

No.120
November 5, 2004

Information

講 演

2004年7月13日（火）・第140回談話サロン（東京・弘済会館）

講師・演題

秋山 守：「将来のエネルギー需給と技術開発」

—ノルウェー国際セミナー講演—

社団法人
日本工学アカデミー
THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

日本工学アカデミーの使命

社団法人日本工学アカデミーは、広く学界、産業界及び国の機関等において、工学及び科学技術並びにこれらと密接に関連する分野に関し、顕著な貢献をなし、広範な識見を有する指導的人材によって構成されており、工学及び科学技術全般の進歩及びこれらと社会との関係の維持向上を図るため、下記の諸活動を通じて、我が国ひいては世界の発展に資することを目的とする。

記

- 1) 国内外の工学・科学技術政策、教育等に関する調査研究、提言活動を積極的に行う。
- 2) 国内外における学際・業際的及び新技術領域の活動を推進することに資する調査研究等の諸活動を積極的に行う。
- 3) 国内外の工学、科学技術の健全な進歩発展に寄与するための教育活動、及び一般に対する普及、啓発活動を推進する。
- 4) 上記の諸活動を効果的に実施するため、国内外の諸団体、特に海外の工学アカデミーとの連携を強化し、共同事業等を推進する。
- 5) 上記の一環として国際工学アカデミー連合の主要メンバーの一員として、特に近隣諸国における工学アカデミーの設立に対して、良きアドバイザーとしての責務を果たす。

2000年7月19日理事会

「将来のエネルギー需給と技術開発」

—ノルウェー国際セミナー講演—



秋山 守 (あきやま まもる)

1935年生まれ
1958年 東京大学工学部機械工学科卒業
日本原子力研究所 勤務を経て
1963年 東京大学工学部講師 (原子力工学科)
1964年 同 助教授
1974年 同 教授
1996年 同 名誉教授
1996年 (財)エネルギー総合工学研究所理事長 現在に至る

専門：原子力工学、エネルギー工学、熱流体工学
活動：(社)日本工学アカデミー理事、エネルギー基本戦略部会副部
会長、日本学術会議第17期会員、環太平洋原子力協議会前
会長、日本原子力学会元会長、日本原子力産業会議副会長
等

司 会 (三井恒夫エネルギー基本戦略部会メンバー) 第140回談話サロンを開催いたします。きょうは大変お暑い中を、たくさんお集まりいただきましてありがとうございます。秋山守先生に、将来のエネルギー需給と技術開発という演題でお話しいただきます。私は、司会を務めさせていただきます。三井でございませう。よろしくお願いいたします。

秋山先生は、ご紹介するまでもないと思いますけれども、東京大学工学部教授を務められ、1996年にご退官されて、現在はエネルギー総合工学研究所の理事長でいらっしゃいます。日本学術会議第17期会員、日本原子力学会会長、そのほか、エネルギー、原子力等に関するいろいろな団体の要職をなさいましたし、現在も、そうした要職、政府の審議会とか専門部会の委員あるいは座長等も務めていらっしゃいます。

当日本工学アカデミーでは、現在理事およびエネルギー基本戦略部会の副部会長として、この部会の実質的な推進役を務めて下さっています。

ことしの5月にノルウェーの工学アカデミー主催で「世界的なエネルギー見通し」というセミナーが開催されました。これはCAETSのアニュアル・ミーティングに合わせて行われたものでありま

して、各国の工学アカデミーからエネルギーに関する専門の方が集まってセミナーが開催されました。そこで、秋山先生が、「日本のエネルギー需給と技術開発」に関する講演をなさったわけでありませう。

本日は、その講演の内容を中心に、このエネルギー基本戦略部会のねらいとか、あるいはセミナーにおきます討議とかをあわせて、お話を伺うことにいたします。

それでは秋山先生、よろしくお願いいたします。

秋山 守 皆様こんにちは。ただいま、司会をお務めくださいます三井先生から、大変過分なご紹介を賜りまして、まことにありがとうございます。

将来のエネルギー需給と技術開発 —ノルウェー国際セミナー講演—

(社)日本工学アカデミー 第140回 談話サロン

弘済会館

2004年7月13日(火)

(財)エネルギー総合工学研究所
秋山 守

- ・エネルギー基本戦略部会の経緯と概要
- ・ノルウェー国際セミナーのプログラム
- ・日本からの講演の内容についてご報告

た。本日は、会場の皆様方には、お暑い中、また、お忙しい中、私の話をお聞きくださるためにお集まりいただきましたこと、感謝申し上げます。

本日の私のテーマにつきましては、その背景、趣旨は、ただいま三井先生からご紹介いただきました。私は日本工学アカデミーのエネルギー基本戦略部会の中でお手伝いさせていただいており、その活動の経緯とか概要を背景として、先般、ノルウェーで話をしてきたわけであります。

本論の、ノルウェーの国際セミナーで私が話したいとした内容に入る前に、この会場には既にご案内の方々もいらっしゃると思いますが、エネルギー基本戦略部会の経緯と概要について、簡単にお話ししたいと存じます。(これは若干、私の個人的な解釈も入っておりますので、ご覧いただくだけとしてご了承をお願い致します。(資料省略))

日本学術会議でもともと社会産業エネルギー研究連絡委員会が活動しておりまして、本日司会の三井委員長の委員会で、私、お手伝いをさせていただきましたが、2000年3月には「エネルギー研究開発の総合戦略の確立を目指して」という趣旨の対外報告も出ました。これらを背景として、今度は日本工学アカデミーに場を移して、その当時、山路敬三先生が地球環境専門部会を、それから笛木和雄先生がエネルギー専門部会を、それぞれ進めておられたわけですが、それらの活動のさらに延長といえますか、発展した形で、新しく ECC 作業部会を立ち上げることになりました。

これは一つには、カナダの人が提案者の一人ですが、工学アカデミー連合の中のメンバーの手で、エネルギー・環境の問題について国際的なレポートをつくって、一般の方々にわかりやすく提示してアカデミーの立場から貢献していきたい、という趣旨で原案をまとめようとしたことが契機となっています。ところが、残念ながら、この問題は極めて大きな問題であるにもかかわらず、限られた時間、限られたリソースでは、レポートをつくるのはなかなか困難でしょうという CAETS の理事会のご判断でペンディングになり

ました。それから時間が経って、今回のノルウェーの会議に至りました。後でも申しますが、ノルウェーではエネルギー・環境問題について、これまで過去2回セミナーを設けてきていまして、今回がその3回目に当たるわけですが、その場で、私どものこれまでの日本工学アカデミーの場での活動を今後どう発展させるかについて、国際的に提言し、相談致すことも含めて出かけてまいりました。

日本工学アカデミーでは、昨年からエネルギー基本戦略部会が活動を始めており、現在では秋元勇巳先生が部会長で、来年の春に一つの報告書をまとめるべく、活動を展開しているところです。

エネルギー基本戦略部会の概要ですが、三井先生をはじめ、数名の会員が委員となられ、あと、作業メンバーやアドバイザーの方も含めて活動しています。その活動の要目、ねらいですけれども、一つには、きょうの最後のところでも改めてお話し申し上げますが、エネルギー・環境問題の厳しさ、また広がりといったものを考えますと、きちんとした情報、つまり的確で分かりやすい情報を我々が共有し、社会にも提供していくことが必要で、そのための中枢的な機能を果たす、情報の基盤機構的なものを目指そうではないか。これが一つであり、それを支えるものとして、今、さまざまな情報がありますが、例えばエネルギーの収支バランスはどうなのかとか、エネルギーに対する取り組みが適切であるのかどうか問題になります。エネルギーの出力と入力 of 比を明確にして、科学的にきちんと裏づけていくことも大きな目標に掲げたところです。その他、国民の合意形成に資することとか、総合安全保障戦略に資すること

CAETS/NTVAセミナーの概要(1)

名称: 「グローバルなエネルギー見通し」国際セミナー
主催: ノルウェー工学アカデミー(NTVA: Norges Tekniske Vitenskaps Akademi)
協力: 国際工学アカデミー連合
(CAETS: Council of Academy of Engineering, Technology & Science)
日程: 2004年5月26日(水)~27日(木)
場所: スタバンガー・フォーラム会場(ノルウェー)
目的: エネルギー政策や将来の研究開発のプライオリティ評価に資すること、現時点での科学技術的データベースを提供すること、公衆の理解促進に資すること
背景: 主催国として、エネルギー・環境問題の重要性への認識、石油供給国としての将来の資源問題への関心、が強いこと。
経緯: エネルギー・環境問題を対象とした、NTVAによる1998年、2001年のセミナーに次ぐ3回目のセミナー。
参加者: 21ヶ国と3国際機関から合計で約80名。

も大切な点です。こうしたことで、アカデミーで現在活動を進めているところであります。

まずはCAETS/NTVA—NTVAはノルウェーの工学アカデミーの略称ですが—そのセミナーの概要についてです。セミナーは5月26日、27日の2日間、ノルウェーのスタバンガーで開かれました。スタバンガーの町は、私、初めて参りましたが、国際的な会合、国際的な企画等をかなり積極的に、集中的に開いている立派な建物があり、そこで今回の会合が開かれました。

目的は、エネルギー政策や将来の研究課題のプライオリティー評価に資すること、現在の科学技術的データベースをまとめていくこと、それから公衆の理解促進に資すること等です。経緯については、先ほど申しましたように、過去の2回のセミナーに続くこの分野の3回目のセミナーとして、参加は21カ国、そして国際エネルギー機関を含めた、三つの国際機関の代表、合計で八十数名の専門家が集まった会合でした。日本からは、中原副会長、山田専務理事、それに私の3名が出席しました。

これはノルウェーの地図で（省略）、スカンジナビア半島の一番西の端にベルゲンという有名な町があり、そのちょっと南にスタバンゲルと書いてある、この場所です。

会場はスタバンガーフォーラムというところでしたが、近くは海で、そこまでには若干距離はありますが、ちょっと足を延ばせばご覧のような風景が広がっているところです。フォーラムは実は大変広い会場で、このような国際会議もできるところでした。私どもの会議は少人数でしたので、中を仕切り、その一角で開かれました。

建物の全体の風景ですが、ちょっと見た目にはそれほど豪華なビルディングではないのですが、ユニークなのは隣りがホテルで、屋上にはレストランがありました。ちょっと余計なことを申しましたが、こんなところで開かれたわけです。

さて、セミナーの内容に話を移らせていただきますが、主催者側のアカデミーの会長のごあいさ

CAETS/NTVAセミナーの概要(2) 2004年5月26日(水) 初日プログラム

1. 主催者側開会講演
Einar Steensnaes (ノルウェー: 石油・エネルギー大臣)
2. 招待基調講演
Gerald Doucet (世界エネルギー協会: 事務総長)
3. 技術見通し
(1) 炭化水素: Terje Overvik (ノルウェー: スタオイル社副社長)
(2) 石炭: Barbara McKee (米国: 石炭・電力輸出入局長)
(3) 再生エネルギー: Debra Justus (国際エネルギー機関: 主席政策アナリスト)
(4) 原子力: Thierry Dujardin (経済協力開発機構/原子力機関: 科学・開発局次長)
(5) 水素: Kjell Bendiksen (ノルウェー: エネルギー技術研究所理事長)
(6) 二酸化炭素: Peter J. Cook (豪州: 温暖化ガス技術協力研究センター社長)

つの後に開会講演があり、これはノルウェーの石油エネルギー担当大臣のステーンズネスさんがされました。

ノルウェーは、今、北海油田で景気がいい状況です。石油供給国の仲間入りをしており、石油の輸出量で見ますと、現在ではサウジ、ロシアについて世界第3位の地位を占めています。ただ、自国権益の及ぶ残存確認埋蔵量は極めて限られており、いわゆる可採年数で申しますと約10年とみなされていて、遠からず石油が欠乏していく状況にあるので、これから幅広くこれまでの事業をいろいろな形で展開していく構想を立てております。

このようなことが背景となって、今回のエネルギー・環境をテーマにしたセミナーにつながったものと思われます。

石油エネルギー大臣の開会講演ですが、先ほどの内容に続いて、ノルウェーは天然ガスでも欧州マーケットではロシアについて第2位で、また、2006年からはアメリカにもLNGを輸出しようと計画しており、こうしたことを背景に、今後、石油・ガス産業の国際化を政府として強力に支援したいと、そして、それらをさらにバックアップするために、工学アカデミーの方々の力をぜひ得たい、という趣旨のお話がありました。

第2番目の講演は招待基調講演で、カナダから来られたドウセットさんという方。現在、世界エネルギー協会の事務総長を務めておられますが、この方は、エネルギーの原動力について、三つのグループといいましょうか、キーワードで総括をされました。一つは国民総生産。2番目がエネルギー需要。3番目がエネルギー供給。この三つの

グループに大別して、その三つのベクトルの中で極めて体系的かつ明確に彼の哲学を披露してみました。なお、先ほどの大臣のお話とか、このエネルギー協会の事務総長のお話などは、私の話も含めまして、現在インターネットでお読みいただけるようになっておりますので、ぜひご覧頂きたいと思います。

(<http://www.ntva.no/seminarer/2004/stavanger-energy/presentations.shtml/>)

続いて、技術見通しについて、それぞれのエネルギー別にくくって、一人ずつ話がありました。ノルウェーからは炭化水素の話。石炭はアメリカの方。再生エネルギーはIEA（国際エネルギー機関）の方。原子力に関しては経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）の担当の方の話がありました。それから水素へと続き、最後に二酸化炭素の問題はオーストラリアの方のお話でしたが、事業自体はノルウェーで、現在、回収した二酸化炭素を海底に埋め戻していく、かなり大がかりな事業が進んでおり、海底の岩盤の層の間に注入して戻していく話を中心にプレゼンテーションがありました。

CAETS/NTVAセミナーの概要(3) 2004年5月27日(木) 2日目プログラム

「国・地域別に見る技術開発と将来のエネルギー供給」
(発表者は全て所属国の工学アカデミー会員)

1. 中 国: Zheng Jianchao (中国電力研究所 名誉理事長)
2. インド: Placid Rodriguez (インド工科大学 特別客員教授)
3. 日 本: 秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長)
4. 韓 国: Rim Taig Lee (韓国エネルギー研究所 理事長)
5. 米 国: John F. Ahearn (Sigma Xi 理事)
6. 欧州(Euro-CASE): Goran Persson (エネルギー・環境委員会 委員長)

パネル討論:「グローバルなエネルギー見通し」について
座 長: Willy H. Olsen (ノルウェー石油・ガス産業財団顧問)
メンバー: 上記の講演者6名

2日目のプログラムでは、今度は国別に考え方とか現状の紹介が行われ、私もその中の一つとして、先ほど三井先生からのご紹介のように、日本の技術開発と将来のエネルギー需給について、ご紹介をしまいたったわけです。

各国からは、中国、インド、日本、韓国、米国、欧州の順序で話が進められました。当初はロシアも来る予定だったのですが、いわゆるドタキャンで姿が見えず、でした。

なお、最初に一つ、二つお断りしたいのですが、本日、以下にお話し申し上げます、ノルウェーの会議での私の講演内容は、事実関係については、これはエネルギー戦略部会で出回り、そして議論をしております材料をそのままご紹介しているものですが、それらの解釈とか、あるいは所感については、私の個人的な、従って多少偏った、また未熟なところを反映したものであることを、あらかじめご容赦いただきたいと思います。それからもう一つは、これは手続的なことですが、ご覧いただきます幾つかの図表は、いろいろなところで既に公表されたものをお借りしており、以下、口頭では一々お断りしませんので、その点よろしくお願いいたします。

日本のエネルギー需給見通しとエネルギー・環境技術開発

グローバル・エネルギー予測に関する
CAETS/NTVA セミナー

2004年5月26日～27日

秋山 守

(財)エネルギー総合工学研究所 理事長
(社)日本工学アカデミー エネルギー基本戦略部会委員

それでは、当日の私の講演内容にほぼ即しながら、今からお話を進めさせていただきます。

内 容

0. はじめに
1. 日本のエネルギー需給の現状と将来見通し
2. 関連要因: 資源、経済、環境容量、安全性
3. 技術の役割と国の開発努力
4. エネルギー戦略に関する活動
5. まとめと提言

まず、全体の構成といいますか、流れですが、日本のエネルギー需給の現状と将来見通しから始めまして、次は、関連要因と書いてありますが、これは資源的な制約、そして経済性の面からの制約、さらに環境容量といいますか、特に温暖化の観点で申しますと、温暖化ガスの大気中濃度の制約がかかるということも含めた環境容量の制約があります。それから、特に安全性については、事

故などの即時的なリスクのほかに健康障害の原因となる大気汚染とか、さまざまな形で時間をおいて現れるリスクの問題があります。

こうした資源、経済、環境、安全といった切り口で、現在、いかに社会的、ないしは技術的な制約があるのかということ进行分析して、それを乗り越えるには、あるいは緩和するにはどうしたらいいかについての考え方を、皆さんで共有しようというのが2番目であります。

そのような背景といいますか、問題の中で、技術の役割をさらに明確にお互いに理解し合っていくために、私からは特に国を中心としたさまざまな技術開発の努力、現状をご紹介します。最後に、エネルギー戦略に関する活動ですが、これはまさにエネルギー基本戦略部会で、現在、戦略というキーワードを中心に活動しています考え方、内容をまとめてお話ししました。

さて、日本のエネルギー需給の現状と将来見通しの話題の最初であります。まず、図1、日本のエネルギー供給の推移を見ますと、1965年から約2001年までの、各種のエネルギーの伸び、すなわち社会に導入された量的な推移を、グラフで表したものがこれです。エネルギー需要は、トータルで見まして1965年から2001年までを比べますと、大体3倍ぐらいまで、絶対量で増えてきています。この間、経済的な活動の状況を見ますと、国内総生産（GDP：グロス・ドメスティック・プロダクト）は、ほとんど5倍近くに達しており

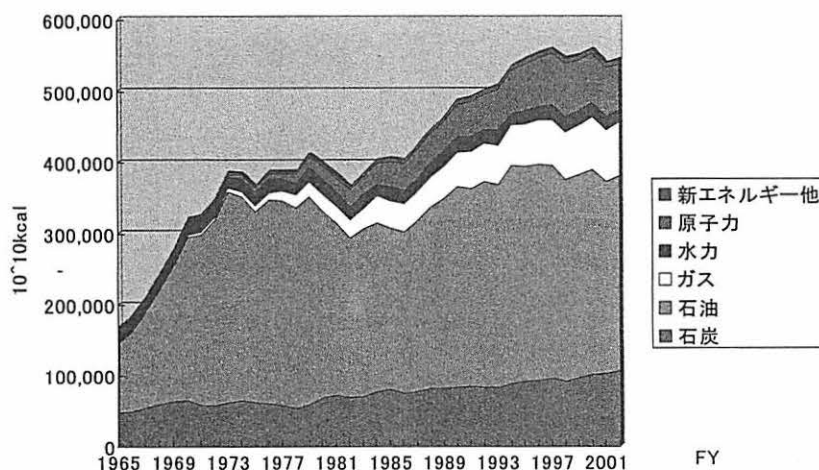
ます。繰り返しますと、エネルギーを3倍使うけれども、GDPはそれ以上の5倍にまで伸びてきました。特に、65年からオイルショックの73年までの傾斜は大変急でして、まさしく右肩上がりの、行け行けどんどの時代でありました。これは、世界的にも大変注目され、経済的な「ミラクル」と呼ばれた時代です。この間のエネルギー需要の伸びは、年平均で11%に達したという数字が記録されております。ところが、例の73年の石油ショックが起こりまして、さらに79年と続きます石油危機のために、この間の数年、73年から79年ごろまでの間は、ほとんど成長がなく、エネルギー供給の年間の伸びは1%、そしてエネルギー弾性値も極端に低下した時期でありました。

石油ショックが過ぎてから86年ごろまでは構造調整の時期と呼ばれていますが、その間は、エネルギーの伸びを抑えながら、3%程度の経済成長率を維持した時期であります。それから86年以降は、またかなり順調に景気が回復しまして、年間平均経済成長率が5%、エネルギーの伸びも年間4%といった状況になりました。

ところが今度は90年代に入って、いわゆる不況の時期となり、平均経済成長率が1%、エネルギー弾性値も1.2という数字を低迷して、今日に至りました。

エネルギーの内訳ですが、図の下から順に石炭、石油などでして、以前に比べますと、石油が圧倒的に伸びているのがわかりますが、石油は経済を

図1 日本のエネルギー供給の推移



出典:エネルギー・経済統計要覧(EDMC)、2003

引っ張るエンジンの役割を果たしてきたことを物語っています。その割合は、この図には見られませんが、1960年以前は、トータルの一次エネルギーの中での石油の占める割合はたかだか20%レベルでありましたが、オイルショックの直前になりますと、ここにご覧いただきますように、77%にも達しております。ただ、その後は代替エネルギーが徐々に増えてきて、一次エネルギー中の石油の占める割合は52%前後のレベルになっています。石炭は、現在ではすべて輸入となっております。一番下に灰色で示した石炭は輸入であります。ただ、一次エネルギー中なお17%を占めており、これは鉄鋼分野での利用など、重要な基幹エネルギー資源の一つであります。

この間、天然ガスがクリーンエネルギーとして伸びてきて一図で白い部分が、ガスですがこれが13%で、現在は、化石系の燃料が全体のエネルギーの中で約82%を占めています。問題なのは、化石系のエネルギーのほぼ全量が輸入だという点です。

原子力については、また後で詳しくお話しますが、一次エネルギーの13%、電力供給では

40%強を占めるに至っております。

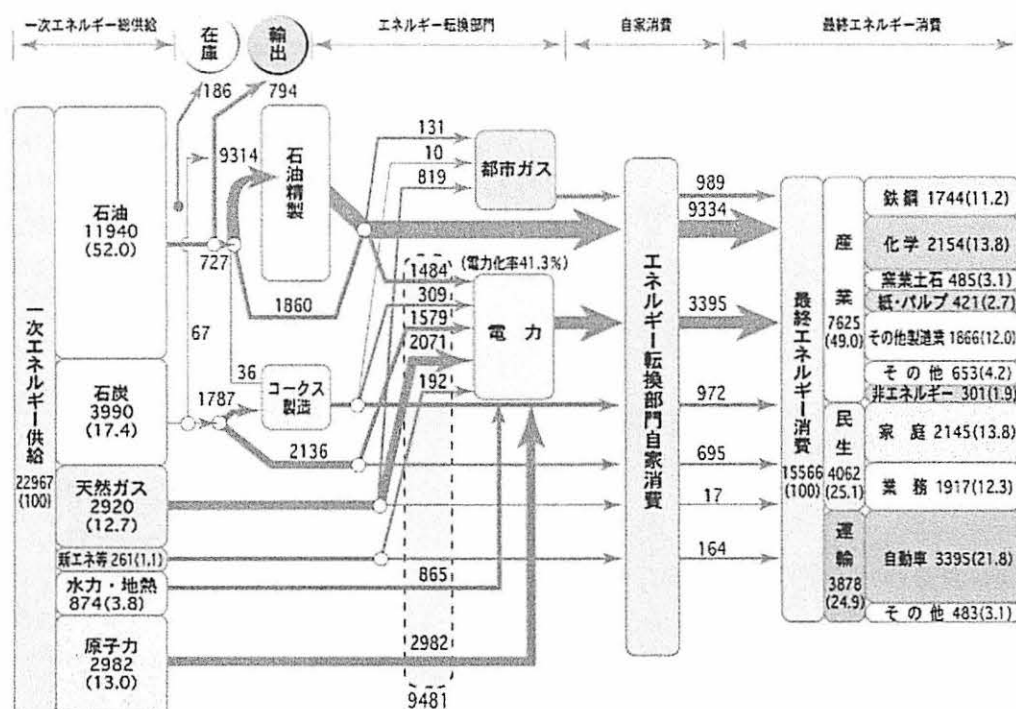
次の、図2、これは数字自体は1999年のちょっと古い数字ですが、エネルギー別の構成とフローパスは、基本的にはそう変わっておりません。まず、一次エネルギーの種類は石油、石炭、天然ガス、原子力などと並びますが、それらがエネルギーの転換、輸送等を経て、最終エネルギー消費の産業、民生、運輸と大きく三つのセクターに流れていくことはご案内のとおりです。

その産業セクターですが、1970年のころは、エネルギー全体の3分の2を使っていたんですが、現在では、全体の約半分にまで減ってきております。これは、産業界の構造的な改革、省エネルギー努力が功を奏したことによります。景気がいささか低迷していることも影響しているかもしれません。

産業利用のエネルギーの大半を占めるのは、化学と鉄鋼産業です。民生利用、つまり家庭とか業務用ですが、これが全体の約4分の1、そして運輸が約4分の1となっております。

これを国民一人当たりで見えますと、石油換算で年間約4トン。つまり、一人ひとりが1年で

図2 日本のエネルギー全体の流れ (1999年)



出典:エネルギー・経済統計要覧(EDMC)、2003

約4トンの石油を使っている勘定になります。これはアメリカに比べると大体半分であり、一方、ヨーロッパのドイツ、フランス、それからイギリスなどに比べると、ほとんど同じレベルであります。GDP当たりのエネルギー消費につきましては、アメリカのドルで100万ドル単位で石油換算約100トンという状況です。この数字が何を意味しているかと申しますと、要するに、経済や民生を含めた諸活動に対して、エネルギーをどれだけ使ったかというエネルギーの利用効率をあらわした数字であります。そのGDP当たりのエネルギー消費が、100万ドル当たり100トンというのが我が国の数字なんです、これは北米やカナダに比べると3分の1のレベルであって、逆に申しますと、アメリカやカナダは同じような社会活動をするのに3倍ものエネルギーを投入していると、アバウトに申しますとそういう言い方ができるかもしれません。それから、ヨーロッパに比べると日本は約3分の2のレベルであります。日本はエネルギーを有効に利用している、ということをお願いしたかったわけです。

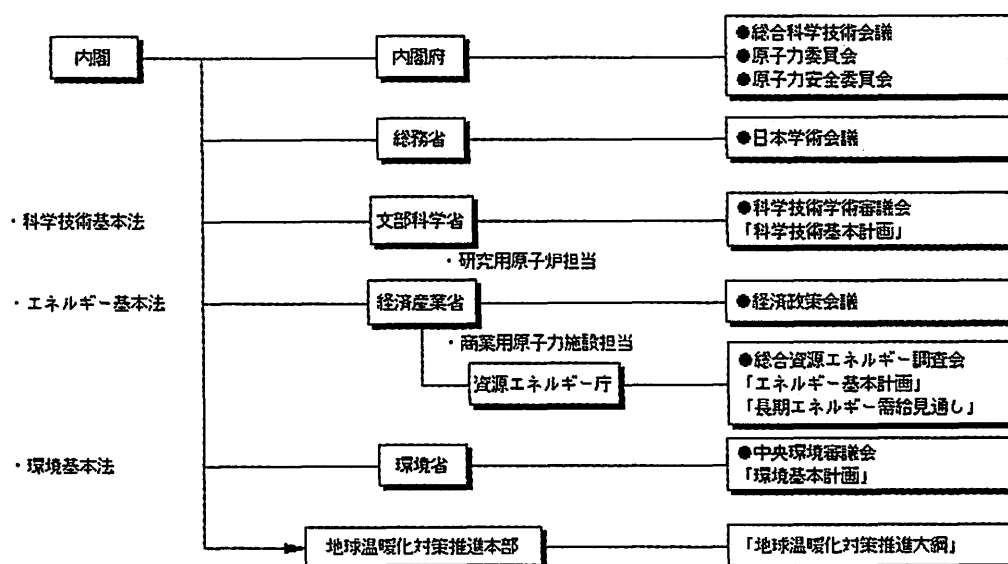
さて、ここで話が若干飛躍しますが、我々がエネルギー・環境問題を経済その他の活動と絡めて考えるときは、どうしても日本の置かれた地政学的な条件というものを、厳しく、また正確に認識していく必要があると思います。日本のような島

国で、平地の面積が極めて少ないところに、世界の人口の2%が住んで暮らしている。そして、経済活動はGNPで見ると世界の十五、六%を占めている。エネルギーは世界の6%を使い、二酸化炭素は、これは省エネ努力、そして非化石系のエネルギー導入の努力によって、排出量は世界の5%であります。要するにエネルギーを6%使って、炭酸ガスは5%の放出に抑えている、という状況であります。

図3にまいりまして、よく知られた3Eという言葉ですが、「エネルギー」「エコノミー」それから「エンバイロメント」の三つのE、これを適切に確保していこうというのが、あらゆる国の合い言葉になっています。ところが、私も常々尊敬申し上げている先輩の方が「トリレンマ」という表現で、三つのEをそれぞれベストミートするように組み合わせていくことは至難の業であると指摘しておられます。ジレンマよりも難しいトリレンマなんだと。まさにそのとおりであります、ただ、そういった制約の中で、我々は知恵を出して、ベストではないにしても、まずはリーズナブルなバランスをとっていくことが重要なわけがあります。

そのための日本の取り組みの組織体制はどうか、については、これも本日ここにいらっしゃる皆様にはご案内のとおりですが、私がこんな話を

図3 3E（エネルギー、経済、環境）に関する日本の組織的構成



出典:エネルギー総合工学研究所

ノルウェーでしてきたということで、聞き流していただければ幸いです。内閣府があって、総務省があって、文科省、経産省と並んでいます。そして、その中にさまざまな審議会とか委員会があり、後ほど申しますエネルギーの基本計画や、環境に係る政策などが作られてまいります。このような構成は欧米各国に比べても決して遜色がなく、むしろ、例えば環境への取り組みなどの面を見ますと、より進んだ組織体制、あるいは中身になっていると思われまします。しかし、エネルギー基本戦略部会に参加している私の気持ちと問題点は、最後にまとめて申し上げたいと存じますが、とにかく、これだけの大変な組織、また投資を行っているのではありますが、エネルギー・環境の戦略という意味で、これから世界の先進国の中で、それらに伍して、さらにはリードしていこうとすると、組織としての活動については、より戦略的に考え、設計をしていく必要があると感じているところです。

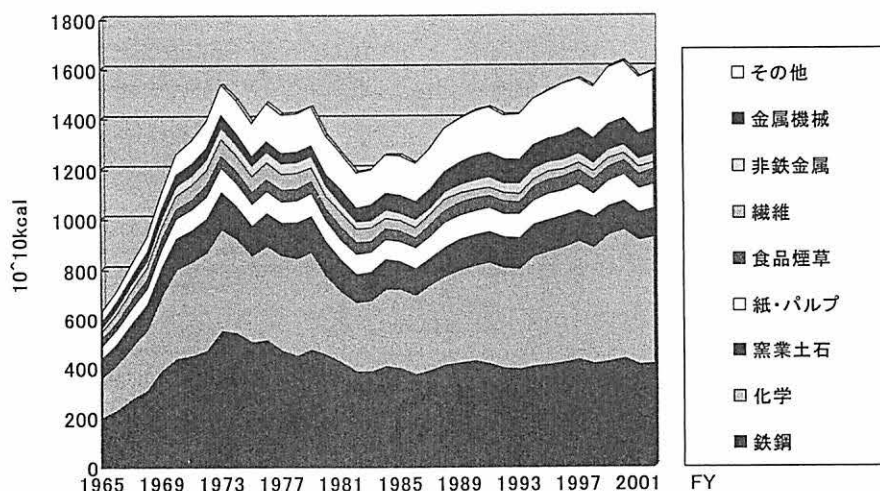
次は、日本の産業界の各分野でのエネルギー使用量についてです。先ほどの図1は、エネルギー種類別の経年変化でしたが、図4は産業界の中で、金属、機械、非鉄金属、繊維等々、さまざまな業種がありますが、そこで年次展開としてどのようなエネルギーの使われ方をしてきたかをご覧ください。でこばこがありますのは、オイルショック等を反映しております。この図で、特に何に注目し、また理解しなければいけないかは、私のような産業についての素人にはコメントでき

ませんが、それぞれの産業でエネルギーがいかに効率的に使われているかを、この図と生産活動とをオーバーラップしながら見ていくと、どの業種がより省エネルギーの産業であるかがはっきりしてきます。業種によって、そもそも本質的にエネルギー利用の性格の違いがあるわけですが、さまざまな省エネ努力、あるいは関連の努力を進めていく上で、こうしたチャートの中での比率を変革していく自己努力への参考になるかもしれない、という気持ちです。これはその一つのファクトであります。

これからは、いずれにしても、産業構造の面ではエネルギーのコスト、エネルギーの資源的な制約、またエネルギーを利用することに伴う、二酸化炭素等含めた環境問題への一種のペナルティーなどを考えますと、エネルギー投入に対しては、一段と製品価値の高い、付加価値の高い産業へとシフトしていくことが考えられます。情報産業ですとか、軽工業などに、経済活動の重みが移っていく状況も見られるところであります。

産業から輸送セクターに目を変えてみますと(図5)、上から貨物輸送、旅客輸送、また、最後は自家用車向けとなっております。自家用車のエネルギー利用が絶対量としても非常に大きいことがお判りいただけるかと思ひます。航空、自動車につきましては、燃料として主としてガソリン系を使っているわけで、自動車は近い将来、ガソリンを非温暖化燃料の水素に代えていこうという

図4 日本の産業界の各分野でのエネルギー使用量



出典:エネルギー・経済統計要覧(EDMC)、2003

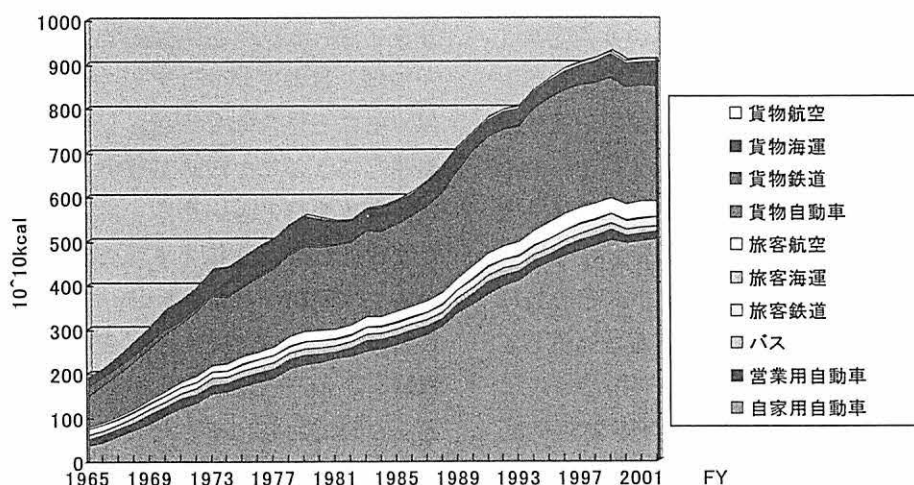
試みがあって、そちらの方向にかなり具体的にシフトしていくことが予測されます。しかし、航空の分野は、なかなかガソリンのような大変高密度な液体エネルギーが手放しがたい状況が残ります。それから、これまで輸送に要したエネルギーは、オイルショックの影響をそれほどもろには受けていないということも、一つの事実であります。

さて、民生用と業務用のことですが（図6）、傾向として、業務用は徐々に効率化されて、エネルギー需要の割合は減ってきています。しかし、民生利用については、情報化に伴って、ライフスタイルが皆さんだんだん活発になり、冷暖房も完備していくといった具合に、民生利用は必ずしも

オイルショックの影響をもろには受けておりません。ほぼ単調に伸びてきていまして、なおかつ、これは増大傾向にあると見受けられます。この点については、省エネに関する宣伝といいましょうか、キャンペーンを、お役所はじめ一生懸命やっておりますが、民生利用では、とりわけ個人レベルになりますと、全体としての省エネルギーの意識とプライベートな問題のとりえ方との間のギャップが絶えずあって、この辺りが悩ましいところ です。

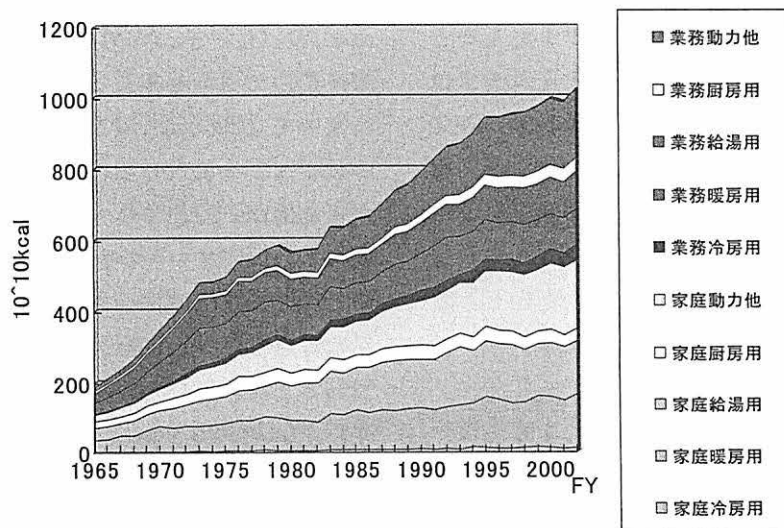
ところで、ここでちょっとご覧いただきます資料は、報告書からのコピーそのままの原始的なチャートですが、実は、ノルウェーに出かける直

図5 日本の輸送各分野のエネルギー使用量



出典:エネルギー・経済統計要覧(EDMC)、2003

図6 日本の民生・業務用のエネルギー使用量



出典:エネルギー・経済統計要覧(EDMC)、2003

前まで、日本のエネルギー需給計画が、総合エネルギー調査会でまさに審議中でして、書いたものを海外で配ってまいりますと、これは現在検討中の内容だと申しまして、数字が後で残るといけませんので、私も紙上には刷り込まず、パワーポイントでちらちらと現場で見ていただくにとどめました。今日もそのスタイルで、ご容赦いただきたいと思います。

ごく最近、2030年までを視野に入れた日本のエネルギーの需給見通しの原案がまとまり、そのことは後でもうちょっと申しますが、これが現在、パブリックコメントに付されているところです。

図は、日本の一次エネルギーが90年、2000年と、これは実線ですが、それを経て、現在が2004年とありますが、これから2010年、2030年という先を見通したときに、さてどうなるかという数字を、皆さんで議論して、「ほほ、この辺りか」としてレポートを公式にまとめたものだと私は思います。

全エネルギー使用量、これは供給量に等しいわけですが、原油換算100万キロリットルの単位で行きますと、90年が512、2000年はちょっと増えて、2010年に600になる見込みですが、その後は2030年頃にはほとんどフラットになると見通しています。

問題はその内訳です。内訳で気になりますのは、温暖化ガスをダイレクトに排出するエネルギー源であるのか、あるいは自然エネルギー、再生エネルギー、原子力といったように、直接には原理的に二酸化炭素を排出しないエネルギーであるのかということとして、徐々に後者にシフトしていきたいという気持ちを持った数字です。これまでは石油が約50%台で、それを2010年には40%、2030年にはさらに少し下回るところまで石油の使用を抑え込みたいとしています。石炭は依然として全体の17%を占めています。天然ガスは、水素を含んだ燃料、つまり軽い化石系の燃料ということで、徐々に増やしていく方向であります。

原子力は10、13、14、そして14.1であります。それから水力は、絶対量はあまり増えませんね。そして最後に新エネルギーを増やしていくという計画であります。

この時間的な経緯、2030年までのトータルなエ

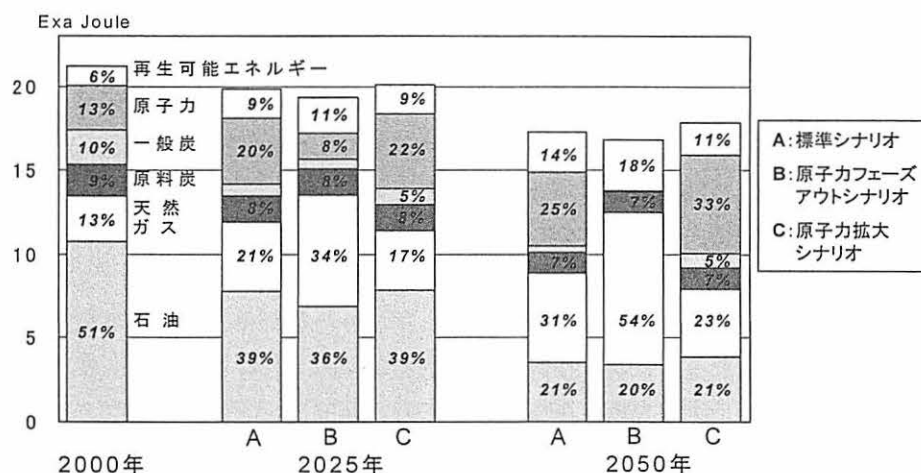
ネルギー需要の伸びは、自然体で行けばぐんと伸びて行くということですが、ここで技術開発努力をし、導入をして、省エネ進展ペースで行けば、このレベルまで何とか抑えられるでしょう。いや、抑えねばならない、ということも併せて示した図です。こうした資料が総合エネルギー調査会等で整えられ議論されている状況です。

このように、総合資源エネルギー調査会と産業構造審議会エネルギー需給部会とがエネルギー・環境についての合同会議を進め、つい最近まとめた報告書案が、現在パブリックコメントに回っている段階です。合同会議の中間段階では、6月に10の提言をまとめて出しています。その中で、本日私がエネルギー基本戦略部会を背景にお話ししているということもあり、国家戦略とか、セキュリティ—これも戦略関連ですが—それからもう一つは、日本工学アカデミーですので、技術を確保することも含めて、提言10の中から三つだけを引用して、ここで改めて皆様と共に確認をさせていただきたいと思います。

このたびの、全体のまとめの軸となります提言の中で、戦略、技術といった文字に直接に表れた提言は、この三つですが、そのほかにも、例えば水素エネルギーに全力を挙げて取り組んでいこうと記されており、そのためには高度な、また複雑な技術を必要とすることを考えますと、全体の中で技術の役割が基本的に極めて重視されるべき、との認識が広がっていると受けとめております。

先ほど、需給部会が2030年までに視野を伸ばしたと申し上げましたけれども、原子力の関係の方々の中では、日本原子力産業会議のご協力をいただいて、2050年までを視野に入れたエネルギーのビジョンをまとめる作業が進み、そのレポートができ上がっております。図7はその中の一つの成果といいますか、検討結果のご紹介ですが、ここで示します位置が西暦2000年の状況です。2000年の時点では、石油51%、天然ガス13%、原子力13%でした。では2050年にはどうなるでしょうか。その予想シナリオには幾つかあり、Aシナリオといいますのは標準シナリオで、原子力も頑張るし、他もいろいろ努力することによって社会にも妥当に受け入れられていく。これは、将来ともな

図7 2050年までの原子力の役割（一次エネルギー供給量の比較 [Exa=10¹⁸]



(出所:「原子力 2,050年 ビジョン」,日本原子力産業会議)

なかなか厳しい状況は続いていくと見通す中での標準といたしますか、専門家が「この辺りかな」とにらんだシナリオです。

これに対して、全く極端ですが、原子力フェーズアウトシナリオも含めてあります。そのころ原子力が社会から消えてしまうという、これは全くの仮定といたしますか、フィクションだと思いますが、そうした場合に一体どうなるか。そのことを検討したものです。そうすると54%が天然ガスで、石油が20%、石炭が7%、再生可能エネルギーが18%。こうしなければバランス勘定はできません。

しかし、ほんとうにそうなりそうかという疑問ではありますが、この場合、一次エネルギーの6割近くを天然ガスとして、加えて年間3億トンを超える二酸化炭素を回収し、ないしは投棄していく必要がある、という勘定になります。それには莫大なコストもかかりますし、エネルギーの海外依存度もなお増えていくということになりますので、国民経済、セキュリティといった点から、極めて厳しい問題がある。さまざまな示唆を我々に与えてくれる試算結果だと思います。

さて、話は変わって第2番目の話題ですが、世界の工学アカデミー連合の場で、これからのエネルギー利用を制約するファクターを分析して、それに対する見解を共有し対策を整備しようじゃないか、という動きのことです。

図8は単なるキーワードを並べたもので、大した参考にはなりません、ともかく私のまとめた

図8 制限要因の種類と性質

絶対的な制約要因	相対的な制約要因
究極資源量	利用可能な資源量
	経済性
完全密閉サイクル	環境両立性
絶対安全	進化する目標安全度

出典：エネルギー総合工学研究所

二つの座標の中で配列してあります。

エネルギー利用を制約する要因には、若干哲学的な言葉で恐縮ですが、大別して絶対的制約要因と相対的制約要因があるのではないかと思います。究極資源量というのは、これは地球を対象とする限りの究極の意味で、しかも多分、地表面プラスマイナス10キロメートルか50キロメートルぐらいの資源を、我々は採掘可能と考えているとすれば、その範囲に存在している資源量が現実的な究極資源量でしょう。それに対して、利用可能な資源量といいますのは、これは技術の展開、また経済的にどれほど投資できるかによって、その時点々々での利用可能な資源量というものが明確になってきた。それで、石油はあと30年、40年といったようなR/Pレシオの数字ができておりますけれども、技術の進歩によって、その数字は多かれ少なかれ変わってくるという意味で、これは相対的だということかもしれません。

経済性については、これは多分に相対的なもの

で、我々がエネルギーコストにどれだけ払うかの腹をくくれば、相当高い値段のエネルギー商品を買うことができます。アメリカの、例のガソリンの値段が大変高くなっている状況は、これが政治問題に上ってきた段階であり、まだそれほど、国としてのカタストロフにまでは至っておりません。ということは、何とかがまんしてあれだけのガソリンコストを負担しているわけですが、価格が2倍ではなくて10倍になったらどうなのか。石油のバレル当たりの値段がこれまで大体20ドルとか25ドル、最近では二十七、八ドルから30ドルです。さらに我々は、バレル平均40ドルになったらどうかというところまでは議論しているわけです。40ドル強は経済カタストロフじゃなくて、何とかしのげる。では、これが80ドルになったらどうですか、100ドルになったらどうですかという辺りになると、これはすごく危機的な政治問題になってくる世界なのです。

環境両立性はさておき、私が申し上げたかったもう一つの点は、安全性のことです。これは、単に原子力のみならず、化石系の燃料でも、さまざまなリスクがあります。さまざまなエネルギー資源を採掘し、輸送して、加工して、利用していくトータルなプロセスを念頭に、リスクを定量的に詳しく評価したスタディーがあります。直接に死

亡するリスクと、それから健康障害の一例えば大気が汚染すると、煤塵を吸って健康が侵されてくる一リスクとがあり、両方の座標で比較整理しています。その中で比較的何が危ないかという、具体的なことは説明を省略しますが、我々がクリーンエネルギーだと称しているものが、科学データによると結構リスクが高い、ということもあるようです。

さはさりながら、大変に高度な管理を要するハイテクの原子力に対しては大変厳しい目があります。これは、一方においては、平和利用と軍事利用の境界といった次元の問題をも含んでいます。

さて、図9は私のオリジナルはありませんが、一言で申しまして、いわゆるモード論と呼ばれるものがありまして、吉川先生の考え方に私どもの

図9 モード1からモード2へ

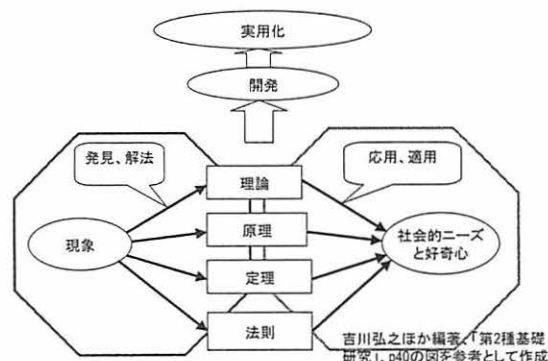
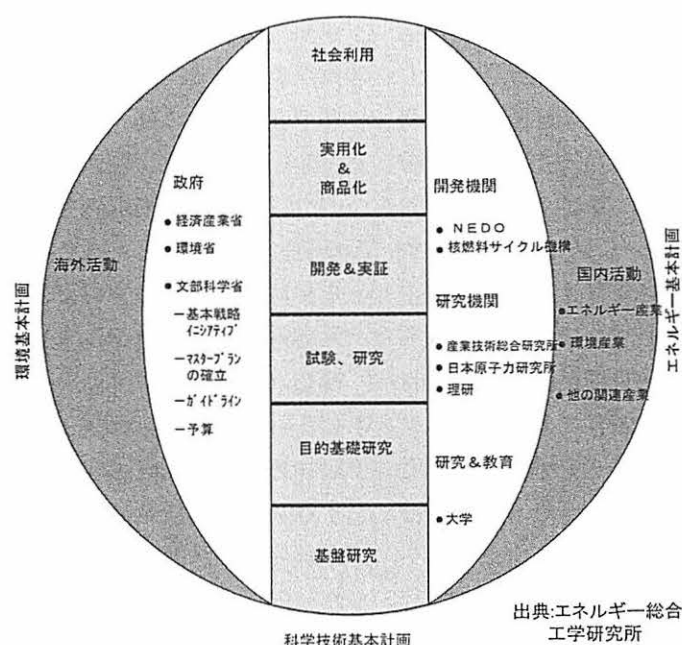


図10 エネルギー・環境分野の科学技術に関する日本の研究開発から実用化までの体制

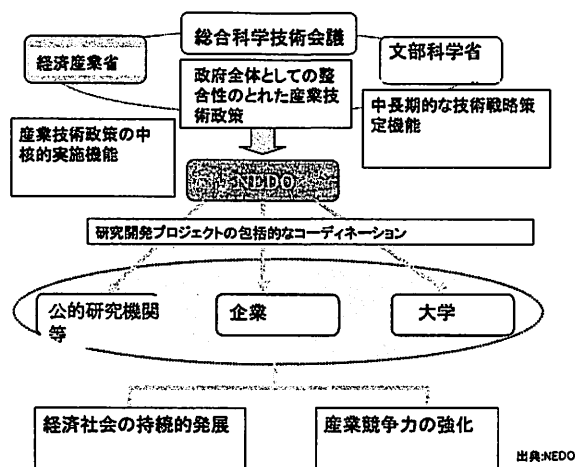


考えを少し加味してみました。第2モードは、従来の理学、工学、社会科学などではなくて、もっともっと横断的、融合的なとらえ方をしていくという意味合いです。

図10は、これもわかり切ったことで申しわけありませんが、基礎研究から試験研究、開発、社会事業という縦の軸に沿って、我々の組織だとか、政府活動などといったたものが、このような状態で並んでおります。

さて、個別の動きを含めての国内の技術開発関係の活動のご紹介ですが、まずは(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から始め

図11 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)



ますと(図11)、NEDOも独立行政法人になってから、さらに幅広く、かつ柔軟に事業を展開しており、つい最近では、私も直接その責任者の方からお話を伺ったんですが、産業技術にかなりインパクトのありそうな大学の基礎研究との協力も視野に入れていくんだとおっしゃっていましたので、NEDOの大きな基盤の中で我々の今後の産研学の大きな展開の方向が出てくるのではないかと思います。

次は日本の省エネ技術開発でありまして、この図12は産業、民生、運輸の分野と、それからエネルギーの生産、利用、貯蔵、回収と、縦横のマトリックスの中で幾つかの代表的な技術開発の弾を並べたものです。その中の一つが燃料電池です。

自動車用のエネルギー技術について見ますと、この図13(次頁)は燃料電池ではなく、通常の自動車を対象にしたものですが、以前はさまざまな性能の車の平均値を目安にしていました。そして、その平均値に比べて少し上なのか、それとも下なのかを議論してきました。最近ではトップランナー、すなわち最高の効率の車を目指して、皆さんがそこに近づこうと、あるいはこれをブレークスルーする努力をしようと、以前よりもバリアを高くしたことによって、一段と励みが出る状況かと思えます。

図12 日本の省エネルギー技術開発

	産業部門	民生部門(業務・家庭)	運輸部門
利用システム技術	■熱の最効利用解析技術(ピンチテクノロジー)	■ITを活用した需要管理システム(HEMS, BEMS) ■コージェネレーションシステム ・ガスタービン、ガスエンジン、ヒートポンプ ・燃料電池等	■ITS(高度道路交通システム)
個別要素技術			
エネルギー生産の効率化	■高効率ガスタービン関連技術 ■超電導利用電力技術		
エネルギー利用の効率化	■パワーエレクトロニクス(SiC等) ■高効率燃焼技術 ・高効率工業炉 ・高性能ボイラー ■生産・加工・リサイクルプロセスの効率化技術	■パワーエレクトロニクス(SiC等) ■高効率照明技術(LED) ■建物効率化 ・断熱技術 ・遮熱技術(ヒートミラー、光触媒) ■高機能材料開発 ・ナノ材料 ・有機EL	■パワーエレクトロニクス(SiC等) ■高効率燃焼技術 ・高効率ディーゼルエンジン開発 ■自動車軽量化技術
エネルギー貯蔵の効率化	■フライホイール電力貯蔵 ■蓄熱技術	■高効率バッテリー開発 ■蓄熱技術	■高効率バッテリー、高効率キャパシタ開発
エネルギー回収の効率化	■廃(排)熱利用技術 ・高性能熱交換器 ・熱電変換材料	■未利用エネルギー技術 ・地中熱利用(ヒートポンプ) ・ごみ発電	

(注)本表は、省エネルギー技術の例を取りまとめたものであり、必ずしもすべてのテーマを網羅したものではない。

図13 トップランナー方式の採用による省エネルギー技術の向上

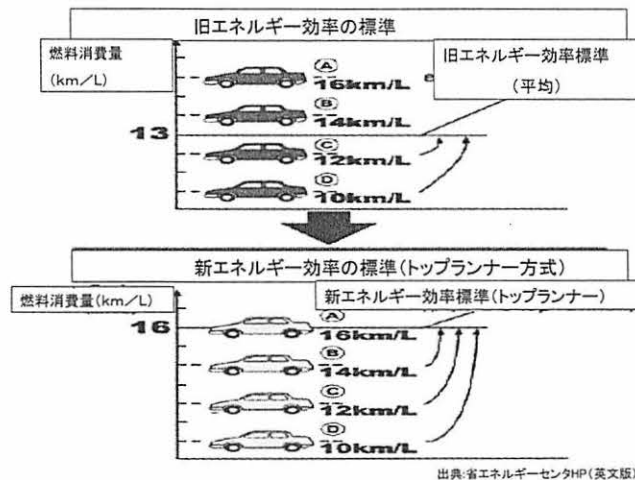
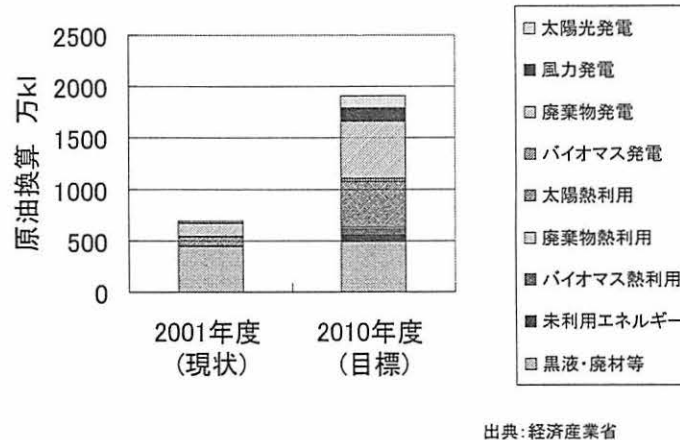


図14 日本の新エネルギー供給目標



次は、日本の新エネ供給目標についてですが(図14)、細かい数字に大した意味はなく、要するに2001年に比べて2010年には2倍以上へと増やしていきたい。その中身は太陽であり、バイオマスであり、風力であります。ただし、絶対量は何としても相当に限られているという問題があります。

図15に、日本の自動車用水素の導入シナリオが示してありますが、自動車の燃料について、ガソリンに代え将来は水素を増やす目標になっており、2030年には、願わくば1,500万台の水素燃料搭載の自動車を走らせる。そのときは、8,500カ所ぐらいの水素エネルギー供給ステーションを作っておく必要がある。では、その水素は一体どうやって作るのかといいますと、これは原子力でも作れますという絵を一つ、後でご覧いただきます。とにかく、水を電気分解すれば簡単にできますが、その電気を作るにはどうすればいいかとい

う問題が次にあります。電気は、これは自然エネルギーからでも、原子力からでも、そして化石からでもできるわけですが、実は電気分解よりもっと水素の製造効率を高めるには、水を熱で、1,000℃程度の高温状態で直接に水素と酸素に分解してしまうことが可能です。

こうした研究を、現在さまざまな企業、また研究機関が進めており、そのような水素が導入されていけば、2030年には水素燃料のボンベを積んだ1,500万台の自動車が街を走るようになるかと思えます。

そのような自動車は、一体どのような形の自動車かと申しますと、図15(1)の写真の例では外形的デザインは、現在のガソリン車と全く同じで、車の中に水素燃料システムをすっぽりと搭載した構造になっています。ただ、自動車の形は、100年の歴史を経てこのような形にだんだん固まって

Figure 1 is a timeline chart showing the projected growth of road vehicle fleets and hydrogen supply and demand from 2005 to 2030. The timeline is divided into five periods: 2005 (導入期), 2010 (普及期), 2020 (本格普及期), and 2030 (普及期). The chart tracks four main categories: expected number of vehicles to be introduced, types of vehicles introduced, estimated hydrogen requirements, and estimated hydrogen supply.

Category	2005 (導入期)	2010 (普及期)	2020 (本格普及期)	2030 (普及期)
期待される導入台数 (Expected number of vehicles to be introduced)	-	5万台	500万台	1,500万台
導入される車種 (Types of vehicles introduced)	FCV-BUS (FCV-BUS)	公用車、バス (Public vehicles, buses)	小型貨物、業務用乗用車 (Small cargo, commercial vehicles)	一般乗用車 (General passenger vehicles)
想定される水素の需要 (Estimated hydrogen demand)	-	約4万t	約58万t	約151万t
想定される水素ステーション数 (Estimated number of hydrogen stations)	-	約500箇所	約3,500箇所	約8,500箇所
想定される水素の供給 (Estimated hydrogen supply)	-	副生水素、化石燃料改質、水の電気分解 (By-product hydrogen, fossil fuel reforming, water electrolysis)	バイオマス発酵、水の熱分解 (Biomass fermentation, water pyrolysis)	-

図15 (1) 水素燃料電池自動車



出所・東京ガス

高速度炉サイクルR&D
Fast Reactor

MOX 燃料

燃料成形加工

プルトニウム燃料センター (東海事業所)

高速実験炉“常陽”

使用済み燃料

高速炉燃料再処理R&D
CPF, RETF (東海事業所)

プルトニウム

使用済み燃料

再処理センター (東海事業所)

軽水炉

高レベル廃棄物

地層処分システム
高レベル廃棄物処分研究

出典 JNC

出典: JNC

きたものであり、基本的に車が4つあって、前後もあってといった形は変わらないかもしれませんが、水素燃料の自動車がもっともっと出回るとなると、燃料との関係も含めて、自動車のスタイルとか構造とかが意外と大きく変わっていく可能性がないでもありません。

どんどん話が飛んで申しわけありませんが、次は（図16前頁）、核燃料サイクル開発機構の主要プロジェクトに移ります。原子力の分野の話題ですが、高速原型炉「もんじゅ」、これはご案内の方々も多いと思いますけれども、今、運転の再開を目指して、直接の関係者、また国や産業界の方々

が、大変力を入れておられます。この原子炉は燃料を効率よく燃やして、増殖して、資源を有効に利用していこうとする計画です。図には出ていませんが、ウランの鉱石を掘ってきて、精製して燃料加工して、現在主流の軽水炉と呼ばれる原子炉に投入していくわけです。そうして、燃料を3年、4年と燃やしますと、使用済み燃料となり、それを再処理して、プルトニウムやウランの燃料部分と廃棄物とに分けていく。サイクルは、このような流れでして、これは日本の原子力にとっての、基幹的に重要なプロジェクトであります。

もう一つの話は、熱利用の先端的な使命を担

図17 高温工学試験研究炉 (HTTR)

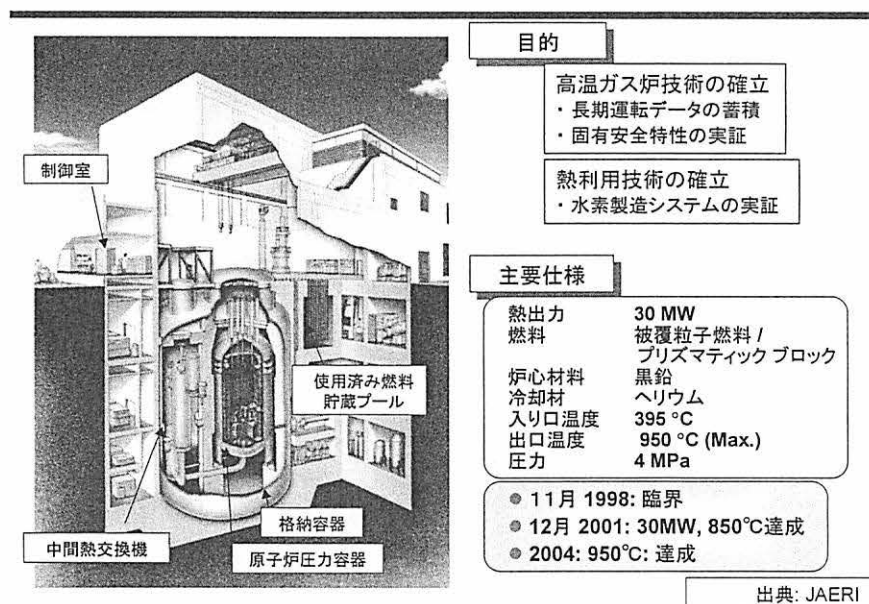
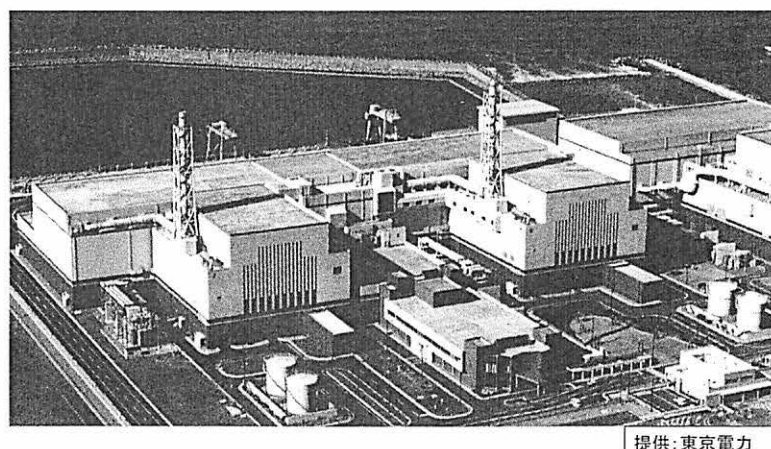


図18 東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所
改良型沸騰水型原子力発電プラント：ABWR



う、高温工学試験研究炉（HTTR）（図17）で、これは日本原子力研究所に設置されております。冷却材にはヘリウムガスを使っています。この炉の特徴は、高温の熱を取り出せることと、固有の安全特性が極めて高いことです。仮に異常や事故が生じて、技術的に何ら高度な処置をする必要がなく、自動的に安全な状態へと移っていく設計となっています。軽水炉も安全な設計ですが、ガス炉は非常にマイルドといえるでしょうか、体力的に一段と健全性が高いことを売り物にしています。主な仕様はここに書いてあるとおりで、出口温度は摂氏950度。この温度レベルはつい最近達成しており、これは世界記録です。これから先、HTTRを使って水素製造の試験を開始していくところとします。

一方、現在、わが国の電力の約4割を供給している原子力発電の主流を占めるのが軽水炉で、普通の水で炉を冷す設計ですが、それには基本的に沸騰水型と加圧水型の二つのタイプがあります。この写真（図18）は前者に属するもので、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所の改良型沸騰水型のプラント（ABWR）2基の外観です。現在、沸騰水型として世界最先端の、そして最高性能のプラントです。

今度は石炭の話に移りますが、石炭をクリーンな燃料にしようという計画が動いております（図

19）。石炭は、普通には二酸化炭素を比較的たくさん出す。そして、石炭灰を処理する必要がある、といった問題があります。また、石炭はまだ大量に残っているとは言い条、もちろん節約を心がけていく必要がありますし、新しい石炭活用方法を模索して、より魅力ある石炭利用を目指す必要もあるわけです。図で、そうした横軸上に並ぶ幾つかの技術の課題の方向に対し、縦軸に利用セクターとして電力、鉄鋼、その他一般産業と大きくくったときに、現在どのような技術が注目を浴びているのか、そして実際に取り組んでいるのか、ここに示されています。

その中の一つの話が、CO₂の分離回収技術です。ひとたび二酸化炭素のガスになったものを回収していく話題は、先ほどのノルウェー会議のプログラムのご紹介の中で、二酸化炭素を海底に注入する件をオーストラリアの専門家が話したと申し上げましたが、日本でも、この方面の優れた研究開発を進めております。二酸化炭素の回収は、短・中期的に見ると一つの有効な手段であろうかと思えます。図には以上の例も含め、幾つかの技術メニューが並んでいますので、後ほどでもご点検いただければ幸いです。

石炭を如何にして有効に、そしてクリーンに使うかの一環では、私ども（財）エネルギー総合工学研究所の宣伝になって恐縮ではありますが、優れた

図19 クリーン・コール・テクノロジー

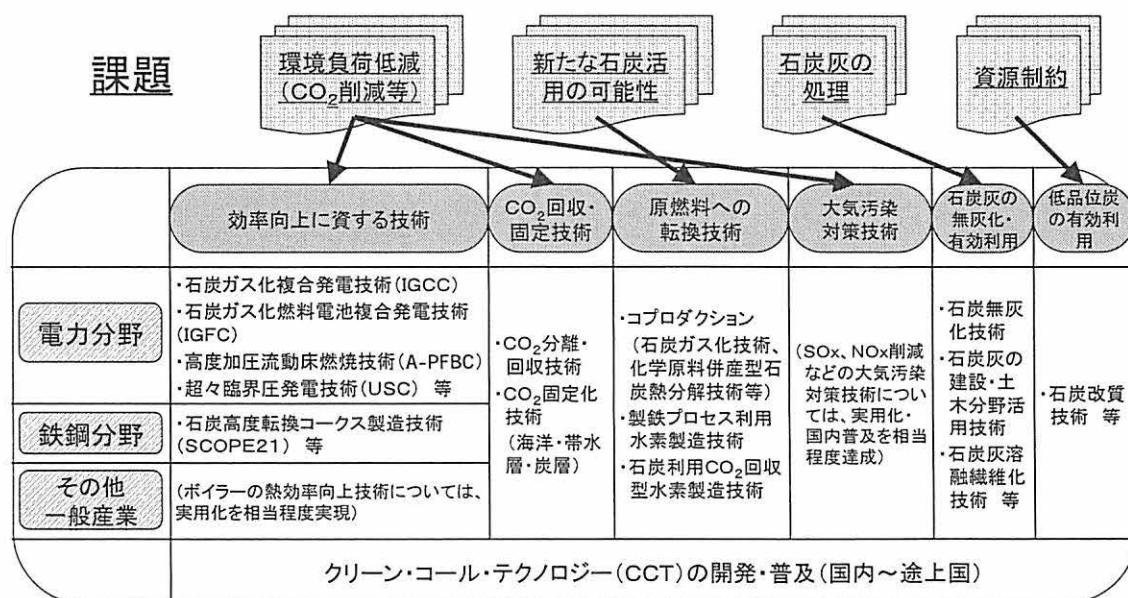
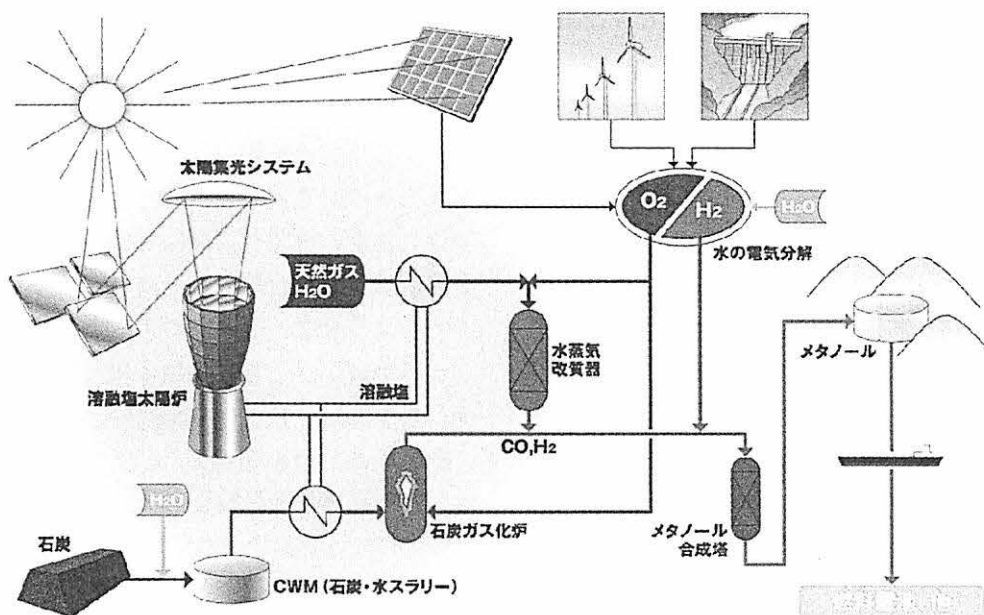


図20 グリーン燃料製造の体系的な概念



出所:エネルギー総合工学研究所

アイデアを持った研究理事を中心に、大学と共同で、石炭を太陽エネルギーとコンバインする試験プロジェクトを実施しています（図20）。太陽光によるエネルギーで石炭をガス化し、水から得られる水素と合わせてメタノールを作っていきます。出来たメタノールは燃料電池とか、その他多くの方面に使えるわけです。計画は既に数年間、基礎研究から開発試験まで進められ、このシステムが有効であり、また魅力的であるということが、スモール・スケールで着実に実証されたという段階です。

このシステムによりますと、系自体としては二酸化炭素を外に出さない。ゼロエミッションになります。従来方式の石炭の改質、ないしは石炭の直燃などに比べ、太陽と組み合わせることによって、二酸化炭素の排出を抑制するという意味で、より近代的で、極めて魅力的なシステムが実現できることを示唆しています。

さて、そろそろ終わりに近づきますが、以上、各論を縷々申し上げましたけれども、それらを視野に入れて、私がなお申し上げたかったことは、「戦略を考える上で技術が基盤になる」ということとであります。先ほどからご紹介申し上げたこと

図21 エネルギー基本計画の概要

1 策定

2002年制定の「エネルギー政策基本法」を受けて 2003年10月策定

2 主要内容

- 1) 原子力は基幹電源として位置付け、その推進に国が責務を負うとした。
- 2) 新エネルギーは、当面は補完的なエネルギーとして位置付け、戦略的技術開発を行い将来の電力の一翼を担うことを期待。
- 3) 省エネルギー（エネルギー需要対策）は、民生部門、運輸部門、産業部門、負荷平準化等からトップランナー方式がベース。
- 4) ガス体エネルギーという形で都市ガスとLPガスをほぼ同等に扱うとした。
- 5) 「分散型エネルギー供給システム」と「水素エネルギー」を将来の重要なエネルギー供給手段として位置付けた。

出所:エネルギー総合工学研究所

を、私自身さらによく勉強し、念頭に置いて、基本戦略に取り組んでいこうという気持ちです。

国としての重要な基盤はエネルギー基本計画でして、これは昨年の10月に策定されました（図21）。その中で、原子力の位置づけ、新エネルギーの位置づけ、それから省エネはこれからどんどん広がって、トップランナー方式で行けといったことが書かれています。ただ、こうした基本計画については、その原点は基本戦略ですが、私の若干の危惧として、アメリカと日本を単純に比べるのはあまり意味がないかもしれませんが、戦略的視点では水を開けられているのではないかと。アメリカのような大きな国、そして多民族国家では、あ

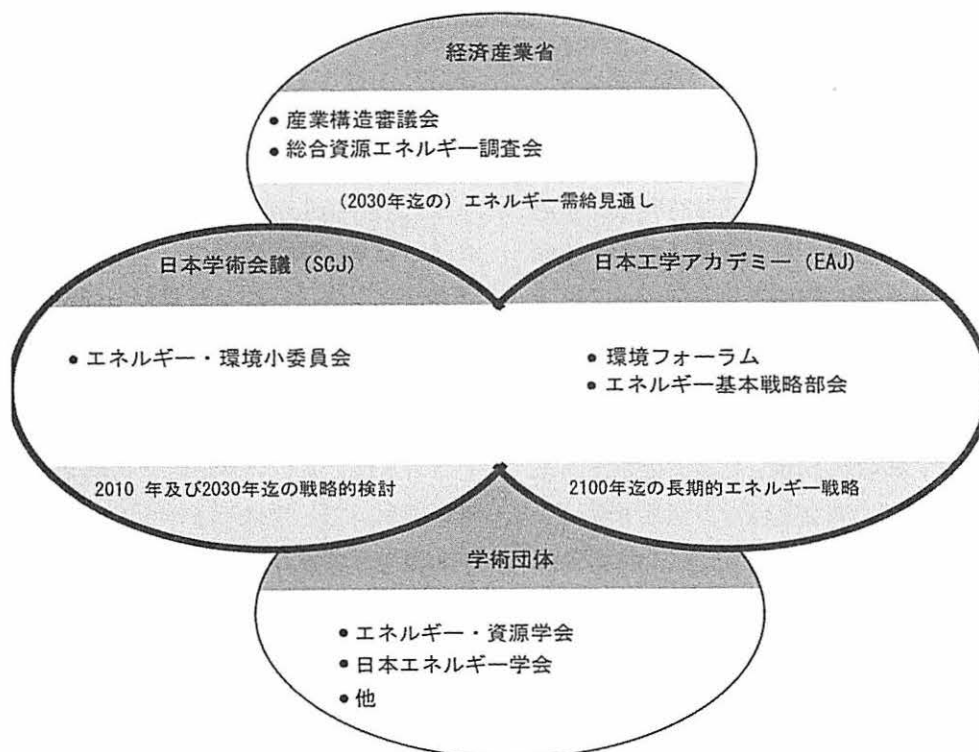
らゆる計画が常に見える形、読める形、記録に残る形であることが重視されているようでして、その意味でも、戦略とかセキュリティといった言葉がぎらぎら見えてくるわけです。一方、それは話半分に聞くべきであって、大統領の任期が来て、選挙次第で変わっていくことから考えても、アメリカでは本当の意味での長期的な考え方は保てない、とする見方もあります。しかし、少なくとも書いたもので見る限り、また彼らのアクションを見る限り、4年、8年といったタイム・スパンでも、かなり戦略的な研究を進めていると目に映るのです。むろん、時間軸上のことだけではなく、計画を深める上での極めて体系的、かつ深層的な取り組みもあることでしょう。

よって以て申し上げたいのは、われわれも真に戦略的なアプローチをする心構えが必要ではないか、ということであり、それは私への自戒でもあります。今、例として申しましたアメリカの場合には、基本計画に限らず「何とか報告書」の類でも、多くは必ず最初に「ミッション・アンド・ゴール」が書いてあるんですね。ミッションを示すことは判りますが、ゴールも書いてあります。原子

力関係のプログラムを見ますと、そのゴールとして極めて明確に「我々はトップの座を別の国には絶対に渡さない」と書いてあります。ミッションあり、ゴールありです。そういうことを堂々と言明し、また実際にも実行するだけの力強い背景もあるのでしょうか。

さて、多言は止めまして、日本工学アカデミーと日本学術会議の活動に触れてまいります(図22)。本日司会の三井先生は大変重要なメンバーで、そのご指導の下でエネルギー基本戦略部会が始まり、石井吉徳先生の環境フォーラムと車の両輪のように進めているところです。また、学術会議にはエネルギー・環境小委員会があります。こうしたアカデミーのグループは、意図して戦略的かつ長期的な視野に立ちながら活動をしており、エネルギー基本戦略部会では2100年までの長期的な戦略を念頭に置いております。むろん、国では経済産業省の合同部会で2030年までのレポートをまとめたところですし、それらを基礎的に支える個別の学会活動もあるわけですが、これからはアカデミーも含めて多くの方々が戦略的な連携を組み合わせながら、そして戦略的な視野に立って取り組ん

図22 (社)日本工学アカデミー(EAJ)と日本学術会議(SCJ)の中の活動および関連の活動



出典:エネルギー総合工学研究所

図23 先進的なエネルギー情報基盤の整備への期待

必要性

- 長期・グローバルなエネルギー問題に関して政策決定、計画立案・実施、及び評価を適切に行なうために、正確な情報を持つことが必要である。
- エネルギー問題に関する社会的理解の向上と普及のためにも、正確な情報を広く敏速に提供していくことが必要である。

現状の問題

- 真に必要な情報が不足しているとともに、情報の信頼性にも欠けている。
- 情報の分かりやすさと魅力、アクセスのし易さ、の面でも改善が望まれる。

展開の構想

- 国内関連シンクタンクの協調とセンター的役割を担うに足る機能充実
- それぞれの国や地域の特徴・役割を持った国際ネットワークの構築

アクションプラン

- 国内ネットワーク構築を計りつつ、そのセンターとなる基盤を実現
- 情報の収集、分析、評価、体系化、最新化、そして広報・交流の努力

基盤の充実

- 質的向上のため各専門・関連分野の広い協力を継続的かつ発展的に取得
- 日常活動(情報の収集・分析・提供等)を支える先進的な研究の推進

出典:エネルギー総合工学研究所

図24 まとめと提言

- 1 エネルギー研究開発に係る政策ならびに行動計画の評価に関して、ライフサイクルアセスメントや長期的視点での技術アセスメントに依拠した、一段と合理的で受け入れ易い「価値基準」を明確にしていくことが必要。
- 2 社会活動と自然環境に照らして一段と適応性に優れたエネルギーを選択していく上で、現在使用中のエネルギー資源はもとより将来の候補となるエネルギー資源についても、それぞれにエネルギーの入力／出力比などに関する科学的な分析と評価を行うことが必要。
- 3 エネルギーに関する情報を体系的に蒐集し、分析し、評価し、以て正確で、信頼でき、従って広く利用でき、かつ受け入れられる「エネルギーの情報」を提供していくための「エネルギー情報戦略機構(Strategic Platform on Energy Information)」とも呼ぶべき機構が、今後不可欠の役割を担うと期待。
- 4 CAETSに集う全てのメンバーが、このようなエネルギー情報に係る「汎国際・国内連結基盤」を起案し具体化していくことを以て、未来に予見されるエネルギー・環境に関する深刻な課題を緩和し、さらには解決していくことに大きく資することを強く期待。

出典:エネルギー総合工学研究所

でいく必要があるかと思えます。

お話の最後になりますが、そうした戦略的な活動を進めていくためにどうしても必要なのが情報です。活動の成果を世の中に広め、活用していくためにも、情報が必要であり、そうした情報基盤の整備に大きく期待しております(図23)。

これは後でざっと見ていただきたいのですが、情報基盤の必要性、現状の問題、展開の構想、アクションプラン、基盤の充実といった括りです。この中身はノルウェーでもお話ししてまいりました。こうした捉え方が非常に重要なのだと…。具体的なアクションプランとしましては、まず国内ネットワークの構築を図り、そのセンターとなる基盤を実現していきたい、この一語に尽きます。

ここで、まとめと提言に入らせていただきます

(図24)。

1 は三井先生が常々おっしゃっておられることの一つです。

2 は時間は限られていますが、来年の春までに、基本的な見解、ないしは枠組みを、エネルギー基本戦略部会の活動の中でまとめていければと願っているところです。そのために、本日ここにいらっしゃる皆様にも、いろいろご協力いただければ幸いです。

3 は従って、この認識に基づいて所要の整備を開始していくことへの提言です。

4 は広く内外に向けたメッセージですが、CAETSの場でコミュニケーションが深まった海外の方とも、引き続き交流を進めて、この分野での国際的なネットワークと拠点の基盤を徐々

に形成していければ、と願っているところです。

長時間、ご清聴ありがとうございました。(拍手)

司 会 秋山先生、どうもありがとうございました。日本のエネルギーの供給と需要の現状、そして将来の予測、これに伴いますさまざまな技術開発、その非常に幅広い問題を大変要領よくまとめてお話しいただき、最後に、こういうものを進めるための日本工学アカデミーとしての役割、その上に立った提言といえますか、そういったものをこのエネルギー基本戦略部会でも進めていきたい、というお話でした。

それでは皆様方から、ご意見なりご質問なりございましたら、どうぞお願いいたします。

伊藤利朗 三菱電機の伊藤でございます。ありがとうございました。興味深く聞かせていただきました。

二次電池についてなんですが、例えばリチウムイオン電池なんかが非常に発達するので、これをダイレクトに車に使うシステムが電気学会誌に紹介してありました。慶應の先生がいろいろ研究しておられて。これを読んで、二次電池がいろいろな役割を果たすんじゃないかなと思ったのですが、その辺はどのように考えておられますか。

秋 山 形勢として、今ご指摘のとおりで、二次電池も大変新しい技術などを使って、性能がどんどん向上していると伺っています。電池につきましては、まとまった学会活動があり雑誌も出ていますが、ただ、私は電池の専門ではありませんので、それ以上に、どのぐらいの性能までいくとか、あるいはコストのことも考えて、どのぐらいのタイムスパンで進んでいくかというあたりの見通しにつきましては、無責任にご返事ができません。ご指摘、ご関心のポイントは大変重要なことだと思います。

伊 藤 一説によりますと、水素と燃料電池のシステムは、もう電気から直接二次電池で自動車を動かすというほうが、将来はずっと効率的になるという人がございます。

秋 山 ありがとうございました。ただいまのお話は、ご教示、コメントとしてお受けしておきます。

竹内良夫 大変有益なお話だったと思うのですが、質問したかったのは、図3にエネルギーと経済と環境という問題が出ているわけです。この環境ということに関して、私はかねがね思っているのですが、水力というのは非常に環境にはプラスというかプラスマイナスはないのかも知れませんが、天然の水の力を利用しながらやっていくということだと思うんです。ここで、例えば中国で三峡ダムをやります。そうすると、百数十メートルの水位を上げて、百万人の人口を動かすということがあります。その辺のことは、環境論のほうからどのように考えているのか。水力の場合、ダムをつくりますと必ずそれに対するマイナス論が出てくる。それも、普通の循環論的な環境ではなくて、人の住んでいる場所を変えとか、いろいろな問題が出てくる。その辺をどのように進めようとしているのかお聞きしたいのです。

秋 山 ありがとうございました。水力につきましても、ダムの建設、あるいは維持といったことを含めて、私は直接の経験がございませんので、責任のある正しいお返事はできませんが、水力については、見解に非常に幅があると受けとめております。私はエネルギーを原子力、化石、水力など、それぞれに公平に、かつ広く、その意味では浅く見ていく立場なんですけれども、水力も極めて魅力的なものだし、また、水力の持つポテンシャルを高く評価される方には、これからの50年、100年という先まで考えたさまざまな社会的な技術の変化だとか、あるいは我々の住む地域の変化ということを見ると、今、天然に存在する水力のポテンシャル、要するに雨が降って、山の上に水が注いで、それがダムや谷に流れていく水力のポテンシャルが、これは膨大なものですので、それを経済、環境に調和しながら、もっと増やしていけるという見方に立つ方も何人もいらっしゃいます。水力に対して大変大きな期待と確信を持っておられる高名な先生もいらっしゃいます。

ただしかし、一方におきまして、中国の砂漠化の進んでいる地帯で、水の量的な限界が相当厳しくなっていることもありますし、それから立地の問題もありますので、実際に我々の社会経済活動の中で、新しい水力ダムにメジャーな—メジャー

と申しますのは、現在の水力発電のシェアよりも2倍、3倍と増やしていくだけの役割を期待するコンセンサスが得られるのかどうか。また、社会的に見た大きな投資のバランスポイントがあるのかどうか、ということについては、個人的にはやや悲観的と申しますか、難しいなという感じがしております。

実は、きょうご紹介申し上げました将来のエネルギー需給見通しは、これはプロ水力の方も、ネガ水力の方も、中立の方も、皆さん知恵を出して、コンセンサスとはいいませんけれども、骨格としてこういうことだなというバランスポイントを示したものだとは私は思っております。この間ノルウェーに行き、感じたことですが、スウェーデンもノルウェーも水力に対しては相当の思い入れもあるわけですが、彼らが、では石油の枯渇の次は水力かと、直ぐに樂觀するというスタンスでは全然ないんですね。石油が少なくなったらどうするかが背景のパネル討論でも、太陽エネルギーも重要だという認識でしたし、石炭を太陽エネルギーとコンバインして、二酸化炭素フリーのシステムを組めるというお話をしましたら、これはもう拍手喝さいで、大変な関心を寄せていただきました。したがって、彼らとしても水力の物理的なポテンシャルと、実際の経済活動の次元での水力エネルギーの今後の展開ということの間には、距離が相当あるなと感じたところです。

久田安夫 ゼネシスの久田と申します。図7の原子力の役割ですが、2025年ぐらいまではこの原子力のシェアというのは、別にこれから新しい技術を開発しなくても、多分何とかなるのだろうと思うのですが、2050年でこれだけのシェアを持つということになりますと—Cですね—多分、今の軽水炉でこのままやっていると、こういうシェアというのは世界的にも、日本だけを考えても大変問題になるのではないかと。ということは、「もんじゅ」とか、新しい技術が開発されないと、これはなかなか難しい話なのかなと思って質問させていただきました。いかがでしょうか。

秋山 大変重要なご指摘をいただき、ありがとうございます。私もその点をきちんとお話し申し上げるべきだったんですが、時間のこともありま

して、割愛してしまいました。

こうした計画を賄うエネルギー資源、原子燃料の将来見通しを含めて、50年、あるいはもっと先のことはどうかというご質問と受けとめました。

現在の原子力の燃料はウランでして、天然ウランにはウラン238が99.3%ぐらい含まれ、残りの1%弱がウラン235ですが、それを濃度3%から4%ぐらいまで濃縮して軽水炉用の燃料に使っています。「もんじゅ」などの燃料はウランとプルトニウムの混合酸化物です。そうしたウラン資源が何十年先までもつかということが議論の一つのポイントです。これはいろいろな見方がありまして、その背景には、ウラン1ポンド当たり何ドルまでのコストならば経済的に使える資源がどこまで増える、といったような、コストと資源の量の間の相関があるわけですね。もっとも非常に極端な、量が無限大でコストが有限というものの典型的な例が海水ウランでして、海水中のウランを合理的なコストで我々が入手できる場合、それはほぼ無限大。1,000年でも5,000年でも、万年でもという話になるわけですね。海水ウランを採取する試験も継続的に行われていますが、現在の市場価格のウラン燃料に比べると、ファクター5とか、ファクター7、8とか、そのぐらい高い。しかし、技術の進歩と、それからもう一方では、通常のウランの価格が上がっていけば、どこかで、もしかしたらバランスポイントが出てくるかもしれないと考える方もいます。現在のところでは、海水ウランというのは非常に極端な例でして、地下や地表のウラン資源が実用されていますが、それも最終コストとの関係で、トンで何ドルならば残りが何トンあるよという、そういう仕組みになっているわけですね。それで見ますと、今の軽水炉向けのウランの値段よりも、例えばもう5割、さらには2倍と我々がペイすれば、資源の量はもっと広がってくる。これが第1点です。したがって、現在の原子力発電を進めている国、あるいは専門家は、これから30年、50年というスパンでは、コストバランスがとれる限り燃料の供給不足によって、原子力発電の問題が急に深刻になるということはないと考えていますし、私もそう信じます。それで、そこから先が高速増殖炉。増殖をして、

99. 3%のウラン238を燃やせば、効率を考えると、現在のウラン235燃料の60倍以上は資源が増えるわけですので、50年掛ける60倍とすれば約3千年となる勘定なんですね。

ということで、そこは幾つかの見解がありますが、今回は2050年で見ましたけれども、燃料制約から炉型に跳ね返るということは、その時点では直ちにはありません。ただ、これが100年になり200年先になってくると、増殖をきちんと経済ベースで考えていくとことが、国全体として、あるいは国際的にも重要となり、そのような方向で動いていくものと思います。もう一つの課題の燃料サイクルのことで、発電所で燃やした後の使用済みの燃料をどう処理処分していくかの課題があります。そのまま地下深くに廃棄してしまうのか、あるいは長期貯蔵ができますのでリトリバブル、つまりいつでも取り出せる形にしておくこともできます。わが国では、基本方針として再処理をして燃料を有効に利用することとしています。これから本格操業が始まる六ヶ所の再処理工場が、それに向けての重要な役割を担っています。

今日ここにいらっしゃる私ども研究所の松井研究理事が一番詳しいのですが、北欧には安定した深い地下の層があって、そこで直接処分を考えてモニター研究を進め、成果を出そうとしている様子です。

それから、ただいまのご質問に関連しまして、大変重要なキーワードをもう一つ。それは、今、お名前をご紹介しました松井さんが日本代表で参加しています「第4世代の原子炉」のことです。アメリカなどが大いに力を入れて、現在12カ国ですか、国際協力で研究開発を進めています。これまでの原子力発電所を第1、第2世代としますと、柏崎刈羽のABWRは第3世代です。それで、その先として第4世代を目指して取り組んでいます。小型で高性能で、より人手のかからないもの、高速炉だとか、炉形もいろいろ五つ六つあるんですが、そうした大変新しいものを目指しています。

司 会 あと、いかがでございましょうか。

山崎弘郎 東大におりました山崎でございます。きょうのお話の中で触れられなかったような気がしたのですが、地熱の利用は、特に日本は比較的

に恵まれている国ではないかと思いますが、量的に見て無視できる範囲なのでしょうか。私は利用できる範囲ではないかと個人的に思っておりますが、いかがでしょうか。

秋 山 ありがとうございます。私も東北や九州の現地を見せていただき、着実に開発、また事業を進めておられることは拝見しております。地熱エネルギー、まさにこれは国産、自前のエネルギーでありますし、我が国のような火山国で地熱資源のたくさんあるところでは、そういう意味で有意義ですね。アジアでいきますとフィリピン、インドネシアですね。

着実に進めておりまして、計画も徐々に広がっているんですが、何としても国の全体的なエネルギー需要量が極めて多いため、その中でパーセンテージで見ると限りなく、ほとんどゼロに近いことになってしまうんです。でも、おっしゃるとおり、国産であるということ、それから地域でのエネルギーという視点で、人々が地熱発電所の実物を身近に見ることの効果を含めれば、大変貴重なエネルギーだと思います。

ただ、一つ難点は、地熱の採りやすいところが自然保護地域であったりすることで、そのような環境問題との整合性がちょっと難しいところです。

司 会 先ほど、第4世代の原子力の話がちらっとありましたが、松井さん、少し第4世代について説明していただけませんか。

松井一秋 エネルギー総合工学研究所の松井でございます。

簡単にご紹介申し上げますと、率直に申し上げれば、戦後今まで各国が国策で原子力のエネルギーの開発を競争でやってきた時代が随分ありました。いろいろな変遷がございました。ビジネスとして成熟した産業にならなきゃいけないとか、あるいは社会的な違和感とか、あるいはまた廃棄物の問題とか、いろいろあったあげくの果てに、ここに来て、どこも1カ国で巨大な技術開発を単独で遂行できる力を、正直言えば失ってしまった。同時に、21世紀ということを考えると、特に相対的に意味がありそうなエネルギー技術開発は原子力である。それを1カ国ではなくて、複数の国が

集まって人類の将来のためにやりましょうという、これが第4世代技術開発だという側面がございいます。

それが一つと、もう一つ大きいのは、米国がまず商用の、今、我々が使っている軽水炉なんかも発端は米国なんですけど、これも歴史的にいろいろありまして、昨今は彼らの技術開発能力が相当落ちています。いわゆる現場といいますか、製造能力も相当落ちています。彼らが何かつくろうと思ったら、きっと日本に来るか、ヨーロッパに行くか、例えば、中国とかの拡大する市場でプラントを売るつもりなら、機器の製造は日本に来る。技術開発においてもそういう側面がございまして、彼らとしては、自分たちのヘゲモニー、技術ヘゲモニーを保ちたい。それは単に商売の話だけじゃございまして、原子力は核で、軍事に絡みますから、そこを彼らは保っておきたいと思っているに違いない。したがって、そこは国際リーグみたいなところをつくって、技術開発をやりたいと思う魂胆の一つは、エネルギー、原子力技術の覇権を手放さないというのがあって、日本は、現存する原子力技術開発のパワーは、今は多分世界でナンバーワンだと思います。しかし、それもだんだん落ちつつあると思いますけれど、それを生かしつつ、巧妙にお付き合いしていく手段が我が国にとっての第4世代原子力技術開発ではないかなと思っております。ちょっと余分なことを申し上げました。

司 会 第4世代が、今までのと違う特徴点は何ですか。

松 井 ねらいは、経済性だの安全性だの核不拡散性だのということを言っています。何せ、革新的と言わないと、うたい文句にならないので(笑)。ただ、昨今の状況から言うと、核不拡散性がどうも着目を浴びているかなと思います。しかし、マーケットで勝負するわけですから、経済性で天然ガスとコンバインサイクルか何か知らないですけど、そんなのに負けちゃったらはしにも棒にもかかりませんので、名目的には経済性がある。2番目は核不拡散性を言っています。

司 会 実現するとなるといつごろを目標にして

いるんですか。

松 井 計画自身は、最初に米国がぶち上げたときが2030年ごろの実用化を目標にと言っておりました。ただ、これは早ければ早いほど構わないわけで、それが14年だろうが15年だろうが、早い分にはだれもとめない。

司 会 突然指名して申しわけありません。ありがとうございます。

先ほど電池の話が出ましたが、伊藤さん、何か電池についてももう少し情報をご存じならばご紹介いただけるのですが。

伊 藤 申し訳ないですけど、全く電気学会雑誌の受け売りをやらせていただいた次第です。先月号か何かに非常に詳しく、リチウムイオン電池の自動車という解説がしてありました。あらゆる点において、水素の燃料電池よりも上であるという証明がはっきりしていました。

それともう一つ申し上げたかったのは、今月の「日経サイエンス」に、水素エネルギーシステムの強烈な否定があることでございます。すなわち、電気には絶対勝てない。こんなものはやるべきでないという説が、掲載されておりました。

司 会 秋山先生、いかがですか。

秋 山 その記事を読んでいないものですからコメントしようがないのですが、水素否定の理由をもうちょっと教えていただけないでしょうか。

伊 藤 結局、一つは経済性の問題と、一つは無公害といいながら改質などをやるときに、環境に悪影響を与えるということです。それぐらいだったら、いっそのこと発電して電気として使えという主張です。蓄積法としては二次電池や電気二重層コンデンサーと、いろいろある。特に、自動車の燃料電池を使うべきでないと主張しています。一度記事を読んでいただければと思います。

秋 山 ありがとうございます。ちょっと関連して、水素と電気を較べますと、電気はなかなか貯蔵しにくいという問題がありますね。

伊 藤 充電に4時間かかるというのが問題ではある。

小野田武 私は化学なので、今の辺のことは多少お答えできると思うのですが、それはだれが見たって、水素にしたら大変無駄が多いことは間

違いありません。ただ、今、伊藤さん、最後にちょっとおっしゃったように、要するに電気で車を動かそうとすると、二次電池を使う場合、チャージングに時間がかかるわけですね。それを利便者たる無精者の人間が耐えてくれるかどうかというところは、多分商品としての価値観の問題になるのではないかなと思います。

ただし、この水素というものも、いろいろなところに書いてありますように、水を加水分解しての水素は大変高価で良質なエネルギーからまた水素にしてしまっ、大変むだなことなので、多分私は、鉄鋼業等々いろいろなところで副生水素という可能性はあると思うんです。そういう物が有効に利用されるということが最初の段階で、水素の利用でポシビリティとして生まれてくるのではないか。その量は決してばかにならない量があることも確かだと思っております。伊藤さんのおっしゃったりチウム二次電池等々の進歩はものすごく大きいです。問題はこのチャージングに対する時間のかかるという弱点を買う人たちがどう考えるのかという問題になるのではないかと、私は個人的に思っております。

あと、メタノールを使っの燃料電池というのは、カーボンは結果としてメタノールから必ず炭酸ガスになってしまうわけですから、あくまでもこれは分散型の発電システム、これに多分トータルのエネルギーの効率が上がるという意味で、大型の分散電源に有効な燃料系になるのではないかと、化学系の立場からそんなふう感じております。きょうはいろいろなお話、ありがとうございました。

秋 山 貴重なご教示、ありがとうございました。

司 会 秋山先生、特につけ加えることはございませんか。

秋 山 特にございません。いろいろ貴重なご教示をいただきまして、かえって私が勉強になりました。ありがとうございました。

司 会 きょうは秋山先生に「日本のエネルギー需給と技術開発」ということでお話しいただき、また、大勢の方においでいただき、ご討議いただき、ありがとうございました。お話にもありましたように、これからのエネルギーの問題、原子力にしても地熱にしても電池にしても水素にしても、さまざまな問題がありそうでございます。

秋山先生のお話の中にありましたように、総合新エネルギー調査会、現在2030年を目標にしたエネルギーの見通しというのが議論されておりますけれども、そこに携わっている先生のお話からしても、きょうのお話にありましたように、エネルギーの需要の頭打ちにほんとうになるのだろうか、あるいはそれに供給するためのエネルギーというのをほんとうに確保できるのだろうか。これがほんとうに心配だとおっしゃっておられました。ですから、きょうの秋山先生のお話のように2050年、2100年というのを見たときに、ほんとうにエネルギーがどうなるのか、あるいはそれに対するエネルギーというのが供給できるのだろうかというのがますます心配でございます。きょうおいでいただいた皆様方もそうだろうと思います。工学アカデミーとして、何かその辺のところを一つまとめて、世の中に提言をすることが重要なのではないかと考えて、今、その基本戦略部会でも議論しているところでございます。ぜひ、先生方からもご指導いただきたいと思います。

本日は秋山先生、大変長時間ありがとうございました。そして、皆様方議論いただきましてありがとうございました。(拍手)

2004年11月 5 日

編集発行

(社)日本工学アカデミー

〒108-0014 東京都港区芝 5 - 26 - 20
建築会館 4 F

Tel : 03-5442-0481

Fax : 03-5442-0485

E-mail : academy@ej.or.jp

URL : <http://www.ej.or.jp/>