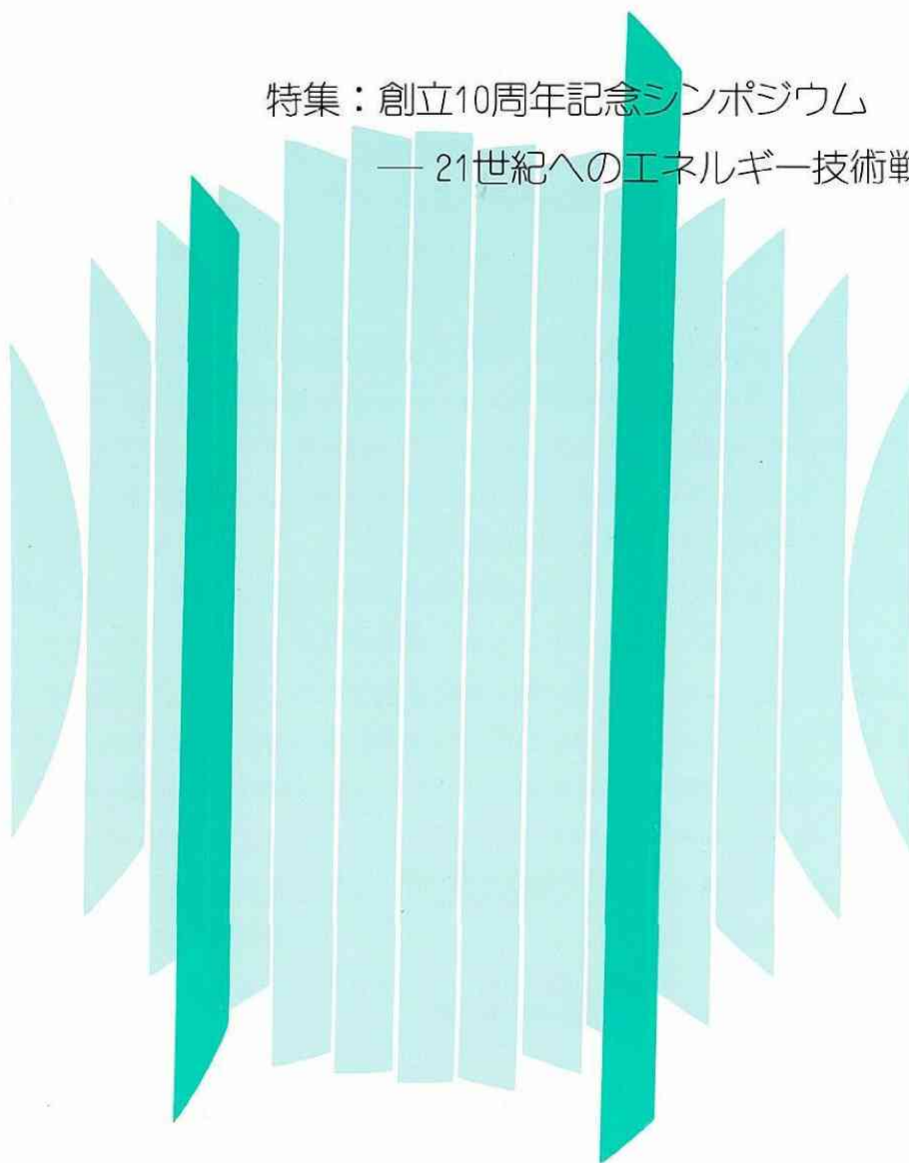


季報 エネルギー総合工学

Vol. 11 No. 2 1988. 7.

特集：創立10周年記念シンポジウム

— 21世紀へのエネルギー技術戦略 —



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

目 次

創立10周年記念シンポジウム

——21世紀へのエネルギー技術戦略——

昭和63年6月14日(火) 於銀座ガスホール

総 合 司 会 : プロジェクト試験研究部部長代理 高倉 毅

セッションⅠ司会 : プロジェクト試験研究部長 山崎 宗重

セッションⅡ司会 : 専務理事 越川 文雄

セッションⅢ司会 : エネルギー技術情報センター長 大塚益比古

開会のあいさつ専務理事 越 川 文 雄..... 1

来賓のあいさつ通商産業省資源エネルギー庁 長官 鎌 田 吉 郎..... 2

セッションⅠ

Ⅰ－１〔基調講演〕 21世紀へのエネルギー技術戦略

.....(財)エネルギー総合工学研究所 理事長 山 本 寛..... 3

Ⅰ－２〔招待講演〕 21世紀へのエネルギー展望

.....(財)日本エネルギー経済研究所 理事長 生 田 豊 朗.....17

Ⅰ－３〔招待講演〕 先端技術の今後の展望

.....(株)三菱総合研究所 会長 牧 野 昇.....31

セッションⅡ

Ⅱ－１ エネルギーセキュリティについて

.....東京大学工学部 教授 鈴 木 篤 之.....37

Ⅱ－２ FBR開発の課題東京大学工学部 教授 近 藤 駿 介.....48

Ⅱ－３ 高温超電導への期待

通商産業省工業技術院
.....電子技術総合研究所 エネルギーシステム部長 富 山 朔太郎.....55

セッションⅢ

Ⅲ－１ 電気事業における先端技術の動向

.....東京電力(株)常務取締役 三 井 恒 夫.....63

Ⅲ－２ 自動車の今後の技術動向

.....トヨタ自動車(株)常務取締役 沼 澤 明 男.....68

閉会のあいさつ常務理事 柴 田 誠 一.....80

研究所のうごき81

開 会 の あ い さ つ

専務理事 越 川 文 雄

本日は早朝にもかかわらず、多数ご参加いただきまして、ありがとうございます。お陰様を持ちまして、私どもの研究所もこの4月に創立10年目を迎えることができました。

当研究所は、資源エネルギー庁所管のシンクタンクでございまして、幅広い分野の方々のご協力を得て、産官学の共同研究所的活動を特色としており、エネルギー問題全般につきまして、エンジニアリング・アプローチによる調査研究活動を行ってきております。

それにより、これまでも、原子力の諸課題を始めといたしまして、ローカル・エネルギー、コ・ジェネレーション、あるいは燃料電池、その他最近では、自動車用エネルギーであるとか、深層天然ガスといったようなこと等先見的に取り組みをいたしてまいっておりまして、私どもなりに社会の進歩、発展に資することができたと自負しております。

昨年は『巨大技術の安全性』という本を取り纏め公刊いたしましたところ、エネルギー・フォーラム普及啓発賞を受賞することができました。

常勤役職員40人を超え、研究実績もかなり得られておりまして、今後とも時代の動きに対応した研究活動を展開し、大いに皆様方のご期待に添うべく努力をいたしたいと所員一同頑張っております。今後とも皆様方のご指導、ご鞭撻をお願いいたします。

本日は研究所創立10周年を記念して、「21世紀へのエネルギー技術戦略」というテーマでシンポジウムを開催いたすわけでございますが、講師の諸先生方には、ご快諾をいただきまして、このような盛大かつ有意義な会合としていただいたことについて、本当に感謝いたしております。

なおシンポジウムのお世話は、不馴れではございますが、研究所職員が総出で一生懸命努めております。いわゆる手づくりのシンポジウムであり、いたらない点が多々あるかと思えますけれども、ご容赦をお願いいたします。以上簡単でございますが、開会の辞とさせていただきます。どうもありがとうございました。

(こしかわ ふみお)

来賓のあいさつ

通商産業省資源エネルギー庁長官 鎌田吉郎

本シンポジウムの開催にあたりまして、一言お祝いの言葉を申し上げます。

我が国は、国内資源に乏しく、石油供給のホルムズ海峡依存度の高さに象徴されるように、他の先進諸国に比べて極めて脆弱なエネルギー供給構造を有しております。一方、国際石油情勢は、現在緩和基調で推移しているものの、今後の動向については、不透明な要因が多く、中長期的には再び石油供給が不安定化することが懸念されています。

通商産業省といたしましては、我が国が今後とも順調な経済発展を持続し、国民生活の向上を図っていくためには、エネルギーの安定供給を確保することが不可欠であるとの認識の下に、石油の長期安定供給確保を図るとともに、原子力、石炭等の石油代替エネルギーの開発・導入・省エネルギーの推進等の施策を着実に展開してきたところであります。

本日はここに産・学・官各界の高名な方々によるシンポジウムが開催されるわけですが、代エネ、省エネなど各分野においてその推進に必要不可欠なさまざまなエネルギー技術の将来展望についてご講演いただき、認識を新たにすることは誠に有意義であります。また、本シンポジウムの主催者でありますエネルギー総合工学研究所は昭和53年の設立以来、去る4月1日をもちまして、10周年を迎えられました。この間、エネルギー総合工学研究所は、国、民間、学界が一体となって、多岐にわたるエネルギー技術を総合的観点から研究する機関として、原子力利用技術の調査研究、ローカルエネルギーの開発利用、調査、石油製品の新用途の調査などさまざまなエネルギー技術に関する調査・研究を実施され、エネルギーに関する諸問題の解決に多大な貢献をしてこられました。今後、エネルギーに対するニーズの多様化が進み、国民の関心がますます高まっていくなかで、その業務の重要性はより増大していくものであり、より一層のご努力を期待するものであります。

最後になりましたが、本シンポジウムのご盛会と本日ご出席の皆様の益々のご活躍、さらにはエネルギー総合工学研究所のより一層の発展を祈念いたしまして、私の挨拶とさせていただきます。

(代読 企画調査課長 梅田厚彦)

21世紀へのエネルギー技術戦略

(財)エネルギー総合工学研究所

理事長 山 本 寛

きょうは、21世紀へのエネルギー技術戦略ということでお話をする事になっておるわけでございますけれども、エネルギー問題が非常に世間の関心を集めてまいりましたのは、皆様方ご承知のとおり、申すまでもなく、第1次石油ショックでございました。これは1973年のことでございましたので、今の時点で考えてみますと、石油ショックから現在までよりも、むしろ現在から2000年までのほうが期間が短くなってきておるわけでございます。しかし石油ショックの印象というものは、私どもには非常になまなましく残っておりまして、石油の需給に対する不安というものが、何時も念頭から去りませんのも、やはりこの石油ショックの影響が非常に大きかったということを示しておるわけでございます。

しかし、いろいろ考えてみますと、世の中の種々な状況というのは、なにもエネルギーだけに限ったことではございませんけれども、10年をひとつの節目としてかなり大きく変わっております。これは、例えば1980年に入りますと、80年代はどのように変わってゆくのだろうというようなことがマスコミなどでいろいろ言われますものですから、それもひとつの変化をもたらすきっかけになっているか

もしれません。しかし、やはり10年経ちますと、世の中になんかかなりの変化が出てくるということは、過去の経験において我々実際に体験しておるわけでございます。

そういう意味でみますと、2000年までにはまだ11年半ございます。11年半あるということは、あとの10年は21世紀を控えまして、かなり世の中の動きが変わる可能性もあるとも言えないこともないと思います。

そういう点から申しますと、1990年代の10年間というのは、21世紀へ向けて、かなり大きな影響を与える期間であろうかと思うわけでありまして。ことエネルギーについて考えてみますと、通産省工業技術院がお始めになりましたサンシャイン計画というのがございますが、これが始まりましたのが、14年前でございます。14年前に始まりましたものを今振り返ってみましても、その当時考えましたいろいろな石油代替エネルギー、新エネルギーにつきまして開発課題がその時取り上げられて、検討が始まったわけでありましてけれども、現在、振り返ってみましても、それにつけ加えるべき新しいものはほとんどない、14年前と今と全く変わっていない、ということに気がつくわけでございます。

このことはなにを意味するのかと申します

と、ことエネルギーの技術開発課題に関する限りは、10年や15年あるいは20年、30年経ちましても、根本から変るような大きな変化は起きない。勿論その間の技術進歩はありますけれども、全く考えていなかったようなエネルギーがそこに考え出されるという素地はあまり大きく存在しないということが言えるのではないかと思います。

このようなエネルギー問題の本質、私はそれが本質ではないかと思うわけでありすけれども、その本質を考えてみますと、エネルギーに関する限り21世紀に入りましても、今我々が全く考えていないようなエネルギー、例えば今世紀の原子力エネルギーというようなものがその時点で入ってくるというようなことはなかなか考えにくいと思います。

それから、もう一つは、エネルギーの技術開発には大変な長期間を必要とするということもエネルギー問題の特徴であろうかと思えます。皆様方に申し上げるまでもなく、例えば石炭液化につきましては、日本におきましても、大正の終り、昭和の初め頃から一生懸命技術開発をいたしまして、戦争中には、一度中断いたしましたけれども、戦後また再び始めて、現在なおかつこれが実用には至っていないという状況でございます。

原子力についてもそうでございますが、水型炉につきましては、既に実際に発電に大きな力を発揮しておりますけれども、しかしこれでもなおまだまだこれから開発すべき問題もあります。それから高速増殖炉を考えてみましても、研究開発が始まりましてから、現在までにかなり年数が経っておりますが、しかもなお現時点におきまして、まだそれが実用化されるのは2000年に入りましても、か

なり経ってからというようなことが想定されております。勿論、その理由には経済性の問題が大きく存在しているわけでございますけれども、エネルギーにつきましても、経済性と技術の問題を全く分けて考えるわけにはまいりません。値段が高ければ、やはり安くなる技術を開発しなければ駄目なのであります。コスト問題も、技術の一部分と申しますか、技術が大きくかかわっている問題でございます。

核融合につきましては、これも今鋭意研究が進められておりますけれども、これが実際に実用に至るまでには、まだまだ相当の年月が必要であり、恐らくは、ここに核融合関係の方がいらっしゃると、叱られるかも知れませんが、私は21世紀の後半ぐらいにならないと、もしものになるにしても、商業的には実現しないのではないかと、そんなようにみておるわけでございます。とにかくいずれにしましても、開発に非常に長い年月が必要であるということは、今までのいろいろな技術開発の歴史を振り返ってみましても、はっきりと示しておるわけでございます。

また太陽エネルギーなど現在鋭意技術開発が進められておりますものも、これが本当に実際のエネルギー供給の中に加わってくるには、まだ日があるのではないのでしょうか。これもやはりコストの問題と技術の問題との両方のからみで、まだまだ20世紀代にはものにならない、21世紀にならないと、実用には至らないのではないかと考えておるわけでございます。

そういうことでございますけれども、私ももの考え及ばないような新しい技術が21世紀に芽を出しまして、それが21世紀中に実を結

ぶことがあれば、それは誠に望ましいことだと思うわけであります。

今お話し申し上げましたのは、エネルギーの生産にかかわる事柄でございましたけれどもエネルギー問題につきまして、もう一つ極めて大事な事柄は、省エネルギーでございます。これも石油ショックをきっかけといたしまして、省エネルギーが大きな声で叫ばれ、日本は省エネルギーの面におきまして、世界で最も進んだ国になったわけでございます。この省エネルギーにつきましても、21世紀にもやはり20世紀において努めました以上にさらに努める必要があらうかと思ひます。と申しますのは、やはりあとでちょっと申し上げますけれども、化石エネルギー資源というのが、21世紀において涸渇することはないにいたしまして、値段が高くなってくるし、また貴重な化石エネルギーは、なるべく有効に使わなければいけない。そのためには、やはり省エネルギーというのは非常に大きな役割を担うものであります。

またもう一つ、エネルギーの高度利用というものも非常に大事な課題でございます。現在におきましても、エネルギーの高度利用というのはかなり手がけられておりまして、例えば最近、新聞紙上等にもよく載っておりますコ・ジェネレーションであるとか、あるいはコ・ジェネレーションの仲間でありますけれども、燃料電池の開発であるとか、そのほか天然資源の持っておりますエネルギーをなるべく有効に使おうという技術、これも21世紀におきましては、現在よりもさらにこれを進める必要がございます。

また先般来、世の中で騒がれております高

温超電導などが実際の産業エネルギーの関係で取り入れられるようになりますと、これもエネルギーの有効利用、あるいは省エネルギーに非常に大きな寄与をするはずであります。そういう面におきましても、21世紀には、かなり現在でも非常に楽しみにし得る芽をすでに孕んでおるといえると思います。

それからもう一つ、21世紀にあるいは問題になってくるのではないかと思いますものに環境問題がございます。すでに最近、炭酸ガス問題が新聞紙上などにも載っておりますし、政府も動きを示し始めました。この炭酸ガス問題が始まる前には、もう少し早く硫酸化合物や窒素酸化物の問題もありました。この二つにつきましては、これまた我が国が世界で一番早くこの問題への対処を手掛けまして、日本ではかなり対応技術が開発されて進んでおります。欧米におきましては、今やっと御興を上げたというような状況でございます。このように化石系エネルギーの消費が増えてまいりますと、環境汚染の問題、あるいは炭酸ガスのような環境悪化の問題が出てくる可能性もあるわけでありまして、そのような問題も合せ考えていかないと、21世紀のいろいろなエネルギー問題は、ただ単に石油代替エネルギーを作るというだけではすまないと思うわけでございます。

先ほど最初に申し上げましたように、勿論社会経済の状況やあるいは産業構造であるとか、あるいは生活の水準、最近言われておりますアメニティ指向などいろいろな変化、それから一人一人の価値観とか、残存資源の賦存の状況がどうなっておるか、というようないろいろな問題が絡みますが、21世紀のエネ

ルギーについて最も大きい課題は、やはり石油に代わるエネルギーにつきましては、コスト問題でございます。

最初に申し上げましたように、21世紀の予測というような大きな題で話をするのはおこがましいことではございますが、また非常に大きな不確実さを伴うわけではございますけれども、今私が申し上げました幾つかの点、大体5つぐらいではございますが、そういう点につきまして、これから少し時間を割きまして、お話をいたしたいと思う次第でございます。

まず21世紀のエネルギー問題を考えますのに、やはり真先に考えてみなければならないのは、化石エネルギー関係のものでございます。化石エネルギーの問題につきましては、私のあと生田先生からお話がございますので、あるいは若干重複することがあるかも知れませんが、私は主としてエネルギー技術戦略ということでお話しするわけではございますので、その線にそって、お話を申し上げます。

まず第1に石油でございますが、これは今世紀の中ではいろいろな見方がございます。一時の石油危機の時ほどシビアな見通しはほとんど無くなりましたけれども、2030年頃には需給関係がかなり窮屈になるのではないかなというような予測もなされております。

石油はいずれ地下資源でございますから、だんだん地下の埋蔵量が減ってまいりまして、需給が困難になってくることは、だれが考えても、間違いないところでございます。ただ需給が困難になってまいりまして、石油の値段が上がってまいりますと、現在の時点では採掘してもコストが合わないような条件

の悪いところ、例えば僻地であるとか、あるいは海の深いところであるとか、そういうようなところの原油もこれが採掘可能になって、市場に入ってくるのが考えられるわけではございます。

それから、さらにもう一つ大きいのは、石油の2次回収、3次回収であります。現在のところ、2次回収は一部やられているところもございまして、2次回収、3次回収をやりますれば、どうしてもそれだけ採掘費が高くなりますので、石油の値段が安いうちは十分に実施できないわけではございます。

現在の地下の埋蔵量というものは依然膨大なものでございまして、現在採掘したのはその一部分にすぎません。従って、この2次回収、あるいは3次回収の技術が実用化されますと、それによって仮に現在あります地下資源の10%が追加採取されたといいたしましても、その量は膨大な量でございます。これもやはり石油の値段が上がってくれば、そういう技術が採用されまして、追加の資源として我々のエネルギー供給の中に入ってくる可能性は十分にあるわけではございます。

それから、さらに石油の値段が上がりますと、例えば、バーレル40ドルであるとか、50ドル程度になってまいりますと、いろいろな石油と申しますか、石油系の燃料が入ってくる可能性は十分にございます。

まず原油といたしましては軽質油がだんだん減ってまいりますと、次には重質油の比率がだんだん増えてまいります。重質油も、これを分解いたしまして、ガソリン、灯油、軽油等にいたしますにはコストがかかります。高い水素を使ったりしなければいけないとなりますと、製品の値段が高くなりますので、

値段が高くなれば、重質油がまず第一にマーケットに入ってくることは間違いないところであります。

重質油にもいろいろ違いがありますので、超重質というような海水よりも重さが重いものまでありますし、さらにはカナダに大量にありますようなタールサンドであるとか、あるいはオイルシェールというようなものも、技術的にはこれを液体燃料に変えまして、そしてそれを分解して軽質の燃料にすることは技術的には現在でも可能であります。

またこういう技術はすでにあります技術の延長線上でありますので、格別に難しい技術上の問題はない、そういうような重質油、あるいはタールサンド、あるいはオイルシェールを液体燃料として供給する上でのこれを不可能にするような決定的な困難さはないと思います。要は値段であろうかと思うわけであります。

しかし、それには後ほど申し上げます環境問題などがありますし、また値段が高くなってまいりますと、石油以外のエネルギー源も入ってくる可能性はありますが、やはり石油は、一番大事なエネルギーである、ということと言えるのではないかと思います。

そういう状況でございますから、なるべく石油を末長く我々が使おうということでありますれば、そこにまた別の考えが必要になろうかと思います。それは現在の状況あるいは過去の状況をみますと、石油の値段が上がりますと、他の化石燃料の値段もそれにつれて上がり方の程度には違いがございますが、例えば石炭であるとか、あるいは天然ガスも石油の値段が上がればつれて上がる。石油の値段が下がりますと下がる。天然ガスなどは、

なかなか下がり具合が遅いわけでありましてけれども、それにしてもやはり石油の値段が下がると下がるということは過去の事実が示しております。

これはなぜそうであろうかということを考えてみますとこれはなんと申しましても、石油が、世界のエネルギー供給の非常に大きな部分を占めているがゆえに、石油の値段が動きますと、ほかのものもつれて動く、ということになっているのではないかと思います。

この関係を断ち切りますためには、石油が一番大きなエネルギー供給源でないような状況になれば、石油がエネルギー価格の上昇、下降を左右するというような関係が断ち切られることになるのではないかと思います。

そのような石油との関連を断ち切るために、石油の消費を極力少なくしまして、石油のシェアを下げるということが、私は21世紀におきましては、大変大事なことではないかと思うわけであります。

21世紀におきましては、もし私の考えているようなことが当たっているということでありますれば、石油シェアを下げるというような意味合いでのいろいろなエネルギー技術の開発が必要ではないかと思うわけであります。

21世紀におきます石油の位置というものは、私が今申し上げたようなことかと思うわけでございますが、いずれにいたしましても石油、それから石炭、天然ガス等の地下資源、それから化石燃料ではありませんがウラン鉱石などの地下資源は、いずれは涸渇するものであります。これは21世紀よりもさらに後のことではありますけれども、非常に長い将来を見通しますれば、どうしてもやはり化石燃

料、ことに石油に代るエネルギーの開発というのが非常に大事なことであろうかと思うわけでありまして、その中でも地下資源ではありますが、ウランに頼る原子力は人類が頼りうる長期のエネルギー源として極めて大切なものと考えます。

石油につきまして若干申し上げましたが、化石燃料の中には、あと石炭と天然ガスが大きなものとして存在いたします。タールサンドとオイルシュールのことにつきましては先ほど触れた以上にはお話はいたしません、天然ガスと石炭については、もう少しお話をさせていただきたいと思います。

石炭は、化石燃料の中では、資源的にみますれば、一番大量にまだ存在しておるものということでございます。石炭は、炭素と水素の比が大体原子比で2対1というように炭素が多いわけでございます。これはのちに環境のところでも再び若干触れたいと思います。炭素が多いがために石炭を直接燃やしますと、どうしても環境に出てくる炭酸ガスの量が同じ熱量を発生した時の比較で石炭が一番多いわけでございます。それとなに分にも大変扱いにくいこともございまして、石炭をできればそのまま焚くということではなくてなにかほかの形に変えて使うことが望ましいと思うわけでございます。

これは、なにもこれからのことではなく、過去におきましても、石炭が大変扱いにくいのがためにまずガス化して、あるいは液化して使うというような技術開発が行われてまいりました。今ちょっとその技術開発が下火になっておりますけれども、また21世紀になりますれば、今度は実用という面で、ことにガス化

の市場への進入が現在以上に増えてくるのではないかと思うわけでありまして。

ただ技術的にみますと、ガス化の技術にしても、あるいは液化の技術にしてもこれは我々がすでに知っている既存技術の延長線上にあるわけでございます。従いまして、石炭液化もこれが何時経済的に市場に製品が入り得るかということの問題はありますけれども、技術的にみますれば格別ここで非常に新規な技術がなければ、液化ができない、あるいはガス化ができないということではないというわけでありまして。従いまして、実際にガス化、液化が世の中で行われるようになるのは、まさにこれは経済性の如何にかかわっていると思います。

しかし、これらの技術が導入されますと、エネルギーの有効利用という面におきましては、石炭をそのまま燃やすよりも有利な面はたくさんにございます。勿論石炭をそのまま燃やしますことは環境に対して非常に影響が大きいわけでありまして、そのほかにもガス化して使うとかということになってまいりますとエネルギー利用の効率の面からいきましても、このほうが望ましいのではないかと考える次第でございます。

もう一つの大きな化石系のエネルギー資源であります天然ガスにつきましては、これは現在でも技術上の問題はまったくない。クリーンなエネルギーと言われておりますように、また資源的にも石油を凌ぐ埋蔵量があるということがだんだん分かってまいりました。これは非常に大きな21世紀のエネルギー資源でありますけれども、これを使う上での技術的なさほどの問題はないかと思うわけで

あります。

これらの化石燃料は、先ほど申し上げましたように、むしろこれからそのエネルギーの有効利用という面で、先ほどちょっと触れましたコ・ジェネレーションであるとか、あるいは燃料電池であるとか、あるいは火力発電所のコンバインドサイクルであるとか、あるいは熱のカスケード利用であるとか、あるいはヒートポンプなどによりまして排熱の回収をするというような、そういう面での有効利用ということが技術的には現在すでに存在しておるといたしましても、これを広く使われるようにしますのは、21世紀に入ってからではないかと思しますので、21世紀のひとつの大きな課題であろうかと思えます。

ことにNIESや開発途上国であるとか、あるいは低開発国などにこういう技術を大いに使えるように持っていくのが、またこれ21世紀の大きな仕事ではないかと思えます。現在のまま放っておきますと、開発途上国では産業化が進みます上に、人口もまた増えますので、エネルギーの消費が増えてきます。石油も値段が安いと多分その使用量は確実に増えてくる。一つの考え方としては、化石燃料は、そういう途上国になるべく使わせて、技術先進国は技術で作り出すエネルギーを使う方向に向かうべきだという人もおりますけれども、私は、地球全体をみますと、その環境の悪化を防ぐためには、やはり開発途上国におきましてもなるべく地球を汚さないエネルギーを導入してもらうということが必要であろうかと思えます。そうしますと、まずエネルギーの有効利用の技術を先進国が開発いたしまして、これを低開発国にも使ってもら

というようなことが非常に大事ではないかと思うわけでございます。

このようなエネルギーの有効利用によりまして、限りある地下資源を長期にわたって使うことができます。例えば利用効率が2倍になりますれば、地下資源を倍に期間長く使うことができますし、環境の悪化もそれによって抑えることができるということからいたしまして、どうしてもこのエネルギーの高度利用ということは、これから21世紀に向けて力を入れてやっていかなければいけないことであらうかと思うわけでございます。

以上が化石燃料でございます。次に化石エネルギーでない新エネルギーについて若干のお話を申し上げたいと思えます。

化石エネルギーでないエネルギーというのは、全く技術によって作り出されるエネルギーであります。その代表的なものが現在では原子力発電であり、これから技術的にあるいは経済的に市場に進入し得る可能性が出てまいりますと、太陽の光エネルギーの利用等というのも、まさにこの技術によって作り出されるエネルギーと申してよろしいと思えます。

このような技術によって作り出されるエネルギーは、先進国がぜひともその技術を完成させて、これを実用に持っていく必要があらうかと思えます。また日本、あるいはイタリアも同じ状況でありますけれども、1次エネルギーの輸入比率が80%を占めるというような国におきましては、やはり1次エネルギーのセキュリティの関係もございまして、なるべく国内で作り出されるエネルギーを使うようにすることが大切なことだと思います。従って先進国はみな技術によって作り出される

エネルギーの技術開発に大いに努めるべきでありますが、その中でも日本はことに力を入れてこの技術開発をやっていかなければいけないと思うわけでございます。

化石系でない新しいエネルギーというのは、大体が電気エネルギーの形にして使われることになります。電気エネルギーは、ほかのエネルギーが大体消費量が横這いかあるいは若干下がっているなかにおきまして、コンスタントに需要が伸びているエネルギーでございまして。

電気は勿論、1次エネルギーではございませんから、電気を作るためにはなにか1次エネルギーが要るわけでございますけれども、それはちょっと今措いておくことにいたしまして、電気の需要というのは、非常に増えてきました。これは当然のことながら、クリーンなエネルギーであり、また世の中の情報化が進み、2次産業の比率が落ちてきても産業構造自体が3次産業というようなものへシフトしていく、ということから考えますと、これから、また21世紀に入りましても、この傾向に変わりはないと思います。

そういう意味で、電気エネルギーの需要というのは、これから21世紀に入りましても着実にのびていくことは間違いないと思います。今述べましたように非化石エネルギーというのは、電気の形で作り出されるものが大部分でありますので、そういう意味では、電気の需要増加に応じていきますには大変またうまく適合しているエネルギーであろうかと思うわけであります。

1次エネルギーになにを使うかというのが問題であるというお話をいたしました。日本では現在のところ石炭、天然ガス、原子力、

この3つに主力をおきまして、これに石油がだんだんシェアが減ってまいりましたけれども、まだ、ある程度の割合を占めております。これらのミックスでいこう、ということになっております。

化石エネルギーを使いますと、環境の問題等も若干ありますけれども、これは使い方がありますので、ともかく日本としてはセキュリティの関係から、恐らく21世紀に入りましても、格別に化石系のエネルギー源の値段が上がってこない限りは、現在の政策がそのまま続けられるのではないかと考えております。

それから、21世紀もかなりあとのほうになりますと、場合によりましては、太陽光エネルギーの利用というのもある程度入ってくるかとも思われます。まずこの中で原子力発電について若干申し上げたいと思います。

原子力エネルギーは、これも先ほど申しましたように、電気に形を変えて使われるわけがありますけれども、長い目でみますと、化石エネルギーが涸渇してしまった時には、おそらくは原子力のエネルギーとか、あるいは自然エネルギーぐらいしか人類が頼れるエネルギーがないわけでございますから、そういう超長期の観点に立てば、私は原子力エネルギーというものは、非常に大きなシェアをもってくることは間違いだと思います。唯21世紀におきましては、国々の情勢によって違いますが、エネルギー供給のほとんど大部分が原子力になるというようなことにはまだならないかと思えます。

しかしこれもあとで申し上げますけれども、環境問題等を考えてみましても、原子力エネルギーというのは、化石エネルギーより

も私は優れておると思っております。それから高速増殖炉が開発されれば、これは人類に約5000年間エネルギーを供給することができる等ということも言われておりますので、そういう意味では大変意義のあるエネルギー源であろうかと思うのであります。

ただ、原子力の利用というのは、プルトニウムを使いませんと大変意義が小さくなってまいります。と申しますのは、ご存じのように、資源的にみますと、ウランの地下資源というのは、化石燃料の地下資源量、石油とか天然ガスと比較いたしましても、そんなに違わないと言われております。どうしてもプルトニウムを使わない限りは原子力の本来の意味はないわけでございます。そのプルトニウムの使い方につきましても、これをウランと混ぜまして、そして現在あります軽水炉に使うということであると、たかだか原子力に頼れる期間がいまの2倍ぐらいに伸びる程度であります。

と申しますのは、プルトニウムを含む燃料の加工は、2へん以上これを原子炉の中を回しますと、軽水炉用の燃料を作るのが大変難しくなってしまう。2倍に伸びることも意味はあるかも知れませんが、しかし本来の原子力の持ついい面というのを発揮させますにはどうしても高速増殖炉を完成させまして、これを導入しなければいけません。これは21世紀の非常に大きな課題でございます。現在、技術的にはどういうところに問題があるかということがもうかなり明らかになってきておりますので、多分21世紀におきましては、高速増殖炉の導入は実際の問題として入ってくることは間違いないと思います。

もう一つ大きなものは、核融合であります

けれども、核融合も現在技術開発されておりますものは、二重水素と三重水素の融合反応でございます。この燃料の一つでありますところの三重水素は、リチウムから作られます。このリチウムの地上の資源量をみますと、これは、ウランとか、あるいは石炭、ガスに比べまして、そんなに長い間使用に耐え得る程の量はございません。海水からリチウムを採れば、これは非常に大量でありますので、無尽蔵とっていいほどのものであろうかと思えます。しかし陸上にあるものは限られた資源量しかございません。

海水からもし採るということであれば、ウランについても同じことが言えるわけであります。海水の中にはウランが40億トンあるというようなことも言われております。しかし海水からリチウムなりウランを採るとするのは、経済的にみて大変難しいことでございます。

私は、21世紀におきましては、海水からこの2つを取り出すのはとても難しいのではないかと、リチウムのほうがウランよりも海水中の賦存量はかなり多いわけでありますけれども、それでもなおかつこれを海水から採るのはかなり難しいのではないかと考えております。むしろ核融合本命は二重水素と三重水素の核融合反応がうまく成功いたしまして、核融合炉というようなものが完成して、実際に電力を供給することができるようになりました暁に、いろいろな材料であるとか、工学についての経験をもとにいたしまして、本来の目標であるべき重水素と重水素の核融合反応を指向して技術開発がなされるであろうということであると思えます。

しかしこの二重水素と二重水素の核融合と

いうのは、恐らく21世紀においては、まだとても無理だろうと思います。しかし現在の核融合のいろんな技術開発が完成に近づきますとそれが一つの大きな踏み台になって、次のステップへの飛躍の足固めができるのではないかと考えております。

このように考えてまいりますと、原子力につきましては、高速増殖炉は21世紀には導入できるかも知れない、またぜひ入れたいものだと思っておるわけでありまして、核融合炉もまずは21世紀は基礎固めの時代あるいはそれがかなり実用に近い基礎固めの時代となるのではないかと期待しております。

ちょっとまた話が戻りますが、先ほど核分裂のエネルギーを使うには、どうしてもプルトニウムを使うことが大事であるということをお申しました。このプルトニウムを使うためには、現在、原子炉から出てまいります使用済み燃料を処理いたしまして、その中のプルトニウムを回収する必要があるでございます。その回収方法は、現在のところでは溶媒抽出という方法によりまして、ウランとプルトニウムそれから核分裂の時に出てまいります放射性の核分裂生成物を分離することがやられております。そのためにはなに分にも非常に大きな設備を必要といたします。数十基の原子炉に対しまして、一つの再処理工場が設けられる。そして原子力発電所と再処理工場との間を使用済み燃料を輸送しなければならぬなどいろいろな問題がございます。

原子力開発の初期の時代におきましては、もっと違う再処理方法もいろいろ研究されたのでありますけれども、結局目の目をみることなく、現在では溶媒抽出法というのが唯一

の産業規模の方法であるとして、現存しているわけでございます。しかし、高速増殖炉が導入される時点になりますれば、私は再処理の方法としても、例えば高温冶金法、これはアメリカですっと初期の頃から技術開発が行われ、現在でも細々ながら動かされております方法でありますけれども、このような一つの高速増殖炉に対して、一つの非常にシンプルな再処理工場を組み合わせたような形になることが望ましいのであって、高速増殖炉の燃料の再処理に現在のような大きな再処理工場を作るといのはどうも適当でないのではないか、そのようにも考えております。そういう意味で新しい再処理法の技術開発がやはり21世紀におきましては必要となるのではないかと私は考えておる次第でございます。

原子力につきましては、それぐらいにいたしまして、次に自然エネルギーのことでございます。自然エネルギーにはいろいろなものがございます。太陽エネルギー、風力、それから勿論今までも使われております水力。そしてこれは現在一番実用になっておるわけでございます。

自然エネルギーの利用も21世紀にはものによっては実用になってくるかと思っておりますけれども、しかしその中で一番大きなエネルギー供給源となり得るとみられます太陽光発電につきましても、これは地上で発電する限りはとも現在の大型の火力発電であるとか、あるいは原子力発電に匹敵するような大きなプラントはできないと思われまします。

そういう意味では、どうしても局所的な利用に対応するような使われ方というようなことになるのであって、各々の自然エネルギー

につきましては、特徴がございますのでその特徴に従ってある限られた地域内で使われるような格好で21世紀には市場に入ってくるのではないかと思います。

そういう意味で、私は自然エネルギーの利用が主力エネルギーの供給源になるとは思いませんけれども、しかし局所的には非常に有効なものでありまして、また低開発国やあるいは開発途上国向けのエネルギー源としましても、これは非常に重要なエネルギー源であろうと思います。とくに低開発国向けといたしましては、やはりこのような自然エネルギー、ことに太陽の光エネルギーを電気に変えるいろいろな技術を完成いたしまして、それらの国に大いに使ってもらうことが世界の環境の悪化を和らげるためにも必要ではないかと思っておるわけでございます。従って、自然エネルギーの利用につきましても、21世紀におきましては、その技術開発、技術の完成のために大いに努力をしなければいけないと思うわけでございます。

ここでちょっと自然エネルギーにつきまして、今あまり大規模な利用は難しいと申し上げましたが、技術の開発如何によりましては、2つばかりあるいは大規模な発電に使えるものができるかも知れないことをつけ加えたいと思います。その一つは宇宙発電でございます。宇宙に太陽電池を上げまして発電所を作り、そこで発電をして地上に送るというのが一つあります。私もあまりこの方面に詳しくはございませんけれども、一つのステーションで100万キロワットぐらいのものを作ることとはそれほど難しいことではないのではないかと、というようなことも言われております。しかし、これは全くこれからの技術開発にか

かわっておるわけでございます。そのようなものができれば、我々にとっても大変幸せなことであらうかと思えます。

それからもう一つは、地下の高温岩体を利用するところの発電であります。現在の地熱発電は、比較的浅いところの、大体温泉が出てくるようなところの蒸気を使ってやっておるわけでございますけれども、もっと深いところから熱を取り出して、これを発電に利用することができれば、これも一つの発電所で相当まとまった大きな発電量を期待することがありますので、この2つは自然エネルギーの利用という面からみまして、21世紀にその技術開発に大いに努めまして、もし使える可能性があるならば、その技術開発を大いに進めるべきエネルギー源ではないかと思うわけでございます。

次に水素エネルギーについて若干触れたいと思います。水素エネルギーは、電気エネルギーと同じように2次エネルギーでありますから、1次エネルギーが必要でございます。水素を作るのに、化石燃料を使ったのでは、話になりません。従って、水素を作りますには、どうしても化石燃料以外のエネルギー源を使って作る必要がございます。

水素は遠距離輸送をするのに問題ございません。電気の長距離送電というのはコスト高になりますので、さらに遠方から持ってくるのであれば、水素の形にして持ってくるということは十分に考えられるわけでございます。水素は、発熱量が低いために、若干今までの化石燃料等に比べますと、使いづらい面もありますけれども、化石燃料が涸渇してくる時点で考えますれば、やはり頼れるものの

一つとしてななり大きな役割を演ずる日が来るのではないかと思います。

水素の製造に1次エネルギーが必要だと申しましたけれども、その1次エネルギーとして考えられるものの一つは、太陽の光エネルギーでありまして、これを例えば南洋というような遠隔地で電気に変えまして、そしてそれをさらに水素に変えてもってくる。あるいは熱化学反応によりまして、水を分解いたしまして、これを水素にする。その場合の1次エネルギーとしての熱源は、原子力エネルギーが一番適切かと思います。このように太陽エネルギーあるいは原子力エネルギーを水素の形に変えて使うということができれば、これは我々の一つの新しいエネルギー源ということで大変有望だと思います。

ただ私は21世紀におきましては、水素エネルギーはまだまだとても市場には入ってこないだろうと思います。また使ううえでもいろいろまだ技術開発を要する面もございます。そういう意味で21世紀ということにとらえますと、私はまだ水素エネルギーを考えるのは、少し早いのではないかと考えております。

ただ水素をエネルギーとして使います場合の水素を作ることに關する技術的問題はすべて在来の技術でできますから、新しくここに開発を必要とするようなものはないかと思えます。ただ化学反応でやります場合にはどういう反応が一番よろしいかどうかというのは、勿論これからの研究課題でありますけれども、ある反応がよろしいということになりました場合に、それを実際の産業に移す場合にいろいろな技術的な問題があるかと申しますと、私はそのところにはあまり問題がないと思うわけであります。

時間がだんだん迫ってまいりましたので、先ほど省エネルギーとエネルギーの高度利用につきましては若干申しましたので、ここでは再度繰り返しません、21世紀におきましては、省エネルギーとエネルギーの高度利用というのはやはり非常に大きな課題であると思います。また個々の機器の開発あるいは技術の開発以外にエネルギーを利用するシステム全体でのエネルギーの高度利用、あるいは省エネルギー技術の開発というものが21世紀におきましては、やはり非常に大きな課題であろうかと存ずるわけでございます。

それから、エネルギーと環境問題これにほんのちょっと触れさせていただきたいと思えます。炭酸ガスが地球大気の中で着実に増えているらしいというのは、どうも事実のようでございます。大気中の炭酸ガス濃度が増えてまいりますと、我々人類の生活にも非常に大きな影響が及んでくる。例えば海水の水位が上がってくるとか、農業に大きな影響があるとかいろんなことが言われております。このことにつきましてはよくは分かりませんが、もしこれが事実であるとすれば、ある濃度まで炭酸ガスの濃度が上がってしまいますと炭酸ガスを除去するということは技術的にはとても不可能なことでございます。従ってもし炭酸ガスの濃度が上がることによって非常に心配があるとすれば、炭酸ガスの大気中における濃度の上昇を今から、あるいは21世紀に入りましてからも抑えるようにやっていかなければいけない。これは技術の問題も勿論大きな問題でありますけれども、国際協力あるいは政治の問題でもあろうかと思うわけであります。

炭酸ガスが環境でどんな動きをしているかということを知るのが一番大きな問題でありますけれども、大体今まで知られておりますところは、海水に非常に大量にこれが溶解する、あるいは森林におきましてこれが固定される、というようなことで炭酸ガス増加を減らす方向に作用していると思っております。もっても、植物は炭酸ガス濃度の上昇阻止には関係ないとも言われていますが、少なくとも森林面積が増えることは過渡的には良い影響をもたらすと考えます。しかし、実際には不幸なことに世界の森林の面積がどんどん減っておりますことはご承知の通りであります。これらのことを考えますと、今世紀から21世紀以降は、消費の面におきまして、炭酸ガスが自然の循環系でバランスが取れる以上には使わないというようなことが大切かと思うわけであります。その量がどれぐらいかということも、一応想定はつきますけれども、そのような想定に基づきまして、国際的な協力の下に先ほど申し上げましたように、炭酸ガスの大気中における濃度の上昇を食い止めるなければいけないと思うわけであります。

原子力を利用いたしますと、放射能が若干出てまいりますことも事実でありますけれども、炭酸ガス濃度の上昇とか、あるいはもっと卑近な話では、硫黄酸化物、窒素酸化物の大気汚染を考えますと私は原子力のほうがよっぽどクリーンだと思っておるわけであります。

それで、もう一つはいろいろ大気に出てまいります放射能のうち量的に一番多い希ガス、クリプトン85というようなもの、あるいはトリチウムなどは、技術的に除去することが可能であります。すでにそのような技術開発も進められております。現在はそのよ

うな除去をする必要はございませんけれども、もし除去が必要ということになれば、技術的にこれに対応することは可能であります。炭酸ガスの場合には、技術的に除去することが不可能でありますのでそういう意味でも、環境問題としてとらえます場合に、原子力のほうがよろしいのではないかと私自身は考えておるわけでございます。

最後に輸送用燃料につきまして若干触れたいわけでございます。輸送用の燃料は、現在使われております石油系燃料が余りにも性能がよいために、これに代わるエネルギー源がなかなか開発されない、あるいは実際にマーケットに入り得ない状況にございます。しかし、化石燃料は、先程来なんべんも申し上げておりますようにいずれは涸渇するものであります。そのようなこととか、あるいは環境問題等を考えますれば、輸送用エネルギーにつきましても、石油に代わるエネルギーの導入、そのための技術開発というのは、積極的に進められるべきものでありまして、その一つはあるいは電気自動車であるかも知れません。あるいは若干炭酸ガスが出ますけれども当分の間、メタノールの使用などがあるかも知れません。それらの問題も含めまして、21世紀において依然として現在のような輸送手段がとられております限りは、輸送というものが、環境の悪化に影響を与えることは間違いないと思われますので、やはりその方面の技術開発が必要であろうかと思えます。

私の今日の話は、現在私どもが知っておりますような事柄を中心にしてお話し申し上げましたが、そのほかにこの頃一部に言われて

おります深層天然ガスや、あるいはメタンハイドレートであるとか、あるいはマグマ発電というようなものもございます。それらにつきましては私どもの研究所のグループがいろいろ調査、勉強いたしましたものが『極限領域エネルギーへの挑戦』(1988年6月20日刊(株)電力新報社)ということで出版物になっておりますので、もしご関心がある方は、それをご覧いただければと思ひまして、今日のお話には含めておりません。もう一つ、生物エネルギーはどうなのだろうかということもよく言われますが、生物エネルギーにつきましては、21世紀におきましては、私はまだまだ実用の域に入っていないと思ひます。一つは生物の持っているエネルギーを使うこと。それから、もう一つは生物の持っているエネルギー貯蔵、あるいは変換のメカニズムをよく研究いたしまして、それを実際のエネルギー

技術のほうに応用するということが考えられるわけでありまして、これはまだ21世紀におきましては、その端緒につくのもなかなか難しいのではないかとと思ひておるわけでございます。

しかしいづれにいたしましても、なにもエネルギーだけに限ったことではないかと思ひますが、これからの開発には非常にお金がかかります。それから、またたくさんの人を必要といたします。どうしてもこれからは国際協力の下にこれらの技術開発を進めていかなければならないと思ひわけでありまして、我が国もそれに応分の寄与をしなければならぬと思ひわけでございます。

以上最後のほうを少しはしょってしまいましたけれども、私の話を終わらせていただきたいと思ひます。(やまもと ゆたか)

21世紀へのエネルギー展望

(財)日本エネルギー経済研究所

理事長 生 田 豊 朗

始めにエネルギー総合工学研究所が創立10周年をお迎えになったことを心からお祝い申し上げます。その10年前にこの研究所が設立(注)されました頃、私も大島先生のお手伝いをしまして、いろいろ財界関係のご協力を仰ぐのに走りまわったことがございます。なかなか難しいプロジェクトだったと思います。私、技術の素人でございますけれども、今度こういうエネルギー総合工学研究所というのを作りたいのでぜひご協力いただきたいということで参りますと、私が一番困りましたのは、技術の問題というのとはもともと各論ではないかと、技術について総合的な研究とか、調査とかというものが果してあるのかどうか、それはどうなんだ、ということを経験したことをいまだに覚えております。しかし10年を経まして、立派な研究所に成長されて、その設立当初の時のいろいろの懸念、果して技術に総合ということがあるのか、ということを実績において大変見事に立証され、克服されてきたと思います。大変喜ばしいことだと思います。私どもの研究所もかねがねエネルギー総合工学研究所といろいろご

協力をさせていただきまして、とくにエネルギー問題は国際的な問題がかなり多いものですから、そういう問題につきましては、何回か共同のプロジェクトを進めたことがございます。今後ともご協力をさせていただきたいと思っております。

さて、本題に入りたいと思います。最近の我が国でのエネルギー問題には、いろいろございますけれども、トピックとして、とくに注目を集めておりますのが、原子力発電に対する反対運動でございます。これは今回突然始まったものとは言えないので、かねがね反対運動の伏線というものは長い間存在していたわけでありまして、今年になりましたから、かなりそれが激しくなってきたと申しますか、あるいは表面化してきたと言ったほうがよろしいのかも知れませんが、強くなって参りまして、いろいろの影響を与えております。

最初は、これまでの反対運動の延長線上にあるもので、あまり致命的なものはないというような見方もあったように思われますけれども、最近では電力業界、それから政府も本腰を入れて、これに取り組むということで対応してきておりますので、たいへん結構なこ

(注) 大島恵一 東京大学名誉教授

とだと思いますが、しかし情勢は必ずしもよくないと思います。

以前、私が原子力の関係の仕事をやっておりました時も反対運動はかなり強かったわけですが、その頃の反対運動と、最近の反対運動とは違っておりまして、今回のほうがかなりソフトなアプローチをしております。それだけに厄介でございまして、一種の暴力的デモとかピケというような形で、例えば公聴会を粉砕するとか、立ち入り調査を阻止するとかいうようなハードな反対運動ではありませんけれども、なんとなく原子力というのは恐ろしい、放射能は恐ろしい、というムードと言いますか、一種の空気と申しますか、そういうものがジワジワ醸成されていっているわけでありまして、そういうことになりますと、一番恐れるのが、原子力発電所の立地について決定権を持っている人達、例えば県知事でありますとか、市長でありますとか、その地方自治体の首長の決定のバックグラウンドを形成するそれぞれの自治体の議会でありますとか、あるいは漁協とか、農協というような関係のいろいろの組織でありますとか、そういうところの原子力発電を進める方向に向かっての決定が、一番楽観的に考えても相当遅れてしまう。それから悲観的に考えると、反対の意思決定が行われることすら考えられる、というこでありますので、いわばスポーツのボクシングにたとえますと、一発でノックアウトされるということはないわけですが、ボディブローのようにジワジワと効いてくる恐れがかなりあると思います。ほっておきますと、原子力発電所の新規の立地は非常に難しくなるように思います。

余談でございませけれども、原子力発電に

対する反対運動としては、これが新しいタイプで、とくに若いジェネレーション、あるいは女性をかなり引きつけているということでございます。女性とは別にいたしまして、若いジェネレーションがこの原子力反対運動に、しかも、先ほど申しましたようなソフトな感じで、例えば日比谷公園に集まって、そこで赤旗を立てて氣勢を上げるということではなくて、なんとなくピクニックムードで日比谷公園に集まって、それで反原子力、放射能は恐ろしいということで声を揃えるという形なのですが、これを見ておきますと、私はやはりジェネレーションの問題というのを、このエネルギー問題を考える上にもう一度考え直す必要があるのではないかと最近とくに考えております。

と申しますのは、人間の記憶と申しますか、あるいは人それぞれの自分の体験とか経験が、どういう形で、あるいはどういう年齢の変化に対応して残っていくか、ということなのですが、そちらの一種の心理学とか生理学は私の専門ではございませんので、ごく素人的な一般的な判断をするわけですが、大体10歳ぐらいを境にして、10歳を超えて体験した、あるいは経験したことは割合記憶として残っていくけれども、10歳以前の、つまり小さい子供の時代の記憶、体験というのは、忘れ去られる確率がかなり高いと思います。

例えば戦争の体験でございませけれども、私などは戦中派でございませので、勿論戦争の体験はいろいろしておりますし、その記憶は強く残っているのですが、もっと若いジェネレーションの人をみてみますと、終戦の時に10歳よりも小さかった人達というのは、昭和11年以降に生まれた人達は、それよりも若

くなっていくに従って、やはり戦争体験というものが急速に薄れていってしまうわけです。とくに最近の20代、30代の人になりますと、もう戦争ということ自身についての一般的な記憶とか印象すらなくなってしまうというのであります。私などのジェネレーションが若いジェネレーションから嫌われますのは、たとえば一杯飲んで雑談をすると、すぐ戦争の話をする。しかしこれがなにを言っているのか全く理解できない、退屈だ、ということになってしまうのですが、そういうことがございます。

それを最近のエネルギー問題の歴史にあてはめてみますと、エネルギー問題が強く認識され、意識されるようになりましたのは1973年の第1次石油ショック、それから79年、80年の第2次石油ショック、この頃がピークだったわけであります。1973年（昭和48年）というのは今から15年前でございます。その第1次石油ショックの時に生まれてはいても、それを自分の経験に基づいた記憶として残っていない若いジェネレーションがもうかなり多くなってしまっている。第2次オイルショックからも9年経っておりますので、多少の時間のずれはございますけれども、やはり似たようなことがあるわけであります。

私どもは、戦争の話は別にいたしましても、第1次、第2次石油ショックの強烈なインパクトをいまだにありありと覚えているわけでございます。それが、エネルギーの供給の不安定や価格の上昇というのが、いかに広い範囲で影響を強く与えるものか、ということを現実に目で見、耳で聞き、肌で感じて、覚えているわけでございます。それだけに、そういうことが起きないようにエネルギー対策、エネ

ルギー政策を十分に、今のようにどちらかと言うとエネルギーが供給過剰である時期でも常にやっておかないといけない、継続的にエネルギー政策を続けていかないといけないということを体験的に理解しているわけです。そういうエネルギー危機、石油危機というものを知らない若いジェネレーションがかなり多くなってしまっているということは、そのエネルギー問題の入口のところの認識で、かなりのずれがあるのじゃないかと思います。

これから、少し具体的に申し上げるわけですが、例え原子力に対しては、私も山本先生と同じ意見でございます。原子力を抜きにして、これから先のエネルギーの需給のバランス、供給の安定化というのは考えられないと思っております。環境への影響などでも、原子力を外してしまって、その分だけ石炭の直接燃焼を増やすということになりますと、世界的な環境への影響はもっと難しいことになってくると考えております。

しかし、エネルギーの供給の安定の確保であるとか、あるいは需給のバランスを取るとか、そういうことが必要だという基本的な認識がないと、問題はすべてどこかへ外れてしまうわけであります。

私どものやや古いジェネレーションの者が気がつかない間に、実はエネルギー問題の一番基本的な認識で空白の部分のある人達が、日本の人口では相当の比率になってきつつある。そういう人達が、一つの例を挙げれば、原子力発電の反対運動で、ソフトではあるけれども、エネルギーの必要性、あるいはエネルギーの供給確保の必要性というものを無視していく。エネルギーの供給の安定の必要性を考えないで、放射能の恐ろしさ、これは日

常に感じられるわけですから、そちらだけ強調してくる。そういう基本的問題があるのではないかと思っております。原子力発電の反対運動への対応の安全性についての説明、チェルノブイリの黒鉛炉と日本、欧米の軽水炉との構造的な差、あるいはその作業員の質の問題、それから放射能のレベルとそれの影響の問題、そういう直接の問題は勿論必要でございすけれども、それ以外にやはりエネルギー問題そのものについての基本的な認識からもう一度築き直していかないと、なかなかこういう新しい時代の新しい問題には対応し切れないのではないかと考えております。

そういうことを考えておりますので、本日21世紀へのエネルギー展望ということでございますが、その前段で、これまでのエネルギー問題の推移をごく駆け足で振り返ってみたいと考えたわけであります。

エネルギーと人類との関係は、人類の発生以来不可分のものでありますけれども、これがエネルギー問題という単独の問題として登場したのは、やはり石炭の利用、蒸気機関の発明が引き金になって産業革命が起きた。それから近代文明が発達してくるわけでございますけれども、それ以後のことだと思います。

今から考えますと、大体100年以上前のことだと思いますが、100年から120～30年前の時代というのは一種のエネルギー革命の時代でございます。蒸気機関の発明が代表的なものでありますけれども、そのほかにももう少し新しい時代で、ガソリンエンジンの発明でございすとか、あるいは電気の利用でございすとか、いろいろのものが発明され、実用化に移ってきたわけであります。

しかし1次エネルギーのベースで考えますと、この時代のエネルギー供給の主役は、石炭だったわけであります。これは世界的にもそうでありましたし、日本でもやはり石炭が1次エネルギーの主役であった時期が相当長く続いて参りました。これが石油というライバルによってエネルギーの主役の座を追われたのは、第2次大戦後のことであります。

日本の場合ですと、エネルギー統計をさかのぼってみますと、昭和38年という年がいわゆる分水嶺になる年でございます。昭和37年までは、1次エネルギーの供給のナンバーワンは石炭だったわけですが、昭和38年から石炭が第2位になりまして、石油が第1位、トップになったわけであります。世界的にもほぼ似たような形になってきております。

この石炭から石油への転換、つまり産業革命の頃から長々と続いた石炭の時代が終って、石油の時代に移ったというのは、これは政策的に石油に対して補助政策を取ったとか、あるいは石油の消費に対して助成金を交付したとか、あるいは税制上の優遇措置を講じたとか、そういう政策的、人工的な手段によって石炭から石油への転換を促進したということではないわけであります。むしろ経済原則と申しますか、ある意味でのマーケットメカニズムということになると思いますが、供給力の豊かな石油が大量に出回るようになった。これがエネルギー市場において石炭に対して断然たる優位性を発揮するようになったということだけであります。

この安くて、使いやすく、しかも供給が豊かな石油が世界のエネルギー市場に出回るようになったきっかけになりましたのは、アメリカのメジャーズの手によって、中東、とく

にサウジアラビアを中心にする現在のペルシャ湾岸の産油国でございますけれども、その巨大な石油資源が開発され、それがメジャーズの手によって、生産され、販売されたということでもあります。これが世界的な石油の時代への移行の最初の段階だったわけでございます。

しかし、この石油の時代というのは比較的短い間に終わってしまったと思います。終わってしまったというのは若干語弊がありまして、ある意味では現在でも石油の時代と言って言えないことはないわけでございますが、私は狭い意味で石油の時代は比較的早い間に終わってしまったと思います。十数年間しか続かなかったわけでありまして、その石油の時代からその次の時代への転換は、先ほど申しました1973年の第1次オイルショック、いわゆる石油危機であります。これによって石油は統計的には確かに依然として1次エネルギーの中の供給のナンバーワン、トップではあり続けるわけでございますけれども、1次エネルギーの大部分を石油に依存していくという形では供給について不安定性がある。とくに経済的、技術的な問題の外の領域、政治的、軍事的な変化によって石油の供給、あるいは価格が大きく変動する恐れがあるということがオイルショックによって実証されたあとは、いわゆる脱石油政策と申しますか、石油依存度をなるべく減らす、とくにペルシャ湾岸、中東地域の石油に対する依存度を減らすという方向に大きく転換していったわけであります。

このバックグラウンドとしては、やはりOPECの活動がその時期に頂点に達したということのを挙げる必要があると思います。OP

EC、石油輸出国機構でありますけれども、これは発足しましたのが1960年でありますので、もう28年ほど経っております。しかし、発足しました当初は、むしろ世界的に石油市場を支配していたメジャーズに対して産油国の利益を守るための組織としていわばその守りの姿勢から誕生したのがこのOPECであります。

事実、発足しましてから、10年近くの間は主として守りの姿勢で推移していたわけでありまして、その後、エネルギー情勢の変化、とくにその中でも石油の消費が世界的に継続的に増大していく、というような状況。それから、経済的な側面、あるいはエネルギーの側面以外のところでも、戦後、第2次大戦後の世界の政治を支配していたアメリカの影響力が徐々に低下をしていった。よく言われますパックスアメリカナの体制が徐々に崩壊してきたということ。それから、第2次大戦後に生れました幾つかの新しい新興国家においてナショナリズムの高まりがかなり強くなってきた。

そういういろいろなファクターを背景にいたしまして、OPEC対メジャーズの力のバランスは徐々に変わってきたわけでありまして、そして1960年代の終りから70年代の始めにかけて、OPECのほうが徐々にイニシアティブを取るようになり、メジャーズとの間で、幾つかの協定が生まれました。この協定によって、例えば産油国にあるメジャーズの子会社を産油国が全部国有化するというのも、5年程度の時間をかけて徐々に進めるということで、計画化されてきたわけでございます。その他価格の決め方等につきましても、いろいろな協定ができたわけでございます。

しかし、そういう徐々に産油国のほうに支配力が移っていくというプログラムを一挙に繰り上げてしまったのが、オイルショックでございます。これは第4次中東戦争を契機にいたしまして、O A P E C、アラブの産油国が石油戦略を発動したのが契機になりまして、世界的なオイルショックが起きたわけがあります。それによって、一挙に既定プログラムが繰り上げられて、例えばメジャーズの子会社、現地で石油の生産をしている子会社の国有化にしましても、一挙に繰り上げられる。それから価格の決定にいたしましても、O P E Cが完全に主導権を握って、価格を決定するようになるというような変化が現れたわけであります。

それと同時に、石油はそういうバックグラウンドにおきまして、一般の商品と同じような経済原則、市場原理で動く商品という性格から、その経済性を超えて、あるいは経済性を押し潰すような形で政治的なファクターが大きく左右する、いわゆる「政治商品」としての性格をかなり強めてきたわけであります。

73年の第1次オイルショックから6年を経て、イラン革命を契機にして第2次オイルショックが起きたわけですが、この頃がO P E Cとしての絶頂の時期であったと思います。

この頃、O P E Cとしては、石油価格の継続的、半永久的な引き上げを考えていたわけであります。1980年という年が、これはちょうど第2次オイルショックの起きた翌年、まだ石油価格が上昇が続いていた時期でありますけれども、これが先ほど言いましたように1960年に設立されたO P E Cにとってちょうど創立20周年に当たるわけありますので、創立20周年を記念して、O P E Cのサミット、

首脳会議がイラクの首都であるバグダッドで開かれる予定になっておりました。そしてその首脳会議で、O P E Cとしては、その20周年の記念事業として、長期石油価格戦略をそのサミットに付議して決定するという予定になっておりました。そのドラフトまでできておまして、そのドラフトが、公式ではありませんけれども、非公式の形でいろいろ発表されまして、話題を呼んだので、あるいはご記憶の方もいらっしゃるかと思います。

しかし幸か不幸か、その1980年の秋に、ちょうどO P E Cのサミットが開かれる直前ですけれども、イランとイラクとの間の戦争が始まりました。いまだに続いているイラン・イラク戦争でございますが、その戦争が起きたためにO P E Cサミットは中止になりました。従って、長期価格戦略もそのままお蔵入りをしてしまっていて、遂に日の目を見なかったわけであります。

しかし、そのドラフトは、さっき申しましたように、非公式に公開されておりますので、その当時のO P E Cのものの考え方を知るのには非常にいい材料であります。これは、さっき申しましたように、毎年継続的に、しかも半永久的に石油価格を引き上げていくということでございます。

まず毎年の世界のインフレ率だけ引き上げる、これは実質価格を維持するための手段ですけれども、それにプラスして実質価格をある程度の増加倍率で引き上げていく、ということですから、名目価格にしますと、毎年10%から12~13%の値上げを継続してやる、ということになるわけであります。

これをどこまで引き上げるかというと、石油代替エネルギーの限界供給コストと一致す

るところまで引き上げるといことでございます。それが果して具体的にどういうものなのか、その裏付けとしての理論的な根拠はどうかというのは明らかにされておられません。いわば経済学の教科書の入門編に出てくるような単純な理屈で割り切ったわけでございます。私は、多分、その時にOPECが考えた石油代替エネルギーというのは、現在石油代替エネルギーの中軸になっております石炭とか、天然ガス、原子力というものではなくて、石炭の液化ではなかったかと考えております。つまり石油と同じ利用範囲をもつ石油代替エネルギー、ですから、多分石炭の液化だと思います。

石炭の液化、これはご承知のように現在の技術ではかなりコストが高いものでありますけれども、その限界供給コストということになりますと、さらに高くなるわけですので、それと一致するところまで引き上げる。それ以上石油の価格を引き上げると、代替エネルギーの限界コストを石油価格が上回ることになりますから、逆に石油の需要が減少して、代替エネルギー、多分石炭の液化油の需要が増える、こういう単純な図式になるわけでありま。

それと先ほどの名目価格で年率10%以上の伸び率と組み合わせて考えていきますと、恐らく当時OPECが考えていたのは、それから10年後の1990年、現時点ではもう2年後になるわけでございますが、当時から考えて、10年後の1990年の石油価格を名目価格で大体100ドルぐらい、それから80年のアメリカドルを基準にした実質価格でも60ドルぐらいには引き上げるといような考え方だったと思います。

しかしそういう一方的な、需要を無視した供給サイドだけしか考えない価格戦略が現実性を持たないということは、その後間もなく現実によって証明されることになってしまったわけでありま。

その100ドル原油の時代が近き将来現われるというような懸念、あるいは予測があったにもかかわらず、それよりも遙かに低い34ドルないし36ドル、原油の種類によりましては40ドルといようなスポット価格が出たことでもございましたけれども、そのへんの価格水準までOPECが値上をした段階で、その石油の高価格の影響が世界経済、それから世界のエネルギー市場にかなり強く出てきたわけでありま。

これは81年以後のことですけれども、まず石油の価格によって世界経済の成長がとまってしまった。いわゆる世界経済の同時不況に突入したわけでありま。

それから、エネルギーの分野だけをとりましても、エネルギー消費が全体として低迷するなかで、石油と石油代替エネルギー、この場合はOPECの長期戦略にありますような石炭の液化油といようなものではなくて、コンベンショナルな代替エネルギー、石炭、天然ガス、原子力といようなものでありますけれども、それとの価格競争力が代替エネルギーのほうが大幅に有利になってきたといこと。従って、石油の需要がエネルギー需要全体の停滞よりもっと大きな幅で停滞した、といことになって参りました。

それだけでなく、その価格効果と申しますか、マーケット・メカニズムの現われ方がいような需要サイドだけではなくて、石油の供給サイドにも強く出てきたわけございま

して、これは73年以降ジワジワと進んでいたのが、第2次オイルショックによって、さらに加速された形になりますけれども、OPEC以外の産油国の石油生産が石油価格の上昇によって高コストの油田の採算が取れるという形で、増加してきたわけであります。

例えば、北海油田がその代表的なものでありますが、メキシコにいたしましても、そうでありまして、それからアメリカの油田も生産が減少傾向になっていましたのが、また息を吹き返す。従来石油が出ないと言われていた国、例えば中東でもエジプトとかシリアという国は産油地帯のすぐ側に位置しているにもかかわらず石油が生産されなかったわけですが、そこでも石油が生産される。アフリカのアンゴラその他の国でも石油が出ますし、ラテンアメリカでもブラジルその他でも石油が生産される。中国の油田の開発が進む、というようなことになってきて、世界的に非OPECの生産が増える。従って需要が減少するなかで、供給サイドでのOPECのライバルからの生産の増加が大幅に出てきたわけでありまして、これから先がOPECの苦難の時代になってくるわけであります。

先ほどこのエネルギー問題の時代区分として、石炭の時代、石油の時代というのを申し上げたのですが、73年以降から80年過ぎ、81～2年頃までの時期を私は実はエネルギーの安全保障の時代と名づけているわけですが、この時代は先ほど申しましたように、エネルギーの供給の不安定、エネルギーの安全保障、これが非常に強く意識されて、極端に申しますと、どのような条件、あるいは犠牲を払っても、エネルギーの供給の安定、エネルギーの安全保障だけは確保する必要がある

という形で、ものの考え方、それから各国の政府あるいは産業の政策の展開が組み立てられていったと思います。

しかし、これが81年から2年を境にしまして、世界的に石油の需給が逆に供給過剰の形になっていく。価格もしばらくは高い水準、いわゆる高原状態を続けておりましたけれども、82年に入りましてからは、徐々に低下をしていくということで、最近に至るまでのエネルギーの供給過剰の時代に入っていくわけですが、それ以前はやはり安全保障がプライオリティ・ナンバーワンという時代だったと思います。そういう情勢が一変いたしまして、石油を中心にして、エネルギーの供給過剰の時期に入ってくる。これが最近までかなり長い期間、もう6年ぐらい続いていることになってくるわけですが、その間でエネルギー問題への対応、エネルギー政策につきましても、またいろいろの展開が出てきたわけであります。

一つは、これまでの安全保障一点張りの考え方から安全保障と経済性とを両立で考えていく必要があるのじゃないかということで、これが総合エネルギー調査会のエネルギー政策の総点検という形でいろいろ検討されて、その安全保障と経済性の両にらみという方向転換が行われたわけですが、現実にもそのエネルギーの多様化が、それまでのように脱石油という形で石油から石油代替エネルギーへの転換を進めるというだけの形であったのが、代替エネルギーだけでなく、石油ももう一度見直して、石油も含めた形でのエネルギーの最適化、エネルギー供給、あるいはエネルギー需要の最適の組み合わせがどのようなものであるか、ということを探し、

実現していこうという形に変わってきたわけがあります。

そして最近に至っているわけですが、これから先の時代は、私は複合エネルギー時代という名前をつけておまして、やっと最近になりまして、複合エネルギー時代という言葉が多少使われるようになってきたわけでございます。それ以前のエネルギーの多様化時代と、それから複合エネルギー時代とどう違うのか、という質問がよくあるわけでございます。どこが違うのかと言われますと、なかなか難しいわけですが、私は従来のエネルギーの多様化というのは主として供給サイドに重点をおいて、その石油の時代における、あるいはそのもう一つ前の石炭の時代におけるような一つのエネルギーにエネルギー供給の大部分を依存するような形から、エネルギーの供給を多様化して、分散化させていくほうが供給の安定化に有効である、という考え方だったと思います。そのほかに、今度は需要サイドあるいは利用分野、利用技術等につきましても、いろいろのエネルギーの組み合わせをしていく、あるいはこれまである領域に限られていたエネルギーの使い方をほかの領域にまで拡大をしてみることによって、いろいろな新しい分野の拡大ができてくるということになってくると思います。

例えば、コ・ジェネレーションのようなものがその代表的な例になるわけであります。そういうことで1973年から最近の15年間、それからずっと遡りましても、産業革命の時代から最近までの200年間ぐらいの時代、これを眺めてみますと、人類とエネルギーとのかかわりあいがある現実的な大きな問題になってから、エネルギー問題の受け止め方、それへの

対応の仕方、というのは、それぞれの時代によっていろいろ変わってきている。これは変るのは当然で、変らないといけないわけでありますけれども、いろいろ変わってきてはおりますけれども、しかし基本を流れるものがなにかと言うと、これは一貫しているわけであって、やはりエネルギーの供給の安定化、これは量的な安定化だけでなく、価格の面での安定化、これが両方とも必要であるという基本的な認識、これがなんのために必要であるかと言うと、産業革命以後、世界が築き上げてきた近代文明、またはその近代文明をベースにした近代的な経済社会、これを維持していこうとすれば、エネルギー供給の量的、価格的な安定化を避けて通るわけにはいかない、ということになってくると思います。

ですから、始めに申しましたように、最近の原子力反対運動にみられるような、15年前は、小さな子供であって、石油ショックの経験がない、もの心がついてしまった時には、その最後の時代になっていた人たちつまり、エネルギーの供給については、全体として余り加減、価格も比較的低い水準に低迷していて、エネルギー価格が上昇し、それがインフレの引き金になり家計を圧迫するというようなことのない、ごく一局面だけをみている人たちからしますと、このエネルギー問題というのは、どうでもいい、エネルギーの供給の安定性というのは、生活とか、あるいは経済とは直接関係がないのだという、飛躍したもの考え方になってしまいがちでありますけれども、実はその産業革命以後のエネルギー問題を眺めてみると、そうではなくて、その基本的な柱と申しますか、基本的な流れとしてはやはり近代文明、近代的な経済社会を維

持するためには、エネルギーへの十分な対応が必要だということになってくると考えられます。

余談でございますけれども、最近の原子力反対運動にいたしましても、いろいろの人がそれに参加をしているわけで、そのリーダーの人もいろいろの色分けができるわけでございます。その中にはかつて10年ぐらい前に一度エネルギー論争、原子力論争が展開されました頃の一方のサイドの考え方、それにはエーモリー・ロビンスの『ソフトエネルギーパス』という本が出て、これがその理論的な一つの根拠になっているわけです。エーモリー・ロビンスの『ソフトエネルギーパス』という本に書かれていること、それからロビンス自身と私は何回も会って当時ディスカッションをしたのですが、彼の考えていることよりも、それが日本に持ってこられて、ソフトエネルギーグループと言われる人達によってその考え方が日本式に翻訳され、展開されてきますと、もっとそれが極端な形になってしまっていると思います。

例えば『エネルギー耕作型文明』というような著書もございます。これを書いた人とも私は論争をしたことがありますけれども、ギリギリまで詰めていくと、ロビンソンクルーソー的な生活が人間にとってが一番幸せなのだ、ということになってしまうわけであります。勿論本にはそんなことは書いてなくて、もっとソフトな書き方になっているのですが、ギリギリに詰めて議論をするとということになってしまいます。

勿論、人生観は人によっていろいろ違うわけでありますので、そういう耕作型文明、ロビンソンクルーソー型の生活様式のほうがい

いという判断をしても、これはいっこうに構わないわけでありますけれども、やはり国民の大部分、世界の人間の大部分は、そういうものは多分好まないだろうと思います。

そうだとすると、エネルギー問題、エネルギーの利用の拡大によるいろいろの影響と、そういう個人の生活との折り合いをどこでつけるか、ということになってくるわけございまして、そこがエネルギー政策のいろいろな問題点であると同時に、いわゆる省エネルギーといわれるもの、これはまたご承知のように範囲が大変広いわけでありまして、技術的な側面、それから政策的な側面、経済的な側面からあるいは精神的、哲学的、倫理的なものの考え方まで広がるわけでございます。そういう広い意味での省エネルギーとエネルギー無用論との間には違いがあって、省エネルギーを発展させるとエネルギー無用論になるということでは決してなくて、省エネルギーは省エネルギーという合理性の範囲にとどまるものであって、エネルギー無用論というのは、これは合理性を超えた一種の人生観なり、世界観の問題までいってしまうと考えるわけであります。

そうであるとなると、やはりエネルギー問題というのは、基本的には、エネルギーの供給の安定化の問題ではないか、と私は考えます。ですから、何回も繰り返すようになりますが、今の局面、あるいは今の時代だけしか知らない人達が、エネルギー供給の安定性の問題に対して、冷たい、否定的な反応をするというのは、非常に危険なことだと考える次第です。

そこで、エネルギーの供給の安定性の問題というのは、どういう性格のものであるか、

ということを考えてみたいと思います。

私はこれには2つの問題があると思います。一つはエネルギーのアクセスの問題でございます。エネルギーのアクセスの問題というのは、申し上げるまでもないことですが、エネルギーの資源そのものは存在するけれども、それがなんらかの理由、あるいはなんらかの原因によって、その入手が阻害されることがある。それが阻害されないように対応をしていくのが必要な政策である。これがエネルギーのアクセスの問題でございます。

もう一つは、エネルギー資源の涸渇の問題があると思います。これはまた全然別の問題でございます。これがともすれば混同されて考えられることが往々にしてありますので、これはやはり分けて考えるのが必要だと思います。

例えば、第1次オイルショック、73年のその前の年にローマクラブの報告書の有名な『成長の限界』という報告書が出されました。これはごく簡単な等比級数の原理を使って将来を予測したいわば経済学でマルサスの人口論と同じような考え方を資源問題全般に適用したものに過ぎないわけでございますけれども、その予測なり考え方の是非は別にいたしましても、タイミングからいって、『成長の限界』というローマクラブの報告書が出たその時点では、日本経済は勿論のこと、世界経済も高度成長の中であって、誰しも先行き、こういうことが果して長く続き得るのであるかという懸念を持っていた時に、その成長の限界という報告書が出た。その翌年に石油ショックが起きた。

これには直接の因果関係はないわけでありますけれども、そういうことで、資源の涸渇

の問題と第1次オイルショックという、これは石油のアクセスの問題ですけれども、それがグブって、ゴチャゴチャになって考えられてしまったと思います。その混同は現在でもかなり続いているわけございまして、私もよくこういう専門家の方が集まっておられるシンポジウムではなくて、もっと一般の人達を対象とするシンポジウムなどに行きますと、この頃でも必ず出る質問というのは「石油は何年もつのですか」という話、確認埋蔵量と現在の生産量との比率、いわゆる R/P と言っているこの数字、これは最近は少し増えまして、43年ぐらいになるわけですが、以前は大体30年ぐらいで横這いだったので、そうすると、30年で本当に石油はなくなってしまうのだろうか、とか、そういう質問が現在でも出るわけであります。

このへんのところがアクセスの問題と涸渇の問題とが混同されていることになると思います。この両方を分けて考えますと、まずアクセスの問題でございますけれども、現在はアクセスの問題はほとんどありません。なぜかと言うと、全体的に供給過剰であり、価格も停滞していますし、世界的にエネルギー資源の過剰供給能力がかなりあるわけですから、アクセスの問題というのは、現在ではないと思います。

例えば、ペルシャ湾岸で、イラン・イラク戦争がもう8年程続いているのですが、これが一般に予測されているように現在のような不完全燃焼のような形での戦争の継続が今後も何年も続くというのではなくて、突如大爆発を起こす。例えば、去年の初め頃は現実にイランがイラクを完全に打倒する。その余勢を駆ってサウジアラビアを初めとする湾岸の

産油国に軍事的に進出する。そうすると、湾岸戦争が起こって大変だと、こういう懸念が現実にあったわけでありまして。アメリカのペルシャ湾に対する軍事介入もそれから始まったのですが、仮にそういうことになりましたら、現在の世界の石油の需給の状況からいきますと、全然影響がないということではありませんけれども、第1次、第2次オイルショックのような影響が世界的に出るということにはまず考えられない。国によって違いがありますから、ヨーロッパ、アメリカよりも日本のほうがダイレクトで、しかも早い影響を受けますから、日本の場合はいろいろ影響が出てくると思います。それでも備蓄も相当溜まっているし、それからほかの産油国への転換もある程度可能である、ということですから、現在のような状況ですと、第3次オイル・ショックの起きる可能性はよほどのこと、もう湾岸全部を巻き込んだ、例えば核戦争のような状況になるという話になれば別でございしますが、そうでなければないと思います。しかしずっとないのか、と言うとそうではなくって、これから先行きよく言われておりますように、1990年代になると、世界の石油需給が徐々にタイトになってきて、それを裏付けにしてOPECはまた値上げを始めるだろう。その時期にペルシャ湾を中心にして、政治的、軍事的変動が起きれば、そこで第3次オイル・ショックが起きる。これが国際エネルギー機関（IEA）などでも言っていますような、それから日本でも政府ベースでは、そういうことを言っている、いわば定説になっているわけでありまして。そうなる可能性も私は多分にあると思いますが、そうならない可能性もあるわけでごさいます、現在のような

低目の価格水準がここしばらくどうも続きそうですね、それがかなり長い間続いてしまっていて、しかもそれによって、世界の石油の資源開発、それから石油だけではなくて、天然ガスの開発、あるいはその利用の方法の確立、例えばLNG化でありますとか、ターミナルの建設とか、あるいはマーケットの確保とか、そういうものの計画がだんだん遅れてしまうということになって、しかもその一方で世界経済が順調な成長を続けていった場合には、やはり1990年代の何時か分かりませんが、中頃前後には、需給の関係が相当変わってくる、ということは間違いないと思います。しかしその半面で、石油価格がもう少し高い水準まで誘導されて、例えば20ドルから25ドルの間ぐらいのところまでの水準に誘導されて、そこでかなりの期間推移する。これは現実に非常に難しいことでありますけれども、もしそういうことになりましたら、非OPECの油田の開発もある程度継続をする。それから、石油代替エネルギーについても、例えば天然ガスと石油の関係なども現在よりは天然ガスのほうにいくらか条件が有利になってくる、というようなことで、全体としてエネルギーの供給は、比較的緩やかではあるけれども、安定的な形で推移する。大きく分けると、2つぐらいのシナリオがあります。

どっちのシナリオを取るかということは、なかなか難しいことで、アメリカ人と長期的なエネルギー需給の論議をしてみますと、アメリカ人は割合、第2のほうの、今後相当の期間にわたって、石油の需給がタイトになるということはないのじゃないか、ということを言いますし、ヨーロッパ人の場合は、どち

らかと言うと、第1のシナリオを主張する人が多いように思います。

私はこの両方のシナリオで考えていくことが必要だと思いますが、どちらかと言うと、やはり第1のシナリオ、これは価格が停滞し、供給が余っている状況から、それがある程度進行した形で価格が乱降下する状況に移って、それから供給の不足、価格の上昇に移行してくる、このシナリオの方が確率としてはやや高いのではないかと考えております。いずれにしても、このアクセスの問題というのは、現在はなくとも、今後また発生してくる可能性が非常に高い。従って、エネルギー政策としての、このエネルギーのアクセスの問題は、今後とも最重要課題として考えておく必要があると思います。

あとは涸渇の問題でございます。これはいろいろの見方があるわけですが、私は我々の身近なところで考えますと、とくに注目しなければいけないのは、中国とか、あるいはインドのような巨大なLDC、そのエネルギー問題の推移の仕方、これが世界のエネルギー問題に非常に大きな影響を与えていると思います。これはアクセスの問題よりもっと長いタイムスパンで考える問題でございます。例えば現在の中国、インドの人口、両方併せて20億ぐらいの人口がありますし、今後とも増加していくわけでありまして。しかもそれらの国における人口1人当たりのエネルギー消費量は非常に少ない。これは統計が不備でよくわかりませんが、中国の場合で、一番中国にフェーバブルにみても、大体日本の20%、インドの場合は10%ぐらいで、恐らくそれよりも低いと思うのです。そのほかにいわゆる非商業エネルギー、これはご承知のよ

うな、木の枝とか、枯草とか、動物の糞とか、そういうようなものですが、これの利用がかなりございます。少なくとも50%、インドの場合は70%ぐらいは非商業エネルギーだと思います。これが例えばインドおきましても、その燃料として木の枝を切って燃やしてしまう。これが森林の涸渇という別の意味での大きな環境問題を作り上げているわけでございます。

これが将来どうなるかということですが、こういう巨大な人口を抱えたLDCが、これは当然やはり経済の近代化、生活様式の近代化に向かっていくわけですが、経済の近代化、生活様式の近代化を指向しようとすれば、これはやはりエネルギー供給量が増えるということ Avoiding it is absolutely impossible. ことを避けて通ることは絶対にできないわけでありまして。

エネルギー供給が増える。しかも、消費するエネルギーの質を良くしなければいけない。ということは、木の枝、動物の糞のような非商業エネルギーから、やはり化石燃料、その次には電力というような質の高いエネルギーへの転換をしていくことが、こういう国の経済や生活様式の近代化に不可欠であります。

この点でも、先程来、言っておりますように、やはりエネルギー問題とその近代文明、近代的な生活様式、近代的な経済社会とは不可分だということが、こちらのサイドからも立証できると思います。そういうことになってくるわけで、そういう国が徐々に経済的にもテイクオフしていく。テイクオフするにつれて、生活様式、経済の近代化も進んでいく、ということになりますと、エネルギー消費の増加は爆発的な増加をする可能性があるわけでありまして。

よく茶飲み話で出る話でございますけれども、中国へ参りますと、大都市では大変な数の自転車が走っております。もしもあの大変な数の自転車が、全部オートバイに変ったら、ガソリンの消費はどのくらいに増えるか、これはちょっと計算したことはございませんが、大変なことになるわけでありまして。ごく分かりやすい一例を挙げればそういうことになるわけで、ポテンシャルなエネルギー需要というのは非常に大きいということになります。

もしそういう巨大な発展途上国、これは中国、インドだけではありませんが、そういう国が近代化の路線を歩めば、当然エネルギーの消費が増える、ということになりますと、これは、やはりエネルギー問題は、当面のエネルギーのアクセスの問題のほかに、エネルギー資源の涸渇の問題に対応しなければいけない。これは現在の石油の究極可採埋蔵量あるいは天然ガス、石炭の埋蔵量等から判断して、それと現在の世界の消費量との比較において、この資源の賦存量の問題、あるいは利用化の限度の問題、これを判断するのはやはり現在の状況だけを前提にするのは不十分でありまして、やはり巨大な発展途上国の将来を考える必要があると思います。

そういう意味におきまして、このエネルギーの資源の涸渇の問題は、今のところ当面の問題ではないにしても、やはり超長期的な問題を考える上には忘れてはならない問題だと思います。

問題を整理いたしますと、短期的な問題のその先に、中期的な問題があって、そこではやはりエネルギーのアクセスの問題が重要な

問題として登場する。それ以後さらに長期あるいは超長期的の問題になりますと、エネルギーのアクセスの問題と並んで、資源の涸渇の問題が登場してくる、ということになりますので、いずれにしてもこのエネルギー問題は、現在の局面だけに限定して、エネルギー問題はもう終わってしまった、もうすでに解決済みであるということでは決してないわけでございます。

時間が参りましたので、終りにいたしたいと思いますが、先頃、エネルギー総合工学研究所が10周年の記念にお出しになった『極限領域エネルギーへの挑戦』という本をいただきました。読んで読みましたが、大変面白い本であります。その中で一番最初に出てくるのが深部ガス、いわゆるディープガスの問題でございますが、これも私素人でございますが、エネルギー資源の涸渇の問題に対応して、そういう問題の重要性、そのほかにマグマ発電でございますとか、最後には核融合等もリファースされております。こういう極限領域の技術の問題、これは恐らくアクセスの問題ではなくて、資源の涸渇に対応するための技術開発として非常に重要な意味を持っている。超長期的の問題であるとは言っても、これはやはり今から手がけておかないといけない。そういうそれぞれの時代に応じたエネルギー問題の所在、しかしその基本のラインは、常に普遍であり、同じだということを踏まえて、今後ともエネルギー問題に積極的に対応していくことが必要だと考えております。どうもご清聴ありがとうございました。

(いくた とよあき)

先端技術の今後の展望

－講演要旨－

(株)三菱総合研究所

会長 牧 野 昇

1 必要な国際的戦略

イノベーションには、表1に示すような種類があるが、その中で、新製品の分野の問題と海外市場の問題、この二つについて話してみたい。

いま、産業にとって大きな問題は円高であ

る。そして産業は外部環境によって変わっていく。最初は、物を作っていた。経済が伸びても、物の消費のほうはある程度以上は伸びない。これが、物を作ることを中心とする工業化社会の終わりを意味する。

その次にエネルギーの問題がある。オイルショックとエネルギー枯渇の問題が起こり、

表1 イノベーションの種類

技術革新	新製品	情報通信が主役。NTT、日電、ソニーなどの優良企業、ソフト技術もクローズアップ、新素材(超電導材)、メカトロニクスなども期待。開発段階の強さが評価。
	生産技術	鉄鋼や化学でのダイレクトプロセス(連铸など)。FA(ファクトリー・オートメーション)。バイオテクノロジーによる医薬品生産。かんばん方式など、生産技術の革新が注目される。
市場革新	市場変化	個性化、感覚化、サービス化などの市場変化、ニーズに対応。たとえば、ビール、衣料から自動車まで多様化し、その生産の仕組みはC&Cにより支えられる。
	海外市場	円高戦略として直接投資、海外調達などが重要となる。経済摩擦への対応が必要となるとともに、NICSその他の状況も流動的。状況の把握に配慮。

(注) 企業が成長を維持していく基本的戦略はイノベーションであろう。シムペーターが述べているように「企業成長のための技術、生産、市場、組織などの新機軸」であり、企業革新と名づけたほうがよい。わが国では、イノベーションを技術革新と訳して使っているが、それは経済白書で技術を強調して使用したことによる誤りである。著者がまとめて示したように、イノベーションの内容はきわめて多様なものである。

エネルギー価格が今頃は相当高くなっているはずだった。そこで、みんな省エネルギーに努力し、どうやら切り抜けることができた。

産業は、いろいろな形でまわりの影響を強く受ける。いまは物が溢れている。省エネルギーが進んで、経済は2倍伸びたけれどもエネルギー消費量は横ばいである。これは、われわれが物以外のもの、つまり情報のほうに価値を見出すようになってきたからである。

では、これから何が大きな問題かといえば、国際化の動きで、とくに円高である。3年近くで、円レートは倍になり、日本人の給料が国際的にみて、世界一になった。すでに日本の一人当たりの国民所得は、アメリカを抜いてしまっている。そんな高い給料になって、われわれの産業はそれを乗り越えていけるか、ということである。

二番目の問題は何か。土地の値段である。特に東京付近が高い。

賃金高、土地高、エネルギー高、更に法人税高の四つの格差を背負って、国際化の中でどうやって生きていくか。その方法は二つしかないと思う。

一つは、国際市場にどうやって出ていくか。その戦略はどうか。

もう一つは、ハイテクに入っていくことだ。首から上を使う。重さもないし、エネルギーも使わないけれども、売値の高いものを作る。

われわれは、技術開発、部品、組み立て、販売、そして、お金を借りること、そういった機能を全部分けて、それぞれの機能を地球規模でみて一番都合のいいところに置くという戦略をとらざるをえない。

基礎研究はアメリカだけでも、技術開発は日本でやったほうがいい。それぞれに特徴

を生かせばいい。それぞれの国には、民俗とか伝統とか習慣とか、あるいは、国民の持っている性格とか、いろいろそういうものが総合されて、その国のアイデンティティーになる。日本とアメリカとは違う。それぞれを生かすことだ。向こうは生みの親で、日本は育ての親としての特徴をもつ。このアイデンティティーを捨ててはいけない。

日本の技術開発のレベルも上がった。アメリカの特許を見ると、確かに一昨年まではずっとGEがトップだったけれども、去年は、1位、2位、3位が日本で、GEは4位になってしまった。その質のほうはどうか。特許にはレファレンス係数というのがあり、いい特許ほどしばしばレファレンスされる。この係数を見ると、日本は平均して、アメリカよりも26%多い。ということは、質もいい。いまや、われわれは日本的な技術開発について、誇りを持たなければいけない。

そういう方向を頭に置けば、日本的な国際戦略が立てられる。たとえば、日本で技術開発をする。そして、たとえばNICSなどで部品を作る。そして、アメリカで組み立てをして、それを仕上げて売っていく。アメリカでは工員の質が悪いからいい品物ができないと思っては大変な間違いである。それはマネジメントが悪いからなのだ。現場に、工場長とか、大学出のエンジニアとかが出ていけば、必ずいいものができる。現場では問題がしょっちゅう起きるが、それをその場で解決することができる。これが日本式マネジメントだ。

税金は日本が高い。皆さんは驚くかもしれないが、去年のデータで、一億円以上の会社で、タックスヘブンのパナマ、バハマ諸島というようなところに出ている会社が2711社あ

る。このようにいまや、「地球規模的にいかに戦略を立てるか」という国際戦略が非常に重要になった。

2 成長のカギをにぎるイノベーション

さて次に、イノベーションが企業成長にと

って重要である。その中でも注目されるハイテクについてである。先端技術ではどんなものがあるか。科学技術庁の未来技術の予測があって、その中の重要なものを表2に挙げておいた。

当面、われわれにとって必要な先端技術とは何か。——「電・光・石・化」——。まず

表2 科学技術庁・未来技術の重要課題と実現時期

分野	課題	重要度	実現時期
物質・材料・加工	・液体窒素（77K）以上の臨界温度をもつ超電導材料の実用化	84%	1994年
情報・電子・ソフト	・1チップ当たり100メガビット級以上の超LSIの実用化	78	1998
宇宙	・月面上に宇宙観測用恒久的基地の実現	42	2010
	・宇宙環境を利用する半導体、薬品等の商業生産用宇宙工場の実現	83	2003
海洋	・深海底に賦存する鉱物資源のいずれかを経済的に採取する技術の実用化	63	1999
地球	・M7以上の地震発生の有無を数日以前に予測できる技術の開発	91	2007
	・火山噴火の2～3日前の予測が確実	82	2004
エネルギー	・FBRシステムの実用化	86	2013
	・核融合実験炉の開発	67	2015までは非実現
	・高レベル放射性廃棄物固化体の貯蔵管理・処分技術の実用化	88	2002
生産・労働	・生体のエネルギー変換機能の工学的応用が可能	43	2010
	・生物の脳と同様な情報処理の可能なコンピュータを利用した生産・OAシステムの開発	64	2012
	・自動翻訳装置のオフィスへの普及	40	2002
保健・医療	・ほとんどすべての種類のがんについてがん化の機構の解明	89	2009
	・老人性痴呆症を予防する有効な方法の開発	84	2011
	・胃、心、肝等の臓器移植が現在の米国並に実施	64	1997
	・AIDSの治療法の確立	49	1997
通信	・プロトコル自動変換技術による異種通信網総合接続の実現	88	1996
	・リアルタイムの日英間自動通訳電話の開発	68	2003

(注) 科技庁が5年に1度実施する大がかりな技術予測の結果のなかから主要なものを選んだ。デルファイ法(専門家くり返しアンケート法)によるもので、科学技術政策の資料として使用する。

電・光」は情報通信で、「石・化」というのは新素材を指す。

「電」は電子（エレクトロニクス）。この中で一番のポイントが超LSI，ICであり，われわれにとって非常に重要である。

ICは2兆円，しかしメカトロニクスは26兆円市場である。つまり，ものを作るよりも，使う産業の方が大きい。ICは引き金であり，ビタミン剤みたいなものである。

「光」は光エレクトロニクス。光ディスクでは，片面で200ページの本が250冊も入り，ものすごい記憶容量である。またこのマーケットが8000億円。光ディスクにつづいて同じく8000億円のマーケットを持ったディスプレイ（映像）。三番目が光通信。これらを足すと

すでにICを抜く。そのほかにも，太陽電池とか，レーザー加工機とか，レーザー測定機とか，いろんなものが出ている。だから，光エレクトロニクスはマイクロエレクトロニクスを抜いたとみていい。とくに注目すべき点は，光エレクトロニクスだけは，研究開発から，実用化・完成品まで，全部の技術が，アメリカの技術水準を抜いて世界一位である。

その次が「石」。つまり，ニューセラミックスイマヤ，エンジンとか工作機械のシャフトとかにも使われる。そして，いまわれわれにとって重要なのは，フェライトという永久磁石（マグネット），次に出たのが超電導である。

次は「化」，化学材料，高分子。いろいろなすごいものが出ている。たとえば，形状記憶

表3 超電導の応用事例

事 例	解 説
富山，名古屋が東京通勤圏になるリニアエクスプレス	リニアモーターカーは液体ヘリウム型超電導体ではほぼ実現。時速500キロで，東京通勤圏も一挙に拡大，地価問題も解決。新超電導体の開発でさらに有利。
重電機器の設計を一変させるデザイン・コンセプト革命	発電機，モーター，変圧器など，超電導コイルの開発で基本的設計概念が革新。ソ連の原子力潜水艦では超電導モーター使用の情報。
クリーンエネルギー体系の確立を目指すグローバル電力網	宇宙開発による電力をマイクロウェーブで海上基地に送り超電導コイルでエネルギー備蓄。超電導ケーブル送電ネットワークを地球的に海底に敷設する構想あり。
超高速・超小型のコンピュータが可能となるジョセフソン・コンピュータ	当面は現在のICと複合利用。将来ジョセフソン素子の開発が進み，超高速素子が実用化。超小型とあわせて強力な小型スーパーコンピュータが誕生可能。
防衛体制のレベルアップを示唆する超電導電磁推進	米国のSDI研究でレールガンが開発されているが超電導コイルは有力。高速船のキメ手となる超電導電磁推進は軍事用以外にも魅力的研究ターゲット。

（注）高温超電導材の発見で，久しぶりで，重厚長大産業分野から軽薄短小分野に至るまで強烈なインパクトを与える画期的な技術革命がやってきたといえる。超電導材料が，経済社会に与えるインパクトはきわめて広汎で強烈である。上記の用途のほかに，磁気センサーによる生体磁気の検知，核磁気共鳴方式による診断装置，高速粒子加速器用磁界形成，核融合装置などの進歩にも寄与する。新超電導材料の市場規模は1990年代末で，2兆円とも3兆円ともいわれるが，その応用製品は10倍以上の20兆円から50兆円となる。日本の技術の特徴は，この実用化段階に強味を発揮する。

合金。初めは金属でやったけれども、もうプラスチックが出ている。

しかし、このように話してきたけれども、そのハイテク全部を集めても、おそらくせいぜい3～4兆円マーケットであって小さい。しかし、ハイテクを使ったものは大きい。

いまわれわれが「先端技術」と言った場合、それは、作るためにあるのではなくて、使うためにある。われわれはそれをいかに掘り起こしていくか。それによって、われわれのハイテク産業があらゆるところに行き渡り、それによって、日本独特のアイデンティティー

を保って、強い日本であることができる。

超電導の話はこのあとに予定されている。ここでは表3に、超電導の応用例を私なりに並べておいた。

HFSP（ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プロジェクト）は、トロントサミットの経済宣言のなかに書き込まれている日本提案の国際協力プロジェクトだ。人間の研究によって得られる知見、知識を工業的なものに応用しようということである。表4にその応用例を示す。ヨーロッパのユーレカ、アメリカのSDIに並ぶものとして日本側は評

表4 HFSP関連の開発事例

「生体に学ぶ」技術

バイオメカニズム

生物のもつ不思議な機能を利用する。筋肉収縮機能をまねたバイモーター、コウモリの超音波聴覚を利用した盲人用超音波メガネなどがテストされている。ハトの方向探知、ガラガラヘビの赤外線探知なども検討されている。

バイオエンジニアリング

人工臓器など、生体を代替するシステム工学であり、その成功には多様な要素の最適化技法が必要である。現在、心臓、腎臓など多くの成功例があり、将来への期待が大きい。ロボットもこの分野の研究のひとつである。

バイオエレクトロニクス

生物に学んだバイオセンサー、バイオ素子等の超高集積、超エネルギー電子分子回路の可能性の追究が計画されている。脳の情報処理システムに学ぶバイオコンピュータ、高信頼性をもつアーキテクチャーなどの新システム原理探究も重要。

バイオマテリアルス

生体物質と材料の相互作用を解明し、生体適合材料を開発する。さらに生体物質のもつ効率的機構の工学的実現のための研究も要請される。

(注) 生体に学ぶ技術には、たとえばバイオメティツという学問領域にも関連する。バイオメカニズムは、生物の運動機能や感受機能を取り入れる領域であり、バイオエンジニアリングは、最近の臓器移植にかかわる脳死問題論議を避けるひとつの解決方法である。バイオエレクトロニクスは、酵素を使うセンサーなど生物を取り込む技術も含まれている。バイオマテリアルは、この分野の発展の基本となるものである。生命に関する研究は、全体の調和や相乗の効果を重んじる。個々の構成物の精緻な分析ではない。この意味で、人間や生物の働きに挑戦することは、きわめて「日本的技術課題」であるといえよう。

価している。人間の場合には、幾ら蛋白質を集め、細胞を積み上げても、人間にはならない。だから、人間の学問というのは、トータルから見ていって、だんだんと詰めていかなければならない。「このような東洋思想にもとづくもの」と中曽根さんが言っている。人間の研究というのは、東洋あるいは日本が一番適している。日本が中心になろうというわけである。

生体系の持つ神秘的な機能が、いかに今後われわれにとって大きなものになるか。その例がニューロ・コンピューターである。人間の脳細胞の回路に非常によく似たコンピューターを作っていこう。パターン認識とか、瞬間ヒラメキとか、学習機能とかいうものに一歩近づいた、人間に近い発想をするコンピューターということである。ニューロ・コンピューターが、今年のブームになっている。

いま、人間の研究というものが、われわれの工学的な分野に非常に大きなインパクトを与える可能性がある。この人間あるいは生体という未踏なものに対する挑戦—ヒューマン・フロンティア・サイエンスというものが、いまや、最大の国際プロジェクトとしてあがってきているということを最後にあげておきたい。(まきの のぼる)

エネルギーセキュリティについて

東京大学工学部

教授 鈴木 篤 之

エネルギーセキュリティについてということですが、これについては、多分ここにお集まりの皆様方はそれぞれにご専門でいらしゃいまして、私がなにか申し上げるのは大変難しいことでございます。私は原子力の分野におりまして、とくに燃料サイクル関係を勉強しておりますが、そういう立場からしましても、このエネルギーセキュリティの問題は特に重大なテーマとなっております。本日は、燃料サイクル屋の考えるセキュリティ論ということでお話をさせていただき、皆さま方のむしろご批判をいただきたいと考えております。

まず最初に、時間スケールを、短期的なもの、長期的なものに分けて考えてみたいと思います。(表1参照) 短期的と申しますのは、何日、あるいは何ヵ月というスケールから数

年のレンジでございまして、こういうレンジですと、現実是非常に複雑で、私のような者がなにか論ずるということは非常に難しい要素がいろいろあろうかと思えます。それを、ここでは一言で「政治的」と表現しているわけでございますが、中間的あるいは長期的なレンジの問題を考えるにつきましても、結局は短期的なスケールでなにか政策的な判断がされないと、実際には意味がないわけでございます。そういう意味では、やはり一番重要なフェーズである、というふうに考えております。

中間的と申しますのは、何年あるいは数十年というぐらいのスケールで、最も重要なことは、世界におけるエネルギー需給を構造的に安定化させること、あるいは、現在が比較的落ち着いた状況をしているとするならば、そういう落ち着いた状況をさらにより確かなものにしていくということではないか、というふうに考えます。

さらに長期的には、これは何十年かあるいは数百年かということかとおもいますが、やはり地球規模での環境問題が問われているわけでございますので、そういう意味で、地球生態系と調和するエネルギー需給を世界的につくっていくことではないかというふうに考

表1 エネルギーセキュリティ

短期・中期・長期的視点

短期 (何日、何ヵ月～数年)	：政治的。ただし、政策的 手段の選択にとっては最も 重要。
中期 (何年～数10年)	：世界のエネルギー需給を 構造的に安定化させること。
長期 (何10年～数100年)	：地球生態系と調和するエ ネルギー需給系を世界的 に構築すること。

えるわけでございます。

本日は、このうち中間的な点について絞ってお話をさせていただこうとおもいます。(表2) 表現がすこし適切でないかも知れません

表2 中期的エネルギーゲーム

世界における石油の中期的価格経路は、産油国における資源ナショナリズムと消費国におけるエネルギー開発政策とが力学的にバランスするところで決まる。ここで産油国の資源ナショナリズムは経済的埋蔵量と実質割引率とによって表現され、消費国のエネルギー開発政策は石油代替エネルギーの経済性（エネルギーコスト）と省石油（価格弾性値）によって表現される。

が、中間的にみた場合のエネルギーゲームというようなことから話をさせていただこうと思っております。これはどういうことかと申しますと、世界的なエネルギーの需給が安定しているかどうかということの一番大きなインデックスは、やはり世界における石油の価格ではないかと思うわけです。その価格経路は、産油国における資源ナショナリズムと消費国におけるエネルギー政策とが力学的にバランスするところで決まるのじゃないか。

ここで、産油国の資源ナショナリズムとは、端的に申し上げれば、資源の経済的な埋蔵量と実質的な割引率によって表現され、消費国のエネルギー政策とは、石油代替エネルギーの経済性、一言で言えばそのエネルギーコスト、省石油、すなわち石油需要の「価格弾性値」によって表現されるのではないかと思います。

図1はエネルギー需要と価格の関係を将来的にみたものです。エネルギー価格が仮に将来とも実質で一定であると仮定した時のエネルギー需要の伸びがこの破線のように想定されている場合、エネルギー価格が将来高くなれば普通はエネルギー需要の伸びは下がり、

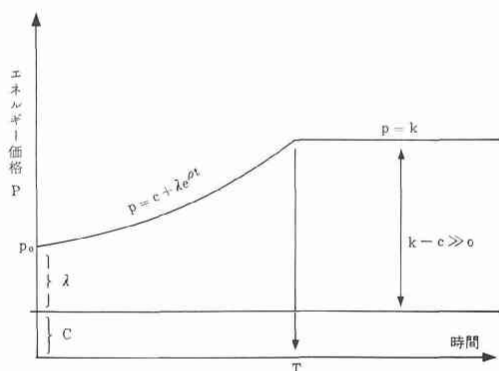
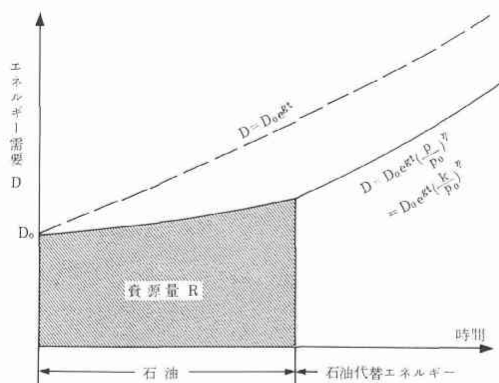


図1 競争市場下における効率的なエネルギー価格とエネルギー需要

P = エネルギー価格, c = 石油生産コスト, k = 代替エネルギー生産コスト, λ = 石油の希少性に伴う限界費用, ρ = 割引率, g = エネルギー需要伸び率, η = 価格弾性, R = 石油埋蔵量, T = 石油から代替エネルギーへの切り換え時期

この実線のようになっていくであろう。ここで、石油価格の安定性というものが何故問われるかと申しますと、これは、私の理解なのですが、物理的な石油の埋蔵量といいますが、経済的な意味での資源量が結局は有限なのであって、その有限性が価格にどのように表れるかということではないかと考えております。

その場合に、仮にその資源量がこの斜線部の面積（資源量 R ）だいたしますと、価格は理論的には必ず上がっていくわけでありまして、上がっていきながら経済的な意味での

石油の資源量を使い尽くした場合に石油代替エネルギーが使われる。石油代替エネルギーにつきましては、石油ほどの資源制約がないというふうに考えますと、そういう意味での価格の上昇はないわけでありますから、石油代替エネルギーのコストでエネルギーの価格が安定する。石油から石油代替エネルギーへのこういう価格経路が理論上は想定されるわけであります。ここで、特徴は、石油の採掘コストに対して、資源が有限であるための使用料といいますか、ロイヤリティが非常に高いということで、そのロイヤリティが、実は、石油代替エネルギーのコストと石油需要の価格弾性値とに著しく依存していることがわかりいただけるのではないかと思います。

ところが、現実には、そのような価格経路はとらないようです。図2はノードハウ

(ドル/バレル, 1975年価格)

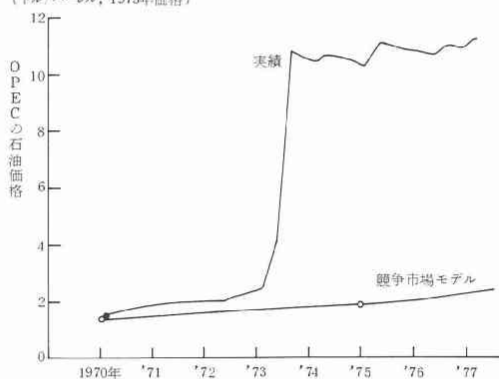


図2 1970年代におけるOPEC石油価格の推移

(注)実績とは、米国のG N Pデフレーターで実質化した値であり、競争市場モデルとは、図1の考え方に基づき長期エネルギー需給モデルから算出した値である。いずれも1975年価格。

出所：W. D. Nordhaus (1979)

スという人がだいたい前に調査したものです。が、70年代における2度の石油ショックのうちの前半についてみているもので、今のような考え方で価格経路をみますと、これはここでは競争市場モデルと言っていますが、ある

率で確かに上がっていったはずだ。ところが、73年の秋のあのショックは明らかにこの競争市場条件から外れているというわけでありまして、これは恐らく石油の価格経路がいわゆる競争市場の価格経路ではなくて、どちらかというと独占市場の価格経路になったのだらうと、そのように説明しております。

そういうふうに考えますと、産油国側が、価格を、この場合で言えば、代替エネルギーのコストより若干低いところに設定できるわけであります。(図3参照)そうすることによ

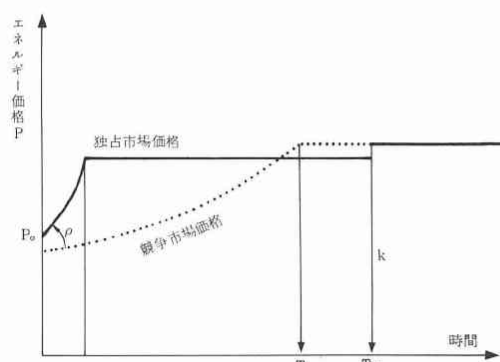
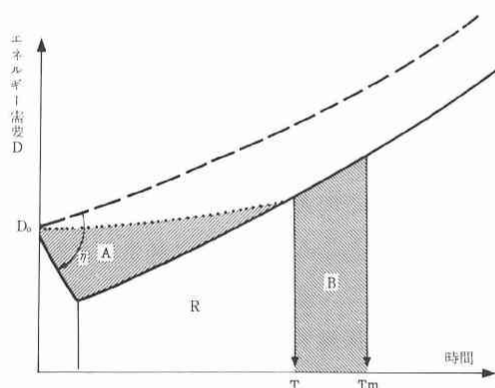


図3 独占市場下におけるエネルギー価格とエネルギー需要

A=独占市場価格設定における資源節約量
B=資源節約Aによる資源の長期的利用
Tm=独占市場下における石油から代替エネルギーへの切り換え時期

って価格が早目に上がりますので、実は石油はむしろ使われなくなりまして、いずれ代替

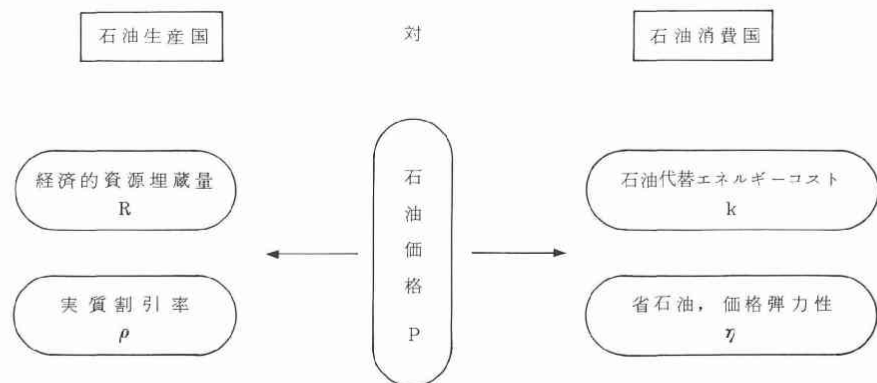


図4 中期的エネルギーゲーム

エネルギーにかわり安定したところで、需要がある率で伸び出しますが、しかし競争市場であれば「T」というところで枯渇したはずの資源が実はここまで伸びるわけでありませう。つまりこのAとBの面積が等しくなるような条件のところまで資源は長生きするわけでありまして、皮肉な結果ですが、独占主義者は資源を保護するということに寄与することになるわけでありませう。産油国が価格をどのレベルにどのようなタイミングで持っていくかということは、結局は資源「R」というものを産油国がそれぞれどのように評価しているか。それと、価格設定の上昇率をどう考えるか。これは恐らく一言でいえば、産油国側の考えている実質的な割引率ないし、金利のようなものじゃないか、ということになるわけでありませう。

それに対して石油消費国は、価格が上がったことに対してどこまで石油を節約できるかということと、代替エネルギーのコストをどこまで下げられるかということによって、その石油価格を安定させるということに対して影響を与え得る。そういう意味で、この中期的エネルギーゲームにおいては、石油産油国、

生産国にとっては、経済的な資源埋蔵量あるいは実質割引率という2つの要素、石油消費国にとっては、代替エネルギーの開発と省エネルギー、省石油という2つの要素、これらが力学的にバランスしているところに石油価格が決まってくることになります。現在、石油価格は比較的安定していると考えれば、代替エネルギー開発と省エネルギー努力によって、この点でバランスさせるだけの条件を、これからも維持していけるかどうかという意味で、エネルギーセキュリティが問われている。そのように考えてみたわけでありませう。

そこで、経済的なセキュリティについても少し定量的に議論することを試みたいと思ひませう。(表3)石油価格の低減化、安定化というべきかも知れませうが、そういう意味での経済的なセキュリティ効果がどのように表現できるだろうか、ということなのですが、ひとつ考えられますことは需要と供給が平常な状態である時に、その需要曲線を左にシフトさせておくことによって、需給均衡点がずれて、そのことが結局、市場メカニズムによって石油価格を低下させる方向に動くことで、

表3 経済的セキュリティ効果
(石油価格の低減化)

石油代替エネルギーの導入あるいは省石油努力によって石油の輸入量を抑えておくことは、次の2点で石油価格の安定化に寄与し得る。

- (1)市場メカニズム効果(平常時)、需要曲線を左にシフトさせておくことにより、需給均衡点がシフトし、石油価格は低下する。
- (2)価格急騰抑制効果(非常時)、需給均衡点を下に抑えておけば、厳しい供給制約がかけられるような不測の事態になったとしても、そのときの価格上昇率を抑えることができる。すなわち、そのような抑制力が作用し得る状況を維持することによって不測の事態の発生する可能性を抑えておくことができる。

ここでは、それを平常時における市場メカニズム効果と呼んでおきます。

2番目は、非常時における価格の急騰抑制効果です。需給均衡点を下に抑えておけば、厳しい供給制約がかけられるような不測の事態になったとしても、その時の価格上昇率を抑えることができる。すなわちそのような抑制力が作用し得る状況を維持することによって、不測の事態の発生する可能性を抑えておくことができるのではないかということになります。

それを需要と供給の関係でご説明しますと、今、普通の右上がりの供給曲線と右下が

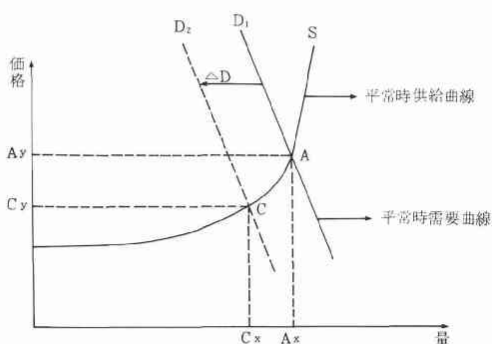


図5 エネルギーセキュリティ効果
(市場メカニズム効果：ES1)

需要曲線を D_1 から D_2 にシフトさせることによって均衡点 A は C にシフトする。

$$ES1 = (A_x \cdot A_y - C_x \cdot C_y) / \Delta D - A_y$$

りの需要曲線が交差するところで普通の意味での価格が決まる、といたします。(図5)

ある代替エネルギーを使いまして、この石油の需要曲線を ΔD だけ左にシフトできれば、価格は A_y ではなくて C_y になり、そういう意味での市場メカニズム効果 $ES1$ が期待できることになります。

もう一つの効果というのは、この供給曲線が非常時において破線のような供給曲線にもしなるとすれば、その時は、 A が B になりますので、なにもしなければ、価格が B_y に上昇するわけですが、 A を C にしておけば、その価格上昇は C から D の程度にとどまることになり、 A から B への急騰は抑えられる。そういう効果があることになります。(図6)

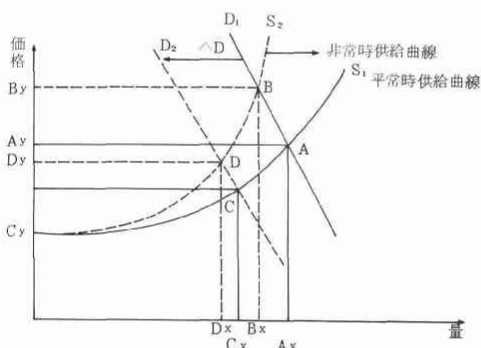


図6 エネルギーセキュリティ効果
(価格急騰抑制効果：ES2)

均衡点を A から C にシフトしておけば、非常時に供給曲線が S_1 から S_2 に変わっても価格上昇は B ではなく D に抑えることができる。

$$ES2 = (B_x \cdot B_y - D_x \cdot D_y) / \Delta D - (A_x \cdot A_y - C_x \cdot C_y) / \Delta D$$

表4は85年の例なのですが、原油直接生産コスト別産油量をみてみますと、2ドル以下から24ドルまでのところで、当時5600万B/Dの能力があったようですが、実際には生産量は4500万B/Dであった。

その差は、実に、2ドル未満と2ドルから4ドルのところで生産が調整されているわけ

でありまして、中東が明らかに生産調整を行っていたことがうかがえます。(図7)これを

非常時と呼ぶのは適切ではないと思いますが、平常時の生産曲線からずれた供給曲線で

表4 1985年の原油直接生産コストとコスト別産油量

生産コスト* (\$/BBL)	能力 (百万B/D)	生産量 (百万B/D)	生産地域
\$2 未満	15	8	中東
\$2~\$4	15	12	中東, アフリカ, インドネシア, メキシコ, 北海, 南アメリカ
\$4~\$6	10	10	北海, アメリカ, アフリカ, 南アメリカ
\$6~\$8	6	6	北海, アメリカ, カナダ, 南アメリカ, アジア
\$8~\$10	4	4	アメリカ, カナダ, アジア, ヨーロッパ
\$10~\$12	2	2	アメリカ, カナダ, ヨーロッパ
\$12~\$14	2	2	アメリカ, カナダ, ヨーロッパ
\$14~\$24	2	1	アメリカ, カナダ, ヨーロッパ
	56	45	

*生産コストは油田の減衰、償却費、金利および利益を除いた直接生産コストである。
出所：Texas Eastern Corp.

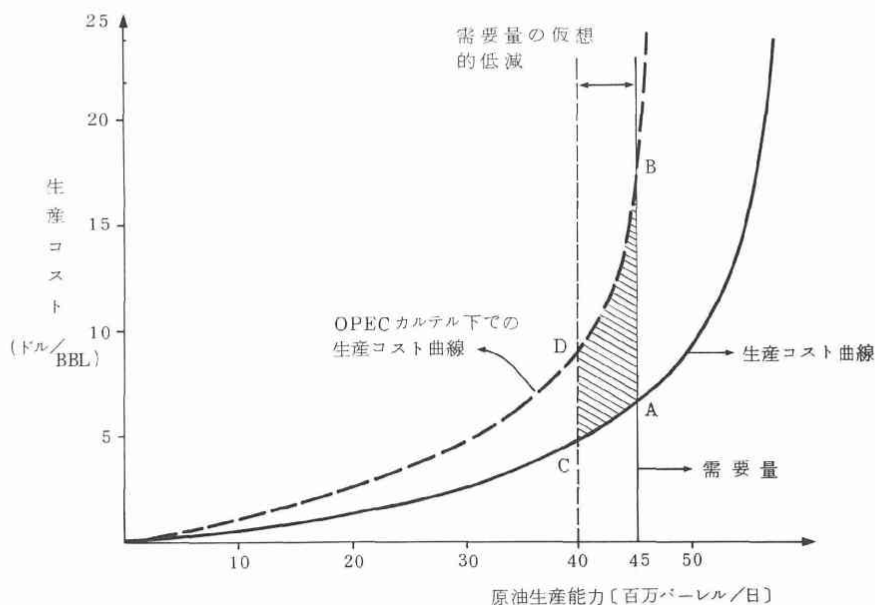


図7 原油生産コスト曲線

$$E S_1 = \frac{7 \times 45 - 5 \times 40}{45 - 40} - 7 = 16 \text{ (ドル/バレル)}$$

$$E S_2 = \frac{19 \times 45 - 9 \times 40}{45 - 40} - 23 = 76 \text{ (ドル/バレル)}$$

あったことは事実のようです。仮に、当時、4500万B/Dを4000万B/Dに抑えていたといたしますと、ちょうどこの斜線部に相当する部分がエネルギーセキュリティ効果ということになります。計算いたしますと、市場メカニズム効果というのは、バーレル当たり16ドル。一方、このように非常にマージナルなところで需要と供給の交差点が決まっている場合には、価格抑制効果というのは、バーレル当たり76ドルもするということになるわけでございます。

実際それではわが国のようなエネルギーを輸入に頼っている場合に、どれだけ輸入を節減することがこういう意味でのセキュリティ効果として妥当なのかということを考えてみたいと思います。(図8)まず、輸入節減量が増えるほどセキュリティ効果は下がることになりまして、セキュリティ効果上はむしろこの節減量は少ないほどいいということになるわけでございます。

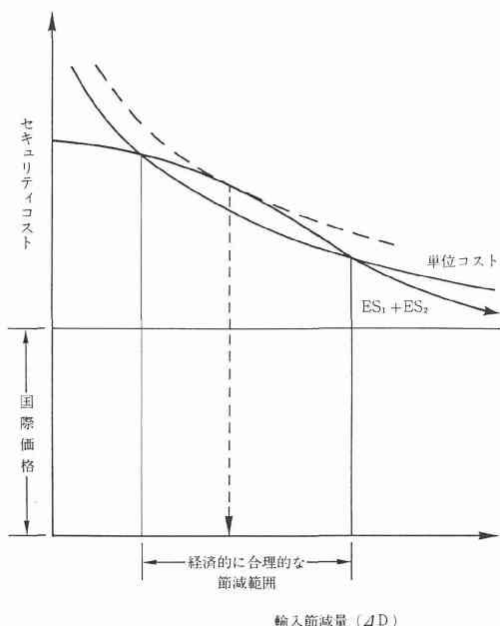


図8 輸入節減量のもつセキュリティ効果

これに対して、一般に、代替エネルギーを導入する場合の単位コストは導入規模が大きい程低くなる傾向があります。つまり、セキュリティ効果と代替エネルギーコストのバランスするところにちょうどエネルギーセキュリティ上の輸入削減量を決めておけばいいということになるわけでございます。

次に、原子力の持つ二つの点でのセキュリティ効果についてふれてみたいと思います。

表5 原子力のもつセキュリティ効果

石油価格を安定化させる上で、原子力是有効かどうか？ それには、次の2つのレベルがありうる。
(1)石油火力にかわって原子力を利用することによって上記の市場メカニズム効果と価格急騰抑制効果が期待できるかどうか。
(2)石油代替源としての原子力自体の経済性を安定化させることによって、間接的に石油価格を安定させ得るかどうか？ それには、プルトニウム利用によるウラン価格の安定化、国産ウラン濃縮による濃縮コストの安定化などがある。

(表5)ひとつ考えられることは、石油火力に代って原子力を利用することによって、上記の市場メカニズム効果と価格急騰抑制効果が本当に期待できるのかどうか、ということと、もう一つは、石油代替源としての原子力自体の経済性を安定化させることによって、間接的に石油価格を安定させ得るかどうかということがあります。それにはプルトニウム利用によるウラン価格の安定や国産ウラン濃縮による濃縮コストの安定化などがありうると思われます。この第2番目について少しご説明いたします。

まず、ウラン価格が世界的にどうことになっていったか、をみてみますと、まあまあそれほどほかの資源と変らない。実際、需給がタイトになった時に価格は確かに上がってい

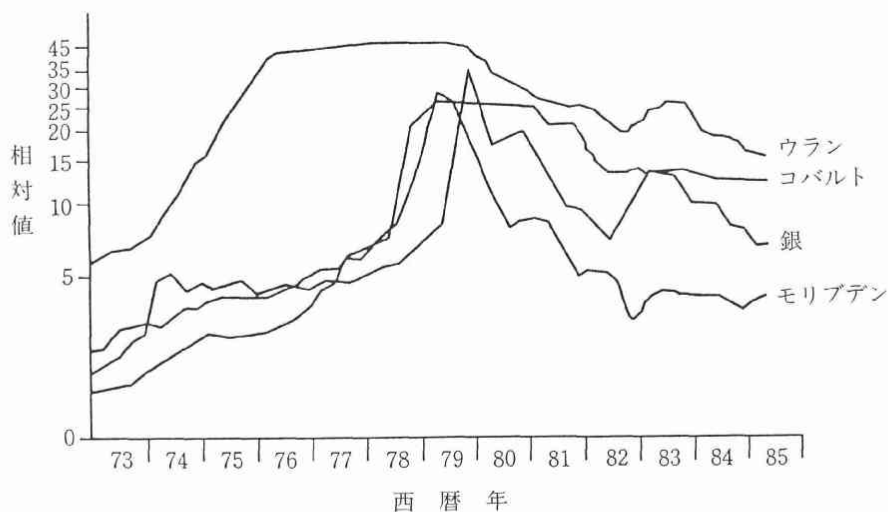


図9 70年代及び80年代におけるウランとその他金属資源の価格変動

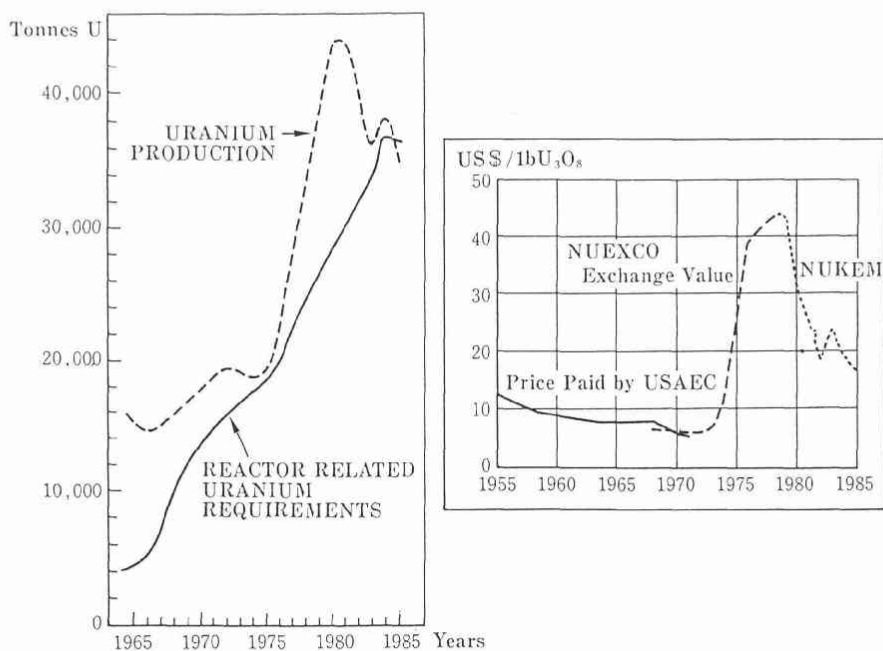


図10 ウラン需給とウラン価格の関係

ますし、緩んだ時にさがっている。(図9,10)

図11は需給関係ですが、価格弾性値も確か
にある程度ありそうです。

例えば価格弾性0.5,これはちょっと前にス
タディしたものですから、少し高めですが、

ウランの需要想定として、31.5ドルで、年間
3,800ショートポンドを仮定いたしまして、市
場メカニズム効果と価格急騰抑制効果とい
うのを試算してみますと、1985年では、両方
でポンド当たり13ドル、2000年では、約30ドル

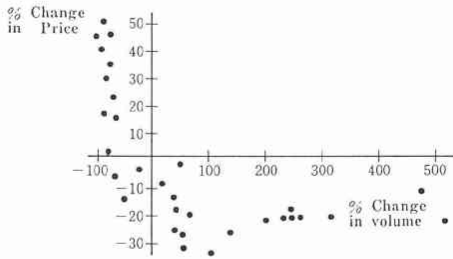


図11 URANIUM SPOT PRICES AND MARKET TRANSACTIONS : 1983—1985

表6 天然ウラン輸入節約によるセキュリティ効果

前提 ①価格弾力性	: 0.5	
②ウラン需要想定		
	<u>1985年</u>	<u>2000年</u>
価格 (\$/lbU ₃ O ₈)	31.5	40.5
需要 (10 ³ s.t.U ₃ O ₈ /年)	3.8	5.4
③輸入節減量	<u>1985年</u>	<u>2000年</u>
国内需要の		
1/3 (10 ³ s.t.U ₃ O ₈ /年)	0.22	0.44
④非常時供給制約	<u>1985年</u>	<u>2000年</u>
想定 (10 ³ s.t.U ₃ O ₈ /年)	0.35	0.45
結果 (\$/lbU ₃ O ₈)		
	<u>1985年</u>	<u>2000年</u>
市場メカニズム効果 (ES ₁)	10.1	27.5
価格急騰抑制効果 (ES ₂)	30.3	22.2
非常時供給制約の可能性 (p)	9%	9%
セキュリティ効果 (ES ₁ + p・ES ₂)	12.8	29.2

ぐらいになります。(表6)

もう一つは、ウラン濃縮であります。国産濃縮をすることによって、濃縮ウランの価格安定化が期待できるかどうか。さらにそういうことが結果的に石油価格の安定化にもつながるかどうか、ということであります。世界における濃縮ウランの供給シェアがどのように変わってきたかをみてみますと、分散化が進んでおり好ましい方向に向かっている。この傾向を維持していくために我が国がなにか積極的にやる手段があるかどうか。(表7)

表7 Shares in the western world SWU market%

	1974	1979	1985
USDOE	100	74	47
Techsnabexport		19	9
EURODIF		7	22
URENCO			5
Secondary market			8
Uncommitted			9
Total	100	100	100

Source : USDOE

世界市場占有率一%

	DOE	ユーロ ディフ	ウレン コ	テクス ナブ	未契約	S E C 市場
1985	47%	22%	5%	9%	9%	8%
1990	41%	27%	11%	8%	12%	—
1995	41%	28%	7%	4%	19%	—

たとえば、2万トンであれば、kgSWU当たり80ドルぐらいですむはずのものが、4万トンになると、どうしても90ドルとか100ドルの濃縮ウランを使わざるを得ないと仮定しまして試算してみますと、市場メカニズム効果としては30ドル強になります。

価格抑制効果というのは、存外少ないようです。全体としてセキュリティ効果が、ポンド当たり30ドルから34ドルぐらいということになります。(表8)

表8 濃縮ウラン輸入節減によるセキュリティ効果

前提 ①供給曲線			
\$ 80/kgSWU → \$ 100/kgSWU			
⇓			
2×10 ⁴ tSWU/年 → 4×10 ⁴ tSWU/年			
(②非常時供給制約 5000tSWU/年)			
結果 (\$/kgSWU)			
	節減量 (tSWU/年)		
	1500	3000	6000
市場メカニズム効果 (ES ₁)	33.5	32.0	29.0
価格急騰抑制効果 (ES ₂)	5.0	5.0	5.0
非常時供給制約の可能性 (p)	10%	10%	10%
セキュリティ効果 (ES ₁ +p·ES ₂)	34.0	32.5	29.5

表 9 再処理リサイクル方式の経済性

ミル/kWh	非リサイクル方式	再処理リサイクル方式	
		ES考慮せず	ES考慮 ¹⁾
アップストリーム	6.81	6.81	6.81
ダウストリーム	0.97	2.57	2.57
ウランクレジット	—	-0.54 ¹⁾	-1.80 ²⁾
プルトニウムクレジット	—	-0.28 ³⁾	-0.47 ⁴⁾
計	7.78	8.56	7.83

1) \$32/lbU₃O₈

2) \$32/lbU₃O₈のセキュリティ効果を仮定

3) このうち、60%は天然ウラン節約分、40%は濃縮ウラン節約分

4) \$34/kgSWUのセキュリティ効果を仮定

この効果を再処理リサイクル方式の経済性という観点からみてみますと、表 9 は、2～3 年前に OECD が発表しましたデータをベースにしたものですが、エネルギー・セキュリティ効果を考慮した場合、ウランのクレジットとプルトニウムのクレジットが、その分だけ高くなることになり、ウランは、0.54ミル/KWH が 2 倍になる。プルトニウム・クレジットも倍近くなります。OECD 報告書では、再処理リサイクルのほうが非リサイクルよりは若干高めという結果になっているわけですが、こういうセキュリティ効果を考慮しますと、その差が実質的にほとんどなくなってしまふということになります。

プルトニウムの供給コストは純粋な経済的価値で言えば、キログラム当たり 600 ドルぐらいのところちょうど競合しているわけですが、それがこの場合で言うと、750 ドルぐらいになったところで競合し得ることになります。(図 12) こういう試算がそのまま実際にあてはまるとはとても思えませんが、しかしプルトニウムを利用していくことが、エネルギー・セキュリティの点でどの程度の寄与を示し得るか、そういうことを評価する上では、な

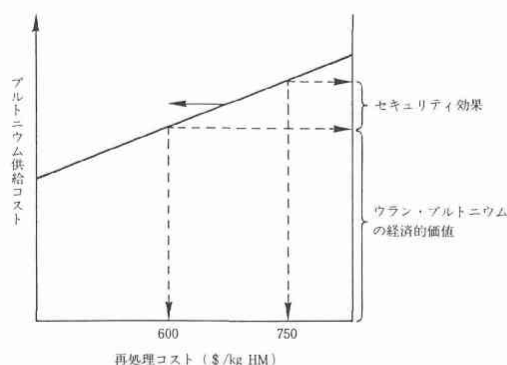


図 12 再処理コスト競合条件

んらかの役に立つのではないかと考えております。(すずき あつゆき)

質疑応答

司会(越川) 失礼ですけれども、私のほうからお願いして差支えなければ、日本石油㈱の鹿島常務がお見えになっておられますので、石油サイドからのコメントがございましたら、いかがでしょうか。

鹿島 いまはとくにありません。

司会(越川) 原子力関係の方でなにかコメントがございましたら。

先程来からのお話にもございますように、原子力の PA 問題は非常に重要になってきておるわけですが、セキュリティからの観点のこういう分析が、非常に重要な意味を持つのかなという感じで承っておったわけですが、今後こういった分析がどういう方向に発展していくものでしょうか。

鈴木 大変難しい、しかし重要な質問でございます。エネルギー・セキュリティなるものを出来るだけ数量的に考えてみることも重要ではありますが、やはり、もっと大切なことは、ご指摘の意味ではないでしょうか。石油価格

が現在は比較的安定しております。私は石油の素人ですけれども、少なくとも私どもが勉強を始めた70年代の初期の頃に比べると、明らかに安定しております。そのことは、むしろ好ましいことと考えております。こういう状況を長期的かつ構造的により安定した

形で維持して行くこと、そのためにわが国が国際的に果していくべき役割について、これからいろんなレベルで国民的な合意を形成していくことが、エネルギーセキュリティ上は非常に重要なのではないかと感じております。

F B R 開 発 の 課 題

東京大学工学部

教 授 近 藤 駿 介

1. F B Rの特徴

F B R（高速増殖炉）は、第一にウランの利用効率が極めて高いこと、第二に放射性廃棄物の発生量が小さいこと、第三に冷却材にナトリウムを使いますので、一般に熱効率が高いこと、そして第四にそれに伴い、いろいろ新しい高度技術の開発が行われることなどの特徴があります。

このF B Rをなぜ開発するか、あるいはその開発の効果という点を要約しますと、次のようになるかと思います。1つは我々が原子力を使っていく限り、ウラン資源の効率的利用ということは極めて大事であります。ご存じかと思いますが、現在知られていますがウラン資源を軽水炉で使っていく場合にはさほど寿命は長くないわけですが、増殖炉によれば、原子力は事実上資源制約がないエネルギー源と考えられるということです。今度の原子力長期計画では、原子力を基軸エネルギーとしたわけですが、そうした位置づけの観点からはこのF B R開発は極めて重要ということになります。

第二には、エネルギーセキュリティの向上に寄与するということです。原子力自体セキュリティという観点からは他のエネルギー源

に比べて優れた特性を持っているわけですが、F B Rの実用化によりそうした特性が一段と向上するわけです。

第三には、地球の生態系の健全性を維持し、人類の将来に有益な資源の節約に貢献することです。いわゆる資源制約の少ないエネルギー供給系を世界に提供していくことは、大事なことです。特に長期的にみますと、地球の生態系からみて望ましいエネルギー源を実用化していくことが重要なわけですが、現在我々の手で実用化している、あるいはすぐに実用化できそうなもので長期的観点から望ましいエネルギー供給源というのは、ごく限られている。そのなかの1つが高速増殖炉であるということで、この開発は人類的な観点から重要な意義を持っているということが出来ます。

第四には、先ほどF B Rの特徴として高い技術レベルが要求されるということを申し上げたわけですが、こうした開発行為を通じて、内外に技術シーズあるいは技術ニーズを提供していくことができるということがいえますし、第五にはそうした人類的な意義をもつエネルギー源開発でありますので、国際協力が成立する可能性が高いわけで、これを通じての国際社会への貢献も見逃せないところで

す。

2. FBR開発の歴史

FBR開発の歴史を要約しますと開発の端緒は、アメリカで戦後間もなく運転されたクレメンタインとかEBR-1という原子炉です。これらがFBR開発の口火を切ったといえます。クレメンタインというのは、エンリコ・フェルミが作った原子炉ですが、彼はイタリアから追われてアメリカへ移り原爆の開発に参加したわけですが、彼の夢は将来の人類の平和にあったようでありまして、高速増殖炉こそ戦争の一つの原因であったエネルギー資源の希少性の問題に究極的解決を与えると考え、これの開発にいそしんだのです。この「クレメンタイン」という名前にはそういう彼の思いがこもっているように思います。

その後、主要先進国はこぞってこのFBRの開発を進めてきたわけですが、この詳細はとても短時間ではお話できません。要約的に話をいたしますと、どの国でもまず第一にいわゆる探索研究、具体的にはクレメンタインや、EBR-1という、いわゆる実験炉と呼ばれるカテゴリーの原子炉を建設して、その原理と必要な技術の確認を行う、ということが行われた。

第二には、それに基づきまして、それを大型化していくために必要な技術開発がいろいろ行われた。具体的には臨界実験装置をつくってみたり、あるいはナトリウム技術の開発ということで、大型のナトリウム技術開発施設を建設した。

第三には、それらの成果を踏まえて、あるいはそうした技術開発の成果を集約するとい

う観点から原型炉の建設が行われた。これがイギリスのPFRであり、フランスのフェニックスであるわけです。

その次がいわば実用化段階、あるいは実用化開発段階というべきかも知れませんが、原型炉あるいは試験炉を用いた実用的な燃料の開発あるいは材料の開発、そして実用規模の炉として実証炉を建設して、ユーザーがこれなら使ってみようという条件をつくりだすという段階になるわけです。

そこで現在どこまで達成されているかと言いますと、原子炉については混合酸化物燃料を用いたナトリウム冷却のタンク型あるいはループ型の原子炉が開発されて、100万あるいは60万kWクラスの原子炉がそれぞれ動いている。30万クラスですと、3基ぐらい動いているという状況であります。つまり、実用規模の高速炉はすでに動いているのです。しかしこれが電力界からみて実用的かという、経済性の点でなお洗練される必要があるという状況です。

次にFBRでは再処理が極めて重要なわけですが、これについては現在ようやく試験施設が存在するという段階でして、炉開発とはフェイズがずれています。つまりこの次の段階として原型プラントを建設することが検討されている状況にあります。

第3に、プラントの安全性とか信頼性という観点ですが、これについては目標を達成できていると認識しています。

3. FBR開発の課題と各国の対応

そこで本題であるFBR開発の課題ですが、これも極めて要約した形で言えば、動力

炉研究開発の環境条件が変わった状況で今後をどう設計するかということです。その第一は、エネルギー需給構造の変化、すなわち1970年代から80年代にかけてエネルギー価格の高騰に伴って、いわゆるエネルギー需給の構造が変わった。このことをきっかけにして先端技術の利用と情報化の進展により、エネルギー需要があまり増大しなくても経済成長のできる社会へ変わってきたということです。その結果としてと言うべきか、原子力発電所の建設需要が一巡して一服感がでてきている。この結果、高速炉の手前の軽水炉産業自体にマーケットの確保問題が生じてきている。これがなにより雄弁にこの問題の大きさを物語っているといえます。

第二には、エネルギー問題において供給不安のウェイトが下がって、セキュリティよりは経済性とか柔軟性ということが優先されるようになってきているということがありますし、第三には、アメリカの経済社会、電力システムの特長事情の反映という面も強いのですが、大型化の経済合理性に対する疑問が生じてきていることも注目してよいと思います。

そこで、その結果としての現象なのですが、第四に、先ほど申し上げた長期的に望ましいエネルギー供給技術を実現するというターゲットについて、現在から未来にかけてこれを実現していく経路が見えにくくなっているという問題が生じている。もちろん、これまで見えていた一本道も実は幻想に近いものであったわけですが、それすら見えなくなると本来潜んでいた越えなければならない峠が大きく目の前に立ちはだかつて見える、実際にはその高さは前と変わっていないのですが、こ

れは、開発関係者のモラルの点でかなり重要な課題と思っている次第です。

そこで、こういう状況において、各国がどういうアプローチを取っているかということです。アメリカは第1段階の開発は終わったとして、現在は、将来ニーズが生じた時にタイムリーにFBRをマーケットに供給できる準備をしておくことを目標にして、技術力を最小限に維持することを念頭に置きつつ、いろいろ試行錯誤を行っているといえると思います。

アメリカ社会の現状を前提にすれば、標準化、量産効果、工場組立て率の増大ということが重要になる。オペレータの質を考えてパッシブセーフティに重点をおいたプラントや中小型のモジュラー炉の可能性を追究しているのはその所似です。燃料サイクルについても、核物質保護という観点からは再処理工場と発電プラントが同一サイトにあるシステムが望ましいとして、いわゆるインテグラル・システムを追究している。問題は、いつの時点で新しい原子力発電所の需要が生じるのか、見極めがついていないために、開発計画のシナリオが定まっていないことです。それはそれで、フリーハンドをもって開発に臨めるという利点なのですが、議論や設計が上すべりする。

ヨーロッパは、いろいろな国があります。ソ連はチェルノブイル事故後の方針は必ずしも定かではないわけですが、基本的にはこれからもエネルギー需要は着実に伸びていくという前提でいろいろ考えている節がある。具体的には60万kWクラスのプラントの完成の後に、引き続きその経済性を向上させた80万kWクラスのプラントを量産していく計画が検討さ

れている。

一方、西ヨーロッパの各国はかつて言われていたFBRの量産需要はもはや今世紀中にはないという判断で、21世紀における現在の軽水炉のリプレース需要に備えて、合理化による物量削減と燃料の高燃焼度化による燃料サイクルコストの低減の二つのアプローチによって軽水炉に近い経済性を有するプラントを考案し実証するという目標の下に共同歩調をとるべく検討している状況です。しかし、なかなか各国の利害が一致しないわけで、舟に例えれば、微速前進ということでしょうか、止まると乱れますので、乱れない程度に進むという苦しい状況にあるかと思います。

4. 我が国の場合

一方、我が国は、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」と建設してきて、「もんじゅ」の初臨界を1992年にひかえ、その先について検討している段階ですが、考え方の大枠は、実用化の時期を2030年ぐらいと考えると、その間に2～3台の実証炉を建設していくとされています。

こうした我が国の実証炉開発が当面する課題の第一は、原型炉段階の技術体系の確立と申しますか集約です。原型炉の開発の意義はまさにここにあるのですから。もちろん、もんじゅの建設と運転ということが第1でありましょうが、これをきちんと反省して原理化し、使えるようにしておくことが大切です。体系化して図書館のようにしてしまうことが好きな人がいますが、大切なのはそこから応用性の高いルールに並べておくことです。それから燃料サイクル関連施設の建設運転というこ

とも同様に大切でしょう。

第二は、実用性のあるFBRシステムの追求です。これについてはまず目標と戦略についての合意が必要で、ついで目標達成に必要な仕事と役割分担の確定、第三にその第1段階としての実証炉建設計画のマイルストーンの達成ということになると思います。

ここで世間にやや誤解があるかと思いますが、これは、いわゆる2030年頃に実用化という目標です。これはあくまでも現在の意思決定のための一つのシナリオ、思考実験のパラメータにすぎないのであって、今なにより大事なものは、そういうシナリオを前提に、実証炉の姿について検討を進め、コンセンサスを得ていくことです。この観点で重要なのは、実証炉の戦略的意義は何かということですが、私は、二つある、一つは実用規模の原子炉の技術能力を持つ契機とすること、二番目にはこれより民間が実用化の責任を担う基盤が形成されることであると考えています。いわゆるどんな原子炉を作るかの問題もすべからずこの点から発して検討されるべきだと思います。

それから、実証炉の技術的目標ですが、当然これは民間が開発意欲を継続できるような技術でなければならないと思います。それをやや具体的に言えば、第一が安全性です。なによりも異常発生防止、事故拡大の防止に力を入れ、同時に事故管理能力が高いものとするのが大切です。やや最近の言葉を使って、事故管理能力と書きましたが、私は日本の原子力安全の姿としては、事故異常の防止ということに力を置くべきだと思うのです。そして、そのフェイルセーフとして一生使わない装置を置くということではなく、アクシデントマネジメントの能力を用意すると

いう観点で安全設計を整理したほうがいい。具体的にはいわゆる固有の安全特性を最大限活用して、かろうじてでもよいからHCD Aのシナリオを排除していくことがとくに強調される必要があると思っています。

第二はいうまでもなく経済性でして、この点から高い燃焼度、低燃料サイクルコストの実現が追求されるべきです。その際加工精度の悪い燃料でもちゃんと使えるようなシステムにするという視点も大事じゃないか、そういうロバストなプラントという観点も大切でしょう。それから、軽水炉との共存性の高いFBRということ。まさに軽水炉技術に習熟された電力会社がこれから使っていくわけですから、軽水炉との共存性ということについてかなり意を払ってもいいのではないかという気がいたします。とくに燃料サイクルに関しましては、あまりそういう観点では従来議論しなかったように思いますけれども、私は原子力トータルの経済性という観点から、この点はもっと議論されてよいと思っている次第です。

その他国際的に共用性と相互性のある技術というセンスも必要でしょう。全体として時間的余裕がある状況ですから、アプローチは実証的でも設計は革新的であるべきというように思っております。

5. 留意すべき事項

このような実証炉を開発していく場合に、第一に大切なのは、全体のマイルストーンとか、目標、評価基準、そうしたそれぞれの項目のデシジョンメーカーの明確化です。ともすれば、官民あげての目標とか関係者の同意

という言葉が使われますが、それぞれが大きな投資をする以上、今後は役割分担を決めて、責任を明確にすることが必要だと思います。もちろんそのシナリオや技術については、全体に示されて理解を求めるべきものであることはいうまでもないわけですが。

もう一つ、頭から離れないのがFBR産業組織形成の考え方の明確化ということであります。実証炉という段階で産業論もないのではと思われるかもしれませんが、私は、これが開発コストに与える影響は極めて大きいと思います。例えば航空機開発ですと、大体最初から受注機数を想定して産業が形成される。ある設計図を提示して、これでお客様がどのくらいあるか、採算がとれるだけの客がなければやめるとというのがこの産業の姿であります。一方、原子力の軽水炉の場合は、GEやウェスティングハウスがどういうわけか一度に大量受注に成功して実用化できた。しかし、それでもGEは予測を失敗して苦しんだ、したがってもう二度とあの失敗はしたくないとの副社長のウォルフの声もあります。そういうことと対比してFBRの実用化と産業の関係をどう考えるかということが問題なわけですが、長計の想定したような10年1基というような建設ペースでは、これまでの意味では産業化などするはずがない。本当に10年1基ということですと、それは、先ほどの講師の鈴木教授が以前から主張されているところではありますが、なにか保険としての技術という位置付けになるわけです。そうすると、それは保険を必要とする人が自ら投資してFBRを手元に置いておくということで、電力会社が専らその責任を負い、メーカーは常に機器を納入するということになるのが合理的

であると思います。

一方で、実証炉をもって産業化の嚆矢としたいと考えるならば、例えば競争入札という前提で、合併もよし、単独でもよし、あるいは海外のメーカーと組むもよしという、さらにはうまく軽水炉並でできたら、後に5基は発注するというとか、あるいは軽水炉とのセットでもって発注してコスト低減努力を求めるとか、いずれにしても産業化の契機を発生せしめる努力が必要ではないかと思うわけです。

6. 結 論

以上非常に簡単にFBR開発が抱えている問題について述べたわけですが、要約すれば、第1にはFBR開発というのは、長期的にみると、望ましきエネルギーの開発ということでもなたも賛成していただけたと思うわけですが、にもかかわらずいろんな困難に遭遇している。その1つは、この開発が実用化という技術開発における最も困難かつ費用のかかる段階にさしかかっているということ、第2には幸か不幸か、エネルギー技術開発を取り巻く環境が大きく変ってきているということです。従って、その中で日本の原子力開発利用におけるFBR開発の持つ意義とか、それから技術の中にあるこれからもさらに発展していけるポテンシャル、発展という意味は経済性が向上するという意味に考えますが、どこまであるかとか、あるいはそうした開発にこれまで従事してきた開発能力というものを今後いかに有効に使っていくか、というようなことに配慮しつつ、実証炉計画を推進していくことが必要ではないか、ということを申し上げたつもりです。

あえて一言で要約すれば、これまでに行われてきた国民的な投資をもとにして、創業者利益が発生する投資環境を生ぜしめる努力が問われているので、今後の努力を期待したいと思うわけです。(こんどう しゅんすけ)

質疑応答

司会（越川） どうもありがとうございます。只今は本当に微妙かつ重大なる問題提起をしていただいたように感じますが、その問題に限らず、会場でご発言がございましたら、ご遠慮なく。日本原子力発電㈱の板倉さん、実証炉の戦略的意義における民間の役割は極めて高いというお話だったわけですが、その責任者として、なにか。

板倉 電力から業務を委託されて、当社は一生懸命にやっているところです。きょうは含蓄の深いお話で、まずこれをよく理解したいと思いますが、一番最後におっしゃいました創業者利益の追及ということをもう少しご説明いただけますか。

近藤 FBRを石油危機保険論で考えたり、エネルギーセキュリティの確保は公共的なものという立場に立ちますと、FBR開発は、本来、民間の出でるところではないと思うのです。けれども、FBR開発のこの段階において、民間が積極的役割を果たすということが決められた、これは、多分自ら進んでそう申し出られたというふうに理解をしていますが、その場合にはなんらかの利益があるとお考えになったはずです。そのポイントは、やはりいくつかあるわけです。それは、例えば極端な例から言いますと、FBRの世界的供給者になって、それが日本の将来のひとつの産業というか、基盤になるかということも当然スペクトラムの中にあるのだと思います。

しかし、そこまでいかなくても民間にとって参入障壁を排して、努力すれば報われる方式を考えたらと言っているわけで、具体的にこれだというものがあると言っているわけでは

ありません。要するに、苦勞をすればそれが報われるようにすることが目下最も大切なことであると思うのです。

高温超電導への期待

通商産業省工業技術院電子技術総合研究所

エネルギーシステム部長 富山 朔太郎

まず表題でございますが、「期待」とあります。私は、現に超電導に関する開発担当者として、開発がうまくいかなければ、床に額をすりつけて謝る立場の人間が「期待」というのは、はなはだおこがましい。ということで、これはどうしようかなと思いました。また超電導の話は誠に盛んで、この会場においでの方も、本を読まれたり、雑誌を読まれたりで、それに関する知識の3つや4つ仕入れておられない方はないと思います。その点で誠に話にくいわけです。

先ほど牧野先生のお話ございました。非常に期待を持てるような話は全部牧野先生にさせていただくことにして、私はどちらかといえば、心配性で、あれが難しかろう、これが難しかろう、という方が得手ですから、そういう難しい話だけをしようと思っておりまして、あとがあるから、といって逃げられてしまいました。したがって、多少期待めいた話もしなければならぬということで誠に難しいと思っております。

きょうの話のポイントは、一つでございます。先ほど未来技術の中の超電導という話がございました。この表現は多少誤解を招くと思います。超電導はある意味では全く現在

の技術です。ご承知のように、通産省がお金を出しまして、超電導発電機その他の電力機器関係の超電導の開発を現在行っておりますが、その中には非常に難しい、先の話もありますけれども、目標の主体はとにかく目に見えるところ、外延が効くところで技術ができるという見通しがあるものです。

またご承知のように、病院でMRI用超電導マグネットが使われておりまして、これも未来の技術ではないわけですが、確かに超電導には未来の技術という面もありまして、先ほど牧野先生が挙げられましたような応用のリストというものは、これから行われるであろう、現在はまだ形を成していない開発の成果として期待されるものですから、この2つの間のギャップというのはかなりあると思っております。

そのギャップが簡単に埋まるかと申しますと、なかなか難しいと思います。国が10年間ぐらいお金をかなり出しますが、決してそれだけで民生用から電力応用に至るまでのいろんな超電導の応用分野が一斉に花が咲かせられるとは我々は思っておりません。やはり、我々としては超電導に関するいろんな応用をこまめに拾ってこれにも使える、だからこう

いう展開も考えなきゃいけない、という形で開発をつないでいかなければならないと思っているわけであります。

そのために、きょうの演題と関係がありますがすけれども、高温超電導が与えたインパクトというのが非常に重大でございまして、なぜ重大かと申しますと、勿論、ひょっとすると、室温で使えるような超電導体が出てくるということも一つでありますけれども、もう一つは、今まで我々が超電導について持っていた常識がある意味ですっかり覆ってしまう、改めてゼロからやり直しである、という気分が大いにあるからであります。

超電導は、ご承知のように、物理屋の実験室あるいは理論の講座の中から出てきた技術ですが、大変不思議なところがあって、ある時から、難しい話は要らないよ、という技術に変わっていったのであります。現に超電導線材というのは、多量に販売されておりまして、使うほうでは、これを液体ヘリウムに浸さなきゃならないというような難しいことはあっても、それ以外では、まあ冷やせば電流が流れるものである、高い磁場に耐えるものである。あまり難しいことを考える必要はない。こういう形の技術に仕上がりました。

ところが、今回の高温超電導体の出現によって、そういう気楽な状態が粉碎されて、昔、超電導に関して、分からないで置いておいたことが全部改めて表面に出てきました。

超電導は物理屋が考えたのですけれども、物理屋は大変無責任でありまして、非常に典型的ななにかが分かったといたしますと、その時点で、あっ、これは全部分かったと、これから改めて仕事をやろうなどというやつ

は、これはもぐりであると平然と申すのです。そのために実は3割なりあるいは5割なり、分からない話が残っていても、興味はどんどん先へ行ってしまふ。その結果、その残っていたものが、今回の高温超電導に関して、全部表に出てまいりまして、改めてお前たちはなにをやっていたのか、分かった、分かった、と称していながら、なにも分かっていないではないかという咎めを我々は受けているわけです。

表1 超電導応用のための問題点

- | |
|----------------------|
| ○大磁場、空間利用の限界→構造材が高価 |
| ○高磁場のための構造材→加工性と高価格 |
| ○冷却の手間と費用→熟練者が電算機の必要 |
| ○高圧ガス取締法の存在→無人運転が不可能 |
| ○断熱構造→真空断熱の必要、溶接の高度化 |
| ○常温部からの導入部品の信頼性 |
| ○断熱構造の耐応力特性 |
| ○用途の特殊化と部品標準化の未発達 |

表1にはカラい話をいくつか並べました。超電導はいろんな使い道がありますけれども、一番分かり易い使い道は、ご承知のように、大きな磁場を大きな空間で作るというところにあります。ところが、従来の技術で大きな空間で作るということは、大変に大きな電力を要しましたから、これが非常に強い制約として意識されていて、その辺の需要は非常に未開拓であったと言ってもいいでしょう。従って、実は超電導でこういう特性ができるのだけれども、その使い道はあるか、と聞かれますとつい、従来の機器の形式の延長で考えますから、なかなか思いつかないというのが、問題の第1なのであります。次に、例えばこのホールぐらいの空間に数テスラの磁場を作ることは、現在の技術でできるか

も知れないのですけれども、そこでなにか一番制約になっているかと申しますと、実は超電導材料の性能ではなくて、その強大な電磁力を支えるための構造材の特性でほとんどその経済性が決まる所にあるのです。そういうものを安く作るという技術がまだ確立していない。大変高くつく。特にヘリウム温度の超電導の場合には、構造材自身もヘリウム温度になりますので、常温用の高張力鋼が使えません。使える材料は物としてはあるのですけれども高い。仮にそういう物を使って大磁場で大空間を作っても、その価格では、何に使えるのか、という問題になります。表1には、その類の課題をいくつか書き並べておきました。

これは、現在技術的に不可能な話ではないのでありますが、要するにこれからの研究開発によってこういう問題を潰していけないと、先ほど牧野先生が描かれましたようなバラ色の話は、たとえその導体が液体窒素で冷やされるものであっても、なかなか実現しないよ、ということです。やはり構造材の問題とか、冷却の手間暇の話というのは、非常に大きな問題である。液体窒素で冷却しても、

表2 何が超電導の特徴的な現象か

- 超電導体からの外部磁場の排除
 - マクロな距離での電子状態の相関
 - コヒーレントな電子波動関数
(固体内の電子間相互作用の存在下で)
 - 輸送電流は波動関数の中のベクトルポテンシャルから導かれる
 - ジョセフソン効果が最も典型的現象
 - J-効果は単位量子磁束規模の大きさ
 - 量子磁束の集団運動は波動関数の表現
 - 従来この運動を散逸の過程として見た
 - 大電流J-素子集団運動を新しい側面から眺める必要がある(散逸以外の機構)

なおかつそうである、ということです。

超電導の話は皆さんご存じでいらっしゃると思いますので、少し様子が変わった話をいたします。

(表2参照) 先ほど超電導というのは、冷やせば電流が流れるもの、磁場が出せるものというふうにご理解いただいているであろうと申し上げたのですけれども、最も典型的な超電導の特性というのはなにかと言うと、難しいことを申しますと、決して超電導線材が典型ではありません。超電導というのは、マクロな量子現象で、原子的な単位に比べれば非常に空間の大きな範囲でコヒーレントな波動関数が成立しているということが、最も典型的なポイントであろうと思われます。

そういう現象を具体的に見せてくれるものは、電圧標準とか、この頃の新しい電子計算機の素子として注目されておりますジョセフソン素子で、ああいうもののほうが超電導線材よりもより明確に超電導の特性を具現している、と言ってよろしいでしょう。

一番最初に申し上げましたように、大磁場で大電流が流せるというだけで、将来の開発の全部のインセンティブが出てくるはずではないので、ほかのものを探さなければならないという必要がありますから、むしろこの特性に注目をしたいと我々は考えております。

現在、ジョセフソン・ジャンクションは、ミリとかマイクロとかのオーダーの大きさの素子で具体化されて、実用になっておりますけれども、高温超電導体でずっと大きな素子、ずっと大きな電流、電圧に適應するものを探したい。そういうものができれば、大型機器の開発の間のいいつなぎになるのではないかと、ということでもあります。

と申しますのは、大きな力に耐える高温超

電導体の開発は、我々からいたしますと、今後長い年月がかかるであろうと思うからで、つなぎの目標の実用化がないと、開発を支えていくのが大変だろうというのです。

ここで、超電導体に電流を流す話をします。先程の波動関数を使いこなして線材素子の開発をするのは大変むずかしいので、我々程度ですと、量子磁束の運動学というものを研究して、それで超電導現象を理解しようとしております。今までそういうものの研究は、勿論非常に詳しくなされておりますが、大体量子磁束が動きまわると、熱が出ますが、その熱をどうやって少なくするかとか、そういうセンスでの研究が今までなされております。それは超電導マグネットを安定に運転するために必要だから、という理由からであったのですが、むしろここでそういう視点から一歩抜け出てマクロな、例えばジョセフソン効果を利用するような素子を作るために、量子磁束をどう運動させたらいいか。勿論そのためには、現在手に入るものとは全く別種の超電導素材を考えなければならないのですが、ガイドラインになるのは、依然として量子磁束

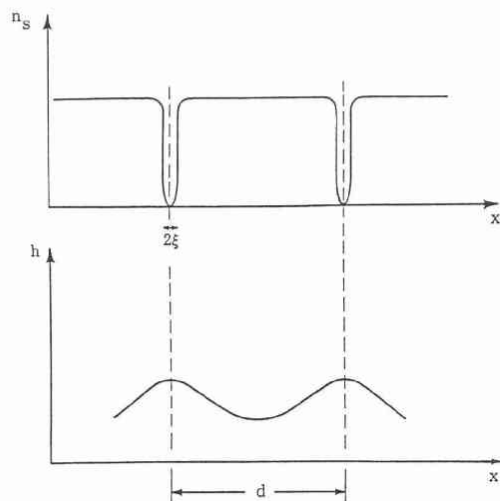


図1 超電導体の中の量子磁束

の運動学であると我々は思っております。

普通の超電導体の中では磁場、磁束というものは、図1のような形をしております。上のはこの図は、超電導波動関数の密度で、それがゼロに落ちているところを中心に磁場が入っている。量子磁束というのは、糸のように導体の中を貫いておりまして、これは糸を含む面で切った図と思っていただければ良いのであります。これに磁場をかけたり、電流を送り込んだりするとじっとしておりませんで、磁束は動きまわります。

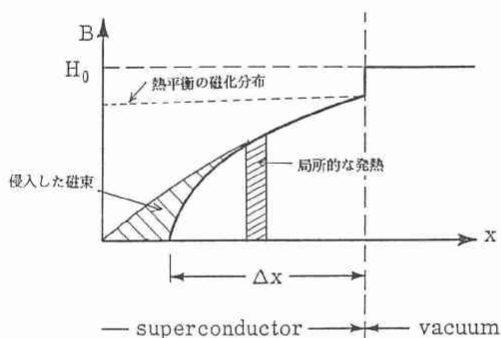


図2 実用超電導体の中の磁束の分布

実用超電導体というのは、結晶を汚せば汚すほど特性がよくなるという大変奇妙な性質がありますが、なぜそうなるかという理由を示したのが、図2であります。要するに我々が実際に使う超電導特性というのは、全く非平衡状態の賜なのであって、導体の中で磁束が平衡状態に到達すると、そこには全く電流が流れません。平衡状態に向けて流れようとする磁束を結晶の汚なさで止めておく。それによってのはじめて結晶の中を大きな電流が流れる仕組みです。この意味で、我々は、なんとかして磁束の分布の非平衡状態を、あたかも物質固有のパラメタで規定される平衡状態であるがごとくに操作する技術の確立を目的としているわけです。

表 3 不均質な媒体と超電導特性

- 高性能超電導特性は材質の不均一と関係
- 量子磁束の芯程度の不均質が有効
- 不均質が均等に分散することが必要
- 不均質＝磁束の捕捉中心
- 量子磁束は相互作用によって格子を組む
- 格子には最小の許容間隔がある
- 磁束の格子と捕捉中心の格子の整合性
- 捕捉中心の分布の相関が問題
- 高い電流密度を与えるのは三次元セル構造
- 二次元的結晶でセル構造が実現できるか

そういう意味で、先ず第一に不均質な媒質の中で超電導がどう振る舞うかが問題なのでありまして、次に高温超電導体の場合には、果して大電流が流せるようになるかどうかというのが別の問題なのですが、一番最初に申しましたように、我々の従来の常識を見直して、今まで超電導体に大電流が流せたのはなぜかということをもう一回思い返してみないといけなと考えているのですが、この理由が表 3 に書き並べてございます。

さっき、結晶の汚さに引っかかって磁束が止る、と申しましたが、それは専門の用語では、磁束の捕捉中心、ピンニングセンターと呼びますが、それに磁束が捕捉される、と簡単に申します。その空間的な分布を分析し、制御することが、高温超電導体の特性を上げるために必須の課題になるであろうと我々は予測をしております。今まで分布の分析を真面目に考えたことがなかったのは、たまたま空間的な分布がうまい具合に均一になったからで、汚さが非常に均一な金属あるいは化合物がたまたま手に入ったという偶然の結果です。与えられている物についてそういう状態が実現できるかどうかというのは全く別問題

であります。

表 4 高温超電導体の特性の間のトレードオフ

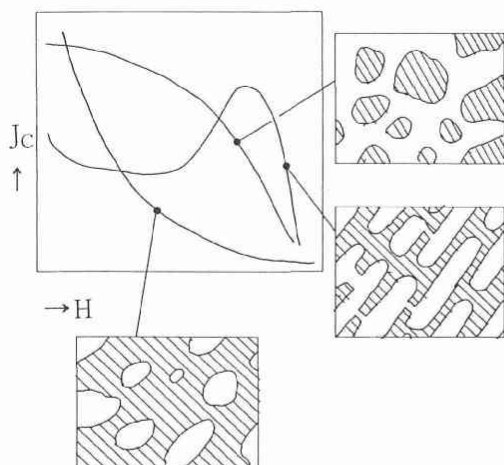
超電導発現の機構→音波を介した相互作用
(従来の定説)
結晶の歪みと超電導発現の二者択一
→A-15型結晶の例
酸化物超電導体の超電導発現機構
→今のところ不明
何故別の秩序を形成しないか
→準安定状態なら例もあるが
特性の履歴効果は本質的なものかもしれない
遷移温度の上昇→結晶の秩序形成の阻止低次元結晶→電磁的特性とのトレードオフ
→可能性としては有り得る

高温超電導体のいろいろな特性の中で非常に問題になるのは、非常に遷移温度が高い、遷移磁場もまた高い、ということは知られているのですけれども、実はそれは不都合な特性とのトレード・オフの上において成り立っているのではないかと懸念であります。表 4 は、そういうことが大いにあるかも知れないということを示したものです。

難しい話をもう一つだけいたします。昔、基本的に超電導特性を考えようとしていた頃に話題になったことです。A-15型という結晶があって、この中にはニオブ-3-錫というような実用の超電導材料も含まれているのですけれども、それが低温で歪むという話がありました。A-15型結晶は歪む場合と歪まない場合がある。歪んでしまうと、超電導特性が悪くなる、ということがございました。超電導特性についてここでひとつ比喻を申し上げますと、男と女が大量にゴチャゴチャといる。非常に無秩序であるのだけれども、これに、例えば有限数の天使が仲立ちをしようと思って、適当に動きまわると、その男と女の集団

の行動が整然となる、ということに譬えてもいいと思います。男あるいは女と天使との間の相互作用があるから秩序ができるということなのですけれども、そうすると、非常に素朴な疑問として、それを押し進めると、相互作用が強くなったら、つまり超電導体の遷移温度が高温になったら、なぜ天使が仲介して、男と女でなくて、天使と男、天使と女との組み合わせで何事かが起こらないのか、という基本的な分析が押し出されてくるのです。A-15型が歪むかどうかという話にはまさにそうしたことが関係しているのでありまして、確かに今までの超電導というのは、音波が介在して、電子と電子の間の相互作用が起こると説明されてきたのでありますけれども、これほどまでに作用の占有度が高くなると、電子というのただフラフラ浮いているわけではありません、もともとはその結晶を構成する原子から出てきているわけですから、その電子が、例えば音波のような仲介役があったとしたら、むしろ単独で歪んでしまったほうがいいのじゃないか、歪んでしまえば当然絶縁体になるであろう。なぜそんな高温まで、非常に奇妙な安定状態である超電導特性が伸びているのだという基本的な疑問が出てまいります。それ以外に高温超電導体にかかわる仮想のトレードオフをいくつか書きましたが、いい特性の裏になにか悪い特性があるのじゃないかという懸念はあっても、今までの超電導体に関する研究では実用超電導体がさっさと出てきたためにほったらかしてあったのです。そういうことを、これからやらなきゃならないと思っているわけです。

これも非常に比喩的な話で、ご専門の方が居られると怒られるかと思いますが、図3は、



- 量子磁束は単純な壁の隙間を抜ける
- 平面上の捕捉中心だけでは有効でない
- 結晶粒界は間隔が大き過ぎる

図3 捕捉中心の分布と J_c - H 曲線の三つの型

横軸が磁場で、縦軸が臨界電流密度ですが、臨界電流密度 J_c は大きければ大きいほどいいのです。横軸の磁場と縦軸の J_c との間には典型的な3つのタイプがあるように思われます。引き出してあります3つの図の中でハッチしてある部分は、さっきの捕捉中心、結晶の汚さの程度が低い所とお考えいただければいいと思います。

右下のところ、つまり、この頃はやりの迷路のような構成の場合には、非常に奇妙な J_c と H の関係で、ある磁場のところで非常に J_c が高くなって、その先でストンと落ちる、ということがございます。

捕捉中心の空間的な相関の重要性は、右上のようなタイプの超電導体でないと、使いにくいと言い代えられますが、高温超電導体のような二次元的な結晶の場合、果して右上のような捕捉中心の空間的分布を取り得るかどうかということを、我々は良く考えてみなけ

ればならない、と思います。

現在の高温超電導体のJcとHの関係はまさに左下のようなものばかりでありまして、非常に急激に落ちるわけです。勿論このJcとHの関係と捕捉中心の分布の対比は比喻なのでありまして、実は三次元的な分布を面上に投影したようなものだと考えていただかないといけないのです。本質的にJcとHが高温超電導体の場合には、左下のようなものになりやすいという可能性もあるので、我々はただ闇雲に例えばドーピングをする等して、単に捕捉中心の数を増やし、その井戸の深さを増やすだけではなくて、こういう問題についても考えてみないといけないのではないのでしょうか。

表5 二つの交流特性

①極細多芯線材によるもの

- サブ μ 径のフィラメントを撚り合わせる
- 境界が明確な高抵抗隔壁で結合電流（渦電流）を阻止する
- 現在合金系でフィラメント径は0.1 μ を切っているが近接効果による超電導電子のしみ出しが問題
- 酸化物超電導ではこの技術は未適用
- 冶金学的方法で多芯線材が形成できるか
- 機械的に撚り併せる技法は無理

②平滑表面の超電導遮蔽電流を利用するもの

- 従来の材料では0.1テスラ程度が限界
- 交流損失は極細多芯線よりも少ない
- 酸化物超電導体のHclは非常に高いかもしれない（多少の実験的裏付けがある）
- Hclが1テスラを越えれば変圧器等にも使える
- これまで報告されてきた酸化物超電導体の臨界電流値はこの遮蔽電流の値
- 多芯線材よりは製作、実用が容易

もう一つだけポイントを申し上げますと、いろいろな応用のつなぎという意味で、交流

特性というのは非常に重要です。（表5参照）とくに電力と家電的な開発をつなぐ上で非常に重要です。

現在の超電導体の交流特性というのは、年々非常な勢いで良くなっているのですが、そこには2種類の線材が存在しています。

現在最も進歩した超電導体は非常に細いフィラメントを絡み合わせて作った線材でありまして、そのフィラメントの太さは現在ミクロンを遙かに下まわって、0.1ミクロンを割ろうかという状態ですが、そこまで行きますと、普通の常温のマグネット以下の発熱の超電導の交流マグネットができています。勿論低温でありますから、冷凍機のペナルティというのがあってそれを掛けた上でのことです。から、実際は常温のマグネットの千分の一以下の発熱しかないので。ただこのタイプの線材というものは、作るのが難しい。現在そういうものができるのは、偏にニオブ-チタンという非常に加工性の優れた合金系の超電導材料があるからでありまして：これを酸化物で実現するというのはかなり先の話であると我々は思っております。特にこういうものを作りまして、なおかつ高い応力に耐えるというのはなかなか難しきろうということです。

もう一つは、テープ材料でありまして、これはかつてある程度生産されたものです。均一で平滑な表面は非常に損失が少なく、ある程度の交流超電導特性を示しますが、ただしそれは磁場がかなり低いところという条件付きでありまして、現在、実用になっている超電導材料では、この磁場というのは数百エルステッドのオーダーでしかありません。

ところが、高温超電導材料の場合には、これは全く予測なのですけれども、この磁場が

大体1テスラーぐらいになるかも知れない。いや絶対そんなことはないという人もおりますけれども、ある程度これに近い数値が出そうだという実験事実もあります。そういたしますと、これは非常に影響の大きい話でありまして、例えば今まで撚り線で作っているようなトランスをテープ巻きで一巻きで作ってしまうということも可能だろうと思いますし、そのほかいろいろな交流的な応用ができると我々は思っております。先ほどの多芯の撚り線を高温超電導体で作るというのは非常に難しい技術でありますけれども、こちらのテープ巻きのほうに関しては交流応用として非常に早めに具体化するのではないかということを期待しているわけです。(とみやま さくたろう)

質 疑 応 答

司会(越川) どうもありがとうございます。それではご質疑がありますでしょうか。もしなければ、こちらからお願いさせていた

だしますが、三菱電機(株)の森先生、いかがでございますか。

森 富山さんは克明にお話をされたので、ちょっとコメントというか、思い出だけを申し上げます。核融合が1955年に始まった時、なぜ超電導が要ると言わなかったのか。というのは、私非常に疑問でありまして、今では磁場閉じ込めでなければ、核融合反応は成立しないというお話だそうですが、私ども36~7年に始めたのですけれども、それが国鉄の浮揚式になり、電研の超電導になったと思うのですが、そういうのを全部忘れて、いま高温超電導だけが突っ走っているような感じがしますので、今の富山さんの話でもう一遍元へ戻って、こういう地道な仕事をもっと大々的にやっていただきたいという希望だけ申し述べておきたいと思います。

司会(越川) どうもありがとうございます。東京大学の関根先生、いかがですか。

関根 いま森さんがおっしゃられたご意見には全く賛成でございます。

電気事業における先端技術の動向

東京電力(株)

常務取締役 三 井 恒 夫

電気事業における先端技術の動向ということでお話をさせていただきます。電気事業が発足いたしましてから100年あまり経っております。この間にその時代、時代の先端技術を取り入れ、現在のような電力システムができあがっているでございます。100年の歴史をここで申し述べる時間はございませんので、ごく最近の例を幾つかお話しして見たいと思います。

原子力発電につきましては、昭和20年代の終りから研究を開始いたしまして、昭和41年に日本原子力発電の東海発電所が運転に入り、引き続き関西電力、東京電力で運転を開始しております。この間一時応力腐食割れという問題を起こしましたが、これを徹底的に研究し対策を確立しました。今日では設備利用率は77%に達しております。

また化石燃料の利用という点に関しまして、昭和20年代の初めは熱効率が20%程度でありましたけれども、昭和30年頃から高温高压という火力発電設備を建設しまして、熱効率は40%に向上しました。さらに昭和60年になりましてから、コンバインド・サイクル複合発電を富津火力で採用しまして、43%という熱効率を出しております。

燃料にしましても、当初石炭でございま

たけれども、環境問題から石油を使用することになり、さらに硫黄分のないクリーンな燃料ということで、LNG利用の発電所を建設しました。これからの化石燃料としましては、資源豊富な石炭を利用する、しかもクリーンな石炭利用ということでいろいろな技術の開発に努めているわけでございます。

また水力発電にしましても、原子力、火力と最適な組み合わせでお客様に電気をお送りするという観点から、大容量の揚水発電所、しかも高落差の発電所を建設しております。

一方、流通設備につきましても、当初、6万ボルト、15万ボルト送電でありましたが、27万5千ボルト、50万ボルト送電を採用し、そして東京電力では、今年度から100万ボルト設計の送電線の建設に着手することになっております。

次に、電気事業の技術開発の課題としましては、電力の安定供給に関する技術、エネルギーの総合効率化に関する技術、電気をお客様に有効に使っていただく技術、情報通信に関する技術、さらにコストダウン技術というようなものがございます。

本日はこのうち先端技術といわれるものについて申し述べたいと思います。私どもはこ

これらの先端技術を取り入れて、電気事業を有効に運営していく、お客様によりサービスをさせていただく、あるいは努めてコストダウンしていく、そういうことをして、お客様に電気を使っただきまして、その電気を通じまして、人間社会、文明に寄与する、そういうことをねらいまして、いかに先端技術を取り入れていくかということを考えているわけでございます。

先端技術といたしまして、幾つかのものがあると存じますが、3つ挙げておきました。

1番目が、エレクトロニクス、これはコンピュータ、情報通信、そういったものが含まれます。

2番目が、新素材。

3番目が、バイオテクノロジーです。

まず最初のエレクトロニクスでございますけれども、トランジスタが導入されまして、信頼性の高い制御機器を次々に開発し、使用しております。そういう制御信号の伝送路として、光ファイバケーブルを使っております。光ファイバケーブルを最初に実験いたしましたのが、昭和51年でございます。ノイズが少ない、しかも大量に情報が伝送できるという利点に着目し、逐次情報の伝送路として使ってきております。

光ファイバケーブルを電力会社が使う場合の特徴として、OPGWでございます。これはどういうものかと申しますと、送電線の架空地線の中に、光ファイバを埋め込んで使うものであります。架空地線と申しますのは、送電線を雷から守るために送電線路の上に一本若しくは2本張ってあるアース線でありませう。この架空地線により、この下の送電線を

雷から遮へいしているものであります。従って、ここには50万ボルトの電圧とか、何百アンペアという電流は流れていない電線でありまして、その中に光ファイバを内蔵して伝送路として使うものであります。

このOPGWは、昭和50年代に開発して当初は6万ボルトの線路で試験使用し、その後逐次拡大してきたのでございます。現在では架空地線の中に30芯ほどの光ファイバケーブルを埋め込んであります。東京電力では、全体の光ファイバケーブル亘長が約5千キロメートルで、OPGWは1400キロメートル、大体3分の1ぐらいでございます。

こういう光ファイバケーブルを東京電力がほかの会社と共同出資して設立しました東京通信ネットワークという通信会社に一部譲渡しましたり、あるいは共同で建設したりして通信事業に使用しているものでございます。

光ファイバは、情報伝送のほかにセンサとしても使うことができます。現在開発中もしくは試験中でありますけれども、電圧・電流等の検出、地中ケーブル等の故障区間の検出、あるいは温度の検出などに使っております。

次にコンピュータの利用でございます。IC、LSIが非常に安いものができましたので、4ビットないし8ビットぐらいのマイコンでございますと、もうそこらじゅうにあります。皆様方のご家庭にも10や20はあります。この間統計を見ましたら、1軒当たり平均6.4種類使用しているとのことでございます。これらは洗濯機や冷蔵庫にも使われております。最近はやりのパン焼き器では、夜のうちにセットしておきますと、朝はふっくらとしたパンができあがるというものでございます。ビデオなどにも、高級な制御回路が入っ

ております。取り扱いを一度覚えたとっても、次の時にはマニュアルを見直さなければ扱えないというような状態です。

私どもの会社の中でどのくらい使っているかと勘定をしてみましたら、設備の運用関係に約5千台のコンピュータを使っております。それから事務の機械化の関係でお客様の料金計算をする大型コンピュータからOA用のパソコンまで数えると約5千台でございます。こんなに多くのコンピュータを使っているでございます。

設備の運用関係のコンピュータを見ますと、単独の発電所、変電所でその構内の機器の制御に使われるものや、数カ所の発電所、変電所を集めて遠方から制御するシステムに使われております。さらに給電所用、変電所用、そして配電線用のコンピュータを相互につなぎネットワーク化して総合的に制御するシステムが形成されてきています。

伝送するものも最初は信号だけでした。次に図形が送られる、画像が送られる、というふうな形で変わってきております。こういったコンピュータの利用拡大に伴いまして、それに組み入れるソフトウェアをどのように構成し、異なった種類のコンピュータをどのようににつないでいくかということが重要になってまいります。さらにそういったコンピュータの言語として電力システムに適合したものを見つけ出す、あるいはネットワークシステムの構成をどうするかという問題を勉強しているのでございます。

2番目の新素材でございます。まずセラミックスは電力会社の中では、火力発電所、とくに石炭がらみのバーナーとか給炭機等、そういう摩耗の多いところに使われておりま

す。さらに耐熱性に富んでいる、耐腐食性に富んでいるということを利用して、より高温の部分に使用拡大する研究開発をすすめています。現在ガスタービンに使われている金属に代りセラミックスにするならば、より高いガス温度で運転でき効率を高くすることができまので、セラミックスの静翼、動翼、燃焼器等の開発を進めております。これができるすと、現在、ガス温度が1100度程度ですけれども、1300度、1500度等の可能性もあるわけでございます。しかし、一方におきましてこのセラミックス素材は大変脆いもので、開発にはまだ長い年月を要するのでございすけれども、これにより熱効率を上げ、コストの安い電気を作るということに努めているわけでございます。

また高分子材料も多方面の利用が期待されています。電力ケーブルの絶縁体として使っておりますCVケーブルの高性能化とか、高分子を使いましたポリマー電池などを検討しております。

超電導でございますけれども、電力用に使うものとしては、超電導の発電機とか地中ケーブルなどを期待して、国の研究にご協力させていただきますいております。

発電機は普通の銅線を使っており、現在でもかなり高い効率を達成しております。超電導を使いまして、どの程度効率アップになるか、つまりロスが減るかということを試算しております。大体、形状といたしまして大きさ、重量は半分ぐらいになるだろうと想定しております。効率で申しますと、0.5%から1%程度のアップになるだろうと予測しております。現在、研究組合において液体ヘリウム冷却による超電導発電機のモデル機の開発が

進められているのはご承知のとおりでございます。

また地中ケーブルに使います時も現在のロスの10分の1ぐらいにはなるだろうと試算をしております。液体窒素冷却の高温超電導になりますと、冷却設備は液体ヘリウムに比較してずっと安くなりますけれども、やはり冷却設備は使用しなくてはならないのであります。私どもの夢としましては、常温における超電導が実現されますならば、地中ケーブル等も現在のものに代って、常温の超電導ケーブルが使われ、利用分野も一段と拡大してくるのではないかと期待しています。

こういった超電導分野は実用のステップとしましては、最初はそう大型でない例えばセンサ類から使用されてくると思います。私どもとしてはぜひそういう方面から技術を向上させ、大型の分野、電力の分野等に拡大してくればよいと考えているわけでございます。

3番目のバイオテクノロジーでありますけれども、生体を直接利用する技術と、生体の機能を模倣する技術と、大きく分けて2つの分野になろうかと思えます。生体を直接利用しようとするのは私どもの分野で考えますと、いわゆるバイオマスからアルコールを生産するという代替エネルギーの分野があります。これはなかなか経済性が成り立たないようでございます。あるいは微生物により、有害物質を分解する、というのも研究の対象になろうかと思えます。

生体の模倣技術といたしましては、バイオセンサとかバイオメカニクスあるいはニューロコンピュータなどがあります。先日富士通さんのニューロロボットを拝見し、大変興味を持ったのであります。私どもの分野で申し

ますと、生体の制御機能を模倣した電力システムの制御などがあると思います。コントロールの方式として、すべての情報を中央に集めて、中央からコントロールするという方式ではなくて、各地域に制御機能を分散して、それぞれが役割をコントロールする自律分散制御といったような技術について勉強をしております。また生体の仕組みを真似て、温度差の小さいところからエネルギーを取り出すものにも関心を持って検討しております。いずれにいたしましても、これからの技術ということで、この方面についても先生方のご指導を受けながら進めているところでございます。

以上いくつかの例を申し上げましたが、いかに先端技術を取り入れて電気事業の運営に利用していくか、というところに焦点をおいているのでございます。こういった分野は、電力屋といたしましては全く新しい分野でございます。コンピュータ、ソフトウェア、通信というものも、私どもには従来はなかった技術でございます。セラミック等の材料、とくに超電導につきましても全く新しい分野でございます。バイオテクノロジーに至りましてはさらに私どもに親しみの少ない技術でございます。そんな具合に、私どもの電気事業の技術も異種分野への広がりを持ちつつある、拡大しつつあるということでございます。したがってそういった分野の先生方に教えを乞いながら進めているのでございます。

超電導に関しましては、今回新しく設置されます国際超電導産業技術研究センターの中の超電導工学研究所におきまして、国の指導、先生の指導を仰ぎながら、研究を進めてまいりたいと考えております。その超電導工学研

究所におきましては、とくに国のご指導、田中先生のご意向がございまして、海外の研究者をお呼びして一緒に研究をしていこうという国際協力体制が検討され、海外等にも呼びかけているところでございます。

私どもの研究は、このように従来関係のなかった分野への広がりとか、先生方への委託とか、国の関係、そして、さらには国際的な協調というところに進んで行くことになると思います。そういうようなことで、先端技術に関する研究開発をすすめてまいりたいと存じているわけでございます。時間でございますのでこのへんで締めくくらせていただきます。ありがとうございました。

(みつい つねお)

質疑応答

司会(大塚) どうもありがとうございます。それでは、どうぞご質問をお願いいたします。

ございませんようですが、私からお尋ねしたいことがございます。今のお話の中で、バイオの直接利用の一つとして、微生物を利用した有害物質の分解ということをお話になりましたが、私は浅学のため具体的なことが思いつかないのでございますが、ちょっとお教え願えますでしょうか。

三井 排水等には、従来から利用しているわけでございますけれども、さらにそういった微生物で、例えばPCBの分解とか、基礎検討中ではありますが排煙中の酸化物の分解などが考えられます。PCBの分解は、完全な分解というのはなかなか難しいのですけれども見通しを得ております。

司会 どうもありがとうございます。電気事業の技術開発ということで、大変広い分野の内容につきまして、まとまったお話をしていただきまして、本当にありがとうございます。

自動車の今後の技術動向

トヨタ自動車（株）

常務取締役 沼澤 明 男

私に与えられたテーマは自動車の今後の技術動向ということでございますが、本日のシンポジウムにふさわしいかどうか気になりますけれども、簡単にお話してみたいと思います。

最初に自動車産業の状況をご紹介いたしまして、次に自動車とエネルギー、それから最後に技術動向というふうにお話したいと思います。

1. 自動車産業の概況

まず最初に世界の主要国の自動車の生産台

数の推移を申し上げたいと思います。図1でおわかりのように、米国では、消費が自国内の消費が主ということもありまして、かなり景気の変動を受けております。第1次、第2次オイルショックで落ち込んでおります。しかしながらそのあと日本車の輸出規制ということもありまして、回復している状況がおわかりだと思います。

欧州につきましては、西独、フランスは漸増傾向にありまして、イギリス、イタリアは横這い、ということであります。日本の場合をみますと、米国がオイルショックその他で落ち込んだ時に、我々は燃費の良い小型車を

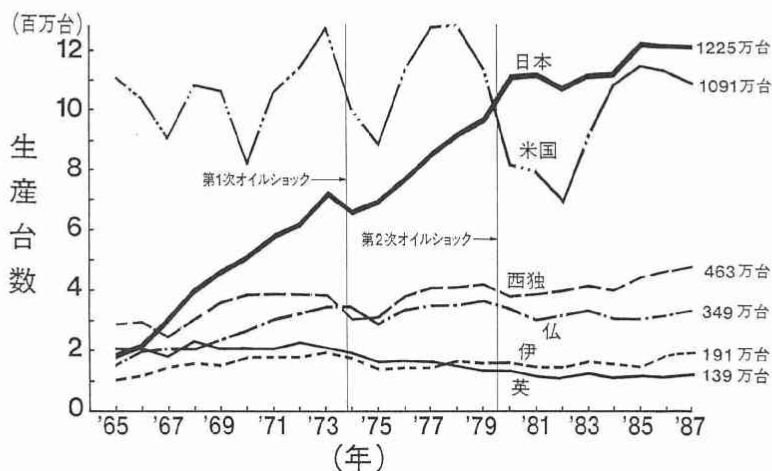


図1 主要国の自動車生産台数の推移

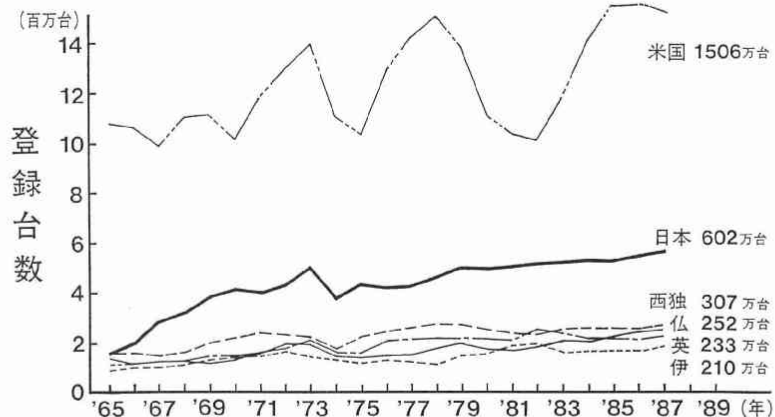


図2 主要国の自動車（新車）登録台数の推移

生産しておる関係上、逆に伸びている、という結果になりまして、現在では生産台数では、アメリカをしのぐという状況になっております。

各国の輸出の割合についてみますと、86年の実績でありますけれども、日本と西独は約58%輸出しております、フランスが54%、イタリアが39%、イギリスが20%、アメリカは8%というような状況にあります。

図2は主要国の新車の市場の状況を示したものであります。ご覧のように米国では、一昨年が史上最高で、1600万台近い台数となりましたが、昨年は少し減りまして、1500万台強というふうになっております。

ヨーロッパは全部合わせますと、1300万台を超える状況にありまして、好調という状況だと思います。

日本の場合は昨年、乗用車が327万台、商用車が274万台と600万台をはじめて越え、現在も好調な推移を示しておるということであります。

図3は世界の自動車の生産台数と保有台数

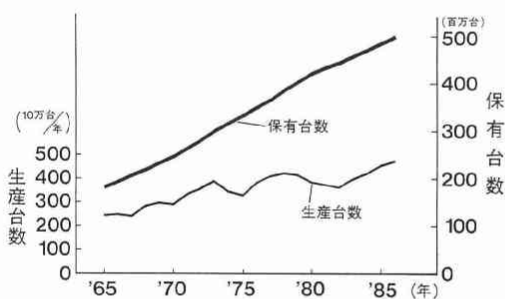


図3 世界の自動車生産台数と保有台数の推移

の推移を示しております。86年の統計でありますけれども、生産台数は世界で4600万台弱という数になっております。

保有台数をみますと、86年で5億台弱と推定されております。アメリカが1億7000万台で世界の35%を保有しております。日本は5000万台弱で、世界第2位ということでありまして。人口当たりで見ますと、米国の場合は、1000人当たり700台ちょっと、日本の場合は380台前後、ということでありまして。世界的にはまだ十分普及していない地域もありますので、自動車の需要は今後もまだまだ高いと期待されています。

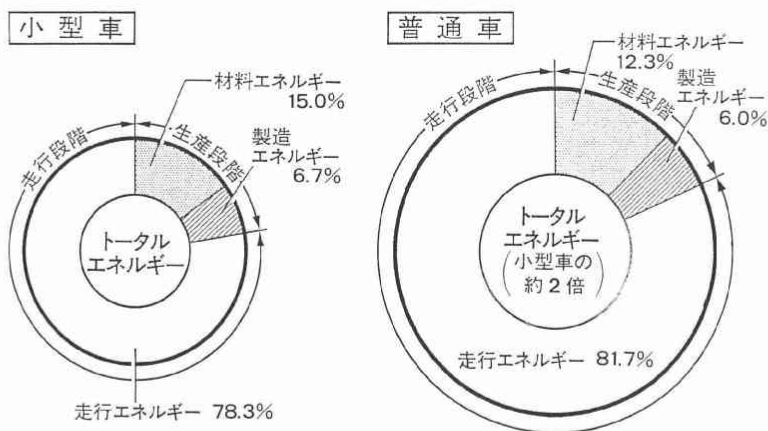


図 4 自動車のエネルギー消費割合 (10万km走行時)

2. 自動車とエネルギー

ここで自動車とエネルギーということにつきまして、とくに燃費についてお話してみたいと思います。

(1) 自動車の消費エネルギー

図 4 は自動車 1 台がその生涯に消費するエネルギーを示したものであります。車の生産に必要な材料を製造するエネルギー、車を製造するエネルギー、それから完成したあと、走行のために消費されるエネルギーというふうに分けることができます。小型車の場合をみますと、材料の製造、車の製造を含めまして生産段階で約20%、あとの80%は走行に要するエネルギーであります。普通車の場合、割合はほとんど同じでありますけれども、トータルエネルギーとしましては、約2倍となっています。これらの算出は、生産段階から10万キロ走行時点までの消費エネルギーを計算したものであります。これからわかりますように、走行中のエネルギー消費割合が80%と大きなウェイトを占めていますので、自動車の消費エネルギーの節約という点でみます

と、やはり燃費の向上が最も有効であるということが言えるかと思います。

自動車の燃費の向上の技術としましては、走行する場合の走行抵抗の低減、もう一つは、燃料を効率的に動力に変換するためのエンジンの効率の向上というものに集約されると思います。このほかに運転の仕方、あるいは道路交通環境等によりまして、非常に変動を受けるわけでもありますけれども、我々は今まで、これらの技術開発に全力を挙げて取り組んできたと言ってもいいかと思います。ここで、ごく最近開発されております燃費向上技術の一例をご紹介しておきたいと思います(図 5)。私どもは、厳しい排出ガス規制に対応するため、現在は 3 元触媒方式といって、

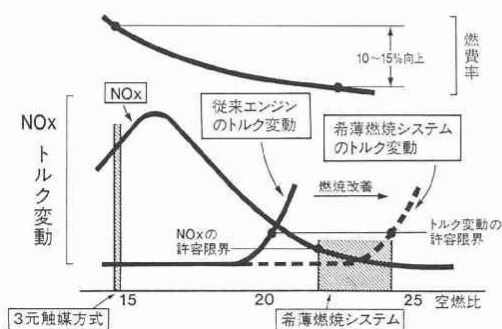


図 5 希薄燃焼システムによる燃費向上概念図

理論空燃比に近いところで燃やしまして、NO_xは3元触媒で取るという方式を主に採用しております。これに対しまして、希薄燃焼システムといって、NO_xを触媒で浄化する必要のない領域まで空燃比をずっと薄くしまして、ここで運転することにより燃費の改善を図ろうというものがあります。このためには燃焼の改善とか、あるいはリーンミクスチャセンサーを用いまして、空燃比の正確なコントロールをするとか、いろんな技術を要しますが、これができますと、燃費は、10%から15%の向上が可能です。

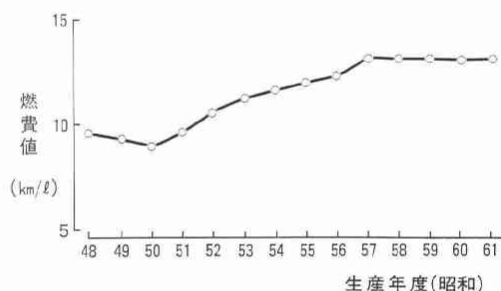


図6 日本全乗用車の平均燃費の推移
(10モード燃費)

図6は、日本の全乗用車の平均燃費の推移を示したものであります。先ほども申し上げましたように、昭和50年前後に排出ガス規制に適應するためかなり燃費が悪化しました。その後いろんな方策を開発しまして採用し、この図に見られるように向上してきているわけでありまして。この図は乗用車の平均燃費として、各車種の燃費を調和平均したものを示しておるわけでありまして。最近では、個々の車の燃費は向上していますが需要の動向が高級化したり、あるいは大型志向されているために平均燃費としてはやや横這いという傾向になっております。

(2) 自動車用代替エネルギー

今日は、いろいろエネルギーの話ができましたけれども自動車の代替燃料について少しふ



写真1 電気自動車および亜鉛—臭素電池
(トヨタEV-30)

れておきたいと思ひます。石油燃料を直接使わない自動車としましては、今までの話にも一部ありましたけれども、電気自動車があります。写真1に示しますのは、私どもが作りまして、モーターショーに発表した電気自動車であります。電池は亜鉛—臭素電池を使用しておりまして、鉛電池に比べますと、エネルギー密度が約2倍というものであります。まだまだいろんな問題がありまして、性能、コストあるいは充電のための社会システム等の問題があるというふうに考えております。

次はこれもご承知のことかと思いますが、

代替燃料としましてメタノールも検討されているということでありまして、通産省が推進していますプロジェクトにトヨタも参加しております。**写真2**はこのプロジェクトに提供するメタノール自動車を示しております。メタノールを燃料とします場合には、燃料系あ

るいはエンジン系の材料その他の耐久性、信頼性、あるいは冷寒時の始動性とか、まだまだいろんな問題がございます。

図7はメタノールとガソリンのフレキシブルフューエルビークルシステムです。FFVと呼んでいるものですが、燃料の補給等を考



写真2 メタノール自動車（トヨタ）

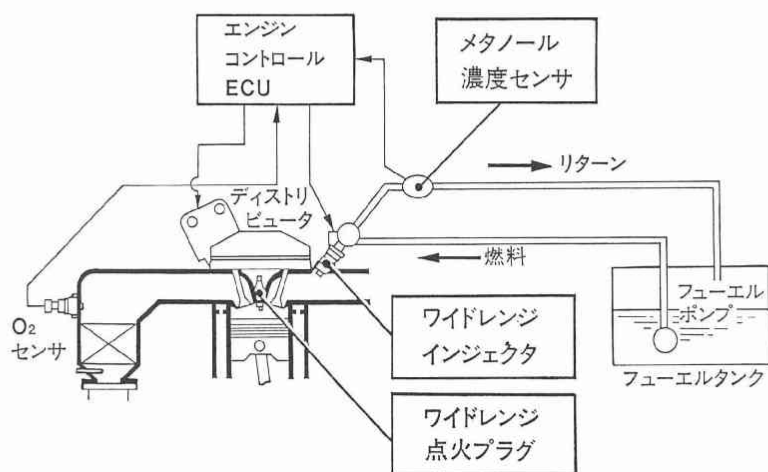


図7 メタノール・ガソリン FFVシステム

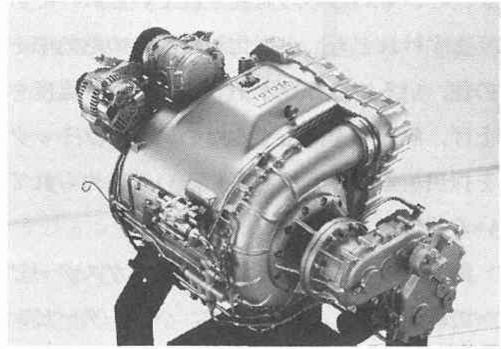


写真3 ガスタービン乗用車およびガスタービン（トヨタGTV）

えますと、メタノールとガソリンのどちらでも使え、混合比にもフレキシブルな車が必要ではないかということに対する研究であります。このシステムは、メタノール濃度センサーでメタノール濃度を検出しまして、エンジンをコントロールして、濃度に応じた制御をするというものであります。ガソリンとメタノールの発熱量の違いによりまして、制御す

る燃料量の幅が広いこと、あるいはセンサーの信頼性等、技術課題を多く抱えているのが現状であります。

燃料の多様性という意味からガスタービンも考えられるわけであります。写真3は、昨年のモーターショーに発表しました私どものガスタービン乗用車を示しております。2軸式ガスタービンを搭載しております。ガス

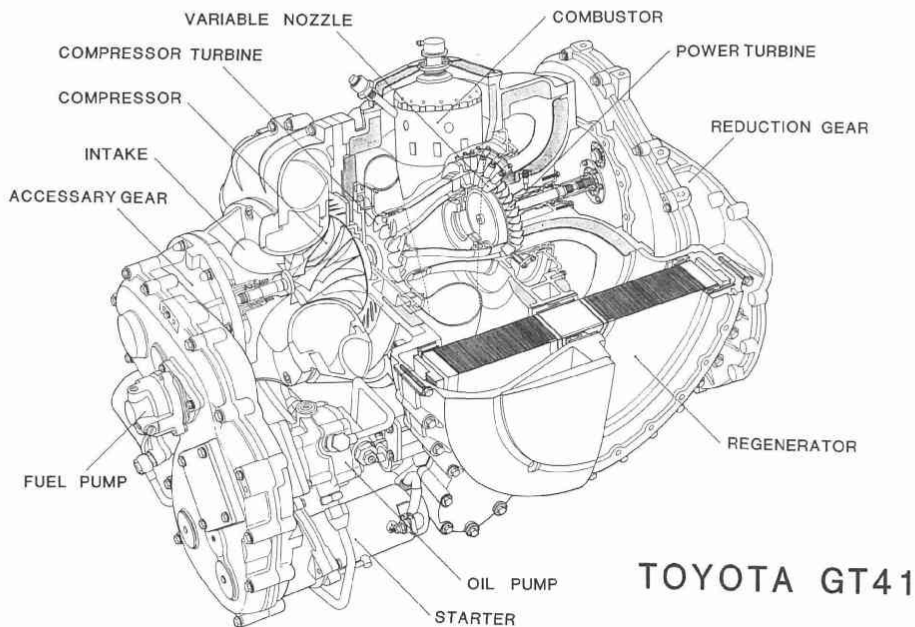


図8 トヨタGTV用ガスタービンの構成

タービンもいろいろ研究されているわけでありませけれども、小型化した場合の熱効率その他、いろんな課題があります。燃焼温度を上げ、熱効率を向上するために、セラミックを採用するという検討もいろいろ進められている状況にあります。

図8は今申し上げました2軸式ガスタービンの構成を示しております。パワータービンの定格回転数が53000回転、減速比を10前後にとりまして、最高出力150馬力、最大トルクが34kgmとなっています。連続燃焼であるために、いろんな低質の燃料も使えるとか、排出ガスレベルがわりあい低いというようなこととか、振動が少ないとか、いろいろな利点もありますけれども、まだまだいろんな課題を抱えているのが現状であります。このほかにも代替燃料としまして、天然ガスとか、水素ガス等を使用した原動機が検討されているようであります。

3. 自動車技術の動向

次に自動車技術の動向ということでお話し

たいと思います。

時間が限られていますので、自動車技術全域にはとても触れられませんが、エレクトロニクスと材料に関連した部分を取り上げてみたいと思います。

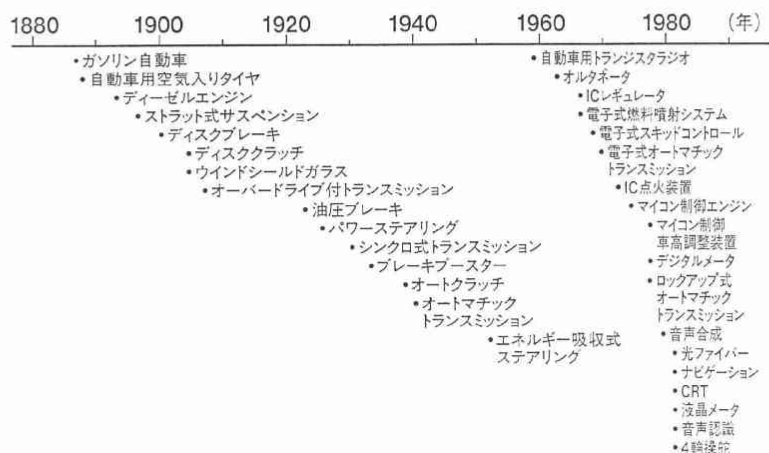
(1) 自動車技術の歴史

最初に自動車技術の歴史を振り返っておきたいと思います。

表1は各々の新技術が世界で始めて出現した時期を示しております。自動車技術は、社会環境あるいは、社会的要請への対応とか、エレクトロニクス、材料等にみられる周辺技術の進歩、あるいはユーザーの要求、メーカー間の競争とかによって左右されると思います。この10年間の技術の進歩をみますと、エレクトロニクス、材料等の進展によるところが非常に大きいというふうに思います。

自動車のエレクトロニクス化ということにつきましては、表の右側の中ほどにマイコン制御エンジンというのがございますが、この辺を境にしまして、本格的なエレクトロニクス化が進んだというふうに私どもは思ってお

表1 自動車技術の歴史



ります。今後も自動車に対する課題はいろんな形で求められてくると考えております。

(2) 自動車技術の方向

自動車技術の方向の一つとしましては、システムの総合化ではなかろうかというふうに考えます。最近の自動車には、それぞれの狙いに従って種々の制御システムが組み込まれております。先ほどもマイコンの話が出ましたけれども、現在私どもが発売しているクラウンという車がございますが、これに採用されているいろんなマイコンを足しますと、34個を数えます。これは決して自慢ではありませんけれども、種々の制御システムが組み込まれているという例であります。これらの個々のシステムのセンサー、アクチュエーターを共有化したり、ECU(電子制御ユニット)の構成を最適化したり、あるいは情報を共用したりしまして、それぞれのシステムを補完しあい、各システム間の関連を取りながら制御しまして、総合化するという方法ではなかろうか、ということであります。こういうこ

とをすることによりまして、個々のシステム単独では実現が困難であったものが可能となりますし、車両総合性能の向上も期待できるというふうに考えます。

その一例としまして、ブレーキ制御とトラクション制御の総合化の例を申し上げたいと思います。昨年私どもがクラウンに採用した例であります。ブレーキ時、いわゆる制動時に、車輪がロックすることを防止しますアンチロックブレーキシステムというものがあしまして、また発進する、あるいは加速する場合に雪道とか、滑りやすい路面で車輪がスリップする、ということを防止するために、トラクションコントロールというものがあします。図9に示しますようにこのアンチロックブレーキシステムと、トラクションコントロールシステムを複合しまして、ブレーキ制御とエンジンスロットル制御を組み合わせ、ブレーキとトラクションの制御を兼ね備えるというもので、機能向上を図っている一つの例と言えるかと思います。

もう一つの例は、シャシーの総合制御であ

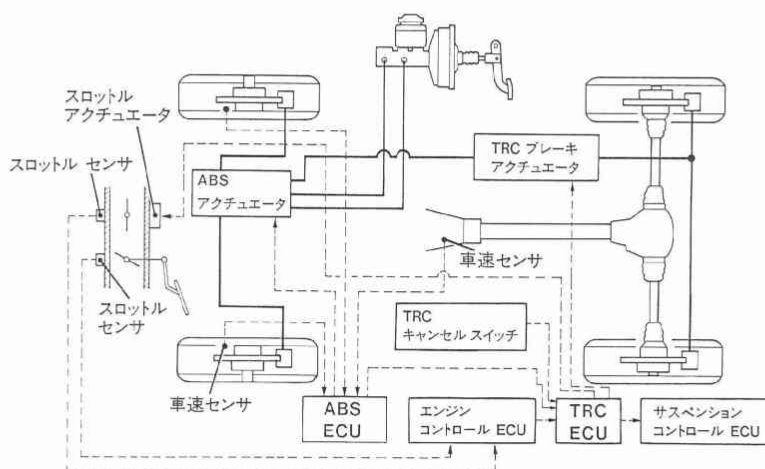


図9 ブレーキ・トラクション制御システム

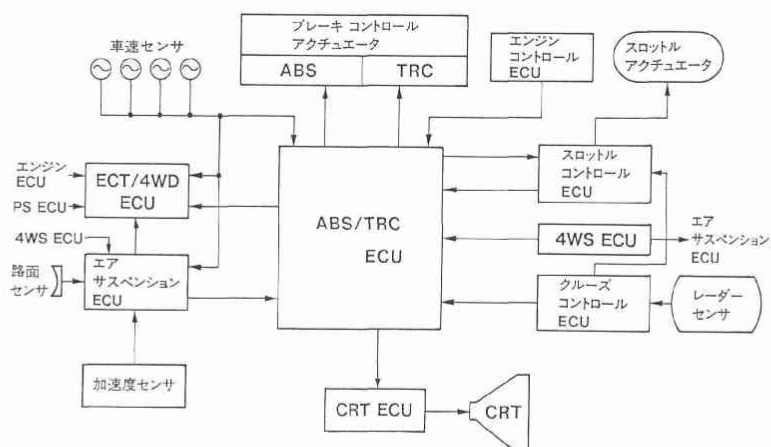


図10 シャシー総合制御システム

りまして、これはモーターショーで発表したシステムでありますけれども、先ほど申し上げましたブレーキ・トラクションに加えて、サスペンションコントロール、クルーズコントロール、ステアリングコントロール、トランスミッションコントロール、それからエンジンコントロール等のシステムを総合しまして、車両の基本性能をさらに向上させようというねらいであります(図10)。

次の技術の方向は、先程のシステムの総合化とは少し違った見方であり、また少し大袈裟な表現になりますが、自動車の智能化あるいはスマート化といいますか、そういう方向があるだろうというふうに考えております。

ドライバーの機能の一部を補完するシステムをもちまして、ドライバーとのフレンドリーインタフェースも実現していきたいというねらいであります。これらができると、運転性等、車両の基本特性を向上し、今後ますます要求されると考えられますイーजीドライブとか、あるいは安全性とかいうことにもつながるというふうにも考えられるわけであ

ります。しかしこれを進めるにあたりましては、スマートセンサー、認識技術等の要素技術の研究開発が極めて重要であるというふうに思っております。

今申し上げました智能化のシステム例として、レーザレーダシステムを紹介しておきたいと思えます(図11)。これもモーターショーに出品したものでありますけれども、レーザレーダが前方を監視しまして、スロットルやブレーキを制御することによりまして、前方車両、あるいは障害物との車間距離を最適に保つ車間制御機能、あるいは車間距離を判断しまして、ドライバーに警報を出す機能、あるいは前方車両の走行状態を判断して、衝突回避を行うための自動ブレーキ等の機能を持っているものであります。しかしまだまだ解決すべき課題が多いのが現状であります。

もう一つは、こういう表現が適当かどうか多少疑問でありますけれども、情報化について触れておきたいと思えます。

車外との情報交換には、受信のためのラジオ等がありましたけれども、最近になりまし

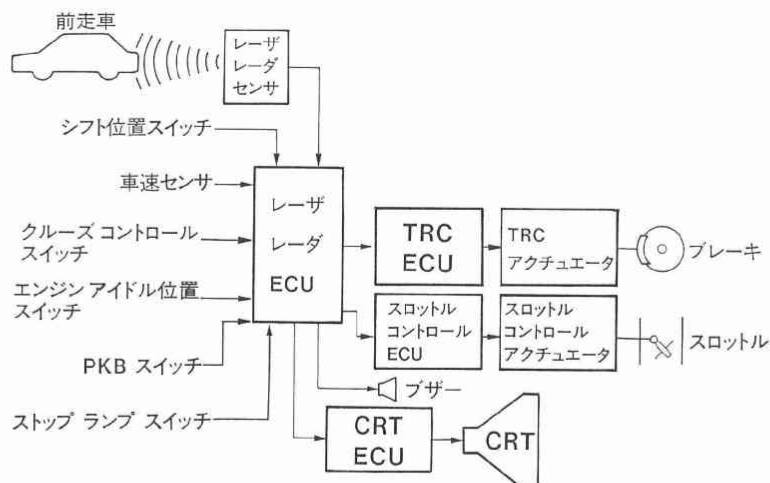


図11 レーザレーダシステム

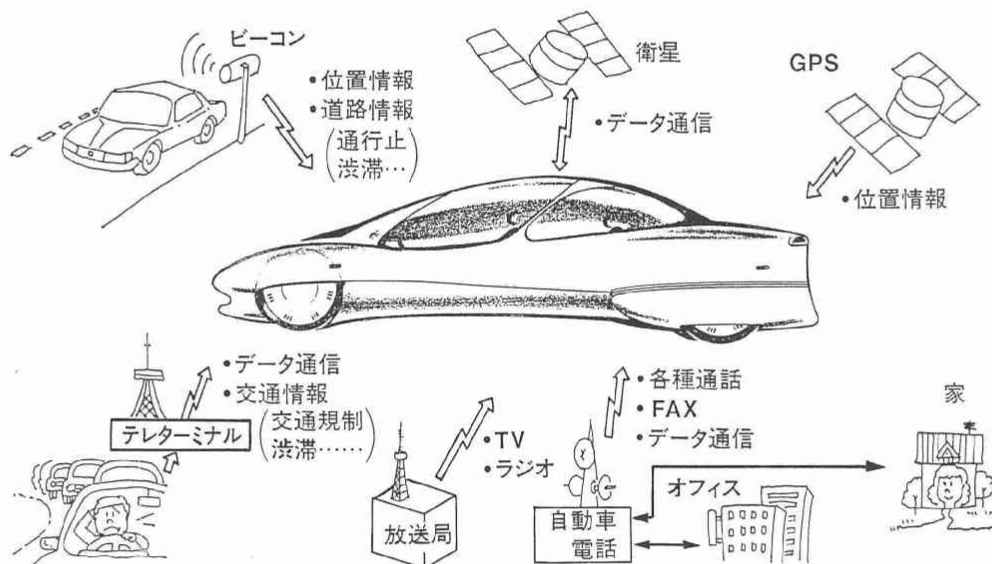


図12 移動体（自動車）通信の概念図

で、自動車電話を使いますと、相互の通信が可能となつてまいりました。これからますます社会の情報化が進みますと、車と社会の調和という意味からも、自動車の情報化が大きく展開されていくものと思います。そして、それにより交通全体の効率的な運営も図られていくと思われまふ。

例えば地上基地からの交通情報、データ通

信、あるいはさらにビーコンからの位置情報、衛星を使った位置情報、その他いろんなデータを受けまふと、それらを使いまふて、社会との調和を非常にうまく図れるというふうに考えられるものであります(図12)。いろんな国で開発されておりますけれども、日本でもご承知のように、建設省とか、郵政省あるいは警察庁等のプロジェクトがありまして、私

どももこれに参加しているのが現状であります。

表2 高機能化する自動車用材料例

種 類	特 徴
積層鋼板	軽量, 制振性
繊維強化金属	高強度, 耐摩耗性
形状記憶合金	形状記憶
磁性材料	強磁性
繊維強化プラスチック	軽量, 防錆性, 遮音性
エンジニアリングプラスチック	耐熱性, 高強度, 高剛性, 耐摩耗性
機能性セラミックス	電氣的機能, 絶縁性
構造用セラミックス	断熱性, 耐熱性, 耐摩耗性, 耐食性

次に簡単に材料の話に触れさせていただきたいと思います。表2に挙げましたように、材料の高機能化ということであります。自動車の性能、機能の向上に果たす自動車材料の役割というのが非常に大きくございまして、材料の高機能化に大いに期待したいというふうに思っているわけでございます。

表3 今後期待される新材料例

分 野	材 料 例	用 途
金 属 材 料	超微粉金属 超耐熱合金	触媒, センサ エンジン部品
プラスチック	導電性高分子 高機能分離膜	電池, 電磁シールド塗料, 酸素富化膜, フィルタ
セラミックス	繊維強化セラミックス, 常温超電導材料	高靱性セラミック部品, センサ, アクチュエータ

さらに今後期待される材料としまして、表3のように、金属材料、あるいは有機材料、あるいは無機材料、各分野でさらに高機能な材料の一層の研究開発を期待しているものであります。先ほどもお話がありました、超

電導につきましても、常温のものができれば、自動車も大いに貢献を受けるのではないかと、いうふうに思っておる次第であります。

4. おわりに

時間の都合もありまして、トピックス的に申し上げましたけれども、最後にまとめとしまして、今後の自動車技術全般の方向について申し上げたいと思います。やはり本来の移動機能の向上、車と社会の調和、より豊かな人間性への配慮というようなことが、大きく言いまして、今後の方向ではなからうかと思えます(表4)。自動車は重要な移動手段であ

表4 今後の自動車技術の方向

- 車本来の移動機能の向上
 - ・より高性能に
 - ・より安全に
 - ・より経済的に
- 車と社会の調和
 - ・環境・エネルギー問題への対応
 - ・新しい交通システムの構築
 - ・情報化社会への対応
- より豊かな人間性へ配慮
 - ・快適な移動空間の創造
 - ・イージーオペレーション

ることは今後も変わらないというふうに思います。私どもはこれらを目指しまして、多くの人の協力を得ながら、最大の努力をしていく所存であります。(ぬまざわ あきお)

質 疑 応 答

司会(大塚) どうもありがとうございました。それでは、どうぞご質問をお願いいたします。……それでは、私から一言質問させていただきますのですが、先ほどNOx対応を考

えて希薄燃焼法によって燃費がこれから10%ないし15%改善される可能性があるというお話を伺ったわけですが、これは自動車用代替エネルギーの開発にとってますます脅威かと思いますが、今のお話はガソリン車についてだと思われそうですので、ディーゼル車についてはどのような燃費改善あるいは環境対応についてお考えか、お教え願えればと思います。

沼澤 ディーゼル車につきましては、いろいろな規制への対応に追われているのが現状でありますけれども、やはり直接噴射とか、あるいはその他の方法によりまして、さらに燃費を向上する努力をしています。しかしながら必ずしも一つの方策で全部かなえられるわけではありませんので、エンジンそのものは今申し上げたような対応でありますけれども、車両全般としてもさらに考えていかなければいけないというふうに思います。

司会 どうもありがとうございました。ほかにご質問はございませんでしょうか。

鹿島(日本石油) 今日のテーマは21世紀へのエネルギー技術戦略ということでございます

が、ガソリンあるいは軽油というのは、石油屋の立場から言わしていただくならば、来世紀はまだ大丈夫だと思いますけれども、転ばぬ先の杖ということもありますので、ずばり言っていただいて、来世紀の最もチャンピオンとなるエンジンあるいは燃料はなんだとお考えでしょうか。

沼澤 大変な質問が出てしまいましたけれども、そういうことが簡単にわかれば、苦労はないのだろうと思っているのが実情であります。来世紀というのは、何年頃を指すのか、ということもあろうかと思いますが、来世紀初めの頃と言いますか、2020~30年頃までのことで申し上げますと、これは私どもが申し上げているわけではありませんけれども、一般には、やはりレシプロエンジンで今のような体系が続くのではないかと言われていると思います。しかしながら、どんなブレイクスルーが起こるか分かりませんので、正確に申し上げることは無理であろうと考える次第です。燃料についてはむしろこの辺の正確な見通しを石油業界その他から示していただければと思っています。

閉 会 の あ い さ つ

常務理事 柴 田 誠 一

本日はお忙しい中を多数の方々のご出席を賜わりまして、誠にありがとうございました。また会場の都合によりまして、ご参加のご希望に添え得なかった方々には深くお詫び申し上げます。当研究所もこの10年を契機といたしまして、21世紀に向かってますます発展してまいりますよう祈念しておる次第でございます。どうか今後とも皆様方の温かいご指導とご鞭撻を賜わりますよう切にお願いいたします。またお手元に先ほど生田先生からちょっとお話がございましたが、当研究所の10周年の記念としまして、『極限領域エネルギーへの挑戦』という本のチラシをお配りしておと思いますが、もしご希望の方は、帰りに受付のほうへお申し込みいただければ有難いと思います。それでは、これをもちまして、本日のシンポジウムを終わらせていただきます。本日はどうもありがとうございました。

(しばた せいいち)

研究所のうごき

(昭和63年4月1日～6月30日)

(プロジェクト試験研究部主管研究員 高倉 毅)

◇ 理事会開催

第27回理事会

日 時：6月17日(金) 12:00～13:30

場 所：経団連会館(9階)906号室

議 題

第一号議案 昭和62年度事業報告書および
収支決算書(案)について

第二号議案 理事の一部改選について

第三号議案 その他

―理事の改選―

(退任理事)

妹島五彦 (㈱日本電機工業会専務理事)

中村俊夫 (㈱日本自動車工業会専務理事)

古澤長衛 (石油連盟副会長兼専務理事)

(新任理事)

富永孝雄 (㈱日本自動車工業会専務理事)

能登 勇 (石油連盟専務理事)

濱田裕志 (㈱日本電機工業会専務理事)

◇ 月例研究会開催

第53回月例研究会

日 時：4月22日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13階)1303会議室

議 題：

(1) エネルギー技術と安全保障について(資源エネルギー庁長官官房省エネルギー石油代替エネルギー対策課課長補佐 後藤芳一氏)

(2) 電気自動車の普及をめざす米国電気事業者

第54回月例研究会

日 時：5月27日(金) 14:00～16:00

場 所：幸ビル(13階) 1303会議室

議 題：

(1) 無停電電源装置(CVCF)に関する技術開発動向とユーザーのニーズ

(プロジェクト試験研究部主任研究員 茂田省吾)

(2) 家庭用電源の200V実用化について

(横浜国立大学工学部 電子情報工学科教授 塚本修己氏)

◇主なできごと

4月7日(木) SPS分科会開催

8日(金) FBR安全設計検討委員会(第8回)開催

19日(火) 中小型軽水炉検討委員会(第4回)開催

21日(木) FBR新技術F/S評価検討合同委員会(第4回)開催

5月10日(火) 電源計画手法検討委員会(第1回)開催

18日(水) 企画委員会(第34回)開催

25日(水) 原子力安全に関する懇談会(第9回)開催

6月1日(水) シミュレーション技術部会(第2回)開催

6月22日(水) 「エネルギー技術データ・ベース体系化法の研究」石炭技術分科会開催

28日（火）二次電池総合評価検討会（第4回）開催

29日（水）無停電電源装置信頼性等評価委員会（第1回）開催

◇ 人事異動

○ 4月1日付

（採用） 谷澤美祐喜 研究員に任命
総務部配属

（採用） 村野 徹 プロジェクト試験研究部専門役に任命

（昇任） 出口 京司 主管研究員に任命

◇ その他

創立十周年記念祝賀会の開催

昭和63年6月3日（正午～午後2時）

経団連会館（10階，1001号室）において研究所内関係者により「財団法人エネルギー総合工学研究所創立十周年記念祝賀会」を行った。

創立10周年記念シンポジウムの開催

昭和63年6月14日（10時～17時20分），銀座ガスホールにおいて，「21世紀へのエネルギー技術

戦略」のテーマのもとに研究所創立10周年記念シンポジウムを行った。

海外出張

(1) 松井一秋主管研究員は，「パキスタン原子力委員会セミナー出席」訪問のため，5月27日から6月2日の間，パキスタンに出張した。

(2) 野口俊郎主任研究員及び蓮池宏研究員は，「新型電池の開発状況」の調査のため，5月28日から6月13日の間フランス，ベルギー，西ドイツ，イタリア，イギリスに出張した。

(3) 谷口武俊主任研究員は，「IEEE 4th Conference on Human Factors and Power Plants」（米国）及び「3rd IFAC/IFIP/IFORS Conference on MAN-MACHINE SYSTEMS」（フィンランド）に出席ならびにヒューマンファクター研究の現状調査のため，6月4日から6月19日の間，米国，イギリス，フィンランドに出張した。

(4) 黒沢厚志研究員は，「シミュレーション技術に関する計算機高度利用ネットワーク整備動向」の調査のため6月11日から6月24日の間，米国に出張した。

季報エネルギー総合工学 第11巻第2号

昭和63年7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 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社