

季報 エネルギー総合工学

Vol. 24 No. 3 2001. 10.

特集：第18回エネルギー総合工学シンポジウム

—21世紀における環境共生型エネルギーシステムの構築—

化石燃料は人類を救えるか



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

第18回 エネルギー総合工学シンポジウム

—21世紀における環境共生型エネルギーシステムの構築—

化石燃料は人類を救えるか



挨拶を述べる 広田 博士 経済産業省大臣官房審議官（資源エネルギー庁担当）

日 時：平成13年7月11日（水） 10：00～17：00

場 所：東商ホール（東京商工会議所ビル4F）

総合司会：プロジェクト試験研究部 部長 内田 洋

目 次

【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

開 会 挨拶

秋 山 守

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長



皆様おはようございます。本日はご多用の中、第18回エネルギー総合工学シンポジウムにご出席を賜わり誠にありがとうございます。私どもの研究所に対しまして、日頃から数々のご指導、ご支援を賜わっておりますこと、誠にありがたく感謝いたしております。

さて、今回のシンポジウムの開催に当たりまして一言ご挨拶を申し上げます。

エネルギー総合工学シンポジウムは、原子力、新エネルギー、化石エネルギー、地球環境と多岐にわたりますエネルギーを視野に入れ、私どもの研究所で取り上げております諸々の研究テーマを含めまして、その時々注目されるテーマを毎年取り上げてきております。今回は、21世紀最初のシンポジウムということもありまして、世界の1次エネルギー供給の約90%を担っております化石エネルギー分野をテーマとして取り上げました。この「化石エネルギー」という言葉には、石炭、石油を主に、これまでの使用経験が長いということもありまして、若干古典的なイメージがあります。しかし、わが国の1次エネルギー供給量に占めます石油の割合は52%で1番です。また、2番目が石炭でありまして16%、さらに天然ガスが12%ということで、化石エネルギー全体といたしまして何と81%を占めています。化石エネルギーが、わが国のエネルギーの屋台骨を背負っているわけです。

昨今、化石エネルギー以外の、いわゆる非化石エネルギーの伸びも大きくなっておりますけれども、まだまだ化石エネルギーを抜きに将来のエネルギーを語ることはできないと存じます。世界のエネルギー供給で見ますと、石炭と石油、天然ガスが昨今増えており、合計では90%にも達しております。世界エネルギー機関(IEA)の2010年、さらには2020年を見わたした将来予測におきましては、化石エネルギーの占める割合はむしろ次第に増えていく傾向にあると見

られています。ただ、エネルギー利用に伴って排出される二酸化炭素のほとんどが化石エネルギーに起因するわけですから、環境負荷を下げていくという観点からはとかく化石エネルギーに対する風当たりが強くなっているのも事実です。環境負荷も小さい、適切なエネルギー・ミックスを保つ上で、化石エネルギーの中で炭素含有量の比較的少ない資源を目指していくことが重要です。その方向で見ますと、天然ガスの割合が次第に増えているという現実があります。

しかし、エネルギー供給の軸であります石炭、石油を今後どのようにとらえ、適切に利用していくかということを真剣に考えていきまないと、21世紀全体のエネルギーと環境の両立、また経済・社会の発展を実現することにつながらないわけです。本年5月に発表されましたブッシュ新政権のエネルギー政策におきましては、これからの10年間、さらに約20億ドルを投入して新たなクリーンコールテクノロジーの技術開発、また石炭とバイオマスとの混合使用によります発電用のクレジットなどに全力を注いでいくということが述べられています。このように環境面に配慮しながら化石エネルギーをどのように利用していくかということは国際的にも重要な課題です。本日は化石エネルギーを主体といたしまして、主題を「21世紀における環境共生型エネルギーシステムの構築」、副題を「化石燃料は人類を救えるか」と設定してシンポジウムを開催いたす次第です。

プログラムとしまして、まず経済産業省大臣官房審議官の広田博士様からご挨拶を賜りました後、「21世紀、人類は持続可能か—エネルギーからの視点」と題しまして、東京大学名誉教授、富山国際大学教授であります石井吉徳先生から基調講演を賜ることになっております。長期的な展望のもとでのエネルギーについて先生のお考えを中心に、また現状の幅広いご紹介も含めてお話いただけるものと楽しみにしております。

そして、東京大学の定方正毅先生からは、発展途国における環境問題に長年取り組んでこられた先生のご経験を踏まえながら、「発展途上国における環境問題と化石燃料関連技術」のご講演をいただくことになっております。

また、午後には、石炭をいかにクリーンに使用していくかにつき、政策面からご尽力されております経済産業省資源エネルギー庁石炭課長の吉村佳人様か

ら、「クリーンエネルギーとしての石炭」をご講演いただきます。

続きまして、財団法人日本エネルギー経済研究所常務理事の十市勉様から「21世紀の天然ガスとわが国の課題」と題してご講演いただきます。

休憩の後、当研究所で取り組んでおります、自然エネルギーを化石燃料に取り込んで二酸化炭素の排出量ゼロを目指す技術開発につきまして、「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」という題で当研究所プロジェクト試験研究部部長の片山優久様よりご紹介を申し上げます。

さらに、各種の新燃料油を今後どのように導入していくか。製油所の将来像を描きながら、世界的なエンジニアリングコントラクターでいらっしゃいます日揮株式会社理事の岩井龍太郎様が「今後の石油精製のあり方と新燃料油」についてお話をくださいます。

最後に、燃料の大きな利用分野であります自動車から見た「21世紀の燃料と自動車技術」につきまして、財団法人日本自動車研究所主席研究員の堀政彦様からご講演をいただくことになっています。

このように、長期的なエネルギー資源のお話に始まりまして、環境問題との調和を図りながら、石炭、天然ガス、そして新燃料油の利用をいかに進めていくかというお話が本日のご講演の流れです。本日の副題であります「化石燃料は人類を救えるか」という問題につきまして、皆様方それぞれにお答えを見つけていただければ大変幸せかと存じます。

最後になりましたが、本日貴重なご講演を賜ります講師の先生方に、またここにご参集いただきました多数の皆様方に重ねて心から御礼を申し上げます。以上、本日の当シンポジウムが皆様のお役に立ちますことを祈念いたしまして開会のご挨拶とさせていただきます。本日は誠にありがとうございます。

来賓挨拶

広田博士

(経済産業省大臣官房
審議官(資源エネルギー庁担当))



第18回エネルギー総合工学シンポジウムの開催に当たりまして一言お祝いのご挨拶を申し上げます。このシンポジウムは毎年その時々ホット・イシューを取り上げて開かれていると承知しておりますけれども、今回は化石燃料を対象としたシンポジウムということです。21世紀を迎えた節目の年にこのテーマで開催されるということは誠にタイミングが良いと考えておりますし、私自身、非常にうれしく思っております。と申しますのも、ただいま理事長からの冒頭のご挨拶にありましたように、やはり化石燃料というのは現在のわが国のエネルギー供給の主役になっているわけでありまして、この問題を真正面から取り上げるということが大変大事であるからです。

私ども経済産業省は、エネルギー政策の目標を「3つのE」でご説明いたしておりますけれども、1つは持続的な経済成長をいかに確保するか(Economy)、それからエネルギーの安定的な供給をどう確保していくか(Energy)、さらに最近では3つ目のEとしまして環境問題にきちんと対応するということ(Environment)が重要になってきているわけです。これを具体的なエネルギーごとに少し置き直して考えていきますと、1つは安全対策をきちんと取りながら、また地域の方々の理解を得ながら原子力発電をどう推進していくかということになりましょうし、それから新エネルギー、あるいは省エネルギーといった新しい分野のエネルギーの普及をどう進めていくかということも重要な課題になってくるわけです。同時に忘れてならないのが、エネルギーの主役である化石燃料を今後どう確保し、またどう活用していくかということです。先般、私どもの総合資源エネルギー調査会で今後のエネルギー見通しにつきまして1年余り大変な激論を繰り返した末に、中間的な取りまとめをいただきました。詳細

につきましては私が一々ご説明いたしませんけれども、この総合資源エネルギー調査会の議論を聞いておきますと、やはり主要な議論というのは原子力の賛否をめぐる議論です。それから、それと同時に、これと裏腹にと言ってもよろしいかと思えますけれども、新エネルギーや省エネルギーをできるだけ進めていくべきだという議論です。ややさみしいのは、現実問題としてエネルギー供給の8割以上を占める化石燃料の今後についてどうしていくのかということにつきましては、委員の方々のご議論でも若干このあたりは何とかなるのではないかという感じがあったのでしょうか、少し原子力や新エネルギーに比べれば議論が少なかったという印象を持っております。

ただ、この最終的に取りまとめられた調査会の今後の見通しの中でも、2010年においても石炭、石油、天然ガス、この化石燃料のシェアというのは依然として8割程度で、これに依存せざるを得ないという姿になっているわけです。従いまして、この化石燃料をどう環境に調和した形で使っていくかということは、国のエネルギー政策の大変大きな課題であるということが言えると思えます。そういう意味で、今回のこのシンポジウムでそれぞれの化石燃料をテーマにしながら議論が進められるということに、私も大変関心を持つわけです。

本日のこのシンポジウムが皆様方にとって実りの多いものになることを期待いたしまして、またエネルギー総合工学研究所の今後の一層の活動を期待いたしまして、私のご挨拶とさせていただきます。

〔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—



石井吉徳（東京大学名誉教授，富山国際大学教授）

はじめに

私は東京大学理学部の地球物理学を卒業しましてから16年間，石油開発産業界にいました。

大学卒業後，まず入りましたのが帝国石油です。それから今の石油公団の前身であります石油開発公団にいました。それに前後しまして，当時は国策会社で現在は民間会社である石油資源開発株式会社で，石油を探す特に地球物理学的な手法で探すという仕事に携っていました。

ある日の朝，「東大工学部に行かないか」という某先生からの電話でたたき起こされまして，その後23年間東大工学部にお世話になりました。そこでは，資源の探査から始まりまして，資源論，エネルギー論，地球を調べるという勉強をしていました。

その後，環境庁（現環境省）国立環境研究所の副所長にならないかということで環境の方に足を踏み入れた経緯があります。

現在人間を支えているエネルギーの80%以上はこの化石燃料，特に石油の役割が大きいのですが，今日はその化石燃料について，私の感じていることを述べてみたいと思います。

〔略歴〕

1955年東京大学理学部物理学科（地球物理学）卒業。1978年東京大学工学部資源開発工学科教授，1996年環境庁国立環境研究所所長，1988年日本学術会議会員，日本リモートセンシング学会会長などを歴任。

現在，富山国際大学教授，東京大学名誉教授，日本工学アカデミー会員，アジア環境技術推進機構理事長，地球子どもクラブ会長などを務めている。

専門分野は環境学，資源・エネルギー論，リモートセンシング，物理探査学。

講演の概要

人口，資源，環境問題は

横断的・総合的な解決を

今，世界中，特に日本で，エネルギー問題，それから環境問題が非常に難しい問題となっています。例えば，環境サイド，産業・エネルギーサイド，非常に見方が違うわけです。ところが，今，最もメインの化石燃料そのものが地球の最大の問題の1つである温暖化の原因物質を出すということで，人類始まって以来，非常に大きな環境問題を我々は考えなければならないという状況です。

地球温暖化でアメリカ政府と日本政府で、いろいろ意見の食い違い、あるいはいろいろな相談事があるわけです。その意味では非常にタイミングがいい時に、また、講演をする立場から言いますと非常に難しい時に、この話をする事になりました。そういうことで、私がこれからお話し申し上げますことは、大学の人間という立場での話です。産・官・学という言葉がありますが、産は現在から未来を考え、官も現在から未来を考えるという立場であろうかと思いますが、大学は未来から現在を考える所と私は思っています。そういうことで、未来から見て現在をどのように考えればいいのかという立場で話をしてみたいと思っています。

まず、人口と資源と環境、これが原点にあります。私は地球物理学出身ですので、「地球は有限である。従って資源も環境の容量も有限である」という立場で有限地球観を展開してきました。古代から人間は資源一特に古代からの資源というのは森ですーを最後まで使い切ってきました。これが人間の文明の特徴です。

それから現代、化石燃料について何となく、あるのが当たり前、あるいは空気のような存在になっているので、あまり化石燃料の重要性や問題について気がつかないのではなか。しかし、地球温暖化問題ですとか、何かあると、化石燃料が常に最重要の問題として浮かび上がってくる、そのような問題です。

よく「自然エネルギーがあるから、化石燃料を使うのを抑えればいいのかになぜ抑えないのか」という議論がありますが、国民、あるいは市民が車に乗るのをやめるということは

しないわです。当然ながら、環境と経済との対立という問題から、このような非常に矛盾した意見が常に出てくるわけです。最近では循環型社会ということで、循環をすれば環境、エネルギーを含めていろいろな問題が解決するというような話がされますけれども、これには非常に大きな問題があると思います。例えば、リサイクルするには必ずエネルギーが必要だということが余り話されていません。

最後に、それでは21世紀は私から見てどのようなことが一番重要かということをお話しします。恐らく情報化社会、目方がない社会 (weightless society)、あるいはモノから価値そのものへという、いろいろな価値のパラダイムシフトが当然出てこなければならないというふうに思っています。

以上のようなことをこれから図をご覧いただきながらご説明したいと思います。

エネルギー問題の原点

人類の英知で解決したい人口問題

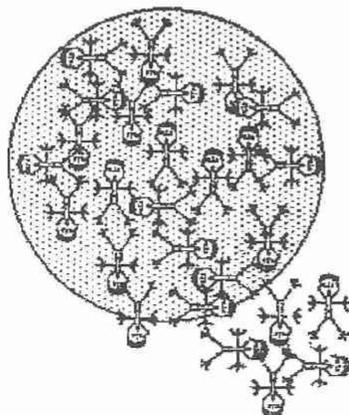


図1 有限地球

図1では、地球から人間が溢れています。今日のような一般的な講演の時に、私はいつもこの図を使っています。これは1984年、今から17年前に、ある国際的なシンポジウムの時に作りました。やはり原点は人口ではないかということを行っているわけです。当時の世界人口は44億人でした。当時はまだまだ地球環境、あるいは人口問題等が今ほど話題になっていませんでした。私がこれを使った時に、「何を言っているのか」というようなレスポンスがありました。今はまったく違います。

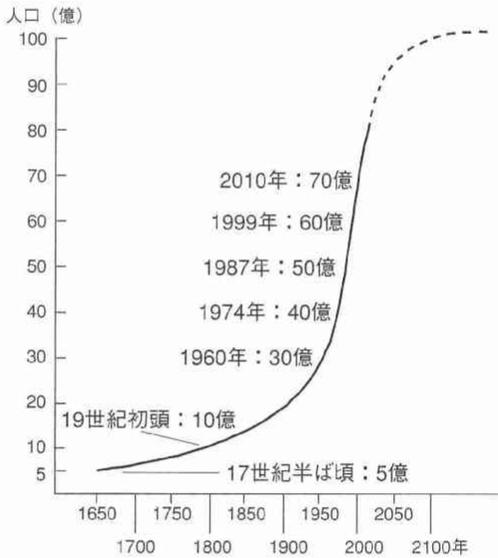


図2 人口増加のトレンド

今世界の人口は60億人です。人口は、ずっと増えています。言わば幾何級数的に、年1.7%増えています。これがどこかで図2にあるように頭打ちにならなければいけません。人口が無限に増えることができるはずがない。では、そのための内的条件、あるいは人間が自分でそういうふうのできる英知があり得るのか。しかし、過去の文明等々の歴史を振り



図3 対馬に漂着したアジアのゴミ

返りますと、資源、あるいはエネルギーの枯渇といった外的条件によって強制的に限界が来ています。人間がこのような問題を英知で解決したことはどうもないようです。

大量生産、大量廃棄メカニズムからの脱却を

実は、私は現在富山国際大学で学生たちに、環境についての一般的なことを教えていますが、教えきるにはとても時間が足りない。自分の伝えたいことがなかなか全部は伝わらないようです。そこで自分でホームページ (<http://www.ictcpa.org>) を作りました。「国民のための環境学」「限りある地球を大切に」ということで、ホームページを作っています。幸いに、1日に100人ぐらいの方が見てくださっているようで、今日の話の足りないところはこのホームページをご覧いただければと思います。そこに1年以上この写真(図3)を出しています。これは対馬のある浜に、流れ着いている膨大な量のゴミです。私が環境庁にいた時にこれを見に行きました。産業廃棄物を含めて、足が埋まるほどのゴミが流れ着いています。実はプラスチックのゴミにはハンゲルが書かれています。韓国から来ているゴミが大量にあります。木材など、産業廃棄

物も流れ着いています。ともかく膨大な量です。

これは日本の西の小さな島のこと、ほとんど日本で報道されないことですからご存じないと思いますが、私は現在の環境問題の原点はこれだと思っています。大量に生産し、大量に使って、大量に捨てる。このメカニズムそのものに問題があるということです。今、よく言われる「ライフスタイル」というふうな言葉では表現できないくらい深刻な問題なのです。大量生産から大量廃棄までの現代のメカニズムに切り込まない限り解決は不可能です。もし切り込むことができれば、このゴミが来なくなる。例えば、浜に焼却炉等を作ってもゴミはエンドレスに来るわけですからどうにもならない。そういうことで、このゴミが処理されたあかつきには、恐らく温暖化であろうと、ほとんどあらゆる現代の環境問題が解決していると私は思っています。

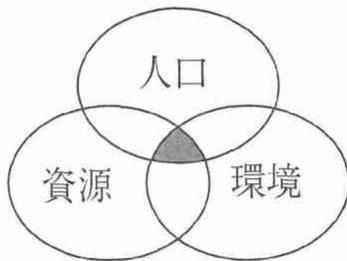


図4 人口、資源、環境の関係

言うまでもなく、今の問題は、人口が増える、資源・エネルギーを大量に使う、従って地球環境が疲弊するというところに集約することができます。図4も1984年に作りましたが、この人口、環境、資源という3つの問題について横断的、総合的に考えることができなければ環境問題も資源問題も解決するはずがないと改めて強調したいと思います。

ゴミが資源となるには濃縮が重要

最近「ゴミは資源」という言葉もよく使われます。私は東大の資源開発工学科にいましたが、その当時から「資源とは何か」ということで、表1に示す3つの条件を常に学生に教えていました。まず濃縮されているかどうか。資源が自然の恵みであるのは濃縮されているということです。その次、大量になければ経済活動にほとんど関係ありませんから、大量になければならない。それから、経済的に取り出せる位置にあるかです。この3つは全部経済性に関係しています。

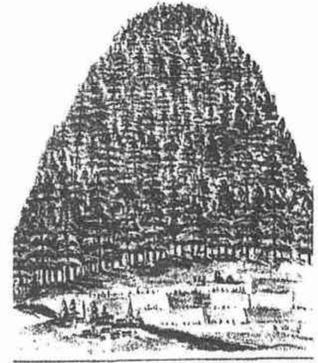
表1 資源であるための3つの条件

- | |
|---------------|
| 1) 濃縮は？ |
| 2) 大量か？ |
| 3) 位置は？ |
| 理由＝経済性 |
| 資源探査＝経済的資源の探査 |

例えば1トンのゴミを焼却するのに、東京ですと3万数千円かかるようです。富山で4万円かかります。神奈川県でやはり3万円以上かかります。その60%~70%のコストはゴミを集める費用です。集めるというのは、ばらばらに分散したものを濃縮するということです。この濃縮にエネルギーがかかるということです。そういう意味で、エントロピー（無秩序状態の度合い）が増えている状態からエントロピーを下げるわけですから必ずそこにエネルギーが必要なわけです。自然の恵み、自然の資源というのは、自然が濃縮してくれたものという意味です。「ゴミは資源」ということもよく考えないと空回りする可能性があります。



図 5 現在のポセイドン神殿



① 山に豊富な木々



② 伐採で大半が切り株に



③ 土壌を豊かにするため火を放つ



④ まる裸になり雨で侵食される山

図 6 中世における森林破壊の過程

自然の存続が決める人間文明の存続

古代から続く森林破壊

古代からの4大文明において、人間は持続的であった試しがありません。

図5はギリシアにあるポセイドン神殿です。BC440年頃、大理石で造られたものですが、これが今でも残っています。かつてここにはうっそうたる森がありました。2000年以上たった現在もまだ森は戻っていません。地中海

周辺は非常に風光明媚なところです。あそこになぜ森がないか。使い切ったからです。オリーブの木はあります。オリーブの木はああいうところでも育つからです。あれは結果です。

ということで、ヨーロッパの文明が北の方に移ったのは、人類が自然の恵みである森林資源を使い切って、北方に移らざるを得なかったということなのです。

図6をご覧ください。山に木が生えていま

す。これをだんだん伐採して使ってしまいます。そのうち火をつけます，焼き畑も含めて火をつけます。いつの間にか土壌が破壊され砂漠化するわけです。実は，これは今でも使えるような16世紀のベネチアで作られた「森を大事にしましょう」というポスターです。これを作った人は当時の行政官ですが，16世紀から現在まで，このように自然を使い切るというパターンがずっと続いています。

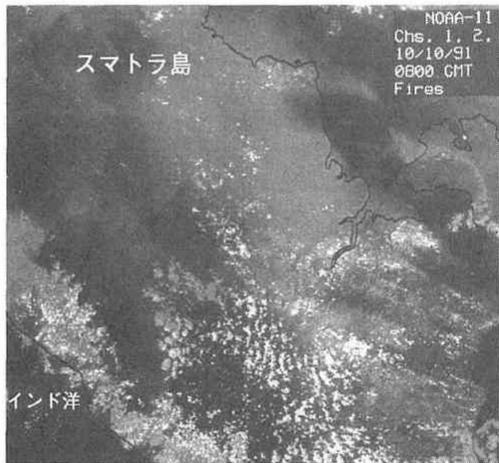


図7 焼き畑が進むスマトラ島

図7は現在です。NOAAの人工衛星から撮っています。縦横ともに500kmで，スマトラ島上空からの写真です。スマトラ島にはにこのように火がつけられています。自然発火ではありません。人間がつけた火です。これが現在の環境破壊，森の破壊の現状です。大規模で徹底的にやっているわけです。

図8も同じように現在です。これはアマゾンの Rondônia 地方上空からの衛星写真です。通産省（現産業経済省）が作った JERS-1 のセンサーの合成開口レーダーのマイクロ波で撮った映像です。アマゾンは熱帯地方で，年中雲がかかっていますが，マイクロ波のレーダーですからきれいに撮れます。縦横が1,100kmです。魚の背骨のようになっている所は，人間が入植して破壊した跡です。このように，我々はかつてのギリシア時代と違って，破壊の現状を非常に組織的に詳しく調べることができます。ところが，現在でも，森の破壊をとめることができません。

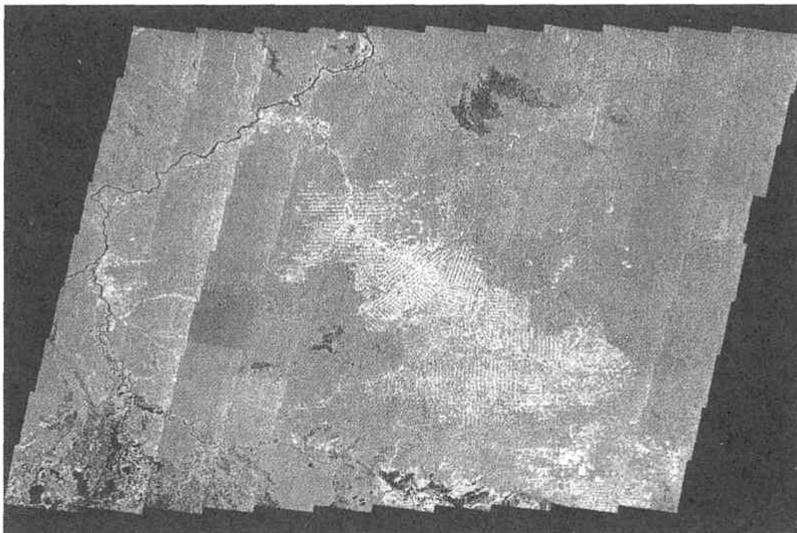


図8 アマゾンの森林破壊

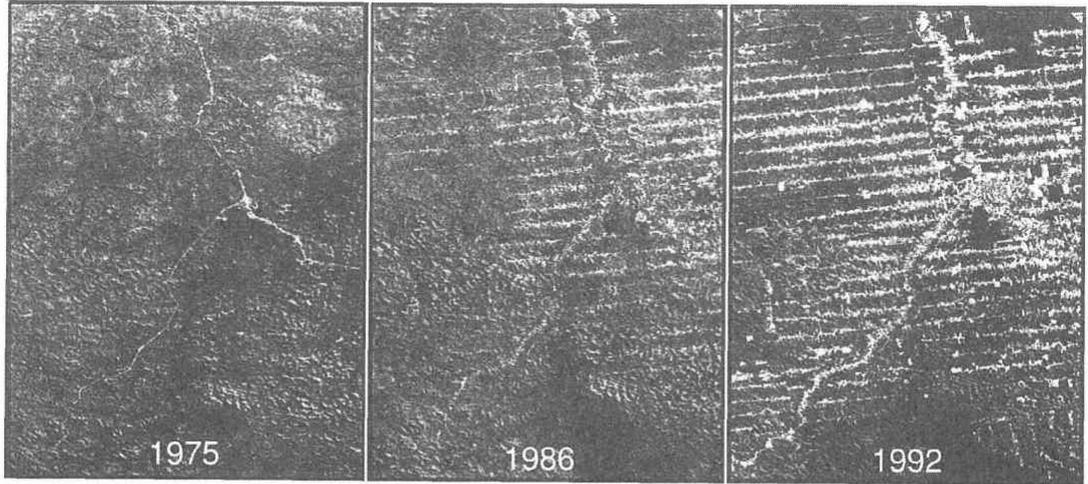


図9 アマゾンのランドサット衛星画像

図9はランドサットで撮った同じくアマゾンの写真です。1975年、1986年、1992年と、どんどん破壊が進んでいます。これがやめられないわけです。森を切って、牛肉のための牧場が作られるということで、アメリカの安いハンバーガーを通して、アメリカ人はアマゾンの森を食べています。ちょうど日本人がエビを通してマングローブを食べているのと同じです。

エネルギー大量供給で可能になった人口増加
問われる文明のあり方

次にエネルギーの話をしていきます。1900年頃から2000年、ほぼ100年ぐらいの間にエネルギーがどのように使われてきているか。

図10の縦軸はエネルギーの消費量です。単位はともかく、昔から人は森、つまりバイオマスを使ってきました。これも最近、少し増

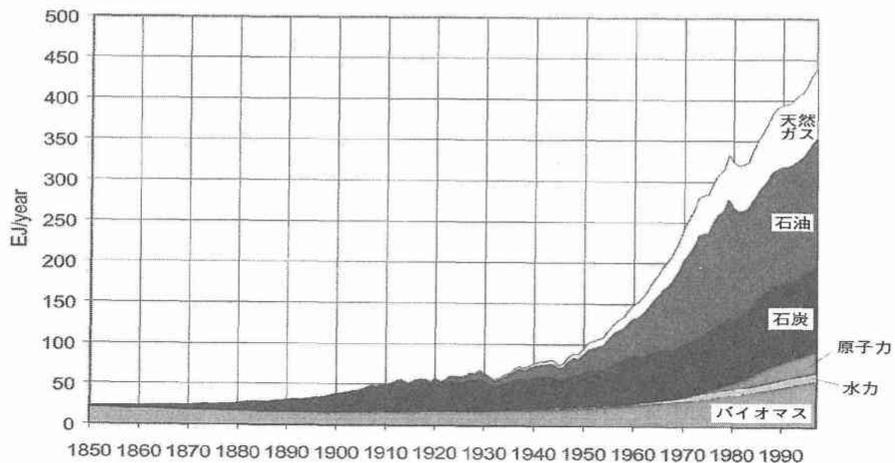


図10 1次エネルギー消費の推移

えています。

天然ガスが最近増えています。このようにエネルギーの消費は昔から幾何級数的に増えています。いつから特に増えたかという、産業革命の頃の石炭からです。

逆に言いますと、石炭という膨大な化石燃料を使うことによって、それまでそれほど増えることができなかつた人口が、一挙に指数関数的に増えることができるようになったということです。

以上をまとめますと、有限の地球上で、人口が増え、資源・エネルギーを大量に使い、結局環境が汚染されます。それでは今後持続的な発展は可能かどうか。そこで、科学技術が解決してくれるという楽観的な考え方、またそうではないという悲観的な考え方など、いろいろありますが、過去の歴史を見る限り、科学技術によって人間がなるほどということをやって自然を守りながら文明を發展させたということにはなかつたようです。そういう意

味で今、文明のあり方が問われています。ではどうすればいいかということです。

エネルギーの今とこれから

GDP成長の主たる担い手は化石燃料

図12は通産省（現経済産業省）による日本のエネルギー史です。右の縦軸がGDP（国内総生産）です。左の縦軸がエネルギー需要です。1973年の石油ショックの時に総エネルギーの需要が落ちました。それから1979年にまた落ちました。この時だけなんです、日本がエネルギーの消費を減らすことができたのは。あとはずっと伸びています。地球温暖化問題が起きていますけれども、依然としてエネルギーは増える一方です。その主たるものは化石燃料です。

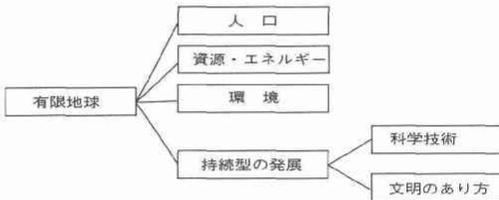


図11 有限地球における人類の課題

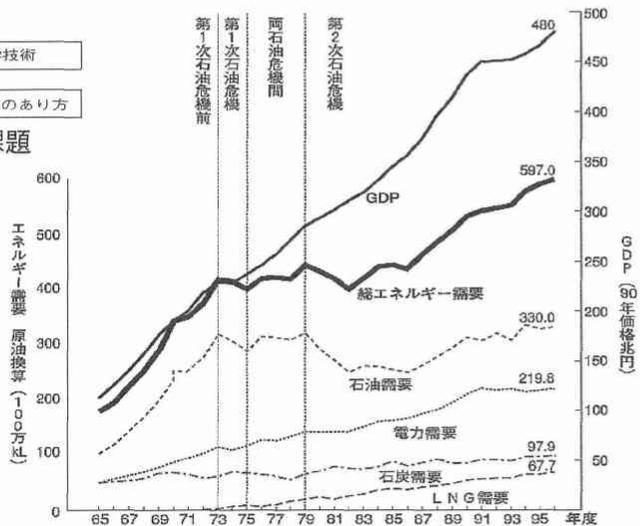


図12 GDP成長とエネルギー需要

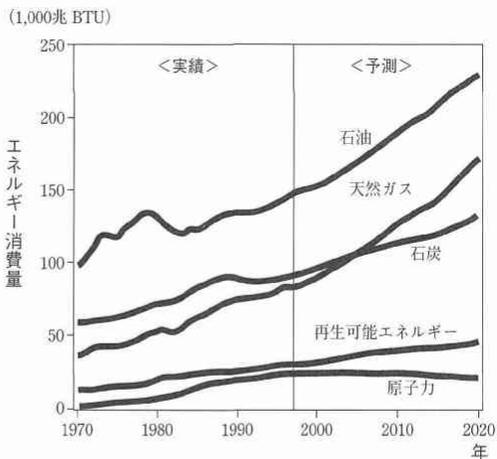


図13 エネルギー消費 (DOE)

図13はアメリカのエネルギー省 (DOE) がインターネットに出しているものです。未来予測がある程度書かれています。1970年、から2020年までです。天然ガスは当然、伸びています。石炭も増えるとしています。あるいは、増やさざるを得ないと思っているのか、増えています。再生可能エネルギーも徐々にですけれども増えると思っています。しかし、全体としてはまだまだ産業、人間社会を本格的に支えるまでにはいかないということで、

これも周知のことです。原子力について、この図のように見えています。ほとんど横這い、あるいは少し減少傾向ということでしょうか。

2004年には生産ピークを迎える石油

それでは現在主力の石油ですが、今後どのように推移するのでしょうか。これにはいろいろな考え方があります。1つの例を紹介します。図14は、キャンベルという人が世界の石油生産を2050年まで推計したものです。現在、インターネットに出ているDOE関係の資料からお借りしています。これが何を言っているかですが、2004年に生産のピークがくるという意見です。今から3年後です。これが本当かどうか大変に議論がありますけれども、図はこのようになっています。英国・ノルウェーとは、北海の石油と思いますが、これはそろそろ減少を始めます。中近東を除いて、マクロに見ますと石油の生産は次第に減退を始めていくという見方で、余力は中近東しかないという考え方が彼の立場です。

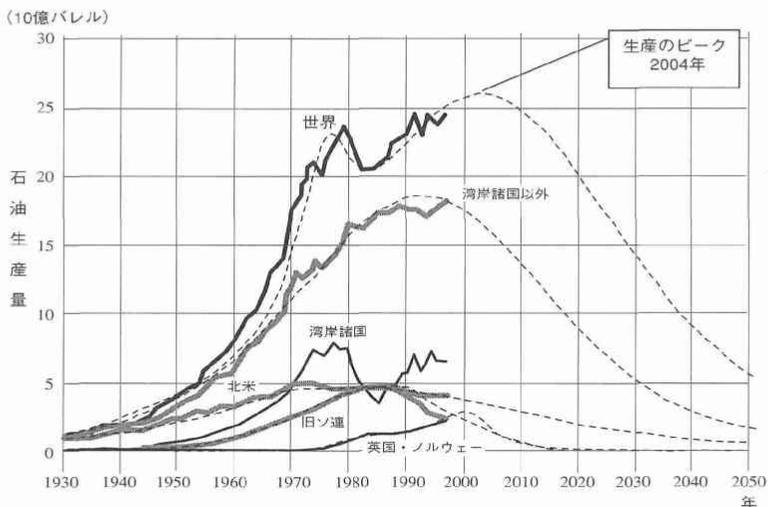


図14 世界の石油生産量 (キャンベル)

2004年がピークで後は減少するという考え方は、一見非常に唐突に聞こえますけれども、石油の専門家はこれを決してそれ程唐突とは思っておりません。2004年はともかくとして、21世紀の早い時期に石油は生産のピークを打つという考え方です。それからもう1つ、人類は既に石油の半分を使ってしまったということです。この2つがポイントです。

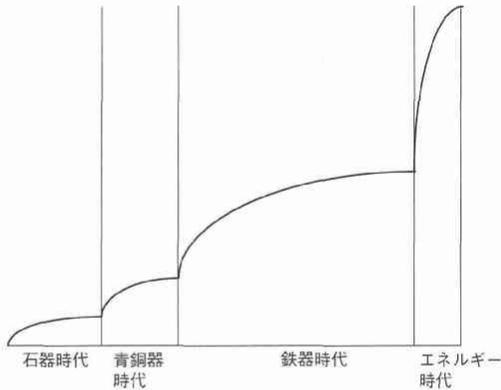


図15 道具で区切った人類史

現代は化石燃料が主役のエネルギー時代

それでは、エネルギーというものを社会、文明で眺めた時にどのように見えるか。

図15は19世紀に、ある経済学者が書いた図ですが、現在はエネルギー時代だと言っています。大量のエネルギーを使って、それで生産量を上げている。その前が鉄器時代、青銅器時代、石器時代と、幾つかのエポックでものを眺めているわけです。私もそうだと思います。現在の大量生産の仕組みはエネルギー大量消費が支えている。その大半が化石燃料である。それに今後どのように別のエネルギーが入るかです。

冒頭に、大学というのは未来から現在を眺める、そういう立場で話をしたい、考えたいと申し上げました。この立場でもっと先を見ます。図16は、最近私が読んだ“End of Economics (経済学の終わり)”という、米国の女性が書いた本⁽¹⁾に出ていた絵です。ア

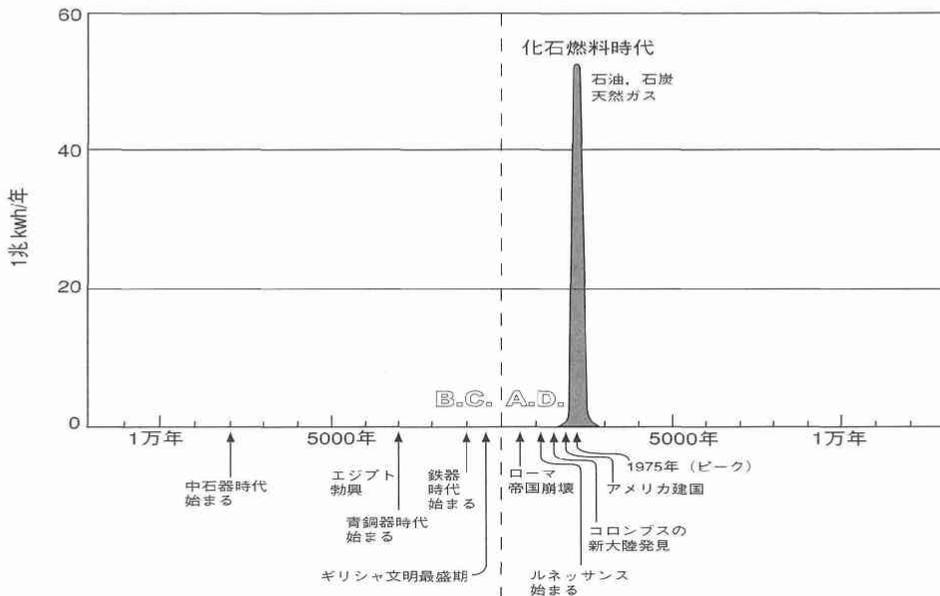


図16 現代は化石燃料時代

アメリカの上院などでユニークな発言をしている女性だそうです。

図16のポイントは、現在は化石燃料（fossil fuel）時代であって、石炭、石油、天然ガスはいずれなくなるということです。これは当たり前で、必ずなくなります。勿論、異論があるでしょうが、それでも化石燃料時代が終わる時点が若干シフトするだけです。5000年、あるいは1万年というスケールで眺めると、化石燃料時代はこのように、ほとんどインパルスに近いのです。実はこの図は、1975年にオレゴン州の知事が作ったものようです。

このように化石燃料でエネルギー消費が増えている。だから人口が増えることができた。これからもエネルギーの需要を満たすことができれば現在の人口を維持できるわけです。しかし、5000年、あるいは1万年というスケールで眺める限りは、この供給がなくなってしまふわけです。そして何が残るかです。今よく言われるのは自然エネルギー、それから原子力等々ですが本当にそうでしょうか。自然エネルギーが量的に今の化石燃料を代替できるとは思えませんし、原子力もウラン資源は有限で、そのうえ放射性廃棄物の問題があるからです。

我々はこのような化石燃料を現代人だけで使い切るわけにいかないでしょう。これからは、化石燃料を上手に、クリーンに、そして大事に使うということが非常に重要だと思います。

自然エネルギーによる化石燃料代替は困難

それでは、話題の自然エネルギーです。図17はアメリカのエネルギー省による例です。

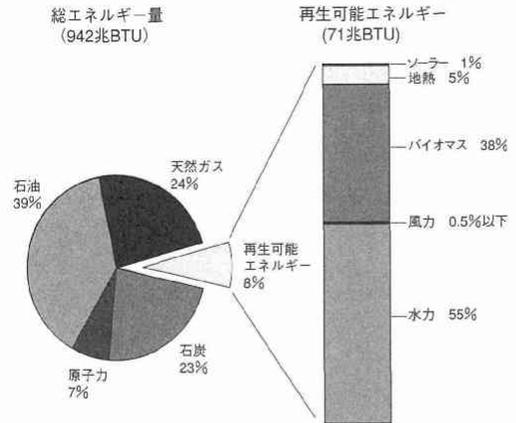


図17 アメリカの1次エネルギー構成

石油が39%、天然ガス24%、原子力が7%、石炭が23%です。再生可能エネルギーが8%。その中のバイオマス、要するに農業残渣物を含めてバイオマスが38%、水力が55%。ソーラーエネルギーが1%、風力が1%以下、地熱が5%、これが現在の状況です。これがドラスティックに変わらなければならないわけです。ところが、現在のところなかなかそうはいかない。

そういう意味で、日本の総合エネルギー調査会の考えも同じように、例えば2010年で3.1%が新エネルギーという意見です。非常に難しいわけです。

地球温暖化に関するデータ

今、地球温暖化という大変な問題が我々にかぶさってきました。過去100年に図18に示すように気温が上がっているようです。大体0.6度ぐらい上がっている。これが自然の状態か、あるいは化石燃料が関係しているかですが、化石燃料を大量に使っていますから、その方向にあるのは恐らく間違いない事実です。

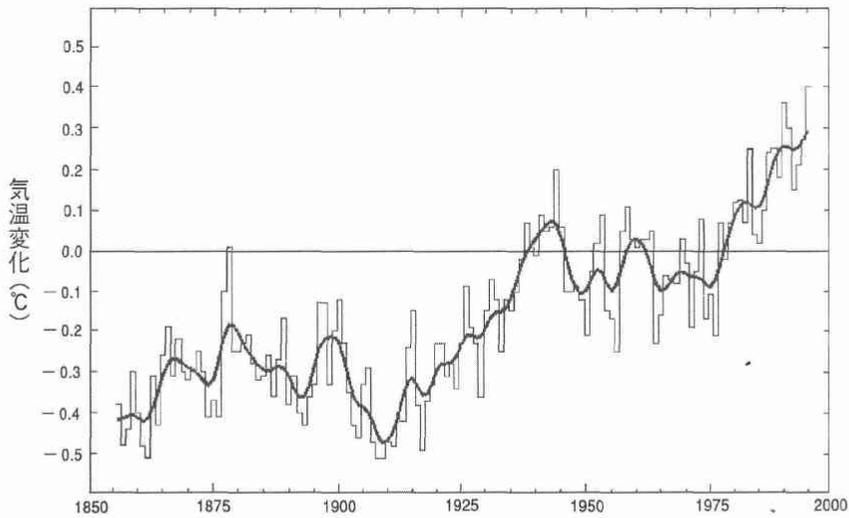


図18 地球気温（地上気温+海上気温）の推移

問題は、これから地球に何が起こるか。それが我々の生活にどのような影響を及ぼすかです。

図19は過去40万年の間に気温がどの程度変化してきたかを示しています。地球は、大体10万年ぐらいの大きな周期でほぼ5度以上の気温変動をしています。0が現在、右に行く

ほど過去に遡ります。地球は寒い方が安定していることがわかります。それから、非常に細かく変動するという事もわかります。現在は気温が高く上がりつつある局面ですから、温暖化による影響に対する科学的な研究は非常に難しいわけです。地球の気温というのはこのように大きく変動していました。

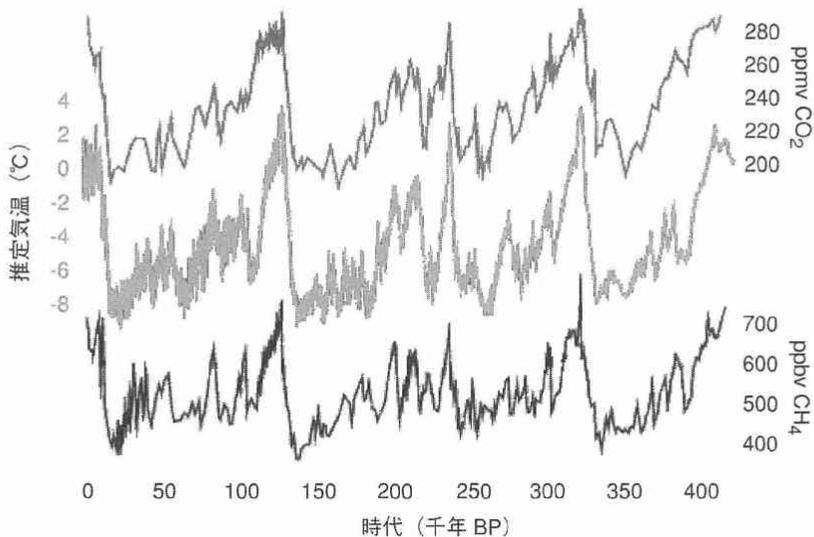


図19 過去40万年の気温変動

循環型社会構築の課題

苦悩する各国のゴミ処理問題

今、循環型社会が話題です。しかし、どうすれば循環できるかということが本当の課題です。「リサイクルを」とよく言われていますが、これはReduce（リデュース）、Reuse（リユース）、Recycle（リサイクル）という全体で考える必要があります。環境の法律にもリデュース、リユース、リサイクルの順番に重要であると書かれています。リデュースが非常に大事です。

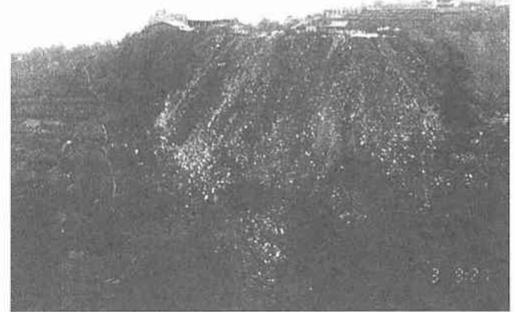


図21 ゴミの山（重慶）

そこで図21を見てください。膨大な量の固形ゴミです。重慶です。バスの中から撮った写真ですが、このように大変な量のゴミが無雑作に捨てられていました。バスの窓を開けると臭いのです。

図22は上海の100万トンのゴミの山です。今、産廃で話題になっている瀬戸内海の豊島は50万トンですが、これは100万トンです。しかも、これは単にゴミの中継基地で、毎日、

図20で分かるように、石炭ができた頃の石炭紀（ほぼ3億年前）には、今よりも二酸化炭素の量は1桁多かったのです。その時は地球の気温は10度も高かった。また、恐竜がいた頃の白亜紀（ほぼ1億年前）の大気中の二酸化炭素も同じように現在より1桁多い量でした。その時も気温が10度ぐらい高かったようです。両方の時代とも膨大な植物生産量がありました。

顕生代（カンブリア紀以降）の大気炭酸ガス

（ブディコラによる、1985）

年代層	億年前	炭酸ガス (ppm)	
カンブリア紀	下	5.7 ~ 5.45	640
	中	5.45 ~ 5.2	870
	上	5.2 ~ 4.9	570
オルドビス紀	下	4.9 ~ 4.75	1,750
	中	4.75 ~ 4.5	1,290
	上	4.5 ~ 4.35	1,270
シルル紀	下	4.35 ~ 4.15	870
	中	4.15 ~ 4.02	860
	上	4.02 ~ 3.78	870
デボン紀	中	3.78 ~ 3.62	1,230
	上	3.62 ~ 3.46	1,800
石炭紀	下	3.46 ~ 3.22	2,990
	中・上	3.22 ~ 2.82	1,220
二疊紀 (ペルム紀)	下	2.82 ~ 2.57	2,470
	上	2.57 ~ 2.36	880
三疊紀	下	2.36 ~ 2.21	900
	中	2.21 ~ 2.11	1,660
	上	2.11 ~ 1.86	1,120
ジュラ紀	下	1.86 ~ 1.68	1,200
	中	1.68 ~ 1.53	1,580
	上	1.53 ~ 1.33	2,310
白亜紀	下	1.33 ~ 1.01	1,480
	中	1.01 ~ .67	1,780
暁新世	.67 ~ .58	760	
始新世	.58 ~ .37	1,200	
漸新世	.37 ~ .25	320	
中新世	.25 ~ .09	760	
先新世	.09 ~ .02	450	
現代		340	

出所：長倉『炭酸ガス』

図20 大気中炭酸ガスの推移



図22 ゴミの山（上海）

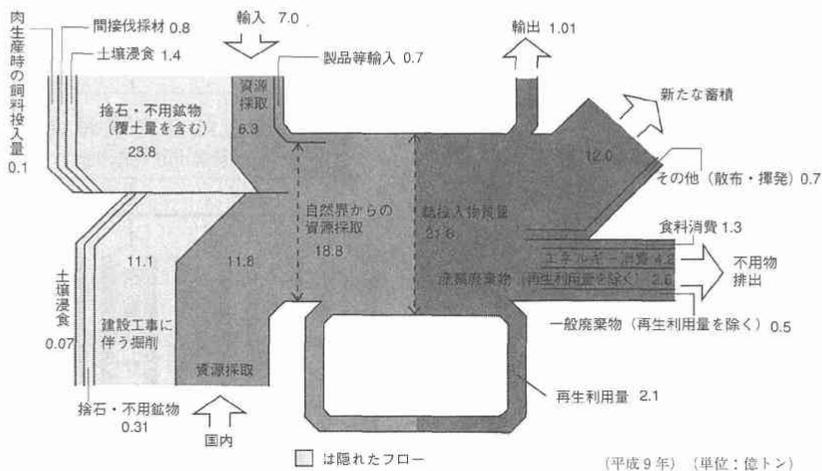
ここに1,000トンのゴミが集められて、また運び出されて最終処分地に埋められています。丘陵地帯がゴミでできています。大変な量です。

日本も、これ程ではないにしても、状況は似ています。先ほどの例を他山の石と思うわけにはいきません。

循環型社会構築の盲点

一見落とされやすいエネルギー

大量生産、大量消費、大量投棄という現在



注：水分の取り込み（含水）等があるため、産出側の総量は物質利用総量より大きくなる。
（出所：各種統計より環境庁試算）

図24 日本の物流

のメカニズムを、どうすれば循環型に変えられるか。よく循環すれば何とかなるだろうと言われますが、それほど簡単ではありません。「ゴミは資源」ということも、資源とは何かを考えると、それ程簡単なものではありません。

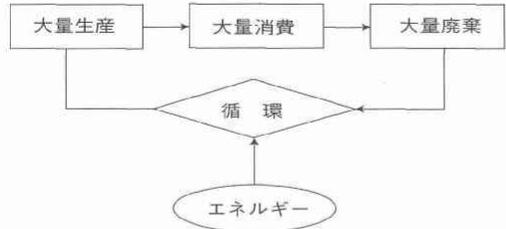
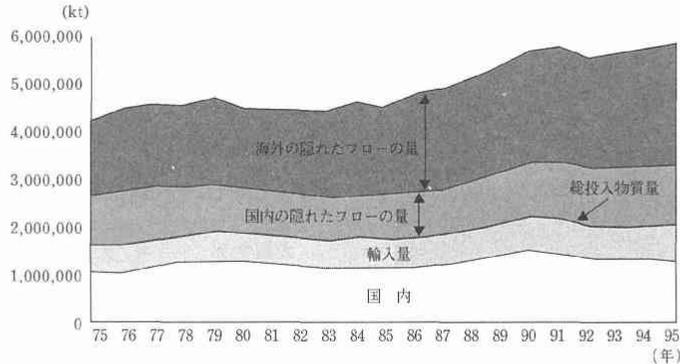


図23 経済活動循環とエネルギーの関係

図23で示すように、経済活動とはエントロピーを増大させるプロセスですから、これを逆に戻すエントロピーを下げるプロセスには、必ずエネルギーが必要です。循環には必ずエネルギーが必要なのです。これが現在の循環型社会の運動から大きく抜けていることです。上手に考えない循環型社会は、大量エネルギー消費社会になる可能性があります。これはよく気をつける必要があると思います。

図24はわが国の物流です。このポイントは



(出所：平成11年度版 環境白書)

図25 日本の物流の推移

2つです。表に見える物のフローの他に、隠れた物のフローがあるという考えです。先ほど、例えばアメリカのハンバーグとアマゾンの森、それから日本のエビとタイのマングローブの破壊のように、我々が何かを輸入すると、現地の資源国、あるいはその生産国では必ず相当量の物流が起こります。それが隠れた物流という意味です。やっとこのような統計が取れるようになりました。日本の場合、隠れた物流と隠れていない物流はほぼ半々です。隠れた物流も入れたトータルの物流は57.2億トンです。放っておけば、ゴミの量は57億トンのスケールとなるのです。話題になる一般廃棄物が0.5億トン、産業廃棄物が4億トンです。これだけでも大変な問題です。物流の巨大さをご理解いただきたいわけです。

図25は、国内と海外の隠れたフローです。よく話題になるのは、総投入資源量までです。日本の場合に大体22億トンです。隠れたフローは大きいものです。これを頭に入れてこれから環境、エネルギーの問題を考えていく必要がある。リサイクルとは、エントロピーを下げることで、これには必ずエネルギーが要ります。膨大なエネルギーが要るのです。

循環基本法のポイント

まず元栓を閉めることから

図26は、先ほど言いました循環型社会形成推進基本法（循環基本法）のポイントです。先ほどゴミの処理やリサイクルはどういう順序で取り組んだらいいのか。1番目、まず出てくるゴミをできるだけ減らすことーリデュースです。2番目、不要になったものをできるだけ繰り返し使うことーリユースです。そ

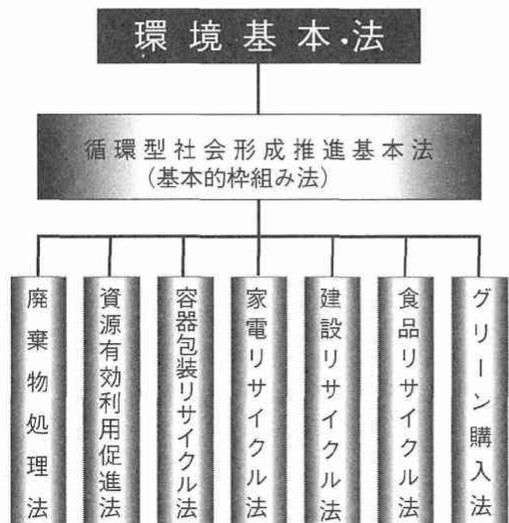


図26 循環基本法の枠組み

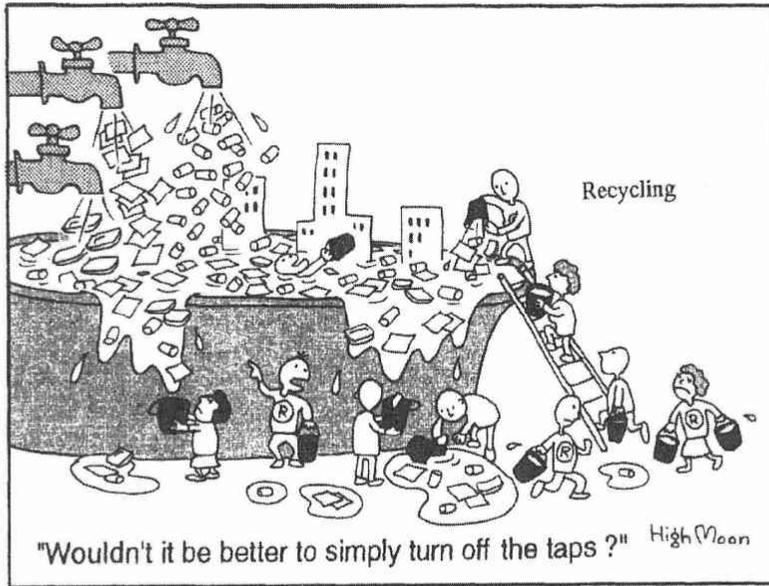


図27 ゴミの元栓を閉めたら？

して3番目がリサイクルです。3番目だけが強調される傾向がありますのでよくご注意ください。最後に、資源として使えないものは燃やして、その熱を利用する。今の言葉で言いますとサーマルリサイクルということでしょうか。

図27は漫画です。エネルギーのことも、コストのことも考えないで100%徹底的にリサイクルしようとするのは、大変に問題がある、それを漫画にしたものです。水道の蛇口からゴミが大量に出てきて、大量に消費し、そして大量に捨てられるのをリサイクルするわけですが、「元栓を閉めた方が良いのじゃないの」という意味です。これはペンネームが「ハイ・ムーン」、京都大学環境保全センターの高月紘教授がご自分で描かれた漫画です。

以上の話を今の時点でまとめてみます。地球は有限です。したがって、無限を望むことはできない。しかし、人間には欲望がある。

表2 有限地球で暮らす心得

- 「地球は有限」、無限を望まない、欲張らない
- 「モノから価値へ」、意識を変え、無駄：Mudaをしない
- 「欧米の論理から独立」、自分で考える
- 「知恵は無限」、21世紀は深い知的発展の世紀

際限ない欲望がある。動物は自分が食べる量しか殺さないとしますが、人間はエンドレスのようです。これからは欲張らないことが大切です。これは私も含めての反省です。

それから、モノから価値への価値観の改革です。しかし、モノは作らなければならないですが、モノを最終目標にしないという意味です。意識を変えて、無駄をしない。英語でMudaと書いたのは、「むだ」のローマ字表記です。今、ローマ字でMudaという言葉が環境についての本に出てきます。

話が前後しますが、トヨタのJust In Time方

式（かんぱん方式）の精神が今アメリカで、これからの社会の1つの行き方、指針になると話題になっています。一例をあげますと、環境保護論者ポール・ホーケンの「ナチュラル・キャピタリズム」という本などです。最近かなり読まれています。そういう意味で、欧米の論理から離れて、日本はもうそろそろ自分で考える時代ではないかと思えます。地球は有限ですが知恵は無限である、また無限であると思いたいということです。我々が持っている常識が常に間違っていると思うくらいでやっとならば、21世紀を知的発展の世紀とできるのではないかと思います。

常識が常に間違っている例を先ほどの温暖化で言いますと、ただか10年ぐらいで、北半球で植物が増えているらしいのです。人工衛星を使ったりリモートセンシングの膨大なデータを判読していきますと、とにもかくにも

二酸化炭素が増え、気温も上がっていますから植物の生産量は増えてるということです。ですから、温暖化の影響を冷静に見ることも大切です。常識が間違っている可能性があります。

なぜこのようなことを言うのか。環境について、最も合理的な処置をする、正しい環境技術を開発する、政策をとろうとする時に、地球は、自然は何を教えているか、地球に今何が本当に起こっているか、よく学ぶ必要があります。そして初めて最も論理的な対策が取れるはずであるということをお願いしたいのです。

深刻化する水不足とエネルギーの役割

図28は、中近東のアブダビ郊外の砂漠にあるゴルフ場です。資源にはいろんなものがあります。エネルギー資源もあり、金属資源も

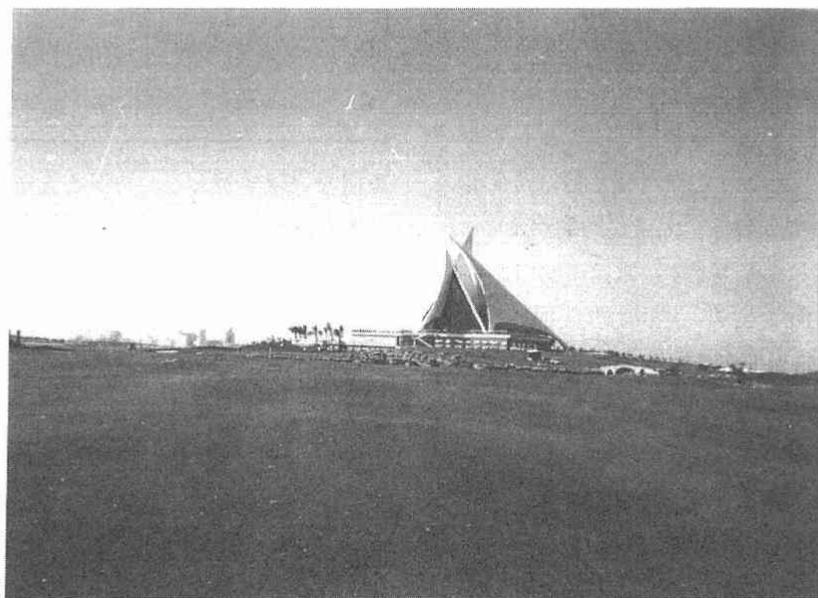


図28 アブダビ郊外のゴルフ場

あり、水資源もあります。今、一番問題なのはエネルギーと水です。今日はエネルギーを主体とした話ですので水のことは触れませんが、水は今、大変問題になっています。世界各地で地下水位がどんどん下がっている。アメリカのオガララ帯水層という中西部の穀倉地帯の地下水位も今急速に下がっています。そういう意味で、「穀物は水そのものである」という見方があります。穀物1トンをつくるのに1,000トンの水が必要です。今、中国でも穀物の輸入が始まっていますが、これは水を輸入すると言っても良いのです。水の問題というのは非常に重要です。

図28は、水とエネルギーを結びつける非常に面白い写真です。海水を蒸留、あるいは半透膜で淡水化して育てた芝生です。本当の芝生です。これには驚きました。これは喜んでいいのか悲しんでいいのかわからない風景です。確かに中近東の油田ではフレアガス、油田の余ったガスを燃やしています。それを使っているから良いのでしょうか、やはりエネルギーを大量に使っている貴重な水でゴルフ場の芝生を育てるといのは釈然としないものがありました。スコアはさすがによくありませんでした。罪の意識が先に立って。しかも日本人が多いんです。寿司まで食べられるんです。私はやはりこういうものは無駄じゃないかと思います。浪費をどのように抑えて、本当に欲しいものをどう人間社会に供給するかという視点がこれからは重要だと思います。

21世紀に重要なこと—「モノから価値へ」

アメリカのあるじゅうたんメーカーの例

モノ売りから価値のサービスへ。これは21世紀の非常に重要なキーワードだと思いますので、この話をして私の話を終わりにしたいと思います。モノを作らなかつたら人間はどうなるかということです。

例えば、日本でも知っている方が増えたようですが、アメリカにインターフェースというじゅうたんメーカーがあります。じゅうたんにユーザーが買うから捨てなければならないわけです。そこで、インターフェースはじゅうたんを売るのをやめたわけですが、リースでもありません。じゅうたんが敷かれている状態のサービスを始めたのです。じゅうたんにタイル状にして取り換えられるようにしました。ご存じのとおり、じゅうたんというのは家具が置いているところとか、机や椅子の置いてあるところは痛みません。人間が歩くところだけ痛む。ですから、そこだけ換えるわけですが、インターフェースが、このじゅうたんが敷かれている状態をサービスするというやり方で急成長しました。理由は非常にシンプルで、無駄をしていないからです。他のメーカーのビジネスのやり方は無駄をしているわけですが、インターフェースは、トータルで無駄が大きく減りますから、急成長しました。もう1つのポイントは、雇用が増えたということです。単に売りっぱなしではありませんから、じゅうたんがどのように痛んでいるかということをお客様の家に調べに行く、そういう仕事が増えたわけですが、お客様とメーカーの間の人間関係が非常に強くなりました。これは、仕事も増えながら急成長したという例です。

そういう例がどんどん出ています。しかし、私が「モノから価値へ」という話だけをしますと、「それでは先生、経済が成り立ちませんよ」という反論がよく出てきます。そうではなく、現在の文化、あるいは文明の豊かさ、アメニティを余り犠牲にしないで、環境負荷の低いやり方、生き方があると私は思っています。

常識を疑う多様な見方で

問題に論理的・弾力的に対処する姿勢

石油会社が石油そのものを売っているのではなく、石油が提供する涼しさ、温かさ、そういうアメニティそのものを売っても良いわけです。例えば涼しさを売るとします。サービスを売るとします。今我々は涼しさを得るために、エアコンを買って電気を消費するわけですが、エアコンではなくて涼しさそのものをサービスする。そのような企業が仮にあるとすれば、必ず使うモノをより少なくしようとするわけです。エネルギーの使用量も減らそうとするはずですが、つまり、インセンティブが逆に働くことになります。そのようなビジネスのやり方、アイデアが、比較的多くの欧米の本に出て来るようになりました。これか

らはどのようにプラスチック志向で環境負荷を低くするかを、常識を疑いながら、自分で考えるということができればと思います。

決してこのような考え方がすべて、あるいは絶対だということではありません。いろいろなオプションがあります。どうも日本の社会というのは、例えば地球温暖化、あるいはダイオキシンというと、1つの考え方、1つの見方に固定化される傾向があります。それでは本当に論理的な対策がとれなくなります。社会が硬直化します。できるだけいろいろと柔軟な考え方が採られる社会が望ましいのではないかと思います。今日の私の話が、そのような方向に向かって少しでも皆さまの助けになればと思います。

参考文献

- (1) Henderson, H. (1996, first published in 1978) : "Creating Alternative Future: The End of Economics", Kumarian Press
- (2) Hawken, P. (1999) : "Natural Capitalism - Creating The Next Industrial Revolution", Little Brown and Company
- (3) 石井吉徳 (1995) "エネルギーと地球環境問題", 愛智新書 (愛智出版)
- (4) 石井吉徳 (2001) "国民のための環境学", 愛智新書 (愛智出版)

〔講演〕

発展途上国における環境問題と 化石燃料関連技術



定方正毅 (東京大学大学院 工学系研究科教授)

はじめに

今日は、主にアジアの途上国の環境問題と化石燃料関連技術についてお話しします。

21世紀における我々人類最大の課題は、やはり南北問題、いわゆる発展途上国の問題と環境問題であろうと考えています。



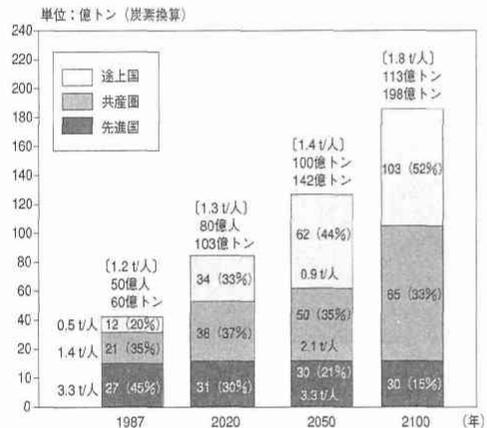
図1 ある風刺画家の見た南北問題

図1は、先進国の人と途上国の人と同じ船に乗っていて、嵐がきた時に先進国だけでこれを防ごうとしても結局は、途上国共々一蓮托生で沈んでしまうことを示した絵です。今や地球環境問題1つを考えても、発展途上国の環境問題を無視して地球環境問題の解決は図

〔略歴〕

1967年東京大学工学部化学工学科卒業。1973年東京大学で工学博士取得。同大学で助手、講師経験後、1981年群馬大学助教授、1988年同大教授を歴任、1990年より現職。

専門は化学工学、燃焼工学、環境工学。最近では、開発途上国を対象とした技術開発に携わる。



(出所) 世界銀行統計等

(注) 1人当たりCO₂排出量を以下のように仮定

先進国：現状固定

共産国：2050年に現状の1.5倍

途上国：2050年に現状の2倍

図2 CO₂排出の将来予測

れないということは明確に言えるのではないかと思います。

図2は通産省による二酸化炭素 (CO₂) 排出の将来予測です。要するに、途上国からのCO₂排出量が2050年には全世界の総発生量の50%を占めるだろうということです。これが

最近少し早まりまして、2020年ぐらいにはそうなるだろうと予測されています。発展途上国の環境問題を解決しなければ地球の環境問題は解決不可能であるということがこのグラフからも明らかです。

途上国の環境問題の現状

酸性雨、水質汚濁、森林破壊、
ゴミ問題、砂漠化

途上国の環境問題の実態について、主に写真でお見せしたいと思います。



図3 中国の酸性雨被害

図3は中国の大気汚染です。中国の峨眉山で、酸性雨によってどんどん木が枯れてしまっている状態を示しています。

図4は、タイのバンコックを流れているメナム川支流です。これは私の友人が撮ったものですが水質汚濁が急速に進んでいます。

図5は、伐採されてしまったタイのマングローブです。森林破壊が進んでいる状況がうかがえます。

図6は、フィリピンのスモークーマウンテンというゴミの山です。この周辺に5,000人近くの人たちが住んでいて、ゴミを拾って生計を立てているということです。

図7は、アフリカで砂漠化がどんどん進んで、薪を集めるために1日数十キロ歩かなけ

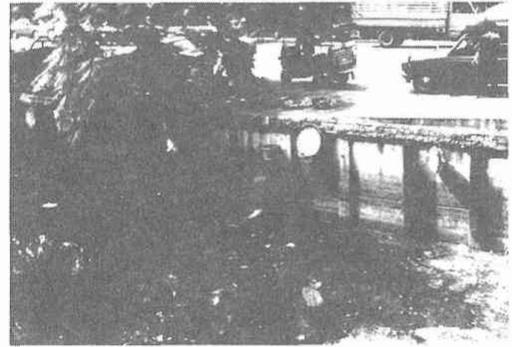


図4 バンコックの水質汚濁



図5 伐採されるマングローブ



図6 フィリピンのゴミの山



図7 アフリカの砂漠化進行

ればならないという状況を示しています。村の周りの木をほとんど燃料として使ってしまった結果として、こういう悲劇的な状況が起きているわけです。

図8は私が撮った写真ですが、内モンゴルの砂漠化が進んでいる状況です。境界に植えてあった木が次々と枯れて砂漠が進入してきている様子を示しています。中国では大体1年間に東京都と同じぐらいの面積の砂漠化が進行しているというデータもあります。



図8 内モンゴルの砂漠化

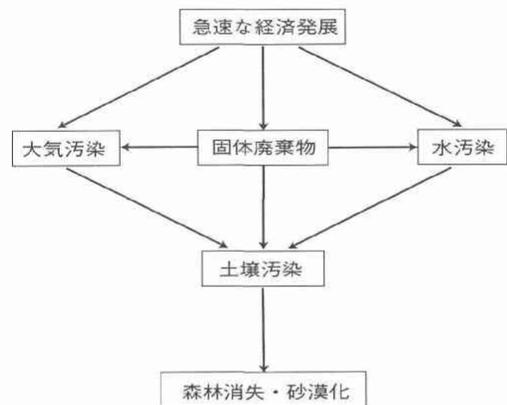


図9 途上国環境汚染の構造

途上国環境問題の構造

全体像を捉えて究極の解決へ

発展途上国の環境問題は、やはり構造として理解する必要があるのではないかと思います。大気汚染、水質汚濁の問題を個別にとらえてもなかなか全体像が見えませんが、個別に解決しても環境問題の究極的な解決にはつながらないだろうということで、発展途上国の環境汚染の構造を私なりに考えてみました。

図9に示しましたが、まず、急速な経済発

展によって大気汚染、固体廃棄物汚染、水質汚染が進む。しかし、例えば固体廃棄物の汚染は大気汚染を引き起こし、水汚染も引き起こす。この3つの汚染が実は土壌の汚染を引き起こし、その結果、森林が消失し砂漠化が進行するというふうにとらえることができるのではないかと思います。

この中でやはり一番大きな問題は土壌汚染だと思います。なぜかと言いますと、土壌は、一旦汚染されますと元に戻すことが非常に難しい。それに比べて大気汚染や固体廃棄物、あるいは水汚染は、発生源で元を断れば、時の経過によって、やがて問題が解決されます。

本質的に土壌汚染と大気、水汚染は異なるのではないかと思うわけです。



図10 雑草も生えない足尾銅山周辺の山

図10は有名な足尾銅山の写真です。これも私が実際に撮った写真ですが、長い間の塩害によって周辺が完全にはげ山になってしまっています。現在、ボランティアの人たちが毎年雑草の種をヘリコプターで播いていますが、一向に雑草すら生えてこない状況です。一旦土壌が汚染されるとほとんど回復不可能ということを端的に示しているのではないかと思います。

これがさらに進みますと、かつて4大文明の地が砂漠化によって文明が亡びてしまったことからわかるように、現在、地球全体の砂漠化の進行によって、地球文明がやがて亡びる危機にさらされていると言えるのではないかと思います。

途上国環境破壊の原因は

貧困、急激な人口増加、共生関係の崩壊

こういった途上国の環境問題をいろいろ調査することで、発展途上国の環境破壊の原因は何かということがだんだん見えてきます。横断的に途上国の環境破壊の実態、原因を個

別に調べると、共通の要因が浮かび上がってくるわけです。

1番目は貧困、2番目は人口の急激な増加、3番目は共生関係の崩壊です。共生関係とは、この場合、都市と農村と森林の共生関係の崩壊ということです。この3つが環境破壊の原因と見ることはできるのではないかと思います。

1番目の貧困が原因である例として、インド、パキスタンでは化石燃料が高くて買えないため、牛糞、稲藁を燃料として使うわけですが、これが大変な室内汚染を引き起こす。先ほどのアフリカの例にもありますように、貧しい農村で非常に環境汚染が進むわけです。

2番目の人口増が原因である例として農村で人口増があると燃料として周辺の森林の木をどんどん切る。その結果、森林破壊、砂漠化が急速に進むことになる。あるいはマニラ、バンコックのような大都會のスラム化も急速な人口増が原因であるというふうに見ることができます。

3番目の共生関係の崩壊も環境破壊の大きな原因です。本来なら、都市と農村と森林で共生関係が保たれているわけですが、例えば農村で耕地が貧困化して生産量が低下しますと、当然、人口が都市に集中する。その結果として都市がスラム化して、大量の汚染物質を排出するようになる。それによって周辺の農村が汚染され、ますます耕地の貧困化が進む。こういった1つの汚染サイクルがあります。一方、農村の貧困化によって当然生産量を増やすために耕地を拡大しようとしますから、森林が消失していく。森林が消失すると大雨が降った時に鉄砲水によって農業で非常に重要な表土が流出し、ますます耕地が貧困

現在は・・・

豊かになれば解決するか人口問題

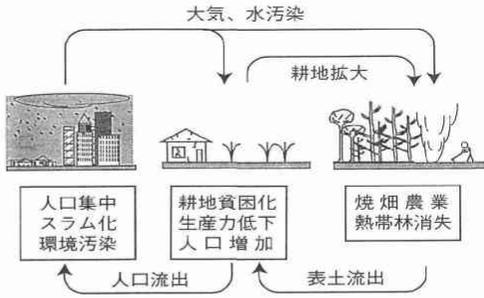


図11 貧困—環境汚染

化するというサイクルがあります。要するに農村と森林、農村と都市の貧困と環境汚染へのサイクル、この2つのサイクルがリンクして環境破壊が進んでいくというメカニズムがあるのではないかと思います。

図11でもわかるように、共生関係の崩れは農村あるいは農業の貧困化、あるいは農村における人口増が1つのきっかけになって起こります。やはり、農村における環境破壊をいかに防止していくか。あるいは、農村の貧困化をいかに防いで、農村を豊かにしていくかということが、共生関係を復活させる1つの鍵ではないかと思うわけです。

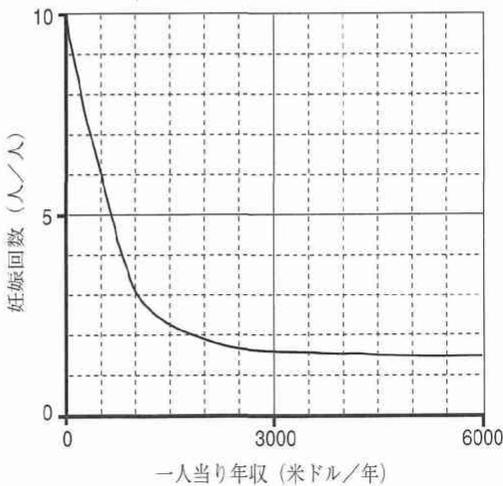


図12 平均妊娠回数と1人当り年収

先ほど環境破壊の原因は貧困と人口増ということを書きましたが、両者は完全にリンクしています。図12は、横軸が1人当たりの年収、縦軸が女性の妊娠回数ですけれども、1人当たりの年収が増えると妊娠回数が減っていき、やがて2以下になるとというのが過去のいろいろな国のデータを集めて平均化した結果です。従って、人口増が原因だと言いましたけれども、1人当たりの年収が増えれば、つまり貧困から脱却していけば、もちろんリードタイムはありますが、人口問題は解決の方向に向くということで、やはり途上国における環境問題を解決するための一番のポイントは、貧困からの脱却といえますか、途上国が経済的に発展することであろうと私は考えるわけです。

豊かになれば発生する新たな問題

—GDP増加で増えるCO₂排出量

それならば、豊かになればすべて解決するかというと、そう単純ではありません。図13は、1975年から95年までのいろいろな国々の1人当たりGDPの伸びと、1人当たりCO₂排出量の伸びをベクトルで表したもので、国連続計から私が作成したものです。途上国は一斉にGDPの増加に伴ってCO₂及び環境破壊が進んでいくわけです。それと対照的に、ヨーロッパの環境先進国といわれる国々は、1人当たりGDPが1万ドルを超えると一様に減り始めるわけです。そこまで行けばもう環境浄化と経済発展が両立するわけです。

しかし、インドや中国、バングラデシュが

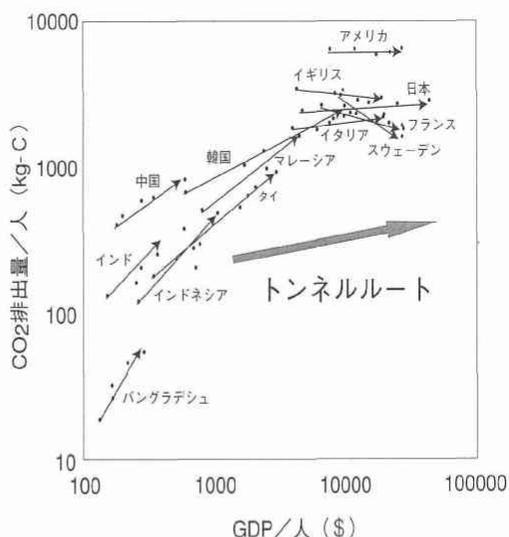


図13 GDP変化量とCO₂変化量

そこまで行くと、1人当たりのCO₂排出量が現在の5倍から10倍になります。当然、エネルギー使用量も同じぐらいになります。地球の容量から見てそれは不可能なわけです。先ほど豊かになればいいということを手軽に言いましたが、先進国型の経済発展というのはもう許されないし、不可能ということがこれでわかります。

従って、唯一途上国が豊かになるには、直接的に豊かな側に行く道しかないだろうというのが私の前々からの主張です。ピークを経ずに直接豊かさの側に行くということで、私はこれを「トンネルルート」と呼んでいます。

生産型環境技術と農業技術等で

トンネルルートの実現を

では、このトンネルルートを実現するテクノロジーは何かということになるわけですが、1つは生産型環境技術であろうと思います。なぜわざわざ生産という名前をつけたかとい

表1 トンネルルート実現の技術と産業

技術	産業
生産型環境技術	環境産業
自然エネルギー利用技術	農業

いますと、要するにプロダクティブな環境技術のことです。普通、環境技術というと非常にマイナスの投資になってしまうわけですが、例えば環境汚染の防止装置をつけることによって非常に利益が上がるか、非常に有効な副生成物が得られるとか、ということになれば経済発展と環境浄化が両立することになるわけです。まさにトンネルルートを実現できる技術になるだろうと思います。

2番目は、太陽エネルギーを始めとした自然エネルギー、それからCO₂を利用する産業技術です。これが望ましいわけです。こういう産業として典型的なのが農業です。ただ、今までのように農村で米や麦を作っているのではだめで、いわゆる天然物を原料とした、付加価値の高いものを生産することができる農村工業という方向が求められていると思います。

今、日本で構造改革が叫ばれていますけれども、途上国でもやはり従来の重厚長大型、先進国型産業での経済発展は許されません。途上国に適合したトンネルルートを実現する産業というものがあると思います。アジア経済の状況を調べていきますと、結局、農業が経済発展の足を引っ張っているということがよくわかるわけです。そういう意味で農業の新しい形での発展が重要だと思います。

3番目は環境産業だと思います。環境産業が例えば中国とか、あるいはインドで発展すれば当然それらの国の環境浄化が進みますし、さらにそれが輸出産業になれば当然経済発展にもつながるということで、農業と並んで環境産業の育成が非常に強く求められているのではないかと思います。

事例—中国での環境問題解決への取り組み

食糧問題に関連する

大気汚染と砂漠化の解決が最重要

もう少し具体的に途上国の代表格である中国に焦点を絞ってこの問題を考えてみたいと思います。

中国の環境問題には、大気汚染、水汚染、森林消失、砂漠化などがあります。中でも一番重要な汚染問題は、恐らく大気汚染と砂漠化だと思います。食糧問題に非常に関連しているからです。したがって、私どもの研究室では、大気汚染と砂漠化を重点的に取り上げて研究を進めているわけです。

中国における砂漠化問題は深刻なのですが、実はその一歩手前であるアルカリ土壌化が砂漠化につながる問題として重要視されています。

砂漠化の手前—アルカリ土壌化問題を

脱硫石膏で解決する

その研究の一環として、脱硫石膏を使った中国ナトリウム土壌（アルカリ土壌）の研究

を紹介させていただきたいと思います。これはまさに砂漠化防止と酸性雨対策を同時にやっってしまうというアイデアで始めた仕事です。



図14 内モンゴルのアルカリ土壌

図14は内モンゴルで撮ったアルカリ化した土地の写真です。塩類が吹き出して土地が白っぽくなってしまっています。これが典型的なアルカリ土壌です。農学の分野では、アルカリ土壌をナトリウムが地表に集積している土地で、つるはしで叩いても割れないくらい、非常に堅く、水も空気も通らないような土地と定義しています。

図15は中国全体でどれぐらいのアルカリ土壌があるかを示しています。一応、pH8.5以上をアルカリ土壌とした時に、約140万km²ということですから、日本の面積の大体4倍以上という非常に広大な面積がアルカリ化しているということです。図16は以上述べたアルカリ土壌の構造を示したものです。

石膏がアルカリ土壌対策に有効

アルカリ土壌化問題を解決する1つの方法として、カルシウムを表層土壌に混ぜるのが

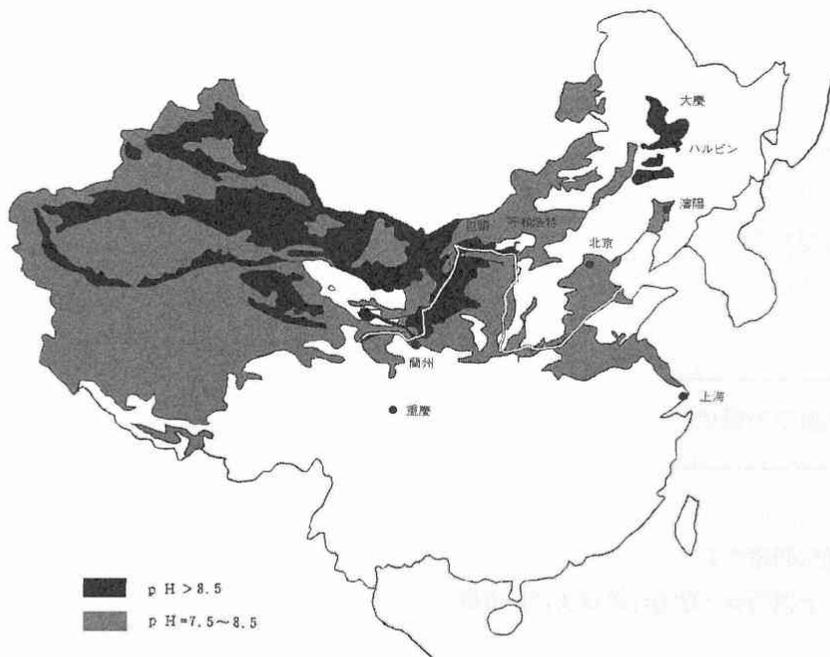


図15 中国のアルカリ土壌分布

アルカリ土壌 pH8.5以上の土壌

通常の土壌：団粒構造（透水性・通気性あり）

アルカリ土壌：団粒構造が崩れ、緻密で硬い層を形成

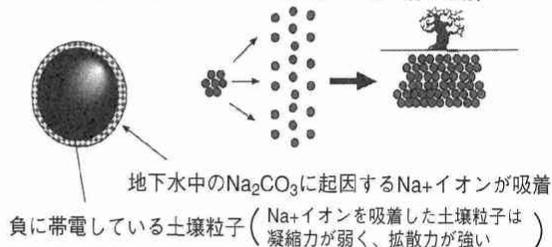


図16 アルカリ土壌の構造

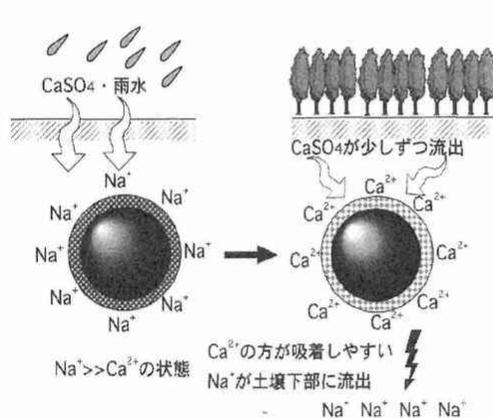


図17 石膏効果のメカニズム

有効であるということは農学分野で前から知られています。カルシウムの中でも特に硫酸カルシウム、つまり石膏が一番有効です。

石膏を撒きますと、図17に示すように、カルシウムイオンがナトリウムイオンとイオン交換を行い、再びアルカリ土壌のあちこちに

亀裂が入り、団粒構造が復活します。

脱硫プロセスからの石膏利用

大気汚染とアルカリ土壌問題の同時解決を

それでは天然石膏を掘り出して撒けばいい

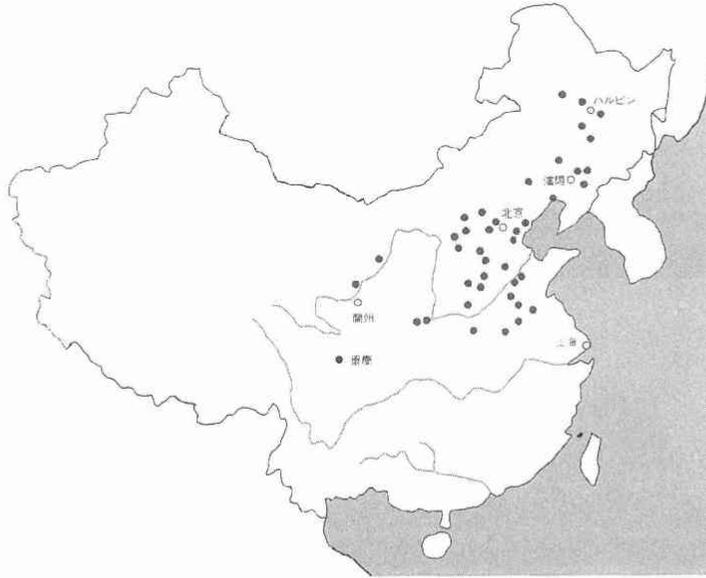


図18 アルカリ土壌地域周辺の発電所

だろうという話になるわけですが、中国では天然石膏がたくさん採れますが、非常に偏在しています。大体、西部の方が多くて、アルカリ土壌が深刻化している東北地方や北京周辺は余りありません。天然石膏を使おうとしますと非常に輸送コストがかかってしまいます。これが原因で石膏がいいことはわかっていたのですが、これまでほとんど使われていませんでした。私たちは石膏が脱硫プロセスから副生成物として排出されることは知っていましたから、脱硫石膏を使うことで、副生成物の有効利用にもなるし、砂漠化の防止にもなるのではないかと考えたわけです。

図18は中国の発電所の場所を示しています。幸いなことにアルカリ化が非常に深刻化している土地と大略オーバーラップしています。今はほとんど脱硫装置を付けていませんが、そういうところに付けて得られる石膏をアルカリ土壌改良に使えるのではないかと。つまり、脱硫石膏を使うことによって大気汚染

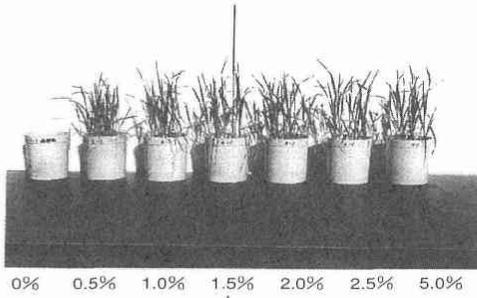
の問題と砂漠化、つまりアルカリ土壌化の問題を同時に解決できる可能性があるのではないかと考えたわけです。

早速、小麦の種をまいて実験しました。図19の一番上の結果で明らかなように、一番左側のまったく石膏を混ぜない場合には、発芽すら無いわけです。それに対して、0.5%混ぜただけでアルカリ土壌が改良され小麦がすくすくと育ちました。

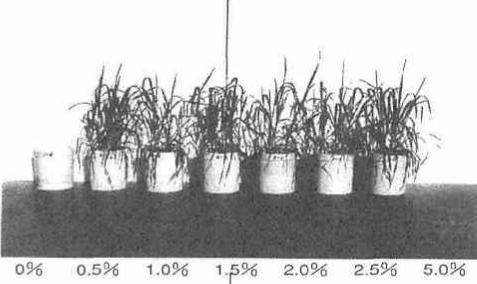
次に、実験室の実験では余り説得力がありませんので、中国の実際のアルカリ土壌の所で土壌改良のフィールドテストを試みました。図20は瀋陽から北へ約150kmぐらい行った内モンゴルに近い康平県の実験場です。6年前にテストを始めました。

図21は2年前の結果ですが、最初、100m²の実験でやってうまくいきまして、最終的には2haまでスケールアップしました。右側がまったく石膏を撒かない場合、左側が石膏を撒いた場合で、見事に差が出ています。これ

無肥・
脱硫石膏



施肥・
脱硫石膏



脱硫石膏

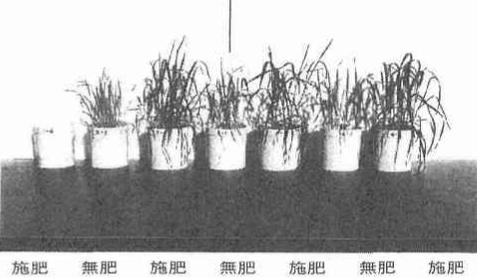


図19 脱硫石膏の効果実験



図20 康平県の試験場



図21 試験場で育つトウモロコシ



図22 アルカリ土壌地域の中の水田

表2 脱硫石膏で得られる耕地（試算）

モデル地域：中国北部ナトリウム土壌
仮定：中国北部の全ての発電所に 脱硫装置を設置
農地化面積：70万ha/年 =0.7km ² /年 =630万人分/年
日本の水田：220万ha =2.2万km ²
中国の耕地消失速度：70万ha/年 (静岡県の面積に相当)

はトウモロコシですが、周辺のアルカリ化されていない土壌でのトウモロコシと同じぐらいに育っています。

図22は中国で実験を手伝って下さっている瀋陽農業大学出身の農業技術者が自主的に行った水田の実験です。アルカリ土壌の所で水田というのはちょっと考えられないのですが、彼は水田を作るために、自分でまず地下水をポンプで汲み上げ、石膏を使って土壌を改良し、田植えをして稲を育てようとしたわけですが、その結果、図22のようなすばらしい水田ができたわけです。当然、とうもろこしより米の方が高く売れますので、その方は年収が約4倍になったということです。

脱硫石膏でどれぐらい土壌改良ができるか。例えば先ほどの北部から東北部にかけての全発電所につけた場合、表2で示すように、そこから出てくる脱硫石膏を使って土壌改良し復活する農地が年間70万ha。これは農民630万人分の農地に匹敵します。ちなみに、中国の耕地の消失速度が同じく70万haと言われていまして、これともバランスするわけです。もし、土壌改良を脱硫石膏で行えるならば、中国の耕地の消失を抑えることが可能になるということはこの数字は示しているのではないかと思います。

普及していない脱硫装置

一途上国に適合する脱硫技術の開発が必要

中国では脱硫装置は全く普及していません。通産省のグリーンエイド計画などで積極的に技術移転が試みられましたし、また、日本のプラント会社なども随分努力してきたわけですが、なかなか普及にまで至りません。

その最大の原因は、途上国が受け入れるために必要な条件が満たされていないということではないかと思います。その条件とは、①乾式であること、②コストが日本の3分の1～4分の1であること、③有用な副生成物が得られることの3つです。これがなかなか満たされません。特にコスト4分の1というのはほとんど不可能に近いとされていますし、乾式の脱硫プロセスというのは、これまで日本でもほとんど開発されていません。わずかに電子ビーム法と活性炭法があるだけです。乾式で低コストというのは世界でもまだほとんど実用化例がありません。

何とか途上国の条件に適合する脱硫プロセスを開発したいということで、私たちは4年ほど前に科学技術振興事業団（JST）から研究費をいただき研究を開始しました。

連鎖反応脱硫プロセスの開発

清華大学の先生方と一緒に研究を始め、何種類かの脱硫プロセスを開発したのですが、最終的には図23のような連鎖反応脱硫プロセスの実現を目指しています。こういう脱硫プロセスは今まで全くなかったわけですが、要するに連鎖反応を使ってSO₂を酸化し硫酸にまでもっていかうということです。ラジカルを吹き込んでやるだけで、もし連鎖反応が起これば、簡単に有用な副生成物の硫酸が得られるということになります。連鎖反応脱硫プロセスの開発について、いろいろな方から難しいのではないかとされたのですが、何とか実現可能性が出てきました。

表3の反応がまさに二酸化硫黄（SO₂）が酸化する連鎖反応です。OHラジカルあるいは

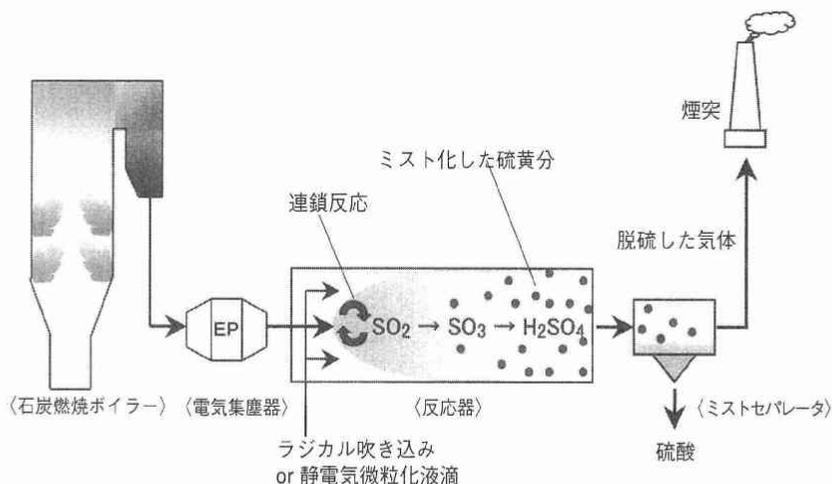


図23 連鎖反応脱硫プロセス

表3 可能な連鎖反応系

■ $OH+SO_2+M = HOSO_2+M$
■ $HOSO_2+O_2 = SO_3+HO_2$
■ $HO_2+NO = NO_2+OH$

$SO_2+NO+O_2 = SO_3+NO_2$
SO ₂ とNOの同時酸化…可能か
課題：ラジカル発生法、副反応の影響

HO₂ラジカルが媒体となって、SO₂が三酸化硫黄 (SO₃) に、一酸化窒素 (NO) が二酸化窒素 (NO₂) になるという反応です。コンピューターシミュレーションでは、これが実現できるわけですが、実際にどうかということで、1年ほど前から実験を行っています。少なくとも減圧条件下ではこの反応が進むということがほぼ確認されています。もしこれが常圧で最終的に起これば、連鎖反応脱硫プロセス実現の可能性が有る程度出てくるのではないかと考えています。

工場、一般家庭からのSO_x対策には
燃料改質で対応—バイオブリケット

中国では全体の3分の1ぐらいの硫黄酸化物 (SO_x) が工場、あるいは家庭から出ています。大規模な発電所の脱硫には、先ほどのような脱硫プロセスが有効ですが、そういった小さな燃焼装置に一々脱硫プロセスを付けるわけにはいきません。こうなるともう燃料の改質で対応するしかないということで、私

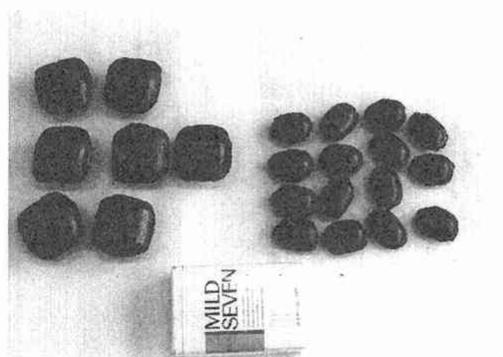


図24 バイオブリケット

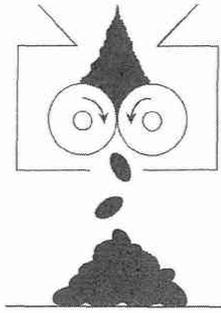


図25 バイオブリケットの生成

たちはブリケット、あるいはバイオブリケットが有効ではないかと考えています。

・ブリケットとは、いわゆる成型炭です。粉碎した石炭にカルシウムを混ぜますのでSO₂の排出量が大体60~70%減少します。さらに麦藁などのバイオマスを入れたのがバイオブリケットです。

図25はブリケットがこういったローラーを使って生成されている様子を示しています。

図26がブリケット製造マシンです。もちろん規模によりますけれども通常1億円以上はします。

バイオブリケットのメリット

バイオブリケットのメリットは、① CO₂およびSO₂が削減できる、② 石炭使用量を減らせる、③ ノースモーク、ノーバインダーで着火性が非常にいい、④ 非常にクリーンな燃焼になりますから、農家の先ほどの室内汚染を防げる、⑤ 工場で使いますとエネルギー利用効率が10%から20%上がり省エネにもつながる、ということです。まさに生産型技術の範疇に入るのではないかと思います。

バイオブリケットの課題と対策案

問題は値段です。脱硫コストで計算しますと、排ガス1m³当たり0.1円かかってしまう。中国でのSO₂排出に対する最近の課徴金は0.01円ですから10倍してしまうわけです。これではなかなかバイブリを使ってもらえないということになるわけです。ただ、幸いなことに最近、地域によっては課徴金が4倍から5倍になりまして、0.04円になってきた。そうし

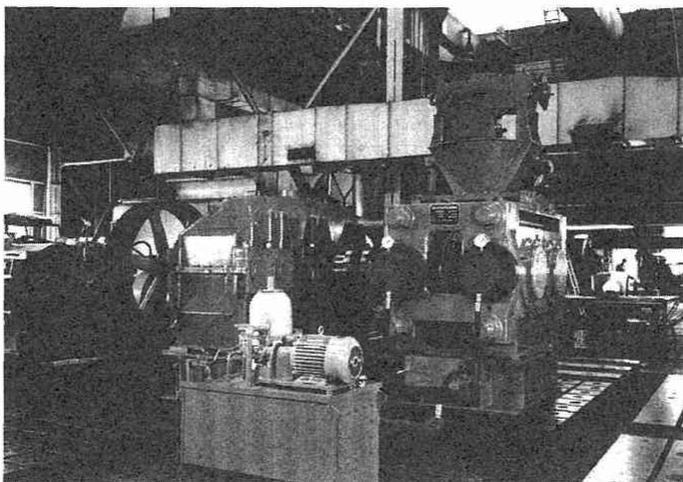


図26 ブリケットマシン

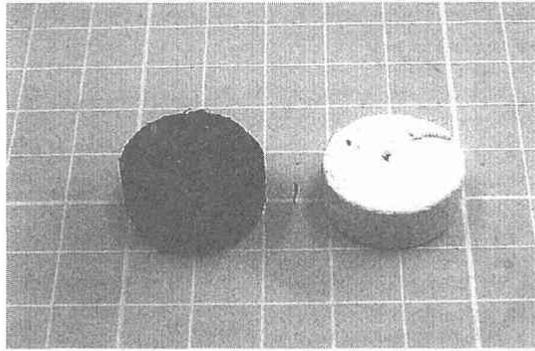


図27 バイオブリケットとホワイトコール

ますと、パイブリのコストを3分の1にすれば完全にペイすることになります。

コストを下げる方法として、①ブリケットマシンを中国で製作する、②廃棄物に近い石炭を使う、③副生成物の付加価値を高めるという方法があります。

バイオブリケットにはわざわざ粉砕した石炭を使うわけですから、山元で廃棄物である粉炭をただでもらって作れば、原価構成で60%以上が石炭の値段ですから、一気に半分以下へコストを下げるができるわけです。

バイオブリケットには酸化カルシウム(CaO)が含まれており、最終的には石膏(CaSO₄)になるわけですから、当然、これを土壌改良剤としても、肥料としても使うことができます。

ホワイトコールで解決図る低い脱硫率

ただバイオブリケットには脱硫率が70%ぐらいまでしかいかないという欠点があります。何とかこれを90%とか95%まで引き上げたいということで研究を進めましたところ、豊橋技術科学大学の金博士が「ホワイトコール」

(図27右側)を発明しました。

ホワイトコールは、ただ刷毛で、通常のパイオブリケット(図27左側)の表面に石灰乳を塗っただけなのですが、表面に拡散してきたSO₂がここでさらに生石灰と反応して硫酸カルシウム(CaSO₄)になりますので、70%の脱硫率が一気に95%に上昇します。

「ホワイトコール」にはもう1つ、ダーティーな石炭をビューティフルにするという意味もあります。特に途上国では、これからますます石炭を使わざるを得ない状況にあります。ただ、石炭は中国でも、黒くて、触ると手が汚れてしまうということで嫌われています。やはり石炭を非常にビューティフルな燃料に変える必要があるのではないかとこのことを常々考えていました。黒い石炭を「ホワイトコール」にすれば人々から好かれるのではないかと考えているわけです。

以上、駆け足で申し訳ありませんでしたが、私の話を終わりにさせて頂きたいと思います。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

〔講演〕

クリーンエネルギーとしての石炭



吉村佳人 (経済産業省 資源エネルギー庁
資源・燃料部石炭課長)

はじめに

本日はクリーンコールテクノロジーを中心に、エネルギーにおける石炭の役割、これから石炭をどう考えていかなければいけないか、お話をさせていただきます。あわせて、時間がありましたら最近私どもが進めていますプロジェクトを若干ご紹介させていただきたいと思っています。

石炭の現状

増える石炭使用量

石炭は、一昨年度においても1次エネルギー供給の17.4%を占めています。図1でも分かるように、ここのところ石炭はずっと17~18%前後の数字で推移しています。

石油の比率を落としていく過程で、もちろん天然ガス、原子力へのシフトもあるわけですが、やはり石炭というのは重要な役割をもっています。もともと半分以上は原料

〔略歴〕

1977年東京大学工学部卒業。同年通商産業省入省(資源エネルギー庁石油部)。

1980年経済企画庁。1982年資源エネルギー庁長官官房、1984年立地公害局。1986年工業技術院総務部、1988年通商産業大臣官房。1989年ヴェネズエラ日本大使館1等書記官。

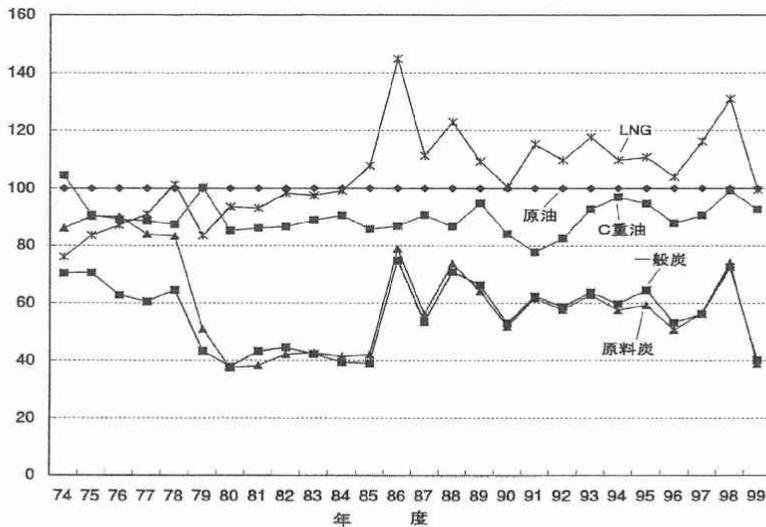
1993年工業技術院総務部研究開発官、1994年九州通商産業局鉱害部長。1996年アルゼンチン日本大使館参事官などを歴任。2001年1月より現職。

シェア (%)		73年度	85年度	90年度	99年度
供給 (百万kl)		414	435	526	593
構成比	石油	77.4	56.3	58.3	52.0
	石炭	15.5	19.4	16.6	17.4
	天然ガス	1.5	9.4	10.1	12.7
	原子力	0.6	8.9	9.4	13.0
	水力	4.1	4.7	4.2	3.6
	地熱	0.0	0.1	0.1	0.2
新エネルギー		0.9	1.2	1.3	1.1

出所：総合エネルギー統計より算出。 ※99年度は速報値

図1 エネルギー供給構造の推移

炭という形で鉄鋼業界で使っていましたが、最近是一般炭の比率が非常に高くなってきており、発電用石炭では一般炭が高い割合を占めてきています。2000年度には初めて使用量が1億5,000万トンを超えました。もともと5,000~5,500万トンというオーダーですので非常に増えてきているということが分かると思います。



※ 原油=100として各エネルギー価格を比較

図2 カロリー当たり平均CIF価格の推移比

安く安定した価格が魅力の石炭

私どもが若干悩んでいるのは、「石炭なんていまだに使っているの?」という人が非常に多いということです。ちなみに、石炭がそんなに使われる理由ですけれども、何と云っても価格が非常に安定しているということがあり、石油価格が非常に乱高下しや

すい中で石炭価格は非常に安定しています。

図2は、エネルギー源別の平均価格の比較です。石炭価格は、総じて原油の6割ぐらいの価格で推移してきています。99年と2000年あたりは大体4割の水準です。基準となる石油価格が乱高下していますのでその分動いていますけれども、基本的に石炭価格は安定している上に廉価です。

項目	年度		2010年度			
	1996年度		基準ケース		対策ケース	
				平均伸び率		平均伸び率
最終エネルギー消費 (原油換算百万kl)	393		456	1.1	400	0.1
産業	195		213	0.6	192	▲0.1
民生	102		131	1.8	113	0.8
運輸	96		112	1.1	95	▲0.1
一次エネルギー供給 (原油換算百万kl)	597		693		616	
		シェア		シェア		シェア
石油 (億kl)	329	55.2%	358	51.6%	291	47.2%
石炭 (百万t)	131	16.4%	145	15.4%	124	14.9%
天然ガス (万t)	48	11.4%	61	12.3%	57	13.0%
原子力 (億kwh)	3,020	12.3%	4,800	15.4%	4,800	17.4%
水力 (億kwh)	820	3.4%	1,050	3.4%	1,050	3.8%
地熱 (百万kl)	1.2	0.2%	3.8	0.5%	3.8	0.6%
新エネルギー (百万kl)	6.9	1.1%	9.4	1.3%	19.1	3.1%

図3 現行の長期エネルギー需給見通し (1998年策定)

一次エネルギー供給の見通し

(単位：原油換算百万kl)

項目	1990年度		1999年度		2010年度				2020年度	
					現行見通し 対策ケース		今回試算 基準ケース		今回試算 (参考値)	
一次エネルギー供給	526		593		616		622		658	
エネルギー別区分	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%
石油	307	58.3	308	52.0	291	47.2	280	45.0	282	42.9
石炭	87	16.6	103	17.4	92	14.9	136	21.9	163	24.8
天然ガス	53	10.1	75	12.7	80	13.0	82	13.2	70	10.7
原子力	49	9.4	77	13.0	107	17.4	93	15.0	112	17.0
水力	22	4.2	21	3.6	23	3.8	20	3.2	20	3.0
地熱	1	0.1	1	0.2	4	0.6	1	0.2	1	0.2
新エネルギー等	7	1.3	7	1.1	19	3.1	10	1.6	10	1.5

※99年度は速報値

図4 長期需給見通しの基準ケース(2001年策定)

石炭はCO2問題から抑制すべきエネルギー

現在、長期エネルギー需給見通し策定が最終段階にあります。図3は1つ前の88年6月の見通しです。石炭によるCO₂発生量は石油、天然ガスに比べて高い、大体一般的に言えば同じエネルギーを取り出すのに出てくるCO₂発生量が石炭5、石油4、天然ガス3ぐらいの割合だと言われています。そのぐらいですので石炭は今後もエネルギーの重要な位置を占めるけれども、使用を抑制すべきエネルギーということになっています。

これに対して、現在審議されて大体まとまりました長期エネルギー需給見通し(2001年度策定、以下同様)では、試算の基準ケースを設けています。図4は1次エネルギー供給ベースでの基準ケースで、今後とも2%弱ぐらいの経済成長を続けていく中で、どのぐらいの1次エネルギーが必要で、それを普通に使用していくとどのぐらいになるかが予想さ

れています。この前提として、当然、新エネルギー導入も、省エネルギーについても現行の施策の中で最大限実施していくとあります。これに基づいて今後のエネルギー使用量を見ますと、2010年度予想では石炭は22%近くまでシェアを伸ばしていきます。1998年策定より3割以上、90年度に比べますと5割以上の伸びを見込まざるを得ません。

しかし、これでは、90年度基準に対してCO₂の発生量が約7%増加してしまいます。第3回国連気候変動枠組条約締約国会議(COP3)、京都議定書に基づく日本の約束は、2008年から2012年の平均でCO₂排出量を90年度比マイナス6%にするということです。これを達成するにはエネルギー起源のCO₂発生量を90年度に比べて横這いにしなければなりません。普通に、現行の努力を重ねていった範囲内では7%増になってしまうということです。これをさらに省エネルギー実施、新エネルギー導入の努力をしていくということが

(単位：百万t-C)

項目 \ 年度	1990年度	1999年度	2010年度		2020年度 今回試算 (参考値)
			現行見通し 対策ケース	今回試算 基準ケース	
エネルギー起源のCO ₂ 排出量 (対90年度比伸び率)	287	313 (8.9%)	287 (0%)	307 (6.9%)	321 (11.7%)

※99年度は速報値

図5 エネルギー起源のCO₂排出量見通し

(単位：億kWh)

項目 \ 年度	1990年度		1999年度		2010年度				2020年度 今回試算 (参考値)	
					現行見通し 対策ケース		今回試算 基準ケース			
発電電力量 (電気事業者)	7376		9176		10560		10292		11260	
発電別区分	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%	実数	構成比%
火力	4466	60.5	5063	55.2	4360	41	5074	49.3	5115	45.4
石炭	719	9.7	1529	16.7	1360	13	2351	22.8	3420	30.4
LNG	1639	22.2	2405	26.2	2130	20	2341	22.7	1572	14.0
石油等	2108	28.6	1129	12.3	870	8	383	3.7	122	1.1
原子力	2014	27.3	3165	34.5	4800	45	4186	40.7	4946	43.9
水力	881	11.9	893	9.7	1190	11	966	9.4	1125	10.0
一般	788	10.7	769	8.4	980	9	803	7.8	803	7.1
揚水	93	1.3	123	1.3	210	2	163	1.6	322	2.9
地熱	15	0.2	34	0.4	120	1	37	0.4	37	0.3
新エネルギー	-	-	21	0.2	90	1	29	0.3	37	0.3

図6 発電電力量（電気事業者）の見通し

当然必要になってきます。そういう中で石炭をこれだけ使っていますととても間に合わないということになるんだろうと思います。

図5は先ほど申しましたCO₂排出量の見通しです。99年度はカーボン換算で3億1,300万トン、90年度に比べて8.9%増、今回の基準ケースですと3億700万トン、対90年度比ゼロとするためには、2,000万トンのカーボンを落とす必要が出てきます。

ちなみに基準ケースでいきますと、図6に示しますように、やはり石炭が増えていくのは発電用です。90年度における発電電力量に占める石炭のシェアは9.7%でした。これが今

回の基準ケースでは22.8%まで拡大しています。その理由として、石炭の価格が安定していて安い。さらに、供給安定性にも優れていることが挙げられます。

今回の資源総合エネルギー調査会の中に作ったセキュリティワーキンググループによる検討の中でも、やはり石炭は安定供給性が高いとされています。なお、現在、日本は1億5,000万トンを輸入していますけれども、そのうちの6割がオーストラリア、あと大体1割ぐらいのオーダーで中国、インドネシア、カナダ、残りが米国とか、一部南アフリカ、そんなところから入ってきているというのが現

状です。

今後、石炭の消費が増える。しかし、COP 3での約束を守るためにカーボン換算で2,000万トン落とさなければならない。省エネルギー実施と新エネルギー導入で1,500万トンをさらに減らしていくのですが、残り500万トンをどう減らすかが実は今後の課題です。

クリーンコールテクノロジー

2010年以降も続くCO₂問題

その解決策として出てくるのがクリーンコールテクノロジーです。もちろんクリーンコールテクノロジーは、現在でも少しずつ導入されてきていますが、必ずしも全てが2010年に間に合うというものではありません。しかも、この地球温暖化防止の努力は2010年がクリアできればそれですべてというわけではありません。2020年度の暫定的な試算(図4)では、1次エネルギー供給における石炭のシェアは24.8%、4分の1近くまで増えていくという見通しになっています。逆に言うと天然ガスは伸び悩む。これはまさに石炭の価格、安定供給性という面が影響しているわけですが、2020年度においてもCO₂の問題が残っているということになります。

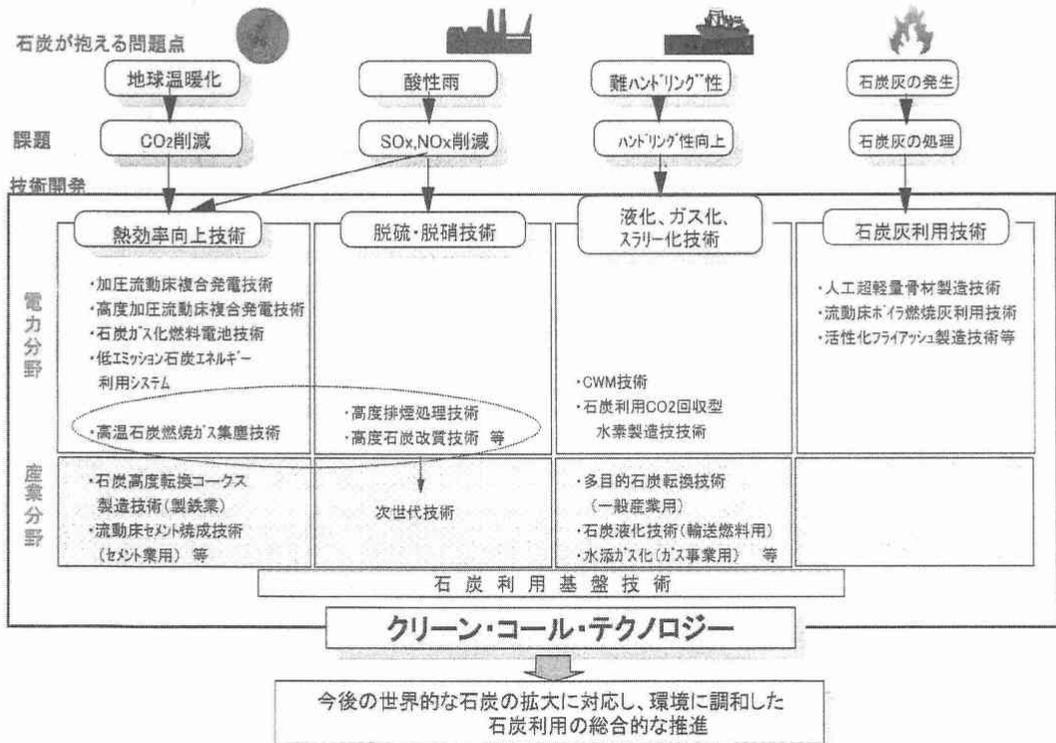


図7 クリーンコールテクノロジーの必要性

石炭が抱える課題—CO₂削減、SOx及びNOx削減、ハンドリング性向上、石炭灰の処理

① CO₂削減

クリーンコールテクノロジー、石炭にとっての課題として、現在の最大の課題は地球温暖化に対していかにCO₂を削減していくかです。最も常識的に言いますと、熱効率の上昇、特に発電分野での発電効率を上昇させるということに尽きるかもしれません。

② SOx及びNOx削減

ただ、石炭の課題はそれだけではありません。現在、中国が大体年間9億トンから10億トンを消費しています。SOx、NOxが相当発生してくる。こういったところも技術として対応していかなければいけません。

ちなみに日本ですと、大体、SOx、NOxも10PPMですとか、30PPMですとか、非常に微

量なオーダーに落ちてきています。例えば日本の最新鋭の火力発電所に行きましても、煙も当然出ません。雨が降れば水蒸気が少し白く見えるという程度です。非常にクリーンな状況になっています。しかし、中国に行けば、まだまだ相当黒い煙が出ているということです。

③ ハンドリング性向上

もう1つは難ハンドリング性。固体だからです。最近はかなり微粉の形で輸入されてきてまして輸送上の問題もかなりなくなっています。とは言え、液体燃料に比べれば相当問題があるということになります。

④ 石炭灰の処理

さらに問題なのは石炭灰の発生です。石炭灰は、現在、7割ぐらいが有効利用されています。主にセメント、あとは路盤剤ですとかに利用されています。このような再利用の技

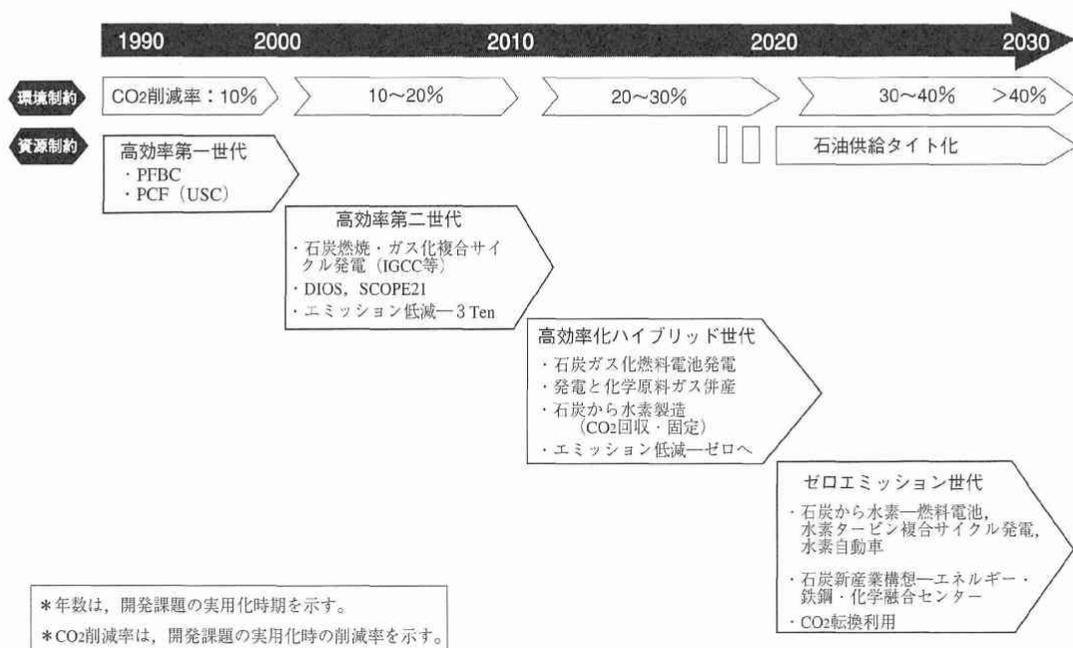


図8 石炭利用技術戦略—21世紀への挑戦—

術開発もかなり行っているわけですが、これを総合的に推進していくというのがクリーンコールテクノロジーということなのです。

技術開発の重点は

USC高度化、PFBC及びIGCC

それでは、今後どういうふうクリーンコールテクノロジーを進めていくか。実は1昨年、「21世紀石炭技術戦略研究会」(委員長：持田勲・九州大学機能物質科学研究所教授)を開催しました。今後の研究開発課題、及び実用化に向けての戦略ということで実施し、報告書をまとめたところです。(図8)

まず、クリーンコールテクノロジーにおいて技術開発として一番進めてきましたのは、もちろん微粉炭燃焼火力(PCF：Pulverized Coal Firing)の高度化(超々臨界圧条件USC：Ultra Super Critical)、加圧流動床(PFBC：Pressurized Fluidized Bed Combustion)ボイラによる発電です。今までの成果としては、PFBCにより発電効率が42%くらいになりますので、10%のCO₂削減が可能となっているということです。例えば、発電効率42%のPFBCクラスのもので、2010年までにリプレイス(老朽化したボイラの取換え)する発電所や、新規立地の発電所に導入されたとすれば、それだけで計算上300万トンくらいカーボンの排出量が減ります。ということで、このくらいのことができるのと相当クリティカルに貢献できます。さらに現在、2020年以後に向けて、電力各社でIGCC(石炭ガス化複合発電)のプロジェクトが始まりかけているところです。2010年くらいまでにIGCCの技術開発を行い、普及を図るということになります。

2020年に向け私どもとしては、さらにこれを進めCO₂削減率で20~30%ぐらいの「ハイブリッド世代」を目指していこうとしています。その代表選手として、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電)があります。私どもの技術開発プロジェクトでは「EAGLE」(イーグル)と呼んでいるものがあります。ガス化複合発電に加えて、ガス化した水素と一酸化炭素を燃料電池の燃料にすることで高効率の電力を取り出すという内容です。さらに、例えば石炭を使って化学原料のガスの併産みたいな形で効率を上げていく。例えばDME(ジメチルエーテル)とかの形での利用もこの「ハイブリッド世代」では考えられていくのではないかと考えているところです。

さらに、2020年以降に向けては、石炭から水素を作る。基本的にはカーボンに水をかけて水素を作る。CO₂については、例えば地下貯留していくというような形でできれば、石炭を使っても表には、水素やそういったエネルギーしか出てこない。CO₂はもう一度地下へ戻すという、「ゼロエミッション世代」を目指しています。石炭を使っても実はCO₂からもフリーになります。そして、NO_x、SO_xについては現在やっている「スリーテン」(SO_x10PPM未満、NO_x10PPM未満、煤塵10ミリグラム未満)という技術がほぼ完成しています。さらに進んだコンセプトでエミッションも減ってくるということで、2030年に向けてさらに野心的な技術開発を進めていく必要があると考えているところです。

現段階でのCO₂削減効果

PFBCボイラ導入で送電端効率42%に

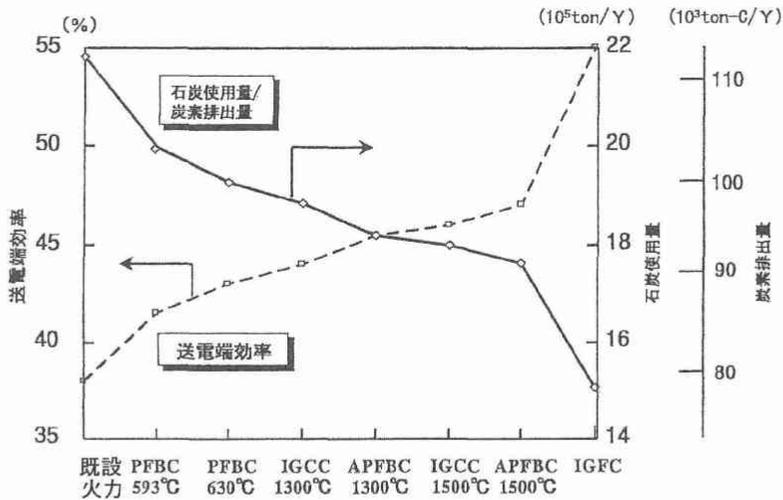


図9 CCTによるCO₂排出量比較

現在のクリーンコールテクノロジーで炭素排出量をどれだけ削減できるか。送電端効率38%で、100万キロワット級の既設火力発電所を考えますと、石炭を年間220万トン焚くということになり、CO₂が大体110万トン（カーボン換算）出てくることになります。そこでPFBCを使いますと、大体、送電端効率が42%になります。既に、九州電力の苅田発電所、北海道電力の苫東厚真発電所、中国電力の大

崎発電所にPFBCが導入されており、大体このぐらいの効率になってくると思います。石炭使用量がほぼ10%減り200万トンを超える水準になります。さらにIGCC、将来的にはタービン燃焼室の温度として1,500℃を目指しています。1,500℃に達しますと、送電端効率が45%を超える水準になりますので、石炭の使用量は180万トンぐらいで済むようになります。

さらに、PFBCの次世代タイプですと、送電

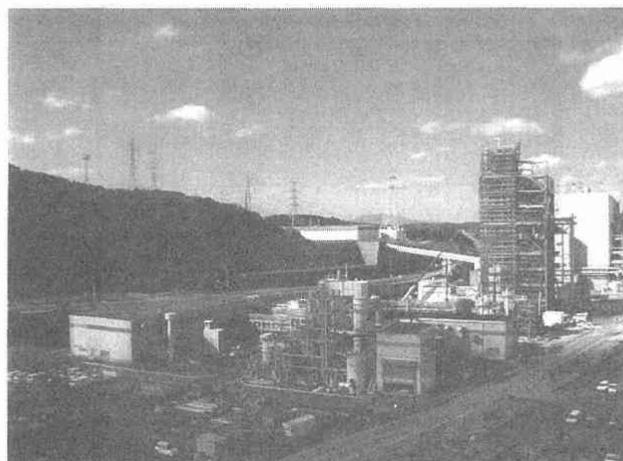


図10 EAGLEプラントの外観

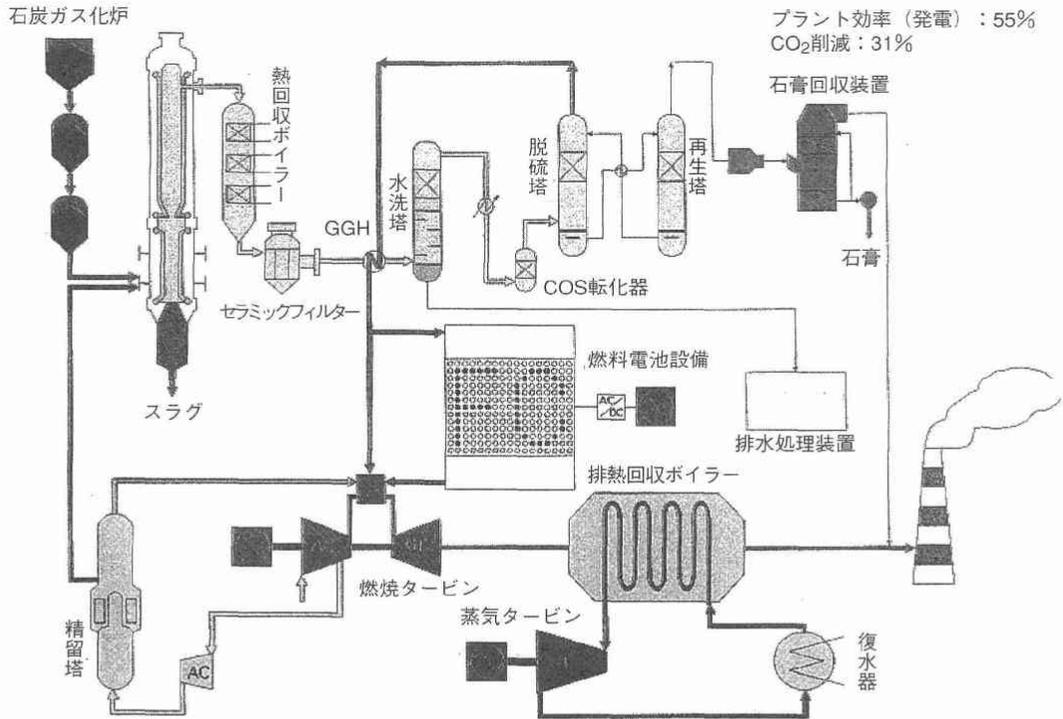


図11 IGFCフロー図

端効率が48%ぐらい。さらにIGFCを加えれば55%以上の送電端効率になりますので、石炭使用量は150万トンで済み、約3分1減ってきます。これだけ減ってくると、石炭からのCO₂排出量は、既存の天然ガス火力とほぼ近い水準になります。既存の天然ガス火力ぐらいまで落ちてくれば、先ほど言った将来のCO₂削減に対して非常に効果的に効いてくるということが言えるのではないかと思います。

技術開発の例

—IGFCパイロットプラント

現在私どもが進めています技術開発の一例をご紹介しますので、ご紹介します。これはIGFCのパイロットプラント「EAGLE」で

す。現在、電源開発(株)の若松事業所構内に建設中です。規模は150トン/日です。(図10)

図11にあるように、石炭を石炭ガス化炉に入れます。炉から出てくるのはCOと水素です。これを燃料電池の燃料にするために、脱硫したり、COS転化器を通したりして、ガスとしていろいろ精製していきます。もちろん、その間、熱効率を高めるために熱交換をかなりやっていくわけですが、炉から出てきたガスを燃料電池に入れ、燃料電池で6割近く発電をします。残ったエネルギーで燃焼タービンを回すと同時に、排熱回収ボイラーで蒸気タービンを回していくという3段階のサイクルになります。従って、従来のランキンサイクル等の限度を超えて、送電端効率55%ぐらいを図れる。CO₂の削減量は31%ということです。

実は、燃料電池自身もまだ完成の域に達し

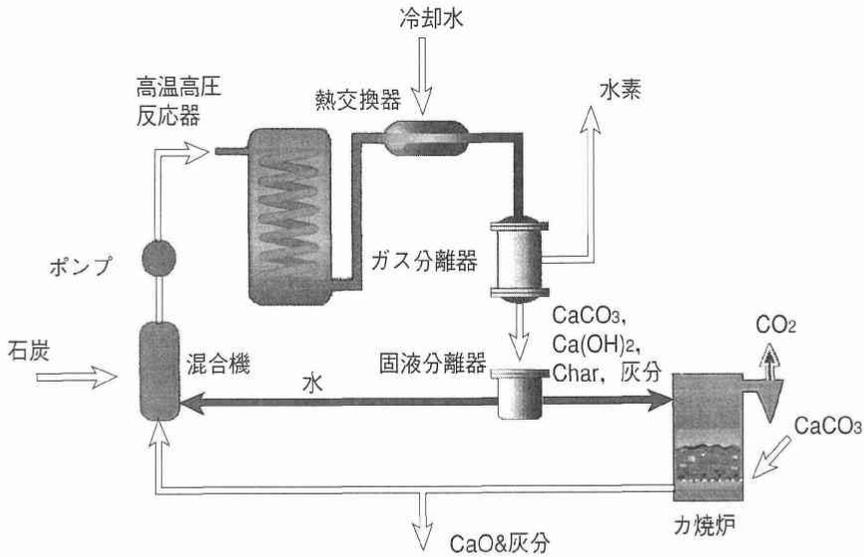


図12 石炭利用CO₂回収型水素製造プロセスの一例

ていません。もちろん、ここで使う燃料電池は、自動車用の燃料電池と違い、MCFC（溶融炭酸塩形燃料電池）かSOFC（固体電解質形燃料電池）になります。

しかし、単に効率を上げればいいというわけではありません。工程が複雑になりますので、いかにコストを削減するかという大問題があります。既に実用化しているPFBCにしても、現状ではコストが10%ぐらい高くなってしまふということです。CO₂排出量が10%減ってもコストが10%上がってしまったのではやはり使われないうことになります。コスト削減努力は常に必要になってくるのではないかと考えています。

ただ、将来的には、カーボンに値段が付く可能性も十分あります。カーボンが、例えば何千円という時代も別に不思議な話でなくなるのかもしれませんが。そういう意味ではカーボンを含めた形でのコスト削減も夢ではないと思っています。

石炭利用CO₂回収型水素製造

—生成物は水素とCO₂

若干夢の話ですが、最終段階で「ゼロエミッション世代」を目指しています。

図12は、非常に小さな規模での研究開発、実験室レベルですが、私どもが将来に備えシーズとして研究開発を進めている、石炭利用CO₂回収型水素製造プロセスの概念図です。ほぼバッチの形での試験しかしていませんので、今後どうなるか分からないのですけれども、将来的にはこういう形での技術開発をしていかなければいけないのではないかと考えています。通称「ハイパーリング」と呼んでいます。

概念としては、石炭にCaO（酸化カルシウム）を入れ、これを水とともに高温高压の反応器で反応させます。ほぼ超臨界に近い条件で反応させると、実は、ほぼ100%に近い形で生成物は水素になります。もちろん、条件に

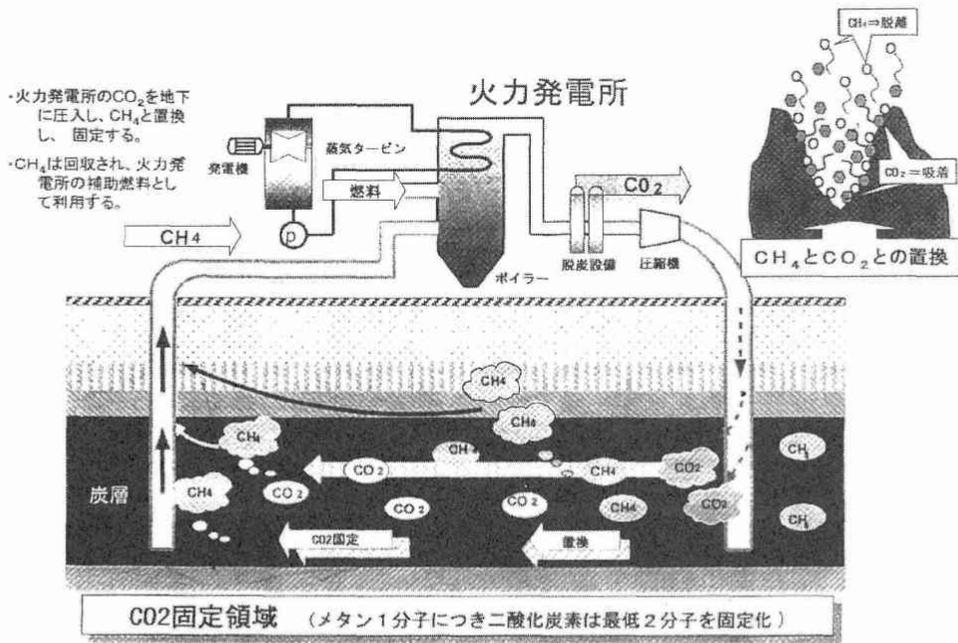


図13 CO₂固定—メタン置換回収メカニズム

よってメタンやCO（一酸化炭素）も出てこないわけではないのですが、基本的にはほぼ純粋に水素の形で取り出すということを考えています。当然、取り出した水素を利用していくこととなりますが、炭素と水だけの反応です。水素以外の生成物はCO₂となります。これがCaOと反応してCaCO₃（炭酸カルシウム）が分離します。若干灰分がありますのでこれを後で抜かなければいけないのですが、これをカ焼炉*に入れますと、CO₂がほぼ純粋な形で発生してくるわけです。このCO₂をどこかに貯留してしまえば、実は地下から石炭を掘り出して、地上には水素だけしか出なくて、CO₂は地下に戻すという形が考えられるのではないかと思います。

炭層への固定化でCO₂を地下に貯留

CO₂をどうやって地下に貯留するのか。現在、ちょうどJCOAL（R石炭エネルギーセンター）が中心になりまして、CO₂を炭層に固定化してしまおうという検討を行っています。もちろん、日本でも、石炭は生産量こそ今年の計画で360万トン、坑内掘りは300万トンぐらいですけれども、賦存量自体は大変あるわけです。日本にも炭層は非常に多く広がってしまっていて、経済的に見合わないので掘れないというだけの話です。

図13は、火力発電所の例です。CO₂を炭層の中に圧入する。石炭というのは大体メタンガスを吸着していますが、メタンガスよりも

*カ焼（calcination）：物質を空气中で強熱して揮発性成分を除き灰状の物質にすること。石灰石を熱して二酸化炭素を除き生石灰を得る類。

〔講演〕

21世紀の天然ガスとわが国の課題



十市 勉

(財)日本エネルギー経済研究所
常務理事

はじめに

今日は、天然ガスの問題に焦点を絞りました。まず資源的な観点から21世紀を考えたときに、天然ガスをどう考えればよいのかについてお話します。

化石エネルギーの中で今一番人気があるのは天然ガスです。最近、エネルギーの話をして必ずガスの話が一番中心になります。実は先週もアメリカのコロラド州アスペンでエネルギー関係の会議があり、アメリカから100人近くいろんな方が参加されました。大きな話題は、カリフォルニアの電力危機だったのですが、天然ガス価格の高騰が電力危機の大きな原因の1つになったということで、大変関心も高く、天然ガスについていろんな意見が出されていました。

天然ガスは非常にクリーンで、これから21世紀にますます重要性を高めていくと思いますが、やはり輸送コストが非常に高いという問題があります。具体的には、最終的に利用するために必要なインフラをどう整備していくかということが非常に大事な問題です。それから、やはり技術、いかに天然ガスをクリーンに、かつ効率的に使っていくのか。こう

〔略歴〕

1973年東京大学大学院博士課程を経て理学博士を取得。同年日本エネルギー経済研究所研究員。1979年省エネルギーセンター研究室長。

1983年マサチューセッツ工科大学エネルギー研究所客員研究員。

平成12年より現職。総合資源エネルギー調査会等、各種審議会委員も務める。

いう視点から天然ガスの21世紀における役割を考えていく必要があると思います。

天然ガスの消費量と生産量の推移

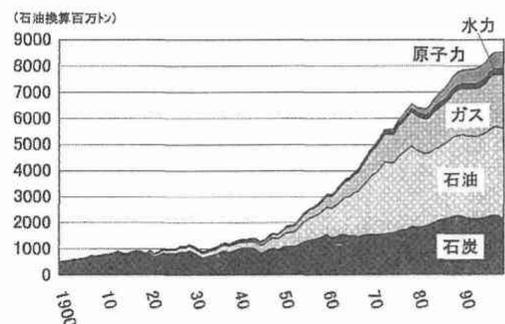


図1 世界のエネルギー消費の推移

図1は20世紀の商業用エネルギーの消費の推移です。2000年において、石油が依然として1次エネルギーの40%を占めています。実

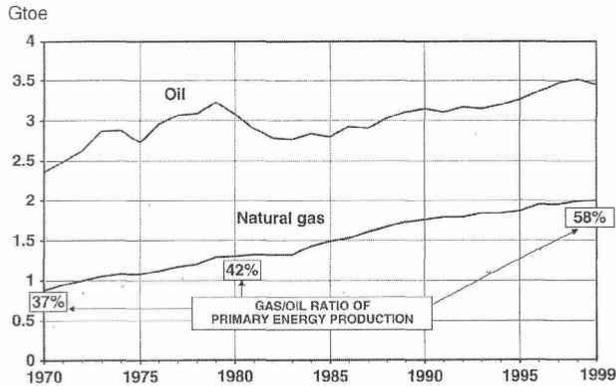


図2 石油と天然ガスの生産量の推移

これはBP統計の数字ですが、注目すべきことは、石炭とガスが2000年でほとんど拮抗したということです。これまでは石炭が石油に次ぐ第2の化石エネルギーで、ガスは3番目でした。2000年になりますとほとんど同じ、25%です。多分、2001年は天然ガスが石炭のシェアを追い抜いて第2の化石エネルギーになるだろうと思います。これはここ3、4年、中国の石炭消費が大幅に減ったということが要因の1つだと思います。

図2は石油と天然ガスの生産量の推移です。石油は第1次、第2次オイルショックの後、余り増えず、むしろ下がりました。やっと90年代後半になって過去のピークを超え、35億トンぐらいになりました。天然ガスは傾向と

して増え続けています。生産量は石油の58%まで増えてきました。30年前の37%に比べても相当天然ガスの生産量が増えてきています。

図3は、今年の春に米国エネルギー省の中のEIA（エネルギー情報局）が作った2020年までの世界の長期エネルギー需給見通しです。他にもIEA（国際エネルギー機関）が作った見通しなどいろいろありますが、大体一致していますのは、石油は21世紀に入っても、最大のエネルギー供給源であり、シェアは若干低下するにしても、絶対量としては増えていくだろうということです。

99年でほとんど同じだった石炭と天然ガスは、このEIAの見通しでは、天然ガスが石炭よりも高い伸びを示し、これから石油に次ぐ

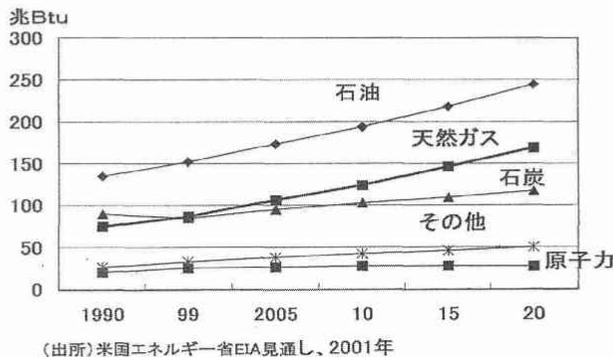


図3 世界の長期エネルギー需給見通し

第2の重要なエネルギーとなるとされています。石炭も絶対量では増えていくわけですが、伸び率でいくと、途上国ではまだ利用されるのですが特に先進国での利用が余り増えず、全体として天然ガス需要の高い伸びが予想されているわけです。

天然ガス利用拡大の背景

表1 世界の天然ガス利用拡大の背景

・天然ガス利用インフラの整備 パイプライン網、LNG基地など
・天然ガス利用技術の向上 ガス複合発電(CCGT)、コージェネの普及
・環境問題への関心の高まり 低い環境負荷、地球温暖化対策など

世界の天然ガスの利用拡大がこういう形で近年めざましく進んで、これから将来も進んでいくだろうと見られている最大の理由は、天然ガス利用のインフラが非常に整備されるだろうということです。欧州では、パイプラインネットワークが過去30年間で非常に整備されてきました。日本ですとLNG基地、それとつながった都市ガスの幹線パイプラインも含めてインフラ整備がかなり進んできたということが大きな理由の1つです。

2番目の理由は、天然ガスの利用技術の向上です。特にガス複合発電(コンバインド・サイクル)、特にガスタービンの技術が非常に発達して、発電効率が50%を超え、将来60%を目指す発電効率がターゲットになっているところまで来ています。最近、世界の新規発電所の70%は天然ガス焚きです。世界で天然ガス利用の発電が大変な勢いで伸びていると

いうのは、特にコンバインド・サイクル発電に見られるように、発電効率の急激な上昇が大きな理由です。加えて、コージェネレーション技術が進み、エネルギーの利用効率がいいというのも普及の要因です。

3番目の理由は、90年代に入りまして環境問題が非常に重要な課題になってきたということがあります。硫黄酸化物(SOx)、窒素酸化物(NOx)、煤塵等在来型の汚染物質排出抑制だけではなく、二酸化炭素(CO₂)問題という点からも天然ガスに対する期待が非常に高まっています。

天然ガスの確認埋蔵量

それでは資源的な話を何点かお話しします。図4で、石油の確認埋蔵量は、87年辺りで急増しています。これは中東産油国を中心に埋蔵量が上方修正されたからですが、基本的には大体1,400億トンぐらいで、それ以降横這いで推移しています。バレルでいきますと1兆バレル程度です。

それに対して、天然ガスの確認埋蔵量は1970年では石油の半分ぐらいしかなかったのが、2000年では石油を追い抜きました。これも非常にエポック・メイキングなことだと思います。

天然ガスはどこに賦存しているか。石油は中東に3分の2が偏在しており、サウジアラビア1カ国で25%を占めているわけです。天然ガスは図5に示しますように、ロシアに33%がある。それからイランが16%です。ロシアとイランを足しますと半分近くの確認埋蔵量が賦存しているということで、天然ガスもかなり偏在しているということが言えるか

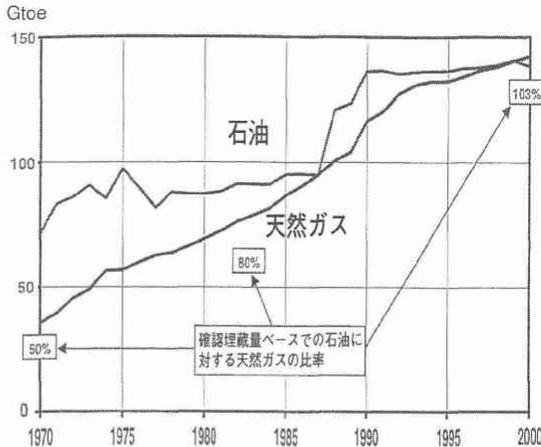
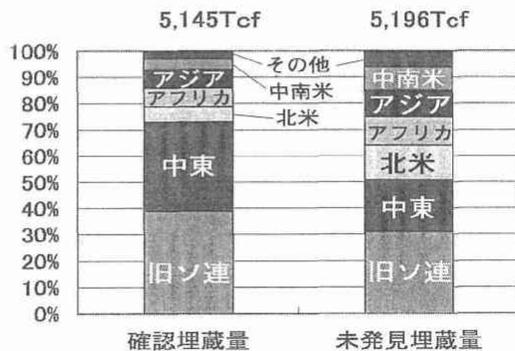


図4 世界の天然ガスの確認埋蔵量

もしれません。その他、カタール、UAE（アラブ首長国連邦）、サウジ、アメリカ等ありますが、ロシアとイランは天然ガスにおいて、石油におけるサウジアラビアと同じポジションを占めると言えます。

図6は、米国地質調査所の見通しによる確認埋蔵量で見た場合の天然ガスの地域分布ですが、旧ソ連で大体40%、それから中東が大体35%です。未発見埋蔵量も同資料によれば、その他、北米、アフリカ、アジア、中南米というふうに、世界的には探鉱開発されていない資源が相当ありそうです。確認埋蔵量と同程度の未発見埋蔵量があるということ、



(出所) 米国地質調査所、2000年

図6 天然ガス埋蔵量の地域分布

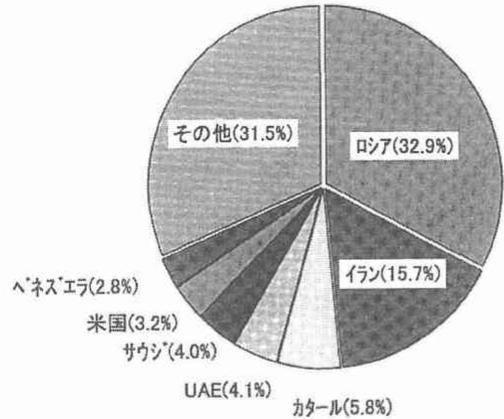
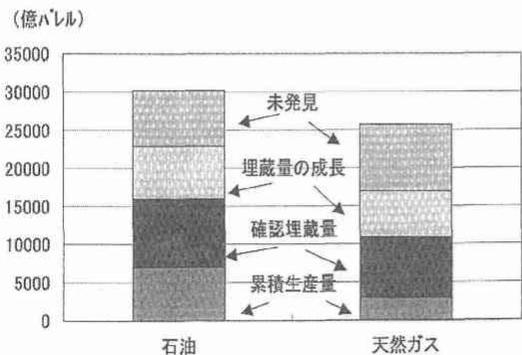


図5 天然ガスの国別埋蔵量分布

これから資源開発を行えば、かなり追加される可能性があります。

2030年頃がピークかも知れない石油時代

図7も、同じく米国地質調査所が作成した究極可採埋蔵量（現在の技術なりコストを前提として人類が究極的に採り出せる埋蔵量）に関する比較的最近の見通しです。石油の究極可採埋蔵量は、大体3兆バレルというのが新しい見通しです。2兆バレル～2兆5000億バレルというのがかなり長い間の定説だったので、最近はもう少し高い水準にきてい



(出所) 米国地質調査所、2000年6月

図7 石油・天然ガス埋蔵量評価 (USGS)

ます。内訳を見ますと、既に使ってしまった累積生産量が大体7,000億バレルぐらいで、4分の1はもう人類が使っています。残りの1兆バレル弱が確認埋蔵量ですが、今の生産量だと後40年でなくなってしまうという量です。「埋蔵量の成長」というのは、既存の生産井なり、発見されている油田の周辺で新技術によって回収可能となる埋蔵量ということです。既存の油田などの回収率はせいぜい30%、良くて4割弱ですが、水平掘削などの新技術を使い非常に回収率の良いところでは60%、70%という油田もあるということです。それから未発見の量もかなりあります。累積生産量と確認埋蔵量の合計は、究極可採埋蔵量のはほぼ半分です。

石油時代のピークというのは誰も予測できませんが、今の生産量でいきますと大体2030年頃には究極可採埋蔵量の半分を使ってしまうということです。ですから、2030年前後が石油時代のピークと考えても良いのかなと思います。

石油に匹敵する天然ガスの究極可採埋蔵量

それに対して天然ガスは、究極可採埋蔵量では石油換算で2兆6,000億バレルぐらいですから、石油に匹敵する量があります。

既に生産した量は、まだ非常にわずかで、石油換算でも全体の十数%しか使っていません。天然ガスの確認埋蔵量は今の消費量でいくと大体60年分ということです。埋蔵量の成長や未発見分、さらにメタンハイドレードも含めた、非在来型のガスを加えますと、天然ガスは資源量的には21世紀のかかなりの期間、相当量あると考えていいかなと思っています。

天然ガス利用促進の課題

鍵握る利用技術の進歩

天然ガス利用の普及は、利用技術がこれからどういう形で進歩していくかということに依存します。

表2 天然ガス利用の技術革新

- ・ガス複合発電 (CCGT) —発電効率の向上
- ・Mirco Gas Turbine—業務用、家庭用
- ・燃料電池—固体高分子型、リン酸型など
発電、コージェネ、輸送用
- ・ガス合成燃料—GTL, DMEなど

ガス複合発電にはもっと改善の余地が残されているということです。

最近非常に注目されているマイクロガスタービンはコージェネ型が特に経済性の面から非常に有望だということです。

燃料電池についても、特に固体高分子型はフィーバー気味なほど注目されています。その他、石炭などを使った新しいタイプの燃料電池も研究開発途上です。用途も発電、コージェネ、輸送用を含めて、非常に多様な形で天然ガスの利用をうまくすれば、広範な分野に使っていける可能性があるという意味で非常に大事な技術です。

それからガス合成燃料、特に液体燃料としてGTL (ガス・トゥー・リケイド)、DME (ジメチルエーテル) なども新しい技術として今大変注目を集めています。

来るかガス体エネルギー時代

課題は輸送インフラとコスト

多分、19世紀から20世紀前半が石炭—固体エネルギー、20世紀後半から21世紀に入って20～30年が石油、その後、ガス体エネルギーが化石エネルギーの主役になる時代がくると思います。そのガス体エネルギーとして、天然ガスがメインになるわけですが、より長期的には多分水素が、環境的にもよりクリーンだという理由で利用されると思います。

ただ問題は、水素を作るうえで最も経済性が高い天然ガスを含めた、ガス体エネルギー輸送を世界的にどうするかということが非常に重要な課題になってきます。

図8は、世界の天然ガス貿易量の推移です。96年に急に上がっています、これはたまたま

旧ソ連が分裂して、例えばロシアからウクライナに行っていたもの、かつては国内取引だったものが国際貿易に加わったためです。

いずれにしろ、世界で今消費されている天然ガスの大体25%、4分の1が国際的な取引、貿易されています。

石油の場合は40%以上が国際貿易ですから、それに比べると天然ガスは、輸送コストが高いということもあり、貿易財としてはまだまだ小さなシェアです。それでも一貫して増えており、貿易量の25%のうち約20%はパイプラインによる輸送で、5%が液化天然ガス(LNG)によるものです。天然ガスの需要が増えるに従って、シェアが右肩上がりが増えていくと思われます。

図9はLNG輸入量の推移です。大体世界のLNG輸入の3分の2を日本が担っています。

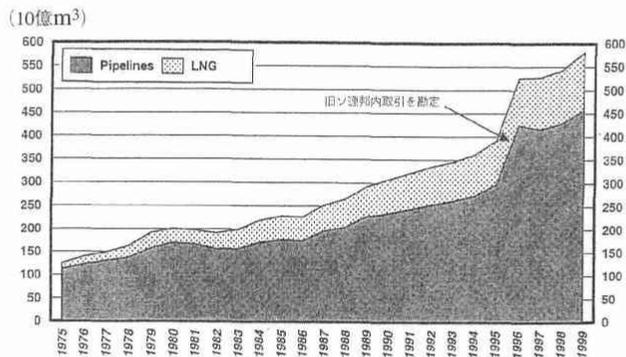


図8 世界の天然ガス貿易量の推移

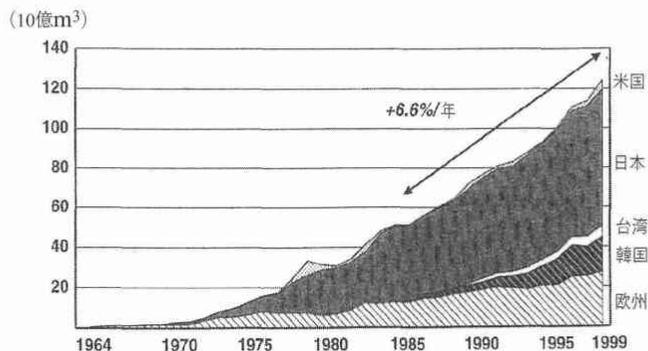


図9 LNG輸入量の推移 (国別)

しかし最近ではアジアでも韓国、台湾。2005年、2006年になれば中国、インドあたりもLNG輸入をかなり増やしてくると思われま

す。ヨーロッパもパイプライン供給が中心ですが、LNGについても少しずつ増えてきています。

アメリカでは、LNGはもともと非常に小さな供給源でした。しかし、アメリカ国内の天然ガス価格が高騰し、ここ1、2年はLNG輸入がかなり増えてきています。4カ所あるLNG基地のうち今、2カ所を運開するようになってきましたし、新しくLNG基地を建設するという計画が幾つか動き始めています。これからアメリカの天然ガス価格は、100万BTU当たり3～4ドル前後で推移していくという見通しがかなり有力です。そういう意味では、アメリカでもLNGの輸入がかなり増えていくだろうと思います。

輸送手段としての経済性比較

パイプラインとLNGの2つの輸送手段があります。どちらがより経済的かという点についてはいろいろな条件によって異なります。

一般的には距離と輸送コストを考えますと、大体距離が長いとパイプラインよりもLNGの輸送が安いし、近いとパイプラインのほうが安い。そのブレイクイーブンは、Pauwels (1994) の見通し (図10-①) によれば、大体3,000km～4,000kmぐらい。Jansen Associatesの見通し (図10-②) だと1,500km～3,000kmです。いずれにしても距離によってかなりLNGとパイプラインの経済性は異なってきます。エクソンによる見通し (図10-③) ですと、1,500マイル～4,500マイルがブレイクイーブンにな

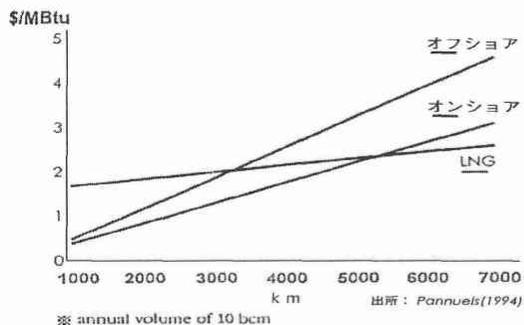


図10 輸送コスト比較—①

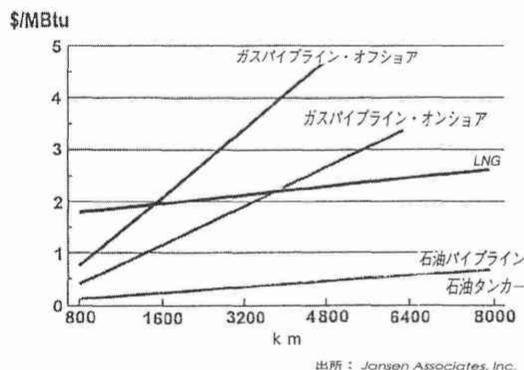


図10 輸送コスト比較—②

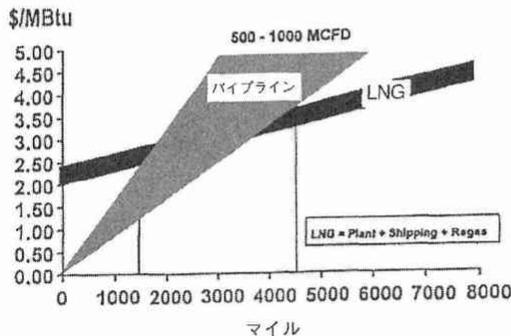


図10 輸送コスト比較—③

っています。

サハリンの天然ガスをパイプラインで持ってくるか、LNGで持ってくるかという2つのプロジェクトが動いていますけれども、これは国によって、その時の条件によって建設コストが変わりますので一概にどちらが絶対有

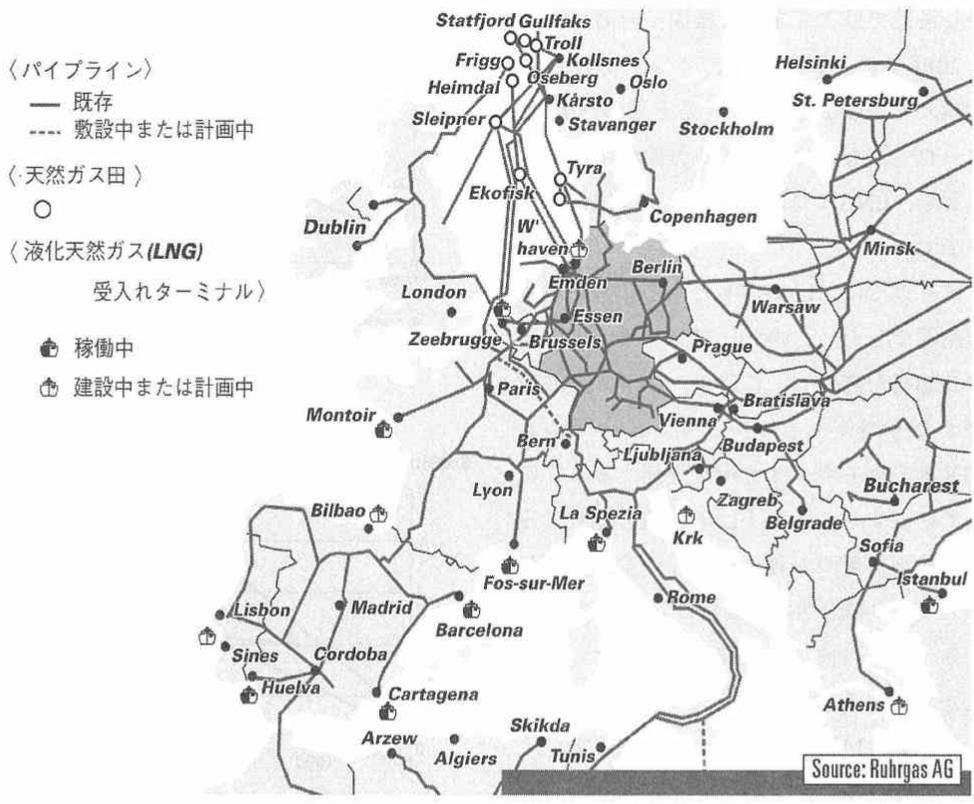


図11 ヨーロッパの天然ガス輸送システム（2001年）

利ということは言えません。近いところはパイプラインが当然有利になるということです。

図11はヨーロッパの最新の天然ガス輸送システム（2001年）です。太い実線がパイプラインで、ロシア、北海、アルジェリアなどアフリカからヨーロッパに天然ガスが輸送されています。ヨーロッパの場合、過去30年ぐらいの間にこういうパイプラインネットワークが人間の血管のように張りめぐらされてきました。少し小さな船の絵は、LNGターミナルを表しています。こういうパイプラインとLNG基地の両方あります。

パイプライン・ガスが天然ガス市場の価格形成を行い、それに経済性がある時にはLNGも入ってきて、パイプライン網につながると

いう形です。ヨーロッパでは、このようなネットワークができたことで発電の面で選択肢が非常に増え、原子力に依存しないでやっというということも可能になりました。石炭からガスにシフトすれば、安く、クリーンで、しかもCO₂も減らせます。ヨーロッパはこのネットワークを作ったことが今いろいろな強みになっているということです。60年代から80年代までドイツもイギリスも、石炭産業を保護して、ずっと高いコストのエネルギーを使ってきたわけですが、こういうネットワークの完成によって安いガスを供給して、非常にいい循環ができるようになりました。それはこのインフラ整備のおかげだと思います。

図12で示したように、パイプライン発展の

	英国	フランス	イタリア	ドイツ	スペイン	アメリカ合衆国
1920's				・1926年 石炭ガスP/L建設開始		
1930's				・1930年代 ルール地方からハノーヴァー、フランクフルトへ石炭ガスP/L建設		・1931年 テキサスーシカゴ間、オクラホマーミネアポリス間ニ高圧P/L建設
1940's			1944年 北極海ー川運移ガス田発見			・第2次大戦中 石油・石炭価格の高騰による天然ガスの優位性拡大 ・第2次大戦後 北東部向けP/L建設進展
1950's		1951年代前半 アラスカ油田発見・開発 4,000km	700km			
1960's	・1954年 アルジェリアからLNG輸入 ・1960年代前半 北海で天然ガス発見・開発	・1957～1960 南西部(ラックガス田周辺)からパリ、リヨン、ナントへ向けて長距離P/L建設 ・1965年 アルジェリアからLNG輸入 ・1967年 オランダからP/Lガス輸入	・1960年代 全国でガス田発見・開発 4,600km	・1960年代前半 国内ガス田発見(ピレニア南フランス) ・1963年 オランダからP/Lガス輸入	・1969年 リビアからLNG輸入	
1970's	・1966～77 ネットワーク整備(北海での天然ガス発見が契機)	・1976年 旧ソ連からP/Lガス輸入 ・1977年 ノルウェーからP/Lガス輸入	・1971年 リビアからLNG輸入 ・1974年 オランダ、旧ソ連からP/Lガス輸入 15,000km	・1970年代 ネットワーク整備進展 ・1973年 旧ソ連からP/Lガス輸入	・1975年 アルジェリアからLNG輸入 ・1976年 ナショナルP/L建設開始	
1980's			・1981年 アルジェリアからP/Lガス輸入 19,000km			
1990's		27,000km	24,000km		・1993年 ノルウェーからP/Lガス輸入 ・1996年 アルジェリアからP/Lガス輸入	
輸送P/L延長	17,900km	27,000km(GSF所有のP/L)	24,700km	62,700km	5,700km	402,000km以上

図12 欧米におけるパイプライン発展の歴史

歴史は国によって異なります。ヨーロッパでは、イタリア、フランス、ドイツ、イギリスも、もともと国内でガス田が見つかり、それを消費地に持ってくるためにパイプラインを作るというところから始まりました。1940年代、60年代に、そういう形でほとんどの国がスタートしています。

ガスのパイプラインができ、需要が増え、足りなくなったときに今度は輸入するという形で、ロシアやオランダからパイプラインを引いたりしてきました。パイプラインネットワークは、かなりの時間をかけて徐々に広がっていった、そういう歴史的な経緯があります。アメリカはもともと国内にたくさんのガス田があり、州際パイプライン等は1930年代からずっと作られてきています。

図13は、パイプラインネットワークの形成のイメージです。1つの流れは国内にあるガ

ス田を発見し、それを開発し、消費地まで持ってくるということでネットワーク整備が行われる。ネットワークができてくるとガスは非常にクリーンで使い勝手がいいため消費が増えてくる。そうすると当然国内のガス田だけでは足りなくなりますから、どこかから輸入しないとイケない。そこで、LNGの形で持ってきて、そこから消費地までパイプラインを作る、あるいは近隣諸国に大きなガス田があれば、ロシア、北海、あるいはアフリカ等からのパイプラインを作る。すると、またネットワークが広がって需要が増える。こういう一種の好循環といえますか、拡大再生産のプロセスでネットワークが数十年かけてでできてきたのがヨーロッパ、アメリカ、カナダです。

それと若干違いますが、国内に余り大きなガス田がないけれども、安全保障、セキュ

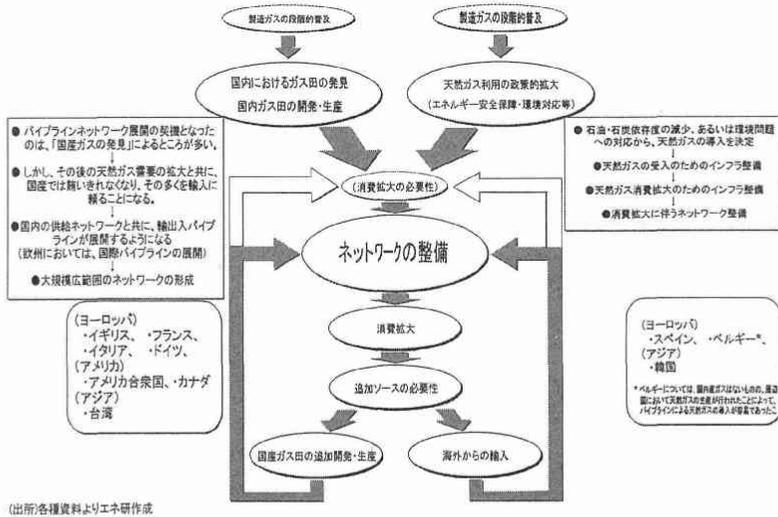


図13 パイプラインネットワーク形成の経緯・イメージ

リティ、環境対策で天然ガスの利用拡大を国策として進めるということによってパイプラインを作っている国があります。日本では新潟や、いわき、北海道にガス田があり、そういうところにパイプラインができていますが、ネットワーク化はしていません。

韓国は国内にガス田がまったくありませんけれども、国の政策としてガス・パイプラインのネットワークを作るということで、国営のガス公社を作ってネットワークを作ってきました。その点で韓国は、ヨーロッパやアメリカのスタイルとは違う形で進んできた国だ

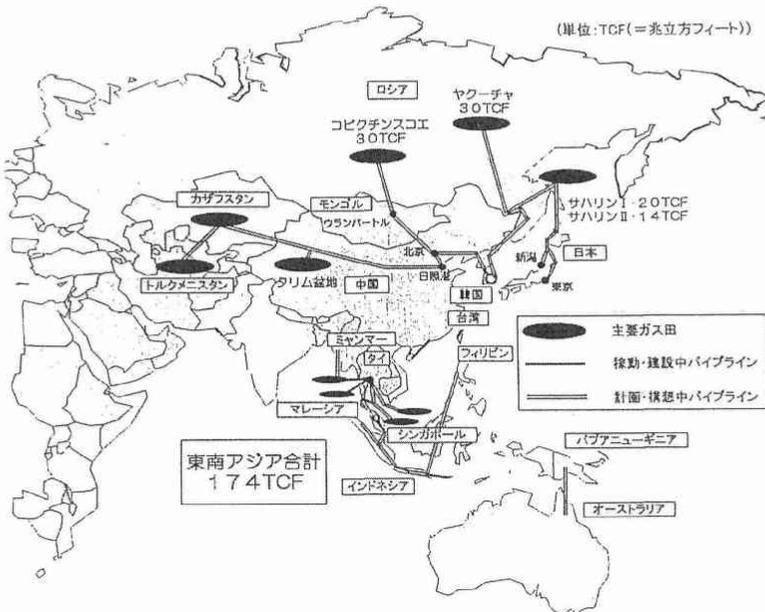


図14 アジア向けパイプライン及び天然ガス埋蔵量

と思います。

また、スペイン、ベルギーなど国内にまったく資源がない国も同じようなことが言えると思います。

中国では図14にありますように、サハラ、東シベリア、あるいは中央アジア、タリムなどのガスを消費地まで持ってこようという壮大な計画があります。現に現行の第10次5カ年計画でタリム盆地のガスを上海に持つてくるという計画があります。「西気東輸」というキャッチフレーズのもと、プロジェクトの国際入札を行い、石油メジャーも含めて今動いています。ですから、中国は環境対策を含めて、相当本気でガスの利用拡大に乗り出しています。

南の広東省ではLNG輸入プロジェクトが国際入札にかけられており、これから2005年～2006年には輸入が始まるという動きです。

日本の周辺ではサハラや、東シベリアの天然ガスの開発・利用は、これからすぐというわけではありませんが、2010年頃を展望しますと、地域的なガス利用が相当進んでいく可能性があると思います。

天然ガス利用一日、米、欧の比較

続いて、日本の問題に触れさせていただきます。図15は日本、アメリカ、ヨーロッパにおける、1次エネルギーに占める天然ガスの比率を示した図です。日本は1969年に、アラスカから初めてLNGの輸入を始めました。第1次、第2次オイルショックを経て、特に発電用、都市ガス用のLNG転換が急速に進み、85年までに1次エネルギー全体のほぼ10%まで比率が拡大しました。それ以降も増えていますが、伸び率は非常に低くなっていて、現在の比率は12%になっています。

それに対して、西ヨーロッパは、特に北海の油田、ガス田が見つかった1970年代前後から天然ガス利用が急激に増え始めました。オイルショックを経て15%になり、また80年代後半から急激に増えて22%まで比率が上がっています。多分今後ももっと増えていくだろうと思います。

アメリカでは意外に、ガスの比率はかつて1次エネルギー供給の3分の1を占めていたのですが、オイルショックを経てずっと下が

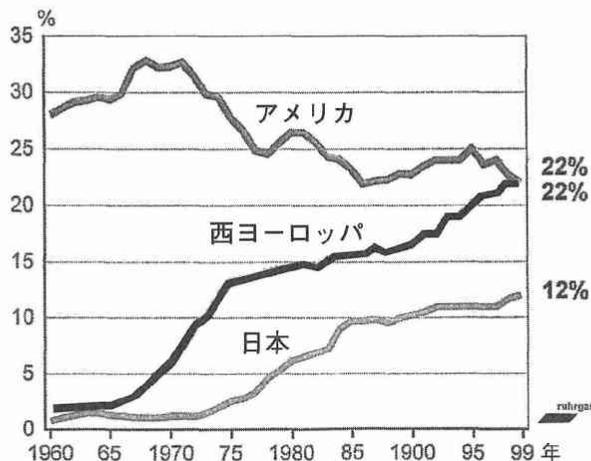


図15 1次エネルギーに占める天然ガス比率の国際比較

り続けました。85年ぐらいから微増でアップダウンがあって、ほぼヨーロッパと同じ比率になっています。1つの背景として、アメリカの場合、オイルショック後、天然ガス利用に対してかなり規制がかかったということがあります。天然ガス価格に対する規制も80年代の半ばまであり、自由市場で天然ガスが取引される状況ではありませんでした。発電用には石炭、原子力が70年代、80年代、ずっと増えてきたという影響もあると思います。

いずれにしろ、ヨーロッパは今やアメリカと並ぶところまで天然ガスを使うようになってきました。

日本は前にも述べたようにまだ12%です。今度新しく出ました長期エネルギー需給見通しでも、天然ガスの位置づけについて相当議論がありました。天然ガス小委員会でも、日本の天然ガス利用比率を2020年には欧米並の

20数%にもっていかうという大きな政策の方向が打ち出されました。ヨーロッパも、20年、30年かけて今の水準まで上がってきていますから、日本でもインフラ整備が進めば当然、発電用だけでなく一般のいろいろな用途に天然ガスが使われるようになります。需要拡大には技術革新と同時にインフラ整備というのは欠かせないということが言えると思います。

日本の主なパイプラインとLNG基地

図16に示のように、日本のLNG受入ターミナルは21カ所ぐらいあります。あと幹線パイプラインとして、昔からある関東パイプライン、今、第二関東パイプラインが、甲府あたりまででき上がっているようです。それから仙台パイプライン、勇払パイプライン、あとは都

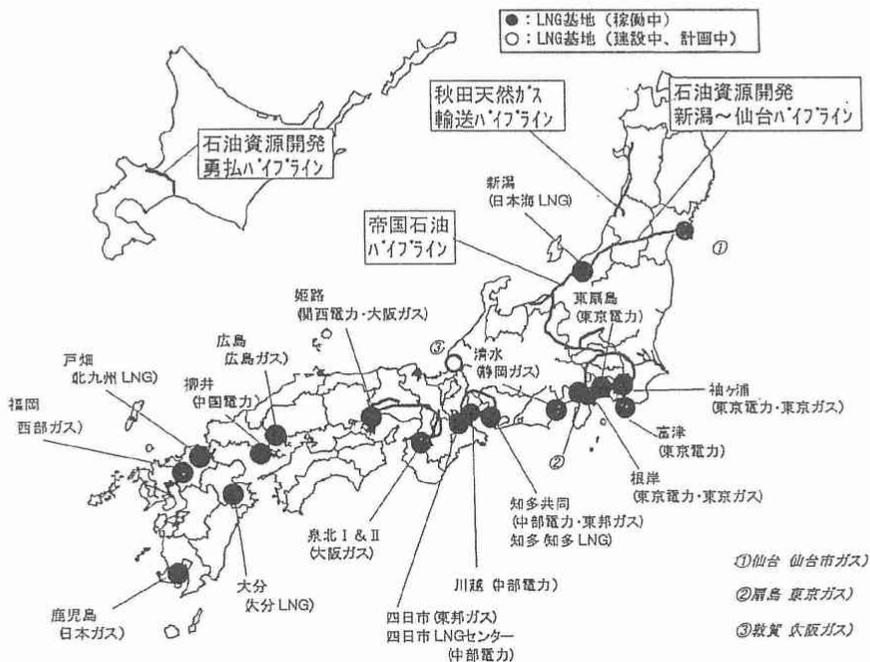


図16 日本の主なパイプライン及びLNG基地

単位：千Km

	日本	米国	英国	フランス	ドイツ
輸送	3	409	18	34	57
配給	209	1,578	149	149	288

(平成10年末)

図17 ガス導管延長数の国際比較

市ガス会社の幹線パイプラインがありますが、必ずしもネットワークにはなっていません。今話題になっていますサハリンからのパイプライン敷設構想は、サハリンからパイプラインを新潟、あるいは北関東まで引っばってきて、既存パイプラインにつなげてネットワーク化を進めようというものです。

図17に示しましたが、日本はいわゆる輸送用の幹線パイプラインの総延長は3,000kmですが、アメリカ40万km、イギリス1万8,000km、フランス3万4,000km、ドイツ5万7,000kmということで、欧米では天然ガスの利用が進んでいます。特に大陸系の国では当然国土が広いうえに、面状にパイプラインを張りますから当然長くなるのですが、日本はそれにしても1桁も低いのが現状です。

天然ガスを末端へ配給する低圧、中圧の配給パイプラインについては、日本は20万kmで、フランスやイギリスと遜色ありません。

表3 天然ガス利用拡大の課題

- ・天然ガス価格の引き下げと安定化
LNG輸入コスト、国内販売価格の引き下げ
- ・パイプライン等インフラの整備
政府による環境整備、公的支援策など
- ・新たな利用形態の推進
GTL、DME、分散型電源、
CNG自動車、燃料電池自動車など

日本の場合、LNGを主体とした供給システムを利用してきましたので当然ですけれども、輸送パイプラインという面ではネットワーク化がまだまだできていません。

天然ガス利用拡大には

3つの課題克服が必要

天然ガスの利用拡大の課題は表3に示すように3つあります。

先般の天然ガス小委員会でも大きくこの3つの点についてそれぞれ政策的な方向が打ち

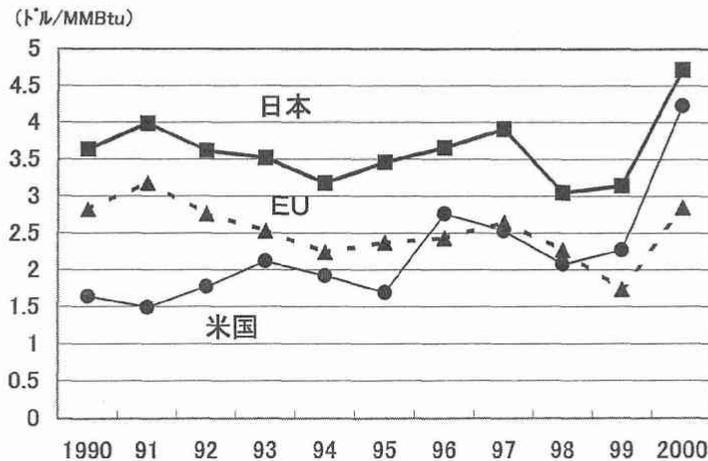


図18 天然ガス輸入価格の国際比較

出されたということです。

天然ガスが幾らクリーンで便利なエネルギーといっても、経済的に他の燃料と競合できなければ当然マーケットでは使われません。日本における天然ガスの1次エネルギー供給に占める比率が小さいというのは、使用する末端のバーナーチップ（炉前）で、日本の天然ガス価格が高いということが1つの大きなネックです。それをいかに安くしていくのかというのが重要な課題です。

コストの中でもまず輸入価格。LNGで輸入しているわけですが、日本、EU、アメリカで比較しますと（図18）、去年を除いて、これまで圧倒的に日本が高いわけです。

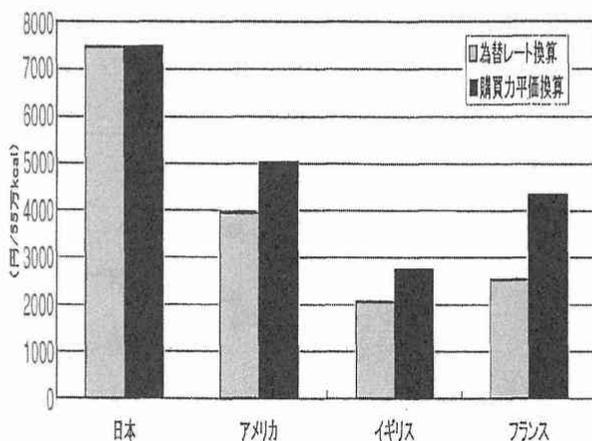
アメリカは安い時代が90年代の間続いて、国内開発も停滞し、足りなくなりました。去年はアメリカの天然ガス国内価格が暴騰して、日本と余り差がなくなったわけです。

ヨーロッパは域内や周辺の安いガスを輸入していて一番低価格になっています。

プレーヤーが増え、

形成されつつあるLNGマーケット

いずれにしても日本は、LNGが原油価格にリンクしていることもあり、非常に高い価格での輸入になっています。これをいかに今後引き下げていくのか。天然ガス貿易においてもこれまでは安定供給重視ということで長期契約がほとんどだったのですが、近年は1、2年、あるいはスポット取引という短期契約がかなり増えてきています。輸入国、輸出国ともに増えてくると、そこで余ったり、足りなくなったりという状況が発生しマーケットが形成されるわけです。昔のような相対取引で、長期契約でがんじがらめという状況から相当マーケットが変わってきています。特にアメリカがLNGの輸入プロジェクトを立ち上げたことが1つの契機になり、ヨーロッパ市場でもLNGがかなり増えてきました。かつての石油に似て、一種の国際的な商品になって



出所：「石油審議会開発部天然ガス小委員会資料」（平成12年11月）より作成

図19 家庭用ガス料金の内外価格差

(m3/件)			
日本	アメリカ	イギリス	フランス
349	1,932	1,266	1,203

「石油審議会開発部会天然ガス小委員会資料」(平成12年11月)より作成

図20 ガス市場の特性比較

きたと言えます。これまで、LNGマーケットというものは余りなかったわけですが、将来は大西洋市場から流れてくることもあるかもしれませんし、アジアのどこかからカリフォルニアの方にLNGが輸送されるというように、グローバル化がかなり進んでいくと思えます。

望まれる供給コスト低減

日本の家庭用ガス料金

日本のガス価格は高いといわれます。図19は家庭用ガス価格の比較です。月間の使用量を55万kcalで算出してあります。日本のガス料金は、アメリカ、イギリス、フランスに比べて1.9~3.6倍(去年の為替レートで換算)、1.5~2.7倍(購買力平価で換算)です。

日本の場合、大手都市ガス会社の原料費に占めるLNGの比率が30%強です。つまり、7

	日本	アメリカ	イギリス	フランス
検診	毎月	1~2ヵ月	3ヵ月	6ヵ月
集金	毎月	1~2ヵ月	1~3ヵ月	2ヵ月

「石油審議会開発部会天然ガス小委員会資料」(平成12年11月)より作成

図21 サービス内容の比較

割は非ガスコストですから、そういうコストをこれからいかに下げていくか。原料費を下げるだけでなく、そういう他のところでどこまで合理化して他の燃料と競争できるようにするかというのが大きな課題です。ガス市場の規制緩和といいますが、改革が進みつつある理由はここにあります。

ただ、価格の国際比較をする場合、①ガス市場の特性、②サービス内容、③ガス管を埋設するときの費用などをどう評価するかという複雑な問題があり簡単ではありません。

① ガス市場の特性の違い

1件当たりのガス使用量は日本が年間349m³で、アメリカの6分の1、イギリスの4分の1です。使用量が多ければ、導管の稼働率が高くなりますから、当然、販売量1m³当たりの固定費は下がります。たくさん使えばそれだけ単価としては安くなるということ

表4 ガス管理設時の規制比較

	日本	欧米
埋設用地	<ul style="list-style-type: none"> 道路占用による導管埋設が主であり、道路占用が困難な場合に民有地を買収する。区分地上権の設定や賃貸借契約の事例は少なく、土地収用の事例はない。(区分地上権の設定は、地権者の数が多く、土地に対する所有意識が強いため困難。) 占用料 約1千円/m²・年 (東京都内国道、口径0.4~1.0m未満) 	<ul style="list-style-type: none"> Right of Wayによる取得が一般的であり、土地収用の事例は少ない。(地権者との交渉を行い、補償料を支払ってROWを設定する。) ROW取得費用例(埋設時一括払い) アメリカ: 約4千円/m²(口径30~36インチ) イギリス: 約350円/m
施工条件	<ul style="list-style-type: none"> 工事作業帯延長は、原則50m。 掘削時には矢板による土留めを行う。 埋め戻し工事を2回行う。(仮復旧・本復旧) 埋設深度は、道路舗装厚+0.3m以上(車道)(0.6m未満の場合は0.6m) 	<ul style="list-style-type: none"> 工事作業帯延長に関する規制なし。 掘削時に矢板による土留めは行わない。 埋め戻し工事は1回のみ。 埋設深度は国により格差あり。 アメリカ: 0.6m以上(本支管、普通の土壌) イギリス: 0.6m以上(500mm以下のPE管) フランス: 0.7m以上

出典:「石油審議会開発部会天然ガス小委員会資料」(平成12年11月)

が言えると思います。

② サービス内容の違い

サービス内容として、保安について、どこまでガス会社が責任もってやるかということも国によって随分違います。日本は末端のガス栓までお客さんの面倒を見るという体制ですし、検針や集金の頻度も非常に多く、それだけコストがかかります。

ガスの場合は、保安問題が非常に大事ですから、保安、安全性の問題をある程度確保しながら、いかに合理化できるかが課題だと思います。

③ ガス管理設費用の違い

パイプラインの埋設にかかわるコストは、欧米と日本で相当違います。日本の場合、非常に高くかかります。特に欧米ではライト・オブ・ウェイ（ROW：right of way—パイプラインを建設するときに必要な土地に対する優先使用权）が認められており、私有地でもか

なり直線でパイプラインが敷設できます。（表4）

日本の場合はいちいち地権者の同意を得ようとするので、ものすごく時間がかかり、結局は道路の下に埋設するという形になります。交通を遮断して工事しますから時間がかかり、その分コストもかかります。その他、技術的な問題でいろんな規制もあって、パイプラインを敷設に非常に高いコストがかかる体制になっています。今、安全基準等々の規制の見直し等をやりながら、いかに安全性を確保しながら効率的にパイプラインを引くかということが検討されています。

図22は、パイプラインを建設する時のコスト事例です。単位は千円/mです。輸送パイプラインと配給パイプラインでいくらかかるか。

アメリカの場合、市街地の配給会社ですが、比較的中圧ぐらいのところでは16万円、州際の大幹線パイプラインだと大体7万3,000円ぐらいです。

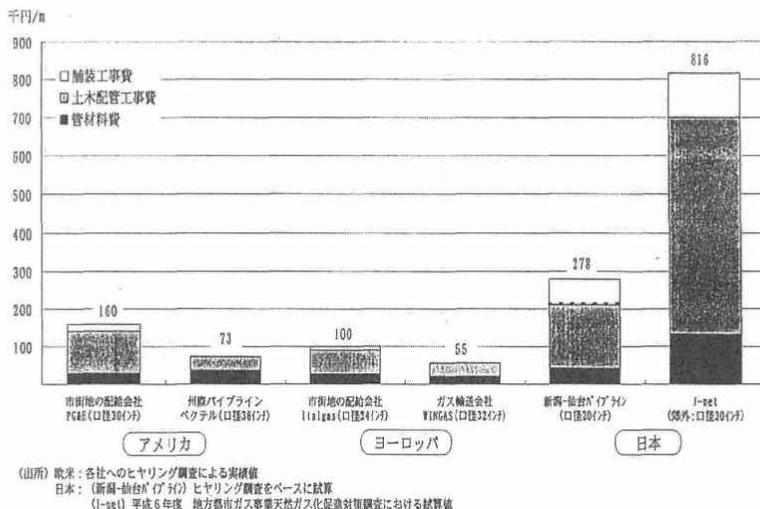


図22 パイプライン建設コストの国際比較

ヨーロッパの場合、大体10万円と5万円で、比較的安くできます。やはりヨーロッパなどは何もないところを、あるいは私有地であっても比較的容易に通すというようなことで非常に短い工期でできます。

日本の事例ですが、新潟—仙台パイプラインで、市外地、山間を通ったりして比較的条件のいいケースでも30万円弱です。Jネットとありますのは、関東、太平洋の消費地をつなぐような東海道ラインです。これは数年前の試算ですが、Jネットだと80万円となります。特に土木配管工事、ここがものすごくかかります。地形的な問題とか、地震が多いとか、いろんな日本の特殊事情はあるんですけども、それにしてもパイプラインの建設コストが相当高いのです。

サハリンのパイプライン計画では、海底パイプラインが主体です。ガス田とつながる国際パイプラインについて技術基準を決めようということで、今、経済産業省の安全保安院で検討が始まりました。パイプラインにかかわる安全基準等々を、日本的な条件を織り込んだ上で国際的な基準でやるという方向ですが、できるだけ効率的にパイプラインができるようにしないと、日本でパイプライン・ネットワークを作るのはなかなか難しいと思います。

利用技術により異なる天然ガス利用の課題

最後は、天然ガス利用技術個々の課題について触れておきます。コージェネ、マイクロガスタービン、燃料電池、GTLなど、いろいろあります。

共通していますのは、分散型電源の効率を

表5 利用技術個々の課題

- ・コージェネ—高効率化、周辺機器の充実
環境性の向上、系統連係
- ・MGT—同上、再生器のコンパクト化など
- ・燃料電池—電池本体、改質器、燃料貯蔵
- ・GTL—新触媒による効率改善、
反応系およびスラリー取扱システムなど

もっと上げる努力が必要であるということです。分散のメリットはオンサイトだということですが、逆に効率という点では劣る面があります。今後いかに効率を上げるかという課題があります。

マイクロガスタービンの場合、環境問題として低NOx、低騒音化を図ることが必要です。

しかし、コージェネ関係では、周辺機器の充実がありますが、基本的には熱需要と電力のバランスが一番の問題です。理論的にはコージェネでは効率が非常にいいわけですが、熱需要が余りないところには使えません。やはり熱需要だけでなく、空調、冷房用でもうまく使えるような日本的なシステム開発も重要な課題かもしれません。

それから燃料電池については、これはどういう燃料で供給するかというのが最大の問題です。やはり最終的に末端のインフラの問題が非常に大事になると思います。

マイクロガスタービンも天然ガス自動車も、最後の段階で圧力を大幅に上げなければならないとか、供給設備に費用が非常にかかるということになると、コスト的に他の燃料に勝てません。こういうところをどうクリアしていくかということも非常に大事な問題ではないかと思います。以上で私の説明を終わります。(拍手)

〔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



片山 優久雄 (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

はじめに

本日は「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」と題しましてお話しさせていただきます。

21世紀中に枯渇するかも知れないほど少ない化石燃料を少しでも有効に使う手法はないか考えている所に、東京工業大学炭素循環素材研究センターの玉浦裕教授から太陽エネルギーとのハイブリッドによって、天然ガスと石炭を使い、双方の持つエネルギー量を総発熱量で上回る液体燃料を製造するプロセスが構築できるのではないかという話があり、その現実化手法について検討を重ねてきました。その検討の過程を順を追ってご説明していくとともに、我々がたどり着いた二酸化炭素(CO₂)排出ゼロのメタノール製造法についてご紹介していきたいと思います。

化石燃料の液体燃料化

メタノール転換の現状と CO₂排出ゼロの課題

〔略歴〕

1967年北海道大学理学部卒業。同年呉羽化学工業入社。1980年米ユタ大学客員研究員。1981年米エネルギーリソース社コンサルタント。1982年(財)エネルギー総合工学研究所入所。

1978年北海道大学より工学博士号取得。

表1 メタノール転換時のCO₂排出量

現状

- 石炭からのメタノール製造(深冷分離酸素利用)
CO₂ t/MeOH 1t = 1.3 ~ 1.4
- 天然ガスからのメタノール製造(スチームリフォーミング)
CO₂ t/MeOH 1t = 0.3 ~ 0.5

命題

- ① CO₂ t/MeOH 1t = 0(ゼロ)を実現出来るか?
- ② 経済性のあるプロセスとなり得るか?

石炭の産出地は、非常に内陸部で、消費地である都市とは非常に離れていることが多い。石炭の採れる所で発電しても電気を運ぶには大きな送電ロスがあります。そこで、石炭をよりクリーンにし効率よく運ぶためには、液体燃料化が一番いいのではないかとということで、石炭のメタノール化について考えてみました。

通常のメタノール合成法として、深冷分離による酸素分離法があります。それによりますと、メタノール1トンを作る時に排出され

るCO₂の量は1.3~1.4トンと大量の排出量です。一方、非常に多くの水素を含む天然ガスからのメタノール製造法としてスチームリフォーミング（水蒸気改質）があります。この場合のメタノール1トン当たりの二酸化炭素（CO₂）排出量は0.3~0.4トン、最新技術によりますと0.26トンになります。それでもCO₂を排出することには変わりはありません。

地球温暖化問題が人類の大きな課題となっている現在、CO₂を排出することのない、CO₂排出ゼロの工場を作ることが命題となっています。ただこの命題を解決しても、経済性があるプロセスでないと世の中に受け入れてもらえませんので、それについても検討を加えていきました。

石炭及び天然ガスからの メタノール製造の比較

表2は通常の石炭ガス化の反応式です。石炭は水素と炭素の比率が2対1ぐらいなものですから、石炭をC₂Hと簡略化して書きました。これを部分酸化ガス化しますと、1モルの酸素が必要で、2倍の一酸化炭素（CO）と2分の1モルの水素が出てきます。出てきたCOと水素を原料としてメタノール合成反応を行おうとすると非常に水素が足りません。化学量論的には3.5モルの水素が足りないということになります。

表3は天然ガスの水蒸気改質反応（吸熱反応）です。化学量論的にはメタンに水を加えればCOと3倍量の水素が出てきます。しかし、実際にこの反応を起こさせるには、触媒存在下で温度領域が900度ぐらいでないと反応が起こりません。

表2 石炭のガス化反応

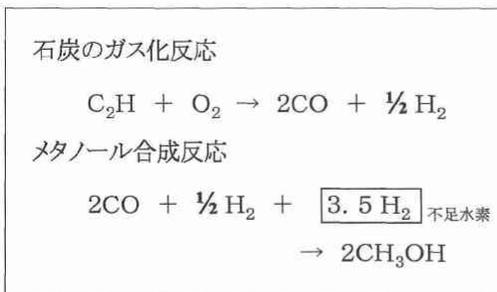
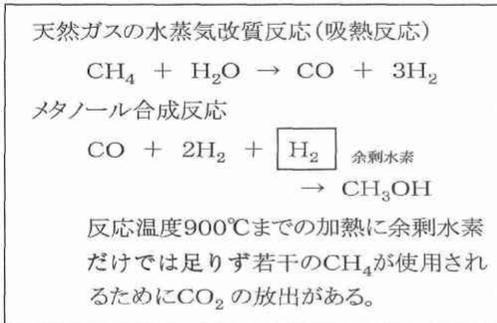


表3 天然ガスの水蒸気改質反応



下段のメタノール合成反応では、化学量論的に水素が1モル余剰になりますが、実際にメタンの水蒸気改質反応を起こさせるには900度までメタンと水を加熱しなければなりません。1モル出てきた余剰の水素を燃やしただけでは若干熱量が足りませんので、燃料として原料メタンが一部使用されることになっています。そのためにCO₂が放出されるのです。化学量論的には絶対にCO₂の放出がないと見られるプロセスですが、実際にはCO₂の放出があるのです。(表4参照)

表4 現行プロセスの問題点

- | |
|--|
| <p>① 石炭メタノール転換プロセス
圧倒的なH₂の不足</p> <p>② 天然ガスメタノール転換プロセス
僅かなH₂の不足
⇒ H₂不足分がCO₂として排出</p> <p>③ CO₂ゼロのプロセスエネルギーの供給方法は？</p> |
|--|

表5 問題解決のキーポイント

問題の解決方法のキーポイント ① CO ₂ 放出の無い酸素の製造方法は構築可能か？ ② CO ₂ 放出せずに水素を過剰に供給する方法はあるか？ 解決策（2つの問題点の解決方法） ○ 自然エネルギー利用電解酸素・水素製造システム 自然エネルギー利用電解酸素・水素プロセスの経済性の有無
--

問題解決には十分な水素の供給と熱量を補う酸素利用が考えられます。その場合においてもCO₂を排出しないことが要求されます。そこで、自然エネルギーを利用して作った酸素と水素を使うという解決策に到達しました。電解酸素製造法の経済性も併せて検討しました。（表5参照）

電解酸素・水素利用によるメタノール合成

石炭のガス化反応（電解酸素・水素利用）の場合（表6）、石炭（C₂H）が酸素で燃やされますので、エネルギー的に十分ガス化が起きます。後で水の電解から酸素の2倍量の水素が加わり、2.5モルの水素が得られます。その水素をメタノール反応に使っても、1.5モルの水素の不足となります。

天然ガス部分酸化反応の場合（表7）、酸素でメタンの一部を部分燃焼させますので、十分な反応エネルギーが得られます。そこでメタノール合成反応では1モルの水素が確実に余剰になってくるわけです。

ですから、2つの反応を組み合わせ、石炭1モルに対して天然ガスを1.5モル持ち込むことで、2つの反応を合算すると、理論的には水素が満たされるという結果になります。

表6 石炭ガス化（電解酸素・水素利用）

石炭のガス化反応（電解酸素・水素利用） $C_2H + O_2 + 2H_2 \rightarrow 2CO + 2.5H_2$ メタノール合成反応 $2CO + 2.5H_2 + \boxed{1.5H_2} \text{ 不足水素} \rightarrow 2CH_3OH$
--

表7 天然ガス部分酸化反応

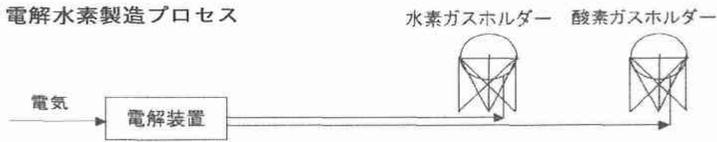
天然ガス部分酸化反応（電解酸素・水素利用） $CH_4 + \frac{1}{2}O_2 + H_2 \text{ 発熱反応} \rightarrow CO + 3H_2$ メタノール合成反応 $CO + 2H_2 + \boxed{H_2} \text{ 余剰水素} \rightarrow CH_3OH$

表8 石炭ガス化炉の性能評価

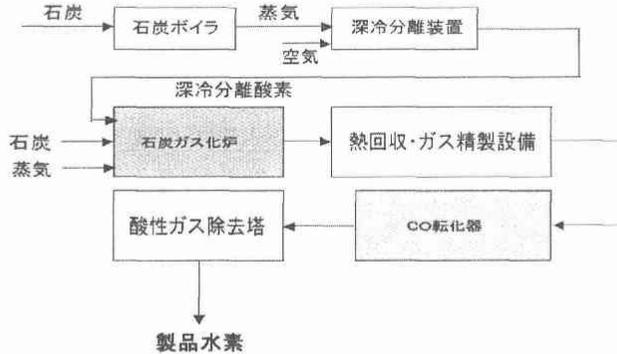
① 現状の深冷分離酸素利用石炭ガス化プロセスの性能 冷ガス効率=72.4% ② 電解酸素・水素利用石炭ガス化プロセスの性能 冷ガス効率=83.6% 冷ガス効率=生成ガス発熱量 / (投入原・燃料+電気エネルギー量)

酸素製造の経済性・効率に関し、表8では酸素を用いる石炭ガス化で、深冷分離酸素利用と、電解酸素・水素利用の冷ガス効率の差を示してあります。電解酸素・水素利用の石炭ガス化プロセスの冷ガス効率がほぼ11%高い結果となります。

① 電解水素製造プロセス



② 深冷分離酸素利用石炭ガス化水素製造プロセス



③ 電解酸素利用石炭ガス化水素製造プロセス

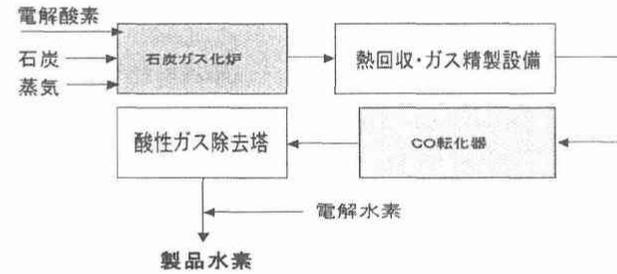


図1 水素製造プロセスフロー

経済性の高い水素製造プロセスは？

図1は3つの水素製造プロセスのフローです。それぞれについて経済性を検討した結果が図2です。石炭価格は1,500円/トンという産炭地での価格を考えています。

○ CO₂処理をしないケースでの比較

一応CO₂処理のないケースを考えていますが、通常の深冷分離の酸素を用いた石炭ガス化法では、石炭を焚いてスチームタービンで駆動するという設定のため電力価格の影響を受けません。そのほうが、電力を買うよりも

非常に安いからです。電解水素製造法と電解酸素利用石炭ガス化法の2つは電力価格の影響を受けることになります。この2つを比べると、電解酸素利用石炭ガス化法は出てきた酸素も利用するので経済的に非常に有利になっています。しかし、電解水素製造法では酸素を捨てるので図2に示す形になります。

因みに、電解水素製造法では電力価格が1円/kWhでも水素製造コストは約13円で他と比べて高くなっておりま。今、石油のナフサのスチームリフォーミングなどで作られる水素が15円前後です。

CO₂処理をしないケースで、電力価格が2

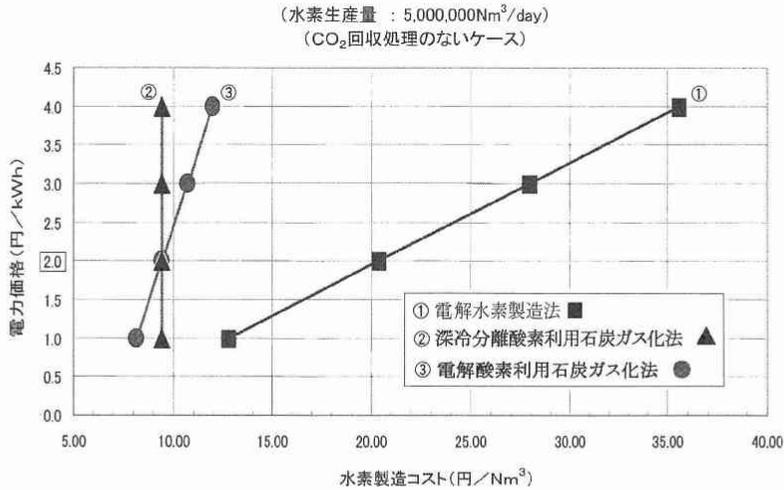


図2 水素製造コスト (CO₂回収処理なし)

表9 コスト比較 (CO₂回収処理なし)

【電力価格が2円以上の場合】	① > ③ > ②
【電力価格が2円以下の場合】	① > ② > ③
①	電解水素製造プロセスからの水素原価
②	深冷分離酸素利用石炭ガス化水素製造プロセスからの水素原価
③	電解酸素・水素利用石炭ガス化水素製造プロセスからの水素原価

表10 コスト比較 (CO₂回収処理あり)

【電力価格が4.5円以上の場合】	① > ③ > ②
【電力価格が4.5円以下の場合】	① > ② > ③
①	電解水素製造プロセスからの水素原価
②	深冷分離酸素利用石炭ガス化水素製造プロセスからの水素原価
③	電解酸素・水素利用石炭ガス化水素製造プロセスからの水素原価

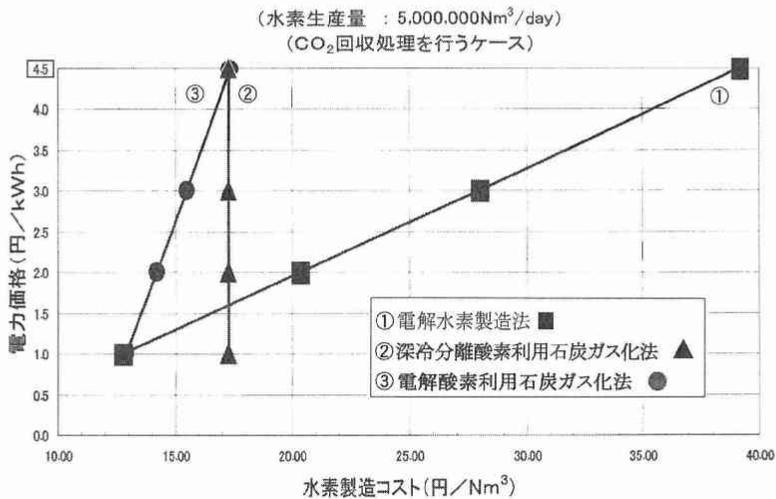


図3 水素製造コスト (CO₂回収処理あり)

円以上の場合と2円以下の場合、どのプロセスが有利かまとめると表9のようになります。

電力価格が2円以下だと電解酸素が有利になってきます。

○ CO₂処理があるケースでの比較

CO₂を液体で回収するコストを3,000円/トン。また、CO₂処理コストについては、海中処分の輸送費だけを考え、2,000円/トンと見積り、図2の水素コストを見直しました。

そうしますと、図3に示すように、深冷分離酸素利用石炭ガス化法が3円ほど高くなっ

てきます。それに比べて電気分解法については若干シフトしますが、深冷分離酸素利用石炭ガス化法のシフトほど大きくありません。要するにCO₂の排出量はかなり軽減されています。CO₂処理を行った場合、表10に示すように、電力価格が2円から4.5円にシフトするという結果になっています。

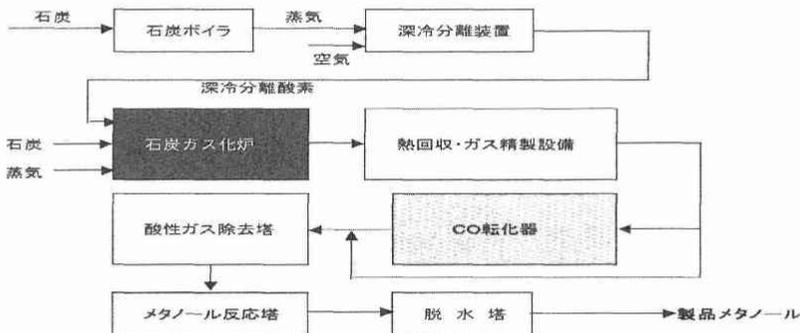
経済性の高いメタノール製造プロセスは？

今度はメタノール製造プロセスについて考えてみました。(図4)

① 電解水素利用メタノール製造プロセス



② 深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール製造プロセス



③ 電解酸素利用石炭ガス化メタノール製造プロセス

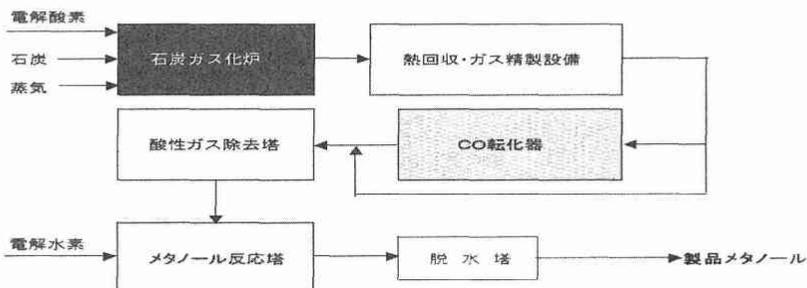


図4 メタノール製造プロセスフロー

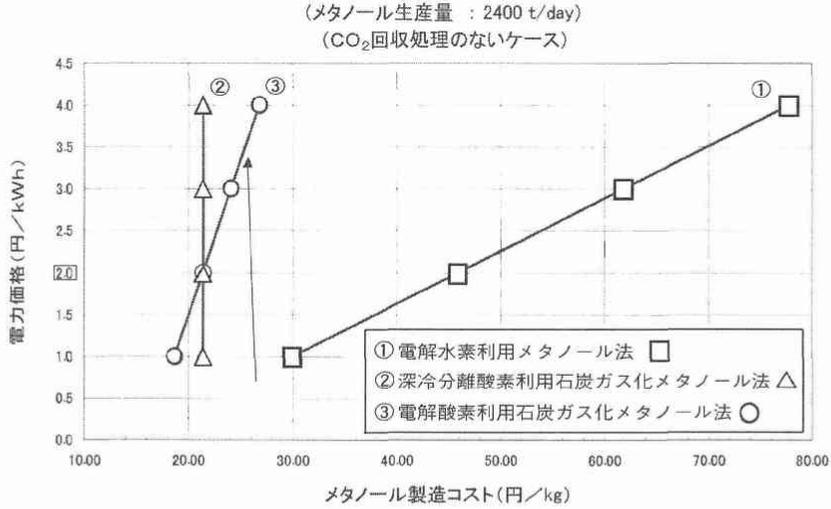


図5 メタノール製造コスト (CO₂回収処理なし)

表11 製造コスト比較 (CO₂回収処理なし)

【電力価格が2円以上の場合】	① > ③ > ②
【電力価格が2円以下の場合】	① > ② > ③
①	電解水素利用メタノール製造プロセスからのメタノール原価
②	深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール製造プロセスからのメタノール原価
③	電解酸素・水素利用石炭ガス化メタノール製造プロセスからのメタノール原価

表12 製造コスト比較 (CO₂回収処理あり)

【電力価格が4円以上の場合】	① > ③ > ②
【電力価格が4円以下の場合】	① > ② > ③
①	電解水素利用メタノール製造プロセスからのメタノール原価
②	深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール製造プロセスからのメタノール原価
③	電解酸素・水素利用石炭ガス化メタノール製造プロセスからのメタノール原価

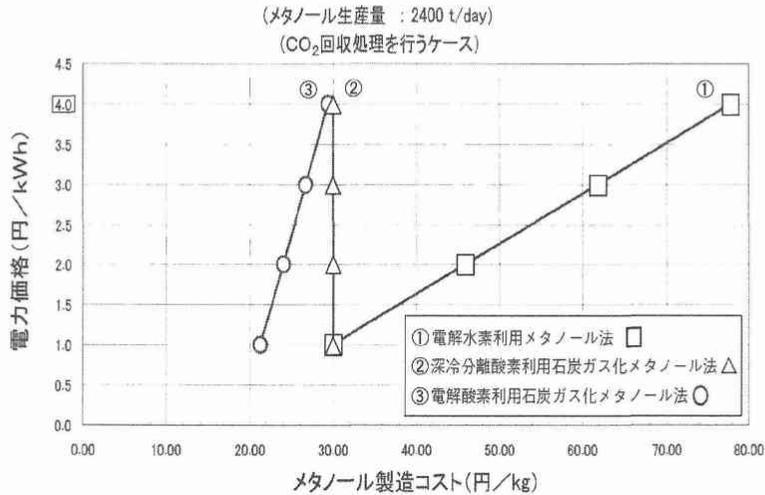


図6 メタノール製造コスト (CO₂回収処理あり)

① 電解水素とCO₂を利用してメタノールを製造するプロセス、② 深冷分離酸素石炭ガス化法でメタノールを製造するプロセス、③ 電解酸素・水素利用石炭ガス化法でメタノールを製造するプロセスについて経済性を検討してみました。

電解水素利用メタノール製造プロセスでは、電解水素とCO₂がメタノール合成塔に入って反応し、脱水塔を経て製品メタノールとなります。深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノールプロセスは、一方で石炭をボイラーで燃やして作った蒸気で深冷分離装置を動かし、酸素を作る。他方でガス化炉には石炭、蒸気、酸素を持ち込んで石炭のガス化を行い、CO₂転換を行ってメタノールを作るというプロセスです。電解酸素利用メタノール製造プロセスでは、電解酸素と蒸気を用いて石炭ガス化を行いますから深冷分離の工程がありません。後の工程は深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール製造プロセスと同じです。

これら3つのプロセスについて装置価格を算出し、運転コストを計上してメタノールの製造原価を求めました。CO₂回収処理のない場合の結果が図5です。石炭コストは1,500円/トンを考えています。

水素製造と同じで、電解酸素利用石炭ガス化メタノール法の方が安くなっています。電気分解酸素利用メタノール法ではメタノールコストが非常に高いという結果が得られています。

現在、天然ガスからメタノールを製造するコストが15円以下という価格帯になっています。それよりも若干高めですが、石炭から製造するメタノールは将来のエネルギーとしてはまあまあ使えるのではないかとこの経済性

を有しています。

今話を総括したのが表11です。CO₂処理のない場合のメタノールコストは、電力価格が2円以上ですと深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール法の方が有利です。2円以下になると電解酸素・水素利用石炭ガス化メタノール法の方が有利になります。

CO₂回収処理を行う場合には、図6に示すように、やはり先ほどの安かったものがかなり高いものになってきます。ここでメタノール製造コストに占める電力コストが4円ぐらいで深冷分離酸素利用石炭ガス化メタノール法よりも、電解酸素・水素利用石炭ガス化メタノール法の方が安くなるという結果が得られています。

表12はこれを総括したものです。4円以上と4円以下の場合で結果が異なります。

CO₂排出ゼロメタノール製造プロセス

水素製造、メタノール製造と 天然ガス改質を統合

石炭から水素を作る場合、あるいはメタノールを作る場合ということで見てきましたけれども、これと電解酸素・水素を利用して天然ガスを改質するプロセスと抱き合わせると、CO₂排出ゼロのメタノール製造プロセスができるのではないかと、その構築に向けて問題点を洗い出し、表13に示す解決策を出しました。

検討ケースとして、石炭+天然ガス。この点はケース1とケース2で共通していますが、

表13 CO₂排出ゼロメタノール製造に向けて

問題点の解決策
① 自然エネルギー利用電力からの電解酸素・水素を利用し消費酸素量の2倍の水素をプロセスに供給
② 天然ガスと石炭の混合使用による大幅な水素不足の解消
③ 太陽熱を利用するプロセス消費蒸気の製造夜間用に熔融塩蓄熱槽の導入

表14 4つの検討ケース

ケース1	石炭+天然ガス、太陽熱利用、太陽利用発電水電解
ケース2	石炭+天然ガス、太陽熱利用、太陽利用発電深冷分離
ケース3	天然ガス、太陽熱利用、太陽利用発電深冷分離
ケース4	従来の天然ガス水蒸気改質

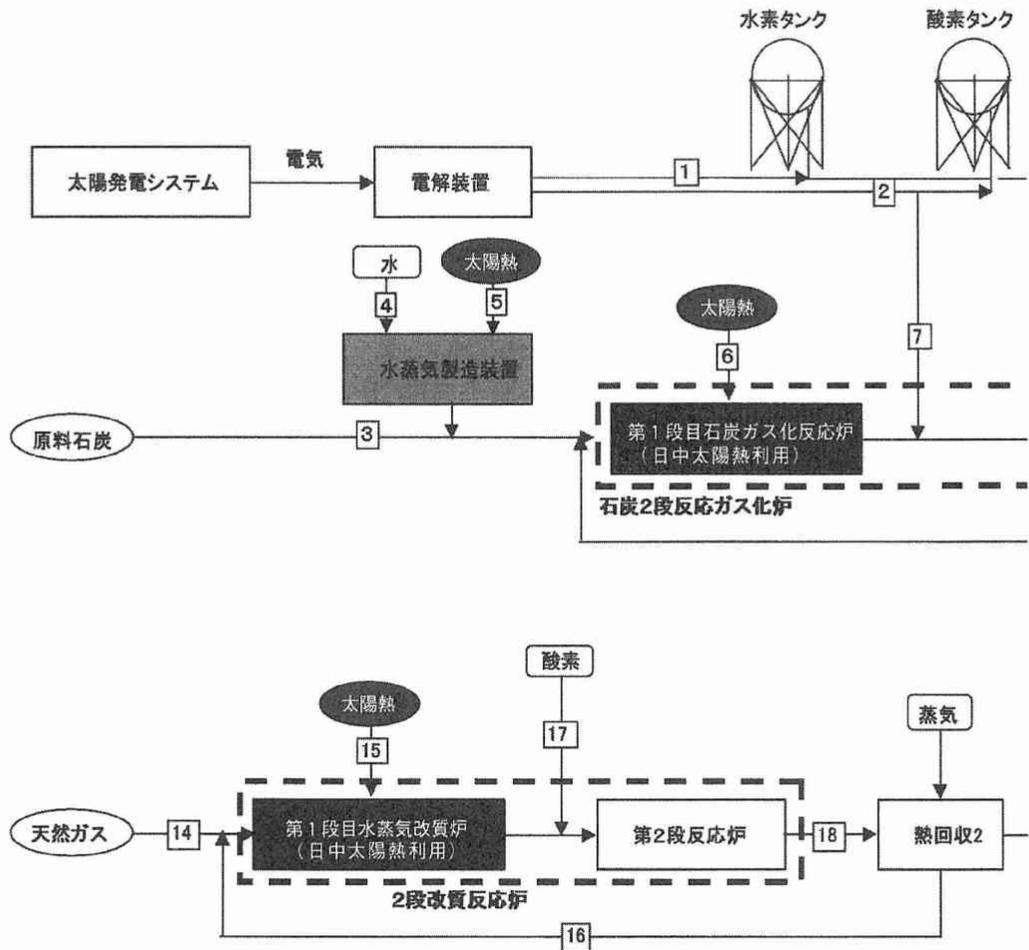


図7 太陽熱利用石炭ガス化・天然ガス改質メタノール製造フロー（ケース1）

ケース1は太陽利用発電水電解、ケース2は太陽利用発電深冷分離です。水の電解エネルギー量と深冷分離で酸素を作るエネルギー量を比較すると、水電解のほうが深冷分離のほぼ10倍近いエネルギー量を消費します。ケース3では、天然ガスをうい太陽熱利用し、深

冷分離の酸素を使います。ケース4では、従来の天然ガスを水蒸気改質してメタノールを製造します。

図7はケース1のフローです。ケース2との相違点は、水の電解によって必要酸素量の2倍の水素が製造される点です。

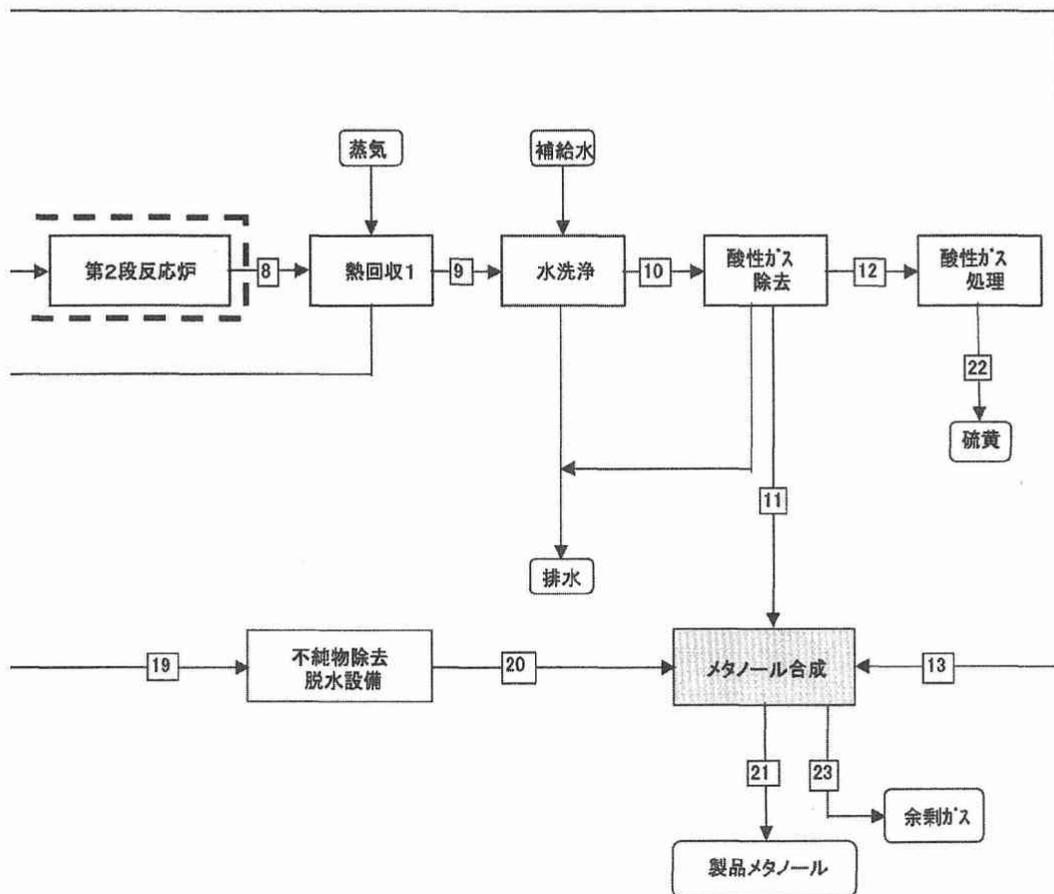


図8のケース2は上にタンクが2つあります。1つは窒素タンク、もう1つは酸素タンクです。実際に使用されるのは主に酸素です。実際に使用されるのは主に酸素です。水素が入ってこないケースです。

表15はケース1からケース4について、単位メタノール製造当たりのCO₂排出量とエネ

ルギー変換効率を見たものです。

電解酸素・水素が入ってくるケース1では、酸素を利用して石炭ガス化を行い、天然ガスのオートサーマルもこの酸素を利用して行う。併産される水素はメタノール製造の過程で利用するようにする。メタノール製造を250

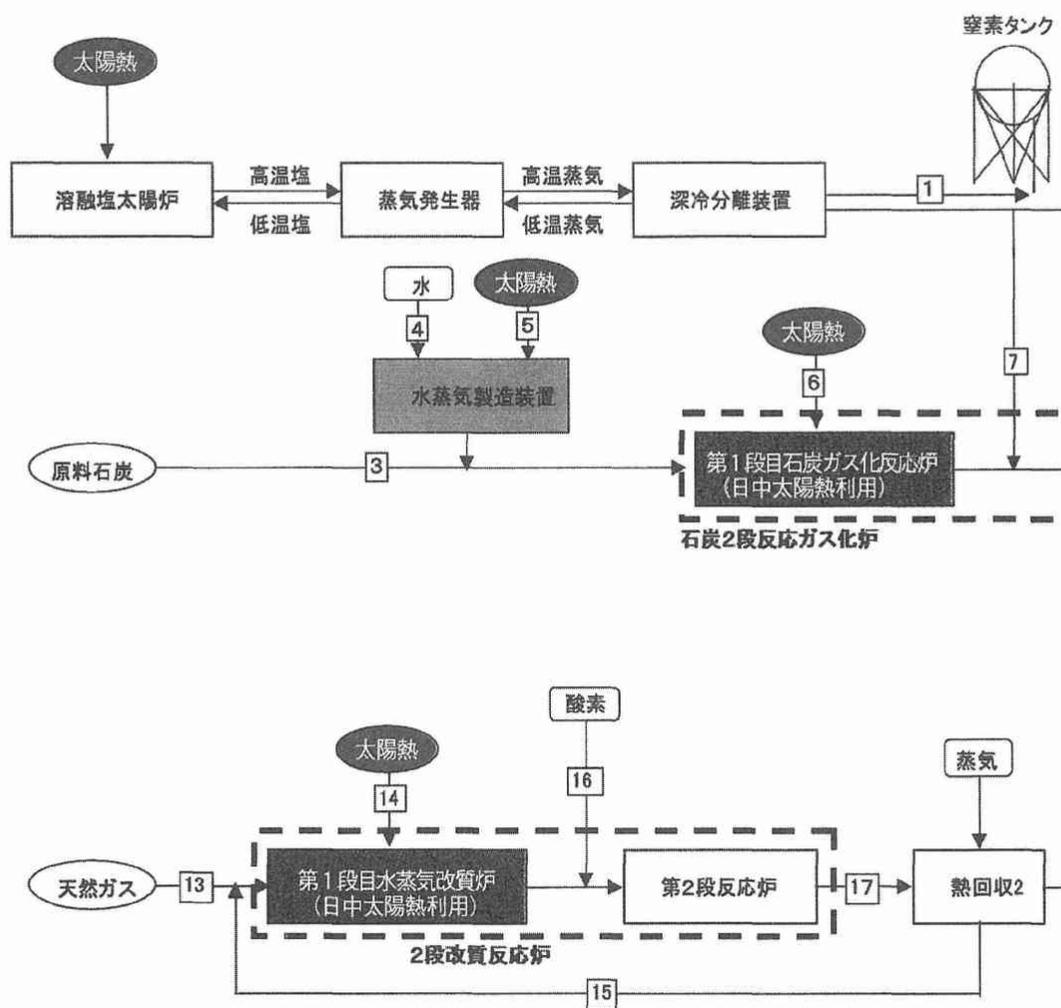


図8 太陽熱利用湿式石炭ガス化・天然ガス改質メタノール製造フロー（ケース2）

トン/時としますと、このケース1のプロセスで排出されるCO₂はゼロです。工場の生産過程でCO₂が排出されませんので、メタノール1トン当たりのCO₂排出量もゼロとなります。玉浦教授が昔から言われていた「天然ガスと石炭を自然エネルギー、太陽エネルギー

を用いることによって100%を超えるエネルギーを生産できる。エネルギー転換効率が100%を超える」ということがこれで実証されたと我々は考えています。

ケース2の場合はこれと異なり、電解酸素を用いるかわりに深冷分離を用います。これ

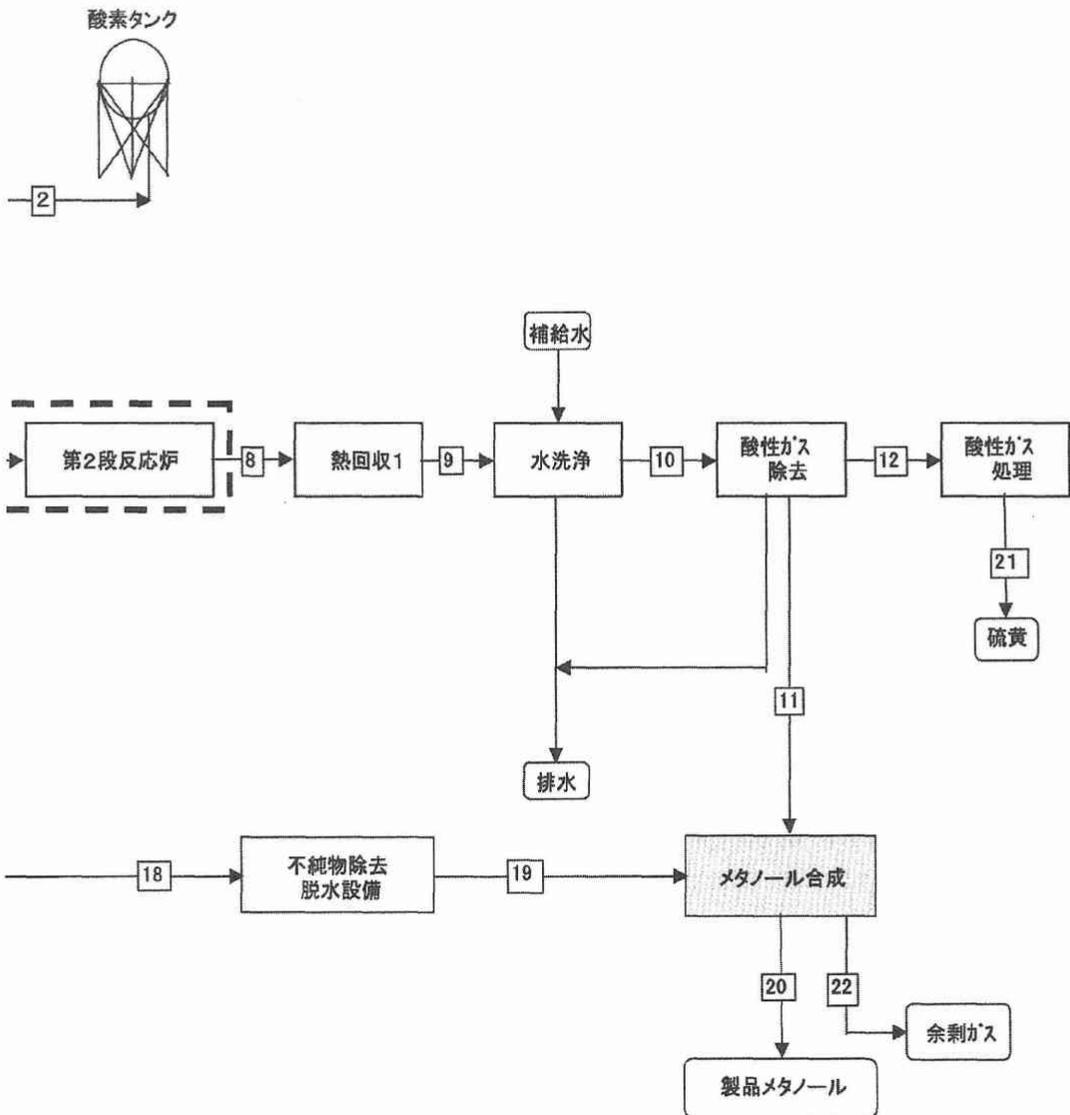


表15 単位メタノール製造量当りCO₂排出量とエネルギー変換効率

		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
原料	電解水素+酸素	○	-	-	-
	深冷分離酸素	-	○	○	-
	石炭 ガス化ガス	○	○	-	-
	NG オートサーマルフォーミングガス	○	○	○	-
	NG スターマルフォーミングガス	-	-	-	○
石炭Feed量	t/h	77.8	21.6	0	0
石炭発熱量	GJ/h	2,169	602	-	-
NG Feed量	t/h	57.3	130.3	136.4	136.3
NG発熱量	GJ/h	3,183	7,237	7,576	7,572
石炭/NG Feed比		1.36	0.17	0.0	0.0
MeOH Unit Feed, R Value		2.22	1.66	1.77	2.66
MeOH生産量	t-MeOH/h	250	250	250	250
CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /h	0.0	39.7	24.8	65.2
	t-CO ₂ /t-MeOH	0.00	0.16	0.10	0.26
エネルギー変換効率 ^{※1}		1.054	0.719	0.744	0.745

※1 : メタノール発熱量/原料発熱量

石炭発熱量 (HHV) =27,875 kJ/kg, 天然ガス発熱量=55,542 kJ/kg, メタノール発熱量=22,723 kJ/kg

も実際の深冷分離器の駆動は太陽エネルギーからの電力を用いると考えています。こういった場合、ケース1だと圧倒的な水素量がプロセスに供給され、そのため、CO₂がメタノール製造過程で全部消費されてしまいます。それでケース1のCO₂排出はゼロになります。しかし、ケース2の場合ですと、メタノール1トン当たりに0.16トンのCO₂が排出される結果となります。

ケース3の場合、オートサーマルで天然ガスを反応させます。CO₂排出量を抑えるために、天然ガスの酸化には太陽熱を利用した深冷分離を用いるということで計算しましても、0.1トンのCO₂が排出されてしまいます。

ケース4の天然ガスの水蒸気改質では、

CO₂排出量が0.26トンになります。我々は当初、CO₂排出ゼロのメタノール製造は本当に可能かと考えてきましたが、CO₂排出量ゼロというメタノール転換工場というものが現実的であるという結果が示されました。

図9にケース1におけるエネルギーの流れを示しました。

現在我々は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託研究で「石炭天然ガス活用型二酸化炭素回収利用技術開発プロジェクト」に携わっています。石炭ガス化の実験装置を産業技術総合研究所北海道センター内に置いて実験を開始したところです。天然ガス改質設備実験については、(株)東洋エンジニアリングの茂原技術研究所内に装置を

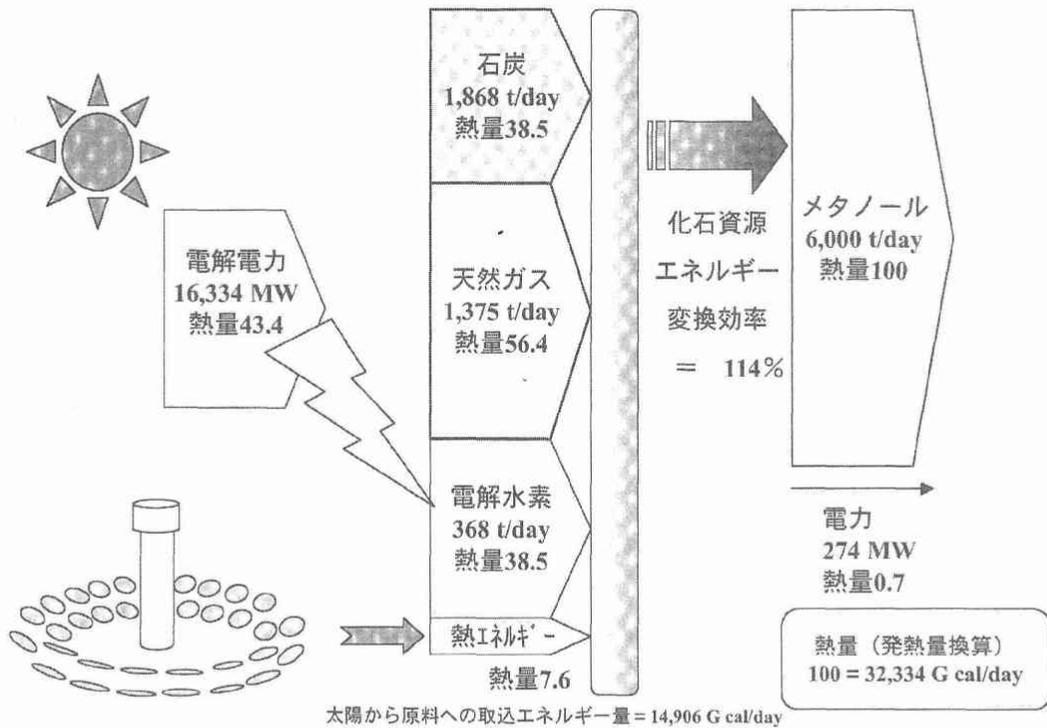


図9 太陽メタノール製造における発熱量換算エネルギーの流れ

置き実験が始まっています。熔融塩太陽炉については、東京工業大学の炭素循環系材料研究センターにおいて実験が始まっています。天然ガス改質触媒開発については、(財)地球環境産業技術研究機構の方で研究がなされています。

太陽電池への負荷を低減を目指して、酸素消費量を減らすべく、エネルギー効率の高いシステム開発を行い、電解エネルギーの消費削減を図ろうと実験を始めたところです。

以上です。どうもありがとうございました。(拍手)

おわりに

ケース1でCO₂排出量ゼロを達成しました。また原料である化石燃料の発熱量を上回る106%という発熱量のメタノールも得ることができました。今、これを証明するため、また

〔講演〕

今後の石油精製のあり方と新燃料油



岩井 龍太郎 (日揮株式会社理事
技術・ビジネス開発本部 本部長代行)

はじめに

本日は「今後の石油精製のあり方と新燃料油」ということで、特に2006年から2007年にかけて新しく導入が開始されると思われる新燃料油を中心に、それが石油精製に及ぼす影響についてお話ししたいと思います。

21世紀前半にくる需給構造の大変化

新燃料油の輸入、低公害車の導入促進、
産ガス国の輸出政策が影響

2010年頃、日本はエネルギー需給構造に大きな変化が出てくるのではないかと見ています。1つは供給側の変化です。新しいタイプの燃料油として、ジメチルエーテル（DME）とか、FT合成油（GTL）が日本に入ってきます。需要側では、やはり低公害車、排ガスの少ない車の導入促進が進むだろうと思われま

そう1つ大きな流れの中で影響を及ぼしま

〔略歴〕

1964年金沢大学工学部卒業。同年日揮株式会社入社。1995年ビジネス開発本部理事・副本部長。1999年より現職。

1975年より主に石油、天然ガス、石油化学関連のプロセス評価及びビジネス開発を担当。

1980年より資源エネルギー庁関連委員会に参加。

表1 構造変化の具体例

- ◆ LNG導入拡大の限界
- ◆ CNG/ハイブリッド/燃料電池車等の環境対応車の導入促進
- ◆ 新しい輸送方式による新燃料油の導入
- ◆ 分散型発電普及による発電用燃料の変化
- ◆ 中期的な石油製品(特にガソリン/重質油)の需要減退
- ◆ ガスパイプライン網整備による都市ガスとLPGの関係変化

すのは、産ガス国の輸出政策です。液化天然ガス（LNG）については今後2008年にかけて、まだ大型のLNGプロジェクトが世界各国でたくさん出てきます。そうなると、LNGは多少供給過剰気味になるのではないかとこの見方があります。現在、産ガス国は、違う形で天然ガスを製品に変えて輸出しようとしています。特に顕著な動きを示しているのが世界第2位の産ガス国イランです。それからカタール、これはガスを中心に輸出している国です

ので熱心です。それ以外にもオーストラリア、今後インドネシア、マレーシアという国がLNGではない形、新燃料油という形での輸出を促進するプロジェクトを構築していくだろうと見えています。

これら3つの動きが今後の日本のエネルギー需給構造に大きな影響与えることになるでしょう。

具体的にどういうことが起こるか表1に示しました。圧縮天然ガス車（CNG車）、ハイブリッド車、燃料電池車というタイプの車は一気に導入されるのではなく、今後、10年、20年という長いスパンの中で徐々に浸透してきます。初めはCNG車がバス等でかなり普及すると思います。次いでハイブリッド車です。これはガソリン、それから多分ディーゼル車もハイブリッド型に転換してくると思います。それで最終的に燃料電池車に到達するでしょう。

石油精製に大きな影響を与える

5つのファクター

① 燃料電池車普及で軽質ナフサ供給へ

これらの車に使われる燃料はそれぞれタイプが違ってきます。ですから、今まで製油所は輸送用燃料としてガソリンとディーゼル油を作ってこれを供給すればよかったわけです。ところが車の方がどんどん変わりますから、これに合わせた燃料油を効率よく供給する形に転換せざるを得ません。CNG車の場合は天然ガスそのものを圧縮して使うわけです。それから、ハイブリッド車は従来のガソリン、ディーゼル油というそのままの形でいくと思いますが、環境規制に合わせる必要があります。

す。次の燃料電池車が大きな変化をもたらすことになります。

現在、燃料電池車用にいろいろなタイプの燃料が検討されています。日本では基本的に、軽質ナフサが燃料電池車用燃料の主流になるのではないかと思います。政府の政策でも、2010年頃が普及の1つの大きな山かなと思いますが、大体5万台ぐらいの燃料電池車の導入が目標とされています。

その後10年間で、500万台導入されると、従来のガソリンに対する需要はそこで急減することになります。今まで製油所は、接触改質とか流動接触分解（FCC：Fluid Catalytic Cracking）などの装置を使ってガソリンを作っていたわけですが、これが必要なくなります。ただ単に品質のいいナフサを供給すればいいということになります。燃料電池車の普及は、石油精製に対して非常に大きな影響を及ぼすだろうと見えています。

② DME、GTLの形での天然ガス輸入

次に、今まで日本への天然ガスの導入は、唯一LNGという形での導入でしかありませんでした。LNG輸送ですと-162℃という非常に低温のタンカーが必要で、これを造るのにも大変お金がかかります。

今後、より安価に天然ガスを輸送するために、液化石油ガス（LPG）と性状が似ているDMEを従来のLPGタンカーで運ぶとか、究極的に精製された石油製品といえるGTLを現在使っている灯油タンカー、軽油タンカー、ナフサタンカー等で運ぶという方法が考えられます。輸送が非常に易しくなるということが、今後日本にDME、GTLが導入される大きな要因になるのではないかと見えています。

③ 大型から小型分散へ変わる発電形式

もう1つの大きな要因は、発電方式が変わっていきだろろうということです。今後10年ぐらいは、発電設備の新設は大型発電から分散型発電中心になるのではないかと思います。このことも燃料に対して非常に大きな影響を及ぼします。特に、今まで重質の燃料を焚いて発電していた工場が、分散型の効率のいい発電に切り換えることにより軽質な燃料に切り替わります。特にマイクロガスタービン、定置型の燃料電池発電では、燃料は主にガス、LPG、DMEというようなタイプの燃料に切り替わります。ですから、重質油、特に重油の消費が非常に落ちてくるのではないかと思います。

④ 必要性薄れるガソリンとディーゼル油

中期的に見た時、私は大体2010年までに変わるだろろうと思いますが、ガソリン需要が日本で急激に落ちるだろろうということです。特にハイブリッド車の導入で燃費が良くなります。ですからガソリン消費が少なくて十分な距離を走りますし、燃料電池車になりますとナフサを燃料として、さらに効率がよくなります。これに加えて、天然ガスから作るGTLが入ってきますと、それだけ石油の需要が減ります。現在、シェル社、サソール社等は大体7万~10万バレル/日近くのGTL設備の建設を考えています。仮に、10万バレル/日ぐらいが日本に入ってくると、大体東京都のディーゼル油需要の半分近くはこれで賄えるという事態になってきます。その分、製油所からのディーゼル油供給は必要なくなると思います。

⑤ パイプライン網整備

最後に、やはりパイプラインが日本のエネルギー供給システム、さらに需給構造に大きな影響を及ぼすのではないかと思います。そのきっかけは、サハリンからのパイプライン敷設による天然ガスの導入です。これが日本のパイプライン網整備の起爆剤の1つになると考えています。天然ガスがサハリンから入ってくると、特に、北海道、東日本では、灯油、LPGが天然ガスに切り換わってきます。

現在、日本には約230社の都市ガス会社があり、それぞれ独立して経営され、供給もまったく独立しています。それらが仮に幹線パイプラインである程度つなぐれ、なおかつカロリーを統一することができれば、やはり天然ガスを利用したいろいろな形のエネルギー転換が進むだろろうと思われます。

パイプラインの整備により、特にマイクロガスタービン、もしくは燃料電池を使った発電システムの普及に拍車がかかると思われるので、特に灯油、LPGに大きな影響が出るでしょう。

北海道、東日本のエネルギー供給システムと九州など西日本のエネルギー供給システムに随分違いが出てくるのではないかという見方もしています。

GTLの役割

GTLは、これまでフィッシャー・トロプシュ合成（FT合成）油、DMEおよびメタノールの3つの総称でしたが、最近は、FT合成からできる油だけを称するようになりました。今後、GTLをそう解釈をしていただきたいと思っています。

表2 GTLの役割

<p>◆ GTL：基本的にはディーゼル油への混合(軽油留分)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 将来的には燃料電池用燃料(ナフサ留分) - 副製品としては高品質潤滑油、洗剤、溶剤、化粧品、ワックス <p>◆ DME：基本的にはLPG代替</p> <ul style="list-style-type: none"> - ディーゼル油代替にはインフラ整備が課題 - 将来的には燃料電池用燃料、化学用原料として有望 - 安定した供給源の確保 <p>◆ メタノール：基本的には化学用原料</p> <ul style="list-style-type: none"> - ディーゼル油代替および発電用には限界あり - 燃料電池用燃料としては期待あり

表2で挙げた天然ガスから作る3つの燃料油(GTL, DME, メタノール)は、単に価格が安い, 高いということだけではなく, 互いに違う特色をもっています。ですから, この特色を最大限に生かした使い方をしないとまったく意味がありません。例えば, 性状が非常にクリーンなGTLを火力発電用燃料に使うのは大変もったいないということになります。DMEはLPGと非常に性状が似ていますから, やはりLPGの代替, もしくは共存という形で使っていくのが一番良いと思います。メタノールは既に発電用燃料, 自動車用燃料として認められ需要促進が図られています, 伸び悩んでいます。ある程度現状のままではないかと見ています。

GTL製品は大きく4つに分けることができます。① GTLナフサ, ② GTL灯油, ③ GTL軽油, ディーゼル油, ④ 重質な留分である潤滑油, ワックス, 溶剤等です。この中で一番早く日本で導入されると思われるのは, やはりGTL軽油をディーゼル油の一部に使っていく方式だと考えています。この方式で導入すると, 近年, 東京都などの大都市で問題にな

っています粉じん及びNOx削減に非常に貢献するでしょう。GTL軽油は硫黄分がほぼゼロです。それから, 今後大きな問題になるのは粉じん中の芳香族分です。石油系のディーゼル油にはどうしても芳香族分が入っています。これに対して, GTLディーゼル油の場合は芳香族分がほぼゼロです。

GTL装置は, 運転条件を変えることによって, 軽油を最大に生産したり, ナフサを最大に生産したり, その時の市場の要求に応じて, 生産パターンを切り換えることができます。ですから, この自在性を生かして中期的にはディーゼル油を主体に生産し, 長期的には燃料電池が普及したところで, ナフサを主体に生産することになるでしょう。この意味で, 新燃料油の中ではGTLが最も重要な役割を果たすのではないかと見ています。

DMEは, LPG代替に適しています。特に, サウジアラビアが日本へ供給するLPGを30%削減すると発表しました。実は日本が輸入しているLPGの約60%がサウジアラビアからのものです。さらに, LPGというのが現在非常に供給が不安定で, なおかつ価格も1年間に



客 先：Shell MDS (Malaysia) Sdn. Bhd.
 建設場所：マレーシア国、サラワク州ビンツル
 完 工 年：1993年
 プラント概要：天然ガスを原料として、年間50万トンの軽油、灯油、
 ワックス等の石油中間留分を生産可能

図1 シェル社のGTLプラント

2倍、3倍と変わる揺れの大きな製品です。そういうものを安定供給が可能なDMEに一部換えていくということが今後なされてくるだろうと思います。

DMEはディーゼル油代替としても期待されています。しかし、供給インフラの整備が鍵で普及には少し時間がかかるかもしれません。DMEは、長期的にはやはり燃料電池、特に定置型の燃料電池の燃料として最適ではないかと見えています。

図1は現在マレーシアで運転されている日産1万2,500バレル/日のシェル社のSMDS (Shell Middle Distillate Synthesis) プロセスを利用したGTL設備の写真です。LPG、ナフサと軽い製品から、潤滑油、ワックスと重い製品まで生産されています。現在、シェル社が検討中の新規GTLプロジェクトでは設備能力

を1万2,500バレル/日から7万バレル/日まで、一気に大型化する考えです。

マレーシアではこのGTL設備の隣にLNG設備があります。このLNGとGTLを組み合わせた設備が現在、世界各国で考えられています。比較的早く動き出すのはエジプト、カタール等のプロジェクトではないかと思えます。今後天然ガスを製品化するというところでは、GTLとLNGを組み合わせたプラントができると見えています。

最近GTLのプロジェクト動向が盛んに話題になり、毎日いろいろな形で報じられています。

それらの中で有力なものとして、まずナイジェリアがあります。ナイジェリアでは原油を生産する時に随伴ガスが出てきます。従来はこれを燃やしていました。フレアリングを

その場でやっています。ところがフレアリングが禁止になりますので、その随伴ガスを何らかの形で製品化する必要が出てきました。LNGに転換する方式と、GTLに転換する方式があります。サソールとシェブロン及びエクソンモービルがGTLの大型プロジェクトを進めようとしています。

次に具体的に名前が出ているのがカタールです。サソールとシェブロンがプロジェクト具体化に向けて動いております。エクソンモービルもカタール政府との間で企業化検討に入るといふ合意書にサインしております。

さらに、大型設備地の建設で候補に挙がっているのがイランです。イランは現在、世界第2位の産ガス国ですが、天然ガスの輸出はほとんどなされていません。ですから、LNG、GTL、DMEという3つのプロジェクトが同時に進行するのではないかとということで、注目されています。

ナイジェリア、カタール、イラン以外ですと、シェル社がオーストラリア、インドネシア、マレーシア、エジプト、トリニダードトバコ、アルゼンチンをGTL設備建設の候補地に挙げています。2002年中には2カ所か3カ所に絞って、2006年から2007年の生産開始を目標にして具体的なプロジェクトを進めるのではないかと予測しています。

2006年から2007年に大型設備が稼働を始めて日本へのGTL輸出が始まり、その後2010年にかけてやはり大規模な装置がかなり建つであろうと思われます。

DMEの方もプロジェクトが幾つか具体化しつつあり、オーストラリア、カタール、イランの3つが今のところDME輸出が期待できる国ではないかと見えています。

表3 環境改善と新燃料油の役割

- ◆ 粉じん/NOx(都市規模)とCO₂(地球規模)排出の違いの明確な区別
- ◆ CO₂排出に関してはトータルエネルギー効率での検討
- ◆ 大都市での新ディーゼル油製品規格の導入
- ◆ 新燃料油導入の緊急度調査と導入シナリオの作成

環境改善

ディーゼル車からの汚染物質排出低減が鍵

エネルギー需給構造の変化を考える中で、やはり環境改善が1つの大きな要因になってきます。ただ、環境改善という時には都市規模の対応と地球規模の対応を区別して考える必要があります。新燃料油の役割をよく理解し、これはどのような手順で導入するかを考えないと全体としての環境改善は進まないと思います。表3に示したように、粉じん、NOxというのはあくまでも都市規模の問題です。それに対してCO₂というのは地球規模の環境問題です。

例えば今、東京都では古い型のディーゼル車はできるだけガソリン車に切り換えようとしています。すると、粉じん、NOx削減には非常に効果があります。ただ、問題は逆にCO₂の排出量が増えるということです。これはディーゼル車とガソリン車の燃費が違うからです。一般に、ディーゼル車の方がガソリ

ン車より20%から40%効率よく走ります。ですから1リッターの燃料で、ディーゼル車の方が1.2倍から1.4倍走るといふふうに考えてください。そうしますと、排出するCO₂の量に違いが出て来ます。

現在、東京都ではガソリン車への切り換えが進んでいます。どこかでもう一度CO₂の削減要求が出てきた時にディーゼル車に戻すか、新しいタイプの車に換えるという問題に直面するのではないかと見えています。

特にCO₂の排出削減という面では、トータルのエネルギー効率、特に資源の生産から最終的に使うところまですべてを計算した上で、CO₂発生量の絶対値が少ないものを使っていくという考え方が必要になるだろうと見えています。

それからもう1つ、緊急に日本の大都市での粉じんとNO_x排出問題を解決する上で鍵となるは、基本的にディーゼル車からの排出を少なくするという事ではないかと思えます。先程言いましたGTLディーゼル油は、硫黄分がほぼゼロで、芳香族分もほぼゼロです。セタン価も大体75と非常に高いです。日本のディーゼル油のセタン価は大体55ですから、セタン価の高いGTLディーゼル油をいかにうまく導入するかも重要です。ただ問題は、何バレル導入できるかというところです。大量の中に少量輸入して混ぜて使っても目に見えた効果はありません。ですから、1つ考えなければいけないのは、硫黄分がほぼゼロで、なおかつ芳香族分もゼロに近いというこのGTLをいかにうまく活用するかです。低硫黄ディーゼル油の導入にはスウェーデンが熱心で、都市ディーゼル油のクラス分けを行っています。すでに10ppm硫黄分のディーゼル油規格

表4 新燃料油導入のシナリオ

- ◆ 導入すべき分野の確定とその順位付け
- ◆ 既存インフラを活用した受入/供給体制の検討
- ◆ 環境貢献からのインセンティブ検討
- ◆ 導入効果のシミュレーション実行
- ◆ 経年導入シナリオの作成
- ◆ 市場規模に合致した量的確保の可能性調査

を導入しています。ただし、エンドポイントが日本より軽くなっています。税金にインセンティブを付けることによって、販売価格を調整しています。

もう1つ、やはり、新燃料油をどういう緊急度で導入する必要があるのか考える必要があります。特に環境対応面では、CO₂削減、粉じん削減、NO_x削減のどれを優先させるのか。その辺を見ながら、新燃料油がある時期にうまく導入する、そういうシナリオを作ることが非常に重要だと見えています。

新燃料油の導入シナリオ

導入する対象がディーゼル車なのか、燃料電池車なのか。それともLPGをもう少し使っていくのか、マイクロガスタービン用燃料を考えるのか、その辺のところで、重要度の順位づけを行う必要があると思えます。

次に導入するにあたってのインフラ整備があります。例えば、LPG車は日本ではかなり普及していますが、普通のガソリン車と同じぐらいに普及させるとなると、各ガソリンスタンドがLPGタンクを持つ必要があります。

ですから、既存インフラをうまく使ってスムーズな導入ができるかどうかというのも非常に大きな鍵ではないかと思えます。

品質が良すぎる燃料油をどう評価して導入のインセンティブを与えるかが必要と思えます。例えば今、ディーゼル油用GTLを日本に導入しますとオーバースペックです。品質が良過ぎます。

それから次に私が最も重要だと思っているのが、導入した際の効果を数値的に出す、シミュレーションを行い具体的な結果を出す必要があるということです。例えば、ディーゼル油用GTLを東京都が2万バレル/日導入したケース、5万バレル/日導入したケース、最終的には20万バレル/日導入したケースということで、NO_xの削減、粉塵及びCO₂の削減が、具体的にどのくらいになるのか、そういうシミュレーションを今の時点でやらないと、ディーゼル油用GTLの導入は難しいだろうと思えます。

また、シミュレーションを単に、例えば2010年だけの予測を行ってもあまり意味はありません。車のタイプがどんどん変わります。当初はCNG車、ハイブリッドガソリン車、それからハイブリッドディーゼル車が普及してきます。さらには燃料電池車が導入されるでしょう。それに応じて、燃料のタイプ、占める割合が変わってきます。そういう変化を見ながら、やはり5年スパンぐらいでシミュレーションしないと意味がありません。2030年ぐらいまでを5年刻みできちんとシミュレーションしないと、その効果は分かりません。その効果を見れば、逆にどういう燃料を導入したらいいかというシナリオもできるのではないかと思えます。

表5 将来の製油所

- ◆ 製品メニュー拡大による成長エネルギー産業への転換
- ◆ 石油と新燃料油の共存によるクリーン燃料の効率的生産
- ◆ 輸送システムの変化に対応するオイルエンジニアリングの実行
- ◆ 既存設備を生かした新しい設備フローの構築
- ◆ コンピナトルネッサンスの更なる推進

さらに、せっかくそういう結果が出ても、それだけの量を海外から輸入できるかが1つの大きな問題です。GTLの場合、現在は、1基大体7万バレル/日、将来は10万バレル/日ぐらいの設備規模になるだろうと思えますが、こういうものが比較的日本に近い地域で2010年までに何基運転されるかということも非常に大きなポイントになります。DMEについても同様です。

21世紀石油精製のビジネスチャンス

既存設備を生かし、新燃料油会社へ転換

いろいろ話を致しましたが、要は、これが日本の石油精製に非常に大きな影響を及ぼすということです。何もしないと製油所は処理量がどんどん減って製品がさばけない事態に陥ります。特にガソリン需要がなくなり、ただ単にナフサを精製して燃料電池の燃料とするビジネスに変わってきます。ハイブリッド車が入ってくれば、燃費がよくなりますから、その分、燃料が必要なくなります。このよう

に日本のエネルギー供給システムは変わってきます。逆に言えば、私は石油精製にとっては非常に大きなチャンスではないか、ビジネスを拡大するチャンスではないかと思っています。

どういうことかと言いますと、製油所には既にタンクがいっぱいあります。精製設備としては接触改質装置やFCC装置、アルキレーション装置等は相当量要らなくなるだろうと思います。一方、受入設備、出荷設備、タンクの3つは依然として有効活用できます。こういう既存設備をうまく利用して、なおかつ積極的にGTLという新燃料やいろいろなタイプの燃料を組み込んだ形の工場に切り換えることによって、成長エネルギー産業への転換ができるだろうと思います。ただ、エネルギー構成が徐々に変わってきますから、どういう手順を踏んで切り換えていくかということが非常に重要です。このようにして、会社の仕組みがまったく変わるのではないかと考えています。

石油は依然として基本的に日本の一番重要な輸送用燃料なので、これと競争するのではなく、クリーン燃料を作るという観点から共存すべきであろうと考えます。ですから、石油と新燃料油をうまく組み合わせて効率的に作り、クリーンエネルギーを効率的に生産するというのが1つ大きなポイントです。

ユーザー側の使い勝手を考えた

エネルギー供給

次に、やはりユーザー側の変化があります。ユーザー側の使い方合ったタイプのエネルギーを作り出すように変えていくことが重要

です。現在のガソリン、灯油、軽油という形は保持されるかもしれませんが、成分的にはいろいろ変える必要があると思います。特にオイルエンジニアリングという書き方をしていますが、これは、オイル&エンジン・エンジニアリングという意味で、油とエンジンとの組み合わせで新しいタイプのエネルギー源を作っていくというのが今後必要になるだろうということです。

既存設備を生かした新しい設備フローの構築、コンビナートルネッサンスのさらなる推進には2つの意味があります。1つは多分過剰になるであろう現在の石油精製設備の一部を違う目的に使う必要があるだろうということです。例えば、FCC設備は従来ガソリンを作る設備ですが、これをプロピレン、エチロン、ブテンという石化原料を作る設備に切り換えていく。現に、イギリスではペトロFCCというプロセスが出ています。そういう切り換えを考える必要があります。それから、接触改質であれば、100%芳香族製造に切り換えるとか、いろいろなことが考えられます。

2つ目は、長期的に見て、やはり現在の製油所が持つ水素供給設備を最大活用できるのではないかとということです。例えばエチレン装置で副生する水素は回収されることなく、

表6 将来のビジネス形態

- ◆新しいビジネス形態の構築
- ◆石油精製専業型からエネルギーベストミックス型への転換
- ◆資源開発から輸送システム/分散型発電までのチェーン化
- ◆コストセンターとプロフィットセンターの区分導入
- ◆サプライチェーンを通しての環境保全への貢献

かなり燃やされています。それと石油精製で副次的に出てくる水素の回収分、製鉄所のコークス炉ガスからの水素の回収分を計算すると、これだけで車を10万台から20万台は軽く動かす量の水素が比較的容易に確保できます。そういう意味のコンビナートルネッサンス、将来に向けての水素供給工場としての製油所、及びコンビナートの転換が重要ではないかと思えます。

サプライチェーン型ビジネスへの転換

最後に、新しいビジネス形態を構築するには、石油精製という枠をはずしていろいろなタイプのエネルギーを作る形の工場に転換する必要があります。新しい製品で入ってきますから、流通の上流部分に出る必要もあります。例えば、新しい販売の仕組みを作る、そういうところまで石油ビジネスは領域を広げることになるでしょう。場合によっては、水素供給という新しい横のビジネス。よく言われる、垂直展開と水平展開をさらに行う必要があるのではないかと思います。燃料電池が普及してきた場合、従来はLPGは家庭にLPGポンペを届けて終わりでした。ところが、さらにその先に燃料電池をつけると、発電事業ができるわけです。そういう発電事業をリースで行うとか、もう少し先まで垂直事業を展開することが可能になるだろうと思います。この意味で、新しいビジネスモデルを構築して、そこで新たな事業を展開するということが今後非常に重要になってくるでしょう。

石油精製専門型からエネルギーベストミックス型、将来のエネルギー構造変化を見越したタイプの事業への転換が必要でしょう。資源開発から最終的に分散型発電までの投資を含めた事業展開もより重要になってきます。アメリカ等ではこういうタイプの会社が出ています。

次のコストセンター、あるいはプロフィットセンターという考え方が非常に重要になってきます。事業を安定的に運営するには、チェーン全体に単独で投資することは不可能です。ほとんどが多分ジョイントベンチャー方式の事業になってくるかと思えます。その中で常に利益が出る事業というのは限られてきます。すべての事業で今後利益が出るという形ではなく、やはり需給の変化、使う側の変化、原油の値上げ等々いろいろありますから、そういうファクターをすべて織り込んで、その都度どの部門でコストセンター型事業を行うか、あるいはプロフィットセンター型事業を行うか、それを判断する必要があるでしょう。そういう部署を常に抱えていることが非常に重要です。そのためにも、最初のビジネスモデル構築が非常に重要で、これをここ1、2年でやらないと、その次の展開がなかなか難しくなるかと見ています。

最後に、やはり環境保全ということです。特に、エネルギー産業のチェーン化を行うということは総合的に見て、やはり環境保全へかなり貢献できるのではないかと考えています。

以上で終わります。(拍手)

〔講演〕

21世紀の自動車技術と燃料

堀 政彦 (財)日本自動車研究所
総合研究部主席研究員



はじめに

燃料の大口使用者である自動車の立場から燃料について検討してみたいと思います。

21世紀に入って最初の25年ぐらいを見た時、今のガソリンエンジン、ディーゼルエンジンに燃料電池が100%取って代わることはないと思います。ここしばらくは燃料電池車、ハイブリッド車、それから従来のガソリン車、ディーゼル車が競合しながら進んでいくと思います。

従って、本日はガソリンエンジンとディーゼルエンジンといった従来の自動車用エンジンに対する燃料の話と、ハイブリッド車、燃料電池車に対する燃料の話を展開させていただきます。

ガソリンエンジン100年の歴史と燃料

エンジンに対応して変遷してきた燃料

ガソリンエンジンは19世紀末、ゴットリー

〔略歴〕

1968年上智大学理工学部機械工学科卒業。
1973年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。
1987年上智大学より工学博士号取得。

1973年(財)日本自動車研究所入所。2001年4月より現職。

光学的手法を用いたディーゼル燃焼の研究、メタノールディーゼルエンジン研究、軽油性状と排出ガスに関する研究などを実施。

表1 自動車の歴史と燃料・エネルギー

- ・ガソリンエンジン (鉛, 硫黄, ベンゼン)
- ・ディーゼルエンジン (微粉炭→軽油 (硫黄))
- ・電気自動車
- ・木炭車
- ・航空機用メタノール
- ・LPGタクシー
- ・石油代替燃料 (エタノール, メタノール, 天然ガス)
- ・水素 (燃料電池)

ブ・ダイムラーによって発明されました。最初はノックを防止するため燃料に鉛を入れていました。それが環境問題から、今度は鉛を取り除かなければならなくなりました。最近になりますと硫黄を、さらにはベンゼンを減らしていくという流れになりました。ガソリンエンジン100年の歴史の中で、燃料もどんどん変わってきました。

次に、ルドルフ・ディーゼルがディーゼル

エンジンを発明した1893年当時、ディーゼル燃料は微粉炭でした。液体式の噴射ポンプができて初めて今のディーゼルエンジンの姿になったのです。ディーゼル燃料として現在使用されている軽油についても環境面から硫黄分、あるいはアロマ（芳香族）分を減らしてきています。このように、燃料問題は100年にわたる自動車の歴史の中でその時々々の要請に応じて変化してきました。

ガソリン車、ディーゼル車の他にもいろいろなタイプの自動車が提案されています。まず、電気自動車にもやはり100年の歴史があります。わが国で最初に路上を走った自動車は電気自動車だと言われています。戦中、戦後は木炭自動車も走りました。1960年代になると、LPGがタクシーに使われました。オイルショックの後、エタノール、メタノール、天然ガスといった石油代替エネルギーの開発が行われてきましたが、こちらは自動車用燃料として普及するには至っていません。将来的には水素、燃料電池の時代になっていくだろうと思われまます。

自動車燃料としての4条件

自動車用燃料に求められる条件として4つ挙げました。

表2 自動車燃料に求められる条件

- ・資源が豊富で、継続的に供給可能であること
- ・取扱いが容易で、利便性にすぐれていること
- ・価格が適当であること
- ・クリーンエネルギーであること

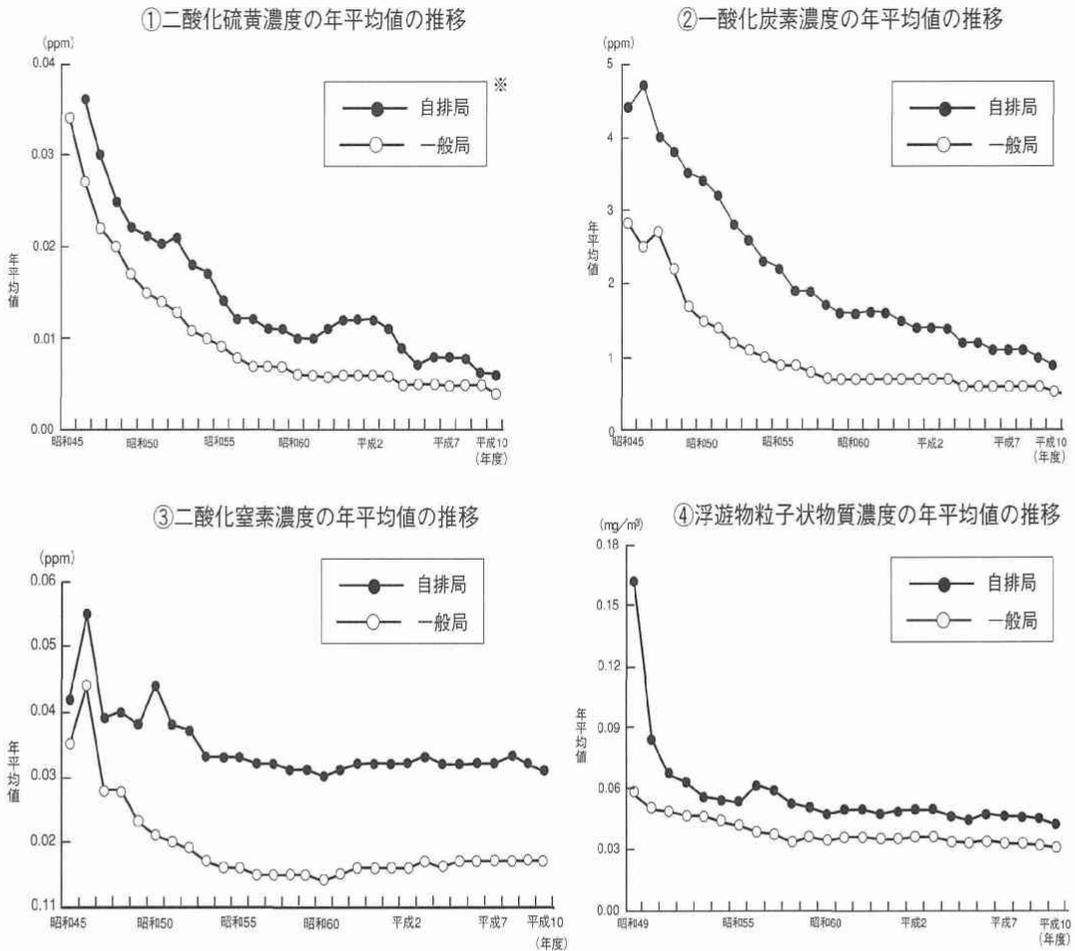
まず、資源が豊富でなければなりません。ただ豊富だという意味では自然エネルギー、太陽エネルギーその他もありますが、これを集める効率もよくなければなりません。それから、ある程度長期間にわたり継続的に供給されないとはいけません。例えばバイオ燃料が一時期大量に供給されたとしても、気候変動で供給が途絶えてしまうということでは自動車燃料には向かないと思います。2番目に扱いが容易であるということです。例えば、ガソリンや軽油メタノールは常温で液体であるということに大きなメリットがあります。3番目は、価格が適当であることです。最後に、クリーンエネルギーであるということだと思います。

こうやって見みますと、石油から作られるガソリンや軽油は、決してクリーンであるとは言えないのですが、他の3つの条件を最も満たしている燃料ではないかと考えています。一方、水素は非常にクリーンなエネルギーですが、常温でガスであるということを取り扱いが非常に難しいことが、実用化の際の課題の1つです。

自動車を取りまく環境とエネルギー問題

21世紀は大気汚染問題がピークを超え、地球環境問題、エネルギー問題が課題に

2025年までを見た時、大気汚染問題は、ピークを過ぎて、だんだん減っていくのではないかと思います。それに代わって、地球温暖化に影響する二酸化炭素（CO₂）の問題、さ



出所：「平成12年版 環境白書」を基に作成。 ※ 自排局は幹線道路沿いの測定点、一般局は住宅街などの測定点

図1 大気環境濃度の変遷

らには2010年以降になるとエネルギーの枯渇に対応した、エネルギー問題が大きな課題になってくると思います。

年々減ってきたSO₂とCO、
改善が芳しくないNO₂とSPM

最初に環境についてお話しします。図1は大気環境濃度の変遷を示しています。黒丸が自排局または幹線道路沿いの測定点のデータ、白丸が一般局または住宅街などの測定点のデ

ータです。

二氧化硫 (SO₂) と一酸化炭素 (CO) は年々減ってきました。SO₂の減少は燃料中の硫黄分を減らしてきたこと、COの減少は自動車の排ガス対策が効を奏したことが原因だと思います。

ただ現在問題になっている、二酸化窒素 (NO₂) と浮遊物粒子状物質 (SPM) の改善はその率が非常に悪くなっています。特に大気中にバックグラウンドオゾンがあると、一酸化窒素 (NO) がNO₂に変わります。このため、

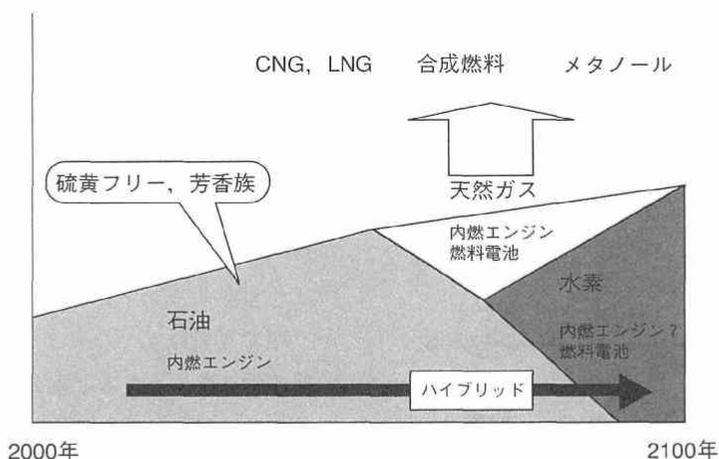


図2 エネルギーの谷間時代への対応

現在、③の自排局データで示されているNO₂濃度の倍ぐらいあるNO濃度が、NO₂濃度を下回らないとNO₂はなかなか減らない状況です。

また、SPMについても日本では現在10ミクロン以下の粒子の議論をしていますが、欧米では2.5ミクロン以下のSPM (PM2.5) が議論されています。粒子が小さくなると肺の奥まで入っていくので問題が大きいのです。さらに最近では、数十ナノミクロンという非常に小さな粒子(ナノ粒子)が心配されています。この大きさだともうガスと一緒に肺の奥まで入ってなかなか出てこないため、健康に大きな影響を及ぼします。微粒子の問題は今後も大きな課題になると思います。

石油時代と水素時代の谷間を

埋める燃料は天然ガス

21世紀の半ほどで石油の生産量がピークになり、その後相当期間が経過して、水素時代が来るだろうと思われまます。私は、この間のエネルギーの谷間時代を何で埋めるかというのがエネルギー問題になると考えます。(図2)

エネルギーの谷間時代には天然ガスが非常に有効ではないでしょうか。天然ガスは、圧縮天然ガス(CNG)、液化天然ガス(LNG)、さらにGTL(FT合成油)、ジメチルエーテル(DME)などの合成燃料、そしてメタノールにも転換でき、非常に用途が広いものですから、いろいろな形で使え、内燃エンジンにも、燃料電池にも使えます。

それから、ハイブリッド車というのは、電気モーターとエンジンを組み合わせた自動車のことです。エンジンには既存のガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、天然ガスエンジンがありますが、個々のエンジンは既に完成度が高いので、組み合わせの自由度が高くなります。今後は、組み合わせる際の制御技術が大きな課題になると思いますが、自由度があるため、エネルギーの谷間時代のかなり長い期間にわたって使っていけるのではないかと考えています。

環境対応のためのエンジン開発

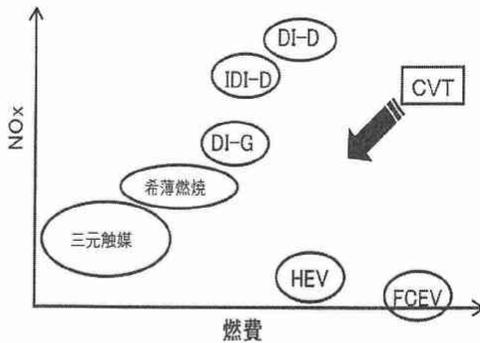


図3 エンジン形式とNOx, 燃費

燃費向上とNOx排出抑制の関係

図3は縦軸に窒素酸化物 (NOx), 横軸に燃費をとっています。CO₂は燃費に比例しますので、横軸がCO₂と見ても構いません。右に行くほど燃費が良くなる、つまりCO₂が少なくなります。

図中に示した三元触媒は、CO, ハイドロカーボン (HC), NOを同時に減らす排気浄化システムで、今、ガソリン乗用車で多く使われています。これは環境面で非常にいいのですが、燃費がよくありません。

希薄燃焼にしますと燃費が若干よくなりますが、NOの排出量が増えます。

それから最近流行しているガソリンの直噴 (DI) になると燃費はさらによくなりますが、排ガス、特にNO排出量が増えます。触媒を使っていかにNO排出量を下げていくかが技術開発の課題になっています。

ディーゼルエンジンはガソリンエンジンよりも燃費はよいのですが、NO排出などの環境面で劣ります。ディーゼルエンジンには、乗用車、あるいは小型トラックに使われている

間接式ディーゼルエンジン (IDI-D), 最近では小型トラックにも使われますが、中型、大型トラックに使われている直噴式ディーゼルエンジン (DI-D) があります。

こういうふうには、従来のガソリンエンジン、希薄燃焼エンジン、直噴ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、特に直噴ディーゼルという順で燃費はよくなりますが、環境に対しては非常に厳しくなると言えます。

一方、ハイブリッド電気自動車 (HEV) はディーゼルエンジン並みの燃費と、ガソリン車を下回る排ガス性能ということで注目されています。

さらに、燃料電池自動車 (FCEV) は低速走行時に効率がよくなるので、都市内走行に向いており、燃費もいい、排ガスもいいという

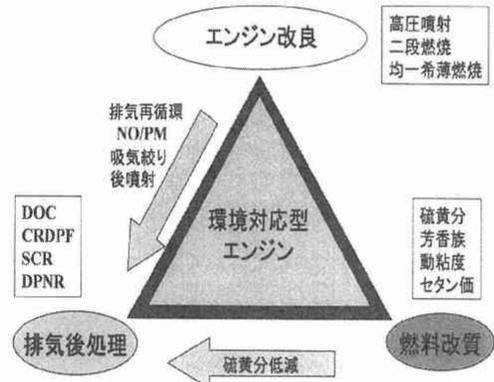


図4 ディーゼルエンジン技術

ことで注目されています。

ただ、エンジンだけではなかなか燃費向上までは稼ぎきれないので、最近では連続的に可変するトランスミッション (CVT: Continuously Variable Transmission) がよく使われています。これは最適なギアを使って、燃費をよくしていこうという技術です。

環境対応のための

ディーゼルエンジン技術開発

環境対応型ディーゼルエンジンとして、エンジン改良、燃料改質、排気後処理という3つのキーテクノロジーがあります。(図4)

エンジン改良では、高圧噴射、濃い混合気と薄い混合気をつくる二段燃焼、ガソリンエンジンと同じように均一の希薄燃焼によってNOと微粒子を減らそうという3つの試みがなされております。

しかし、これだけではなかなか排ガスがきれいにならないということで後処理装置が必要になってきました。酸化触媒(DOC: Diesel Oxidation Catalyst)は、微粒子中に含まれている炭化水素、特に燃料とかオイル成分を酸化しようという浄化システムです。ディーゼル・パティキュレート・フィルター(CRDPF: Continuous Reaction De-particle

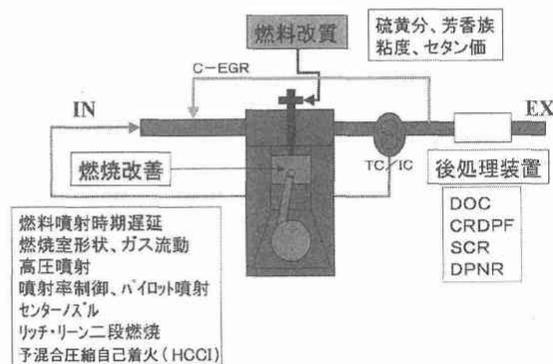


図5 排出ガス対策技術 (ディーゼル)

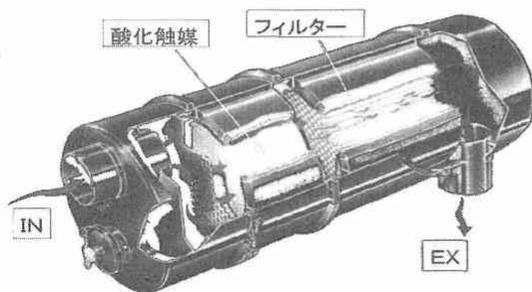
Filter) は、ディーゼル微粒子を取るフィルターです。選択触媒還元(SCR: Selective Catalytic Reduction)はNOを選択的に還元する触媒です。さらには、微粒子とNOを同時に低減する触媒(DPNR: Diesel Particulate - NOx Reduction)が今考えられています。

これらの装置はいずれも硫黄の影響を受けるため、燃料中の硫黄分を低減する必要があります。

また、後処理装置をうまく活用するために、後噴射、吸気絞りおよびNOと微粒子との比率をうまくコントロールすることが今後の課題になるかと思えます。

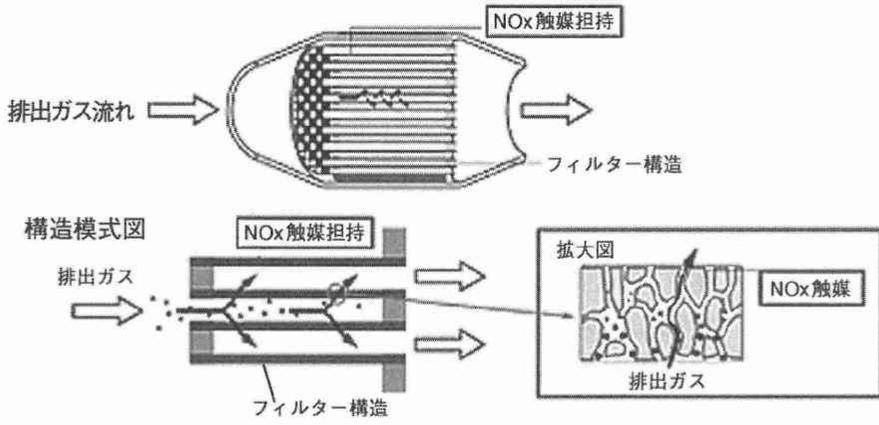
今言ったところを図5に示しました。その他、インタークーラー付きターボチャージャーは今後のディーゼルエンジンの必須技術ですが、クールドEGRという、排ガスの一部を冷却し、吸気に戻す方式がこれからの技術になってくると思えます。

図6はCRDPFの仕組みです。石原都知事がディーゼル車に対する規制強化を打ち出して以来、ディーゼルエンジンメーカーは後処理装置の開発に力を入れざるを得なくなりました。CRDPFでは、酸化触媒によって排ガス中のNOをNO₂に変えて、そのNO₂でフィルターにたまった煤を燃やすという考え方を採用し



出所: ジョンソンマッセイ社パンフレット

図6 CRDPFの仕組み



【NOx, PM浄化メカニズム説明】

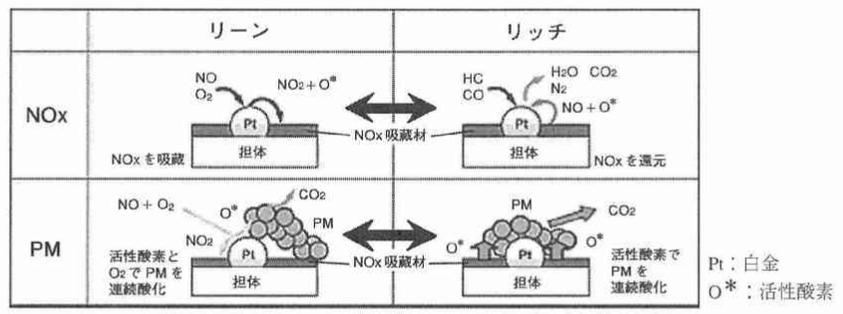


図7 NOx, PM触媒 (DPFR)

出所: トヨタ広報資料

ています。従来ですと、フィルター入口で電気ヒーターとかバーナーを用いて煤を燃やしたわけですが、そうしますと900度を超える高温が必要です。NO₂で燃やすと300~500度ぐらいで良いということ注目されています。ただ、やはり燃料中に硫黄分があると、NOからNO₂への転換が劣化しますので、燃料中の硫黄分は極力減らさなければいけません。

図7はNOと微粒子とを同時に減らそうというDPFRです。ディーゼルパーティキュレートフィルターと同じハニカム状の構造をしています。入ってきた排ガスは、セラミックの薄い壁を通して隣の通路から出ます。この時、セラミックの薄壁の間に粒子が捕捉されます。それから、希薄(リーン)運転中にはNOがこ

の触媒の上に吸着されます。ある運転間隔で燃料を多量に噴射してガソリンエンジンの三元触媒と同じような状況(リッチ)を作ります。そうすると還元雰囲気になりますので、吸着NOがN₂に還元していくという仕組みです。そのときに活性酸素で微粒子も減ると言われています。

環境対応のための

ガソリンエンジン技術開発

環境対応型ガソリンエンジンには、エンジン改良、排気後処理、燃料改質という技術が必要です。これは基本的には環境対応型ディーゼルエンジンと同じです。

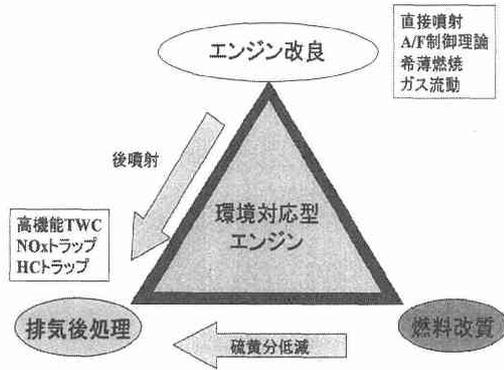
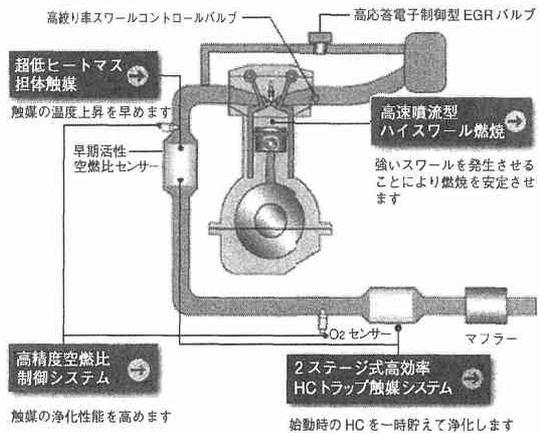


図8 ガソリンエンジン技術

エンジン改良では、従来の三元触媒の場合、燃料と空気をうまく制御していくという制御理論の構築がキーテクノロジーになってきます。それから今後のエンジンは、希薄燃焼、あるいは直接噴射になっていきます。ただし、直接噴射エンジンでは従来の三元触媒を使いませんので、NO_xをトラップするNO_xトラップ触媒が必要になってきます。

従来の三元触媒では高機能の三元触媒が必

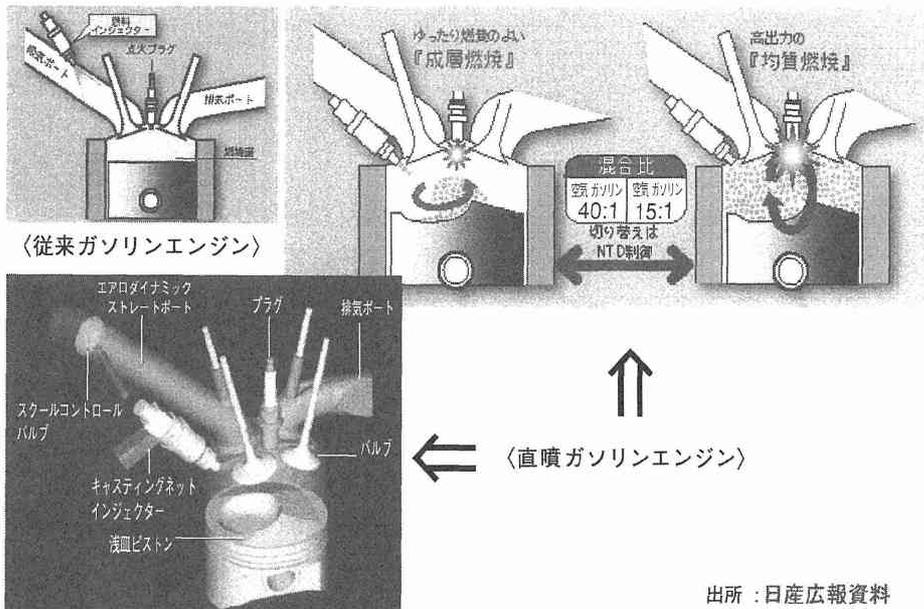


出所：日産広報資料

図9 ガソリンエンジンの低公害化技術

要ですが、それでもエンジン始動時にはヒドロカーボンが出ます。これをどうトラップしていくかというのも1つの大きな技術になります。

このNO_xトラップは硫黄の影響を受けますので、やはり燃料中の硫黄を減らすということが要求されています。



出所：日産広報資料

図10 直噴ガソリンエンジン

今言ったところを図9に示しました。高速噴流型ハイスワール燃焼は、燃焼をよくして、エンジンから出てくるハイドロカーボンを減らす燃焼技術です。それから高精度空燃比制御システムで空気と燃料をうまく制御していく。触媒はエンジンの直下型触媒と床下触媒と2つに分けていますが、超低ヒートマス担体触媒はいかに早く触媒を温めるかということで、壁を薄くする、あるいはセルを多くするという技術が開発されています。それでもエンジン始動後、これが温まるまでの間にハイドロカーボンが出てしまいますので、そのハイドロカーボンは2ステージ式高効率HCトラップ触媒システムで吸着させようとしています。電気ヒーターを用いて吸着したハイドロカーボンを除去するシステムの開発を進めているメーカーもあります。

図10は直噴ガソリンエンジンです。従来の三元触媒では、燃料は吸気管から噴射されます。それに対して直接噴射式エンジンではインジェクターが燃焼室の上に付いていて直接燃料を噴射します。高負荷運転時はピストンが下がっている時に燃料を噴射して、従来の燃焼方式と同じ燃焼をさせます。希薄運転時は「成層燃焼」を行います。ピストンが上がってくる時に燃料を噴射し、プラグのそばに適正な混合気を作ります。全体としては、「均質燃焼」が燃料1に対して空気15ですが、「成層燃焼」だと燃料1に対して空気40という、非常に薄い混合比で燃やす仕組みになります。すると燃費はよくなるのですが、NOが十分に下がらないため、NOxトラップが必要になってきますが、ここでも硫黄フリーが要求されてきます。

表3 国際商品としての燃料仕様

●カテゴリー1	—排ガスがないか、最低の規制レベル対応
●カテゴリー2	—厳しい排ガス規制対応 (Tier 1, EURO 1, 2)
●カテゴリー3	—先進的な排ガス規制対応 (LLEV, EURO 3, 4)
●カテゴリー4	—将来の排ガス規制対応 (LEV II, Tier 2, 燃費対応EURO 4)

出所：WWFC

表4 燃料仕様—ガソリン

	硫黄分 (%m/m)	アロマ分 (%v/v)	ベンゼン (%v/v)
カテゴリー1	0.1	50	5
カテゴリー2	0.02	40	2.5
カテゴリー3	0.003	35	1
カテゴリー4	フリー	35	1

出所：WWFC

低公害対策—燃料面のハイスペック化

日米欧の自動車工業会が、ワールドワイド・フューエル・チャーター (WWFC) を作成しました。表3は2000年のデータですが、ガソリン系を4つのカテゴリーに分けています。カテゴリー1は排ガス規制がないか、あるいは最低の規制レベルということで途上国用。カテゴリー2は途上国で規制を強化していこうというもの。カテゴリー3は、欧米、あるいはわが国のような先進の排ガス規制対応。また、将来の規制に対応するためのカテゴリー4というものを設定しています。

表4はガソリンのカテゴリー別仕様ですが、硫黄分、アロマ分、ベンゼンを示しています。例えば硫黄分ですと、カテゴリー1から4に対して0.1, 0.02, 0.003, 最後は硫黄フリー。アロマ分もこのように減っています。ベンゼンも5分の1に減らすという状況です。

表5は欧米とわが国でいろいろな規制対応

表5 低硫黄化による排ガスの改善割合

出所：WWFC

研究機関	排出ガス 対応技術 レベル	硫黄分(ppm)		排出ガス低減割合%(高→低)		
		高	低	HC	CO	NOx
AQIRP	Tier 0	450	50	18	19	8
EPEFE	EURO 2+	382	18	9 (43)	9(52)	10(20)
AAMA/AIAM	LEV&ULEV	600	30	32	55	48
CRC	LEV	630	30	32	46	61
JARI	1978 Reg.	197	21	55	51	77

※ AQIRP: Air Quality Improvement Research Programme
 EPEFE: European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technology
 AAMA: American Automobile Manufacturers Association (1998年12月31日解散)
 AIAM: Association of International Research Programme
 CRC: Co-ordinating Research Council (米国)
 JARI: Japan Automobile Research Institute (日本自動車研究所)
 Tier、LEV、ULEVは米国の排出ガス規制レベル
 EUROはECの排出ガス規制レベル

に対してガソリン車を使い、硫黄分を従来の高いレベルから下げた時に、排ガスがどれだけ削減されるかを調べた結果です。ハイドロカーボン、CO、NOxとも、硫黄分が1桁下がりますと、20%から50%ぐらい改善されました。特にNOxは、硫黄分があると触媒が劣化してしましますが、硫黄分を下げることでその劣化を防ぎ排出量を削減できると報告されています。

表6は軽油、ディーゼル用燃料のカテゴリー別仕様です。ここでも硫黄分が0.5から0.03、

表6 燃料仕様—ディーゼル

出所：WWFC

	硫黄分 (%m/m)	全アロマ分 (%m/m)	セタン価
カテゴリー1	0.5		48
カテゴリー2	0.03	25	53
カテゴリー3	0.03	15	55
カテゴリー4	フリー	15	55

将来的には硫黄をゼロにするというような提案があります。アロマ分も芳香族も下げる。セタン価は従来の55を維持する。わが国では従来からセタン価は55、あるいはそれ以上ということで、セタン価については非常にいい燃料が提供されています。

燃費と環境対応を同時に

—「低公害4兄弟」に期待

クリーンエネルギー自動車としては、低公

表7 クリーンエネルギー自動車

- メタノール (エタノール)
- 電気
- LPG (ディーゼル代替)
- 天然ガス (CNG, LNG)
- DME (合成燃料)
- ハイブリッド (HEV)
- 燃料電池 (FCEV)

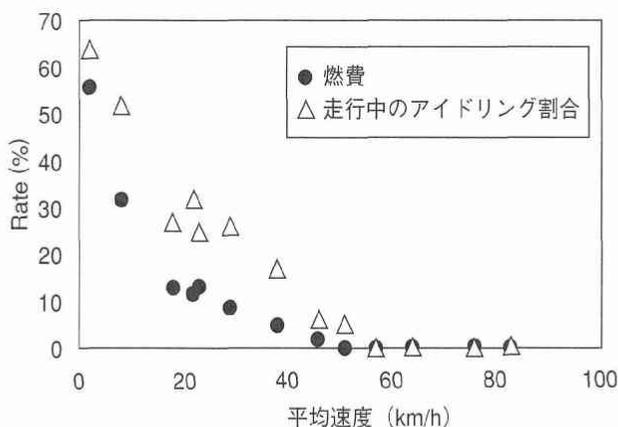


図11 走行中のアイドリング割合と燃費

害自動車で石油代替可能なメタノール自動車、エタノール自動車、電気自動車があります。LPG自動車の場合、ディーゼル車代替として開発されております。また、天然ガス自動車、DME自動車、GTL自動車、それからハイブリッド車、燃料電池車がありますが、表7でアンダーラインを引いた自動車は「低公害4兄弟」と言われています。

図11は走行中のアイドリング割合と燃費の関係を示した図です。渋滞し、特に平均速度が時速5kmぐらいになると、停まっている時間割合が50%を超えます。当然、その時の燃費も悪くなります。ですから、新しい道路を

つくる、あるいは交通管制をうまくすることによって平均速度を上げれば燃費がよくなります。

ところがなかなかそうはいかないので、アイドリング時にはエンジンを止めてしまおうというのがハイブリッド車のコンセプトの1つです。横軸に平均速度を採りますと、加減速の割合、アイドリング、定常運転の割合は図12のようになります。当然、加速時には燃料をたくさん消費するので、必要に応じてモーターをガソリンエンジンがアシストし、逆に減速時はバッテリーを充電しようというの

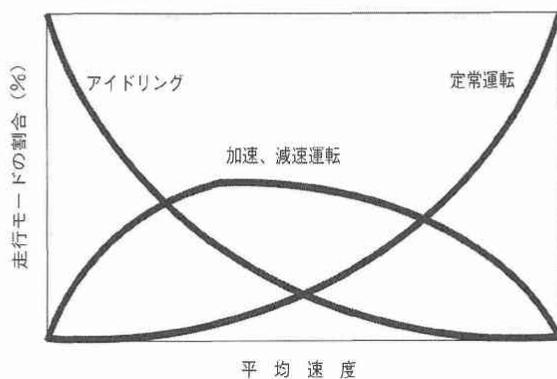


図12 路上における走行モード分類

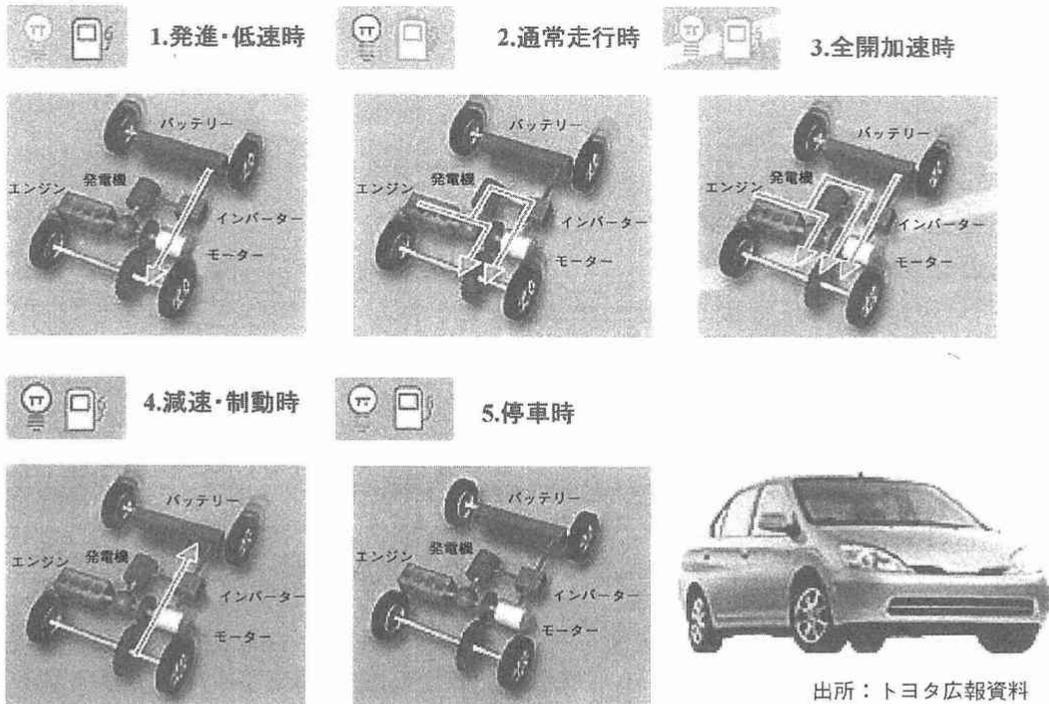


図13 ハイブリッド車のシステム作動

がハイブリッド車のコンセプトです。

図13は、トヨタ・プリウスの例ですが、停車時（5）は当然エンジンは停まっています。発進時・低速時（1）は、モーターで駆動します。通常走行（2）になりますとエンジンで駆動するわけですが、バッテリーの充電量が低下した場合にはバッテリーの方にも充電していきます。それから全開加速時（3）、坂を登ったり、あるいは高速道路で全開加速するようなときには、エンジンだけでは足りない出力をバッテリーから供給します。エンジンの出力にモーターの出力を加えて全開加速しようというものです。減速時、ブレーキ時（4）は、エネルギーをバッテリーに貯めます。

最近出た新しいハイブリッド車では、モーターが後にもついており、後輪もモーターで

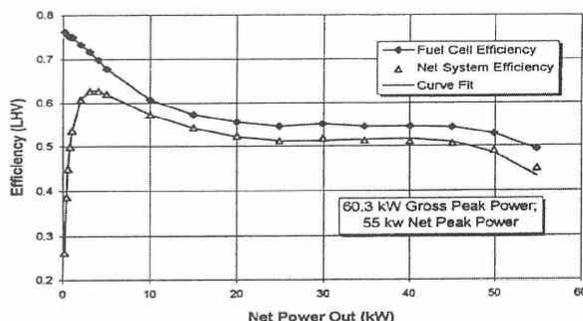
駆動し、前部モーターと後部モーターを組み合わせて最適な運転制御を行うとしているタイプもあります。

いずれにしても、ハイブリッド車の場合、エンジンシステム、モーター、バッテリーという個々の要素技術はかなり完成度が高いですから、これらをいかにうまく組み合わせていくかという制御技術がこれからの技術になります。

燃料電池と燃料電池車開発の現状

まず、燃料電池と内燃機関の熱効率を比較してみます。図14の右側がガソリンの効率です。横軸が回転数、縦軸が負荷、アクセルペダルの踏みしろになりますが、一番燃費のい

〈燃料電池の効率〉



出所：C.E.Thomas et al.,
 'Societal Impacts of Fuel Options for Fuel Cell Vehicles' SAE982496
 機械工学便覧(1985)

〈内燃機関(ガソリン)の効率〉

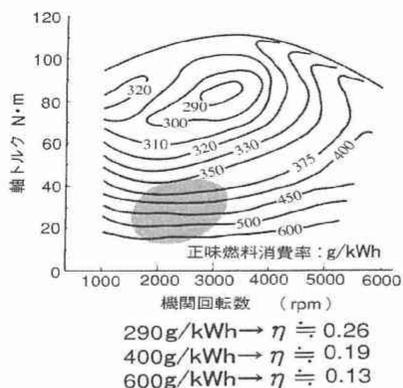


図14 燃料電池と内燃機関の効率比較

い正味燃料消費率290というところはかなりの高負荷です。中速高負荷が一番燃費がいい。普段私たちが使っている左下の領域では、燃費が悪くなります。

先ほどのCVTというのは、エンジンは極力2000~3000rpmくらいで回しておいて、ミッションで速度を変えていこうというものです。

それに対して図14左側の燃料電池は、基本的には、低負荷になるほど効率がよくなってきますので、都市内走行に向けたエンジンシステムであるということがわかると思います。ただ、全体にしますと、当然いろいろ補機がつかますので低速ではまた効率が落ちてきます。

図15に新世代燃料電池車を示しました。水をそのまま使う燃料電池、メタノールを水素に改質する燃料電池が今提案されています。水をそのまま使う場合には当然、水素貯蔵が大きな課題になってきます。

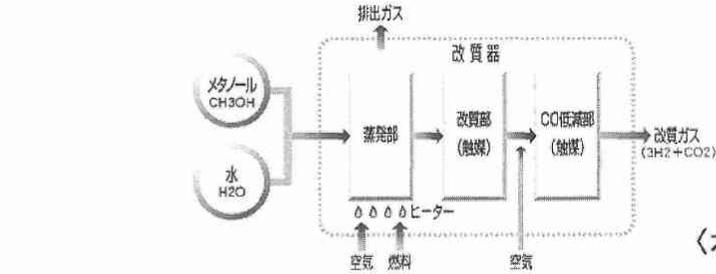
メタノール燃料電池車の場合、メタノールから水素に改質をするわけですが、メタノー

ルだけではなく、GTL、天然ガス、DME、ナフサといった、水素を作れる燃料なら何でも良いということです。要は、総合効率でどの燃料が優れているかということと、インフラは何かいいかということがこれからの議論になってくると思います。

メタノールと水を反応させて水素を作る時、当然、副産物としてCOとかCO₂が出てきます。それをいかに除去するかというのもこれからの技術になると思います。

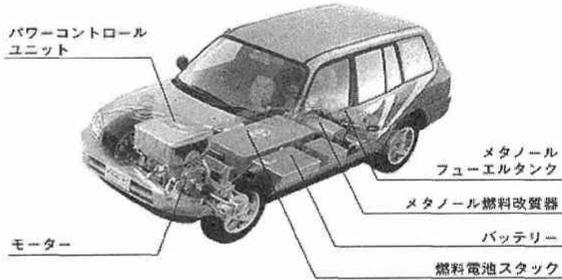
私たちの研究所では、この改質器を通さずにメタノールから直接発電しようというダイレクトメタノール電池についても研究を進めているところです。

図16は燃料電池の先駆けといいますか、ダイムラー・クライスラーが提案したNECAR 1という、圧縮水素を利用したものです。それから同じくバス、それから小型になったNECAR 2。最近ではメタノールも使うということで、ベンツでもメタノールと水素の両方について開発を進めています。



〈水素燃料電池自動車〉

- ① パワーコントロールユニット
- ② パワートレーンユニット
- ③ 燃料電池スタック
- ④ 水素貯蔵装置



〈メタノール燃料電池自動車〉

出所：トヨタ広報資料

図15 新世代燃料電池自動車

NECAR 1: A Rolling Laboratory



NECAR 2: Fully usable Vehicle



NEBUS: Grown out of the Experimental Stage



NECAR 3: Driving with Methanol



出所：ダイムラー・クライスラー資料

図16 燃料電池自動車 (ダイムラー・クライスラー)

燃料電池車の課題

燃料電池は非常に期待されていますが、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンの100年の歴史に対して余りにも経験が少ないために、これから具体的になればなるほどいろいろな問題が出てくると思います。因みに、4気筒あるエンジンですと、気筒間のばらつきが大きな問題になっていました。このばらつきをなくすことを自動車開発の歴史の中でやってきたわけですが、燃料電池の場合にも何層ものスタックがあります。そうしますと、例えば1つのスタックの性能が落ちますと、他のスタックに影響してしまうということになります。このような具体的な問題についてははまだ議論が少ないと思います。ここでは幾つかの課題について示します。

まず最初に小型軽量化。特に個別部品の小型軽量化が必要だろうと思います。

水を使わなければいけないので、その水をどうするか、凍結防止をどうするかといった具体的な課題があります。

水素を使う場合に、水素貯蔵技術をどうするか。圧縮水素か、メタルハイドライドにするか、いろいろな提案がされてくると思います。

実際に車を走らせようとしてみると安全性の問題、特に衝突したときにどうするかといったような問題。

水素を使った場合には漏れないためにどうするかといったような具体的な課題がこれから解決されなければいけないと思います。

最後には、やはりコストの問題があります。ここ数年で市場に出てくるといわれている燃料電池は価格が1,000万円だとも言われています。ハイブリッド自動車のように、少なくとも今のガソリン、ディーゼルと競合するためには、燃料電池の価格を1桁下げなければい

表8 燃料電池自動車に係る課題

課題	対応の目的	対応技術および方向性
小型・軽量化	車のパッケージ	個別部品の小型・軽量化 材料置換などによる軽量化
環境適合性	低温起動 (凍結対策)	水の保有量削減と早期昇温技術 バッテリーの補助 熱容量の低減(小型・軽量化)
効率	航続距離向上 (CO2削減)	IV性能向上(定格点の高電圧化) バッテリー、キャパシタなどのエネルギー回生
航続距離	車の商品性確保	水素貯蔵技術の改良 革新的貯蔵技術の創出
エミッション	社会要求への対応	改質型FCEVのエミッションレベル
騒音	商品性確保	音源(コンプレッサ)の静粛性向上、遮断技術など
耐久信頼性		突走耐久と台上耐久の相関確認 改質系触媒の耐熱性向上
安全性	車の機能確保	電気安全、高圧安全、水素安全 衝突安全
コスト	車の商品性確保	安価な材料への置換など

出所:エンジンテクノロジーno.12、2001.2

表9 燃料電池自動車用燃料

燃料	長所	短所
水素	1.改質器の車載が必要なく、動力機関の構造は単純化されるため、重量、容積、エネルギー効率、コストに対して有利 2.FCスタック技術の熟成度が高い 3.走行時には水のみ排出、ゼロエミッション 4.LCAの観点から、エネルギー効率がよく、CO2排出量も少ない	1.大量の水素燃料の供給体制が未整備、インフラ整備などに時間を要する 2.現状技術では、車上でエネルギー貯蔵量が不十分 3.水素燃料の安全性の問題、水素は危険というイメージの先行、気体燃料の取扱いが不慣れ
メタノール	1.比較的改質が容易 2.比較的インフラ面での制約が少ない 3.液体燃料のため、取扱いが容易	1.現状では、メタノール精製時の効率の悪さなどからLCAの観点からCO2排出及び効率上の優位性が低い 2.インフラ設備に対する投資が必要 3.システム構成や制御の複雑さ、燃料電池性能の低下、改質器の容量、重量からくるパッケージングなどの課題がある 4.走行時にゼロエミッションではない
ガソリン	1.現行インフラを活用できる 2.安全性、取扱い上、最も優位	1.現行ガソリン中の硫黄、添加剤の除去が必要。また、軽質の専用燃料の可能性あり。この場合、インフラ面での長所が減少 2.改質が難しい。基礎研究段階 3.代替エネルギーではない 4.走行時にゼロエミッションではない 5.LCAの観点から、CO2排出及び効率上の優位性が明らかでない

出所：JEVA、2000.3.22

けません。非常に大きなブレークスルーが必要になってくるのではないかと思います。

燃料電池車用燃料の長所と短所

燃料電池車の燃料としては、水素、メタノール、ガソリン、その他いろいろ提案されています。この3つの代表例について長所と短所を見てみました。

① 水素

改質する必要がないのでコスト的に非常に有利です。当然副産物が出ませんので、エミッション的にも非常に有利です。それからライフサイクルアセスメント（LCA）の観点からも効率が高いと言えます。水素を何から作るかによっても当然変わってきます。短所としては、エネルギー貯蔵量が不十分だということです。

② メタノール

天然ガスからメタノールを作るときに既にエネルギーがかかっていますが、改質が容易です。改質器が非常に簡単にできるということで技術開発が進んでいます。それから常温で液体であるということで取り扱いが簡単ですが、インフラ面でガソリンに劣ります。メタノールはインフラを新しく作り直さなければならないということが1つの問題だと思えます。

③ ガソリン

ガソリンのメリットは、今のインフラを活用できる点が非常に大きいと思えます。それから、取り扱いも既に経験を持っているということで有利だと思えます。ただ、硫黄分や添加剤の除去が必要になってくるので、ゼロエミッションではないということが課題になると思えます。

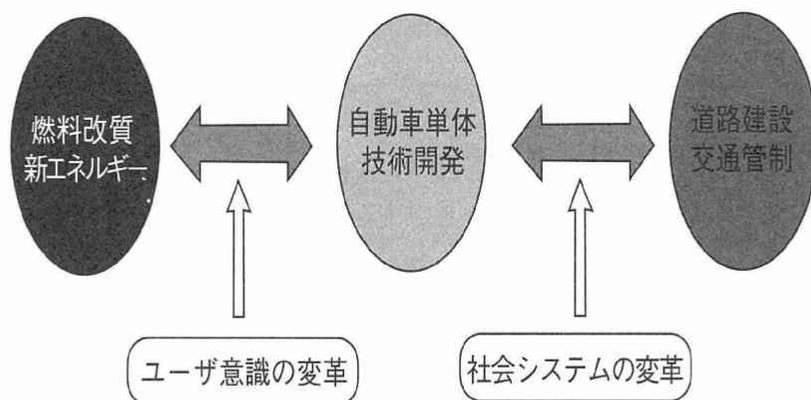


図17 自動車を取りまく環境改善法

いずれにせよ，早期に燃料電池車を導入する際の燃料としては，今のインフラを使えるという理由から，石油系燃料が使いやすいのではないかと思います。メタノールがその次，水素はその先になると思います。

自動車を取りまく環境改善のために

従来，自動車は単体の技術開発を行ってきたわけですが，これからの環境，エネルギー問題をクリアするにはそれだけでは非常に難しくなっています。エネルギー問題，道路問題を総合的に解決していかなければならないと思います。特にハイブリッド車のところで話しましたが，渋滞をなくすと排ガス問題が全体的に改善される，新しい道路を作る，あるいは高度道路交通システム（ITS），交通需要管理（TDM）といった情報技術を駆使して交通管制することで渋滞をなくすことが非常に効果的であると言えます。

ただし，その時には社会システムの変革も

必要で，余りにも自動車に偏った運輸体系ではなく，鉄道，船舶といった輸送手段とバランスのとれた施策が必要になってくるのではないかと考えます。（図17）

21世紀に自動車を取り巻く環境を改善するためには，自動車だけではなくて燃料，エネルギー，それから道路交通管制といった総合的な対策が必要になるということをお話しして，今日の報告を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。（拍手）

総括と閉会挨拶

稲葉裕俊 (財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

皆様、本日は長時間にわたりまして私どもの第18回エネルギー総合工学シンポジウムを熱心にご聴取いただきまして誠にありがとうございました。今回は「21世紀における環境共生型エネルギーシステムの構築—化石燃料は人類を救えるか」をテーマに開催させていただきましたところ、450名を超える多数の方々のご参加をいただきました。ただいままで、数々のご講演をお聞きいただきましたが、いずれも大変興味深く、多くの示唆に富んだ誠に有意義なものであったと存じます。講師の方々に厚く御礼を申し上げます。

午前中、2人の先生から感銘深いお話を賜りました。富山国際大学の石井教授からは、これからの人類の経済活動、あるいはエネルギーの利用にあたっては地球の有限性を十分に認識することが不可欠であること、また物中心から価値にウエートを置いた社会へのパラダイムシフトの必要性を強調されたところがございます。また東京大学の定方教授からは、豊富なご自身の体験に基づきまして、中国における土壌改良の興味深いお話とあわせまして、中国等発展途上国における脱硫技術などの環境技術が非常に低コスト化などの厳しい要請を未だ持っているということで、こういった点でさらなる技術的な改善が必要であるとのご指摘もありまして、これら私どもエネルギーや環境問題に携っていく者にとっては心していかなければならないことと思いました。

さて午後になりまして、ただいままで5人の講師の方から石炭、天然ガス、新燃料油などにつきまして、21世紀にどのような展開が図られていくだろうかという広範なお話を伺ったところでありますが、これからの化石燃料の方向につきまして2つのキーワードが浮かんでまいります。1つは「クリーン」という言葉であります。化石燃料が21世紀におきましてもエネルギー供給の主役を務めるためには、本日のシンポジウムのテーマでもあります環境共生型エネルギーとして、燃料の組成におきましても、またその利用方法におきましても、より一層クリーンな方向へと進むことが必然的な流れかと思えます。いま1つは、「多様化、多角化」ということであります。21世紀には従来の石油、石炭、天然ガス

に加えまして、GTL、DMEなどの新燃料油が登場してくることでありましょう。あわせて石炭における利用技術や天然ガスの輸送方法なども多角化することと考えられます。究極的なエネルギーとも呼ばれる水素が本格的に導入されることになるかとも考えられます。こうした化石燃料をめぐる多様化、多角化は競争を呼び、新たな選択や事業の機会が生まれてまいります。これに的確に対処するためには技術的観点、経済的観点、社会的視点からの総合的な評価と戦略的対応が必要とされましよう。

そこで本日のシンポジウムの内容が皆様方の今後の事業活動や研究活動のご参考になれば大変幸いに思う次第であります。また、当研究所におきましてもこうした環境の変化の中で、皆様のお役に立つような調査や研究に携ってまいりたいと思います。

本日のシンポジウムが予定どおり日程を終えることができましたこと、会場の皆様のご協力のおかげと改めて御礼申し上げます。最後に私ども研究所の運営に対しまして皆様方の一層のご支援、ご協力のほどをお願い申し上げまして、本日の第18回エネルギー総合工学シンポジウムを閉会とさせていただきます。

本日は誠にありがとうございました。

◆ 行 事 案 内 ◆

高効率廃棄物発電に関するセミナー

— 高度循環型社会の構築と先進的廃棄物発電の普及を目指して —

主催：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
財団法人 エネルギー総合工学研究所
後援：経済産業省 資源エネルギー庁（予定）

- 《特別講演》「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
新エネルギー部会長（東京農工大学教授） 柏木 孝夫
- 《特別講演》「再生可能エネルギーの現状と廃棄物発電への期待」
三菱総合研究所 主任研究員 金田 武司
- 《特別講演》「高度循環型社会構築と環境負荷低減への展望」
立命館大学エコ・テクノロジー研究センター所長（京都大学名誉教授） 平岡 正勝
- 《特別講演》「廃棄物処理施設建設の問題点とPAのあり方」
福岡大学教授 長田 純夫
- 《発表》「高効率廃棄物発電技術開発について」
新エネルギー・産業技術総合開発機構 副主任研究員 橋本 博也
- 《発表》（財エネルギー総合工学研究所、メーカー他）
- 《ポスターセッション》
メーカー15社程度および廃棄物関連団体が出展予定

日 時：平成13年11月20日（火） 9：30～17：30（受付開始：9：00）
会 場：経団連ホール 経団連会館14F 千代田区大手町1-9-4
参加資格：なし
参加費：無料
問合せ先：（財）エネルギー総合工学研究所 セミナー事務局
電 話：03-3508-8894/FAX：03-3501-1735
担 当：浅見（あさみ）、阿閉（あとじ）
E-mail：asami@iac.or.jpまたはatoji@iac.or.jp

高効率廃棄物発電に関するセミナー 申し込み用紙

氏 名	
勤務先および所属	
勤務先住所	(〒 —)
電 話 番 号	
F A X 番 号	
E-mailアドレス	
受 付 番 号 (事務局記入)	

1. 申し込みは、次のいずれかの方法でお願いいたします。
(1) 本紙をコピーし、FAXにて送信 (2) E-mailにて送信
2. 参加申し込みの方には、受付手続きの後、本紙を折り返しFAXまたはE-mailさせていただきます。セミナー当日、受付にお持ちいただきますようお願いいたします。
3. 申し込み者多数の場合、参加をお断りする場合がございます。ご了承ください。(定員500名)
4. 複数で参加される場合、お手数ですが必要数コピーの上、送付ください。

〔送付先〕

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
担当：阿閉（あとじ）宛
FAX番号：03-3501-1735
E-mail：atoji@iae.or.jp

申し込み期限：11月15日（木）

研究所のうごき

(平成13年7月2日～9月30日)

◇ 第12回評議員会

日時：7月18日(水) 11:00～12:00

場所：経団連会館(9階)901号室

議題：

- 第一号議案 役員の一部改選について
- 第二号議案 評議員の委嘱について
- 第三号議案 平成12年度事業報告書および決算報告書について
- 第四号議案 その他

◇ 第7回賛助会員会議

日時：9月21日(金) 15:00～18:00

場所：経団連会館(9階)901・902号室

議事次第：

1. 平成12年度事業報告および収支決算
2. 平成13年度事業計画および収支予算
3. 講演
「京都議定書を越えて
—地球温暖化への技術的対応—」
(独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー利用研究部門 主任研究員 赤井 誠氏)

◇ 月例研究会

第193回月例研究会

日時：8月31日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館7階702・703会議室

テーマ：

1. 我が国における資源エネルギー政策の最新動向について—「総合資源エネルギー調査会」報告を中心として—
(経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房総合政策課 課長補佐 吉川徹志氏)
2. 地球温暖化を巡る内外動向
(プロジェクト試験研究部 主任研究員 黒沢厚志)

第194回月例研究会

日時：9月28日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館7階702・703会議室

テーマ：

1. 最近のコージェネレーション技術について
(日本コージェネレーションセンター 普及促進部 次長 矢川憲利氏)
2. マイクロガスタービンの開発状況と課題
(東京大学 生産技術研究所 人間・社会

◇ 主なできごと

- 7月16日(月) ・第1回新電力供給システム技術検討会
- 18日(水) ・第1回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会
- 19日(木) ・第3回WE-NET研究調整会議
- 23日(月) ・第1回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- 30日(月) ・第1回ソーラーフューエル研究推進委員会
- 31日(火) ・第6回サハリンパイプラインP S D C検討評価委員会
・第1回新電力供給システム技術分科会
- 8月6日(月) ・第1回電力技術企画委員会
- 9日(木) ・第3回革新的実用原子力技術開発提案公募審査委員会
- 28日(火) ・第2回高温ガス炉プラント研究会
- 9月5日(水) ・第4回WE-NET研究調整会議
- 8日(土) ・第4回革新的実用原子力技術開発提案公募審査委員会
- 14日(金) ・第1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
- 21日(金) ・第1回エネルギー経済環境予測検討委員会
- 25日(火) ・第1回WE-NETタスク1システム評価に関する調査・研究委員会
- 26日(水) ・第1回高効率廃棄物ガス変換発電技術評価委員会

◇ 人事異動

○7月31日付

(出向解除)

川瀬 誠 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○8月1日付

(出向採用)

奥田 誠 プロジェクト試験研究部 主管研究員
村上 純一 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○9月30日付

(出向解除)

上西 勝彦 プロジェクト試験研究部 主任研究員

編集後記

本10月号は慣例により、去る7月に開催しましたシンポジウムの特集号といたしました。

今日時点で振り返りましても同シンポジウムで取り上げましたテーマは、その現在の価値において何ら色あせることなく、むしろ昨今の化石燃料に対する実用性認識と新たな環境問題克服への取り組みにおいて益々その重要性が高まってきているものと理解いたしております。

一方、その後9月11日に発生しました人類史上類例がない卑劣な同時多発テロ事件、それに続く世界的な緊迫情勢に見られますように社会情勢は実に大きく変りました。その変

化は政治・経済にも影響し、さらにエネルギーにしても環境問題にしても益々グローバルな視点でみることの必要性が問われるようになってきているように思われます。すなわち国際社会における日本のエネルギーを、セキュリティー面および危機管理の面から捉えることがより重要となってきているようであります。

次号(2002年1月号)は、そのような視点からの記事を中心とした編集を考えております。皆様からのご希望あるいはご意見を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24巻第 3 号

平成13年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2

新橋SYビル (6F)

電話 (03) 3 5 0 8-8 8 9 4

FAX (03) 3 5 0 1-1 7 3 5

<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。