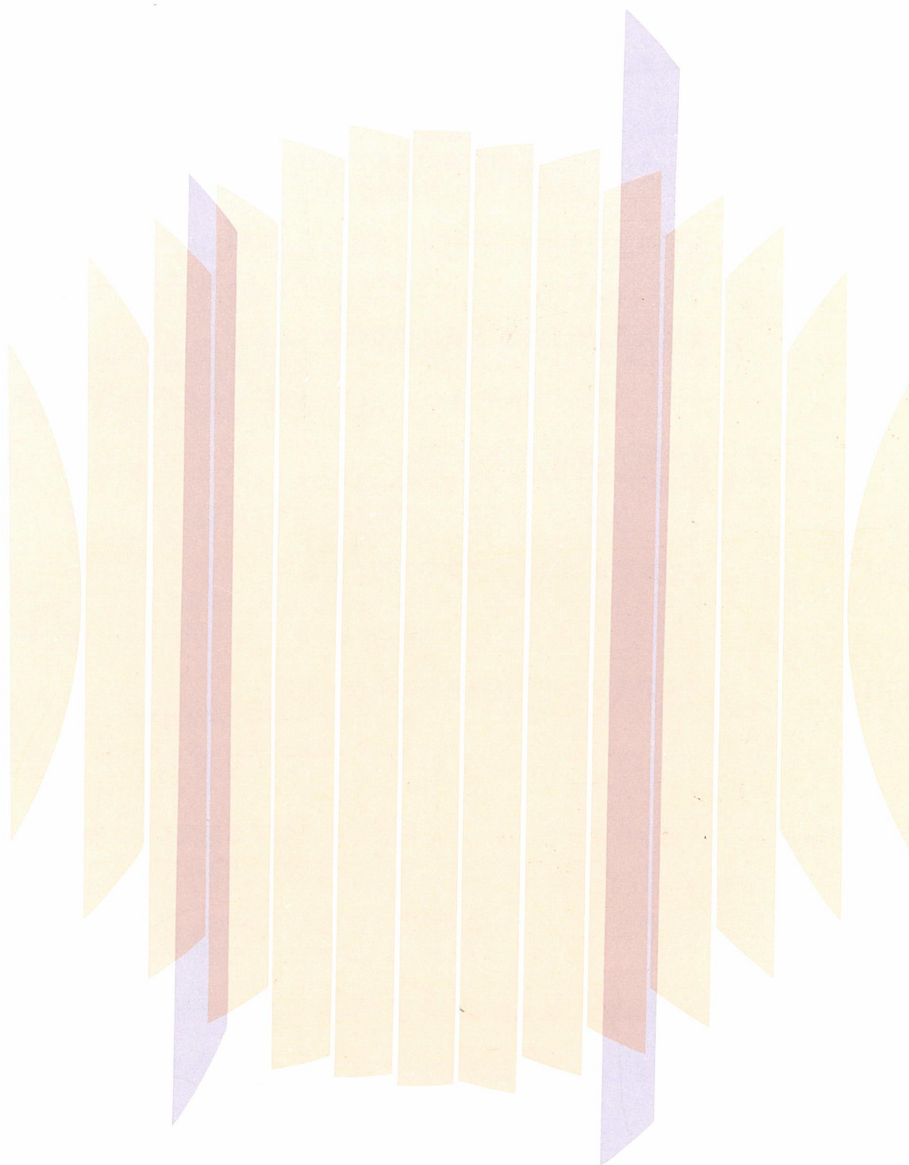


季報 エネルギー総合工学

Vol. 25 No. 1 2002. 4.



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

目 次

【巻頭言】	燃料電池と100人の村 東京ガス株式会社 常務取締役R&D本部長 小 林 剛 也 …1
-------	--

-----〔第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー特集〕-----

【基調講演】	総合資源エネルギー調査会, 新エネルギー部会報告書の意義と要旨 東京農工大学大学院教授 新エネルギー部会長 柏 木 孝 夫 …3
【講演】	再生可能エネルギーの現状と廃棄物発電への期待 (株)三菱総合研究所 主任研究員 金 田 武 司…12
【講演】	高度循環型社会構築と環境負荷低減への展望 京都大学名誉教授 立命館大学エコ・テクノロジー研究センター長 平 岡 正 勝…24
【講演】	廃棄物処理施設建設の問題点と PA（パブリックアクセプタンス）のあり方 福岡大学 資源循環・環境制御システム研究所教授 長 田 純 夫…34
【講演】	高効率廃棄物発電技術開発の取り組み 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー・環境技術開発室 副主任研究員 檜 本 博 也…41
【講演】	先進型廃棄物発電技術開発の現状と課題 (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…51

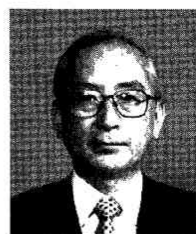
【内外情勢紹介】	京都からマラケシュへ：京都議定書に関する国際交渉の概要 (財)電力中央研究所 経済社会研究所 主任研究員 杉 山 大 志…61
【技術解説】	核燃料サイクルと分離・核変換技術開発の動向 プロジェクト試験研究部 主管研究員 毛 呂 達…71
【事業計画】	平成14年度 事業計画の概要 (財) エネルギー総合工学研究所 …84
【行事案内】	第19回エネルギー総合工学シンポジウム ……………88
【研究所の動き】	……………89
【第24巻通巻目次】	……………91
【編集後記】	……………95

巻頭言

燃料電池と100人の村

東京ガス株式会社 常務取締役

R & D本部長 小林 剛 也



1次エネルギーの歴史を振り返ってみると、人類はその進化とともに、手に入れやすいエネルギーから使いやすいエネルギーへと、具体的には、固体の薪・石炭、液体の石油から気体の天然ガスへと、科学的には、よりC/Hの低いエネルギーへとシフトしてきています。

この傾向は21世紀も続き、今世紀後半には水素の時代がやってくるのではないかと私は想像しています。

一方、2次エネルギー、特に家庭用については、今後も電化傾向が続くでしょう。電気のような質の高いエネルギーへのシフトは、エネルギーのノーブルユースの観点からも必然と言わざるを得ません。しかし、いくら使いやすいエネルギーだからといっても、いきなりジュール熱として消費するのではなく、その質の高さを活かし、ヒートポンプの動力など仕事量の稼げる用途に優先して利用すべきと考えています。

現在、東京ガスでは、「2007年までに37%以上の発電効率」を目標に、固体高分子型燃料電池システムの開発に注力しています。燃料電池のようなオンサイト電源は、廃熱の利用により高い総合効率を得ることができますが、我々はエクセルギー的価値向上の視点から、発電効率にこだわって開発を進めています。

また、燃料電池の運転方式については、ガス会社だけの論理で考え

ると、技術的なハードルが低い24時間連続低容量発電方式という選択肢もあります。しかし、社会的な最適解のためには、起動・停止を伴うために技術的なハードルが高いものの、廃熱を有効利用できる範囲内で発電する熱主電従方式を実用化し、エネルギーシステム全体の総合効率の極大化を目指すべきと考えています。

最近、「世界がもし100人の村だったら」というインターネットから生まれた現代の民話が話題になりましたが、その中に「すべてのエネルギーのうち、20人が80%を使い、80人が20%を分けあっている」というくだりがあります。

東京ガスは、常にチャレンジャーとして志を高く持ち、大規模集中発電と小型分散発電とのベストミックスを目指すことにより、エネルギーに関する社会的な最適解を求めるPath Finderであり続けたいと考えています。そしてそのことが、とりわけ80人、さらにはこの民話の聞き手である世界中の子供たちのために課せられた使命である、と考えています。

〔基調講演〕

総合資源エネルギー調査会， 新エネルギー部会報告書の意義と要旨*



柏木 孝夫

（東京農工大学大学院教授
総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会長）

はじめに

新エネルギーへの期待

まず初めに申し上げますが、新エネルギー—再生可能系や自然エネルギー系、廃棄物系—は絶対量としてはそれほど多くはありません。しかし、これからのエネルギー需要の伸びに対する補填率、どのエネルギー源が需要の伸びを補填していくかということになりますと、伸びが非常に大きい新エネルギーが有望だと考えています。

また現在、京都議定書が批准されつつあるわけですが、同議定書は90年レベルの温室効果ガス発生量を容認し、それに対して伸びた分をどうするかという考え方を採用しています。この京都議定書の批准を考えた時、新エネルギーの導入・普及は、極めて効果的な1次エネルギー源として位置づけられると私は思っています。

〔略歴〕

1970年東京工業大学工学部卒業。1979年同大より工学博士号取得。

1980年米国商務省NBS招聘研究員。1983年東京工業大学工学部助教授。1988年東京農工大学工学部教授。1992年名古屋大学非常勤講師。1996年九州大学教授を併任。2000年東京農工大学大学院教授。

現在、経済産業省総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会長。(社)日本機械学会フェロー・評議員。(社)日本冷凍空調学会副会長。(財)省エネルギーセンター評議員。(財)ヒートポンプ・蓄熱センター評議員。日本太陽エネルギー学会理事。(社)日本エネルギー学会理事。

専門は環境・エネルギーシステム工学、冷凍・空調調和、応用熱力学。

環境制約下のエネルギー政策

省エネ、新エネ、燃料転換が柱

環境制約下のエネルギー政策となりますと、今までは主に国内のエネルギーセキュリティをベースとしていましたが、これからは環境という新しいファクターを組み込んだ地球規模でのエネルギーセキュリティを考えなければ

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」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。

ばならないことに加え、市場経済のあり方にまで踏み込まなければなりません。経済性を最優先すれば「新エネルギー」のような高価格のものが温室効果ガス抑制の手段として採用されるわけではありません。

これらの背景を踏まえ、平成13年7月に出された総合資源エネルギー調査会の報告書「今後のエネルギー政策について」が公表されましたが、この報告には3つのポイントがあります（表1）。1つは「省エネルギー」。5,700万kl相当です。同報告書は経済成長率を2%と仮定しています。2%が少し落ちてくれば「省エネルギー」目標の達成はもう少し楽になります。2番目が「新エネルギー」で、国産エネルギーによる目標達成を目指しています。省エネと新エネの2つは並行して、優先的に進めてくれということです。それらをまず進めた上で、3番目は燃料転換だと言っています。その背景には電力自由化の論議が始まっていることがあります。カリフォルニア州での電力危機のこともあり、最近、電力自由化が思ったほど進まないような気配も多少あります。しかし、長期的に見れば、やはりこれだけ閉塞感のある日本経済ですから、電力市場の自由化による新ビジネスの創造という方向に進むものと思います。

現在15～16兆円ある電力市場が完全に自由化されれば、いろいろな産業が出てきます。プロバイダーやパワーマーケットなどのようなビジネスが現れ、電力取引が活発化したり、地球温暖化防止に資する新エネルギービジネスなども出てきます。取引も証券取引のようにインターネット上で行われるようになり、リスクは取らないけれど、売り手と買い手を引きあわせるというブローカーも出てく

表1 総合資源エネルギー調査会の答申
—3つのポイント—

- | |
|------------|
| (1) 省エネルギー |
| (2) 新エネルギー |
| (3) 燃料転換 |

るでしょう。そういういろいろな業種が出てくると、電力産業は7～8倍に膨らみ100兆円産業になると言われています。これからのわが国の経済の再生を考えれば、やはり規制で守られていた業種はだんだん自由化されていく方向に向かわざるを得ないのではないかと思います。

自由化ということになり経済性が最優先される傾向になりますと、間違いなく石炭火力が多くなる。そうすると、京都議定書で約束した温室効果ガス排出量の抑制目標は達成できない。そこで、自由化の波の中にグリーンをどう乗せていくかという、グリーンオンサイトビジネスなどが市場性を得てゆくだらうと思っています。

新エネ導入促進に向けて

新エネ部会での3つの審議ポイント

新エネルギー部会は平成11年12月から始まり、延々1年半審議し、「新エネルギー部会報告書」（平成13年6月）をとりまとめました。新エネルギー導入目標（表2）に関する審議のポイントは3つです。

まず、雪氷やバイオマスとかをきちんと位

表2 新たな新エネルギー導入目標

① 供給サイドの新エネルギー

	1999年度実績		2010年度見通し/目標				2010 /1999
			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)	原油換算 (万kl)	設備容量 (万kW)	
(発電分野)							
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
(熱利用分野)							
太陽熱利用	98	—	72	—	439	—	約4倍
未利用エネルギー (雪水冷熱を含む)	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。

② 再生可能エネルギー

(単位：原油換算百万kl)

	1999年度実績	2010年度見通し/目標		2010 /1999
		現行対策維持ケース	目標ケース	
新エネルギー供給計	7	9	19	約2.7倍
水力(一般水力)	21	20	20	約1倍
地熱	1	1	1	約1倍
再生可能エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給/構成比)	29 (4.9%)	30 (4.8%)	40 (7%程度)	約1.4倍
一次エネルギー総供給	593	622	602程度	

③ 需要サイドの新エネルギー

	1999年度実績	2010年度見通し/目標		2010 /1999
		現行対策維持ケース	目標ケース	
クリーンエネルギー自動車 (※1)	6.5万台	89万台	348万台	約53.5倍
天然ガスコージェネレーション (※2)	152万kW	344万kW	464万kW	約3.1倍
燃料電池	1.2万kW	4万kW	220万kW	約183倍

(※1) 需要サイドの新エネルギーである電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車、更にディーゼル代替LPガス自動車を含む。

(※2) 燃料電池によるものを含む。

置づけ、新エネルギーの仲間を増やしたということ。それから、現状レベルの生産が維持されたとした場合の、2010年時点の1次エネルギー供給に占める新エネルギーの割合を1.4%、878万klと予測しました。最後に、わが国でいう新エネルギーの導入目標量として1,910万kl、1次エネルギー供給全体の3%程度という数値を打ち出したことです。

この数量については、いろいろなことを総合的・多角的に考えて新たに決めようとして喧々諤々やりましたがなかなか決まらない。最終的には、従来言われていた前回の「長期エネルギー需給見通し」と同じだけの量ということで、1,910万klを入れようというところで話がまとまったわけです。

導入目標達成のための3つの方策

それでは現状レベルでの生産を続けていった場合の数量900万kl弱と目標量2,000万kl弱の格差をどうやって埋めていくのか。報告書ではそこまできちんと書きたかったのですけれども、最終的には具体的な制度に関するコンセンサスが得られませんでした。

この格差を埋めるためにいろいろな方法があります。特に新エネルギーから出てきた電力（新エネルギー電力）の導入・普及を図る方法は3つあります（表3）。1つが制度で強制的にやろうということ。2つ目が助成金。つまり、公共のお金を使って技術開発をやったり、高い分だけ格差を埋めてあげるという新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施している補助金などです。3つ目が、やはり自主的な行動ということで「グリーン電力」です。「グリーン料金制度」

表3 新エネルギー等電力の導入・普及策

- | |
|---------------|
| (1) 強制的な制度 |
| (2) 助成金 |
| ・技術開発への公的資金投入 |
| ・高い分だけの格差補填 |
| —NEDOからの補助金 |
| (3) 自主的な行動 |
| ・グリーン電力 |

「グリーン電力基金」などがそうです。電力会社が平成12年10月から始めています。そういう自主的なプランと、助成金、制度そのものの3つを合わせていくのが一番効果的だと言われています。

日本で一番欠けていたのは1番目の制度です。電力会社は、余剰電力、新エネルギー電力を自主的に、また新エネルギーの種類によっては、小売り値と同じ値段で買い取ってきました。私は、これは非常に成果が上がったと見ています。そのおかげで、日本は太陽電池の発電容量で世界1になった。ただ、これはあくまでボランティアですから、電力会社が、「経営がうまくいかなくなって、厳しくなったからやめた」と言えば終わってしまいます。それをもう少し強力に制度化しないと、2010年度までに目標値2,000万kl弱を達成するのはそう簡単にはいかないでしょう。

最適システムへの模索

わが国に最適なシステムや制度とはどういうものなのか、早急に検討を開始する必要があるということを前述の「部会報告書」で書いてあります。この報告書を受けて、平成13年7月下旬には新市場拡大措置検討小委員会

表4 新エネルギー等電力の導入促進システム

- | |
|--------------------------------------|
| (1) オプションA：特定（導入）計画に沿った購入（十価格差補填）ケース |
| (2) オプションB：購入義務付けケース |
| (3) オプションC：（クォータ制十）グリーン証書ケース |

が発足しました。この最適システムとして、小委員会で昨日承認された報告書案には3つのオプションが示されています（表4）。

1つ目が「オプションA」。今、超党派の自然エネルギー促進議員連盟が考えているオプションです。これは政府が新エネルギー導入案を示し、それに対して電力会社が自分らのプランを答申し、約款を設けて新エネルギー導入・普及策を実行する案です。

2つ目の「オプションB」は、買取義務というドイツ式です。ドイツは、いまだに買い取りを義務化しています。風力から出てくる電力、ゴミから出てくる電力を、その地域の電力会社は買い取らなければいけません。自分の売っている電力の5%までは買い取れという義務です。

買取義務について、電力会社はあんまりいい気持ちがありません。今、自由化の波があるわけですから、電力会社はできるだけ経営の合理化を図って、低コストで良い電力を提供したいと考えています。ですから、電源を選択するにあたり、義務化で強制的にやられてはたまらないと考えるわけです。「選択の自由があるはずだ」というのが電力会社のスタンスで、買い取りの義務化は余り良くないと思うわけです。他方、風力発電事業者やNGO（非政府組織）の皆さんは、「新エネルギーの

価格は高いので、買い取りを義務化しなければ初期需要が生まれないじゃないか」と言います。「初期需要が生まれたらコストが下がるから、まずその大事な初期需要を生むために買い取りを義務化してどんどん買ってもらうことが大切なんだ」ということを言い張るわけです。

しかし、買取義務だとなかなか市場メカニズムが働きません。買取価格を決めるとなると、新エネルギー発電の啓発のために、比較的高く決めることになります。電力会社にとっては厳しいことですが、新エネルギー事業者の方は新エネルギー等発電をどんどん導入したいと思うわけです。ところが、一旦高く決めますと、市場メカニズムが働きにくいためになかなか安くならない。従って、この買取義務の制度は今はフォローの風を余り受けていないというのが私たちのスタンスです。

3番目の「オプションC」がRPS（Renewables Portfolio Standard）と呼ばれる制度で、クォータ（買取割当量）と証書を用いた新エネルギーの導入基準制度です。まず、ある新エネルギーの導入目標量を決める。例えば、日本なら1,910万klという目標量があります。そのうち電力用の量だけを2010年度までに電力会社買い取ってもらいたいということになります。我々は1,910万klという目標

量を達成する中で少しでも市場メカニズムを入れて、社会的に追加すべきコストを小さくしたいと思っています。そのための工夫がこのRPSです。一応こういう方針で小委員会で承認されました。(本講演後、パブリックコメントを募集し、平成13年12月下旬に「新エネルギー部会」が行われ、3つ目のRPSを基盤にした制度の導入が望ましいという結論が出された。本年に入りこの報告をもとに省内で法案の作成に着手し、本年3月15日の閣僚会議で「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」と称する法案が閣議決定され、今国会で審議される運びとなっている。国会を通過すれば、2003年から施行されることになる。)

RPSの仕組み

RPSについて少し説明します。今、証書の発行単位が仮に1MWh当り1枚だと考えて下さい。まず、風力発電業者や廃棄物発電業者がいて、例えば年間2,000MWhを発電したとすると、2,000枚の証書がこの発電業者に与えられます。他方、電力会社、特定電気事業者、特定規模電気事業者など、直に電気を売る小売業者がいます。RPSでは、小売業者の年間電力販売量の、例えば1%に相当する新エネルギー電力の購入割当量を設定し、その量に相当する枚数の証書保有を義務づけるわけです。この割当量がクォータです。例えば、ある小売業者が1年間に10万MWhを売っているとします。クォータがそのうちの1%に相当する量だとすると、この小売業者は1,000枚の証書を持っていなければなりません。RPSでは買取義務と違い、小売業者には、①自ら

発電して証書をもらう、②証書保有+電力購入、③証書のみ購入の3つの選択肢を有します。

証書の発行対象者ですが、風力発電事業者にも、自治体や産業廃棄物処理業者(産廃業者)など高効率廃棄物発電をやって熱も利用している業者にも、発電量に応じて証書が与えられます。証書には通し番号が付いています。もし、500MWhを発電した風力発電事業者が自分で小売を始めたということになりますと、自分も証書を保有しなければなりませんが、1%に相当する証書、すなわち5枚だけ持っていればいいわけです。この発電事業者は500MWh発電したところで500枚の証書ももらっていますから、残りの495枚は売れるわけです。

他方、石炭だとかで発電をしている業者が小売りを始める場合には、証書ももらっていませんから、どこかの市場に行って買ってこなければいけない。こういう証書の売買を通して比較的安い新エネルギー電力の導入がなされ、目標量を達成しつつコスト削減を図ろうというのがRPS制度ということになるわけです。わが国でもこれをベースに新制度を考えようということになっています。

この小委員会の中でシミュレーションをやりました。買い手が電力10社で、売り手が電源開発(株)や(株)荏原製作所、廃棄物発電を行っているいろいろな方、風力発電を行っているトーマンだとか。あとは投資家も入れて売買のシミュレーションをやりました。電力会社が買い入れる価格は、一応アボイデドコスト(回避可能コスト)に近い4円と仮定しました。風力発電、廃棄物発電、バイオマス発電などの別なくすべて4円です。

プレミア（割り増し）分が証書なわけです。証書が幾らぐらいで売買できるか。小売業者は年間販売電力量の1%分の量に対応する証書を保有する義務がありますから、証書は完全に売り切れます。あるいは少し多めに証書を持つ。新エネルギー電力の発電量が少なく証書が不足でクォータ割合を多く設定してしまいますと、証書価格が暴騰してしまいます。ですから、あくまでも新エネルギー等電力の供給量をよく見ながら、毎年クォータを設定していきます。クォータをどの程度に設定するかによって市場メカニズムの働き方が違って来るわけです。

買い損ねたり、高過ぎて買えなかったためにクォータに相当する証書を持てなかった場合には、「罰金を払え」ということになります。その時の罰金を15円/kWhと仮定しました。証書価格がそれ以上になると罰金を払ったほうがましということになりますから、証書の最高価格は15円/kWhとなります。4円/kWh（アボイデドコスト）+15円/kWh（証書価格）ですから、電力会社が新エネルギー起源の電力を導入するコストは、最高で19円/kWhになります。この罰金を「もっと安くしろ」という議論もあります。罰金をいくりに設定すると最も市場メカニズムが働くかこれから考えなければいけない状況になってくると思います。

いずれにしろ、今のシミュレーションによりますと、証書価格は大体9円～11円/kWhぐらいで始まって、最初の数年間は価格がだんだん上がっていきます。それにつれて供給が増え少し価格が下がってきて、10年もすると大体10円～9円/kWhぐらいで安定するという結果が出ました。我々は「市場メカニズムは10年間やると働くんだ」というこのシミュレーション結果をベースに、これからの新

エネルギー普及を考えていこうということにしています。小委員会での議論の内容は、インターネット*等を通してお読みになればよくわかりになるだろうと思っています。

いずれにしても現状においては、こういう新たな市場拡大措置としてRPSを考えています。この証書は、最終的に、CO₂の排出権取引の証書と表裏一体になってきますから、ある意味では国同士でやるCO₂排出権取引の前哨戦を新エネルギーという小さい分野で少しやってみようということになります。それがうまく機能するのかチェックしながら、最終的にはCO₂排出権取引にも適用できるようにしたいと個人的には考えています。

電力自由化とRPS下での

グリーンオンサイトビジネス

電力自由化というのはユーザーが電源を自由に選べるということです。現在の電力自由化は一部分だけですが、これが完全自由化となりますと電話みたいに経済性優先の激しい競争が起こるわけです。電力の分野では、その中でいかにグリーンを乗せるかというのが現状の問題ですから、証書保有義務をうまく組み込んだ制度設計をしなければなりません。

デンマークではRPSの下で、消費者に証書保有義務を課そうとしています。消費者に課すというのは大変なことになります。自分たちが電源を選んで、使用電力の1%分を風力から買わなきゃいけないとかになります。自宅の屋根に太陽光発電パネルを乗せ自家発電するという対応策もありますが、そうでない場合にはパワーマーケットターなどが出てきて、「うちの電力を買えば1%はグリーンが入っています。証書付きですよ」というグリーンオンサイトビジネスなどが起こってくるで

* <http://www.enecho.meti.go.jp/dayori/index05.html>

しょう。ある意味では、電力自由化が進んできますと、グリーンもある程度乗せやすくなります。グリーンオンサイトビジネスとは、例えば、所内で廃棄物発電をしている製鉄会社がいて、他の余剰電力を全部買い集めてきて、廃棄物発電からの電力と合わせてうまくパターンにそろえ、「うちの電力には3%グリーンが入っていますし、証書ももらっています、だからうちのを買いなさい。1円高いかもしれないけど、買ってくださーいよ」ということになるわけです。

パワーマーケットなどは、自分で余剰を集めてくるわけですから、コージェネでも余剰電力が出てくれば買い集められますね。買い集めてきて、今までは小さいシステムしか導入されなかったコージェネが少し大きなシステムまで導入され、熱まできれいに使えて効率が上がる。今までは電力会社にしか売れなかった電力も今度はパワーマーケットに売れる。いいパターンであれば、待ってましたとばかりに買う。いろいろなところから買い集めてきてあるパターンができたとしみましょう。また、そういう需要パターンの需要家だけを何社かを集めてきて、「うちのパターンはこういうパターンだから、あなたのところとぴったりますよ。普通で買うよりも2割安い。グリーンも入っている」というビジネスになってきます。私は、これが最終的な電力ビジネスの姿だろうと思っています。これからは、情報技術（IT）も使った分散型ネットワーク、既存の大規模集中型のネットワークとの中間に最も環境に優しい電力の需給ビジョンがあると思っています。

さらに、そのビジョンを深めると、その中の大きな電源の1つがやはり廃棄物発電なのです。廃棄物発電からの電力は比較的定常的に出てきますから、これと太陽光発電からの電力とを一緒にして平準化するとか、廃棄物

発電で電力量を調整してやる。お天気任せといわれている風力やソーラーの電源と何かを組み合わせることで非常に質のいい電力を生み出すことができます。その相対の電源として廃棄物発電が考えられます。廃棄物発電+新エネルギーの中の風力、太陽光発電を組み合わせたハイブリッド発電、これからはすべて、こういうハイブリッドな形になっていくのではないかと思います。

ネットワーク、そしてハイブリッド。この2つがこれからのキーワードだろうと思っています。

賛否両論あった産業廃棄物発電の扱い

平成13年6月に出した新エネルギー部会報告書では、新エネルギーの対象としてバイオマスと雪氷冷熱が新たに加えられました。バイオマスは、これからローカルエネルギーとして1つのパワーになっていくと思っています。バイオマス系残渣、メタン発酵による発電も廃棄物発電です。もちろん、産業廃棄物も一般廃棄物も含め、廃棄物発電は現状では証書の対象になり得ると考えていますけれども、「産業廃棄物まで証書の対象にするのはおかしいじゃないか」という意見が小委員会の議論の中で出ました。「再生可能エネルギー系の残渣は間違いなくいいんだけど、プラスチックまで入れるのか、これはすでに競争力があるじゃないか」と考えられているわけで、大分問題がありました。この分野に関しまして、報告書の中では「産業廃棄物発電に関しては、①一部に経済性の良いものもあり、これらの扱いについては留意が必要であるが、既存電源に比べれば総じて経済性も普及率も低いこと、②廃棄物資源に関しては、省資源化による排出抑制や再利用、再生利用を優先すべきであることはもちろんであるが、他方

でどうしても再生不可能な部分もあり、かつこれらの埋め立て処理のための施設には限界がある。このため、廃棄物の一定量は焼却処分が不可避であり、そうした焼却に伴って生ずる排熱を発電に有効利用することは追加的なCO₂等を排出するものではなく、環境的にも、またエネルギーの安定供給の観点からも望ましいこと、等から、従来より新エネ法の対象として、導入を促進してきたところ。以上を勘案すれば、産業廃棄物は、RPS制度の対象とすべきと考えられる」という文章で述べています。

このあたりは少し柔らかに修正されるかもしれません。一応、産業廃棄物も入っていますから、廃棄物業者はこれからのRPS制度の下で、他の競合する新エネルギー源と証書の売買で競うということになりますから経済ベースがより一層上がって、非常に楽しい事象を迎えたのではないかと考えています。

バイオマス発電で

1次産業が循環型総合産業へ脱皮

今まで1次産業である農林水産業は、農産物、食糧、水産物を提供したりしてきました。農林水産業は、地域の中で、日本各地にたくさん存在しています。今、地域の経済発展の再生効果が少ないといわれています。1次産業も何らかの脱皮を図らないと、地元の金融機関であってもお金を貸せないわけです。その現状を打破する手法として、新エネルギーの観点からいけば、1次産業がエネルギー供給産業を併設することがあります。すなわち、バイオマス系残渣で発電をし、エネルギー供給業者も兼ねる、ある意味では循環型総合産業への脱皮ということになります。今まで農林水産業をやっていた人は、出てきた残渣系を埋めたり、燃やしたりするだけだった。そ

れをエネルギー供給業者を兼ねるようになれば、RPSの下で、証書を10円ぐらいで売れて経済ベースも上がるし、イメージアップにもなります。循環型にもなるわけですから、サーマルリサイクルということになるかもしれません。

1次産業+エネルギー供給産業とすることによって、産業としては非常に美しい姿になって、投資対象として極めて期待度の大きなもの変わっていくでしょう。そうすると、各地域の産業とその地域の金融機関とがうまく循環して、新たな産業が形成される。今は経済性が難点とされている「新エネルギー」ですが、すでに述べてきましたように、なるべく経済性が発揮できるような制度がこれからできてきますから、それをうまく活用することによって、1次産業も各地域の地場産業として金融機関の融資対象としても非常に魅力あるものに脱皮できるのではないかと考えています。

おわりに

廃棄物発電はこれからガス化改質から次世代型ストーカ炉など、高効率を目指しているいろいろなものが出てくると思います。環境制約、ダイオキシン対策、高効率利用が可能な1次エネルギー源としてのゴミといったことを考えれば、2次エネルギーとして電力という非常に使いやすいものを廃棄物から取り出して、地域、地域の住民に還元する廃棄物発電のビジョンは、新エネルギーの中でも極めて重要度の大きなエネルギー源になると考えています。

どうもありがとうございました。(拍手)

〔講演〕

再生可能エネルギーの現状と 廃棄物発電への期待*



金田 武司 (㈱三菱総合研究所 主任研究員)

はじめに

時代の流れ—集中型から分散型へ

再生可能エネルギーと廃棄物発電、その周辺にある幾つかの話題にスポットを当ててお話しいたします。

まず初めに、時代の流れについてお話しいたします(図1)。昔、企業は自分で発電していました。いわば、「分散型発電の時代」でし

〔略歴〕

1985年慶應義塾大学工学部機械工学科卒。1987年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。1990年同科エネルギー科学専攻博士課程修了(工学博士)。

1990年(株)三菱総合研究所入社。エネルギー政策研究部エネルギー産業研究チームリーダー兼フロンティア推進室長。主任研究員。

マイクロガスタービン、燃料電池、再生可能エネルギー等を対象とした分散型エネルギーシステムから原子力システムまでエネルギーシステム全般に関する技術的・社会的見地からの研究に従事。

た。さらにその前、産業革命以前は「再生可能エネルギーの時代」でした。当時のエネルギー利用は当然、自己責任によるものです。

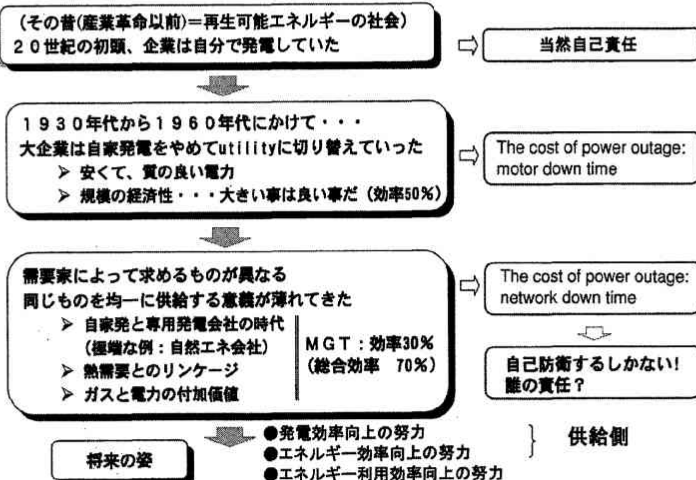


図1 時代の流れ—歴史は繰り返す?—

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」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。

自分の権利で自分の近くの木を伐採するなどして使っていたわけです。それが産業革命後、大企業は自家発電をやめてユーティリティーに切り換えていきました。1930年代から60年代にかけてそういう動きがあり、「電力会社」というものが急速に成長していった時代です。ガスタービン等で発電する場合には規模が大きいほど効率が良いので、大型発電機を作ることが高効率発電に直結したわけです。従って、メーカーは一所懸命に大型発電プラントを作ると、「大きいことは良いことだ」という時代が到来したわけです。

ところが今、需要家が求めるもの、そして需要家を取り巻く環境が異なってきています。環境問題を背景に、自然エネルギーだけを売る会社も登場していますし、電気だけでなく熱も売って採算をとるというビジネス、必要な場所で、必要な時に、必要な量だけ売ることによって経済性を確保しようといったビジネスの発想も出てきています。

いろいろな将来像が描けますが、発電効率の向上、エネルギー効率の向上、そしてユーザーによるエネルギー利用効率の向上が必要とされる時代になってきていると言えます。

求められる環境問題と国際競争力確保等の 調和のとれた理解

社会的背景を幾つか書き並べると図2のようになると思います。ここでポイントになるのは地球環境問題です。これは1社、あるいは1国だけではとても解決できない問題です。私は、地球環境問題を「持続可能な開発 (Sustainable development)」をするという大きな問題の1つの切り口と理解しないといけないだろうと思います。単に環境を改善して住みやすくすれば良いということだけでなく、恐らく人類が今後数百年持続するために今何をなすべきかという観点で議論することが、地球環境問題のグローバル・スタンダードだろうと思うのです。

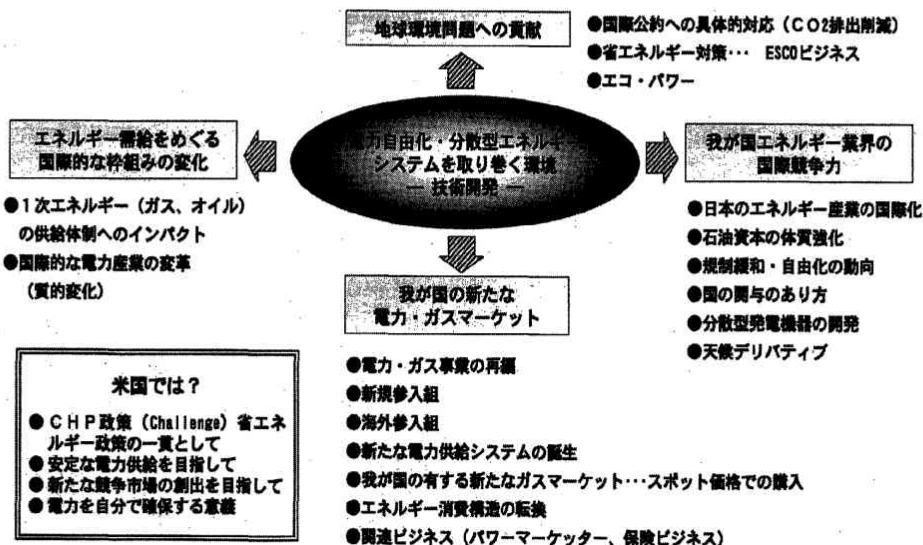


図2 新しいエネルギー産業スタイル登場の社会的背景

それから、わが国の国際競争力という話。廃熱利用でエネルギーを有効利用し省エネルギーにつなげようというコージェネレーション（CHP：Combined Heat Power）の話。そして環境に優しい技術の開発と普及を進めているということが背景にあります。

再生可能エネルギー

世界エネルギー会議も注目する

再生可能エネルギー

ご承知のとおり、世界エネルギー会議（WEC: World Energy Council）という組織がありますが、1923年の設立で、恐らく世界で一番歴史の長いNGO（非政府機関）の1つでしょう。2001年9月、ブエノスアイレスでその本会議があり、報道によりますと99カ国が参加しました。非常に大きな会議で、ほとんどあらゆるエネルギーセクターを含んでいます。しかも、その構成が非常に面白いのです。ユーザー、マーケッター、プロバイダー、アカデミックの方々、リサーチャー、ポリシーシャン、例えば委員に大臣がいたりするわけで

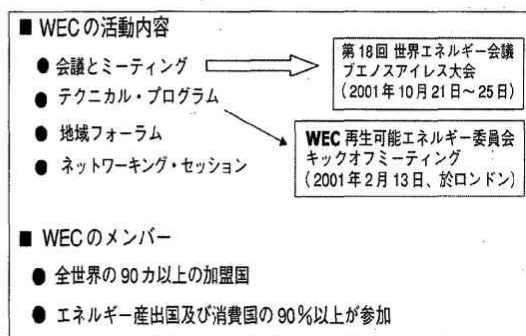


図3-1 WECの使命

すーそれからメーカーの人、我々みたいなシンクタンクの人間。本当に千差万別の人間が世界中から集まってエネルギーのことを議論しようという、余り日本ではお目にかかれないタイプの委員会組織です（図3-1）。

WECにはテクニカルプログラムとして、6つの委員会があります。最新の委員会として2001年2月にできた再生可能エネルギー委員会があります（図3-2）。つまり、WECでも再生可能エネルギーが非常に注目を集めているわけです。この委員会は再生可能エネルギーのことだけを、その専門家だけが集まって議論するというものではありません。原子力の人、オイルの人、ガスの人も、みんな集まってそれぞれの立場で議論するという非常に面白いタイプの委員会です。

日本の再生可能エネルギーの現状と特徴

こういうふうには再生可能エネルギーが注目を集めている中、日本の再生可能エネルギーで注目すべきは風力と廃棄物発電関係です。廃棄物発電は従来、バイオマスとなかなか明確な区別がつけられていない分野だったのですが、それを整理してはっきり支援しているという動きになってきています。

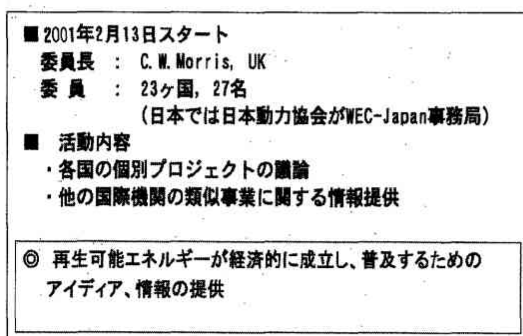


図3-2 再生可能エネルギー委員会

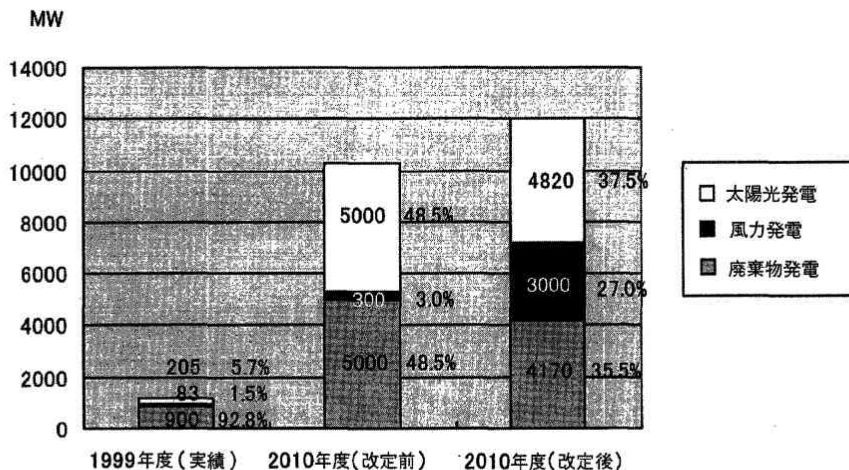


図4 わが国における2010年度新エネルギー発電の導入目標

2010年では恐らく太陽光発電，風力発電，廃棄物発電で再生可能エネルギーを三等分するという見通しが公表されています（図4）。

アメリカの省エネ目標

省エネルギーについては，精力的に目標達成に向かうアメリカの例を紹介いたします。

図5はコージェネによる米エネルギー省（DOE）の省エネルギーシナリオです。2010年までに新規コージェネを46GW分増設するという目標を立てています。これは日本の約10倍です。こういった目標を高らかに掲げて省エネルギーにも頑張っていこうというのがアメリカの基本的な政策です。その裏付けとなったのはDOEと環境保護庁（EPA）の調査研

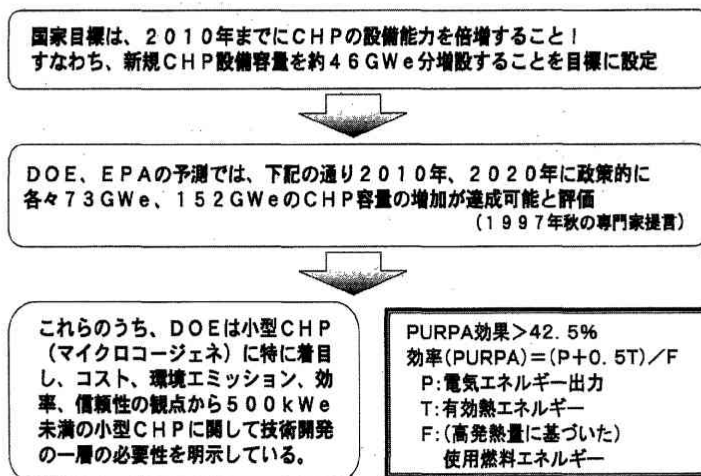


図5 米エネルギー省の省エネシナリオ

究ですが、そこでは需要と見比べた上で、2010年で73GW分、2020年で152GW分のコージェネの容量増加が可能であると提言されています。

日本の再生可能エネルギー市場

図6は2001年2月にロンドンでの再生可能エネルギー委員会キックオフ・ミーティング

のスペシャルセッションの時に使った「日本の再生可能エネルギー市場の現状」という資料です。図では、太陽光、風力について設備容量の政策目標を示しています。しかし、現実問題として、正確な量は測れないのです。と言いますのは、電力会社が買い取っている量以外に、一般の人が人知れず風車を買って発電しているかも知れず、系統にもつなげていないかも知れないからです。太陽光発電に

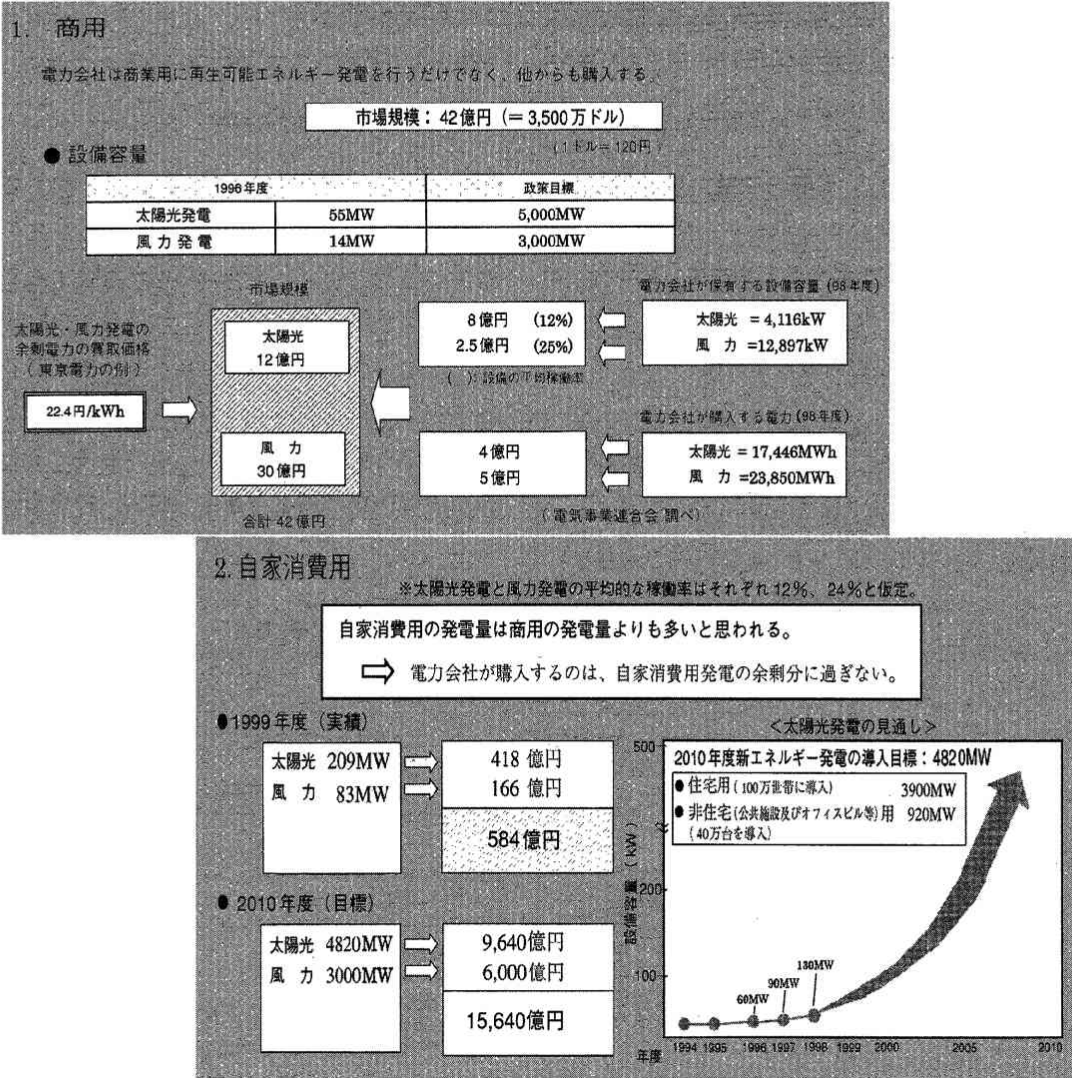
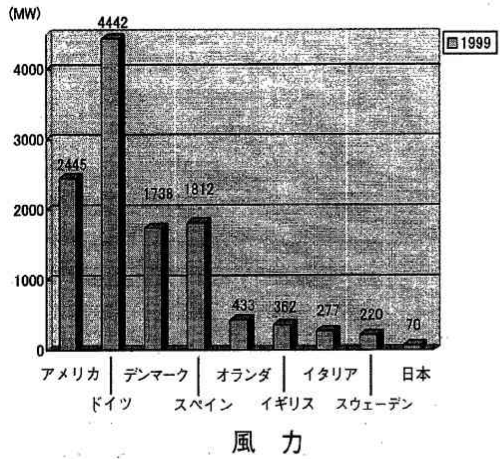
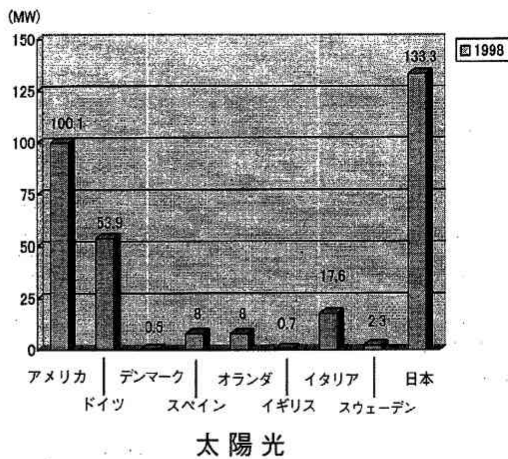
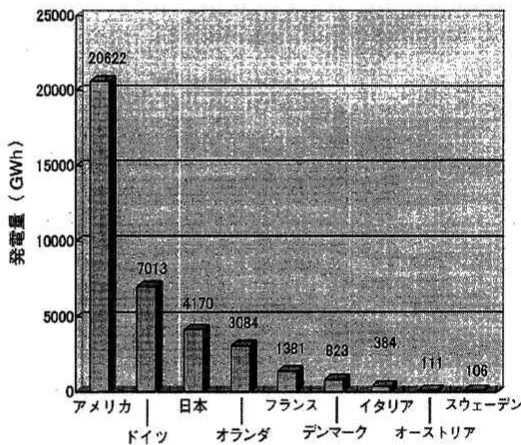


図6 日本の再生可能エネルギー市場



(TASK1 Report IAEA/PVPS, IAEA 1999)

図 7 太陽光、風力発電設備容量の国際比較



(出所: Energy Balances of OECD Countries 1999年版)

図 8 廃棄物発電の国際比較とわが国の導入目標及び実績

設備容量 (単位: 10MW)

実 績	2010 年度 (目標)	
	1998 年度	現行対策維持ケース 目標ケース
一般廃棄物	78.6	—
産業廃棄物	14.7	—
合 計	93.3	175 417

発電容量 (単位: 10⁶MWh)

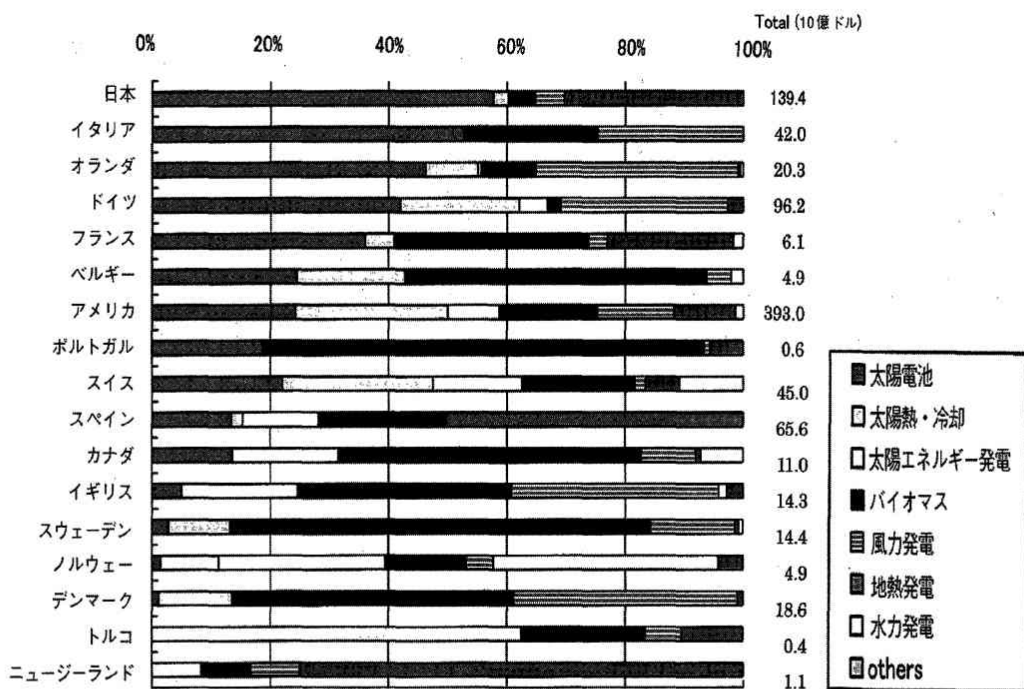
	94 年度	95 年度	96 年度	97 年度	98 年度
一般廃棄物	24	30.0	33.2	37.7	41.6
産業廃棄物	3	3.3	4.1	4.0	5.4
合 計	27	33.3	37.3	41.7	47.0

しても同じような使い方かも知れません。電力会社がい取り取るだけでなく自家使用もきつとあるでしょう。多分、太陽光発電で発生した電気は余った分は売るわけですけど、ほとんどは自分で使っているわけで、どれだけ使っているか正確に把握するのは結構難しいことです。

太陽光、風力、廃棄物発電の国際比較

日本の場合、風力は非常に量が少ないのですが、太陽光では先進国です。しかし、太陽光の普及にはかなりのお金がかかっていることも確かです (図 7)。

廃棄物発電出力 (kWh) としては、アメリ



(Reference : IEA Energy Technology R&D Statistics, 1974-1995, IEA/OECD 1997)

図9 再生可能エネルギー技術開発予算の配分比率

カ、ドイツあたりが非常に進んでいて、日本もその次に位置するなど、かなり普及していると言って良いでしょう。まあまあいいところですが。しかし、人口（ゴミ排出量は人口にほぼ比例）の割にはもう少し伸ばせるのではないかとされています（図8）。

図9は、再生可能エネルギーの技術開発について、各国がどの分野にどのくらい支出しているかを示しています。日本の場合やはり注目されるのは、太陽電池にかなりの部分が使われているということです。諸外国と比べて日本の太陽電池の設備容量の大きさから見て、納得がいくような数字ではあります。

バイオマスは直感的に分かるように、それほどお金をかけなくてもある程度の発電量が

稼げるため、各国とも力を入れてきている分野だと思います。残念ながら日本は今のところ僅かなもので、廃棄物発電を含めて、これからさらにバイオマス関係のものも普及させる必要があると思います。

分散型電源としての再生可能エネルギー発電

水素ベースエネルギー地域社会に組み込む

再生可能エネルギーは不安定だと言われています。例えば、太陽光は夜間は使えない、風力は風が止まったら電力供給も止まってし

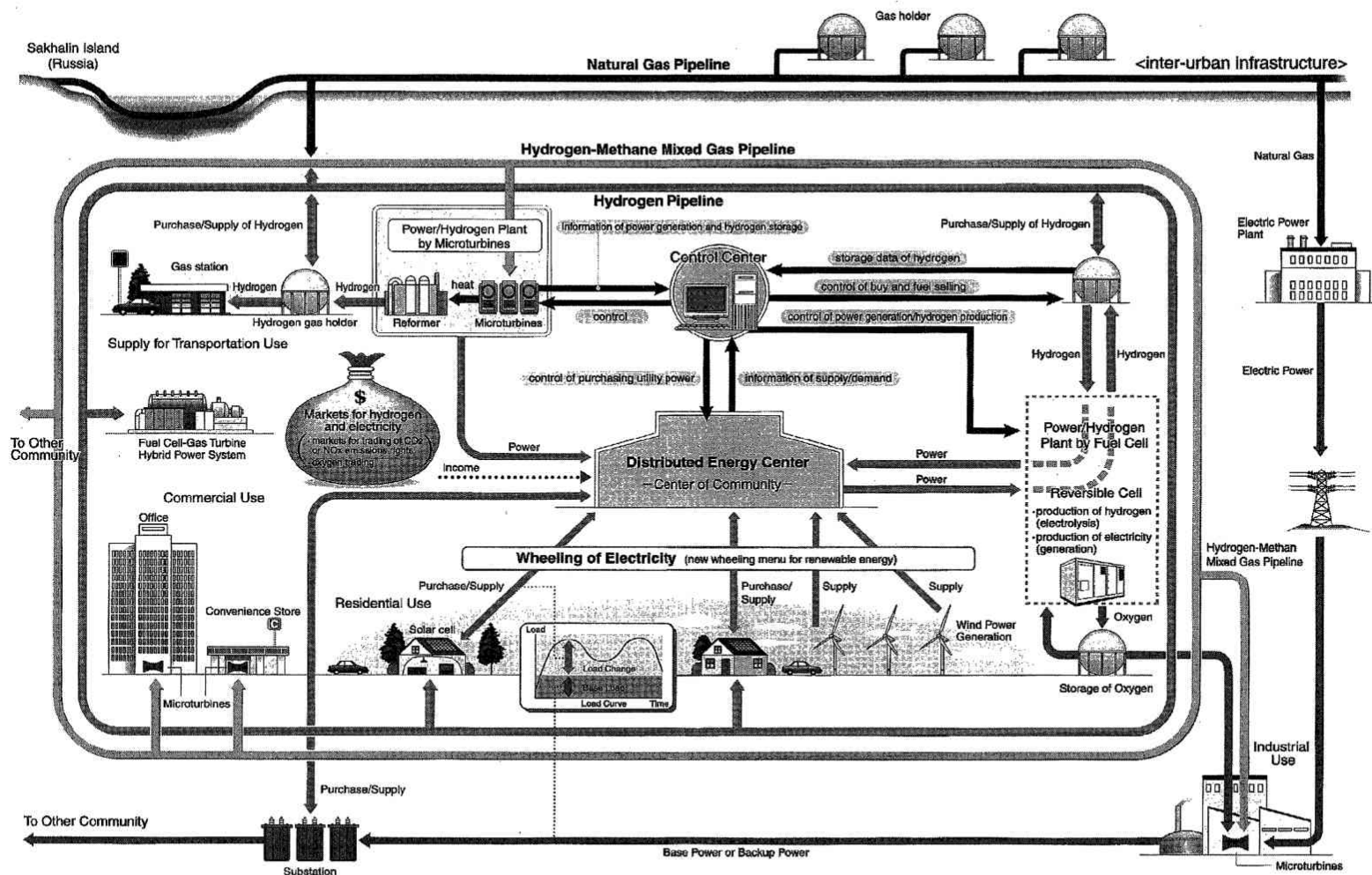


図10 水素ベースエネルギー地域社会の概念図

まうということもあって使いにくいとされています。何とか安定的に供給でき、ちゃんと系統につなげてうまく地域で使えばベストだということで、私は、例えば自然エネルギーを街中で使っていく1つのアイデアを持っています(図10)。もちろん、廃棄物発電や他の再生可能エネルギー発電が入っても構いませんが、図10では風力発電と太陽光発電を入れています。これがこのままの姿で実現可能かどうかは別にして、1つのアイデアとしてお聞き下さい。

50軒の家庭での太陽光発電、あるいは風力発電からの電力をどこかに集めて、その電気で水を電気分解するなどして水素を作る。水の電気分解は最近、80%~90%という高効率で水素が作れるようになってきています。その水素を燃料電池や他の方法で貯めることができれば、いろんな発電方式が考えられるわけです。例えば、リバーシブルセルという燃料電池を使うと、再生可能エネルギーで水素を作るだけでなく、その作った水素で必要な時に電気も作れます。風が止まった時や、太陽電池が動かない夜間などには燃料電池でこの街に電気を供給できます。地域の電力需要に応じてコントロールセンターでうまくコントロールするわけです。「今は水素をたくさん作っておいた方が得だ」「今は水素でどんどん発電して電気を供給する」「余った水素を売る先はどこかにないか」「水素も満杯でどんどん電気が出てきてしまうなら、その電気を売ろう」とか。そのシステムの挙動を時々刻々、コントロールしていくコントロールセンターを介して、うまく再生可能エネルギーを使っていくというアイデアが求められると思うわけです。そのコントロールといってもパソコ

ン1台で行える程度のことで良いと思います。

このシステムは、根本的には分散型発電です。この場合、大型にする必要はどこにもありません。燃料電池は別に大型のものが効率がいいとは限らないわけです。これが、例えばガスタービン等なら、燃焼室で燃えて出てくる熱量は燃焼室の容積に比例し、その時に生じる熱のロスも表面積に比例するわけですから、大きければ大きいほど効率がよいということになります。しかし、燃料電池は膜という二次元の平面ですから、原理的に、容積を稼いでも効率はほとんど変わらないのです。ですから、燃料電池のシステムは効率が変わらないので大型にする必要がないために、分散型でやる価値のほうが大きいわけです。

燃料電池と再生可能エネルギーを組み合わせ、少なくとも地域の電気需要の負荷変動分だけでも自分で供給するというアイデアは、検討されてしかるべきだと思います。組み立てるシステムは、その地域の地域環境、自然環境、経済環境によって当然違ってきます。

周辺に、例えば「天然ガスパイプラインがあれば、それを水素に改質する方法もあって安定的に水素を得ることができるじゃないか」とか、いろんなオプションが考えられるわけです。

水素ベースエネルギー地域社会は近未来か？

水素を回収して自動車に供給する。そういうことは相当先の話だろうとお思いかもしれませんが、そういうシステムはもう実際に動いています。図11は、ミュンヘンの空港にある水素スタンドです。その場で、オンサイトで水の電気分解をして水素を作って、その水



図11 液体水素スタンド（ミュンヘン空港）



図12 水素自動車へ自動給油

素をバスに供給しているわけです。バス用のスタンドと乗用車用のスタンドは分かれています。バス用はその場で、オンサイトで水素を作って、オンサイトでバスに供給しています。

図12は液体水素を自動車に供給する水素スタンドです。同じくミュンヘン空港にあります。実際に空港内を走る自動車、シャトルバスが水素で動いています。車の給油口をロボットが自分で探して給油口の蓋を開け、液体水素を注入していきます。全部自動です。こんなものが本当にあるのかと私は驚きました。車はBMW製で、水素とガソリンの両方で動く

スグレモノです。決してエンジンを2つ積んでいるわけではなく、動いている最中でも電子制御で燃料のシフトができるものが実際に公道を走っているのです。

実は、図10のシステムにも、それほど難しい技術は含まれていません。リバーシブルセルもある。水の電気分解という技術もある。パソコンもある。風車もある。太陽電池もある。システムが存在するには経済性があるかどうかなのですが、CO₂の排出権取引とか、水の電気分解で同時に得られる酸素を売るとかの方法があると思います。一種の地域のミニチュア電力会社みたいなイメージです。

実は、ここで電力会社の方々をお願いしたいことがあります。再生可能エネルギーで作られた電力をエネルギー配送センターまで運ぶ電線をお貸しいただきたいのです。多分、電柱数本分、せいぜい1キロぐらいの範囲だと思います。

マイクロガスタービン、燃料電池による ハイブリッド発電システム

水素絡みで新しい燃料電池の技術開発について説明いたします。

図13にあるのは、固体酸化物型燃料電池（SOFC）です。作動温度が一番高い燃料電池です。マイクロガスタービンをうまくつなげて非常に高効率にしたという研究成果がDOEから発表されていますが、そのポイントだけを紹介いたします。これは分散型発電に非常に適したシステムです。分散型でも十分効率が低いというもので、結論から言いますと発電効率70%が実現可能とされています。

それほど効率の高いシステムが実現できる

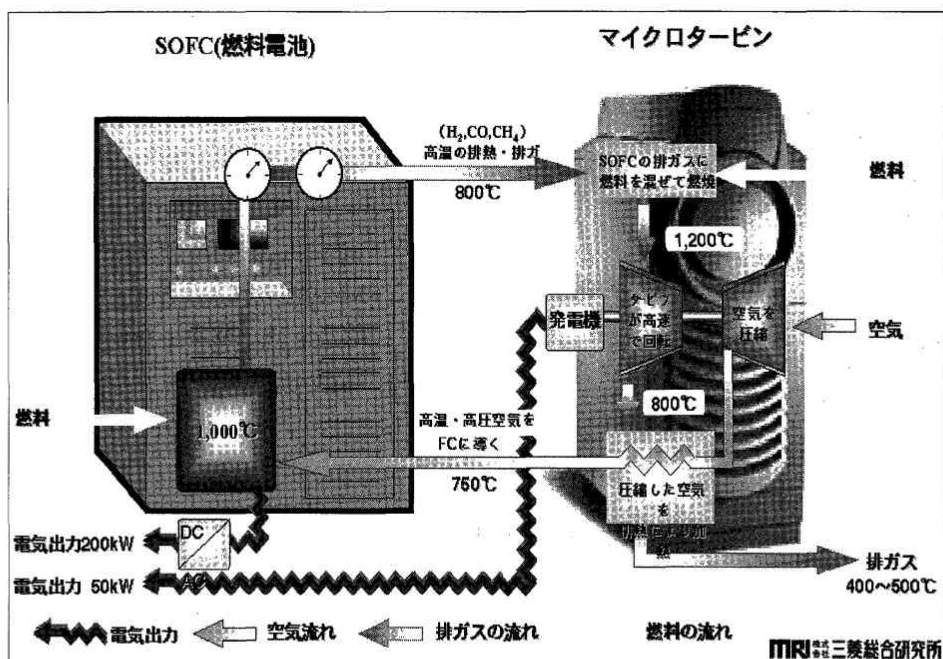


図13 ハイブリッド発電システム

理由ですけれども、マイクロガスタービンの燃焼室の代わりにこのSOFCが働いているからです。作動温度が1,000℃ぐらいですから800℃ぐらいのガスが出てくる。マイクロガスタービンは空気をコンプレッサーで圧縮します。その空気を送り出しますと、燃料電池は高い圧力で作動することになる。このSOFCは作動温度もさることながら圧力を高めるとものすごく発電効率が高くなるということが知られています。

一般的に排ガスにはメタン (CH_4) や水素 (H_2)、一酸化炭素 (CO) などという危ないものが燃え切らずに入っていたりして、ダーティーだったりするものなのですが、マイクロガスタービンは燃やすことは得意ですので、こういったものもきれいに燃やせます。ものすごくきれいな排ガスが出るという意味で、図13は非常にクリーンなシステムでもあります。

す。しかも発電効率が60~70%ぐらいが可能というシステムで、アメリカのDOE主導による研究が行われています。

イタリア、ヨーロッパ勢もかなりこれに注目してしまっていて、理論解析が進んでいます。日本でも機械学会あたりでこういった研究が進められようとしているということで、2002年秋にこのシステムを目玉の1つにした国際シンポジウムを企画中です。

おわりに

廃棄物発電への期待

分散電源とその周辺の話をしてきましたが、最後に、廃棄物発電を全体の中でどう位置づ

- 超小型分散 (太陽光・風力等) → 中程度の発電規模の確保(必要性大)
(発電量の確保)
- 単に燃料費がタダというだけではない → 費用対効果大
(廃棄物処理プロセスとの共通部分大)
- 廃棄物処理との一体化、都市地域への立地 → 日本に適したエネルギーシステム
(廃熱利用の可能性、地域エネルギー供給の可能性)
- CO₂発生抑制に極めて効果大
- 再生可能エネルギーの中でも安定的に供給可能
- ゴミの増大と高カロリー化

本格的導入を前提とした新たな技術開発が必要

図14 廃棄物発電への期待

けるかということをお話いたします。

1つは、従来、太陽光とか風力発電とかは、発電の世界では「超」がつくぐらい小型です。それは間違いなく言えるわけで、太陽電池は家庭の屋根に乗る小ささです。これで発電量を稼ごうとしてもかなり難しいのです。再生可能エネルギー発電は、やはりある程度の量が確保できないと競争力がないだろうというのが1つの視点だと思います。

廃棄物発電は、単に燃料費がただというだけでなく、もともと処理しなければいけない物です。きちんと評価すれば、廃棄物発電は本質的に非常に費用対効果が大きい発電方式だと思います。

それから廃棄物処理との一体化、都市地域への立地。これは今まで余り真剣に検討されていなかった部分だと思いますけれども、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の今回の技術開発は、地域の中小の廃棄物発電、ゴミ焼却施設に適合する新しい技術を見つけようという方向が1つの柱であるという

ふうに伺っております。これは今まさしく求められてもの、日本に適したエネルギーシステムだと思います。

廃棄物発電は、CO₂の発生抑制に対しても非常に効果的だと思います。いずれにしてもごみを燃やせばCO₂が出るわけですが、それを使って発電すれば、発電した分だけCO₂が節約、排出削減できたことになるわけです。

不安定と言われる再生可能エネルギーが多い中で、廃棄物発電は安定的に電力供給できるという面は特に大きな特徴と言えます。この辺は、単に発電総量だけでなく、安定供給性の面からもその価値を定量的に評価しておくべきだと思います。

それから最近のごみの質の変化、高カロリー化があらこちらで言われていますが、結論としては、やはり本格的な導入を前提とした技術開発を日本独自で行うことが今必要なのではないかと思います。

以上です。ご静聴ありがとうございました。
(拍手)

〔講演〕

高度循環型社会構築と 環境負荷低減への展望*



平岡 正勝

（京都大学名誉教授
立命館大学エコ・テクノロジー研究センター長）

はじめに

わが国経済成長と廃棄物処理

まず最初に、戦後の我が国の経済成長と廃棄物処理の背景を簡単にお話し致します。

わが国の戦後の廃棄物処理体系というのは「清掃法」という、1954年（昭和29年）に制定された法律から出発しています。当時、日本はまだ発展途上国で貧しい時代でした。まだ赤痢とか、そういう伝染病が流行っていた時代ですので、その時の「清掃法」の中には廃棄物という定義はありませんでした。廃棄物を意味するその時の定義は「汚物」と言った

表1 わが国の経済成長と廃棄物処理の背景

- | |
|-----------------------|
| 1. 公衆衛生的処理体系（清掃法） |
| 2. 経済成長期の処理体系（廃棄物処理法） |
| (1) 都市ゴミの量的・質的变化 |
| (2) 産業廃棄物の増加 |
| (3) 有害物質の管理 |
| (4) 最終処分場の逼迫 |

〔略歴〕

1953年京都大学工学部化学機械学科卒業。旧制大大学院特別研究奨学生を経て、1956年より同学科講師。1960年衛生工学科助教授、1969年同学科教授として環境システムの解析、設計、制御の研究・教育に従事。1991年大学院環境地球工学専攻環境情報工学講座の教授として地球環境問題の研究教育に従事。1994年退官。

現在、京都大学名誉教授、立命館大学総合理工学研究機構客員教授。立命館大学エコ・テクノロジー研究センター長。経済産業省産業構造審議会環境部会長。京都府環境審議会会長。都市計画審議会会長。兵庫県環境審議会副会長。

のです。都市ゴミ・し尿を汚いもの、「汚物」と定義しまして、これを伝染病予防のために公衆衛生的に除去、処理することが目的でした。私が京都大学の化学機械学から衛生工学という新しい学科に移った時が1960年（昭和35年）で、その頃はどのようなふう処理体系を作っていくかという議論がまだ行われていた時代でした。

1963年（昭和38年）に「清掃法」に基づき、第1次整備5カ年計画が始まって、その頃からぼちぼち経済成長が進んでいきました。経済成長の中で、1970年（昭和45年）に事業系の廃棄物が非常に増えてきたということで、「清掃法」が「廃棄物の処理及び清掃に関する

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」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。

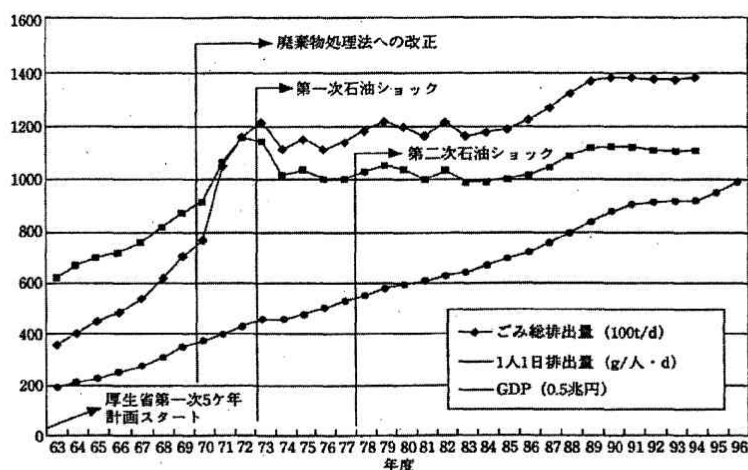


図1 ゴミ排出量とGDP

法律」(略称「廃棄物処理法」)という形で昭和45年12月の「公害国会」で改正されました。この時、初めて「廃棄物」という言葉が法律に入りました。「一般廃棄物」は「清掃法」の流れをくんで市町村の義務で、「産業廃棄物」は事業者責任で処理するという形で整備されたのです。

その後、日本の急速な経済成長に伴って都市ゴミが量的・質的に変化し、産業廃棄物も増加し、有害物の問題が出てきたり、最終処分場の不足という問題が起きてきたわけです。

経済成長につれて増減するゴミ排出量

図1を見てください。1963年(昭和38年)は、厚生省が第1次整備5カ年計画に基づいて整備をスタートした年です。「清掃法」は1954年(昭和29年)ですからもっと左側になります。高度経済成長に対応して、都市ゴミの総排出量も1人当たり排出量も、一気に増えていったわけです。そのため、上述のように1970年(昭和45年)に法律が改正されました。

1973年(昭和48年)に第1次石油ショック、1978年(昭和53年)に第2次石油ショックが起きました。第2次石油ショックの時には、原油価格が1バレル36ドルまでに高騰しました。

廃棄物というのはその国の文化や生活を反映すると言われるように、石油ショックによって排出量が急激に減ったわけです。その後、落ち着いてきたかなと思ったらバブル経済で増加していくわけです。つまり、GDP(国内総生産)の増加と共にゴミが増えてきたということです。

一方通行から循環型への流れ

大量生産、大量消費という一方通行的状況

わが国の廃棄物の処理体系や背景を少し頭に入れていただいて、現在の日本の物質収支をご覧ください(図3)。

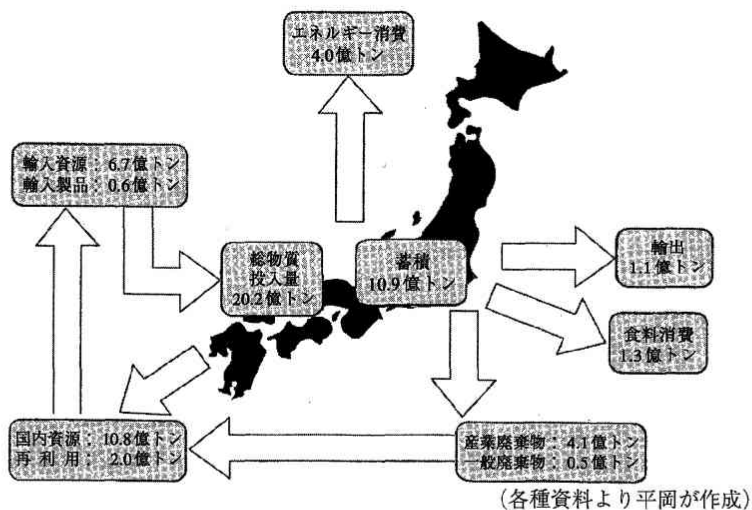


図2 わが国の物質収支

わが国の物質収支は、毎年環境白書に非常に詳しく出ていますが、分かりにくいので、私自身が単純化してパソコンで作ってみたのが図3です。

日本は、輸入資源が6.7億トン、輸入製品が0.6億トン、これに国内資源10.8億トン（ほとんどは砂利とか石灰石）を加えると総投入量20.2億トンの資源を使っています。

そして輸出が重量に換算して約1.1億トンです。食料消費が1.3億トン、エネルギー消費が4.0億トンで、社会の財として社会システムの中にあるのが10.9億トンです。そこから産業廃棄物になって出てくるのが約4.1億トン。一般廃棄物が0.5億トン。そのうち再利用されているものはわずかに2億トン程度です。廃棄物のうちの2億トンが再利用に回っているという状況です。

こういうような一方通行の大量生産、大量消費という状況を循環型に変えようということが循環型社会の構築ということです。循環型社会の技術を評価するときは、まずその技術によって輸入資源、あるいは国内資源をど

れだけ少なくすることができたかというところを評価基準にすべきだと思います。

廃棄物問題は「静脈系」の問題

人間の体は静脈と動脈が動的なバランスを保って初めて健康を保っています。社会システムも同じように生産という動脈系と、処理という静脈系とが、やはり動的なバランスを保つようにしなければならないと思います。

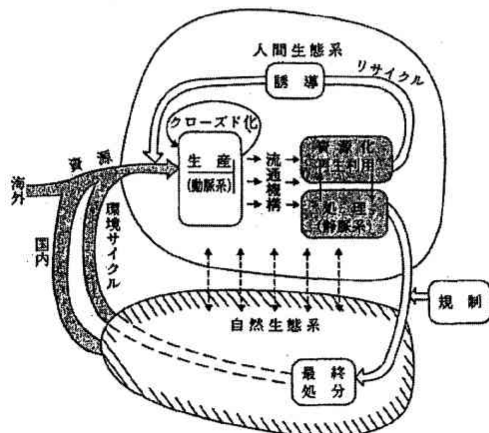


図3 社会の動脈系と静脈系

私が長年、京都大学衛生工学科でやってきたのは静脈系の工学で、学生にもそのように講義してきました。

1960年代に公害問題が多発したのは、生産から直接自然生態系に物が流れたからです。経済活動の内側を人間生態系、周りを取り囲むのが自然生態系とすると、このバランスが非常に微妙です。このバランスをきちんと保っていかなければならない。地球規模でこのバランスが崩れてきたというのが現代の地球環境問題なわけです。

1970年（昭和45年）に「廃棄物処理法」ができたのは、流通系を通った廃棄物を環境サイクルに乗せる、自然生態系に持っていくのをストップするという、いわゆるペナルティを科すということでした。ところが、日本が非常に豊かになってきますと、一方通行を避けるためにリサイクルを進めていかなければなりません。

そして、1991年（平成3年）に「リサイクル法」ができました。リサイクルはあくまでも経済活動の一環ですから、コスト的には放っておいて成り立つわけがないので、やはり何らかの誘導が要するというのが「リサイクル法」ができた理由です。それから、生産系から出る廃棄物をできるだけ少なくするためにこれをクローズド化していく。この3つのサイクルを非常にうまくバランスさせていかなければいけないというのが私の考えです。

廃棄物が生産系から自然生態系に行かないようにペナルティを科す「廃棄物処理法」と廃棄物を資源と捉えを循環させる「リサイクル法」の間には、その趣旨に大きな差があるのは、前者が発展途上国だった頃、後者が50年間で一気に先進国になった後の法律だからなのです。

表2 静脈系の概念とエコ・テクノロジー

- | |
|-------------------|
| (1) 環境サイクルを護る技術 |
| (2) リサイクルを推進する技術 |
| (3) 生産工程のクローズド化技術 |

3つのエコ・テクノロジー

私の勝手な定義ですが、「環境サイクルを護る技術」「リサイクルを推進する技術」「生産工程をクローズドする技術」を「エコ・テクノロジー」と定義して、立命館大学にエコ・テクノロジー研究センターというのを作らせていただいたわけです。

① 環境サイクルを護る技術

「環境サイクルを護る技術」というのは公害問題の時代から大気汚染防止法でやってきたわけですが、最近では、経済成長の中の大きな負の遺産、特に有害物質を何とかしなければいけないという思いから提案されたものです。

表3 環境を護る技術の具体例

有害物質の処理と管理

- | |
|--------------------|
| (1) ダイオキシン類発生の削減技術 |
| 都市ゴミ焼却炉 |
| 産業廃棄物焼却炉 |
| 小型焼却炉 |
| 各種産業製造プロセス |
| (2) PCBの管理と処理 |

1963年（昭和38年）に第1次5カ年計画で厚生省は都市ゴミを処理する時に焼却プロセスを導入しました。当時は、ゴミの発熱量が少なくて全然燃えなかったんです。自然しなにもかかわらず焼却プロセスを導入したのは、伝染病予防のためでした。いわゆるバイオハザードは、狂牛病もそうですが、熱で焼却してしまうのが良いのです。そういう意味で焼却プロセスが入ってきました。ところが経済成長と共に発熱量がどんどん上がってきた。それから、ダイオキシンが発生するということで大問題になってきました。現在、都市ゴミ焼却炉の改造や建設が急ピッチで行われています。

ポリ塩化ビフェニール（PCB）については、15年前、私が委員長で鐘ヶ淵化学の5,500トンの熱媒体の熱分解処理をやりました。その後、PCBは貯留されるだけで処理がほとんど行われていなかったのですが、ようやく2001年6月にPCBの特別措置法ができ、環境事業団の法律改正が行われて、国がPCBの処理も進めることになりました。15年間で処理するという義務が課せられてようやく進んできました。

さらに、「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」（略称

「フロン回収破壊法」）が平成13年6月にできました。2002年4月からの施行ということで、フロンの方も分解していく形になってきたわけです。

② リサイクルを推進する技術

循環型社会に向けてのリサイクル技術の最初に挙げられるのが、「マテリアルリサイクル」です。その対処のため、例えば、「家電リサイクル法」という法律があり工場でリサイクルがどんどん進みつつあります。ようやく軌道に乗ってきて不法投棄も少なくなり、市町村からのラインが全部民間に置き換わってきたということで、順調に動いているようです。

次に挙げられるのが「ケミカルリサイクル」です。私はこれを「フィードストックリサイクル」と呼んでいます。先ほど申しましたように、動脈系の原料として戻すことが一番の根本的なリサイクルだと思っています。廃プラスチックの油化、高炉へのプラスチックの吹き込み、あるいは廃棄物でセメントを作るエコ・セメントなどもこれに該当します。

最後に挙げられるのは、「サーマルリサイクル」です。これは廃棄物発電に代表される技術です。最近では、ダイオキシンの抑制面でも有効で、資源循環型廃棄物発電とも言えるガス化溶融があります。なお、私はガス化技術をガス化溶融技術とガス変換溶融技術に分けるということをエネルギー総合工学研究の委員会で提案しています。また、「サーマルリサイクル」としては、RDF（廃棄物固形化燃料）を使った発電も挙げることができます。例えば、電源開発(株)が北九州市若松事業所で私が評価委員長として実施中の研究開発プラントがありますが、発電効率35%を目指した

表4 リサイクルを推進する技術の具体例

- | |
|--|
| <p>(1) マテリアルリサイクル—家電リサイクル等</p> <p>(2) フィードストックリサイクル
—廃プラスチックの油化、
高炉への吹き込み、
エコ・セメントの製造</p> <p>(3) サーマルリサイクル
—ダイオキシン抑制、
資源循環型ゴミ発電（ガス化溶融、RDF）</p> |
|--|

表5 生産工程クローズド化技術の具体例

(1) 水銀対策
苛性ソーダ工業界の製法転換
乾電池の無水銀化
(2) ダイオキシン対策
紙パルプ産業界の塩素漂白から酸素漂白への転換
(3) 今後の環境規制の強化に伴うプロセス変換

実験が成功裡に進められ2002年で終了するという状況で進んでいます。

③ 生産工程のクローズド化技術

環境問題に対して製造プロセスそのものを変えていくことが進んでくだろうと思います。過去にも具体例があります。

1960年代の公害問題の中に、水俣病の有機水銀という問題がありました。水俣の場合の水銀は、触媒として使われていた無機水銀が海中で有機水銀に変換したものでした。ところが、日本という国はすべて「水銀＝水俣病」というような議論が出るし、「焼却炉＝ダイオキシン」というふうな短絡的で非科学的な社会システムですのでその点を配慮した対応が必要です。苛性ソーダは食塩を電気分解して作る時に、昔は水銀電極を使っていたわけですが、この水銀電極がイオン交換膜法に全部換わりました。これは世界的に画期的なものだと私は思っています。乾電池についても、水銀を使っていたので焼却炉から水銀が出るという大問題があったのですが、これも無水銀化されました。

ダイオキシン関係では、紙パルプの漂白時の塩素によってパルプ廃液からダイオキシン

が出たわけですが、これは塩素漂白から酸素漂白へほとんど転換が終わってダイオキシンが出ないようになっています。

以上の例に見られますように、環境対策として製造プロセスそのものを変えていくという方向を目指すことも、非常に大事であろうと思っています。

循環型社会の構築へ向けて

そのような技術を生かしながら循環社会の構築に向けて、「リサイクル法」「廃棄物処理法の改正」「容器包装リサイクル法」「家電リサイクル法」の順に、わが国の法律が整備されてきています。そして、基本的な法律として「循環型社会形成推進基本法」(略称「基本法」)ができ、形成すべき循環社会のあり方が示され、その中で廃棄物は循環資源という形

表6 循環型社会構築へ向けた歩み

- 人間生態系と自然生態系のバランスー地球環境問題
- わが国の物質収支
- 法体系の整備
 - (1) リサイクル法 (平成3年)
 - (2) 廃棄物処理法の改正 (平成4年)
 - (3) 容器包装リサイクル法 (平成9年)
 - (4) 家電リサイクル法 (平成10年)

表7 循環型社会形成促進基本法の趣旨

- 形成すべき「循環型社会」
- 循環資源
- 処理の優先順位
- 国、地方公共団体、事業者及び国民の役割分担
事業者、国民の「排出者責任」
生産者の「拡大生産者責任」の一般原則を確立
- 政府が循環型社会形成基本計画(案)策定

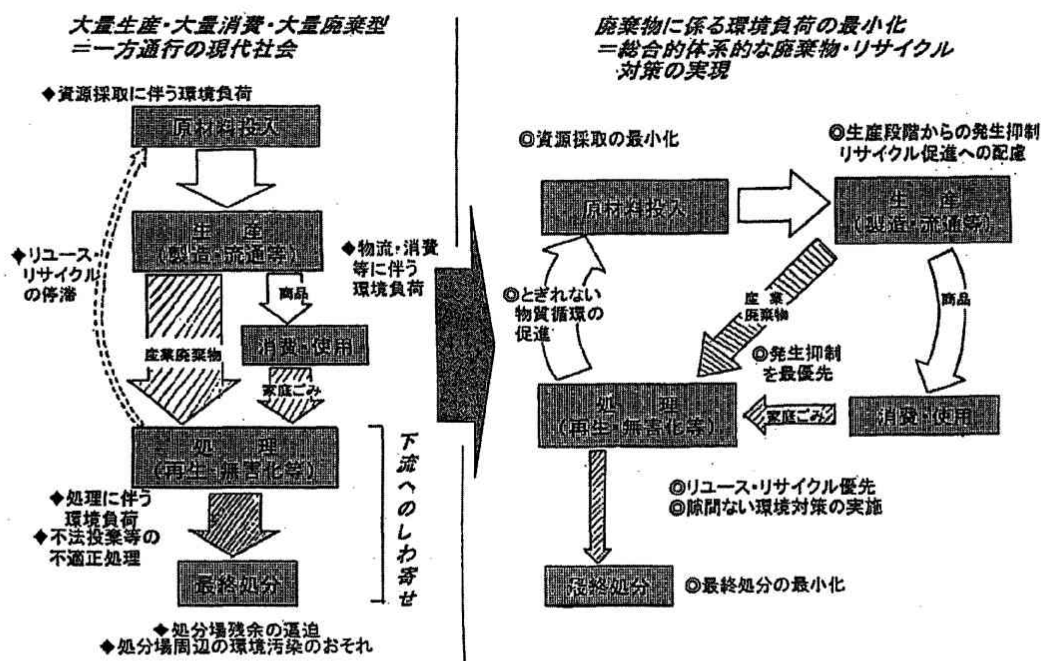


図4 環境への負荷の少ない循環型社会の構築

でとらえられています。

サーマルリサイクルの位置づけも明確にしていかなければなりません。廃棄物への取り組みは3R (Reduce, Reuse, Recycle) という形で処理の優先順位が決められています。その実施に際しては、国、地方公共団体、事業者、生産者責任の一般原則を確立し、政府が基本計画を立てるということで進んでいます。「サーマルリサイクル」は現在、中央環境審議会の方でその位置づけが検討されていると理解しています。

私は上述の廃棄物取組の方針策定までは中央環境審議会の廃棄物部会長をしていまして、国会で基本法の検討のための参考人として陳述したことがあります。図4は、同部会でまとめた図です。現在の原料投入から生産、大量消費、最終処分という一方的なものを循環

型にしていこう、途切れのない物質循環の輪を作っていこうという提案で、これが前述の「基本法」につながったわけです。

循環型社会形成推進のための法体系

推進の法体系としては、ご承知の環境基本法が2000年12月に改正され、その中で「環境基本計画」があります。それをもとに、今の「基本法」ができ、基本的な枠組みができたわけです(図5)。その下部に「廃棄物処理法」、それから「リサイクル法」があります。前者の位置づけはペナルティであり、後者は推進ですから、基本的には非常に違うわけです。これを一体化するために「基本法」ができたわけですが、厚生省管轄だった廃棄物が環境省に移ってしまったものですから、環境省の

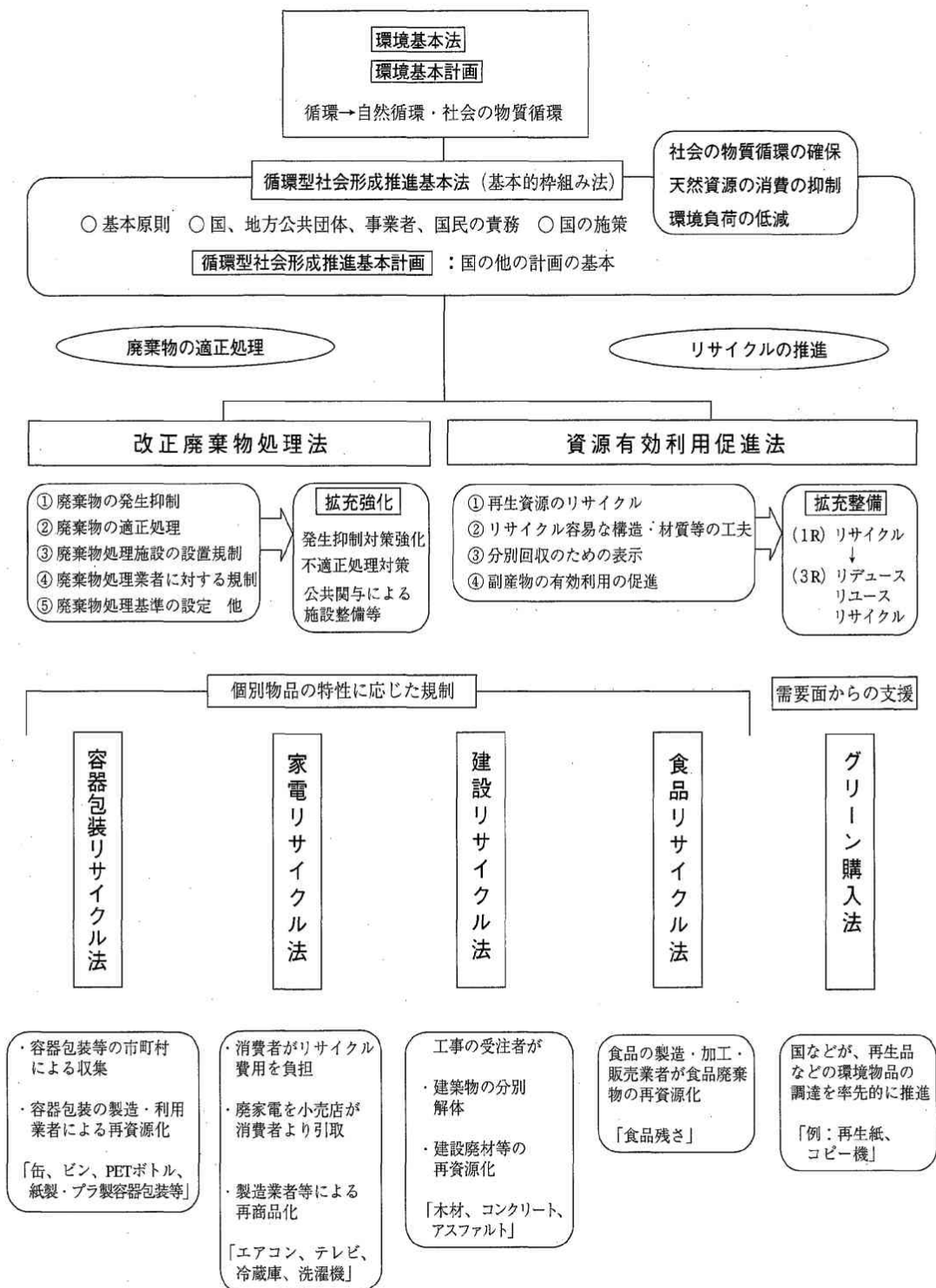


図5 循環型社会形成推進のための法体系

下で、元環境庁管轄の「基本法」と元厚生省管轄の「廃棄物処理法」が一緒になってしまったわけです。私の個人的な見解ですが、廃棄物の定義とかを改正するのだったら、この基本法は内閣府ぐらいに上げてほしいと思います。

いずれにしても、「廃棄物処理法」「容器包装リサイクル法」「家電リサイクル法」「建設リサイクル法」「食品リサイクル法」「グリーン購入法」というふうに整備されてきて、2002年の通常国会には経済産業省を中心に、「自動車リサイクル法」(仮称)が提案されるそうです。これができますと、かなり法体系が完成に近づくのではないかと思います。

おわりに

循環型社会の「高度化」に向けて

「高度循環社会」の何が「高度」なのか、その議論が行われていますので、これを紹介して締めにしたいと思います。

現在、産業構造審議会の環境部会廃棄物・リサイクル小委員会の中に「ワーキンググループ」があります。そこで今、自動車とパソコンが議論されています。これは早稲田大学理工学部の永田勝也教授が一所懸命やっておられて、もうかなり議論が詰まっています。

もう1つ基本的な理念を議論する「企画ワーキンググループ」というのがありまして、私がヘッドを兼任しています。2001年12月中に一応中間的なまとめをやるんですが、今後

のリサイクル政策の課題を議論しています。

これがリサイクルのスキームの高度化ということです。現在でき上がりつつあるリサイクルのスキームをさらに高度化し、広域化、広範化しようということで、「資源有効利用促進法」「容器包装リサイクル法」「家電リサイクル法」等の適用、それから「自動車リサイクル法」(仮称)が2002年の通常国会に上程されようとしています。

廃棄物・リサイクル小委員会の方では、産業構造審議会のためのリサイクルガイドラインを作っています。これをさらに充実させていく中で、まずは拡大生産者責任、役割分担論の再整備をする必要があります。ご承知のように、経済協力開発機構(OECD)からつい先日、拡大生産者責任に関するかなり厚いレポートが出ました。(財)クリーン・ジャパン・センターから日本語訳が出ていますから興味のある方は読むことができます。

次は、業種製品取組のクライテリアの高度化。すなわち、Reduce, Reuse, Recycleという3Rのことですが、3Rを進める時の優先順位をどうやって判断するか。特に、サーマル製品の位置づけについて、LCA(ライフサイクル・アセスメント)の手法を確立して、何が優先順位として高いのか決めていけるようにしようということが今議論されています。

「リサイクル率」という言葉が使われていますが、定義が非常に曖昧です。品目ごとにリサイクル率の定義が違ってきます。そこで、「リサイクル率」の定義をきちんとしていこう話になっています。なかなか難しく、うまくいくかどうか分からないのですけれども、何とかそれをまとめていこうとしています。

それから、製品アセスメント、モニタリン

グの効果測定をやろうとしています。例えば、家電リサイクル法の施行後、コスト的な解析をした結果、地方自治体の負担がかなり減ってきているという経済産業省のレポートが出てきています。

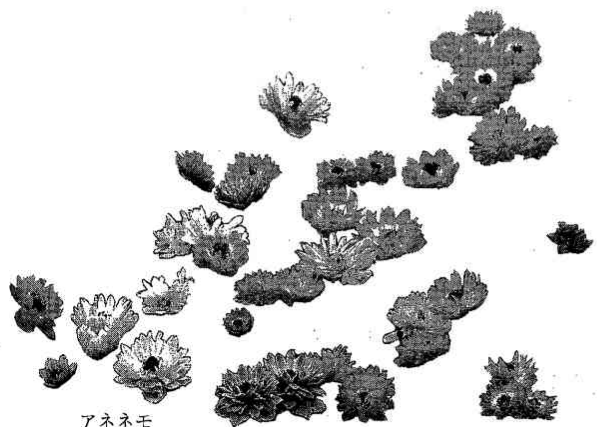
リサイクルになりますと、中古品などが東南アジアを中心に輸出されます。そこで、輸入品への対応とリサイクル製品の輸出ルート of 明確な位置づけという課題があります。きちんとしておかないと、国際的な問題が出てくるだろうということです。

さらにイノベーション、循環ビジネスの促進をしていこうということで、高度リサイクル施設の整備促進があります。ご承知のように、今現在、全国の十数カ所でエコタウン事

業が動いています。これをさらに進めていくのが経済産業省の目標の1つであると理解しています。

それから環境会計、環境ラベリング、LCA等の整備実用化促進、イノベーションの促進、3R関係の技術開発のプログラム化、戦略的な技術開発の投資の促進、規制改革の促進、こういうところを現在「企画ワーキンググループ」で議論をしているところで、平成13年度中には中間的なまとめができるのではないかと思います。

時間が参りましたのでこの辺で終わりたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)



アネモネ

〔講演〕

廃棄物処理施設建設の問題点と PA（パブリックアクセプタンス）のあり方*



長田 純夫（福岡大学
資源循環・環境制御システム研究所教授）

はじめに

枯渇する最終処分場の深刻さ

今、化石燃料の枯渇が地球的、人類的な問題だと言われています。それを受ける形で、1 番目、2 番目の講演は新エネルギーについてのものでした。化石燃料は後43年ぐらいしか持たないという予測があります。ところがゴミの最終処分場は後数年しか余裕がありません。資源の枯渇よりも最終処分場の枯渇の方が先なのです。がそれだけ、最終処分場問題がより重要だということが分かんと思います。ところが、それほど重要な最終処分場問題も、いざ建設となると、地域住民の方々の理解が得られず、なかなか実現しません。新聞報道によると、現在、ゴミ焼却施設や最終処分場を巡って、全国約600カ所で紛争が起っています。広域ゴミ処理ということになると、処理場の建設候補地になった市や町は必ず反対運動を展開します。

他方、廃棄物発電技術の開発は色んな分野

〔略歴〕

1963年九州工業大学工学部卒。九州大学助手を経て、1966年通産省九州工業技術試験場入所。1975年フロリダ大学大学院修了。1989年長崎県工業技術センター所長。1998年7月から福岡大学工学部教授兼資源循環・環境制御システム研究所研究開発室長。工学博士。

専門は、産業連携、資源循環工学、廃棄物処理にかかわる地域住民、自治体のパブリックアクセプタンスの研究。

で長年行われてきました。しかし、それがなかなか普及しないという現実があります。

本日は、最終処分場建設問題が迅速な解決に向かわない理由について私なりの分析を述べることで、廃棄物発電普及の手がかりだけでも提供できれば幸いに思います。

ゴミ処理をめぐる問題の根幹

資源の流れの中でゴミ問題を考える

図1は資源の流れです。石炭や鉄鉱石を掘る（資源採掘）、鉄を作る（精錬）、船を造る（加工）という具合に流れて行って、最後には

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」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。

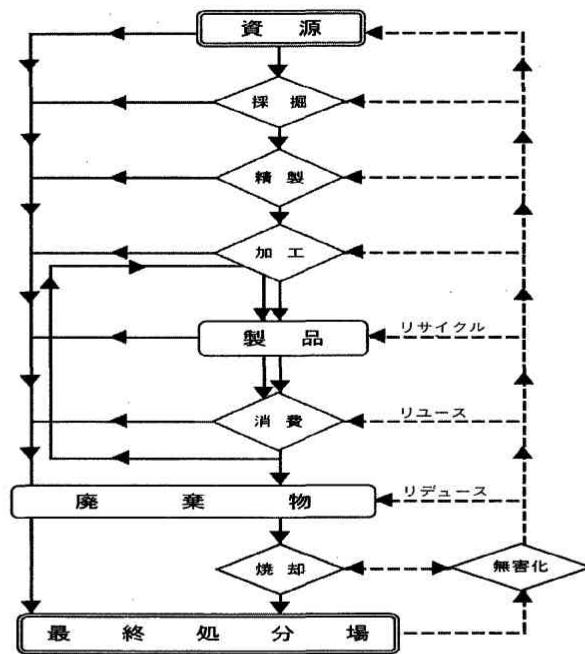


図1 資源の流れ

廃棄物になって最終処分場行きになります。

私がいま福岡大学資源循環・環境制御システム研究所は、実際のゴミ処分場の挙動をシミュレートできる大型スケールの埋立実験場を持っています。それも北九州市から管理処分場として認定を受けたものです。このよ

うな研究所は日本で唯一、世界でも類はないと理解しています。

研究所には産学官は勿論、一般の自治会の方、PTAの方、老人会、弁護士等々、いろいろな方が見学に来られます。そういう方々と接触していて思ったことは、図2の廃棄物問題

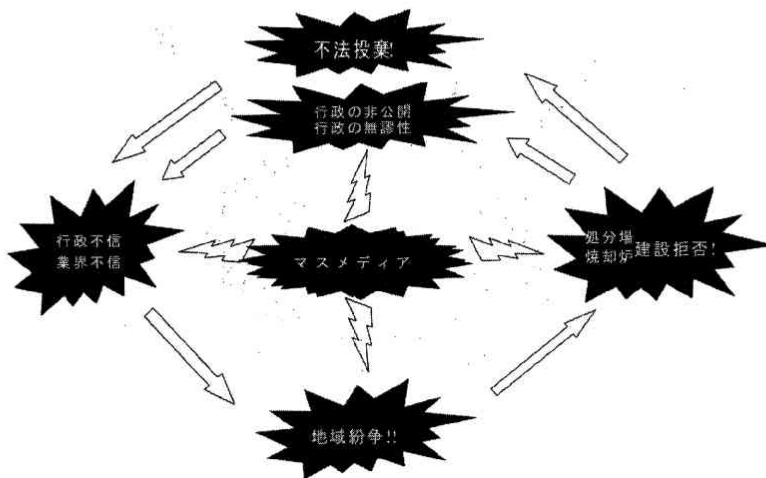


図2 廃棄物問題の現状（悪循環型）

の悪循環です。新聞ではほとんど毎日、焼却炉問題、ダイオキシン問題など、余り良くないニュースが報道されます。この悪循環を好循環にしなければ問題解決は難しいのではないかと思います。

もとはと言えば、自分たちで出したゴミです。製品の時にはお世話になった物ばかりです。さんざんお世話になっていたのに、ゴミになったら反対するというのは、どこか間違っているんじゃないかと思い、地域の人たちや環境活動家などと一緒に議論をしています。

廃棄物問題の好循環に向けて

図3は問題の悪循環を好循環に変えるための1つのプロセスです。私の研究所では、卒業後に産官学に加えて、政（政治）、報（マスコミ）、民（住民）、労（労働組合）、団（各種団体）とも連携して環境問題を議論するユニークな研究会「環境意識共有化研究会」を約3年前から続けています。世の中を構成するいろんな人が環境問題の意識を共有すれば前向きなプロセスが起こるだろうと期待してい

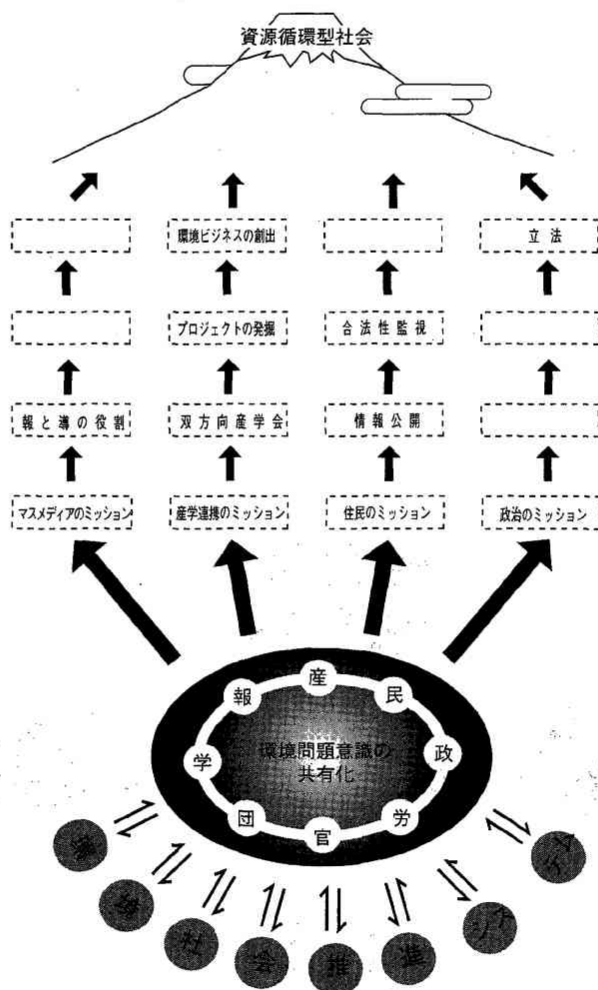


図3 問題意識共有化のプロセス

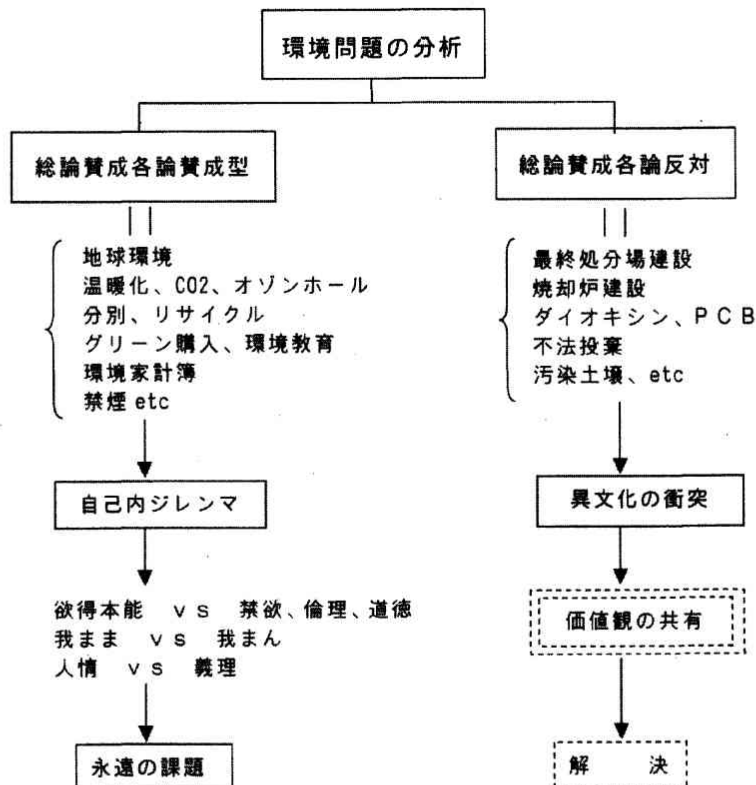


図4 環境問題の類型分析

ます。さらに、技術者を対象とした専門的発表会と市民を対象にした一般公開セミナーもやっています。

廃棄物問題は総論賛成各論反対の環境問題

ゴミはゴミになる前、私たちがお世話になった製品だったわけですから、「ゴミは処理しなければいかん」「循環型社会にしなければいかん」ということは共有できます。しかし、各論になると反対する。廃棄物問題は、「総論賛成・各論反対」の典型的な問題です。

環境問題を分析すると、図4のように「総論賛成・各論賛成型」と「総論賛成・各論反対型」に分けることができます。例えば、地

球環境の保護にはみんな総論でも各論でも賛成なんです。そういう問題はどんどん対策を進めればいいんです。しかし、ゴミ処分場建設反対、PCB（ポリ塩化ビフェニール）研究施設反対というのが全国いたる所にあります。「総論賛成・各論反対」の問題です。このように同じ環境問題であっても、分けて考えて整理していくと解決法が見えてくるような気がします。

問題解決を困難にする誤解、曲解、未理解

「総論賛成・各論反対」の典型例である廃棄物関連施設の建設とか、ダイオキシンの処理問題とかをどうやって共有化できるか。今

表1 誤解、未理解を解く（説く）

例1. 加害者 VS 被害者 → 加害者 & 被害者
(高度成長のつけがゴミ)

例2. ダイオキシンは危険である → ダイオキシンは恐くない
(相手、正体がわかれば対策が採れる)

例3. 安全 VS 危険の論争 → 合法か違法かのチェック
(素人の水掛け論は裁判になる)

まで、10年、20年、全国で闘争があるわけです。最後は行政代執行にならざるを得ないのがいっぱいあります。不法投棄の問題から住民の反対運動も含めて投入したエネルギーはものすごいロスです。共有化するとそれが前向きに進みます。共有化への移行を表1で整理しています。

まず、いろんな誤解、曲解、未理解、不理解、そういうのがどうも広がっていると思います。

① 加害者と被害者が同じ

例1で書いていますけど、反対する人たちは、加害者は産業界や行政であって、自分たちは被害者だといって反対する。しかし、少し考えてみると、我々みんなが加害者で同時に被害者ということが分かるんですね。

② 原因物質が分かれば対策とれて大丈夫

例2に、「ダイオキシンとかPCBは危険だ」という認識が広がっています。私は、研究所に来る人たちに、「ダイオキシンはあぶなくない。怖くない」と言うんです。「なぜか」と疑惑の目で見られます。つまり、問題の正体がわかれば正しい対策をとれるので恐くない、と説明します。現在のハイテクノロジーなら、

ダイオキシンの無害化処理、PCBの処理は朝飯前です。ダイオキシンの出ない焼却炉もほとんど開発できるのですから。

まだ「PCBやダイオキシンが原因だ」とよく分からなかった時に事故が起こる。その事故の延長で、原因が特定され対策が準備された後でも、「焼却炉や埋立処分場を作ったらそうなるんじゃないか」という意見が聞かれますが、それは誤解です。例えば、水俣病は今、世界のどこであろうと起こっていません。原因が分かっているので、その対策をとれるからです。ですから、PCB、ダイオキシン、その他の有害物質も「どれが問題を起こす物質なのか分かり、合法的に対策をとれば怖くない」と私は言うのです。

③ 合法か違法かのチェックが重要

3例目は、素人の水掛け論はやめようという話です。例えば、ダイオキシン問題では、地域住民の中に勉強家がいる、危険な例を勉強して行政や業者を糾弾する。糾弾された側は、「こんな技術もあるから安全だ」と答える。「危険だ」「いや安全だ」の水掛け論になるわけです。水掛け論の次は決着を付けようとして裁判になる。そうすると「疑わしきは罰する」という世の中の風潮からして、処理施設

表2 モノ福祉の発想

人間の一生	未成年	成人	老年	死後
	養育・教育	労働・生産	福祉	墓場

モノの一生	製造/生産	利用/使用	モノ福祉	廃棄物
	原料・素材	製品		最終処分

建設計画が差し止めになる。最終処分場が増えない。それでもゴミは増えていく。処分場がどんどん枯渇していく。できるだけゴミが最終処分場までいかないようにと、リサイクル法が出てくる。そういう因果関係があるわけです。

ですから、「安全か危険か」という議論の前に、「合法か非合法か」をチェックしたら、素人にも分かる答えが出るのです。そうすれば、裁判で当事者たちのエネルギーを浪費しなくて済むのです。この3例では、マスコミが後ろ向きの情報を流し、読者である住民がそれに乗るという図式があるのかなとも思います。

ゴミと付き合う哲学—「モノ福祉」の発想

廃棄物問題の解決のためには、哲学が必要だと思います。その説明のために「人間の一生」と「モノの一生」を対比したら分かり易いかなと思い、表2を作ってみました。人間は、生まれ、成長し、老いて死んでいく。それと同じように、「モノの一生」を考えました。

人間が未成年で学校に行っている時代に当たる頃、モノは原料や素材の状態で、まだ世の中の役に立っていません。しかし、人間が成人して世の中で役立つように、原料や素材も加工され製品になり役立つわけです。そし

て人間もモノも老年を迎え、最後に死にます。今やモノはリサイクルされたりして、寿命を延ばし、最後に最終処分場に行きます。

老人福祉があるように、モノに対しても簡単に廃棄物にしない、「モノ福祉」という発想があって良いと思うのです。

表2で空欄が1つありますが、ミスプリントではありません。「モノ福祉」時代に相当する日本語がないからです。「モノ福祉」という概念がまだ存在しないので、言葉もないのは当たり前です。私は語呂合わせで「待機物」はどうかと提案します。直ちにゴミになるのではなくリサイクルされたり、無害化処理されたりするのを待っている、という意味です。

結論ですが、私たちは先輩や両親、先祖を敬って、後世の若い人たちが代わる代わるその人たちの面倒を見る。ある時調べたら旧厚生省の福祉予算は17兆円ぐらいありました。モノの場合も、「臭いものに蓋をする」「反対」するのでなく、敬意を払って最後までちゃんと面倒を見なければ申し訳ないと思うわけです。ゴミになった、かつて現役だった製品のおかげで、つまりゴミのおかげで我々は今日の経済繁栄を享受できているのではないのでしょうか。そうすると「モノ福祉」予算も要るじゃないかと思うのです。

静脈である廃棄物処理は、製品を生み出す

動脈産業あってこそですから、動脈産業を前提にゴミのことを考えないといけません。それでも環境省になる直前の旧環境庁の予算は約2,000億円でした。老人福祉の17兆円と比べますと、『循環型社会』の到来までにはまだ時間がかかるな』と思います。

おわりに

エネルギーを取り出すリサイクル

—廃棄物発電へ期待

「循環型社会」はまだまだこれからですけ

れども、逆に見ますと、それだけいっぱいやり残しがある、それだけ希望が残っているという見方ができるのではないのでしょうか。

その中で廃棄物発電には、他のリサイクルが本質的にエネルギーを投入しなければならないのに対して、エネルギーを取り出せるというのが大きな利点です。そのメリットを生かすためにも、地域住民との問題意識の共有化がこれから非常に重要になると思います。そうすることで、図5のような好循環型になるのではないのでしょうか。これが私の結論です。

ご静聴、ありがとうございました。

(拍手)

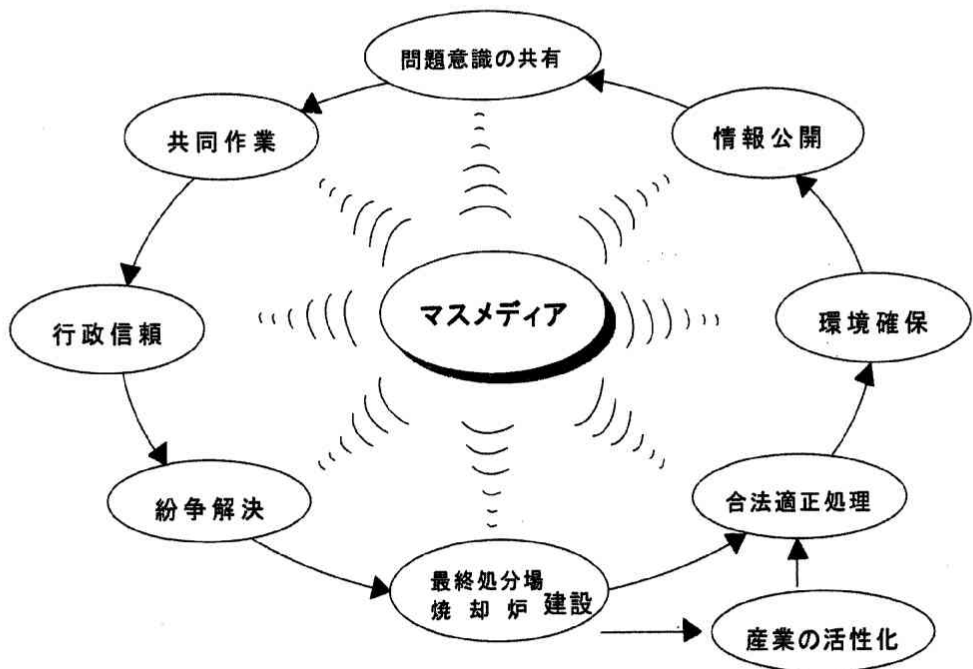


図5 廃棄物問題（好循環型）

新エネルギー・産業技術総合開発機構
エネルギー・環境技術開発室 副主任研究員

その社会的インパクトの大きさ

〔略歷〕

1988年大阪府立大学工学部卒。1990年東京工業大学総合理工学研究科修士課程修了。1990年電源開発株式会社入社。1990年若松石炭利用技術試験所A-FBC運転・試験及びP-FBC建設・運転・試験に従事。1995年火力部火力計画課にて廃棄物発電の調査研究及びフィージビリティ・スタディに従事。

2000年新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)に出向。現在、エネルギー・環境技術開発室 副主任研究員。

発電の位置づけ、②新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）プロジェクトの高効率廃棄物発電技術開発についての流れ、③技術開発が完結した後の廃棄物発電スキームの将来像について、話したいと思います。

廃棄物発電の位置づけ

新エネルギーの中で極めて有望

化石燃料火力発電と比較すると廃棄物発電はまだ多くの課題を抱えています。しかし、新エネルギーの範疇では極めて有望です。

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」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。

表1 化石燃料火力発電と廃棄物発電の比較

	化石燃料火力発電	廃棄物発電
燃料収集・運搬	大量輸送・一括渡し	多数個所の分散収集・コスト高
燃料性状・量	均一・選択権は事業者 高稼働率可能	不均一・全量引取りの義務あり 低稼働率
プラント規模	電力需要見合いで大規模可能	立地点見合いで大規模困難
プラント効率	事業者が燃料・立地地点選択可能 高温高压蒸気 水冷復水器使用により高効率可能	高腐食性ガスを発生するゴミも受け入れ、 蒸気条件が低い 空冷復水器→低効率 含水率の高いゴミ→所内動力大
公害対策	SOx, NOxと特定→効率的除去 可能 灰処分容易	HCl, 重金属等あり→ダイオキシン対策・ 灰の溶融等必要→所内でのエネルギーが 必要

表1は、化石燃料焚き火力発電と廃棄物発電との比較です。燃料の収集、運搬、性状、さらに効率的な面、またプラント規模の面など本表記載の項目は、どれをとっても化石燃料火力発電の方が勝っています。

化石燃料火力発電との比較

廃棄物発電は火力発電と比較して以下の課題があります。

●燃料の収集・運搬

多数の分散収集が必要となります。それぞれのゴミ置き場まで行って収集しないといけないからです。従って、単位熱量当たりのコストは高くなります。

●燃料の性状・量

廃棄物発電の場合、燃料はゴミですので性状が不均一で、また全量引き取りの義務があります。ゴミの引取量は季節によって変動します。発電プラントは最大引取量に合わせて設計する必要があるのです、年間平均では稼働率は低くなります。

●発電プラントの規模

非常に大規模なプラントを建設するとなると、燃料であるゴミが大量に発生する都市部、またはその周辺に建設することになると思いますが、高い地価、人口の密集具合等を考えますと今後の新規建設はかなり困難です。

●発電プラントの効率

塩化水素（HCl）という腐食性ガスの問題があります。また、通常、廃棄物発電所は河川、地下水を汚染する恐れのない場所に立地していますから、まず水冷復水器は使えません。このため発電効率は低くなります。さらに、含水率の高いゴミを燃料として使っていることから、脱水工程が必要となり所内動力が大きいう問題があります。

●公害対策

ゴミの中に含まれているHCl分や重金属などがあることから、ダイオキシン対策や灰の溶融等が必要で、その点からも必要となる所内動力が化石燃料に比べて非常に多くかかるという課題があります。

表2 新エネの中での廃棄物発電のメリット

- ・既に主要なインフラが整っている。
- ・天候、風速、気温に左右されない。
- ・全国に立地可能
- ・（新エネルギーの中で）大容量
- ・24時間の連続運転

新エネルギー中での廃棄物発電のメリット

新エネルギーの中での廃棄物発電の主なメリットを5点挙げてみました（表2）。このうち、最も大きなメリットは、既に清掃工場という主要インフラが整っているということです。清掃工場を廃棄物発電所に転換できます。あと気象に左右されない、地域性を問わない、また新エネルギーの中で1施設当りの発電出力が大であり、原則的に24時間運転できるところから系統にも優しいという、極めて有望な点をもっています。

これらのメリットから、2010年度の新エネルギーの導入目標全体に対する廃棄物発電の

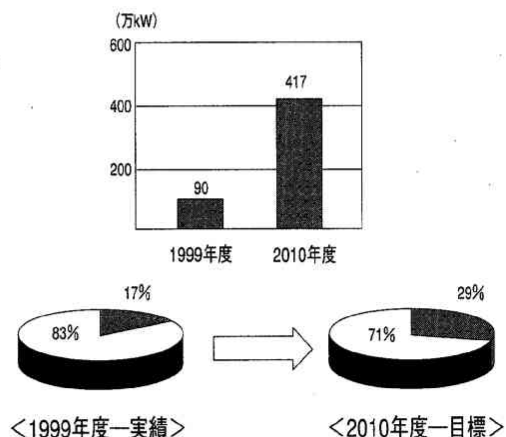


図1 廃棄物発電導入目標

比率は29%でトップです（図1）。廃棄物発電の導入量は、1999年実績で90万kWですが、それを一気に5倍弱の417万kWにするということで、我々が取り組まなければならない課題は非常に多いと思います。

廃棄物発電の現状

図2は国内の廃棄物発電の現状です。処理規模ごとに処理量を合計したもの（白い棒グラフ）と発電設備を有する施設の処理量を処理規模ごとに合計したもの（黒い棒グラフ）です。

まず、200t/日未満の処理施設はほとんど発電施設を持っていません。

次に、発電設備を有している処理施設に入ってくるゴミは全体の4割でしかないということが言えます。この4割を限りなく10割に、つまり、すべてのゴミが発電設備のある処理施設に持ち込まれるようにすることが、まず廃棄物発電の導入目標達成のために必須の条件になろうと思います。

最後に、200t/日以上 of 施設についても現有施設ではまだまだ効率の低いものが多いとい

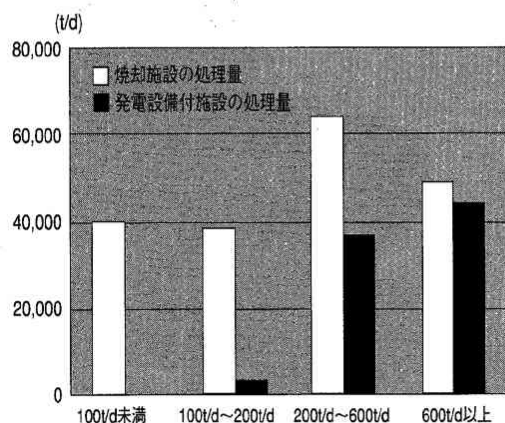


図2 廃棄物発電の現状

表3 研究開発スケジュール

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. 廃棄物ガス化溶融発電技術の開発													
5. 廃棄物ガス変換発電技術の開発													

うことです。それらを新規に高効率のものに変えていく必要もあるかと思えます。

またその他、現在発電用としてあまり利用

されていない産業廃棄物についても今後一層の発電導入が必要ということが挙げられるのではないのでしょうか。

パイロット試験の概要

- 蒸気条件：500℃×100ata
- 定格規模：50t/日×1炉
- 発電機出力：800kW
- 主要機器形式：ストーカ炉，復水タービン
- H10～11年度末まで（13,800時間）実証試験

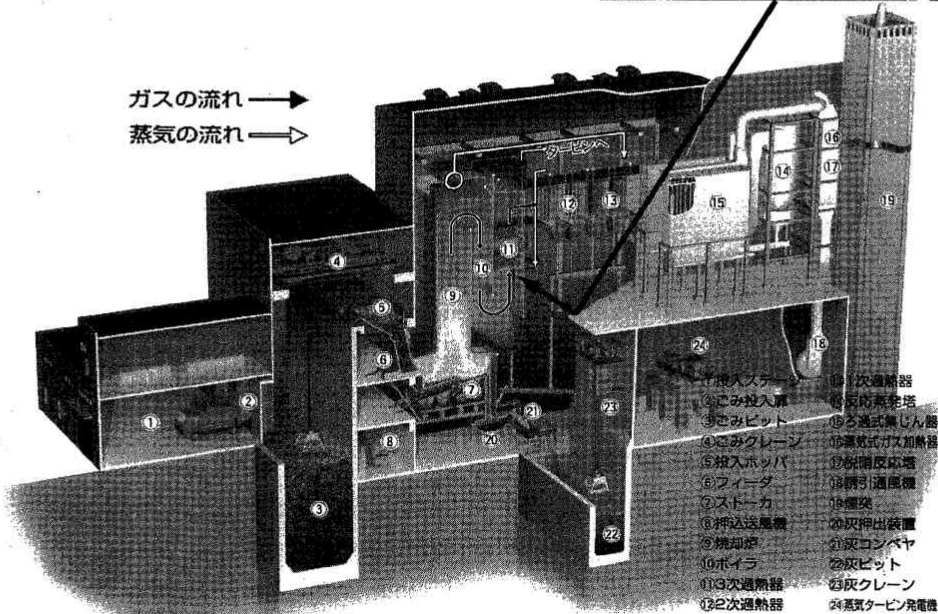


図3 パイロットプラントボイラ

NEDOプロジェクト

①ストーカ炉の発電（平成3年度～11年度）

高温高圧蒸気による発電を研究しました。実際にパイロットプラントなどを用いまして実証試験を行いました。平成3年から着手した技術開発ですが、実証試験では平成10年から平成11年度末まで、蒸気条件500℃、100ataのストーカ炉を用いて約13,800時間の安定運転を行いました。

図3の中央がパイロットプラントボイラです。ゴミが投入されてストーカ炉で燃焼される。それから排ガスは第1パス、第2パスを通り第3パスへ導かれ、それぞれのボイラーを通りバグフィルターへと導入される。そして最終的に脱硝装置を通り煙突から放出されるというものです。このうち安定運転の中で一番懸念されるのは、3次スーパーヒーターの腐食です。この3次スーパーヒーターの箇所にテスト的に我々が開発した合金を用いて、

減肉度合がどうなっているか試験しました。

図4がパイロットプラント実証試験の成果です。開発材は鉄にクロム、ニッケル、モリブデンを添加したものです。それぞれ各種開発材を先ほどのテスト部位に取り付けました。実証試験の結果をかいつまんで紹介しますと、開発材の場合、1年間当たりの最大腐食減肉量は、実験結果から試算して1mm以下になることが分かりました。この開発材を用いた時の腐食代を約5mmとすると、寿命の予測値は5年以上になる。つまり、実用化に耐えるという結論が出ました。この実証試験の成果を用いて、一般の商用機でも蒸気温度の主流が300～400℃に上昇しつつあるというのが大きな成果です。

②ガス化溶融発電（平成10年度～12年度）

ガス化溶融の特性を生かした高効率蒸気タービンによる発電で、特に高温高圧化の技術開発に取り組みました。ゴミを熱分解してガスを取り出し、それをガス化溶融炉で燃焼させます。そしてボイラーやスーパーヒーター

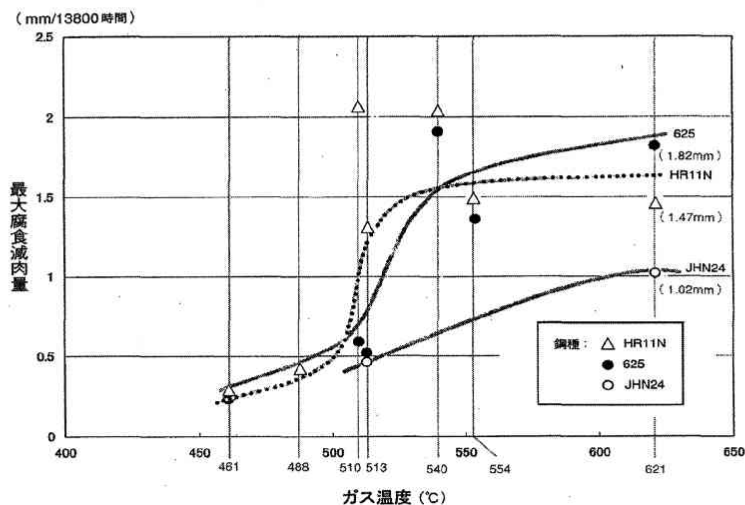


図4 パイロットプラント実証試験の成果

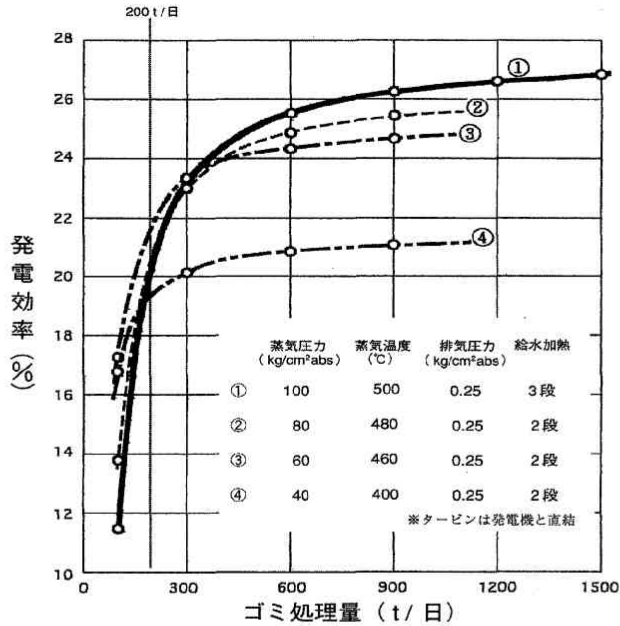


図5 ゴミ処理量と発電効率の関係

で蒸気を交換し、後は煙突から放出するというものです。

③ガス変換発電技術（平成13年度～15年度）

平成13年度から3カ年かけて、廃棄物のガス変換、ガスエンジン発電を行います。この開発の背景には、蒸気タービンによって小規模廃棄物発電を行うと極めて効率が悪いということがあげられます。図5を見ますと、ゴミ処理量が200t/日以下だと発電効率が急に落ちています。これは蒸気タービンの構造上や

むを得ないというところがあります。つまり、タービンの羽に蒸気を当ててタービンを回転させるわけですが、その時どうしても羽に当たらず羽と内壁との間を通り抜け、漏れる蒸気が出てきます。この漏洩する蒸気量はプラント規模の大小にあまり関係ありません。従って、蒸気発生量の少ない小規模プラントほど発電効率が下がることになります。蒸気タービンを用いる発電で、小規模プラントの高効率化がなかなかできないというネックはここにあるかと思います。

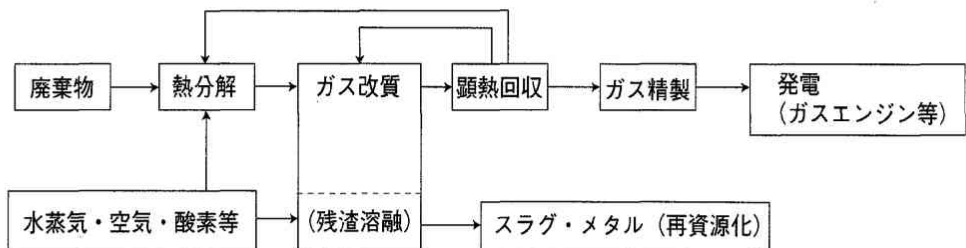


図6 高効率廃棄物ガス変換発電

そこで我々は、蒸気タービンを使用しない発電法がないか考えました。その答えがガス変換発電システムです（図6）。

これはゴミを熱分解して可燃性ガスを得、それを水素や一酸化炭素へと改質します。出てきた高温ガスを熱回収して、ガス生成した後、ガスエンジンなどで発電する。つまり、このスキームでは蒸気タービンを用いずに発電します。また、ゴミから出てきた残渣、いわゆる灰は熔融してスラグやメタルとして再資源化します。

廃棄物発電スキームの将来像

自治体における廃棄物発電導入のあり方

廃棄物発電の導入・普及について考えてみます。まず、600t/日以上の大規模な廃棄物発電、清掃工場については、一番最初に行ったストーカ発電の高効率化によって現在でも十分普及が可能と思われます。

200～600t/日の中規模については灰熔融の観点からガス化熔融発電という、高効率化技術を生かすことで廃棄物発電の導入・普及が可

能ではないかと思われます。

しかし、200t/日以下の規模では、高効率ガス変換発電の技術を確立するとともに、小規模自治体への発電導入を誘導していかなければならないと考えています。

小規模の自治体が廃棄物発電導入のあり方について理解を深めるために、私の思いつくことを3点書いてみました。小規模自治体には廃棄物発電の実施実績がほとんどありません。従って導入については、少なくともこれら3点についてそれぞれPA（パブリックアクセプタンス）をしていく、地域住民の理解を得ていく必要があるのではないかと考えています（表4）。

まず1点目の視点ですが、廃棄物処理の環境保全のためにはもともとエネルギーが必要です。小規模自治体では、未だに固定バッチ炉がかなり残っていますが、そのバッチ炉が設備更新して最新鋭の清掃工場になる時には、確かに所内動力が増えます。しかし、それは排ガスや有害成分の除去、灰の熔融に使われる動力であって、結局、本来必要であった環境のためのエネルギーが増えるにすぎません。さらに昨今、最終処分場の逼迫という問題があります。特に灰の熔融に関して、「灰の有効利用促進という環境にメリットのある処理処

表4 廃棄物発電の理解を深めるために

- | |
|---|
| <p>① 廃棄物処理の環境保全のためには、もともとエネルギーが必要</p> <p>② 廃棄物処理施設→資源リサイクル工場として導くためには、旧来のイメージを払拭する必要</p> <p>③ 廃棄物処理事業として経済性が確保され、民間の参入が期待できることが必要</p> |
|---|

分を廃棄物から得た電力で行うということは、環境保全と両立するのだ」という観点を確立する必要があります。このようなPAをしていく必要があると私は思います。

2点目。廃棄物処理施設が資源リサイクル工場として導かれるためには、いわゆる「環境的にダークなイメージ」という旧来のイメージを払拭する必要があります。現在では公害対策などを行って、廃棄物処理施設から黒煙や煤塵が出るという時代ではないんですが、まだ昔のイメージが残っていると思います。

廃棄物処理施設を資源リサイクル工場として最大限活用するために、可能であれば温水供給などが効果的な市街地の中に設置することが望ましいと思います。そのためには、住民の方々と計画段階からのコミュニケーションが必要です。具体的には公害対策や安全性の保証などをして、リスクが十分小さいことや温水供給などのメリットが大きいということでコミュニケーションをとっていくことが必要ではないかと思っています。

ガス変換によるとダイオキシン発生量が極めて少ないとは、以前から定性的に言われていることなのですが、まだ定量的なメカニズムは分かっていません。ガス変換の技術開発の中でそのメカニズムについて解明していくこととしようと思います。

これらの知見を用い公害対策について積極的にコミュニケーションをとっていくことが必要だと思われます。

最後に3点目。発電導入のあり方ですが、民間の参加が期待できるようなスキームを国レベルである程度道筋をつけてやる必要があるのではないかと思います。

従来は収集・運搬から最終処分まで一貫通して自治体が行いました。適正処分が自治体の責務だったので、発電の導入はいわばオプション的な扱いでした。

一方、収集・運搬処理を切り離し、収集・運搬は従来どおり自治体が行い、処理については民間の方で行うという民間参加スキームを考えてみますと、インセンティブが働きますの

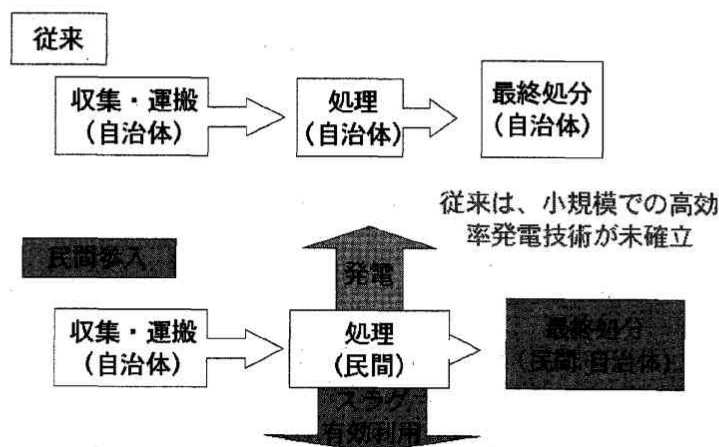


図7 新しい民間参加スキーム

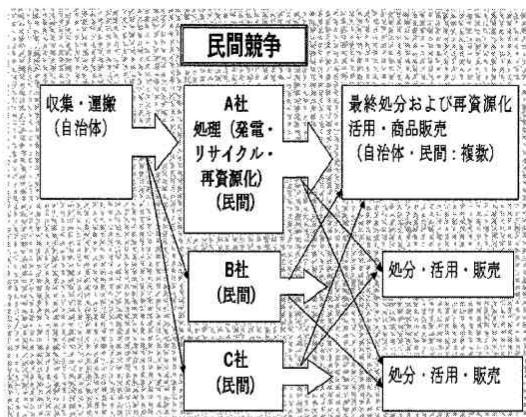


図8 新しいスキームにおける民間競争

で発電も伸びていくだろうし、スラグの有効利用も伸びてくる。結果的に最終処分場への搬出量も減っていくと期待されます（図7）。最終処分しないもう1つのやり方として、再商品化もあると思います。そのような形で全部うまくいくのではないかと思います。

小規模高効率発電技術の確立で

バラ色のスキームが現実的に

今までは小規模での高効率発電技術が未確立でしたので、このようなスキームは、「絵に描いた餅」でした。しかし、小規模での高効率技術が成功すると、このような民間参入スキームも現実味を増してくるのではないのでしょうか。

もっと具体的な例を挙げます。図8は、小規模廃棄物発電技術の確立によって可能になる将来像です。まず、収集・運搬は自治体が行うというのは従来通りなのですが、小規模で高効率化が可能になると、複数の民間企業が参入してきて、それぞれが競争していくやり方があるのではないのでしょうか。それぞれ

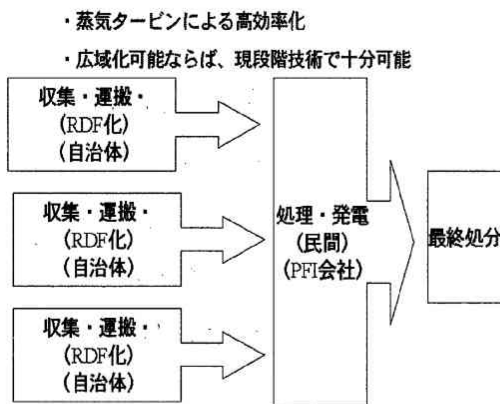


図9 広域化可能な場合の従来構想

が発電、リサイクル、再資源化、商品販売まで手掛けてしまう、このようなスキームも場合によっては可能だと思います。

従来の参入構想（図9）でいう「広域化」をして、ゴミをRDF（固形燃料）化してPFI（プライベート・ファイナンス・イニシアチブ）で事業を行うという考え方とは若干異なります。このスキームですと、「広域化」できれば技術的には蒸気タービンを用いた今の技術でも十分高効率化が可能です。しかし、その「広域化」がうまくいっていないところが多いというのが、RDF化推進のネックになっているのではないのでしょうか。

おわりに

民間競争導入による5つのメリット

民間競争を行うと、表5のような5つの期待が持てます。この中で一番大きい発電について説明します。発電及び再資源化につい

表5 民間競争の5つの期待

- 適正な分別による処理費用の低減
- 公害防止策の徹底
- 発電および再資源化のインセンティブの向上
- 発電所立地における新たなビジネスの構築
- 新規産業の創出

て、民間が処理業務を行うということになるとインセンティブが向上します。発電における電力収入や、再資源化やコンポストなどで肥料などを作った場合の売却収入が直接的に会社の業績に結びつくということが考えられます。

また、公害防止策については、それぞれの市、例えばA市だと、A市の市民が市議会を通してこの処理会社と契約するために公害防止策なり、経済性なり、有効利用策などについて評価することになります。

今までは一旦建設してしまえば、評価はその清掃工場の耐用年数がくるまでずっと行われていました。しかし、複数の会社が参入することになると、稼働後も契約更新を考えて公害防止策の推進が継続されていくのではないかと。このようなメリットもあると思います。

その他、新たなビジネスの構築として、温水供給などを利用した産業で周辺住民に安価に、または無料で商品を生産するというオプションも考えられます。

今後の課題

当然ながら課題もあります。まず1点目は、果たして本当に小規模高効率発電が可能なかということです。この3年間の技術開発を

何とか成功させて、安全性、信頼性を含む実績を勝ち得たいと考えています。

2点目は、制度的な問題です。例えば、民間処理会社の健全な競争や経営安定化の施策について考えなければなりません。そうするとどうしても、民間に対する補助制度についての課題検討に行きあたります。また、廃棄物発電の電力やその他副生物の円滑な流通についても考えていかなければいけないと思います。

まだたくさん課題があると思いますが、これらの課題については、高効率廃棄物ガス変換発電技術開発プロジェクトの中に導入普及委員会を設けて、その中で学識経験者は勿論、各種団体、自治体、マスコミなどの意見も得て検討し解決の道筋をつけていきたいと思っています。それによって、開発成果が政策へフィードバックできる体制をとっていきたいと考えています。

この高効率廃棄物発電技術開発、特にガス変換プロジェクトについては始まったばかりです。このプロジェクトを進めるに当たり、いろいろ皆さん方にご意見、ご指導をいただきたいと思っています。また、この研究が成功したあかつきには、成果の活用のほどをお願いしまして、私の説明を終わりたいと思います。

どうもありがとうございました。(拍手)

〔講演〕

先進型廃棄物発電技術開発の現状と課題*



小川 紀一郎

(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

はじめに

廃棄物発電導入目標の達成は 設備増大と効率向上で

私のテーマは「先進型廃棄物発電技術開発の現状と課題」ですが、その中でも、なぜ中小規模、特に小規模の廃棄物発電が期待されるのかという点を中心に、廃棄物発電の性能、ガス化熔融発電技術、ガス変換発電技術について紹介していきたいと思います。

平成13年度策定の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」によれば、廃棄物発電は2010年度において、現在の5倍弱に相当する417万kW導入するという大きな目標が掲げられています。その進め方には基本的に、廃棄物発電の設備数増大と発電効率の向上の2つの方向性があると思います。

まず、廃棄物発電の設備ですが、全国で約1,800ともいわれる焼却施設の中で発電設備がついている施設は約200といわれています。

図1で、白抜きは発電設備がついていない施設数。それから黒いのが発電設備がついて

〔略歴〕

1965年九州大学工学部機械工学科卒。同年三菱重工業株式会社入社。広島造船所、本社原動機技術センター原動機開発部、同火力プロジェクト部等を経て、1994年(財)エネルギー総合工学研究所入所。

1995年から現職。ボイラ、発電プラントの計画、技術開発が専門。最近では、廃棄物発電の高効率化研究に従事。工学博士。

いる施設数を示します。同図に見られますように、発電設備付き施設は200t/日以上の大規模施設に集中しています。逆に発電設備なしの施設が、全体の施設数に占める割合を見ると、100t/日以下が70%、100t/日～200t/日以下が14%というふうには、小規模になると非常に多くなっております。実は、データをもっと詳しく見ますと、図中では示していませんが、50t/日以下がこの100t/日以下の7割を占めています。50t/日級の設備に発電設備を付けることが可能かと言えば、例えば、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の神奈川県津久井郡のパイロットプラント(50t/日)には発電設備が付いていますし、いろいろ工夫することによって実用機においても可能ではないかと私は思っています。

一方、平成9年1月に厚生省(当時)から「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガ

*本稿は、昨年11月20日の「第1回高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」における発表を、本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

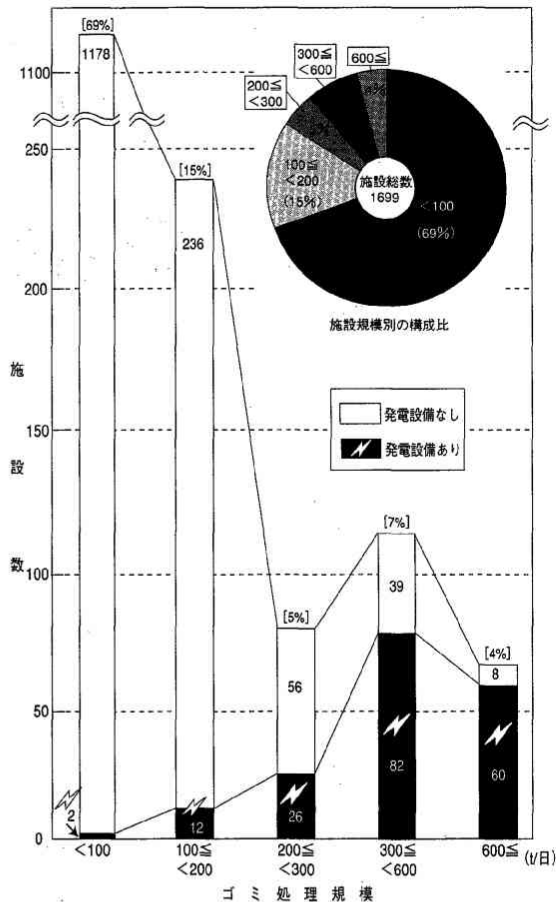


図1 焼却施設における発電設備有無の分布

イドライン」が出ました。それを踏まえて、旧厚生省は平成9年5月に全国の各都道府県に対し、ゴミ処理の広域化計画を策定し、市町村はその行政範囲を越えた広域的な処理を推進するようという指導をしました。ブロック化することで1つの処理施設の大規模化を可能にし、焼却炉の連続運転でダイオキシン類を低減することを狙ったのです。図2は廃棄物処理広域ブロックのゴミ処理規模の分布と発電設備設置の状況を示した図です。また、全国3,000以上の自治体を416ブロックに分けた場合、200t/日以下はほとんど発電設備が付いていません。広域化しても規模によっては発電設備がない区域がかなり残ることを

示しています。これらのことから、廃棄物発電普及導入の鍵は小規模施設にあるのではないかと考えたわけです。

次に発電効率について紹介します。図3は発電設備が付いた廃棄物処理施設における発電効率の実績をプロットしたものです。ほとんどの発電効率は10%以下です。その背景には、蒸気温度を上げられなかった、発電が主体ではなかった等の理由があるわけですが、最近になって20%前後のものが出てきています。もし現在の平均発電効率である10%を20%に引き上げることができれば、現在約90万kWと言っている発電規模が一気に倍の180万kWになることに等しく、それだけ新規に設備を建設する場合と同じ効果を持つわけです。

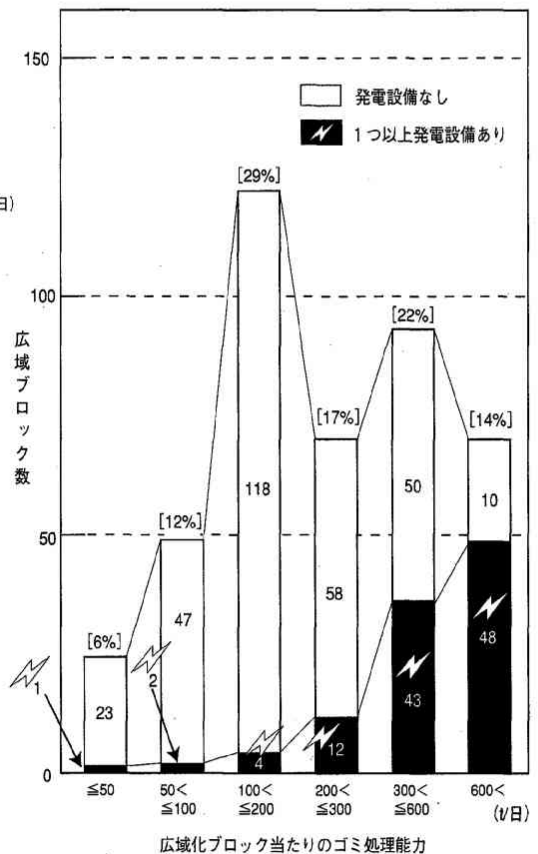


図2 広域ブロックのゴミ処理規模の分布

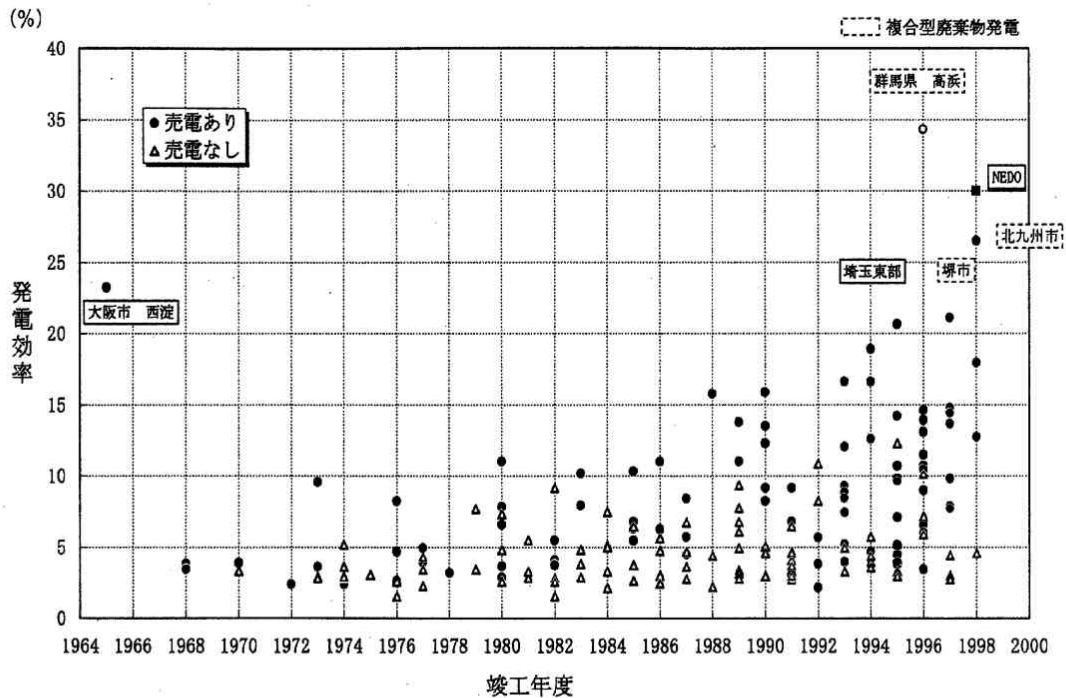


図3 廃棄物発電施設の発電効率

従来型廃棄物発電

図4はストーカ炉での燃焼です。いろんな形や種類のゴミを燃すので、理論空気量の約

2倍ぐらいの大量の空気を入れ、ボイラで熱回収し、最終的に浄化した排気を煙突から出すという形です。ボイラからの蒸気は蒸気タービンで回収するわけですが、その蒸気温度

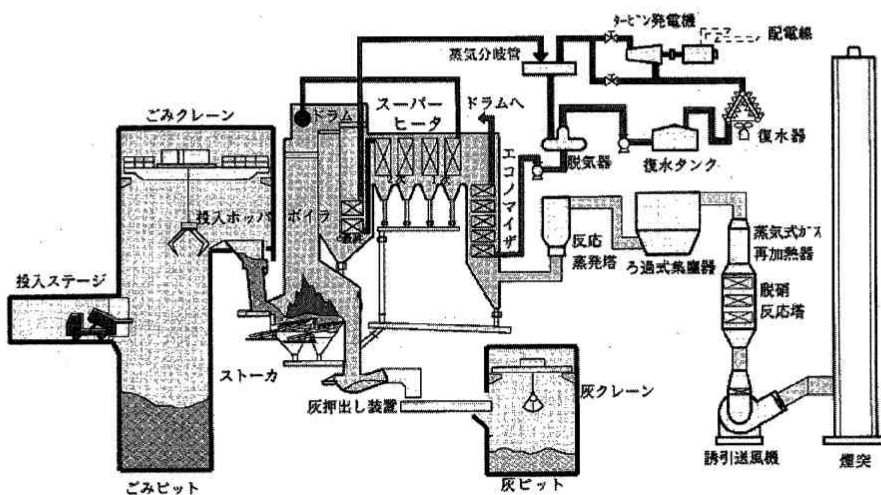


図4 従来型廃棄物発電フロー

は燃焼ガスの雰囲気の関係から高くできません。この蒸気温度の制限が高効率化の制約要因となっているわけです。従来型廃棄物発電の環境面の大きな課題が灰とダイオキシン類の処理に関する取扱いです。従来型の場合、灰を水に溶かすと、灰に含まれるいろんな異物や有害物が水に融け出すためにそのまま捨てるわけにはいきません。そこで、基本的には無害化する、それも整備された最終処分場で処理する必要があります。今一番望ましいと言われている処理法は、灰を溶かしてスラグ状にして出す—例えばガラス状にして捨てる—ということです。さらに、溶かすことで灰の量が焼却灰の3分の1～5分の1に減ります。しかし、従来型ではそのためには外部のエネルギーを使うということもあり効率低下の原因にもなっています。

廃棄物ガス化溶融発電技術

外部のエネルギーを使わないで灰を溶融化し、更にダイオキシン類も低減できる技術として、ガス化溶融技術が注目されています。図5は同技術の概要を示したのですが、熱分解工程でゴミを蒸し焼きにして燃料ガスと未燃分、残渣等を分離して取り出す。未燃分、残渣等は小さく砕いたり冷やしたりして、別の灰溶融工程に導入します。ここで燃焼ガスと混合して高温で完全燃焼させ、灰をスラグ状にして取り出します。そして、ボイラで発生した蒸気を使い蒸気タービンで発電します。

このタイプは現状のままでは発電効率がそれほど高くありません。多分、発電効率20%前後ではないかと思います。発電効率を上げるために、蒸気温度の上昇や効率向上のため

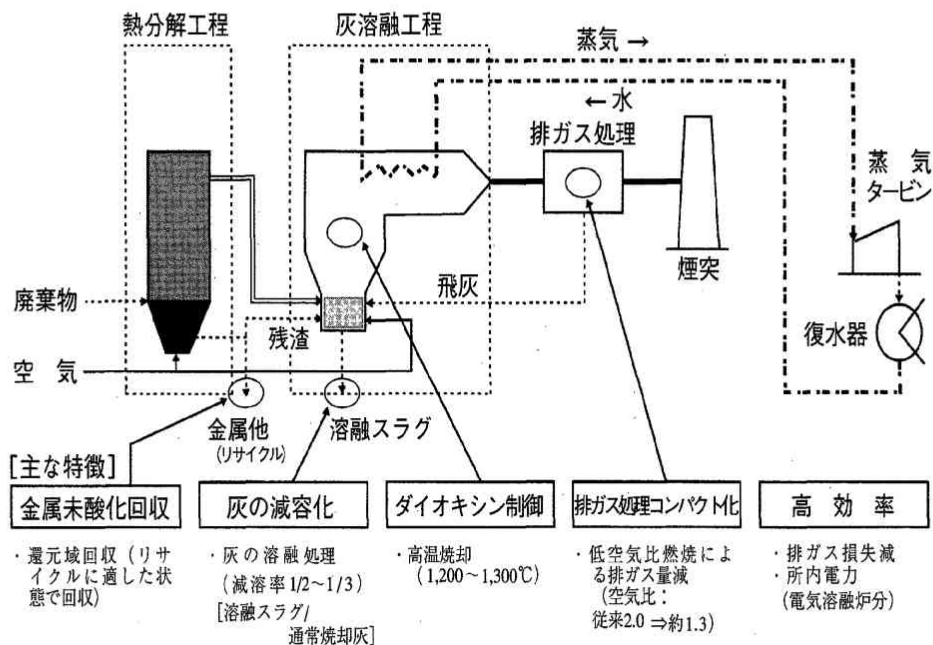


図5 廃棄物ガス化溶融システム

の工夫あるいは開発が必要で、そのため「廃棄物ガス化熔融発電技術開発」プロジェクトが平成10～12年度の3年間で実施されました。

同プロジェクトは、NEDOの委託を受けて、(財)エネルギー総合工学研究所がとりまとめを行い、参画メーカーの協力を得て要素技術開発とフィージビリティ・スタディ (FS) 中心の研究開発として実施したものです。その時の目標は、効率30%、ダイオキシン発生量0.1ng、灰はスラグ状、経済性は従来型を凌ぐことと設定しました。以下、参画メーカー6社（三井造船(株)、三菱重工業(株)、(株)荏原製作所、川崎重工業(株)、日立造船(株)、新日本製鐵(株)）の技術開発成果の概要と当所が担当した最適トータルシステムに関するFSの研究成果につき、結論的なことだけ紹介します。

要素技術開発成果

① 三井造船(株)

三井造船(株)は、高温集塵器開発（図6）とスーパーヒーター（SH）管の最適材料の選定を行いました。高温集塵器の開発では、ホッ

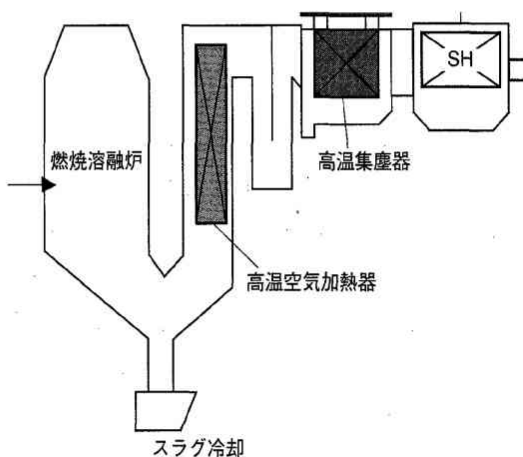


図6 三井造船(株)の高温除塵システム

トサイクロンとセラミックフィルタで除塵性能を比較し、さらに後流でのSH管腐食の評価を行いました。一見サイクロンがよさそうなのですが、セラミックフィルタが耐久性、集塵性能も優れているという結論に達しました。集塵器後流に位置するSH管の腐食評価では、付着灰の熔融開始温度が650℃であること、従って500℃の高温蒸気を得るために必要なメタル温度域でも熔融塩発生を防止できることが分かりました。この結果を受け、SH管の材料として、1次過熱器低温部にSTB340相当材、1次過熱器高温部及び2次過熱器低温部にSUS310相当材、2次過熱器高温部にAlloy625を実用上問題なく適用できるという結論に達しました。

② 三菱重工業(株)

三菱重工業(株)は、熱分解工程における脱塩素化技術の開発を行いました（図7）。開発の狙いは2つです。1つは、熱分解を流動床の中で行い、温度、雰囲気をコントロールすることによって、腐食性の強い熱分解ガス〔高塩化水素（HCl）含有ガス〕とHCl含有量の少

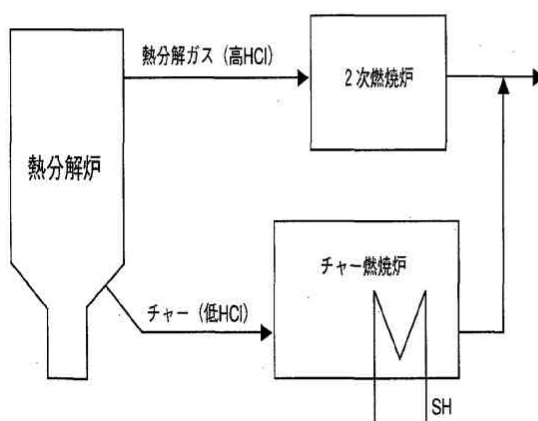


図7 三菱重工業(株)の脱塩素化システム

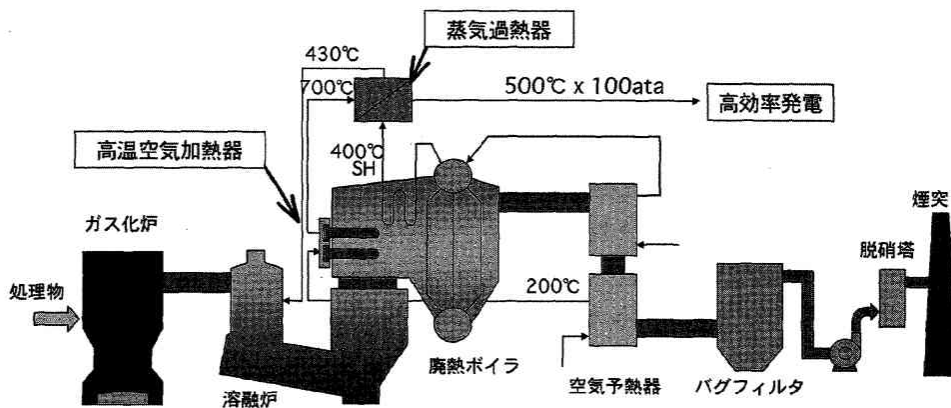


図8 ㈱荏原製作所のセラミック製空気加熱器開発

ないチャー（未燃カーボン等）に分離できるということ。もう1つは、同チャーを燃焼させ、その後流にスーパーヒーターを置けば高温化を図れるはずだということです。

流動床の温度を420℃以上にもっていきますと、塩素の分離効率が90%以上となり狙いどおりでした。チャー燃焼炉を想定した材料試験では、材料の腐食程度が非常に緩やかになりました。端的に言えば、蒸気温度530℃程度、メタル温度550℃以上のものでも、従来ならAlloy625級の高級材が必要だったのが、Alloy825、あるいはSUS系でも実機に採用できると考えられる結果が得られました。

③ ㈱荏原製作所

㈱荏原製作所は、高温空気加熱器の開発を行いました（図8）。溶融燃焼炉の後に高温空気加熱器を置き、そこで空気温度を700℃まで上げます。蒸気は廃熱ボイラのところで400℃で取り出し、外部に置いた熱交換器（空気式蒸気加熱器）できれいな空気と蒸気との熱交換を行います。腐食性がないので、蒸気温度

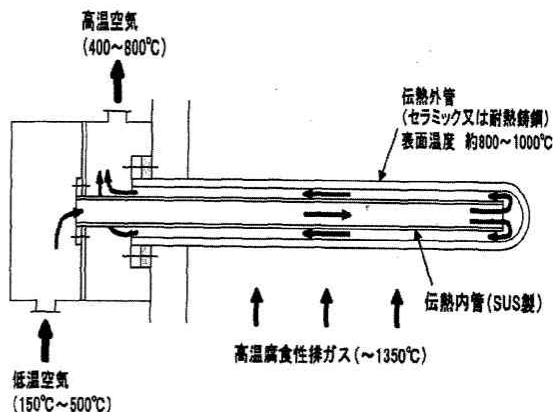


図9 試験に使用した二重管の構造

を問題なく500℃に上げられるということです。

この試験には、図9に示す鋳鉄製とセラミック製の二重管が使われました。結果的には加熱器の管温度を1,000℃以下で使用する限り鋳鉄よりもセラミックの方が良いことが分かりました。また、プラント非常停止時の熱衝撃に対するシミュレーションを行い、破損の可能性が低いことを明らかにし、高温空気加熱器実用化のめどが立ったと判断しております。

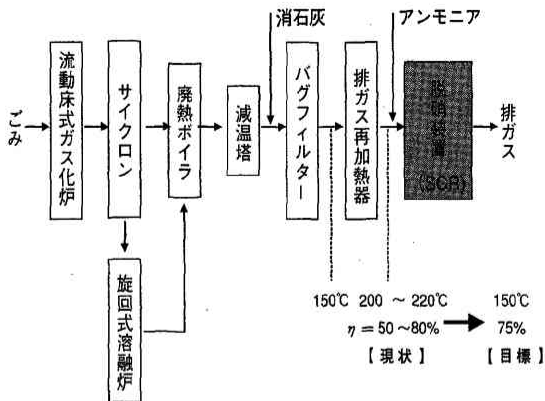


図10 川崎重工業(株)の低温脱硝装置

④ 川崎重工業(株)

川崎重工業(株)は、排ガス温度150℃で脱硝効率75%以上という低温脱硝装置の開発に取り組みました(図10)。通常の排ガス処理系統では、廃熱ボイラ出口で200℃の排ガスを減温塔で150℃に冷やしバグフィルターで集塵した後で脱硝装置に通します。この時、排ガス温度が210℃前後でないと現在の脱硝触媒の特性上、脱硝効率が下がるため脱硝装置に通す前に210℃まで再加熱します。再加熱のためにタービンの抽気蒸気を使うので、その分だけ発電効率低下を余儀なくされてきました。バグ

フィルター出口の150℃排ガスのまま脱硝することができれば全体の発電効率を上げられるはずです。それを可能にする触媒を開発する必要がありました。

結論としては、チタンーバナジウムーモリブデン(Ti-V-Mo)のハニカム触媒を開発しました。ラポ試験の結果、同触媒は150℃で75%以上、また170℃で80%以上の脱硝率を得ることが分かりました。

しかし、経済性、実用性を考慮すると、実用機には排ガス温度170℃を採用することが妥当であるとの結論を得ました。

⑤ 日立造船(株)

日立造船(株)は、廃棄物安定供給システムの開発を行いました。具体的には、生ゴミ脱水システムの開発です(図11)。ガス化溶融炉プラントにおいてできる限りゴミの自己熱溶融(灰の溶融を外部エネルギーを使わないでゴミの有する熱量だけで行うこと)による運転を行うため、低カロリーで均質でない多様なゴミを前処理する必要があるためです。実証機によるテストでは、水分が55～60%ある

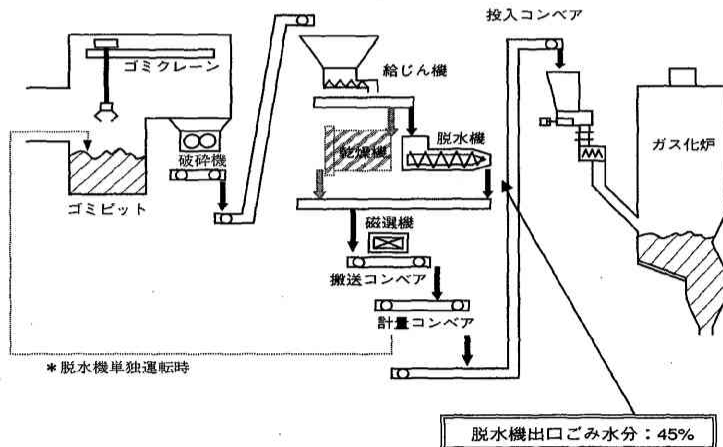


図11 日立造船(株)の脱水システム実証試験フロー

生ゴミを二軸スクリーンで圧縮して送りながら脱水し、狙い通り、水分を40%まで落とすことに成功しました。しかもある程度の耐久性をもった脱水機であることが分かり、実用機適用のめどが立ったと言えます。

⑥ 新日本製鐵(株)

新日本製鐵(株)は、廃プラスチックの吹き込み技術の開発に取り組みました(図12)。外部燃料であるコークス投入量を削減することが狙いです。

通常、シャフト炉でゴミの熱分解、熔融、ガス化までが行われますが、ゴミに少量のコークスと石灰石を添加します。このコークスの替りに廃プラスチックを使えないかということで試験を行いました。基本的にゴミ1トン当たりコークスが50～60kg必要なのですが、廃プラスチックで代替することで、それを3割低減できました。更に通気性、ガスの性状、出てくるスラグの性状も良いことも分かりました。例えばスラグ中の鉛に関しては、コークスよりもプラスチックの方が還元能力が高く、含有量が低いという特徴も指摘されました。

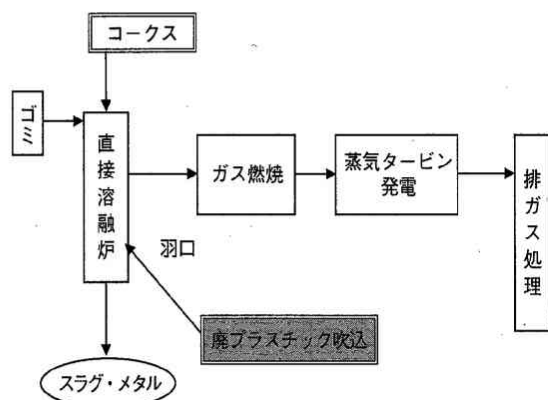


図12 新日本製鐵(株)の廃プラスチック吹き込み

最適トータルシステムの研究

前述の各社の技術研究の成果を実用機に適用する場合の効率、経済性等に関する検討を「最適トータルシステムの研究」として行いました。その条件を表1に、試算結果の一例を図13に示します。なお、表1中の「従来システム」とは、ガス化熔融システムで特別の高効率化を行っていないもの、「最適システム」とは、ガス化熔融システムで蒸気温度上昇等の高効率化の対策を可能な限り行ったものを示します。最適システムだと発電端効率で30%、送電端効率でも26%の値が得られ、ゴミ処理単価は従来システムに比べ約10%低減します。

表1 最適トータルシステムの検討条件例

	従来システム	最適システム
ゴミ処理規模	600t/d	600t/d
システム構成	流動床式ガス化熔融システム + 脱硝装置 + 低圧熱交換器	流動床式ガス化熔融システム + 脱硝装置 + 低圧熱交換器 + 高圧熱交換器
蒸気条件	400℃×40ata	500℃×300ata
脱硝装置入口温度	210℃(従来型脱硝装置)	170℃(低圧熱交換器)
復水器形式	空冷復水器(排圧0.2ata)	水冷復水器(排圧0.05ata)

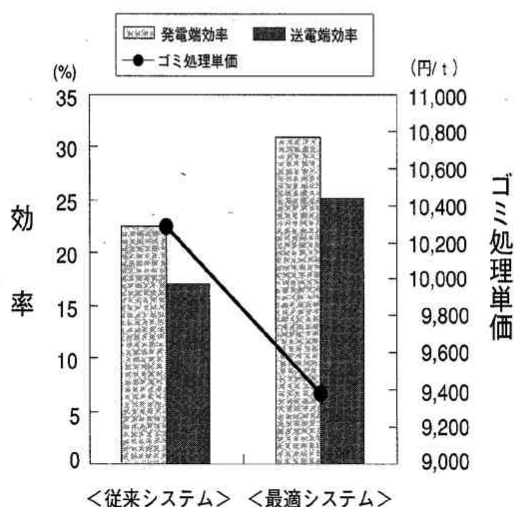


図13 最適トータルシステムの試算結果例

廃棄物ガス溶融の効率面の問題
—廃棄物ガス変換への期待—

図14、図15は、表2に示した条件とは異なる条件ではありますが、廃棄物発電の効率をゴミ処理規模に対応させて計算したものです。図14で見るようにストーカ炉とガス化溶融の場合は、300t/日以下の規模では蒸気タービンの特性上、効率が低下します。小規模プラントで効率を維持するにはガス変換、例えば、ガスエンジン (GE)、ガスタービンと蒸気タ

ービンの複合発電 (GTC)、燃料電池 (FC) と組み合わせるシステム等が効率面で優れていることが指摘されます。

図15の送電端効率ではガス変換の場合、酸素製造などの補機動力が増えるため、線が若干下向きに平行移動していますが、それでも小規模のところでは傾向が変わりません。このようにガス化溶融あるいはストーカ炉では、小規模で効率が極端に低下する傾向があり、この問題の解決策として提案されているのが廃棄物ガス変換発電技術です。

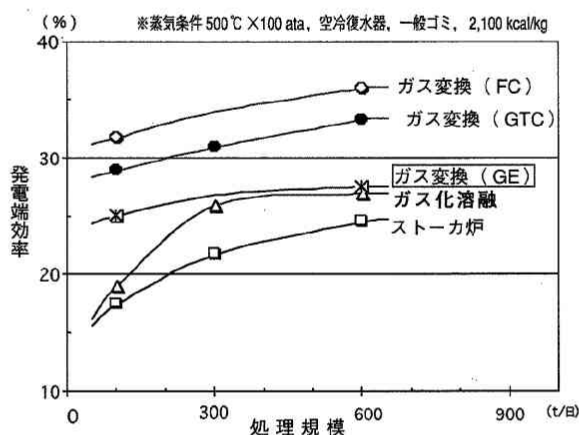


図14 各種発電方式の発電端効率

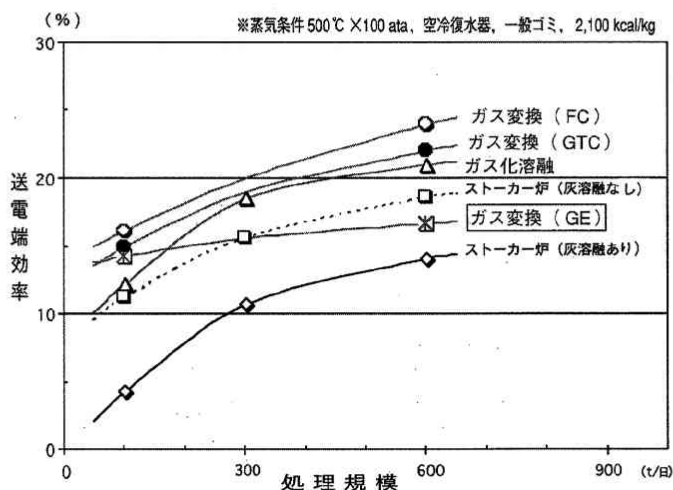


図15 各種発電方式の送電端効率

おわりに

高効率廃棄物ガス変換発電技術の開発

小規模施設での高効率発電を期待して、廃棄物ガス化溶融の次段階プロジェクトとして、平成13年度より3年間で「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」が実施されることになりました。表2に同技術開発の目的を示します。実際の進め方としては、NEDOの委託を受け三菱重工業(株)、日本ガイシ(株)、(株)東芝、住友

金属工業(株)のメーカ4社に加え独立行政法人産業技術総合研究所、及び(財)エネルギー総合工学研究所がそれぞれ得意とする要素開発あるいはシステム研究・適合性調査などに取り組みます。図16はシステム例ですが、開発した要素技術の試験は、それぞれのガス変換システムで行われますので、4つの独立したシステムができ上がることになります。その結果が出たところでまた皆さんに紹介致しますので、使っていただいけそうなところは大いに使っていただくことを期待しているわけです。

以上で私の説明を終わらせていただきます。ありがとうございました。(拍手)

表2 高効率廃棄物ガス変換発電技術の目的と目標

1. 研究開発の目的
① 小規模廃棄物処理施設適用を可能とし、ダイオキシン類の排出低減等環境負荷特性に優れた「高効率廃棄物ガス変換発電技術」を開発する。
② その導入・普及の推進によって廃棄物発電量を増大させ、温室効果ガス排出抑制に寄与する。
2. 研究開発の目標
(1) 高効率発電性能【条件：一般廃棄物（2,100kcal/kg）及び処理量100t/日規模】
・冷ガス効率：80%（実効冷ガス効率68%）
・発電端効率：25%（送電端効率14%）
・ガスエンジン単体発電効率：36%（1,800kcal/Nm ³ の標準変換ガス）
(2) ダイオキシン類等有害物質排出量
・排煙中のダイオキシン類濃度：0.01ng-TEQ/Nm ³ 以下
・その他有害物質は、環境排出基準値を十分下回ること
(3) 経済性
・従来方式等と比較して、建設費、ごみ処理単価、発電原価（売電分）は同程度以下

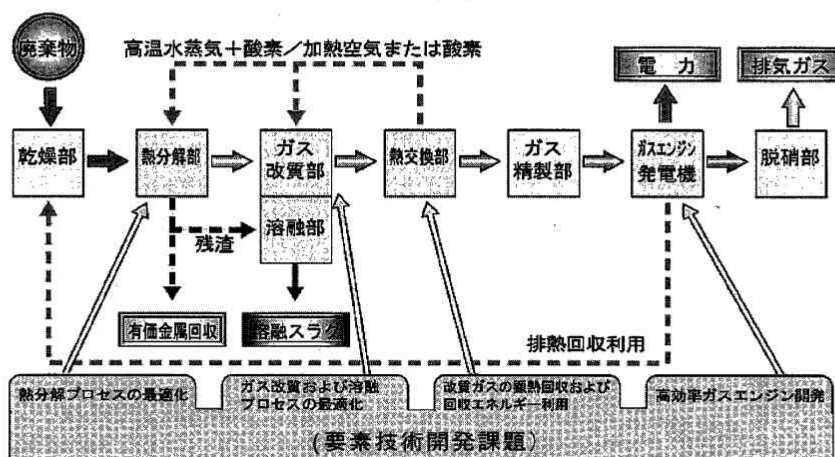


図16 高効率廃棄物ガス変換発電システムの例

京都からマラケシュへ： 京都議定書に関する国際交渉の概要



杉山 大志 (財電力中央研究所
経済社会研究所 主任研究員)

1. はじめに

1997年の京都会議（気候変動枠組み条約第3回締約国会議；COP3）での京都議定書採択から、2001年のマラケシュ会議（COP7）でのマラケシュ合意採択に至る経緯について解説する。

まず、京都議定書について復習してから、COP4以降COP7に至るまでの運用則を巡る交渉について述べる。次いで、他の交渉議題であった途上国参加と米国離脱の問題について触れ、最後にCOP7以降の見通しについて私見を述べる。

2. 京都会議と京都議定書

2.1 京都会議の成果

京都会議は1997年12月に開催され、京都議定書がまとめられた。その骨子は以下の通りである。

- ① 先進国による温室効果ガス削減の数値目標が定められた。2008年から2012年までの平均で、1990年水準の排出量に比べて、日本は6%、米国は7%、欧州連合(EU)は8%削減する。

- ② 京都メカニズム（排出権取引、共同実施及びクリーン開発メカニズム）が、原則的に認められた。これによって、国内で目標を達成できなくても、外国での排出削減に投資することでその国の削減分としてカウントできることになった。

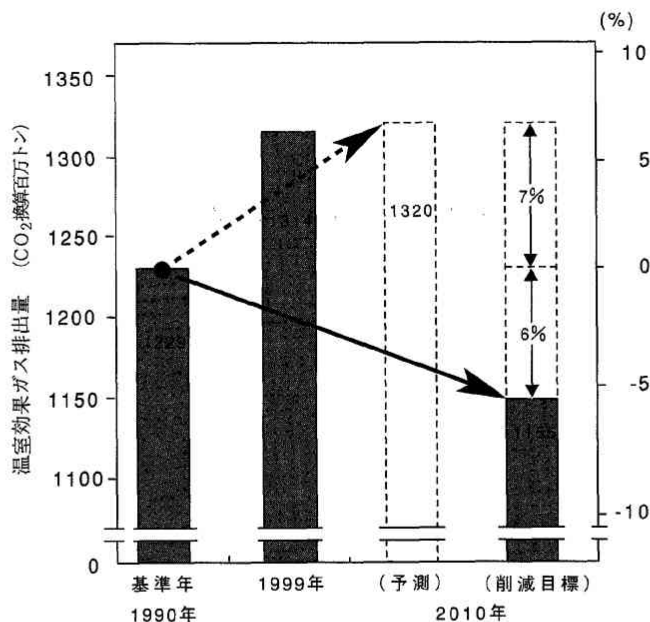
- ③ 数値目標達成のために吸収源の利用が認められた。すなわち、植林などによる温室効果ガス吸収（シンク）が認められることになった。

- ④ 対象とするガスは、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF₆)の6種類になった。また、バスケットアプローチが採用され、6つのガスの合計値が数値目標の対象となった。

- ⑤ 発展途上国の数値目標を掲げた参加は、米国が強く主張したが、発展途上国の強い反対により最終日になって条文から削除された。

2.2 京都議定書の特徴

京都議定書の特徴を端的に言えば、「厳しい数値目標と十分な柔軟性」となる。



出所：地球温暖化対策推進大綱
(2002年3月19日)を基に
作成

図1 日本による温室効果ガス削減のシナリオ

「厳しい数値目標」に関してはよく知られている。仮に無対策時に排出量が年率1%で伸びるとすれば、2010年までには1990年に比べて20%以上排出が増えることになり、6%削減とはこの「なりゆきケース」に比較して26%という大規模削減を意味する。これは容易ではない。最近発表された新しい地球温暖化対策推進大綱（平成14年3月19日）によれば、旧大綱に基づき対策を講じるとすれば2010年の排出量は約7%増に留まり、さらに新大綱における追加的施策によってマイナス6%削減を達成するとしている。

しかし、これらの削減が、依然達成困難であることには変わりはないというのが大方の見方であり、筆者もそう考えている（図1参照）。

このような厳しい目標が先進諸国に受け入れられた背景には、「十分な柔軟性」の確保が

あった。すなわち、②の「国際的な柔軟性」、及び③と④の「範囲の柔軟性」のことである。

3. 京都会議からCOP 7まで —交渉の構図と争点

3.1 京都議定書に残された課題

上記のように、京都会議では採択された京都議定書では、数値目標が定められた他、さまざまな柔軟性措置が盛り込まれたなどの成果があった。しかし、同議定書の条文にはさまざまな解釈が可能であり、政治的決着が着かず玉虫色のままになった条文も多く残されていた。このため、このままでは各国が議定書を批准して締結するには作り込みが不十分であるという判断が大勢をしめ、まずは議定書の運用則をもっとくわしく決めた後に議定書を批准しようという方向性が、採択直後

表1 COP6における交渉グループとその主張

交渉グループ	COP6での主張
欧州（EU及び東欧）	温暖化対策に熱心であり、シンクの算入や京都メカニズムの利用には慎重。数値目標不遵守への罰則を主張。
アンブレラ （米国、日本、ロシアなど）	現実的かつ効率的な温暖化対策を主張。シンクの算入は京都メカニズムの利用に積極的。罰則に反対。
途上国（G77+中国）	先進国責任論に立ち、シンクの算入や京都メカニズムの利用には批判的。途上国支援の拡充を要求。罰則を主張。

から国々のコンセンサスとなっていった。そして、その作りこみをするための交渉がCOP7まで続くことになった。

3.2 交渉の構図—3極対立

この間の交渉の構図は、おおむね3極の対立の形で行われた。すなわち、①温暖化防止というスタンスが強く柔軟性の利用に否定的なEUおよび東欧（通称「欧州グループ」）、②現実的な温暖化対策を求め柔軟性の利用が必要とする非欧州先進国（通称アンブレラグループ。米国、日本、ロシア、オーストラリア、カナダ、ノルウェーなど）、③温暖化問題を南北問題の1つと捉え、支援措置の拡充を求める発展途上国（通称途上国グループまたはG77+中国グループ）である。

3.3 具体的な争点

具体的な争点としては、以下が主だったものだった（表1を参照）。

A) シンク（植林による炭素固定量）の数値目標達成への算入をどの程度まで認めるか。

欧州グループは、「京都議定書は原則として算入してよいことにはしているが、あまり大

きな量の算入を認めると議定書の数値目標がないがしろになり、実際には何も温暖化対策をしなくても数値目標が達成できてしまうので、炭素固定量の算入には上限をつけるべき。また、炭素固定量には科学的不確実性があるので、ますますその算入には慎重であるべき」と主張した。これに対して、アンブレラグループは、京都議定書で数値目標に合意した前提条件としてシンクの算入を認めたのだから、後になってその算入に制限をつけることはおかしいと主張した。途上国は、EUに同調して、先進国はシンクに頼らず責任を果たすべきであると主張した。

B) 京都メカニズムの利用にどの程度の制限をつけるべきか？

京都メカニズムに関しても、各グループはシンクと同様な理由で交渉態度（ポジション）を決めた。欧州は基本的には国内で温暖化対策をすべきであって、京都メカニズムの利用には強い制約を課すべきとした。これに対してアンブレラは、京都メカニズムの利用は数値目標合意の前提であり、同メカニズムの利用は現実的かつ効率的な温暖化対策のためとして必須で、議定書採択の後になってこれに

制約を課することはおかしいと主張した。途上国は「先進国責任論」の立場から欧州寄りの姿勢を示し、先進国を追い詰めることで途上国支援の拡大を目指した。

C) 遵守システム

遵守システムとは、議定書の義務達成をどのように促進または強制していくかという法・制度的な仕組みのことを指す。このシステムをどのように設計するかということが遵守問題と呼ばれるものであった。

遵守問題はCOP6パート2からCOP7にかけての最大の争点となった。

遵守問題に関する大きな意見の違いは、不遵守に対する強制的措置（交渉では「法的拘束力のある帰結」と呼ばれていた。ひらたく言えば、罰のことである）を巡るものであった。

強制的措置があったほうがよいという論者には、以下のような見解がある。

- ① 強制的措置がないと、京都メカニズムが安定しない。
- ② 強制的措置がないと、締約国は議定書を真剣に守らない。

「強制的措置が要らない」という見解にたつと、これに対しては以下のように反論される。「①については、京都メカニズムの登録や移転手続きに関する国際制度を整えれば、各国はその運用にあたって対応する国内法を作る。このような法体系の整備こそが京都メカニズムの安定にとって最重要であって、国際的な強制的措置が必要であるということにはならない。かえって罰があると、それによって締約国脱退の可能性が高くなり、安定しないだろう。たとえばロシアが脱退したら破局

的だろう。②については、法的拘束力のある条約は、罰則がなくても遵守されることが普通である。仮に不遵守に陥る場合でも、悪意によるものではなく、目標が野心的に過ぎたり、見込み違いが起きた場合が多いので、罰することは適切ではない」。

他方で、強制的措置が無い方がよいと考える論者は、以下のような見解を持っていた。

- ① 米国の離脱騒動でもわかるように、京都議定書のメンバーシップは脆弱であり、締約国を罰するようなことをすると、議定書に参加しなくなってしまう。
- ② 締約国を罰するようなことをすると、各国は今後野心性のある目標を出せなくなる。これでは、長続きする温暖化対策の仕組みにならない。

これに対して、強制的措置があったほうがよいと考える論者は、「①については米国の参加などはあらゆる政治的圧力を用いて働きかければよい、②については、できるだけきちんとしたシステムを作ることが議定書の尊厳が確保されて長続きする方法だ」と主張した。

D) 途上国支援

途上国にとっては温暖化問題は南北問題の1つであり、先進国の過去および現在における温室効果ガス排出の責任を追及し、当然の対価としての途上国支援を引き出す重要な機会となった。途上国支援の要求は多岐にわたり、クリーン開発メカニズム、技術移転、資金供与などがあった。途上国の交渉戦術は、先進国の環境保護的な色彩の強い勢力と同調する形で、できるだけ先進国の数値目標達成が難しくなるように話しをすすめ、それを緩くする場合の対価として支援を引き出していくと

いうものだった。

E) 排出量の通報と審査（議定書 5, 7, 8 条）

この項目が重要な争点になったのはCOP 7においてであった。

京都議定書のもとでは、各国が温室効果ガスの排出量を気候変動枠組み条約事務局に通報し、それをもとに数値目標遵守・不遵守が判断されたり、京都メカニズムが利用されたりすることになっている。

さて、排出量の通報という一見簡単なようだが、じつはそうではない。温室効果ガスの排出量をよい精度で見積もることはかなり難しい問題なのである。日本は例外的にこれを精度よく算出できる国である。日本の場合は温室効果ガスの殆どが化石燃料起源のCO₂であり、かつエネルギー統計もよく整備されているのでかなりよい精度で見積もることができる。ところが、オーストラリアやカナダなどの国々は、森林や農地の面積が大きくて、そこで吸収されているCO₂の量や、排出されているメタンガスの量などの不確実性の高い要素が多く混入してくる。また、ロシアなどの移行経済諸国では、エネルギー統計に関しても精度よく整備されているとはいえない。

このような状況を受けて、「全体の排出量がいくらか分からない国は、数値目標を達成しているかどうか分からない。したがって、京都メカニズムも用いるべきではない」という見方が途上国や欧州から示された。これに対して、アンブレラ諸国は、「一定の不確実性があることは止むを得ず、それを理由にして京

都メカニズムを使えなくしてしまうことは議定書の意図に反することだ」と主張した。

4. 京都議定書運用則の採択へ向けて

4.1 COP 4

（ブエノスアイレス会議 1998年10月）

(1) 概要

前章で紹介したような主張を調整し、京都メカニズムの運用則という形で採択することが京都会議後の課題となった。しかし、COP 4では、この運用則を一気に決めることは作業量が膨大で実際上困難であるとの判断から、どのような運用則を決める必要があるかという項目の頭出しと、その日程決めを行うことになった。会議の成果として、その作業工程表である「ブエノスアイレス行動計画」を採択することとなった。

(2) 「ブエノスアイレス行動計画」の重要性

振り返って見れば、これ以降の交渉は同行動計画を尊重して行われることになったし、同計画の予定するCOP 6よりは遅れたものの、COP 7においてマラケシュ合意がなされ、運用則が採択されるに至ったことを思えば、「ブエノスアイレス行動計画」を定めたCOP 4の成果は重要だったと言えよう。

なお、具体的な内容に入ることに先だって、決定すべき事柄とそのタイムスケジュールについて合意をしておくという方法は、国際会議でよく見られる方法である。京都会議にしても、まず、COP 1で京都議定書の骨格と採択の期限（COP 3とされた）が呈示され、それに従って京都会議が開催され、京都議定書が採択されるに至った。一度国々が約束する

と、各国の政治的信用が複雑に絡み合うために、どの国もそれに従うように強い力が働く。国際交渉の推進者はこの動き方を熟知し、巧みに活用している。

4.2 COP 5（ボン会議 1999年11月）

(1) 概要

「ブエノスアイレス行動計画」がCOP 6に運用則採択という大きな役割を与えたこともあり、COP 5はさしたる目玉も成果もない、つなぎのような会議になってしまった。

(2) 数少ない特徴

目立った点といえば、2002年9月に開催予定のヨハネスブルグ地球環境サミットに合わせ、2002年に発効させたいという意向が数カ国から表明されたこと、閣僚スピーチなどの場で各国の環境大臣が原子力批判をすることが流行になってきたことぐらいであった。

COP 6に向けて真剣な歩み寄りがなされるわけでもなく、交渉も本格的なものからは遠く、各国が好き好きに意見を表明しているだけの感があった。

4.3 COP 6（COP 6 パート1）

（ハーグ会議 2000年11月）

(1) 概要

交渉はCOP 5後から一気に加速し、COP 6において大きなヤマを迎えた。COP 6においては「ブエノスアイレス行動計画」に従って京都議定書の運用則に関する交渉が行なわれた。交渉の対象となったテキストは400ページを超える膨大な分量となり、これについて一気に合意することは会期中に諦められたが、ハーグではそのテキストにおける重要争点に関する合意だけを採択し、それに基づいて具

体的な法的文書を作成するという段取りが採られた。

しかし、この方針にも関わらず、肝心の重要争点に関する合意が閣僚会合でまとまらず、COP 6での交渉は決裂という事態になった。このため閉会を見送り、とりあえず会議は中断という形で、半年後に再開することとなった。このような事情で、このハーグ会議は「COP 6 パート1」と呼ばれることになった。

(2) 会議決裂の経緯

主な争点が会議終盤になっても解決されなかったことを受け、会議終盤になって議長から妥協案が提示された。各国はこれに基づいて交渉を続けた。会期を1日延長した25日土曜の午前中になって、EUの仲介役として交渉にあたっていた英国とアンブレラグループとの合意案が成立した。しかし、英国がEU各国に同案への合意を求めた際に、幾つかの国から強い反対があり交渉が決裂した。

特に強硬に反対したのはドイツだったと伝えられている。ドイツは現在「赤緑連合（red-green coalition）」、すなわち社会民主党と緑の党の連立政権下にあり、「緑の党」のユルゲル・トリッティン氏が環境大臣を務めている。「緑の党」を支持基盤とするトリッティン大臣は、アンブレラグループへ妥協する形で主な争点を譲ることができなかった。

(3) ブロンク議長の調停案

ブロンク議長の調停案は、その時点での3極の主張をそれぞれ取り入れるというバランスをとったものであった。このことは、途上国グループ、アンブレラグループ、欧州グループ、環境保護団体のいずれもが、この調停

案を他を利するものとして非難したことが示している。

例えば、排出権取引と共同実施 (JI) については、ほぼ全面的にアンブレラグループの意見を入れるかわりに、シンクについてはアンブレラグループに厳しく欧州グループ及び途上国グループ寄りの内容になっている。遵守委員会 (IC) やクリーン開発メカニズム執行委員会 (CDM/EB) のメンバー構成については途上国からのメンバーも多くとりこむなど、途上国グループの意見を入れている。途上国グループについてさらに言えば、先進国が途上国支援の資金調達をできない場合に、京都メカニズムに課税して資金調達をするというアイデアも盛り込まれている。

合意が成立しなかった理由について様々な説が伝えられているが、特に吸収源と京都メカニズムが問題になったとのことである。吸収源においては、議長案で「3条4項によるシンクの利用は排出総量の3%までと限る」としていた上限値について、米国が数値引き上げを条件に歩み寄りかけたものの、合意には至らなかった。京都メカニズムについては、排出権取引にどの程度の上限を設けるべきかという「補足性の問題」について、合意が成立しなかったと伝えられている。

4.4 COP6 パート2

(ボン会議, 2001年7月)

(1) 概要

ハーグ会議 (COP6 パート1) は決裂し、COP6 はもう一度しきり直しをすることになった。「COP6 パート2」はドイツのボンで

2001年7月16日から27日にわたって開催された。このうち閣僚の会合は7月19日から23日であった。

(2) 成果

閣僚会合最終日の23日にボン合意が成立し、同議定書の運用則に関する合意は、道半ばまでこぎ着けることができた。前述のA～Eの5つの主要議題のうち、「排出量の通報と審査」については先送りされたが、残り4つで、「途上国支援」についてはほぼ完全にまとまり、「吸収源」についても概ねまとまった。他方、「京都メカニズム」についてはまだ専門組織の権限規定や排出権取引の責任帰属 (売手か買手か) など、いくつかの重要論点が残った。「遵守システム」に関しては、遵守強制的な性格を持たせるかどうかという点で、根本的な違いが顕在化したままになった。

その他に注目すべき決定としては、共同実施 (JI) 及びクリーン開発メカニズム (CDM) からの原子力の除外という規定が盛り込まれたことがある。

ボン合意は一部で「包括合意」と報じられたが、実質は「部分合意」であって、まだ論点は残っており、COP7まで交渉は持ち越された。

4.5 COP7 (マラケシュ会議 2001年10月)

(1) 概要

COP7 は、10月29日から2週間の会期でモロッコのマラケシュで行われた。ボン合意によって主要な争点はかなり決着がついていたものの、京都メカニズム、遵守システムや通報・レビューなどの争点について追加交渉する必要がある、その政治決着を受けて運用

表2 COP7における成果

主要交渉項目	内 容
1) 途上国支援	資金・技術移転についてのパッケージが合意された。いずれも先進国に定量的な義務を課するものではない。資金援助についても、提出額は各国の任意とされている。
2) 吸収源	議定書3条3項及び3条4項に規定されている「森林活動（植林や森林保全）」や「土地利用活動（例えば荒れ地が農地になった場合の土壌中の炭素固定量増加）」に伴うCO2固定量をどの程度数値目標達成のために算入するかといった点が争われた。算入可能な最大量は交渉に委ねられて、日本はほぼ当初希望通りの年間排出量の3.7%強を得た。ただしこの数字はあくまでも算入可能な上限であって、今後の算入方法の具体化にあたってはこれよりも低くなる可能性は残っている。
3) 京都メカニズム	アンブレラグループの主張がほぼ容れられる形で、京都メカニズム利用への実質的な制限は殆ど規定されなかった。
4) 遵守問題	数値目標を守れなかった場合について、アンブレラグループの日本・オーストラリア・ロシア・カナダは罰則を設けることは適切ではないとし、罰則が必要とする途上国や欧州連合と対立した。結果として、罰則のニュアンスがやや弱まり、「法的拘束力のある罰則」ではなくなった。

則を作成するという作業が行なわれた。

交渉の結果、運用則またはルールブックとも呼ばれている「マラケシュ合意」が採択され、「プエノスアイレス行動計画」以来の運用則づくりはここに決着を見ることとなった（表2参照）。

(2) 進展のあった交渉課題

COP7では、京都メカニズム、遵守システムに関する交渉で進展があった。

まず、京都メカニズムについては、その利用への制約が少なくなった。途上国グループ及び欧州グループは、遵守システム及び通報・レビューシステムにおける京都メカニズム利用への制約を強くしようとし、アンブレラグループはこれに反対した。結果として、そのような制約は弱くなった。

遵守システムについては、罰則のニュアン

スがやや弱まり、「法的拘束力のある罰則」ではなくなった。罰則が法的拘束力を持っていると、数値目標違反を認定されるとただちに違反した国に罰則に従う義務ができてしまう。これに対して、罰則に法的拘束力が無ければ、数値目標を認定され、罰則に従うことを要求されても、違反をした国が罰則に従うかどうかは任意になる。罰則に従うかどうかは任意だからといって、罰則を無視して良いということでは必ずしもないし、また、数値目標を違反してもよいというものでもなく、そのような場合には道義的責任を追及される可能性が高い。しかし、罰則に法的拘束力が無いということは、各国が国内での制度を設計するにあたって、数値目標達成という政策目標にどの程度のウェイトを置くかという点で違いを与える。

(3) 京都議定書批准に向けた動き

この交渉に先立ち、EUは京都議定書を批准する意向を明らかにしていた。また、日本でも衆参両院で批准の意向を確認する国会決議がなされており、COP 7は合意され運用則が採択されれば、その内容に関らず、そのまま批准・発効が見込まれるという雰囲気の中で行なわれた。

日本では、COP 7合意を受けて、会議終了翌日に小泉首相が座長、関係閣僚がメンバーとなっている温暖化対策推進本部の会合がもたれ、次期通常国会での批准に向けた検討に入ることになった。このような意向が表明された背景としては、COP 7での交渉結果は日本にとって適切なものであったという判断と、2002年9月のヨハネスブルグ地球環境サミットへは、日本の古都の名前を冠した京都議定書を採択して臨みたいとの政治的意向がある。

5. 運用則採択以外の重要問題

5.1 途上国の参加問題について

京都議定書の数値目標達成義務が先進国のみに課せられており、類似の義務を途上国が負っていないことを不満として、先進国、特に米国は、途上国も参加すべきだと主張を続けた。しかし、COPでは途上国が猛反対を続け、COP 3からCOP 7にいたるまで、途上国の参加問題は議長預かり事項として非公式な相談をするにとどまり、公式の議題には上らなかった。

5.2 米国参加（離脱）の問題について

専門家の間では、米国が京都議定書を批准しないということは、京都会議直後から現実視されていた。米国が京都議定書を批准するためには、上院の3分の2の賛成票が必要である。このためには共和党・民主党の超党派

の賛成が必要だが、中西部のエネルギー産出州などの共和党の強固な支持基盤だけで3分の1を占め、事実上の拒否権を有してしまっている。京都議定書はクリントン・ゴア政権の強い政治的意向のもとで採択されたが、そのことが逆に、共和党が半数をしめる上院での超党派での批准をきわめて難しいものにした。

「COP 6 パート 1」が決裂して京都議定書の先行きが危ぶまれているなか、2000年末の大統領選挙では、空前の大接戦の末、ジョージ・ブッシュ氏が勝利した。このことは交渉の構図を大きく変えた。

「COP 6 パート 1」までは、クリントン政権だったので、何とか合意だけでもしようという意思が強かった。当面は上院で批准される見込みは無くても、米国が運用則の合意というところまで議定書の枠組みに参加しておくことで、いずれは米国も批准できるような枠組みをつくり、ゆくゆくはそこに参加するという含みをいくらか残すことができた。

ところが対照的に、ブッシュ政権は政権発足後まもなく、米国は京都議定書に参加しないむねを明言した。ブッシュ政権の攻撃対象は京都議定書だけではなかった。世界中からの非難にさらされながら、ブッシュ政権はクリントン時代の環境保護的な政策をことごとく覆していった。また、外交面でも全般に強硬な姿勢に出始めた。このようにして、ブッシュ政権が続く間は米国が京都議定書に帰ってくる見込みはほとんどなくなってしまった。「COP 6 パート 2」以降、米国交渉団は表立ってはほとんど発言も交渉もしなくなった。

この状況下で、2001年9月11日に米国同時多発テロ事件が起きた。このテロ事件以降今日まで、ブッシュ政権首脳レベルでは京都議定書に関する議論はほとんど行なわれていないという。残念ながら、当面、米国で温暖化

問題が重要な政治課題に上ることはなさそうである。

6. COP 7以降の見通し

最後に、私見として今後の見通しを述べておこう。

本稿を執筆している時点で、日本政府は京都議定書批准へ前向きの姿勢を見せているが、経済団体連合会（経団連）が米国抜きでの性急な批准に反対しているという事情もあり、2002年9月のヨハネスブルグ地球環境サミットまでに批准されるかどうか予断を許さない。日本が批准することになれば、欧州が批准の意志を表明していることから、米国抜きでの発効の可能性が高くなる。

その時、京都議定書はどのように運用されるだろうか。マラケシュで採択された運用則を見ると、京都メカニズムについての制約は少なくなっている一方で、遵守システムについては、法的拘束力こそ付与されていないものの、罰という色彩が強い。この状況において、締約国は京都メカニズムの活用が最後の頼みの綱になる。

ところで、京都メカニズムの運用則が制約の少ないものになったからといって、実際にうまく利用できるかどうか疑問がわく。ルールができたということは、実際に取引できるということの前提でしかない。京都メカニズムの交渉過程を見てみると、途上国グループは排出権取引とJIに制約をはめ、これに対抗して移行経済諸国はCDMを人質にとり、欧州グループは排出権取引を牽制し、アンブレラグループは欧州バブルを攻撃するといった具合に、互いに足を引っ張りあう構造があった。この相互牽制は運用則採択に関しては一応の決着をみたけれども、運用段階でもこれと似

たような非難合戦が起きることは必定である。実際のところ分厚い運用則のなかに互いにケチをつけるための材料は山ほど盛り込まれている。排出量目録の整備具合、京都メカニズムへの参加資格やベースラインの設定などを巡って、共同実施管理委員会、CDM理事会、COP/MOP（締約国会合）などの組織を通して様々な非難が浴びせられることになろう。日本が確実に遵守するとなれば、京都メカニズムがうまく利用できることが必要になるが、これがどの程度使い物になるのかは、あまり樂觀できない。フタを空けてみないと分からないというのが実際であろう。

参考文献

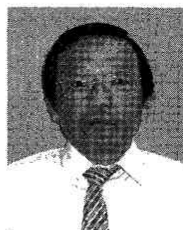
- (1) 杉山大志 京都議定書の遵守システムの設計—付：COP5概要一、電力中央研究所研究報告Y99008、平成12年1月。（遵守システムについて）
- (2) 杉山大志 数値目標の遵守は強制するべきか？—京都レジームの制度設計における二つの学派—、電力中央研究所研究調査資料Y00920。（国際交渉の理論的構図について）
- (3) 杉山大志 「国民vs国民」の図式を制度化する方法—炭素税の効能とあり方を探る—、『月刊エネルギー』日工フォーラム社、2002年3月号。
- (4) 杉山大志 国会は京都議定書解釈宣言で国益を守れ（pdf）、『月刊エネルギー』日工フォーラム社、2002年2月号。
- (5) 杉山大志 雰囲気だけで批准するな（pdf）『月刊エネルギー』日工フォーラム社、2002年1月号。

本稿の背景となる知見については、(1) (2) の文献を含め、電力中央研究所の研究調査資料をホームページ<http://criepi.denken.or.jp/CRIEPI/serc/report/pdf/>からダウンロードできるので参照されたい。

また、COP 7以降の最新動向に関連した温暖化防止政策に関する論文は、(3) (4) (5) の連載原稿を含め、研究者ネットワークClimate Designのホームページ<http://www.iser.osaka-u.ac.jp/saijo/cd/cdnew.html>からダウンロードできるので、参照されたい。

核燃料サイクルと

分離・核変換技術開発の動向



毛呂 達 (プロジェクト試験研究部
主管研究員)

1. はじめに

現在、世界は開発途上国を中心とした人口の増加、環境の悪化等、様々な問題を抱えているが、これらの課題を解決するにはエネルギーの安定供給確保と、環境保全とを両立させることが重要である。

当所の試算に利用した『IPCC排出シナリオ特別報告書』（2000年）のB2シナリオによれば、今後の世界のエネルギー使用量及び電気エネルギーの使用量は、2050年には、2000年の2.5～3倍以上に、また2100年にはエネルギー使用量は4倍に、電気エネルギーは5倍以上に増大する。

このようにエネルギー需要が今後さらに増大する中で、原子力エネルギーは、核分裂で生じたエネルギーで発電するという特性上、燃焼を伴わず、地球大気の大気温度上昇という環境変化を引き起こす二酸化炭素（CO₂）や酸性雨が問題となる窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）を発電過程で排出しないために、地球温暖化防止策のひとつとして有望な方策でもあることから、今後ますます利用され続けるものと考えられる。

しかし、この原子力エネルギーの利用に際しては、利用後に残留する「放射性廃棄物」

の処理方法が確立されていないという、いわゆる「トイレなきマンション」問題を避けて通ることはできない。

本稿では核燃料サイクルの概要、及び高レベル放射性廃棄物の処理方法の1つとして、現在わが国や諸外国で注目され、開発が進められている「分離・核変換」技術についてその概要を述べる。

2. 核燃料サイクル

2.1 核燃料サイクルの概要

核燃料サイクル技術は、原子力発電の特徴であるエネルギーの供給安定性を向上させる、特に高速増殖炉利用による核燃料サイクル技術はウラン（U）の利用効率を飛躍的に高め、また環境へ与える負荷をさらに低減する効果も期待される。また、核燃料サイクルにおいて一度利用した燃料から取り出すプルトニウム（Pu）を再利用することにより、準国産エネルギーが確保されることになる。これはエネルギー資源の乏しいわが国にとっては、非常に重要なことであり、またこの技術は世界的なエネルギー問題の解決にも大きく貢献するものと期待される。

核燃料サイクルとは、図1に示すような一

連の工程を言う。原子力エネルギーの源であるUは、鉱山から鉱石として採取された後、核燃料に加工され原子力炉内でUと核分裂で生じた中性子との連鎖反応（核反応）によってエネルギーが取り出される。そしてエネルギーが取り出された後の、使用済み燃料は再処理工場で燃料中に残留しているUやPuが取り出され、再び核燃料に加工されて発電所へ送られ、またエネルギーが取り出されるというサイクルである。

再処理工場に搬入された使用済み核燃料集合体の中には、残留UやPu以外に、原子炉内での中性子と核分裂性物質⁽¹⁾との間の核反応によって発生した様々な種類の放射性核種[核分裂生成物（FP）と超ウラン元素（TRU）]が含まれている。⁽²⁾

わが国においては、この放射性核種を含む使用済の燃料集合体は、茨城県東海村で操業中の「核燃料サイクル開発機構」（JNC）東海事業所内にある再処理工場⁽³⁾あるいは現在青森県六ヶ所村に建設中の、日本原燃株式会

社の六ヶ所再処理工場⁽⁴⁾において「再処理」を行うことになっている。

「使用済燃料の再処理」の目的は、表1に示す通りである。

「使用済燃料の再処理」では図2に示すように、使用済燃料を硝酸液中に溶解させ、種々の工程を経て、中に含まれる再利用可能なUとPuを取り出し、それらを使って新しい燃料、すなわちMOX燃料（酸化物燃料）を作ることとしている。

2.2 高レベル放射性廃棄物の処分問題

UやPuを回収する前の分離工程で、溶解液から分離されたFP及びマイナーアクチニド（MA）といった核反応物質、すなわち「高レベル放射性廃棄物」（HLW）は、ガラス素材とともに溶融されガラス固化体化して、ステンレス製キャニスターに入れられる。

六ヶ所再処理工場では、このガラス固化体は、海外での再処理後にわが国に返還輸送されたガラス固化体とともに、地層中に最終処

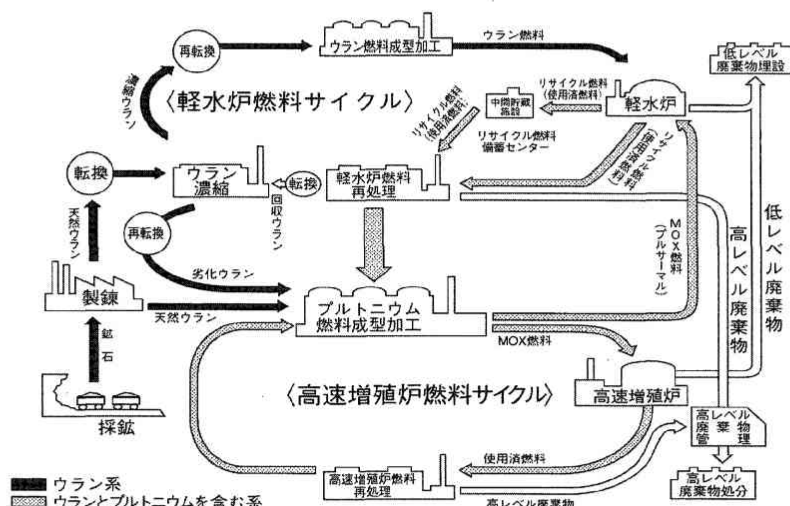


図1 核燃料サイクル（高速増殖炉-FBR-を含む）

表1 使用済燃料の再処理の目的

1. エネルギー資源に乏しいわが国が、貴重なウラン資源を、より有効に利用するため、使用済燃料からウランとプルトニウムとを燃料として取り出して再利用すれば、エネルギーを、より安定して確保できる。
2. 使用済燃料をそのまま廃棄物として処分する「直接処分」と比べ、再処理を行うことにより、高レベル廃棄物の容積が約半分になり、放射性廃棄物に対する負荷が軽減される。

分されるまでの30～50年間冷却されるため⁽⁵⁾、再処理工場内の「ガラス固化体貯蔵建屋」内に一時貯蔵される。その後、原子力発電環境整備機構⁽⁶⁾が新たに選定することになっている最終処分場⁽⁷⁾に運ばれ、人間の生活圏から隔離するため、図3で示すように地下数百～千メートルの深い安定した地層中に埋設されること（最終処分）になっている。⁽⁸⁾

この最終処分をする場所に関しては諸外国でも選定作業が進められている。2001年フィンランドは同国のオルキオに処分場を建

設する計画を発表している。また、スウェーデンにおいても、2002年～2006年にサイト調査を行い、2009年に処分場サイトの正式提案を行うという計画が発表された。同国の最終処分場の候補地は現在のところオスカーシャム、エストハンマル、ティーエルブの3カ所となっている。さらに米国では、2002年2月15日にブッシュ大統領が連邦議会に対して、放射性廃棄物の最終処分場として、ネバダ州のヤッカマウンテンでの処分場建設を勧告した。この他、カナダ（ホワイトシエル）、フランス

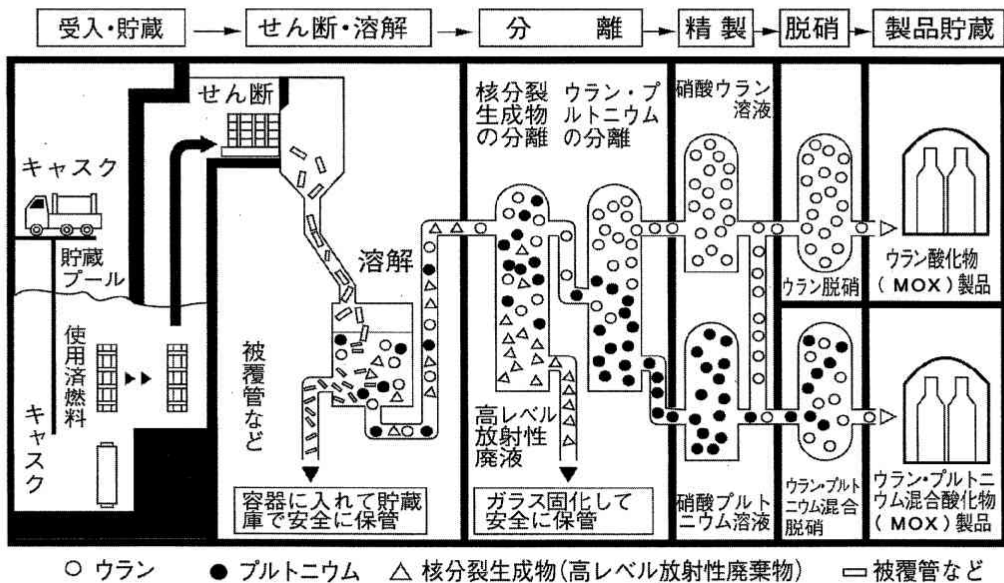


図2 再処理の工程

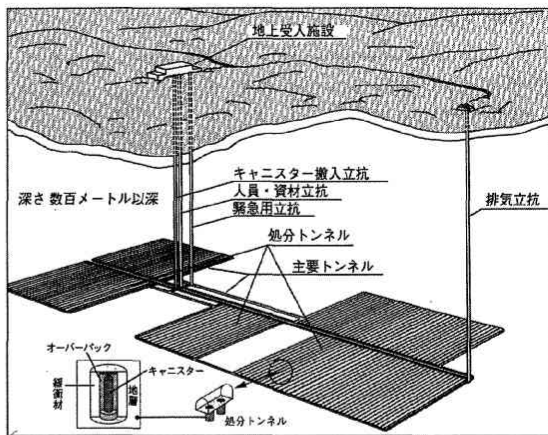


図3 地層処分場の概念図

(オートマルヌ県、ムーズ県他)、スイス（グリムゼル及びモンテリー）等でもそれぞれ最終処分に向けた研究開発や処分場の計画が推進されている。

2.3 最終処分後も残る不安の解消に向けて —「分離・核変換」への期待

半減期が1,000年を超えるような核種を含むHLWのガラス固化体をそのまま地層処分すると、潜在的放射性毒性が長期間高いまゝとなる。

地層の奥深く埋設しているとはいえ、地下水等を通して人間の生活圏へガラス固化体から放射能が漏洩⁽⁹⁾する、万に1つのことを考えると、処分場近くの公衆の受容性が十分

でなくなる恐れも考えられる。このため、もし長半減期核分裂生成物（LLFP）やMAを半減期が短い核種、あるいは安定的で非放射性の核種に変換すること、すなわち長半減期核種の「消滅」処理が可能になれば、表2に示す効果が期待される。

なお、MAはそれ自体が核分裂性物質であるため、HLWからの分離後、原子炉、特に高速炉（FR）⁽¹⁰⁾内で燃焼させることも可能である。これは核分裂性物質の拡散防止にもつながる。

さらに、HLW中から発熱性のFP（特に、セシウム137、ストロンチウム90）を分離・除去できれば、上述の30年～50年にわたるガラス固化体冷却のための保管期間の短縮や保管方法の簡素化も期待できると考えられる。⁽¹¹⁾

3. 分離・核変換技術

3.1 開発経緯

1973年、日本原子力産業フォーラムは、「放射能に関する閉鎖システム」と題する報告書を発表した。この報告書の中で、長期にわたる研究開発項目として、長寿命の放射性核種の分離・核変換技術⁽¹²⁾の研究開発の重要性が指摘された。日本原子力研究所においても1970年代中頃から、高レベル廃棄物について

表2 「消滅」処理で期待されること

1. 放射能レベルが低減するまでの期間が大幅に削減され（特に処理をしなければ、天然ウランと同じ放射能レベルにまで下がるのに数十万年が必要）、長期の潜在的放射性毒性が減ることから、地層の安定性、廃棄物の保管容器の健全性を経験的に保証できる数百年単位に短縮することが期待され、地球環境への負荷が大幅に低減される。
2. 放射能の発生源そのものの削減をも達成できるので、処分場周辺の公衆にとっての安心感の大きな向上にも寄与できる。

表3 SCNESにおける核種選定基準と選定された29元素

第1基準：半減期が1年以上のFP

第2基準： $\frac{\text{収率}(\%)}{\text{半減期}(\text{年})} > 10^{-10}$

	半減期	選定された核変換対象の29元素
①	1～10年	Ru-106, Rh-102, Cd-109, Sd-125, Cs-134, Pm-146, Pm-147, Eu-154, Eu-155, Tm-171
②	10～20年	Kr-85, Nb-93m, Cd-113m, Eu-152
③	20～30年	Sr-90, Cs-137
④	30～100年	Sn-121m, Sm-151
⑤	100～10000年	Ag-108m, Tb-158, Ho-166m
⑥	10000年以上	Se-79, Nb-94, Zr-93, Tc-99, Pd-107, Sn-126, I-129, Cs-135

の群分離プロセスの開発、及び核変換に関する検討が始められた。

諸外国においても、1970年代から1980年代初期にかけて、米国やヨーロッパにおいて⁽¹³⁾軽水炉や高速炉を用いた核変換処理の可能性や、分離・回収・消滅処理システム概念の検討が行われてきた。これらの検討結果をとりまとめて発表された国際原子力機関（IAEA）による報告（1982年）、イスブラ研究所の報告（1983年）等では、「分離・核変換の技術的可能性は認めるものの、地層処分によるリスクは十分に小さいので、新しく本技術を導入して更にこのリスクを低減する動機は小さい」とされた。

しかし、放射性廃棄物の管理・対策に対する一般的な関心の高まりや、地層処分サイト決定の難航のような社会的、政治的な要因を背景に、最近の新しい効率的な技術の開発に伴い、新たな分離・核変換技術の提案が行われている。

3.2 新たな提案：SCNES

—分離・核変換対象核種の選定方法

使用済燃料中では、原子炉内での核反応により様々な種類及び量の核反応物質が生成している。

これらの核反応物質は放射能を持っているが、その半減期は1秒以下～1,500万年以上まで様々である。また、その核種が核反応で発生する割合（収率）も元の核燃料物質によって多少異なる。

核変換対象とする放射性廃棄物（核種）は、その社会の価値観によって決められるべきものになると考えられる。この核変換対象核種選定の1つの例として、「自ら整合性を持つ原子力システム」（SCNES：Self-Consistent Nuclear Energy System）⁽¹⁴⁾における考え方を以下に示す。

SCNESの研究では、高速増殖炉の燃料物質Pu-239の高速中性子との核反応によるFPを対象に、表3に示す2つの判定基準に基づき、

核変換対象の核種として29種の元素が選定されている。

このうち第2の判定基準は、出力1,000MWeで1年間運転した時の蓄積量が、その燃焼を無視した場合に約 $7 \times 10^7 \text{ Bq}$ (2 mCi) 以上となるFPを示す。すなわち、半減期が1年以下のFPや生成量の微小なFPは実質的に実害がないものとしている。また、MAは核廃棄物としてではなく、核分裂エネルギー生成に寄与するため、SCNESではプルトニウムと同様、貴重な核燃料物質として取り扱われている。

しかし、SCNESを含め何かの基準に基づいて核変換対象の元素を選定したとしても、実際問題、当該元素をHLW等から分離・回収できなければ、当初の目的は達成できないことになる。従って、核変換対象の核種の選定は、その時々核種分離技術の進展度合いによっても左右されることになる。

3.3 分離技術

(1) 「分離」技術の意義—核変換の前提条件

「分離」とは、再処理工程で発生するHLW中に含まれる半減期の長い核反応物質（LLFP及びMA）を、核変換対象の核種として取り出し、回収する技術である。

分離・核変換処理を実施するシステムでは、1回の処理で核変換対象の核種を完全に核変換（消滅）処理させてしまうことは不可能である。従って、原子炉等、一定期間核変換をさせる装置内で、高速中性子を対象核種に衝突させ核変換させた後、燃料やターゲットを取り出し、核変換できなかった長半減期核種の分離、回収、成形加工等を行い、再び核変換装置に戻して変換工程を繰り返すことになる。

核変換装置外での分離・回収処理工程においても、長半減期核種を完全に分離・回収することは不可能であり、わずかではあろうが回収漏れが生じることは避けられない。しかし、この回収漏れは核変換処理自体の効果を損なうため、分離・回収処理工程の回収率を非常に高くする必要がある。

使用済燃料中のTRU、及び半減期1年以上の放射性FPの回収・同位体分離工程で、高回収率（6ナイン：99.9999%）を実現する革新的な技術が開発できれば、原子炉内での核変換能力は十分あり、廃棄物の放射能などを天然ウランのレベルまで低減できる可能性がある。

しかし、6ナイン以上の高効率回収率で回収する技術やFPの同位体分離技術は、現段階ではその中味を描けるものではない。

(2) 「分離」技術の目標

「分離」のもっとも重要な目標は表4の通りである。

表4 分離技術の目標

- ガラスのような通常の組織に含まれる廃棄物中への、半減期が長くて放射性毒性の高い核種の量を最少化すること（MAやLLFPを除去・回収すること）。
- 廃棄物固化体の発熱量を最少にすること（発熱する核種であるCs-137やSr-90を除去・回収すること）。
- さらに可能ならば、これら回収した核種を、核変換させるのに都合が良い形にすること。また高純度にする。

(3) 「分離」技術の内容

ある核種を分離する方法としては大きく分けて、化学的分離法と物理的分離（同位体分離）法の2つがある。

(a) 化学的分離法

化学的「分離」とは、何らかの化学反応を利用して核変換の対象となる元素を分離し、取り出すことである。

この技術には大きく分けて、硝酸等の溶液中に燃料物質を溶解させ、目的とする核種を取り出す「湿式法」と、熔融塩等の水を含まない溶媒中で、電気分解等により目的の核種を取り出す「乾式法」とがある。

次ページの表5に、湿式法、及び乾式法による分離技術の研究開発の現状について示す。

現在の研究開発状況では、種々の核種分離方式のうち、開発フェーズが「工業化段階」にまで達しているものは少なく、大部分が「開発段階」またはそれ以前の段階にとどまっている。また、分離が可能な元素も、まだ限られたものとなっている。

いくつかの国では、実際の使用済み燃料を使用して分離技術の開発を行っている。例えば、米国のアルゴンヌ国立研究所は高速実験炉EBR-IIの燃料を使った「乾式法」の研究を行っている。

「湿式法」では様々な概念について研究中である。多段階のプロセスが良いようであるが、これまでの開発では非常に複雑なものになっている。従って、プロセスの簡素化が必要である。

なお、元素分離回収技術については、現在、わが国や諸外国の使用済燃料再処理工場で採用されているPUREX法⁽¹⁵⁾のように、純粋なPuを回収する技術にこだわらずに、核物質の無用な拡散を防止する観点から、今後は原子炉の受入能力と協調しつつ、適切な物質分離・回収技術の開発が必要と考えられる。

フランスのラ・アーグ再処理工場では、

PUREX法によりUとPuの分離がすでに商業規模で実施されているが、CEAではこの成熟技術に基づいて、HLWからネプツニウム (Np)、アメリシウム (Am)、キュリウム (Cm) といったMAを分離する「高度分離プロセス」の概念を構築している。

MAを除去したこのガラス固化体は「軽減型ガラス固化体」と呼ばれている。この高度分離プロセスにより、軽減型ガラス固化体の放射能毒性は、約300年以内に天然ウラン並に減衰する。

また、フランスでは原則として、回収されたMAやFPを核変換する計画 (SPIN計画) になっているが、核変換技術が確立されるまでの間、長期間にわたって有効に密封することが可能な晶質ガラス媒体、セラミック媒体等、特殊な固化媒体に関する研究も行っている。

(b) 物理的分離 (同位体分離) 技術について

「同位体 (同位元素)」とは、原子中の陽子数を示す原子番号が同じで、陽子と中性子の合計の数を示す質量数が異なる核種である。

原子番号が同じであるため、化学的な性質が全く同じである。従って、この同位体を分離するためには、物理的な方法による分離が必要である。

一般的には、この同位体の分離に関する基礎的な技術として、ウラン濃縮で採用されている熱拡散法、気体拡散法、遠心分離法あるいは現在研究が行われている原子レーザー法等がある。

核変換対象の核種としては前述の通りいくつかあるが、当然ながらこれらの核種には同位体が存在している。そしてこれらの同位体のうち、核変換の対象となるのは一部である。

表5 湿式法及び乾式法による分離技術の研究開発の現状

【湿式分離法】

対象元素	方式	開発フェーズ*			備考
		I	II	III	
MA	Np	PUREX		○	回収率～95%実証
		DIDPA[日本；原研]		○	回収率>99.95%実証（目標99.5%）
		HDEHP[韓国]		○	回収率>99%実証
		TRUEX[日本；JNC]		○	回収率>99.9%実証（目標99.9%）
		TODGA[日本；原研]	○		ARTISTプロセス
	Am + Cm	TALSPEAK[米国]		○	
		DIDPA[日本；原研]		○	回収率>99.99%実証（目標99.5%）
		TRUEX[日本；JNC]		○	回収率>99.9%実証（目標99.9%）
		TRPO[中国]		○	
		DIAMEX[仏国]		○	
		イオン交換法[日本；産創研]	○		
		TODGA[日本；原研]	○		ARTISTプロセス
		SETFICS[日本；JNC]		○	An/Ln分離 SF>100 (Am/Ce)
		TPTZ[欧州、JNC]	○		An/Ln分離 SF～10 (Am/Eu)
		Picolinamides[仏国]	○		An/Ln分離
FP	Tc	CYANEX301[中国、JNC]	○		An/Ln分離 SF>6000 (Am/Eu)
		Ferricyanide[ロシア]	○		An/Ln分離
		SESAME[仏国]		○	Am/Cm分離
		PUREX(可溶性Tc)		○	回収率>95%実証（ラ・アーク）
		脱硝沈殿法[日本；原研]		○	回収率>99.9%実証
	I	カラム吸着法[日本；原研]	○		
		電解析出法[日本；JNC]	○		
		イオン交換法[日本；産創研]	○		
	Cs、Sr	PUREX		○	回収率～95%（ラ・アーク）
		Dicarbollides[チェコ・ロシア]		○	Cs・Sr分離(コハルトジカルボリド使用)
		無機イオン交換体(ゼライト)法[日本；原研]		○	Cs・Sr分離
		Calixarenes[仏国]		○	Cs分離
		SREX[米国、ロシア]		○	Sr分離
	他のLLFP	詳細不明			Zr、Se、Pdの検討例あり

*開発フェーズ 1：基礎研究段階 2：開発段階 3：工業化段階

【乾式分離法】

対象元素	方式	開発フェーズ*			備考
		I	II	III	
MA	Np、Am、Cm	金属電解法（液体Cd陰極）[米国・日本]	○		
		還元抽出法[日本；電中研]	○		回収率>99%実証（目標回収率99%）
		酸化電解法（絞リ電解）[ロシア]	○		
		フッ化物揮発法[米国・ロシア]		○	Np分離／Am・Cm分離
FP	Tc	フッ化物揮発法[米国・ロシア]		○	
		溶融塩電解法[米国]	○		
		鉛抽出法[日本；名大]	○		
	I	熱脱被覆法[米国]		○	回収率>99%
	Cs、Sr	熱脱被覆法[米国]	○		Cs・Sr分離
		ゼオライト吸着法[米国]	○		Cs・Sr分離
	他のLLFP	不明			

*開発フェーズ 1：基礎研究段階 2：開発段階 3：工業化段階

従ってその一部の同位体のみを分離できれば、核変換の効率が良くなることが期待される。しかし核変換核種を選択的に分離する方法については、現在は未だ工学的な姿を描ける段

階にはなっていないため、更に検討を続けていく必要がある。

(c) 分離・変換以外の回収技術

① 気体廃棄物の回収技術

揮発性の放射性物質⁽¹⁶⁾の大部分は、溶解工程でオフガスとして気相中に移行する。

その中でもヨウ素は、半減期が非常に長い核種であり、一旦環境中に放出されると半永久的に生物圏に存在することになるため、影響が非常に大きい。また、ヨウ素は核変換の対象核種候補であることから、十分に回収できる技術の開発が必要である。

現在までに、ヨウ素の回収方法として、「アルカリスクラバー」を用いた湿式法と AgNO_3 添着固体吸収剤を用いた乾式法が研究されてきている。フランスのラ・アーグ再処理工場やイギリスのソープ再処理工場ではアルカリスクラバーを用いた湿式法が導入されており、実用的なヨウ素回収技術として長い運転実績がある。

しかし、この方法ではヨウ化アルキルが補足できないことや、ヨウ素の他に NO_x や CO_2 が同時に吸収されるため、大量の2次廃棄物が発生する等の欠点があるため、六ヶ所再処理工場ではこれらの欠点がない、ドイツで開発された乾式法が採用されている。

② FPの有効利用

高レベル廃棄物から希少元素であるルテニウム (Ru)⁽¹⁷⁾、テクネシウム (Tc) といったFPを選択的に分離・回収し、有効利用するための基礎研究も行われている。

この技術が開発されれば、炉の特性を妨害する可能性のある不要な核種のみを分離・除外できることになり、核変換炉の特性向上につながるものと期待される。

(5) 分離技術の今後の課題

(a) 化学的分離法

① 湿式法について

「湿式法」では様々な概念について現在も研究中である。

多段階プロセスの方が効率は良いようであるが、これまでの開発では、プロセスは非常に複雑なものになっている。従って今後はMAやLLFPの分離プロセスの簡素化やコンパクト化が必要である。今後検討すべき内容は表6の通りである。

表6 湿式法での今後の検討課題

- 単サイクルプロセス
- プロセス改善のため、高放射性の抽残液※に替わる高い放射能の集積 (大きい容積の縮小要因)
- MAの分離回収プロセスとLLFPの分離回収プロセスとの統合
- 今まで分離技術の対象としていなかったLLFPに対する分離技術の開発
- 二次的に出てくる固体廃棄物の最小化

※ラフィネート：溶媒抽出法における工程で、所用の物質の大部分を抽出して除去した後に残った物質、液体。

② 乾式法について

「乾式法」についても世界中で多くの研究開発が行われてきたし、JNCで行われた実用化戦略調査研究のフェーズIにおいても、種々の候補概念の適用可能性が検討されたが、その中でフッ化物揮発法を含む「古い概念」についても、その有用性が確認された。今後検討すべき内容は表7の通りであろう。

表7 乾式法での今後の検討課題

- 廃棄物中のTRUの損失を最小化し、分離されたTRUの純度を上げる。
- いくつかの分離技術と多段階の技術と一緒に使うことによって、得られるMAの種類を増やす。
- ほとんど腐食に大いに関係する、廃棄物の発生量の削減を図る。
- 手順及び反応温度を正確に評価すること。
- 分離可能なLLFPをさらに増やすこと。

なお、再処理工程で有用な核物質を取り出した後に残る放射性廃棄物のガラス固化体の本数は、発熱量やガラスと混合できる高レベル廃液の量で決まる。このため、長寿命核種を分離しても、必ずしも廃棄物の絶対量を減らすことにはつながらない。

3.4 核変換技術

(1) 核変換の定義と前提条件

「核変換」とは、対象となる半減期の長い核種に、高いエネルギーをもった中性子を衝突させて核破碎反応を起こし、半減期が短い核種、あるいは安定的で非放射性的の核種に変換（消滅）させることである。⁽¹⁸⁾

一般に、核変換処理に当たっては、放射能毒性を低減させるとともに、経済的にも成立しうるものとする必要があるため表8の条件を満足させることが必要である。

表8 核変換の条件

- 核変換の処理に必要な時間は、対象核種の半減期、及び核変換を行うプラントの寿命と比べて十分に短くなければならない。
- 核変換対象核種の生成量より、核変換によって消滅する量の方が大きくななければならない。
- 核変換対象の核種が生成する際のエネルギーに比べ、核変換処理時のエネルギーが十分に小さくなるよう、エネルギー収支を十分に満足する必要がある。
- 1サイクルあたりの核変換率をできるだけ高くすることが必要である。

この核変換を起こさせるために必要となる強力な中性子源を得る手段として、原子炉（特に高速炉）中の中性子を利用する方法と、加速器を組み合わせる方法とがある。

(2) 原子炉を利用した核変換

(a) 高速炉での核変換

高速増殖炉のように、高いエネルギーを持つ高速中性子を核反応に利用する原子炉の内部には、核変換を生じさせる高いエネルギーを持った中性子がたくさんある。この中性子を使って核変換を起こさせる方式である。

物理的な観点からは、高速中性子炉は核変換の有望な手段である。

高速炉は柔軟性があり、核変換の効率が高く、非均質燃料でも十分に燃焼が可能である。

なおこの高速炉を用いる方法には、通常の高速増殖炉用燃料のうち、一部の燃料に核変換対象の核種を混ぜて、発電しながら核変換もさせる方法と、エネルギーを発生することより、核変換を専門に行うことを目的に作った炉で変換させる方法の2つが考えられている。前者では、核変換させる核種の量が軽水炉数基分から発生したものに相当する。後者は、「専焼炉」という概念で、軽水炉十数基分の核種を核変換させる。

(b) 軽水炉での核変換

既存の軽水炉を利用し、燃料中に核変換対象核種を混入させて燃焼させる方法である。しかし、この方法では、炉内の中性子のエネルギーが核変換を生じさせるに十分ではない。従って、MAを変換し、放射能毒性を著しく（約1/100）低減させることも可能であるが、非常に長期間の照射が必要であり、また燃料製造上も問題が発生する可能性がある。

(c) その他の原子炉での核変換

フランスでは、気体であるヘリウムを冷却材として使用する高温ガス炉や、核燃料をフッ化物や水酸化物に溶かし込んだ熔融塩を使用する熔融塩炉のように、発電しつつ核変換

が可能な原子炉についても、システムの可能性について研究が行われている。

(2) 加速器を利用した核変換

(a) 加速器のみによる方法

大出力の陽子加速器からのビームを使用して、放射性廃棄物中の長寿命核種を寿命の短い核種に変換するという方法であり、これまでアイディアの提案は数多くなされているが、実現に向けた動きは今のところ見られない。

(b) 加速器と未臨界炉を組み合わせて一体化した混成システム

大出力の加速器と、未臨界の原子炉を組み合わせた体系で核変換を行う方法である。この未臨界炉の中では、加速器からの陽子等が、炉内にあるターゲットに衝突して核反応を生じて高速中性子を発生し、その後の連鎖反応が生じることにより、核変換を起こすものである。

この体系を「加速器駆動システム (ADS: Accelerator Driven System)」という (図4)。ADSは現在、世界各国で研究開発が行われて

いる (次ページ表9)。また、欧州共同体としての共同研究のように、国際協力も積極的に推進されている。

4. おわりに

本稿では現在進められている核燃料サイクル技術の概要、及びいわゆる「トイレなきマンション」問題に対する解決法と考えられる分離・核変換技術の開発動向の概要をまとめた。

21世紀に入って、京都議定書の採択等により、地球温暖化対策として検討されている諸施策の具体的な実施方法やエネルギー源の選択について、これからますます議論が重ねられていくことになるだろうが、この中でも安定した供給が期待でき、二酸化炭素を排出しないエネルギー源である原子力エネルギーの重要性は、今後も更に高まるものと考えられる。このような中で、常に負のイメージとして捉えられがちな高レベル放射性廃棄物の処理・処分問題に対して、原子力エネルギー開発に携わっている多くの技術者や研究者達が、国

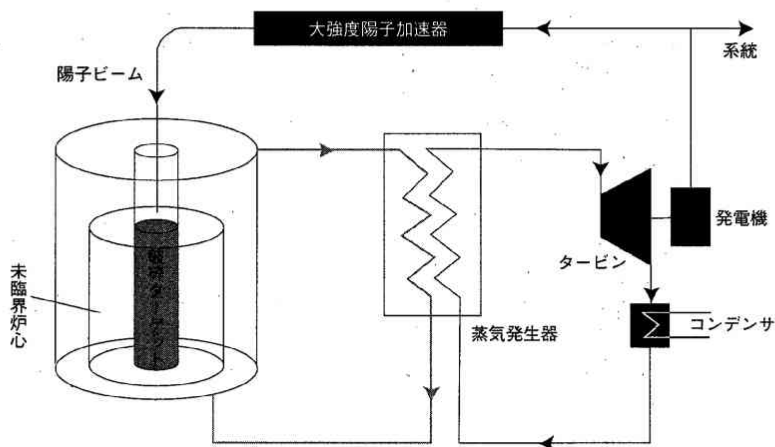


図4 加速器と未臨界炉を一体化させた核変換システム (ADS)

際協力等を通じて世界の衆知を集めて、その
解決のために努力している現状の一端を、本

拙文でご理解いただければ、望外の喜びであ
る。

表9 各国におけるADSの研究開発の現状

国 名	研 究 開 発 の 現 状
ベルギー	MA核種の核変換のフィージビリティ調査を行うために、MYRRHAと呼ばれる、ADS原型施設の予備設計が行われている。
フランス	1996年に「GEDEON」という研究グループ（CEA, EdF, フラマトム等が参加）が結成され、ガス冷却ADS炉の概念検討を行っている。
イタリア	ローマ近郊にあるENEAの研究炉TRIGAを使って、パイロットシステムで加速器による廃棄物の核変換の研究をフランス（CEA）と共同で行うことが合意されている。 試験はENEAの未臨界炉のTRIGAと、新設の陽子加速器及び核破砕源とをつないで実施される。
スペイン	1997年からADS実用化に向けた研究開発を行っている。
スウェーデン	ADSの安全性等について検討すると共に、ヨーロッパ諸国の研究活動に参加している。
スイス	ポールシェラー研究所（PSI）が中心になって、他の国の様々な研究機関（フランスのCEA、イタリアのENEA、米国のDOE、日本の原研、韓国のKAERI、等）と協力して、MEGAPIE実験（液体金属の標的の安全性確認）を計画中である。
韓国	1992年からKAERI（韓国原子力研究所）で核変換の基礎研究が始められ、ADSの実現に向けた陽子加速器の開発等を行っている。
米国	1999年からDOEで廃棄物の加速器による核変換（ATW）プロジェクトが始まり、現在は改良型加速器応用（AAA：Advanced Accelerator Application）としてADS施設建設のため、積極的に動いている。
ロシア	原子力省（MINATOM）が中心になって、基礎データの集積やADSの設計検討を進めている。
日本	原研において、HLW中で長期にわたって放射性毒性を支配するMA（Np, Am, Cm）を効率よく核変換できるシステムとして、加速器駆動核変換炉を提案し、これまでに超伝導線型加速器、核破砕ターゲット、ビーム窓、未臨界炉心等の各構成要素について研究開発を進めている。またMAの安定性等の観点で優れた特徴を持つ、窒化物燃料の研究開発も進めている。また現在建設計画中の「大強度陽子加速器施設」で核変換実験施設も建設することになっている。

参考文献

- (1) Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation Status and Assessment Report (OECD/NEA, 1999)
- (2) 原子力学会誌 (2001年12月号)
- (3) IAE-CO111 平成13年度高速増殖炉利用システム開発調査報告書 (FBR新技術フィージビリティ調査)

注記

- (1) ウランやプルトニウム等の核分裂を起こすことのできる物質。
- (2) FPのうち、半減期が長いFPを長半減期核分裂生成物 (LLFP: Long-Lived Fission Product) と言う。またTRUのうち、Pu以外のものをマイナーアクチニド (MA: Minor Actinide) と言う。
- (3) 年間処理量は 140トン。
- (4) 2005年7月に運転開始予定。年間処理量は 800トン。
- (5) HLW中には、ストロンチウム (Sr) -90 (半減期: 29年) や、セシウム (Cs) -137 (半減期: 30年) のような発熱性のFPが含まれるため、冷却が必要となる。
- (6) 最終処分事業を行う実施主体として、平成12年10月に設立された組織。
- (7) 平成40年代後半を目途に操業開始予定。
- (8) HLWはガラス固化を行ってから、深い地層中に安全に処分できることは技術的によく検討されているが、なお一層の安全を確保するため、人造岩石固化等の新技術開発も別途行われている。
- (9) LLFPであるテクネシウム (Tc) 99やヨウ素 (I) 129は、MAより毒性は小さいが、地下水によって移行し易いため、大きなリスクになる可能性がある。
- (10) 高いエネルギーの中性子によって核反応を生じさせる原子炉。
- (11) 廃棄物からセシウムとストロンチウムを回収できれば、50年間の冷却後、廃棄物の発熱量は約1/100以下になるといわれている。
- (12) 同報告書が発表された当時は、「長寿命の放射性核種の消滅技術」と称されていた。

- (13) 米国ではオークリッジ国立研究所やアルゴンヌ国立研究所が中心となり、ヨーロッパではドイツのカールスルーエ研究所、フランスのCEA、スウェーデンのイスブラ研究所が中心となった。
- (14) SCNESは、約10年前に原子力委員会の現委員長である藤家先生が提唱した原子力システムであり、基本的には高速炉を中心において、MAとLLFPとを高速炉にリサイクルし、エネルギー発生システムの外に廃棄物をできるだけ出さない概念である。本概念は、「エネルギー生産」、「燃料生産」、「環境」、「安全」の少なくとも4つの目標を同時に満足するものであり、端的に表現すると、核燃料リサイクルにより核原料物質である「天然ウランの完全利用」と放射性物質の炉内における核変換、放射性廃棄物の極小化を目指し、プラントの安全確保による放射性物質のシステム内閉じ込めと相俟って「放射性物質のゼロリリース」を実現することを「究極の目標」にするシステムである。
- (15) PUREX法は、フランスやイギリスの再処理工場、及び六ヶ所再処理工場で採用されている湿式法による再処理法である。

具体的には、使用済燃料を硝酸溶液中に溶かし、リン酸トリブチル (TBP) を抽出剤として使用して、U及びPuを分離・回収する技術である。
- (16) トリチウムH-3 (半減期12.3年、化学形は H_2O)、炭素C-14 (5,730年、化学形は CO_2)、クリプトンKr-85 (10.8年、化学形はKr)、ヨウ素I-129 (1600万年、化学形は I_2) 及びヨウ化アルキル。
- (17) ルテニウムは白金族中でもまれな元素で、多量に気体を吸蔵する性質がある。化学反応における触媒として用いられる。テクネシウムは医療診断用の放射性同位元素として利用される。
- (18) 本技術の前段となる分離・回収工程での核変換核種の回収効率がいくら高くても、核変換処理工程における1回あたりの核変換 (消滅) 率が低ければ、分離・回収工程と核変換処理工程との間で、対象核種を何度もリサイクルさせることになる。

平成14年度 事業計画の概要

(財) エネルギー総合工学研究所

本研究所は、エネルギーに関連する情報の収集、加工、提供、及びプロジェクト調査研究を推進し、併せてエネルギー技術の普及啓発活動を進めることを基本方針とし、その事業活動の効率化を一層推進しつつ、平成14年度においては、次の各号の事業を行う。

1. エネルギーに係る科学技術に関する調査について

エネルギーに関連する各種情報を、国内、及び海外の諸機関との情報交流等を通じて広く収集し、技術的見地から区分、整理する。

- (1) エネルギー・環境技術データベース基礎資料の情報収集、分析、検索、処理
- (2) エネルギー・環境技術の実用化状況に関する情報の収集分析
- (3) 原子力開発国際情報の収集分析

2. エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報の分析法、評価法、体系化法の開発、及び応用に関する研究について

エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報に関して、それらの分析、評

価、体系化を行うための手法の開発研究を実施し、また、これら資料・情報の分析・評価、動的な変動予測、相関性の評価、目的に応じた体系化などを行い、その利用価値の向上を図ることとする。

- (1) 各種エネルギー・システムの総合的評価手法の開発研究
- (2) 環境、経済等への影響を考慮した総合的エネルギー需給システム評価手法の開発研究
- (3) インターネットを用いたエネルギー情報収集・提供手法の開発研究

3. エネルギーの開発、供給、利用に係る技術上の基礎的事項に関する部門的、総合的な研究について

エネルギー新技術の萌芽の発見と将来展望、エネルギー技術要素の特性向上、安全性・信頼性の評価、エネルギー開発・供給・利用のための各種システムの評価研究など、部門的、総合的な技術的見地からの研究を行う。

- (1) エネルギー技術シーズに関する調査研究
- (2) エネルギー関係技術開発動向、及びその将来性評価に関する調査研究

- ・ バイオマスエネルギー，及びその利用技術
- ・ 次世代型廃棄物発電技術
- (3) 電力技術開発の戦略的展開に関する調査研究
- (4) 革新的実用原子力技術開発（提案公募事業）
- (5) 長期エネルギー技術戦略に関する調査研究
- (6) エネルギー研究開発についての総合的な戦略に関する調査研究
- (7) 「エネルギー学」の展開に関する調査研究

4. エネルギーの開発，供給，利用に係る技術上の応用的事項に関する部門的，総合的な研究について

刻々と変化する社会的，経済的，技術的な多種多様な制約のもとで，エネルギーの開発，供給，利用に関して，安全性の確保を前提として，地球環境問題への対応を考慮しつつ，現実性のある最適なシステムを設計する。

さらに，これらの最適システムの設計研究の成果を具体的なプロジェクトに応用する研究を行い，プラント設備や機器の開発に資する等部門的，総合的見地からの研究を行う。

〔原子力関係〕

- (1) 次世代原子炉等に関する調査研究
 - ・ 高速増殖炉の将来における利用システムに関する調査研究
 - ・ 高温ガス炉プラントの位置づけ，可能性に関する調査研究
 - ・ 第4世代原子力システム開発に関する調査研究
- (2) 高レベル放射性廃棄物の処理・処分に
関する調査研究
 - ・ 高レベル放射性廃棄物の国際安全基準等に係る背景情報の調査研究
 - ・ 高レベル放射性廃棄物処分総合情報調査研究
 - ・ 地層処分の制度的管理に関する調査研究
 - ・ 地層処分事業における段階的な社会合意形成のあり方に関する調査研究
 - ・ 高レベル放射性廃棄物処分の社会的合意要因に関する調査研究
 - ・ 地層処分研究開発に係わる背景情報調査研究
- (3) 核燃料サイクルに関する調査研究
 - ・ プルトニウム等の利用方策に関する調査研究
- (4) 次世代型軽水炉の開発戦略に関する調査研究
 - ・ 原子炉廃止措置実施の環境整備に関する調査研究
- (5) 原子力安全に関する調査研究
 - ・ 原子炉内現象シミュレーションの高度化に関する調査研究
- (6) 原子力開発利用政策等に関する調査研究
 - ・ 次世代の原子力技術開発方針策定調査研究
 - ・ 原子力技術の維持・継承に関する調査研究

〔化石燃料関係〕

- (1) 石油系エネルギーに関する調査研究
 - ・ 大気改善に向けた自動車，及び燃料技

術開発プログラムの評価に関する調査研究

・新燃料油に関する調査研究

(2) 石炭の利用技術に関する調査研究

・石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術の開発研究

・石炭液化導入可能性に関する調査研究

・製鉄プロセス顕熱利用高効率水素製造技術の開発研究

(3) 天然ガスに関する調査研究

・ガスハイドレート技術による天然ガス利用システムに関する調査研究

〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

(1) 再生可能エネルギー・革新エネルギーに関する調査研究

・水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）に関する調査研究

・太陽光発電システムに関する調査研究

・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に関する調査研究

(2) 新発電技術に関する調査研究

・高効率廃棄物ガス変換発電技術開発に関する調査研究

・加圧形固体酸化物形燃料電池の開発動向、評価に関する調査研究

(3) 将来の電力需要等に関する調査研究

・電力需要詳細分析調査研究

(4) 省エネルギーに関する調査研究

・高性能蓄熱材による熱搬送・利用システムに関する調査研究

・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調査研究

・分散型電源装置におけるマイクロコージェネレーションの調査研究

・次世代パワー半導体デバイスの導入可能性等の調査研究

〔地球環境関係〕

(1) 地球温暖化対策技術等に関する調査研究

・地球温暖化問題に対する国際的な対応策・政策に関する調査研究

・火力発電二酸化炭素低減システムに関する調査研究

5. 前三号の研究に係る試験について

石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術の開発試験を行うとともに、前三号の研究に伴う材料、要素、機器等の試験を随時行う。

6. 前各号の調査、研究、試験の成果に係る資料の作成、整備、提供について

前各号の事業で得られた成果のうちから、技術情報として有用度の高いものを目的に応じて速やかに編集し、利用者に提供する。さらに、これらの研究成果は出版、寄稿・投稿、講演会、学会発表等により公表し、広く利用に供することとする。

また、それぞれの目的に応じたエネルギーの開発、供給、利用に係る技術指導を行い、人材を養成するなどエネルギー技術に関する指導、普及、啓発に努めることとする。

(1) 技術情報の編集、整備、提供（新エネルギーの展望シリーズ等）

(2) 定期刊行物(季報エネルギー総合工学)の出版

(3) エネルギー技術普及講演会(エネルギー総合工学シンポジウム, 月例研究会, 革新的実用原子力技術開発成果報告会, 高効率廃棄物発電技術セミナー等)の開催

(4) 研究活動などのホームページによる紹介

7. その他

エネルギーの開発、供給、利用の円滑な展開を図るためには産・学・官一体となった協力体制を整え、効率的に機能させることが重

要である。本研究所は、このような観点に立って、エネルギー技術上の諸問題について、各所の専門家による討論と情報交流を行う場を提供し、責任ある、しかも時宜に適した新しいエネルギー技術政策について提言を行うこととする。

また、海外の研究機関との交流・連携を深めるとともに、国際プロジェクトへの参画等により、国際協力事業の一端を担う。

また、海外の研究機関との交流・連携を深めるとともに、国際プロジェクトへの参画等により、国際協力事業の一端を担う。



クレマチス

● 行 事 案 内 ●

第19回 エネルギー総合工学シンポジウム

テーマ：『新世紀の原子力エネルギー利用』（仮題）
—これからの原子力開発に必要なもの—

開催日時：平成14年7月17日（水）10：00～17：00

会場：経団連会館・経団連ホール
東京都千代田区大手町1-9-4

参加費：無料

問合せ先：（財）エネルギー総合工学研究所 企画部
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

研究所のうごき

(平成14年1月1日～4月1日)

◇ 第46回企画委員会

日 時：2月13日(水) 10:00～13:00

場 所：新橋SYビル 7階

エネルギー総合工学研究所会議室

議 題：

- (1) 開会挨拶
- (2) 出席者紹介
- (3) 議事録確認
- (4) 最近の事業概要について
- (5) 最近の調査研究の状況と今後の展開について
- (6) その他

◇ 第13回評議員会

日 時：3月8日(金) 11:00～12:15

場 所：経団連会館(9階) 901号室

議 題：

第一号議案 理事および監事の選任について

第二号議案 評議員の一部交替について

第三号議案 平成14年度事業計画および収支予算(案)について

第四号議案 寄附行為の一部変更について

第五号議案 その他

◇ 第57回理事会

日 時：3月15日(金) 11:00～12:15

場 所：経団連会館(9階) 901号室

議 題：

第一号議案 平成14年度事業計画および収支予算(案)について

第二号議案 理事4役の互選について

第三号議案 評議員の一部交替について

第四号議案 顧問の委嘱について

第五号議案 事務局長の委嘱について

第六号議案 寄附行為の一部変更について

第七号議案 その他

◇ 月例研究会

第198回月例研究会

日 時：1月25日(金) 15:00～17:30

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 危機管理とコミュニケーション政策
(淑徳大学 国際コミュニケーション学部
経営環境学科 教授 藤江俊彦氏)
2. リスクコミュニケーションへの取組みについて
(大阪大学 大学院工学研究科 環境工学
専攻 教授 盛岡通氏)

第199回月例研究会

日 時：2月22日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 国内外(除く米国)における電力自由化の
動向について
(財)電力中央研究所 経済社会研究所
研究参事 矢島正之氏)
2. 欧米における電力自由化の動向について
(社)海外電力調査会 調査部
主管研究員 飯沼芳樹氏)

第200回月例研究会

日 時：3月29日(金) 13:30～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 循環型社会と経済性
(京都大学 大学院 経済学研究科 教授
植田和弘氏)
2. 循環型社会構築とサーマルリサイクル
(芝浦工業大学 工学部 材料工学科
教授 武田邦彦氏)

◇ 主なできごと

- 1月15日(火)・第4回新電力供給システム技術
検討会
- 23日(水)・第3回ガスハイドレート技術に
よる天然ガス供給利用システム
に関する研究開発委員会
- 24日(木)・第5回蓄電池併設風力発電導入
可能性調査実行委員会
- 25日(金)・第1回高効率発電技術検討会
・第1回高性能熱材料による熱
搬送・利用システム検討委員会
- 1月28日(月)・第5回新電力供給システム技術
分科会
・第9回サハリンパイプライン
PSDC検討評価委員会
・第5回革新的実用原子力技術
開発提案公募審査委員会

- 30日（水）・第1回気温変化及びI T化が電力需要に及ぼす影響分析調査委員会
- 2月4日（月）・第2回長期エネルギー技術戦略調査委員会
- 9日（金）・第2回発電所CO₂低減システムに関する技術調査委員会
- 6日（水）・第3回発電所CO₂低減システムに関する技術調査委員会
- 8日（金）・第2回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会
- 14日（木）・第3回マイクロコージェネレーション検討委員会
- 15日（金）・第2回気温変化及びI T化が電力需要に及ぼす影響分析調査委員会
- 18日（月）・第4回エネルギー経済環境予測検討委員会
・第4回高温ガス炉プラント研究会
- 25日（月）・第6回新電力供給システム技術分科会
・第2回原子力発電技術開発の方向性に関する調査検討委員会
- 27日（水）・第2回集中連系型太陽光発電システム調査研究検討委員会
- 28日（木）・第1回多用なニーズに対応するフレキシブルタービンシステムに関する研究開発委員会
- 3月1日（金）・第2回大気改善のための自動車及び燃料技術開発に関する評価委員会
- 4日（月）・第5回新電力供給システム技術検討会
- 5日（火）・第2回WE-NETタスク2安全対策に関する調査・研究委員会
- 8日（金）・第7回新電力供給システム技術分科会
・第3回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会
・第2回WE-NETタスク1システム評価に関する調査・研究委員会
・第3回高効率廃棄物ガス変換発電技術評価委員会
・第3回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- 12日（火）・第2回高効率発電技術検討会
・第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
- 13日（水）・第3回気温変化及びI T化が電力需要に及ぼす影響分析調査委員会
- 14日（木）・第4回発電所CO₂低減システムに関する技術調査委員会
- 16日（土）・第3回ソーラーフューエル研究推進委員会
- 18日（月）・第3回長期エネルギー技術戦略調査委員会
- 19日（火）・第4回ガスハイドレート技術による天然ガス供給利用システムに関する研究開発委員会
・第3回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会
・第3回原子力発電技術開発の方向性に関する調査検討委員会
- 20日（水）・第2回多用なニーズに対応するフレキシブルタービンシステムに関する研究開発委員会
- 22日（金）・第2回高性能熱材料による熱搬送・利用システム検討委員会
・第3回高効率廃棄物ガス変換発電技術開発導入調査委員会
・第6回革新的実用原子力技術開発提案公募審査委員会
- 25日（月）・第4回マイクロコージェネレーション検討委員会
- 27日（水）・第6回新電力供給システム技術検討会
- 28日（木）・第3回集中連系型太陽光発電システム調査研究検討委員会
- 29日（金）・第2回電力技術企画委員会
- ◇ 人事異動
- 1月1日付（出向採用）
- | | | |
|------|-------------|-------|
| 塙 雅一 | プロジェクト試験研究部 | 主管研究員 |
| 橋本孝雄 | プロジェクト試験研究部 | 主管研究員 |
- 3月31日付（出向解除）
- | | | |
|------|-------------|-------|
| 手塚 瞳 | プロジェクト試験研究部 | 主管研究員 |
|------|-------------|-------|
- 4月1日付（出向採用）
- | | | |
|------|-------------|-------|
| 三浦房恵 | プロジェクト試験研究部 | 主任研究員 |
|------|-------------|-------|
- （異動）
- | | | |
|------|-------------|-------|
| 黒沢厚志 | プロジェクト試験研究部 | 主管研究員 |
|------|-------------|-------|

第 24 卷 通 卷 目 次

VOL.24, NO.1 (2001.4)

【巻頭言】	原子力安全・保安院の今後の取り組みについて 経済産業省 原子力安全・保安院院長 佐々木 宜 彦… 1
【理事長対談】	21世紀 科学技術の行方 —エネルギー問題は幅広い人間学で解決へ— (株)三菱総合研究所 特別顧問 牧 野 昇 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 3
【内外情勢紹介】	地球温暖化問題と国際的取組み —京都メカニズムでウィン・ウィン・プロジェクトを— (財)電力中央研究所 企画部 上席研究員 (研究参事) 新 田 義 孝… 26
【内外情勢紹介】	革新型炉としての高温ガス炉の特長、開発現状及び展望 日本原子力研究所 大洗研究所核熱利用研究部長 塩 沢 周 策… 40
【調査研究報告】	発電システムの外部性評価 —社会全体に対するコスト意識— 主任研究員 尾 形 圭 史… 54
【内外情勢紹介】	第6回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP6) に参加して 主任研究員 黒 沢 厚 志… 66
【事業計画】	平成13年度 事業計画の概要 (財) エネルギー総合工学研究所… 76
【行事案内】	第18回エネルギー総合工学シンポジウム …… 80
【研究所の動き】	…… 81
【第23巻通巻目次】	…… 83
【編集後記】	…… 87

【巻頭言】	重電産業分野における産学連携 (社)日本電機工業会専務理事 藤 本 弘 次…1
【座談会】	わが国における将来の原子力技術開発について 経済産業省 資源エネルギー庁 原子力政策企画官 森 本 英 雄 東京大学 工学系研究科 教授 岡 芳 明 東京電力(株) 原子力技術部長 尾 本 彰 三菱重工業(株) 原子力技術部 研究開発担当部長 牧 原 義 明 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長 松 井 一 秋…3
【特別寄稿】	今後のエネルギー需給と関連の廃棄対象について (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守…24
【寄稿】	P F Iの基本的論点と課題をめぐって —リスクと契約 電源開発(株) 新事業戦略室長 坂 梨 義 彦… 34
【調査研究報告】	廃棄物発電の高効率化に向けた ガス化溶融発電技術開発の成果 研究員 大 森 伸 二 専門役 浅 見 直 人…44
【調査研究報告】	電気二重層キャパシタを用いた 高効率電力貯蔵システム 主管研究員 蓮 池 宏 (株)パワースステム 代表取締役社長 山 岸 政 章…57
【調査研究報告】	新燃料オリマルジョン® —特徴と利用技術— 主管研究員 小 林 芳 照… 69
【内外情勢紹介】	太陽熱発電技術開発の現状 —ドイツ、スイス、スペイン 主管研究員 吉 田 一 雄… 79
【事業紹介】	革新的実用原子力技術開発 —提案公募型原子力技術開発の取り組み— 主管研究員 松 下 和 海… 88
【研究所の動き】	105
【編集後記】	106

VOL.24, NO.3 (2001.10)

【開会挨拶】	理事長 秋 山 守…	1
【来賓挨拶】	経済産業省大臣官房審議官（資源エネルギー庁担当） 広 田 博 士…	4
【基調講演】	21世紀 人類は持続可能か ―エネルギーからの視点― 東京大学名誉教授、富山国際大学教授 石 井 吉 徳…	6
【講演】	発展途上国における環境問題と化石燃料関連技術 東京大学大学院 工学系研究科教授 定 方 正 毅…	25
【講演】	クリーンエネルギーとしての石炭 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部石炭課長 吉 村 佳 人…	39
【講演】	21世紀の天然ガスとわが国の課題 （財）日本エネルギー経済研究所 常務理事 十 市 勉…	51
【講演】	自然エネルギーと化石燃料のハイブリッドによる環境対応 プロジェクト試験研究部 部長 片 山 優久雄…	68
【講演】	今後の石油精製のあり方と新燃料油 日揮株式会社理事 技術・ビジネス開発本部 本部長代行 岩 井 龍太郎…	82
【講演】	21世紀の自動車技術と燃料 （財）日本自動車研究所 総合研究部主席研究員 堀 政 彦…	92
【総括と閉会挨拶】	専務理事 稲 葉 裕 俊…	109
【行事案内】	高効率廃棄物発電に関するセミナー ……	111
【研究所のうごき】	……	113
【編集後記】	……	114

VOL.24, NO.4 (2002.1)

【巻頭言】	共生の時代におけるIAEへの期待 東京大学大学院工学系研究科教授 近 藤 駿 介 …1
【対談】	21世紀におけるエネルギー —危機管理の視点から— 軍事アナリスト 小 川 和 久 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守 …3
【内外情勢紹介】	保障措置をめぐる最近の話題 —統合保障措置への道— 日本原子力研究所 監事 内 藤 香…29
【内外情勢紹介】	わが国のエネルギー・原子力セキュリティ問題を考える —米同時多発テロ事件を踏まえて— 日本原子力防護システム(株) 理事・業務部 部長 伊 藤 正 彦…40
【内外情勢紹介】	持続的発展に効果のある原子力の放射線利用 (社)日本原子力産業会議 常務理事 町 末 男…56
【内外情勢紹介】	第4世代原子炉開発の動向 プロジェクト試験研究部 部長 松 井 一 秋…68
【調査研究報告】	バイオマスエネルギー技術 —開発動向とケーススタディー— プロジェクト試験研究部 部長 内 田 洋…80
【内外情勢紹介】	WE-NETプロジェクトに関連する海外技術開発の動向 WE-NETセンター 主管研究員 緒 方 寛…90
【内外情勢紹介】	欧米における自動車燃料の動向 副主席研究員 仁 科 恒 彦…105
【訪問記】	三菱重工業(株) 長崎研究所 IAE女性研究員取材チーム…114
【研究所の動き】	……………122
【編集後記】	……………124

編集後記

今年の桜の開花は関東では3月中旬、全国的にもかなり早い地域が続出しました。その主原因である気温（3月）は本州では平年を2度以上、特に関東・甲信では3度以上も上回ったと発表されています。やはり、今年の春は普通ではなかったように思われます。

このような気象の変化にたいして、例えば効果に疑問視される向きがあるとしても、人間側の最大限の努力が求められていることを特に技術陣としては多少あせりも含めて痛感せざるを得ません。そのような視点からも、「エネルギー」、「環境」、及び「経済」の3Eの協調ある発展が益々重要になってきているように思われます。

本号で特集的に取り上げました「廃棄物発電」は、本来不要なゴミで発電し、同時に最終処分場へ埋め立てるゴミを減量化・無公害化するものであり、上記のエネルギーと環境面からわが国の状況に役に立つ技術と考えられています。しかし、従来技術では、効率面、環境面、さらに小規模適用時の制約などの問題を抱えており、それらの問題点の打開策を考える意味で昨春秋NEDOと当所が共同で「高効率廃棄物発電技術に関するセミナー」を開催しましたが、本号はその主要講演の概要を紹介したものであります。同セミナーでは、限定されたテーマであるにもかかわらず570名余の参加

者があり、同テーマに関する関心の高さが示されましたことも本紙で取り上げることになった一因であります。

読者の皆様のご参考にしていただければ幸いです。

さて、3Eの協調ある推進を図るためにも関連のテーマ・問題を広く一般の方々に考えていただくことがより重要となってきております。当所は従来より本機関誌、技術解説誌などで一般の方々も考慮に入れた発信を行ってききましたが、更に多くの方々にエネルギー情報を提供する必要があると考えました。そこで、特に中高生を主対象に、また主婦・サラリーマン層にも容易にエネルギー問題に親しんで頂くという狙いから（財）電力中央研究所殿の協力も得て、当所ホームページを利用した「?を!にするエネルギー講座」（当所ホームページ：<http://www.iae.or.jp/>ご参照）の構築に取り組んで参りました。今般、その第1バージョンがまとまりましたので、本年4月より試行的ではありますが一般公開いたしております。できるだけ多くの方々からの意見を反映させ漸次内容の充実を図り、約1年後には完成させる予定であります。

同講座への皆様のご訪問（アクセス）と忌憚のないご意見を心からお待ちいたしております。

編集責任者 小川紀一郎

季報 エネルギー総合工学 第25巻第1号

平成14年4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。