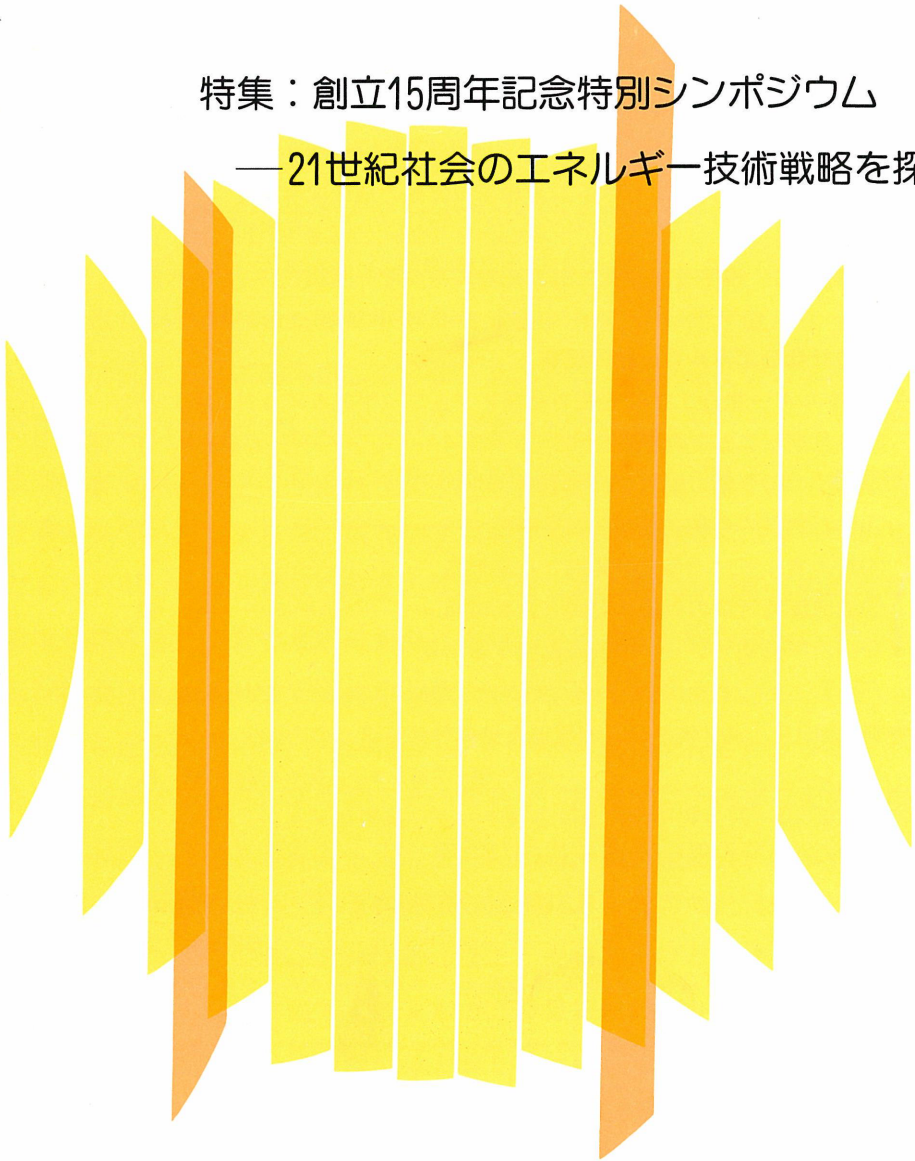


季報 エネルギー総合工学

Vol. 16 No. 3 1993. 10.

特集：創立15周年記念特別シンポジウム

— 21世紀社会のエネルギー技術戦略を探る —



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

目 次

(財)エネルギー総合工学研究所

創立15周年記念特別シンポジウム

——「21世紀社会のエネルギー技術戦略を探る」——

平成5年7月12日(月) 於東商ホール(東京商工会議所ビル4F)

総合司会 プロジェクト試験研究部部長 松 井 一 秋



開会の挨拶……………理事長 山 本 寛…………1

来賓の挨拶……………通商産業省資源エネルギー庁長官 堤 富 男…………4

【基調講演①】「21世紀におけるエネルギー技術と地球環境」

東京大学工学部システム量子工学科教授 近 藤 駿 介…………6

【基調講演②】「化学者から見た21世紀のエネルギー問題」

(財)化学品検査協会企画管理部長 北 野 大…………17

21世紀社会のエネルギー技術戦略

——エネルギー総合工学研究所中長期ビジョン(平成5年3月改訂)から——

①中長期ビジョンの概要について……………専務理事 吉 澤 均…………31

②原子力の今後の動向と技術戦略……………松 井 一 秋…………34

③化石燃料の今後の動向と技術戦略……………片 山 優久雄…………43

④新エネルギーの今後の動向と技術戦略……………高 倉 毅…………50

⑤地球環境対策の今後の動向と技術戦略……………佃 豊…………57

*今回の中長期ビジョンの改訂に関する所見

……………東京大学工学部システム量子工学科教授 秋 山 守…………67

【特別講演①】「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」

東京大学工学部システム量子工学科教授 秋 山 守…………73

【特別講演②】「21世紀中葉におけるエネルギー技術ビジョン」

——「21世紀の技術とエネルギービジョン」から——

東京農工大学工学部機械システム工学科教授 柏 木 孝 夫…………92

閉会の挨拶……………専務理事 吉 澤 均…………107

(資料) 21世紀の技術とエネルギービジョン報告書概要…………108



研究所のうごき……………129

編集後記……………132

開会の挨拶

山本 寛 (財)エネルギー総合工学研究所理事長)



おはようございます。私、理事長をいたしております山本でございます。きょうは、月曜日の、しかも雨もよいのところをお出ましまして、大変ありがとうございました。開会にあたりまして一言ご挨拶を申し上げます。

今年で、私どもの研究所が昭和53年に発足いたしまして以来15年を数えるに至りました。5年前に10周年記念を行ったわけですが、その折りのシンポジウムのテーマは「21世紀のエネルギー技術戦略」ということでした。今回は、5年を経まして15周年を迎えたわけですが、今回もやはり似たようなテーマでございますけれども、ご案内申し上げましたように「21世紀社会のエネルギー技術戦略を探る」というテーマにさせていただきました。

いままで私どものシンポジウムは毎年1回開いて参っておりますが、今回は過去最大の会場を準備いたしました。現在はまだ朝早いせいか満席にはなっておりませんけれども、お申し込は非常にたくさんございまして、約130～140名の方々には、折角のお申し込みをいただいたのにお断りを申し上げざるを得ないという、やむを得ない状況になりまして、まことに申し訳ないと存じております。

さて、10周年記念の際には、「21世紀のエネルギー技術戦略」ということでシンポジウムを行ったわけですが、その折私がご挨拶申し上げました中で申しましたことは、21世紀と申しましてはまだまだ11年半もある、19世紀の世紀末をみると世紀末の10年に科学において非常に重要な進展があったので21世紀の話をするのはまだ少し早いんじゃないか、というようなことを申し上げたわけでございます。

そこで、19世紀の末を振り返ってみますと、今世紀の技術が非常に進んでまいりましたもとは、19世紀の末にはすでに芽を現してまいっていたわけでございます。たとえば量子力学であるとか、あるいは相対性理論という新しい理論が19世紀から20世紀の初頭に提出されまして、20世紀の初めの25年、四半世紀の間に完成され、それらの理論に基づいた学術、技術が今日の科学文明をもたらしたわけであります。たとえば技術エネルギーでありますところの原子力も、その所産でありますし、ま

た、今日の情報化社会——これから21世紀に向けてまさに情報化社会は一層進んでまいると思われますけれども、それも同様であります。そして、それらが今日の社会を支えていると申せます。

そう考えますと、今世紀の末——あともういくらもないわけですが、この間にまた19世紀の末から20世紀の初頭にかけてあったような非常に基本的な理論の出現があるかどうか、これはいまのところ、私の不勉強なせいかもしれませんが、定かではございません。しかし、技術の面で見ますと、現在すでに芽が出かかっておりまして、来世紀に花を開いて欲しい楽しみなものがたくさんあることは皆様すでにご承知のとおりであります。

たとえば、高温超電導の技術が実用になりますれば、おそらく21世紀の私どもの社会生活に非常に大きな影響を持つであろうことは間違いのないところでございます。また、これはまだよくわからないことでありますけれども、常温核融合も一時新聞を賑わせました。果たして常温核融合という現象が本当に起きているのかどうかということからして確認をする必要がありますけれども、もしこれがエネルギー源として使うことができることになるとすれば、これまた関心を払う価値のあるものではないかと思うわけでございます。

そのほかにもたくさん来世紀に望みを託する重要な技術の芽が出ておりますが、それらのものを現実にはわれわれ人類が使うことができるようになりますれば、さらに私どもの生活あるいは社会生活に対して非常に大きなインパクトを与えるのではないかと考えられます。

一方、技術を離れて21世紀を展望いたしますと、間近なところでは、現在困っているような事柄がそのまま21世紀に引き継がれるであろう問題が沢山あります。たとえば、その中にはエイズ即ちH I Vウイルスというような問題。この問題も、21世紀になりましてから早急に、あるいは今世紀中にも解決できればよろしいのですが、それは大変難しそうですので、不可能としましても21世紀に至れば何とか解決して欲しい問題であります。また、現在起きております複雑な地域紛争についてもそうです。

更に、予測される急速な人口増加に伴うエネルギーと食糧問題、その上に地球温暖化の問題もあります。幸いに、今日までのところでは食糧危機の問題は顕在化してはおりません。しかし、いまのまま進むと、21世紀になりますれば、この問題が

顕在化してくるかもしれないとも考えられます。このように多くの困難な問題が今世紀から引き継がれるわけでございます。

社会生活が非常に複雑多岐になるにつれまして、ことエネルギーに限って見ましても、私どもの研究所で扱っております調査研究の課題も年々増えてまいっておりますし、その内容も時代とともに変わってまいっております。研究所発足の当初、比重の高かった原子力に加えまして、その後、石炭、石油、天然ガスが順次加わってまいりました。また、未利用エネルギーの利用とか、エネルギーの高効率利用、また分散型電源とそれに伴う系統連系の問題、また負荷平準化を目標といたしました負荷集中制御、そのほか電気自動車でありますとか、地球環境に関わるエネルギー問題の課題など、私どもの研究所といたしましても扱う項目が次第に広がってまいっております。

このような情勢を踏まえまして、今年になりまして研究所のこれからの進んでいく方向を再検討いたしました。即ち5年前に作成しました中長期ビジョンを見直しまして、その改訂を行いました。このビジョンは私どもとしてこれから取り組んでいくことが可能と思われるもの、あるいは取り組んでいきたいテーマというものを選んでつくったものでありますが、その中身につきましては、きょうの午後ご披露させていただきまして、皆様方のご批判をいただきたいと思っているわけでございます。

また、これとは別に、21世紀のエネルギー問題ということに関連いたしまして、平成4年度、昨年度でございますけれども、資源エネルギー庁のご依頼によりまして、私どもの研究所に「21世紀の技術とエネルギー委員会」をつくり、2010年以降、21世紀の中頃に向けてのエネルギー政策を考える上での資料のとりまとめをさせていただいており、本日午後、委員長の柏木先生からその概要をお話いただくことになっております。

私どもの研究所は、エネルギー技術に関するシンクタンクとして、15年前に産・官・学の協力をうたいまして、当時の土光経団連会長の強いお力添えのもとに発足をいたしました。通商産業省をはじめとする国のご指導、あるいは電力及びエネルギー関連の産業界の多くの企業のご支援と、また多くの大学のたくさんの先生方のご協力をいただいて今日に至っております。

これからも、私どもといたしましては皆様方の一層のお役に立ってまいるべく努力をするつもりでございますので、どうぞ相変らぬご支援とご鞭撻を賜りますことをお願いいたしまして、開会のご挨拶にさせていただきます。

来賓の挨拶

堤 富男（通商産業省資源エネルギー庁長官）



財団法人エネルギー総合工学研究所の創立15周年記念特別シンポジウムの開催に際しまして一言お祝いを申し上げます。

近年のエネルギーをめぐる諸情勢を見ますと、国際的には石油情勢が安定基調で推移している一方で、アジア太平洋地域におけるエネルギー需要の増大、旧ソ連における石油生産の減退等により、中長期的に需給の逼迫が予想されております。一方、国内的には、近年エネルギー需要が拡大傾向にあるのに対し、エネルギー供給は8割以上を輸入に依存するとともに、その約6割を石油に依存している等極めて脆弱な構造となっており、引き続きエネルギー需給の安定化を図ることが不可欠であります。

こうした状況に加え、昨年、ブラジルにおいて国連環境開発会議が開かれる等地球環境問題に対する関心が世界的に高まっておりますが、人類共通の課題であるこれらの地球環境問題を克服し、かけがえのない地球を将来の世代に引き継いでいくためにも、我が国としては、経済成長、エネルギー、環境保全の三位一体の考え方の下で、総合的な視点から、施策を推進していくことが不可欠でありましょう。

以上を踏まえ、通商産業省としては、エネルギー供給面においては、原子力の開発利用、太陽、水力、地熱等の新エネルギー・再生可能エネルギーの開発・導入、天然ガスの導入等を推進するとともに、エネルギー需要面においては、省エネルギーの一層の推進を図ることが重要であると考えております。こうしたことから、原子力の安全確保および信頼性向上のための技術、石炭の高度利用技術、供給から最終消費に至るまでの各段階における省エネルギー技術等各分野における技術開発の果たす役割は極めて重要であり、こうしたエネルギー関連技術の研究開発を引き続き強力に推進していくことにより、エネルギーの安定供給確保を実現し、もってゆとりと豊かさに満ちた生活大国の実現に資することとしております。

貴研究所は、昭和53年4月の設立以来、太陽、地熱、風力等の新エネルギー・再生可能エネルギーの開発利用および原子力の開発利用に関する調査研究、エネルギ

一使用と地球環境問題との関係についての調査研究，エネルギーに関する様々なシンポジウムの開催等を通じ，エネルギーの合理的な開発・安定供給・適正利用等の面で着実な成果を挙げてくれました。また，本年3月には5年ぶりに中長期ビジョンを改訂されるなど，エネルギー工学分野における総合的な調査研究機関として確固たる地位を築かれており，ここにあらためて敬意を表する次第であります。

最後になりますが，エネルギー関連技術の研究開発を着実に推進していくためには，多岐にわたる技術を総合的観点からとらえ，官・民・学が一体となり諸問題の解決に当たっていくことが求められており，こうした意味からも，貴研究所に寄せられる期待はますます高まっております。貴研究所がこうした期待に応え，着実に成果を挙げていかれることを祈念いたしまして，私の挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。(代読 長官官房総務課長 藤島安之)

【基調講演①】

「21世紀におけるエネルギー技術と地球環境」

近 藤 駿 介[※]



ただいまご紹介いただきました近藤でございます。本日はこの研究所の15周年記念シンポジウムにあたり、最初に講演をせよということで、大変光栄に存じております。与えられました演題は「21世紀におけるエネルギー技術と地球環境」ということですが、後刻この研究所がお考えの21世紀に向けたエネルギー技術戦略の構想設計の結果が御披露されるとのことですので、私の話は、いわばその前座と考え、エネルギーをめぐる私どものおかれた状況とこれを克服と申しましょうか、これに適応していくための視点をいくつか思い付くままにご紹介申し上げ、責を果たしたいと考えている次第です。

1. 21世紀のエネルギー需給想定と課題

1991年の世界のエネルギー消費は石油換算で78億760万トンであり、その消費は、地理的には北米27.6%、OECD欧州17.7%、非OECD欧州20.6%、アジア大洋州23.1%、ラテンアメリカ5.2%、中東・アフリカ5.8%に分布しており、資源面では、石油40%、石炭28%、天然ガス22%、原子力6%、その他4%という分布になっています。

この世界のエネルギー消費は、'81年から'91

年にかけて平均2%/年で伸びてきているわけですが、これは一つには、世界の人口が現在年間9700万人づつ(約1.6%/年のペースで)増加しており、これに関連して世界経済もまたこれを上回る率で成長していることによります。人口動態の持つ慣性の大きさを考えれば、今後もこの需要の増加傾向は急激には変化しないと考えるを得ないわけで、様々な国際機関は今後10~20年間にわたり世界経済は3%/年で、エネルギー需要は先進工業国平均で年率平均1.6%程度、開発途上国平均で年率3.3%程度、従って世界全体として年率2.2%程度で増加し続け、人口は2025年には80億人に迫るとしております。

ところで、この人口増分の88%は途上国で、またその83%は都市部で増えていますので、世界の都市化は一層進行し、その結果、特に途上国の都市の過密化、環境悪化と農村の荒廃が進行しています。また、このこともあって森林が耕地へ転換され、エネルギー確保のため伐採され、さらに大気中の亜硫酸ガスや窒素酸化物による損傷の進展のために急速に減少し、砂漠化が進行していることもよく指摘されるところです。これらの問題に直面した国際社会はブルントラント氏を長とする

※ 東京大学工学部システム量子工学科教授 (財)エネルギー総合工学研究所理事)

「環境と開発に関する世界委員会（W C E D）」を1983年に発足させ、この委員会は世代間の公平の観点から持続可能な開発という概念を提起し、世界の人々の価値観をこれを重視する方向に転換することを求める「我々の共有する未来」と題する報告を1987年にとりまとめたことは、よくご存知のことかと存じます。

さらに、1970年代より大気中の炭酸ガスを中心とする温室効果ガスの濃度の増加に伴う地球温暖化の可能性が指摘されてきましたが、1980年代後半に至りこの問題に対する国際的な関心が一層高まり、1988年のトロントサミットでU N E PとW M Oの共同により政府間パネル（I P C C）の設置が提唱され、1990年にはI P C Cの第一次報告書が取りまとめられました。

この報告では、地球温暖化の可能性を抑制するべく大気中の各種温室効果ガスの濃度を現状水準に維持するためには、直ちに炭酸ガス排出量を現水準から60%、メタン排出量を15~20%、窒素酸化物の排出量を70~80%削減する必要があるとの認識から、これを実現するために各国が共同して目標を追求する枠組を確立することが提言されたわけですが、この温室効果ガスの57%はエネルギー関連のものであることから、この一連の動きはエネルギー関係者に極めて大きな衝撃を与えたわけであります。

これらの国際的動きを踏まえて、1992年6月、ブラジルのリオデジャネイロで「環境と開発に関する国連会議（U N C E D）」が開催されました。この会議では、地球上を人類共通の未来のために良好な状況にしておくための人と国家の行動の基本原則である「環境と

開発に関するリオ宣言」、その基本原則を踏まえた21世紀に向けての行動計画としての「アジェンダ21」、及び森林についての原則声明が採択されるとともに、地球温暖化防止を目的とした気候変動枠組条約及び生物種の保全を目的とした生物の多様性に関する条約が署名のために開放されました。

私には、この会議の最大の意義は、世界の102ヶ国の代表が一同に会し、我々の共通の家である地球の不可分性、相互依存性の認識の下、人類は自然と調和しつつ健康で生産的な生活をおくる権利を有すること（リオ宣言原則1）、持続可能な開発を達成するために環境保護は開発過程の一部をなしていること（原則4）、各国は、全ての人々のために持続可能な開発及び質の高い生活を達成するために、持続可能でない生産及び消費の様式を減らし、取り除き、そして適切な人口政策を推進すべきであること（原則8）などを宣言したところにある、つまり、各国が人類の世代間の公平と福祉の向上の観点から地球環境の悪化をこれ以上進めてはならないという共通認識のもと、その原因の除去に主権を行使していくとともに、適切な国際共同行動をとることを約束したという点で、地球環境保全のための国際共同意志の確認として歴史的に重要な意味を持つものと考えております。

しかしながら、当面する問題はこうした共同意志をもってしても途方に暮れるほど大きいものであります。というのは、現在の知見では、ローマクラブの「成長の限界」の著者であるメドウズ達が近著「限界を超えて」で示しているように、地球温暖化の解決にはつまるところ人口とエネルギー消費の安定化が最重要であります。50年後の世界人口は抑

制努力が行なわれたとしても90億人程度にはなるだろうと予測されていますから、パイの大きさを大きくしつつ富の公平な配分を追求していくこととして、世界の一人当り国民総生産を年率1%弱で上昇させ、この年に11,000\$ /人（現在の先進国の半分でほぼ現在のスペインの水準）に達することを目的とすれば、この間に1\$の生産に要するエネルギーが現在の日本の1.5kWhの半分の0.75kWhにまで劇的に改善できると仮定しても、世界のエネルギー消費は現在の10TW年から15TW年（GNPは2.75倍）に増加するからです。したがって、我々は人口増加の抑制に最大限の努力を払いつつも、世界経済を今後とも2%/年程度で成長させつつ南北格差の減少に努力し、この間にエネルギー利用効率を年率2.8%で向上させ、併せて年率1%弱ではあるが世界のエネルギー供給を増大させ、その過程で非化石エネルギーの寄与を50%程度以上に高めるべく努力して行かなければならないのです。

ところが、世界各国の現在のエネルギー政策をみると、例えば米国ではこのところ天然ガスの需要が発電部門を含めて急増し、原油価格の低位安定のために国内の原油供給力は低下し輸入依存度が増加しているし、ヨーロッパにおいては、例えばドイツの石炭は英国の石炭の2倍以上のコストであるにも拘らず、電力事業者はその使用を義務づけられており、一方、英国の国内炭はドイツ炭と比べて圧倒的に安いが需要がなく、このため政府は炭鉱閉山を提案したところ、これを阻止せんとする動きが生じて政治論争になっているというように、エネルギー源選択は、産業政策、雇用政策にも関係して極めて国内の政治

情勢に依存し易く、ひとり環境問題の観点からはとても決定され得ない状況があり、上に述べたような問題意識を反映した国際的取り決めは成立せず、たとえ成立しても対応が遅れがちになる可能性が極めて高いのです。

しかしながら、これまでエネルギー利用を伴う工業製品を世界に輸出し、それにより豊かな国民経済をエンジョイしてきたわが国としては、各国のモータリゼーション、電化の進展に伴うエネルギー需要の増大に少なからぬ責任を有しており、この責任の自覚のもと、エネルギー消費をめぐるこれらの問題の解決にむけて世界をリードしていくべく、気概をもって先進的な政策を推進していくべきではないでしょうか。以下に述べますのは、この観点より推進されるべきと考える技術開発のあり方についての内外の検討を独断と偏見をもって通覧しているものであることをお断りしておきます。

2. 課題対応の基本方針

技術は目標達成の手段ですから、今後の技術開発について論じる場合、以上の状況を踏まえてわが国としてはいかなる政策目標を持つべきかが、まず検討されなければなりません。これについては、しかしながら、すでに多くのところで詳細な分析と提言がなされており、それらの間にはあまり違いがありませんので、ここではそれらのうちから通産省産業構造審議会等合同会議の1993年3月報告に示された政策目標を紹介します。

この報告では、第一に、エネルギー有効利用の観点から今後の我が国のエネルギー需給構造を抜本的に変えて行くこととしています。これは、地球上で利用可能な化石エネル

ギー資源量が現在のそれぞれの消費水準で石油40年、石炭240年、天然ガス60年分といわれているので、今後の長期にわたる人類のエネルギー生活を考えるといつか資源制約が顕在化せざるを得ないからということもあります。が、地球環境保全の観点から炭酸ガスの大気中放出を現在水準よりも大幅に減少させるべきことが専門家から提案されているから、それ以前にこれら化石燃料利用効率の大幅な改善によりその利用の減少に努めるとともに、非化石エネルギーである太陽、原子力等の利用を大幅に増加させ、それを前提にした消費構造を実現していくべきと考えているのです。

第二にあげていましてのは、環境調和型経済社会の構築を目指すことです。これは、我々人類は経済その他の目的を達成する過程で、幾つかの行動を通じて既に局地的には地球環境を変えてきていますが、いまや人間活動の規模が総体として地球環境にグローバルに影響を与える、現在のままでいくとその影響は人類にとって受け入れ難いものになる恐れがあることが理解されたので、行動における価値、目標の優先順位を変え、環境への配慮を優先する社会の建設を目指さなければならないと考えたからです。

第三の方針は、国際公共材の創出という観点からエネルギー技術開発に努め、その成果を広く我等が地球の環境保全という観点から国際社会に提供していくことです。既に中国が石油輸入国に転じたように、今後エネルギー需要増加の中心は発展途上国に移っていくわけでしょうが、これらの国はエネルギー利用効率が悪いので、この改善にこそエネルギー供給の源を見いだし、国民福祉を向上させ

ていくことが合理的でしょう。そして、このことのもつ地球規模の環境問題に対する意義に鑑みれば、自助努力が基本であるとしても、この効率改善に先進国は国際公共事業として取り組むべきと考えたからです。

3. 今後取り組むべきエネルギー技術開発の方向

以上の方針に照らせば、今後わが国が取り組むべき技術開発は、第1にエネルギー効率の向上、第2に燃料代替の促進、第3に環境汚染物質の除去・抑制、そして第4にエネルギーシステムの構造化に寄与することを目指すべきであり、さらに第5として国際社会に適用可能性の高い普遍的かつ柔軟対応可能な技術を育てることを目指すべきであると思います。これらについて、現在内外で検討されている技術課題を列挙すれば、以下のようであります。既にわが国では実用化していても、これを発展途上国においても使えるものとするためにはさらに研究開発が必要と思われる場合にはリストに加えてあります。

第一のエネルギー効率の向上を目指す技術開発としては、エネルギー供給、転換、輸送における効率向上に関して、化石燃料発電所の性能向上、燃料電池の利用、電熱併給の促進、超高圧送電などが、エネルギー利用効率の向上に関して、自動車の燃費改善など交通物システムの効率改善、冷暖房の熱効率向上、照明効率の改善など家庭・商業、建設部門のエネルギー効率の改善、産業部門での生産プロセスの効率改善、蓄熱装置の開発利用を含む生産プロセスの排熱再循環などエネルギー管理、操業方法の改善、含炭素物質、金属、ガラス等の使用済み製材のリサイクルリング利

用、そして省エネ製品を目指す製品革新などが考えられています。

第二の燃料代替促進目標に対しては、第一には発電部門での石炭から石油、天然ガスへの転換、運輸部門や暖房部門における石油から天然ガス、バイオメタンへの燃料転換などの低炭素エネルギー源への転換に関する技術の実用化を目指さねばなりません。なお、石油や天然ガスの場合、生産、輸送、分配の過程でのメタンの漏洩を抑制しないと代替効果は薄れるので、こうした技術の開発も重要です。第二には、原子力、水力、バイオマス、地熱、風力、太陽、海洋エネルギーといった無炭素排出エネルギー源の利用を促進する技術環境の整備が重要です。これらが実用性を増せば、これらに基づく水素燃料の利用技術も重要課題になります。これらのうち原子力と水力は既にかなりの寄与をなしており、今後の利用拡大の可能性は先進国においては立地の確保、発展途上地域においては資金の調達能力に掛かっているといつて過言ではありません。

太陽エネルギーは、これまで民生用に利用されてきてはいますが、その規模は大きくありません。しかし、今後太陽電池の性能が向上すれば、急速にその利用が拡大するものと期待されています。一方、バイオマスは資源としては大きいのですが、その生産に化石燃料を使用しないという条件で無炭素排出燃料のカテゴリーに入れているので、期待される役割を果たすようにするためには、燃料サイクルベースで炭酸ガス放出を管理しなければならない。

第三の環境汚染物質の排出抑制に対応する技術開発課題では、まず温室効果ガスの除去、

再循環あるいは固定が、現在のエネルギーシステムを維持しつつ問題を直接解決できるので魅力的です。炭酸ガスの回収技術は既に存在しますが、その実用化には、処理量が桁違いに多いことを踏まえて、貯蔵、廃棄の方策の確立が必要です。液化後海底または枯渇油田への注入が検討されていますが、これがいかなる環境問題をもたらすかについては、これから本格的に検討される段階です。埋立地や、炭鉱からのメタンの回収利用、天然ガスや石油の生産、輸送、配送の過程における損失の低減も重要とされています。さらに一見受身の方法ですが、温室効果ガスの自然吸収源の増大を目指して熱帯雨林等森林の保護育成を計ることも、種の保存その他の重要性も踏まえて重要であり、そのための技術開発も急がれるところです。

エネルギーシステムの構造変化の追求に対応する技術開発課題としては、効率の向上に寄与するコジェネの推進、更にはマルチサイクルエネルギーカスケード利用を可能にするシステム化技術、電気自動車のためのインフラや公共交通機関の整備を含む都市交通管理システムの革新、建築物におけるエネルギー管理技術、太陽、風力、水力、ガスタービンなどから構成される小規模分散エネルギーシステムの管理技術などがあります。

これらの課題を分析して開発戦略を確立するには、まず、1) それが現状技術を置き換えたときにどれだけ効果があり、かつどれだけの規模で導入できるかという、いわゆる技術的可能性、2) それがいかなる費用対効果を有するかという経済的可能性、3) その技術を使用させるための金融財政面の支援、基準や規制そして情報と奨励などのあり方によ

ってどれだけ市場が拓けるかという市場可能性、そして、4) 当該技術を実用化するのに要する時間のそれぞれの観点からそれぞれの技術・方策を評価する必要があります。その上で、1) 既存の資産をできるだけ有効に使う観点から実施されるべき短期課題、2) 予見される新しい環境に適合するべくいまから大きな資本を投下して取り組むべき中期課題、そして、3) 革新的な技術／システムを実現する可能性のある技術開発課題としての長期課題に分類し、そのなかで優先順位を明かにする必要があります。その上で、短、中、長期の各課題への資源配分を決定し、短期課題にはタフネスと決意をもって細部へ配慮しつつ取り組み、中期課題にはリスクを冒して資本を活用する強い意志をもって取り組み、長期課題には想像力と勇気をもって挑戦することが大切です。こんなことは、皆様には釈迦に説法で申し上げるまでもないと思ったのですが、幾つかの分野の計画の審議等に参加させて載っていて、やや議論が混乱しているのではないかと思うことがありましたので、自分のための整理の意味も込めて、敢えて述べさせていただきます。

ところで、そういう観点で今後の重点課題を検討すれば、OECD諸国で石油消費の60%を占め、エネルギー関連炭酸ガスの28%(全世界平均では13%)を放出している運輸部門は、地球環境問題に最も先進的に取り組むべき責任を有すると思います。その重点課題は、短期的には自動車の効率改善と燃料代替、公共輸送機関の効率改善ならびにメタン、 N_2O 発生の抑制、そして公共輸送の分野において都市内の輸送形態を大量輸送システムに転換していくことが重要です。中期課題

としては、自動車の燃料をバイオマスに基づくエタノールや電気に多様化していくこと、航空機輸送が増大しているので、航空機の燃費の改善、さらに長期的観点からは、非化石燃料に基づく電気並びにこれに基づき生産された水素燃料自動車の実用化が期待されるところであります。

民生部門には様々な消費者がありますが、その最終消費形態は照明、空調、温水、動力、そして冷蔵であり、この部門の主要エネルギー源は電気、暖房油、天然ガスです。この分野では、建築技術の進歩並びに高度なエネルギー管理技術の適用によってかなり大幅なエネルギー節約がなお可能であることが多くの研究者により指摘されてきています。また、ある地域のエネルギー需給活動を燃料電池や太陽光発電を含む自律分散協調システムとして最適化することができれば、効率の一層の向上が期待できることも指摘されています。さらに、民生部門は多量の有機物および混合廃棄物を発生させてきていますので、これらを埋め立て処理することにより生成排出されるメタンの量は世界的には年間200万トンとも700万トンとも言われます。これは放置しておくとも今後増大の一途をたどると考えられるので、この抑制のために使用済み製材のリサイクル、メタンの回収を含む総合的な対策の推進が必要です。これらはいずれも短、中期の課題として資本を投入していくべきものとされています。長期的な課題としては、太陽熱の効果的な利用の一層の拡大と大規模なエネルギー情報ネットワークの整備、およびこれを支えるエネルギー貯蔵技術の開発が重要であると思います。

産業部門は先進国では全エネルギーの43%

(わが国では52%)を消費し、世界の炭酸ガスの27%、メタンの81%を放出しています。エネルギー多消費業種は鉄鋼、化学、窯業、紙パルプです。短期的にはこれらの生産工程における一層の効率向上とともに、原材料のリサイクリング、森林残滓を含む廃棄物からのエネルギー生産、エネルギー消費の少ない消費材への転換、動力機器の効率改善、エネルギー分配と電熱併給を含む熱プロセスの最適化を追求していくべきとされています。また、長期的には製品の高付加価値化、エネルギー消費の少ない材料の利用を一層押し進め、バイオテクノロジーを含む革新的な省エネルギー型プロセス技術を採用することが重要ということで、その技術開発にいまから取り掛かることが大切であると思います。

エネルギー供給、電力部門は、世界各国で公益事業として大規模なネットワークを有し、従ってそこに利用される技術は一般に大規模であり、寿命の長いものになっていますから、その変革には多大の経営エネルギーと時間が必要とされます。この分野の短期課題は化石燃料火力発電所の発電効率の向上です。これには既設システムの部分的改良、コンバインドサイクルの導入、流動床燃焼方式の導入、ボイラー効率の向上、蒸気吹き込みガスタービンなどが既に提案、実施されていますが、これらを引き続き押し進めることが重要です。また、未利用エネルギーの利用という観点からの熱併給の推進が重要です。これは、現在の大規模設備の遠隔地立地方式では可能性が小さいのですが、新規産業立地の際には必ず検討に入れておくべき技術であると考えます。

これとならんで重要なのが、低炭素あるい

は炭素を含まない燃料による発電、特に原子力発電、水力発電の規模を拡大していくことです。化石燃料を使わざるを得ない場合には天然ガスを使うことになります。長期的にみるとこの価格上昇は目に見えているので、発展途上地域にこれを前提にしたエネルギーシステムを形成するのは、深層天然ガスなど新しい可能性が明かになれば別ですが、注意が必要であると考えます。また、地域の特性を生かして地熱、風力、太陽光の開発利用を積極的に押し進めることもあわせて重要であると思います。

石炭採掘、石油、天然ガスの生産、流通過程におけるメタンの排出削減、回収、化石燃料の燃焼過程におけるNOx、SOxの回収技術の改良、簡易化も重要であることはいうまでもないでしょう。

一方この分野の中・長期課題としては、原子力分野における高速増殖炉、核融合炉の開発利用、大規模な太陽発電、高温岩体発電、バイオマス燃料の生産があります。これらによる潜在供給力は極めて大きいので、各国が協調してその開発努力を継続拡大していくべきと考えます。他方でいわゆる自律分散協調エネルギーシステムの構築の問題があります。これは供給の安定性、経済性の視点から地域の需要特性を考慮して検討されるべきもので、エネルギー供給システムの社会的位置付けにも掛かっていますが、これが実現するためには、技術的には燃料電池やエネルギー貯蔵技術のような技術開発が先行して進められていることが重要と考えます。この分野の技術は、開発費用が大きいので、個人がリスクを賭して投資をするという代物ではないところ実用化の難しさがあります。しかし、

一方で、これの開発を公共投資一点張りで行なうのはいかがなものかと思えます。やはり、これを実現せんとする意欲のある人々がいてこそ開発が進むという技術開発の動力学を忘れてはいけなとと考えています。

4. これからの技術開発のあり方

ところで、こうして我々の当面する課題へ対処する技術開発戦略を説明しますと、当面する課題は科学技術によって引き起こされたことに対する反省が欠けているのではないかというご批判をいただくことがあります。たしかに、環境悪化は科学の成果の大規模な利用に起因していることは否定できないのですが、しかし、例えば温室効果といった問題の所在を明かにし、その解決案を用意できるのも科学の働きであって、科学自体は中立なのです。さらに冷静に考えてみると問題を一夜にして解決する答はないのです。さらに、この人口で昔の生活に戻ることはできないという現実もあります。そう考えてみますと、我々にできること、従ってなすべきことは、従来よりは賢く地球規模の影響を視野に入れながら、科学技術の新しいアイデアと新しい方法を用いてよりよい社会の実現に向けて前進することではないかと考えます。

その意味で、これから科学技術研究が目指すべき第一は、エネルギーを効率よく利用するための物質、方法、システムの開発です。すでに述べたように我々は今後経済のエネルギー効率を世界平均で毎年3%以上改善することを数十年間にわたって継続する必要があります。これは、政府の規制・介入やエネルギー価格の大幅な上昇がなければほとんど不可能と考えます。そうした経済的な手段について

国民的合意が得られないとする意見もありますがどうでしょうか。価値観の変化は一夜にして人々の行動、思考方法を変えることもあり得ることは幾つかの例で実証されています。それはともかく、コンピュータのダウンサイジング、マイクロマシンの研究が急速に進歩していることから、技術開発の世界においてこの点に優先順位を与えて、この方向での技術進歩を促すことにより、総合的に高い効率を実現するシステムをより好ましいものとする文化が創造され、クリーンエネルギーの世界が実現していくことを期待するのはそうおかしくないと考えます。

第二には、技術開発に当って製造、運転の各過程から環境へ放出される汚染物質や環境影響を引き起こす物質の量ができるだけ少ない技術体系を創造し選択することです。温室効果ガスの放出低減については、問題の巨大さの故にこれから目をそらす、あるいはこれに本格的に取り組むと国際経済社会におけるわが国の存在規模から見て世界経済に悪影響を与えるという議論もなされていますが、私は、この問題の重大性、長期性、非可逆性に鑑みれば、例えばいわゆる放出税を創設するなどして国民にそのことについて明確なメッセージを送り、商品市場における消費者選好を変えることをためらってはならず、併せて、環境を取り込んだ人類システムの科学研究を強化し、また、進歩しつつある情報交流技術を駆使して労働と情報の経済価値を高め、エネルギー強度の高い物質の消費を増大させないための技術開発を強化することが重要であると考えます。それが可能であるという証明を提出しないで勝手なことをいっているといわれれば、そのとおりなのですが、一方、世

界経済の変動要因のなかで炭酸ガス放出制約が占める位置を運命論的に考えるべきということは証明済みなのでありましょうか。私には、経済の動きはそれほどには単純ではないように思えてなりません、どなたかご教授いただければ幸いです。

第三には、資源の有効利用を徹底する観点から、資源のリサイクルを考慮した技術体系を開発利用することが重要です。一旦利用すべく地球から取り出した資源は、採掘時の姿にして返すことができない以上、廃棄物の発生と資源採取に係わる地球へのインパクトを最小にする観点から、設備廃棄の時がきてもこれを構成する要素はできるだけ生産過程にフィードバックする、俗に静脈ネットワークといわれているものを整備し、さらに心臓にあたる再製品化機能を充実して、長く使い続けるようにすべきです。これに発生者責任という概念を適用することには疑問がありますが、リサイクルの責任をどこかに設定することが必要かもしれません。しかし、地球から資源を取り出した産業はこれのリサイクルシステムを組織化することを時代の要請する企業倫理と心得て、新時代に向ってエネルギー技術システムだけでもそうした努力を開始したらどうでしょうか。原子力産業はこの点で高速増殖炉のように資源リサイクルの点から模範となるべき技術を有していることを誇りに思い、その実現に力を注ぐべきです。

第四には、安全な技術、人にやさしい技術を目指すべきです。人々は、例えば車のように年間一万人からの人の命を奪う技術を利用していることからわかるように、ある便益を得るためには幾ばくかの新しい種類のリスク（実は、リスクの減少も重要な便益の要素な

のですが）を覚悟しなければならないことを承知しているのです。しかし、人々は新しい種類のリスクに対しては、事前情報が極めて不十分ですから、専門家がリスクは同じ便益をもたらす技術と同じかそれ以下と評価しても、身近な否定的情報でこれを大きく評価することが知られています。このため、新しい技術の些細なトラブルがこの技術の受け入れに関して重要な決定をもたらしたり、受け入れを遅らせることが起こり得るわけです。従って、人々の選択の幅を狭くしないためにも、新技術は特に安全性を高くして、しかもそのことを実証するなどして参入障壁を低くしていくことが重要です。

また、これに関連して、技術文化の多くの問題が技術に人間の視点が欠落していたことによるという批判があります。その真偽はともかく、これからの技術が人間あるいは社会中心アプローチに基づかないでいいという理由はありません。人間中心アプローチとは、当該技術に係わる全ての人間の利害を調整しつつ設計を進めるという方針です。最近では生産者重視から生活者重視へと振子が振れていますが、こうした二者択一の議論を超える言葉としてもっと使われていい言葉です。しかし、その場合に技術はなにを目指すのかといえ、やはり「人にやさしい」ということではないかと、やや、東洋的とは思いつつ、これからの技術は運転員、使用者のみならず全ての関係ある人々にやさしいものでなくてはならないと、これを目標にすべきと思うのです。

また、人間が社会的、文化的に多様であることを踏まえれば、今後の技術体系はこの多様性を維持できるものであるべきということ

も、もっと主張されていいのではないかと思います。人間の必要性を満たすべきエネルギー利用技術も、まさに人々に使われる技術として、これを様々な社会、文化との相互作用の上に発展させて、この多様性の維持に寄与できるようにすべきであります。このことは、我々がアジア社会のエネルギー生活の向上に寄与することを目指すとき、特に重要になると考えます。資源、技術制約から生まれた文化が技術により制約から開放される結果変質していくことを防ぐべき理由はないのですが、技術を通じてある文化が他の文化を支配する結果、文化の多様性が失われてしまうことは、人類にとって損失である可能性が大きいと考えるからです。

ところで、この多様性を確保するためには、技術システムを開発する際に、それぞれの利用主体と共同してその文化との相互作用を通じて開発していくことが重要です。かつて中間技術や適正技術という概念が特に心ある環境派の人々によってはやされました。この概念は等身大の技術ということであるうちはよかったのですが、途上国向けの技術とされるに及んでターゲットにされた当事者に嫌われ、いまではあまり話題にならなくなりました。これは、こうした分類に属する技術が適当な存在とされたことが差別的と受けとられたこともあったのですが、基本的にはこの概念が、善意からではあったにせよ、外部決定であったことによるとの指摘がなされています。

この観点からどのような技術体系が良いのかについては、このような提案を行ないながら実は必ずしもよくわかっていないのですが、最近では、システムとしては、ローカルな

運動、主張を包摂できる自律分散協調型システム、技術としては、多様なシステムと整合性を確保できるオブジェクト指向技術を目指していくべきと考えています。それがどう実現できるのかはなお不明なのですが。

さらに、これからの不確かな世界に挑戦していく場合に、見えないものを見えるようにしていく技術、例えば、シミュレーション技術や仮想現実感の技術は一層重要な役割を有するようになると思います。特に、温室効果については抑制努力はなされるけれども、地球はいままでにない環境におかれることは間違いないのですから、十分な未来予測とシミュレーションを駆使して新しい時代に備える社会体制が整備されなければならないと考えます。

5. 結論

世界のエネルギー問題を考える上で最大の関心は旧ソ連東欧における環境倫理の確立であり、中国、インド、およびインドネシアのエネルギー政策の動向です。これらの国のエネルギー需給、並びに環境政策の姿がいかに先進的でありうるかが、今後の世界のエネルギー需給が望ましい姿に軟着陸できるかどうかを決定すると言っても過言ではないからです。しかし、そのためには我々先進国が自ら、エネルギー効率の高い社会を実現するとともに、これらの国々の国民福祉の構想とこれを支える技術開発に様々な情報を提供し、これを実現する資源を提供していかなければならないと考えます。それは我々の共通の子孫に対する責任を果たす道であるからです。そうした立場で、我々がいまからなすべきと考えられることを、エネルギー技術開発課題と技術開

発の目指すべきと考えるところに整理してお話申し上げました。終りに、これを追求するための条件を考えてみますと、いま必要なのは二つ。第一には人々にこれまで以上に科学技術への関心をもってもらふこと。そして、こうした科学技術の進歩を支えるのは、リオ宣言によるまでもなく、人々の科学への関心と科学する心を有する若い人々の存在でありますから、このためには、我々にマイクロコスモス並びにマクロコスモスの限りなき神秘を教えてくれる基礎科学研究への投資が決定的

に重要であり、そうした知見に裏付けられた科学教育が推進されなければならないと考えます。そして、第二には、技術を人類の共有財産として開発し使っていく方針というか気概、つまり、持続できる人類の発展を支える技術国際主義というかテクノグローバリズムの確立が重要であると考えます。本研究所がこうした観点からもわが国社会において重要な役割を果たして行かれることを祈念して講演を終らせていただきます。ご静聴ありがとうございます。

【基調講演②】

「化学者から見た 21世紀のエネルギー問題」



北 野 大[※]

おはようございます。本日は、エネルギー総合工学研究所の創立15周年の記念シンポジウムにお招きいただきまして、ありがとうございます。

本日はエネルギーのお話をするシンポジウムなのに、全くエネルギーに関して素人の私がそういうお話をしなくてはいけないということで、ある意味では大変申し訳ないと思っております。私は化学、特に分析化学が専門でして、その分析化学から環境化学のほうへ入っております。そういうことで、エネルギー問題も環境問題の一端として見ているわけなんです。そこで、若干でも接点がきょうのお話の中に見出せればなと思っているわけです。

これから50分ほどお時間をいただいております。大変わかり切った話かもしれませんが、環境問題の歴史みたいところと、現在の環境問題がどんな問題になっているのか、それから、今後どの辺が気をつけなければいけないのか、悪くなる環境問題であろうかというようなことを最初に復習させていただいて、その後に、それじゃ化学の目から見てエネルギーにどんな貢献ができるのかなという、全く思いつきのことを幾つか考えてきました

ので、そんなお話をさせていただこうと思っています。

最初にお詫びで大変申し訳ないんですが、何か場違いな話になるかもしれませんがご容赦いただきたいと思います。

まず、環境問題の歴史ということですが、日本の環境問題を考えるとき、明治10年ぐらゐの足尾銅山の鉱毒事件ぐらゐから、ふれるのがいいのかなという気がします。その後、昭和30年代の四日市周辺の硫黄酸化物による大気汚染ですね。その結果、周辺住民に喘息等の発生がありました。また富山県の神通川流域におけるカドミウム汚染ですね。これは、カドミウムが腎臓障害を引き起こして、結果としてイタイイタイ病が発生したと言われております。それから熊本県の水俣地域における有機水銀による水俣病の発生なんかがあるわけです。

普通、環境問題というのは、5つの段階——地球規模ということではなくて、あくまでローカルという意味で——に分けて私は考えているわけです。一つ目がこの第1段階ですが、都市化、人口の過密化に伴って生ずる問題。人が集中過密化して環境問題が起きてく

※ 財団法人化学品検査協会 企画管理部長

るということになるわけです。ですから、簡単に言えば、なぜ環境問題が起きてくるかといえば、人間的活動、人為的活動が環境の自浄能力を超えた排出等を行うという、そこが環境問題の原点になるんじゃないかと思うわけです。

いずれにしても、第1段階の都市化・人口過密化における環境問題というと、国際的には、失礼ですけど東南アジアなんかには現在よく見られることじゃないかなというふうに思います。

第2段階ですが、工業化に伴って生ずる問題。これが、日本では昭和30年代に急速に工業化して、エネルギー源として化石燃料を燃やす。そのとき硫黄とか窒素酸化物の処理をしないで出してしまったというようなこととか、排水の処理を怠ったというようなことで、いろいろな環境問題が起きてきたわけです。この第2段階の環境問題を通常われわれは公害というふうに考えているわけです。

日本では昭和40年代後半に環境庁ができて、公害防止のための法律が整備されて、今後はかつてのような悲惨な公害病というものはないのではないかなと私は考えております。しかし、公害がすべて解決したかという、そうではありません。

最近、「公害」という言葉がだんだん、消えつつあるんですね。環境庁に国立公害研究所というのがあったんですけど、いまは国立環境研究所になってますし、通産省でいうと、立地公害局という局がついになくなっちゃって環境立地局という名称になっています。東京都の公害研究所も、東京都立環境科学研究所と改称しています。「公害」という言葉を何か、環境とか、環境科学とか、環境技術という言

葉に置き換えています。確かに、水俣病やイタイイタイ病に代表されるようなああいう悲惨な公害というのはこれからは出ないだろうと思います。しかし、公害自体がすでに終わって解決したかという、まだまだそうじゃないといわざるをえません。たとえば、大阪の西淀川の大気汚染の訴訟や、水俣病もいまだに解決していません。

第3段階が、微量有害化学物質による環境問題ということです。PCBやDDTという、こういう合成化学物質による環境の汚染の問題、特に、人為的につくられたものが環境中で分解しないでそのまま残ってしまう問題です。さらに悪いことに、そういうものが魚介類に蓄積し、かつ、食物連鎖を通して鳥や人間に影響してくるという、そんな事例があるわけです。L. カーソンのサイレントスプリングという本は正にこの点を指適した本です。

私は化学の人間ですから、別にPCBを擁護するわけではないんですが、「PCBは悪くない」といつも言うんですね。悪いのは、その性質をロクに調べもしないで使用するといった注意を怠った人間だということをよく言うんですね。

こういう話を自動車会社の方にしましたら、「そうだ、先生、そのとおりだ。自動車は悪くない」と言うんです。「自動車で1万人以上死んでるじゃないか」、「いや、自動車は悪くないんだ、運転者が悪いんだ」というようなことをおっしゃってましたけど、どうも自動車には、正直言って、自動車自体がいくら注意しても避けられない大気汚染の問題とか、振動とか、騒音とかありまして、ちょっとPCBと自動車を同じにするのは私はけしからんなという気がするんですが……。

いずれにしても、第3段階の微量有害化学物質による環境の汚染というのが昭和40年代に出てきたわけです。——従来、第2段階の公害の頃は、工場からの排出、すなわち出ることを抑えればいいということだったんですが、第3段階になると、出るところばかりじゃなくて、製品として正しく使用され、廃棄され、その後に環境問題を起こしたという新しい問題点が出てくるわけです。

第4段階にいきますと、これは現在の環境問題ですが、窒素、リンによる湖沼——特に閉鎖系水域ですね——の富栄養化。その結果、その水を飲料水として使うとか、灌漑に使うとか、または養殖に使うというような場合に、非常に問題が出てきているわけです。この付近ですと霞ヶ浦。あれは豚とか家畜のし尿ももちろん原因になっていますが、そういう窒素、リンによる富栄養化の問題が起きています。

この問題のゆえに、最近非常に飲料水の問題というのがセンシティブになってまして、統計を見てもみると、おおよそ全国で浄水器が400万台売れているそうです。そうすると、7世帯か8世帯に1台浄水器が付いている計算になります。安いものは8,000円か9,000円の蛇口に直接付けるものもあるし、高いものは2~30万円の、逆浸透膜と活性炭を用いたものまであります。またペットボトル入りの水が非常に売れています。

一番売れているのは大阪府だそうです。ちなみに、大阪府の人というのはかわいそうに京都府の人のオシッコを飲んでいるという、そういういい方もあるわけですね。失礼ない方ですが、淀川の水には京都の人の下水処理した水が入っていますので。

第5段階が、非意図的生成物による問題です。これは現在も起きているし、これからも特に注意しなければいけないダイオキシンとかトリハロメタンというようなものです。たとえば、第3段階の微量有害化学物質というのは、化学の人たちが意図して合成したわけです。ところが、第5段階の場合は、ダイオキシン——たとえば昔、ベトナム戦争の枯れ葉剤の中に入っていたと言われているわけですね。その結果、ベトナム、ドクちゃんみたいな奇形の赤ちゃんが生まれてしまったと言われているわけです。正直言って私も、本当に原因となったかどうかはまだよくわからないんですが、含まれていたことは間違いなく事実なんですが、かつてはそういう発生源があったわけです。

現在、日本のダイオキシンの主たる発生源はおそらくゴミの焼却工場じゃないだろうかと思っています。

それから、トリハロメタンですね。これは水道の浄水過程、特に塩素で腐蝕質等を分解する過程でトリハロメタンができてきます。これは発ガン性があると言われています。別に水道局の人たちが意識してトリハロメタンをつくっているわけではなく、水をきれいにしようと思って塩素を入れたらたまたまできてしまったという、非意図的な生成物なわけです。

特にゴミの焼却工場からのダイオキシンの発生については、厚生省は操業条件を厳しくコントロールするということで発生を抑えていこうという手を打っております。

ちなみに、ダイオキシンですと、東京湾のスズキとかボラからも、非常に微量ではあるんですが検出されてます。環境問題を考える

ときに、特に環境モニタリングというのが非常に大事なんです、継続的に測定して、その環境の状況が現在より良くなっているのか、同じなのか、悪くなっているのかという、そこら辺のところの継続調査が絶対必要です。

環境問題の話をしてきましたが、さっきから申し上げてますように、日本では第2段階の公害というのはほぼ克服したんじゃないかと考えています。それから、第3段階の微量有害化学物質については、昭和48年に通産省と厚生省で「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」を作りました。これは世界で最初にできた工業化学物質の事前審査をする法律です。

従来、医薬品とか農業は意図的に、たとえば医薬品ですと、人が摂取するものであります、もちろんお医者さんの管理下ですが。また農業でいえば、意図的にお百姓さんが環境に散布するものであります。それからまた、残留農薬として食物を通して人間の体内に入ってきます。ですから、こういうものについてはかなり厳しい規制というものが行われていたんですが、昭和40年代のPCB汚染、それと、これは事故なんです、カネミライスオイルの事故を契機に、環境経由の安全性——直接人間に及ぼす影響は厚生省、環境に及ぼす影響は環境庁が所管します。しかし、環境を経由して人間の健康に及ぼす影響、これは通産と厚生省の共管になっているんですが、そういう法律をつくったわけです。ですから、工業製品の安全性——毒性と言っているんですが——事前審査制度というのは日本が世界で初めてつくったわけです。

で、PCB類似の物質、要するに、使用されて、環境に出て、環境に残留して、それが

魚介類を通しての食物連鎖を通じて人の健康に害がある、継続的に摂取した場合には人の健康に影響があるもの、われわれは三悪と言いますが、環境で分解しない、環境中で魚介類に高度に蓄積してしまう、それと、継続的に摂取した場合には人の健康に影響がある、こういう3つの悪い面を持ったものは、第1種特定化学物質ということで現在9物質が指定されてます。これらは製造使用が禁止されております。ちなみに、PCBもその第1号というわけですが、一番新しく指定されたのがTBT O（トリ・ブチル・スズのオキサイド）という防汚剤——船底塗料で、船にフジツボなんかが付かなくするように塗るものですが、で合計9種類あるわけです。

このように、第3段階の微量有害化学物質問題に関しては、日本は世界で初めて法律をつくって、それ以来20年、ちょうど今年がまる20年になるんですが、着々と成果を挙げております。

第4段階の水の話ですが、この対策としてはもう下水道の整備なしには無理です。現在、日本の下水道普及率は45%くらいでしょうか、ドイツは90%です、イギリスもそうです、下水道の普及率が50%もいってないということで、下水道の普及——これは公共下水道と、もう一つは合併浄化槽でのどちらかを選択しないといけないんですが、そこがやはり問われているんじゃないかと思うわけです。この場合、特に水源地域、上流地域での下水道の普及が大切です。

こういうことで、簡単に国内的な環境の歴史をお話ししてきたんですが、次に「公害」ということをお話ししたいと思います。今回の衆議院解散の煽りを受けてしまいまして、

環境基本法が流れちゃったんですけど、環境基本法の原案も公害に対しては同じです。

公害対策基本法によりますと、「公害とは事業活動その他の人の活動に伴って生ずる相当範囲にわたる」、この「相当範囲」ですね、そして「……わたる」以下7つあるわけです。

「大気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染、騒音、振動、地盤の沈下及び悪臭によって人の健康又は生活環境に係る被害が生ずることをいう」ということを定義されているわけです。これは、新しい環境基本法の原案でも同じ定義になっており、7つあるので「典型7公害」というような言い方をしています。

この特徴を見ますと、「相当範囲にわたる」、それから「人間活動の結果である」ということが出てくるわけです。それで、「相当範囲にわたる」というのはどの辺までが相当範囲かということで考えますと、たとえば風の害——西新宿に行くと、ビル風が大変です。また日照権みたいなものがこの中に入っていないですね。あれは公害とは言わないのかという

と、一応法律的には「相当範囲にわたる」というものではないということで、日照権とか光の害、それから風の害みたいなものは入っていないわけですね。光の害というのは、夜、電気を煌々とつけて、明るくて寝られないというようなことなんですが、いずれにしても、相当範囲で人為的活動の結果だという、その辺が公害の特徴で、典型7公害ということで定義されているわけです。

ここで「人の健康又は生活環境に係る被害」とあります。「人の健康」というのはいいんですが、「生活環境に係る被害」と言って「環境への被害」という言葉をはっきり書かないんですね。「環境への被害」と書かず、「生活環境に係る被害」だと言っています。生活環境に係るということ、主として人の生活に影響する環境という、そういう意味合いが実はあるんですね。しかし、人と環境——環境問題は特に、人への影響と環境への影響という、常に対でわれわれは考えなければいけないと思います。ヨーロッパ、アメリカでも必ず英

環境問題

(1) 公害

(公害対策基本法)

- ・ 大気の汚染
- ・ 水質の汚濁
- ・ 土壌の汚染
- ・ 騒音
- ・ 振動
- ・ 悪臭
- ・ 地盤沈下

語でMan and his environmentという言い方をしていますが、どうも日本は、正直言って、人の健康がまだまだメーンじゃないのか。この公害対策基本法を見ても、「生活環境に係る被害」、これはあくまでも人間が住んでいる生活環境だという。そのようなことで、これからは少しその辺を変えていく必要があるだろうと思うわけです。

それで、現在のわが国の環境の状況を見るときに、一番簡単な把握の仕方としては環境基準の達成率から見る方法があります。環境基準を達成しているか、達成していないかで環境の状況を見ていくという方法です。「大気、水質、土壌、騒音」という4つの公害については環境基準というものが定められています。環境基準というのはどういうものかという、公害対策基本法の第9条で「人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準」という言い方をしてまして、行政上の努力目標というか、要するに、環境基準を超えたら即、人の健康に影響があるという、そういう閾値とか怨恨値という意味じゃなくて、望ましい基準だというような意味になっているわけです。

よく学校で話しをするんですけど、60点以下を不可とすると、70点以上が良で、80点以上が優でしたかね。そうすると、60点以下を不可とすると、60点というところが一種の怨恨値になって、70点か80点が環境基準みたいな、望ましいということになるのかなという話をするんですが――。

現在、大気汚染では NO_2 、特に大都市部――東京、横浜、大阪圏ですが――におけるディーゼル車による NO_2 の問題というのがまだまだ環境基準をなかなかクリアできていません。クリアできているモニタリングステーションは4割くらいでしょうか。

それから水質汚濁では、閉鎖系水域という、水の入れ換えが少ない湖沼やダムなどのBODなど、要するに生活環境項目がクリアできてないというのが現在の状況になっています。

次に、簡単に地球規模の環境問題をお話ししようと思います。これは先進国の問題と「途上国」の問題に分けられます。開発途上国の問題というのは、まさに人口の急増です。これはもう言うまでもないことで、最近の国連の『人口白書』によるといま地球の人口は55億人ぐらいになっているようで、年間さらに

(2) 地球規模

- ・ CO_2 による温暖化
- ・ CFC によるオゾン層の破壊
- ・ 酸性雨
- ・ 熱帯林の減少
- ・ 砂漠化
- ・ 海洋の汚染
- ・ 野生生物種の減少

9,000万人ぐらい増えているといえます。

途上国でなぜそんなに人口が増えるか。9,000万人ぐらい増えるうちの94%までがたしか途上国だという言い方をしてはいたけど、とにかく圧倒的に、ほとんどと言っていいくらい途上国——東南アジアとか、南アメリカとか、アフリカになるんでしょうか。とにかく途上国でなぜこんなに子供ができてくるかという、いろいろ理由があるようですが、一つはやっぱり衛生状態が悪くて子供を生んでも育たない子供が多い。だから、たくさん生んで元気な子供だけ残すということもあるでしょうし、それから労働力としてやっぱり子供を使うという面もあります。確かに日本でも昭和30年代、私らが子供の頃は子供がかなり労働力として使われたんですが、やっぱりいまの途上国も子供を労働力として使わざるをえない。そのためには男の子が要るわけですね、女ではだめなのです。そうすると、男が生まれるまで一生懸命たくさん子供を生むということにもなります。もう一つは、宗教的なこともあるんでしょうか、避妊というものを認めないというか……。

そういうことで、一概に「君らは子供をつくって、けしからん。子供をつくるのをやめろ」とはやっぱり言えないわけで、われわれ日本人としてできることは、悪い衛生状態を改善していくとか、子供さんを労働力に頼らないでいいような機械化をお手伝いすることになるのでしょうか。宗教のところはちょっと触れられないんじゃないかとも思うわけです。そういうことで、途上国の問題というのが人口の問題であるというのは間違いなことだと思うわけです。

先進国の問題は間違いなく「高度な経済活

動」ということで、「化石燃料」、「化学物質の使用」とかが出てきます。これが地球規模の環境問題というわけです。

これまで、現在の日本では、水質の汚濁または大気の汚染が大きな問題であるとお話をしましたが、今後日本で何が一番大きな環境問題になるだろうかということを——考えてみたいと思います。

その場合、今後10年ぐらい、21世紀初頭、日本の社会はどういう社会になっているだろうかということを考える必要があります。要するに、環境問題というのは社会と切り離せないわけです、そこでまず出てくるのが高齢化です。急激な高齢化であるということで、あと2、30年すると、——どうして65歳以上を老人と言うか私はよく知らないんですが、65歳以上を「老人」というふうに定義しますと、65歳以上の方が4人に1人にぐらいになるんですね。

それから、日本は幸いにエンゲル係数が下がってきて、生活が豊かになってきています。生活が豊かになってくると、余暇時間が増え、レジャーの時間が増えてきます。そして睡眠時間がまた減ってくるんですね。その分、テレビを見る時間が増えたりしてくるわけです。

その他生活が豊かになっていくとグルメ指向になってくるといふのがあるわけです。そうすると、それはとりもなおさず宅配便の増加——産地からの直送便がものすごい数で増加してくるわけです。このように宅配便が増えると間違いなく、個装ですから包装資材が非常に増えてくることになり、そういうグルメ指向が結局ゴミの増加につながっていると言えるわけです。

もう一つは、女性の社会進出というのがこ

れからはやっぱり無視できないということですが。私はできれば女性というのは家にいたほうがいいという亭主関白なところがあるんですが、でも、女性に言わせると、子育てが終われば社会に出たいというわけです。昔の技術を活かしたいとか、もっと切実な深刻な話をすれば、住宅ローンを返す一部にしたいとかいうことなどがあるわけです。

女性の社会進出が増えるとういうことになるかという、まず冷凍食品が増えるんですね。ちょっときょうは細かい数字は持ってきてないんですが、当然、家庭に長くいれば料理にも時間をかける。しかし、社会に出れば当然、時間がなくなる。そうすると、冷凍食品で手軽にやっしてしまうということになります。すると、その結果ゴミが増えることになります。

さらにいうと、先ほどの高齢化とも結びつきますが、女性が社会進出をすると、子供のおむつが紙おむつになってくることになり、非常に増えてきてます。おしめという、私たちが子供の頃はたしかおふくろの洗いざらした浴衣だったと思います、うちの子供の世代になると真っ白なきれいな晒（さらし）のおしめをしていて、いまの赤ちゃんは紙おむつらしいんですが、とにかくそういうことで、やはり生活レベルが上がる、女性の社会進出が増える、高齢化社会になるということなので、非常にゴミが増えてくるという面があるわけです。

それでまず1番目の問題としてゴミの量の増大ということでいま申し上げたんですが、ご承知のように、よく1人・1日1キログラムという言い方をしていますが、これは事業系の廃棄物も入っているから1人1日1キログ

ラムでして、純粹の家庭から言えば、県によって違うんですが、4～500グラムでしょうか。いずれにしても増えていることは間違いないです。2番目の問題が埋め立て地の不足。これは非常に深刻な問題になってきて、東京都、特に23区のほうは東京湾にまた新しい埋め立て地を確保しないといけないということが出てきます。それから三多摩のほうは日の出町がすでにいっぱいになっている。で、また新しい埋め立て地が要るというような問題です。

環境問題すべてに共通する言葉で“NIMBYシンドローム”という言葉があります。

“Not In My Backyard シンドローム”。英語であるぐらいだから、日本人特有とは思わないんですが、Not In My Backyard（うちの裏庭にはいやよ）という“NIMBYシンドローム”というのがあります。ゴミの問題でもそうですが、「ゴミが増えてしょうがないな」、「そうだ」、「じゃ焼却工場をつくれ」、「そうだ、そうだ」と。だけどNIMBY、「うちの裏庭にはつくらないで」なんて言う。

日本のゴミ処理は平均すると7割焼却しているわけですね。アメリカは逆に7割埋めちゃうんです。日本は大体7割焼却して体積を減らしてるんですが、結果的にはまだまだ埋め立て地が不十分だということになってくるわけです。

3番目に、回収される量が少ないということがあります。

それから、4番目に、内容物の問題として非常にプラスチック、紙が多いということです。プラスチックの方からいうと、「そんなに増えていない」という言い方をして怒られるんですが、ゴミの場合、その内容物は重量で

考えるのではなくて量で考える——ポリウムで考える——というのが正しい考え方だと思うわけです。いまの日本のゴミの集め方を見ると、車でガーッと集めていきます。だから、重量比じゃなくてポリウム比、容量比で考えないといけない。そういうことで非常にプラスチックが増えてきています。プラスチックが増えると当然——東京都なんかはプラスチックは燃えないゴミですが、燃やせば熱が高くなる。そうすると、水をまいたり石灰をまいたりして温度を下げなくては行けない。さらには、操業条件を誤ればダイオキシンというものが出てくるということになるわけです。また埋立てても腐食しません。

こういうことが今後のゴミの問題に非常に大きな問題になってくるんですが、どうするかというと、私は「3Rs」といっています。これは意識して自分で考えたつもりなんですけど、笑っちゃうのは——自分で笑っちゃいけないけど——阪大に盛岡先生という方がおられて、その先生は「7つのR」なんて言ってるわけですね。私はReduce, Reuse, Recyclingの3つですけど、その先生はさらにRepair, Refillに何だったか、とにかく何でもRを7つぐらい探してきて「7つのR」なんて言ってます。正直言ってやっぱり3つぐらいが覚えるには適当ですね。というのは、7つなんか覚えられっこないです、はっきり言って。

最初はやっぱりReduce(減らす)。ゴミの問題は基本は減らすんじゃないかなという、これがまず何と云って一番基本だろうというふうに思うわけです。

ただ、減らせといっても非常に難しいので、確かに企業、行政、住民という3つの協力が

なくてはできないんですが、特にRecyclingなんてそうですが、非常に技術的に難しいですね。リサイクル。たとえば、紙の回収・再利用をやるときに、やっぱりわれわれは正直言って、新聞を読むと手が黒くなるのは面白くないです。いやです、だから、使うときは手につかない、汚れない、きれいに印刷されていて、脱墨のときはきれいにパッとインクがはがれちゃうという、そういう技術というのがこれからは要求されます。これは非常に難しいんですね。相反する技術ですから。

プラスチックで言うと、おそらくいろいろな添加剤を混ぜたほうが、またはコポリマーとかブレンドしたほうが強度が出るでしょう。ABSなんていうのはこの種の典型的なものです。しかし、回収・再利用を考えたら、バージン即ち、何も添加していないプラスチックのほうがはるかに回収・再利用がしやすい。そうすると、添加剤を加えない、コポリマーにしない、ブレンドしないということではいかに必要な性能を出すか。非常に難しい技術かなと思うんですが、いずれにしてもこの3つのRが今後の基本ではないかなと思っているわけです。

最後にエネルギー問題ですが、正直言って、ここは私は全く素人ですので自分の思いついたことのみお話しします。二酸化炭素に代表される、現在の地球規模の環境問題、また廃棄物の問題はエネルギーの問題ということで考えられるんじゃないかと思います。特に、CO₂の場合、3つのアプローチがあるのかなと思っているわけです。一つは、CO₂を出さない代替エネルギー、別のエネルギー源を求めていくという方向。もう一つは、CO₂を出したら、それを回収して集めてやればよいじゃ

ないかという、回収して集めるという方向。それから、3番目は、 CO_2 が増えて地球が温まったら人間や生物のほうをそれに慣らせればいいじゃないか、生態系なりわれわれの体を順応、適応させちゃおうじゃないかという、そういう3つのアプローチがあるんだと思うわけです。

私自身は、自然エネルギー、 CO_2 を出さないエネルギーというものをこれからさらに開発していく必要があると思います。これは今更私が言うこともないですが、太陽光、太陽の熱、水力、風力、波力、海水の温度差、潮汐力、地熱という自然エネルギーを使う。これは、エネルギー密度とか定常性の面で必ずしも十分でないので、化石燃料を補完するという位置づけになるのかなと思いますが、こういうものをやはりこれからさらに推進していく。ここはやはり、企業の努力だけでなく、行政が経済的インセンティブを与えるとか、そういう補助金制度——行政によって決しているものではないんですが、やっぱり行政のこの辺の覚悟というか、努力が要るのかなと思うわけです。

特に、私は、太陽エネルギーというものが非常にこれから使うのにいいのかなと思うんですね。後から出てきますが、化学の領域としてエネルギー問題にどういう貢献ができるかなという、おそらくエネルギーを貯蔵するとか、そういう領域で非常に力を発揮できるんじゃないかなと思います。南洋の海に太陽電池を浮かして、そこで強烈な太陽の光で電気を起こして水を電気分解する。そして、その水素をたとえば水素吸蔵合金というような形で貯蔵して、日本へ持ってきて水素エネルギーとして使うというアイデアがありま

す。特に化学ですと、化学エネルギーとして保存していくという話と、もう一つは、さっき申し上げた水素吸蔵合金、さらに言うと、歪化合物の化学エネルギーを利用する方法、この辺はまさに化学の独断場かなと思います。

ノルボルネンみたいな七員環の非常に不安定な化合物があるんですが、これに太陽のエネルギー、光を与えてやる。すると、そのエネルギーをもらって物質が別の形に移るわけです。そしてそれにちょっと触媒を入れてやるとまたもとの形に戻るために、光で吸収したエネルギーを熱で出すという、そういうような仕組みがあるんですが、私自身は、エネルギー問題に対する化学の領域というのはエネルギーを貯蔵して運搬する、そういう面に非常に期待できるのかなとも思うわけです。

話が戻りますが、最初に申し上げたように、 CO_2 の問題で言えば、 CO_2 を出さないとか、ほかのものに置き換えていくという方向、2番目は、出てきたものを集めればいいじゃないかという方向があります。この方向としては国のプロジェクトで、生物的な CO_2 の固定とか化学的な CO_2 の固定というようなことがあり、1990年から大々的な研究をやっているわけです。

これについては、光合成微生物の探索をしていくとか、それからバイオ装置の調査とか、太陽光の集光伝送の要素技術開発とかいろいろあるんですが、私としては、生物的にしても化学的にしても、そのエネルギーはやはり太陽から取るというのが一番いいのではないかなと思います。

いずれにしても、固定化し、さらにできれば、有用なアルコールに還元するというのが非常に期待できるわけで、これも化学の領域

だと思うわけです。

CO₂を固定化して単に集めても、これはどうしようもないですね。それは次の変換するステップであればいいんですが、単に回収して集めておくという話ではなかなか将来的に難しいのかなと思います。

深海に埋めることも考えられてます。確かに、大西洋と太平洋の中の水中の炭酸イオンの濃度を計ると、太平洋のほうが低いんです。大西洋のほうがちょっと高いんです。だから、大西洋の濃度までCO₂を海の中に溶かしていいんじゃないかという議論はあることはあるんですが、ただ、どうかなということです。

もう一つ、二酸化炭素をエタノールアミンでアンモニウム塩として捕集し、その後、ちょっと熱をかけて二酸化炭素を脱離させるという方法もあるんですが、問題はやっぱり、さっきから言っていますように、集めたものをどういうふう処理するんだというところがやっぱり大きな問題になってくるのかなと思うわけです。

最後に、エネルギーの貯蔵、輸送という点に化学の領域、CO₂の還元などに化学の力がお役に立つことがあるのかなと思うんですが、技術のみでは環境問題、エネルギー問題は解決できないと思っています。

福岡県の三井郡——久留米市の隣が三井郡なんです、そこに私と同じ名前の北野町という町がありまして、そこが去年10月にポイ捨て禁止条例というのをつくったんですね。北野町には非常にきれいなコスモスの街道があるんです。そうするとシーズンには皆が集まって来る。集まると必ずゴミの問題が起きてくる。タバコを捨て、ゴミを捨てていく。で、あそこの村井大輔という町長がついに怒

っちゃって、条例をつくったわけです。

ポイ捨て禁止条例というので、違反した人は3万円以下の罰金または何日かの拘留ということになってましたけど、その対象者は「住民等」となってます。「等」には誰が入るかという、移動者、その町を通る人も全部入ってしまうということで、そういう条例をつくったんです。その条例をつくる前とつくった後に私は行ってきたんですけど、確かにものすごくきれいになりました。ゴミ一つ落ちていないのです。

ということで、大変残念なんですけど、やっぱりモラルというものがないと、環境問題は解決がつかないんじゃないかと思うわけです。ゴミの問題でも、減らすということに対しては有料化というのが一つの案として出てくるんですが、税金を取られててまたゴミを処理するのにお金を取るのかという議論があるし、有料化にすると隣の町のゴミが増えてしょうがないということも起きかねません。

千葉市でちょっと変な噂があって、町中粗大ゴミだらけになったとか、東京は有料化したら粗大ゴミが4割減ったということです。タンスにわずか200円出すのがもったいなくて4割も減っちゃったということです。どこへ持って行ったかという、お隣の埼玉とか千葉へ持って行ったというような話があるし、もっと悪い話は、有料化すると駅のゴミ箱が満杯になるだろうという恐れもあります。悪い奥さんがいて、「あなた行ってらっしゃい」なんて言ってゴミ袋を持たして、ダンナがゴミ袋を駅のゴミ箱に捨ててくるという。これは一番みっともないシーンだと私は思いますけど、とにかくゴミを有料化するとそういう不法投棄がふえるという話になって

くるんですけど、やっぱりモラルというものを技術と一緒に向上させないと、エネルギー問題は絶対に解決しないと思うわけです。

そこで、モラルの向上には何をするかというと、最終的にはいま申し上げたような条例をつくるとか、お金を取るとかいうようなことになってくるかとは思いますが、これもやむをえないのではないかと私は最近つくづく思っているわけです。

エネルギーの問題も、ちょっと私も勉強不足でよくは知らないんですが、たとえば鉄道ですと、東京から九州まで1,000キロ行くと、おそらく1キロ当たり12円ぐらいですか。非常に安いですね。ところで山の手線で上野から御徒町へ行ったら200~300mで120円も取られる。ということで、JRなんか長く乗れば乗るほど、遠くへ行けば行くほど、単位距離当たりの料金というのは安くなっています

ね。これとは逆に、水道や、電気は大変厳しいことを言えば、余計使えば使うほど高くなるという、二次曲線みたいなカーブの料金体系にしてやる必要があるんじゃないかと思います。残念ながら、そういうことにもっていかないと、なかなか技術だけでは解決つかないだろうとおもうからです。

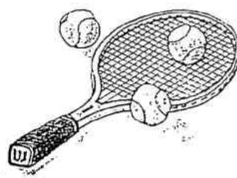
最後ですが、このモラルは、ただ単に現在生きているわれわれのためにのみ必要なものではないことを付け加えなければなりません。今回の地球規模の環境問題というのは、従来の環境問題に比して、空間的、時間的により大きな広がりというものを持っているわけで、その意味でも、次の世代のためにもやっぱりわれわれの時代に、技術とともにモラルの確立というものが要求されているんじゃないだろうかとと思うわけです。

最後に面白い図があったのでコピーしてお

1 Part Per Billion Equals:

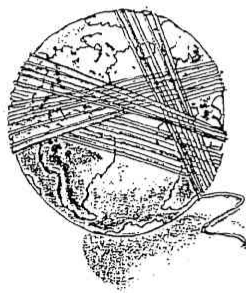


A patch of grass 7.5 millimeters square within an average soccer field.

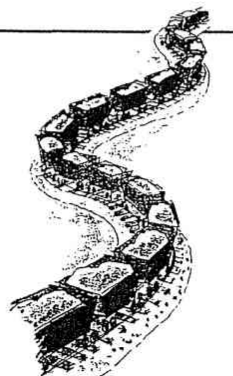


1 lob in 1,200,000 tennis matches.

1 Part Per Trillion Equals:



2.5 centimeters in a piece of string wrapped around the world 600 times.



One grain in 2,000 rail-wagon loads of wheat.

いたんですが、これもまた多少、化学のPRになるんですが、PPMとかPPBとか簡単に言うんですね。「100PPMもあった」と言う。すると、何か100というと3桁ということになって、ものすごい高い濃度みたいに感じられるわけです。「20PPBだよ」も然りです。しかし、PPMとかPPBというのがいかに低い割合であるかをこの図で考えて下さい。

環境問題は化学の貢献なくしては解決できないんですが、たとえばここに出ているParts Per Billion, PPBというのは10億分の1です。10億分の1と簡単に言いますが、これは、あれだけ広いサッカーグラウンドのわずか7.5ミリ四方が1PPBですよというイメージです。それから、120万回のテニスの試合のうちの1回のロブだけ、これが1PPBだということなんですね。

次はPPTという、Parts Per Trillionですが、これはほんとに、紐で地球を600回ぐるぐるゆわえて、そのうちの2.5センチだという。もっと驚くべきことは、2,000両の貨車があっ

て、それに小麦を満杯に積んであって、そのうちの1粒だという。それが1PPTだという。

私も実は分析化学の出身なんですが、自分でも想像できないような、あきれるような濃度をいま分析できているわけです。たとえば、対流圏のフロンなどは100PPTというPPTのオーダーで分析できています。

そういうことで、多少化学のPRをすると、やはり環境がどういう状態にあるかということをもまず見ないといけない。そのためには、もちろん生物的な指標と並んでこういう化学分析というのが必須なんですが、これだけの技術の進歩があって現在の地球の環境状態もかなり詳しくわかるようになってきたということかもしれません。

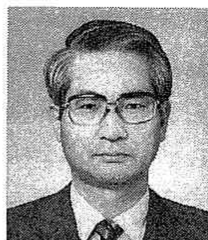
きょうはエネルギーのシンポジウムで、あまりエネルギーに関係ないお話をして大変恐縮だったんですが、とりあえず時間がまいりましたので終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

21世紀社会のエネルギー技術戦略

— エネルギー総合工学研究所中長期ビジョン(平成5年3月改訂)から —

① 中長期ビジョンの概要について

吉 澤 均[※]



それではこれより、中長期ビジョンの概要につきご説明申し上げます。

お手元に配布資料2番目といたしまして、「エネルギー総合工学研究所中長期ビジョン（平成5年3月改訂）」の全文が別刷にてお配りしてございますので、これをご覧いただきながらお聞きいただきたいと思います。

私どもエネルギー総合工学研究所は、昭和53年4月の設立以来、エネルギーの開発、供給、利用などに関する諸問題につきまして技術的側面から総合的に研究を行い、その成果の普及に努めてきたところでございますが、産・学・官各方面からのご支援とご指導のお蔭によりまして、平成5年4月1日をもって設立15周年を迎えることができました。ここに厚く御礼を申し上げます。

当研究所では、設立10周年を迎えようとしておりました昭和62年1月、第1次の中長期ビジョンを作成し、当研究所の昭和62年度以降5年間の想定した調査研究のあり方につきまして明らかに致しました。

今回の中長期ビジョンの改訂は、設立15周年を迎え、さらに一層の発展を期すためには、当研究所設立の原点に立ち帰って、当研究所のあり方を再確認するとともに、今後の5年

間を實力強化と対外展開の時代と位置づけ、対外的に当研究所がいかなる分野の調査研究を重点的に実施しようとしているかを示す必要があるなどの見地から行ったものでございます。

当研究所が年度当初に事業計画の原案を作成するにあたりましては、この中長期ビジョンに示すところを最大限反映させることなどによりまして、その実現達成を図っていく考えでございます。

次に、本文「1. 研究所の位置づけと事業分野」では、当研究所の位置づけとして、「わが国第1のエネルギー工学分野の調査研究機関として、既存の関係研究機関との連携を極力保ちつつ、国や民間の要請にて、先見性に優れた、最高水準の調査研究の成果を提供していくことが必要である。」と位置づけています。

また、当研究所の事業分野といたしましては、(3)に書いてございますけれども、「(a)エネルギー技術データの集積及び評価、(b)エネルギー技術の調査及び開発の方向づけ、(c)エネルギー技術開発の政策及び戦略の提案、(d)エネルギー関連技術の国際交流と普及啓発活動」などを意欲的に展開したいとしています。

※ ㈱エネルギー総合工学研究所 専務理事

本文「2. 各エネルギー分野の研究戦略と重点研究テーマ」についてお話を申し上げます。「(2)重点研究テーマ」につきましては、次のように書いています。

「21世紀社会は、人口の増加、地球環境条件の悪化、資源エネルギーの枯渇、食糧欠乏など急速に顕在化する文明の課題に対して、人類が技術と情報を手段として、全力を挙げて立ち向かうことが迫られている。このような21世紀社会におけるエネルギー技術は、エネルギーの安定的な確保、地球環境問題への対応、エネルギーの効率的利用、廃棄物の処理、リサイクルの確立など、内外の諸課題に対して有効な解決策を与えることを求められている。」としています。

7ページ以降に示します「別表1」の表は、このような認識に立ち、平成5年度以降の5年間に おきまして、当研究所が取り組むことが適当かつ必要と考えられる各エネルギー分野の研究テーマ及び横断的研究テーマの例を示したものであります。

次に、本文「3. 調査研究事業の展開」以降は、この中長期ビジョン推進のための方策につき各項目を記述しております。「3. 調査研究事業の展開」から6ページの「7. 中長期ビジョン推進のための調査研究基盤の確立強化」がこのくだりであります。

「3. 調査研究事業の展開」では、受託研究事業と自主研究の最適組み合わせ、受託研究事業の拡大、自主研究事業の充実と対外提言機能の強化、大学及び関連研究機関との連携強化などを挙げています。

また、「4. エネルギーデータベースの抜本的再構築とエネルギー技術情報センターの拡充強化」におきましては、「真に調査研究の根

拠となり、外部への指導、助言、政策提言の枠組み形成を支援し得るようなエネルギーデータベースを保有し得るよう、外部データベースとの連携を含め、その抜本的再構築を行う」としています。これは、私どもが現在持っておりますデータベースがいまだ必ずしも十分なものではないという強い反省に立ちまして、このような方向を示しているわけです。

5ページ以降、「5. 成果普及事業の対外活動の強化」、「6. 国際交流協力並びに国際的研究活動の活発化」ということで、今後、対外的な展開を一層拡充していきたいとの方向を示しています。

「7. 中長期ビジョン推進のための調査研究基盤の確立強化」では、資金の確保、要員の確保、調査研究協力者及び賛助会員各社との連携の強化などに触れてございます。

次に、7ページの「別表第1 当研究所が今後取り組むべき重点研究テーマ例」につきまして、ご説明を申し上げます。

7ページにまず表の注が5つございます。

(注1)は8ページ以降の表は「当研究所が今後取り組むことが適当かつ必要であると考えられる研究テーマの例」を挙げており、これらの研究テーマをすべて5年間で実施するという主旨ではない旨述べています。こういうテーマを挙げまして、外部からの受託及び自己資金による自主研究の組み合わせにより実施していきたいという主旨であります。

(注2)は、「研究ニーズが極めて高く、当研究所として重点的に取り組むべき研究テーマを◎を付して示している。」旨述べています。

(注3)は、表が短期的課題、長期的課題、そ

して左のほうにすでに着手している研究テーマの欄と分かれておりますけれども、その中で短期的課題として取り組むべき研究テーマ」には、①技術的、社会的情勢から見て、この数年内に研究成果を出すことが必要と考えられる研究テーマ、②技術開発の経緯などから見て、次の段階として実施すべき研究テーマなどを挙げてございます。

(注4)として、「長期的課題として取り組むべ

き研究テーマ」には①今直ちに着手する必要があるが、技術体系が大きいなどの事由により長期にわたり実施する必要がある研究テーマ、②研究開発の初期段階もしくは構想段階にある研究テーマなどを挙げています。

以降、各分野の技術戦略につきましてそれぞれ担当部長からご報告をすることとさせていただきます。

② 原子力の今後の動向と技術戦略

松 井 一 秋[※]



私に与えられたテーマは「原子力の今後の動向と技術戦略」ということでそのテーマに関係するキーワードを選んでみました（図一参照）。

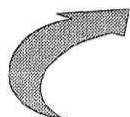
北野先生のお話によれば三つのキーワードであればほんとうはよかったのですが、四つあります。第1番目は「色あせたバラ色の夢？」しかし、後ろにクエスチョンマークをつけております。こんな事を言いますと、原子力関係者からは「おまえは裏切り者か」という叱責を当然私は受けざるをえないかと思

いますし、またその反対に、いわゆるエンバイロメンタリストとかグリーンピースっぽい方々、あるいはそれに同調的な方々からは、「何言ってるの。当然じゃないの」という事になるのはでないかなと思います。

第2番目のキーワードは、原子力技術はいわゆる巨大技術のオールドボーイ、要するに、昔よりかなり先駆的な巨大技術の代表選手であったということであります。それはどういう意味かと申しますと、いままでに莫大な累積投資——お金だけではなくて、人的資源も

21世紀社会のエネルギー技術戦略を探る

- * 色あせた薔薇色の夢？
- * 巨大技術のオールドボーイ（莫大な累積投資と波及効果）
- * 社会経済情勢の変化に鈍感、敏感？
- * 国際的連携、協力、援助の元祖



図一1 原子力の今後の動向と技術戦略関連キーワード

※ ㈱エネルギー総合工学研究所プロジェクト試験研究部部长（原子力担当）

注ぎ込んできているということと、それに伴いまして、多大の波及効果をすでもたらしているということでもあります。

3番目のキーワードは、原子力開発そのものは社会や経済の情勢の変化に対して鈍感なのか、敏感なのか。これもクエスチョンマークをつけておりまして、他の科学技術の分野でもそうでしょうが、原子力の開発そのものが、どちらかという技術開発という側面だけでとらえることができなくなってしまっている。午前中の近藤先生のお話でも、その技術という側面だけでとらえることができなくなったというお話がありましたが、もはや原子力開発そのものは政治問題であり、社会的な技術という側面を持ってきてしまっている。しかし、反面、それは原子力技術が成熟してしまっているということを表しております。

4番目のキーワードは、これは我田引水になるのかもしれませんが、原子力技術というのは国際的な連携、協力、援助の元祖であるという側面があると思います。これは、一例で言えば、50年代のアトムス・フォー・ピースから始まっていると言えるし、しかし、反面、例の核不拡散の問題、核兵器の移転問題というややこしい問題を含んでいる訳であります。こんな具合に、四つのキーワードがあるのではないのかなと思って選んでみました。

ところで、21世紀の技術というものは、単に技術だけでおさまる話ではなくなってきているということでもあります。では、その21世紀に向けて、社会というものはどんなふうにして変化してきているのか。次に挙げている三つのポイント——これは偶然の一致で三つ

になっております——は、もうすでにいま顕著になっている事柄であり、なおかつ、21世紀においても、少なくとも当初は認められるような変化であろうかと思えます。

1番目は、個々人の価値観の多様化であります。また、それが許されるような社会になってきているということでもあります。

第2番目は、特にわが国あるいは先進国におきまして、社会的目標の喪失あるいはその不透明化ということが言われております。これは、まだ大昔の話で言えば、たとえば“富国強兵”だの、“生めよ増やせよ”だの、あるいは“追いつき追い越せ”だのといったような標語が一般的に通用する、そういった時代ではない。もうこれらのことは完全に死語である。辞典に載っているような世界になってきている。このような、一般的な社会的目標が存在しにくい、そして、成立しない世の中になっていく。多様化した社会になってきているという意味で1番目と同根の話であり、特に先進国とわが国におきまして、豊かさがある程度実現されてきてしまっているということに起因すると考えることができます。

しかし、これは先進国にとってはそうありますが、地球上の人類の7割か8割を占める途上国の人たち、まだやっとな食うことができるかどうかという人たちにとってはこれは事実ではない。そこをわれわれは勘違いしてはいけない、傲慢になってはいけないと思います。

3番目は「地球環境問題意識の向上」。これも豊かさからくる余裕から生まれたものだと言うこともできます。地球環境問題の意識の向上に伴い、原子力開発に対しても、一義的にそれは必要なことであるとか、当然のこと

であるというふうには見ない、見ることを必要としない土壌が醸成されつつある、あるいは恣意的に作られているというような社会環境であると見ていいかもしれません。しかし、これまた、豊かさ——われわれが食うには困らなくなっている、しかし、それは地球全体の人間にとってみれば、まだまだわずかなポーションを占める人たちにとってのみ有効な議論であるということを忘れてはいけないかと思います。われわれは今日現在ここにおいて、日本という豊かな国において、こういう社会の情勢の変化というものを踏まえた上で、それに相応する技術、エネルギーというものを考えていかなければいけないということを申し上げたいと思います。

さてそこで、言わずもがなであります、何でもたと言われる方が相当部分かもしれませんが、もう一度原子力エネルギーというものを、いま申し上げたようなコンセプトの中でその特質を考えてみたらどうかと思います。

そこで、五つのポイントを取り上げました。

1 番目は、原子力そのものは、発生するそのエネルギーコストが持つ資源価格に影響されない。これは大きな特質であります。1973年の石油危機のときにわれわれが経験したオイルショック、石油価格の高騰に相当振り回されたということを思い浮かべてみますと、この原子力というのは資源価格——ウランの値段に代表されますが——に、実際の発電コストはそうは大きくは影響されないという特質があります。それはどうしてかといいますと、資源のエネルギー密度が非常に高い。ごく少量のものであって大量のエネルギーが出る。少量のものであって大量のエネルギーを

作り、少量の廃棄物しか出さないという特徴をもっているからであり、すなわち、原子力技術そのものが技術集約型のエネルギーである、科学技術集約そのもののエネルギー発生形態であるということでもあります。

2 番目は、リサイクルにより安定的な大量エネルギーの供給が可能であるということです。これはプルトニウム利用、高速増殖炉の実用化によって達成されることでありますが、今後、資源の全体の有効利用及び廃棄物の二次利用もしていかなければいけないという観点から見ても有効な特質であろうと確信いたします。

3 番目は、低リスク、低コストの廃棄物管理が可能であるということです。これは、一般に言われておりますように、原子力開発における、高レベル廃棄物——高レベルと申しますと一番ややこしいところの廃棄物ですが、これの処分問題が解決されてないではないかという議論があり得るかと思いますが、技術的にいいますと、その処理処分を中心とする管理は可能であり、しかもそれが許容できるような範囲でのリスクであり、なおかつ許容できるようなコストの範囲ででき得る技術的な保証はもうすでにある、可能であるということです。世の中のほかの技術を見ましても、普遍的な技術と申しまして、低リスクであること及び低コストであることが、少なくとも科学的には立証されているというのは希有の例であると思います。

4 番目は、言わずもがなですが、本質的に地球環境にやさしいということです。5 番目は、すでに十分な実績があるということです。これは、先ほどの近藤先生のお話によると、世界でエネルギーの供給全体の内 6 % ぐら

い、を供給している。——何の統計かちょっと忘れましたけれども——すなわち世界の発電のうちの1割ぐらゐは原子力によってまかなわれているという実績があり、また、安全性及び経済性についてもそれ相応の実績があります。たとえばチェルノブイリ等の事故がありましたも、リスクという観点から見れば許容できる範囲の安全性は十分に証明されつつあると思います。

当研究所の中長期ビジョンでは、今後、当研究所の方向性として、21世紀へのエネルギー技術は次の課題に応えなければいけないということで図-2に示すように4項目挙げてみました。これも近藤先生のお話や北野先生のお話にもありましたように、エネルギーの安定的確保、地球環境問題への対応、エネルギーの効率的利用、廃棄物マネジメント・リサイクルの確立という4課題を提起しております。

このうち、1番目と2番目はエネルギー技術オプションの中で原子力オプションそのもの

のと言っても過言ではないかと思ひます。しかし、ここで一言お断りしておきたいのは、何も他の技術オプションを排除するものではありません。他のエネルギーである石炭だの太陽エネルギーなどについて悪口を言っているつもりはありません。原子力のオプションそのものがこの1番目と2番目の課題に対して応えることができるのだということを言っております。

3番目は、エネルギーの効率的利用であり、結局、安全で低コスト・リスクのエネルギー源である原子力エネルギーの用途拡大という課題ととらえられます。原子力関係のほうでもその熱利用システムの検討というものがされておりまして、これはいろいろ先端的に、あるいは波及的な効果をもたらす可能性があると思ひます。

4番目の廃棄物及びリサイクルの観点であります。これは、先ほど申し上げましたように、プルトニウムの利用及びそれに伴う高速増殖炉の実用化により有用なエネルギー資

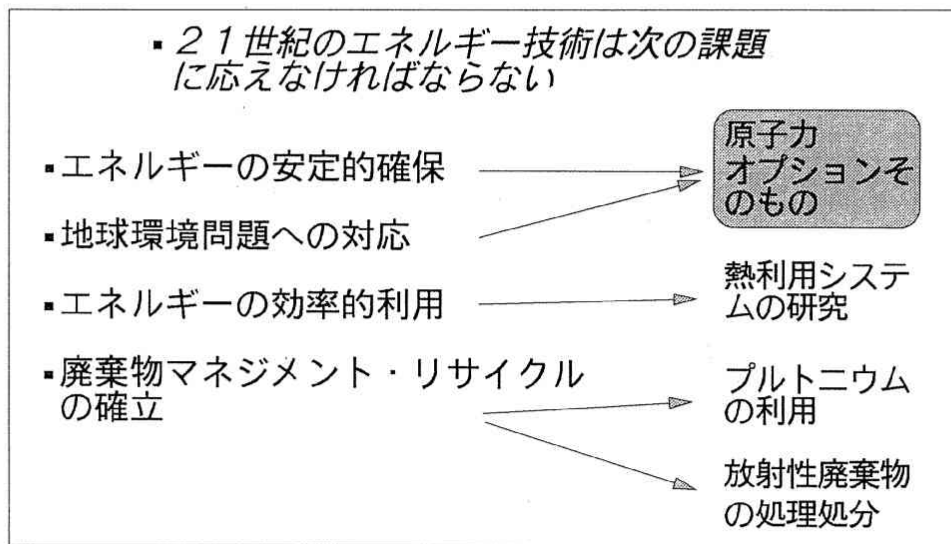


図-2 重点研究テーマ

源のリサイクリングというものが可能になります。また、廃棄物の処理処分によって廃棄物のマネジメントが完結する。それは、われわれの手の中にある技術であると言えます。さらに、この放射性廃棄物管理の原則、思想は、地球環境保全に対して有用かつ先駆的なものであり、今後の実践に向けて参照すべきものであります。

さて、われわれの研究所は本日が15周年記念ということですが、15年前というか、私自身がこの研究所へ参画いたしましたのは14年前からなのですが、当研究所がまだ所員が4人とか5人のときから実施してきており、重点をおいていたテーマが幾つかあり、その中で、原子力については原子力の安全性についての研究がありました。

ここに挙げてあります——またこれは4項目なのですが——この4項目すべてを当初からやっていたわけではありませんが、現在まで、少なくともこういうことの幾分かをやっておりますし、また今後も発展的に続けていかなければならないかと思っております項目を挙げてみました（図－3 参照）。

1 番目は、原子力安全を巡ります公衆の意

識の継続的な調査と分析。これも、単なる調査に終わらずに、当方、あるいはその他の方々が思っておられる仮説の検討の場として活かしていくことがあり得るのではないかなと思っております。

2 番目がリスクコミュニケーションの方策。これも、何も手段として人々を強引に説得するというやり方を探るという方向ではなくて、本当にリスクというものについての意見、情報を交換という、そういうものを通じて相互に影響し合うような方法論というものを考えていかなければいけないのではないかと思います。

3 番目は、原子力施設の社会的な安全目標。技術的な安全目標は、そのものはある意味では技術的なセンスで考えればよろしいのかもしれませんが、社会的には、単に技術的な安全だけでは納得されない向きもありますので、社会的な安全目標というものを考えなければいけない。そして、さらにリスク管理、どうやって、どんなふうにしていけばリスクを少なくすることができるのかということについても考えていかなければいけないと思います。

- 原子力安全を巡る公衆の意識の継続的調査と分析
- リスクコミュニケーションの方策
- 原子力施設の社会的な安全目標とリスク管理の在り方
- 各種エネルギーシステムの環境と健康リスク、社会的コストの定量的比較分析

図－3 原子力安全研究の方向性

4 番目は、これも当初からやっております各種エネルギーシステムの環境と健康リスク、社会的コストの定量的比較分析。これは何もまた他エネルギー源の揚足をとろうという気はありません。しかし、特に先進国においてはエネルギーの選択肢が増えているわけで、その中でどの選択肢をとればいいのかというときに、ある程度定量的なデータ、情報というものを提供して選択していく、そういうことに役に立つのではないかと考えております。

次に、やはり当研究所が設立当初より取り組んでいて、なおかつ、今後ともというか、時代あるいは時間の流れに伴ってわれわれの果たすべき役割が少しずつ変わってきている、当然変わっていかざるを得ないわけですが、そのような、テーマである、放射性廃棄物の問題であります。ここでは、高レベルの問題とTRU廃棄物の問題の二つを取り上げております（図－4 参照）。

放射性廃棄物というのは、低レベルとか一

—ご専門でない方々は「一体何の話をしているんだ」と言われるかもしれませんが、低というのは放射性が少し薄いもので、実際、もうすでに青森の六ヶ所村で処分——中間貯蔵と言っていたかもしれませんが——の実施が始まっているものであり、今後、高レベル及びTRUの処分実施が取り上げるべき課題として残っております。

高レベルにつきましては、われわれの認識は、これは研究開発というのはいままでずいぶん長い間やってきておりますし、また今後とも研究開発は必要であります、この時点より、研究開発から実施への移行の段階に踏み入っていると考えます。それに向けて、実施に向けての新しい研究開発の計画の確立、並びに、処分概念の構築というものが必須であろうと考えております。TRU廃棄物におきましては、まだあまりイシューにはなっておりませんが、時間制約の面から考えますと、高レベルよりもかなり時間的な制約がきついんじゃないかと思います。

■高レベル放射性廃棄物

- 研究開発から実施への移行の段階
- 新しい研究開発計画の確立および処分概念の構築が必要

■TRU廃棄物

- 処分法の確立

■社会的条件の変化（21世紀へ向け て）

- PAからPDへ（Public Decision）
- 環境問題と価値観の変化
- コミュニケーションと情報伝達

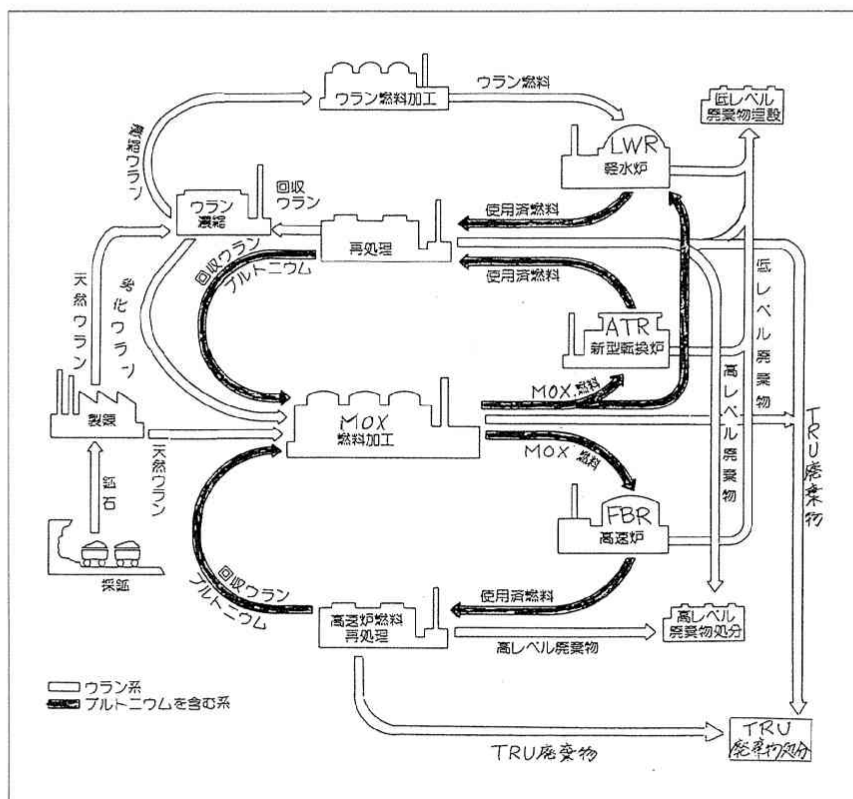
図－4 高レベルおよびTRU廃棄物

廃棄物の問題については、社会的な情勢の変化、人々の考え方というものに非常に鋭敏でありますので、ここで21世紀へ向けてのこういうことを再掲してみました。

プルトニウムにつきましては、高速増殖炉の開発と非常にリンクしているわけですが、これが資源の有効利用及び廃棄物のミニマム化といったこととの関連においても非常に重

- ウラン資源利用効率の高い高速増殖炉
- プルサーマルとATRによる核燃料リサイクル技術の開発と確立
- プルトニウム利用への視点
 - リスクミニマムなリサイクルシステム
 - 国内的認知（PP、PA、国内輸送）
 - 国際的認知（NPT、利用技術の透明化と国際協力、海外輸送）

図－5 プルトニウムの利用



図－6 原子力燃料サイクル

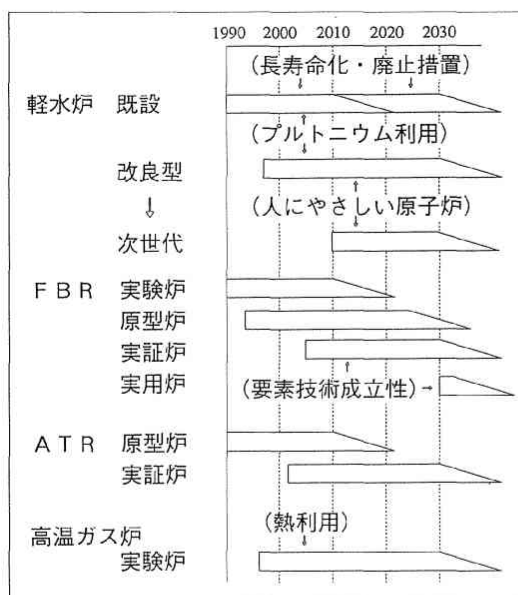
要なテーマであり、なおかつ、コントラバーシカルな議論ではありますが、これれもぜひ追求していかなければいけない課題であると思っております（図一5，図一6参照）。

次に、関係者にとっては陳腐なことになりますが、わが国が公式にとっております炉型戦略であります。軽水炉の発展改良型があり、高速増殖炉（FBR）があつて、新型転換炉（ATR）などと、炉型としてはこのようなのがあります（図一7参照）。

これを見ていただいてもわかりますように、それらの概ねのものが実際に実用化というか、実現されるのは、すべて21世紀になるものと思われまして、高レベル廃棄物の処分も2030年前後の話であろうと思いますので、われわれの取り上げていかなければいけない課題は、そのものが21世紀への課題であるというふうに考えてよろしいかと思ひます。

原子力の分野におきまして、少なくともわれわれにとりましては、このように技術的な課題の多くはすでに設定済であり、大きく分けますと、その中で重大課題を取り上げれば、プルトニウム利用及びその高速増殖炉開発の実用化と廃棄物の処理処分の実施、この二つに尽きるかと思ひます。しかし、技術的な面で見れば、その両者については相当の目安がついておりまして、実際には社会環境の変化に調和しつつ、より経済的で比較優位な技術を開発していかなければいけない、といった意味で、たとえば新型の高速炉における要素技術の成立性の検討などというテーマを掲げております。

いずれにしても、原子力の技術開発におきましては、万能かつ即効的な処方箋はありません。



炉型／重点項目	調査研究内容
軽水炉	
長寿命化	経年劣化、寿命評価、定検、基準
廃止措置	シナリオ(物量評価等)、法手続き、再利用、廃炉容易化
人にやさしい原子炉	運転・保守作業員へのやさしさ、地域共生、地球環境へのやさしさ等の検討
FBR	
要素技術成立性評価	大出力炉心、TRU消滅炉心、固有安全炉心、2重管SG、ダクトレス集合体、電磁ポンプ、燃料取扱システム
熱利用	核熱利用技術及び熱輸送基盤技術調査、エコエネ都市システム（ニューサンシャイン計画）

図一7 日本の炉型と当研究所の重点課題

しかし、また一方、グローバルな視点に立ちますと、最初に申し上げましたように、原子力がいいか、何かがいいかといった選択が持てるのは先進国だけです。というの

は、石油を買うお金はある、何かほかのエネルギーの技術を開発するお金があるといった意味でも余裕を持っているのは先進国のみであります。21世紀の人々がどうやって必要なエネルギーを確保していくかということについて、現代生きているわれわれ、特に比較的

豊かと言われている日本に住んでいるわれわれは、原子力開発のスローダウンと言ったような無責任なことを言っているわけにはいかないというメッセージでもって私の話を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

③化石燃料の今後の動向と技術戦略



片 山 優久雄[※]

1. はじめに

創立15周年に際し、化石燃料研究グループの今後の研究活動の方向性と重点研究分野についてご理解しやすいよう、以下のように項目別に整理し、紹介いたします。

2. 化石燃料資源

2.1 化石燃料資源の現状と将来動向

1987年の世界の総エネルギー消費の75%を

化石燃料が占めており、他に原子力や水力等による発電と開発途上国における薪炭などに代表されるバイオマス利用があります。(表-1参照、バイオマスの利用は、先進国を含めた世界全体では14%となっている)。

表-2に示すように化石燃料は膨大な資源量を有しておりますが、有限な量のために個人エネルギー消費の伸びと人口の増大(1990年50億人超、2050年100億人超と予測)によって、近い将来枯渇する運命にあると言えます。

表-1 1987年における世界のエネルギー消費実態

[単位: 10^{18} joule]

	先進工業国	開発途上国	世界計
石 油	96(37%)	32(23%)	129(32%)
石 炭	66(25%)	39(28%)	105(26%)
天然ガス	59(23%)	10(7%)	69(17%)
バイオマス*	7(3%)	48(35%)	55(14%)
水 力	16(6%)	7(6%)	23(6%)
原 子 力	17(6%)	1(1%)	18(5%)
エネルギー消費計	262(100%)	137(100%)	399(100%)
エネルギー消費比率(%)	66	34	100
人 口 (億)	12	38	50
人口比率(%)	24	76	100

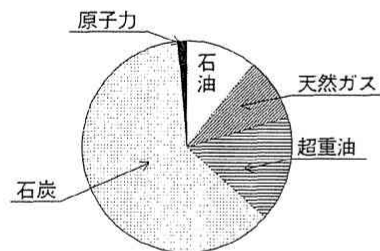
(注): 1トンの乾燥バイオマス = 15×10^9 joule

※ 財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部部長 (化石燃料担当)

表－2 エネルギー資源の確認可採埋蔵量

	資 源 量 (石油換算：億ﾄﾝ)	比 率 (%)
石 油	1,313	10.8
天然ガス	1,189	9.7
超重油 *	1,968	16.1
石 炭	7,565	61.9
原 子 力	183	1.5
合 計	12,218	100.0

注) *: オイルサンド、オイルシェール等の重質油



1987年度の確認可採埋蔵量を同年の生産量で割る可採年数は、165年となっております。今後、採掘技術の進歩によって可採埋蔵量の増加は十分考慮できますが、個人エネルギー消費の伸びと人口増加の伴う伸びが増加分を食う形となり、22世紀中には化石燃料の枯渇を迎えるであろうと思われます。

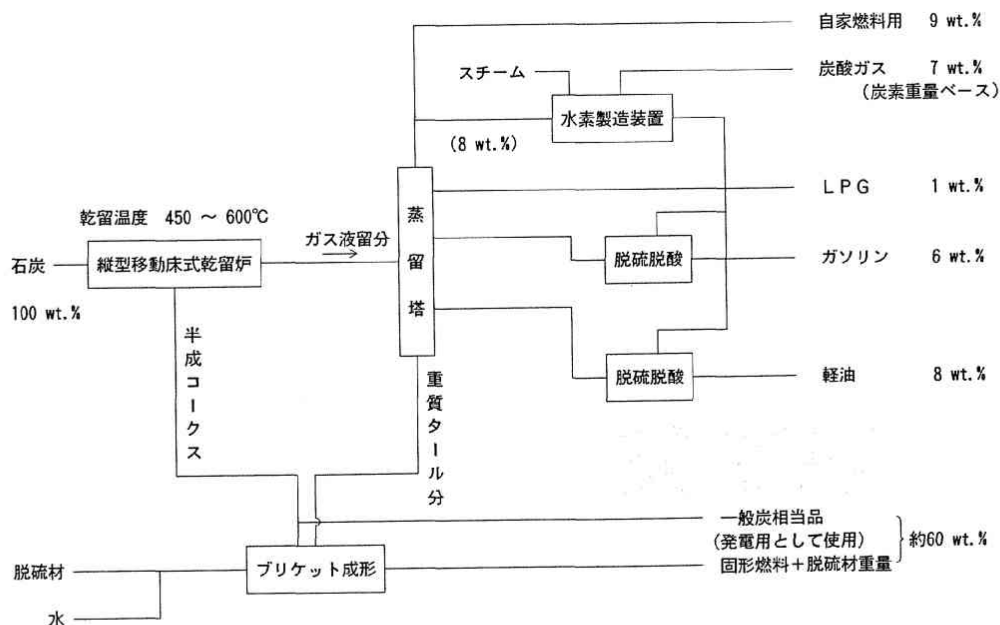
さらに、化石燃料資源の利用は、硫黄酸化物、窒素酸化物、炭酸ガス等を多量に排出し、長年にわたって地球環境を蝕んできており、現在、そのツケが重くのしかかってきております。このように、化石燃料を巡る将来は暗澹としており、限られた資源を有効且つ、環境保全を図りながら、有効に活用できるかぎり長く利用するために、各種技術開発が進められております。

2.2 化石燃料資源問題における重点研究分野

化石燃料資源は、限られた量のため、枯渇

の危機にひんしております。そこで、現在炭酸ガスの含有量が15%以上と多いために未利用の天然ガス田や、LNG化に不向きな若干規模の小さな天然ガス田を活用する方策としてのメタノール化・軽質油化（フィッシャー・トロプシュ合成）による液体燃料化プロジェクトを推進させるための基礎調査の実施や、更なる燃料資源確保の可能性を求めて、現在継続中の非在来型天然ガス資源としての、①石炭層メタンガス（CBMとも言う）、②メタンハイドレート、③地球深層天然ガスなどの資源量予測や、開発技術に関する調査を継続して行うことが今後とも必要であります。

また、資源量として最大規模の石炭の内、現在利用があまり進展していない褐炭や亜炭を有効利用するシステムの開発（一例として、低温熱分解し有用な軽質油留分と一般炭相当の残渣を得る方法）等の研究などを押し進めたいと考えております（図－1参照）。



図－１ 石炭の乾留液化プロセスの概要

３．化石燃料の利用技術と環境保全技術における重点研究分野

３.１ 化石燃料の利用技術における重点研究分野

限られた化石燃料資源を有効に利用するためには、熱エネルギーの高効率利用技術の開発や多段階利用など高度の技術開発が進められようとしております。石油燃料関係でも石油精製設備を根本的に見直し、今までの精製概念を打ち破る省エネルギー・少環境汚染を実現できる未来型の製油設備についての基礎調査への参画や、MTBEに端を発する含酸素自動車用燃料についての調査を継続するとともに、今まで石油として有効利用されずにきた超重質油（石油減圧残渣油、タールサンド、オリノコタール等）の有効利用技術に関しては、下記の項目についての基礎研究が現在、三井造船株式会社、佐竹技研株式会社、東洋エンジニアリング株式会社、ニッタ株式会社等で進展中であり、今後は当該技術の発展性に

についての調査を進めたいと考えております。

- ①超重質油（含アスファルト）のエマルジョン化（Oil in Water Type, Water in Oil Type）技術の確立（図－２，図－３参照）

エマルジョン化のメリット

→低NO_x化燃焼

O/W型エマルジョン化→可燃性の向上

- ②Water in Oil Typeエマルジョン化による燃焼性の改善（図－４参照）

- ③Ca含有Water in Oil Typeエマルジョン化による炉内脱硫率の向上研究（図－５参照）

このエマルジョン化の他に超重油の軽質化（ガソリン・灯・軽油の製造やメタノール製造等）についても検討を行うつもりであります。

３.２ 環境保全技術における重点研究分野

石炭は強いガス吸着能を有しており、石炭化の過程で生成したメタンは石炭に吸着され

O/W型エマルジョン

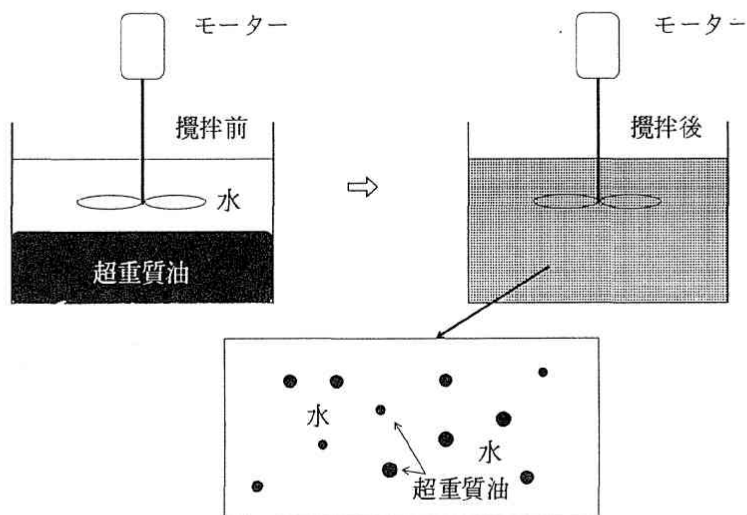


図-2 O/W型エマルジョンの生成過程

W/O型エマルジョン

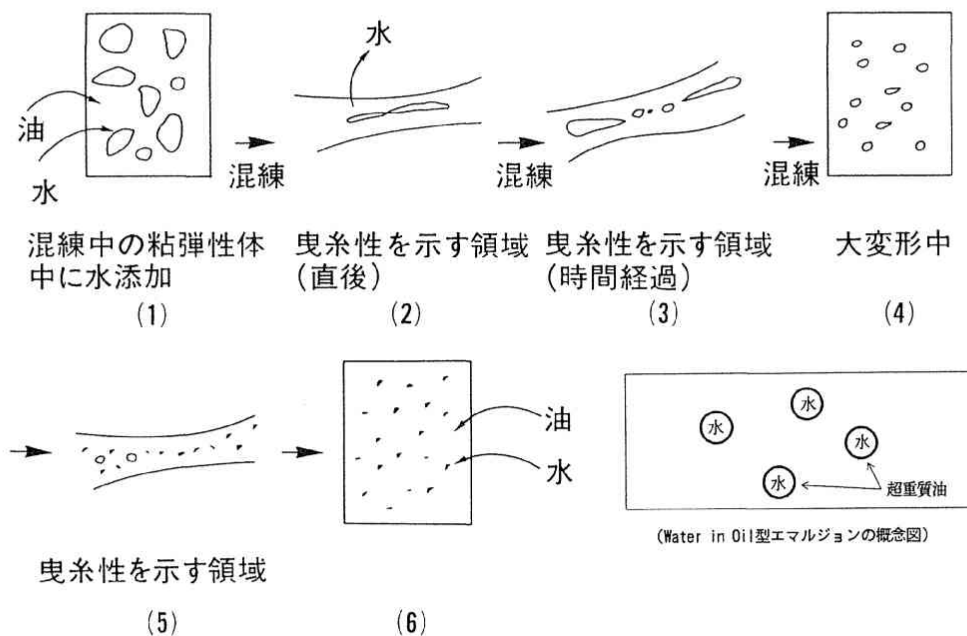


図-3 W/O型エマルジョンの生成過程

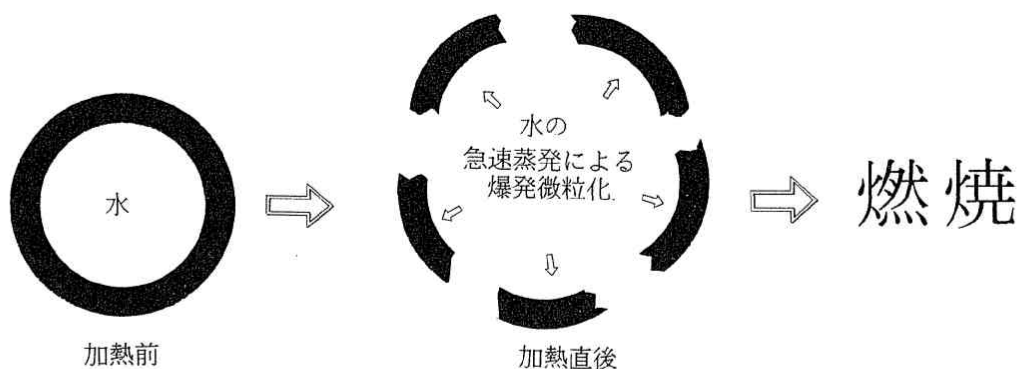


図-4 W/O型エマルジョンの燃焼概念図

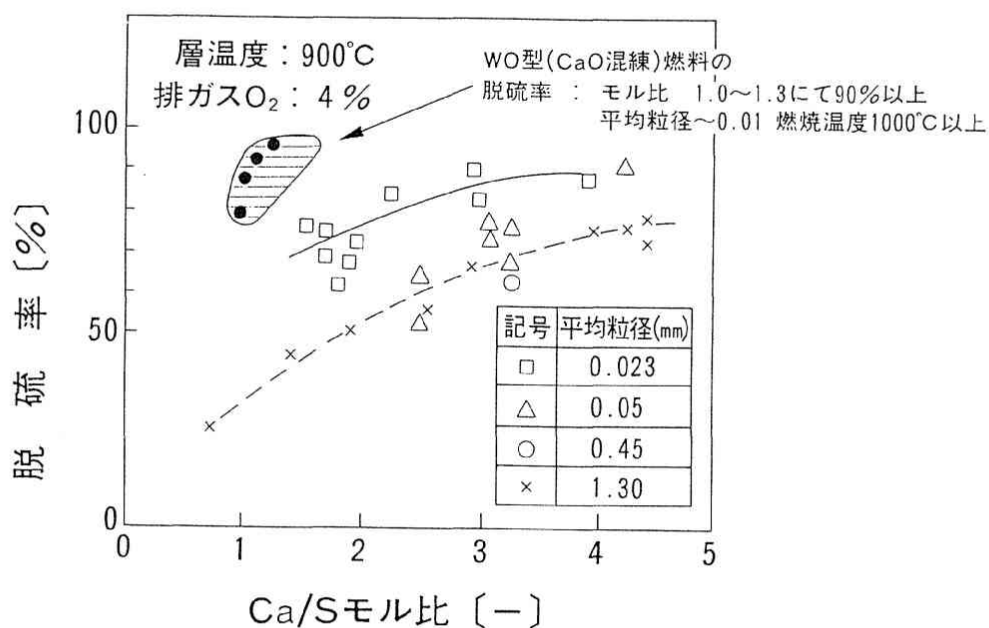


図-5 W/O型エマルジョンの脱硫率改善

て石炭層中にトラップされておりCBMとして一部で利用されております。(石炭のメタンガス吸着量と深度・炭化度の関係を図-6に示す)とりわけ炭酸ガスの石炭への吸着エネルギーは圧力5 kg/cm²で、メタンの50~150ジュール/kgに比べ70,000~100,000ジュール/kgと非常に大きく、メタンより吸着され易いことがわかります。石炭層の深度と炭質にも

よりますが、石炭1トン当たり50~1,000kgの炭酸ガスを吸着する能力を持っております。石炭に炭酸ガスを吸着させますと、今まで吸着していたメタンを放出するためCBMの回収が効率よく行える(吸着メタンの75%以上が回収可能)とともに、炭酸ガスの地中処分が一度に行える可能性を有しております(図-7, 図-8 参照)。

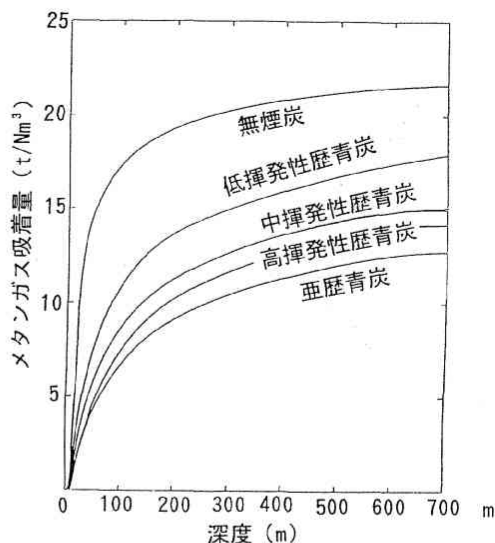
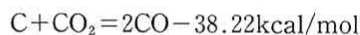
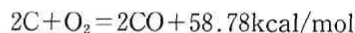


図-6 石炭のメタン吸着量と深度・炭化度

さらに将来の石炭の地下ガス化においては、次のガス化主反応を考慮すると、

ガス化反応 1 (酸化反応)



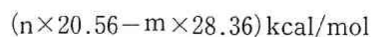
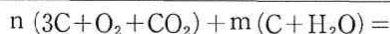
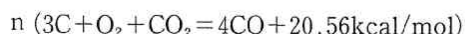
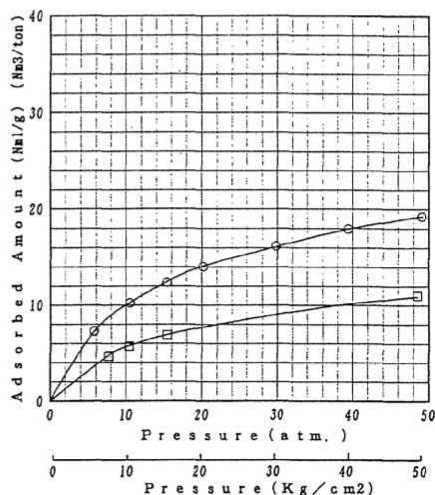
ガス化反応 2 (水性ガス化反応)

石炭への CH_4 高压ガス吸着量 (25℃)

試料: 三池炭 (400m本層)

前処理: 110℃×3hr真空脱気 ○

なし — □



(ここで $n > m$)

上式のように、石炭への吸着炭酸ガス量をコントロールしておけば、処理炭酸ガスが将来燃料として使用できる可能性も考えられます。

この石炭の炭酸ガス吸着性能を応用した炭酸ガス固定化技術の開発の可能性調査も当面の重点研究課題としたいと思います。尚、石炭へのガス吸着結果は、三井鉱山株式会社の下山相談役が同社の松岡さんに依頼して行った実験結果に基づいております。

4. まとめ

以上の研究課題もふくめ、20周年に向けて化石燃料グループの研究テーマをまとめたものが表-3であります。以上で私の話を終わらせていただきます。どうも有難うございました。

石炭への CO_2 高压ガス吸着量 (25℃)

試料: 三池炭 (400m本層)

前処理: 110℃×3hr真空脱気 ●

なし — ■

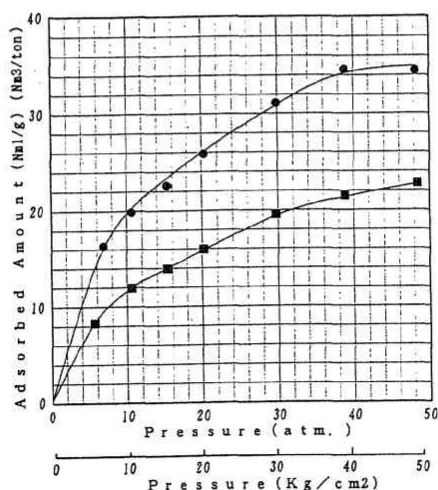
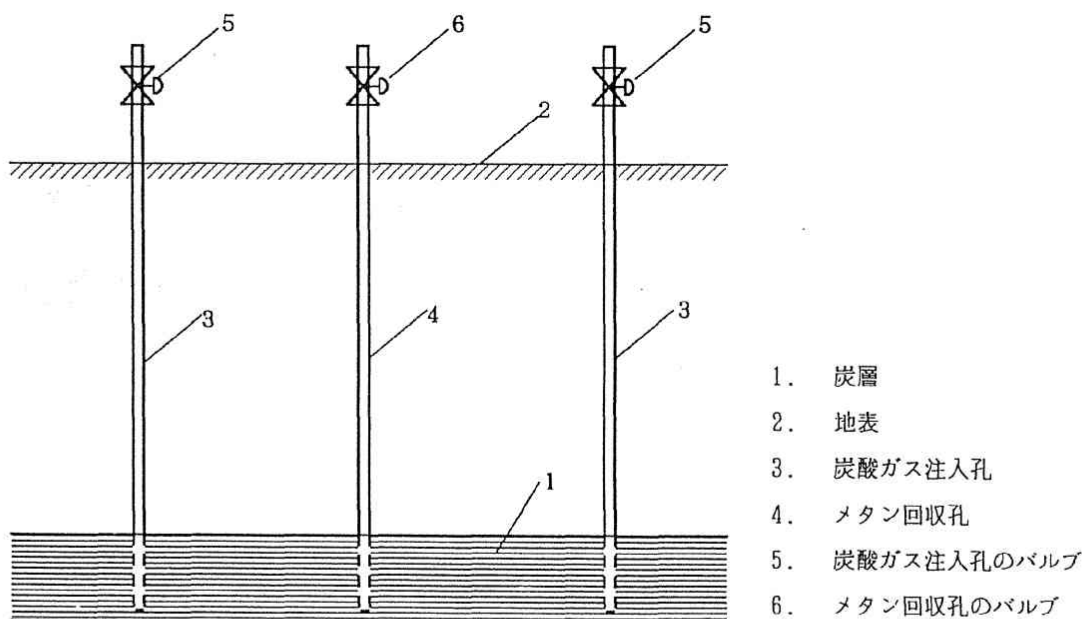


図-7 石炭へのガス吸着量



図－8 炭層への炭酸ガス固定化とCBM回収模式図

表－3 各エネルギー分野における重点研究テーマ一覧

◎重点研究テーマ

エネルギー分野の別	既に着手している研究テーマ	短期的課題として取組むべき研究テーマ	長期的課題として取組むべき研究テーマ
1. 天然ガス開発利用関連 (1) 在来型天然ガス (2) 非在来型天然ガス	①◎天然ガス・メタノール・サイクル確立調査（石油産業の液体燃料化調査） ② 非在来型天然ガス開発可能性調査（深層天然ガス、炭層ガス、メタンハイドレート）	A. メタノールサイクルのコストダウン対策確立調査 B. メタノール製造技術の大型化、高効率化開発 C. 炭層ガス（CBM）採取技術の開発	(1)◎メタンハイドレート開発調査 (2) 都市ガスへの水素エネルギー導入対策技術の確立調査
2. 石炭利用技術関連	①◎石炭ガス化技術評価（石炭ガス化炉の効率的運用） ②◎石炭液化技術評価 ③ 石炭火力発電所CO ₂ 回収・処理技術体系の確立評価	A. 低品位炭の低温乾留化技術の開発 B◎低コスト酸性雨対策技術の開発評価（酸性雨対策技術の海外移転） C. CO ₂ 回収・処理技術の開発評価 D◎特定地域（モンゴル等）における合成燃料事業化可能性評価	(1)◎石炭利用エネルギーコンプレックスの確立調査 (2) 石炭液化技術開発動向調査と市場導入政策に関する研究
3. 石油利用技術関連	① 軽油の低硫黄化対策技術の評価 ② MTBE導入評価 ③ A重油の品質適正化調査 ④ 含有酸素軽油利用調査 ⑤ 石油利用コージェネシステム開発調査 ⑥◎石油利用こみ発電高効率化システム開発調査	A. ディーゼル車のNO _x 及びバティキュレート対策技術の確立調査 B◎アスファルト留分の有効利用技術の確立調査（C重油余剰対策） C. 廃油及びプラスチック等の再資源化及び有効利用技術の確立調査 D. 自家用汽力発電設備の石油ガスタービン設置によるリパリング調査 E. 船舶用重油の低硫黄化が石油精製に与える影響の調査 F. 廃潤滑油の再生利用技術調査	(1) 輸送用エネルギーの特性評価と供給構成の在り方に関する調査研究 (2) 石油資源のノーブルユースと長期的使用の在り方に関する研究
4. 超重質油の利用の拡大		A. 超重質油の水添軽質化技術の開発評価 B◎超重質油の低公害燃料化対策技術の開発評価（エマルジョン燃料等）	(1) 超重質油の資源量の見通しと開発利用技術の動向評価 (2) 超重質油コプロセッシング技術調査評価

④新エネルギーの今後の動向 と技術戦略

高 倉 毅*



本日、私は新エネルギー関係のお話をさせていただきますということですが、原子力あるいは化石燃料といったようなはっきり境目のわかっているものと違ひまして、一般に新エネルギーというのは明確な定義がなく、かなり広い意味で使われております。ここでも新エネルギーとは、太陽エネルギーなどのいわゆる新エネルギーのほかに、新しいエネルギー変換システムといったようなものでも含むということでお話をさせていただきたいと思ひます。

まずいままでの新エネルギー技術開発を簡単に振り返ってみますと(図-1参照)、1974年にサンシャイン計画がスタートして、さらに1978年にはムーンライト計画、あるいは1989年に地球環境技術開発といったような国のプロジェクトが開始されておりますが、今年度1993年度からこれらの三つのプロジェクトが統合されてニューサンシャイン計画という名前で新しく再出発をすることになっております。

私どもの研究所は1978年に設立されており

年 度	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	2000
国のプロジェクト																							
関連機関の設立																							
IAEにおける 新エネルギー関係 主要テーマ着手年																							

(注) ・SHP:スーパーヒートポンプ / ・EV:電気自動車

図-1 新エネルギー技術開発の推移とIAE

※ (財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部部長 (新エネルギー担当)

ますが、その後、国の技術開発の受皿として1980年にN E D O（新エネルギー・産業技術総合開発機構）、あるいは1990年にはR I T E（財地球環境産業技術研究機構）といった機関が設立されております。

一方、社会情勢との関連では、第一次石油危機（オイルショック）が1973年末ですので、その直後にサンシャイン計画はスタートしております。しかし、実際はその計画段階はもっと前のところから始まっているということで、サンシャイン計画自体は非常に先見性のあるプロジェクトであったということになると思います。

1979年には第二次石油危機が発生しますが、その後、原油価格は下落して安定化するというような推移となっております。

さらに、1980年代後半になりますと、いわゆる地球環境問題というものがクローズアップされてきて、こういったことに対応するため新しくニューサンシャイン計画というものがスタートするということになったかと思えます。ニューサンシャイン計画については後ほどもう一度お話しをさせていただきます。

私どもの研究所の新エネルギー関係の研究テーマをふり返ってみますと設立当時はアルコール燃料とかローカルエネルギー、あるいはバイオマスといったような、いわゆるエネルギー資源のほうの調査が中心でしたが、燃料電池といったようなものも1981年というかなり早い時期から調査研究をスタートしているというようなこともあります。アルコール燃料については、この当時、エタノール、メタノール両方を含めていろいろ調査を行っていたわけですが、メタノールに関しては現在も調査が継続しているというようなことで、非

常に息の長い調査テーマの一つであります。

1985年ぐらいからは、分散型電源の系統連系に関する調査、あるいは負荷機器の集中制御システムの研究、さらには夜間電力を有効利用したシステムの研究などのいわゆる電力システムに関する調査研究が増加しております。また、電気自動車あるいは二次電池の調査はこの数年、特に力を入れてきたものです。

そういうことで、新エネルギーのグループというのはある意味では、ニューサンシャイン計画の先取りと言った態勢で進めてきております。

図-2にこの5年間で新エネルギーグループ、一部地球環境関係のものも含まれておりますが、グループがどんなことを実施してきたかを示しました。

ここでは詳しい説明は省略いたしますが、幾つか特徴的なこと、特に最近の技術開発状況ということについて述べておきたいと思えます。

まず、メタノール燃料であります。これは先ほど申しましたように、もうこの十数年、常々とその調査研究を続けているというようなところがありますが、ようやく最近になりまして、たとえば電力会社によるガスタービンの燃焼試験とか、国の液体燃料化プロジェクト、すなわち、メタノールを含む全酸素燃料を製造するプロジェクトのスタートとか、あるいは国によるメタノールの環境安全性の実証研究といったようなことが進められておりまして、徐々にその導入に向けての環境整備が進んでいるというような状況ではないかと思えます。

次に燃料電池ですが、これも私ども、S O F Cと書いてあります固体電解質型燃料電

池，あるいは磷酸型の燃料電池等の研究を続けております。特に磷酸型の燃料電池につきましては，ほぼ技術開発が終了して，現在，信頼性あるいは寿命の向上，それからコストダウンという，その商業化に向けてのいろいろな努力が続けられているところであります。

さらに，最近では多数の燃料電池がいろいろなところで試験が行われておりまして，現在日本で少なくとも数十台の燃料電池——磷酸型の燃料電池ですが——試験運転をされているという状況になってきているということで，コストダウンが最大の問題とは思いますが，この数年が燃料電池の実用化に向けてのいわば正念場というような状況ではないかと思えます。

それから電気自動車ですが，これにつきましてはこの数年，特に研究所の調査テーマとして力を入れてきたということもあって，ここでご覧になっていただいてもわかりますように，毎年3，4本のプロジェクトが調査研究課題になっているというような状況でした。特に地球環境問題，あるいは米国のカリフォルニア州での電気自動車の導入を義務づけるというような政策の決定等がありまして，電気自動車に対しては非常にフォローの風が吹いているという状況だと思います。しかし，いままでの十数年のいろいろな努力がなかなか実を結ばないということを踏まえますと，今後もそう簡単に電気自動車が普及するということにはなかなかいかないと思いま

(年度)	(S 6 3)	(H 1)	(H 2)	(H 3)	(H 4)
メタノール		メタノール合成 メタノール導入	メタノール(IFE と共研)	メタノール環境 メタノール(電力会社) メタノール(電力会社) CBM メタノールデータベース	メタノール環境 メタノールエンジン CBM
燃料電池	FCDIC	FCDIC SOFC EDB・FC	FCDIC SOFC 大型FC導入 コージェネ型FC導入 SOFCデータベース	FCDIC SOFC	FCDIC FC導入
電気自動車	EV電池 電気バス リゾートEV	EV電池 EVサポート NIRA EV EVデータベース	EV電池 EV事業化 NIRA EV EVデータベース	EV電池 EV事業化 EV協力 ハイブリッド	EV導入(電力会社) EV事業化 EV評価 ハイブリッド
電池	電池導入		電池導入 電池評価	電池導入	電力貯蔵
電力システム	分散型発電 負荷制御 CVCF	分散型発電 負荷制御 CVCF	分散型発電 負荷制御 CVCF研	分散型発電 負荷制御	分散型発電 負荷制御
廃棄物			廃棄物発電	廃棄物発電 電気用品処理	廃棄物発電
火力発電			CO2 回収発電	CO2 回収発電	CO2 回収発電 高効率発電
複数新エネ導入	離島新エネ	次世代H2	次世代H2	次世代H2 新エネ導入 J R新エネ	次世代H2 環境調和エネ 電力需要対策
その他	新シーズ 宇宙エネ		GSC 天然ガス自動車 省利用 シルバー社会	GSC 水素貯蔵合金 電力と技術	GSC 地熱 CO2 抑制対策 都市環境 新技術展開

(注) CBM: コールベッドメタン/FCDIC: 燃料電池開発情報センター/SOFC: 固体電解質型燃料電池/EDB: エネルギーデータベース/FC: 燃料電池/EV: 電気自動車/NIRA: 総合研究開発機構/CVCF: 無停電型電源/GSC: グランドソーラーチャレンジ

図-2 最近5年間の主要調査テーマ

す。いまいろいろやられてますように、とりあえず使えるところから少しずつ使っていくということと同時に、特にバッテリーに関する技術開発を今後も続けていく必要があると思います。

もう一つ、「電力システム」とここでは一本にまとめてありますが、たとえば代表的なものとして分散型電源の系統連系に関する問題があります。これは、特に太陽光発電の設備を屋根の上などに設置して家庭で使う場合に、太陽光の不安定な変動をいかに吸収するかというのが問題になるわけですが、昔、バッテリーを使えばいいということで、バッテリーとの組み合わせ等がいろいろ研究されました。

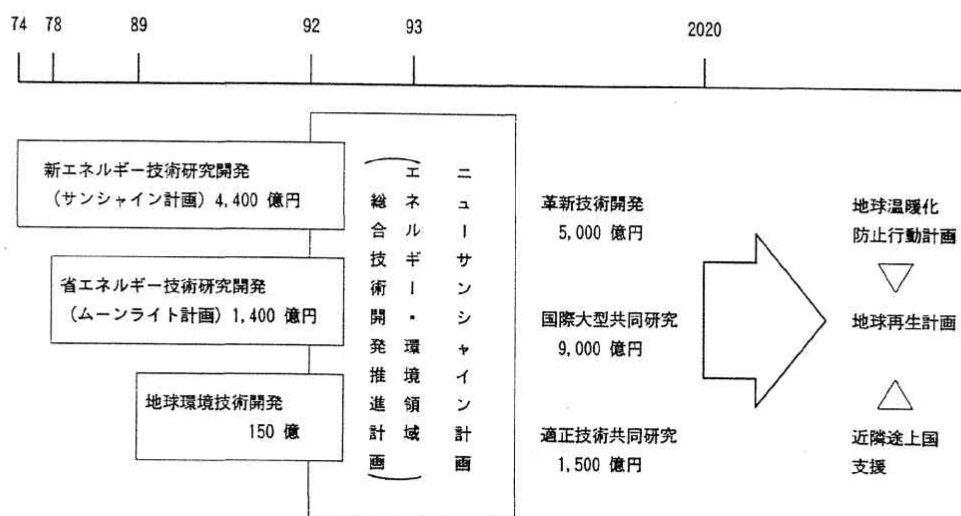
しかし、バッテリーも非常に高いということで、最近では電力系統に接続して電力を系統とやりとりし、系統を一種のバッファーとして使うという、そういう意味での系統連系の問題というのをいろいろ調査をしてまいりました。ご存知のように、昨年度末に太陽光発電あるいは燃料電池といったものを系統に

連系するためのガイドラインが制定されております。

そのほかの需要サイドのいわゆるデマンドサイドマネジメントに相当するような調査研究も現在進められております。

それでは、今後の新エネルギー技術開発の動向はどうかということですが、先ほどもお話ししましたように、今年度からニューサンシャイン計画がスタートするということで、当然、新エネルギー技術開発に関しては、このニューサンシャイン計画が軸になっていくだろうと考えられます。

これは（図－3参照）ニューサンシャイン計画の体系図ということですが、従来のサンシャイン計画、ムーンライト計画、それから地球環境技術開発、この三つのテーマ——サンシャイン計画の開始からすでに20年近くなりますが——これまでに約6,000億円のお金を投入してきた訳ですが、今後さらに、ニューサンシャイン計画では、2020年頃までに合計1兆5,500億円ぐらゐの投資をしていくことになっております。



図－3 「ニューサンシャイン計画」の体系

従来のサンシャイン、ムーンライトの成果はどうなったかと言われますと、いろいろ問題もあるかと思いますが、それらを踏まえてさらに新しく再構築をするということで、最終的な目標としては、2030年頃の国のエネルギー量の3分の1を供給し、それから二酸化炭素排出量の2分の1を緩和するという壮大な目標のもとに新しく計画が始められました。

そのサンシャイン計画の中身ですが、一応ここに書いてありますように、加速的な開発、革新技術開発、適正技術共同研究といったようなものに分けられて進められるようになっております。特に燃料電池と太陽光発電については従来からサンシャイン、ムーンライトで進められていたわけですが、これらについては、ニューサンシャイン計画の中でもさらに推進をすることになっております。その最終的な目標はコストダウンということですが、その目標をここに置いてあるような数字で示しております。(表-1 参照)

太陽電池については、現在、システムのコストがワット当たり450円ぐらい、発電コスト

にしますと40円/kWh程度ですが、これを2000年には20円/kWh程度になるように進めていく。同様に、燃料電池については、システムコストが現状でキロワット80万円ぐらいで、発電コストが40円/kWh程度ですが、これをやはり2000年頃までには、いまの電気の料金に近い20円/kWhぐらいまでにもっていくというようなことになっております。

もう一つ、このニューサンシャイン計画の中の新しい目玉といいますか、新規のプロジェクトとしてWE-NET構想というのがあります。これはCO₂の発生しない水素エネルギーの本格的な利用をめざした遠大な計画です。基本的には、自然エネルギーが豊富に存在する地域で、太陽光発電あるいは水力発電等によって水を電気分解して水素を製造する。その水素を最終的には液体水素で日本に持ってきて、それを日本側では水素燃焼タービンや燃料電池の燃料その他に使うというようなシステム、ネットワークですが、液体水素にいきなりいくのはなかなか難しいということで、その中間の段階として、製造した水

表-1 太陽光発電、燃料電池発電のコストダウン展望

太陽光発電			燃料電池発電		
	平成4年度末	2000年初頭		平成4年度末	2000年初頭
全システムコスト ^{*1}	450円/W程度	220円/W程度	全システムコスト	800円/W程度	300円/W程度
太陽電池	330円/W程度	150円/W程度	燃料電池	240円/W程度	90円/W程度
周辺装置	120円/W程度	70円/W程度	周辺装置	560円/W程度	210円/W程度
発電コスト	40円/kWh程度 ^{*2}	20円/kWh程度	発電コスト	40円/kWh程度 ^{*2}	20円/kWh程度
前提条件	システム利用率：12%程度 生産規模：100MW程度/年・工場		前提条件	設備利用率：70%程度 熱利用率：40%程度	

(注) *1 製造コストを示す。

*2 現在の生産規模(20MW/年)では120円/kWh程度。

素からメタノールあるいはアンモニア、シクロヘキサンといったような水素リッチの液体の物質に変換して、それを日本に持ってきて、日本で水素を分離して利用する。その媒体になったものはまた製造地のほうに船で戻すというような考え方です。28年間継続のプロジェクトという超長期の計画が今年度から始まっております。

更に、もう一つ目玉として、エコ・エネルギー都市というがありますが、時間の関係から省略いたします。

このような状況ですので、私どもの研究として今後もこの新エネルギーについての短期的な課題としてのテーマとして私どもの長期ビジョンの中に入っていると思いますが、ニューサンシャイン計画の中のいろいろ調査研究に積極的に取り組むことにいたしております。(表-2 参照)

その他、すでに高効率発電技術については調査を始めておりますが、これの次のステップのさらに高効率なエネルギー技術等の調査、それからもう一つ、今後エネルギー貯蔵というのが重要な問題になってくると考えられますので、エネルギー貯蔵に関する調査も進めていきたいと考えております。

なお、新水素エネルギーの調査も本年度から開始される予定になっております。これはいわゆる「常温核融合」と一般に呼ばれているものについての研究ですが、何分、本当に常温核融合なのかどうか分からないということでもあり、「新水素エネルギー」という呼び方のプロジェクトとなっております。過剰熱の発生については再現性を含めてかなり確度の高いデータ等が得られているということもあって、やや前倒しではありますけれどエネ

ルギー源として利用の可能性について研究を進めていく予定です。基本的には、通産省からNEDOを通じての補助事業と、民間事業との協力によって進めるという体制を考えております。

次に、技術戦略ということですが、基本的な視点としてはエネルギーおよび環境問題ということで、最終的には、資源制約、環境制約からの解放を目指す技術の開発とその実現ということになると思いますがこの場合は、特に新エネルギーに限らないわけですが、究極的にはかなりの部分を新エネルギーに依存するということになると思います。その中でも、太陽エネルギーと水素エネルギーというのが永続性や環境保全の面から新エネルギーのエースだと思いますが、まだそれぞれ解決すべき問題を抱えております。水素エネルギーについてはようやく具体的な利用についての研究に着手したばかりということで、実際に使われるようになるまでにはかなりリードタイムが必要になりますのでWE-NETの進展に期待したいと思います。

そのほか大規模エネルギー輸送ということで、WE-NETによる水素エネルギーの海上輸送、あるいは将来的には超電導ケーブルによる電力の輸送というようなことが実用化されれば、二次エネルギーもネットワーク化されるといいますか、グローバルネットワークに組み込まれていくというような状況も考えられますので、そういった面での検討が必要です。

最後に、私どもの研究所の長期的な研究テーマとしては、再生可能クリーンエネルギー型の社会とか、あるいは水素を大量に使う社会といったものがどういう社会になるのかと

いったような調査が考えられます。その場合、例えば太陽エネルギーの不安定性を克服する一つの方法として考えられています宇宙太陽光発電衛星——これは非常に夢のある技術ではありますが、そういったものにも取り組んでいく必要があるだろうということ、また、エネルギーの有効利用については、省エネ、節エネ、創エネ社会の形成調査、これは後で

21世紀エネルギービジョンの話の中で出てくるかと思いますが、あるいはエネルギー問題でいま一番ネックになっております自動車等の輸送エネルギーについての総合的な検討を行っていく必要があると思います。

以上で終わりにさせていただきます。どうもありがとうございました。

表-2 各エネルギー分野における重点研究テーマ(新エネルギー・エネルギーシステム関連)

◎重点研究テーマ

エネルギー分野の別	既に着手している研究テーマ	短期的課題として取組むべき研究テーマ	長期的課題として取組むべき研究テーマ
1. 再生可能エネルギー関連(水素エネルギーを含む。)	① 新エネルギー技術の開発展開評価手法の開発 ②◎ごみ発電の高効率化システムの開発評価 ③ 水素吸蔵合金利用電力廃熱有効利用システム確立調査	A. 海外クリーンエネルギー輸送技術の開発評価 B◎WE-NET構想に係るトータルシステム評価 C. 海外大規模水力開発への参画可能性調査 D. ごみ発電排熱利用低温造水装置システム開発評価 E. 水素自動車(エンジン式、燃料電池式)の技術評価 F◎新水素エネルギーに関する実証研究	(1) 再生可能クリーンエネルギー依存型社会の構築調査 (2) 水素エネルギー利用型社会の構築調査 (3) 宇宙太陽発電技術システムの開発評価(地上送電技術を含む。)
2. エネルギー有効利用システム関連	① メタノールガスタービン発電の環境影響評価 ②◎燃料電池導入技術開発 ③ 電気自動車導入システム評価 ④ 電気自動車導入国際協力可能性調査 ⑤ 新型電池技術開発評価 ⑥◎最適電力システム技術開発評価(分散型発電、負荷制御、電力貯蔵等) ⑦ 電力需要対策新技術可能性調査	A◎革新的高効率発電技術の開発 B. 大型エネルギー貯蔵技術の開発実用化調査(超電導電力貯蔵、化学エネルギー貯蔵等) C◎広域エネルギー利用ネットワークシステムの技術評価(エコ；エネ都市構想) D. エネルギー供給システムの総合的評価(エネルギー源のベストミックス化、最適設計に関するソフト開発等)	(1) 省エネ、節エネ、創エネ型社会(全員参加型エネルギー確保社会)の形成調査 (2) 統合型エネルギーシステムの構築調査 (3) 低公害及びCO ₂ 型交通システム全面導入都市社会の形成調査 (4)◎輸送用エネルギー(既存燃料、代替エネルギー)の多面的、総合的評価

⑤ 地球環境対策の今後の動向

と技術戦略

佃

豊[※]



本日私は、「地球環境対策の今後の動向と技術戦略」という題で紹介させていただきます。

人類共通の課題であります地球温暖化の防止を目指しまして、昨年(2019年)の6月に、環境と開発に関連する国連の会議において、気候変動枠組み条約が調印されております。また、この7月、東京サミットにおきましても、同じく地球環境について、今年度末までに国ごとの行動計画を作成するという事を再確認されております。

こうした状況下、温暖化の主原因とされるCO₂の排出抑制のための政策や企業活動及び研究開発の取り組みが具体化しつつあります。このような問題に対して、空間的、時間的拡がりが大きく、不確実性の大きい問題につきましましては、唯一絶対の対策はなく、できるだけ多くの対策オプションを準備しておくことが必要であります。

今発表では、主として地球温暖化防止技術として、CO₂の回収処理技術の位置づけ、電力部門を中心とした研究開発の状況を紹介するとともに、工学的見地から本技術の今後の研究開発のあり方について考えてみたいと思います。

この意図は、地球温暖化問題に対しては国際的な次元で取り組まなければ成果を得られません。けれども、CO₂に着目した場合、先進国と途上国の立場に大きな相違があることを確認しておく必要があります。途上国にしてみれば、今日の温暖化問題の責任は専ら先進国にあるとしており、これから経済発展をしようと考え、エネルギー消費も伸ばそうとしている途上国は、巻き添えをくらうのは不当であると考えております。

表1のように、国別の炭酸ガス年間排出量に関しましてわが国は、アメリカ、旧ソ連、中国、統一ドイツに次いで第5位であり、その量は年間3億トンであり、これは全世界の排出量の約4.7%に相当しております。

次に、1人当たりのエネルギー消費は、先進国と途上国とで大きく相違しており、世界人口の4分の1に当たる先進国が世界エネルギーの4分の3を使っている。アメリカ、先進国と中国等の途上国とでは、1人当たりエネルギー消費にざっと一桁の開きがあります。したがって、CO₂排出量も、5.8トンと0.5トンというように10倍相当の開きになります。わが国は、1人当たりでは世界の平均の約2倍近くも排出しているというような状況

※ 財団法人エネルギー総合工学研究所プロジェクト試験研究部部長(地球環境担当)

になっております。

いま一つの指標として、国内総生産(GDP)当たりのエネルギー消費量がありますが、それはある意味では、その国のエネルギーの有効利用の尺度として見ることができます。GDP当たりのエネルギー消費量に関しては、わが国は成績優秀でありまして、OECD諸国の中では最高位にあります。他の先進国と比べて格段に効率化が進んだことがわかります。わが国の場合は、石油危機以後、特に産業部門での省エネルギーとか産業構造改善等が際立って進んだことに主な原因がありますが、さらに今後この値を低下させていくということについては並大抵のことで

はありません。

なお、地球温暖化問題の本質ということで、この問題の根源的な原因は、世界人口の増大にもかかわらず人口増加を食い止める有効手段がない。人類は豊かさを求めて活動を拡大してきている。先進国が大量のエネルギーを消費してきたように、途上国もエネルギー消費を先進国並に拡大しようとしております。エネルギーの主体は枯渇する化石燃料でありますので、さらに、大気中からCO₂回収はあまりに膨大過ぎて経済的に極めて大きな負担になりますし、捕捉後のCO₂の処理の問題、これは経済性、環境保全の両面からのフォローが必要となります。

表一 1 世界の地域別・主要国別の化石燃料燃焼による炭酸ガス排出量（炭酸換算）

	国または地域	固体燃料 (百万t)	液体燃料 (百万t)	気体燃料 (百万t)	合 計 (百万t)	シェア	GDP当り 排 出 量 (kg/US\$)	一人当り 排 出 量 (t/人)
地域別排出量	世 界	2,422.0	2,439.8	1,027.0	5,888.8	100.0%	—	1.15
	ア ジ ア	800.2	530.9	111.1	1,442.3	24.5%	—	0.48
	ソ 連	426.3	332.5	343.1	1,101.9	18.7%	—	3.86
	ヨーロッパ	535.8	564.0	186.2	1,286.1	21.8%	—	2.59
	北 米	523.7	727.5	307.4	1,558.5	26.5%	—	5.72
	中 南 米	23.6	183.0	49.3	255.9	4.3%	—	0.60
	ア フ リ カ	75.3	69.4	17.9	162.6	2.8%	—	0.26
	オセアニア	37.2	32.7	11.9	81.8	1.4%	—	3.14
上位十ヶ国の排出量	米 国	494.7	660.9	270.6	1,426.2	24.2%	0.29	5.79
	ソ 連	426.3	332.5	343.1	1,101.9	18.7%	—	3.86
	中 国	489.0	72.2	8.5	569.7	9.7%	1.58	0.52
	日 本	83.1	166.3	26.6	276.1	4.7%	0.11	2.25
	西 独	78.2	93.5	28.5	200.1	3.4%	0.18	3.25
	英 国	66.9	70.1	31.6	168.5	2.9%	0.23	2.95
	イ ン ド	117.7	35.9	4.0	157.5	2.7%	0.57	0.19
	カ ナ ダ	28.9	66.6	36.9	132.4	2.2%	0.30	5.10
	ポーランド	106.2	12.0	6.2	124.4	2.1%	1.78	3.29
	イタリア	14.6	81.1	21.8	117.5	2.0%	0.15	2.04
その他主要国	フランス	15.9	69.6	14.7	100.3	1.7%	0.11	1.79
	東 独	70.6	12.1	4.8	87.5	1.5%	—	5.25
	オランダ	8.5	36.0	19.4	63.9	1.1%	0.30	4.33
	韓 国	25.8	26.2	1.8	53.7	0.9%	0.36	1.28
	スペイン	17.1	33.2	2.2	52.5	0.9%	0.17	1.35

（環境白書 総説 平成2年度版より）

こういうエネルギー消費の増大を省エネルギーの技術やクリーンな資源再生エネルギー導入によって食い止めようとしているのが、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の動きであります。自然再生エネルギーの利用にあたっては莫大な設備投資、エネルギーが必要であり、画期的技術変革がなされない限り、抜本的なCO₂対策となり得ないものでしょう。

また、先ほど述べましたように、世界の人口は年間約2%の増加率で増え続けており、特に途上国では人口が急増しております。国連の人口推計によりますと、100億人を超える時期が早まって西暦2040年頃になる見通しであり、このままの増加率をたどるならば、2100年までには人口は150億人を突破することになっていきます。

先ほど片山が説明しましたように、世界の

確認可採埋蔵量であります。現在の技術レベル、経済性の範囲では、石油換算で約1.2兆トンとなっております。

ここで、CO₂抑制対策の技術を紹介する前に、人口増加とエネルギー資源について一つのシミュレーションを行っておりますので、簡単にご紹介させていただきます。

この試算によれば、エネルギー消費量が2,700キログラム/人を超える頃から人口増加率がゼロに近づくことがわかります。

このように、個人のエネルギー消費量は生活レベルとリンクしておりまして、世界レベルの向上が出生率の低下につながるのとは日本の現状と同じであります。途上国の人口増加を食い止めるためには、彼らの経済成長を助け、生活レベルを向上させるのが最良の方法と思われます。

そこで、2種類のケースを想定しました。

表一 21世紀へのシナリオ

出典（CSC研究会）

	エネルギー消費	人 口
ケース 1	1. 先進国の開発途上国に対する経済技術援助がスムーズに進行、経済成長と共にエネルギー消費も伸び、(トレンド曲線上) 2050年で現在の約2倍 2700Kgと仮定 2. エネルギーの転換、消費は省エネルギー技術の積極導入	1. 一人当たりのエネルギー消費量の増加により出生率の低下 2. 人口増加の鈍化、2050の世界人口は、現在の1.5倍の 75億人と推定
ケース 2	1. 先進国、途上国の関連は現状推移とし、エネルギー消費の伸びは、環境問題により天然ガス、石油への需要シフトによるエネルギー価格高騰により鈍化、現在の1.5倍の2100Kgと仮定	1. 世界人口はトレンド曲線と同じ増加傾向 2050年で 105億人 2100年で 150億人突破 2. 世界食料生産能力からみて養いがたく、2050年以降、飢饉、紛争等により人口減少の危険性
参 考	世界平均 1400 Kg石油換算/人・年 日本 2900 ” 、アメリカ 5900 、中国 500	

これは大変大胆な仮定、前提条件を置いておりますが、シナリオに示しました数値と世界の過去20年間の一次エネルギー消費動向と新田等の人口関連図から、人口の予測、1人当たりのエネルギー消費量の変化を求めて、世界エネルギーの消費量、さらにその積算値を予測計算してみました（表—2参照）。

ケース1につきましては、先進国が地球環境を守るために、途上国の経済発展に対する援助を惜まず、技術供与を積極的に実施する場合で、1人当たりエネルギー消費の伸びがいまのトレンド直線とほぼ同じと仮定しました。このため、人口増加の鈍化となりまして、2050年レベルで75億人のレベルで安定化いたします。

ケース2は現状推移型で、先進国の途上国に対する援助は現状維持程度で、世界人口は21世紀末には150億人を突破すると仮定しまして、人口予測のカーブより2050年におけるエネルギー消費を推算いたしますと、2,100キロぐらいになると推定いたしました。

図—1は、世界人口の推移と一人当たりのエネルギー消費量の予測であります。横軸は西暦年、縦軸の左側は世界の人口、右側は1人当たりのエネルギー消費を示しております。推算の結果では、ケース1の1人当たりの消費量の大幅増加等にもかかわらず、人口増加が食い止められれば、図—2の世界の総エネルギー消費動向予測に示（横軸、同じく西暦年で、左側の縦軸は年間エネルギー消費、右側はその積算値の値を示す。）しておりますようにケース2の人口増加のケースよりも、エネルギー消費のトータルでは少なくなることがわかります。ケース1におきまして、エネルギー消費の積算値は、2050年ないし2060

年に現在のエネルギー資源の確認埋蔵量——先ほどの1.2兆トン——に到達または消費してしまうという結果になります。

さらに、先ほどのケース2の人口増加ケース等では、さらに10年ないし15年早くエネルギーを消費し尽くしてしまうというシミュレーションの結果であります。

ここで、このシミュレーションでは、地球環境問題における先進国の責務を示しているのではないかと考えております。シナリオケース1のように、先進国が途上国に経済技術援助をスムーズに行い、エネルギー消費は現状、トレンド型の多消費型になっても、地球全体としては、人口抑制につながり、生活レベルの向上、余暇活動、高等教育の普及、経済基盤の充実となり、これをベースにした地球全体での未来型の技術開発とか、革新的環境技術開発に大いに力を注ぐことが可能になるということでもあります。

わが国は特にその優れた省エネルギー技術でもって途上国の地域特性に合った技術を提供し、途上国も十分に化石燃料等を利用できる余地を残していくということが、地球的なレベルでの経済発展をし、化石燃料の延命化を図るということが言えないでしょうか。

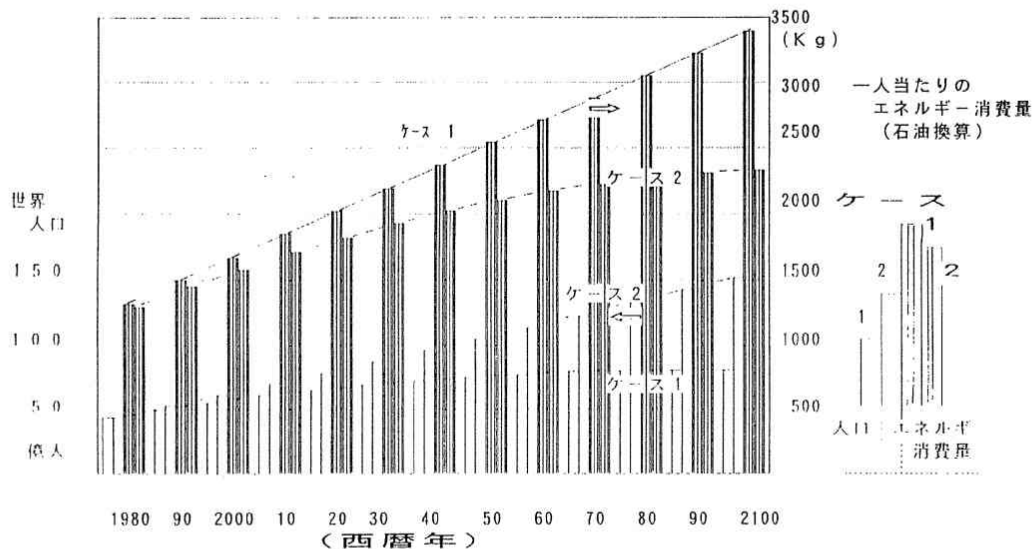
温暖化の問題、人口増加、エネルギーの消費、わが国の技術援助のあり方という現状認識を行いました。次に、CO₂の抑制対策の技術とその方法等について考えてみたいと思います。

ここで図—3に示しますように、省エネルギーは、エネルギーベストミックスによる非化石燃料、低炭素燃料への燃料転換、エネルギー利用効率の向上を技術・制度的諸対策により推進し、CO₂の発生を抑制する方法と、

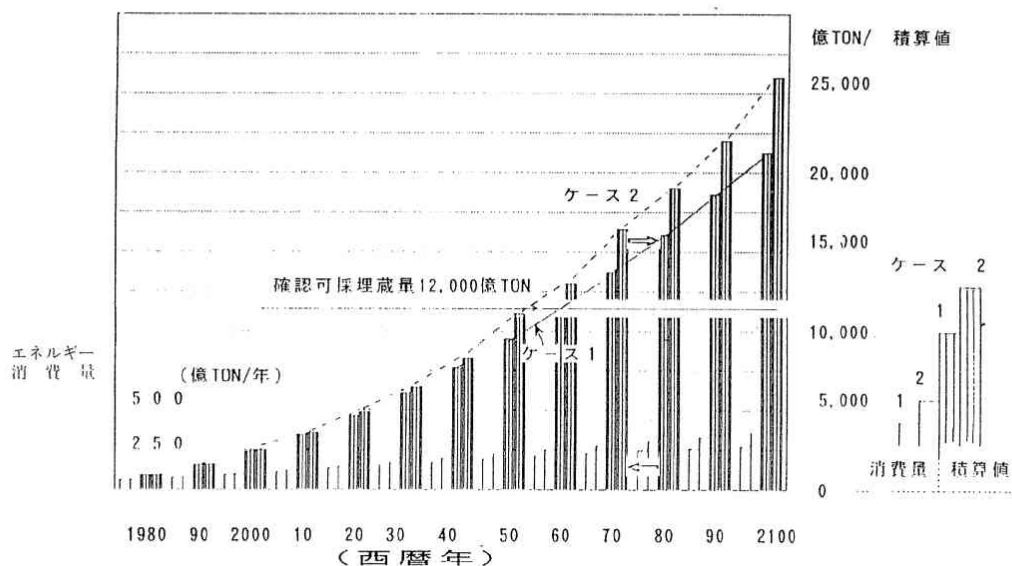
生した CO₂ を回収・処理・利用する方法とに大きく大別されます。

先ほども言いましたように、わが国は省エネルギー、エネルギー利用効率向上の方法もすでに高い水準にあります。エネルギーベ

ストミックスの方法も、わが国では、世界の第二のエネルギー輸入国であり、燃料転換の選択にも限界があります。そのため、CO₂ 現状レベルで安定するには、対策のオプションの一つとして、他国以上に CO₂ 回収処理技術の



図一 世界人口の推移、エネルギー消費量 (一人当) 予測 (石油換算)



図二 世界の総エネルギー消費動向予測 (西暦年)

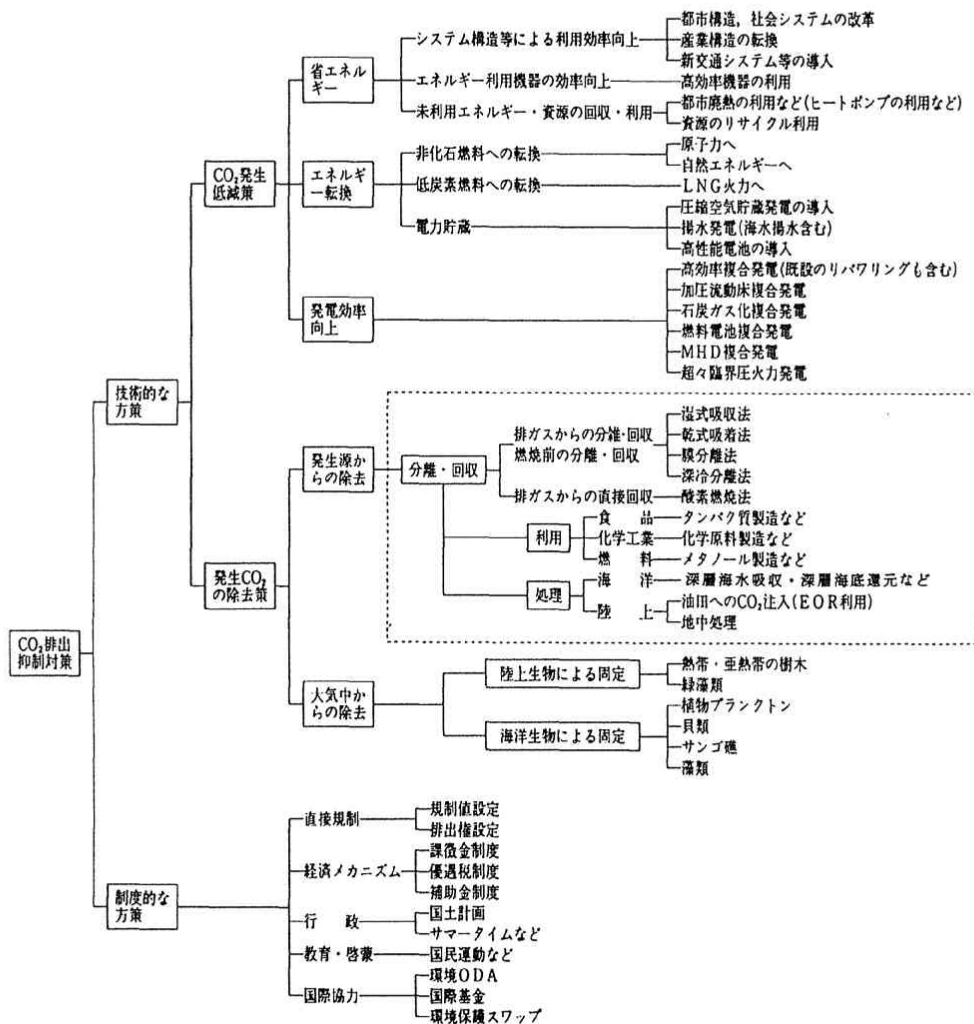
研究開発を推進していくことが重要であると
考えております。

いずれの対策も現時点では唯一絶対の対策
とは言えず、資源量や価格動向、技術ポテン
シャルの限界といった各種制約条件のもと
で、可能なオプションを次から次へと選択実
行することが要求されます。

次に、先ほど紹介しました CO₂ 回収処理技
術の位置づけであります、I P C C の中間

報告では、CO₂ 回収処理技術は2005年以降に
実現可能性のある中長期的対策として提示さ
れております。わが国の地球温暖化防止行動
計画では「革新的技術」と記述され、技術的、
経済的に容易でない中長期対策として位置づ
けられております。

ここで示しますように、炭酸ガスの回収処
理・固定化技術は、回収した CO₂ を海洋や地
中に処理する技術、回収した CO₂ をメタノー



図一 3 CO₂ 排出抑制対策の体系図

出典：季報エネルギー総合工学 Vol. 14, No. 3 ('91.10)

ル等に転換する技術、大気中のCO₂を珊瑚礁、生物を利用して固定化する、また、触媒等により炭素に分解する技術に大別できます。このうち、固定化・分解技術は、基礎研究段階でもあり、CO₂削減技術として成立していくのか、現時点では明確ではありません。

この回収CO₂の利用技術も、有効利用できるCO₂の量から限られ、新たな大量エネルギーの投入等の課題が残ります。

それに比べて、回収処理の技術は、処理に伴う環境影響とか安全性に課題はあるものの、技術的には大量のCO₂を処理できる可能性を有していると言えます。この高い可能性を有する方法についてさらに考えてみたいと思います。

図-3の、大量のCO₂を工業規模で処理できる技術としては、ここに示したような技術が検討されております。

まず、原油増進回収法。EOR法とも言いますが、炭酸ガスを油田に圧入して原油回収率を高めるプロジェクトは世界で多くの実績があり、将来的には世界全体で172億トンの処理が可能と試算されております。EOR法は良好なガストラップのために、環境影響はほとんどないと推定されます。

次に、地中の処理方法ですが、枯渇ガス田、帯水層での処理が検討されておりますが、アメリカでの実績、日本等の天然ガス貯蔵の実績から、技術的な課題は少ないでしょう。処理の可能量は世界全体のガス田で500億トン、帯水層で900億トンの試算例がありますが、帯水層は特に世界に広く分布することから、大量処理の期待があります。

次に海洋処理であります。世界のCO₂年間排出量59億トンに対して、海洋のCO₂

溶解能力は2,000兆トンとも言われ、人類の究極放出CO₂1兆トンに比べまして、はるかに超える溶解能力があると推定されております。

回収処理技術の高いポテンシャルを有するこの方法について、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)からの委託調査によりケーススタディを行いました。

本スタディでは、2000年～2010年の新設のLNG、石炭、メタノール火力の主力発電技術に対しまして、各種の炭酸ガス回収分離技術と回収処理技術として、先ほどの三つのプロセスを想定し、その中でエネルギーの収支、経済性の高い可能プロセスを絞り込みました。次頁の図-4に総合効率、発電コスト、CO₂回収処理コスト等を示しております。

このCO₂処理回収技術の短期としての可能性であります。本スタディによりますと、火力発電所の現状の所内率や環境対策のコストと比べまして、CO₂回収処理による総合効率はさらに13ないし33%レベル低下すると試算され、また、発電コストは1.3倍から最大2.3倍に上昇すると試算されました。短期的技術としての成立の可能性は低いと言わざるをえません。

CO₂の回収処理までを含めたコストは、5,000円～14,000円/トンあたりで変化すると試算されました。このコストはほかの植林による炭酸ガス固定コスト2万8,000円レベル、または微生物等による炭酸ガスの固定コスト11万円等のコスト試算との比較から、本技術が削減対策として長期的な技術として可能性のあることを示唆しております。

以上を表-3でまとめていきますと、CO₂の削減効果は大で◎をつけました。技術的な

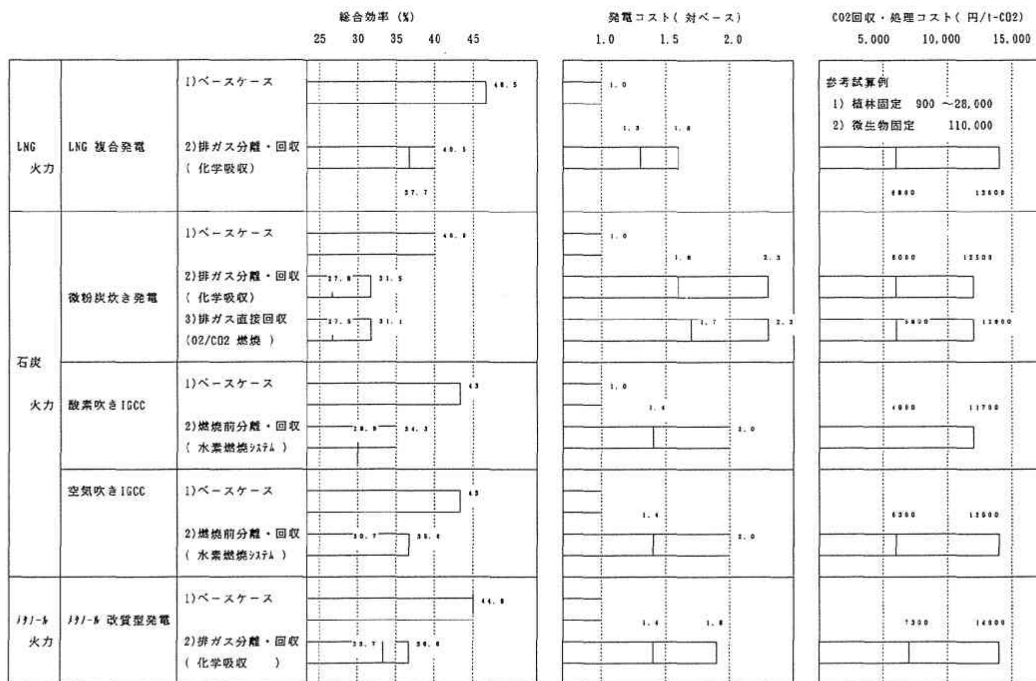


図-4 CO₂ 回収・処理プロセス ケーススタディ

表-3 CO₂ 回収・処理技術の研究開発の方向

1. CO₂ 回収・処理技術の位置付け

- ①CO₂ 削減効果◎ 将来のオプションの一つとして、長期的視点に
 ②技術的可能性◎ 立った技術評価・研究開発が必要
 ③経済的可能性△
 ④環境影響?

2. 主な研究開発課題

CO ₂ 回収技術	回収CO ₂ 処理技術		
	原油増進回収法	地中処理	海洋処理
①CO ₂ 回収方式のスケールアップ ②1/100 ~ 1/10スケールのプラント試験 ③省エネルギー化 ④低コスト化	①EOR可能な地点の抽出 ②フィールド試験によるノウハウの蓄積 ③省エネルギー化 ④低コスト化	①帯水層処理に関する安全性評価 ②省エネルギー化 ③低コスト化	①海洋科学、海洋生態学の知見充実 ②海洋中のCO ₂ 挙動の解明 ③陸上での大型試験による環境影響、安全性の評価 ④海洋でのフィールド試験 ⑤省エネルギー化 ⑥低コスト化

可能性も大です。ただ、経済的可能性は、現在のレベルでは難しいということで△、また環境影響等についての課題が考えられますが、将来、CO₂抑制対策のオプションの一つとして、長期的な視点に立った技術評価、研究開発が今後必要であろうと考えております。オプションの可能性の有する地中処理とか海洋処理については特に安全性評価、環境影響の評価が重要となります。

今回は、主としてCO₂の回収処理技術については紹介させていただきましたが、このテーマにつきましてはもはや、一会社一研究所

レベルの開発研究のテーマではなく、国としての方向性が大きく問われているテーマであります。最近、新聞等でも発表されましたが、工業技術院が来年度から研究開発を本格的に行う方針を固めました。当研究所も本プロジェクト等に参画をしながら、この技術体系についての確立評価をしていくことが重要と考えております。

さらに、この手法につきましては、燃料の採掘、輸送、設備の製作、廃棄物処理を含めた全燃料サイクルを対象としたエネルギー収支コスト評価、すなわち、内部コストとか、

表－４ 各エネルギー分野における重点研究テーマ（地球環境関連）

◎重点研究テーマ、(※)は再掲を示す

エネルギー分野の別	既に着手している研究テーマ	短期的課題として取組むべき研究テーマ	長期的課題として取組むべき研究テーマ
1. 地球温暖化防止対策関連	① 火力発電所CO ₂ 回収・処理技術体系の確立評価 ② 各産業におけるCO ₂ 抑制対策に関する調査	A◎回収CO ₂ 深海処理技術の開発評価 ・海洋処分に係わる環境影響評価 ・CO ₂ 海中挙動の実証 ・CO ₂ クラスレート等深海処理技術の評価 B◎CO ₂ 回収・処理コスト負担のあり方に関する立論調査 C◎EOR等、地中処理技術の開発評価	(1) 各種CO ₂ 固定、有効利用システムの調査研究 (2) 全温室効果ガスを対象とした地球温暖化防止対策の調査研究
2. 酸性雨対策技術等関連		A◎低コスト酸性雨対策技術の開発評価(※)（酸性雨対策技術の海外移転） B. 環境面立型燃焼技術の開発評価（リーンバーン脱硝技術） C. 酸性雨防止エネルギーモデルの開発調査	(1) 酸性雨及び光化学物質の環境影響に関する調査評価（森林被害、湖沼酸性化等）
3. 環境調和型エネルギーシステム関連	①◎環境調和型エネルギーコミュニティ構想調査	A◎広域エネルギー利用ネットワークシステムの技術評価	(1) 省エネ、節エネ、創エネ型社会の形成調査(※) (2) 統合型エネルギーシステムの構築調査(※)
4. 地球環境問題関連			(1)◎地球環境問題への包括的対応方法に関する検討調査 (2) 国際地球環境監視システムの構築調査

すでに欧米や I E A 等で研究が着手されていますように、排出物による環境・健康へのインパクトを外部コストとして、全社会コストによりシステムを総合的に評価するライフサイクルアナリシス等の手法を用いて、今後、この対策オプション等を比較しながら検討していきたいと考えております。

そのほか、地球環境対策関連の研究テーマとしては、当研究所の中期ビジョンに則り、グループとして取り組むテーマ等を表-4により簡単に紹介します。

2番目の項目であります。I P C C におきましては、地球温暖化問題が将来のエネルギー供給に与える影響についての検討がなされておりますが、これらの結果を踏まえて、環境制約の視点、資源制約、技術制約の3視点からいかなるエネルギー供給方法が望ましいか、中長期的な視点から各エネルギー源の

果たす役割を明らかにし、今後とるべき政策等についての調査研究を行っております。

そのほか、地球環境保全型の、化石エネルギーをうまく使う消費技術の再度の見直しや、それらの技術の途上国への移転、適用によるグローバル・オプティマイゼーションのあり方、エネルギー消費の実質的な方向、その効果の把握についての調査を行う予定であります。

また、3番目のエネルギーシステム、省エネルギー関連の技術では、環境調和型エネルギーコミュニティシステムの調査研究をすでに行っておりますが、これらの調査を行い、実現のための条件、制度のあり方等についての検討をさらに本年度も引き続き行っていきたいと考えております。

どうも大変長い間ご静聴をありがとうございました。

今回の中長期ビジョンの改訂に関する所見

秋 山 守[※]



このたび、エネルギー総合工学研究所におかれましては、めでたく創立15周年をお迎えになり誠にありがとうございます。会場の皆様とともに、心よりお祝いを申し上げます。

また、本日は、その記念の講演会にお招きをありがとうございます。厚くお礼を申し上げます。

さて、本日は私、「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」と題してお話しをさせて頂くこととなっておりますが、研究所がこの度改訂なさった中長期ビジョンについてもコメントを申し上げるようにとのご依頼がございましたので、最初に少しお時間をちょうだいしまして、中長期ビジョンへのコメントを申し上げます。

なお、「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」のお話しについてでございますが、今回の記念講演会のテーマのキーワードが「21世紀のエネルギー技術戦略」となっておりますので、技術の各論的なことでなく、むしろ戦略的な考え方に重点を置くべきであろうと考えまして、予稿集メモでご覧いただきますように、第一に原子力エネルギー技術の戦略を考える上での時代的あるいは世界的な動向の分析を試み、次いで第二に次世代の原子力

発電と核燃料サイクルの方向と課題を取り上げ、そして第三に、時間の許す範囲で関連の技術戦略のあり方と重要性について若干お話し申し上げますと、大体そのような順序で進めさせていただくことにいたしました。

本日はなお、風邪気味のために大変お聞き苦しい点もあるかと思いますが、あらかじめお許し下さいますようお願いいたします。

さて、それでは早速、中長期ビジョンについて少し感想を述べさせていただくことにいたします。

エネルギー総合工学研究所がどのような目的で、どのような中身の中長期ビジョンを策定されているか、そして、今回の改訂のポイントがどこにあるかにつきましては、本日すでにいろいろお話があったところでございます。私個人といたしましても、企画委員会を通じましてご意見を申し上げてきているところでございますが、一言でいいますと、今後の世界全体をにらんだ、大変洞察力に優れた、的確で、しかも意欲的なビジョンであると受け止めております。

これからのエネルギー・環境の問題に対しましては、これまで以上にグローバルな視野に立った、しかも戦略的なアプローチが絶対

※ 東京大学工学部システム量子工学科教授（財）エネルギー総合工学研究所 理事・企画委員会委員長

に必要でございます。エネルギー総合工学研究所は、第一次石油ショックの後、わが国のエネルギー面での脆弱性を改善し、あわせて今後の世界的なエネルギー・環境問題の中で総合工学の観点から貢献していくとのご主旨で設立されたものでありまして、以来、着実に実績を挙げてこられましたことはまことにご同慶の至りでございます。

私はいわゆる戦略そのものの専門家ではご

ざいせんけれども、常識的に考えてエネルギー技術開発戦略を幾つかの側面に分けてみますと、ここにごらんいただきますOHPの左半分にまとめたようなことになろうかと思ひます。ちょっと字が小さくて、後の方はお読みになりにくいと思いますが、左半分に、戦略的な側面と申しますか、戦略的な活動内容を整理してございます。それに対応させて、右半分に示したのが、エネルギー総合工学研

エネルギー技術開発戦略と中長期ビジョン

エネルギー技術開発戦略の在り方

中長期ビジョンにおける取り組み

1. エネルギー技術開発戦略のための基盤と視点

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・戦略構想の基礎としてのグローバルな歴史観、未来観、世界観、文明観、価値観、倫理観 ・グローバル戦略と国家戦略の複眼的構え ・総合戦略におけるエネルギー利用技術開発戦略の在り方 ・各エネルギー技術や関連分野の総合性を重視 ・科学技術の役割と責任 ・エネルギー技術開発戦略に係わるニーズとシーズ | <ul style="list-style-type: none"> ・長期的、総合的観点から技術開発をとらえる ・エネルギーや環境に係わるグローバルな展開 ・エネルギー技術に関する横断的研究 ・地球耐力限界時代の技術の役割の増大 ・エネルギー技術の方向づけ |
|---|--|

2. エネルギー技術開発戦略の目標

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・グローバルかつ長期的な目標 ・国際的な目標 ・国家目標 | <ul style="list-style-type: none"> ・21世紀社会におけるエネルギー技術 ・国際的重点課題 ・国のエネルギー技術開発重点課題 |
|--|--|

3. エネルギー技術開発戦略の構築と実施

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・目標に至る介在要素の分析 ・介在要素間の相関分析 ・関係情報の収集と解析 ・必要情報に関する試験研究開発 ・戦略の時空展開のためのモデルとプラン ・代替案の策定 ・方法論の研究 ・実施のための体制、方策、具体的計画 ・絶えざる評価と必要な見直しの実施 | <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー技術の調査 ・エネルギー技術の体系化 ・エネルギー技術データの収集評価 ・ハードも含めた試験研究の管理 ・エネルギー技術の政策と戦略の提案 ・エネルギー技術の評価手法の研究 |
|--|---|

4. 目標達成のための環境基盤の構築

- ・人材（教育，国際化）
- ・情報（インフラ整備，国際的ネットワーク）
- ・科学技術（創造的科学技術の展開）
- ・連携とネットワーク（学際，業際，国際）
 - ・エネルギー関連技術の国際交流
 - ・各技術分野の知見を集めた総合的展開
 - ・大学等との提携
 - ・エネルギー関連技術の普及啓蒙活動
- ・社会的理解
 - －合理性と透明性の尊重される社会

5. 目標達成のための障害の排除

- ・障害原因の見定め
 - －正確な情報に基づく科学的分析
- ・障害となる基盤の排除
 - －弱点の克服（オリジナリティを強化）

6. 戦略実現のための能力の獲得と向上

- ・研究
 - －戦略の目標，方法論，計画展開等の研究
- ・計画
 - －説得力のある計画の策定
- ・投資
 - －必要な投資の実施
- ・評価
 - －絶えざる評価による実質的前進
- ・自主研究事業の一部として実施

7. 状況の変化への対応

- ・対応と新たな挑戦

究所の中長期ビジョンに記載されている今後の活動のポイントでございます。

まず，エネルギー技術開発戦略のための基盤と視点についてであります，基礎となるしっかりとしたものの方考え方，広くて長期的な視野が何よりも肝要でありましょう。ビジョンにおきましては，長期的，総合的，かつグローバルな観点が強調され，また，技術の役割の重要性の認識と将来のエネルギー・環

境技術の方向づけの重要性の認識が示されており，大変結構なことと存じます。

エネルギー技術開発戦略の目標には，グローバルな目標のほかに，国自体としての目標もございます。日本の置かれた状況を十分に認識し，客観的な立場から，日本という国の将来のあり方との関連でエネルギー技術開発戦略を展開していく必要がございます。

さて，最も中心をなすところのエネルギー

技術開発戦略の構築に関する側面でございますが、まさに研究所はエネルギー技術の調査、体系化、データベースの構築、評価手法の開発—右のほうにご覧いただく要目ですが、これらを通じまして今後とも大変に大きな貢献をなさることと期待しております。これから、ハードも含めた試験研究の管理にも事業を拡大していきたいとのご主旨ですが、その点も積極的にご賛同申し上げる次第でございます。

目標達成のためには、環境基盤—この環境といえますのは戦略に関わる環境でございますが—を構築し、整備していくことが不可欠でございます。この側面は、エネルギー総合工学研究所をはじめ、国も産業界も心して取り組んでいく必要がございます。

戦略の基本は人と情報であるとも言えましょう。特に、正確な情報をできるだけ多く収集し、分析することのできる基盤をつくることが切望されます。研究所も、内外の関係研究機関等との連携を強め、また、内外の専門家との個人的なチャンネルも活用して、この分野の強化を図っていかれることを望んでおります。

創造的な科学技術の展開のためのインフラ・ストラクチャーの整備もわが国の重要な課題となっております。近年、いろいろと手は打たれてきていますけれども、まだまだ不十分であると思います。研究所におかれましてもエネルギー技術開発に関してオリジナリティを一層重視されるとともに、基礎研究者の方々を支援していただきたいと思います。そのような努力が結果的に研究所の活動のいわば深みを増すことになるかと確信しております。

エネルギー関連技術の普及啓蒙活動も研究所の重要な事業の一つに挙がっており、大変結構なことだと思います。社会的な関心と理解を得ていくことは、今後もエネルギー技術開発戦略の環境基盤としてさらにウエートを増していくものと思います。

戦略の一般論になりますけれども、さらに戦略実現のための能力の獲得と向上といったようなことも考えておかねばなりません。エネルギー総合工学研究所は、戦略を実施するというよりも、戦略の策定に資することが主たる使命でありますから、このOHPでは戦略の遂行ということに対応する研究所の対応事項はあまり書かれておりませんけれども、自主研究等を通じて、戦略目標のあり方、方法論、クライテリアなどの研究を絶えず続けていかれることが必要でございます。それには、国内はもとより海外も含めまして、世界的に名声のある研究者のところに研究員の方を積極的に派遣されるなどのご努力を今後展開していかれることが望ましいと思います。

次に、重点研究テーマでございますが、研究員の方々の大変精力的な作業によりまして、重点テーマが絞られておりまして、どれも適切なものばかりだと思います。あえてその中から幾つかをさらに強調させていただきますと、このOHPに挙げたような点かと思っています。

まず、原子力関連では、次世代の原子炉並びに次世代の再処理システムに関する技術的な要件—リクワイアメント—と、それに対応した設計構想が必要でございます。変化していく社会のニーズと科学技術の新しいシーズを先取りしながら、しかも、世界的にリーダ

重点研究テーマに関するコメント

原子力関連

- ・次世代炉の技術的要件と設計構想
- ・放射性廃棄物の処分に係わる技術体系
- ・次世代再処理の技術的要件と設計構想

化石燃料関連

- ・低コストクリーン化技術
- ・超重質油クリーン化技術
- ・石炭エネルギーネットワーク

再生エネルギー関連

- ・太陽エネルギー総合利用技術

エネルギー変換関連

- ・直接発電と効率向上の技術

環境関連

- ・エネルギーの地球環境影響に関する研究
(理論, モデル, 観測, シミュレーション)
- ・地球環境保護のための長期的技術開発

横断的研究課題

- ・使いやすい標準的DBの整備と資料出版
- ・Demand Side Managementに係わる技術
- ・エネルギー技術の知的財産的研究
- ・将来のエネルギーシステムのあり方
- ・コンピューティング技術の徹底的活用

ーシップをとる形で知恵を出していくべきだ
と思います。

次に、化石燃料関連でございますが、途上
国にも受け入れられるコストの安い環境技術
の開発と、それから、さらに長期的には石炭
等のクリーン化が重要なイシューであるか
と思います。

再生エネルギーにつきましては、何と申し
ましても太陽エネルギーの利用の拡大が長期
的には中心になると思います。また水素の利
用も、水素のファミリーについて最近、新水
素プロジェクトもございますように、幅広い
取り組みが重要かと思ひます。

環境関連の課題は今後さらに広がっていく

ものと思ひます。エネルギーとの関連におけ
る環境問題に技術的に真正面から取り組むこ
とが必要とされております。

さて、最後に、横断的研究課題ということ
でございますが、コンピューティング技術を
徹底的に活用することを私は一番に挙げてお
きたいと思ひます。データベースとか、シミ
ュレーションとか、可視化とか、さまざまな
コンピューティングの科学技術の展開の場を
原子力サイドにもってくる、また、原子力サ
イドからいろいろなニーズを出したり、情報
を発信したりして、相互の協調体制を築いて
いくという点が重要かと思ひます。

コンピューティングについては、エネルギ

ー・環境の問題に対して、今後予想以上の働きをするでしょうし、実はもっともっと広くて深い意義があると思いますが、ここでは説明を省略させていただきます。

将来のエネルギー・システムについては、電力の供給・利用のシステムを例にとってみますと、米国などではディマンド・サイド・マネージメント（Demand Side Management）—いわゆる利用者側にとって一層使いやすい電力システムにしていくこと—の議論が出てきているようでございます。わが国においても、また世界的にも、こういうディマンド・サイド・マネージメントを考慮する方向に次第にむかう可能性がございます。エネルギー供給側の考え方だけでなく、需要者の側の意

見や要望が採り入れられた、一種の協調型のシステムとでも申せましょうか。

いずれにしても、将来の望ましいエネルギーシステムのグランドデザインと、それに関連する技術課題の研究を進めていくことが、エネルギー総合工学研究所としての一つの大きな役割であると思います。

以上、簡単ではございますが中長期ビジョンに対する感想を述べたこととさせていただきます。今後は、この立派な中長期ビジョンに従って、研究所のご事業を一層活発にお進めになることを願っておりますし、ご関係の皆様からも引き続きご支援を賜りますようお願い申し上げます。切にお願い申し上げます。

【特別講演①】

「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」

秋 山 守[※]

さて、次世代の原子力発電と核燃料サイクルの技術戦略をめぐる時代的並びに世界的な動向と背景についてでございますが、まず歴史的に見ますと、科学技術は、われわれの肉眼でとらえられるような巨視的なものから、次第に極めて微小な原子レベルの世界に、言い換えればマクロからミクロへと向かって進歩してきております。

ご覧頂きます表は、馬野周二さんが1977年に原子力工業という雑誌に書かれたものに少し私の意見を加えたものでございますが、17世紀のあたりから今日まで、学問的には時代とともに、力学から始まって、熱力学、電磁気学、量子力学、相対性理論、場の理論、情報理論、新素粒子論、そして最近ではニューロとかカオスの理論などへと発展してきてい

原子力科学技術の意義と役割について

— 1 —

科学技術はマクロからミクロへ

年 代	17世紀	18世紀	19世紀	20世紀前半	20世紀中葉	20世紀末	21世紀
科学理論	力学	熱力学	電磁気学	量子力学	情報理論	ニューロ・カオス	複雑系
				相対性理論	場の理論	新素粒子論	
代表技術	水車 機械時計	蒸気機関	発電機 ラジオ	航空機 レーダー	ロケット 半導体	原子炉 TV・計算機	新エネ・核融合 レーザー 宇宙
エネルギー 資源の変化	水力・風力 木材・畜力	石炭	+	石油	+	天然ガス 化石燃料のクリーン化 ウラン	+
エネルギー 変換機	水車・風車 蒸気機関		蒸気タービン	ガスタービン	複合発電	直接変換 内燃機関 ジェットエンジン ロケットエンジン イオン光子エンジン	
有力社会層	貴族・僧侶	資本家	企業家	技術者	自由業	宗教家	
政治	王侯	貴族	民族国家	近代国家	経済共同体	世界政府	

(参考) 馬野周二：原子力工業 23巻3号 (1977)

※ 東京大学工学部システム量子工学科教授

ます。

エネルギー資源に注目いたしますと、水力とか風力の時代から、やがて石炭、石油、天然ガスを経て、現代ではウラン資源が加わり、多様化されてきております。将来的には、リシウム資源による核融合、それから新水素エネルギー、太陽エネルギー等の本格的利用が期待されているところでございます。

エネルギー変換技術も、このような時代的な流れの中で、水車や風車から、ボイラ・蒸気機関、蒸気タービン、原子炉、ガスタービン、複合発電といった高度なシステムへと変遷してきております。今後は、直接エネルギー変換システム、核融合炉、また推進機関にあっては、イオン・エンジン、光子エンジンなども活躍することになろうかと思えます。

なお、余談でございますが、ここにご覧いただきますように、社会における指導的な役割は、昔は王侯・貴族や僧侶が果たしておりましたけれども、やがて資本家、企業家、技術者へと移り、そして今日では自由業の方々相対的に非常に活躍しておられます。将来的には宗教家の影響力が強くなっていくと、この表では予測していますが、やはり科学技術を担う方々、とりわけ原子力科学技術に携わる方々の責任は今後ともますます重くなっていくものと考えられます。

次に、天然資源に人工的な付加価値を与えするという観点からの原子力の役割を見てみますと、天然素材の資源化に関しましては、申し上げるまでもございませんが、原子炉によるウランやトリウム利用と、将来的には核融合炉によるリシウムや海水等の利用がございます。これらの素材は、高度な技術がなければ、ただの土であったり、ただの水であっ

たりするに過ぎないわけですが、原子力の技術によって初めて役に立つ燃料となるのであります。

原子力科学技術の意義と役割について

— 1 —

天然資源への人工的付加価値の付与

一天然素材の資源化

- ・原子炉によりウラン、トリウム等を燃料と化す
- ・核融合炉によりリシウム、海水等を燃料と化す

一資源量の拡大

- ・増殖炉により燃料を拡大生産

一環境負荷の軽減

- ・多目的炉や核融合炉により天然資源をクリーン化
- ・原子力により二酸化炭素をリサイクル利用
- ・エコエネルギーシステムへの貢献

一量子工学を通じての天然素材への新機能付与

- ・材料の物性的/生物学的/工学的な新機能の付与
- ・情報機能の増大ないしは付与
- ・メタフィジカルな新価値の創造

資源量の拡大という点では増殖炉が最も代表的であると思います。すなわち、増殖炉によって燃料が何十倍にも拡大再生産されるわけでありまして、これが原子力の一番魅力的な特長であると言っても過言ではございません。

環境負荷の軽減も原子力に期待する非常に重要なポイントであります。原子力では、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を排出しないことはもちろんですが、多目的炉や核融合

炉によって、天然資源をクリーン化したり、二酸化炭素をリサイクルしたりすることも可能であります。

また、量子工学を通じて、天然素材に新たな機能を付け加えることが容易にできます。材料の物性的、ないし生物学的、ないし工学的な新たな機能の開発とか、情報機能の増大はもちろんのこと、メタフィジカルな次元での価値の創造にもつながっていくものと考えております。

次に、原子力科学技術を基盤とする新しい文明と社会構造の開拓に関して一言触れておきたいと思います。

過去の時代におきまして、天文学、農業、集約的近代工業などがそれぞれ関連の文明の形成に対して、全面的にはと言えないまでも相当に大きな役割を果たしてきたことから考えまして、原子力もこれから21世紀にわたっ

て、そして恐らくはもっともっと長い時代にわたって、新しい文明の中で相当に重要な役割を担っていくものと考えてるのが自然でありましょう。

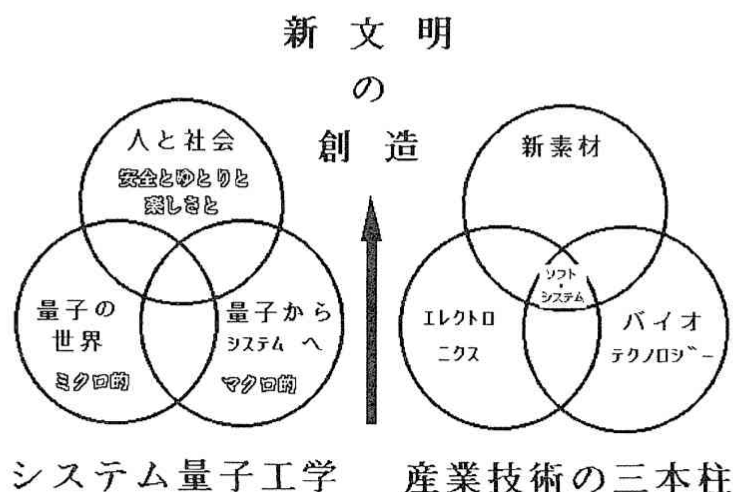
ご覧いただきます絵の左半分は、原子力発電からシステム量子工学へと広がる原子力のパラダイムを模型的に表わした絵でございます。原子力のミクロとマクロと人間社会の科学技術的な基礎から構成される概念となっております。右半分は、産業技術のいわばサン・フレッチェ（三本の矢）を表わしたものでございます。原子力が一般産業技術との交流を増しながら、高度なシステム科学技術と、個別の先端科学技術の両方において、今後とも発展をしていくことを期待しているところでございます。

それから、科学技術が哲学や芸術と融合していくことが、これからの時代の趨勢と言え

原子力科学技術の意義と役割について

— 2 —

新しい文明と社会構造の開拓



るでしょうし、またそうであるように積極的に心掛けていくことが大切だと思います。

では次に、21世紀の世界とエネルギーの姿、並びに、その中で原子力の役割はどうか、また、わが国の役割はどうあるべきなのかなどについて、少し見てみたいと思います。

21世紀の世界像と原子力

- 1 -

地球環境と原子力

地球的規模での問題

- ・ 増え続ける人口
- ・ 厳しい南北格差
- ・ 資源エネルギーの枯渇
- ・ 大気/土地/水の汚染
- ・ 地球温暖化
- ・ 砂漠化
- ・ 生物種の多様性の減少
- ・ 疫病
- ・ 民族/国家間の紛争

原子力への期待

- ・ 安定的エネルギー供給
- ・ 地球温暖化防止
- ・ 国際協力推進の中核

ここに書き並べましたように、地球的規模での問題がたくさんございます。人口については、20世紀開幕の当時には約16億人であったものが、現在では約55億人と爆発的に増えてきております。また、難民や不法移民の形で人口の移動も大きな問題となっております。厳しい南北格差の存在、資源エネルギーの枯渇への不安、大気や土地や水の深刻な汚染、地球温暖化、など、頭の痛い問題が沢山ございますが、中でも特に、南北問題をいかにモデレートしていくかが21世紀の最大の課

題であると考えられます。

さて、ここでは一つ、この研究所との関連という意味で、地球温暖化の問題と原子力に期待される役割を例にとってみることといたします。

地球温暖化の原因になる二酸化炭素の状況につきましても、本日いろいろお話もあったことかと思しますので、詳しいことは省略いたしますが、産業革命の頃と現在を比較しますと、大気中の二酸化炭素の濃度は275ppmから346ppmへと大幅に増えてきています。この原因は、人間の社会活動に伴って一具体的には化石燃料を大量に使うことによって二酸化炭素が大量に大気中に排出されるためだと考えられていることはご承知の通りでございます。ちなみに、現状では年間約60億トン(炭素換算)、つまり1人当たり1トン以上を排出している勘定になります。

その結果、過去100年間に平均気温は0.3~0.6℃上昇し、海面は10~20cm上昇したと推定されていますし、エネルギー需要が現状レベルで推移しますと、2025年までに平均気温は約1℃、来世紀末には約3℃上昇し、海面は2030年までに約20cm、来世紀末までに65cm上昇すると予想されるのとこととであります。もしそうなれば、自然生態系の変化、自然災害増加、疫病蔓延等を通じて、人間社会に大打撃となるでしょう。このため、二酸化炭素の排出を抑制しようとする国際的な動きがでていることも皆様ご存じの通りであります。

さて、環境の観点から原子力の特長と課題を整理してみますと、化石燃料のように地球温暖化の原因となる物質を出さないこと、酸性雨の原因となる物質を出さないことなどが

挙げられます。資源の採掘や、輸送、貯蔵中の社会的なリスクの点でも、原子力は化石燃料よりも優れています。いろいろなエネルギー源について、同じ量の電力を生産するとした場合のリスクを比較した研究があります。その結果によれば、原子力発電は最もリスクの少ないものとなっています。

では、原子力の放射能の問題はどうか、とのご質問があるでしょう。これについて、イギリスのマーシャルさんは、1989年9月にカナダのモントリオールで開かれた第14回世界エネルギー会議で次のように指摘しています。

それは、地球環境懸念因子、つまり地球環境を壊滅的に変化させる心配があるファクターには、酸性雨とオゾンホールと温室効果の三つがあると。そして、これらに原子力の放射能を加えるのは誤りであると、そう指摘しております。地球は本来、放射能を持った場であって、しかも自然放射能の源の大半を占めるウラン、トリウム、カリウムなどは、みな地殻の表面近くに集中しています。そのような自然放射性物質の持つ放射能は、100 mの厚さの地表部分に限定して考えても、出力が100万kWの原子炉を1年運転した時の放射性廃棄物の放射能の数十万倍にも上ります。また、放射性廃棄物の大半が固体状であるのに対して、自然放射性物質の中には拡散しやすいガス状のラドンとか水溶液のラジウムなどが含まれることを考慮に入れますと、環境への拡散の点で放射性廃棄物からの心配は自然放射性物質からの心配に比べて100万分の1程度と評価されることになります。これらのことから、原子炉1基掛ける1年分の放射性廃棄物による放射能の問題は、自然界の放

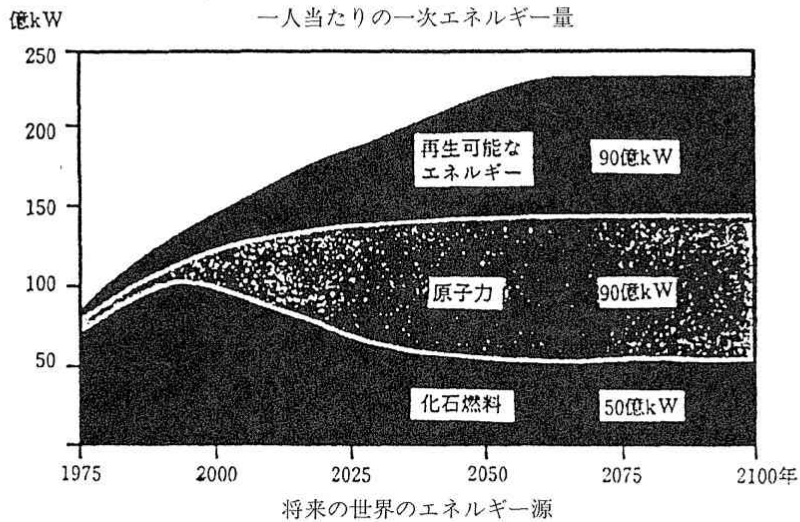
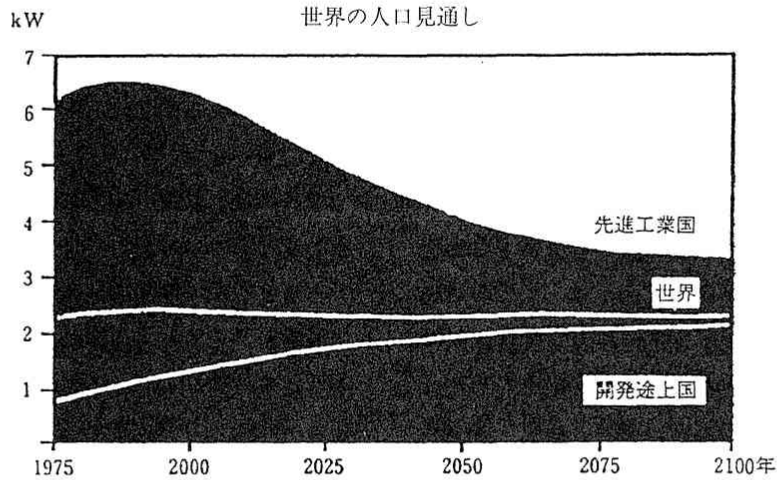
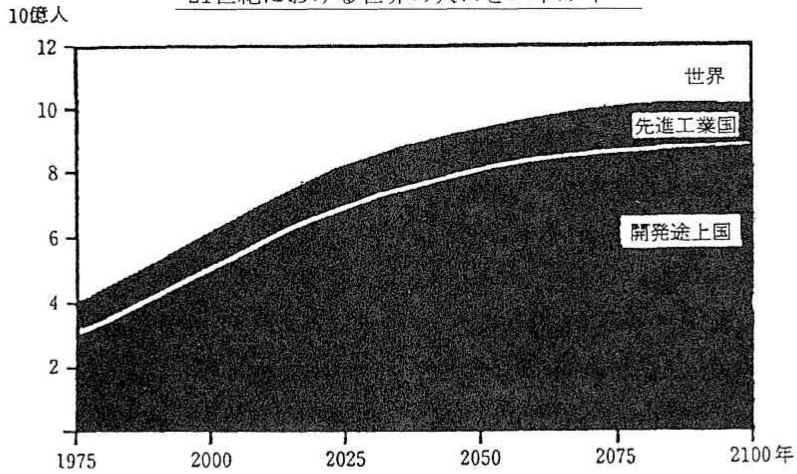
射能のもつ影響に比べて約800億分の1と、非常に小さな値になることが導かれるのです。これに対して、他の要因は自然の作用に比べて無視できない割合であるか、または自然の濃度を飛び超えているのが事実だというのがマーシャルさんの見解であります。

もちろん、チェルノブイルのような大事故による影響が、非常に広い地域とはいえ、地球全体から見ればやはり相当に限られた地域に集中いたしますと、その地域の自然環境とか住民の方々の健康、社会経済などの上で極めて大きな問題となることは間違いありません。そこで、安全には限りなく気配りをしていく必要のあることは、それはもう当然のことでございます。

今日の最も緊急を要する課題は環境への有害物質(SOx, NOx)の排出を低減することではありますが、50年のスパンで考えれば二酸化炭素に関する非常事態が現われる可能性があります。それでは、二酸化炭素の問題がおさまるのはいつのことかと言いますと、人類が排出する二酸化炭素が海の深いところと地球の表面に近いところの間で混合し、やがて大気中の濃度が下がっていくには500年から1000年の時間がかかるといわれています。これは、放射性廃棄物の崩壊に要する時間と大体同じ程度の時間スケールでありますから、放射性廃棄物の超長期性だけに的を絞って議論するのは片手落ちだと言わざるを得ないと思います。

さて、今後の世界、環境、エネルギーなどのことを考えていく上では、歴史に学んだ、しかも明確な哲学と理念に基づいた、しっかりとした未来展望を持つことが必要でありましょう。時間のスパンとして少なくとも百

21世紀における世界の人口とエネルギー



将来の世界のエネルギー源

出典：コリア：将来に向けての原子力戦略（欧州原子力会議，1990年9月）

年、そして世界全体、地球全体を見渡すことが必要でありましょう。

将来の百年間をどう考えるか。個人がこのようなことを考えるのは大変に僭越なことかもしれません。ともあれ、原子力の大先輩であるイギリスのコリアさんが、たぶんウラン協会の作業をもとにしたんだと思いますが、欧州原子力会議で発表されたのが、この図でございます。ご覧になった方も多いかとは思いますが。

その仮説によりますと、世界の人口は現在の約55億人から2100年には約100億人へと、倍になると考えざるを得ないでしょうと。エネルギーに関しましては、先進国の1人当りのエネルギー消費は現在7キロワット、ちなみに米国では11キロワット、日本は4キロワット、途上国の平均は1キロワット程度でございます。そして最低は0.6キロワットの国もあります。それを2100年の時点において先進国で3キロワットのレベルまで抑えこみ、一方、途上国では2キロワットのレベルまで上げるといたしますと、合計で現在の2.5倍に相当する230億キロワットの規模のエネルギー需要となります。

ご覧いただきますように、一番上の図は人口でありまして、発展途上国が約80%を占めています。真ん中の絵が1人当たりのエネルギー使用量でありまして、現在、先進国がピークとも言える使い方をしているのですが、徐々に発展途上国との差が縮まっていく。

増大するエネルギー需要をまかなうには、あらゆるエネルギー源を投入しなければなりませんが、化石燃料は地球環境問題からの制約で、現在を下回る量が目安となるでしょう。そこで、化石燃料、原子力、および再

生エネルギーを、どういう割合で使っていくかが問題ですが、コリアさんは一つの考えられる線として、化石燃料が50億キロワット、原子力が90億キロワット、再生エネルギーが90億キロワット程度と割り振ってんでいます。

ただし、再生エネルギーで90億キロワットがまかなえるかどうか、その用途は経済性や立地の問題などから、まだ立っていない状況です。

原子力については設備利用率の向上と多目的利用の実現でもって、90億キロワットという数字は発電設備容量にして現在の規模の約15倍にあたる50億キロワット相当に抑え込めると仮定します。それでも、二酸化炭素の抑制目標を達成するためには、2000年頃から世界全体で毎年1億2千万キロワット、つまり100万キロワット級の原子力プラントを毎年120基のペースで立上げなければならないというすさまじいことになります。

これは実に容易なことではございませんが、そういう努力をしたとしても、世界のエネルギー需要を満たし、かつ、環境を保護していくという目的からすれば、まだまだ充分とは言えないのでありまして、将来はその意味で危機的な状況だと認識せざるを得ないのであります。

ウラン資源については、より有効な利用、すなわち高速増殖炉を導入する以外には方策はないと考えられます。

さて、このような情勢の中で、わが国として次世代の原子力発電ならびに核燃料サイクルに取り組むことを通じて、内外のエネルギー・環境問題の緩和に貢献していくことが大切でございますが、その意義を浮き彫りにす

るために、とりあえずマクロ指標で見た日本の現状を要約しておくことといたします。

マクロ指標で見た日本の現状

- ・人 口 世界の2.3%
- ・エネルギー使用量：世界の約5%
- ・二酸化炭素排出量：世界の約4%
- ・電力使用量： 世界の約6.7%
- ・GNP： 世界の約16%
- ・貿易黒字： 年間千億ドル以上
- ・ODA： 総額では世界第1位

- ・土 地： 世界の0.3%
- ・天然資源： 極めて乏しい
- ・輸入依存率： エネルギーは84%

- ・原子力発電量： 世界第3位
- ・原子力発電比率：世界第13位

ご覧いただきますように、改めて申し上げる必要もないほどですが、日本の人口は世界全体の2.3%でありながら、エネルギーの使用量は世界の約5%、二酸化炭素排出量は約4%—エネルギー使用量5%に対して二酸化炭素の排出量が4%と小さくなっておりますのは原子力発電の効果でございましてとなっております。電力使用量は世界の約6.7%、そして経済的には最近不況ではありますが、GNPは世界の約十数%、貿易黒字は年間千億ドル以上、ODAは総額では世界第1位という経済大国であります。

しかし、土地は世界全体の0.3%に過ぎず、しかも平地は少なく、天然資源は極めて乏しいといわざるを得ません。エネルギーの輸入依存率の数字は84%にも上っています。どう見ても、将来的にこのままではいけないという感じがするではありませんか。

エネルギー資源的に見たわが国の実情

住民1人あたりの国内・域内エネルギー資源の比較
(1987年国連統計による)

	世界平均	米 国	西 欧	日 本
石 炭 [*]	1	2.24	0.59	0.03
褐 炭 [*]	1	4.15	2.02	0.001
原 油 [*]	1	0.75	0.24	0.002
天然ガス [*]	1	1.09	0.65	0.01
ウラン ^{**}	1	1.48	0.58	-
水 力 ^{***}	1	3.17	2.91	2.52

^{*} 確認埋蔵量 ^{**} 確認埋蔵量(<\$80/kg) ^{***} 開発済み

実際、住民1人あたりの国内または域内のエネルギー資源を比較してみますと、ご覧の表のようになります。たとえば世界全体の石油の確認埋蔵量を世界の人口55億人で割った値を1としますと、日本国内の石油確認埋蔵量を日本の人口で割った値は、その千分の2程度ということになります。つまり、現状ではマイ・OWN・エナジー・リソースと胸を張れる量は、水力を除けば、世界平均に対して0.0幾つないし0.00幾つといったような状況であります。

このような数字の精度そのものには大した意味もないし、日本に資源が少ないことは皆様先刻ご承知のことではありますが、小数点以下にこうもゼロが続々並ぶと、改めてこれは大変だと思われるのではないのでしょうか。

わが国は、こうしたエネルギー面での脆弱性を改善するために原子力発電を進めてきたわけでして—なぜ原子力発電かといいますと、原子力発電でウランを新たな燃料の形に転換しながらリサイクルして使いますと、燃料に転換された資源は準国産資源であると言えますから、エネルギー資源に関する自立性

が強まることになるわけです—現在では原子力発電が総発電電力量に占める比率は29%にまで達しております。信頼性と総合的な水準に関して、わが国の原子力発電は世界最高のレベルにあります。

わが国の置かれた資源的に見た厳しい現実と、世界の平和と繁栄と地球環境保護の面で今後果たすべき役割と、そして地域の発展ならびに新しい原子力文明の構築の重要性とを併せ考えれば、次世代の原子力への取り組みは正に必須であると思われるのです。

原子力と地球環境に関する目標

1. 短期～中期

①原子力発電目標規模

- ・2000年時点で5,050万kW
- ・2010年時点で7,250万kW

②核燃料サイクルの整備

- ・ウラン濃縮(1,500トン/年規模)
- ・再処理(800トン/年規模)
- ・低レベル廃棄物処理処分

③二酸化炭素排出低減

- ・2000年以降は概ね1990年のレベルに安定化

2. 長期～超長期

①原子力は発電、熱利用などを含めて人類の基幹エネルギー（全体の $\frac{1}{2}$ 以上と見る展望例）

②高レベル廃棄物の処理処分の実施

③二酸化炭素等の地球温暖化ガスの排出は1990年レベルよりも引下げる（ $\frac{1}{2}$ 程度とする提案例）

とくに、地球環境保護に関しては、わが国は先進主要国が共通の努力を行なうことを前提に、①一人当りの二酸化炭素の排出量を2000年には概ね1990年レベルに安定化し、②2000年以降は二酸化炭素の排出の総量を概ね

1990年レベルに安定化すること、そのための行動計画の期間は1991年から2010年までとすることなどを決めております。

わが国の長期エネルギー需給見通しでは、これと整合する形で、2000年時点で5,050万キロワット、2010年時点で7,250万キロワットという原子力発電の目標を掲げています。燃料サイクルに関してもOHPにご覧頂くような事業が進められているところです。超長期にわたっては、さらに熱利用などに原子力利用の領域を広げ、また、高レベル廃棄物の処理処分を確実に実施していくことなどが課題となります。

さて、いよいよ本題であります、次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向と技術課題に話を移してまいりたいと存じます。

次世代の原子力発電と核燃料サイクルに 求められるもの

1. 扱いやすく安心できること

- ・専門家にも一般の人にも優しいこと
- ・安全からさらに安心へ

2. 社会負担の面で受入れやすいこと

- ・過重な社会的負担の問題がないこと

3. 国際的にも受入れやすいこと

- ・核拡散への歯止めが充分なこと
- ・利益が広く享受できること

4. 地域や時代と共生していくこと

- ・地域の発展とともにあること
- ・時代のニーズを先取りすること

5. 新しい価値を創造すること

- ・高品質のエネルギーを生産
- ・新たな文化と科学技術を創造

まずは、これからどのようなニーズが強くなっていくかが問題ですが、主な点を要約し

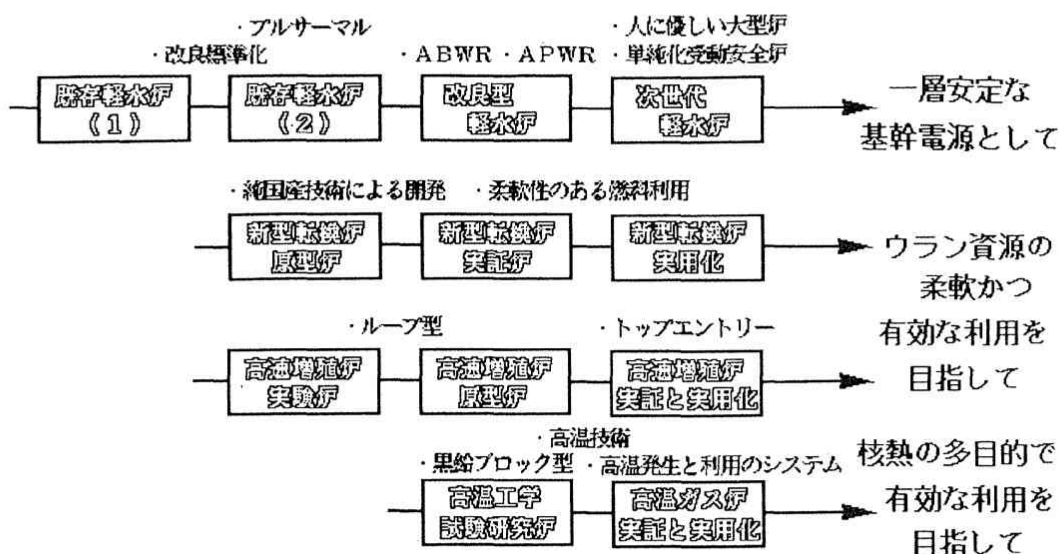
ますと、ここにご覧いただきますように、システムが扱いやすく安心できて、いわゆる優しいシステムであること、コスト的にも廃棄物管理の面でも、負担がリーズナブルな範囲にあること、核拡散への歯止めが十分であり、国際的にも受入れられやすいこと、地域や時代と共生していくのに適したシステムであること、資源の有効な利用を促進すること、そして、さらに申せば、新しい価値の創造の母体となること、などであろうかと思います。新しい価値といいますのは、もちろん、高品質のエネルギーを生産することではございますが、さらに原子力発電が、いわばその地域の経済・文化の総合的な発展にとっての中核になるという、そういう意味での新しい価値を生み出していくということをも含んでいるわけであります。

それでは、そのようなニーズを受けて具体的にどのような原子炉がこれまでに開発され、そしてまた近い将来、どのような方向を

とろうとしているのかを、わが国の場合を中心に見てみますと、ご覧の図のように整理できるかと思います。

軽水炉、つまり普通の水で燃料を冷却して熱を取り出すというタイプの、最も普及している原子炉のことではありますが、その軽水炉はすでに実用システムとして確立しております。これまでの改良標準化への取り組みによって信頼性も向上し、概ね順調な運転実績を挙げてきております。運転年数が経つにつれて、これからは、いわゆる経年劣化に注意を払う必要がありますが、それについては国の内外で組織的な試験研究や評価の作業が活発に進められております。

第3次の改良標準化を通じて、国際協力の下で設計が完成しました改良型の軽水炉は、世界の最先端をいく軽水炉として、現在、改良型沸騰水型原子力プラントABWRの建設が始まっております。設計の特徴を一言でいいますと、バランスが良くて、安全に対する



原子力発電の方向と将来像

懐が深く、そして機械的にもエレクトロニクス的にも非常に洗練されたシステムであると申せましょう。

これはABWRの原子炉本体を外から眺めた図で、東京電力さんから拝借したものでございますが、ご覧のようにポンプまわりが大変すっきりしたものとなっています。運転の特性も一層よくなると言われています。

これは改良型加圧水型原子力発電プラントAPWRの安全系統の図で、これまで以上に設計が強化されていることを示す1例です。資料は関西電力さんと三菱重工さんのものを拝借しております。系統構成が2系列から4系列となって、独立性と信頼性が増し、安全の懐が深くなっていると申せます。

さらにその先を目指すところの、いわゆる次世代軽水炉は、もう一度もとの図に戻りますが、単純化とハイテク化をもっと推し進めたものとなるでしょう。こうして、軽水炉は今後かなり長い年月にわたって、一層安定な基幹電源としての役割を担っていくことでしょう。

一方、資源論的に見ますと、ウラン資源を柔軟に、しかも効率的に利用できる原子炉が必要となってきます。ここで効率的と申しますのは、資源をなるべく無駄にしないで、できるだけたくさんエネルギーを取り出すということを意味しております。そのために開発されたのが新型転換炉ATRであり、そして燃料の本格的な増殖とその利用を目指すのが高速増殖炉であります。

新型転換炉は、国産技術を中心として開発されたものでありまして、燃料の中身が多少異なっている、安全に、しかも効率よく燃やすことができるのが特徴でございます。電

源開発さんを中心に、これから実証炉の建設に向かうとともに、実用化のための設計を進めているところでございます。

天然ウラン資源を普通の原子炉に比べて数十倍も有効に使うことのできる高速増殖炉は、動燃事業団さんの原型炉もんじゅが近く臨界を迎えようとしております。

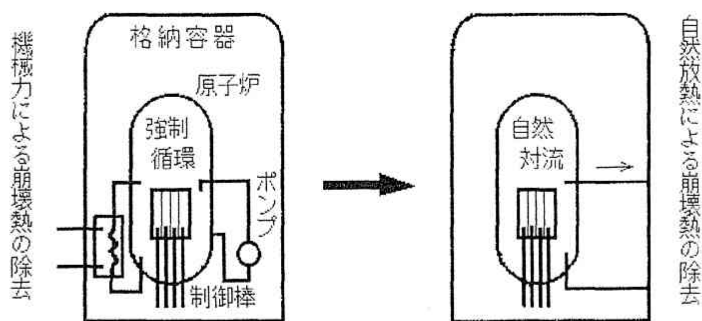
高速増殖炉の実証炉では、経済性を高めるためにトップエントリー方式を採用して、プラントをコンパクトにすることを目指しております。

さらに、エネルギーの有効利用の角度からは、高温ガス炉も魅力的でございます。目下、原研さんで高温工学試験研究炉HTTRを建設中でありまして、それから先、高温ガス炉を実用化することができれば、発電以外の熱利用の分野への幅広い利用の道が開けることになり、結果的に二酸化炭素の排出削減にも大きく寄与することになると期待しています。

さて、先ほど申し上げた将来ニーズへの対応ということですが、たとえば優しいシステムとはどういうものなのか、これだけについても実にいろいろな角度から研究が進められています。

プラントの運転を担当なさる方にとっては、システムが複雑すぎず、運転がし易く、異常が起きた時にシステム自体に十分な復元力が備っていることなどが望ましいでしょう。メンテナンスを担当なさる方にとっては、楽々と、しかも精度の高い検査ができ、そして速くて十分な補修のことができることが望ましいわけでございます。

また、一般の方にとっては原子炉の構造や原理がなるべくわかりやすく、親しみやすいものであって、原子炉がいつも安全な状態で



システム単純化と受動安全機構の活用

安定したエネルギーを供給してくれるものでなければなりません。

そこで、これからの技術的な方向として出てきた代表的なものが、システムの単純化、並びに受動的な安全機構の活用ということにあります。原子炉から熱を取り出すためには冷却水を流してやる必要がありますが、ポンプを使わずに自然な循環力だけに頼るのが単純化の例でございます。原子炉の運転が止ったあと燃料の中の原子の状態が自然に変化することによって発生する熱—これを崩壊熱と呼んでいますが、—その崩壊熱をポンプなどの力を借りないで自然放熱で取り除いてしまうのが受動的な安全機構の例であります。

このような単純化や受動的な安全機構の採用によってどのようなメリットが考えられるかを見てみますと、緊急時において、運転員が対応を必要とするまでの余裕時間—もし事故が起きたとして、その後バルブなどを操作しなければならないとした場合、その操作を始めるまでに残された猶予の時間のことで、英語では Emergency Reaction Time などと言っております、—そのような対応余裕時間が現在システムの場合よりもずっと長くなる

次世代の原子力発電に向けた技術開発の例

(水冷却型原子力発電システム)

システムの単純化と受動的な安全機構の活用

・目的

- ①緊急時対応余裕時間を伸ばす
- ②残留リスクをさらに下げる
- ③中小型として初期投資負担を下げる
- ④モジュール生産による連続的受注と納期の短縮
- ⑤単純化による物量削減

・設計例

- ①沸騰水型
SBWR(GE), HSBWR(H立), TOSBWR(東芝)
- ②加圧水型
AP600(WH), MSPWR(三菱), SPWR(原研)
SIR(英+米), ISER(東大他), PIUS(スエ)
- ③重水型
CANDU-3(カナダ)

大容量の次世代軽水炉に向けて

・目的

- ①大容量であることのメリットを生かす
- ②単純化と受動安全機構を活用する
- ③将来の先端技術を充分に採り入れる
- ④インテリジェントシステム化を目指す

ことが期待されます。具体的な数字で申しますと、対応余裕時間は現状の30分程度から3日間程度へと伸ばすこともできるようです。

それから万万一の重大事故までを考慮に入れた時の残留リスクがさらに少なくなること、なども挙げられます。大事故のとき、炉心の溶融が気掛りだと言われますが、そのような確率を数字で表わしますと、外国の原子力発電所の例では1万年に1回程度かそれ以下と評価されていまして、受動的な安全機構の積極的な採用や単純化によれば、10万年に1回以下と、さらに小さな数字になるだろうと期待されています。

ちなみに、わが国の原子力発電所に関しては、そのような確率の数字は外国の場合に比べて1桁も低いことが、専門家によって指摘されています。

さて、単純化や受動的な安全機構は比較的に小型の原子炉に適用しやすいことと、小型の炉であれば建設の総費用も少なくて済むだろうなどの考えから、アメリカなどでは中小型炉の設計を積極的に進めています。建設単価はスケールデメリットで高くなる分と、単純化による物量の削減効果や小型化による納期短縮効果などで安くなる分で、元がとれるという勘定をしています。

物量がどれくらい削減できるかを見てみますと、プラント1基について、たとえば現行のプラントでバルブが2,200個使われているとしますと、それが400個程度まで減るとか、ポンプが41台から11台に減るというような評価がございします。

設計例としましては、OHPでご覧いただきますように、単純化沸騰水型原子炉ではアメリカのSBWR、それから日立さん、東芝

さんの設計、また改良単純化加圧水型原子炉ではアメリカのAP-600、三菱さんの設計など、いろいろなものがございます。

一方、わが国では、さらに進んだ技術を盛り込んだ大容量の次世代軽水炉の検討を行なっています。つまり、大容量であることのメリットを生かし、システムの単純化と受動的な安全機構のメリットを生かし、さらにわが国の冠たるハイテクをフル装備したシステムを目指した検討でありまして、まだ固まった全体的なコンセプトとしては存じ上げておりませんが、ABWRやAPWRの延長上に位置付けられるものとしての検討が始まっていると伺っております。

さて、次に原子力発電所のマン・マシン・インタフェースの話題でございしますが、ご覧いただきますのは原子力発電所の従来型の制御盤と改良型沸騰水型原子力プラントABWRのそれを比べたものであります。これは東京電力さんの資料から拝借したのですが、ABWRにおいては前方にある大型の液晶パネルで、プラントの状態などが一目瞭然に分かるようになっています。手元の操作盤でも機械的なレバーとかスイッチはほとんどなくて、フィンガータッチ型が中心になっています。将来はさらにSF的な要素と芸術・居住空間的な要素の強まったものになっていくことでしょう。人と機械が向かい合うマン・マシン・インタフェースの技術は、プラントの総合的なインテリジェント化の方向の中で着々と進歩していることがお分かりいただけたことと思います。

以上のような改良・改善に向けて、その検討の根底をなすものは、やはり安全性のことです。では、次世代のシステムを設計

する上での安全の目標はどのようなものであるのでしょうか。

次世代炉の安全設計に関して

一安全目標の設定

- ・ 定量的目標

一従来よりも厳しい安全設計条件

- ・ より低い炉心溶融確率
- ・ より高い格納システムの健全性

一放射線線量当量基準

- ・ 事故の分類に応じた制限

一緊急時対策

- ・ 緊急時対策の要否の条件

一多重防護強化との関連における残留リスク低減効果

それには定性的な目標と定量的な目標とがあると思いますが、定性的目標としては、われわれが考えておくべき条件のもとで、環境に大量に放射性物質を放出するような大事故は起こらないこと、また、都市近接の熱利用型軽水炉の場合では事故のときに燃料が水から露出しないこと、などが条件として挙げられています。一方、定量的には、炉心の溶融事故の確率を現在の評価値よりもさらに1桁以上下げていくことなどが議論されています。

事故の重大さに応じて、放射線被ばくの面で設計上考えておくべき基準なども検討されています。また、緊急な退避を考える必要のない安全な設計の目標についても検討が行われています。

こうした議論を踏まえながら、日本、アメリカ、ヨーロッパなどの改良型軽水炉や新型

炉、ならびにその先の次世代炉の研究開発が進められている状況でございます。

さて、予稿集の「次世代の原子力発電に向けた技術開発の例」のところに列挙しておきましたほか、燃料の燃焼度をさらに高めること、発電効率を高めること、熱を多目的に利用するためのシステムや高速増殖炉の実用化を目指していくことなどが、今後とも重要な方向であると考えます。時間の関係で説明は割愛させていただきますが、ただ、一言だけ、高速増殖炉は燃料資源の利用のあり方の根幹に係わる極めて重要な意義を持っていること、そして多目的利用は原子力エネルギー利用のあり方の根幹に係わる極めて重要な意義を持っていること、だけを申し上げておきたいと思います。

本当はウランの採掘のところから順番にお話しをしていくのが分りやすいのですが、短い時間でポイントを絞っていく必要がありますので、予稿集に書きましたような順番で、要点のみをお話し申し上げます。

核燃料サイクルで燃料利用の点から最も大事なことは、高速増殖炉を実用化してウラン資源をプルトニウム燃料に変えながら徹底的に活用すること、資源をもったいなくないよう、有難く全部有効に利用させていただくということ、これに尽きると思います。そのためには、経済性のある高速増殖炉を実現することと、プルトニウムが軍事に転用されないことを確実にしていくこと、などが前提となります。

プルトニウムはウランと混ぜ合わせた形で使うのですが、プルトニウムが不足してもいけないし余ることも望ましくありません。そこで、そのための調整役として新型転換炉が

活躍することになりますし、高速増殖炉も増殖一本槍ではなくて、必要に応じて弾力的に運転したり、超ウラン元素の消滅処理の役割を果たしてもよいと考えられます。また、プルトニウムを加えた燃料を軽水炉に入れて燃やす、いわゆるプルサーマルについても逐次、実施していく予定となっております。

使用済燃料を燃える部分とそうでない部分に分けていく作業、つまり再処理は、材料的にも化学的にも、また安全の上でも、大変高度な技術のいる作業でございます。今後の技術開発の方向としましては、平和利用にとってさらに優れたシステムを作り上げていくこと、つまり具体的には、使用済み燃料の中からいろいろな物質をきめこまかく分別回収して、経済性などのからみはありますけれども、役にたつ物質はできるだけ活用していくこと、それから核物質に徹底した鍵を掛ける技術を追求していくこと、などが重要だと思います。

再処理をしないでも、使用済み燃料をそのままずっと貯めておくか、あるいはすぐに処分してしまえばよい、という考え方も一部にはございます。しかし、OECD諸国の合計で見ますと、もしも再処理しなければ、2030年には数千トンのプルトニウムを含む使用済燃料が溜まってまいります。このような大量の使用済燃料の山をそのままにして、それを継続的に防護するという問題を子孫の世代に残すことはできませんし、ましてや捨てるなどというのは、われわれのような資源にハングリーな者には、到底納得できないことでございます。

さて、放射性廃棄物には原子力発電所の運転に伴って発生する低レベル廃棄物と、再処

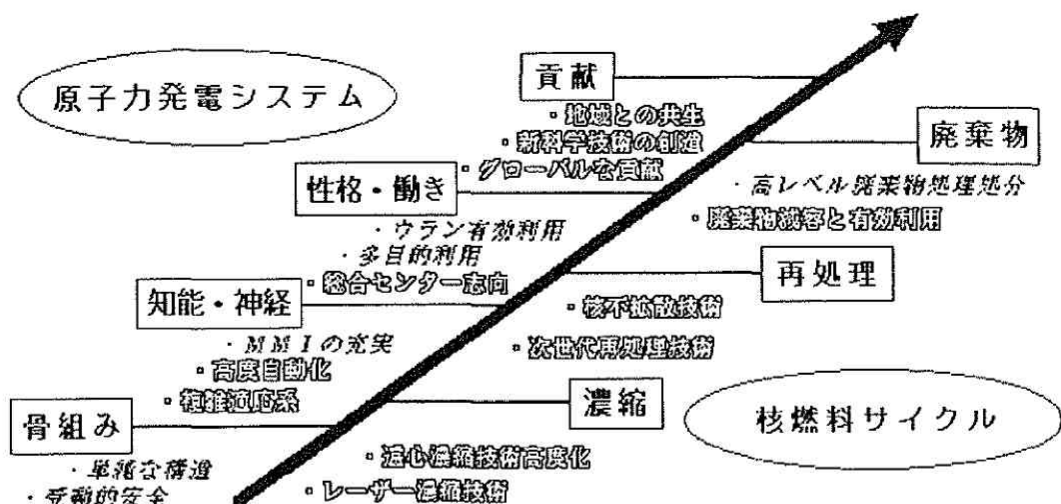
理で出てくる高レベル廃棄物との区別がございます。原子力発電と火力発電を比較してみますと、同じ容量の発電所の場合、廃棄物の量は原子力では100万分の1で済みます。

放射性廃棄物のうち、高レベル廃棄物は放射能が非常に長い年月にわたって続くこともあって、特にいろいろと議論のあるところでございます。今後、技術的にも体制的にも、さらに詰めていかねばなりません、専門家は技術的に安全は確保されとの見通しを持っており、今後はそれを確認するための試験データの積み上げが待たれるところでございます。

以上、甚だ簡単なながら核燃料サイクルの重要課題の極く概要をお話し申し上げた次第ですが、原子力発電と核燃料サイクルの重要課題は図として予稿集に添付してございますので、後ほどご覧いただければ幸いです。課題項目のうち、白抜きで示したものは、まだ海外でも必ずしも固まったコンセプトができていない分野でありまして、わが国として大いにオリジナリティを発揮できるところではないかと期待しております。

さて、原子力発電と核燃料サイクルの技術戦略を考えるにあたりまして、その上位概念でありますところの原子力開発利用全般にわたる戦略のことにも目を配らねばなりません。本日の私のお話は、原子力発電と核燃料サイクルの技術戦略というテーマの範囲内に限らねばなりません、やはりその上位概念である原子力開発利用全般にわたる戦略にも、どうしても触れないわけにはいかないのであります。

戦略的アプローチの一般論についてはすでに冒頭で触れましたが、大変重要なことであ



次世代の原子力発電と核燃料サイクルの技術課題

りますので、別の言葉で少し補足いたしますと、第一に戦略にはシナリオ性が必要であり、第二に論理性、つまりセオリーが必要であるということでございます。第三には明確な目標。第四に、戦略体系における階層性（ハイアラーキ）。そして第五に、優先度を含めた順序性が必要でございます。第六には、分散による強靱性を取り入れた上での基本的一元性をもつところの強力な統御性（マヌーバビリティ）が必要とされます。そして、第七番目に、高い予測能力に裏付けられた実行可能性（フィージビリティ）が必要でございますし、第八には、以上を総合した結果としての戦略の信用度（クレディビリティ）が絶対に必要かと思えます。

原子力の技術開発戦略に関連しまして、一般的に念頭に置いておくべきポイントを、私の現在の問題意識に基づいて整理しますと、このOHPようになります。

まず、戦略次元の最も基本的なところとしまして、複眼的、深層的、組織的に考えるこ

とが何よりも肝要であります。水平と垂直と時間軸とを見渡して、必要に応じていくらかでも適切な対応の取れるように、万全の準備を

原子力の技術開発戦略に関連して

1. 戦略次元のアプローチの重要性

- ・複眼的、深層的、組織的な考え方
- ・戦略的アプローチのためのロジスティックス
- ・情報と国際的人材の重視

2. 最高水準の技術的能力の重要性

- ・技術のインブリード
- ・テクノヘゲモニー
- ・技術開発による選択肢と自由度の確保
- ・核拡散防止のための技術の開発と行使
- ・究極の安全を求める技術の優しさ

3. 基盤確保のための戦略

- ・知的財産権の重視
- ・オリジナリティと模倣
- ・プロセスの重視
- ・論理性と透明性と力

しておくことであります。グローバルなことを考えることと、国家・国民の繁栄を追求することは、複眼的に考えれば全く同時的に成立することです。従って原子力においても、協力体制の下に原子力によるグローバルな貢献を目指していくと同時に、活発な競争を進めて優位に立つことが、もちろん重要なことであります。

戦略においてはロジスティックス（物量作戦）が大きくものをいいます。必要な資金、人材、資源などを惜しまず投入することが肝要でありまして、これは大変身勝手でございますが、私のような教育と基礎研究のコミュニティに身を置く立場からしますと、原子力の基礎研究の環境をロジスティックスという意味でも改善していただきたい。

原子力に関する基礎研究のための投資は、世界的に見ても必ずしも十分ではありません。わが国では、科学技術の基礎研究は全般的にフローの点では欧米並みに近づきつつはあるものの、ストックつまり蓄積された関連のインフラならびに精神的伝統などの点ではまだまだの感が拭えません。

さて、“原子力発電は技術で燃やす”といわれます。技術は原子力発電の間接的な燃料であり、源でありまして、これまでのような高い技術水準を今後とも維持していくことが絶対に必要なことでございます。

そこで、そのような高い技術水準を保つにはどうしたらよいか、ということでございますが、やはり複眼的に見まして、一つには他のハイテク分野との積極的なコミュニケーションを進めることによって若さを保つこと、もう一つはここに書きましたように、技術のインブリードの体制つまり原子力の中から

次々と新しい固有の技術が生れてくるような体制一を強めていくことだと思います。それには、原子力発電の分野が自ら厳しい技術到達目標を設定して、それに向かって挑戦していくことが必要であります。

原子力発電は、幸いといいますが、不幸といいますが、安全について極めて厳しい目にさらされておまして、このことはしかし、技術開発にとっては、むしろご鞭撻であると受け止めて、これを一種のバネにしながら期待される以上のものを目指していくことが肝要かと思えます。

これからの日本はノブレス・オブリージュ（Noblesse Oblige）の精神でやっていかなければならないとよく言われます。日本は、自ら開発した“スーパーテクノロジー”と呼ぶにふさわしい独創的な技術を、人類共有の財産としてグローバルな観点から積極的に活用するべく、テクノ・グローバリズムを推し進めていることも、皆様ご案内の通りでございます。それと並んでテクノ・ヘゲモニー、つまり科学技術分野における指導権のことについても、複眼的に良く勉強しておく必要があると思えます。

歴史を見ますと、国家的なヘゲモニーは15世紀以来、大体100年間のサイクルでポルトガル、オランダ、イギリス、そしてもう1回イギリス、と続き、その後アメリカにわたって今日に至っているのが分かります。国のヘゲモニー・サイクルは経済における景気循環のサイクルや、技術革新におけるサイクルなどのような、スーパー・サイクルに比べて約2倍も期間が長いことが示されております。

これからは単一の国家が圧倒的なヘゲモニーを持つということは考えにくく、むしろ目

頭の表にもありましたように、世界連邦国家のような形態に移っていくことも考えられます。しかし、そのような情勢の中にあっても、日本を構成してきた民族的集団の果たしていくべき役割をヘゲモニーの観点に照しながら考えていくことも大事でありますし、科学技術の中での原子力科学技術のリーダーシップという観点も見逃すことはできません。

核拡散防止のためのさらに高度な技術の開発や、究極の信頼性と安全を求めようとする努力は、原子力の科学技術それ自体の前進にとっても、大きな利益をもたらすことと思います。

さらに強調しておきたいことがございます。それは、オリジナリティとプロセスの質を重視するということであります。結果良し、となることはもちろん望ましいことではあります。すが、たとえ結果が芳しくなくても、技術開発の過程で得られるものは少なくなく、決して失望するにはあたらないと考えます。

最近、知的財産権の話題が賑やかになっていますが、アメリカの動向は明らかにプロパテントの方向を示しております。特許の損害賠償額は巨額となり、裁判などで特許の有効性が認定される割合も70%と増えてきています。原子力においても、このような時代の動向を見据えた技術開発戦略が求められている、言い換えればできるだけオリジナリティの高い技術の体系を目指していく必要があると言えます。

さて、わが国ではただいま原子力開発利用長期計画の改訂作業が進められております。わが国の原子力の開発利用の基本的考え方と方策がこの長期計画において示されているわけでありまして、エネルギーもそうでない分

野での利用も広くカバーされており、また、核融合や基盤科学技術についても、さらには国際協力のあり方についても基本的な考え方と方策が示されています。

原子力開発利用長期計画における基本的課題

1. 長期的視点からの基本課題

- ①基軸エネルギーとしての原子力の確立
- ②長期的展望に立った総合開発戦略
- ③基盤科学技術の推進の強化
- ④基盤条件の整備

2. 国際的視点からの基本課題

- ①核不拡散に対する役割と取組みの強化
- ②原子力先進国としてのわが国の役割

3. 人々からの信頼と理解を高めるための基本課題

- ①人々の理解の増進に向けての課題
- ②人々の信頼感の醸成に向けての課題
- ③原子力開発利用長期計画への理解と関心の向上

4. 主要な論点

- ①長期的視野に立った原子力開発利用の国際的グランドデザイン
- ②プルトニウムの利用と管理
- ③原子力の安全確保のための技術と体制
- ④放射性廃棄物の処理処分システムの確立
- ⑤先端的基盤的な原子力科学技術の展開

その中での基本課題をまとめたのがこのOHPでございます。もちろん、現在改訂中でまだ結論が出ているわけではございませんが、ここにご紹介するような長期的な視点からの基本課題、国際的視点からの基本課題、人々からの信頼と理解を高めるための基本課題などをベースにしながら、目下、検討が進

められている次第でございます。

次世代の原子力発電と核燃料サイクルの技術戦略を考える上での必要な事項や基本的なスタンスは、すべてこれらの基本課題とそれをめぐる検討内容の中から汲み取ることができずでありますから、本来ならばそのあたりを詳しくお伝え申し上げるべきところでございますが、それに関しましてはすでに本年4月に原産年次大会にてまとめてご報告申し上げましたので、ここでは重複を避け、割愛させていただくことにいたします。

時間がまいりましたので、大変ざっぱくではございましたが、以上で私の話しを終わります。

本日の15周年記念特別シンポジウムのタイトルであります「21世紀のエネルギー技術戦略」につきましては、正にエネルギー総合工学研究所に期待いたすところが大きく、ますますのご活躍とご発展をお祈り申し上げる次第です。

どうもご静聴有難うございました。

【特別講演②】

「21世紀中葉における エネルギー技術ビジョン」

—「21世紀の技術とエネルギービジョン」から—



柏木孝夫[※]

大変大きな題でやるようになりまして、いまから大体60年後ぐらい、2050年のエネルギーはどうなっているかと。非常に難しい委員会を仰せつかりました。ただ、若手の先生方と非常に経験豊富なエキスパートの委員の方と、積極的に毎月委員会を開かせていただいて、事務局の絶大なる力と通産省の厳しいコメントをいただきながら、どうにかまとめさせていただいたということです。

この委員会自体、元長官でおられます山本貞一さんが推奨されて、ぜひ21世紀中葉にどういうふうなエネルギービジョンでわれわれは考えていかなければいけないかということ、あまり枠にとらわれずに好きにやってくれと。最初は楽にやらせていただこうと思ったのですが、話が進んでまいりますと、なかなか難しいですね。で、このエネルギー総合工学研究所のいままでの多くのデータをもとに、かなり積極的な議論を行わせていただいて、どうにか定量的な値を経験から出してきたというところにこの委員会の特色があるんだと思ってます。

まず最初に、一応このストーリーだけ申し上げておきますと、まずエネルギーの視点に

対して、過去、現在、これから長期的にどうなるのかということを少し歴史を紐解いて考えてみたいと思います。それをベースにして、21世紀のエネルギービジョンにはどういう評価項目が重要になってきて、かつ、ディマンドサイドというか、需要サイドでどのくらいのエネルギー消費が必要となるのか。これも2030年から50年をターゲットに当てて考えています。

それに対して、今度は現在の技術、あるいは長期的に見て、2030年から2050年に実用化されるであろうという技術がどういものがあるのかといういうことを考えて、それらの技術開発と需要の量を見越して、それでは、2030年～2050年に、わが国にターゲットを当てて、一次エネルギー供給がどのようなシェアなのだろうかと。これは非常に問題なんですけれども、一応いままでの国際的に提唱されているモデル等も勘案をいたしまして、われわれの経験と研究のいままでの実際のデータのもとに、ある値を決めさせていただけたということです。

エネルギー自体、行政ですから——技術開発は産・官・学と一緒に開発しなけれ

※ 東京農工大学工学部 機械システム工学科教授 (21世紀の技術とエネルギー委員会委員長)

ばいけない問題ですけれども、どの程度のエネルギーのシェアにするかというのは行政サイドの決断によるところが多いわけで、これはエネルギー庁長官の指令を受けてますので、日本がこうあるべきだと。環境問題対策にしても、それを加味してこうあるべきなんだというシェアを、一つの参考として決めさせていただいたということになります。

最後に、そのシェアを達成するための技術開発のシナリオはどうあるべきか。さらに、12の視点を提示させていただいて、われわれはこういう視点から21世紀中葉のエネルギービジョンを構築すべく提言をしなければいけないということまで触れさせていただこうと、こういうふうな順番でやらせていただこうと思います。

まず、この48ページ、49ページ（本文資料p.109～110）に「第1章 文明とエネルギー」ということになっておりまして、いままでのエネルギーと文明、エネルギーと人間社会というのは切っても切り離せない関係にございますね。少し紐解いてみますと——われわれは時期的に4つに分けたんです——第一文明、これがエジプト文明でしょうね。このときには、人の力とか家畜、これがエネルギーの源だった。それを踏まえて、今度はギリシャ文明に移ってきて、ギリシャ文明になりますと奴隷がいますね。ですから、人手も差別があって、人のエネルギー自体が奴隷のエネルギーとしてかなり淘汰していった。もちろん畜力はあるわけです。それプラス、ギリシャになってきますと、ここに風力と水力が入ってくるということになります。

その次が産業革命に移ってくる。これは、イギリスに端を発した産業革命。ここでは、

いままで人とか畜力による肉体的なエネルギー源から、化石燃料系統、すなわち石炭ベースに移ってくる。これが前期産業革命ということになってきます。

その後、今度は情報化社会ということで、情報文明。これが工業化社会の最後の——これはアメリカに代表される大量消費のエネルギーから、さらに電気エネルギーへの重要性和、かつ情報化社会というような4つの文明に分かれてくるんだろうというふうに考えてます。

もう少しほかの見方をしますと、農耕社会があって、工業社会があります。いま現在、われわれは先に述べた情報社会に移ってるといふふうに考えられるわけです。

いままでの都市の構造とエネルギーの構造とは切っても切り離せない関係にあります。たとえば都市構造で考えると、昔は村の世界ですが、農耕民族がいて、農業すなわち人力や畜力をベースに一つの村ができた。それが今度は産業都市構造に移ってきました。日本でもそうですね。産業があって、そこに都市ができてくる。

いまはそうじゃなくて、情報集約社会——情報集約的な都市構造ということに移ってきました。オフィスビルがあって、作業工場はちょっと田舎にある。管理部は全部中央でやる情報社会に移っていくわけです。ですから、エネルギー自体も、電気エネルギーがメインになってきたというふうに考えられて、都市構造といままでの文明とが表裏一体の流れとして発展してきたというふうに考えても過言ではないだろうというふうに思うんです。

それでは、これからはどういう時代に移ってくるのか。いま現在は工業化社会の後期で

あり、情報化社会に入ったということになるわけですね。その後にくるものは、これはエネルギーの多消費ではなく情報社会が継続するのは明らかですが、やはり環境重視ということになってくることは間違いないだろう。名前をつければ、21世紀中葉は地球再生——通産省の委託研究ですから、通産省が独自に提唱している地球再生計画。再生計画自体の背景には、地球環境自体はもはや成人病だと。ですから、短期的に抗生物質をもっとのめば治る問題じゃなくて、成人病ですから、長期にかかってなった病気は長期にかかって治さなければいかんというような考えから地球再生計画が出ているわけですね。ですから、21世紀中葉は地球再生環境技術時代なのではないかと。

主なエネルギー源は、やはりこういうことからいきますとクリーンエネルギーということになるんでしょうけれども、再生可能エネルギーとか、言い方はたくさんありますが。しかしどう考えてもやはりこれが主力になることはない。やはり核エネルギーを無視しては語れないんじゃないかなと。

秋山先生のお話にありましたけれども、成熟した社会というのはそれほど原子力は伸びないという考えを私は持っていたんです。どちらかというとやはり、貧困に耐えてもエネルギー消費のディマンドサイドを抑えて、なるべく合理的なエネルギー利用をすることによって、アメニティを味わいながらエネルギー消費も抑えるというような考えていたんですけれども、発展途上国とかいろいろなことを考えますと、それだけでは話は進まないというのが、この委員会で私自身も会得したことでありまして、どのエネルギーにおんぶ

するかというと、どうも核エネルギーに頼らざるを得ないのかなというのが率直な考えです。それは後で少しずつ紐解いていきたいと思います。

文明とエネルギーで、いままでの文明を基に、これからの視点というのはどういうふうに変わっていくのかという話をさせていただいたわけですが、少し視点を移しまして、では、エネルギーを取り巻く現状、それから今後の需要がどうなっていくのかということに対して、この資料でいきますと50ページ、51ページ（本文資料 p.111～112）で述べたいと思います。

これは分厚い資料でございまして、これだけ資料があるんです。全部で110ページぐらいの資料がありまして、この中の要約版をきょう出させていただいております。ですから、大体エッセンスだけはここに書いてございしますので、これをお読みになればおわかりになると思いますけれども、大体、ここの内容プラス、いままでのディスカッションの内容を踏まえながらお話しをしていこうと思ってます。

ご存知のように、環境問題は、昔は産業公害に代表されるローカル環境。これはもうご存知ですね。ローカル環境も、昔は産業公害で、水俣のように一つの地域に限られていた。ある工場から出た有毒性物質で、そこに住んでいる住民がダメージを受けたということですね。しかし、いまのローカル環境というのはもう少し都市レベルに移ってきたというふうに考えてよろしいんじゃないでしょうか。

たとえば、ヒートアイランド現象。これは、舗装道路が多くなって、打ち水効果がなくなるとか、緑がなくなるとか。だから、屋上緑

化を推進するといろいろなことがありますね。都市レベルの環境まで移ってきた。それがもう一つ発展すると、国レベルということで、地球規模の環境問題ということになるんだろうと思うんです。

地球規模の環境問題を考えるときに、われわれが避けて通れないのはやはり人口問題ということになります。人口問題はともあれわれわれ先進国の問題ではなくて、これは間違いなく発展途上国の問題ですね。現に、いま、全世界の4分の3の人口が発展途上国に住んでおりますから、そういう意味では、発展途上国に対してどういうエネルギービジョンを構築するかということも忘れてはいけない問題であって、逆に、われわれが合理的なエネルギービジョンを構築しておけば、それがひと時代後れて発展途上国のほうにテクノロジーがトランスファーしていくというふうに考えられるんじゃないかと私は思っています。

その人口がどのくらい伸びるかというのをわれわれはいま考えているわけですが、もう一つは、資源があとどのくらいあるかということを考えないと、需要を見通すといってもなかなかうまくないでしょうね。現に言われているところを少しデータを申し上げますと、

……まず、石油が45年。ただ、石油45年といってもなかなか45年が短くならないですね。使えば見つけますから。

ただ、私いつも言うんですけど、ずいぶん前なんですけど、計算してみたことがありまして、富士山をカップにして何杯だという話。いまの確認されている原油の埋蔵量は大体1,600億キロリットルぐらいでしょうか。富

士山をカップにしますと、大体0.5杯ぐらいですね。富士山というと、底辺が大体20キロの円ですから、高さ3キロとして円錐で仮定しますと、大体3,000億キロリットルということになりますので、半分ぐらいしかない。ですから、やはり石油は非常に少ないなと日本人は思う。外国人はそうは思わないですよ。外国人は「富士山はデカイな」と言うんですけども、われわれは石油が少ないなと。

45年と言われてますから、そういう意味では、2050年といえますと、石油というのはほぼなくなりつつあって、価格構成もだいたいほかの新エネルギー等と競合するような額になっているんじゃないかなというふうに予測するのが妥当なんだろうというふうに考えてます。

石炭に関しては220年。環境問題でいきますと、炭酸ガス問題では石炭というのはどうも悪者にされがちで、石炭はカーボンタックスをガッポリ取られるんじゃないかというふうに考えられがちですが、どうもわれわれの委員会では、間違いなく石炭は最後まで残る、石炭を無視して日本のエネルギーは語れないだろうというような考え方が主流をなしていました。ですから、石炭は長期的にずっと末永くベースロードとして使っていくような格好にはなるんだろうと思います。

それから、天然ガスが60年。天然ガス自体、いま深層天然ガスとか、石炭層に入っているコールベッドメタン——先週、北海道へ行ってきました、苫小牧の辺にガス田があって、4,500メートルぐらい掘ってるみたいです、天然ガスがかなり出てきたと。石炭層を通り越して、そのもうちょっと下で、深層までは行かないと言われてますけれども、掘ればかな

りのところで出てくるんじゃないかと。ですから、これも60年というのはちょっとわからなくて、徒来型ではない天然ガス自体がどのくらいあるかということを考えますと、かなり明るい可能性もあるというふうに考えられるんじゃないかなと思ってます。

あと、原子力自体は、ウランがいま70年と言われているけれども、これは238をプルトニウムに変える高速増殖炉ができてくれば、これは飛躍的に伸びるということになります。日本としてはどうにかそこら辺のところにターゲットを当てた技術開発をしないと、なかなかエネルギーセキュリティはカバーできないんじゃないかなというふうに考えてました。

そういうふうな資源エネルギーの状況、いまどのぐらいの量があるかという現状があって、それじゃ、これから21世紀中葉においてわれわれはどのぐらいのエネルギー消費をするのかなということで考えてみようと思うんです。それで、21世紀を展望するにあたりまして、50ページ(本文資料 p.111)の下の方に書いてございますが、21世紀社会というのはどんな社会になっているのかなと。これは、いろいろと好きなことを言えというもので、皆さん好きなことを言っていただきました、考えてみたんです。

キーポイントを申し上げますと、50ページ(本文資料 p.111)に少し書いてありますね。棒線を引いたところは大事だということで棒線を引いてあるわけですが、人口の爆発的増加。これは発展途上国ですね。これに伴うエネルギー消費、地球環境の悪化、あるいは地球の耐量というか、どのぐらいまで使えるかという、成長の限界ということですね。

環境が修復されるオーダーの中で工学を発展させなければいけないということが大前提になってますね。工学の発展というのは、あくまでも環境がもとに戻れるというところのオーダーで発展させないと、これはもはや工学とは言えない。ですから、そこら辺を考えますと、地球の耐量がどうなるかということを考えなければいけない。それから、グローバルな情報化社会の出現。これはいまでもそうですね。ハイテク化・自動化、高年齢化。

大体、委員の皆様方も、2050年というところの年齢までいっているわけですよ。100は超えてますね、私も超えますから。超えない方が何人か、東大の若い先生で2、3人いらっしゃったかもしれませんが、97、8歳になってるでしょうね、きっと。そういう状態ですから、これから数十年、超高齢化社会ということになります。それから、24時間ライフスタイル化ということでありまして……。

もう一つの見方をしてキーワードを考えてみますと、われわれが考えたのが、世界のレベルで考えますと、国際社会人という人種が主流を成す。国際的な社会人。すなわち、移動が容易になって、ビザもいらなくなる。誰でもその国にある程度住めるようになるということになりますと、どうも大国が解体するんじゃないかと思えますね。小さな国が増えてくると思えますね。大きな国は州に分割されて、大国解体につながるんじゃないかとか、あるいは、ハイテク自動生産あるいはその制御系の高度の技術を保有している国が、世界の中の環境すべてを監視できるようになりオーダーシップがとれるようになるんじゃないかとか、あるいは、大掛かりな地球再生事業が着手されているという時代でもあるんじゃない

かと。

あと、大規模なデータベースが完備されて、グローバルなネットワークも完全に機能できるようになっている。21世紀社会はそんなようなキーワードになっているはずなんだというところで、それじゃ、エネルギー消費はどのくらいになっているのかということを考えますと、その次の51ページ(本文資料 p.112)に、「エイッ、ヤーッ!」とキメたところなんです。2000年から2010年の長期エネルギー需給見通し——これは私も省エネ部会の委員をやらせていただいて、長期エネルギー需給見通しを平成2年10月に出させていただいたんですね。そのときの2000年から2010年のエネルギー消費の伸びが1.1%というぐらいにしないと、地球温暖化防止行動計画が遂行できないということになったわけですね。

ちなみに申し上げれば、最終エネルギー消費で3.91億キロリットル。これは最終エネルギー消費ですよ。一次エネルギー消費じゃなくて。3.91億キロリットルにどうにか抑えないと、いくらエネルギー供給システムを炭酸ガス排出の少ないエネルギーにシフトしたとしても、なかなか90年レベルで国民一人当たり排出した炭酸ガス量で安定化させられない、ということで1.1%というふうな伸びを考えたいわけですね。

それに対して、2030年、2050年、どのくらいの伸びなのかということを総合的に判断したわけですが、やはり1%前半ぐらいで妥当なんじゃないかという考えに達したわけです。

それをちょっと考えますと、いま、たとえば年率1%で1990年に供給した一次エネルギーの消費を100としますと、1%で伸ばしてい

くと、2050年で大体1.8倍になる。2030年が1%で1.49倍、2050年で1.82倍になるわけですね。それに対して、1.5%で、2030年で1.81倍と。ほぼ2倍弱。2050年で2.44倍というぐらゐの量になります。まあこのぐらいが妥当なんじゃないですかね。

あと、3%に伸ばしたのをちょっと計算してみますと、3%ということ——ついこの間3%伸びてましたからね。1、2年前。オイルが安くなればバツと使うわけですから、3%に伸ばすとなると、2030年で3.26倍ですよ。1990年を100にして326、2050年で586と。これはもはやあり得ないだろうと。

これだけでは説得力がないので、少し人口問題などを考えてみよう。まず快適性でエネルギー消費はもちろん増えていく。電力化の傾向にありますから。電力化率2050年で50~60%にいくだろうというふうに考えますと、間違いなく一次エネルギーの投入量が多くなりますね。

それに対して、人口問題はどうかというと、2010年までは私達はデータがあるんですよ。これは統計に基づいて、こうなるだろうという予測がありまして、大体1990年から2000年までは0.44%で伸びていくだろうと。これは統計からです。その後、2000年から2025年までは、ベビーブームも去って、マイナス0.2%ぐらいで減っていく。だから、亡くなっていく人が多いということですね。2000年までは増えていった、0.44%で伸びていくだろう。それ以降、2025年までは、今度はだんだん亡くなる人が多くなって、生まれる人が少なくなっていった、マイナス0.2%で増加する、逆に0.2%で減少していくというふうに予測しているわけです。これは専門家の予測ですか

ら、これをわれわれも使おうと。

その後、われわれは2030年から50年をやれと言われてますから、どうしようかと考えたわけです。まあ大体同じペース——同じペースということを言っておけば、逆に言えばデータベースに基づいた予測ですから、反対もされまいということで、同じペースで減少していくという仮定に基づいて、現在1995年で1億2,600万人と言われてますから、2025年で1億2,900万人ぐらい、ほとんど人口は変わらないというような仮定を立てました。

あと、エネルギー消費に関係のあるものとして、産業構造の変化というのを入れています。国民のライフスタイルの変化、あるいは電気エネルギーの電力化率がどのぐらいかというのも、一応、2030年50%、2050年55~60%程度ということにさせていただいて、産業構造も、海外立地ということで、多消費産業に関してはなるべく海外に立地するように努力する。付加価値をつけて日本は発展していくというふうに考えたわけです。

それから、エネルギー価格に関してもある程度考慮させていただいて、石油に関しては、2010年まで、ほかのエネルギーに比べて価格上昇率が高くなりますけれども、2030年頃からだんだん少なくなってきますから、産油国も先が見えてくるだろうということで、新エネルギーと競合するような価格態勢になってくるだろうというような考え方ですね。で、エネルギー複合供給時代へ突入するのが2030年以降というふうにわれわれは位置づけをしたわけです。

それらを総合的に考えて、2000年から2010年の1.1%という、エネルギーが見越したこの増加率とほぼ同様、2030年から2050年も1%前半

ということにさせていただきました。

ちなみに、どのぐらいの量になるかということ、2050年で90年レベルの大体2倍ぐらいというふうに考えていただければよろしいと思います。大体、エネルギー供給量が1990年を100とすると、2050年で大体200というぐらいの値を想定していただければというふうに考えます。

いま、供給量は1%前半で伸びていくだろうという総消費量が大体決まってきましたから、さあ、それじゃ、いまのエネルギーシステム——長期的に未来のエネルギー技術も含めて——が実現するにはどのようなキーテクノロジーがあって、いつ頃なのかという話が52ページ(本文資料 p.113)以下に書いてございます。

ここに「対象技術」としていま13選んであります。どうしても最後のWE-NET計画というところに集中されがちなわけでありまして、当研究所の吉澤専務理事がこれの推進の一番最初の立役者でいらっしゃるということもあって、どうも吉澤さんの顔を見ると、これはやはり挙げておかないと怒られるんじゃないかなということもありまして、WE-NET計画は積極的に入れるようにしてあります。

まず、原子力。これも次世代型原子炉。これは、それぞれ専門家の先生方が入っておられましたので、ご専門の立場から予測していただいて、いろいろな評価項目に沿ってコメントをいただきそれを研究所のほうでおまとめいただいたということになっております。

実用化時期。原子力に関しては次世代型原子炉。次世代型はいろいろなのがありますけれども、高転換軽水炉であるとか、さっき秋

山先生がおっしゃっておられた高温ガス炉、それから少し小型にした中小型の軽水炉と。これは、高速増殖炉の補完的な立場にある技術だというふうに考えてよろしいと思います。この辺の技術が2010年頃と。

高速増殖炉ができると、燃料のセキュリティから非常に都合がいいということになりますね。ウラン238からプルトニウムですから、それが2030年というふうに踏んです。この高速増殖炉になりますと、やはり軽水炉のウラン利用効率が1%台程度であったものが60%まで向上できるということで、わが国にとっては純国産エネルギーと言っても過言じゃなくなる可能性があるなということで、避けて通れないのかなというふうに考えました。これは、私の考えというよりも委員会自体の総意というふうにとらえていただければと思うんですけれども。

長期的には、エネルギーのなかでも、核分裂から核融合ということになるんじゃないかなと。現在、もう科学的な実証を終えまして、工学的な実証段階に入っておりますけれども、燃料源が海の中に重水素としてたくさんありますから、これはエネルギーセキュリティ上都合がいいわけで、環境上もいいわけですね。で、2030年から40年と。トカマク方式で。

これは、ちょっとできるかなという疑問もありますが、やはりやらざるを得ないんじゃないかなというところで、要するに、原子力自体の発展にいくら予算を注ぎ込んで開発するかというのは、私自身の考えですけれども、ある意味では、核融合との間の補完の立場で原子力がきて、最終的には核融合に移っていく。核融合がいつ実現化するかによって、原

子力をどこまで伸ばしていいかが決められるわけですね。

そういう意味で、一応私達としては2030年から40年ということで踏んでおりますけれども、2050年程度と考えても妥当じゃないかなと私は個人的には思ってます。そうなりますと、やはり原子力の立場というのはもう少し強くなってくるんじゃないかと考えざるを得ない。

それからソーラーですね。ご存知のように、ソーラー自体は2000年で大体kWh20円から30円——いまの商業電源と張り合う程度まで下げないと、うまくない。これは、公共投資とか——これは政策ですから、量産体系に入ればその額までもってこれるんだろうと思うんですね。ですから、そう考えますと、やはりソーラーを抜きにしてこれからのビジョンは語れないということは間違いない。ただし、主流にはならない。そんなにたくさんはできませんね。伸びた分はソーラーであるという考え方は間違いない。

あと、ソーラーに関しては、発展途上国への技術移転ということで、世界の中での環境問題保全という立場からすれば、ソーラーはやはり無視してはいけないということになるんだろうと。石油換算で2010年120万キロリットルということで考えてます。

いま、長期的に21世紀中葉となると、やはり水素の出番というのはかなり大きなウェイトになってくるんだろうと思ってます。どうやってつくっていくかということで、なるべく再生可能エネルギーで水から水素をつくって、そして二次媒体に変換をして、われわれが欲しいところに運んでくるというような合理的な——水素をつくるのに化石燃料を使っ

ては意味がありませんから、なるべく再生可能エネルギーでつくれるようなものということでWE-NET計画というのが出てくるわけですね。

水素ができれば、今度はわれわれは水素タービンによって動力を取ることもできるし——水しか出ませんから——そういう意味では非常に都合がよろしい。都市ガス業界にあって、水素を購入することによって、より高発熱化を志して炭酸ガスの発生を防ぐようにもってくるということも可能になってくる。

あと、石炭に関しては、避けて通れないとさっき申し上げましたが、石炭液化・ガス化ということで、これはかなり予算をつけてやっているわけですが、ガス化して複合発電効率を上げるということで、低燃料費プラス、ガス化というのもやはり2010年頃、2030年頃にはこれがかなり市場性を得ているんじゃないか。

それから、6番目の燃料電池。これはもう皆さんもすでに開発しておられるわけで、リン酸型2000年、溶融炭酸塩型2005年。固体電解質が2015年となっていますが、固体電解質になりますと、高温の排熱が出ますから、その固体電解質型燃料電池プラス、スチームランキンサイクルでもいいわけです。で、複合発電効率80%ぐらいが達成できる可能性があるということで、2050年には、分散型エネルギーシステムとして、やはりわれわれは非常に興味を持って見守っている。ただし、セラミックス等の技術が必要になってくるのではないか。

7番目はメタノールですね。これがメタノール火力発電ということで、実用化時期は2010年。火力発電100万キロワット導入が2010

年ということです。

それから、8番目が宇宙太陽発電。夢のようなものですが、60年前を振り返ってみると我々は、かなり貧困だったわけですから——いま還暦の方が生まれたときの生活ですから、これから60年後はもっと加速的に快適になってるでしょうから、そういう意味では、21世紀中葉にはこのぐらいのことは絵にかいた餅じゃないというふうにならねば確信を持っているわけです。太陽宇宙発電は通常3つのシステムになるとしますね。

普通は太陽光を受けて——これは地球よりも数倍エネルギー密度が濃い——受けたものをマイクロ波で地上に送ってやる。マイクロ波で送っている領域に鳥が飛んだら焼き鳥になるんじゃないかという話もありますが、マイクロ波で送ってやる。で、地上で何キロメートルか何かの受光面積で受けてやりますね。そうすると、やはりこういう技術は一国だけでできる話じゃないということで、多国間協調、国際協調というのが非常に重要になってくることは明らかな事実であります。

小さなものではやはりうまくないでしょうね。いま、われわれがいろいろとディスカッションしたなかで考えたことは、大体100万キロワット——原子力発電所1基分ですね——を1ユニットとして、これが数台、一つの衛星で取り込めると。そして数キロの受光面積を持つところにマイクロ波で送ってやるというようなことになってくるんじゃないかと。かなり大掛かりな話になってくるということです。

この辺になると、21世紀中葉と言っても、「あいつはかなり先進的だな」と言われるかもしれませんので、あえてこういうのを入れ

ているわけですが、間違いなく2050年にはかなりの精度で成り立っているんじゃないかなというふうに考えてます。

あとは超電導ですね。超電導は原子力発電を進めると同様に——原子力発電はまだフラット運転になりますからね。24時間全部労働していればいいですけど、やはりわれわれが使うのは、日中が多い——いまの日本の課題というのは電力のピークカットと環境問題ですから。この観点からどうにか電力負荷平準化をしなければいけない。原子力はそういう意味ではあまりうまくはない。ですから、何らかの方法で電力の貯蔵ができれば都合がいい。あるいは、氷蓄熱など熱の貯蔵ということでも効率的にやっていますけれども、できれば電気そのものの貯蔵が可能になれば一番いいわけですね。そういう観点からしますと、やはり超電導の電力貯蔵技術というのが達成されますと、夜間電力を溜めておいて、それを昼間に使ってやるということが可能になりますから、負荷平準化にとって、原子力発電のシェアが大きくなればなるだけ超電導の技術開発ということは非常に脚光を浴びなきゃいけないんじゃないかなというふうに考えざるを得ないということです。

それから、CO₂固定回収というのはもうすでにずいぶんやっていますが、吸収法、吸着法、あるいは膜分離とかいろいろ、いま電力会社が非常に大きな額をかけてやろうとしております。ただ、電力費は15%とか20%とか上がる可能性がありますから、そういう意味では、こういう炭酸ガス問題はエネルギーシステムの外に取りつけるというのではなくて、内側のシステムとして、こういう環境技術は取り組む必要があるというふうに考えています。

それからSO_x・NO_x。これはもうすでに実証済。あと、放射性廃棄物対策が2030年から40年。高レベル廃棄物ですね。あと、例のWE-NET (World Energy Network)。これはニューサンシャイン計画に入ったということになります。

いま3章(本文資料 p.113)の話をしております。こういう技術開発を行うことによって、さあそれじゃ4章(本文資料 p.114)に移りまして、21世紀中葉におけるわが国の一次エネルギー供給見通しはどんなになっていくのか。

これまでの話のストーリーを整理しておきますと、まず、エネルギー文明からきて、2030年中葉のエネルギー需要がどのくらいあるかと。1%前半でずっと推移していくということまで、われわれが考えたところを実用時期を含めて申し上げた。

これを踏まえて、それじゃ今度の供給は、シェアはどうなるのか。2050年で90年レベルの2倍ぐらいの供給量を目安に考えていただきたいんですね。その表がこの55ページ(本文資料 p.116)に出ている表で、これがいろいろとディスカッションをしながら決めたことなんです。議論の余地が多々あるのは十分承知した上で出させていただいています。

ただ、こんなものは、計算したって出るものじゃないんですね。不確定要素ばかりですから。逆に言えば、これは決断でしかないと。このぐらいまではやれるだろうということのをわれわれが、エキスパートとしていままでの長い経験と、研究所実際のデータと、それから若い先生方のフレキシビリティのある頭脳と、これで、「エイ、ヤッ!」と出したものですから、反論されても別に構わないです

が、誰もわからないことをやっていますので、そのつもりでお伺いしていただければなと思っていますわけですが。

2030年、2050年で一次エネルギー供給構成を考える上での要点、基本的な考え方がどうなっているのかというものが53, 54ページ(本文資料 p.114~115)に書いてあります。ちょっと簡単にご紹介してから表を見てみたいと思います。

まず、53ページ(本文資料 p.114)の2030年、50年と。まあ50年まで一挙にダウンといくのはあまりに危険が多すぎるということで、吉澤専務理事の強いご要望もありまして、やはり30年をきちっとやって、それから50年をきちっと見越すということにしないと、あまりにもうまくないだろうということで、2つのステップに分けました。

2030年では、石油資源が有限で、極力ノーブルユース用に温存しておくというポリシー。それから、炭酸ガス固定処理、回収処理固定技術は大体2010年頃までに研究開発を終えて、極めて高いコストであるけれども実用化段階の初期にきているだろうという考え方。一方再生可能エネルギーはグローバル的に発展をしているだろう。完全に地に着いたというよりも、発展しているだろう。あと、全員参加型のエネルギー確保社会ということで、自分のエネルギーはなるべく自分で持とう。まあソーラーの啓発みたいな格好になりますね。こういうふうな考え方を2030年の基本的考え方としました。

それから、54ページ(本文資料 p.115)に行きまして、2050年での基本的な考え方といいますと、まず石油資源はもう枯渇しつつあり、価格は上昇して、かなりほかの新エネルギー

と競合する立場にある。それから、炭酸ガス排出規制が強化されるだろう。かなり暑くなってくる可能性もある。暑くなるというより気候が変動してしまう。

いま“グローバルウォーミング”と言うと、遅れていると言われるらしいですね。“クライメットチェンジ(気候変動)”というふうに言われています。今度、私はIPCCの委員をやることになり、間違いなく“クライメットチェンジ”というふうに言おうと思ってますが、いろいろなところで気候変動が表れてくるんじゃないかということですね。

それから、CO₂固定処理は実用化が進展することは間違いなし。さらに太陽エネルギーの依存度はどんどん高くなってきて、太陽エネルギー自体が都市レベルのオーダー——コミュニティレベル——で、太陽エネルギーソーラー都市と言われるものがどんどん出現していくんじゃないかというふうに考えてます。

それから、再生可能クリーンエネルギーの開発利用もグローバルに本格展開。原子力は、完全に核燃料リサイクルということで、高速増殖炉が定着していくだろう。

それから、ここで核融合、宇宙太陽発電が少し目安が立ってくるんじゃないかなというふうなポリシーを立てて、さあそれじゃ、2030年でエネルギー供給のシェアはどの程度になっているかというのが55ページ(本文資料 p.116)です。驚く方もいらっしゃるかもしれませんが、「なんだ、こんものは」と言われるかもしれません。

まず2030年を見てみますと、1990年実績がここに書いてあるとおりで、現在われわれは非化石エネルギーが大体15%、化石エネルギー

一が85%というふうなシェアで推移しているわけですね。

一つの考え方として、いままでのIPCCの見解とか、エネルギーとしてのいろいろな専門家のシェアを考慮いたしまして、やはりかなり非化石エネルギー系が増えると言われていることは確かで、新エネルギーへの期待によりシェアが大きくなることは間違いない。

そこらの供給可能量も勘案しながら、かつ、化石燃料に対してはあまり総量を増やさない。オイルセキュリティの問題を踏まえ、オイルがなくなってくるということも考えますと、1990年の一次エネルギーの供給量を100としますと、2050年で大体200です。90年で100のうち85%が化石燃料ですから、それが2050年で45%に減らす。ほぼ200としますと、大体90ですね。ですから、90は化石エネルギー——ほとんど総量は変えないで、中の石油をぐんと減らす。石油が2050年で13%まで減らしていく。

それに対して、石炭はほぼ同率ですうっと推移させる。これは安いですし、長期的にありますから、これを無視はできないということで、フラットベースで、伸びた分だけ伸びていく。2倍近く伸びるわけですね。

それに対して、石油の減った分を、化石燃料系にあっては天然ガスでほぼ補完しておいてやる。ただ、天然ガスも枯渇問題がありますから、2030年をピークに、2050年ではそれほどシェアは伸ばさない。総量は徐々に増えていきますけどね。このような感じ。その分を、具体的に新エネルギーと原子力で置き換えてやる。水力、地熱に関しては、1%台のオーダーですが、極力伸ばせるだけ伸ばして、

総量としては2倍程度までもちろん伸ばしてくるということになるわけですね。

新エネルギーは大体30倍近くに伸ばす。これから60年間で、現在の総量の30倍程度まで伸びるだろうと。30倍というと大したことないです。もっと伸びるかもしれないという気があるんですね。ただ、これは政策と表裏一体ですから、やはり15%程度でも目いっぱいじゃないかなというのがわれわれの考え方です。

そうすると、どこかに頼らざるを得ないということになりますと、もう需要が決まっていますから、するとやはり原子力しかない。

ですから、やはりわが国にとって原子力は避けて通れない道なのかなというふうに、私もこの委員会を通してしみじみと感じたことでありまして、特に、2010年の技術開発重要度の予測というのが、科学技術庁でついでこの間終わって、ダイヤモンド社で本が出てますね。私はその委員をやっていたんですけども、重要度の課題エネルギー課題が50ありまして、50研究課題のうち10位までに原子力関係が8つ入ってますからね。それだけエネルギー関連のエキスパートの皆様が原子力に対する技術開発の重要性に対して、実際のデータからするとかなり大きいんだということをひしひしと感じたということです。

私自身はエネルギーの合理化ビジョンということをやっていますので、ディマンドサイドの一次エネルギーであれば、それをいかに有効に利用していくかというようなビジョンで、カスケード型のエネルギー利用とか、原子力であればいかに排熱を使うとかいうようなことを考えておりまして、こういうふうなエネルギー供給、需給ということになります

と、やはりトータルなエネルギーフローを考えなければならない。この中で環境問題という非常に大きな——首をグッと絞められてますから。昔みたいにエネルギー量で押さえられているわけじゃないですからね。エネルギー量プラス、環境という、炭酸ガス問題とか云々ということがありますので、縛られるものが多くなればなるだけ、安全性確保という観点からの原子力への依存というのが大きくなっていくのかなというのが委員会としての考え方です。

さあ、それじゃ、これを達成するためのシナリオというのがどうなってるのかということに入っていきたいと思います。

私は時間がオーバーしてますか。じゃもうあと2、3分ですね。答えはこれを読めばわかりになりますから(笑声)、よろしいんですけれども、シナリオというのがございまして、これはいま私、第3章でいろいろなことを申し上げましたので、オーバーラップしますから、抜けているところだけ簡単に早口で申し上げようと思います。

まず、天然ガスに関しては、天然ガスマテリアルサイクルの確立ということが、非常に良質なガス田からの有効利用をするために必要になります。

それから、57ページ(本文資料 p.118)に行きまして、石炭はもう言いましたね。原子力もうほとんど言いましたから省略をさせていただきます、58ページ(本文資料 p.119)も核融合も言いました、ソーラーも言いましたから、これもいいですね。

それから、59ページ(本文資料 p.120)。水力ということですが、ここで大事なことが、海水の揚水発電の実用化ということとWE-

NETの開発ということになると思います。ですから、原子力発電での比率が向上すればするだけ、われわれは夜間電力の扱い方を考えなければいけないわけです。これを捨てるんじゃないですかね。そこをいかに有効に利用するかということになりますから。

そうすると、揚水発電。電力を使って揚水しておく。揚水の蓄エネルギー効率が70%ぐらいになってますので、さっきの超電導の電力蓄熱だと90%といってますね、できればの話ですけども。揚水発電はすぐでもできる技術なんだろうと。

ただ、陸地内にあるのは、河川の場合には立地が難しいという。そのためにやはり海水の揚水ということです。近い将来、原子力発電が比率が高まれば高まるだけ、夜間電力の蓄熱ということを同時に進行しないと決して得策にはならないということになります。それが水力発電。

風力は省略。地熱もそうです。バイオマスはもうここに書いてあるとおりであります。水素ももうこれでいい。

あと、61ページ(本文資料 p.122)に「エネルギー有効利用システム技術」というのがございまして。これが、さっき申し上げた、①が超電導の問題、それから環境調和型エネルギー・コミュニティ。いままでのエネルギービジョンが一つのビルであった、あるいは一つの地点であった。これからはいかに都市レベル、コミュニティレベルにぶち上げていくかと。そうしますとやはり、中央自治体の役目とか、行政の指導とか、コミュニティレベルでのエネルギーシステムの構築をしない限り、ドラスティックな省エネルギーはできな

いというのが環境調和型エネルギー・コミュニティ。

それから、統合型エネルギーシステムはご存知だと思いますけれども、化石燃料系を水素と一酸化炭素などに、全部横一線でガス化をして、うまく原子力の排熱等も使えるようにして、大きなエネルギープラントを造ることによりそこで汚染物質は集中的に処理をする、というような非常に壮大な計画ということになります。これが統合型。

あと、広域エネルギー利用ネットワークというふうなことが挙げられます。

最終的に、それじゃいま言ったような技術開発のシナリオをもっている需給体制を淘汰していけば、私達は21世紀中葉のエネルギービジョンとして環境にあまりダメージを与えないようなエネルギー供給体制ができるんじゃないかというふうに考えてるわけです。そして、理想的なこういうエネルギーシステムの実現に向けてわれわれはどういう戦略を考えなければいけないかというと、ここに書いてありますとおり、〔視点1〕から〔視点12〕までであります。

まあ大体ここに書いてあるとおりで、1に関しては、完全にサイクル社会。環境対策を外部経済としないで、内部の経済システムとして発展させる。〔視点2〕は、やはり原子力の工学的完結性を実現しなければいけない。それから〔視点3〕というのが、エネルギー環境対策というのは国際規模で発展させなきゃいけないということで、こういうふうな環境対策施設を国際インフラストラクチャーとして整備する必要がある。〔視点4〕は技術開発を行う場合にも開放的に推進をしてかつ、国際協力を推進しないことには、スムーズに

地球規模の環境問題は解決できない。〔視点5〕が、原子力を対象にしていますけれども、社会的受容性の確立と立地の促進ということで、そこに住めば熱もただでもらえるとか、そういうふうな総合的な開発ビジョンが必要になってくる。

6番目、これが私は非常に重要だと思いますけれども、これからの合理的な環境調和型エネルギービジョンということになりますと、大規模集中型の発電施設から小規模分散型というのを、いかにベストミックス体制にもってくるかということで、ピークカット対策、かつ、環境対策に貢献できることになるだろう。これは、もちろん電力会社も主導して、小型分散型電源への位置づけということを行っていかなければいけない。

それから、〔視点7〕が地球環境維持のための産業構造の変換。8が、全員参加型。ソーラーを対象にした、全員が、自分のエネルギーはできるだけ自分でつくるという考え方に立ったビジョンということが大事になる。〔視点9〕が、超高齢化社会に対して完全自動化と。誰でもスムーズに、かつ合理的にできるような制御システム等の開発が重要になってくる。〔視点10〕が、エネルギー関連における人材の確保と社会的な支持の形成が必要になってくる。11はエネルギーセキュリティで、やはりオイルからいかに脱するかということとをわれわれは考えないと、もう誰でも言うことですけれども、間に合わない。12が、21世紀中葉ということで、これまではしてない、そこまで考えただけではしょうがない。もっと先の21世紀後半にまで、われわれは長いビジョンで——エネルギービジョンというのは長期戦ですから、これは短期決戦ではなくて

長期戦だということをやはりわれわれは肝に命じておく必要があるなど。

すなわち、結論を言えば、どうも工学部——私も工学部出身なんですけれども、これからのエネルギーを考えるのは、間違いなく、農学的な頭を持って長期ビジョンで考えないと、環境に対応できるエネルギービジョンは構築できないというふうに考えざるを得ない。短期決戦の時代から長期決戦の時代への突入と。

ですから、長期的な1年を通して、春、夏、秋、冬があって初めて一つの作物ができてく

ると同じように、技術開発も長期戦で、年単位でやっていかなくてはいけないということがこれからの非常に重要なサセションだろうと思います。

私、時間を10分間違えて、ピッタリ5時に終わるつもりでやってまして、大変早急になりましたが、今度この報告書が分厚いのが出ますから、きょうはさわりであって、それをぜひご購入いただいて、研究所のためにご支援いただければと思います。どうもありがとうございました。

閉会の挨拶

吉澤 均 (財エネルギー総合工学研究所専務理事)

本日は、当研究所創立15周年記念シンポジウムを開催しましたところ、早朝よりたくさんの方々のご出席を賜り、大変光栄に存する次第であります。また一方では、参加申込が750名を超えられ、会場の都合で、申込を締め切り、かつ参加者の数を調整させていただきましたことにつきましては、この場をお借りして深くお詫び申し上げます。

本日、プログラムに沿いまして、早朝10時より5時まで長時間、皆様どうもご静聴ありがとうございました。私ども「21世紀のエネルギー技術戦略を探る」というテーマで、午前中は基調講演を2本、東京大学の近藤先生の「21世紀におけるエネルギー技術と地球環境」と題する講演、それから、財化学品検査協会の北野大先生の「化学者から見た21世紀のエネルギー問題」、のご講演をいただきました。

午後になりまして、2つ特別講演を組ませていただきました。先ほどお聞きいただきましたように、東京大学秋山先生の「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」及び、ただいまの「21世紀中葉におけるエネルギー技術ビジョン」と題します東京農工大学の柏木先生の講演を用意した次第でございます。

本日のシンポジウムの内容が皆様方の事業活動、研究活動のご参考の一助になれば大変幸いに思う次第でございます。引き続き、当研究所の運営に対しまして皆様方の一層のご支援、ご協力のほど、幾重にもお願い申し上げます。

なお、プログラムにありますとおり、シンポジウムに引き続きまして、17時15分より8階の東商スカイルームにおきまして心ばかりの創立15周年記念パーティを開催いたしますので、どうぞこちらのほうにもご出席賜りますようご案内申し上げます。

本日はシンポジウムへのご出席どうもありがとうございました。

(資 料)

21世紀の技術とエネルギー
ビジョン報告書
概要

平成 5 年 6 月

21世紀の技術とエネルギー委員会

概要

第1章 文明とエネルギー

1. 文明とエネルギー

文明はエネルギーによって支えられている。人類は文明の発展を求めており、この流れを止めることも、また戻ることも有りえないとすれば、過去の文明の進展とそれを根底から支えるエネルギーとの係わりに基づいて文明の未来を予測することが、エネルギーの未来をも予測することにつながる。

文明は発展するに伴い、より多くのエネルギーを消費する。この増大するエネルギー需要を賄うためエネルギー源は変化し、これに伴いその文明の技術体系全体が変換する。また一方で、増大するエネルギー消費に何らかの自然的障害が現れたときは、「文明の停止」を意味し、人類は重大な局面に直面することとなる。

20世紀末において、人類の文明は、情報処理技術の発達と生産技術の自動化・ハイテク化を中核とする第2次産業革命の入口に来ており、後期工業化時代に入たと位置付けられている。我が国においても、世界のどの地域よりも急速に「情報化社会」が進展する様相を見せている。この情報化社会の進展は、必然的に新しい行動規範と社会システムを世界に先駆けて現出するものと予想され、その波及により21世紀社会における新しい文明の担い手として、我が国の貢献は極めて大きなものとなろう。

2. 21世紀の文明と地球環境問題

現在人類が当面している障害は、「地球環境の耐量」の限界であり、エネルギー消費の結果として環境に放出される熱量、二酸化炭素(CO₂)等が現代工業文明の大きな壁となっているのであり、この壁を技術と情報と英知を結集して突破しない限り、21世紀以降における人類の健全な生存と文明の発展はありえないと考える。21世紀文明は、地球環境問題との対決を迫られている。

3. 21世紀における「技術とエネルギービジョン」の必要性

我が国の長期エネルギー需給見通しは、2010年における見通しであり、各政策の実現に要するリードタイムから当面の政策目標として示されているものであり、それ以降のエネルギー需給についての展望は示されていない。現在から40年後（2030年）、60年後（2050年）のエネルギー需要の大きさについては、経済情勢の変動、地球環境政策の動向、人口抑制政策の成否等不確定要因が大きい。一方、エネルギーの供給量については、賦存量の限界は動かし難いものの、当該エネルギーを開発利用する技術体系と、エネルギー施設の立地に対する国民の合意形成の成否に大きく支配される。

それ故、エネルギー供給構成について、技術サイドからその実用可能性に関する評価と予測に基づいて、「ビジョン」を描くことは十分可能であり、この「技術とエネルギービジョン」を参酌することにより、「21世紀のエネルギー政策の形成」に確かな拠所を与えることとなり、極めて意義深いことと考えられる。

しかも、本件報告書は、21世紀中葉における単にエネルギー技術分野における見通しの検討にとどまらず、21世紀社会を展望し、21世紀文明で利用される技術体系の変化の方向を見据える作業をも併せて行う方法を採用することにより、「21世紀社会に支持れうるエネルギー技術体系」を明らかにしている。

1. 現状

環境問題は従来型公害問題と地球環境問題に大きく分類される。エネルギー消費と密接な関係を有する問題は、従来型公害問題の中では大気汚染（硫黄酸化物、窒素酸化物等）であり、地球環境問題の中では地球温暖化問題と酸性雨問題である。酸性雨問題はこれまで局地的な公害と考えられてきた大気汚染の影響が、より広範な地域にも影響を及ぼしていることが再認識されたものである。

発展途上国における生活水準の向上は、先進国の都合で左右できる問題ではなく、必然であるといえる。発展途上国の権利である生活水準の向上にはエネルギー消費の増加が不可避であり、人口増加の影響とあわせて、今後、エネルギー使用量の急激な増大が予想される。世界全体の人口の約3/4が発展途上国に居住し人口増加率が2～4%/年に及び、しかも経済成長率も高くなるであろうことから、エネルギー消費と地球温暖化問題につながる根本的な要因の一つとして発展途上国の人口増加問題を見做することはできない。

近年の我が国のエネルギー使用量増大の原因と考えられる事柄は主に、製品の高付加価値化、作業環境の改善、ライフスタイルの変化、エネルギー価格に対する国民の認識、情報化の進展、都市間物流の増大、自動車による貨物輸送の増加、人口構成の高齢化等と考えられる。

2. 展望

21世紀社会を展望するに当たって予想されることは、人口の爆発的増加と、これに伴うエネルギー消費増大に起因する地球環境の悪化に対する懸念、グローバルな情報化社会の出現、ハイテク化・自動化の進展、超高齢化社会の進展、24時間型ライフスタイル化等が考えられる。

21世紀社会のエネルギー需給に影響を与える要因には、需要側（人口の動向、産業構造の変革、企業の海外立地動向、国民のライフスタイルの変化と、これに伴う民生部門、運輸部門エネルギー需要の動向、エネルギー価格の動向、エネルギー供給システムの状況等）、供給側（エネルギー資源の賦存状況、エネルギー価格の動向、開発利用技術の動向、輸送・貯蔵システムの確立状況等）、政策側（国際エネルギー機関によるエネルギー政策等）における要因とに分けられる。

需要側要因を総合的に勘案することにより、「我が国の21世紀中葉における技術とエネルギービジョン」を検討するに当たっての「エネルギー需要の伸び」は、国の長期エネルギー需給見通し（平成2年10月）での「2000～2010年の1.1%の伸び」と同様、2030年及び2050年に向けても「1%台前半」で推移するとすることが適当と考えた。

第3章 21世紀のエネルギー技術

21世紀には、エネルギー、環境及び経済を三位一体として考えることが必要となり、エネルギー技術の評価に環境への影響が一段と重みをましてくる。このような観点からエネルギー技術を考えて、供給側では核エネルギー、新エネルギー等の非化石燃料へのシフトを強化することになり、需要側では合理的エネルギー利用（エネルギーのカスケード利用）が重要となる。

これらの背景を勘案し、本委員会では、多角度からの検討結果、21世紀のエネルギー技術に求められる要件として、供給の安定性、経済性、安全性、環境保全性、立地の受容性等を、更に総合的評価項目として技術的実現性、実用化時期等を抽出し、今後重視されるべき個別エネルギー技術について評価を行った。

以下に、対象技術と実用化時期を記載する。

対象技術	実用化時期
1. 原子力（核分裂）	
・次世代型原子炉	2010年頃
・高速増殖炉	2030年頃
2. 原子力（核融合）	
・トカマク方式	2030年～2040年頃
3. 太陽エネルギー	
・太陽光発電	2010年：原油換算で120万klに相当するエネルギーの供給が見込まれている
4. 水素	
・水素燃焼タービン	2020年頃
5. 石炭液化・ガス化	2010年頃
6. 燃料電池	
・リン酸型燃料電池	2000年頃
・熔融炭酸塩型燃料電池	2005年頃
・固体電解質型燃料電池	2015年頃
7. メタノール	
・メタノール火力発電	2010年：100万kW導入が目標とされている
・メタノール燃料電池	2010年：240万kW導入が目標とされている
8. 宇宙太陽発電	2040年～2050年頃
9. 超電導技術	
・超電導発電機	2030年：1000万kW導入が予想される
・超電導磁気エネルギー貯蔵装置	2040年頃
10. CO ₂ の回収・処理技術	2010年頃
11. SO _x , NO _x 除去技術	実用化済み
12. 放射性廃棄物対策	2030年～2040年頃
13. 水素利用国際エネルギーネットワーク技術	2020年～2030年頃

第4章 21世紀中葉における我が国の1次エネルギー供給構成の見通し

1. 目標年次について

①国の長期エネルギー需給見通し（平成2年10月）では、2010年が目標年次とされていること

②2010年～2050年の40年間には、今後の情報の蓄積、技術の革新、世界政治・社会情勢の変化の速さ等から判断すると、エネルギービジョンとしては大きなシフトがあると考えられること

等から、目標年次は、2030年及び2050年とした。

2. 各種エネルギー技術による供給量

各種エネルギーの各目標年次における供給量は、①当該エネルギー技術に係る資源的賦存量及び賦存状況、②当該エネルギー技術システムの構成、利便性、経済性等から予想される導入普及の速さと、実用化時期との関係、③地球環境政策・対策技術の動向、④当該エネルギーの有する経済性と、そのエネルギー利用サイクルにおける位置付け等を総合して予測した。

3. 2030年及び2050年における我が国の1次エネルギー供給構成の見通し

〔2030年における我が国の1次エネルギー供給構成の要点〕

(1) 基本的考え方

- a. 石油資源は有限であり、2030年では極力ノーブルユース用に温存する。
- b. CO₂回収・処理・固定技術は2010年頃迄に研究開発を終え、極めて高コストであるが実用化可能段階にあるものとする。
- c. 再生可能クリーンエネルギーの開発利用をグローバルに展開する。
- d. 全員参加型のエネルギー確保社会へと転換する。

(2) 2030年における我が国の1次エネルギー供給構成の要点

非化石エネルギーの構成比は、2010年26.8%より40%へ高めている。この中で、「新エネルギー等」は再生可能クリーンエネルギー開発利用のグローバルな展開、全員参加型エネルギー確保社会への転換等により、2010年5.3%より10%へ倍増し、「原子力」は、原子力立地対策の転換、原子力立地技術の拡大等により2010年16.9%より25%へと構成比を高めている。

化石エネルギーの構成比は、2010年73.2%より60%へと低下している。この中で天然ガスの利用拡大等により、「石油エネルギー」の構成比を2010年45.3%から、約半分の20～25%へと低下させている。

〔2050年における我が国の1次エネルギー供給構成の要点〕

(1) 基本的考え方

- a. 石油資源の枯渇傾向は顕著となり、価格の上昇が進展し、化学工業用、輸送用等のノーブルユースに限られる。
- b. 地球温暖化防止のためのCO₂排出規制が強化されるため、エネルギー源の転換が要求される。
また、CO₂回収・処理は、高コストであるが、実用化が進展する。
- c. 持続性のあるエネルギー源として、太陽エネルギーへの依存度を高める。
このため、都市社会システム、ライフスタイルの基本的な変更が求められる。
- d. 再生可能クリーンエネルギーの開発利用をグローバルに本格展開する。
- e. 原子力では、新型炉を組合せた核燃料最適利用サイクルを確立する。
- f. 人類の究極的、革新的エネルギー源（核融合、宇宙太陽発電）の実用化が可能となる。

(2) 2050年における我が国の1次エネルギー供給構成の要点

非化石エネルギーの構成比は、2030年40%より55%へ高めている。この中で、「新エネルギー等」は太陽エネルギー依存型ライフスタイルへの転換、再生可能クリーンエネルギー開発利用の本格的展開等により、2030年より更に高めて15%とし、「原子力」は新型炉を組合せた核燃料最適サイクルの確立、高レベル放射性廃棄物処理技術の確立、大容量電力貯蔵技術の実用化等により、2030年より更に5～10%高め、30～35%としている。

化石エネルギーの構成比は、2030年60%より45%へと低下している。この中で、「石油エネルギー」は、2030年20～25%の更に約半分の13%程度となる。

また、人類の究極的、革新的エネルギー源と考えられる核融合、宇宙太陽発電についても実用プロジェクトが稼働しているとイメージされる。

2030年及び2050年における我が国の1次エネルギー供給構成の見通しを第4-1表に示す。

第4-1表 2030年及び2050年における我が国の1次エネルギー供給構成の見通し

	1990 (実績)	2000 *3	2010 *3	2030	2050
新エネルギー等*1	1.3%	3.0%	5.3%	10%	15%
水 力 *2	4.2	3.7	3.7	2~3	2~3
地 熱	0.1	0.3	0.9	1	1
原子力	9.4	13.3	16.9	25	30~35
非化石エネルギー 小計	15.0	20.3	26.8	40	55
天然ガス	10.1	10.9	12.2	20	15~17
石 炭	16.6	17.5	15.7	15~20	17~22*4
石 油	58.3	51.3	45.3	25~20	13
化石エネルギー 小計	85.0	79.7	73.2	60	45

(注) *1「新エネルギー等」には、国内における太陽、風力、バイオマスエネルギー等の新エネルギー及び未利用エネルギーの有効利用分のほか、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)による海外水力、太陽、風力、地熱等のクリーンエネルギー導入分を含めている。

*2 水力は一般水力によるものであり、揚水発電を含まない。

*3 長期エネルギー需給見通し(平成2年10月)

*4 石炭液化油2%を含む。

21世紀社会は、地球環境条件の悪化、人口の増加、資源及びエネルギーの不足、食糧の欠乏等急速に顕在化する文明の課題に対して、人類が技術と情報を手段として全力をあげて立向わざるをえない時代である。

エネルギー・地球環境対策技術は、高度に複雑なシステム技術であるから、実用化に至るまでには長期間のリードタイムを必要とするのが通例である。従って、長期的視点に立って当該システムの特性を踏まえた研究開発を継続していくことが不可欠である。また、莫大な資金の投入も必要であることから、効率的な資金配分を実現しなければならない。このためには、我が国が21世紀社会において保有すべき「エネルギー・地球環境対策技術の全分野」に対して、「体系的かつ包括的な評価」を加え、目標の実現に向けた「戦略的展開」を確保しなければならない。

以下に21世紀高度エネルギーシステムの実現に向けたシナリオを記述する。

1. 天然ガス利用技術

(1) 基本的考え方

- ①化石燃料の中で、単位発熱量当たりのCO₂排出が最も少ないエネルギーであるため、CO₂排出抑制及び原子力開発未達分のカバー手段として、天然ガスの導入、利用を積極的に進める。
- ②LNGプロジェクトに馴染まない「中小ガス田」であり、かつCO₂を随伴するため「良質でないガス田」の有効利用を可能とするため、天然ガス利用の第2サイクルとして「天然ガス・メタノールサイクル」を確立する。

(2) 具体的技術分野

- ①高効率発電技術の導入
- ②天然ガス・メタノールサイクルの確立
- ③CO₂回収・処理技術の実用化
- ④CBM（炭層ガス）、メタンハイドレートの実用化

2. 石炭利用技術

(1) 基本的考え方

①酸性雨対策（ SO_x 、 NO_x 、ばいじんの除去）の完全実施と世界的普及を図るとともに、 CO_2 排出を低減するための超高効率石炭火力発電技術の開発、実用化を推進する。

② CO_2 回収技術の適用は、当該国全体で考慮して対応することが合理的であることから、将来石炭火力が必ず CO_2 回収除去技術を具有しなければならないと考える必要はない。

(2) 具体的技術分野

①超高効率石炭火力発電技術の開発、実用化

②石炭の液化、ガス化の実用化

3. 超重質油の利用の拡大（オリノコータルを含む。）

(1) 基本的考え方

超重質油は、現在オリマルジョン燃料等として実用化されつつあるが、高硫黄含有率の克服が課題となっている。このため、低コストの脱硫技術の開発の他、将来の市場確保のための輸送用燃料としての利用技術の開発を進める。

(2) 具体的技術分野

①超重質油の低コスト脱硫技術の開発

②超重質油の水添軽質化技術の開発

4. 原子力エネルギー利用技術

(1) 基本的考え方

①化石燃料の量的限界からの脱却、 CO_2 を排出しないエネルギー源の大宗として、原子力発電の開発を最重点にして進める。このため、地域社会の合意形成を促進する立地対策技術の確立を図る。

②原子力利用技術の工学的完結を達成するため、高レベル放射性廃棄物（HLW）処理処分技術（地層処分技術、消滅処理技術等）の早期実証確立を図る。

③21世紀の世代に支持されうる技術体系「人にやさしい原子炉」「快適に働ける原子炉」へと原子炉技術の洗練・高度化を達成する。

(2) 具体的技術分野

- ①地域社会の合意形成を促進する原子力立地対策技術への転換
 - ・「地域起し型立地」への転換
 - ・原子炉新立地技術の開発（第4紀層立地等）
- ②原子炉事故発生防止対策の追加実施
- ③高レベル放射性廃棄物（HLW）処理処分技術（地層処分技術、消滅処理技術等）の早期実証確立
- ④原子炉技術の洗練・高度化「人にやさしい原子炉」「快適に働ける原子炉」
- ⑤国際情勢の変動に対応しうる「弾力的核燃料サイクル」の整備・保有
- ⑥核燃料の有効利用を達成するため、「高速増殖炉等新型炉」の導入の推進
- ⑦新しい利用コンセプトに対応する次世代型原子炉技術の開発

5. 核融合技術

(1) 基本的考え方

核融合エネルギーの開発の成功は、「無尽蔵のエネルギーを環境問題なしに人類が入手できること」を意味しており、今後、より大胆な研究の充実と加速的展開を図っていく必要がある。

(2) 具体的技術分野

- ①実験炉の開発：自己点火条件の達成及び長期間燃焼の実現、並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成
- ②原型炉の開発：定常炉心プラズマの実現及びプラント規模での発電の技術的実証
- ③実証炉の開発：発電プラントとしての経済性の実証

6. 太陽エネルギー利用技術

(1) 基本的考え方

- ①21世紀社会は、国民全員参加型の「省エネ、節エネ、創エネ型社会」を構成しなければならないが、太陽光発電は最も普及機会の多い手段であり、熱利用と組合せた「ソーラー住宅システム」へとシステム化する必要がある。

- ② 21世紀中葉においては、石油、天然ガスの枯渇が顕著となると予想されるため、人間生活の基本を「再生可能エネルギー依存型」へ転換していかなければならないが、ソーラーエネルギーは普遍的に存在することから、その中心に据えるものとする。

(2) 具体的技術分野

- ① 低コスト太陽光発電技術の開発
- ② 太陽エネルギーの最大限利用を実現する「ソーラー住宅」「ソーラー都市」のシステム化技術開発
- ③ 「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」の実用化とグローバルな展開による、立地条件の優れた地域における海外太陽熱発電、太陽光発電の集中立地の推進
- ④ 使用済太陽エネルギー利用施設（太陽光発電装置、太陽熱温水器）のリサイクル利用と、効率的回収処理システムの確立

7. 水力エネルギー技術

(1) 基本的考え方

世界の水力発電開発可能量は、約15兆kWhと評価されているが、現在の水力発電量は約2兆kWhであるから、開発率は14%未満にすぎない。従って、水力発電により得られた電力を海上輸送する「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」の確立を俟って、相手国の了解を得て、海外の大規模水力の開発に積極的に参画していくこととする。

(2) 具体的技術分野

- ① 海水揚水発電の実用化
- ② 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）の開発

8. 風力エネルギー利用技術

(1) 具体的技術分野

- ① 中型機（250kW～500kW）の量産による発電コストの低減
- ② 大型機の技術開発による立地面積の削減とコスト低減

9. 地熱エネルギー利用技術

(1) 具体的技術分野

- ①バイナリーサイクル発電技術の開発
- ②深部地熱掘削技術の開発
- ③高温岩体発電技術の開発

10. バイオマス・エネルギー有効利用技術

(1) 基本的考え方

バイオマス・エネルギーの大宗は、廃棄物発電（ごみ発電）であり、資源有効利用の見地から、普及促進を図る必要がある。

今後、発生熱量の有効利用のため、発電効率の大幅引上げのための技術開発を進める。

(2) 具体的技術分野

- ①新材料（超耐腐食性）の開発による蒸気条件の高温・高圧化による熱効率の向上
- ②ガスタービン併設複合サイクル発電システムによる効率向上
- ③低温造水プラントの併設による純水供給の実施によるトータル熱利用率の向上

11. 宇宙太陽発電システム技術

(1) 具体的技術分野

- ①国際協力プロジェクトによる宇宙太陽発電システムの技術開発

12. 水素エネルギー

(1) 基本的考え方

水素は、大気汚染防止対策上無公害なクリーンエネルギーであると同時に、エネルギー媒体としての機能が大きい2次エネルギーとして、21世紀社会においては是非とも実用化しなければならない「夢のエネルギー」である。

水素エネルギーのソースを海外の賦存量が大きくかつ安価な再生可能エネルギーに求め、これをグローバルに有効利用する「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」の確立を図る。

(2) 具体的技術分野

- ①「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術」(WE-NET)の開発
- ②水素燃焼タービンの開発

13. エネルギー有効利用システム技術

(1) 具体的技術分野

①超電導電力貯蔵技術の実用化

超電導電力貯蔵技術は、揚水発電の貯蔵効率70%程度に比べ、90%以上に改善されるのでエネルギー高効率利用が可能となる。

2030年から2050年にかけて電源に占める原子力発電の割合を一層高めていくためには、大容量の超電導電力貯蔵技術の実用化が是非とも必要である。

②「環境調和型エネルギー・コミュニティ」の構築

③「統合型エネルギーシステム」の構築

④「広域エネルギー利用ネットワークシステム」の構築

低損失長距離熱輸送システムが実用化された場合、コンビナート等における大量の余剰熱量を30～60km程度離れた高密度熱需要を有する大都市に供給利用することが可能となる。

⑤省エネ、節エネ、創エネ型高度エネルギー利用都市の建設

⑥再生可能クリーンエネルギー依存型未来都市の形成

14. エネルギー集積・増幅技術(ヒートポンプ)

(1) 具体的技術分野

①スーパーヒートポンプの普及

第4章及び第5章で述べた理想のエネルギーシステムを実現していくための戦略的視点について、整理補足して述べれば、次のとおりである。

〔視点1〕文明の転換－21世紀社会に求められるライフスタイルと思考方式の変革

21世紀の人類社会が「限られた地球環境と資源」という制約の下で、個人の身体の健康と精神の健全性を維持するとともに、国際協調の下に文明の繁栄を維持して次世代に継承していくためには、次のような「文明の転換」を行うべきである。

- (1) 従来の省資源、省エネルギーを更に発展させ、社会構造の変革によりシステム的に推進するとともに、省資源、省エネルギー的ライフスタイルへと転換する。また、物質的充実、快適性の追求に節度を求めるよう思考方式を変革する。
- (2) 地球生物として、その生存基盤である地球環境を「痛めない、傷つけない、破壊しない」ことをライフスタイルの基本とする。
- (3) 産業廃棄物、生活廃棄物の減量・処理対策を徹底するとともに、資源リサイクルを極限まで追求する。
- (4) 地球環境対策、廃棄物処理対策に要するコストは、外部不経済とせず、これを内部化した経済システムを確立する。

〔視点2〕エネルギー技術の環境適合性の確保と工学的完結性の実現

21世紀以降における人類の健全な生存と文明の維持・継承を可能としていくためには、今後導入するエネルギー技術には優れた環境保全性を具有させなければならない。

再生可能エネルギーの本格的実用化に当たっては、公害防止、環境保全性の確保は勿論のこと、開発利用に伴う地域環境の改変に対しては十分な対策を講じるとともに、供給後の施設の処理についても十分なシステムを確立しておくべきである。

また、原子力エネルギー利用技術にあたっては、放射性廃棄物特に高レベル放射性廃棄物の処理・消滅技術を早急に確立させ、原子力技術の工学的完結性を実現しなければならない。

〔視点3〕エネルギー・地球環境対策における国際協調と国際協力体制の確立

21世紀のエネルギー・地球環境問題への対応を有効なものとするためには、そのグローバル性から必然的に国際協調と国際協力が不可欠であり、このための体制を確立すべきである。

また、この際、我が国が開発し保有する「エネルギー・地球環境対策技術」の体系は、他国にとっても対策を実施する上で有用、不可欠のものであることから、これらの技術については、人類社会共通のいわば「国際公共財」と考えて、積極的に対外移転、普及の拡大を図っていかなければならない。

〔視点4〕エネルギー・地球環境対策技術の研究開発における開放的推進と国際協力

エネルギー・地球環境対策技術の研究開発に当たっては、我が国自体による自主的開発のほか、国際協力による研究開発をも適宜組合せて実施すべきである。

〔視点5〕エネルギー技術の社会的受容性の確立によるエネルギー施設の立地促進

エネルギー技術の立地促進対策としては、PAの徹底による当該エネルギー技術の立地に関する国民意識の転換を図るほか、エネルギー技術自体の変革による国民的合意の獲得に努めるべきである。

〔視点6〕大規模集中型エネルギーシステムと小規模分散型エネルギーシステムの共存 によるエネルギー需要変動への対応

エネルギー需要の変動に対して最大限迅速に対応できるよう、設計から運転開始までの期間が長い「大規模集中型エネルギーシステム」と、設計から運転開始までの期間が短い「小規模分散型エネルギーシステム」を適切に組み合わせて保有しなければならない。

〔視点7〕需要者の論理に立脚した需給システムの実現と、地球環境維持のための 産業構造の転換

需要者がフェアにエネルギーを選択できるよう「代替システム」を用意するとともに、そのための技術基準の整備、規制の簡素化を行い、新しいエネルギー技術の普及と自己改革を支援していくことが必要である。

また、新しいエネルギー技術が未だ十分な経済性を有しない段階においても、その横

断的普及を推進していくためには、地球環境の維持を企業行動の基本的視点に据えた産業構造の転換を強力に図っていくべきである。

〔視点8〕「省エネ、節エネ、創エネ」を基本とする「全員参加型エネルギー確保社会」

への転換

「省エネ、節エネ、創エネ」の実施を基本として、必要とするエネルギーの確保のため、社会構成員全員の主体的参加協力を求める「全員参加型エネルギー確保社会」への転換を進めるべきである。

〔視点9〕超高齢化社会を支援するシステムを維持するためのエネルギー供給利用シス

テムの構築

超高齢化社会を維持していくためには、生産技術の自動化、ハイテク化により社会としての生産力を維持するとともに、産業活動、社会生活及び個人生活にわたる危険の防止、作業能率の低下防止等のための支援システムが必要であり、この支援システムを維持するため高信頼性、高安全性のエネルギー供給利用システムの構築を実現すべきである。

〔視点10〕エネルギー技術の研究開発及びエネルギー開発、供給、利用事業における

人材の確保と必要な社会的支持の形成

21世紀において新しく実用化が予想される技術の研究開発並びにエネルギーの開発、供給、利用事業に携わる技術者の確保のためには、安全の確保は当然の前提として人間への不適合性を無くするとともに、技術体系を洗練・高度化することにより「人に優しく」かつ「快適に働ける職場環境」の施設及び事業場としなければならない。

また、エネルギーの安定供給の確保が文明の維持、継承を左右することを考慮し、エネルギー開発、供給、利用事業に対し偏った評価をすることなく、社会構成員によりその活動に対して十分な理解と支持が与えられることが必要である。

このため、エネルギー技術に関する広範な視野に立った知識・認識の普及に努めるとともに、21世紀社会を担う次世代に対しエネルギー技術に関する高度な知見を与えるよう配慮するものとする。

〔視点 1 1〕 国際政治情勢及びエネルギー情勢の激変に対応しうるエネルギー技術体系
の開発・蓄積と継承保存

我が国のエネルギー供給を左右する国際政治情勢及びエネルギー情勢が激変することを十分考慮して、これに対応しうるよう石油代替エネルギーについて実用技術を保有するか、少なくとも「商用プラントの設計・建設をいつでも可能とする技術体系」を開発・蓄積し、かつ、その継承保存を可能とする体制を確立しておくべきである。

〔視点 1 2〕 21 世紀中葉以降の世代に対して継承すべき文明の健全性と高度エネルギー技術

本ビジョンでは 2050 年迄の理想的エネルギー供給システムの在り方を検討したが、更にそれ以降の 21 世紀社会についても我々は何を残すのかそして何を継承すべきか十分な配慮を及ぼしておくべきである。

- (1) 身体 の健康と精神の健全性の維持に努め、社会の劣化を防止することにより、文明の健全性を維持する。
- (2) 今後実用化するエネルギー開発利用技術は更に洗練・高度化して、社会に受容され、支持される技術体系とする。
- (3) 資源・エネルギーの大量消費を避け、又はノーブルユースに限定し、できるだけ多くの量を温存する。
- (4) エネルギー利用に伴う廃棄物の処理を後世代の債務として残さない。
- (5) 大気、水質等の地球環境条件の悪化を防止するとともに、CO₂ 等温室効果ガスについては「地球再生計画」の展開等によりその回復を図る。

今回の「21世紀の技術とエネルギービジョン」の策定作業は、我が国では初めての試みであり、その結果は、直近のエネルギー政策の示唆に富む所が多く、予想以上に有意義な結果が得られたものと評価できよう。

しかしながら、今回の「21世紀の技術とエネルギービジョン」の策定作業は期間も限られ、対象技術の専門的検討評価、定量的裏付けにやや欠けている面が否定できない。このため、21世紀の高度エネルギーシステムの実現に向けたシナリオが十分強力な政策的拠り所となりうるためには、今後、より専門的検討評価と定量的裏付けを十分与えられ、エネルギー技術開発モデルとして確立されることが求められる。

今後の我が国のエネルギー技術開発政策の適切かつ着実な形成と展開のためには、このような超長期的エネルギー技術の開発シナリオを保有することが不可欠であると考えられ、このための本格的検討体制の整備が、関係機関の協力を得て、早急に実現されることを期待する。

21世紀の技術とエネルギー委員会 関係者名簿 (順不同, 敬称略)

委員長	柏木 孝夫	東京農工大学工学部	教授
委員	赤井 誠	工業技術院機械技術研究所	エネルギー部熱工学課主任研究官
	内田 二郎	(株)テクノリサーチ研究所	所長
	大橋 弘忠	東京大学工学部	原子力工学科助教授
	小川 芳樹	(財)日本エネルギー経済研究所	総合研究部研究主幹第3研究室長
	小野 靖	東京大学工学部	電気工学科助教授
	垣田 行雄	(財)日本システム開発研究所	常務理事
	京塚 光司	ソニー(株)コンピューター&パーソナルコミュニケーション営業本部	本部長
	澤田 慎治	工業技術院電子技術総合研究所企画室	エネルギー技術担当主任研究官
	瀬間 徹	(財)電力中央研究所	環境総合推進室次長
	堤 敦司	東京大学工学部	化学工学科講師
	山影 進	東京大学教養学部	国際関係論研究室教授
	横山 明彦	東京大学工学部	電気工学科助教授
事務局	吉澤 均	(財)エネルギー総合工学研究所	主席研究員
	石丸 利道	(財)エネルギー総合工学研究所	副主席研究員
	赤田 卓己	(財)エネルギー総合工学研究所	主管研究員
	蛭沢 重信	(財)エネルギー総合工学研究所	主任研究員
	板本 直樹	(財)エネルギー総合工学研究所	主任研究員
	大久保憲一	(財)エネルギー総合工学研究所	主任研究員
	金子 裕子	(財)エネルギー総合工学研究所	研究員

研究所のうごき

(平成5年7月1日～9月30日)

◇ 月例研究会

第105回月例研究会

日時：8月27日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 中ホール

議題：

「21世紀の技術とエネルギービジョン」

策定の背景

(専務理事 主任研究員 吉澤 均)

第106回月例研究会

日時：9月24日(金) 13:30～15:30

場所：東京商工会議所 講堂

(東商ビル 地下2階)

議題：

1. 平成6年度エネルギー関連概算要求の概要

(通商産業省資源エネルギー庁長官官房
総務課 技術審査委員 青山市三氏)

2. 水力新世紀計画

(通商産業省資源エネルギー庁公益事業
部発電課 総括係長 石川和男氏：発電
課技術振興室長 平野正樹氏代理)

◇ 主なできごと

7月12日(月)・第8回原子炉安全数値解析高度
～13日(火) 化委員会開催

19日(月)・第1回製油所における電・熱有
効利用に関する調査分科会開催

20日(火)・第1回原子炉総合数値解析シス
テム実用化検討委員会開催

22日(木)・第1回分解軽油の利用拡大に伴
うA重油品質のあり方に関する
調査委員会開催

・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査委員会開催

・第2回高効率発電技術調査委員
会

23日(金)・第2回高効率発電技術調査委員
会

27日(火)・第1回高効率発電技術調査・
A-P-F-B-C発電システム調査
検討会

・第9回原子力政策研究会開催

・第1回軽水炉技術開発の方向に
関する調査委員会開催

・第1回分解軽油の利用拡大に伴
うA重油品質のあり方に関する
調査分科会開催

8月3日(火)・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査廃棄物再利用分科会開催

5日(木)・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査物量等分科会開催

・第1回製油所における電・熱有
効利用に関する調査・WG開催

12日(木)・第2回非在米型天然ガス調査分
科会開催

18日(水)・環境調和型エネルギーコミュニ
ティ調査内部W/G開催

23日(月)・第9回原子炉安全数値解析高度
化委員会開催

24日(火)・第3回高効率発電技術調査委員
会

25日(水)・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査手続分科会開催

・第3回高効率発電技術調査委員
会

・第2回石油活性型ガスタービン
複合ごみ焼却発電システムの実
用化調査分科会開催

26日(木)・第1回高度負荷集中制御シス
テム検討委員会

31日(火)・第2回分解軽油の利用拡大に伴
うA重油品質のあり方に関する
調査分科会開催

9月1日(水)・第1回次世代ハウスエネルギー
供給利用システム専門委員会

2日(木)・第1回次世代ハウスエネルギー
供給利用システム専門委員会

6日(月)・第1回分散型新発電技術実用化
実証研究に関する調査委員会

7日(火)・第2回製油所における電・熱有
効利用に関する調査分科会開催

・第1回高度負荷集中制御シス
テム検討委員会・システム分科会

8日(水)・第1回高度負荷集中制御シス

- ム検討委員会・ロードマネジメント分科会
- 9月9日(木)・第1回分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査委員会・幹事会
- ・第1回家庭用電力最適運用機器システム検討委員会
- 13日(月)・第1回メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査委員会
- ・第2回エネルギー環境予測検討委員会モデル検討WG開催
- 14日(火)・第1回高度負荷集中制御システム検討委員会・専門部会
- 17日(金)・第1回最適トータルシステム委員会
- 21日(火)・第4回高効率発電技術調査委員会
- ・第1回自動車用メタノール燃料に関する調査WG開催
- 22日(水)・第3回非在来型天然ガス調査分科会開催
- ・第1回都市エネルギーセンター導入にかかわる調査ワーキンググループ
- 24日(金)・第1回メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査ワーキンググループ
- 27日(月)・第2回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会開催
- ・環境調和型エネルギーコミュニティ調査WG開催
- 28日(火)・第2回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会開催
- 30日(木)・第1回含酸素燃料に関する調査WG開催

◇ 人事異動

○7月1日付

(退任)

プロジェクト試験研究部

主任研究員 樽本芳秀 (出向解除)

(採用)

本多 敏郎 経理部長に任命

栗原 史郎 プロジェクト試験研究部長兼企画部長に任命

寺崎 二郎 主管研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

藤倉 明 主管研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

中山 雄幸 主管研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

山本 信幸 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

土田 達 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

高瀬 哲 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

○8月1日付

(採用)

大門 昶雄 副主席研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

金刺 秀明 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属

○9月30日付

(退任)

プロジェクト試験研究部

主任研究員 加賀城俊正 (出向解除)

◇ その他

(財)エネルギー総合工学研究所

創立15周年記念特別シンポジウム開催

日 時：平成5年7月12日(月)

場 所：東商ホール(東京商工会議所ビル4F)

テーマ：

「21世紀社会のエネルギー技術戦略を探る」

◇ 海外出張

- (1) 原田義也主任研究員は、原子炉総合数値解析システム実用化検討調査のため、8月21日から9月5日の間、アメリカ、カナダへ

出張した。

- (2) 片山優久副主席研究員は、「日・ロ合同石油天然ガス・シンポジウム」参加のため、8月24日から8月29日の間、ロシアへ出張した。
- (3) 寺崎太二郎主管研究員は、非在来型天然ガスに関する調査のため、8月29日から9月12日の間、アメリカ、カナダへ出張した。
- (4) 中山雄幸主管研究員は、実用発電用原子炉廃炉技術に関する調査のため、9月3日から9月19日の間、チェコ、ドイツ、アメリカへ出張した。
- (5) 和達嘉樹専門役は、汚染状況調査のため、9月12日から9月19日の間、白ロシアへ出張した。
- (6) 中丸寿男副主席研究員は、クリーン・コール・テクノロジー推進事業研究開発推進調査のため、9月20日から10月1日の間、イギリスへ出張した。
- (7) 谷口武俊主任研究員は、「発電技術の選択ーコスト、リスク、外部性」国際シンポジウム出席のため、9月22日から9月28日の間、アメリカへ出張した。

編集後記

当研究所は、本年4月をもって創立15周年を迎え、その発展の足跡については4月発行の創立15周年記念特集号をもって、既にご紹介した通りであるが、本号は、去る7月12日に開催された「創立15周年記念特別シンポジウム」の記録として、保存のため編集したものである。

「中長期ビジョン」の策定に当っては、当研究所の総力を挙げて取り組んだ課題であるため、エネルギー関係者の強い関心と呼ぶところとなり、沢山の方々の御参加をいただき、冒頭の理事長挨拶にもあるように、過去最大の会場を用意したにも拘らず、やむを得ず参加申込者の多数の方をお断り申し上げるようになったことについて、改めて深くお詫び申し上げます次第である。

さて、シンポジウムの基調講演は、近藤駿介東大工学部教授の「21世紀におけるエネルギー技術と地球環境」と題するご講演と北野大嗣化学品検査協会企画管理部長の「化学者から見た21世紀のエネルギー問題」と題するご講演をいただいた。両先生ともに、環境問題を原点に据え、エネルギー問題と技術開発課題について有意義な内容を極めて明快にお話しいただいた。

次に、「中長期ビジョンにおける21世紀社会の技術戦略」について、吉澤専務理事から概要の説明があった後、担当各部長から、担当部門ごとの今後の動向とそれに対応する技術戦略に関して、詳細な説明が行われ、最後にこの中長期ビジョンに関して、秋山 守東大

工学部教授から簡潔にご所見をお示しいただいた。

続いての特別講演は、秋山教授の「次世代の原子力発電と核燃料サイクルの方向」という演題で、ご専門のお立場から広い視野でのお話をいただくとともに、柏木孝夫東京農工大工学部教授から、2050年を目途に当研究所で策定した「21世紀中葉における技術ビジョン」に関し、取りまとめに当られた委員会の委員長のお立場から、ビジョンの内容についてのお話をいただき、極めて盛会のうちにシンポジウムを終了することができた。

ところで戦略と言えば、明治初期にプロイセン陸軍から範をとって創設された、わが国陸軍の参謀本部は、その幕僚教育において体系的な軍事理論に基づく戦略論を疎外し、即戦的な兵団の編成・運用・戦闘中心の戦術論に終始したため、戦術家としての多くの将星を輩出させたが、他方戦略理論家としての参謀の育成を怠ることとなり、軍事行動は戦争における政治目的を踏まえて戦略を策定していくという、参謀本部本来の目的を喪失させていき、戦術中心の無謀な作戦をとるようになり、最後には統帥の紊乱は極点に達し、敗戦を壊滅にまで至らしめたと言われている。

(中公新書・ドイツ参謀本部、日本の参謀本部より)

このように戦略の策定は、いかに重要なものであるか。過去の戦史は厳しい事実をもって教えてくれている。(石崎一夫記)

季報エネルギー総合工学 第16巻第3号

平成5年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社