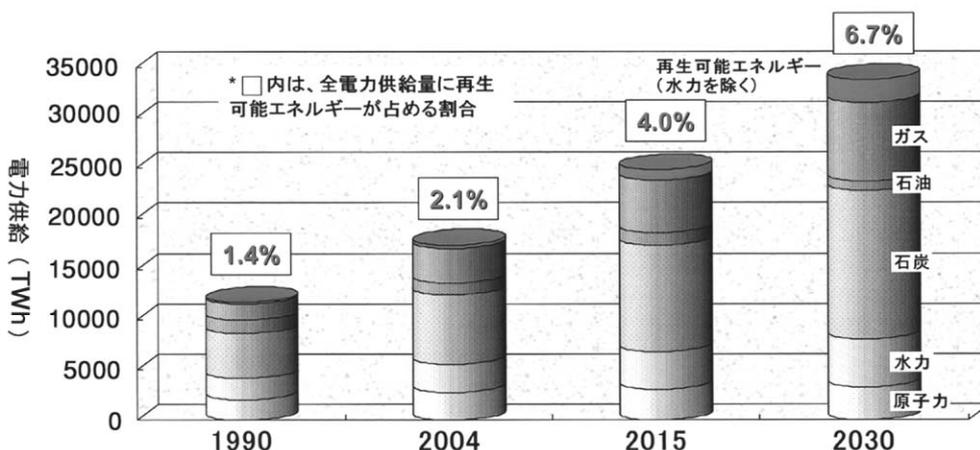


図1 バイオマス資源の分類

## 世界のバイオマス発電

### 増えていくバイオマス発電

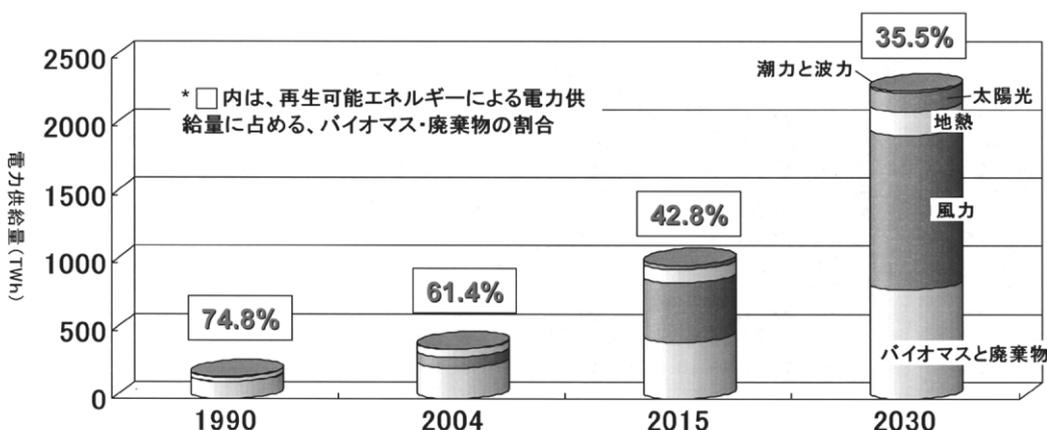
図2は、世界の電力供給見通しです。バイオマスを含む再生可能エネルギーが全体に占める割合は、今後増えていくという見通しになっています。単位はテラワットアワー (TWh) です。ちなみに、日本全体の発電量は1,000TWh (1兆kWh) 弱です。



※「標準シナリオ」とは、国際エネルギー機関 (IEA) の予測シナリオの1つ。2006年中頃までに制定された各国の政策等に基づいて将来を予測している。

(出所：World Energy Outlook 2006, IEA)

図2 世界の電力供給量 (標準シナリオ)



(出所：World Energy Outlook 2006, IEA)

図3 再生可能エネルギーによる電力供給量 (標準シナリオ)

図3は、再生可能エネルギーの内訳です。風力の伸びが突出していますが、バイオマス、廃棄物もかなり伸びると予想されています。グラフ内の数値は、再生可能エネルギーの中のバイオマスと廃棄物の割合です。

### 国別では日本が世界第2位

図4は、国別のバイオマス発電の割合です。世界全体の発電量227TWhは日本の全発電量の約25%に相当します。国別で見ると、日本はアメリカに次いで世界第2位となります。EU

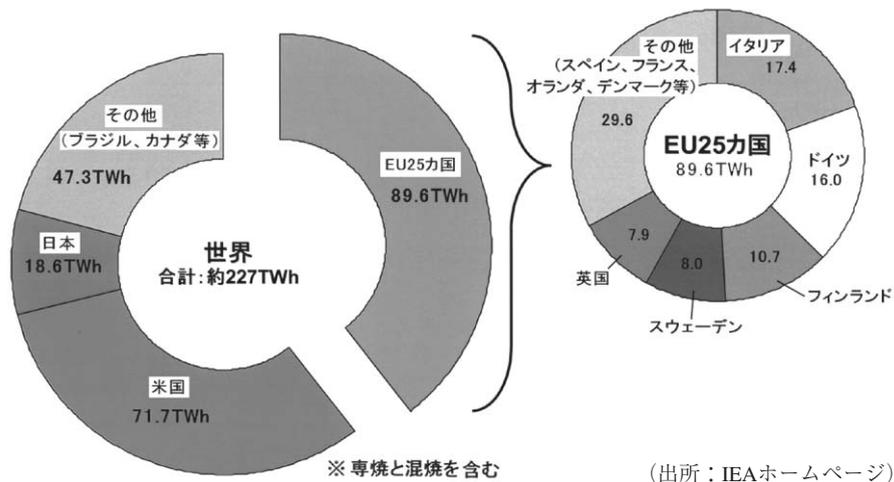


図4 各国のバイオマス発電 (2004年)

(欧州連合) の中ではイタリア, ドイツ, フィンランド, スウェーデン, 英国の発電量がかなり多いです。

③ 京都メカニズムのクリーン開発メカニズム (CDM), 共同実施 (JI) 等のプロジェクトの実施

④ CCS (CO<sub>2</sub>の分離回収・貯留)

電源開発のバイオマス発電への取組み

石炭火力におけるCO<sub>2</sub>削減策として

石炭火力におけるCO<sub>2</sub>削減方策として考えられるものとして, 以下が上げられます。

- ① 石炭火力そのものの高効率化 (石炭ガス化, 蒸気条件を上げるUSC等)
- ② バイオマスを混焼させる方法

図5は, それぞれの方法のCO<sub>2</sub>削減効果です。石炭専焼で発電出力100万kW, 発電効率40%, 年間稼働率80%とすると, CO<sub>2</sub>が年間450万トン発生することになります。これをベースケースとします。仮にカロリーで1%だけバイオマス混焼にすると, CO<sub>2</sub>排出量は4.5万トンほど減って440万トンになります。発電効率を2%程度改善させると, 排出量は425万トンに減ります。CCSが完全導入されれば, 排出量はかなり減って45万トンになると考えられます。

ケース	ベースケース	バイオマス混焼	高効率化	CCS導入
	1,000MW; 発電端効率(高位)40%	混焼率:1cal%	熱効率:42%	CO <sub>2</sub> 回収率:90%
排出量	約450万t-CO <sub>2</sub>	約440万t-CO <sub>2</sub>	約425万t-CO <sub>2</sub>	約45万t-CO <sub>2</sub>
年間CO <sub>2</sub> 削減量	-	約4.5万t-CO <sub>2</sub> (-1%)	約21万t-CO <sub>2</sub> (-5%)	約405万t-CO <sub>2</sub> (-90%)
技術成熟度	-	成熟	成熟	開発中
初期投資コスト	-	低	中	高(?)

図5 石炭火力におけるCO<sub>2</sub>削減策の効果

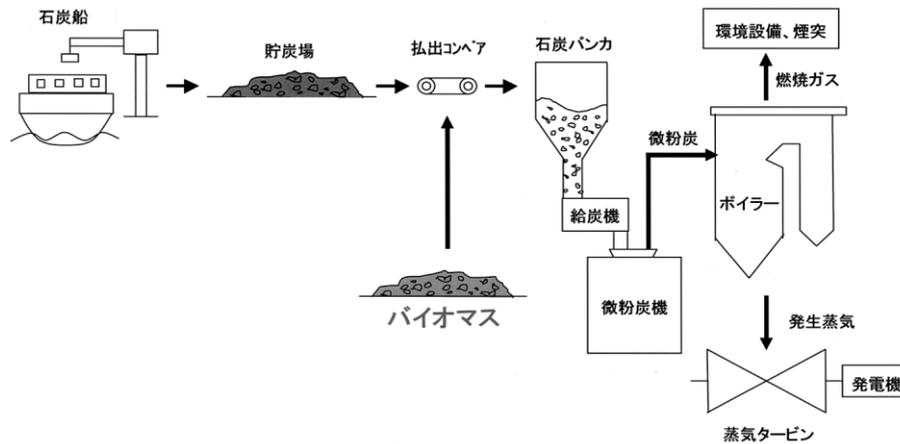


図6 石炭火力におけるバイオマス混焼による発電方法のフロー図

しかし、技術の成熟度、初期投資コストを合わせて考える必要があります。バイオマスの混焼は、実用レベルにあり、成熟した技術と言えます。高効率化もある一定の技術については成熟しています。CCSについてはまだ開発中です。

図6は混焼による発電のフロー図です。バイオマス燃料を混焼するに当たっての確認項目ですが、貯蔵性、ハンドリング性、微粉炭機での粉碎性、燃焼性、環境特性、あるいは調達の可能性、調達のコストなどがあります。混焼のメリットとしては、バイオマス専焼発電の設備と比べ、既存の発電所の設備が使えるため新たに付加する設備が少なくなり、経済的であるほか、大規模発電設備を活用する

ため発電効率も高く維持されます。

### 日本におけるバイオマス混焼発電

表1は、日本におけるバイオマス混焼発電の実施状況です。四国電力、北陸電力、中国電力とも木質バイオ燃料を使用しています。関西電力は北米から輸入した木質ペレットの利用を計画しているということで、量はかなり多いと考えられます。中部電力も年間40万トン程度を焚くということですから、量は非常に多いと思います。その他に使用されるバイオマス燃料としては、東京電力の下水汚泥があります。これは炭化燃料にして使うと考えられます。

表1 日本におけるバイオマス混焼発電の実施状況

実施企業	バイオマス燃料	実施内容
四国電力	木質	2003年に西条1・2号機で実機実証。 2005年7月より本格運用中。
北陸電力	木質	2004年に敦賀2号機で実機実証。 2007年7月より本格運用中。
中国電力	木質	2004年～2006年に下関1号機で実機実証。 2006年から新小野田発電所で実機実証試験中。 2007年度より本格運用開始予定。
関西電力	木質	北米から輸入した木質ペレットの利用を計画。 2007年度に実機実証し、2008年度より本格運用開始予定。
中部電力	木質	碧南火力にて年間約40万トンの木質バイオマス混焼予定。 2009年度より本格運用開始予定。
	下水汚泥	愛知県と共同で下水汚泥燃料化の調査に着手。 2007年度に碧南火力にて実機実証予定。
東京電力	下水汚泥	2005年にバイオ燃料株式会社を設立。 下水汚泥を炭化燃料に加工し、販売する事業に着手。 2007年10月より本格運用開始予定。
電源開発	木質	2004年に実機実証。2008年4月から長期実機実証予定。 2009年から本格運用開始予定。
	下水汚泥	2006年4月より松浦火力にて本格運用中。

表2 電源開発によるバイオマス混焼発電の実施状況

実施箇所	バイオマス燃料	実施状況	期 間
松浦火力発電所 (長崎県)	バイオソリッド (混焼)	本格運用中	実証試験：2003年8月から1年間 本格運用開始：2006年4月
	木質バイオマス (混焼)	実機実証試験済	実機実証：2004年6月～2004年11月 長期実機実証：2008年4月～ 本格運用開始予定：2009年～
松島火力発電所 (長崎県)	一般廃棄物炭化燃料 (燃料製造のみ)	実機実証試験中	2005年4月～2009年3月
大牟田RDF* (福岡県)	ごみ固化燃料 (RDF) (専焼)	本格運用中	運転開始：2002年12月
ロイエット もみ殻火力発電所 (タイ)	もみ殻 (専焼)	本格運用中	運転開始：2003年5月
ヤラ・バイオマス発電所 (タイ)	ゴム木廃材 (専焼)	本格運用中	運転開始：2006年9月

\*RDFはRefuse Derived Fuelの略

電源開発の取組み事例

当社は、表2に示すように、木質と下水汚泥を燃料とする発電関連プロジェクトを推進しています。木質については、長崎県の松浦火力発電所（100万kW 2基の石炭火力）で受け入れ設備を建設中で、間もなく本格運用になります。下水汚泥については、それを加工して作ったバイオソリッドを燃料に、松浦火力発電所で既に混焼しています。

長崎県の松島火力発電所では、一般廃棄物をバイオマス燃料として石炭火力で使うために、それを炭化する設備の実証試験を行なっています。その他、福岡県大牟田市でゴミの固型化燃料（RDF）を専焼するプロジェクトに参画して

います。海外では、タイで籾殻、バイオマス、ゴムの廃材を使った発電を行なっています。

松浦火力で燃料にしているバイオソリッドは、下水汚泥、廃食用油を混合し、100℃程度で減圧加熱して水分を除去して作ります。これによって、表3に示す性状の燃料ができていくのです。例えば石炭だと、水分が6%程度、灰分は半分ぐらいですから、性状的には石炭にやや似ています。図7がバイオソリッド

表3 バイオソリッド燃料の性状（実績値平均）

発熱量（高位）	23,100kJ/kg
水分	2%
灰分	21%
全硫黄	1.0%
全窒素	3.8%

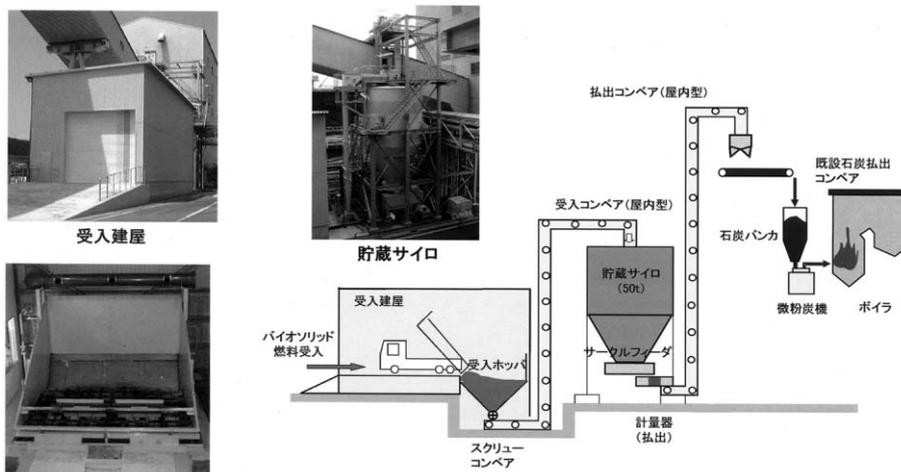


図7 バイオソリッド燃料運用設備とフロー図

表4 バイオソリッド混焼の運用状況

実施箇所	松浦火力発電所（長崎県）
本格運用開始	2006年4月
混焼率（2006年度実績）	平均0.04%
2006年度 バイオソリッド燃料使用量	約1,800トン
2006年度 RPS創出値	約4,400MWh
年間CO2削減効果	約4000t-CO2
備考	排ガス・排水に混焼による影響は無く、破砕性・燃焼性・ハンドリング性等にも問題は無い。

ド燃料を運用する設備の外観と運用のフロー図です。表4は、松浦火力でのバイオソリッド混焼の運用状況です。

また、表5は大牟田リサイクル発電所でのRDF発電の運用状況です。RDFの燃料はプラスチック等も含むすべてのゴミですから、RPS制度の対象となるバイオマスの比率は56%程度で、RPS創出値もそれに応じたものになります。

表5 RDF発電の運用状況

実施箇所	大牟田リサイクル発電所
運転開始	2002年12月
発電出力	20.6MW
燃料	RDF専焼
2006年度 RDF燃料使用量	約8,500t
2006年度 発電電力量	約137,000MWh
2006年度 RPS創出値 （バイオマス比率）	約56,000MWh （56.5%）

図8は、一般廃棄物の炭化燃料の製造試験（ロータリーキルン炉を用いて炭化）の概要です。試験は石炭専焼火力の松島火力発電所（50万kW×2）構内で行われています。

できた炭化燃料は、約1cmの筒状で匂いもまったくありません。発熱量は4,000kcal/kg弱（1万6,000kJ程度）。水分は調整できますが、5～6%です。

木質バイオマスを発電所で焚く場合の形状は、図9右上の写真に示すように、約5cmの木屑です。焚く場合の検証項目として、貯蔵、

- 目的: 廃棄物系バイオマス資源を炭化し、火力発電所用燃料としての利用可能性を検証すること。また、最適な炭化物製造技術の確立を図ること。
- 試験実施箇所: 松島火力発電所
- 試験期間: 2005年度～2008年度
- 主な検討項目及び評価:
  - プラント信頼性
  - 炭化燃料性状
 } 良好

\*本試験は西海市と電源開発が共同でNEDOの公募事業に応募し採択されたもの。

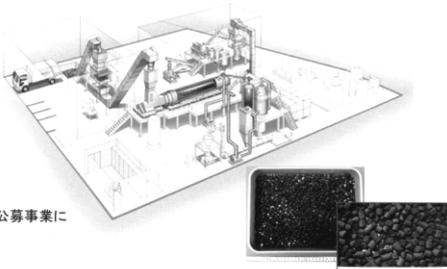


図8 一般廃棄物炭化燃料の試験概要

- 目的: 木質バイオマスが微粉炭機やボイラ等にも与える影響、ならびに排ガス等の環境特性を評価・確認する事
- 試験実施プラント: 松浦発電所2号機
- 試験期間: 2004年6月～2004年11月
- 燃料: 伐採材、建設発生廃材
- 主な検討項目及び評価:
  - 貯蔵・ハンドリング性
  - 微粉炭機粉砕性
  - 燃焼特性
  - 環境特性
 } 石炭と同等

\*本試験研究は、RITEの京都議定書目標達成産業技術開発事業一環として実施。



図9 木質バイオマス試験の概要

ハンドリング性、微粉炭機での粉碎性、燃焼特性、環境特性があります。木質チップは、大きさ、形状が微粉炭機の粉碎性に若干の影響を与えていまして、これが混焼率の制限になっており、現在のところ約5cmの木質チップでは、発熱量比で1%程度の混焼率が上限と考えられます。

[タイでのバイオマス発電事業]

タイにおけるIPPバイオマス発電事業の概要を図10に示します。もみ殻専焼発電所（ロイ

エッタ市）とゴム木廃材を利用した発電所（ヤラ市）があります。ゴム木廃材利用発電の諸元は、各項目とももみ殻専焼発電所の2倍程度になります。

図11がロイエット発電事業の紹介です。図12がヤラの発電所です。プロジェクトの最初から参画している「グリーンフィールドプロジェクト」です。ただし、タイのEGATの関連会社EGCOとの共同出資で作ったIPP発電事業です。使用機器は日本メーカー製です。

	ロイエットもみ殻火力発電所	ヤラ・バイオマス発電所
地点	タイ国ロイエット県ロイエット市	タイ国ヤラ県ヤラ市
燃料	もみ殻専焼 年間約76,000トン	ゴム木廃材 年間約200,000トン
発電出力	9.95MW	20MW
年間CO2削減効果	約30,000t-CO <sub>2</sub>	約60,000t-CO <sub>2</sub>
出資比率	電源開発：25%	電源開発：48%
運転開始	2003年5月	2006年11月



図10 電源開発によるタイでのバイオマス発電事業

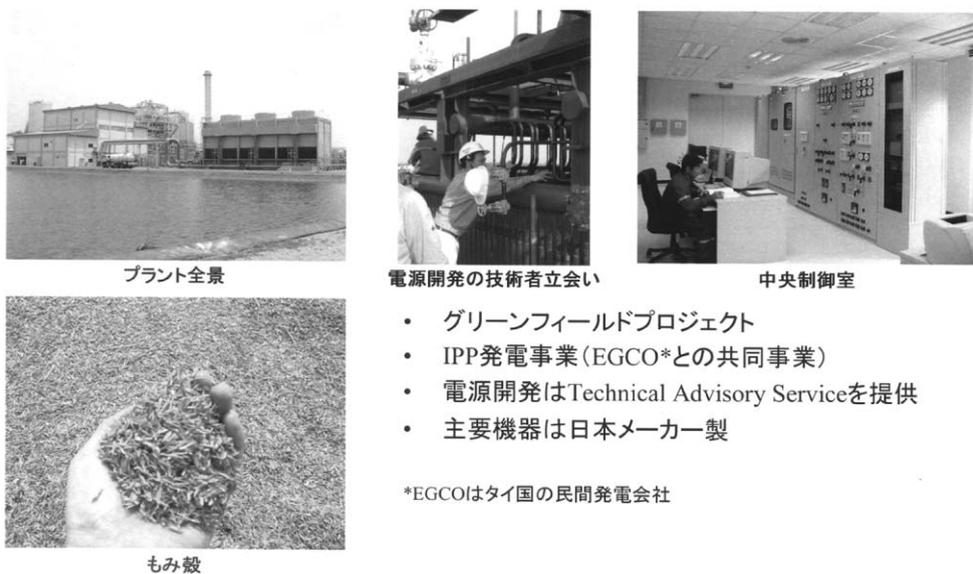


図11 ロイエット発電所の概要



プラント全景①



プラント全景②

- グリーンフィールドプロジェクト
- IPP発電事業(EGCOとの共同事業)
- 電源開発はTechnical Advisory Serviceの契約を結んでいない。
- 主要機器は日本メーカー製

図12 ヤラ発電所の概要

---

### まとめ

---

バイオマス資源は再生可能エネルギーで、カーボンニュートラルという燃料です。色々な利用法があると思いますが、発電用の燃料としての利用は有効な地球温暖化対策の1つであると考えています。

バイオマスを燃料とする発電量は世界的に

増加傾向にあり、日本においても電力業界、あるいはその他の企業においてもバイオマス混焼の本格運用が進められています。

我々が進めている既存の石炭火力を利用したバイオマス混焼は、既存設備の性能にも影響を与えません。したがって、この手法はCO<sub>2</sub>削減、あるいはRPSの創出を考えた場合、非常に合理的な手法ではないかと考えています。

ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

## 世界のバイオエタノールビジネスの動向と商社の取組み

鳥越 浩明 (丸紅(株) 生活・環境機械部 部長代理)



### はじめに

私の講演は、商社の機械部門の人間として、現場の動きを中心に、世界のバイオエタノールの動向、エタノール生産技術、国内におけるビジネスモデル、海外におけるビジネスモデル、そして、今後のビジネス展開の順に説明させていただきます。

### 世界のバイオエタノールの動向

#### 注目を集めるバイオエタノール

エタノールの用途として、従来の飲料用と工業用に加え、最近では燃料用（バイオエタノール）が注目されてきています。その原料は、食糧系のサトウキビ、タピオカ、トウモロコシ、小麦などであるため、食糧と競合してし

まいます。そこで、我々が取り組んでいますのは、人間が食べられないバガス（サトウキビのかす）や廃木材などの木質系を原料にしたエタノール生産です。取組み始めて10年ぐらいいなります。

#### バイオエタノールの特徴

第一に、世界で実証・導入されているバイオエタノールはブラジル、アメリカで十分に使用されており実用性が確認されています。次に、その他の新エネルギーに比べて導入が容易です。従来の自動車を大きく改造する必要はありませんし、給油所などの既設インフラの利用も可能です。そして、ガソリンなど化石燃料を代替することで二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）削減が可能な環境に優しい燃料でもあります。

#### 世界のエタノールの需要

全世界の需要量は、約6,000万klとされています。図1に示すように、用途では人口に

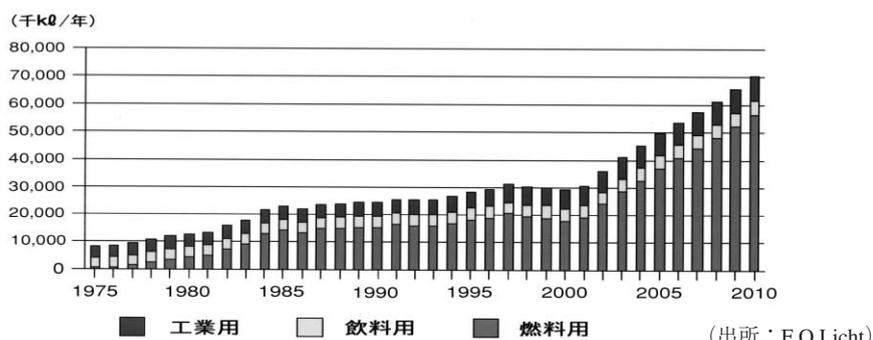


図1 世界のエタノールの需要（用途別）

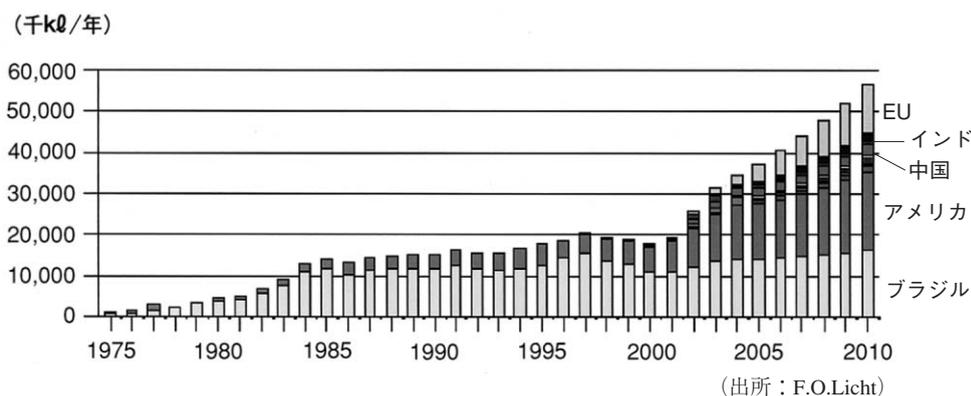


図2 世界のエタノールの需要（国別）

比例する飲料用，工業用がそれほど伸びていない中で，燃料用が80年代から増えてきて，最近ではブラジル，アメリカ，ヨーロッパ，アジアへと燃料用が広がり，飛躍的に伸びてきています。

国別では，ブラジルが70年，特に80年代になって，国の支援を背景に非常に伸びてきています。ブラジルではエタノールを平均22%以上ガソリンに入れて使われています。アメリカがその後を追いかけてきていまして，最近では量的ではブラジルを抜く勢いになっています。ヨーロッパはディーゼル車が多いのでバイオディーゼル燃料が多かったのですが，バイオエタノールの導入でも動きが出てきています。アジアでは，それほど車は走っていないのですが，エタノール燃料政策をとる国が徐々に増えてきていて，全体的に量が増えてきています。

#### 各国の現行政策

基本的にバイオ燃料というのは化石燃料系に比べて手間がかかりますので値段が高くなります。ということで，国の色々な施策がないと普及しないのが現状です。そこで，バイオ系の燃料について，国が色々と法制化をしています。

#### [ブラジル]

ブラジルは1970年代の石油危機を契機に，化石燃料の依存から脱却するという事でバイオエタノールを導入しています。エタノールは22%以上をガソリンに混入することが義務づけ

られています。現在は年間1,600万klですが，2,000万klぐらいいまわっているとされています。ブラジルでは，サトウキビが原料ですから，サトウキビ畑の中に工場がポツンとあって蒸気を吹き出しながらエタノールを作っているという光景をあちこちで見かけます。

#### [アメリカ]

アメリカは，80年代頃から地球環境保護，化石燃料依存からの脱却ということで，平均するとE10（10%エタノール）を中心に，トウモロコシからエタノールを作ってきています。年間約2,400万klとされていて，急激に伸びてきています。

#### [日本]

日本は2002年に環境省が地球温暖化対策としてバイオエタノールの導入を決定し，2003年8月には「揮発油等の品質の確保等に関する法律」（品確法）の改正で，ガソリンにエタノールを3%まで混合してもよいことになりました。ただ，日本は，ブラジルやアメリカと違って，農産国ではありませんから，原料は輸入していくか，木質系を有効利用していくことを考えるべきだと思っています。

#### [タイ]

タイは，E10普及のために揮発油税等の減免によって「ガソール」の価格を安くする政策を実施しています。市場で25～30バーツ（80～90円）／リットルくらいのところ，ガソ

表1 ガソホール（E10）の消費量

2004年	2005年	2006年
59,600kL/年	674,900kL/年	1,279,300kL/年

リンスタンドではそれより3.5パーツ（10円）ぐらい安くなるように設定されていて、市民がそちらに流れていく形になっています。

供給は、バイオエタノールの普及政策の推進に伴って、製糖会社を中心に45社程度が生産を検討しています。タイでは製糖産業が基幹産業なのですが、砂糖だけだと価格変動があって不安定なので、エタノール用原料としての需要を喚起して、テコ入れを図る政策がとられています。

ガソリンスタンドは、タイに約1万8,400軒あると言われていますが、3,500軒ぐらいで地下タンクのうちの1つを「ガソホール」用に替えて販売しているとのことです。「ガソホール」（E10）の消費量の推移を表1に示します。

ただ最近、サトウキビの不作が原因で、需要超過となり「モラセス」（廃糖蜜）の値段が上がってきているため、新規工場建設の足かせになってきています。

[インド]

インドはブラジル、アメリカ、中国に次いで世界第4位のエタノール生産国です。エタノール生産量が年間約200万klです。原料はサトウキビがこれまでの中心です。2003年から大都市圏を中心とする10州でE5の導入促進策を行なっています。将来はインド全州でE10の普及を図る予定です。そのシナリオを表2に示します。

表2 インドのE10普及シナリオ

	目標	エタノール必要量
STEP 1	10州でE5を導入	30万kl/年
STEP 2	全州でE5を導入	47万kl/年
STEP 3	全州でE10を導入	94万kl/年

具体的な普及策としては、アルコール取引税や消費税の減免、免除を行なっています。インドもタイと同様、最近是需要超過気味なこと、サトウキビの作柄が不安定なことが新規エタノール事業立ち上げの足かせになっている場合があると聞いています。

エタノール生産技術

エタノール原料の組成

エタノールの原料として、通常の農産物（トウモロコシ、麦、米）は、従来の発酵技術で発酵が可能な六単糖（C6糖：グルコース等）を多く含むため適しています。他方、木質バイオマスは通常の微生物では発酵できない五炭糖（C5糖：キシロース等）が含まれるため収率が低く、原料として使われてこなかったという経緯があります。

エタノール製造方法

図3に示すように、従来技術として、トウモロコシを原料にする米国型と、サトウキビ

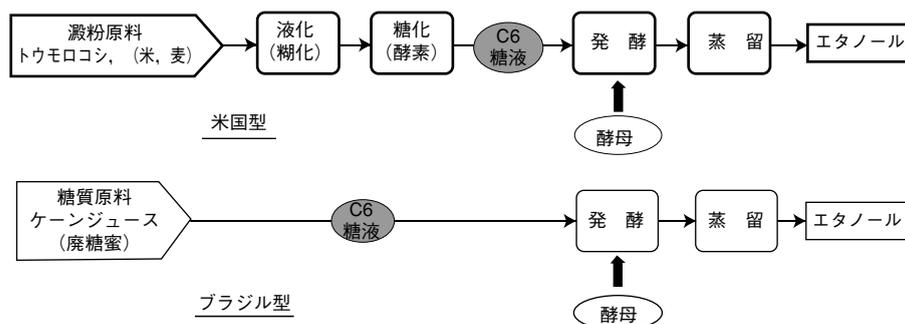


図3 穀物・糖質原料からのエタノール製造方法（従来技術）

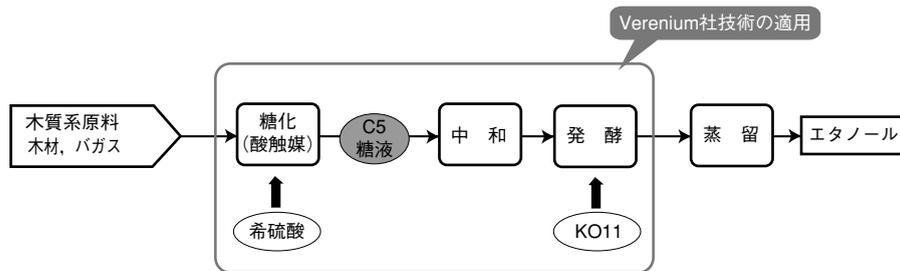


図4 木質系バイオマスからのエタノール製造方法（新技術）

を原料にするブラジル型とがあります。ブラジル型は、アメリカ型に比べると、液化、糖化の手間がかからない分だけ設備面で安くなっていると言えると思います。

今我々が取り組んでいる新技術を図4に示します。木質系バイオマスからのエタノール生産方法です。大阪では木に、タイではバガスに希硫酸を使って糖化し、C5糖を取り出します。このC5糖をアメリカから導入した「KO11」（ケーオーイレブン）で発酵させてエタノールにします。このVerenium社（旧BC International社）の技術を適用して、今我々が事業化に取り組んでいるという状況です。C5糖をエタノールの原料に使えば、全体的な収率も上がり木質系バイオマスからのエタノール生産の道が開けます。

「KO11」は、フロリダ大学のロニー・イングラム教授が開発した菌体です。E.coli菌（大腸菌）の中にエタノールを発酵させる遺伝子を組み込んで、その遺伝子組換え菌でできています。特徴として、商業プラントでの変動に強い耐性があります。

「KO11」によるエタノール発酵の仕組みを

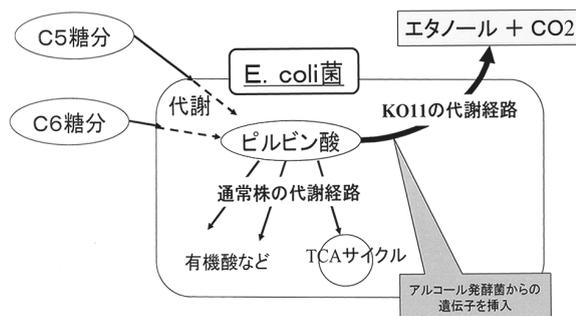


図5 KO11によるエタノール発酵

図5に示します。大腸菌が外から入ってくるC5糖、C6糖を食べると、通常は別の有機酸や自分が生きていくためのTCAサイクルに代謝されますが、大腸菌にアルコール発酵用の遺伝子を組み込むことで強制的にエタノールを作らせるというコンセプトです。

#### 実証プラントの建設

我々は、2001年、月島機械(株)と共同でVerenium社の木質系エタノール製造技術について、日本とアジアでの独占使用権と販売権を獲得しました。その後、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のお力を頂きまして技術実証支援プログラムに則った、建設系廃木材を原料としたエタノール製造実証プラントを月島機械(株)が千葉県市川市に建設し、2003年10月には連続運転に成功しています。実証プラントの全景を図6に示します。



図6 木質系エタノール製造実証プラントの全景

## 国内におけるビジネスモデル

### 堺市でのバイオエタノール製造事業 (新技術による木質系エタノール製造)

我々が国内で行ったビジネスモデルを紹介します。原料選定の検討では、農業残渣とか林業残渣とか色々な原料がある中で、収集ルートが確立されていること、処理費用収入があるということで、建設廃木材に目をつけました。年間約700万トンが国内の住宅建設で発生します。これ以外に約500万トンの建設廃木材があると言われてしますので、トータルでは、1,000万

～1,200万トンぐらいを見込めます。我々はこのに着目して事業を組み立ててきました。

大阪エコエリア構想におけるバイオエタノール製造事業のために、株主5社にて「バイオエタノール・ジャパン関西株式会社」を2004年に特別目的会社という形で設立しました。環境省からイニシャルコストの2分の1補助をいただき、残りの部分をプロジェクトファイナンスと株主の投資で資金調達し設立したものです。この事業の構成を図7に示します。

事業は、廃木材を確実に集めないとなり立ちませんので、関西地域で収集ルートを確立されている大栄環境(株)の方々に毎日トラックで25～30杯の廃木材を入れて頂いて、エタノールを作り販売しております。プラント建設

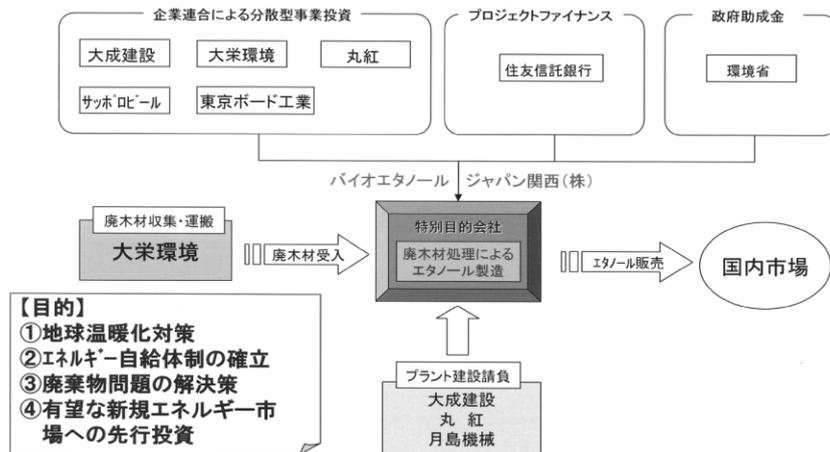


図7 大阪エコエリア構想における燃料用エタノール製造事業

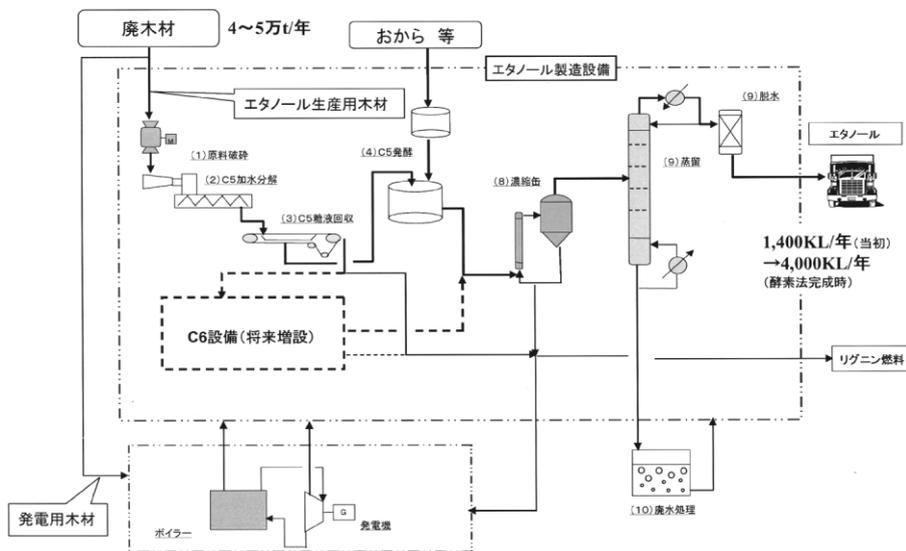


図8 燃料用エタノール製造事業のプロセスフロー

は、大成建設が工場全体の元請けとなり、丸紅・月島機械がその下でエタノール生産部を請負いました。プラントの所在地は、大阪府堺市にある埋立地です。

図8がプロセスフローです。廃木材が年間4万～5万トン（1日150～180トン）入ってきます。これを破砕機で破砕し、加水分解して糖を取り出します。それをベルトフィルタで回収し、「KO11」を入れ発酵させ、濃縮、蒸留工程を経てエタノールを作ります。現在、年間約1,400klのエタノール生産を目指しています。

現在、C5糖（セルロース）は、希硫酸の糖化率あまり高くないので利用していません。

ただ、今後2～3年程度の計画で並行して研究を進めていきます。

廃木材の一部は、ボイラーで焚いて電気と蒸気を得ているので、基本的に、外部からの電気、蒸気は買っていません。堺市からの要請もあり、水についても排水処理をして系内でリサイクルする形をとっています。

図9でプラントについて説明します。プラントの敷地面積は約1万5,000m<sup>2</sup>、原料の建設廃木材は基本的に、ボイラー用とエタノール用とに分けて持ってきて頂いています。ボイラー用は燃やすだけなので、合板に防虫剤、防腐剤が入っていても構わないのですが、エタノール用ではそれが発酵を阻害する恐れも



図9 大阪府堺市のエタノールプラント

あるので、基本的に木として比較的質の良いものを集めています。

前処理設備として破砕機の写真を載せました。重機で破砕機へ廃木材を流し込んでゆき、最終的にエタノール原料として12mm以下に細かく砕きます。上の方のふるいで分けて、エタノール用の原料としてチップを作っていきます。

加水分解機では、木屑を投入し、約150～160℃の温度下で濃度3%の希硫酸を使って10分～15分間で処理することで五炭糖を中心に取り出していきます。取り出した五炭糖の糖液を発酵設備（270m<sup>3</sup>タンク×2）に入れ、約35℃の温度下で「KO11」を加えて72時間発酵させ、約5%のアルコールを作っていきます。

その後、自動車用として純度99.5%以上にする必要があるため、濃縮蒸留脱水設備で無水化します。現在年間1,400klを目指しています。木屑をボイラー（処理能力：86トン/日）で焚き、タービン（発電能力：～1,900kW）で発電します。これにて系内の電気需要の全部を賄っています。

## 海外におけるビジネスモデル

### 農業国がバイオエタノール普及国

図10は主要砂糖生産国による砂糖の生産量の比較です。基本的に砂糖の生産量が多いところがバイオエタノールの法制化をしている国になっています。アメリカは、トウモロコシの主要生産国でもありますから、基本的にエタノール燃料の導入普及は、農産振興という面がかなり大きいと思います。ですから、農産国を中心にバイオエタノールが伸びてきているのが分かると思います。

図11は、アメリカにおけるエタノール工場の場所です。2007年1月時点で稼働中が110件、建設中が69件あります。最近建設されている燃料用エタノール工場の年間生産能力は平均30万klぐらいです。2017年までにガソリン消費量の15%を代替するという政府計画がありますが、ガソリン年間消費量を6億kl（日本の10倍）と

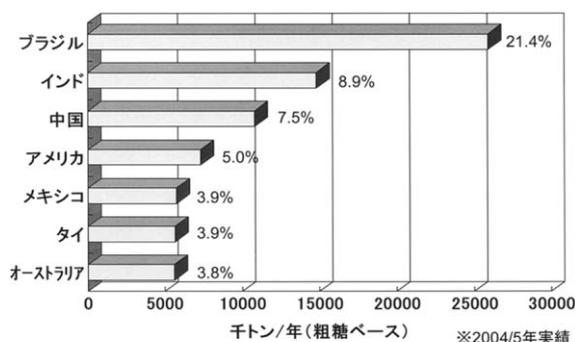
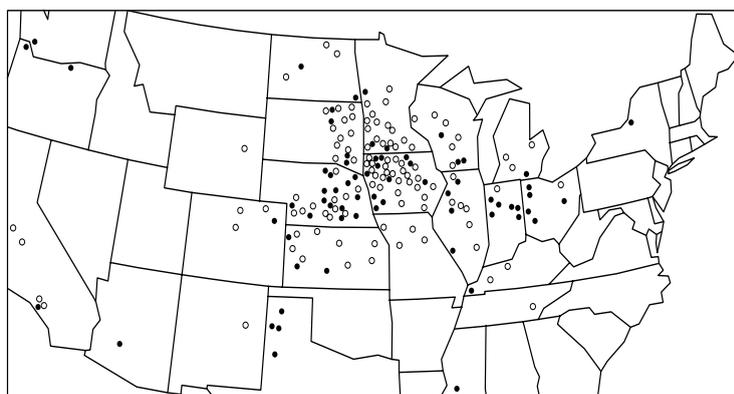


図10 世界の砂糖生産量



稼働中プラント：110件＋  
建設中プラント：69件＝179件

(出所：Ethanol Today誌)

図11 アメリカのエタノール生産工場（2007年1月時点）

すれば、相当量のエタノールが今後も作られていきます。アメリカでは、52セント/ガロン（約15円/ℓ）の助成金が出ることで、銀行、証券会社等からの資金が流れているということが、バイオエタノールが急速に普及している要因だと見ています。

### 東南アジアでの事業展開

例えば、東南アジアの製糖会社は、ブラジルをまねた図12のような将来構想を持っています。砂糖は、サトウキビを搾ってケーンジュースを作り、あとは結晶化していくことで作るのですが、供給過剰になって値崩れし、苦戦した時期がありました。そういうこともあって、新たな需要を喚起するために、燃料用エタノール政策を導入したわけです。ブラジルなどでは、ケーンジュースそのものをエタノール燃料生産に使っていますが、我々が提案しているのは、木質系であるバガス、モラセス（廃糖蜜）を原料とするバイオエタノール生産です。砂糖会社

にすると、砂糖とエタノールという2つの商品を持つことができますので、製糖工場の収益を安定化できます。

図13は、NEDO委託事業として、我々がタイで進めている事業です。NEDOとタイ政府工業省の政府間での合意に基づき、タイで2番目に大きい砂糖財閥TRR社をサイト企業として選定し、総生産量が3万6,000klという大規模プラントのエタノール生産工場を建設中です。3万6,000klの内訳は、モラセス（廃糖蜜）から3万3,000kl、バガスから3,000klです。そして、タイ国内PTTや政府系石油会社バンチャクが引き取るという仕組みになっています。月島機械(株)、サッポロビール、日本アルコール産業(株)からも色々な協力を頂いて設備を作り上げているところです。

モラセスエタノールだとプラントは安いのですが原料価格の変動が大きい。バガスエタノールの方は原料は安いけれどもプラントの値段が高いということで、両方の良いところを組み合わせると安定化させるという意味で、

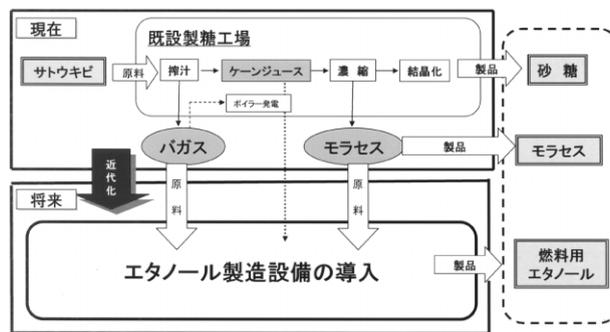


図12 東南アジアの砂糖会社が考える将来構想

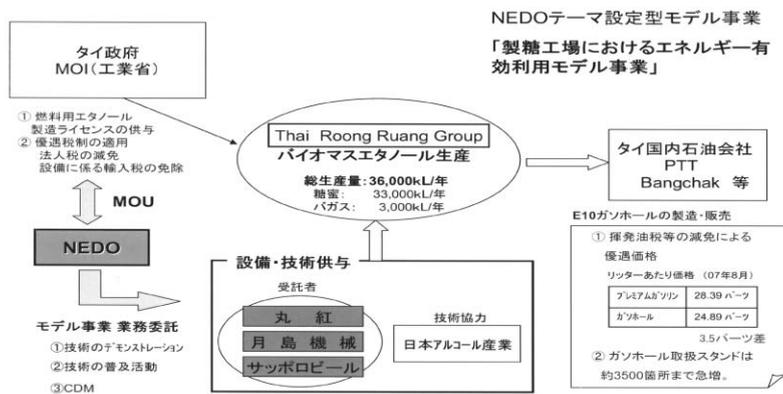


図13 タイにおける燃料用エタノール事業の構成

今回NEDOのモデル事業として取り上げて頂いています。プラントの稼働は2008年3月を目指しております。

---

今後のビジネス展開

---

エタノール需要の高まりに伴い、世界各地で工場新設案件が増加していますが、わが社ではアジア企業の活用によってコスト競争力を武器に新規案件の獲得を目指しています。例えば、インドのエンジニアリング会社PRAJ、能力があって人件費が安いアジアのエンジニアリング会社、地場の有力建設会社と組み、アメリカでのエタノール工場建設の受注を企図していま

す。アメリカでは1工場当り年間30万klのエタノールを作っています。これは、日本の年間のエタノール総需要を賅えるほどの規模です。今後も、こういう150億～250億円ぐらいのプラントを請負っていけないか色々ビジネス展開を図っているところです。

我々商社の場合、特に独自の技術を持っているわけではないので、技術を持っていらっしゃる企業の方々とどう手を組んでやっていくかということになります。図14は、わが社のビジネス開拓の図式です。

私は機械部門の人間ですが、わが社には食糧部門やエネルギー部門もありますので、社内のそういう部署とも連携しながらやっていくことになると思います。簡単ですが、これで私の説明を終わらせて頂きます。(拍手)

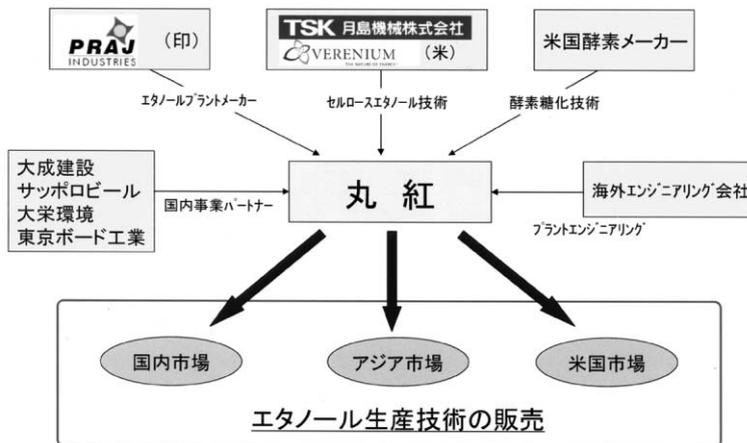


図14 今後のエタノール事業のビジネス展開

## バイオ燃料の将来を探る

司会 駒橋 徐 (日刊工業新聞社 編集委員)

パネリスト 五十嵐泰夫 (東京大学大学院 農学生命科学研究科  
応用生命工学専攻 教授)  
(五十音順)

西尾 直毅 (日本アルコール産業(株) 相談役)

森光 信孝 (トヨタ自動車(株) BRエネルギー調査企画室  
シニアスタッフ エンジニア)

湯川 英明 (財地球環境産業技術研究機構  
微生物研究グループ グループリーダー)



司会 パネルディスカッションでは、バイオマスエネルギーの中でも、バイオ燃料（エタノール、バイオディーゼル燃料（BDF））を中心に進めていきたいと思えます。

本日は、大学、研究機関、ユーザー業界、燃料製造業界の日本を代表する方々4人においでいただきました。

まず、1人10分程度のお話をさせていただきたいと思えます。五十嵐先生からよろしくお願いたします。



駒橋 徐氏

(日刊工業新聞社 編集委員)

[プレゼンテーション]

## 国内でのバイオエタノール製造について

五十嵐 泰夫 ( 東京大学大学院  
農学生命科学研究科  
応用生命工学専攻 教授 )



五十嵐 泰夫氏

### はじめに

バイオマスエネルギーは色々ありますが、私の話は、バイオエタノール（燃料用エタノール）を国内でどう作るかに絞らせていただきたいと思います。農学を専門とする私は、バイオマスをきっかけにわが国の農業や産業、人の生き方がどうなるかというところに興味があります。

### バイオエタノール製造のポイント

バイオエタノールを考える時のポイントは、次の7つに整理できます。

- (1) 誰が？ いつ？ 何のために？
- (2) どこで？
- (3) 何から？
- (4) 何を？
- (5) どのくらい？
- (6) どうやって造るか？
- (7) それをどこで？ どれくらい使うか？

国産バイオマスの場合、どこでどう集めるかが問題のほとんどです。また、上で1つ抜けているのは、炭水化物、糖質以外からエタノールを作るとなると、原料は廃棄物・未利用資源になることです。廃棄物・未利用資源を有効利用しない限り、国産バイオ燃料というものは成立しません。

### バイオエタノールの4つの問題点

バイオエタノールの問題点は、次の4つに集約されると思います。

まず、食料との競合は根本的にあり得ませ

- (1) 食糧との競合
- (2) エネルギーコスト
- (3) 供給量
- (4) 価格コスト

ん。2000年前後の国連統計では、世界で私たちが食料としている有機資源と食料以外（例えば、家屋の建造、衣類の製造、冷暖房用、移動用）の比率は1対10です。これは、生物としての人間の特質です。他の生物は、人間と違って、巣作りなどにバイオマスを使うにしても食物としての用途の方がはるかに多いのです。逆に言いますと、人間の場合、食料としてのバイオマス利用が少ないですから、例えば、アメリカのトウモロコシを全部エタノールにしても、アメリカのガソリン使用量の約20%、液体燃料の5～7%にしかならないと思います。だから将来的には、食料以外のものからエネルギーを供給していくしかないわけです。また、それが世界の傾向だと私は考えます。

次に、エネルギーコストについて述べます。我々は基本的に太陽エネルギーに依存しています。その太陽エネルギーに依存して、バイオエタノールを作るとなると、それを作るために使うエネルギーと、出てきたエタノールが持っているエネルギーの比率（エネルギー利益率；EPR:Energy Profit Ratio）を問題にすべきだと考えます。こう考えますと、ブラジルのサトウキビからのエタノール生産は明らかにエネルギー生産になっていますが、アメリカのトウモロコシからのエタノールは、エネ

ルギーを作っているか甚だ疑問です。アメリカの場合、エネルギー政策というよりも農業政策だと考えざるを得ない部分があります。

### 国産バイオエタノール製造の課題

日本の代表的な農産物お米は、粳になった段階で使われたエネルギーと粳に残されたエネルギーがほぼ一緒です。もしお米からだけアルコールを作るとなると間違いなくエネルギー損失が起こり、地球温暖化に「貢献」してしまいます。

それでは、わが国のエネルギー自給策として何が必要なのか。次の5つにまとめられます。

- |  |
|--|
| (1) バイオマスのトータル利用システム<br>(2) 誰でも使えるハイテクノロジー<br>(3) 地域の合意、ともに進む意識<br>(4) 国のやる気、補助金、あらゆる規制の緩和・解除<br>(5) 外国へ出ていく覚悟 |
|--|

以下、そのうちのいくつかを補足説明いたします。

#### [トータル利用システム]

アメリカのトウモロコシ、ブラジルのサトウキビは言うまでもなく、現在のところ、可食部（澱粉質や糖質）だけを育てる農業はありません。太陽エネルギーを固定する装置が必要ですから、多分、将来もないと思います。可食部だけを生産することができない以上、太陽エネルギーを使ってできた有機物を基本的にもれなく使うシステム（トータル・クロープ・システム）が必要です。稲で言えば、お米だけでなくて籾殻、茎、藁、根、糠までが必要になると思います。

#### [国のやる気、補助金、あらゆる規制の緩和・解除]

私は平成19年度から本格的に長野県でバイオエタノールを作り始めていますが、何かをやろうと思ったら、ほとんどすべてに規制がかかっていることに気がきました。そういう

規制は外していただかないと、地域によるバイオエタノール製造はできないと思います。

#### [外国へ出てゆく覚悟]

技術者としては、最終的に、開発した技術を持って外国へ行く覚悟というものが不可欠ではないかと思っています。

### トータル利用システムの事例 — 「地燃料システム」 —

#### [事例]

国内でのエタノール生産システムの1つの形として、「地燃料システム」を考えているのですが、どこで作るかとなりますと、第一候補地は北海道となります。北海道は耕地面積、さらには1戸当たりの耕地面積も広いので、アメリカ、ブラジル型をまねてもある程度できる可能性があります。

何から作るかという稲です。使う稲には2つあります。1つは輸入米（ミニマムアクセス米）です。現在わが国に180万トンある輸入米を有効利用すれば比較的容易な技術で、ある程度のエタノール生産ができます。ただし、永くは続きません。もう1つは稲そのものです。休耕田その他に稲を植え、これから有機物を採り出して有効利用するのです。今年から東京大学でこのシステム作りを始めました。

現在、私たちはエタノールを地場で生産し消費する「地産地消」の「地燃料システム」を考えております。

#### [課題と方向性]

地燃料システムでは、その地域にある四季折々の多種多様な未利用バイオマスそれぞれの糖化技術が必要となります。米国エネルギー省（DOE）も積極的にこの分野の技術開発に取り組んでいるようですが、未利用資源の場合、糖化の分野で重要な開発課題が多く残されていると信じます。

集荷については、地燃料ですから、「持って

きてください」とお願ひしますと、色々集ま  
ってきます。私たちの場合は、95%のエタノ  
ールを生産し、それで農作業用の軽トラック  
や農業機械を動かしていこうと考えております。  
そして最後、廃棄物はバイオマスボイラーの  
燃料、あるいは、液肥、堆肥等にして大地に  
戻し、バイオマス生産に使っていこうという  
システムを考えております。

基本的にはこのような考え方のシステムが国  
内のどこかの地域、なるべく多くの地域で成立  
するということが国内のバイオエタノール利用  
の大きなポイントであろうと感じています。

[プレゼンテーション]

燃料用エタノール導入に関する問題点

西尾 直毅 (日本アルコール産業(株)  
相談役)

はじめに

私は過去40年ぐらゐエッソ石油(現エクソ  
ンモバイル)で仕事をし、この4年ぐらゐは  
アルコールを作っております。従って、エタ  
ノールを燃料として使う場合のユーザー、あ  
るいは実際に仕事に携わる人の視点からの問  
題点について申し上げたいと思います。

わが国のエタノール需要と用途

燃料用エタノールは、日本では実験の途に  
ついたばかりで、エタノールの国内需要(年

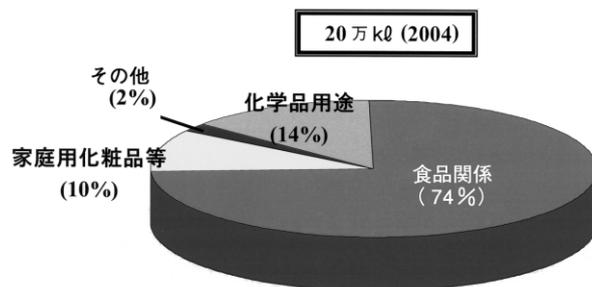


図1 わが国の工業用発酵エタノールの主な用途



西尾 直毅氏

間約55万ℓ)の半分が酒類用、残りが工業用  
です。工業用のうち、発酵エタノールの約4  
分の3が食品関係に使用されています(図1  
参照)。なお、原料はほとんどを輸入に頼らざ  
るを得ない状況です。

エタノール生産時の問題点

燃料用エタノール生産時の問題点は、安定  
供給、品質、価格の3つにあると思います。

安定供給というのは、今後10年~20年にわ  
たって確実にガソリンに混ぜて、ガソリンス  
タンド(SS)を通してお客様に供給し続ける  
ということです。供給を始めたからには、次  
の代替エネルギーが出てくるまで供給し続け  
ないといけません。従って、民間の供給者は  
国の補助金がなくなった後も、採算が取れて  
供給し続けられないといけません。

品質面での要請として、自動車用燃料とし  
ての品質基準を満たす、ガソリンに均質に混  
ざる、水との混合などを避けるという基本的  
なことがあります。これらは技術的に克服で  
きることはありません。考えておかなければ  
ならない重要な問題は、燃料用エタノールと  
食用エタノールとの品質上の厳重な区別が必  
要なことです。両方が混ざると食の安全の面  
で大変なことになるからです。

制度面では、長い間、日本のエタノールのう  
ち、酒類用は財務省が、工業用は経済産業省が  
管轄してきました。工業用は平成17年度まで約  
70年間国の専売でした。平成18年4月1日に、

専売していたNEDOアルコール事業本部がなくなり日本アルコール産業株式会社が発足し、それ以降、事業は完全に自由化されています。エタノールの生産、販売が自由になった今、酒類用や工業用に燃料用エタノールが混じったりすると税法上も困るわけです。

価格の点では、製造コスト+輸送コストを考えた上でガソリン価格と同等にならないければいけません。とかく、製品コストだけに心が行きがちですが、輸送コストも考慮しておかねばなりません。

### 世界のエタノール生産の現状

2006年の生産量では、アメリカ（約2,000万kl）、ブラジル（1,650万kl）の両国で世界の約

7割以上を作っています（図2参照）。原料を見ると、サトウキビは、ブラジル、インド、タイ、インドネシア、オーストラリアで使われています。サトウキビは、北緯、南緯とも30度以内の所で一番収穫量が多くて、糖度も高いものができます。日本で良いサトウキビができる限界は、沖縄か奄美大島ぐらいです。それより北では糖分が少ないサトウキビしかできません。したがって、EU（欧州連合）では、ビートなど穀類やその他色々な植物をバイオエタノールの原料にしています。中国では地域によって、トウモロコシ、タピオカ、サトウキビなどを混ぜてバイオエタノールを作っています。このように、国や気候によって原料が違うので、おのずと生産量にも限界があると言えます。

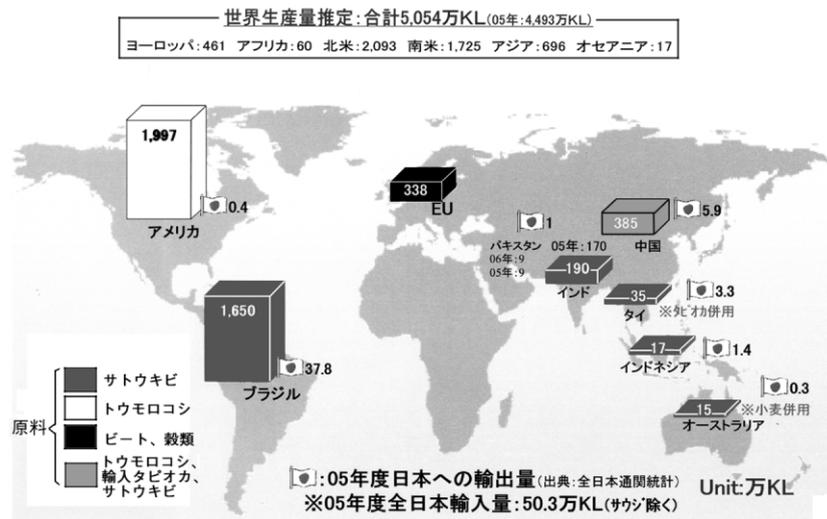


図2 世界のエタノール生産量 (2006年)

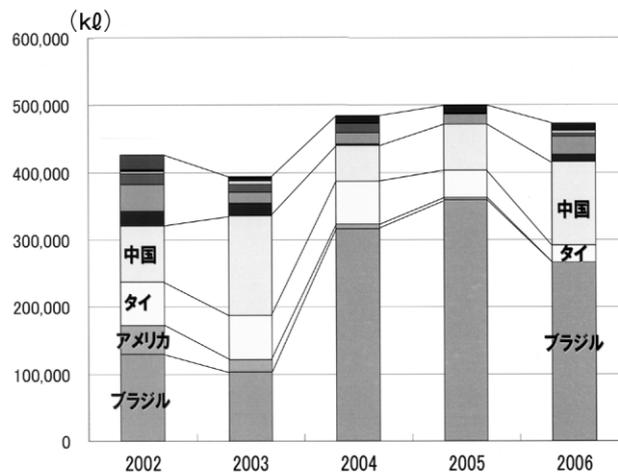


図3 対日アルコール輸出の国別構成の推移

## わが国のエタノール原料輸入の現状

日本は7～8年前までは10カ国以上からエタノールの原料を輸入していました。しかし、色々な国が自国でバイオエタノールを使うようになったことで輸出余力がなくなったり、作柄の出来不出来で輸出量に変化したりするため、現在のところブラジル、タイ、中国からの輸入が大半を占めています（図3参照）。3年前まで輸出国だったアメリカは、今や輸出余力を全く失いました。タイは量は少ないですが、コンスタントに輸出しています。中国は一時、日本の輸入量の半分ぐらいを輸出していたのですが、少なくなってきました。今後、タイや中国がE10（エタノール10%）を自動車用を使うようになると、輸出余力が極めて低くなると予想されます。結果、ブラジルが最大の輸出可能性のある国と言えます。

## 日本における燃料用エタノール導入の動き

日本の現在の年間生産量は約55万klですが、日本でE3（エタノール3%）を導入するとなると、新規にバイオエタノールが180万kl必要になります。環境省は、2020年から2030年にはE10を導入したいと言っていますが、そうすると新規に600万klが必要になります。バイオエタノール生産には大きなビジネスチャンスがあるとも言えますが、経済性、安定供給性を考えなければなりません。

国がバイオエタノール導入を計画している中で、石油業界は、バイオエタノールとガソリンの直接混合ではなく、バイオエタノールとLPGを組み合わせ「ETBE」（エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル）にして、ガソリンと混合することを決めました。現在販売しているガソリン6,000万klの20%に、7%「ETBE」を入れた燃料を2010年に導入したいということです。

石油業界は、平成19年4月からフランスから「ETBE」を輸入し始めました。現在、それをガソリンに入れて東京近辺の50カ所のSSで

テストしています。来年100カ所、再来年1,000カ所のSSで「ETBE」入りガソリンをテストする予定になっています。ただ、「ETBE」ガソリンを作る設備を持っているのは石油会社の半分だけです。残りの会社はどうするのか将来問題になると思います。

さらに、この「ETBE」入りガソリンをSSでお客に出すには、SSの地下タンクで貯蔵するわけですが、もしもそのタンクから「ETBE」が漏れて地下水に混ざると非常に危険になります。絶対漏れない設備にすると、今のところ1SS当たり2,000万円～1億5,000万円の費用がかかると見積もられています。

エタノールの直接混合だと、2年くらい前の石油業界による試算では、業界全体として3,000億～3,500億円ぐらいの費用がかかります。石油業界としてもかなりの金額の投資が必要であることを覚悟しておかなければなりません。

## 今後の検討課題

### 〔ETBEのリスクアセスメント〕

「ETBE」には毒性があるので、SSのタンクから地下水に漏れた場合の危険性について、2年間、慎重にテストしなければいけません。

### 〔供給体制の確立〕

リスクアセスメントで「問題なし」と出ても、「ETBE」の今後の供給体制をどうするかという問題があります。今はフランスから輸入していますが、EU域内でバイオエタノール需要が高まってくるとフランスの輸出余力がなくなることも考えられるからです。

今、石油会社が1つの共同の輸入会社を作り輸入していますが、今後ともその形を続けていくのか。個別の石油会社にどう売っていくのかという、ビジネスになった場合の問題もあります。

### 〔直接混合との併用〕

「ETBE」だけでは足りなくなった場合、エ

タノールの直接混合も併用するのかという問題もあります。

#### [関税の問題]

「ETBE」あるいはエタノール原料の輸入関税をどうするのかという問題もあります。現在、特別に「ETBE」は無税になっていますが、今後10年、20年も同じ形でいくのかということです。

#### [ロジスティックスの問題]

海外から調達するとなりますと、タンカーなど、輸送手段の確保というロジスティックスの問題があります。現に、180万kl、600万klを輸入するとなると、ケミカルタンカーが足りなくなります。

#### [国産体制の早期確立とコスト]

バイオエタノールはできるだけ国内でも作らないといけないわけですが、できるだけ早く作ってもらいたいということと、コストがガソリンと競合できる水準になるのか、という問題があります。あらゆる植物資源、廃材などの利用をするに当り、輸入品に太刀打ちできるものになるのか、よく考えないとけません。

#### [食料問題]

儲かる方に展開した方がいいということで、去年ブラジルやアメリカでみかん畑やオレンジ畑をサトウキビ畑やトウモロコシ畑に変えてしまったため、オレンジの値段が上がったという



湯川 英明 氏

話がありました。食料になる作物を燃料に転用すると、そうなる可能性もあるということです。

#### [投資、環境対策のコスト]

日本では、2,000万円～1億円というSSの投資を誰が払うのかという問題があります。また、環境問題のための安全コストを誰が負担するかという問題もあります。最終的には消費者による負担となるのだと思いますが、国、石油会社、SS、消費者の間で誰が負担するのか明確に決めて長期的にバイオエタノールの導入を図る必要があると思います。

#### [採算性が求められるビジネスの構築]

エタノール生産は非常にポテンシャルのあるビジネスですから、やりたいという方が大勢いらっしゃると思います。しかし、関連業者の方々は、これまでに挙げた検討課題を考慮しながら、このビジネスの採算性を考えなければいけません。迂闊に始めるとビジネスとして難しいと思います。

---

#### [プレゼンテーション]

##### バイオ燃料の光と影

湯川 英明 (財)地球環境産業技術研究機構  
微生物研究グループ  
グループリーダー

---

#### バイオ燃料の光

私ども地球環境産業技術研究機構 (RITE) は、地球温暖化対策を第一ミッションにしています。その観点から、わが国の温暖化対策として、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 削減の実効性ある、また経済性ある政策として、今後、バイオ燃料 (バイオエタノール、バイオブタノール、バイオディーゼルフューエル等) は大きく取り上げるべきではないかと思っています。その際、基本的にエタノール生産のベースは海外だと考えています。

## バイオ燃料の影

しかし、今、バイオ燃料の影の部分が大変大きな問題となっています。そのポイントは大きく分けて次の3つです。

- |                                    |
|------------------------------------|
| (1) 食糧との競合<br>(2) 環境破壊<br>(3) 人権問題 |
|------------------------------------|

海外のバイオ燃料の会議に出席すると、人権問題が1つのセッションを占めています。EU（欧州連盟）ミッション、国際的な大きなNGO（例えば世界自然保護基金（WWF））や国連食料農業機関（FAO）などから人権問題に関するデータが出されています。

これら3つの問題は、バイオ燃料にとって非常に重要だと思います。ですから我々は、海外でバイオ燃料事業を計画されている企業の方々に、第三者も入れたCSR（企業の社会的責任）委員会を社内で作り、3つの問題を精査した上で企業の社会的責任において、ビジネスの方向性を出していくことが必須ですと助言させて頂いています。実際、アメリカやEUの会議に行きますと、日本よりも企業の環境問題に対する認識、危機感は大変強いのです。例えば、環境ファンドは日本がやっと数千億円ですが、海外だと数兆円規模のものがあります。そのぐらい一般投資家、一般市民の関心が高いという事情があるわけです。

### 影の部分の解決策と開発事例

バイオ燃料の影の部分の解決は可能です。例えば、EUや大手NGOは「サステナブル・バイオ燃料」というコンセプトの導入を訴えています。要するに技術革新による「次世代バイオ燃料」のことです。

また、EUの委員会では、前述の3つの問題について、トレーサビリティとしてバイオ燃料に点数をつけて取り扱おうとか、国内生産をすべきだという議論が行われています。

## [アメリカ]

### ①エタノール生産

アメリカでのトウモロコシからのエタノール生産量は、現在2,000万 $kl$ 、2009年の初めで2,500万 $kl$ 、2009年半ばに2,800万 $kl$ に達すると言われています。

米農務省（USDA）は、数年前、アメリカにおけるトウモロコシからのエタノール生産の上限を2,500万 $kl$ としていました。「上限」というのは、同盟国に対するトウモロコシ輸出やトウモロコシを飼料として使う国内畜産業に影響を与えない範囲内でのエタノール生産量の「上限」という意味です。今年初めにUSDAは暫定目標として上限を2,800万 $kl$ としましたが、来年半ばにはこの量に達してしまいます。トウモロコシの生産量が増えないと、各所に影響が出ると心配されるわけです。

そこで、アメリカ政府は、大急ぎでセルロース系エタノール生産を促進しようとしています。遅くとも3年以内に、セミコマーシャルベースで年産5万～7万 $kl$ のプラントが十数カ所操業を開始するでしょう。その後、一気に生産量が増え、10年～15年以内には、セルロース系エタノール生産量は2億 $kl$ 程度（アメリカの現在時点でのガソリン使用量の約3分の1）に達すると予想されています。これによって、トウモロコシ価格への影響はあまり出てこないだろうと言われています。

そういった根拠の1つは、昨今のトウモロコシ価格の上昇は、実需によるものではなく、「トウモロコシからのエタノール生産によって、トウモロコシの需給が逼迫する」と予想した投機的資金が、2007年9月の終わり頃から、ニューヨーク商品取引所（NYMEX）の先物取引に入り始めたことによるからです。セルロース系エタノール生産という技術革新によって、この投機資金の流れが変わると思われれます。

### ②ブタノール

アメリカで「次世代バイオ燃料」というのは、ブタノールです。ブタノールの利点は、まず、

軽油に混ぜることができることです。エタノールは軽油に混ぜられないため、ディーゼル車用には使えません。バイオディーゼルフューエルを作るメインの原料は、パームオイルですが、このことが環境破壊の懸念材料となっています。パームオイルの栽培が急増すると、例えば、「オランウータンの絶滅につながるのではないか」という声が海外NGOの間から出てきています。ブタノールは、そういった懸念材料を減らすことができるわけです。

また、ヨーロッパで走っている車の8割がディーゼル車ですから、ブタノールというのは将来非常に有望なのです。

さらに、アメリカでは、ブタノールのエネルギー密度がエタノールより2割以上高いということで、ジェット燃料への混合が議論されています。航空業界でもCO<sub>2</sub>排出が大問題になっていますから、航空燃料にブタノールを使用することで、CO<sub>2</sub>排出削減効果が期待されるわけです。

更に、エタノールは水を吸わないという問題には、エタノール、ブタノール、ガソリンを混ぜることで対応できると聞いています。そうすると、1リッターのブタノール使用は、計算上約2kgのCO<sub>2</sub>の削減効果が出てきます。ですから、近い将来、エタノール、ブタノール、それを合わせて経済性ある温暖化対策が打ち出せるのではないかと期待しています。

#### [EU]

EUは技術の進展度でアメリカに遅れをとっている関係上、「次世代バイオ燃料」というのはセルロース系エタノールを意味します。EUはセルロース系エタノール生産技術を確立すべきだということで、6カ国が集まり、2006年から20以上の研究機関で研究開発をスタートしています。先を行くアメリカ企業との合弁でセルロース系エタノールの生産をできる限り早く始めると言っています。

#### バイオエタノールによるCO<sub>2</sub>削減効果

DOEが10年間色々な研究をサポートしてきた、色々な原料からのエタノール生産のエネルギー収支が比較できるまでのデータが整備されました。そこで、最近、CO<sub>2</sub>削減効果について定量的なことを打ち出し始めています。現在、1リッターのエタノール使用でCO<sub>2</sub>が1.7kg削減されると言われていますが、近い将来、2億ℓのエタノールが生産されると、3億トン以上のCO<sub>2</sub>が削減されることになります。アメリカの現時点でのCO<sub>2</sub>の排出量は60億トンですから、その5%に相当します。

#### RITEの取組み

RITEは、現在、エタノール生産でホンダと一緒に工業化技術の開発を進めています。2007年の終わりには主要データを取り終え、来年からFS、そして実証プラントの建設を始める予定です。しかし、ビジネス化に関してはまったくオープンで、国内外の色々な企業と共同で実用化を検討していきたいと考えています。

RITEとしては、エタノール生産技術の開発をどんどん広げていきます。しかし、アメリカの大手企業が技術面でもビジネス面でも先行していますので、仮に我々の技術の優秀性が認められても、我々の技術占有率が高くなるなどと楽観してはいません。

ただ、ブタノールに関しては、我々が基本特許を出し終えたところです。BPやシェルなども研究を行っていますが、彼らはまだ特許を出すには至っていません。今後我々は、ブタノールを「日の丸技術」と位置づけ、国内外の企業との提携で実現化し、クリーン開発メカニズム(CDM)を使って温暖化対策に対する日本の寄与度を上げていければと考えています。

[プレゼンテーション]

サステイナブル・モビリティとバイオ燃料

森光 信孝 (トヨタ自動車㈱  
BRエネルギー調査企画室  
シニアスタッフエンジニア)



森光 信孝氏

### 将来の自動車燃料とその方向性

私はエネルギーを使う側の立場で、少し長期的な話をさせて頂こうと思います。まず、一次エネルギーは需要に応じて、多種多様なものが出てきます。このまま需要を増やしていくと地球温暖化問題に対応できないので、まずは省エネルギーをやって需要を減らし、それからバイオマスとかの再生可能エネルギーを使うことで化石燃料の使用量を減らしていくことが基本的なシナリオだと考えています。

そこで、将来の自動車燃料ですが、図4に示すように当面はガソリン、軽油という今の石油関係が主流だと考えています。その次にバイオ燃料、それから将来的には電力が主流になってくると思っています。

次に、少し視点を変えて、将来の自動車燃料が、化石燃料 (A)、バイオ燃料 (B)、電気・水素 (C) のグループになると想定して、図5の三角座標で将来の方向性を見てみます。現在は、

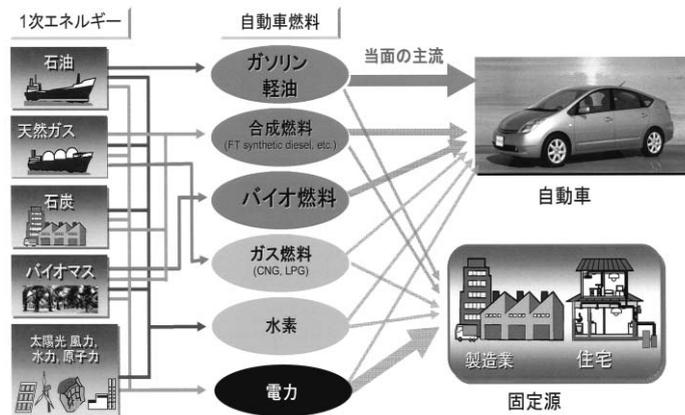


図4 将来の自動車燃料

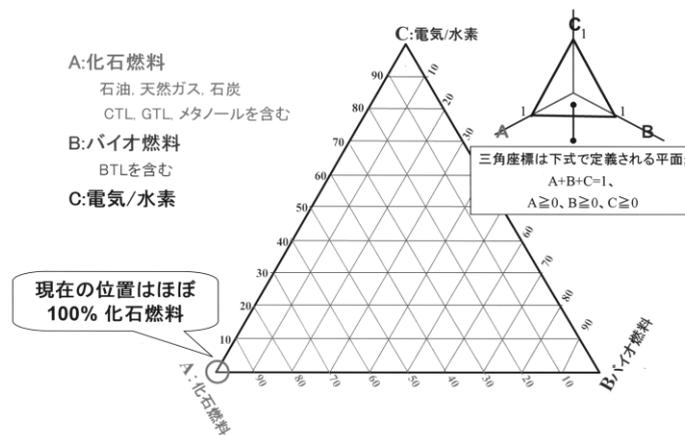
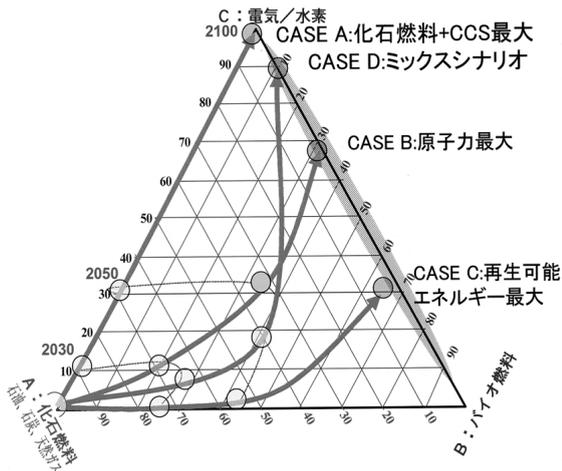


図5 三画座標によるシナリオ検討



（出所：エネルギー総合工学研究所のデータを基に作成）  
 図6 経産省の超長期シナリオ（2100年）

自動車燃料はほぼ100%化石燃料ということで、Aの点になります。この図を使って、2100年までを見通した経産省の「超長期シナリオ」のシナリオをいくつかのプロットしてみると、図6のようになります。斜線の領域がサステナブル・モビリティ領域と考えています。

我々が現実的だと考えているのが図7です。まず、『新・国家エネルギー戦略』で運輸部門の化石燃料依存度を20%減らすという線があります。それから先、サステナブル領域を目指していくわけですが、多分バイオマスは資源量の制約から、バイオ20%が限界だと思います。バイオ20%の線に沿いながら脱石油を図るのであれば電気にいっくだろう。そのためには高性能の電池が必要になるだろう。BTLとかの技術的ブレークスルーがあれば少しバイオの割合が増えるだろうとは思いますが、いずれにしろ、最終的にはサステナブル領域のどこかを目指すことになるだろうと思います。

バイオマスと化石燃料が併存するところでは、Flexible Fuel Vehicle (FFV) の技術が必要になってきます。最終的にはバイオマスとプラグインハイブリッドというのが1つの姿だと思います。もし、高性能電池が確立されましたら一挙に電気自動車 (EV)、あるいは燃料電池車 (FCV) の方へいっくだろうということで、我々は将来のサステナブル・モビリティに向けて、各種技術の開発を行なっています。これは

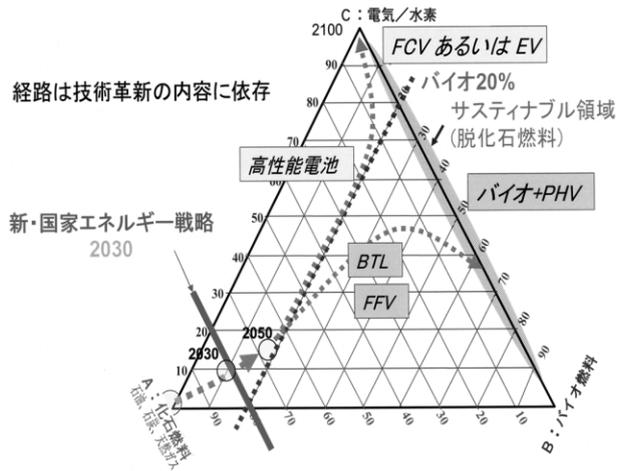


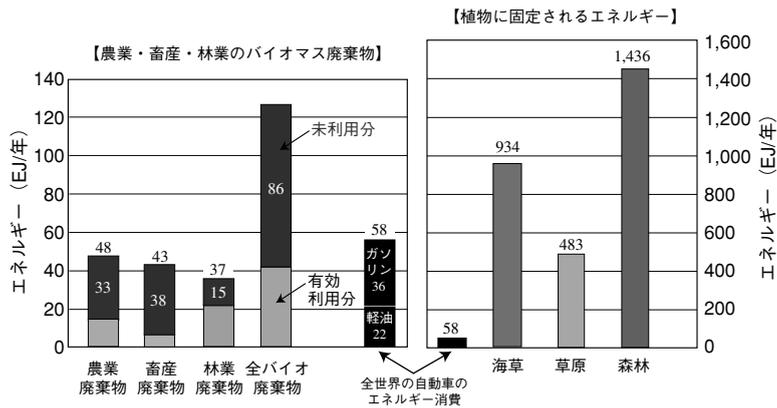
図7 現実的と考えられる超長期シナリオ

100年後、200年後の世界を想定したものです。石油がなくなったらどうしなければいけないかということを考えているわけです。

### バイオマスのポテンシャル —賦存量、CO<sub>2</sub>排出量—

地球が太陽から受けるエネルギーが300万エクサジュールです。その1,000分の1（3,000エクサジュール）が毎年植物（森林、草原、海洋、藻など）に固定されています。全世界の自動車のエネルギー消費は58エクサジュールですから、この賦存量に比べると極めて小さいです。バイオマスで世界の自動車用エネルギーを全部賄えるのではないかというポテンシャルがあります。しかし、日本では前述のとおり、2100年時点でも20%が限界でしょう。図8の左にあるのが農業廃棄物、畜産廃棄物、林業廃棄物といったものです。こういう廃棄物の未利用分で、自動車のエネルギーは賄えそうです。ですから、これを何とか活用するのが先ではないかと思っています。

自動車のエネルギーを考えると、エネルギー密度について考えることが必要です。図9に示すように、石油系は非常にコンパクトで軽い、搭載性の良い燃料です。それに対して、電池というのは嵩張るし、重いといった性格があります。やはり液体燃料が自動車にとって非常にあ



(出所：Plat Metabolic Technology handbook 2002, バイオマスハンドブック2002, 石油連盟「今日の石油産業2004」)

図8 バイオマスのポテンシャル

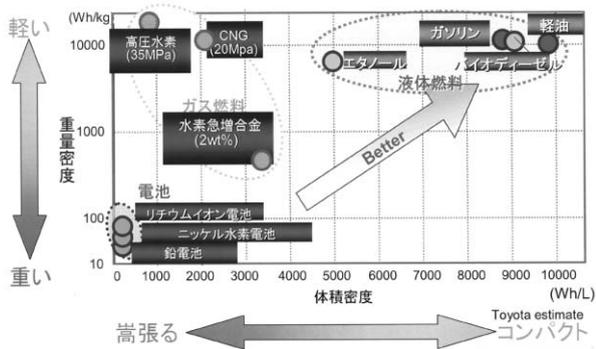
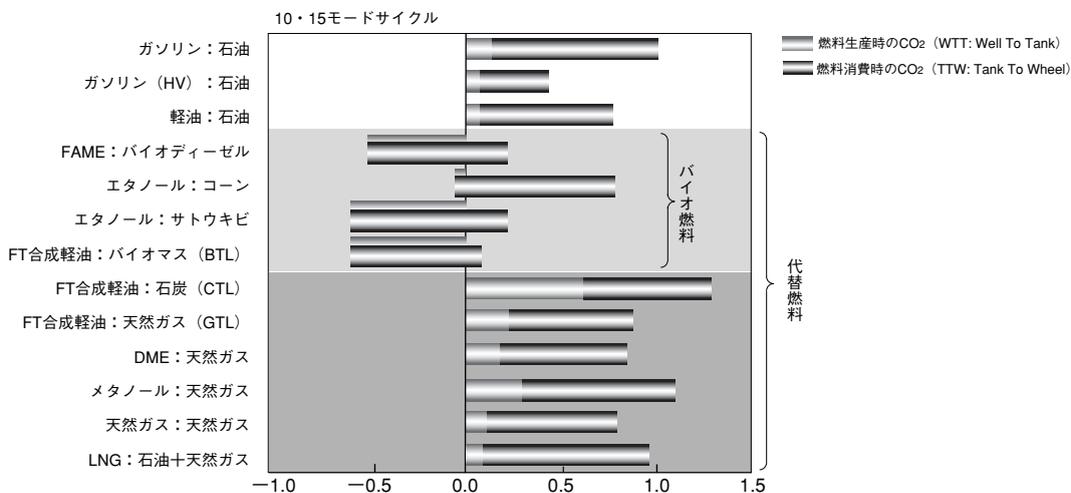


図9 エネルギー密度

りがたいエネルギーであるということです。

Well To Wheel (WTW) のCO<sub>2</sub>排出量で比較した場合、図10で示すように、バイオマスが有利です。先ほど来出ている「カーボンニュートラル」という言葉は科学的な言葉ではなく政治的な言葉です。実際はニュートラルで

はありません。中心線から右にいくとCO<sub>2</sub>を排出するということです。バイオマスは植物が成育する過程で大気中のCO<sub>2</sub>を光合成で固定していきますので、まずは吸収する側に動きます。できた燃料を使って車を走らせると、それを排出する。±0というのがカーボンニュートラルですが、実際は少し右側の方に出てきます。それから、アメリカではトウモロコシからエタノールを作る際に天然ガスを大量に使っているため、Well To Tank (WTT) が非常に小さくなり、CO<sub>2</sub>低減効果が少し目減りしています。ですから、バイオ燃料ならCO<sub>2</sub>低減に有効だとステレオタイプに考えるのではなく、実際にどういうプロセスで作られているかをきちんと認識することが非常に重要です。そうは言っても、バイオ燃



(出所：みずほ情報総研報告書)

図10 ガソリン車を1.0としたときの相対CO<sub>2</sub>排出量の比較

料が他の燃料よりもCO<sub>2</sub>の面で非常に有利なことは間違いありません。

### バイオエタノールとバイオディーゼル

[バイオエタノール]

バイオエタノールというのは、砂糖、澱粉、セルロースから作られます。図11で上の方に行くに従って工程が短くて済む、安く、環境負荷も小さく作れるということになります。そうは言っても、やはり食料との競合という問題がありますので、セルロースからエタノールを生産する工程を安く確立することが大事と考えています。供給量を考えますと、サトウキビというのはブラジルで非常に大きなポテンシャルがあります。トヨタはこれを「グリーンエタノール」と呼び、将来、エタノール時代が必ず来るだろうということで、E10対応を完了していますし、ブラジル向けのE100（エタノール100%）のFFVの導入もやっています。

[バイオディーゼル]

バイオディーゼル燃料の現在の主流はエステル交換反応によるFAME（脂肪酸メチルエステル）です。「揮発油等の品質の確保等に関する法律」（品確法）でも議論され、5%までは酸化安定性が確保される条件で容認されています。課題は、各国で独自の規格が作られており、この辺の統合が必要ということと、5%でも酸化安定性、低温流動性に問題があることです。

それに代わる第二世代のバイオ燃料ということで、私どもは図12の下段に示す水素化処理を推奨しています。これは、メタノールでエステル交換するのではなく、水素を放り込んで軽油にする処理です。課題は、中でできる水分の除去が必要ということと、低温流動性が悪いということです。ただ、水分除去は精油所のプロセスでの脱水化で解決できますので、我々としてはこれは推奨する燃料だと位置づけています。

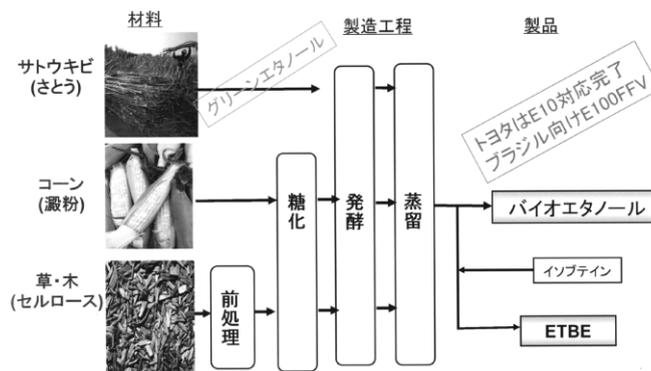


図11 バイオエタノールの製造工程

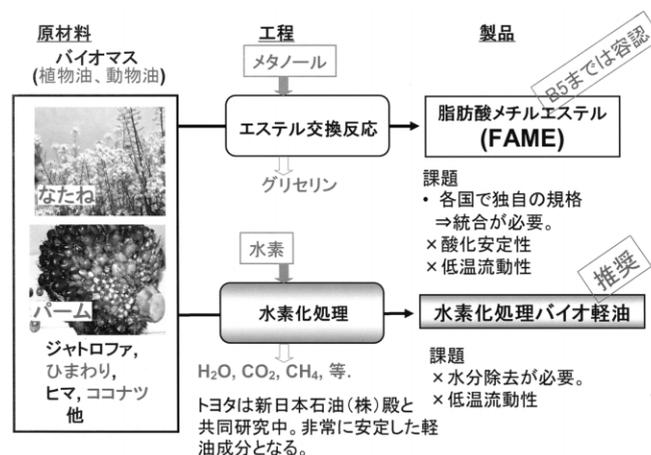


図12 バイオディーゼルの製造工程

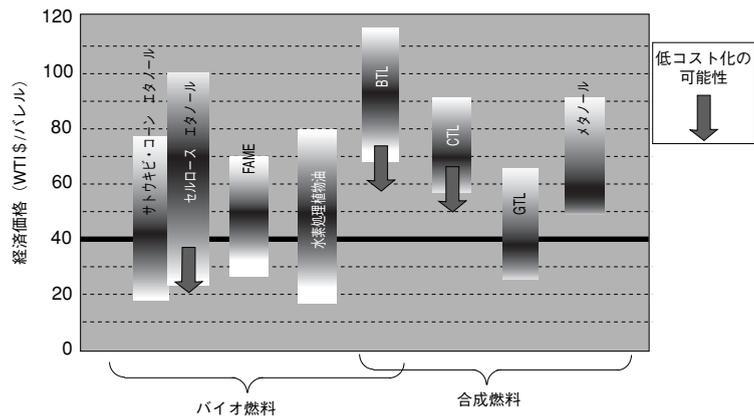


図13 代替燃料のコスト（経済価格）

### バイオ燃料が商業ベースにのる価格水準

今、石油は市況価格こそ70ドル／バレルを超えています。石油会社が投資するかしないかを判断するための経済価格（エコノミックプライス）では、まだ25～30ドルの段階です。これが40ドル／バレルぐらいになれば、図13に示すFAME、水素化処理のバイオ軽油などのバイオ燃料がかなり商業ベースに乗ってくるだろうと思います。BTL（Bio To Liquid）というバイオベースの合成燃料が本命だと思っていますが、これも低コスト化が進んでいますので、行く行くは商業ベースに乗ってくるだろうと思います。

### バイオ燃料開発で考慮すべき周辺課題

バイオ燃料の生産と使用が拡大することで、食料との競合、森林破壊問題、収穫量増大のための肥料の大量投入による水の汚染という問題、遺伝子操作による生態系への影響などが心配されています。こういう問題を把握した上でバイオ燃料の開発に取り組まなければならないと考えています。過剰なバイオマスの生産はサステイナブルとは言えないというのが我々の立場です。

ですから、バイオ燃料は将来の大切なエネルギーとして注意深く対応していく、ハイブリッド技術をきちんと使っていくというのが我々にとって重要だと思っています。

[パネル・ディスカッション]

### バイオ燃料の将来を探る

#### わが国のバイオマス賦存量を巡って

司会 最初に賦存量から聞いていきたいと思っています。「バイオマス・ニッポン総合戦略」（2002年12月）でも、日本のバイオマス賦存量を廃棄物系2億9,000万トンのうち利用率72%、それから未利用バイオマスが1700万トンの75%ぐらい、それから資源作物は全然作られていないとあります。資源作物も含めると、そのポテンシャルはかなりあるのではないかと思います。そういう中で、どれを使っていったら日本でバイオマスのエネルギー利用が成り立つのか。その辺を五十嵐先生、もう少しお聞かせ願います。

五十嵐 私個人は、廃棄物をバイオマス資源には入れていません。廃棄物系のバイオマスというのは資源というよりは、あまりエネルギーをかけないで処理する対象物だと考えています。メタン発酵で、エネルギーを搾り出せるのですが、実際にも、その次の処理が必要になってきます。ただし、大量に出てくるものについて技術が開発されれば廃棄物をエネルギー源にする可能性があると思います。

未利用バイオマスは、林山系と農産系とに分けられます。わが国のポテンシャルとしては林山系の未利用部分が最大です。賦存量で見れば、恐らくこの国のエネルギー消費量の十数%は賅えると思います。ただし、こういうものは集めてきて、エネルギーを回収しなければなりません。私は、この国の林業を復活させない限り、この国において林産バイオマスが有効に使われることはないと思っています。林業の根本的な生業は木材です。木材をちゃんと使い、副成物である間伐材や製材の廃材などを利用していくという姿が絶対に必要です。残念ながら、この国の林業は今ほとんどありません。基本的にお金を出して間伐をしない限り間伐材も出てきません。つまり、現在の日本の林業の中での間伐材というのはほとんどないのです。

農産系バイオマスにおけるエースはお米だと考えています。全国の休耕地は最大で三十数万ヘクタールぐらいはあると思います。お米というのはバイオマスで10トン/ha以上、お米として5~6トン/haぐらいできます。多収量米なら、これの5~10割増しになります。また、休耕地に、トウモロコシ、ソルガム、コーリヤンを植え、食べられる部分も含めて全部エネルギー資源として使うというやり方だと、かなりのバイオマス量が確保できると思います。

林産系、農産系バイオマスを合わせますと、この国のエネルギー消費量の10~15%ぐらいは賅えるだけのポテンシャルがあると考えています。ただし、これも生産時のエネルギー収支を考えないと、本当にエネルギー生産になっているのかどうか分からないという状況になります。

### バイオエタノール生産と供給体制の課題

司会 今、日本がフランスから輸入して毒性テストを行なっている「ETBE」ですが、2008年3月には結論が出て、ほとんど問題ない場合には本格的に活用することになっていくと思います。また、E3（エタノール3%）につ

いても環境省を中心に、大阪でプラントが動き出しています。しかし、世界を眺めると、インドがE5、アメリカがE10、それからFFVがE85対応、E100対応という流れです。「ETBE」もE3も世界の流れから外れているように思えるのですが、その辺、西尾さんは如何お考えでしょうか。

西尾 世界で見るとE10導入が大勢です。アメリカでは州によってE85、ブラジルもE25を導入していますが、地区によってはE100を導入しています。実は、この背景には、自国の農作物をできるだけ使いたいという事情があります。例えばE10を導入すれば、ガソリンが10%農作物で代替されるわけです。高い原油をそれだけ買わなくて済みます。日本の原油は、99%輸入ですから、できるだけ早く国産バイオエタノールに代替できれば良いということになると思います。

その時の問題は、バイオエタノールの効率的な生産システムだけでなく、配送までも含めたトータルシステムの効率を考えなければならないということです。例えば、北海道で休耕地をベースにエタノール原料を作るとすれば、エタノール工場はできるだけ畑に近い所が余計な燃料を使わずに済みますから好ましいということになります。しかし、そういった畑は北海道の中央部にあります。すると、エタノール工場も北海道中央部に立地することになります。一方、できたバイオエタノールは、石油会社のガソリンスタンドを通じて供給しなければなりませんから、石油会社のターミナルや製油所などで、タンクローリーに積む直前にガソリンと混ぜることになります。そういった施設は配送の便の良い海岸線に集中しているのです。すると、内陸部の畑で作ったエタノールを沿岸部に持ってきて、ガソリンと混ぜ、また内陸部のガソリンスタンドに配送するということになります。そういったことを本当にやるのかということが大きな問題となってきます。

将来を考えるなら、石油会社、あるいはその地区のガソリンスタンド協会が全部まとめてやってくれるという保証がないと、バイオエタノール生産を事業化した後で大変なことになると心配しています。

司会 確かに北海道で2つの1万5,000ℓプラントが稼働しようとしています。供給体制も考えると、コスト高になるという問題も秘めていると思います。

司会 車業界にとっては、エタノールより「ETBE」の方が良いと思うのですがどうでしょうか。

森光 低濃度の場合は、エタノールでも「ETBE」でも構いません。E3は「ETBE」だと約7%混合に相当します。ただ、E10、E23、E25だとか高濃度になってきますと、かなり大量に混ぜなければいけないという問題が起こります。ですから、濃度が上がってくればエタノールで使う方が合理的だと思っています。

先ほど西尾さんから、精油所は海岸線にあってエタノールは内陸で作るケースのご心配がありました。我々は、基本的にエタノールですと、各地に油槽所がありますのでそこで混ぜれば良いと考えています。「ETBE」ですと精油所で品質管理をしながら混ぜられるメリットはあります。また、エタノールなら分散型になるので少し条件が緩和されると考えています。

#### アメリカのバイオエタノール生産の今後

司会 アメリカのエタノール導入量は、今2,000万ℓまで来て、10年後には1億3,000万ℓという目標を掲げています。アメリカではトウモロコシからのエタノール生産は2,800万ℓぐらいで打ち止めにして、後はほとんどセルロースからのエタノールに転換していくものではないでしょうか。

湯川 少なくともDOEはそう政策誘導したいようです。ただ、アメリカのトウモロコシ協会は、政府からの補助金を受け続けるために、トウモロコシの葉っぱからもエタノールを作りたいと訴えています。

西尾 アメリカでは2010年までに2,800万ℓのエタノール生産が現実になりそうだと感じています。さらにその先に、消費される燃料の一定割合をエタノールで賄いたいという話もあります。それを受けて、今、アメリカではアルコールに対する投資ブームが起き、ものすごい勢いでアルコール工場ができています。しかし、事業として失敗するかも知れない会社も沢山出てきつつあるのです。その理由はさきほど申し上げた供給体制の問題です。エタノール工場は、中西部のトウモロコシ畑の中がほとんどです。ところが、需要地は東海岸と西海岸にあります。E10を全米導入するとなると、アメリカ大陸の中央部で作ったものを西海岸、東海岸に配送しなければならないという問題が出てくるのです。現在、アメリカの石油供給体制は、これとは逆に、メキシコ湾岸や東海岸、西海岸から内陸部へ効率的に配送する形になっています。そこへエタノールだけ、逆方向に配送するということが現実的なのか、私は疑問に思います。

ただ、アメリカのブームの背景には、第1に政府が国内バイオエタノール生産は農業政策としてやるということ、第2に原油を10%でも海外から買わなくて済むならば良いということ、第3に農家の票を得るためという政治的な思惑も否定できないことがあります。ですから、アメリカのバイオエタノール生産がこれからも調子良く伸びていくのか、よほど注意して見ていた方が良くと思います。

#### 国内バイオエタノール生産の有力な原料

司会 日本でエタノールをやっていくのにどの原料が良いのか。最終的にはハードバイオ

マスの木質、いわゆる山からの木だと思えますが、当面、日本ではお米だと思えます。今、日本の年間生産量は900万トンですが、600万トンのエタノールを作るのに米1,200万トン必要といわれています。ミニマムアクセス（最小限輸入受け入れ数量）米、や多収穫米、稲藁など、トータルで利用していけばある程度のバイオエタノールが取り出せると思うのですが、その辺、五十嵐先生お願いいたします。

**五十嵐** 今、バイオエタノールで儲けを出そうとすれば、ミニマムアクセス米からのアルコール生産しかないと思えます。ミニマムアクセス米が15~20円/kgで入手できれば、少なくとも100円/ℓのバイオエタノールを作ることができます。100円/ℓというのは農水省の目標価格です。正直言って、現在国内ではそれ以下のコストで作るのは難しいと思えます。実際に、北海道で稼働しようとしている1万5,000ℓプラントの1つは、ミニマムアクセス米を原料にスタートします。多収量米ではありません。食べるお米では絶対に成立しません。農家は60俵1万円以下では食べるお米は作りませんが、食べるお米でエタノールを作ると最低でも500円/ℓぐらいかかるからです。

また、バイオマスは、エネルギー資源だけでなく、炭素資源でもあります。今は、エタノールを作ることばかりが考えられていますが、バイオマスには、食料から始まって、飼料、蓑傘や竹籠といった日用品の原料という有効な利用方法が他にあります。バイオマスは、エネルギー資源と炭素資源の2つの間でどう総合利用するかを考えなければいけないと私は思います。

### 糖化後の展開—化成品製造の可能性

**司会** 糖化した後の工程で、燃料になる、化成品になる、固型物になる等の展開があると思えます。今度、経産省の参加共同で、エタノールの化成品化が予算化されました。これ

も糖化の後の新しいバイオ転換技術になってくると思えます。こういったものでも日本発の技術がつながってくれば素晴らしいのではないかと思います。どうでしょうか。

**湯川** 化成品に関しては、世界的な規模で、グリーンケミストリーと称して、石油化学をバイオマス由来の原料体系（バイオエタノールからエチレン製造、バイオプロパノールからプロピレン製造）に代替が計画されています。

既設の石油化学プラントがそのまま使えるわけですから、バイオ化学品製造の技術開発の進展とともに、急速に実現していくと思われます。また、BRIC'Sにおける、今後の新設の化学プラント計画では、『石油化学プラント』ではなく、当初から『グリーン化学工業』として、計画されるケースも急増していくでしょう。化学工業界における、パラダイムシフトが予想されます。このような、技術革新の大きな変革期に、日本発の技術で世界に展開していきたいですね。

### 次世代バイオディーゼルへ向けた協働

**司会** 車の方でお聞きたいのですが、先ほどバイオディーゼルのお話が出ました。今、FAMEも酸化の問題もあって車業界は使用を嫌がっています。現在、トヨタが新日本石油と共同開発している水素化処理による軽油は「次世代バイオディーゼル」と呼ばれていますが、ヨーロッパでは「次世代のバイオディーゼル」はBTLでもあります。この辺の規格化の問題については、どういう展開をなさっているのでしょうか。

**森光** トヨタと新日本石油でコラボレーションの話を進めていますが、まだそういう話を紹介したという段階で、ヨーロッパを含めた世界的なコラボレーションはこれからの議論だと思っています。

水素化処理による軽油を、トヨタと新日石

の技術ということでご紹介いただきましたが、実際には、ブラジルのペトロブラス、フィンランドのネステオイル、トータル、BPなど、色々な石油メーカーが同じコンセプトで処理をやっています。これを世の中に普及させるためには、みんなが集まって問題点の議論とか、世界への発信を一緒にやろうとかということ今考えているわけで、もうちょっとまとまった段階で、またご紹介したいと思います。

### 自動車の究極的な形

司会 車の省エネ化という点で、バイオエタノールにプラグインハイブリッドという組合せが車としての究極的な形になってくるのでしょうか。

森光 それは、将来実現すると考えられる組み合わせの1つです。エネルギー密度から言うやはり液体燃料を使いたい。将来、石油が使えなくなった時のことを考えると、バイオ燃料を前提にハイブリッドを考えたいと思

っています。非常に高性能で安価なバッテリーが開発されれば電気自動車が究極の形になるのでしょうか、現時点で見通せる程度のバッテリーであれば、プラグインハイブリッドが現実的な形であろうと思います。

### さいごに

司会 今後、日本も海外もセルロース系バイオ燃料が中心になってくると思います。今、石油が70ドル時代になり、さらに今後枯渇していくことがはっきりしている中で、石油系に替わる唯一の液体燃料はバイオ燃料だと思います。石油と共存してバイオ燃料を開発普及させていくことが重要です。

日本にとっては、発酵工業や化学工業などがこの分野に積極的に目を向け、バイオ転換技術を開発していくのが、環境問題も含めた技術立国日本の課題ではないかと思っています。本日はどうもありがとうございました。(拍手)

## 閉 会 挨拶

山 田 英 司 ( 財エネルギー総合工学研究所 )  
専務理事

本日はエネルギー総合工学シンポジウムを長時間にわたり熱心にお聴き賜わり、誠にありがとうございます。本日は約600名の方々のご参加を得まして、5件のご講演、そしてパネルディスカッションを聴いていただきました。いずれも大変興味深く、示唆に富むお話でございました。講師の方々に厚く御礼申し上げます。

午前には、三菱マテリアル名誉顧問の秋元様から地球環境の視点からエネルギーの利用につきまして、大変示唆に富むお話をいただきました。続きまして、東京大学の山地先生から、持続可能なエネルギーの観点からエネルギー需給の将来像、あるいは、その課題についてお話を賜りました。午後には、当研究所の浅見からこれまでの調査研究活動の成果を踏まえ、バイオマスに関する導入シナリオ、あるいは技術課題につきまして報告させていただきました。続きまして電源開発の田澤様からバイオマスの発電利用につきまして現況と今後の課題、さらに丸紅の鳥越様からバイオエタノールの技術に関する最前線の状況につきましてお話を伺うことができました。最後のパネルディスカッションにおきましては、日刊工業新聞の駒橋様の司会によりまして、東京大学の五十嵐先生、日本アルコール産業の西尾様、RITEの湯川様、そしてトヨタ自動車の森光様のご参加をいただき、バイオマスエネルギーの将来像について専門的なお立場から非常に多面的なご議論をいただきました。

本日の議論が今後の皆様のビジネスの展開、あるいは研究活動の推進に有益な情報を与えることができれば、本シンポジウムの主催者として望外の幸せでございます。

当研究所も、今後ともバイオマスをはじめ再生可能エネルギーの利用拡大に向けて、一層積極的に調査研究活動に取り組んでまいりたいと思っておりますので、皆様のご支援とご協力をお願い申し上げます。

本日、滞りなくシンポジウムを終えることができますのも、会場にご参集いただいた皆様のご理解とご協力の賜物でございます。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

当研究所は、来年、創立30周年を迎えます。皆様のお役に立てますよう今後とも一層調査研究活動に取り組んでまいります。そのためにも、更なるご支援とご協力をお願いする次第です。

これもちまして、本日のシンポジウムを閉会とさせていただきます。今日は本当にありがとうございました。(拍手)

## 研究所のうごき

(平成19年10月2日～平成20年1月1日)

### ◇ 第13回賛助会員会議

日時：10月5日(金) 15:30～19:00

場所：千代田放送会館

議題：

1. (財)エネルギー総合工学研究所の調査研究活動の状況について
2. エネルギー技術情報プラットフォームの運用開始について
3. 研究報告「次世代軽水炉の開発について」
4. 講演「エネルギーと環境」  
(国際連合大学副学長 安井 至氏)

### ◇ 月例研究会

#### 第261回月例研究会

日時：10月26日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. RPS下における再生可能エネルギーの普及見通し  
(東京大学大学院 工学系研究科機械工学専攻 教授 浅野 浩志 氏)
2. バイオマス・天然ガス・石炭などから製造する合成液体燃料の将来動向  
(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長 副主席研究員 小野崎 正樹)

#### 第262回月例研究会

日時：11月30日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. メジャーズの天然ガス戦略  
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 調査部主任研究員 岡崎 淳 氏)
2. 太陽電池研究開発の最前線—CIGS系太陽電池を中心として—  
(独)産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 副センター長 仁木 栄 氏)

#### 第263回月例研究会

日時：12月21日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. 世界と日本の地熱エネルギー開発動向  
(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地熱資源研究グループ長 村岡 洋文 氏)
2. ブラジル提案の動向  
(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 副部長・主管研究員 黒沢 厚志)

### ◇ 外部発表

[講演]

発表者：橋本 孝雄他

テーマ：石炭起源の合成燃料の導入可能性検討

発表先：第44回石炭科学会議 (主催：(社)日本エネルギー学会)

日時：10月12日

発表者：小川 紀一郎

テーマ：廃棄物熱エネルギーの利用技術の動向～大都市での発電・熱利用と小都市でのエネルギー回収のあり方～

発表先：第51回全国環境衛生大会 (主催：日本環境衛生センター, 後援：環境省他) 第二分科会「廃棄物処理施設におけるエネルギー回収と環境負荷低減」

日時：10月18日

発表者：蓮池 宏

テーマ：エネルギー技術100年の計

発表先：アイシンGHP代理店会20周年記念講演会

開催地：名古屋キャッスルプラザホテル

日時：10月18日

発表者：氏田 博士

テーマ：CO<sub>2</sub>制約と発電コストから見た将来のエネルギーシステム構成の検討

発表先：AEARU (東アジア研究型大学協会) ワークショップ

日時：10月29日

発表者：浅見 直人

テーマ：運輸部門における地球温暖化対策—輸送用バイオマス由来液体燃料の技術の現状と展望—

発表先：第7回自治体セミナー (主催：東北緑化環境保全(株))

日時：11月1日

発表者：蓮池 宏他

テーマ：太陽光を模擬した平行輻射光によるパイプ列の加熱

発表先：日本機械学会熱工学コンファレンス2007

場所：京大会館 (京都市)

日時：11月24日

発表者：中村 恒明

テーマ：水素エネルギーの展望と課題

発表先：熱流体フォーラム, 第22回熱流体先端技術講演会 (芝浦工業大学豊洲)

日時：11月29日

発表者：角本 輝充

テーマ：エネルギー分野の新技術の方向性と実用  
化のシナリオ

発表先：技術士フォーラム2007（社）日本技術士会

日 時：11月29日

発表者：坂田 興

テーマ：エネルギー用途の水素製造技術

発表先：日本学術振興会製銑第54委員会

日 時：12月6日

発表者：中村 恒明

テーマ：水素供給の技術課題

発表先：有機ハイドライド利用システム特別講演  
会

日 時：12月10日

発表者：小野崎 正樹

テーマ：燃料関連分野の技術戦略マップについて

発表先：日本学術振興会，石炭資源利用技術第148  
委員会・第111回研究会

日 時：12月12日

[その他]

講師：中村 恒明

テーマ：天然ガスと水素社会の展望

発表先：2年生冬学期講座（東京大学工学部シス  
テム創成学科）

日 時：11月1日

#### ◇ 人事異動

○11月1日付

（採用）

徳田憲昭 プロジェクト試験研究部 副部長  
主管研究員

○12月31日付

（出向解除）

山田輝行 プロジェクト試験研究部 主管研究員  
角本輝充 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○平成20年1月1日付

（出向採用）

寺田 保 プロジェクト試験研究部 主管研究員

## 編集後記

今年の正月は原油100ドル超えのニュースとともに明けた。京都議定書の第一約束期間開始、洞爺湖サミット開催など、エネルギーおよび地球環境についての大きな課題を背負い多難を予感させるねずみ年のスタートである。

1月6日の毎日新聞に、地球温暖化問題に関するアンケートの結果が掲載された。地球温暖化に対する関心や危機感の有無、不安を感じる現象、温暖化防止のための日常的行動、環境税に関する賛否、生活レベル低下の許容の可否、などを聞いている。テレビ等で盛んに取り上げられる最近の状況の反映であろう、約90%が地球温暖化に関心があり、約80%が危機感ないし不安感を持っていると言う結果である。生活レベルを下げる事が「できる」が49%で、「できない」の41%を上回り、また環境税の導入に「賛成」が47%で、「反対」の42%を上回る。政府が何にせよ温暖化防止の政策を実施するにあたり、一般的には、国民に受け入れられる素地ができつつあると言えそうだ。まだ先のことと考えての答えかも知れず、YES・NOは拮抗しているから、現実には困難が予想されるが。

「議定書の目標達成のために日本がすべきことは」との問いに対し、「風力発電や太陽光発電に補助金を出す」と「森林を整備するための補助金を出す」がトップ2つであったのは、まあそうだろうなと思わせる一方で、「温暖化防止には原子力発電が有効と言われています。原子力発電の増設に賛成ですか。」とのやや誘導的かもしれない問いに対しては、賛成39%、反対50%と言う結果であった。二酸化炭素削減に対する風力・太陽光の定性的な優秀さと定量的な限界（2030年でわが国の一次エネルギーの精々5%であろう）に対して、定性的にも定量的にも優れている原子力発電の人気は盛り上がらない。太陽光や風力発電の普及を一層推進すべきであることは疑いないが、それらの限界に対しても国民の理解を深めるとともに、最近低下している原子力への信頼を早急に回復して、原子力発電増強を二酸化炭素排出削減の大きな柱の1つとする国民的合意形成の努力が急がれる。

編集責任者 疋田知士

### 季報 エネルギー総合工学 第30巻第4号

平成20年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2

新橋SYビル (8F)

電話 (03) 3508-8894

FAX (03) 3501-8021

http://www.iae.or.jp/

(印刷) 和光堂印刷株式会社

※ 無断転載を禁じます。