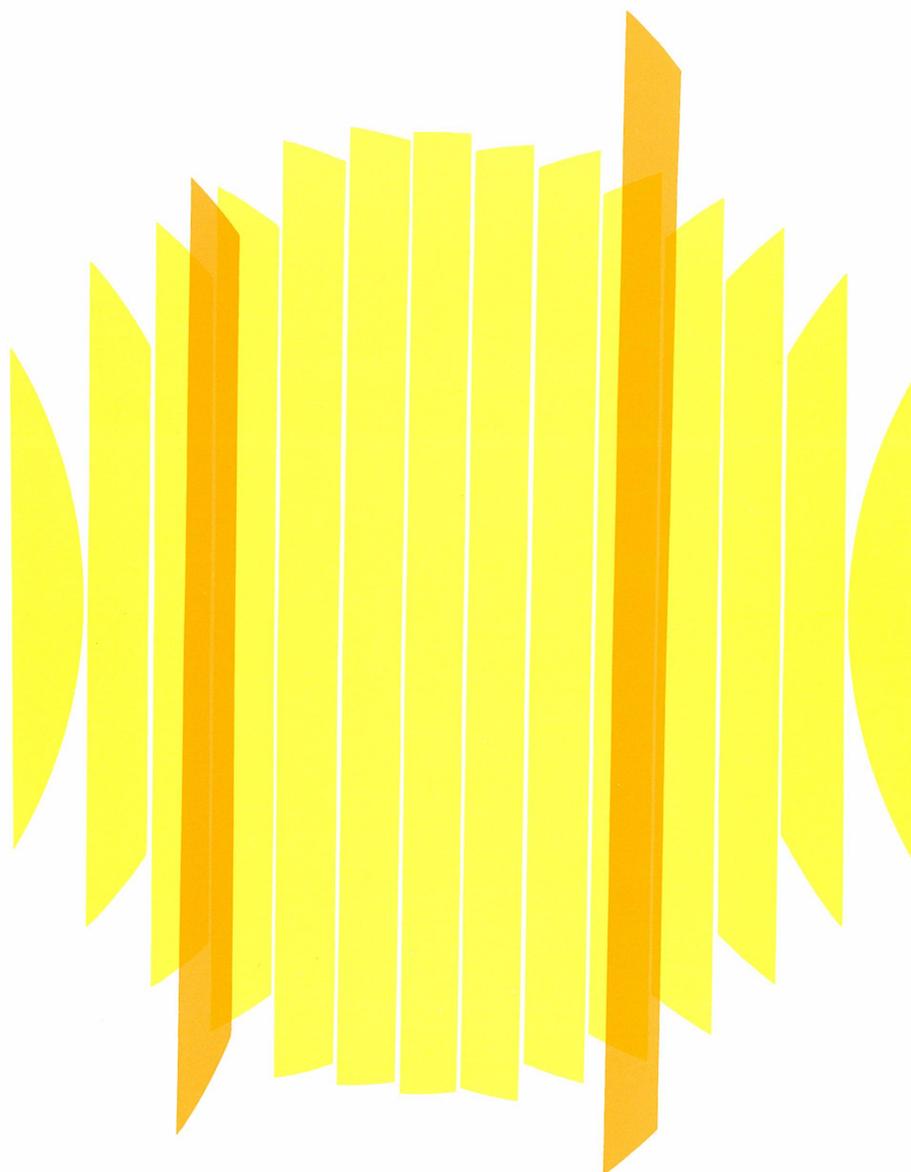


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 27 No. 3 2004. 10.



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

# 目 次

【新任挨拶】 新任のご挨拶 (財エネルギー総合工学研究所 副理事長 並 木 徹 …1

〔バイオマスエネルギー特集〕

【座談会】 バイオマスエネルギーの利用について  
—バイオマスロードマップの成果を踏まえて—

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授 内 山 洋 司  
経済産業省 資源エネルギー庁  
新エネルギー対策課長 荒 木 由 季 子  
農林水産省 大臣官房環境政策課  
資源循環室長 藤 本 潔  
(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構  
環境技術開発部 主任研究員 田 島 正 喜  
司会 (財エネルギー総合工学研究所  
エネルギー技術情報センター長 小 川 紀 一 郎 …3

【寄稿】 森林バイオマスの全面的利用の可能性  
—木質資源との付き合い方を考えよう—  
東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授 鮫 島 正 浩 …21

【寄稿】 木質バイオマスの利用技術の動向  
バイオエネルギー・コンソーシアム運営委員長 城 子 克 夫 …30

【調査研究報告】 木質系バイオマスによる  
小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発  
プロジェクト試験研究部 主管研究員 奥 田 誠 …40

【寄稿】 欧米での電力自由化動向  
(社)海外電力調査会 企画部 主席研究員 東 海 邦 博 …52

【寄稿】 日本の電気事業制度改革  
—現状の紹介と今後の展開—  
(財)電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員 丸 山 真 弘 …66

【調査研究報告】 フレキシブルタービンシステムの研究開発  
—中小工場における蒸気・排熱の有効利用を目指して—  
プロジェクト試験研究部 主管研究員 蓮 池 宏 …76

【調査研究報告】 「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」の成果と展望  
プロジェクト試験研究部 専門役 浅 見 直 人  
元プロジェクト試験研究部 主任研究員 阿 閉 聡 …87

【調査研究報告】 高レベル放射性廃棄物の地層処分  
—不確実性と信頼性に関する考察—  
プロジェクト試験研究部 部長 蛭 沢 重 信 …101

【研究所の動き】 …………… 117

【編集後記】 …………… 118

[新任挨拶]

新任のご挨拶

並木 徹 ( 財団法人エネルギー総合工学研究所  
副理事長 )



本年7月1日から副理事長を拝命致しました。

おりしも猛暑の中、また石油等エネルギー資源価格の高騰、美浜3号機の事故対応等々困難な状況の中で、エネルギーの安定供給に日々腐心しております関係各位の皆様にご心から敬意を表し申し上げます。

皆様の御尽力によりまして、昨今経済全般に明るい動きが出つつある中で、いわゆる3E（経済、環境、エネルギー）の舵取りが的確に進められることを切に期待しております。

さて、当研究所は昭和53年の設立以来、産官学の関係の方々の大変温かいご支援のもとにエネルギーの問題を総合工学の立場からとらえつつ、着実に活動を広げ、成果を積み重ねて参りました。

近年エネルギーに関する総合戦略の構築の重要性に鑑み、国民全般への新たなアプローチを行うべく、日本学術会議、日本工学アカデミーの活動、エネルギー対策基本法の成立等、政府・国会の動きの中で、わが国において3Eの課題を解決するためには「科学技術」の役割が極めて重要であり、「技術戦略」の構築が不可欠とされています。

すなわち1997年12月、地球温暖化防止のため「京都議定書」が採択され、2008年から2012年に至る目標が定められましたが、その後の推移（世界全般のエネルギー消費の伸び、原子力、新エネルギーの低迷等々、また、米国の「議定書」からの離脱等々）は、「京都議定書」さらにはその後の期間への合意を、極めて困難なものとしつつあります。

わが国の経済再生は、緒につき明るい兆しはみられるものの楽観を許す状

況とはとても言い難い中、おりしもこの6月、2030年を見据えた「総合資源エネルギー調査会」の長期エネルギー需給見通しが発表され、また、「原子力委員会」、「中央環境審議会」等政府関係機関の検討が進みつつあります。例えば、「産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会エネルギー環境合同会議中間とりまとめ」として10の提言が行われています。その1番目が「国家戦略としてのエネルギー環境政策の立案・実施」であり、その10番目が「技術を核とした国際競争力あるエネルギー関連産業の創造」であり、まことに首肯されるものであり、10番目の提言においては、官民協力のもと、明確な目標を掲げた上でロードマップを策定すべきとしています。

このような方向での産官学による「技術戦略」の再構築への協同の推進が行なわれる中で、当研究所に与えられた課題に総合工学的視点から取り組ませていただくことに大きな責任と喜びを感じております。

皆様方の益々のご発展を念じつつ簡単ではありますが、以上をもちまして私のご挨拶とさせていただきます。

## バイオマスエネルギーの利用について

—バイオマスロードマップの成果を踏まえて—

内山 洋 司 (筑波大学大学院 システム情報工学  
研究科 教授)

荒木由季子 (経済産業省 資源エネルギー庁  
新エネルギー対策課長)

藤 本 潔 (農林水産省 大臣官房環境政策課  
資源循環室長)

田 島 正 喜 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構  
新エネルギー技術開発部 主任研究員)

司会

小川紀一郎 (勸エネルギー総合工学研究所  
エネルギー技術情報センター長)



---

### はじめに

---

司会 本年6月、「総合資源エネルギー調査会」において、2010年および2030年に向けた「長期エネルギー需給見通し」が

発表されました。さらに今年度中にも「地球温暖化推進対策大綱」の見直しも予定されています。その中で、「省エネルギー」、「新エネルギー」および「燃料転換」は依然として対策の大きな柱だと理解しております。そこで本日は、「新エネルギー」の中の主役として期待されます「バ

バイオマスエネルギー」を取り上げて、これを推進する各分野の代表的立場の方々にご出席いただきました。

大学から内山筑波大学教授，経済産業省から荒木新エネルギー対策課長，農林水産省から藤本環境政策課資源循環室長，そしてNEDOから田島主任研究員です。お忙しいところをありがとうございます。



内山 洋司 氏

( 筑波大学大学院 システム情報工学 )  
研究科 教授

---

## バイオマスの位置づけ

---

### 一層増す地球温暖化対策の重要性

司会 まず、内山先生からバイオマスの位置づけの復習をかねて、現在の推進状況をどう考えておられるかご紹介いただければと思います。

内山 バイオマス利用というのは温暖化対策の1つとしてその重要性が世界的に高まってきております。「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」がまとめた『第3次評価報告書』(2001年)によりますと、世界のエネルギー需要が高まっていく中で温室効果ガス抑制に最も期待されているのが「バイオマスエネルギー」であると位置づけられております。欧米や開発途上国の農村部を中心に「バイオマスエネルギー」の利用が進んできているわけですが、残念なことにわが国での普及はまだ低レベルの状況にあると思います。そういう中で、わが国もバイオマ

スの利活用は、単に温暖化対策だけでなく、循環型社会の形成や国際的に競争力のある産業育成、あるいは農林漁業の活性化といったことも含めて今後開発が期待されていると思います。

政府は2002年12月末に「バイオマス・ニッポン総合戦略」を閣議決定しました。これによって内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省といった省庁が協力してバイオマス利活用を推進していく体制ができました。しかし、バイオマス利用がそう簡単でないということは、我々もエネルギー政策をこれまでやってきてよく理解しております。と言いますのは、1970年代、石油危機が起きたときもバイオマス開発がかなり盛んに行われたわけですが、残念なことに天然ガスや原子力が石油代替エネルギーとして積極的に開発された反面、バイオマス開発は一過性で終わってしまったという経験があります。

温暖化対策というのは大変長期の問題

ですので今後息の長い対策が必要であり、「バイオマス・ニッポン総合戦略」では、それに向けた技術開発及び施策が大事ではないかと考えております。

---

## 主要な施策

---

### 7 省庁をあげて取り組む

#### 「バイオマス・ニッポン総合戦略」

司会 現在の主要な施策として「バイオマス・ニッポン総合戦略」があります。その策定に携わられました農林水産省の藤本室長に、策定当時の狙い、あるいは苦労話をご紹介いただきたいと思います。

藤本 「バイオマス・ニッポン総合戦略」の直接的なきっかけは、2002年6月に出された小泉内閣による「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2002」、いわゆる「骨太第二弾」、または「骨太方針」に「バイオマスの利活用について具体的な方策を作りましょう」と謳われたことです。内山先生もおっしゃっておられましたが、バイオマスの利用に対して「4つの期待」があると考えています。1つ目が地球温暖化防止、2つ目が循環型社会の形成、3つ目が競争力のある新たな戦略的産業の育成、4つ目が農山漁村の活性化です。「骨太方針」の中では、「地域力戦略」の中でバイオマスを考えていこうということでした。バイオマスといえば、家畜排



藤本 潔氏

（農林水産省 大臣官房環境政策課  
資源循環室長）

せつ物も、稲わらも、間伐材も地方に行けばどこにでもある。それをうまく使うと、地域で産業を興し雇用創出ができるのではないかと。すなわち、地域の活性化につなげたいという思いが非常に強くあったと言えらると思います。

「骨太方針」に書かれたということもあって、経済産業省も環境省、国土交通省も協力的でした。「バイオマス・ニッポン総合戦略」の策定にあたり、むしろ省内の協力を得ることの方が大変だったかも知れませんが。策定作業自体、今までの対応の見直しという作業だったものから、今までやってきたことの単純な延長線上ではすまないという感じもあって、特に間伐材をかかえている林野庁、家畜排せつ物をかかえている生産局畜産部などとの折衝にも苦労しました。とは言いながら、農林水産省として新しい仕事をやっていこうという方針のもとで集まっていただけということに非常にありがたく思っております。

「新エネルギー産業ビジョン」ーバイオマスは地域の課題を解決していく取り組み

司会 冒頭述べましたエネルギーの長期需給見通しに呼応する形で、経済産業省は6月に「新エネルギー産業ビジョン」を発表しておられます。そういう経緯の中で、バイオマスをどう評価し、位置づけておられるのか、荒木課長、ご紹介お願いします。



荒木 由季子氏  
(経済産業省 資源エネルギー庁  
新エネルギー対策課長)

荒木 バイオマスは、2年半前、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」(新エネ法)の対象を見直した時に、雪氷エネルギーとともに同法の対象として入り、その後「バイオマス・ニッポン総合戦略」の中に位置づけられました。新エネルギーの中では最近取り込まれたとい

うこともあって、バイオマスはわりとブームになっているという気がします。一方で、実態としてはバイオマスのエネルギー利用は新エネルギー全体の中でも約3%にしかならない。「長期エネルギー需給見通し」が掲げる新エネ導入目標でも、

表1 新エネルギー導入目標におけるバイオマス

	1999年度実績		2010年度見通し/目標				2010 /1999
	原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	現行対策維持ケース		目標ケース		
			原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	
<b>(発電分野)</b>							
太陽光発電	5.3	20.9	62	254	118	482	約23倍
風力発電	3.5	8.3	32	78	134	300	約38倍
廃棄物発電	115	90	208	175	552	417	約5倍
バイオマス発電	5.4	8.0	13	16	34	33	約6倍
<b>(熱利用分野)</b>							
太陽熱利用	98		72	—	439	—	約4倍
未利用エネルギー (雪氷冷熱を含む)	4.1	—	9.3	—	58	—	約14倍
廃棄物熱利用	4.4	—	4.4	—	14	—	約3倍
バイオマス熱利用	—	—	—	—	67	—	—
黒液・廃材等(※1)	457	—	479	—	494	—	約1.1倍
新エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給/構成比)	693 (1.2%)	—	878 (1.4%)	—	1,910 (3% 程度)	—	約3倍
一次エネルギー総供給	約5.9億kl		約6.2億kl		約6.0億kl 程度		

(※1) バイオマスの一つとして整理されるものであり、発電として利用される分を一部含む。

バイオマスの対「新エネ供給計」  
2.8% → 5.3% (黒液・廃材等を除く)  
65.9% → 31.2% (々含む)

(出所: 総合資源エネルギー調査会「新エネルギー部会報告書～今後の新エネルギー対策のあり方について～」2001年6月)

2010年度に5%ぐらいしか想定されていません。黒液廃材を除くとそれほど大きな導入量が想定されているわけではないのです。

先ほど藤本室長からもお話しがりましたが、経済産業省がなぜバイオマスに着目しているのかといいますと、地域に埋もれている未利用エネルギー資源をうまく活用していこうという視点があります。「新エネルギー産業ビジョン」を作った時も、バイオマスの場合は特に地域の活性化、あるいは環境問題など地域の課題を解決していく取り組みの1つとして捉えました。バイオマスというのは、量的なもの他に地域性との関連で非常に注目されています。

「新エネルギー」は全体的に経済性上割高だということがあるのですが、エネルギーという側面から取り組んでいるだけではなかなか進まないということを非常に感じております。そういったところで「バイオマス・ニッポン総合戦略」のような、各省庁がうまく政策的に乗り合えるような枠組みで進めていくというのは非常に大事なことだと実感しております。

私ども色々な補助制度で支援をしていますが、モデル的な成功事例を早く作って、それを広げていくことが大きな課題というふうに思っております。

---

## バイオマスエネルギーロードマップ

---

### 作成の経緯～長期で検討する必要性

司会 ここで具体的取組みの例をご紹介します。昨年12月から今年6月にかけて、資源エネルギー庁新エネルギー対策課の依頼により、NEDOおよび当所で作成しました「バイオマスエネルギー技術ロードマップ策定に関する調査」を一例として取り上げたいと思います。

まず、荒木課長から、なぜその時点でロードマップを取り上げようとしたか、経緯をご紹介しますのでしょうか。

荒木 新エネルギーの技術開発は、「サンシャイン計画」の時代を含め長い間取り組んできていますが、その間に、政策的背景は変わってきています。例えば、かつては石油代替エネルギーの開発ということが大きな目的だったのですが、今ではそれ以上に地球環境問題への対応ということがクロージアアップされてきています。

バイオマスエネルギーのシステム検討というのは、「原材料」、途中の「転換技術」、「アウトプット」を掛け合わせると非常に膨大な組み合わせがあります。なおかつ、どこで使っていくかという条件によって最適なものが様々に異なってきます。私どもとしては、技術革新が起こっている中で、どこに技術開発の重点を置いていくか考えないといけないと感じたわけです。

2030年までのエネルギー需給見通しが作られたこともありますし、技術開発もかなり長期にわたって考えていかなければいけません。2030年という長期を見通して、わが国として一体どういう分野に今後取り組んでいくべきかきちんと検討すべきではないかというのが私の問題意識でした。その時、単純に技術指向の検討だけでなく、活用される領域がどうなっているのかというニーズ面、本当に使えるもの、あるいは波及効果の大きい部分も検討していただきたいということで、NEDOをお願いしたわけです。

司会 それでは、そのロードマップ委員会の委員長を担当された内山先生に、委員長として留意された点、あるいは成果の評価等についてご説明をお願いします。

#### 意義あったロードマップ作成

内山 まず、この時期に、前述のように資源エネルギー庁主導でバイオマスエネルギーロードマップを作成したということは非常に意義があったと思います。日本の場合、技術で世界に貢献していこうという流れがあるわけですので、今後バイオマス技術が世界にどう役立っていくのか、そのための技術の要素を抽出し、今後重点的に開発すべき課題を明らかにする意義は非常に大きいと思います。

今回の調査では、バイオマスを「木質」、「下水汚泥」、「食品廃棄物」、「畜糞」に分

けて分析しています。それぞれのエネルギー転換技術を中心に、「前処理」、「後処理」、「周辺技術」を加えた技術群を網羅的に体系化しています。ロードマップ作成に当たりましては、研究機関、メーカーなどのメンバーからなる「作業部会」、大学など公的機関の委員からなる「バイオマス戦略調査委員会」を設置しました。

まず、個々の要素技術について技術特性を明らかにする「技術ロードマップ」を作成しました。図1に同成果の一例を紹介します。加えて、効率、環境、経済、実現、新規といった総合的な視点から各技術を特性づける「特性ロードマップ」を作成しています。

バイオマスエネルギー利用法としてどのようなものがあるか方向づけているわけですが、結果から見ますと、基本的にはバイオマスを燃やして熱に変換し暖房や加熱、あるいは発電に利用していく方法、メタンガスを発酵して燃料電池等に利用していく方法があるわけです。

発電やメタンガスの発酵というのは基本的には「規模の経済」が成り立つ技術ですから、性能や経済性は大型化すればするほど有利になる。報告書の中でも、性能と経済性を高めていく「規模の経済」を追求した技術開発が重要になるという結論が導き出されております。

もう1点は将来の技術、いわゆる新規性がある技術に関しては逆に実現性がやや低いという総合評価がなされておりまして、新規性は、経済性、実現性とはトレードオフの関係になっているという結果

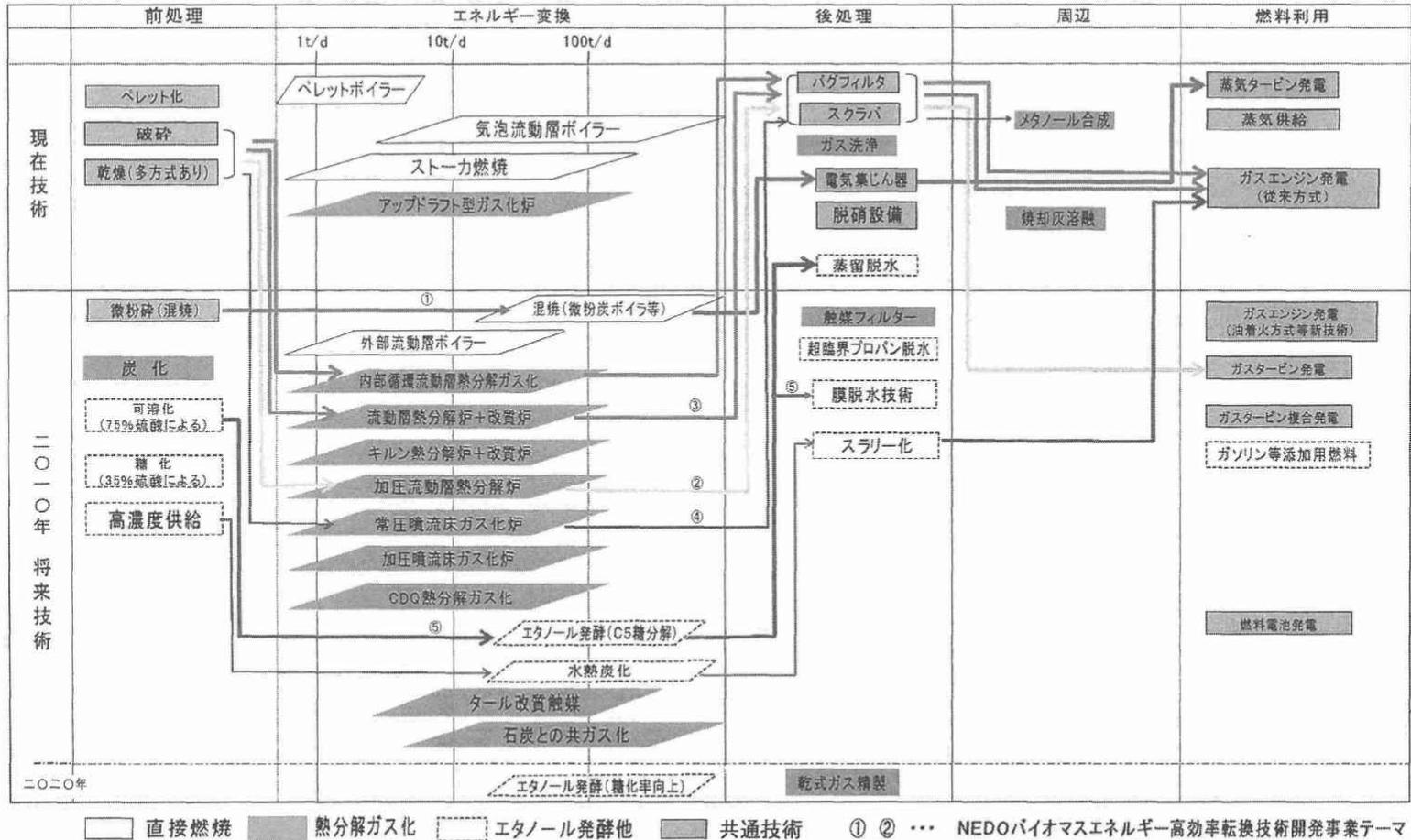


図1 バイオマス技術集約図(木質バイオマス)

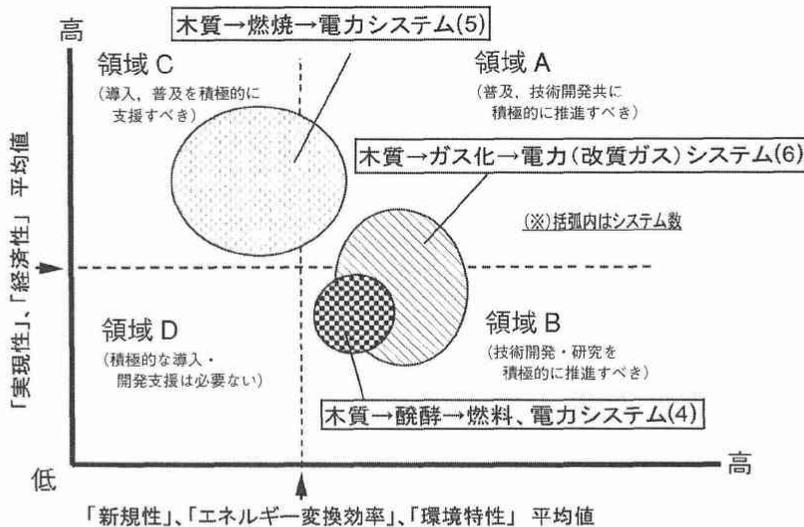


図2 木質バイオマス 2010年断面の技術開発動向

が出ています。図2に具体的成果の一例を示します。

全体として「木質」と「下水汚泥」を利用する変換システムについて高い評価が得られておりまして、将来の技術としては高性能の発電技術やメタン発酵技術が今後期待される技術であるとなっています。

今回の調査は投入するバイオマスが用意されていることを前提にし、一番大きな課題であるバイオマスの生産、収集、運搬の問題が除外されています。バイオマスの利活用を農山漁村の活性化にも役立てていきたいという期待があるわけですが、実際にはそういう課題が多く、総合的な戦略を根づかせるためにも、一貫したプロセスを体系的に評価検討していくことが今後の課題になるのではないかと考えます。

そういう点からいいますと、経済産業省内での技術の見方だけでなく、農林水

産省、国土交通省の視点を加えて、バイオマス利活用に向けた問題を解決するための制度も含めて検討していくことが必要だと思いました。

実施中の開発プロジェクトに

活かしたロードマップ策定調査

司会 資源エネルギー庁からの受託窓口となられたNEDOの田島主任研究員から、ロードマップの作成の取りまとめにどのように対応し、どう評価されているか、ご意見をいただければと思います。

田島 実は昨年末にバイオマス関連の技術を取り巻く諸状況に関して資源エネルギー庁新エネルギー対策課と我々がフリーに討議する機会がありました。その中で荒木課長から先ほどのご趣旨のお話がありました。

実行部隊であるNEDOとしての大きな意義づけの1つ目は、現在実施中の「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」（平成13年度～）に対する将来的な展開を含めた包括的な評価を得たいということです。同研究開発プロジェクトは、当初7テーマを採択してスタートした後、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の答申を受け4テーマを追加し、現在11テーマで行っております。ここ数年で、非常に多角的に網羅的に行っているものです。

2つ目の大きな意義づけは、我々としてこのロードマップ策定期間中に、11テーマの補完的な意味合いで「要素技術開発」の公募を予定しております。その公募の条件策定に本ロードマップ策定調査の反映を図りたかったことでした。

それから、3点目として、NEDO内には「新エネルギー」以外に関してもロードマップ策定の動きがあり、今回のロードマップが他分野のロードマップに準じ、バイオマス分野の方向付けを主張できるものと期待しております。

11テーマの技術開発は、新エネルギー対策課のご指導のもと、平成13年度から展開しています。バイオマスが「新エネルギー」として受け止められていなかった当時からバイオマスの新たな技術研究、特に高効率転換を進めていくに当たって、新エネルギー対策課と一緒に開始したものです。そういった中、開発開始から約3年後の昨年10月に、NEDOは独立行政法人化されました。NEDOが行う技術開発として、「集中と選

択」の観点から、11テーマがどういう位置づけなのか、今までに増して、NEDO内外に向けて説明する必要があります。その際にこのロードマップを活用させていただきたいという次第です。

---

## バイオマス技術の開発事例

---

司会 次に技術開発というハード面での取り組み例についてご紹介いただきたいと思います。

田島 前にも述べましたように、平成13年度から11テーマについて技術開発を行っております（図3）。

11テーマのうち、石炭とバイオマスとの混焼は当初の目的を達成し平成15年度末で開発を終了しています。それから、低温ガス化においてタールを触媒で分解する技術は、NEDOの中間評価で技術的



田島 正喜氏

（財）新エネルギー・産業技術総合開発機構  
新エネルギー技術開発部 主任研究員

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
(1)石炭・バイオマス混焼		■	■			
(2)小型流動床ガス化発電システム		■	■	■		
(3)低温流動床ガス化用タール分解触媒開発		■	■			
(4)噴流床ガス化メタノール製造技術		■	■	■		
(5)水素・メタン2段発酵技術		■	■	■		
(6)ABE・メタン2段発酵技術		■	■	■		
(7)木質バイオエタノール製造技術		■	■	■		
(8)下水汚泥ガス変換発電システム			■	■		
(9)下水汚泥高効率嫌気性消化システム			■	■		
(10)油中脱水・2段ガス化技術			■	■		
(11)二段階反応法によるBDF製造技術			■	■		

2002年3月      2003年6月

(出所：NEDO環境技術開発部資料)

図3 「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」テーマと開発期間

なハードルが非常に高いと判定され、中間目標である「タールの分解特性の把握」を達成し、終了いたしました。

進捗ですが、既にどのテーマも基礎的な実験は終了して、サイトにほぼプラントが据置された状況です。今年に入って、実証テストに近い条件でのテストにかかっている段階で比較的順調に推移しています。

特に失敗事例は出てきていないのですが、開発を終えた混焼技術はまだ実用化に至っていません。現在、次のステップを模索しているところです。

タールの分解の技術開発に関しても非常にハードルが高いので、異なった触媒へのアプローチだとか、異なったガス化手法の模索を行っている最中です。

藤本 実は「バイオマス・ニッポン総合戦略」を作るとき、技術分野での引金の1つは、木質バイオマスをガス化して、メタノールを合成する技術開発でした。木質バイオマスを原料に、液体燃料にするという話については非常に期待しているところです。

今年から農林水産省で、低コストでバイオマスからポリ乳酸<sup>※</sup>を作る技術開発を進めています。バイオマスをマテリアルとして利用する研究ですが、こうしたバイオマスを何度も「物」として利用した後、エネルギーを回収するという全体システムをどうやって構築していくのかということが、実はバイオマスを利用する上では一番重要なのではないかと、この何年間かの仕事の中で感じています。

※ポリ乳酸とは、でんぷんやセルロースなどを原料として、乳酸発酵させてできる乳酸を重合してできる植物由来のプラスチック。ゆるやかな生分解性を持つ。音響製品の筐体やプリスターパックなどの包装材、クリアファイルなどの文房具で商品化されている。

バイオマスは集めるところが一番大変だと言われますが、それだけではなく集めてきたものを変換して、地域でどう使い尽くしていくのかというトータルシステムを作っていくところが最も大切なのではないかと考えています。農林水産省では、そういう技術開発をお手伝いさせていただいていますが、地域ごとに特徴があって創意工夫が必要ですから、「こうやれば必ずうまくいく」などという見本を出すのは難しいでしょうね。

---

## 収集も含めたトータルシステム構築

---

### バイオマス利用の難しさ

司会 今の話をもう少し展開させていたきたいと思います。物を作って、何度も利用し、最後にはエネルギーを取り出す。もっと上流では集めるということが重要だというお話をなさいました。関連したご意見がありましたらお願いします。

内山 藤本室長の考え方というのはまさに「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づいていると思います。結局、いかに付加価値のあるものにしていくかということだと思うのです。燃やしてしまったら付加価値はあまりない。それよりも原料や飼料という、もう少し価値の高いものにまず利用できるのだったら利用しよう。最後に、それ以上使えなくなって、

燃料として使っていこうという一種のカスケード的な利用です。

エネルギーとして使う場合にもやはり付加価値の問題があります。今回のロードマップでは、乾燥燃料として利用価値の高い木質については、高効率の技術開発、分散化によるガス化で性能を上げる技術の開発をしていこうと提案しています。それがエネルギー利用の中でも付加価値が高いわけです。

糞尿、下水汚泥といった含水率の高いものについては、メタン発酵で付加価値の高い製品を生み出す技術の開発を提案しています。技術は、常にどうすれば市場に受け容れられるかが課題になっています。そのために、より価値の高いものを作り出していこうという流れがあると思います。

ところが、バイオマスは非常に広く薄く賦存しているものですから、いい技術があっても、収集、運搬のところが経済的に成り立たないために、多くの場合バイオマスを利用できていない。どうやって、収集、運搬のネックを解決するシステムを作り上げていくかが非常に大きな課題になります。

もう1つ、バイオマスに限らず新エネルギーの場合、付加価値の高いシステムにしていくためには、初期投資が非常に大きいのです。新エネルギーの導入者というのは、経済的に余裕のないところが多いので、初期投資額が大きいシステムや技術を避けたがるものです。初期投資費用を普段の運用費用に転嫁するような形

で、導入者の負担をなるべく小さくするような政策，制度を作ることも課題になると思っています。

**荒木** 基本的に藤本室長のおっしゃるとおりだと思っています。バイオマスの難しさは、エネルギー転換という、一部分の最適解を求めているはいけない。マテリアル利用も含めて、あるいは、エネルギーを取った後の副産物も含めた意味でトータルに考えていかないと、なかなかシステムが組めないことだと感じています。

特に、内山先生がおっしゃったように、収集、運搬部分も含めて、トータルシステムとして、ビジネス展開していける仕組みも検討していかなければいけないのかなと思っています。

例えば、建設廃材はある程度ビジネスになりつつありますが、その他のバイオマスについても、収集、運搬、利用、色々な処理まで含めて、これをどううまくビジネスに育てられるかが大きな課題だと思います。

「規模の経済性」を迫及する「集中型のビジネスモデル」、一方でローカルな「分散型のビジネスモデル」の両方が考えられるといいと思います。逆にいうと、そういうところをうまく考えないと、バイオマス利用というのはなかなか難しいという気もしています。

**田島** 今回作成したロードマップでは、発展性のある技術となると、ガス化技術の方が発酵に比べ点数がよかった結果となりま

した。ところが、先ほどご紹介したガス化プロジェクトは、スタート当初のシナリオからずれてきています。何が原因かというところ、やはり木質バイオマスが集まらない点です。荒木課長が言われたように、当初、賦存量からすると間伐材や未利用樹、ダムの流木等を原料にすることで開発がスタートしたのですが、現時点で、将来の図を描いてみると、バイオマスのインプットはほとんど建設廃材なのです。これはリサイクル法によって処理が義務づけられていることで、現在、逆有償、つまりお金を受け取って入手できる状況にあります。開発を行うメーカーからするとビジネスモデルにするにはそれが一番現実的だということで、当初の構想から随分ずれてきているわけです。

やはり、ある程度バイオマスを確保し、規模の増大を図らないと、採算が合わないガス化の技術開発の先には、バイオマスの収集問題がついて回ることを切実に感じています。

石炭との混焼が次のステージに進めない理由もこれとまったく同じです。石炭に数%バイオマスを混ぜるといっても、石炭火力発電所では相当量のバイオマスが必要なのです。これも間伐材や未利用樹のチップを考えていたのですが、必要な量が確保できません。集まってきたとしても非常に高額だということで、この収集問題をどうにか解決しないと、ロードマップでは「将来明るい」と言われたガス化技術の未来が描けないのではないかと感じています。

## 「バイオマスタウン構想」

司会 今後の施策について。まず、最近発表された「バイオマスタウン構想」の狙い、応募条件、資格などの概要について、藤本室長よりご紹介をお願いします。

藤本 「バイオマスタウン」という構想自体は、「バイオマス・ニッポン総合戦略」に当初から書いてありました。これには農林水産省を含む7省庁が積極的に関与しています。「地域」がやろうとしていることについて、関係者みんなが情報を共有しようというコンセプトで生まれたものです。

先ほど来、バイオマスの収集の話が出ています。「規模の経済性」が出るからといっても、家畜排せつ物のような水びたしのバイオマスを長い距離運ぶのはあまり現実的ではないでしょう。そういうことを考えると、市町村程度のエリアで物事を考えるのが一番現実的ではないかと思えます。

その時に、その地域に何があって、何に使いたいのかを、一緒に考えていきましょうということによって募集をしようということにしたわけです。

この「バイオマスタウン」というのは、まずは、その地域の関係者間で情報を共有してください。それから、構想として提案されてくれば、それを応援しようとしている関係行政機関の間で情報を共有します。できるところが応援しましょう。それでうまくいけば、さらに、全国

的にそういう情報を共有しましょうと。まずは、地域の関係者間、そして関係府省間、さらに全国の市町村間、この3つの段階で情報の共有を進めたいというのが、「バイオマスタウン構想」の狙いです。

## 経済産業省のモデル事業

司会 経済産業省ではモデル事業（実験事業と呼称）の構想を平成17年度から展開しようとお考えになっていると思います。その辺の構想と内容につきまして、荒木課長からご紹介をお願いします。

荒木 特に「新エネルギー」は地域を中心としてモデル的なものを導入しようという話は結構多いのですが、バイオマスの場合は、現実的に見ても、一部の事業者がやられているところは別として、自治体の関心が高いです。エネルギー利用の観点から、私どもの支援制度を利用したいという方もいらっしゃいますが、プロジェクトの内容を見ると、エネルギー利用ではありながら、堆肥を作ったりと、複合的なプロジェクトであることが多いのです。

地域のニーズや置かれた状況もさまざま、何を中心にして地域活性化を図っていくかということも違うと思います。当然バイオマス資源の賦存状況も違うと思いますが、エネルギーという側面から見るときに、ある程度他の地域の参考になるような事例を発掘して、支援をし、それがうまくいけば他へ水平展開できる

のかなど。先ほど藤本室長は、関係者間で情報共有することが大事だとおっしゃっておられましたけれども、私どもとしては、それをエネルギーという側面から、誰かがやることを待つのではなく、なるべく成功事例を作り出すことを支援し、水平展開していけるよう支援したいと、来年度に向けて新たな制度を考えているところです。

できれば、関係省庁が考えられていることともうまく連動できればいいと思っていますが、それは今後の課題かも知れません。

#### 地形に合ったバイオマス技術の開発を

司会 内山先生は茨城県でバイオマス普及委員会の委員長もなさっているとお聞きしましたが、自治体が今どのような状況でどのような困難を覚えているか、ご紹介いただけませんかでしょうか。

内山 自治体でもバイオマスを何とか独自のエネルギー源として活用していきたいという気持ちは非常に強くあるわけですが、収集の問題がネックになって、非常に限られたものしか利用できていません。因みに、限られたものとしては、どういうものかという、1つは比較的集め易いのですが処理に困っている建築廃材です。それは費用を負担するという制度的にバックアップされているものを利用しているからです。もう1つは大量に発生する畜産排せつ物です。茨城県全体

では、木質バイオマスが一番多いわけですが、実際には利用が非常に難しいという結果が出ています。そういう点を考えると、やはり政府が目標を掲げて需要拡大を図るにはまだ課題があると考えています。

日本は山岳地が多く、大きな平野は限られているわけですから、基本的に資源を集める難しさがあると思います。そういう点では欧米や東南アジアとかとは違うと思いますが、そういう中で、バイオマスの有効利用を図っていくには、ある程度地形に合った技術に焦点を絞って開発していくことが大事だと思います。

#### 経済性の壁を乗り越える施策を

内山 その時にやはり経済性は非常に大きな問題です。また、エネルギー技術だけで競争しても、他の化石燃料を使う技術が非常に安いのでなかなか勝てないわけですから、色々な総合政策の中で位置づけていくことが大事ではないかと思えます。例えば、日本の場合、非常につらいのは、そういった地形以外の問題に、食糧自給率が非常に低いということです。それから、使用する木材の多くが輸入材で、林業も非常に脆弱になっている。何とか、そういう農業や林業を育成する方向にバイオマスを利用できないのか。将来、自給率を高める流れを作ることになれば、また違う色々な支援策があるわけです。その一環として、バイオマスの利用拡大を図れるようなシステムを

作っていくことが重要で、そういう点から各省庁の協力関係が大事だと思うのです。

もう1つ、補助金ではいつまでもうまくいかない。何とか民間活力を生かさなければならぬわけですが、それを支援する制度作りが大事です。最近、途上国にはマイクロクレジット、あるいはマイクロファイナンスというものがあり、かなり成功しているわけです。途上国には、非常に資金調達が難しい小さな事業所がいっぱいあるわけですが、そういう人たちを支援する制度がありまして、それによって意外と成り立っているわけです。日本もそれを見習った方がいいのではないかと思います。現に、RPS制度、その他ファンドとか色々な形で環境に融資する流れが日本でもできているわけですから、それをバイオマスに適用して、長い目で日本の農業や林業が育つ形にしていく、それを私は望んでいます。そういう政策をぜひ作っていただきたいと思います。それが恐らく将来的にはアジア地域におけるバイオマス利用が盛んになり、日本の技術がソフトも含めて移転できるのではないかと期待しています。

---

### 将来展望および提言

---

司会 最後に、将来展望あるいは提言がありましたらご紹介をお願いします。



小川紀一郎 氏

( 財)エネルギー総合工学研究所  
エネルギー技術情報センター長

藤本 林業が置かれている状況は深刻です。木材価格を考えると、山の所有者は間伐材どころか本体の木材でさえ、「市場に出さなくて良い」と思うわけです。それが山が荒れる原因の1つなのですが。その状況は、輸入材を含めた現在の木材価格を考えると、簡単には改善しないと思います。また、バイオマスがこれだけ脚光を浴びているからといって「バイオマスでひと儲けしよう」というのもまだ難しいでしょうね。

その中でバイオマス利用をどう増やしていくか。環境税などの社会的なシステムを求める声もありますが、その前にできることは、まだあると思います。というのは、バイオマスを使う技術を少し工夫することで、バイオマスの利用を増やすことができるのではないかと考えられるからです。

例えば、現状では、エタノールは糖やでんぷんから作られています。コメを原料にしようとした場合、日本ですと10アール当

たり500kgしか収穫できないコメをアルコールにしていたのでは、コスト的に今の石油には絶対勝てないでしょう。技術的には、でんぷんからエタノールを取れるのであれば、セルロースである稲わらでもエタノールは取れます。セルロースからのアルコール製造はまだ商業的にはうまくいっていませんが、もし、でんぷんと同じぐらいの効率で稲わらからアルコールが取れるようになれば、10アール当たりの生産効率は一気に倍になります。500kgの米に対して約同量の稲わらが取れるのですから。技術のブレークスルーによって、生産効率が途端に倍になるということはある話だと思っています。

さらにビジネスモデルを考える中で、木質のリグニンとセルロースをうまく分けて処理するとか、でんぷんとセルロースをまとめて処理できないかとか考えていくと、生産効率がものすごく上がる可能性があるとは思っています。今ある技術でもシステムとしてインテグレートができれば、バイオマスがもっと使いやすくなるのではないかと思います。

荒木 バイオマスエネルギー技術について、多分、日本には基盤的な技術開発力はあるはずだと思いますが、ノウハウではヨーロッパに遅れをとっているのではないかと考えています。例えば、NEDOのエタノール発酵技術のコアとなる部分は海外の技術に頼っていたりします。したがって、私は、まだ技術の面からも結構やるべきこと、あるいはブレークスル

ーが必要となる部分はあるのではないかと考えています。それがどこなのかもう少し見極めて力を注いでいく必要があると思います。

少し視点が変わりますが、例えば、EUだったと思いますが、木を等級別に分類して、木ごとに推奨される用途が書いてある。ある種の標準化、そういうノウハウが全部本になっているのです。日本でも日本なりのバイオマスに関する使い方のノウハウの蓄積をもっと考えていいのではないかと思います。利用ノウハウのシステム化という観点からも、まだやるべきことがあるのではないかと思います。

お金の回し方も考える必要があるでしょう。先ほど内山先生がおっしゃったように、間接的でも、もう少し民間資金を導入するにはどうするか。今、環境投資というのも結構出てきていますから、そういう中で地域にお金がかまうまわっていき仕組みづくりをも考えていく必要があると思っています。そういうことでは、市民ファンドや環境ファンドという形でお金を集めて投資するというのも出てきています。国が作る制度だけでなく、グリーン電力証書みたいなものもできています。まだまだこれから活性化すべき部分もあると思いますが、新エネルギーの開発利用にお金を出資したり、労働提供したりすることが、人々の間でもっと普通になってくるといいますので、そういったことをうまくビジネスにつなげていく発想もこの分野には必要になってくる。そういったシステムも我々としては

後押ししていく必要があると思っています。

田島 先ほど荒木課長が言及されたように、NEDOでは、特にエタノール発酵の部分で海外の技術を使っています。前処理のアルケノール法はアメリカでは、実用化の見込みがなく、捨てられてしまったような技術を日本がどうにかものにしてしようとしているところがあります。これは、ある意味で、日本的なアプローチと言えるでしょう。

NEDOの公募説明会、報告会には、地方の自治体の方や、特に産業界の方が数多くご来場されます。この分野への期待は非常に大きいと思うのです。現在、日本経済は疲弊しており、製造業も不況から脱しきれていない中で、バイオマス分野が何かの突破口になるのではという期待感が高まっているものと思われま

す。11テーマには、固体を扱うため、石炭関係の方々随分参加してきています。石炭関係の会社、あるいは大学で昔から石炭のガス化等を研究されていた先生方が石炭で培った技術をバイオマスに適用できないかという形で開発が進んでいます。ただ、これが本当にバイオマスになじむ技術になるためにはある程度時間がかかるのではないかという気がしています。

産業振興という観点からは、日本国内だけではなく、アジアなど比較的バイオマスが潤沢にあるところに、日本で培った技術を持って行くことも必要ではないかと思

います。メーカーもおられます。もしそこに大量のバイオマスがあって日本の技術が適用できるなら、どんどん海外に出ていくべきではないかと考えます。

欧米では大量にエネルギー作物を栽培して、それをエネルギー転換するという部分で技術開発が行われています。日本はどうしても廃棄物としてのバイオマスの利活用という観点が主で、技術的アプローチが異なります。そういう点から見たとき、日本の技術がどうやったら世界的に通用するかをしっかりと探っていかなければいけないと思っています。小型分散化で高効率な技術が開発できれば、日本独自の技術として、例えばヨーロッパでも、イタリアだとか、比較的日本の実状（地形や規模）に近い国々に提案できるでしょう。そういう形で、日本国内も重要ですけど世界的な流れの中で日本の技術をどう作っていくかというのは、非常に重要な方向づけだと思っています。

司会 バイオマスエネルギー技術ロードマップ調査に携わった立場から2点だけ提言させていただきます。

1つ目は、流通とか最終処分までを含めたトータルシステムについて、特に技術面から全体の流れを見ることが重要ではないかということです。例えば、山元においても自動化して小型化して、急斜面でも登って伐採、あるいは残材を集める機械の開発をしているかどうか。至るところで技術の洗い出しが必要かと思

います。2つ目は、データベースの充実です。先

ほど内山先生からご紹介ありましたように、一応、技術を集約した技術集約図はできましたが、それぞれに対応する技術内容がまだ十分把握できていません。内容が専門外の方でも分かるようなデータベースも必要と思います。また、それと関連して、誰でも色々なシステムの組み合わせができるような評価手法についても新しく検討する必要があります。

これらはソフト面の開発に関するもので、それが簡単にできるかどうかは分かりませんが、完成したら国内関係者のみでなく国外へも紹介し、バイオマス利用技術の普及・促進に貢献できると思います。

内山 日本が世界に自慢できるバイオマス技術を見つけて、それを海外に移転して発展させていくという視点はこれから大事だと思います。

藤本 実はそこは「バイオマス・ニッポン総合戦略」の中で少し弱いと言われている部分です。例えば、メタン発酵を見ても、現状ではヨーロッパの方が要素技術がよくできているように思います。しかし、東南アジアの気候的、大都市への人口集中、廃棄物処理の問題を考えると、日本でうまくいくシステムであれば、東南アジアでもかなりうまくいくのではないかと考えられます。また、ヨーロッパ生れの技術であっても、ヨーロッパがアジア市場を握る前に、日本でうまくアレンジしてそれを東南アジアに持って行けば十分勝算があるのではないかという気がしています。

荒木 アジア諸国への展開を考えた場合、気候風土も日本と似ているでしょうし、日本で開発された技術がヨーロッパの技術よりも優位性を持つ可能性はあると思います。ただ、ある程度自国で技術的に確立していないと難しいという気はするので、どれだけ日本国内でやっていけるかが条件になると思います。

中国を始めアジア諸国がそれなりにバイオマス利用に取り組み、欧米先進国もアジア市場に向けて色々なビジネスを展開している中で、国内のバイオマス利用の進展と海外進出とがうまくいかないと多分日本企業は負けてしまうと思うので、その辺がこれからはばらくは大変なところだと思っております。今後バイオマスロードマップのブラッシュアップのためには、その辺もうまく考えていかなければいけないと思います。

司会 技術開発というハード面とロードマップというソフト面のアプローチが重要であることが指摘されました。ロードマップ作成を今度進めていくときには、上流も含めた総合的な取組みが必要であることも指摘されました。バイオマスエネルギーの取組みにはまだ色々な点からのアプローチがあることが分かりましたが、その成果は今後に期待したいと思います。

これで本日の座談会を終了させていただきます。どうも皆さん、ご協力ありがとうございました。

〔寄稿〕

## 森林バイオマスの全面的利用の可能性\*

—木質資源との付き合い方を考えよう—

鮫 島 正 浩

( 東京大学大学院農学生命科学研究科  
生物材料科学専攻 教授 )



### 1. はじめに

バイオマスとは、生物資源の量をあらず概念で、再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたものと定義しています。地上に存在するバイオマスの90%以上は森林に蓄積されていると言われておりますから、ほぼ「バイオマス＝森林」と言っても過言ではないと思えます。

私の専門は、キノコが木を分解する生物学的プロセスの研究です。位置づけとしては、植物資源、いわゆる森林バイオマスをできるだけ環境に優しいプロセスで、色々なものに変換し生活に必要なものを作っていくことを考えていくことです。最近では、そこから出てきた資源ゴミをリサイクルするプロセスを考えることも研究対象となってきています。

森林は、成育の過程で二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を吸収し固定しますが、切り出された木材は、最後には燃料として利用されCO<sub>2</sub>を大気中に戻します。そのCO<sub>2</sub>をまた森林が吸収するというサイクルがある

わけです。これを上手に回せば、環境と共生できるシステムを作れます。ですから、木の加工といった物理的のプロセスと紙を作るためのパルプ化といった化学的プロセスが主流ですが、これに生物学的プロセスを上手に組み合わせて、森林バイオマスの利用技術を確認していくということが課題になります。

### 2. 地球温暖化対策と森林

#### (1) 京都議定書と森林の役割

エネルギー、環境問題としての背景に、地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>を始めとする温室効果ガスの排出を削減するという話があります。京都議定書が出され、わが国は温室効果ガスの排出量を第1約束期間(2008年～2012年)に1990年の水準から6%削減する義務を負いました。その義務量の3.9%を森林、しかも人工林で吸収しようとしています。ですから、目標達成に向けて森林をさらに有効に使っていかなければならないわけでは

\*本稿は、本年8月27日の「第227回月例研究会」におけるご講演を本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

## (2) 森林によるCO<sub>2</sub>吸収

森林にCO<sub>2</sub>を効率的に吸収させるには、森林を放っておけばいいというわけではありません。

図1は森林におけるCO<sub>2</sub>吸収量とCO<sub>2</sub>排出量の関係を表したものです。森林が若い間は、光合成による吸収速度の方が呼吸による排出速度よりも速くて、ネットのCO<sub>2</sub>固定量は多くなるわけです。ところが、森林が年取ってきますと、CO<sub>2</sub>吸収速度とCO<sub>2</sub>排出速度の差が縮まってい

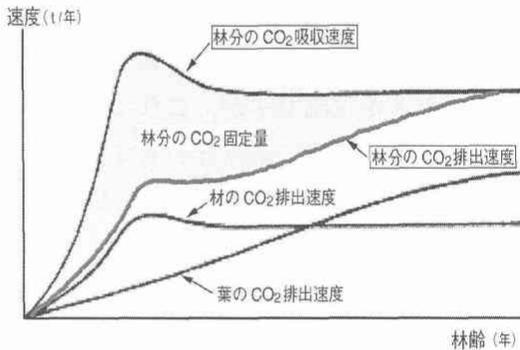


図1 森林によるCO<sub>2</sub>の吸収と排出

き、最終的には同じ速度となります。するとCO<sub>2</sub>を固定しなくなるわけです。ですから、新たなCO<sub>2</sub>の固定を考えた場合、若い森林を確保していくことが重要です。そのためには、古い樹木から順に間伐、主伐していかなければなりません。「伐採＝環境破壊」と言われ、一時、あまり木を切らせない時代がありました。CO<sub>2</sub>固定のためには計画的に切った方がいいという話に変わってきています。

図2は木材の成長と利用における炭素蓄積量を示しています。植林した苗木が育つにつれ森林全体のCO<sub>2</sub>固定量が増えていきます。50年後に全部伐採すると、森林は一旦ゼロになりCO<sub>2</sub>の固定は止まります。さらに、伐採した木を燃料として燃やすと、その分だけCO<sub>2</sub>が大気中に排出されますが、木材として建築などに使うと一定量のCO<sub>2</sub>を固定したまま、都市あるいは住宅地で存在するわけです。住宅の建替えまではCO<sub>2</sub>を排出しません。

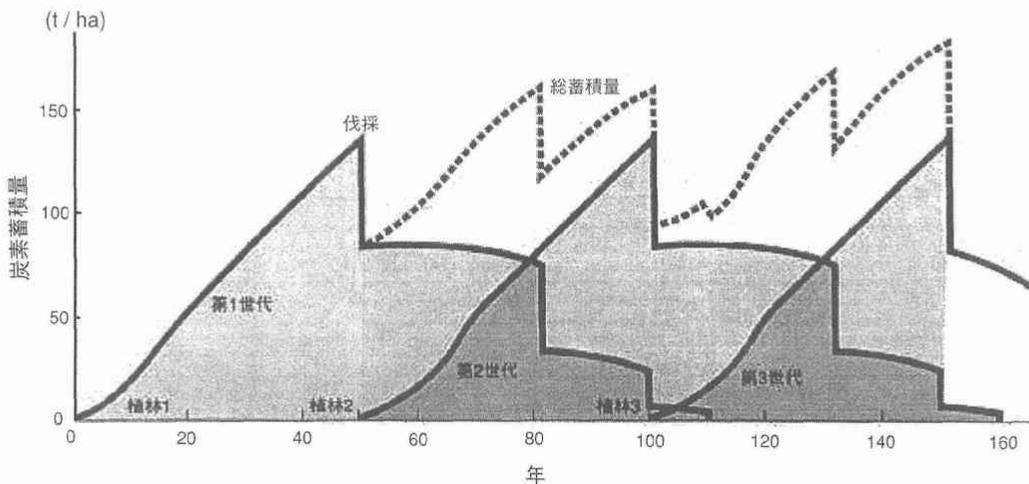


図2 木材の成長と利用におけるCO<sub>2</sub>累積量

住宅の寿命を約30年、約50年、約60年としますと、建替えの度にCO<sub>2</sub>固定量が減っていくこととなります。CO<sub>2</sub>の純固定量は都市に運ばれて残っている量と森林で固定されている量を足し合わせた部分ということになります。

伐採すると同時に植林をすると、同じように森林が復活していきます。その森林を全部、50年後に伐採するというサイクルを繰り返す。そうしていくと、固体として固定化されているCO<sub>2</sub>量の繰り返しパターンが右上がりに増えていくわけです。ですから、木材利用と森林育成のバランスを上手にとっていくことが非常に重要なのです。

### 3. 世界の木材資源と利用状況

#### (1) 世界の木材資源の量

表1は色々な統計データから取ってきたもので大体の目安だと思って下さい。使える木材資源量（確認可採量）は約4,000億m<sup>3</sup>とされています。一方、世界の木材使用量は、年によって違いますが、年間約41億m<sup>3</sup>が使われていると言われています。世界の人口は約63億人ですから、植林をせず、自然増加がなく、さらに使用量に変化しないと仮定すると、木をどんどん使い続けたら98年でなくなる計算になります。つまり、98年が森林の可採年数ということになります。

表1 世界の木材資源の量

世界の木材資源の確認可採量 (A)	4000 億m <sup>3</sup>
世界の年間木材使用量 (B)	41 億m <sup>3</sup>
世界の総人口 (C)	63 億人
可採年数 (A/B)	98 年分
1人あたりの資源量 (A/C)	63 m <sup>3</sup> /人

表2 世界での木材の利用状況

	発展途上国	先進国	全世界
薪炭用丸太	73 %	11 %	45 %
構造用丸太	19	59	37
構造用加工材	7	22	14
パルプ用材	1	8	4
総計	100	100	100
総需要 (億m <sup>3</sup> )	22.6	18.6	41.2
総需要 %	54	46	100

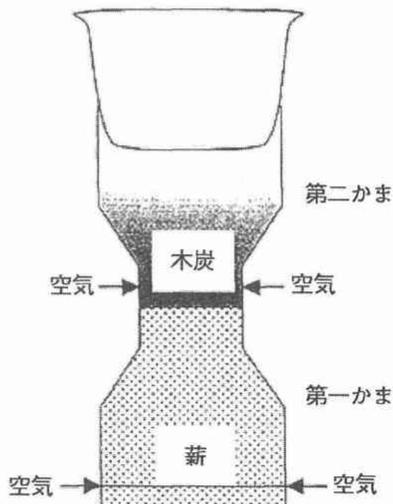
1997年

## (2) 木材の利用状況—世界

木というのは世界的に見ると約半分が燃料として利用されています(表2)。途上国では73%, 先進国でも10%ぐらいが燃やされています。構造用丸太も合わせると, 途上国では90%, 先進国でも70%ぐらいになってしまいます。そういうことで, 世界的に見ると, 木は未だに燃料や丸太棒といった原始的な利用が主流なわけです。木を加工して製品を作るというのは量的に非常に限られています。ですから, 資源利用ということに関しては, まだまだこれからの状態だと思えます。

木を普通にストーブとかで燃やすと, エネルギーとして10%~15%ぐらいが取れると言われます。燃焼ガスはほとんど外へ逃げていくので, 効率的に使われていないというのが私の感覚です。

図3は「ドリームストーブ」の概念で



(出所: Grover, P.D., Wood Energy News 14(3), 19-20, 1999)

図3 ドリームストーブの概念

す。これはバイオマスのエネルギー化を取り扱った論文の中にあったものです。薪を燃やして出てくる燃焼ガスを炭で完全燃焼していくことで, 10~15%の燃焼効率を65~70%まで上げることができます。このような製品の利用が積極的に広がっていかないのか疑問に思っています。

「ドリームストーブ」のように, ちょっと考えて燃焼効率を上げて, 世界の木材の燃料としての利用を仮に4分の1ぐらいに減らすことができれば, 資源問題はかなり解決できるのではないかと考えています。

## (3) 利用状況—日本

日本における木の利用法は, 世界の標準と全然違います。世界的にはあまり多くない加工材とかパルプ材とかがものすごく多いのです(表3)。

また, 日本では国産材の利用は全体の20%であり, 80%以上が輸入です。なぜこういうことが起きているか。国産材は安い輸入材におされて値下げにより利益率が落ち, その影響で森林伐採が進まな

表3 日本での木材の利用状況

	需要 (百万m <sup>3</sup> )	%
薪炭用丸太	1	1
しいたけ原木	1	1
構造用加工材	57	57
パルプ用材	42	41
総計	101	100
	国産材	輸入材
総供給量 (百万m <sup>3</sup> )	20	81

2001年

いため国産材の供給が不安定となり、これにより各業者が品ぞろえの安定した輸入材を求めるようになったためと考えられます。今、国産材の価格は輸入材と同じくらいになっていますが、切り出した木を移動させるインフラが整っていないために安定供給が難しく、輸入材におさされる状況に変わりがありません。

#### 4. 国内の木材資源利用の今後

##### (1) 住宅の長寿命化

日本の住宅は、1軒建てるのに20~30m<sup>3</sup>ぐらいの木材を使い、30年ぐらいの寿命があります。木の比重を0.5とすると、建替えまでの30年間に毎年350~500kgぐらいの木を使うことになります。

日本の家屋の寿命は約30年ですが、これは先進国中でも極端に短いのです(表4)。ですから、国土交通省などは、家屋の長寿命化に一生懸命取り組んでいるわけです。木造住宅の長寿命化によって、図2で示した都市におけるCO<sub>2</sub>固定期間が延びることになります。

##### (2) 木材使用の拡大

制度面では、木材は燃えやすいために、大型の木造建築が規制されていましたが、規制緩和によって、最近では非常に大きな木造建築物を作ることが可能になりました。また、技術面でも、小さい木を張り合わせて大きな梁や柱を作る「集成材」の技術が確立され、非常に大きな木造構造物を作ることが可能になりまし

表4 各国の住宅の建替え年数

国名	年数
イギリス	141
米国	103
フランス	86
ドイツ	79
日本	30

た。

森林を大事に思うのなら、森林を活性化するために間伐材や老木を切って、それで物をどんどん作るということが私は一番基本になると考えています。ですから、そうやって切り出した木で大型の木質構造物を建築すれば、燃料としてすぐに燃焼させる場合に比べCO<sub>2</sub>の排出は抑制されるし、森林資源の有効利用、森林の活性化など色々なことができるわけです。

ただ難しいのは、木材の耐久性、信頼性など品質に関する保証、メンテナンスに関する情報の提供口が不足していることです。その辺をしっかりと整備することが木材の利用を増やしていく上で非常に大事なことだと思います。

##### (3) 木材のカスケード利用

木はカスケード利用することができます。森林から切り出したものを、大きい木は大きい木材にして使う。小さい木は、製材したものを張り合わせ「集成材」に

して使う。チップになったものは、パーティクルボードみたいなものや紙にする。さらに、製材プロセスから出てくるノコクズなどは、肥料にしたり、キノコを育てる菌床にしたり、さらにペレットにして燃料にしたり、色々な利用ができます。

こういう縦のカスケード利用に加え、作られた製品、例えば、紙のリサイクルをしっかりとやると、森林資源は固体のまままで循環してCO<sub>2</sub>の発生を抑制することができます。

#### (4) 木材の転換

皆さんの中には、エネルギーや燃料を作ることが中心のお仕事をされている方が多いわけですが、重量単位当りの付加価値で見ますと、燃料・エネルギーが一番安いところに位置します。木材の付加価値は図4で示しますように、原料としての価値のほうが燃料としての価値よりも高いと思います。原油は木材に比べると安いものです。

木材を、さらに付加価値の高い食品に転換するとか、医薬、化粧品に転換するキノコ生産ということになれば、木材を1カ所に100t集めることも容易ですが、エネルギー生産となると容易ではありません。

### 5. バイオマス利用

#### (1) バイオマスの分類

バイオマスの利用を考える場合というのは、総論的ではなく、常に各論であると私は思っています。

その際、やはりバイオマスを仕分けして考えることが大事だと思います。その仕方として、①起源、②利用目的、③生産と利用を行う場所、④規模による仕分けがあると思います。

#### ① 起源による仕分け

私は、バイオマスを「1次バイオマス」、「2次バイオマス」、「3次バイオマス」に分けています。「1次バイオマス」とは、

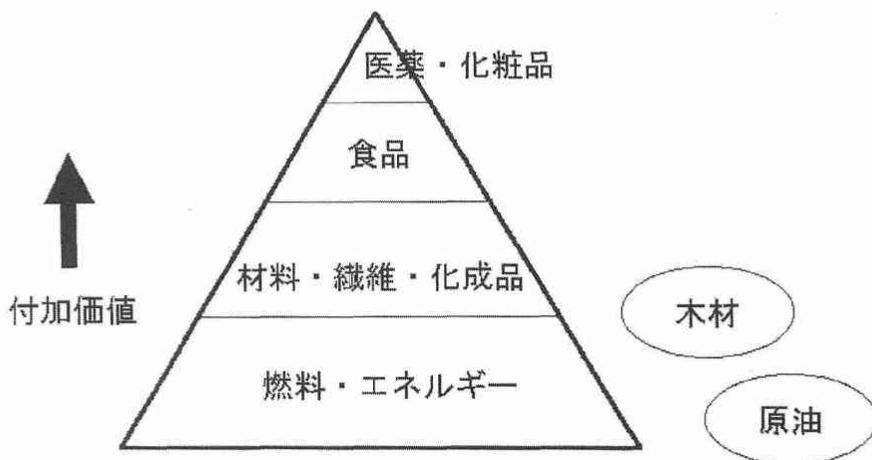


図4 木材の付加価値とバイオマス転換

最初から特定の目的のために作られたバイオマスで、木のように性質に対しては良く把握されているという長所がある一方で、資源が分散しているうえに、消費地から離れているということが問題です。

「2次バイオマス」とは、農林水産製造加工プロセスの副産物のことです。例えば木を利用すると必ず端切れやオガクズ、樹皮だとかが出てきます。そういうものはもともと特定されたバイオマスから出てくる副産物ですから、性質もある程度特定されています。「2次バイオマス」の優位なところは、集まってきているということです。ただ、出てくる量が集められた「1次バイオマス」の量に左右されますから、主目的、主製品を作るように十分な量を必ず確保できるという保証はありません。要するに、需要と供給の量的なコントロールが難しいわけです。

「3次バイオマス」とは、いわゆるゴミです。一体何が入っているか分からないということで、利用していく場合には非常に不利です。ただ、1つの利点があります。それは量的に結構集まっているということです。ですから、一概にバイオマスは分散していると言わない方がいいような気がしています。

## ② 利用目的による仕分け

エネルギー資源、地球温暖化防止対策、化石資源に代わるマテリアル資源、建築用資源および紙パ原料など、利用目的によって仕分けできます。それぞれの目的の独自性と連携を明確に仕分けていくこ

とが大事です。

## ③ 生産と利用を行う場所による仕分け

どこでバイオマスの生産、利用を行うかというのは、いつもしっかり頭に入れておかなければいけません。例えば、エタノール生産プラントを日本国内で作ることに疑問を感じています。なぜかというと、かつて国内にたくさんあった発酵エタノールプラントのほとんどが、既に海外に移転されており、国内では海外から輸入した粗アルコールを精製してエタノールを製造するようになっているからです。

一方、日本は森林国ですから、木材を中心とした森林バイオマスの循環利用システムの拠点となる地産地消型の木材工業団地と市場をプランニングしてもいいという気がしています。その中で、ボトルネックを明確にしていく。それを解決していくためのプラットホームを作ることが非常に大事だと思っています。

## ④ 規模による仕分け

これは非常に大事だと思っています。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、従来から一般に大きなプラントを作る傾向があるようですが、私はそうではなくて、やはり入ってくるバイオマスの量を考えて、プラントの大きさも適正規模にしなければいけない。それが非常に重要な課題だと思っています。

## (2) バイオマス利用促進に必要なこと

バイオマス利用を促進するには、やは

りすごく大事なのはまず個人が価値観を変えろということだと思います。そのために大事なことは教育です。バイオマス利用を増やしていくためには教育から変えていかないといけないと思います。

また、総論的な発想ではなく各論をベースとした技術のシステム化を考えることも重要でしょう。

### (3) 各論的発想による技術の例

私はキノコが木材をどう分解していくかを調べていますが、キノコの持っている生物機能をバイオマス変換にどう利用していけばよいかについて考えています。

木というのは、セルロース、ヘミセルロース、リグニンという成分でできています。その構成比率はおよそ2:1:1です。その木を完全に分解することができなのがキノコなのです。その中でも白色腐朽菌と呼ばれる菌が木を完全分解します。この菌の仲間最近ゲノム解析が行われた菌があって、その全ゲノム情報を使って、有用酵素の大量生産を行い、その酵素でバイオマス変換を行おうというシナリオを描いています。

キノコ生産は年間約2,000億円以上の収益を挙げています。林業全体の収益が年間約4,570億円ですから、林業における半分がキノコによる収益です。そのキノコですが、今や森ではなく工場で作られています。例えば、「雪国まいたけ」という会社では年間4万tのまいたけを生産しています。木粉とコーンブラン（農産廃棄物）を混ぜ合わせて作った菌床で菌を

育てるのですが、キノコ1kgを収穫するのに2kgの廃菌床（ゴミ）が出ます。私も委員として参加させて頂いている農林水産省「農林業におけるバイオマスエネルギー実用化技術の開発」プロジェクトでは、このゴミからエタノールを作ろうとしています。廃菌床を糖化させて得たグルコースを発酵させるとエタノールができます。同プロジェクトにおける私の役目は、廃菌床の分析と廃菌床の糖化効率を向上させるために菌と酵素で何ができるかということなのです。

農林水産省は、廃菌床の中でエタノール化部分の収率と効率をできるだけ増やすことを目標にしていると思います。しかし、私は、キノコ栽培に要する全エネルギーを減らすことがさらに重要なことではないかと考えているのです。そのことは菌を培養するための、使用培地量を減らし、培養期間も短くするということが可能となります。

それから、廃菌床の主成分はグルカンとリグニンですが、廃菌床中のグルカンの4分の1ぐらいはキノコ自身が作る $\beta$ -グルカンです。この $\beta$ -グルカンというのは、抗癌剤になるような非常に価値の高いものなのです。にもかかわらず、廃菌床を全部エタノール生産だけに利用していいものなのか。その点でも検討の余地があると思っています。

重量単位当りの付加価値の高さで見ると、木材は「燃料・エネルギー」と「材料・繊維・化成品」の間ぐらいに位置していると考えています（図5）。ですが、キノコ

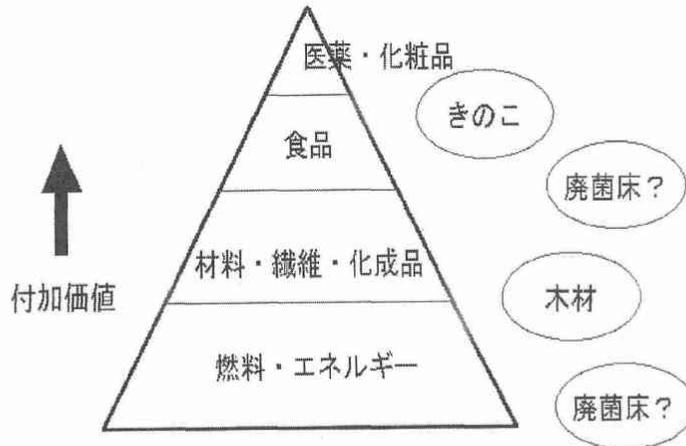


図5 廃菌床の付加価値

栽培から出てくる廃菌床が一般に付加価値の低い「燃料・エネルギー」に位置するのか疑問に思います。私はむしろ、「食品」と「材料・繊維・化成品」の間に位置するようになってきているのではないかと考えているのです。もしかしたら、ゴミである廃菌床から医薬品や食品が作れるかも知れないからです。

ただ、その場合でも、廃菌床の全部を医薬品製造や食品製造に充てるということではありません。やはり、一緒に使えない部分は出てきますから、そういう部分は当然、燃料やエネルギーとして利用するという事を考えなければいけないわけです。

## 6. まとめ

バイオマス変換を考えるときは、燃料利用から医薬品と言った高付加価値商品の製造までを視野に入れ、連携しながら考えていく必要があると思います。

現在は、バイオマス利用というとエネルギー利用ばかりが考えられていますが、エネルギー利用以外にも同時に考えて行けば、多分、バイオマス利用という全体が動くのではないかというのが私の考えです。

今日は非常に雑ばくなお話になってしまいましたけれども、以上で私の話を終らせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

〔寄稿〕

## 木質バイオマスの利用技術の動向



城子克夫 (バイオエネルギー・コンソーシアム運営委員長)

### 1. はじめに一バイオマスの炭素循環等

バイオマスエネルギーは、太陽エネルギーと植物の光合成作用により二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を有機物に変換、固定、貯蔵し、エネルギーとして利用する炭素循環の1つの方法として捉えられている。バイオマスエネルギーを得るため木質バイオマスを燃焼させると、CO<sub>2</sub>と燃焼灰が発生する。このCO<sub>2</sub>は植物の成長によって吸収され、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇に実質的に寄与しないこと、すなわち、バイオマスエネルギーはカーボン・ニュートラル(carbon neutral)であることが国際的に認知されている。ただし、カーボンニュートラルであるためには、次のような条件が満たされる必要がある。

- (1) 木質バイオマスを得る手段が正当なものでありかつ良く管理された下でなされること
- (2) カーボン・ニュートラルは、科学的に正確な表現ではなく、実際には「略」

という形容詞が付けられるべきであること。これは採取、前処理、運搬などに化石燃料等を使用せざるをえないからである。この「略」については、国際連合食糧農業機関(FAO)、国際エネルギー機関(IEA)等の国際機関では、“near”とか“almost”といった形容詞を付していることも多い。したがって、木質バイオマスに対する「カーボン・ニュートラル」という表現は、あくまでも国際間の政治的な表現であることに留意すべきである。

一方、木質バイオマスの燃焼灰には植物の成長に不可欠なミネラル等の栄養分が含まれており、それらは元来植物が土壌から摂取したものである。土壌中の栄養分のバランスを維持するために、灰は土壌に肥料としてリサイクルされることが望ましく、これによって栄養分の循環も成立つこととなる。ただし、灰のリサイクルは木質バイオマスの収穫量に応じて、土壌中の栄養分のバランスを維持するようになされる必要があり、過剰な散布は回避すべきである。わが国において

は、この燃焼灰は産業廃棄物に指定されており、現状では肥料（栄養分）として土壌へ散布することは難しい。これは、燃焼灰の由来が、

- (1) ピュアかつクリーンなバイオマスか
- (2) バイオマスの収穫後利用段階で薬剤等の処理がなされたものが混入していないか（建設廃材等）
- (3) 他の産業廃棄物の混入がないか

等の区別が付けにくいことも1つの要因となっている。(1)であると確認された燃焼灰については、土壌への循環が認められるような制度作りが望まれる。

## 2. バイオマスのカスケード利用

林地、農地等から生産されるバイオマスは、図1に示すようにカスケード的に利用・再利用され、最終的に主としてCO<sub>2</sub>、水、灰分、有機肥料等になり、大気、水系、土壌をとおして生物体に摂り込まれ循環する。ゆえに、バイオマスの利用は地球温暖化に対してカーボンニュートラルとみなされていることは前述したとおりである。ここで問題になるのは、バイオマスがエネルギー用途等に利用可能であるにもかかわらず、利用されずに廃棄・放置されている部分が多いことである。例えば、これらをエネルギー資源として利用し電力や熱を発生させれば、それに相当する化石燃料の燃焼を削減でき、地球温暖化に寄与するCO<sub>2</sub>発生量を大幅に

抑制できることになる。このような未利用バイオマスの主なものを次に示す。

- ① 一次利用以前に排出される林地残材・除間伐材、農業廃棄物等
- ② 利用中に排出される産業廃棄物（各種加工廃棄物、有機汚泥、残渣等）
- ③ 利用・消費後に排出される産業廃棄物（建設廃木材、廃輸送資材、家畜ふん尿、下水汚泥、廃植物油等）および一般廃棄物（廃家具、剪定枝条、生ごみ、廃植物油、古せんい、古紙等）

上記①の一次利用以前に排出されるバイオマスはクリーンであるが、②③の利用中あるいは利用・消費後に排出されるバイオマスには汚染されているものが多いので再利用する際には注意を要する。

## 3. バイオマスのエネルギー変換・利用状況概観

バイオマスのエネルギー変換・利用方式を図2に示す。変換方式を大別すると、直接燃焼、熱化学的変換、生物化学的変換およびその他の変換に分けられる。直接燃焼を熱化学的変換に含めて取扱う文献も多いが、ここでは理解を容易にするため区別して表示した。

### (1) 直接燃焼

木質バイオマス、草木類、畜産廃棄物（鶏ふん）などを固体燃料化して利用するものと木質バイオマスをエマルジョン燃

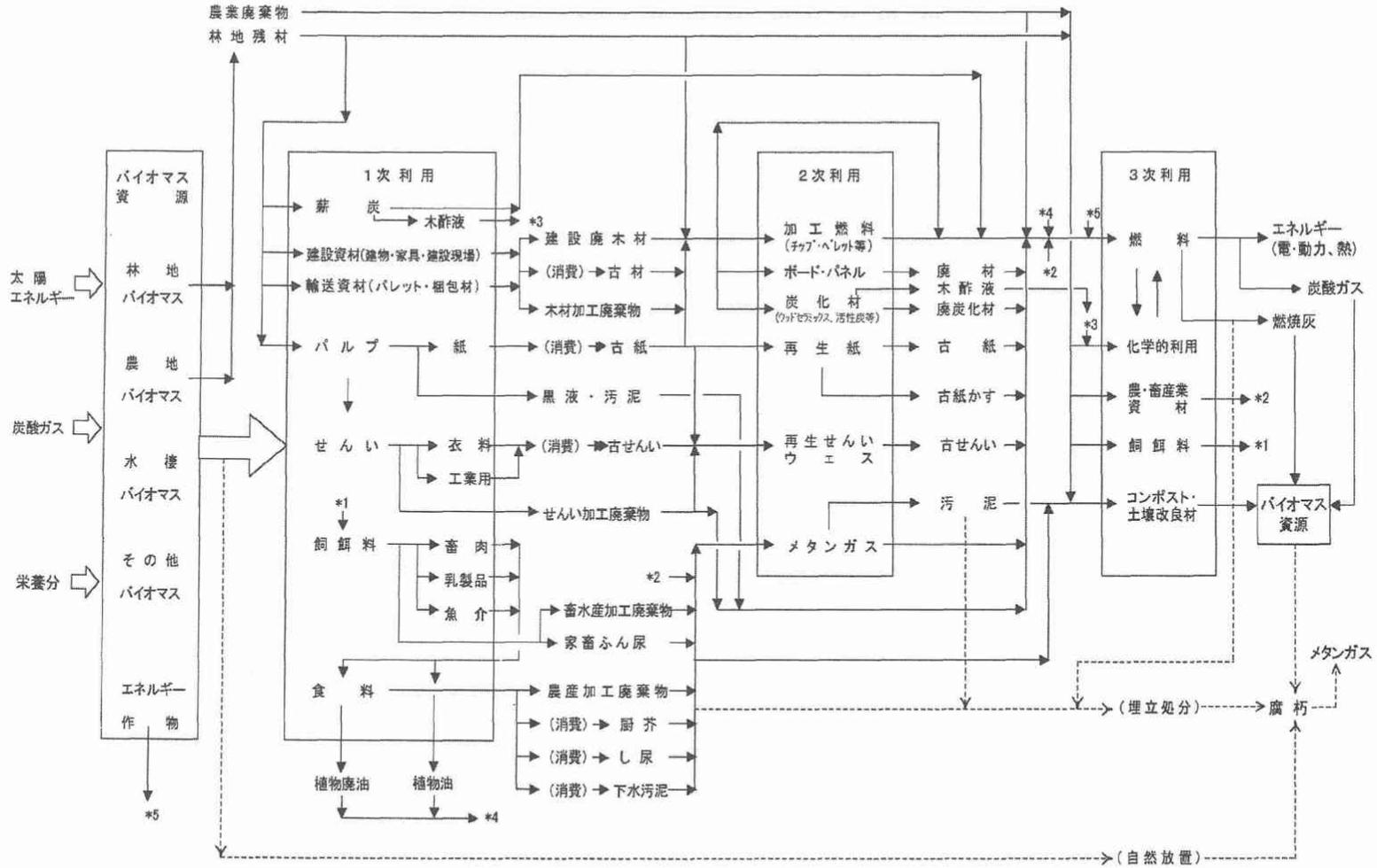


図1 バイオマスのカスケード利用フロー図



図2 バイオマスのエネルギー変換・利用方式

料化して利用するものがあり、各種熱源として利用されるほか大規模に利用される場合にはコージェネレーションや発電にも利用される。

## (2) 熱化学的変換

木質バイオマスをガス化して利用するものと液化して利用するものがあり、さらにガス化は熱分解(乾留)および部分酸化・改質によるものに、液化は急速熱分解および直接液化によるものに区分されるが、わが国ではその殆どが研究・開発段階である。また、世界的に見ても部分酸化によってガス化し、発生した燃料ガスのタール分を除去した後コージェネレーションや地域熱供給に使用する事例が実証プラント/商用プラント併せて百

例弱ある程度であり、乾留および液化に関しては研究・開発段階のものも多く商用化されているものは少ない。

## (3) 生物化学的変換

畜産廃棄物、食品廃棄物、下水汚泥等から嫌気性発酵によりメタンを製造し利用するものと、木質バイオマスや草木類から糖化・アルコール発酵によりエタノールを製造し利用するものがあり、両者とも商用プラントとして世界的に多くの実績を有している。わが国では、嫌気性発酵によりメタンを製造し利用する実績は多いが、糖化・アルコール発酵によりエタノールを製造し利用する実績は未だなく、研究・開発段階にとどまっている。

(4) その他の変換

植物油／植物廃油をメチルエステル化して輸送用燃料（バイオディーゼル燃料：BDF）として利用するものもあり、世界的に実証プラント／商用プラントとしてかなりの実績を有するほか、わが国でも京都市等で実証プラントが稼働中である。なお、最近ではBDFを小型コージェネレーションの燃料として利用する試みもなされている。

4. 木質バイオマスの直接燃焼

木質バイオマスの燃焼に影響を与え、効率およびエミッションを左右する因子として、次のような項目が挙げられる。

- ① 燃料の性状；種類と形状・寸法，含水率，発熱量，灰分含有率

- ② 燃焼量

- ③ 燃焼条件；空気比，燃焼温度，燃焼時間

- ④ 燃焼部（炉）の構造；ペレットバーナー式，グレイト式，ロータリーキルン式，流動床式，噴流床式等

ここで特に注意を要するのは、木質バイオマスの性状の表記方法が関連業界等によって異なることであり、表記方法が下記のいずれによっているかを常に確認しておく必要がある。

- (1) 含水率，灰分含有率，発熱量に関して，湿量（到着）基準，気乾基準，乾量（無水または絶乾）基準あるいは無水無灰基準か

- (2) 発熱量に関して，高（位）発熱量か低（位）発熱量か

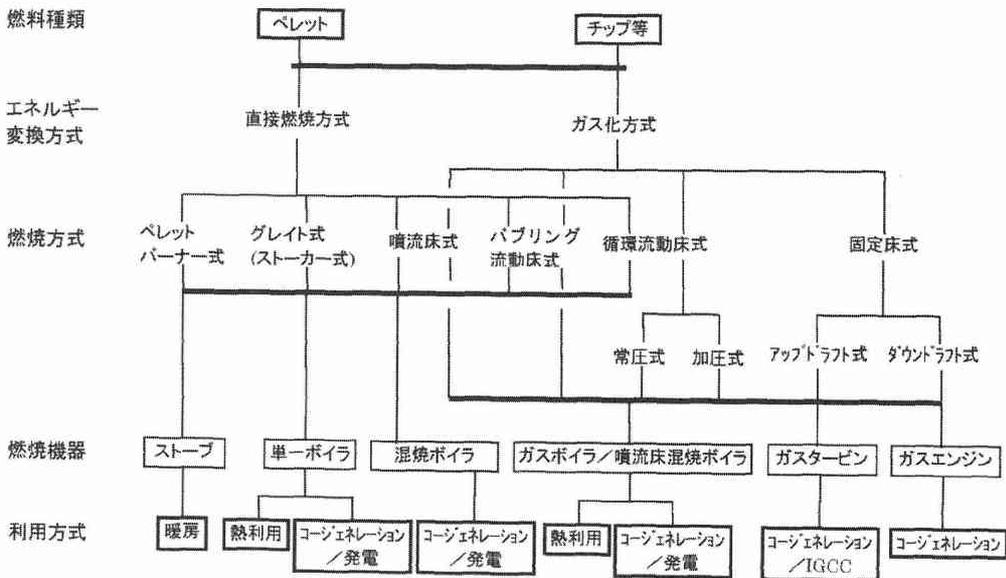


図3 木質バイオマスのエネルギー変換・利用方式

なお、基礎データの測定はJISによる石炭類等の元素分析方法，工業分析法，発熱量測定方法等に準ずることになる。

図3に木質バイオマスのエネルギー変換・利用方式を示す。現在主として燃料として用いられている木質バイオマスの種類は，ペレットとチップであり，これをエネルギー変換する方式として直接燃焼方式とガス化方式がある。後者については次章で述べることとし，前者については次章で述べることであり，前者については述べると，燃焼部構造としてペレットバーナー式，グレイト（ストーカーまたは火格子）式，流動床式（バブリング式および循環式），噴流床（微粉体バーナー）式があり，燃焼・熱回収装置としてストーブおよび各種ボイラが用いられている。ストーブにはグレイト式が，小規模ボイラにはペレットバーナー式とグレイト式が，中規模ボイラにはグレイト式とバブリング流動床式が，大規模ボイラには循環流動床式および噴流床式が主として用いられる。また，循環流動床式および噴流式は他の燃料との混焼目的にも用いられる。利用方式としては，ストーブおよび小規模ボイラは熱利用に，中規模および大規模ボイラは主としてコージェネレーションや発電目的に用いられる。なお，燃焼部構造がロータリーキルン式のボイラも存在するが，ここでは省略した。木質バイオマスの燃焼ボイラの選定にあたっては，その構造や特性<sup>(1)</sup>を参考に，用途，燃料の性状，燃焼量等を考慮して，効率，エミッション，コストの観点から適切に行うことが望ましい。

次に，最近わが国でも実証テスト等が

行われている木質バイオマスと他の燃料との混焼について触れておく。この場合の混焼は，通常石炭との混焼を指し次の2つの方法がある。

- (1) 噴流床ボイラ（微粉炭ボイラ）による混焼；燃料の形態はチップ等を微粉化したものあるいはペレットを砕いたもの
- (2) 流動床ボイラによる混焼；燃料の形態はチップ

また，混焼の割合の検討においては，下記に留意する必要がある。

- (1) 新設時；どのような割合の混焼も可能
- (2) 既設石炭ボイラへの適用；燃料供給系，排ガス処理系がボトルネックになり，出力は一般に低下する

## 5. 木質バイオマスのガス化

木質バイオマスのガス化の定義は，国内外を問わず一定したものではなく，図2に示した「熱化学的変換全体を称する場合」，「熱分解（乾留：pyrolysis）を含めて生成物をガスとして利用する方式を称する場合」および「部分酸化方式のガス化のみをいう場合」の3通りがある。本稿では，このうち文献・資料等でガス化として最も多く取扱われている「部分酸化によるガス化（gasification）方式」について述べる。

この方式のガス化は，酸化剤（空気，酸素，水蒸気）を用いて原料の一部を部

表1 国内における木質バイオマスガス化技術へのアプローチ

アプローチ	技術の現状	解決すべき課題及びコメント
石炭ガス化技術の転用	大型かつ複雑なプラント、コスト高、実用化に至らず	建設廃木材等による大規模発電プラント向き、全国的に数は限定的、大規模かつ仕様の高級なものから中小規模かつ仕様が並のプラントへの転換はかなりの困難を伴う
ごみガス化溶解技術の転用	大型かつ複雑なプラント、コスト高、国内の特殊事情から実用化(自治体が顧客)	開発目的の異なるものからの転用は難しい、自治体専用仕様になっている、以下上記同様
欧米の木質バイオマスガス化技術の導入	大から小規模まで可能かつ簡易なプラント、導入の規模は中小規模以下、コスト低、欧米では実証からセミコマースプラントまで多数存在するが、完全コマースプラントは少ない	国内では中小規模以下で導入の見込みあり、国内顧客向けへの仕様の修正が必要、タール処理等の技術的問題点は必ずしもクリアされていない、種々の問題点をクリアした時点でコストアップにならないよう注意が必要
独自に木質バイオマスに特化したガス化技術の開発	中小規模以下を目標、タールの低下、水素の収率向上、炭化と併用の模索等興味あるテーマもある	実用化までに時間が掛かる、短期間で開発できコスト的に見合えば面白いものになる可能性あり

分燃焼させ、その熱で残りの原料をガス化するもので、ガス化炉の型式には図3に示したように固定床式（ダウンドラフト式、アップドラフト式等）、流動床式（バブリング式、循環式）および噴流床（微粉体バーナー）式がある。ダウンドラフト式は小規模用途に、アップドラフト式は中小規模用途に、バブリング流動床式および循環流動床式は中規模用途に、循環流動床式および噴流床式は大規模用途に主として用いられる。なお、ボイラと同様ロータリーキルン式のガス化炉も存在するが、ここでは省略した。

ここで、ガス化技術の国内外の動向について簡単にまとめておく。

#### [欧米の動向]<sup>(2)</sup>

- ガス化炉の製造業者数57社、設置数87基
- ガス化炉の約75%はダウンドラフト（小規模）、約20%は流動床（大規模）

- 主な利用方式は、内燃機関によるコージェネレーションとコーファイアリングによるコージェネレーション/発電
- ドイツが最も積極的。米国、フィンランド、オーストリアと続き、最近オーストリアが非常に積極的になってきた。

#### [国内の動向]

表1に筆者が昨年度国内におけるガス化炉技術の動向をまとめたものを示す。短期的には海外の実証済み技術の導入が進み、中長期的にはわが国独自の特徴あるガス化技術の開発が期待される。

ガス化炉の選定にあたっては、その構造および特性<sup>(3)</sup>、図4に示した生成ガスの利用方法等を参考に、用途、原料の性状、原料供給量等を考慮して、効率、エミッション、コストの観点から適切に行うことが望ましい。

なお、直接燃焼方式に対してガス方式

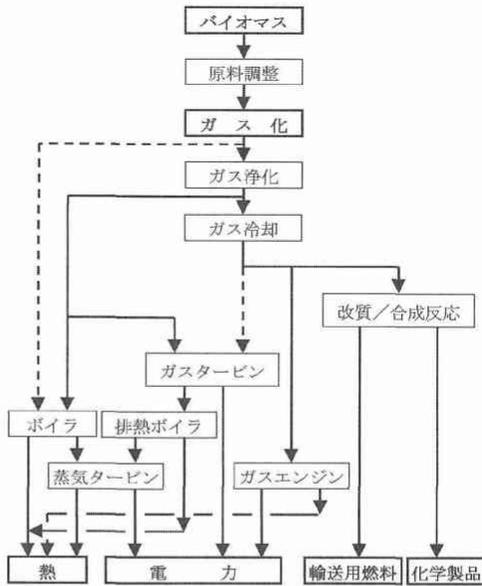


図4 生成ガスの利用

の採用にあたっては、その採用の意義を十分検討したうえで、下記のようなガス化のデメリットを上回る意義を見出した場合にのみ実施すべきである。

- ① ガス化装置は、一酸化炭素や水素のような危険性ガスを生成する化学装置であり、安全性確保のため、その設計、施工ばかりでなく運転、保守にも熟練した技術者を必要とする
- ② 生成ガスは、多くの場合タール分を含んでおり、その除去工程を設けない限り、下流工程で付着、閉塞等の問題を起こす
- ③ 直接燃焼に比べて工程数も多く、設備は複雑で制御等も難しくなる

## 6. 木質ペレットの製造<sup>(1)</sup>

丸太や端材を燃料へ加工する方法は色々あるが、最も簡単な方法は破碎によるチップ化である。細かく砕くことによって燃焼装置への自動投入が可能になる。しかし、燃料チップは加工が簡単である反面、含水率が総じて高く、形状が不均一、かつ嵩高いといった短所もあるため、それらの短所を解決する手段として、ペレット製造が注目されている。

表2に木質ペレットの製造工程の概要を示す。ペレットは、樹皮やおが屑、鉋屑などの製材廃材、あるいは森林伐採に伴う林地残材、古紙といった木質系副産物を粉碎、圧縮し、成形した固形燃料である。長さは10~20mm、直径は6, 8, 10, 12mmが一般的で、最大長25mm程度まで製造できる。家庭用においては、6

表2 木質ペレット製造工程

1.破碎	原料を均一な微粒子サイズに破碎する。
2.乾燥	微粒状になった原料は木材等を燃料とするロータリッドラム乾燥機を用いて含水率8~10%まで乾燥される。
3.ペレット化	乾燥された原料は従来型のペレット成形機によって成形。しばしば蒸気によって乾燥状態を調節する。接着剤は通常使用されず、木材のリグニン成分が軟化し接着剤の役割を果たす。
4.冷却	成形機から出たペレットは高温であるため、リグニンの硬化とペレットの安定化のために直ぐに空気冷却される。
5.微粒子の選別	残留した微粒子は選別され工程に戻される。
6.袋詰・貯蔵	ペレットは自動的に小袋や大袋に袋詰されたり、サイロに貯蔵されたりする。

mm程度が最良の燃焼状態を実現できるとされる。ペレットは木材成分のリグニンを熱で融解し固着させることで成形されるため、接合剤等の添加物が必要なく、純粋な木質成分からなる。

表3に木質ペレットの主な性状を示す。ペレットの特徴は、形状や含水率が一定の燃料であるため自動運転の機器に適していること、圧縮されて体積が小さくなっているためエネルギー密度が高く輸送に適していること、乾燥しているためカビが発生せず長期間貯蔵できること等である。短所としては湿気に弱いこと、成形にエネルギーが必要なこと等が挙げられる。また、ペレットのみならず木質バイオマス全般にみられる短所として、燃焼後には灰が必ず残り、その処理が必要なことである。

欧米諸国では暖炉や薪ストーブに置き換わる暖房装置としてペレットストーブが好調に販売されている。その他、ペレットボイラーによる温水供給も盛んで地域熱供給の配管網から外れた地域の人々が小型のペレットボイラーを地下室などに設置して温水暖房することで快適な室内環境を実現している。

木質ペレットがわが国で普及するための課題として、次のような項目が挙げら

れている。

- ① 需給バランスの確保
- ② 品質の標準化（粗悪品の排除）
- ③ 石油系燃料と同等の安定的かつ低コストな販売体制の整備

## 7. 熱利用・コージェネレーション・発電

ここで取上げたバイオマスのエネルギー利用方式を、その変換技術と対比して図5に示す。ペレットはストーブと小規模温水ボイラに主として用いられる。チップ等を燃料とする直接燃焼のコージェネレーションや発電には、蒸気ランキンサイクルが用いられる。ガス化生成ガスは、中小規模以上ではガスエンジンコージェネレーションに、大規模の場合にはガスタービンを用いたコージェネレーションや発電に用いられる。バイオガスは、略上記ガス化生成ガスの利用と同様である。BDFは、輸送用燃料として利用されるほか最近ではディーゼルエンジンやマイクロガスタービンを用いたコージェネレーションにも利用されている。

バイオマスのエネルギー利用の検討にあたっては次の事項に留意すべきである。

- ① 熱利用を優先する
- ② 発電する場合には、大規模発電（少なくとも10MW以上）でない限り、コージェネレーションを基本とし、熱利用でほぼ採算が採れるように考える
- ③ 中小規模以下の熱利用の無いあるいは

表3 木質ペレットの主な性状

発熱量 (下限)	4.7 kWh/kg=約4,000 kcal/kg
灯油換算	ペレット約2.1トン=灯油1m <sup>3</sup>
体積重量	650 kg/m <sup>3</sup>
含水率	8~13%
灰分	木部0.5%以下、樹皮2.5%以上

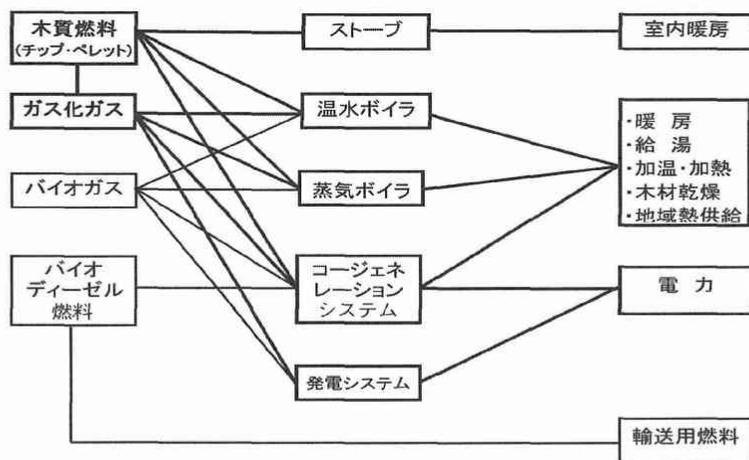


図5 バイオマスのエネルギー利用

少ない蒸気ランキンサイクル発電の採用は極力避ける（発電効率が極端に悪化するため）

- ④ 評価に環境性，省エネルギー性を厳密に考慮する

バイオマスエネルギーテクノロジー・ロードマップ策定作業が進められており，これによってわが国における各エネルギー変換技術の開発の方向性が示されることが期待されている。

## 8. おわりに

地球温暖化ガスの排出量削減が重要な課題となっている今日，カーボンニュートラルなバイオマスのエネルギーとしての利用に対する期待は大きい。現状ではバイオマスの利用は，各種助成制度抜きでは殆どの場合正味採算性が採れない状態になっている。バイオマス利用に関連する各種規制（廃棄物認定等）の緩和や「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)の一層の拡大とともに，炭素税の導入等を視野に入れた方法論の検討が必要である。現在，新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)において中長期的視点に立った

### 参考文献

- (1) 城子克夫：省エネルギー，55 (14)，15 (2003)
- (2) EWAB Programme, Novem："Inventory of biomass gasifier manufacturers and installations, FINAL REPORT" October 2001
- (3) 城子克夫：化学装置，46 (3)，31 (2004)

# 木質系バイオマスによる 小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発



奥田 誠 (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 主管研究員

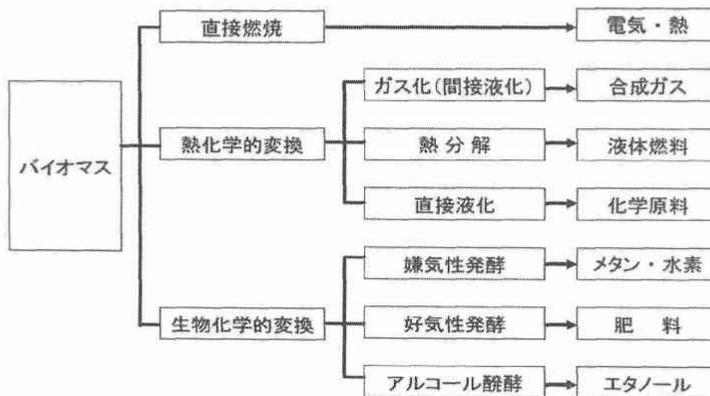
## 1. はじめに

(財)エネルギー総合工学研究所では、現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」において、2テーマ(「木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発」および「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」)を受託し研究開発を進めているが、本稿ではこのうち前者についてその研究開発の概要を紹介する。

### (1) NEDO「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」

「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発プロジェクト」は、2010年度の新エネルギー導入目標の達成に寄与することを狙い、従来より高効率にかつ経済的に、バイオマス資源を電気・熱あるいは気体・液体燃料等の有用エネルギーに転換する技術を開発し実用化に目途をつけることを目的としている。

バイオマスは性状が多様であり、その性状にあわせた適切なエネルギー転換技術が考えられる(図1)。本事業は、上記



(出所: NEDO「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」パンフレット)

図1 バイオマスのエネルギー転換技術

表1 NEDOバイオマスエネルギー高効率転換技術開発11テーマと委託先

	テーマ名	委託先
①	石炭・木質バイオマス湿熱技術の研究開発	中国電力、日立製作所、パブコック日立
②	木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発	川崎重工業、エネルギー総合工学研究所
③	バイオマスの低温流動層ガス化技術開発	出光興産、産業技術総合研究所
④	バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発	三菱重工業、中部電力、地球環境産業技術研究機構、産業技術総合研究所
⑤	セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール発酵技術等による燃料用エタノールを製造する技術の開発	日揮、関西ペイント、BNRI、アルコール協会、産業技術総合研究所
⑥	有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段発酵技術研究開発	鹿島建設、荏原製作所、西原環境衛生研究所、バイオインダストリー協会、産業技術総合研究所
⑦	高効率二段発酵による有機性廃棄物のエネルギー転換技術開発	ヤンマー
⑧	下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発	エネルギー総合工学研究所、三菱重工業、日本碍子、東京都下水道サービス、筑波大学、北海道大学
⑨	有機物の分解促進による下水汚泥高効率嫌気性システムの開発	栗田工業、三菱総合研究所、東北大学、埼玉県環境科学国際センター
⑩	高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発	電力中央研究所、神戸製鋼所、石川島播磨重工業、北海道大学、京都大学
⑪	二段階反応法によるバイオディーゼル燃料(BDF)製造技術の研究開発	旭化成、旭エンジニアリング、旭リサーチセンター、豊田通商、京都大学

(出所：NEDO「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」パンフレット)

目的に適うポテンシャルが高い技術を技術分野ごとに公募したものであり、2002年3月に7件のテーマが採択され、2003年6月には4件のテーマが追加採択され、11のテーマで研究開発が行われている(表1)。

本稿で紹介する「木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発」は、「低温加圧流動層ガス化+ガスタービン燃焼」技術により間伐材や製材工場で発生する木屑等の木質系バイオマスを電気・熱に転換する技術に係るものである。

## (2) 木質系バイオマスの利用状況

木質系バイオマスには林業廃棄物として森林における間伐材や林地残材などが、また、産業系廃棄物として製材工場等の木材加工部門で発生する木屑類や住宅の新設や解体に伴い発生する建築廃材などがある。

表2に示すように現状での利用量は少ないが、賦存量は十分に大きく、有効利用が期待されているバイオマスである。

### ① 林地残材、間伐材

主伐および間伐において1m<sup>3</sup>の丸太が立木から生産される時に平均して0.36m<sup>3</sup>の枝葉と0.22m<sup>3</sup>の末木や曲がり部分が利用されずに林地に残されている。これらの収集・運搬には費用が相対的にかかりすぎるので現状では利用が難しく、一部で製材工場の木屑と合わせて利用されているにすぎない。これらの有効利用は、森林の保護、国土保全にも寄与することであり、国の施策の中で重要な課題として認識されている。

### ② 製材工場等の木屑

製材工場では原木丸太から柱材・板材等を生産するが、その歩留りは60%前後

表2 木質系バイオマスの利用量と賦存量

単位:原油換算 万kl

分類	バイオマス種	現状	賦存量	分類	バイオマス種	現状	賦存量
畜産 廃棄物	牛・豚糞尿	NA	127.9	農業 廃棄物	もみ殻	0.61	80.0
	鶏糞	NA	29.3		稲わら	0	370.9
林業 廃棄物	間伐材	0	130.2	生活系 廃棄物	菜種	0	0.0
	林地残材、枝葉	0	85.9		パガス	6.6	16.6
産業系 廃棄物	木くず	47.4	222.9	その他	厨芥類(生ゴミ)	NA	65.0
	建築廃材等	56.3	206.3		廃天ぷら油	NA	41.1
	汚泥(有機物系 廃液)	NA	353.0	し尿	2.1	8.8	
	汚泥(下水)	8.7	261.3	Landfill Gas	0.13	22.6	
	パルプ黒液	436.0	545.0		薪炭	6.7	30.0
				合計		566.5	2,596.8

現状 :1999年度  
 賦存量:2010年度  
 NA :活用の可能性有るが把握不可能

参考			
	ゴミ発電、焼却余熱利用		676.0
	食品廃棄物(外食産業等)	NA	99.4
	草木類	0	58.8
	古紙	NA	605.4

(出所:資源エネルギー庁, 総合資源エネルギー調査会資料)

のところが多く、残りはおが屑などの木屑となる。製材工場等の木材加工部門で発生する木屑類は日本において年間約1,500万m<sup>3</sup>と見積もられているが、現状その多くが紙パルプ用の原料チップや家畜敷料などに利用されている。

木屑の燃料利用としては、小規模ではチップボイラー・ペレットボイラーによる暖房利用が始まっている。中規模以上では木屑焚きボイラーによる熱利用が従来から多く行われている。特に、工場規模が比較的大きく接着・乾燥工程で熱を多く必要とする合板工場や集成材工場では早くからプロセス蒸気の形で熱利用されてきた。

木屑による発電利用については、国内でこれまで20例以上が導入されている。そのほとんどが「木屑焚きボイラー+蒸気タービン発電システム」で、設備規模として1,000~3,000kWクラスのものである。代表例として、秋田県能代森林資源利用協同組合を挙げることができる。同

組合での木屑利用量は54,000 t/年(220 t/日)で、発電出力は3,000kWである。

蒸気タービン発電は小規模では発電効率が低く、上記の例でも発電効率は12%程度と言われている。また、年間数万トンレベル以上で原料となる木屑を確保できる大規模な木材加工工場や製材工場の数は多くない。

一方、わが国では中山間地に所在する中小製材工場の数が後述のように多いが、従来は自工場内で焼却処分していた木屑類を電力・熱に有効利用しようというニーズが近年増えてきている。そこで、中小工場に適用でき、小規模でも高効率が確保できる「木屑ガス化+ガスエンジン又はガスタービン発電システム」への要望が高くなっている。

### ③ 建築廃材

建築廃材の発生量は十分に把握されていないが、年間約2,000万m<sup>3</sup>と推定され、

そのうち20～40%がリサイクルに、残りがゴミとして焼却処分または埋め立てされていると考えられている。

建築廃材の多くは都市部の住宅地等で発生するが、「木屑焚きボイラー＋蒸気タービン発電システム」の導入事例の半数は建築廃材と製材工場の木屑と混ぜて木屑焚き発電をしているようである。

ただし、建築廃材では不純物の取扱い（釘等の除去、防腐剤・防蟻剤の処理）には注意が必要とされている。

## 2. 木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システム開発

### (1) プロジェクトの概要

本研究開発は、中山間地に分散し、個々には発生量の少ない製材工場木屑や林地放置間伐材等の木質系バイオマスの有効利用を図るために、従来より効率的かつ経済的にエネルギー転換が可能な低温加圧流動層ガス化による小規模分散型発電システムの開発を目的としている。

本研究開発は、川崎重工業と当所が共同して進めている。川崎重工業は主としてシステム構成要素機器の技術開発およびベンチシステムの運転研究を、当所は

主としてシステムの技術的・経済的評価並びに市場導入普及スキーム・波及効果の検討等に関する調査研究を行っている。

なお、川崎重工業は東京大学（堤敦司助教授：化学システム工学専攻）および東京農工大学（堀尾正鞠教授：生物システム応用科学研究科）に研究開発の一部を再委託し、当所は島根大学（小池浩一郎助教授：生物資源科学部生態環境科学科）および高知県（森林局林業振興課）に調査研究の一部を再委託している。

平成13年度～16年度の4カ年で、本システム実用化のための基盤技術を確認することを目標とし、具体的には次の項目について研究開発を行っている（表3）。

#### ① 流動層ガス化反応特性等試験研究

加圧流動層においてバイオマスを流動化しガス化を行うため、流動化特性、ガス化反応、飛散ダスト性状等をラボスケール試験炉、ベンチスケール試験装置にて研究する。

#### ② 生成ガス利用に関する要素技術の開発

流動層ガス化炉で発生するバイオマス中の灰分、未燃炭素などの飛散ダストを連続除去する高温フィルターと、比較的

表3 基盤技術開発のスケジュール

開発項目	H13年度	H14年度	H15年度	H16年度
1. 流動層ガス化反応特性等試験研究	●	●	●	●
2. 生成ガス利用に関する要素技術の開発	●	●	●	●
3. 実用化試験および研究				●
4. システムの普及・波及効果の研究	●	●	●	●

低発熱量の生成ガスを安定的に燃焼させるガスタービン燃焼器を開発する。

### ③ 実用化試験および研究

ベンチスケール試験装置のガス化炉およびガスタービン燃焼器等の運転試験により、実用規模へのスケールアップ方法やシステム連系、制御方法等、実用化に必要な技術を確立する。

### ④ システムの普及・波及効果の研究

製材工場等における木屑類の発生量および電気・熱エネルギーの需要量の実態を把握し、小規模分散型システムの適正規模、開発システムの導入可能性、実機要求仕様等を調査検討し実用化への図式を作成する。

現在は最終年度で、技術開発担当の川崎重工業ではベンチ試験装置による運転研究を行っており、調査研究担当の当所ではモデル製材工場での調査データに基

づくフィージビリティスタディーや導入スキームの検討を行っている。

### (2) 本開発システムの特長と効率目標

本開発システムは、図2に示すように低温加圧流動層ガス化炉と小型ガスタービンで構成される。

加圧流動層ガス化炉で650℃程度の比較的低い温度で木屑類をガス化し、タール分を含むガスをそのままの温度・圧力で燃焼器において燃焼させ、燃焼ガスを小型ガスタービンに導き発電を行うとともに、ガスタービン排ガスを一部ガス化炉へ循環しガス化剤として使用すること等により熱化学再生を行い、小規模でも高効率の発電を可能とする。

この熱化学再生とタール成分の燃焼利用により、冷ガス効率<sup>\*</sup>75%以上、発電端効率<sup>\*\*</sup>20%以上にまで高めることを開発目標としている。因みに、従来技術である木屑焚きボイラー+蒸気タービン発電方式によ

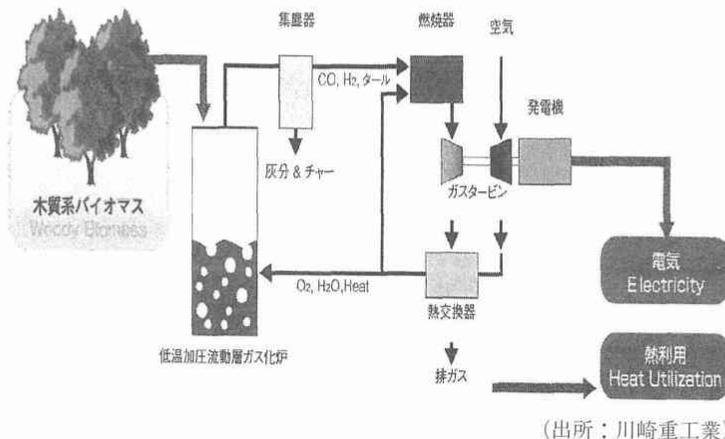


図2 小型分散型ガス化発電システムの構成

\* 冷ガス効率 = (発生ガス発熱量) / (投入バイオマスの発熱量)

\*\* 発電端効率 = (発電量) / (投入バイオマスの発熱量)

る発電端効率は、本研究開発が対象としている小規模レベルでは10%程度である。

### ① 熱化学再生の利用

一般にガス化反応では、ガス化炉内の反応温度を維持するため、投入した木屑の一部を燃焼させる必要があり、その分だけ冷ガス効率が低下する。本システムにおいても35%程度の部分燃焼が必要となるが、ガスタービンの排熱によりガス化空気を予熱し、熱の有効利用を図ることにより、650℃程度の低い温度で高い冷ガス効率を達成できる。

### ② タール成分の燃焼利用

木屑類を低温でガス化すると、木屑の炭化水素成分が高分子状態でガス中に出てゆき、これがタール成分となる。図3に水蒸気改質法ガス化により生成したガスとタール成分、未燃炭素(char)の重量割合と反応温度との関係を示す。

反応温度が高いほどタール成分、未燃炭素は減少しガス成分が多くなる。未燃炭素は反応温度600℃程度までは10%を越えるが、600℃以上になると急激に減少し、650℃では3%以下となり、発熱量の5%程度になる。タール成分は、650℃においても約40%存在している。

タールは、冷却に伴い凝縮・液化するが、粘性が強いため付着や閉塞によるトラブルを起こす。このため、従来のガス化システムでは、このタール成分の生成をできるだけ少なくするため、高温でガス化しているが、その分ガス化ガスの顕

熱が大きくなり、冷ガス効率が低下する。また、生成したガス化ガスをガスエンジン等で冷却して用いる場合はタールを除去する必要があり、顕熱およびタール成分の持つ化学エネルギーの損失となる。

本システムは、ガスタービン燃焼器と同じ圧力の加圧流動層ガス化炉により木屑をガス化し、そのままの温度でガスタービン燃料に利用することにより、生成したガスを冷やすことなく燃焼することを可能としている。この結果、生成ガス中のタール成分除去が不要で、かつ熱エネルギーおよび化学エネルギーを有効に利用することができる。

### (3) システムの目標規模

本研究開発においては、利用する木質バイオマスとして製材工場等から発生する木屑等と林地に放置され利用されていない間伐材等を想定している。ただし、間伐材等の利用については、経済的で効率的な間伐材の収集・輸送という社会システムや供給基盤の整備が必要になると思われることから、まずは製材工場で発生する木屑をガス化炉投入原料として利用し、できた電気と熱を工場で利用することを優先しようと考えている。

本研究開発期間における最大の目的は、ガス化発電システムの技術を確立し実用化の目途をつけることにある。それにより製材工場等から市場導入の道筋が実現できれば、その後の間伐材の利用へ展開できると考えている。

なお、製材工場で発生する木屑類には樹

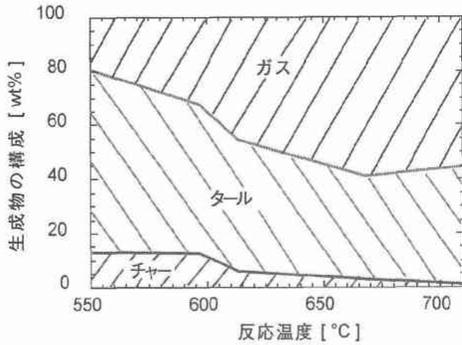


図3 生成物の構成比率

皮（バーク）、おが屑、かんな（プレーナ）屑、端材、チップなどがあり、それぞれ寸法や性状が異なる。木屑類の様々な混合比率に対応できるガス化システムの実用化が望まれるが、現状のベンチ試験装置ではまずシステム全体として運転技術を確立するために、おが屑とバークの混合比率を固定した投入原料で試験を行っている。

冷ガス効率75%以上、発電端効率20%以上という本開発システムの目標性能に

照らせば、ガス化炉に投入する木屑の処理量が30kg/hで発電出力30kW、625kg/hで650kW程度になる（1日8時間運転として各々0.24t/日、5t/日になる）。

一方、本開発システムで当面の適用先として想定している製材工場は、表4に示すとおり、現在全国に約11,000存在するが、製材用動力（電力負荷）で37.5～75.0kWの中小規模の工場が最も多く、大規模工場の数は少ない。木屑処理量0.24t/日で発電出力30kWは、工場の所要動力区分で22.5～37.5kWにはほぼ対応し、また木屑処理量5t/日で発電出力650kWは、所要動力区分で一番大きい300kW以上の規模の平均よりやや下辺りに対応する。

これらを勘案し、本研究開発システムの規模並びにその調査対象としては表5の領域を設定した。ただし、本開発システムを市場導入していく場合、比較的経

表4 本開発システムの適用先として想定する製材工場

製材用動力	7.5～ 22.5kW 未満	22.5～ 37.5kW 37.5kW	37.5～ 75.0kW 75.0kW	75.0～ 150kW 未満	150～ 300kW 未満	300kW 以上	計
工場数	1,050	2,533	4,092	1,889	918	538	11,020
構成比 (%)	9.5	23.0	37.1	17.2	8.3	4.9	100.0
製材用動力の出力数 (kW)	17,760	72,999	208,488	191,253	182,158	317,645	990,303
平均出力 (kW)	16.9	28.8	51	101.2	198.4	590.4	89.9
素材入荷量 (×1,000m <sup>3</sup> /年)	299	1,154	3,502	4,316	4,452	10,156	23,879
構成比 (%)	1.3	4.8	14.7	18.1	18.6	42.5	100.0
平均素材入荷量 (×m <sup>3</sup> /年・工場)	285	456	856	2,285	4,850	18,877	2,167
製品出荷量 (×1,000m <sup>3</sup> /年)	200	795	2,439	2,907	2,900	6,245	15,486
構成比 (%)	1.3	5.1	15.8	18.8	18.7	40.3	100.0
製品出荷量/素材入荷量 (%)	66.8	68.9	69.6	67.4	65.1	61.5	64.9
製材所木屑発生量 (×1,000m <sup>3</sup> /年) * 1	99	359	1,063	1,409	1,552	3,911	8,393
木屑発生量 (ton/日・工場) * 2	0.15	0.23	0.42	1.19	2.71	11.63	1.21

(出所：平成13年木材需給報告書，農林水産省統計情報部を基に作成)

表5 研究開発システムの規模と調査対象

	最小規模	～	最大規模
発電出力	30kW	～	650kW
木屑処理量	0.24ton/日	～	5ton/日
素材入荷量	500m <sup>3</sup> /年	～	12,000m <sup>3</sup> /年

(出所：川崎重工業)

営的に余裕がある中規模以上の工場が初期市場になると考えられる。これに関しては、モデルに選んだ製材工場における調査データの分析から最適な出力規模および仕様を検討している。

#### (4) 川崎重工業でのハード開発の状況

川崎重工業では、平成15年度からラボスケール試験装置(直径80mmのガス化炉)による流動化特性試験の結果を反映した30kW級ベンチ試験装置の運転研究を行っている。30kW級ベンチ試験装置は、前述の設定領域の最小クラスに相当する。

これまでにフェーズ1およびフェーズ2と段階を追ってプロセス要素ごとの試験を行い、その結果、所期のガス化効率目標値を満たしたこと、低カロリーのガス化ガスでも燃焼器で安定的に燃焼できること、タービン発電システムの運転制御シーケンスを確立したことなどの成果を得ている。現在は、フェーズ3で実機と同じプロセスに組み上げたシステムの総合試験を行っている。

#### (5) エネルギー総合工学研究所での調査研究の状況

当所では、製材工場等における木屑の発生量(システム入力側)および電力・

熱の需要量(システム出力側)の実態データを取得・分析することにより、総合的にみて最も効率的かつ経済的になるシステム・機器の仕様および導入設置・運転形態等に関する検討を行っている。特に、小規模分散型のシステムにおいては、開発システムと設置先の負荷や利用形態との整合性が非常に重要であり、それが導入可能性、市場性に大きく影響を与えると想定されることから、モデル製材工場でのケーススタディーに重点をおいている。具体的には以下の項目について順次調査検討を進めてきた。

- ① 木質系バイオマスエネルギーの利用に関する実態調査
- ② 木質系バイオマスエネルギーの利用効果に対する具体的ニーズ調査
- ③ 木質系バイオマスガス化発電システムの要求仕様調査
- ④ 木質系バイオマスガス化発電システムの導入可能性調査
- ⑤ 総合的技術および経済性評価並びにシステム導入スキームの策定

なお、これらの調査研究における実際の調査および検討の対象は高知県内の製材工場を中心としているが、そこでの調査検討結果を基に全国的な検討に展開することを目標としている。

- ① 木質系バイオマスエネルギーの利用に関する実態調査

平成14年度に、製材工場等における木

屑等の発生量および電気・熱の（月別）使用量データなどを現地工場での聞き取り調査を中心にを行い収集・分析した。

調査対象には林業が盛んな自治体として、高知県を中心に、北海道、青森県、秋田県、岩手県、岐阜県、岡山県を選び、それら7道県の10地域から計38カ所の製材工場等（他に、原木市場、集成材工場、木材加工工場等）を抽出し調査した（表6）。

木屑については、チップ、おが屑、パーク、プレーナ屑、端材等のそれぞれの発生量および利用状況について概略把握した。チップは製紙工場のパルプ原料として売却されているものがほとんどである。このチップ売上額は製材工場の買電料金に近いことから経験的に「チップ賃で電力を買う。」という感触があるようである。おが屑は酪農家における家畜（牛・豚）の敷料（家畜舎の床に敷く家畜

表6 調査対象とした製材工場等

回	調査地域	No	所在	調査先名称	工場分類
1	高知県 嶺北地区	1	土佐町	A木材会社	製材工場
		2	本山市	A協同組合	原木市場
		3	土佐町	B協同組合	プレカット工場
2	高知県 大正地区	4	大正町	A森林組合	集成材工場
		5	大正町	B木材会社	製材工場
		6	大正町	C木材会社	製材工場
3	高知県 ソニア地区	7	池川町	D木材会社	製材工場
		8	池川町	E木材会社	製材工場、木材加工工場
		9	吾川村	B森林組合	製材工場
		10	仁淀村	C森林組合	製材工場
4	北海道 上川地区	11	旭川市	F木材会社	製材工場、木材加工工場
		12	美瑛町	D森林組合	チップ工場
		13	南富良野町	G木材会社	製材工場
5	岩手県 遠野地区	14	住田町	H木材会社	製材工場
		15	住田町	I木材会社	製材工場
		16	遠野市	J木材会社	製材工場
		17	遠野市	K木材会社	乾燥専門工場
		18	宮守村	L木材会社	製材工場
		19	遠野市	A木材団地	注) 参照
		20	住田町	C協同組合	木材加工工場
6	青森県 三八上北 地区	21	名川町	M木材会社	製材工場
		22	八戸市	N木材会社	製材工場
		23	百石町	O木材会社	製材工場
		24	八戸市	P木材会社	チップ工場
7	秋田県 能代地区	25	鷹巣町	Q木材会社	製材工場
		26	合川町	R木材会社	木材加工工場
		27	能代市	S木材会社	製材工場
		28	能代市	T木材会社	木材加工工場
		29	能代市	D協同組合	バイオマス発電
8	岡山県 真庭地区	30	久世町	U木材会社	製材工場
		31	久世町	V木材会社	製材工場
		32	勝山町	E森林組合	原木市場
9	岐阜県 恵那地区	33	瑞浪市	W木材会社	製材工場
		34	加子母村	X木材会社	製材工場
		35	加子母村	E協同組合	集成材工場、プレカット工場
		36	坂下町	F協同組合	プレカット工場
10	高知県 西部地区	37	梶原町	F森林組合	製材工場
		38	西土佐村	G森林組合	製材工場

の寝床) 用やきのご培地用に売られており、同様に工場の収入源になっている。一方、パークは敷料などには不向きなため引き取り利用が少なく処理に悩んでいるところが多い。これまで焼却処理していたが、焼却炉のダイオキシン規制に対し改造・更新の費用を捻出しにくいことなどが明らかになった。

また、木屑の発生量と電気・熱(木材乾燥機用の蒸気ボイラー燃料) 需要量の比較から、工場の形態により一概には言えないが、調査した規模の範囲の工場においては発生した木屑類を本開発システムに利用すれば工場の電気需要に見合う発電量が得られることが分かった。

## ② 木質系バイオマスエネルギーの利用効果に対する具体的ニーズ調査

本開発システム実用化の事前評価検討のために、製材工場等の木屑利用発電システムに対する具体的なニーズ、想定される経営面、制度面も含めた課題および関連業界の動向などについて、①に合わせて現地工場での聞き取り調査を中心に行い、収集・分析した。

製材工場等においては、特にパーク処理に絡み木屑の有効利用に関するニーズが高いこと、製材製品単価の低迷に対し電気代・燃料代の削減による経費節減のニーズが高いこと、乾燥木材製品に対する市場要求に対応するため乾燥機増設が必須になりつつあり、燃料代が嵩むようになること等から、木屑利用の熱電併給システムに対する大きな期待などが明らかになり、今後

の市場導入検討の参考になった。

## ③ 木質系バイオマスガス化発電システムの要求仕様調査および

## ④ 木質系バイオマスガス化発電システムの導入可能性調査

現地調査による実態把握をさらに進める形で、検討モデルとなる製材工場を選定し、その工場においてより詳細な電力および熱(燃料)の使用実態等に関する(時間単位)データ収集を行い、そのデータの分析を基にシステムの要求仕様および導入可能性等について検討評価を行うこととした。

モデル工場としては高知県内に5つの製材工場を選定した(図4)。それら5工場は製材の取り扱い材積が10,000m<sup>3</sup>/年前後の中規模の製材工場であり、本開発システムが目指している発電規模30kW~650kWの範囲では中間的な需要規模になると予想される。また、木屑利用の発電システムに対して関心と導入意欲を持つ事業主が運営する工場であり、本研究開発期間の後に計画している実証試験場所の候補になると考えられる工場である。

データは、時間単位の電力負荷および燃料消費量、また日単位の木屑発生量などであり、これらのデータを約1カ月に亘って現地工場にて測定した。これまでに1工場で詳細データを取得し、データの分析評価を行った。現在、次の工場で詳細データを取得中である。

取得したデータの分析評価を基に、その他の関連情報も検討に加えて本開発システムの要求仕様について検討を行った。

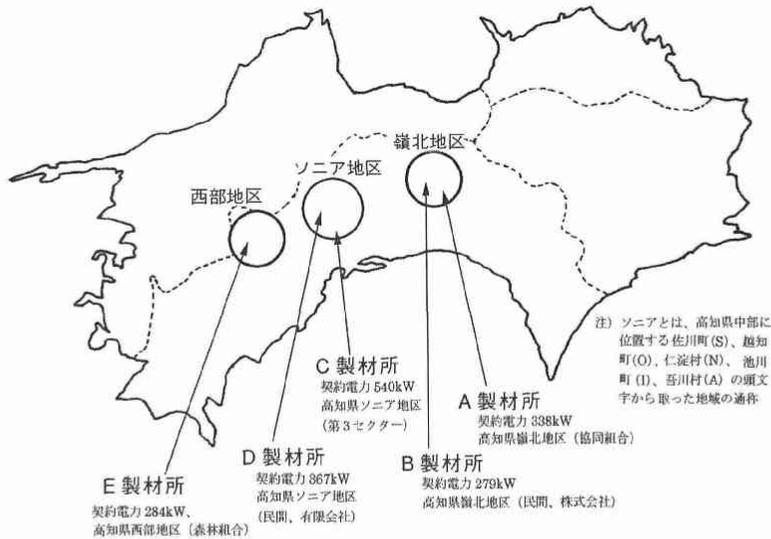


図4 検討モデルとなった高知県の製材所

具体的には、図5の電力負荷パターンおよび図6の高温乾燥機用ボイラーの燃料使用（熱負荷）パターンを用いてケーススタディーを行い、例えばこのモデル工場に本システムを設置し、条件として平日朝起動～夕方停止のDSS（Daily Start

Stop）運転で、逆潮なしの系統連系運転を想定した場合には、川崎重工業によるハード側検討（予想性能）と付き合わせることにより、システム発電能力は150kW程度が適当であると判断した。

併せて150kW発電出力の設備から得ら

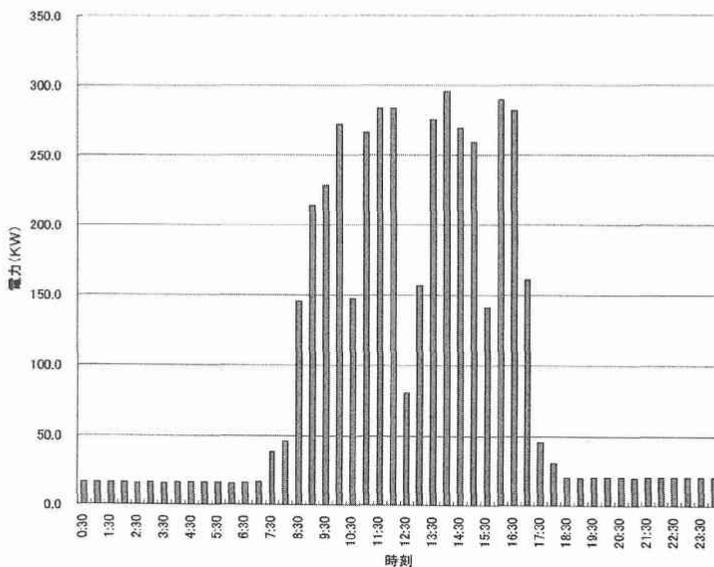


図5 モデル工場の電力負荷（平成15年12月3日）

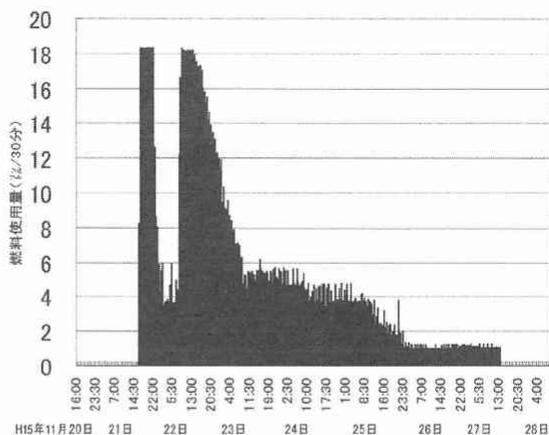


図6 モデル工場における燃料使用量の変化

れる排熱で工場の木材乾燥に必要な熱量が賄えること、発電に必要な木屑量が工場が発生するおが屑およびバークの量で賄えることが分かった。経済性についても検討を行い、電気代および燃料代の半分程度が節約できることも分かった。

別のケーススタディーでは、電力のピーク負荷に合わせた発電出力とし、24時間連続のWSS (Weekly Start Stop) 運転を行い、余剰電力は逆潮連系で買電する場合なども検討を行った。この場合は、おが屑およびバークに加えて工場が発生するチップも利用すれば発電に必要な木屑量を確保できるが、売電による収入増が製紙用パルプ原料としての売却益減少と差し引きになるので、単純に経済性が向上するのではないことなども分かった。

このようなシステム仕様、運転形態の設定検討が適切かどうかは、他のモデル工場でも取得データに基づくケーススタディーを加えて検討評価を深めたいと考えている。

このようなケーススタディーに加えて、

近隣に所在し電力・熱負荷がある病院や福祉施設との連携や近隣他工場からの木屑受け入れなどの検討、および電力料金・燃料単価・チップ単価・廃棄物処理費用の動向の検討や導入設置に係る法規制の適用や課題の抽出なども加えていくところである。

#### ⑤ 総合的技術および経済性評価並びにシステム導入スキームの策定

今後、上記のケーススタディーおよびフィージビリティ評価の検討内容を踏まえ、さらに川崎重工業において実施されるベンチ試験装置の試験結果等を考慮して、本開発システムに関する総合的な技術および経済性の評価を行なうと共に、システムの市場導入に向けた具体的なスキームの策定を行なっていく予定である。

また、この検討結果は、来年度以降実施を検討している実証試験の計画検討にフィードバックさせていくことを考えている。

#### [謝辞]

本研究開発はNEDOの委託事業として行われているものであり、改めてNEDOに謝意を表す。また、現地調査等にご協力いただいた各道県の担当部署（林政課、林業振興課など）および工場の方々、並びに再委託先の高知県森林局林業振興課および共同実施者の川崎重工業にも謝意を表す。

[寄稿]

## 欧米での電力自由化動向\*



東 海 邦 博 ( 社海外電力調査会企画部  
主席研究員 )

### 1. 全体的な動き

#### (1) アメリカの動き

80年代に電気通信など公益事業部門で始まった規制緩和(自由化)は、電気事業にも及び、90年代に入って電力市場でもかなり自由化が進みました。自由化の狙いは、主に競争による電気料金引き下げ効果でした。

現在、卸売の自由化(電力再編)は全

米的に、すなわち連邦レベルで行われています。小売の全面自由化は、州レベルで行われており、約3分の1の州で既に実施されています。残り3分の2は、自由化を検討中、または一度決めた自由化を延期したりしています。自由化見直しの契機となったのは、カリフォルニア州が小売の全面自由化を始めて2年後に起こった「加州電力危機」(2000年)、電力卸売り最大手エンロン社の経営破綻

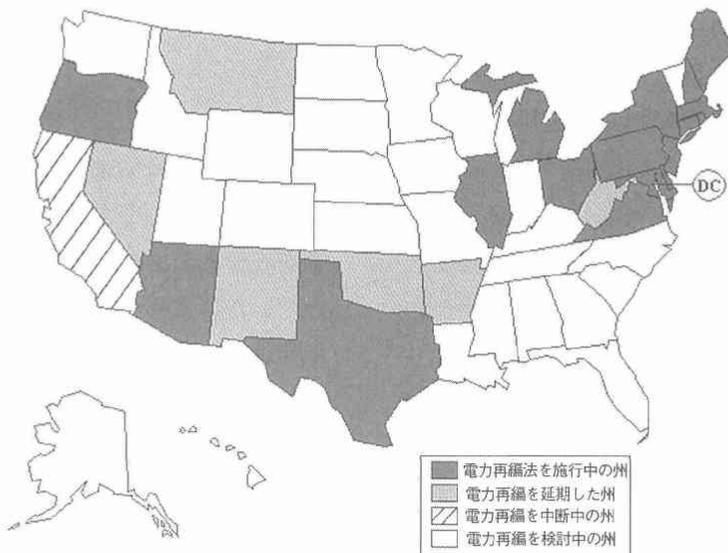


図1 米国における電力自由化の状況(2003年11月時点)

\*本稿は、本年7月30日の「第226回月例研究会」におけるご講演を本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

(2001年)、さらには、北米大停電です(2003年)。エンロン社の破綻は、電力取引以外での事業の失敗が理由でしたが、同社と契約していたカリフォルニア州内の顧客への電力供給が懸念されました。

昨今アメリカでは“Back to Basic”, つまり、コアとなる送電部門、配電部門というような確実性の高い業務をまず押さえていくという動きも出てきています。“Back to Basic” というのは必ずしも昔の独占状態に戻りたいということではなく、自由化をある程度やってきたところで、もう一度基本に立ちかえって電力自由化を見直してみようという動きです。

## (2) ヨーロッパの動き

ヨーロッパの電力自由化の目的には、競争による電力料金の引き下げだけでなく、80年代終わりに始まった欧州連合(EU)規模での単一市場創設があります。これが、ヨーロッパの大きな特徴と言えます。

従来、ヨーロッパでは基本的に大多数の国で、発電、送電、配電の統合(垂直統合)が行われ、全国的に電力供給を独占的に行ってきたわけです。したがって、「自由化イコール国有企業の民営化」ということになります。イギリスがその典型的な例です。そういう形で電力自由化が行われた国が多いというのが、もう1つ



図2 EU加盟国および加盟候補国

表1 EUにおける自由化進展状況 (2004年7月時点)

全面自由化済み	国内法で 全面自由化決定	2007年に全面自由化
イギリス スウェーデン フィンランド ドイツ スペイン オーストリア デンマーク オランダ ポルトガル ノルウェー (非EU加盟国)	ベルギー アイルランド	フランス イタリア ギリシャ ルクセンブルグ

の特徴です。

1996年のEU指令（「域内電力市場共通規則に関するEU指令」）を改正した2003年EU指令で2004年7月1日から家庭用以外の需要家に対する自由化を決めました。これはEU全体の電力市場の60%になります。日本は来年から契約電力量50kW以上の需要家を対象に自由化するということがありますが、そのレベルのことをこの7月からヨーロッパ規模で実施しているわけです。この改正指令ではさらに、2007年7月からは全加盟国における全面自由化を決めています。ところが、実態はEU指令に先行しています。EU15のうち9カ国で全面自由化を実施済みで、2カ国では全面自由化を国内法で決めています。残った4カ国が2003年EU指令のスケジュールに従って全面自由化の準備を行っているところです。

したがって、制度面では自由化は、ヨーロッパの方がアメリカより進んでいると言えます。

## 2. アンバンドリング

自由化範囲に続いて、発電、送電、配電、供給という4つの事業のうち発電と送電を分離する「アンバンドリング」について説明いたします。

### (1) アメリカ一機能分離

全米的に行われている卸売りの自由化では、会計分離\*\*と運営分離\*\*\*を求めています。実態としては、自由化された州で数社が集まって独立系統運用機関(ISO)を作っています。この場合は基本的に、送電線やそれに絡む変電設備などの所有権は元の電力会社が持っています。ISOは、系統運用の権限だけを委譲してもらい系統運用だけを行っています。

また、北米大停電もあって最近、地域送電機関(RTO)を創設しようという議論があります。これはISOを少し拡大し、権限も強くした機関です。

あるいは、ごく一部ですが、送電会社を

\*\*会計分離とは、内部相互補助を禁止するため、発電、送電等の部門毎に貸借対照表、損益計算書等の会計諸表を作成すること。

\*\*\*運営分離とは、既存電力会社の発電、送電部門間の情報を遮断することで系統運用の中立性、公平性を確保すること

別会社化（子会社の設立）しているところ、また、今まで発送配すべて持っていた電力会社が発電資産を何社かに分割・売却するよう再編法で決めている州もあります。

## （２）ヨーロッパ別会社化

1997年の指令では発送配電の会計分離、運営分離までを求めていましたが、2003年EU指令で2004年7月までに送電部門の「法的分離（regal unbundling）」、要するに別資本化までは求めていませんが、別会社化を求めることにしました。

しかし、自由化範囲と同様、実態としては、送電部門ではEU15のうち7カ国で別会社化、6カ国で別資本化（経営上全く独立した会社の設立）が行われています。配電部門でも6カ国で既に別会社化が行われています。ヨーロッパでアンバンドリングが進んでいる背景には、国によって自由化以前から日本、アメリカの発送配一貫タイプの電力会社がなかったという背景があります。例えば、スペイン、ベルギー、オランダ、デンマークでは、送電会社、送電部門は、運営上の都合でもともと別会社、あるいは別資本でした。また、ヨーロッパでは国有企業が配送一貫でやっている国が多いので、自由化で国有企業が分割民営化されると同時に送電部門を送電資産ごと別会社、別資本化できたということがあります。私営の場合と違い、国有ですと政府が決めれば、そのとおりやれますから、アンバンドリングがやりやすい事情があるのだと思います。

## 3. 自由化制度のポイント

### （１）送電料金

アメリカでは州をまたがって自由化されている地域において託送する場合には、基本的に一定の移行期間（ある程度送電資産のコストを回収する期間）を設けた後、距離に関係なく一定料金で送電する郵便切手方式が行われています。

ヨーロッパでも、国際取引の託送料金をどう設定するかここ数年議論されてきました。今、電力を入れるところと引き出すところで半分ずつ払う形での郵便切手方式に落ち着く方向で議論が進んでおり、一部試験的に行われています。

### （２）規制機関

アメリカは連邦が卸売と州際取引の権限を、州が小売に関する権限を持っています。連邦でも州でも非常に独立性の強い規制機関が設けられていますが、自由化に伴い州際取引が非常に増え、その中で連邦と州のどちらが扱うべき事柄なのか分かりにくい分野が出てきています。その部分で、連邦と州の権限争いが激しくなってきたと聞いています。

ヨーロッパでは、EUの行政部門として欧州委員会（EC）があります。ECは基本的にEUが決めたことを加盟国にやらせる、それを監視するという強い権限を持っています。ただ、EUの場合、各国政府が権限を持っている分野が依然としてかなりあります。電気事業の規制ということでも、ECが原則を決め、それに従って各国の規

制機関が細則を決めていくという形になっています。ただ、各国規制機関も国の歴史、行政のあり方によって独立性の確保に差があります。ECは各国の規制機関の独立性の強化を要求していますが、なかなかそのとおりにはいかない部分があります。

### (3) 取引所

アメリカは自由化されている州でISO, RTOが作られ、そこで実務に則した形でのスポット市場ができています。先物取引については、ニューヨーク・マーカンタイル取引所 (NYMEX) などで、小規模ながら行われています。

ヨーロッパでは、大半の国でPower Exchange (PX) といわれる取引所が創設されています。これは基本的に日本と同じ私設ですが、系統運用機関、系統運用会社を中心になった取引所で、日本によく似た感じのものです。ただ、ヨーロッパでも、取引所での取引は全体の数%程

度に過ぎません。

自由化になりますと、基本的に、顧客と電力供給事業者との相対取引が中心になります。それがいくらで売れているのか、具体的な内容が外部からは分からなくなります。ですから、取引所で取引が行われますと、指標的なものが分かってくると思います。また、その取引所での価格を踏まえて相対取引の価格も決められていくという側面もあります。したがって、取引量自体は少なくとも、取引所は非常に重要な役割を担っていると思います。

## 4. 自由化の下での変化

### (1) 事業者側

#### ① 電気事業体制・経営

アメリカでは、M&A (合併・買収)、非電気事業者 (IPP等) の参入、スピントフ (会社の一部門を切り離して独立させること) が増加しました。しかし、加州電力危

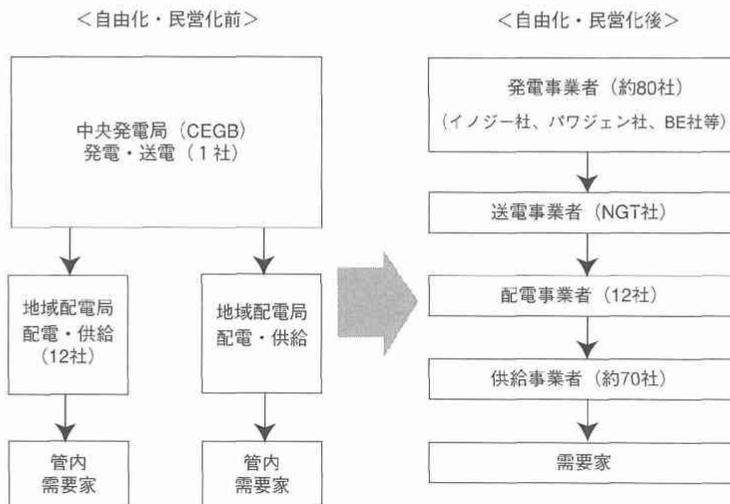


図3 イギリス電気事業体制の変化

機、エンロン社破綻などから低調となり、現在は資産売却によって、規制部門にコアビジネスを集中させる傾向にあります。

ヨーロッパでは国際的なM&Aが活発化し、フランス電力公社（EDF）、独RWEなど大手は、ガス、水道などを含めたマルチ・ユーティリティ化を指向しています。2003年からは規模拡大から収益性重視に転換し、事業・地域の絞り込みも開始されています。

図3はイギリスの例ですが、1990年に自由化と民営化が始まりました。イングランド、ウェールズ地域では、発送電を行っていた中央発電局が解体され、現在は発電事業者が約80社になりました。80社といっても、イノジー、パワジェン、ブリテッシュ・エナジー（BE）の大手3社で、マーケットシェアの40%ぐらいを握っています。送電はナショナルグリッド・トランスコ（NGT）が行っています。

地域配電局が行っていた配電と供給のうち、12社体制で行っていた配電事業

はほぼそのままです。ただ、外国資本が入るとか、かなり複雑なものになっています。供給事業は、約70社の供給事業者が行っています。ここでも大手3社でかなりのシェアを占めています。また、約70社の中で発電と供給両方を持つグループ企業が6社あります。それにさらに配電部門を持つ会社もあります。このように、今、またイギリスでは垂直統合の傾向が出てきています。ただ、その場合も規制が非常に厳しいので、この先1社独占や、2～3社による寡占状況にはならず、多少垂直統合に戻りつつも競争は続くというのがイギリスの今後の形だと思います。

## ② 新規建設

アメリカの設備容量は、図4に示すように、特に90年代後半伸びてきています。中でも非電気事業者（IPP）の比率が増えているのが特徴です。IPPが全体の発電設備の34%ぐらいを占め、新規運開だと

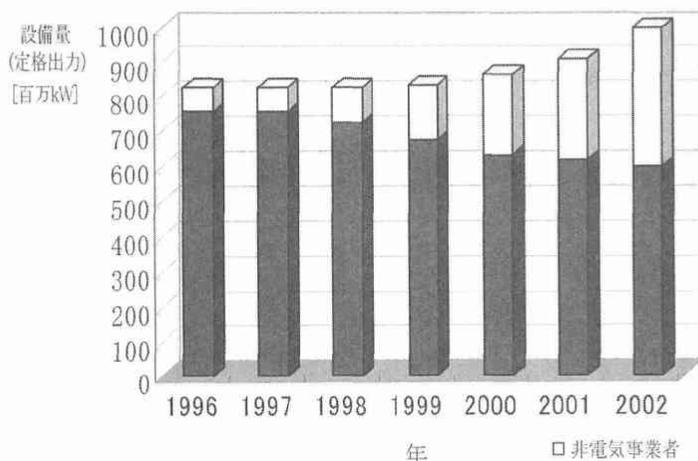


図4 米国の発電設備容量の推移

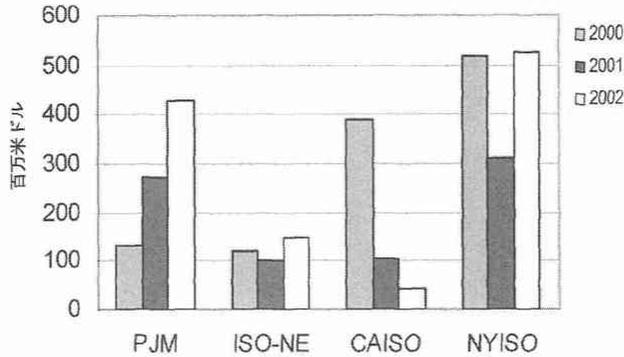


図5 米国での送電線混雑費用の推移

80%ぐらいを占めています。しかも建設された設備の大半は天然ガスのコンバインド・サイクルという非常に効率がいい発電設備です。

送電部門は発電部門に比べると、新規建設はそれほど進んでいません。したがって、州際の子系線の混雑度合は、自由化が進んだところほど増えてきていると言えます。これが昨年の北米大停電の背景になっているとも考えられます。

図5は、アメリカでの送電線、混雑費用の推移です。カリフォルニアを除いて基本的に混雑費用は増えてきています。混雑の度合がこれだけコストに反映されてきているということです。

ヨーロッパでもそれなりに発電設備が建設されてきていますが、アメリカほどではありません。ただ、イギリスですと、自由化とともに、国有企業が民営化されたために、それまで負っていた国内の高い石炭を買う義務がなくなり、北海の安い天然ガスを利用したコンバインド・サイクルのガスタービンの建設が進みました。2,000万kWの石炭火力が廃止されて、

3,000万kWの天然ガス発電が入ってきています。

一方、ドイツでは、ここ数年で風力発電の建設が非常に進み、現在、1,300万kWの風力設備が運転されています。風力設備では、デンマークが300万kW、スペインが500万kWが運転されています。ヨーロッパの場合、風力発電が盛んですが、これは自然条件、地球温暖化対策という2つの事情によるものと言えます。

一方、送電線は新規がなかなか進まず、国際連系の混雑は増大しています。図6に見るように、フランスを中心にして混雑度合が増えてきています。

### ③ 供給予備力

供給信頼度の問題ともつながる供給予備力がどのくらいあるのかということですが、アメリカは一部の地域を除き全般的に十分な予備力を保持しており、15%~25%です。地域ごとにある信頼度協議会が出している数字を見ますと、供給予備力そのものはそれほど落ちていません。

他方、表2にみるように、ヨーロッパ

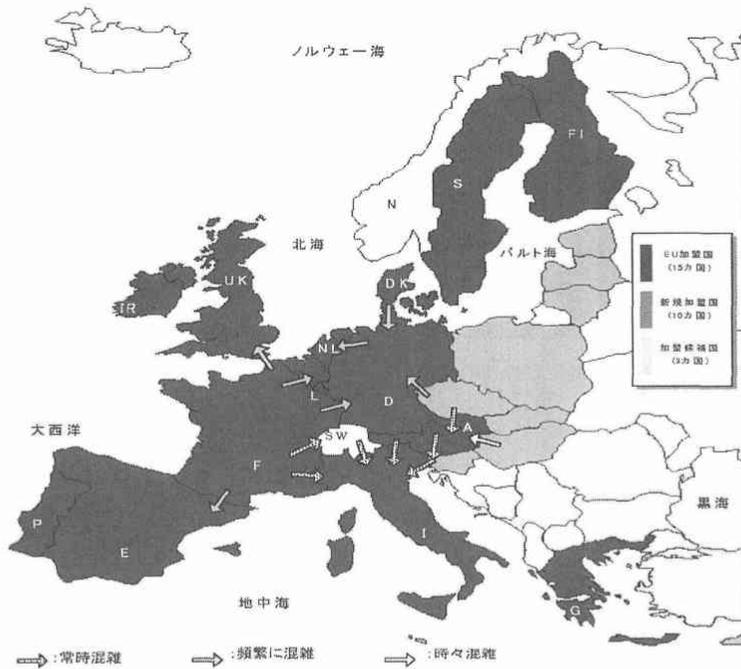


図6 欧州の国際連系線の混雑状況

の供給信頼度は低下傾向にあります。特に北欧、アイルランドは緊急対応が必要なのではないかと言われています。これは自由化の中で卸価格が一時非常に低下

した際、競争力のない老朽火力発電所を中心に廃止したのですが、色々な事情で新規の発電が国によってアメリカほどは導入されていないからです。ヨーロッパ

表2 欧州各国の供給予備力予想（2004年）

	供給予備力 (注)	電力需要に対する輸入可能電力比率	最大電力の対前年伸び率 (年)	予備力容量 (万kW)
オーストリア	30(34)%	44%	+1.2%	540
ベルギー	0(2)%	29%	+2.1%	0
フランス	10(16)%	10%	-0.6%	1090
ドイツ	5(5)%	14%	+1.9%	520
ルクセンブルク	24(...)%	90%	+2.8%	40
オランダ	4(7)%	24%	+5.6%	50
ポルトガル	12(13)%	8%	-5.3%	120
スペイン	11(16)%	5%	+6.5%	680
ギリシャ	-2(+7)%	10%	+3.8%	-30
イタリア	2(9)%	12%	+1.2%	150
アイルランド	0(-2)%	6%	+4.6%	0
英国	5~10(12)%	3%	+5.3%	n.a.
北欧諸国	1(1)%	5%	+0.8%	80

注1) 供給予備力(%) = (保証された容量 - 午前11時の負荷 - ピーク負荷に対するマージン容量) ÷ (午前11時の負荷 + ピーク負荷に対するマージン容量) 注2) ( ) 内は2002年の数値。  
出所) 欧州委員会ベンチマーキング報告書(2004年3月)等。

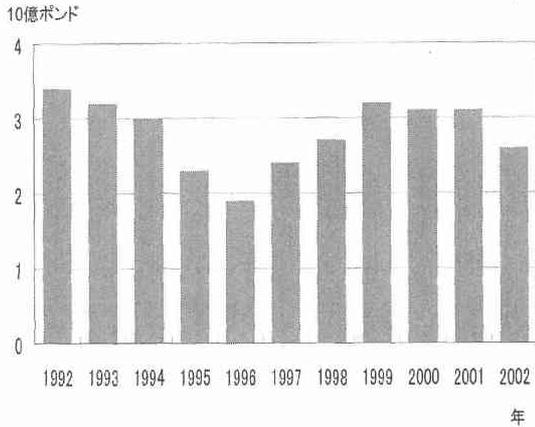


図7 英国の電気事業設備投資の推移

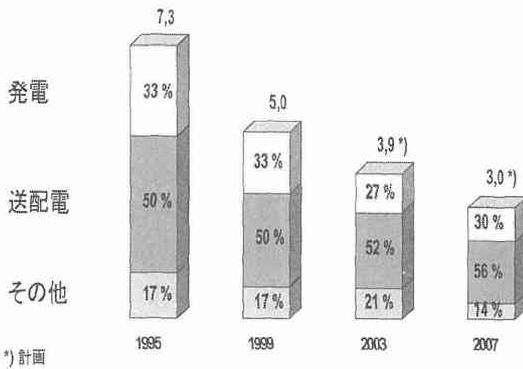


図8 ドイツの電気事業設備投資の推移

の供給予備率は「5%以上必要」と欧州大の送電協調機関であるUCTEが言っています。

図7はイギリスの電気設備投資額です。それほど設備投資は落ちてきていません。ところが図8に示すドイツの場合、95年から99年、2003年と設備投資額が格段に落ちてきています。今後もそれほど増えないとドイツ電事連は予想しています。従業員数も自由化に伴って非常に減ってきています。

#### ④ 原子力発電

アメリカは、特にここ10年、非常に順調です。安全規制の合理化により、既設発電所の稼働率が上昇し電力供給量が増える中で、発電コストも10年ぐらいで約40%低下しています(表3)。今まで40年と言われていた既設発電所の耐用年数を60年まで延長することが行われています。また、自由化に伴い、M&Aや提携によって、エクセロン、エンタジーといった原

表3 米国の原子力発電の推移

年	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002
稼働プラント数	71	96	112	109	103	103	103
電力供給量 (10億 kWh)	251	384	577	673	754	769	780
原子力比率 (%)	11.0	15.5	19.1	20.1	19.8	20.4	20.3
稼働率 (%)	57.6	63.3	67.5	78.8	89.6	90.7	91.9

出所) 米国原子力協会 (NEI) 資料等をもとに作成

子力発電に特化した会社も出てくるなど、非常に活発化してきています。

一般的には、自由化の中で新規建設が非常に難しくなっているのですが、アメリカの場合、既設発電所の好調さ、エネルギーセキュリティへの寄与などに後押しされ、現ブッシュ政権は何らかの補助策を入れてでも新規設備の建設を進めていくという政策を打ち出しています。

ヨーロッパでも全般的には原子力発電は競争力を維持しています。しかし、イギリスの場合、完全競争とも言える状態の中で、コストダウンもある程度以上は難しいということで、原子力発電会社が経営危機に陥っています。図9はそれを物語っています。そのBE（ブリティッシュ・エナジー）社の経営危機の直接の原因は、新しい自由化制度（NETA）の下で供給過剰から卸売価格が急落し、発電原価を割り込んでしまったからです。イギリス政府が支えているという状況です。

また、欧州では近年、ドイツ、スウェ

ーデンに続き、ベルギー、スイスでも脱原子力という政治的な流れがありました。国民投票では脱原子力が否決されました。スウェーデンでは1基を閉鎖したのですが、代替電源が確保できないという事情で、脱原子力の動きが止まっているという状況です。

新規建設はフィンランドで1基が2010年あたりに運開予定にあります。フィンランドの場合は、発電した電気を産業需要家が買い取るという保証ができています。北欧の電力市場（ノルトプール）で需給がタイトになっていますが、約60%を占める水力は降雨量に左右され、さらなる設備増設は期待できない、温暖化問題で火力発電を増やすことも難しい、ということで、フィンランドの原子力発電会社は2010年までを見通して原子力発電の推進に動いているわけです。

フランスでは既存設備が2020年～2030年頃に建替時期を迎えます。建替時期に向かってデモンストレーションのための

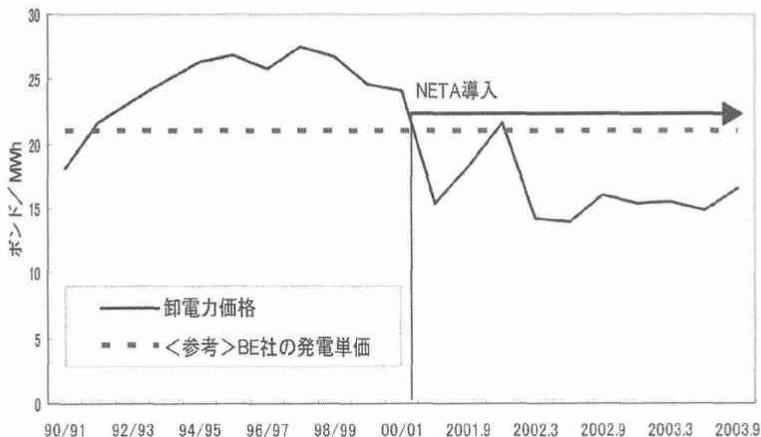


図9 英BE社の発電単価と卸価格の推移

表4 欧州各国の供給事業者変更状況（2003年4月）

国名	市場の自由化率	全面自由化の時期	大口需要家（すべて自由化対象）		小口・家庭用需要家	
			変更	変更又は再交渉	変更	変更又は再交渉
ドイツ	100%	1998	20～30%	50%以上	5～10%	10～20%
フランス	37%	2007	10～20%	不明	非自由化	
英国	100%	1998	50%以上	100%	30～50%	不明
イタリア	70%	2007	50%以上	100%	非自由化	
スペイン	100%	2003	10～20%	50%以上	n.a	
スウェーデン	100%	1998	不明	100%	10～20%	50%以上
オランダ	63%	2003	20～30%	100%	非自由化	
ベルギー	52%	2003/7	2～5%	30～50%	非自由化	
フィンランド	100%	1997	不明	50%以上	5～10%	10～20%
オーストリア	100%	2001	20～30%	不明	5～10%	不明
ギリシャ	34%	2007	0%	0%	非自由化	
ポルトガル	45%	2004	5～10%	不明	非自由化	
デンマーク	100%	2003	50%以上	80%以上	n.a	
アイルランド	56%	2005	10～20%	不明	非自由化	
ルクセンブルク	57%	2007	10～20%	50%以上	非自由化	

出所) 欧州委員会ベンチマーキング報告書

実証炉建設に来年あたりからとりかかり、2012年頃の運開を計画しています。

社が最大の27%を持っています。ドイツはそれほど高くありません。

## (2) 需要側

### ① 供給事業者変更率

供給事業者変更率というのは、自由化後、どれだけの需要家が供給先を変更したかという率です。アメリカは自由化した州でもそれほど変わってきていません。

ヨーロッパの場合、最も自由化が進んで競争が激しいイギリスが供給事業者変更率が一番高くなっています(表4)。電気とガスが同時に自由化されたため、電気とガスを同時に売る一括契約(dual fuel contract)が変更の約8割を占めています。家庭用の電力市場でシェアを見ても、ガスの方から入ってきたセントリカ

### ② 電力価格

アメリカの場合、非常に大雑把に言うと、2000年ぐらまでは下がりました。最近、図10に見るように、燃料である天然ガス価格の高騰を受けて上昇または横這い傾向にあります。

ヨーロッパでは、自由化後、全体的に下がりました。特に大口が低下しました。しかし、2003年ぐらから卸価格が上がってきています。小売価格も今年に入って非常に上昇してきた国が増えています。

図11は、ヨーロッパの卸価格のスポット価格ですが、2002年から2003年にかけて大きく上がってきています。もっと長

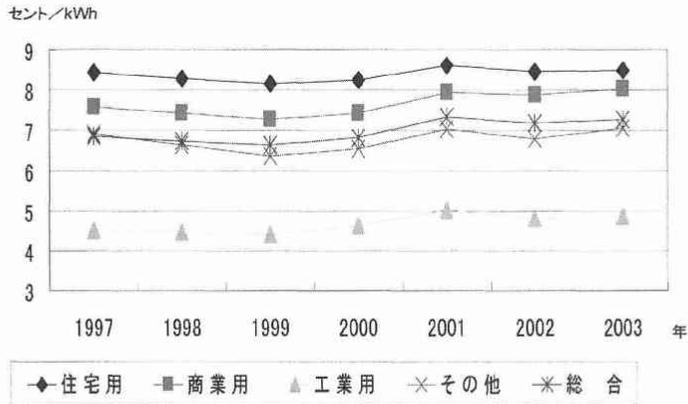


図10 米国の料金収入単価の推移 (全米平均)

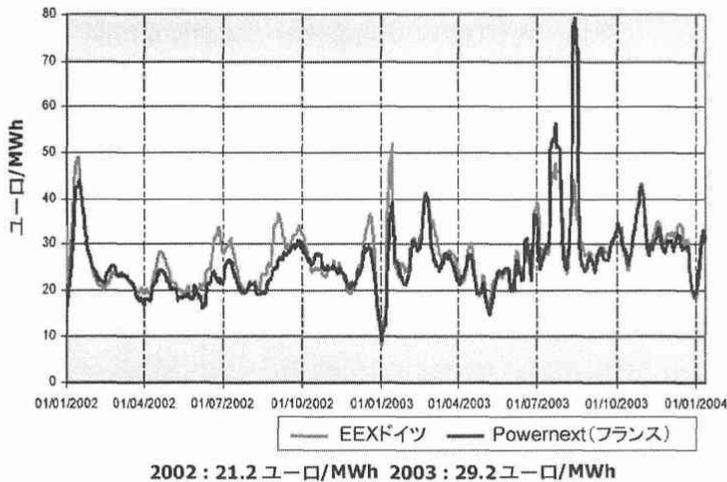


図11 フランスとドイツの卸価格の推移 (スポット市場)

期的な先渡し価格も上昇傾向を見せています。

この上昇傾向の背景として、天然ガス、石炭価格の高騰、猛暑・渇水による需給逼迫、発電設備の廃止進展による供給力の低下、再生可能エネルギー発電導入補助の増加、増税などがあると思われます。例えばドイツでは、家庭用料金は98年から一旦下がったものの2003年には元の水準に戻ってしまいました。発送配電コス

トは20%下がったのですが、再生可能エネルギー発電の買取りコスト等が60%程度増えたためです。

### ③ 供給信頼度

停電時間、回数はアメリカにおいてもヨーロッパにおいても自由化後大きな変化はありません。自由化後、コストダウンを図るために設備投資が控えられ停電時間が長くなるかと思われましたが、図

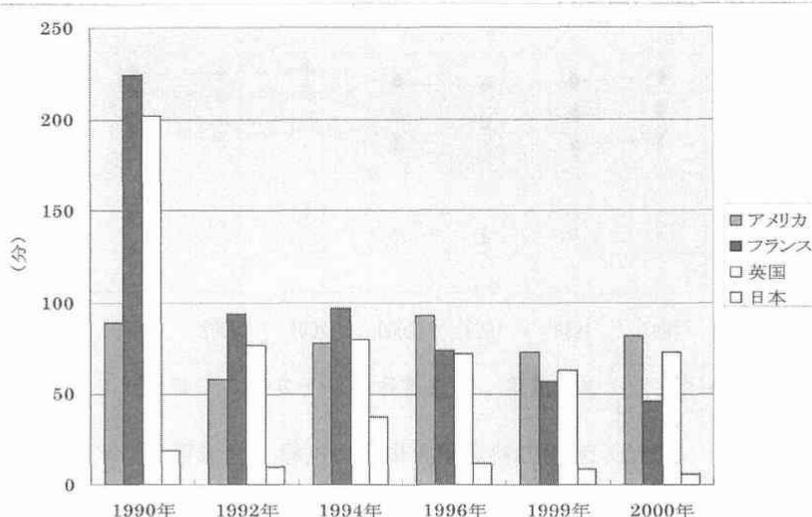


図12 主要国の1需要家当りの年間停電時間

12を見る限りでは、むしろ自由化後の方が年間停電時間が減っている国もあります。ただし、2003年に北米に続いて、欧州ではイタリア、北欧で大規模な停電が発生しました。今後、どうなるのか注目されます。

#### ④ 需要家の満足度

海外電力調査会が2003年に実施したアンケート調査では、アメリカの需要家は電力自由化に期待しているようです(図13)。

ECが行ったアンケート調査によると、

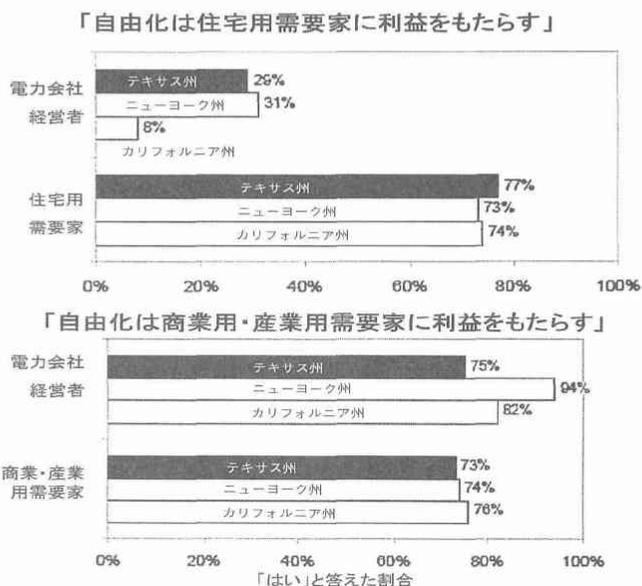
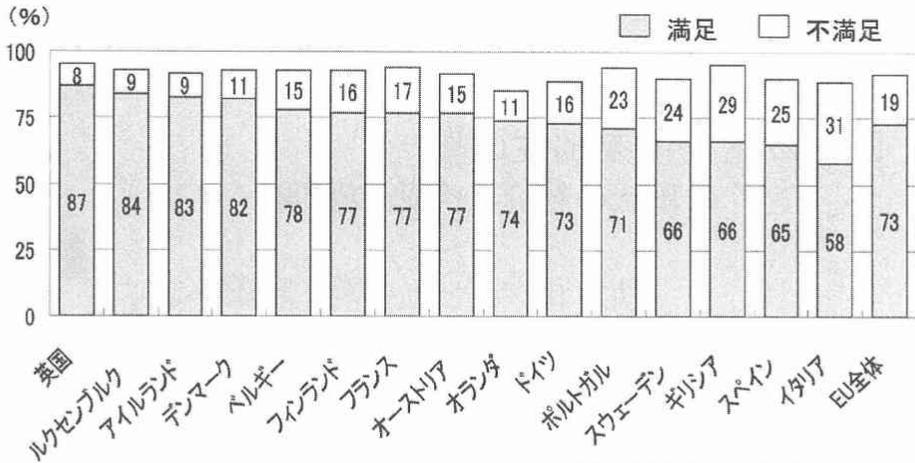


図13 米国アンケート調査の結果



出典：欧州委員会委託調査（2002年12月）

図14 欧州諸国の電力需要家の満足度

ヨーロッパの需要家たちも大半が満足しているようです（図14）。イギリスが一番満足しているという人が多い。一方、大停電の前でも結構停電が多かったイタリアは58%と低い。EU全体としては、比較的満足度が高いという結果が得られています。

## 6. まとめ

電力自由化は、法制面ではヨーロッパがアメリカより進展しています。欧米ともに電気料金は、一時低下しましたが、最近は上昇傾向にあります。

また、アメリカでは、電気料金が需要家にとって最大の関心事であることに変わりはないと思いますが、加州電力危機、北米大停電等を踏まえ、安定供給という問題が議論されるようになっていきます。電気事業者の経営も非常に厳しいものとなっています。そのため、今、アメリカにおいては市場万能主義的な考え方から

規制、介入の必要性が認識されつつあります。自由化の後の「調整期」に入っているとと言えるわけです。

ヨーロッパでは、まだ自由化のマイナスの影響は明確になっていません。BE社の経営危機は例外ですが、イタリア大停電もまだ自由化そのものと直接結びつけて考えられてはいません。しかし、供給予備力はかなり低下してきていますので、今後、新規電源や送電設備がどの程度確保されていくか、各国で工夫がなされているところです。しかし、特にヨーロッパの場合、供給予備力を高めるために、そういう小手先の対応で済むことなのか、全面自由化という制度自体が安定供給の面から問題なのか、今後の行方に注目すべきだと思います。

ご静聴ありがとうございました。（拍手）

〔寄稿〕

# 日本の電気事業制度改革 —現状の紹介と今後の展開—



丸山 真 弘 ( 財電力中央研究所  
社会経済研究所 主任研究員 )

## 1. はじめに

わが国の電気事業制度改革は、1996（平成8）年から実施された卸自由化、2000（平成12）年3月に実施された小売部分自由化に引き続き、2005（平成17）年4月からは自由化範囲の拡大や、いわゆる中立機関や卸電力取引所の導入が予定されており、大きな変革の時期を迎えている。本稿では、現在に至る電気事業制度改革の流れを概観した上で、米国で

の先行事例での経験を参考にしつつ、今後の制度改革の動き、特に2007（平成19）年から予定されている小売全面自由化に関する課題を整理する（注1）。

## 2. わが国電気事業の制度の改革の歴史と現状

図1は、わが国電気事業制度改革の歴史と現状について概観したものである。ここで示すように、わが国での電気事業

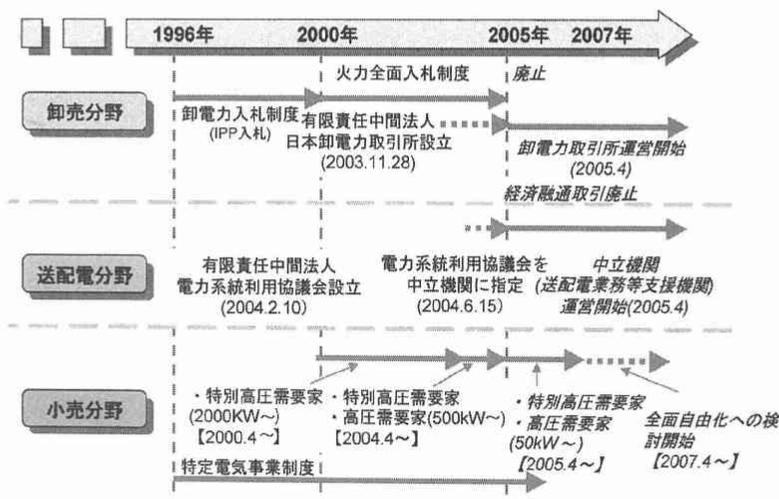


図1 日本における電気事業制度改革の状況

注1 本稿記載の内容は執筆時である2004（平成16）年10月時点の情報に基づくものであることに留意されたい。また、本稿において意見にわたる部分は執筆者の私見である。

の制度改革は、1995（平成7）年4月と、1999（平成11）年5月の2回の電気事業法改正により実施された。2005（平成17）年4月からの新たな制度改革は、2003（平成15）年6月の電気事業法改正に基づくものである。

#### (1) 1995（平成7）年の電気事業法改正

電力需給の逼迫と供給コストの上昇傾向が見られる中、技術革新等による発電部門への新規参入の可能性が増大してきたという状況認識の下で実施された。この改正では、発電への新規参入規制が原則撤廃され、卸供給と卸供給事業者の概念が導入されるとともに、短期間で建設される新規火力電源を対象とした卸供給入札制度が導入された。併せて卸託送（振替供給）の制度が整備され、卸部門への競争が導入された<sup>(注2)</sup>。一方、小売部門では、ミニ電力会社とも言える特定電気事業制度が設けられた。さらに、料金

制度については、各事業者の経営指標を比較し、効率化の度合いに応じて料金査定に差を設けるという、ヤードスティック査定<sup>(注3)</sup>の考え方が導入された。

#### (2) 1999（平成11）年の電気事業法改正

高コスト構造の是正に向けた経済構造改革の課題の1つであった、電力の価格を国際的にみて遜色ない水準にするという目標に向けた制度の見直しとして行われた。この改正では、大口需要家を対象とした小売部門の部分自由化の実施と、小売託送（接続供給）の制度の導入が図られた（表1）。自由化対象となった需要規模2,000kW以上の需要家（特定規模需要家<sup>(注3)</sup>）は、従来の供給先である地域の電力会社（一般電気事業者）以外の電力会社や新規参入者（特定規模電気事業者）をも電力の供給先として選択することが可能となり、料金に対する規制も撤廃される。一方、既存の電力会社は、自由化対象需要家に対しては、

表1 電気事業法改正（1999年5月）の内容

項目	内容
部分自由化の開始時期	2000(平成12)年3月21日
自由化の対象(特定規模需要)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•原則として20kV超の送電線に接続する需要規模2000kW以上の需要家</li> <li>•日本全体の需要の3割弱</li> </ul>
自由化部門への競争導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>•料金は自由化</li> <li>•一般電気事業者には供給義務はない</li> <li>•一般電気事業者による最終供給保障</li> </ul>
送電網へのアクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>•一般電気事業者は接続供給約款を定め、経済産業大臣に届け出る</li> <li>•「空きがあれば拒絶しない」原則</li> <li>•接続供給の料金は、事業者の供給区域内での郵便切手方式</li> </ul>

注2 卸供給事業者は一般には独立発電事業者（IPP：Independent Power Producer）と呼ばれる。

注3 一般にはPPS（Power Producer and Supplier）と呼ばれる。

従来のような供給義務を負わないが、需要家が供給先を見つけられない場合には、最終的な供給を保障する（ラストリゾート）責任を負っている。また、小売自由化の対象外とされた小口需要家に対しても競争導入の果実を還元させることを可能にするために、多様な料金メニューの提供を促進すること（選択約款制度の拡大<sup>(注4)</sup>）や、迅速な料金引き下げを可能にするための制度改革も合わせて実施された。

### (3) 自由化実施後の状況

卸部門への新規参入者（IPP）の参入に

表2 卸供給入札の実施（IPPの参入）状況

年度	募集状況 (会社数/募集電力)	落札結果
1996(平成8)	6社/266.5万kW	304.69万kW
1997(平成9)	7社/285.5万kW	311.827万kW
1998(平成10)	1社/15万kW	21万kW
1999(平成11)	1社/100万kW程度	100.43万kW
2002(平成14)	1社/2500kW	2420kW

については、表2に示すように、1996（平成8）年から2002（平成14）年までに実施された入札の結果、合計で約740万kWの電力がIPPにより落札された。2004（平成16）年10月の時点では、この内約550万kWが運用を開始している。また、特定電気事業については、表3に示すように、現時点で6社が許可を受けている。一方、小売部門への新規参入者（PPS）は、2004（平成16）年8月末時点で15社が届出を行っているが、2004（平成16）年7月時点では、図2に示すように当初の自由化対象需要家への供給量の約3.0%、2004（平成16）年4月より暫定的に拡大された新たな自由化対象需要家（需要規模500kW以上）への供給も対象に含めた場合には約2.1%がPPSにより供給されているという状況にある。なお、各PPSのシェア内訳について図3に示す。さらに、自由化対象需要家に対して経済産業省・資源エネルギー庁が実施した、電力価格アンケートの結果について図4に示す。

表3 特定電気事業の許可状況

会社名	許可年月日	電気工作物出力	事業開始	供給地点
諏訪エネルギーサービス	1997年6月27日	3,122kW	1998年10月	長野県諏訪市 湖岸通り
尼崎ユーティリティサービス	1998年7月7日	12,600kW	1998年8月	兵庫県尼崎市
六本木エネルギーサービス	2001年9月7日	38,660kW	2003年5月	東京都港区 六本木
東日本旅客鉄道	2001年9月7日	198,440kW	2002年4月	東京都品川区 上大崎
住友共同電力	2003年3月19日	1,017kW	2003年4月	愛媛県宇摩郡 別子山村
JFEスチール	2004年1月20日	15,000kW	2004年12月	千葉市中央区

注4 選択約款制度は、1995(平成7)年の電気事業法改正で既に導入されていたが、適用対象は負荷平準化に資するものに限られていた。1999(平成11)年の改正では経営効率化に資するものについても選択約款の対象とすることが認められた。

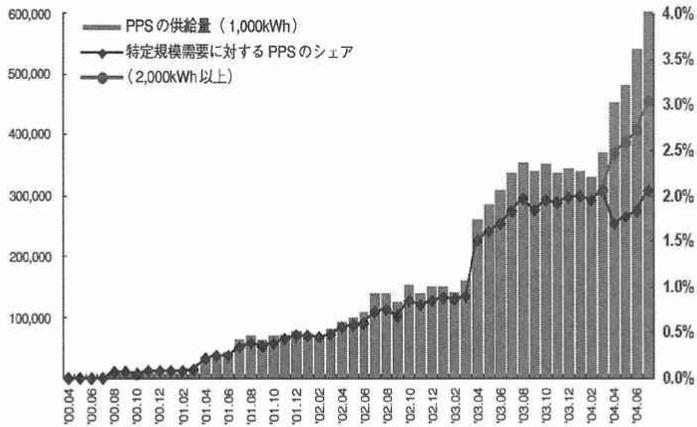


図2 小売部門におけるPPSのシェア (月別) (出所：経済産業省資料)

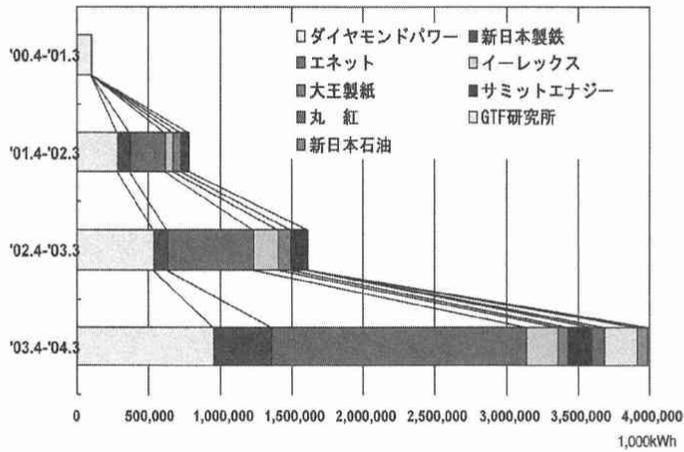


図3 PPSのシェア内訳 (年度別) (出所：経済産業省資料)

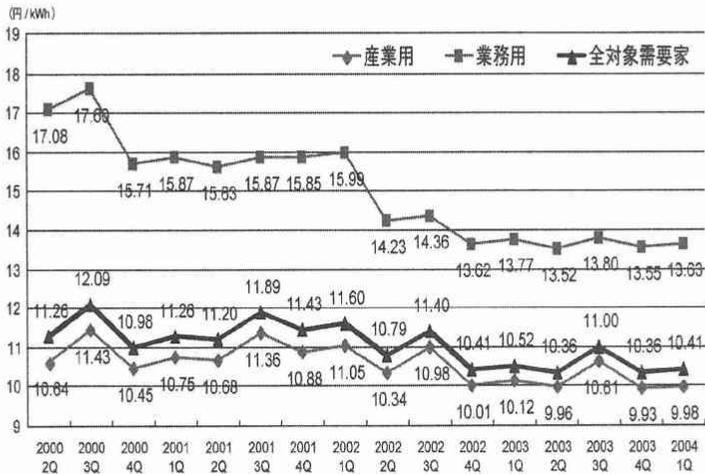


図4 自由化対象需要家への電力価格 (出所：経済産業省資料)

### 3. 新たな電気事業制度改革の内容

2005（平成17）年4月から実施される新たな電気事業制度改革は、2001（平成13）年11月から総合資源エネルギー調査会・電気事業分科会の場で開始された検討の結果実施された、2003（平成15）年6月の電気事業法改正に基づくものである（図5）。

以下ではこのうち

- (1) 発送電一貫体制の維持といわゆる中立機関の設立、
  - (2) 全国的な電力流通の活性化と卸電力取引所の創設、
  - (3) 自由化範囲の拡大
- の3点についてその内容を概観する。

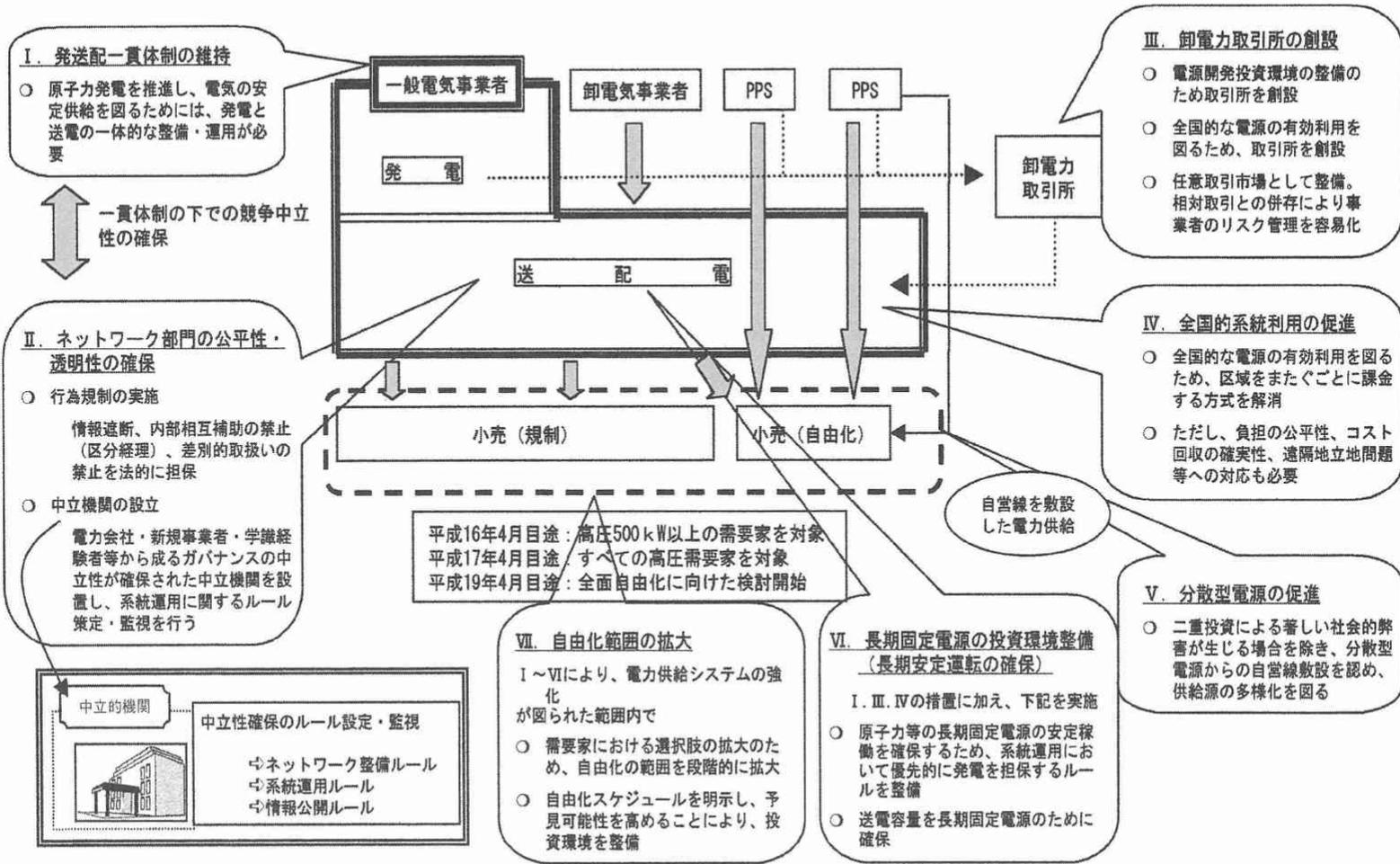
#### (1) 発送電一貫体制の維持といわゆる中立機関の設立

制度改革を巡る議論の中では、従来、一般電気事業者が垂直統合してきた、発電・送配電・小売供給の各部門を、EU諸国などのように構造上も分離することの是非が検討された。新規参入者や一部中立者からは「競争が導入された部門での公正な競争を確保するためにも、競争が導入された部門と、規制が維持されるネットワーク部門は何らかの形で切り離すべきである（構造規制の導入）」との主張が強くなされた。しかし、分科会の結論としては、規制需要家に対する供給や自由化対象需要家に対する最終供給保障の観点からも「責任ある供給主体」としての一般電気事業者は必要であり、発送電

の一貫体制は今後とも維持して行くべきであるとした上で、ネットワーク部門の公平性、透明性を確保するための手段として、行為規制を導入し、併せていわゆる中立機関（送配電等業務支援機関）を設置するという方法が採用された。

「行為規制」とは、送配電網へのアクセスに対する差別的取扱い、送配電部門と競争の導入された発電・小売部門との間の内部相互補助（送配電部門で生じた利益を使って発電・小売部門を支援すること）、送配電部門が得た情報の流用（需要家の需要や供給先に関する情報を、小売部門の営業活動に利用すること等）といった個々の行為を規制の対象とするものである。従来、これらの行為に対する規制は各一般電気事業者の自主的な取り組みとして行われてきたが（自主規制）、新しい制度では、これらの行為について電気事業法上で規制を行うことになった。なお、このような考え方は、電気通信事業やガス事業でも採用されている。

一方、いわゆる中立機関（送配電等業務支援機関）は、系統へのアクセス、設備の形成、系統の運用、情報の開示などの全国大のルール策定、系統アクセス等に関する紛争の斡旋や調停、系統情報公開システムの運用などの業務を担当するために設立される機関である。中立機関は、一般電気事業者、新規参入者（PPS）、自家発・卸電気事業者といった利害関係者と中立者（学識経験者）から構成され、公平性、透明性、中立性を担保するための統治機構（ガバナンス）を備えた組織



(出所：電気事業分科会資料)

図5 2003年改正電気事業法の概要

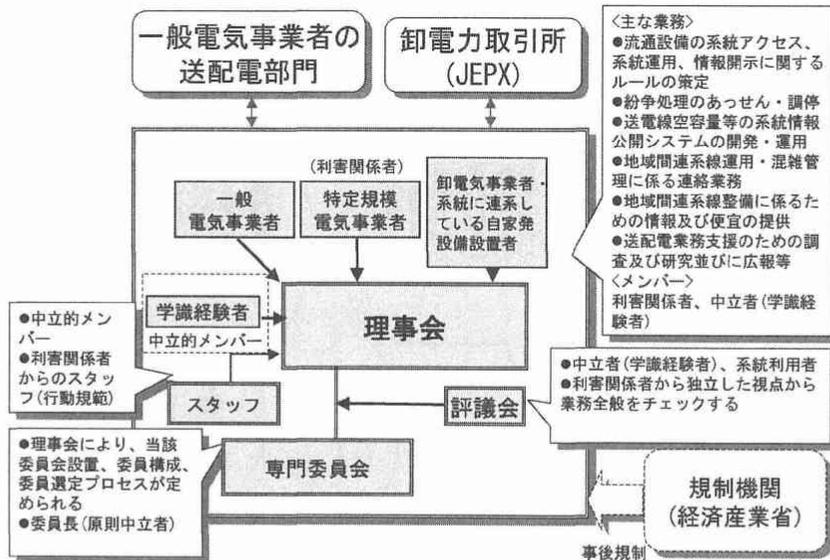


図6 中立機関の組織と業務

として設立される(図6)。行政はルールの策定や紛争の処理に関する意思決定手続きが公平で透明なものとなっているかを確認した上で、業務自体については、事後的なチェックに委ねることで、民間の専門性・自主性を最大限に発揮しつつ、送配電部門における一層の公平性・透明性を確保しようとしている。従って、「中立機関」は系統運用そのものは行わない(引き続き各一般事業者が担当する)ので、米国の独立系統運用者(ISO: Independent System Operator)とは性格を異にする。また、利害関係者を全て含めることで中立性を確保しようという考え方も日本独特の制度である。

この制度設計を受け、2004(平成16)年2月10日に中立機関として「有限責任中間法人・電力系統利用協議会」(理事長:植草益東京大学名誉教授)が設立され、2004(平成16)年6月15日に送配電等業務支援

機関の指定を受けた。その後9月15日に系統アクセス等に関するルールの原案が公表され、2005(平成17)年4月の運営開始を前に準備が進められている状況にある。

## (2) 全国的な電力流通の活性化と卸電力取引所の創設

電気事業分科会の中では、小売自由化の範囲拡大を実質的な需要家の選択肢増大につなげるためにも、広域的な電力流通を現行以上に活性化する方策を講じるべきであるとの方向性が示された。このような政策的要請を受け、現在の振替供給制度が見直され、供給区域内外の取引を問わず、各供給区域における系統利用料金に一本化することで、供給区域をまたぐことに課金をされる(いわゆるパンケーキ問題)ことがない仕組みが導入されることになった。一方、現行の振替供給制度において回収していた送電ネット

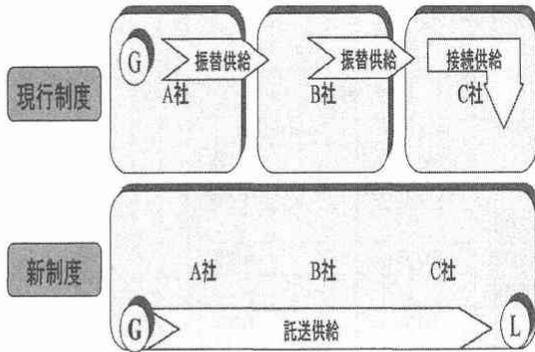


図7 振替供給制度の見直し

ワーク関連費用の部分のうち、新たな制度の導入により生じることになる地域的な負担の増減については、事業者間での精算により対応することになった(図7)。また、電源の遠隔立地を抑制するための需要地近接性評価を継続するとともに、設備増強時の費用の相当部分を原因者負担とする方法が採用されることになった。

また、電源開発投資に関するリスクマネジメント手段の整備の一環として、投資リスクを判断するために必要とされる指標価格の形成や、需給にミスマッチが生じた場合の電力の販売や調達手段の充実を図るため、全国規模での卸電力取引市場を整備することが決められた。設置されることになる電力取引所(PX:Power Exchange)は、市場参加者のニーズに対応し、効率的な運営を担保するという観点から、法律の根拠を持つ公設の取引所ではなく、任意・私設の形態で発足することとなった。また、取引所で取引される市場は先渡し市場と1日前のスポット市場の2つとされ、米国等で見られるようなリアルタイム市場は設けないこととされた。

この制度設計を受け、2003(平成15)年11月28日に「有限責任中間法人・日本卸電力取引所(JEPX)」が設立された。現在、2005(平成17)年4月の運営開始を目指し、市場の具体的な内容、取引方法等についての詳細設計とシステム構築が進められている。

### (3) 自由化範囲の拡大

自由化範囲の拡大は、エネルギー・セキュリティや環境保全といった課題との両立をはかりつつ、多くの者が参加することを前提とした電力供給システムの安定性強化のための枠組みや、需要家が実質的な供給者の選択肢を持つことができる環境の整備や速やかな範囲拡大に対する需要家の要請、さらに制度間の整合性などにも配慮しつつ、段階的に進めることとされた。具体的には、全ての高圧需要家(需要規模50kW以上の需要家)に対して自由化範囲を拡大することとし、中立機関や卸電力取引所、系統利用料金制度といった新たな制度の整備を進めるための期間を考慮して、2005(平成17)年4月より拡大を実施することになった。なお、高圧需要家のうち、需要規模500kW以上の者に対しては、乗り越えるべき実務的課題が少ない等の理由から大口部分自由化の現行制度を基本とした暫定的位置づけとして、2004(平成16)年4月より先行して自由化が実施されている。今回の全ての高圧需要家を対象とした自由化により、総需要のおよそ6割が自由化の対象となる。総需要に占める自

表4 小売自由化の動向

業種 年月	電力		ガス	
	自由化枠	自由化比率	自由化枠	自由化比率
1995. 3			200万m <sup>3</sup>	36%
1999. 11			100万m <sup>3</sup>	40%
2000. 3	2,000kW	26%		
2004. 4	500kW	40%	50万m <sup>3</sup>	44%
2005. 4	50kW	63%		
2007.			10万m <sup>3</sup>	50%
・電力:2001年度の販売実績の累積比率 ・ガス:2000年度の販売実績の累積比率			1万m <sup>3</sup> まで自由化すると、 自由化比率は57%	

由化対象需要の割合について、ガス事業の例も含めて表4に示す。

#### 4. 今後の自由化論議に向けての課題

電気事業分科会の場合では、需要家の選択肢の確保状況等を踏まえつつ、供給信頼度の確保、エネルギー・セキュリティや環境保全等の課題との両立、最終保障やユニバーサルサービスの確保、その他の実務的課題等について検討を行った上で全面自由化を実施することが適当であるとされ、具体的な検討を開始する時期として、2007（平成19）年4月頃を目途とすることが適当であるとの考え方が示された。ここでは、特に需要家の選択肢の確保という点を中心に、先行事例としての米国の事例を参考にしつつ、今後考慮することが必要とされると考えられる課題について整理、検討を行う。

米国では、2004（平成16）年4月の時点で、16の州とワシントンDCにおいて、

家庭用需要家を含めた全面的な小売自由化の制度が実施されている。しかし、これらの州の中には、家庭用需要家に対する新規参入者が存在せず、実質的な意味での需要家の選択肢が確保されていないという状況におかれた地域も存在する。一般的には、制度改革実施前における既存電気事業者の料金が高かった地域では新規参入の余地が大きいのに対して、料金が低かった、ないしは制度改革の一環として家庭用需要家に対する料金を大幅に引き下げた上で自由化を実施した地域では、新規参入の余地が小さく、それだけ選択の幅が狭くなるという傾向にある。一方、オハイオ州のように家庭用需要家の供給者変更率が高い値を示している州も存在するが、その背景としては、変更率の高い地域の既存事業者の料金が高かっただけでなく<sup>(注5)</sup>、自治体が需要家集約（アグリゲーション）を行うことによって供給者変更が進んでいる（オハイオ州の自治体による需要家集約では、需要

注5 オハイオ州のうち、供給者変更率の高い地域はFirstEnergy傘下の事業者の供給地域に限られる。これと対照的に、電気料金が低いAEP傘下の事業者の供給区域では家庭用需要家の供給者変更率は0ないしはそれに近い値となっている。

表5 需要家に対する情報提供を義務づけている州

料金その他の供給条件	燃料その他発電源の割合	排出物その他環境に対する影響
アリゾナ、カリフォルニア、コネチカット、メイン、メリーランド、マサチューセッツ、ミシガン、ニューハンプシャー、オレゴン、バージニア	アリゾナ、デラウェア、ワシントンDC、イリノイ、メイン、マサチューセッツ、ミシガン、ニューハンプシャー、ニュージャージー、オハイオ、オレゴン、バージニア	アリゾナ、カリフォルニア、コネチカット、イリノイ、メイン、マサチューセッツ、ミシガン、ニュージャージー、オハイオ、オレゴン、バージニア

(出所：エジソン電気協会資料)

家は積極的な意思表示をしない限り集約に参加することになっている」という事情がある。このような状況は、小売の全面自由化については慎重な検討が必要であることを示唆するものである。

このような中、現実的なアプローチとして、大口需要家のみを対象とした小売の部分自由化にとどめている、オレゴン州やネバダ州のような州も存在することが注目される。また、2003（平成15）年に自由化実施を取りやめたアーカンソー州や2001（平成13）年の電力危機以降、新規の供給者選択が停止された状態にあるカリフォルニア州などでも、大口需要家のみを対象とした部分自由化の是非について検討が行われている。これらの地域では、既存事業者に対して様々なメニューを規制需要家に提供することを義務づけることで、需要家の選択肢を拡大する方策が採用されている。このようなアプローチは、わが国においても参考に値すると思われる。

また、需要家が供給者（供給メニュー）の選択を行うに際しては、選択に必要な情報が適切に需要家に提供されることが肝要となる。米国では、既存事業者、新

規参入者を問わず全ての市場参入者に対して、料金体系や発電の燃料種別、排出物といった情報を統一のフォーマットで提示させ、需要家がインターネットなどを通じてその情報にアクセスできるようにすることを義務づけている例が多数見られる（表5）。大口需要家と比べ、情報収集力や交渉力がそれほど高いとは言えない家庭用需要家などに対しては、選択を行うことに対する普及啓蒙活動とともに、このような情報提供の必要性についても検討が進められる必要がある。

電気事業分科会の場合、鳥居泰彦会長（慶応義塾学事顧問）をはじめ多くの委員が指摘しているように、今回の制度改革は日本固有の事情を踏まえた独自のシステムとして、世界に自負しうるものであるといえる。今後予定されている、全面自由化の実施に関する具体的な検討にあたっては、諸外国の先行事例を参考としつつ、自由化の実施状況をも見据えながら、日本にとってふさわしい自由化のあり方が検討されることが求められる。

#### 参考文献

矢島正之「電力改革再考」東洋経済新報社（2004）

# フレキシブルタービンシステムの研究開発 — 中小工場における蒸気・排熱の有効利用を目指して —



蓮池 宏 (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 主管研究員

## 1. はじめに

(独)産業技術総合研究所, (株)神戸製鋼所, (株)東芝, (財)エネルギー総合工学研究所, 川崎重工業(株), 東京工業大学の6法人は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のエネルギー有効利用基盤技術先導研究開発の一環として「多様なニーズに対応するフレキシブルタービンシステムの研究開発」(プロジェクトリーダー: 産業技術総合研究所・古谷主任研究員)を平成13~15年度に実施した。本研究開発では, 産業分野, 特に中小規模の工場に存在していると推定される余剰蒸

気や排熱等の未利用エネルギーに着目し, これの有効利用を可能にする技術として, 図1に示す高効率分散型マルチエネルギープロダクションシステム(以下, MEPSと呼ぶ)を提案した。MEPSは, フレキシブルタービンシステムの1形態として位置づけられる。

MEPSの主要構成と機能・特徴は次のとおりである。

- (1) 中小規模工場への適用を考え、メインの原動機として300kW級のガスタービンを用いる。
- (2) 未利用の低質蒸気(圧力1MPa以下を

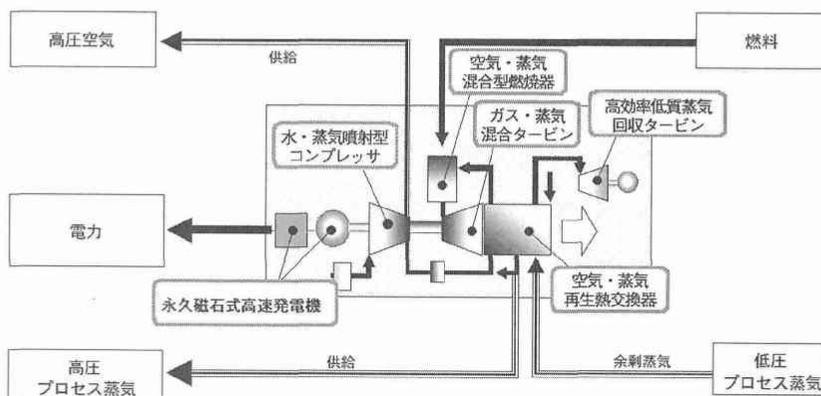


図1 MEPSの構成

想定)の有効利用方法として、ガスタービン排熱による加熱(再生)を行ったのち小型の蒸気タービンに送って発電を行う。

- (3) ガスタービン本体を蒸気再生対応型とすることで、排熱の有効利用、発電効率の向上、広い熱電比可変範囲、などの特徴を持たせる。
- (4) ガスタービンの圧縮機に水噴射を行い、圧縮動力を低減して熱効率を向上させる。
- (5) ガスタービンに接続する発電機を永久磁石式直結型とすることで、一層の発電効率向上を図る。

このような各種技術を組み込むことによって、小規模な未利用排熱の有効利用が可能で、高効率かつ広い熱電比可変範囲を有し、経済性の高いエネルギー供給システムが実現できると考えられる。

表1に3年間の先導研究における研究内容を示す。

- ① MEPSの有用性を検証するための導入可能性検討、
- ② MEPSの実現性を示すための要素技術開発、
- ③ 再生というコンセプトをさらに発展させるための基礎研究

という3つの柱から構成されている。

本稿では、主としてエネルギー総合工学研究所が担当したMEPSの導入可能性の検討結果を中心に、研究開発成果の概要を紹介する。

## 2. MEPSの導入形態

MEPSは一般的なガスタービンコーージェネレーションシステムと比べて小型の高効率蒸気タービンを有しているところに大きな特徴がある。したがって、蒸気タービンに用いる蒸気をどのように得ることができるかが、MEPSの導入形態を決めるポイントとなる。わが国の工場におけるエネルギー

表1 3年間の先導研究における研究内容

項目	年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度
1. MEPS導入可能性の検討				
1-1. MEPSの省エネルギー効果に関する調査研究 (エネルギー総合工学研究所)		需要家の余剰蒸気等の定量的把握、モデル需要家の設定、評価手法検討	需要家のエネルギー需要パターンの類型化、省エネルギー性、経済性評価	提案システムの導入効果、省エネルギーポテンシャルの評価、総合評価
1-2. MEPSトータルシステムの検討 (川崎重工業)		MEPSシステム解析、基本仕様検討	MEPSシステム部分負荷特性解析、基本仕様決定	基本仕様見直し、解析・評価
2. 要素技術の開発				
2-1. 高効率低質蒸気回収システムの基本仕様の検討 (神戸製鋼所)		ノズル凝縮流れ試験装置の設計製作	基本ノズルを使用した凝縮流れ実験とノズル形状の改良	動翼の数値計算による予備検討、システムの基本仕様に関する検討
2-2. 高速発電技術基本仕様の検討 (東芝)		高速化・高出力化のための基本設計検討、ステータの製作	ローターの製作、高速回転試験	試験結果評価、改良研究
3. 再生システムの基礎研究 (産業技術総合研究所 (東京工業大学))		解析環境の整備と基本システムの特性解析	化学再生用データベース取得、再生システム特性解析	まとめと評価、新しい再生技術の方向性提示

一供給・消費の実態を調査した結果、表2に示す導入形態があり得ると推定された。

### (1) 余剰蒸気の利用

#### ① 清掃工場

国内には約1,300カ所の一般廃棄物焼却施設（清掃工場）があり、これらのうち約270施設において発電が行われている（図2）。廃棄物発電所では、廃棄物の焼却熱で蒸気を発生させ、蒸気タービンにより発電を行う。蒸気は100%有効利用されていると思われがちであるが、調査の結果、相当な量の余剰蒸気が廃棄されている施設も少なくないことが分かった。

#### ② 各種工場

製造業等の各種工場では省エネルギーの推進や経費節減の目的で蒸気の有効利用に努めており、一般的には大量の余剰蒸気が常時廃棄されていると言う状況は考えにくい。しかし、個別工場の事情により余剰蒸気が発生しこれを大気放出している場合がある。例えば、昼夜あるいは季節によって変動する蒸気需要に対し、蒸気発生源が大容量ボイラや大型ガスタービンの排熱ボイラの場合、頻繁な起動停止の回避、最低負荷の維持などのため一定量以上の蒸気が供給され、余剰蒸気が発生することになる。

表2 MEPSの導入形態

	工場における排熱・低質蒸気の利用実態	MEPS導入形態	ケース名
(1)	発電を行っている清掃工場では、蒸気タービン定格以上の蒸気発生がある場合がある。その他、需要家の個別事情により余剰蒸気が発生する場合がある。	余剰蒸気をMEPSに導入し、高効率利用	余剰蒸気利用
(2)	未利用の中高温排気ガスは、各種産業に多く存在する。	中高温排気ガスから蒸気を作り、MEPSに使用	未利用排熱の有効利用
(3)	生産プロセスで使用した後の低圧蒸気を利用しているが、利用効率が低い場合がある。	既存設備のリプレイス時にMEPSを導入	既存の低質蒸気利用設備の代替
(4)	蒸気利用時に温度調整のため減圧を行い、その際、エネルギー回収を行っていない例がある。	減圧弁の代わりにMEPSの蒸気タービンを使用	蒸気減圧弁の代替

### (2) 未利用ガス排熱の有効利用

工場の未利用排熱に関する調査<sup>(1)</sup>によると、利用価値の高い中高温の排熱は、ガスの形で排出されているものが最も多い（表3）。未利用のガス排熱が一定量以上まとまって排出されていれば、その排熱で蒸気を製造し、それをMEPSで利用することが可能である。

製造業の工場以外にまとまった量のガス排熱の存在が考えられるのは廃棄物焼

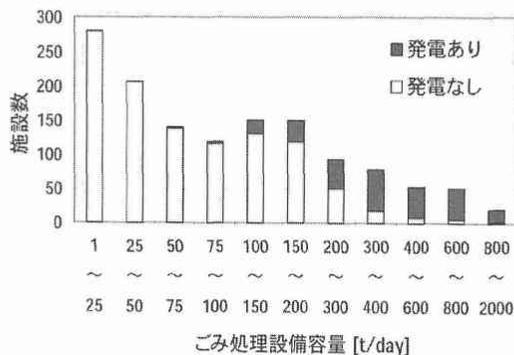


図2 廃棄物焼却施設における発電設備の有無

表3 工場からの排熱（単位：Tcal/年）

業種	中高温排熱				有効排熱全体
	ガス 250℃ 以上	温水蒸気 80℃ 以上	固体 200℃ 以上	中高温 排熱 合計	
食料	489	879	0	1,368	5,603
繊維	1,224	246	0	1,470	2,497
紙パ	377	710	14	1,101	14,159
化学	10,504	1,847	46	12,397	62,531
石油	4,211	93	552	4,856	15,219
窯業	4,502	5	0	4,507	15,410
鉄鋼	11,142	357	5,435	16,934	44,214
非鉄	2,367	67	84	2,518	4,232
機械	1,262	0	24	1,286	4,558
電気	442	142	0	584	3,791
輸送	1,971	47	537	2,555	5,168
ガス	519	176	0	694	2,899
電力	144	261	0	405	67,231
清掃	2,841	3,031	10	5,882	23,320
他	53	29	0	82	1,066
計	42,046	7,890	6,704	56,639	271,898

（出所：(財)省エネルギーセンター資料）

却施設である。前掲の図2に示したように、中小規模の廃棄物焼却施設ではほとんど発電が行われていない。中小施設でも部分的な熱利用は実施されている場合が多いが、それでもなお大量のガス排熱が未利用のまま排出されていると推測される。ごみ処理量100t/dで10t/h程度の蒸気を得ることが可能であり、発電が行われていない中小の廃棄物焼却施設は、MEPSの導入先として有望と思われる。

### (3) 既存の低質蒸気利用技術の代替

0.5MPa程度以下の蒸気が定常的に余る工場では、その蒸気を何らかの形で利用している場合が多い。最も一般的なのは復水タービン（軸流型）による発電である。定格蒸気流量10t/h程度以下の軸流タ

ービンは効率が低く、蒸気量が十分に得られない場合は、必ずしも蒸気が有効利用されているとは言えない。

MEPSでは、蒸気タービンとして小流量でも高効率を得られる半径流型（定格流量2t/h、開発中）を採用して台数制御することとしている。少量の蒸気、流量が変動する蒸気でも高効率利用が可能であることから、既存の低質蒸気利用システムの更新時にMEPSを導入することが考えられる。

### (4) 蒸気減圧弁の代替

工場においては、様々な圧力（温度）の蒸気需要が混在しており、蒸気の圧力調整には一般に減圧弁が用いられている。この蒸気減圧弁の代わりにMEPSの蒸気タービンを用いることにより、圧力のエネルギーを動力として有効利用することができる。

蒸気の圧力差の利用は、大量かつ大圧力比の場合には従来から行われてきた。背圧式蒸気タービンによる電気・熱供給（コージェネ）システムはその典型である。しかし、少量または小圧力比の場合には、圧力差を高効率に利用できる技術がなかったために、動力回収等に利用される例は少なかった。MEPSの蒸気タービンは、蒸気流量2t/h、圧力比3を標準的な定格としており、従来は利用が困難であった蒸気圧力差でも有効利用することができる。

図3は、各種工場における蒸気供給ラインの圧力と流量の調査結果をプロットしたものである。工場によって蒸気需要は様々であるが、流量20t/h以下、圧力0.5MPa前後が多い。これに対し、近年、

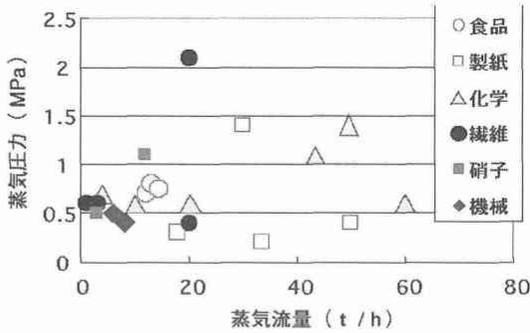


図3 工場における蒸気需要例

各種工場向けに普及が進んでいるガスタービンコージェネシステムの排熱ボイラの蒸気発生圧力は1.5~1.9MPa, 小型貫流ボイラ\*の場合は1.0MPaが一般的である。これらの蒸気発生能力と実際の使用圧力との差はほとんど利用されていないと推測され, MEPSの導入先として有望である。

### 3. 導入可能性評価のケーススタディ

MEPSの導入可能性を検証するため, 省エネルギー性評価と経済性評価のケーススタディを行った。

#### (1) 検討ケースとモデル負荷パターン

表2に示した4つの導入形態のうち, (1)~(3)は低質蒸気の有効利用という点で共通しておりシステム構成も類似するため, 排熱量が相対的に多い(2)「未利用排熱の有効利用」で代表させた。したがって, MEPS導入可能性の検討ケースとして, 排熱利用ケースと減圧弁代替

ケースの2つを取り上げることにした。

導入可能性検証のためのモデル需要家として, 排熱利用ケースは中小規模の廃棄物焼却施設, 減圧弁代替ケースは低圧蒸気利用の多い工場を対象に定め, 負荷データの提供を受けた。入手したデータに基づいて作成したモデル負荷パターンを図4および図5に示す。

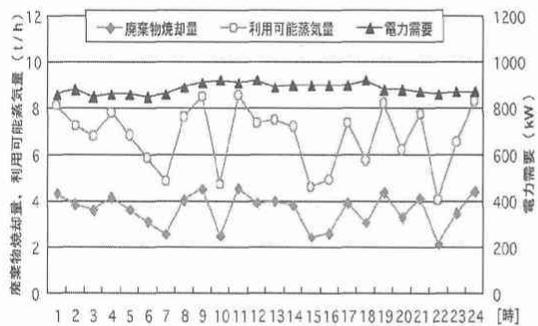


図4 排熱利用ケースのモデル負荷パターン

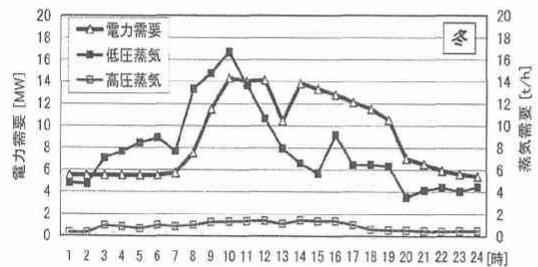


図5 減圧弁代替ケースのモデル負荷パターン

\* 伝熱面積10m<sup>2</sup> (蒸気発生量2t/h程度に相当) 以下, 最高圧力1.0MPa以下の貫流式ボイラで, 一般の産業用ボイラに比べて取扱資格や定期検査等の要件が緩和されていることから, 中小工場を中心に大量に普及してきている。新設ボイラ市場における小型貫流ボイラ (簡易ボイラ含む) のシェアは, 台数ベースで95%, 容量ベースでも80%を占め, 累積設置台数は25万台程度と推定される。

## (2) MEPSのシステム設計

### ① 蒸気タービン

排熱利用ケースと減圧弁代替ケースのモデル需要家における利用可能な蒸気条件に基づいて蒸気回収システムの主要機器の仕

表4 蒸気タービンの仕様

		排熱利用		減圧弁代替
		1段目	2段目	
入口蒸気温度	°C	260	125.6	260
入口蒸気圧力	MPa	1	0.2	1
出口蒸気圧力	MPa	0.2	0.04	0.2
蒸気流量	t/h	2	2	2
比速度ns	—	0.383	0.363	0.383
比直径ds	—	4.8	4.83	4.8
回転数	/min	70,000	27,600	70,000
インペラ径	mm	136	310	136

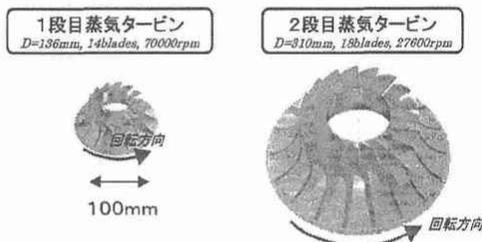


図6 インペラ形状図

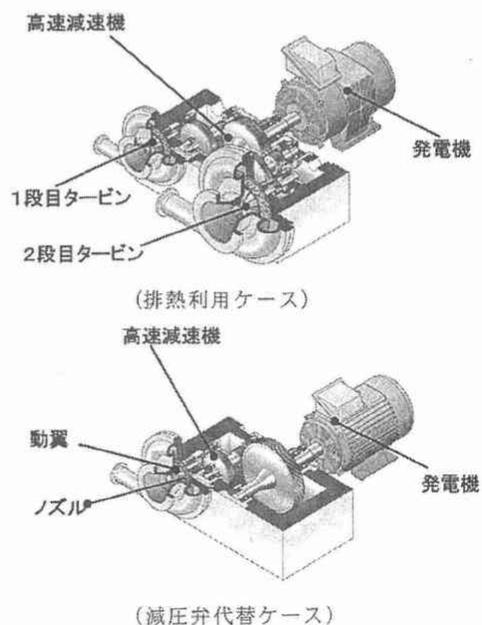


図7 マイクロST発電システム

様を検討した。蒸気流量、圧力、圧力比から最適なラジアルタービンの作動条件を検討し、タービンの比速度、比直径、インペラ外径などを決定した。結果を表4にまとめる。排熱利用の1段目タービンと減圧弁代替用のタービンは蒸気条件が同じであるため、共通仕様となっている。

図6にインペラの形状図を示す。1段目タービンは14枚のブレード、2段目タービンは18枚のブレードを有している。また、図7にはマイクロ蒸気タービン発電システムの完成予想図を示す。

蒸気タービンの断熱効率を、要素研究で開発したノズルを用いると77%以上が達成可能と予測される。これは同クラスの軸流蒸気タービンよりはるかに高い値である。

### ② トータルシステム

要素技術の開発により明らかになったマイクロ蒸気タービン、高速発電機の仕様をもとに、ガスタービンパッケージや排熱回収ボイラなどの既存技術部分も含めてMEPSトータルシステムの実現に必要な機器仕様を選定し、トータルシステムの仕様を明らかにした(表5)。なお、排熱利用ケースにおけるリパワリング効率とは発電端出力(kW)の増加を追加設備の燃料入熱(kW)で除したものである。

表5 MEPSトータルシステム仕様

ケース	排熱利用	減圧弁代替	
		蒸気優先	電力優先
運転モード	—	蒸気優先	電力優先
ガスタービン出力(kWe)	300	300	359~388
蒸気タービン台数(台)	3	2	
蒸気タービン出力(kWe)	621	241	232
プラント発電出力(kWe)	921	541	590
プロセス蒸気出力(kW)	—	248	—
プラント効率(%、LHV)	リパワリング効率 95.8	総合効率 60.8	発電効率 56.0

ガスタービン出力は300kW級とした。排熱利用、減圧弁代替の両ケースとも同一のガスタービンエンジンであり、このクラスにおけるガスタービンの実績値をもとに発電パッケージとしての仕様を決定した。

排熱利用ケースは電気の需要が主であるので、ガスタービンは標準型（蒸気噴射なし）、蒸気タービンは復水式のモノジェネとした。

減圧弁代替ケースは電気と熱（蒸気）の需要があるので、ガスタービンは蒸気噴射型、蒸気タービンは背圧式を採用し、熱電可変型コージェネとしている。蒸気需要がある時は発電と同時にプロセス蒸気を出力し、蒸気需要がない時は蒸気をガスタービンのコンプレッサー出口空気に噴射して発電出力を増大させた運転が可能である。

蒸気タービンの設置台数は排熱利用ケースで3台、減圧弁代替ケースでは2台としている。蒸気タービン設置台数をさらに増やすと省エネルギー性が向上するが、稼働率が低下するために経済性はかえって低下する。したがって、省エネ

ギー性と経済性を総合的に評価しながら最終的な仕様を決定した。

### ③ 建設費

MEPSの経済性評価のために、建設費を算定した。算定にあたっては、前項で定めたハードウェア仕様に基づいて設備費を積算するとともに、量産化等によるコスト低減を加味した。MEPSの建設費は不確定要素が多いため、既存技術であるガスタービンコージェネシステムの建設費を基準として用い、機器要素にプレイクダウンして相対的なコスト比等についての整合が取れるよう留意しつつ、予測を行った。

図8に、MEPS用ガスタービンと標準ガスタービンの建設単価を示す。図9はMEPS用蒸気タービンシステムの建設単価、そして図10はMEPSの総建設費である。排熱利用タイプは蒸気タービンの台数が多いため、蒸気タービン関連の費用の割合が大きくなっている。一方、減圧弁代替のシステムは、ガスタービン排熱回収部分の費用が相対的に大きい。

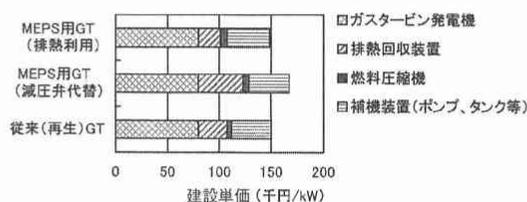


図8 MEPS用ガスタービンシステムと標準ガスタービンシステムの単価

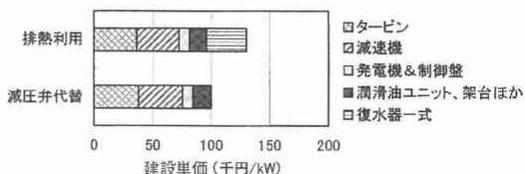


図9 MEPS用蒸気タービンシステムの単価

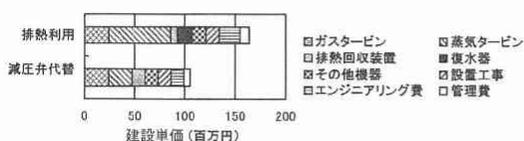


図10 MEPSの建設費

(3) 省エネルギー性と経済性の評価

① MEPSと比較対象システム

MEPSのエネルギー消費量，電力・蒸気の供給コストを計算し，省エネルギー性と経済性の評価を行った。評価のために，MEPSと比較対象システムのモデル的な電

気熱供給システムを表6のように設定した。各システムの基本的な構成は，図11のとおりである。

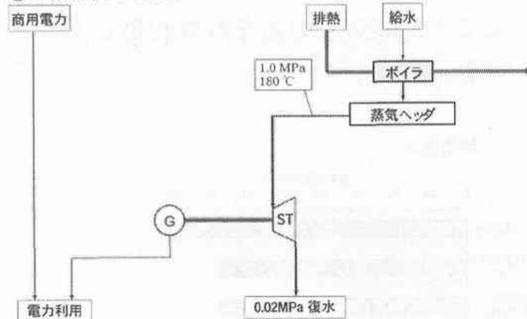
② 評価方法

エネルギー消費量の計算では，先に示

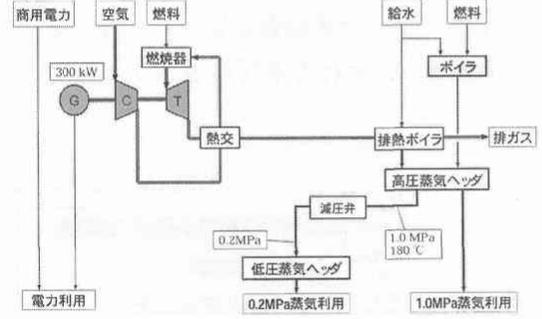
表6 評価用のモデル的コージェネシステム

導入形態	システム	概要	図
排熱利用	比較対象1 (未対策)	排熱利用なし。	—
	比較対象2 (軸流復水ST)	排熱で蒸気を製造し既存技術である軸流復水STで利用。0.02MPaまで膨張させる。	11① a
	MEPS	排熱で蒸気を製造しMEPSの蒸気タービンに使用。蒸気を0.1MPaまたは0.02MPaまで利用。	11① b
減圧弁代替	比較対象1 (コージェネなし)	コージェネなし。蒸気の膨張エネルギーの回収なし。	—
	比較対象2 (GTコージェネ)	MEPSと同規模の再生型GTコージェネを設置。蒸気の膨張エネルギーの回収なし。	11② a
	MEPS	減圧弁の代わりにMEPSの蒸気タービンを使用。蒸気をGT排ガスで過熱。	11② b

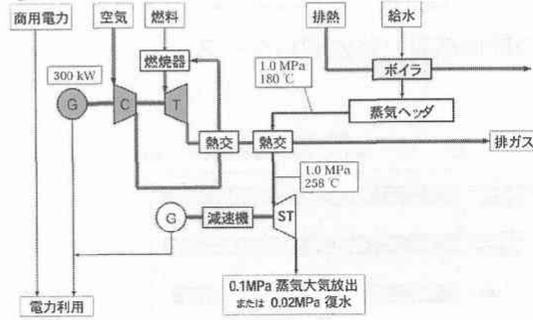
①a 軸流復水蒸気タービン



②a ガスタービンコージェネ+減圧弁

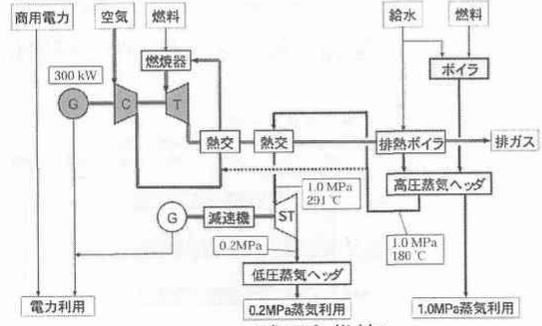


①b MEPS



<排熱利用ケース>

②b MEPS



<減圧弁代替>

図11 MEPS評価用の電力・熱供給システム

したモデル需要家の電力・熱需要，排熱・蒸気需要の日変動パターンに基づいて，この需要に対応するために必要となる燃料（都市ガス）と購入電力の量を1年分積算し，それぞれを熱量換算（都市ガス：46.05MJ/m<sup>3</sup>，電力：9,845J/Wh）した。また，燃料費と電力費の他，設備償却費，メンテナンス費などを総合して経済性を評価した。経済性の指標としては，年間総経費と単純投資回収年数を計算した。計算方法，計算条件の詳細は成果報告書<sup>(2)</sup>を参照されたい。

### ③ 計算結果

#### (a) 排熱利用ケース（図12）

MEPSは，蒸気タービンを2段にして0.02MPaまで膨張させる復水器付きシステムと，1段のみで大気放出させるシステム（復水器が不要で建設費が安い）の2つを検討した。いずれも未対策システムと比

較して大きな省エネルギー効果がある。両者の比較では当然，復水器付きシステムの方が省エネルギー効果が大きい。大気放出タイプは，軸流復水タービンと比較すると省エネルギー性では劣るものの，年間経費の比較は同程度である。単純投資回収年数は大気放出タイプが5.9年，復水器付きタイプが4.6年であり，復水器の設置は，建設費が増加するものの省エネルギー量が大幅に増えることで，総合的な経済性では有利になると予想される。

#### (b) 減圧弁代替ケース（図13）

MEPSは従来システムと比較すると，コージェネレーションによる総合効率の向上分と蒸気の減圧時のエネルギー回収という2つの要因で，エネルギー消費が少なくなる。GTコージェネシステムと比較しても，蒸気圧力差を有効利用した分だけ省エネルギーになる。

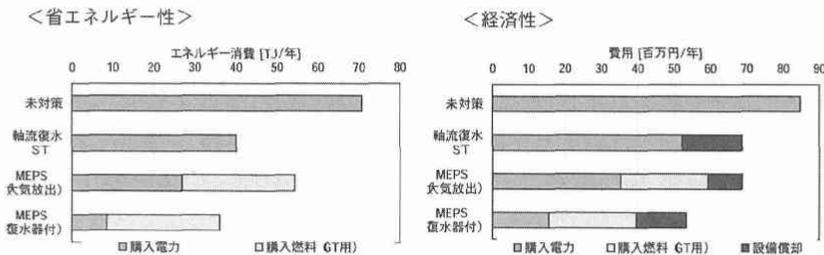


図12 省エネルギー性と経済性の評価結果（排熱利用ケース）

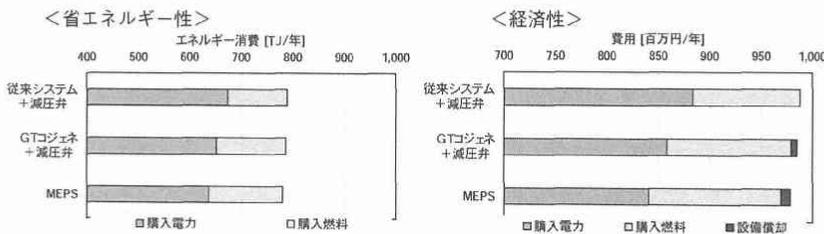


図13 省エネルギー性と経済性の評価結果（減圧弁代替ケース）

年間経費の比較でも、MEPSは、従来システムならびにGTコージェネシステムより優れている。減圧弁代替のMEPSの単純投資回収年数は7.9年である。

#### 4. 潜在市場規模と省エネルギー効果

表1に示したMEPSの導入形態のうち下記の導入分野について潜在的市場規模の推計を行った。推計結果は表7のとおりである。

さらに、推計された潜在市場規模に基づいてMEPSの導入による省エネルギー効果を算出した。表8に試算結果を示す。省エネルギーポテンシャルは、排熱利用タイプと減圧弁代替タイプの合計で石油換算110万klとなり、これは、「総合エネルギー調査会」省エネルギー部会が積算した2010年における産業部門の省エネルギー効果2,050万klの5.4%に相当する。

#### 5. 要素技術の開発成果

MEPSを実現させるためには、いくつかの革新的な要素技術の開発が必要である。先の表1に示したように、先導研究の3年間においては、①高効率低質蒸気回収システムと②高速発電技術の開発を行った。

高効率低質蒸気回収システムとしては、蒸気タービンの蒸気噴射ノズルの開発を行い、損失の少ないノズル形状を見出して、タービン断熱効率77%以上を達成できる見通しを得た。

高速発電技術に関しては、ガスタービン直結式としては世界最大容量となる200kW級試験機での検証実験に成功し、MEPSの仕様である300kW級、効率95%以上の発電機的设计手法を確立した。

要素技術開発成果の詳細は成果報告書<sup>(2)</sup>を参照されたい。

表7 排熱利用MEPSの潜在的導入可能量

システム構成	用途	規模別内訳 (MEPSのST台数)			計
		ST 2台	ST 3台	ST 4台	
排熱利用タイプ	既存の廃棄物発電所の余剰蒸気利用	30	42	28	100
	発電設備のない廃棄物焼却施設の排熱利用	159	74	118	351
	各種産業における中高温排ガス利用	170	28	32	230
	小計	359	144	178	681
減圧弁代替タイプ	蒸気減圧弁の代替	2,350	—	—	2,340
合計		2,709	144	178	3,021

表8 MEPSの省エネルギーポテンシャル

	単位	排熱利用タイプ				減圧弁代替タイプ	
		ST 2台	ST 3台	ST 4台	計		
潜在導入可能量	台	359	144	178	681	2,340	
省エネルギー量	1システム当たり	kl/年	570	907	1,246	—	232
	全ポテンシャル	万kl/年	20.5	13.1	22.2	55.7	54.3



図14 先導研究の位置づけと実用化の展望

## 6. まとめ（実用化への展望）

以上のとおり、MEPSは省エネルギー性が高く、コスト試算においても投資回収年数が10年以下と予測された。特に、廃棄物焼却施設での排熱利用ケースではそのメリットが顕著であり、省エネルギー効果も大きいと予測されることから、自治体の協力によって開発後の速やかな導入が可能と考えられる。また、中小規模工場等への導入の際にはESCO制度などを利用し普及を促進することを検討中である。さらに速やかな導入を目指すためには、経済性の一層の向上に向けてコスト削減の観点からの研究開発努力が必要と思われる。

要素技術の波及効果の観点からは、高速発電機は先導研究で実用化に近い成果が得られたことから、開発メーカー独自で実証、事業化の検討を行う計画である。小型蒸気タービンについては動翼の開発を含む実用化研究が必要であることから、この部分を切り出して3年間の実用化研究プロジェクトとして提案し、後に実証試験、事業化を検討する計画である。

MEPSとしての開発に関しては、これら各要素機器の開発の後、それらを統合し熱電可変型ガスタービンと組み合わせた

MEPSトータルシステムの実証レベルの開発を行うことを検討しており、市場導入は2009年頃が目標となる。

平成11年度施行の改正省エネ法により、新たに第2種エネルギー管理指定工場（年間電力使用量600万～1,200万kWh）にも省エネルギー努力が義務づけられるようになり、中小規模の工場での省エネの取り組みが重要な課題になっている。本技術はそうした社会的ニーズに応えるものであり、産業分野の省エネルギーに貢献できる日が一日も早く訪れることを期待したい。

## 謝辞

本研究開発の実施に際し、研究開発費の提供と適切なマネジメントを頂いたNEDO、研究開発全般に亘ってご指導頂いた笠木伸英委員長（東京大学）を始めとする研究委員会の委員各位、並びに亀山秀雄委員長（東京農工大学）を始めとする化学反応系技術委員会の委員各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 財省エネルギーセンター、「工場群の排熱実態調査研究」報告書、平成13年4月。
- (2) 産業技術総合研究所他、「多様なニーズに対応するフレキシブルタービンシステムの研究開発」報告書、平成16年3月、No. 03003467-0-1。

## 「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」の 成果と展望

※ 浅見直人 (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 専門役

※※ 阿閉聡 (元財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 主任研究員



### まえがき

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) によって、一般廃棄物 (一廃) を対象として推進されてきた「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトは、1991年度から開始され、2003年度をもって、一連の関連する技術開発を完了し、国としての廃棄物発電の高効率化に向けた技術開発を終了した。

弊所はその初期の段階から、廃棄物発電に関する「最適トータルシステム研究」等 (1992～1999年度)、「廃棄物ガス化溶解発電技術開発」(1998～2000年度)、さらに「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」(2001～2003年度)を一貫して受託して実施してきた。

本稿では、2004年3月末で完了した「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」の概要と成果について報告し、今後の廃棄物発電を巡る課題について述べておきたい。

なお、本プロジェクトでは、「ガス変換」との言葉を用いているが、専門用語では「ガス化・改質」を用いており、同意語であることを最初に注記しておく。

### 1. 高効率廃棄物発電技術開発の背景

当面経済を支えるエネルギー供給は、化石燃料に負う所大であるが、1997年12月京都で開催された、気候変動枠組条約第3回締約国会議 (COP3) の国別の合意目標達成のためには、2012年度までの10年間という短い期間に、原子力の導入促進、省エネルギー技術、および新エネルギー技術の開発・普及が急務である。

こうした認識の下、新エネルギー技術の1つである廃棄物発電の導入促進は、未利用エネルギーの有効利用の観点から、温室効果ガスの主要成分である二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量の削減に寄与するものとして期待されている。

1998年6月の「総合エネルギー調査会」需給部会報告を受けて、同年9月の温暖化防止対策関係閣僚会議で示された「長期エネルギー需給見通し」は、その後「総合資源エネルギー調査会」により見直しされ、同調査会の「新エネルギー部会」により、2001年6月に提出された部会報告書で、新

※※ 平成13年7月～平成16年7月まで (財) エネルギー総合工学研究所に外向。現在、北陸電力株式会社 火力部火力調査研究チームに勤務。

年度	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
1. 高温高効率燃焼炉の開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
2. 耐腐食性過熱器材料の開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
3. パイロットプラントによる実証試験				→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
4. 廃棄物ガス化熔融発電技術の開発								→	→	→	→	→	→
5. 廃棄物ガス変換発電技術の開発											→	→	→

図1 「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトの取組みとスケジュール

エネルギー全体の2010年における導入目標が示された。その内、廃棄物発電の供給見通しとしては、2010年度で417万kW（原油換算552万kl）の目標が掲げられ、新エネルギーの中では最も安定的な電力供給源として大いに期待されている。

わが国の廃棄物処理の近代的システム構築は1954年の清掃法から始まり、1963年厚生省の環境整備計画で、焼却処理が導入され、1970年に「廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃棄物処理法）」で、一廃の処理は市町村、産業廃棄物（産廃）は事業者責任でそれぞれ処理責任が明確化された。高度経済成長期には廃棄物量は急増し、廃棄物処理施設数も全国で一時的には1900を超える施設が建設され、現在広域化が進み、漸減しつつあるが、それでも1680施設（平成13年度末）があり、その内廃棄物発電を行っているのは250施設（平成14年度末）にすぎない。比較的大きな施設では発電設備を備えており、物量的には約45%が廃棄物発電にそのエネルギーが利用されているが、残りの小規模施設は殆どエネルギー回収がされない単純焼却処理となっている。小規模処理施設向けの高効率発電技術の開発が必要な所以である。

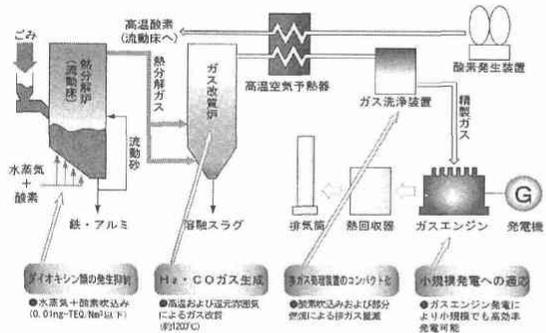


図2 高効率廃棄物ガス変換発電炉システム構成の概念

図1に「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトの取組みと技術開発スケジュールを示す。図中第5項が、本稿の主題である「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」（2001～2003年度）である。図2に高効率廃棄物ガス変換発電システム概念図（流動床炉の場合）を示す。

## 2. 高効率廃棄物ガス変換発電技術の開発計画と開発目標

### (1) 研究開発の目的

わが国で排出される一般廃棄物は年間約5,000万t、産業廃棄物は約4億tであり、これらの最終処分場の不足は深刻な社会問題となっている。廃棄物のエネルギー転換

利用は、処分場不足対策、循環型社会構築のいずれの観点からも喫緊の課題である。

一般廃棄物については、約8割が焼却処分されている。このうち、中大型処理施設（処理量200t/日以上）では、発電を行っているが、効率が低い（20%以下）。また、小規模処理施設では、現状の技術では経済性の確保が成立しないことから、殆ど発電が行われていない。このため、発電能力は、2010年度導入目標417万kWに対し、146万kW（平成14年度末実績、含む産廃発電）に止まっている。さらに、廃棄物の燃焼に伴うダイオキシンの発生の抑制も大きな課題となっている。

中大型処理施設には、2000年度まで実施した高効率発電技術開発により、発電効率の向上（20→30%）、ダイオキシンの発生を抑制する技術が確立し、20%を超える効率を持った発電技術の商業化が既に開始されている。今後は、小規模処理施設向けの発電システムおよび更なるダイオキシン低減対策技術の確立が緊急の課題である。

本技術開発では、環境に配慮した小規模廃棄物処理施設向けの高効率発電システムを確立し、廃棄物発電導入目標の達成に資することを目的としている。

## （2）開発目標と計画概要

本研究開発の最終年度、すなわち2003年度末において、表1に対応する技術の達成を目標とする。本「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」は、廃棄物の持つエネルギーを可能な限り多量の可燃性ガスとして回収するために、廃棄物ガス変換発電プロセスを各プロセス毎に最適化するとともに、プロセス途中のガスの持つ顕熱・廃熱を回収し、有効に利用することにより、プロセス全体として最適化を図り、冷ガス効率を最大化し、さらに、低発熱量の生成ガスのガスエンジンでの燃焼効率を安定的に最高値にすることにより、高い送電端効率を得ようとする技術開発である。従って、ガス変換システムの各プロセス毎の高効率化に関する技術開発課題は表2に示す如くである。

表1 研究開発目標

一般廃棄物（発熱量2100kcal/kg）を対象とした処理施設（プラント規模100t/日）に併設する発電所において、下記に相当する技術を開発する。 ① 冷ガス効率：80%以上、実効冷ガス効率：68%以上 ② 発電端効率：25%以上、送電端効率：14%以上 ③ 排煙中のダイオキシン濃度：0.01ng-TEQ/m <sup>3</sup> N以下
---

表2 技術開発課題

(a) ガス変換システム（高効率化のための技術開発） i) 熱分解プロセスの最適化技術開発 ii) ガス改質・溶融プロセスの最適化技術開発 iii) 改質ガスの顕熱回収技術および回収エネルギーの利用技術の開発 (b) 高効率ガスエンジン発電技術（低発熱量ガス用エンジンの開発） (c) 最適化調査研究と適用性調査
---

### (3) 技術開発要素と内容

図3に本提案の技術開発に係わる、廃棄物ガス変換発電技術開発の概要説明図を示す。一般化した廃棄物ガス変換プロセスは、図3のプロセスフローに示す如く、A：貯留、B：前処理、C：熱分解、D：ガス改質・溶融、E：顕熱回収、F：ガス精製、G：発電、およびH：排ガス処理の各プロセスからなっている。

ここで、高効率発電を目指した新たな要素技術開発課題は、①ガス化効率向上および顕熱回収・利用のための技術開発と、②高効率ガスエンジン発電技術の開発に分類される。前者は、廃棄物の持つエネルギーを効率的に生成ガスの持つエネルギーに変換する技術である。ガス変換技術に係わる性能向上の1つの指針は、下記に定義する「実効冷ガス効率」を最大にすることであり、これが発電量を最大にすることになる。これには、C：熱分解プロセス、およびD：溶融・ガス改質プロセスにおける、酸素（空気）比、水蒸気比、炉の温度条件等の最適条件化が必要になるとともに、E：顕熱回収プロセスにおける顕熱の回収条件と方法、並びにその利用技術の最適化が必要である。

また、もう1つの指針は、所内電力量を最小にし、送電量を最大にすること、即ち「送電端効率」の向上技術である。これには、所内動力および消費酸素量等の削減のためのプロセス最適化が必要である。

一方、後者のガスエンジン発電技術は、約10,000kcal/Nm<sup>3</sup>の高発熱量を持つ天然ガス等ではガスエンジン発電の実績はあるが、廃棄物ガス変換生成ガスは、1,200～2,400 kcal/Nm<sup>3</sup>程度の低発熱量であり、しかも燃焼速度の速いH<sub>2</sub>ガスと遅いCOガスの混合可燃性ガスに、N<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>の不燃性ガス成分を多く含んでおり、さらに、廃棄物の変動に伴ってガス成分と熱量はある程度の時間変動が予測される。このような低発熱量の廃棄物ガス変換生成ガスを用いて、高効率で安定的に運転している商用プラントの実績はなく、上述の特性を持つ廃棄物ガス変換ガス用に高効率で、しかも所定のガス変動に対して安定制御可能なガスエンジン発電システムの開発が必要である。

なお、一般にガス化プラントの重要指標とされる冷ガス効率<sub>冷</sub>は、ガス化炉投入熱量（ごみ発熱量）に対するガス化炉後流のガス精製装置出口ガス（生成ガス）の有する

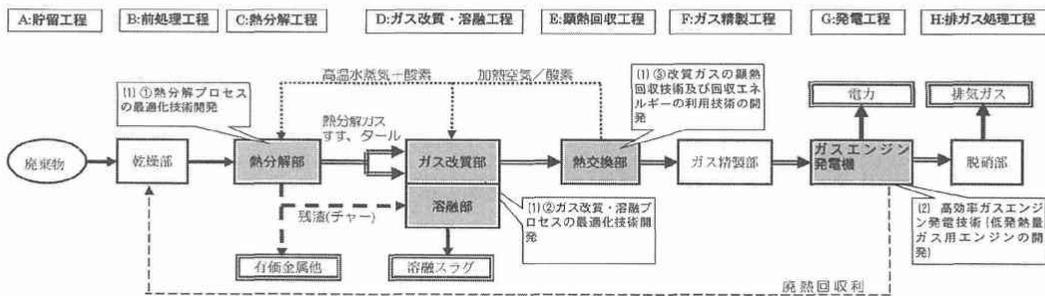


図3 廃棄物ガス変換発電技術開発のプロセスフロー図

発熱量との比で表されるが、廃棄物ガス変換技術では、熱分解加熱用等に同生成ガスの一部を用いるため、その分を差し引いて発電に利用可能な正味の生成ガス量の有する発熱量の比（「実効冷ガス効率」と称す）を用いるほうが実態に即している。

廃棄物ガス変換発電の発電端効率は、実効冷ガス効率と、ガスエンジン発電効率の単純積で表されるので、両技術を並行して最適化の技術開発をすることが、廃棄物ガス変換発電システムの高効率化にとって重要である。

### 3. 要素技術開発の成果

#### (1) ガス変換システム

##### ① 熱分解プロセスの最適化技術開発（三菱重工業）

熱分解プロセスの最適化を図るため、熱分解炉に供給するガス化剤水蒸気供給量の適正化を行い、さらに実証試験装置（15 t/日）により、ガス変換システムの

実証を行うとともに制御による安定運転等各種運転指針を得ること、またバグフィルタにおけるダイオキシン除去性能の把握を行うことを目的とした。

ベンチスケールの流動層による熱分解基礎特性試験を実施し、その成果をベースに、実証装置を設計・製作し、RDF（ごみ固形燃料）および実ごみを試料として実証試験を実施した。

図4にガス変換実証試験設備（15 t/日）フローを示す。実証試験設備は、試料をガス化する流動床ガス化炉（ガス化剤として酸素+水蒸気を供給）、熱分解ガスを分離するガス分岐管、灰を溶融する巡回室と熱分解ガスを改質・低分子化する二次改質部を有する巡回溶融改質炉、改質ガスを完全燃焼する改質ガス燃焼炉、さらに排ガス処理系として燃焼排ガスを冷却する減温塔1（ガス冷却塔）および減温塔2（反応蒸発塔）、除じん・酸性ガスを処理する反応集じん装置、煙突等で構成される。開発の成果は表3にまとめた。

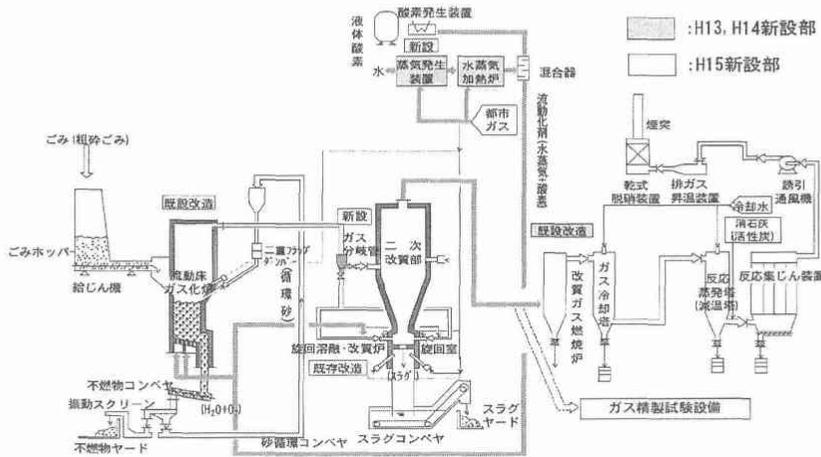


図4 ガス変換実証試験設備のフロー図

表3 三菱重工業の成果まとめ

- 蒸気装置発生、水蒸気加熱炉等の新規導入設備を含めて、従来技術であるガス化溶融炉実証試験炉とほぼ同様の操作で良好な運転調整が可能であることを確認した。
- RDF、実ごみともに、流動層ガス化炉砂層温度は600～640℃の範囲で安定しており、鉄やアルミニウムなどの不燃物を安定して炉底から回収することができた。
- 実ごみを試料とした場合、ごみ供給量変動に対応して旋回室に供給する酸素流量をフィードバック制御することがガス組成変動の緩和およびダイオキシン濃度低減に有効であることを示唆する結果を得た。また、反応集塵装置によりダイオキシン濃度が約1/1,000以下に低減できる結果を得た。さらに、スラグの重金属含有量、重金属溶出量およびダイオキシン濃度は、基準を十分に満たしていた。
- 実機を想定した場合、LHVが1,700～1,800kcal/m<sup>3</sup>N程度の改質ガスが得られる見込みが得られた。

②ガス改質・溶融プロセスの最適化技術  
開発（日本碍子）

本技術開発ではガス変換炉の溶融・改質工程の操炉条件と各熱分解生成物の投入位置等を最適化し、冷ガス効率の向上、酸素消費量の削減などを達成できる高効率のガス変換炉を開発することを目的とした。

ガス変換炉小型試験装置を用いた基礎試験結果をベースに、熱分解炉、ガス変換炉および付帯装置から成る実証試験設備（約4 t/日）の設計、製作を行った。なお、ガス変換炉は、熱分解残渣を酸素と反応させる溶融部と比較的低温で熱分

解ガスをガス改質させる改質部から構成される高効率型とした。

図5にNGKガス変換溶融システム実証試験装置（約4 t/日）フローを示す。

試験試料は、ホッパからスクリュウフィーダにより熱分解炉に投入され、LPGまたは生成ガスを熱源として550℃に保持された外熱加熱式ロータリーキルンによって熱分解ガスならびに灰分と固定炭素を主成分とする熱分解残さに分解される。熱分解残さは、残さ排出コンベアで冷却後排出され、粉碎機により平均粒径数十μmのチャーに粉碎される。ガス変換溶

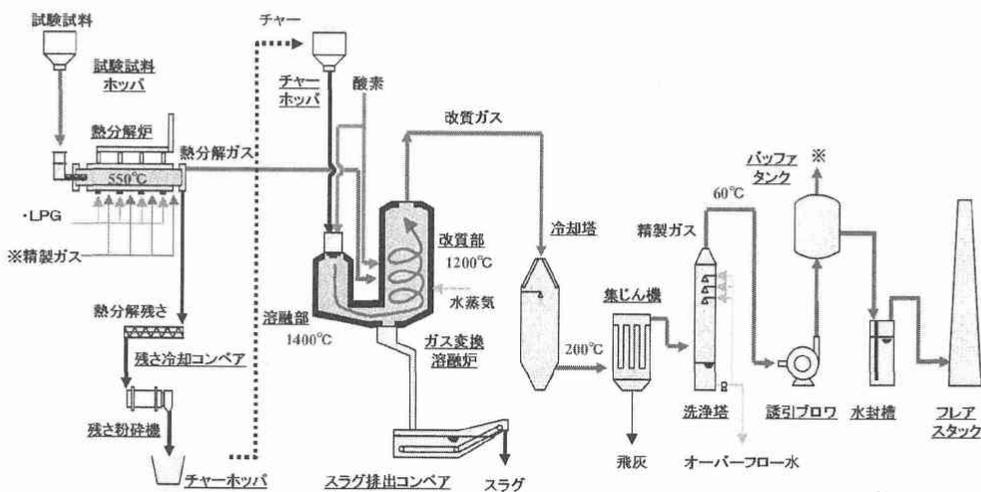


図5 NGKガス変換溶融システム実証試験設備のフロー図

表4 日本碍子の成果まとめ

- 実証試験装置の冷ガス効率59%、カーボンガス化率99%を達成し、酸素消費量についても改造前に比べ約10%削減できた。これにより実規模（100 t/日）における冷ガス効率80%以上を達成するための、実証試験機の性能値57%をクリアすることができた。
- ガス変換プロセスにおけるダイオキシン等の有害物質挙動についても調査し、ガス変換炉出口でのダイオキシンが低濃度（0.03ng-TEQ以下）であること、飛灰やスラグ中にダイオキシンがほとんど含まれないことを実験により確認した。
- 基礎試験結果を反映した実証試験設備を設置し、安定したガス変換熔融運転を行うことができた。

融炉は熔融部と改質部で構成され、熔融部ではチャーと酸素の部分燃焼により約1,400℃の温度で可燃分をガス化するとともに灰分を熔融スラグ化する。改質部では、熱分解ガスと酸素の部分燃焼熱と熔融部からの生成ガス顕熱によって約1200℃の温度を保持し、H<sub>2</sub>および一酸化炭素（CO）を主成分とした改質ガスに変換する。また、未反応カーボンの生成を抑制するため水蒸気を供給する。開発の成果は表4にまとめた。

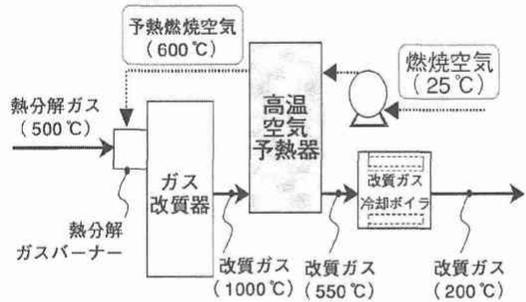


図6 顕熱回収・利用技術システムの要素図

### ③ 改質ガスの顕熱回収技術および回収エネルギーの利用技術開発（東芝）

本技術開発では、改質ガスの顕熱を回収し、高温空気（または酸素）によるガス改質プロセス高効率化を図ることを目的とした。顕熱回収・利用技術に関するシステム要素図を図6に示す。

本技術開発に於いては、高温空気予熱器の材料選定のため材料曝露試験をまず行った。また、高温空気予熱器自身の基本性能検証のため試験装置を試作し、既存の熱分解ガス化改質実証設備と組み合わせて実ごみによる処理運転の検証試験を行った。さらに、顕熱回収技術を導入したガス改質プロセス基本特性検証のため前述の設備に於

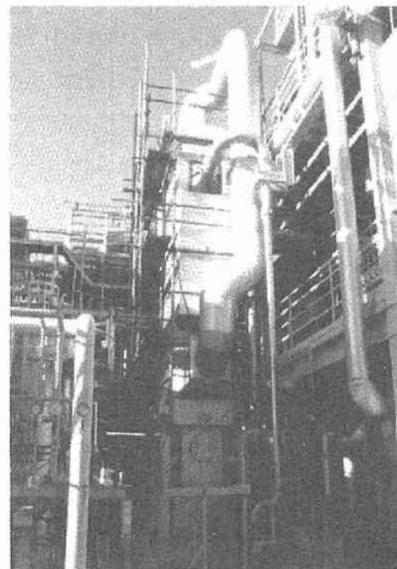


図7 試験装置の概観

いて実証規模での顕熱回収、ごみ処理実証試験を実施した。図7にガス化改質実証設備に組込んだ試験装置の概観を示す。また、開発の成果は表5にまとめた。

表5 東芝の成果まとめ

- 模擬ガスによる一次試験によって選定されたオーステナイト系ステンレス耐熱鋼3鋼種（SUS310S, NAR-AH-4, NAR-305B）に対して、実機環境における長時間曝露試験を実施した（高温空気予熱器用材料評価試験）。その結果、いずれも軽微な高温腐食が生じたものの、実用上問題のないレベルであった。3鋼種中ではクロムおよびニッケル含有量が最も高いSUS310Sの耐食性が優れていた。
- 高温空気予熱器を用いた実証試験を実施した（高温空気によるガス改質実証試験）。ガス改質プロセスは従来通り空気による。試験の結果、改質用空気予熱温度約400℃で、システムの冷ガス効率が約5ポイント向上できることが分かった。また、予熱の有無によるダイオキシン生成の性能に差異は認められないことも検証できた。
- 予熱空気による実証試験データより、実機での設計値である600℃の加熱空気を利用した際には改質器単体で約6～12ポイントのガス化率の改善が見込まれることが検証された。また、試験結果から空気予熱温度とシステム冷ガス効率の関係を明らかにした。

## (2) 高効率ガスエンジン発電技術（低発熱量ガス用エンジンの開発）（住友金属工業）

本技術開発は、廃棄物ガス変換施設で生成された、比較的発熱量の精製ガスを、安定的に高効率で発電する技術を開発することを目的とする。廃棄物ガス変換施設の生成ガスは、ガスエンジン、ガスタービン、燃料電池等に利用できるが、この中でも、既存技術として常用されているBTG（ボイラ+蒸気タービン）に替わる新技術として、高効率ガスエンジン発電技術を開発する。ガスエンジンは、既存の技術を活用できるため、短期間で実用化できる。さらに、ガスエンジン排ガスを前処理工程の乾燥用熱源として利用でき、発電用のガス量が増加し発電効率を向上できる、という特徴を持

っている。

ガスエンジンとして、変換ガスのようなCO、H<sub>2</sub>を主成分とする低発熱量ガスを恒常的に発電効率36%以上の高効率が可能となる方式として、着火エネルギーが従来の火花点火方式に比べ、5,000倍以上ある、予燃焼室パイロット油着火型希薄燃焼ガスエンジンを選定し、廃棄物ガス変換ガス用に改良開発を行った。図8に予燃焼室付きパイロット油着火型ガスエンジン概念図を、従来型火花点火方式と比較して示す。

単気筒試験機を用いた基礎試験と、ガスエンジン実証試験機を用いた模擬ガス試験、およびガス化溶融施設の生成ガスを用いた実ガス実証試験の3段階を経て実施した。

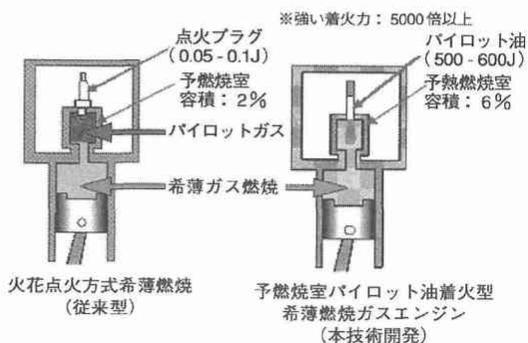


図8 パイロット油着火型ガスエンジン概念図

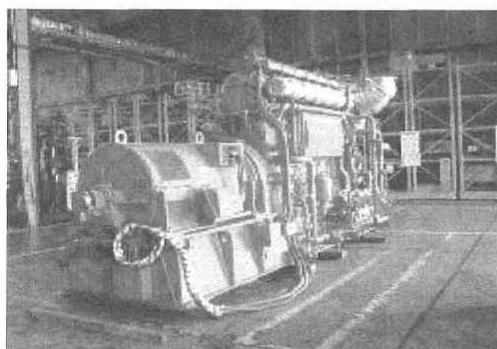


図9 ガスエンジン試作機概観

表6 住友金属工業の成果まとめ

- 廃棄物ガス変換生成ガスの標準的組成を模擬して、発熱量7.5MJ/m<sup>3</sup>N (1800kcal/m<sup>3</sup>N)のガスを鉄鋼プラント電気炉ガス(疑似ガス)から作成し、実証試験を実施した。燃料ガス噴射時期、パイロット油量及び投与時期の調整・最適化により、ガスエンジンの単体発電効率37.3%を得、目標値をクリアした。これは650kW規模(6気筒)の値であり、2000kW規模では38%に相当する。
- 発熱量5.0~10.0MJ/m<sup>3</sup>N (1,200~2,400kcal/m<sup>3</sup>N)の模擬ガスを用いた場合、5.9MJ/m<sup>3</sup>N (1400kcal/m<sup>3</sup>N)以上の発熱量を保有しておれば、7.5MJ/m<sup>3</sup>N (1,800kcal/m<sup>3</sup>N)と同じ設計仕様で定格発電650kWeが可能である。また、5.0MJ/m<sup>3</sup>N (1200kcal/m<sup>3</sup>N)の場合は、燃料ガス通過部分の容量適正化を行えば、定格発電650kWeが可能と予測でき、生成ガス発熱量5.0~10.0MJ/m<sup>3</sup>Nの範囲で、ガスエンジン単体発電効率36%以上の達成を検証した。
- 実際にシャフト炉型ガス化溶融炉を稼働させ、発生した生成ガスで合計運転時間は150時間の試験を行った。処理対象の廃棄物は、可燃性一般廃棄物の他、ASR、廃プラスチック等の産業廃棄物についても実施した。いずれの場合もガス流量、ガス熱量の変動に対しても、安定して発電できることが確認できた。
- 排出物の性状について。排ガス中のダイオキシン類の測定値は、開発目標である排出規制値の10分の1である0.01ng-TEQ/m<sup>3</sup>以下、COについては、酸化触媒試験を行い、排ガス中のCO濃度が10ppm以下となることを確認した。NOxについては、発電電力650kWe(100%負荷)で、脱硝処理を行うことなく45~68ppmと非常に低いことを確認した。

基礎試験によって得られた結果を基に、実証試験機(6気筒650kWe 新潟原動機製)を製作し、既設のガス変換実証施設(20t/日)脇に設置した。図9にガスエンジン試作機を示す。また、開発成果を表6に示す。

#### 4. 技術開発成果に基づく実用炉のシステム最適化FSの結果

##### (1) 各社の個別システムの最適トータルシステムのFS結果

各社のガス変換システムについて、本技術開発の成果を適用し個別のFSを実施

表7 本技術開発成果を各社個別のガス変換システムに適用した場合の開発効果まとめ

(現状技術との比較表：一般ごみ、100t/d規模のケースで比較)

比較項目	三菱重工(流動床型)		日本碍子(キルン型)		東芝(キルン型)		住友金属工業(シャフト型)	
	現在技術 技術開発前	新規技術 技術開発後	現在技術 技術開発前	新規技術 技術開発後	現在技術 技術開発前	新規技術 技術開発後	現在技術 技術開発前	新規技術 技術開発後
1. 熱分解プロセス最適化	◎高温酸素+水蒸気吹込みによるガス化反応促進		◎熱分解生成物の高効率改質・溶融条件の最適化		○3.の予熱した高温空気/酸素を吹込み、効果を確認 ○ 同上		-	
2. 改質・溶融プロセス最適化	○1.の熱分解生成物の改質と水素富化、DXN分解促進		-		-		-	
3. ガス顕熱回収・利用	-		-		◎顕熱回収による空気/酸素予熱を行い、1.2の効率を向上		-	
4. GE廃熱回収・利用	-		-		-		◎5.からの熱回収条件確認	
5. 高効率ガスエンジン	-		-		-		◎高負荷で高効率、安定制御運転技術の確立	
	凡例 ◎:主体開発技術 ○:関連開発技術							
比較対象	ストーカ炉+ST:GEとの差 参考:(B+化溶融)GE+STとの差		Noell方式(導入技術)		自社現状技術 熱回収利用なし		ガス焼き炉+ST	
冷ガス効率 (%)	-	75.8	76	82.8 +6.8	72.8	80.7 +7.9	66.5	75.7 +9.2
実効冷ガス効率 (%)	-	75.8	52	67.4 +15.4	59.4	69.5 +10.1	66.5	75.7 +9.2
GE発電効率 (%)	-	36	36	37 +1.0	33	36 3	(30)	37.7 +7.7
発電端効率 (%)	(18.7)	16.1 27.3 +11.2 31.4 +15.3	18.7	25.2 +6.5	19.6	25.0 +5.4	11.8	28.0 +16.2
送電端効率 (%)	(8.9)	0 15.7 +15.7 19.8 +19.8	2.8	16.3 +13.5	11.6	16.6 +5.0	1.5	14.8 +13.3
売電原価 (円/kWh)	-	6.7 6.7	-	7.96	11.6	8.9 -2.7	19.7	8.6 -11.1
ごみ処理単価 (千円/kWh)	20.4	16.9 -3.5 16.8 -3.6	-	15.7	17.9	14.7 -3.2	21.5	18.3 -3.2
建設単価 (千万円/t/d)	5.2	4.4 -0.8 4.7 -0.5	-	4.2	4.8	4.9 +0.1	4.6	4.5 -0.1
ダイキソ類 (ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	(0.1)	<0.1 <0.01	<0.01	<0.01 同レベル	<0.01	<0.01 同レベル	<0.01	<0.01 同レベル
水素富化度 (H <sub>2</sub> /CO比)	-	- 37/26=1.4	-	38/41=0.93	-	18/28=0.64	-	29/36=0.81

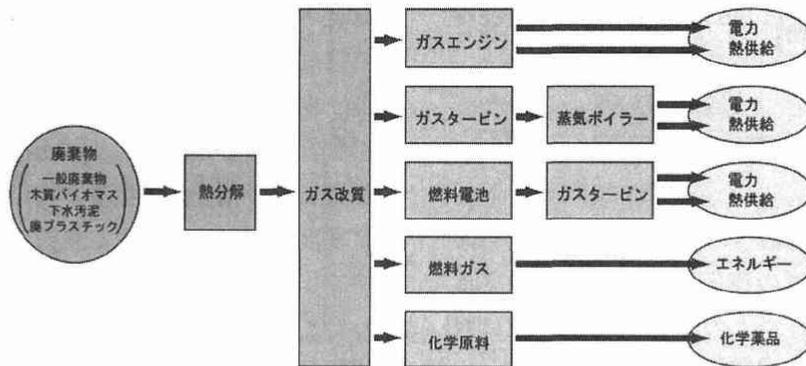


図13 廃棄物ガス変換（ガス化・改質）技術の多岐にわたる利用の可能性

#### (4) 廃棄物熱利用の促進

これまでの廃棄物処理場は、多くの場合、市街地から人口の少ない遠隔地にある関係もあり、熱利用が難しい立地条件にあり、廃棄物熱利用が十分進んでいない状況である。有害物質排出対策や、悪臭対策が技術的に進んだ現状で、一般市民の理解の変革を求めつつ、廃棄物熱利用の促進を図ることが、未利用エネルギー活用の観点から重要である。また、関連して、廃棄物発電の電力、熱を利用してその地域に有効な新たな副産物を創造する努力も期待したいところである。

#### あとがき

これまで、高効率廃棄物ガス変換発電技術開発の成果と展望について述べてきたが、このガス変換プロセスの利用法は様々に考えられる。処理対象となる廃棄物や、生成ガスの利用法における多様性がある。それぞれの技術開発課題や、経済性については対象によって異なるが、その選択によっては新規事業として魅力的なケースがあると考えられる。ここでは、

残念ながら紙面の関係で、これらについて述べるができなかったが、別の機会に紹介できたら幸いである。

最後に、本プロジェクトを支援して下さった資源エネルギー庁並びにNEDOの関係各位に深謝するとともに、技術評価委員会（平岡正勝委員長）および導入調査委員会（長田純夫委員長）の長年にわたるご指導に感謝いたします。また、鋭意技術開発を推進された三菱重工業、日本碍子、東芝、および住友金属工業の関係の方々並びに、システム解析プログラム開発に協力頂いた川崎重工業の関係者に敬意を表しつつ筆を置きます。

#### 参考文献

- (1) NEDO高効率廃棄物発電技術開発 平成6年度～平成11年度 報告書
- (2) NEDO「高効率廃棄物発電技術開発「廃棄物ガス化溶融発電技術開発」平成10年度、平成11年度、および平成12年度 報告書（エネ総工研他）
- (3) NEDO 高効率廃棄物発電技術開発「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」平成13年度、平成14年度、および平成15年度 報告書
- (4) 廃棄物ガス変換発電技術開発の現状と展望、月刊エネルギー、Vol.36, No.8, 9 2003
- (5) 廃棄物発電導入マニュアル（改訂版）平成14年9月、NEDO

# 高レベル放射性廃棄物の地層処分 —不確実性と信頼性に関する考察—



蛭 沢 重 信 ( 助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 )

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の最終的な取り扱いについては、地中深く人間の生活環境から隔離することによる地層処分の概念が提唱されてから50年近くが経とうとしている。その間に多くの国において、また国際共同研究により安全な処分の実現を目指した研究開発が着実に進められてきた。そのような結果、1990年頃に専門家の間では、安全な処分の実現のための技術および長期にわたる安全性を評価する技術の双方が得られたとのコンセンサスが得られている<sup>(1)</sup>。

そこで、このように達成されてきた研究開発の成果をよりどころに、一部の国では処分実現化の計画がみられ、処分サイトが決定された国もある。一方で、具体的なサイト問題に直面する段階などで反対運動にあい、スムーズに処分計画が進展していない国もある。

困難な立地の経験などを契機に1980年代半ばから2000年頃にかけて、複数の国で地層処分の進め方などに関する再検討が行われた。その結果、処分事業の関係者の間では、処分事業を段階的に進め、各段階の節目において関係者が対話を繰り返しながら

ら、科学的にも、社会的にも処分事業に対する信頼を高めていく方法がコンセンサスとして認められるようになった。

ここでは、不確実性を含み、かつ事業が長期にわたる高レベル放射性廃棄物の処分事業はどのように進められるのがよりよいかという点について、主として、地層処分に対する信頼の確立の視点から、段階的アプローチと段階的アプローチにおける安全性に対する信頼の向上のための枠組みについて考察する。

高レベル放射性廃棄物の地層処分になじみのない方のために、はじめに地層処分のイメージと日本における処分地の選定に至るプロセスの概略を紹介する(2章)。次に、地層処分の進め方について再検討をしたスウェーデンの例を紹介する。引き続き、段階的アプローチと安全性に対する信頼の向上に関する議論がみられた比較的最近の諸外国での議論の例を紹介する(3章)。最後に、そのような諸外国での議論に基づき、地層処分に対する信頼の確立における課題について、柔軟性のある段階的アプローチを中心に考察する(4章)。

## 2. 地層処分の目標と処分地選定のプロセス

### (1) 地層処分の目標と原則

高レベル放射性廃棄物が人間や環境へ与える潜在的な影響は、その中に含まれる寿命の長い放射性核種の存在により、長期間にわたる。このことは、現在活動している我々の世代ばかりでなく将来の人々への影響をも考慮した取り扱いの対策を立てる必要があることを意味している。

高レベル放射性廃棄物を含む全ての放射性廃棄物の管理<sup>\*</sup>に関する基本原則を示した国際原子力機関（IAEA）の文書<sup>(2)</sup>では、放射性廃棄物の管理の目標を、現在および将来にわたり、人の健康と環境を保護し、将来世代に過度の負担をかけることなく放射性廃棄物を取り扱うことである、としている。この目標を達成するための原則として、第1に、人の健康の防護に関するものをあげている。放射性廃棄物は、人の健康に対する受容可能な防護のレベルを保証するような方法で管理されなければならない、という原則である。次に環境の保護に関するものとして、放射性廃棄物は、環境保護が受容可能なレベルで行えるような方法によって管理されなければならないことを2番目の原則として掲げている。

### (2) 地層処分場のイメージ

一般に、地下の岩盤は、長期間にわたり物質を安定に閉じこめるという性質を持っている。この性質に着目して高レベル放射性廃棄物を地下深くの地層中に閉じこめ

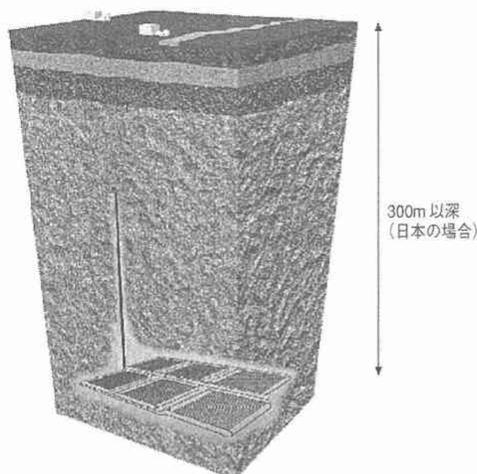


図1 地層処分のイメージ<sup>(3)</sup>

て、人間が関与することなく生活環境から数万年以上という長期にわたり隔離するのが地層処分である。そのため、高レベル放射性廃棄物の隔離に適した特性を持ち安定した地下深部の岩盤に処分場を設置することが必要になる（図1）。

生活環境からの隔離には、廃棄物そのものが生活環境に近づかないということと高レベル放射性廃棄物中の放射性核種が周囲の岩盤中地下水に溶け出して地下水によって生活環境に運ばれることがない、ということが含まれる。これを実現するため、適切な岩盤とともに、人工的な障壁（人工バリア）も隔離にとって重要な役割を果たす。人工バリアは、放射性物質をガラスによって安定した形態にして容器に封入したものの（ガラス固化体）、ガラス固化体を封入する鉄製の容器（オーバーパック）さらにオーバーパックの周囲に充填されるベントナイトという粘土を主成分とする緩衝材で構成される（図2）。

<sup>\*</sup> 廃棄物管理（waste management）とは、放射性廃棄物の取り扱い、前処理、処理、調整、輸送、貯蔵および処分に含まれる制度上および総行状のすべての活動のことをいう。

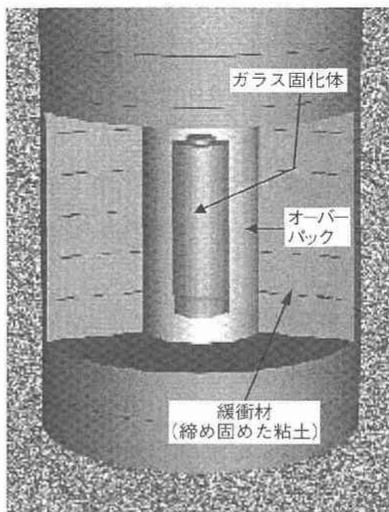


図2 人工バリアのイメージ<sup>(4)</sup>

### (3) 処分地選定に至るプロセス

日本では、原子力発電環境整備機構 (NUMO) により、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、最終処分施設建設地の選定、という3つの段階を経て建設地が選定されることになっている<sup>(4) (5)</sup>。最初の概要調査地区を選定する段階では文献による調査のみ行われるため、得られる地質等に関するデータも限定的である。次の、概要調査の段階では、文献調査により選定された地区において、ボーリング調査、地表調査、物理探査等、を行い、地層の安定性や地下水の水量等の確認が行われる。概要調査の結果により精密調査を行う地区が選定される。この精密調査の段階では、地上からの調査に加えて地下に調査施設を設置して行われる調査により、地層の物理的・化学的性質等が処分施設の設置に適しているか否かを確認することとされている。

このように、調査が段階的に進められることにより、処分施設の設置の適否の判断に資するデータ、および当該地に処分施設

を建設した場合の処分の安全性を示すために必要になるデータが、量的にも質的にも充実していくことになる。このことは、施設設計ならびに安全評価は、得られるデータが充実して不確実性が低減していく中で、段階的に最適化が図られることを意味している。

### 3. 地層処分の進め方に関する議論

地層処分の安全に対する信頼の構築にあたって不確実性が1つの課題となる地層処分について、社会はどのように意思決定をするのかという問題について、はじめに、スウェーデンで行われた議論を紹介する。スウェーデンでの議論は、1987年から1988年にかけて行われたものであり多少古いという印象を持たれるかもしれない。しかし、検討は同国における立地が困難な時期に行われたものであり、立地あるいは事業の展開の困難さを抱えながら処分のあり方について再検討したという意味からも、議論の結果をまとめた報告書の中には、現在多くの国で採用されている方法の元になったと考えられる基本的な事柄がいくつも見られる(第3章第1節)。

次に、処分事業の具体的な進め方について議論した比較的最近の例がスイス、ドイツ、アメリカにおいてみられる。3カ国の例に共通している課題が段階的アプローチと処分およびその安全に対する信頼の確保である。そこで第3章第2節から第4節では、これらの3つの例における議論の要点を紹介する。

表1には、スウェーデンを含め四カ国における検討から、段階的アプローチと安全

に対する信頼の確立および実証に関する取り組み等について概要を表形式で示す。

### (1) スウェーデンの例

スウェーデン放射性廃棄物管理協議委員会 (KASAM) と使用済燃料庁 (SKN) が共催して1987年9月に行われた「不確実性のなかでの倫理的行動に関するセミナー」とそこでの議論の主要な点をとりまとめた報告書<sup>(6)</sup>から関連する要点をとりまとめる。

筆者の知る限り、放射性廃棄物の処分に関し、不確実性の面からまとまった議論をした初めての例ではないかと思われる。

ストックホルムで開催されたセミナーにおける中心的な課題は、放射性廃棄物の処分という不確実性を伴う課題を倫理的側面から考察し、望ましい行動とはどのようなものかを探る、ということであった。そこでの議論における倫理的側面とは、我々現

在の世代が将来の世代に対して負う責任と将来世代の選択権に関わる問題であった。セミナーには、放射性廃棄物の処分関係者、社会問題として議論してきた人々に加え、人文科学、神学、自然科学などの専門家が参加し、幅広い観点から議論が行われた。

### ① 不確実性の考察

報告書では、放射性廃棄物の処分問題に含まれる不確実性を次のように整理している。

- 人間に組み込まれている制約による不確実性
- 社会の進展に関する不確実性
- 環境の進展に関する不確実性

人間に組み込まれている制約というのは人間が本来持っている不完全性のことを指しており、この制約のために起こる誤った判断や行動があることを指している。例えば、システムを建設する際、自らの不完全性を知らず知らずのうちにシステムの中に

表1 柔軟性のある段階的アプローチ

	スウェーデン	スイス	アメリカ <sup>*</sup>	ドイツ
1. 段階の設定	実証処分の段階を導入 ・ 実証処分 (初期操業段階) を行った上でその時点の世代がその後の HLW の取り扱い方法を決定	処分概念検討において段階的実施の導入を提示 ・ モニタリングと廃棄物回収が容易な段階の設定	NAS/NRC の研究において段階的実施の導入を勧告 ・ 柔軟性と穏当な推奨枠組みを提示する適応性ある段階化 (Adaptive Staging) を提示	五段階のサイト選定手順を提案
2. 実証段階、バックアップ施設等の導入とセーフティケースあるいは安全評価	・ 実証処分の段階を導入 ・ 実証段階終了後、処分の安全性の再評価。 ・ 評価結果により、地層処分を継続するか、別の方法を選択するかを、その時点の世代が決定。	実証段階あるいはバックアップ施設の導入を検討 ・ 処分と可逆性の可能性を組み合わせた監視付長期地層処分の建設 ・ 試験施設およびバックアップ施設の建設 ・ 地層処分に先立つモニタリング及び容易な廃棄物回収の段階を想定 ・ バックアップ施設は長期安全性を確認するための主要入力情報を提供 ・ 結果を詳細に評価することは主施設閉鎖の許可を得るための前提条件	適応性ある段階化は実操業の間に経験に基づく学習機会を持つことができ、そのため次の3種の施設を例示 ・ バックアップ施設: 設計・操業の評価・確認と操業経験の主施設への反映用 ・ 試験施設: 不確実性低減と性能向上を目的とした短期/長期科学研究用 ・ 実証施設: 実際の処分場操業の安全に関し利害関係者と公衆の信頼性向上および特定のシステム構成要素の包括的モニタリングのための実証活動用 セーフティケースを管理ツールとして繰り返し評価する	実証段階あるいはバックアップ施設の導入に懐疑的 ・ スウェーデン、スイスで検討された実証あるいはバックアップ施設の導入には懐疑的。(AkEnd 最終報告 43-44 頁に両国を引き合いに言及) ・ サイトを決定する第5段階でセーフティケースを実施
3. 処分方式あるいはAPTの概要	・ 主施設前に実証処分場として建設・操業 ・ 主施設容量の約 10% の実証施設	・ 監視付長期地層処分 ・ 主施設以外に試験施設とバックアップ施設を設置 ・ 試験施設; 操業認可に必要	・ 適応性ある段階化の具現化例。 ・ 報告書の提言では以下の3種類の原位置活動を提示;	サイト選定手続きとして五つのステップを提示。 第1段階: 目標; 特定の最低の要件を満たす地域(areas)を特定。

<sup>\*</sup> NAS/NRC による勧告書であり、実施主体米国内エネルギー省の示す処分概念と一致するものではない。

表1 柔軟性のある段階的アプローチ（続き）

	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分場の操業を〔初期操業〕と〔本格操業〕に区分し、〔初期操業〕で全廃棄物量の10%（400体程度）を定置し、サイトの全体評価を実施し、この結果が好ましい場合、〔本格操業〕段階に移行して、残りの全廃棄物を定置、処分。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>な安全性実証用。サイト特定岩石試験施設として利用可。H<sup>2</sup>イット施設機能の補完用として主施設運開後も操業可能。</li> <li>H<sup>2</sup>イット施設；主施設閉鎖後の長期管理実証用。主施設とは水力的に隔離、主施設操業前に建設・操業。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H<sup>2</sup>イット施設；主施設の専有領域内の1本以上の処分坑道を利用して設置。本施設で設計・操業の妥当性確認後、本格操業。</li> <li>試験施設；主施設と同じ母岩層等類似環境下に設置。但し、処分場健全性確保のため、実廃棄物定置区域とは物理的に区分。</li> <li>実証施設；主施設内に確保された専有区域に設置。主施設閉鎖まで並行操業。実証はH<sup>2</sup>イット段階後に実施のため、H<sup>2</sup>イット施設が実証施設に移行する可能性もあり。</li> </ul> <p>（施設定義は、MIS EKRAとは異なる）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2段階；目標；特定の好ましい地質条件を持つ地域（partial areas）を選定。</li> <li>第3段階；目標；地表からの掘削を行うサイト地域（regions）の特定と選定。</li> <li>第4段階；目標；地下施設掘削のためのサイトの決定。</li> <li>第5段階；目標；サイト決定。安全性の証明（proof）は、次の三つのプロセスにより達成。</li> <li>・ 第3段階の地下調査から得られる地質科学研究の成果。</li> <li>・ 第4段階で行われる安全解析結果</li> <li>・ 第5段階で提供されるセーフティケース</li> </ul>
4. 検討された段階（研究開発、候補サイト選定段階、・・・）	1986~1992 サイト特性調査候補サイト選定前	1997~2000 ・ I&LLW 処分場候補地選定活動段階 ・ HLW の研究開発段階（サイト選定活動前）	2001~2003 この間 2002年7月、ヤッカマウンテンが処分場サイトとして立地承認	1998~2002 サイト特性調査中（ゴアレーベン）

組み込んでしまうことがあるというようなことである。万全を期して構築したシステムであっても、知識の不完全性によってシステムのセキュリティが影響を受ける可能性があることを頭に入れておくことが必要であるということになる。この点を放射性廃棄物処分場に適用して考えると、密封した処分場に対し、いかなる時点でも人間が全く関与できないという概念には、本来的な危険性が伴うのではないかと指摘している。

社会の進展に関する不確実性では、社会の進展を想定する場合の指標は安定性であるとして、その定義を「安定化の要因が弱いか、または弱くなったために、将来ビジョンにおける安定性が不足するという経験」としている。法的強制力に基づく司法制度が社会の安定化要因の中で最も重要な要因の1つであると思われているという一方、ふつうの人々の精神構造が安定化要因の中で最も弱いものの1つであるとしている。個々人の精神構造の集合体としての社会の基本的価値観は、社会の安定を測る要因の中で、最も重要なもので

あるとし、この基本的価値観が次の世代にそのまま引き継がれ維持される場合には社会の進展に対する確実性を高めることができると述べている。

環境の視点から不確実性をみると、そもそも人類の将来の存続でさえ、例えば地球温暖化を考えてみても確実な予測に近いものを行えるためには、多くの不確実要因を処理する必要がある。また、今日我々が講じるあらゆる措置の長期的結果を予測するのは、かなり困難なことである。一方、環境問題というグローバルな課題に比較すると放射性廃棄物処分の問題は限られた範囲の小さな問題とみられもするが、将来世代に配慮する長期にわたる世代間倫理に配慮し対策を講じようとしている、という意味でモデルケースとして位置づけることもできると述べている。

このように環境の進展に関する不確実性に基づく、現時点で望ましいと考えられる結論は、拙速に解決策を決めてしまうことによって将来の選択の可能性を排除してしまうことではなく、「許容可能な」解決

策を考え出すために時間をかける，ということになる，としている\*\*。

## ② 不確実性の存在下での倫理的行動

地層処分に対する1980年代までの世界のおおよそのコンセンサスは，放射性廃棄物の処分は，処分場が閉鎖され密封された後は監視等の負担の必要がなく，将来にわたり安全が確保されるように実施される，というものであった。これに対し，KASAMでは，将来の世代が被るかもしれない全ての想像しうる影響およびそのような状況が存在するという事柄に関し，責任を負うだけの基本的知識がない，ということを経前から表明していた。将来の世代に負担をかけることなく現在の世代が安全性を確保すべきとする意見と，将来世代に対する安全性を完全に保証するだけの基礎的知識がないという状況の間で，倫理的に許される解決策はどのようなものであるかの議論が行われた。

比較的長期間使用されるように製造された製品に対する製品の運転（operation）の安全と保修性（reparable）が，新たな処分場概念のための推論のベースとして提示された。通常の製品に対する安全と保修性の関係を放射性廃棄物の処分に適用して考察する。そうすると，処分の安全性（操業の安全性）とは，予測可能な限り，将来の世代が自ら（人間）またはその環境を廃棄物から保護するための措置を余儀なくされることのないように，廃棄物を処分することができるということの意味する。一方，保修可能性とは，廃棄物の処分の際に我々の世代が犯したかもしれないあらゆる過ちを

将来の世代が修正できるということの意味する，と述べている。

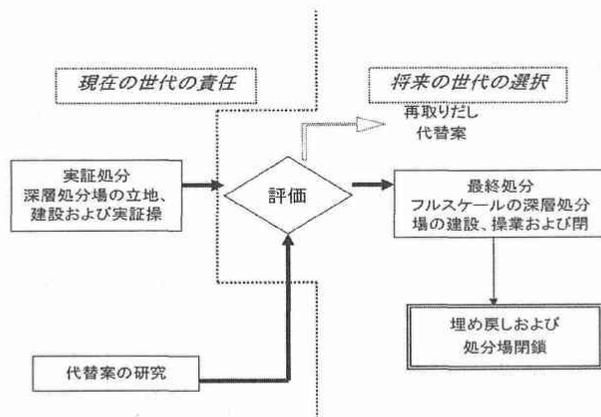
地層処分における保修可能性の議論の背景にある論理は，保修のために処分施設の中に入る可能性もなく，様々なシステムを絶対的に安全と見なすことができるのか，という問題について，異なる専門家には様々な意見があり，それらを完全に一致させることが困難であるというような要因を考慮せざるをえなくなる，ということである。

専門家の合意という側面から見て，保修可能性の必要性に対する合理的な理由がないということだけで，非可逆的な最終処分方法を採用するのは困難であるということが指摘された。しかし，人間の関与を排除する処分の安全性の要求と保修可能性の要求が，部分的には互いに矛盾するということは明らかである。処分の安全性は，少なくともある意味では，密封された処分場を必要とする。一方保修可能性は，やや意味は異なるものの，アクセス可能な処分場を必要とする可能性があるからである。

また，将来世代の知識レベルがどのようになるか，との点からの考察も行われた。放射性廃棄物の処分方法に関する知識が今後ともたえず存在し続けるということを今の時点で完全に保証することはほとんどできない，というのが最初の見方である。この観点に立つと，処分場は，いったん密封されると，安全性の維持を徹底するために，積極的な監視を必要としないシステムを構築するのが現世代の責任ということになる。

反対に，知識の進歩は耐えることなく続き，将来の世代は，安全性をより一層高め

\*\*これはスウェーデンの1980年代後半の事情を反映していることに注意する必要がある。似た状況は他国でも見られる。



(出所：SKB, Background Report to RD&D-Programme 92, Sept., 1992に基づいて作成)

図3 スウェーデンの地層処分における実証段階の導入 (1992年)

ることもでき、また、廃棄物に潜むエネルギー資源の利用を可能にするような新たな方法で放射性廃棄物を処理する能力を有するようになるかもしれない、と考えることができる。このような立場からすると、選択は、将来の当該の世代にまかせればよいことになり、彼らが選択肢間の利点および欠点に関する彼らの評価に基づき選択が行われることになる。これは、現世代が最良と思われる選択をした地層処分については、将来の世代による処分場への関与が可能であるような方法で、処分場が設計されなければならないということを意味する。

このような議論から導きだされた1つの結論は、処分場は、安全性の見地からは将来の世代による管理措置や是正措置を不必要にするが、それと同時に、将来の世代の選択の自由の観点からは管理措置や是正措置を不可能にしないような方法で建設されなければならない、ということになる。言い換えれば、我々の世代は、処分場の保守に対する完全な責任を将来の世代にまかすべきではないが、将来の世代による関与の可能性を否定すべきでもないということ

ある、としている。

以上が、KASAMとSKNにおける議論の概要であり、具体的な技術的および制度的検討にまでは至っていない。しかし、その後スウェーデンの処分実施機関であるスウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB) が作成した研究開発・実証計画92 (RD&D Programme 92) では、KASAMとSKNの報告書の結論を具体化したと見られる段階的に進める処分概念を提示している。(図3)

## (2) スイスの例

スイスでは、高レベル放射性廃棄物の処分に関しては研究開発の段階であり、サイト選定の段階までにはまだ時間がある。当面の課題は原子力発電所で発生した低・中レベル放射性廃棄物処分場の候補サイトの選定問題である。そのためのサイトをニートヴァルデン州のヴェレンベルクに想定し、一般許認可申請が1994年に提出された。しかし、同州の住民が州民投票において、低・中レベル廃棄物のための処分場の候補サイトとしてヴェレンベルクを使用することに反対したことを受けて、1997年に中断

された。ヴェレンベルクのプロジェクトの先行きが不透明であることも一因となり、連邦政府の環境、輸送、エネルギー、情報省（UVEK）は、放射性廃棄物処分の概念を再検討するため、1999年6月に放射性廃棄物処分概念に関するエキスパートグループ（EKRA：Expert Group on Disposal Concepts for Radioactive Waste）の設立を決定した。

### ① 段階的アプローチ

UVEK長官は、EKRAに以下の検討を行うよう依頼した。

「EKRAは放射性廃棄物の処分の異なった概念の比較のためのバックグラウンドを提供する責任がある。グループは特に以下の項目に照らして地層処分、回収可能な監視付長期処分および中間貯蔵を比較するべきである。

- 能動的な安全性と受動的な安全性
- 監視と管理
- 廃棄物の再取り出し」

EKRA設置の目標は、長期の安全性に対する十分な保証に対し疑問が呈されていることから、地層処分に対し、社会の信頼が得られる処分方法はどのようなものかを探ることであった。主な論点は、処分の可逆性、将来の世代をも含む監視と管理という人の関与をある程度含む処分概念に置かれている。

EKRAが提出した報告書<sup>(7)</sup>には、次のような結論や勧告が含まれる。

- ・地層処分は、長期的（10万年程度）な安全性に関する要件を満たす放射性廃棄物隔離を実現するための唯一の方法である。
- ・廃棄物処分に関する社会の要求は回収可能性原則を重視する方向にあり、したがって、長期間にわたり能動的な管理とモニタリングが実施さ

れる地層処分概念が提案される。

- ・能動的な管理とモニタリングを伴う地層処分の概念を考慮にいた、全ての種類の廃棄物を対象とする地層処分をスイスの法律に盛り込む必要がある。

### ② 試験施設とパイロット施設

EKRAの報告書では、いくつかの方法を比較検討した結果、従来の処分場と同様に、長期安全性の要件を満たすと同時に可逆性の必要性を考慮にいれ、かつ段階的なアプローチによる柔軟性のある処分概念として監視付長期地層処分を提案した。この処分概念は、試験施設、パイロット施設および主施設で構成される。試験施設はサイト調査中あるいはサイト調査直後に建設される。操業認可に必要な安全性の実証を達成するために必要なサイト固有の研究を実施するための岩石研究所として、試験施設は利用できる。試験施設は、パイロット施設を補うものとして主施設の操業開始後も操業を続けることができる。パイロット施設には次の機能を持たせることとしている。

- ・人工バリアとニアフィールドの長期間の変化をモニタリングすること
- ・長期安全性を実証するために用いられた予測モデルを確認すること
- ・主施設の閉鎖後の長期の管理を可能にする実証施設の役割

試験施設と主施設の建設段階と操業段階から得られる結果と共に、パイロット施設で得られるデータは長期安全性を確認するための主要な入力データとなる。このようにして得られるデータに基づく詳細評価は、主施設を閉鎖する許認可を得るための前提条件となる。

季報 エネルギー総合工学 第27巻第3号

---

平成16年10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 (6F)

電話 (03) 3508-8894

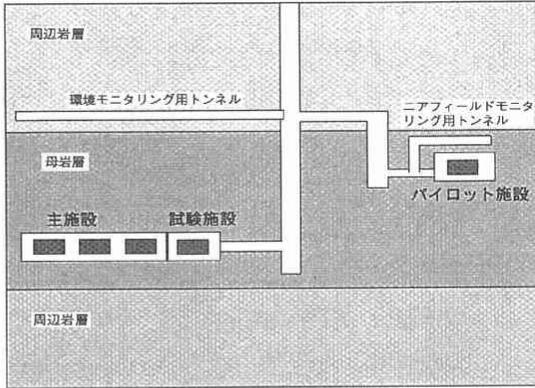
FAX (03) 3501-1735

<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。



（出所：EKRA, Disposal Concepts for Radioactive Waste Final Report, Jan.,2000に基づいて作成）

図4 スイスEKRAの段階処分概念

また、パイロット施設での廃棄物の監視等の調査結果は、安全上の理由から廃棄物を処分場から再取りだしする際の判断の基礎情報を提供することとなる。（図4）

### ③ 処分の可逆性

EKRAの議論においても、スウェーデンの場合のように、廃棄物管理における倫理問題が議論された。EKRAの場合は、将来の世代が廃棄物管理問題を決定する自由を維持すべきであるという基本的な原則については一般的に同意されているが、この原則を解釈して具体化する方法に関しては意見の不一致がある、と述べている。つまり、従来からの処分概念である、子孫に施設のモニタリングを維持するための負担を残さないために、できるだけ早く処分施設の密封をすることが最良であるか？ または、処分システムの変化は常にモニタリングすべきであり、廃棄物へのアクセスを随時可能にしておくことが良いのか？ これらは基本原則という共通の基盤の上にある2つの方向の議論であるとしている。

EKRAの報告書によれば、各世代は処分と処分要件に関する新しい知識を利用する可能性を原則として持つべきであるため、可逆性の原則が処分施設を計画する際に考慮されなければならない、としている。したがって、将来の世代が望む限り、廃棄物定置のプロセスは可逆的であるべきであり、再取り出しは適切な方法により容易にしておくべきであるとされた。

### （3）ドイツの例

ドイツでは、1960年代初頭に、あらゆるタイプの放射性廃棄物を深い地層で処分するという決定が下された。ドイツ全土を対象にした地層調査の結果、ドイツ北部のすべての岩塩ドームが調査検討され、1977年に高レベル放射性廃棄物地層処分のための調査サイトとしてゴアレーベン（岩塩）が選定された。翌1978年にはゴアレーベンで調査が開始され、1993年までに約350mの縦坑2本が掘削された。当時、全国レベルの調査から次第に候補サイトが絞り込まれてきたものの、必ずしもサイト選定のための基準は明らかにされていなかった。

1998年10月に、社会民主党（SPD）と同盟90／緑の党との連立政権が発足し、連邦環境・自然保護・原子炉安全（BMU）相にトリッテン氏（緑の党）が就任して以降、高レベル放射性廃棄物処分のみならず、原子力全般の政策に大きな変更がみられるようになった。連立政権は、原子力発電所の段階的廃止、使用済燃料の再処理の禁止、放射性廃棄物処分場の見直し等を主張した。その中でゴアレーベンサイトに関しては、全ての種類の放射性廃棄物の最終処分にゴアレーベンがふさわしいかという問題は、多くの専門家の間で論

争を呼び、BMUは、腐食または劣化による気体を通じた放射性核種の放出などゴアレーベンサイトに処分場としての技術的適合性に関する疑念があることを理由に調査作業を中断した。

連邦政府は、原子力法の修正ならびに放射性廃棄物管理の新たな計画の開発を開始した。一方で、放射性廃棄物処分の分野では、異なる母岩層におけるサイトの適合性も調査しなければならないとする技術に加え、サイト選定手続きも重要であることを指摘した。このため連邦政府は、2030年ごろに全ての種類の放射性廃棄物のための単一の処分施設をドイツ国内に建設することを新たな目標にし、サイト選定の見直し作業に入った。

BMUは、放射性廃棄物最終処分サイトを選定するための作業委員会AkEnd (Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte) を設立した。その任務は、科学的基準に基づく包括的な最終処分サイト選定手順を作成することであった。

連邦政府と電力会社の2000年6月14日付け合意では、ゴアレーベンサイトの調査は、概念的問題・安全関連問題が明確化されるまで、最低3年間、最高10年間中断されることとなった。

### ① 段階の設定とサイト選定段階における安全性の証明 (proof)

AkEndの最終報告書<sup>(8)</sup>では、サイト選定手続きが次の5つのステップで進められることが提言された。

第1ステップ：特定の最低の要件を満たす地域 (areas) を特定する。

第2ステップ：特定の好ましい地質条件を持つ地域 (partial areas) を選定する。

第3ステップ：地表からの掘削を行うサイト地域 (regions) の特定と選定

第4ステップ：地下施設掘削のためのサイトの決定

第5ステップ：サイト決定

第3から第5のステップでは、場合によっては後戻りすることも考慮している。

安全性の証明 (proof) は、次の3つのプロセスにより達成されるとしている。

- ・ 第3段階の掘削調査計画のための地下調査から得られる地質科学研究の成果
- ・ 第4段階で行われる安全解析の結果
- ・ 第5段階で提供されるセーフティ・ケース

従って、長期安全性評価のための基本原則、およびその予測の信頼性は、立地の手続き期間中に提示されねばならないこととされた。AkEndの主張は、立地の判断ミスが明らかになるのは、長期間経過した後であり、その場合の是正は難しい。従って、サイト選定手続き、および特に長期安全性の証明の手続きが重要になるというものである。

スウェーデンおよびスイスで議論された「段階的手続きは、市民による検証のための基本的要件である」とするアプローチに対しては疑問を投げかけ、スイスのようにかえって立地の初期の段階で頓挫してしまう可能性のあることも指摘している。

### ② 安全性への信頼と可逆性

AkEndの報告書では、回収可能性が処分場の長期安全性の見地から、および母岩の違いによる技術的実現可能性、の2つの面から検討されている。

まず、回収可能性が、サイト選定手続検討の次の2つの安全性の見地からの原則と整合している必要があるとしている。

- ・サイト選定手順の策定に関しては、地質バリアがもっとも重要な基準である。
- ・サイト選定手順は、長期安全性の観点から特に地質学的に総合的な好ましい特性を持つ区域、地域、およびサイトを特定するのに合致したものであること

これらの原則に従えば、処分場の長期安全性は注意深く選定された受動的かつ修復措置が必要とされない安全システムに基づいて達成されることになる。廃棄物への接近を容易にする回収可能性の段階がなければ、受動的で安全な処分場が早期に実現される。これは従来からの考え方である。

AkEndは、サイト選定のために回収可能性がどのように考慮されなければならないか、もしそうであるとすればどのようにすればよいか、ということを確認するための検討を行っている。長期安全性と回収可能性の両要件をそれぞれ満足する岩の特性は両立しないものであることから、サイト選定に対し回収可能性を初期の段階で優先して考慮することは、総体的にみて余り好ましくない地質特性を有する区域、地域あるいはサイトに集中してしまう恐れもあると述べている。従って、AkEndは、サイト選定手順を検討する段階で処分場からの廃棄物の回収可能性を考慮する理由はないとしている。

しかし、サイト選定のための手順を検討し適用する段階で回収可能性の考慮を除外することが、サイトの最終決定において回収可能性が考慮されないことを意味するものではないとも述べている。サイト選定の最終段階では、複数の候補サイトの中から回収可能性の点からも好ましい条件を備え、かつ受動的な安全にとって好ましい条件を持つサイトを選定することは可能であ

る、としている。

処分の基本概念は、能動的な管理を必要としない受動的なシステムとして安全を確保することと考えられている。回収可能性は、その受動的システムに移行した後も鉱山掘削技術を用いれば可能であるとしつつも、主に対象として考えられているのは、処分場を埋め戻すまでの期間であると考えられていると理解される。

#### (4) アメリカの例

米国エネルギー省 (DOE) からの支援に基づいて、米国科学アカデミー/米国研究協議会 (NAS: National Academy of Sciences/NRC: National Research Council) の放射性廃棄物管理委員会 (Board of Radioactive Waste Management) の元に設置された「段階的処分場システムのための原則と実施戦略に関する委員会」(Committee on Principles and Operational Strategies for Staged Repository Systems, 以下「段階検討委員会」と称す) によって2001年から2003にかけて検討され、作成された報告書「ONE STEP AT A TIME 高レベル放射性廃棄物の地層処分場の段階的開発」<sup>(9)</sup> における議論の概要を紹介する。

この間に米国では、DOEが大統領に対し使用済燃料の処分サイトとしてヤッカ・マウンテンを推薦したのに応え、議会決議を経て2002年7月に大統領は議会決議案を承認した。

この研究を諮問することとなった2000年時点では、ヤッカ・マウンテンでのサイト特性調査が終盤にあり、DOEが大統領へ同サイトを処分場サイトとして推薦する直前の段階にあった。その時点でDOEは、処分

場の設計、建設、操業および閉鎖に関し段階的なアプローチを適用することを検討していた。全米研究協議会へ諮問を求めた書簡において、DOEは次のようにその動機を述べている。

「エネルギー省が安全、確実、費用効果的で、かつ社会的に受け入れ可能な方法で処分場の設計、建設、操業、閉鎖を行うことに対して段階を設定するという戦略について全米研究協議会からの諮問を受けることは非常に有用であると考え。… 処分場に関する段階設定の考え方は、米国やその他多くの国の処分場プログラムで注目を集めてきているものの、操業という意味では十分な理解がなされていない。……」

しかし、段階設定が有利だということも非常にはっきりとしている。技術的観点からみると、段階を設けることにより処分場プログラムの全期間において継続的な調査や改善を行う機会が与えられる。社会的観点からみると、段階を設けることにより安全で確実な廃棄物処分を提供するだけでなく、社会に対してチェックアンドバランスのシステムを働かせて問題を見だし、必要に応じて是正措置を取ることも可能になる。

このようなDOEの要請に対し、NAS/NRCでは次の作業内容を設定した。段階検討委員会が検討対象にした段階の設定は、立地から閉鎖後の段階に至る地層処分プログラム全般であった。

1. 段階設定した処分場システム開発の技術的、政策的、社会的目的とリスク。
2. 段階設定が閉鎖前、閉鎖後の安全や安全保障、さらに費用、パブリック・アクセプタンス、処分場の操業等に与える可能性のある影響。
3. 設計戦略、段階設定した処分場の建設、埋め戻し、閉鎖に対する戦略、監視・確認対象を含めた閉鎖前後の段階における処分場の性能を確認する

ための監視戦略等を含む、段階設定された処分場システム開発に対する戦略。

4. 設計、監視、性能確認能力の改善を図るために示さなければならない知識ギャップの特定。
5. 段階設定した処分場システムと許認可プロセスの間で共存できない可能性の特定、およびそれを解決するための戦略。

### ① 適応性ある段階化

処分場候補地が決められ、明確に決められた処分実施という最終目標に向けて、事前に決められた道筋とスケジュールに従って管理プロセスを進める従来の方式（線形的段階化：Liner Staging）と比較して、より柔軟で実効性のある「適応性のある段階化（Adaptive Staging）」を提言した。適応性のある段階化とは、柔軟性を持ち、実施者に対し、プロセスの途中でも安全、環境影響、費用、スケジュール等様々な要素に関し、見直しや改善すべきところが抽出できるように構築されるプロセスである。従って、処分実施に至るおおよそのプロセスは決められているが、最終的な道筋は最終処分にいたる議論の課程で集積される知識や経験により徐々に明らかにされていく。つまり、前の段階の結果に従って次の段階が予測されるという段階的な決定に基づく柔軟なプロセスである。適応性ある段階化の特徴は次の7点にあるとしている。

- (a) 系統的な学習（systematic learning）
- (b) 柔軟性（flexibility）
- (c) 可逆性（reversibility）
- (d) 透明性（transparency）
- (e) 監査可能性（auditability）
- (f) 誠実さ（integrity）
- (g) 応答性（responsiveness）

## ② 適応性のある段階化と安全性に対する信頼（セーフティ・ケース）

適応性ある段階化では、技術的にも社会的にも継続的な学習に重点が置かれていて、新しい知識に対応して科学面および管理面で再評価をし、対応していくことを可能にする、柔軟かつ慎重な意思決定が行われる。他の報告でもみられるように、NAS/NRCも地層処分場の安全性を説明しその信頼を高めるためのツールとしてのセーフティ・ケース<sup>\*\*\*</sup>の有用性を指摘し、セーフティ・ケースを繰り返してゆくことが、地層処分場に対する適応性ある段階化の中心であるとしている。さらにNAS/NRCでは、地層処分プログラムにおける安全文化（safety culture）<sup>\*\*\*\*</sup>の主要な部分が、セーフティ・ケースであり、処分場開発の間中実施者の活動に指針を与え、また広範にわたる人々と安全について意思疎通を図るための管理ツールであるとしている。また、実施機関は、許認可申請のための要件にセーフティ・ケースが含まれていない場合でも、実施機関はセーフティ・ケースを開発する責任があるとも述べている。

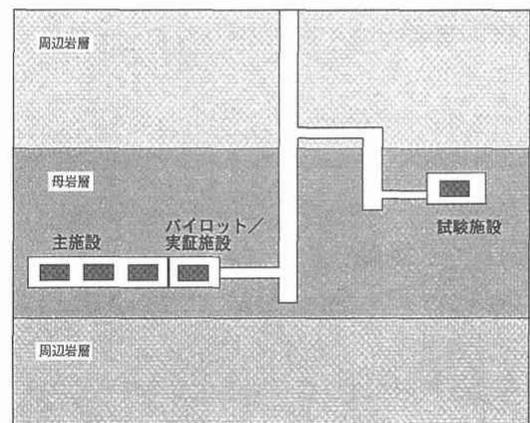
報告書では、セーフティ・ケースの重要な特徴を次のように述べている。

- (a) どのようにして安全が達成されるかについて（非専門家に対して）理解可能な説明を含むこと、
- (b) 性能評価の基になる前提と概念について論じること、
- (c) 安全性を決定付けるプロセスおよび事象の科学的理解の際の限界からくる不確実性を直接論じること、

(d) 処分場システムあるいはその個々の構成要素の安全に関わる挙動についてその妥当性をサポートする、他の非定量的論拠（歴史的アナログやナチュラルアナログといった独立した別のエビデンスとの比較）を用いることが可能であること。

適応性ある段階化の各段階においてセーフティ・ケースを繰り返して評価することにより例えば、以下のような機会が与えられることを指摘している。

- ・プログラムが安全でない方向に導かれるようなことを防ぐ。
- ・公衆の懸念の基になる未解決の安全にかかわる課題に対処するための安全戦略についてその適性を確認する。
- ・処分場の安全性能を決定する特性やプロセスに関する新たな知見を取り込む。
- ・信頼を高め得る社会的レビューに対する要求を満たす。



（出所：NAS/NRC, One Step At A Time, 2003に基づいて作成）

図5 アメリカNAS/NRCの段階処分概念

<sup>\*\*\*</sup>処分場の長期安全性を裏付けるために、処分場開発の各段階で繰り返され、再確認される議論を集めたもの。

<sup>\*\*\*\*</sup>安全をあらゆる実施、手順、管理上の選択に組み込んで統合化することを意味する。

## 4. 考察

高レベル放射性廃棄物の処分事業の目標は、第1に安全な処分の実施である。諸外国の例からは、事業が長期にわたり、不確実性を含みかつ事前に提示する処分の安全の厳密な意味での実証が不可能な事業について、人々の信頼を得るためにはどのような概念を用意し、どのような進め方をすればよいか、ということが大変重要であることがわかる。ここで紹介した諸外国の例は、具体的な議論にはそれぞれ国別の課題がみられるものの、議論・検討の根本には処分事業あるいはその安全に対する信頼を如何に得ていくか、という大きな課題があることを示している。

ここでは、紹介した国の検討事例で共通してみられた、柔軟性のある段階的アプローチと安全の提示方法としてのセーフティ・ケースについて考察する。

### (1) 柔軟性のある段階的アプローチについて

現世代の果たすべき責任と将来世代の選択に関する議論では、廃棄物を発生させる現世代が、将来世代に技術などの資源を引き渡してゆくことと、将来世代が、被るであろうリスクの負担を最小にする技術と方策を選択することを可能にすることにより、「世代間の公平」を達成する、という認識が処分領域の専門家の間では定着している。このことは、処分場は、安全性の見地からは将来の世代による管理措置や是正措置に頼らないものとする必要があるが、それと同時に、将来の世代の選択の自由の観点からは管理措置や是正措置を不

可能にしないような方法で建設されねばならないことを意味する。可逆性を含む段階的なアプローチは、この基本理念を実現するための現時点での唯一の方法であると思われる。スイスの例のように、将来の人々が安全の確認をするためのパイロット施設を主施設とは別に設置する処分概念は、この考え方を反映した概念であるとも考えられる。また、スウェーデンのように、処分事業の時系列の中に実証段階を設けることにより一定の廃棄物量の実処分状態を確認した上で再度安全評価を行って次の段階に移行するという段階的進め方もある。さらに、現実の処分の状態を考えると、処分場へ廃棄物を搬入してから相当の期間は、処分状態の環境に移行した区域と操業が行われている区域が共存する状態が続く。数十年間続くこの期間では、初期に処分状態の環境に移行した区域について、実質的にモニタリングなどを行い、処分の安全性を確認することが可能になる。この間に得られる新しい知見やデータにより、再度安全評価を行い、処分場を完全に閉鎖し、無管理状態へ移行するか、別の選択をするかの判断の機会を提供することができる、また、将来の人々が別の取り扱いのための研究開発をしようと思えば、そのための十分な時間を提供することにもなる。

以上のように、長期間にわたる処分事業では、科学、技術の進展、社会の要請の変更など様々な状況が想定される。そのような場合、アメリカの科学アカデミーの報告書で述べているように線形的な段階化のアプローチでは適切な対応が困難であり、様々な状況に対応することを可能にする適応ある段階化のアプローチ（柔軟性のある

アプローチ)の採用が必要である。この柔軟性のあるアプローチでは、選択した方法による地層処分以外の方法を採用することも考えられることから、現世代が柔軟性あるアプローチを採用する場合、現世代が、実効性があり実現の可能性がゼロではないと考える他のオプションについても研究開発、あるいは検討が進められている必要がある。今後、地層処分事業の進展にあわせて社会の様々なグループの人々と対話を重ねていく中で、オプション間の相互比較を経た上で選択される、社会が最良と考える最終方策は、広く社会の持続的なコンセンサスを得ていくことになると思われる。

## (2) 段階的アプローチとセーフティ・ケース

段階的なアプローチの検討の背景およびその内容は、スウェーデン、スイス、ドイツ、およびアメリカの科学アカデミーの研究で、それぞれ少しずつ異なる。しかし、不確実性を含む長期事業に対する妥当な判断の示し方、という面からみると、第一義的にそれは安全性の確保とそれに対する社会あるいは人々の信頼であり、諸外国の検討例をみるとまず事業者が示す内容が基準等に照らして妥当か否か判定されることはもちろんのこと、安全性が広く関係者の間で理解されることが必要であるとされていることがわかる。そのための枠組みや手法を準備することが必要であるが、今のところそれほど体系立てている国はないのではないかと思われる。段階的アプローチの中で、例えばセーフティ・ケースを管理ツールとして用い、安全性について関係者による対話が繰り返され、しかも信頼度が時間

の経過に従って次第に高められていく、という方法が有効であるということが指摘されている<sup>(10)</sup>。

安全の完全な意味での実証が不可能であることに對し、安全への信頼、および将来世代の選択権、という内容の異なる2つの要件に對し、現世代はその計画の中で何を留意すれば良いか、という課題がクローズアップされた。

安全への信頼の点については、安全評価を中心に、安全の論拠を示す事例や制度構築などによって総合的に安全性を示し、社会の信頼を得る努力の必要性が指摘された。これは今日セーフティ・ケースという用語でまとめられて、国際機関あるいは各国において議論が進められている。セーフティ・ケースは、IAEAとNEAの定義<sup>(11)</sup>によれば、「地層処分施設の、安全を記述、定量化し、および実証する主張と証拠の統合したものであり、安全の信頼度の水準を示すもの」である。処分場開発は段階的に進められ、安全性の評価に必要とされるデータや関連する施設設計も徐々に明確にされていく。ある段階から次の段階へ進めるための決定ではその段階におけるセーフティ・ケースを判断根拠としてなされることも想定される。判断にあたっては、不確実性が存在する場合のシステム全体の安全に對する信頼が重要になる。セーフティ・ケースでは次の内容が含まれている場合、判断のための資料たりうるとされている<sup>(12)</sup>。

- ・評価基準の作成の現状と性能評価の結論、そうした結論によって示された安全裕度に対してどの程度の信頼が得られているかという評価についての説明
- ・信頼を達成するために採用されたアプローチな

らびにそうした信頼の公式な声明についての説明

・将来の開発段階に関する評価基準へのフィードバックと安全戦略の確認

各段階で判断されるべきことの内容を明確にして、そのためには何をどこまで用意して示すか。さらにその次の段階の終了時点で示す結論のために必要な計画を示していくことが不可欠になる。

実施主体がセーフティ・ケースを事業管理のためのツールとして用いることには、不確実性を含む事業を如何に信頼のあるものであるかを示していくか、その取り組みに対する実施主体の姿勢を示すという意味でも、価値がある。その取り組み姿勢に対する理解が得られることから信頼の一步が始まる。従って、実施主体は、セーフティ・ケースの最終形の骨格と各段階において限られた情報の中でどのように安全を示してゆくか、その考え方を早急にとりまとめ、まず専門家の中で合意をとり、それに基づいて広く社会の合意を得ることが必要であると考ええる。

#### 参考文献

- (1) OECD/NEA, "Can Long-term Safety be Evaluated?" 1991
- (2) IAEA, Safety Series No.111-F, "The Principle of Radioactive Waste Management," 1995
- (3) 原子力発電環境整備機構, 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性, 2004年3月
- (4) 原子力発電環境整備機構, 概要調査地区選定上の考慮事項, 2002年12月
- (5) 原子力発電環境整備機構, 処分場の概要, 2002年12月
- (6) KASAM/SKN, "Ethical Aspects on Nuclear Waste, Some Salient Points Discussed At A Seminar On Ethical Action In The Face Of Uncertainty In Stockholm," Sweden, September 8-9, 1987, SKN Report 29, 1988
- (7) EKRA, "Disposal Concepts for Radioactive Waste, Final Report," January 2000
- (8) AkEnd, "Site Selection Procedure for Repository Sites, Recommendations of the AkEnd," December 2002
- (9) NAS/NRC, "One Step At a Time," 2003
- (10) OECD/NEA, "The Environmental and Ethical Basis of the Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Waste," 1995
- (11) OECD/NEA, "Post-Closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose," 2004
- (12) OECD/NEA, "Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories - It's Development and Communication," 1999

## 研究所のうごき

(平成16年7月2日～9月30日)

### ◇ 第20回評議員会(臨時)

日時：7月21日(水) 12:00～12:15

場所：経団連会館(9階) 902号室

議題：

- 第一号議案 役員の一部改選について
- 第二号議案 評議員の一部交替について

### ◇ 第10回賛助会員会議

日時：9月17日(金) 16:00～19:00

場所：経団連会館(9階) クリスタルルーム

議題：

- 1. 平成15年度事業報告および収支決算
- 2. 平成16年度事業計画および収支予算
- 3. 講演  
「原子力エネルギーの長期展望」  
(Rエネルギー総合工学研究所 研究理事 松井一秋)

### ◇ 月例研究会

#### 第226回月例研究会

日時：7月30日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

- 1. 日本の電気事業制度改革  
ー現在の状況の紹介ー  
(R電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員 丸山 真弘 氏)
- 2. 欧米での電力自由化動向  
(S海外電力調査会 企画部 主席研究員 東海 邦博 氏)

#### 第227回月例研究会

日時：8月27日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館5階 501・502会議室

テーマ：

- 1. バイオマスの全面的利用の可能性ー木質資源との付き合い方を考えようー  
(東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 教授 鮫島 正浩 氏)
- 2. 木質バイオマスの利用技術の動向  
(バイオエネルギー・コンソーシアム 運営委員長 城子 克夫 氏)

### ◇ 主なできごと

- 7月12日(月) ・第1回「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」技術開発推進委員会
- 14日(水) ・原子力水素研究会
- 23日(金) ・第1回エネルギー経済環境予測

- 8月19日(木) ・検討委員会
- 30日(月) ・第1回水素の革新的技術に関する調査・研究委員会
- 31日(火) ・第2回高温ガス炉プラント研究会
- 9月8日(水) ・第1回長期エネルギー技術ビジョン等に関する調査ミニワークショップ
- 9日(木) ・電力・ガス総合技術検討会(準備会)
- 10日(金) ・電力・ガス総合技術検討WG(準備会)
- 22日(水) ・第20回エネルギー総合工学シンポジウム「21世紀のエネルギー戦略と水素等の次世代燃料製造技術」
- 24日(金) ・原子力水素研究会
- 検討委員会
- 第1回水素の革新的技術に関する調査・研究委員会
- 第2回高温ガス炉プラント研究会
- 第1回長期エネルギー技術ビジョン等に関する調査ミニワークショップ
- 電力・ガス総合技術検討会(準備会)
- 電力・ガス総合技術検討WG(準備会)
- 第20回エネルギー総合工学シンポジウム「21世紀のエネルギー戦略と水素等の次世代燃料製造技術」
- 原子力水素研究会
- 第2回エネルギー経済環境予測検討委員会

### ◇ 人事異動

○7月31日付

(出向解除)

村上 純一

プロジェクト試験研究部  
主任研究員

(退職)

五十嵐和子

エネルギー技術情報センター  
兼 プロジェクト試験研究部  
研究員

○8月1日付

(出向採用)

伊藤 学

プロジェクト試験研究部  
主任研究員

○9月30日付

(出向解除)

当麻 潔

プロジェクト試験研究部  
主管研究員

波多野 守

プロジェクト試験研究部  
主管研究員

## 編集後記

本号はバイオマスエネルギーを集中的に取り上げました。ご覧いただきましたようにその目玉の座談会においては、同テーマの各分野における指導・推進役の立場の方々（大学から内山洋司教授，経済産業省から荒木由希子課長，農林水産省から藤本潔室長，NEDOから田島正喜主任）に集まっていたいただきました。平成14年12月の閣議決定による「バイオマス・ニッポン総合戦略」以降，あらゆる方面で取り組みが行なわれています。しかし，バイオマスは廃棄物とは異なり収集システムが確立していないこともあって，その利用拡大が自然と進展することは困難で，そのため収集面と利用技術面における政策と技術の取組みが鍵を握ると見られます。その意味で，今回の座談会は，今後各方面で本テーマの推進を考えられる際の重要なヒントを与えるものと思われま

す。続いてのテーマとしては，鮫島正浩教授から「森林バイオマスの全面的利用の可能性」，城子克夫氏より「木質バイオマス利用技術の動向」，当所奥田誠主管研究員より「木質系バイオマスによる小規模分散型

高効率ガス化発電システムの開発」と，いずれも今回は木質バイオマスを中心に取り上げました。

この夏は各地で最高気温（東京で39.5℃），連続真夏日記録（東京で40日間）が過去最高となり，また局地的な大雨と頻発する台風の到来に見られますように，何か異常を感じさせる暑い夏でした。特に災害の被害に遭われた方々の苦しみと忍耐は，如何ばかりかと思ひ察せられま

す。その異常の原因を温暖化によるものとするのは早計であるとしても，新たな二酸化炭素を発生しないバイオマス燃料の利用拡大は，二酸化炭素吸収効果が期待される森林保全とともに，今後益々重要になるものと思われま

す。同じ熱さでも，去る10月3日に大リーグのシーズン最多安打記録（257本）を塗りかえ，通算262本で今期有終の美を飾ったイチローの弁のように「熱く燃えた」という「熱さ」は，見るもの聞くものにも感動を呼び起しましたが，温暖化による熱さは，やはり勘弁願いたいものです。

編集責任者 小川紀一郎