

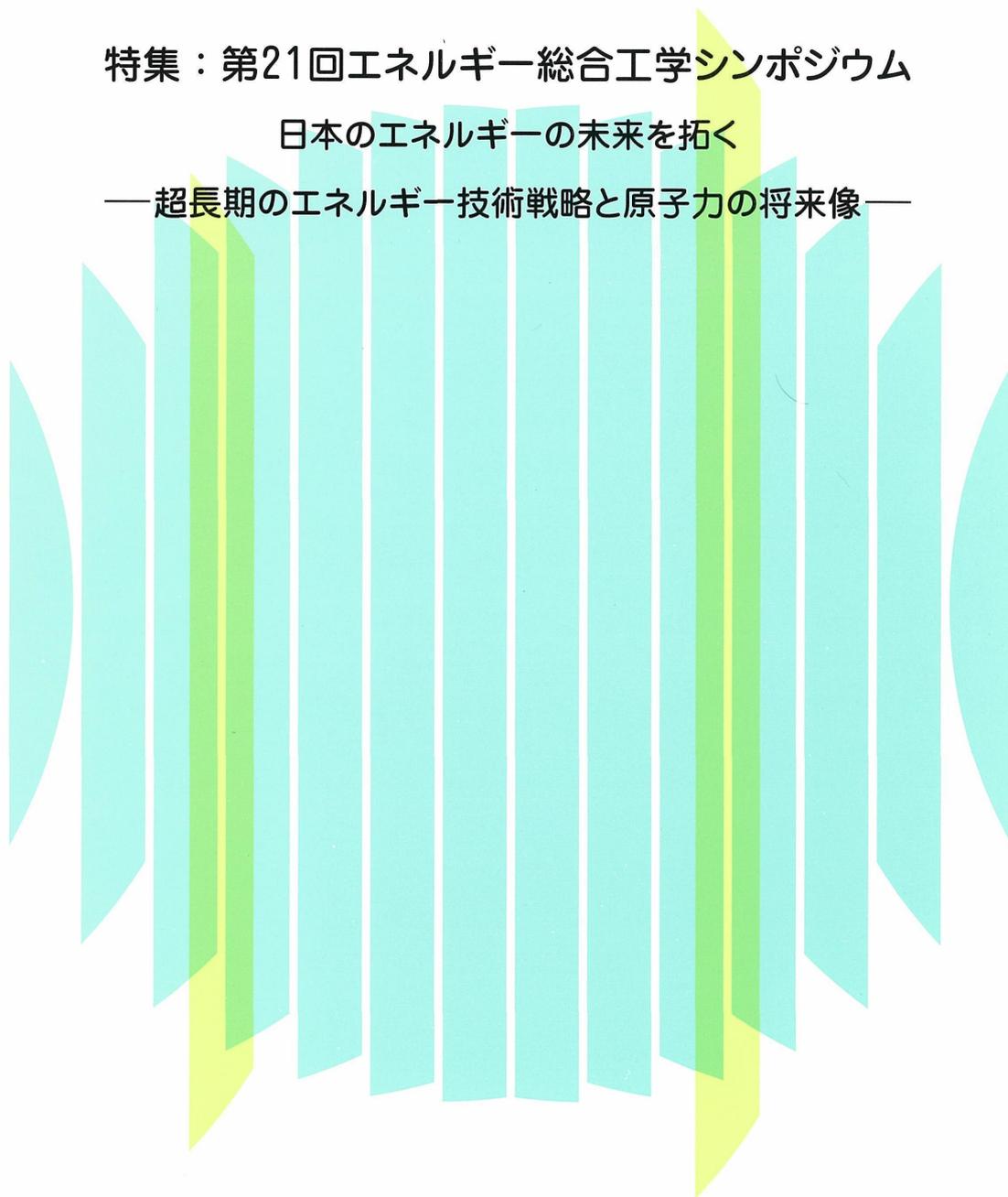
# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 28 No. 4 2006. 1.

特集：第21回エネルギー総合工学シンポジウム

日本のエネルギーの未来を拓く

—超長期のエネルギー技術戦略と原子力の将来像—



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

第21回エネルギー総合工学シンポジウム

日本のエネルギーの未来を拓く  
—超長期のエネルギー技術戦略と原子力の将来像—



挨拶を述べる 高原 一郎 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部長

日 時：平成17年10月3日（月） 10：00～16：30

場 所：経団連ホール（経団連会館14階）

総合司会：プロジェクト試験研究部部長 蛭沢 重信

# 目 次

【開会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 理事長	秋 山 守	…… 1
【来賓挨拶】	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部長	高 原 一 郎	…… 3
【基調講演】	ビジョンに牽引されたエネルギー需給構想 東京大学 理事・副学長	西 尾 茂 文	…… 5
【講演】	超長期の視点からのエネルギー技術開発戦略 —検討の枠組みと途中経過について— (独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 分散システムグループ長	赤 井 誠	…… 17
【特別講演】	原子力安全を考える —「情報の非対称性」と「コミュニケーション的行為」— 原子力安全委員会 委員長代理 東京大学名誉教授	鈴 木 篤 之	…… 25
【講演】	巨大技術開発の5W1H 読売新聞東京本社 論説委員	井 川 陽次郎	…… 33
【講演】	原子力は地球環境を救えるか (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事兼主席研究員	松 井 一 秋	…… 42
【講演】	世界の原子力開発動向とわが国の将来展望 (社)海外電力調査会 会長	榎 本 聰 明	…… 51
【閉会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事	荒 井 行 雄	…… 64
【研究所の動き】	……		65
【編集後記】	……		67

## 開 会 挨拶

秋 山 守 ( 財)エネルギー総合工学研究所  
理事長



皆様おはようございます。本日はご多用の中、私どもの第21回エネルギー総合工学シンポジウムに多数ご出席を賜わり誠にありがとうございます。また、日頃から当研究所の事業に対しまして大変温かいご指導、ご支援を賜わっておりますことを、高い席からではありますが、厚く御礼申し上げます。

さて、本日の第21回のエネルギー総合工学シンポジウムの開催に当たりまして一言ご挨拶をさせていただきます。

まず、昨今のエネルギー情勢ですが、原油価格は極めて高い水準で推移しております。これには、投機や自然災害などの一時的な要因に加え中国などの旺盛な需要の伸びといった構造的な逼迫原因もあります。また、資源が有限であるということは自明でありまして、生産が進むにつれて油田等の採掘条件が悪化してまいりますと、コストも次第に上昇していく原因になります。

本年2月には京都議定書が発効し、わが国は国際的に約束した温室効果ガス抑制の数値目標に向けて鋭意対策を講じつつあるところではあります。しかし、アメリカが批准を保留したままであること、途上国の削減義務が免除されていること等を考えますと、議定書の実効性、行方にはなお問題が残されていると感じます。有限の地球に住む私どもとしましては、今世紀中にも顕在化が懸念されます資源的な制約、また環境面からくる制約にいかに対処していくかが極めて大きな課題であります。そうした制約の克服のために、技術の果たす役割が極めて大きいことは論を待たないところですが、当研究所といたしましても、エネルギーの未来を拓く大きな原動力は技術であるとの認識のもとに、鋭意、調査研究活動に取り組んでいるところです。

今回のシンポジウムにおきましては、午前中に超長期エネルギー技術戦略、午後に原子力の将来像という2つの大きなテーマを選択いたしました。

まず、超長期エネルギー技術戦略では、資源エネルギー庁が取りまとめたエネルギービジョンの策定に当研究所が事務局として協力してきております。このビジョンは、2100年までという超長期を視野に入れ、将来のあるべき姿からバックキャスト(逆算)して、現在から将来にわたってなすべき技術開発の内容を明らかにしながら、具体案を盛り込んでいくという斬新な手法をとっています。その具体案の中から、資源制約、環境制約

の克服に資すると期待される重要な技術群を抽出して、その開発に関わるロードマップを策定しました。

原子力は、現在から将来にわたる一段と重要なエネルギー源であります。原子力は技術の力によって生み出されるエネルギーで、技術力で国際的に優位に立つべきわが国にとって、まさに最適のエネルギーであると思います。当研究所といたしましても、将来の日本型軽水炉の開発、核燃料サイクルの確立、また放射性廃棄物処理・処分の円滑な実施、さらに既設53基の原子力プラント稼働率の向上といった面に向けて積極的に貢献していきたいと願っています。

さて、本日は、まず、公務ご多用の折、本日ご隣席を賜りました経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部長の高原一郎様からご挨拶をいただきます。続いて6件の講演を予定しており、最初に、東京大学理事・副学長の西尾茂文様から「持続型社会の実現に向けたエネルギー需給のあり方」につき基調講演をいただきます。次に、(独)産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門分散システムグループ長の赤井誠様から資源エネルギー庁が策定しております「超長期エネルギー技術ビジョン」につきまして、その考え方、また得られた成果などのお話をさせていただきます。午後には、まず、原子力安全委員会委員長代理の鈴木篤之様から特別講演を頂戴いたします。原子力安全に関わります社会とのコミュニケーションのあり方について大変示唆に富むお話をお伺いできるものと期待しています。続きまして、(株)読売新聞東京本社論説委員の井川陽次郎様から「巨大技術開発の5W1H」のご講演をいただきます。原子力を含め巨大な技術開発を推進するに当たって心すべきことなど、科学技術開発の現場での様々な取材経験を踏まえたお話が伺えるものと期待しています。休憩を挟みまして、当研究所の松井一秋研究理事が「原子力は地球環境を救えるか」と題した講演を行います。人類共通の課題としての地球環境問題の解決にとり原子力エネルギーが果たすべき役割について、研究所のこれまでの調査研究の成果を踏まえながら講演を致します。最後に、(社)海外電力調査会会長の榎本聡明様から「世界の原子力開発動向とわが国の将来展望」をご講演いただきます。米国などでは、長い間原子力の低迷が続きましたが、昨今、回復基調にあります。最近の海外動向はわが国原子力の将来像を考える上で大変重要な示唆を与えるものと考えています。

以上、ご紹介申し上げましたように、今回のシンポジウムでは、わが国のエネルギー技術開発のあり方について、長期的な観点から、また広範な分野にわたって講演が予定されています。皆様方の今後のビジネス、あるいは研究開発にとって多くの有益な情報もたらされるものと確信しています。

最後になりますが、本日ご臨席を賜りました高原様を初め、貴重なご講演をくださいます講師の先生方、並びに多数ご参集いただきました皆様にご心から御礼を申し上げますとともに、本日のシンポジウムが皆様のお役に立ちますことを重ねてお願いいたします。私の開会のご挨拶とさせていただきます。本日は誠にありがとうございます。(拍手)

## 来賓挨拶

高原 一郎 ( 経済産業省 資源エネルギー庁  
省エネルギー・新エネルギー部長 )



ただいまご紹介いただきました資源エネルギー庁の省エネルギー・新エネルギー部長の高原です。本日は予定しておりました資源エネルギー庁長官の小平信因が急遽都合が悪くなり、代役でご挨拶申し上げます。

まず、エネルギーに関する中長期的な課題ということですが、最近ではアメリカのハリケーンの影響で原油価格が非常に上がっていると感じておられる方々も多いと思います。そもそも構造的な需給逼迫が見られる中でこの状況が相当期間続くだろうということです。また、地球温暖化も非常に大きな課題になっておりまして、経済と環境の両立ということにつきまして長期的、あるいは持続的な取り組みが多く求められているわけです。

最近の需給逼迫の背景には、発展途上国のエネルギー需要の急上昇があります。特に中国は既に世界第2位のエネルギー消費国ということですが、さらにこれが拡大していくと見られています。さらに、インド、ブラジル、ロシアについても急速な経済成長が予想されておりまして、エネルギー需要が拡大していくだろうと考えられています。今まで「グローバル化」や「IT化」は、言葉だけで捉えられていたわけですが、過去十数年を遡ってみれば、冷戦の終結で東西の壁がなくなり本当の「グローバル化」や「IT化」が経済成長を刺激する状況に入っているのだろうと思っております。

エネルギー供給の構成面で見ますと、化石燃料がその大層を占めるという構造は大きく変化しないと思われまます。経済協力開発機構(OECD)の国際エネルギー機関(IEA)の見通しでも、石油が3分の1、石炭、天然ガスが4分の1ずつという現在の構造は、これから数十年、ほとんど変わらないだろうということです。さらに、IEA見通し(楽観的なケース)でも石油生産のピークは2040年までには来ないと発表されております。

一方、地球温暖化の問題については、仮に大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度を安定化させるために、産業革命前の2倍程度に抑えることが必要となったとしても、経済成長を勘案すれば、2100年には排出量を現状と同程度に抑えなくてはならないということです。地球温暖化問題も大変深刻な状況になってきているわけです。

そういった中で、我々の取るべき対策としては、技術によるブレークスルーが最大のポイントであり、不可欠であると考えます。まず、需要面では、世界規模での持続的な発展を実現するために、経済成長、エネルギー消費、CO<sub>2</sub>排出量の間の好ましくない連鎖を技術

開発によって断ち切っていくということが必要だろうと思っています。したがって、自動車の燃費も3倍～5倍だとかに高めていくことが必要です。特に世界規模ということになりますと、我々も省エネルギー部において、中国やインドなど、多くの国々が省エネルギーに対して非常に高い関心を持っているということを毎日感じています。やはり、現在の技術水準では足りないので、そのところで技術的なブレークスルーの必要性を日々の行政の中で感じているところです。

供給面に関しましては、「原子力」および「核燃料サイクル」について安全性の確保ということを第一義に、石油に代わるエネルギーへのシフトを促すことが重要ですし、私の直接の担当であります「再生可能エネルギー」の低コスト化、高効率化につきましても、さらに抜本的な歩みを進めなくてはいけないと考えているところです。

このような技術的ブレークスルーの実現には長い期間を要するわけですから、経済産業省では2100年という超長期的な視野で見た場合に顕在化が懸念される資源制約、あるいは環境制約を仮定して、それら制約を乗り越えるために必要となる将来技術を洗い出して、そしてそこからバックキャスト（逆算）して超長期の技術開発の道筋を描き出す「エネルギー分野技術戦略マップ」（超長期エネルギー技術ビジョン）の作成を進めて参りました。このビジョンは、秋山理事長を座長とするエネルギー総合工学研究所の研究会で、多くの方々にご参加、ご尽力いただきました成果です。これは10月5日の産業構造審議会研究開発小委員会でご報告いただき、公表させていただく段取りとなっています\*。本ビジョンおよび原子力の将来像の議論も含め、本日のシンポジウムを出発点として、より良い未来を切り拓いていくことができることを強く期待している次第です。簡単ですが、ご挨拶にかえさせていただきます。どうもありがとうございました。（拍手）

\*「技術戦略マップ（エネルギー分野）～超長期エネルギー技術ビジョン～」は以下のホームページで公開されています。  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g51013aj.html>

[基調講演]

## ビジョンに牽引されたエネルギー需給構想

西尾 茂文 (東京大学 理事・副学長)



### はじめに

#### 「未来開拓連携」

東京大学・生産技術研究所と同・大学院工学系研究科・総合研究機構社会連携推進室は、大学と企業が対話を行いながら、それぞれの強みを生かして、相乗効果を発揮し、科学技術の向上と産業競争力の強化を通じて広く社会に貢献するために「未来開拓連携」という新しいスキームによる産学連携をスタートさせました。

その第1弾として、石川島播磨重工業(株)、(株)東芝、(株)日立製作所、三菱重工業(株)の4社と、持続型未来社会に対するビジョンを構築・共有し、その実現を通じて社会に貢献することを目的に、「持続型社会研究協議会」が平成16年3月に発足しました。今日は、発足時に、私が提起した問題と今年8月に出た報

#### 〔略歴〕

1977年東京大学大学院工学系研究科修了。1995年生産技術研究所教授。2002年生産技術研究所所長。2005年4月より現職。

研究分野は、機械工学，熱工学，エネルギー学，相変化論。

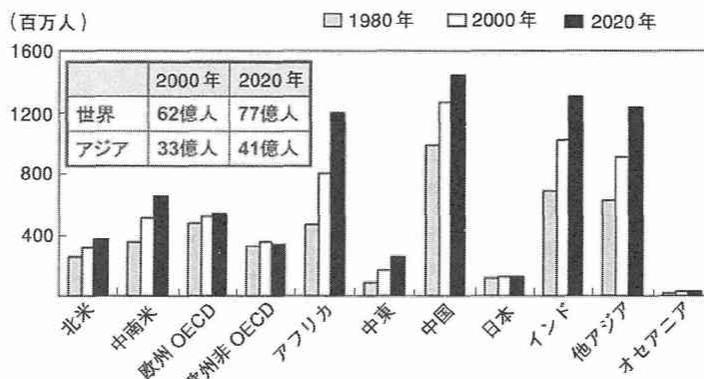
告書「持続型社会へ向うエネルギービジョン(改訂版)」の一部をご紹介します。

今日の話は、①エネルギー需給・地球環境に関する諸情勢，②わが国の課題，③持続型社会への解析接続という3つで構成されます。

#### 諸情勢「エネルギー需給見通しの趨勢」

増加する人口、加速するモータリゼーション

図1に示すように、2020年までの世界では、日本、欧州の経済協力開発機構(OECD)加



(出所：日本エネルギー経済研究所、2004年3月)

図1 世界の人口増加予測

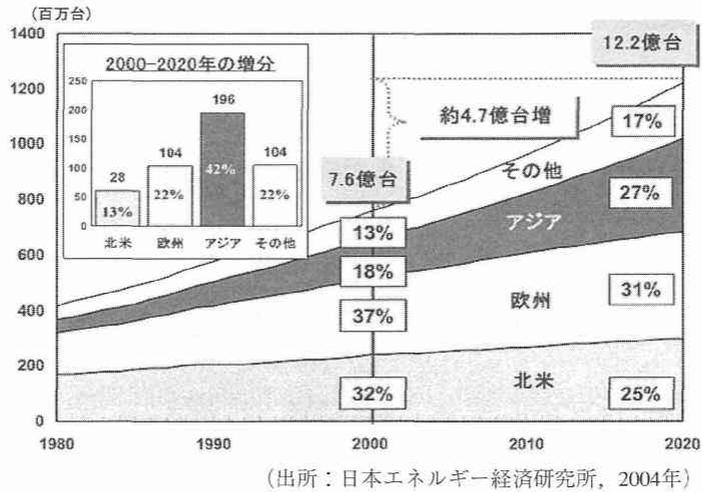


図2 世界の自動車保有台数予測

盟国を除いて、アジア、アフリカを中心として急速な人口増加が見込まれています。

一方、世界の自動車保有台数は、図2のように、今後20年で約6割増加するとされています。

アジアでは現在の2倍以上となり北米を抜いて、世界の18%（約1.3億台）から27%（約3.3億台）へ急増します。アジアの中での保有台数は、図3のような増加が予想されており、

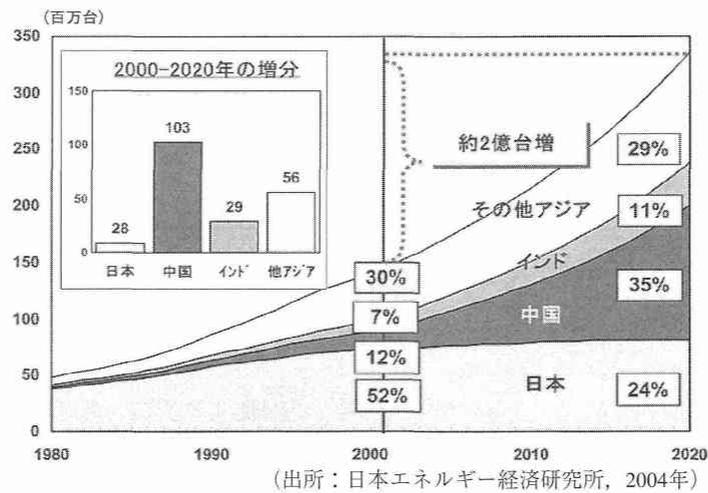


図3 アジアの自動車保有台数予測

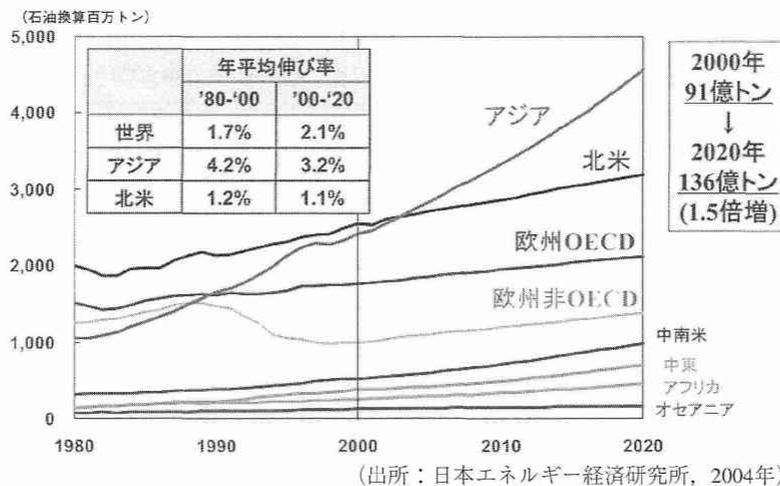
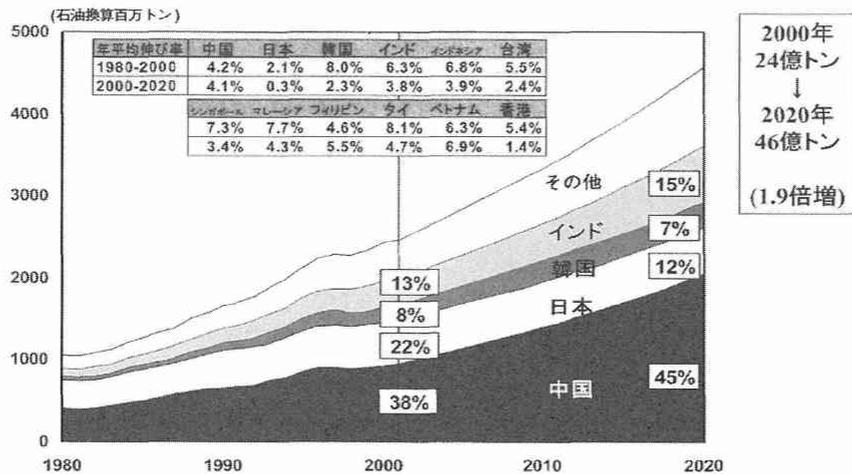


図4 世界の一次エネルギー消費予測



(出所：日本エネルギー経済研究所，2004年)

図5 アジアの一次エネルギー消費予測

中でも中国の伸びが突出しています。

自動車の伸びに伴い、世界の一次エネルギー消費は、図4で示すように、今後20年で約50%増加すると言われています。増加分の半分はアジアで、現在の日本の総消費量の約3.5倍になります。図5に示しましたが、アジアの中で一次エネルギー消費が最も伸びる国は中国で、2030年には15億～18億トン（石油換算）になるということです。

#### 支配的な石油資源楽観論

石油資源の見通しについては、現在のところ楽観論が支配的です。石油の究極可採埋蔵量は石油価格によって変わるものですが、1950年～90年代は約1.7兆バレルでした。1994年には米国地質調査所が2.3兆バレルに上方修正しましたし、さらに、2000年の世界石油会議では「埋蔵量の成長」という概念を用いて3.3兆バレルまで上方修正しています。OECDの国際エネルギー機関（IEA）も“World Energy Outlook 2002”で、「少なくとも2030年までは石油供給力は十分にある」とし、2010年までは21ドル/バレル（\$/B）、その後緩やかに上昇し、2020年に25\$/B、2030年には29\$/Bになると見えています。ところが、現在、石油価格はそれをはるかに超え、55\$/B（先物価格）を上回る水準で推移

しています。

因みに、2000年の世界石油会議で出された埋蔵量3.3兆バレルを2030年までの予測石油需要（約400億バレル）で単純に割ると約80年程度、石油はあるということになります。80年というのは日本人の平均寿命ですから、現在生まれた人が生涯を終えるまで石油はあるという楽観論が支配的になっていると思います。

2002年後半から2003年前半にかけて、エネルギー問題に警鐘を鳴らしている国際エネルギー機関（IEA）、京都議定書を離脱した米国エネルギー省（DOE）、および京都議定書の発効を目指していたEU委員会が、それぞれ2030年頃までのエネルギー需給見通しを発表しました。その標準ケースには表1に掲げる共通点があります。

表1 主要機関による需給見通しの共通点

- ①エネルギー需要は、2000年の約100億トン（石油換算）から2030年までに160億～180億トン（同）までに増加する（60%～80%の増加）。
- ②2000年から2030年頃までに、世界の一次エネルギー供給に占める化石燃料のシェアは現在の80%から85%に拡大するが、石油のシェアには大きな変化はなく、35%程度で推移する。
- ③二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出抑制は非常に難しく、増加せざるを得ない。
- ④2030年頃までにはエネルギー需要に占めるアジアの割合は現在の30%から35%に拡大し、石油が中心となる輸送部門のエネルギー需要は、北米と同じ規模になる。

## 石油資源楽観論に対する危惧

こうした楽観論に対し、私はいくつかの危惧を抱いています。

### [供給安定性への危惧]

1番目の危惧は供給安定性です。世界の一次エネルギー消費で、石油消費だけを見ても、図6に示すように今後20年間で約50% (16億トン) 増えると言われています。増加分の半分がアジアです。特に、モータリゼーションが急速に進む中国では5.8億トンで日本の2倍以上 (2020年の日本の石油消費は2.6億トン) となります。アジアへの石油供給は、地理的に見て、恐らく中東OPECに依存せざるを得ないでしょう。わが国およびアジアへの供給が中東およびシーレーン (海上航路帯) 沿岸諸国の政情に大きく左右される可能性があります。

### [産油能力への危惧]

2番目は、産油能力に対する危惧です。2000年～2025年までのアジアにおける石油需要の増加分は、現在のOPEC中東産油国の生産量に匹敵します。中でも資源量が豊富で、産油コストの低いサウジアラビアに依存せざるを得ませんが、これだけの量の原油生産ができるか危惧します。

### [残存確認埋蔵量に対する危惧]

3番目は、中東の主要産油国から公表されている残存確認埋蔵量の数値の正否です。石油資源の残存確認埋蔵量については、「P90」\*と「P50」\*\*とがありますが、1980年代に評価替えが行われました。それによって残存確認埋蔵量が増えたのですが、問題はその増え方です。表2は、各国が発表した可採年数 (埋蔵量Rを年間生産量Pで割った値) です。例えば、表2でイラクは、評価替え後、100年という数字が並んでいます。これは多大な原油を産出しながらも資源は減っていないことを意味しています。新しい油田が発見され、産油が続くというバランスを考えてもこの数値が減ることなく続いているというのは本当かなと思わされます。輸出量が確認埋蔵量によって割り振られるというOPEC内の事情があるので、公表値が水増しされている可能性があると思います。

表2の一番下の欄が平均的に見てその国の確認埋蔵量だと思われる数値です。これは1996年について「P50」で評価したものですが、クウェートに関しては52年が国際的な、平均的な評価ということになっています。

### [コストに対する危惧]

次はコストに関する危惧です。「アジアプレ

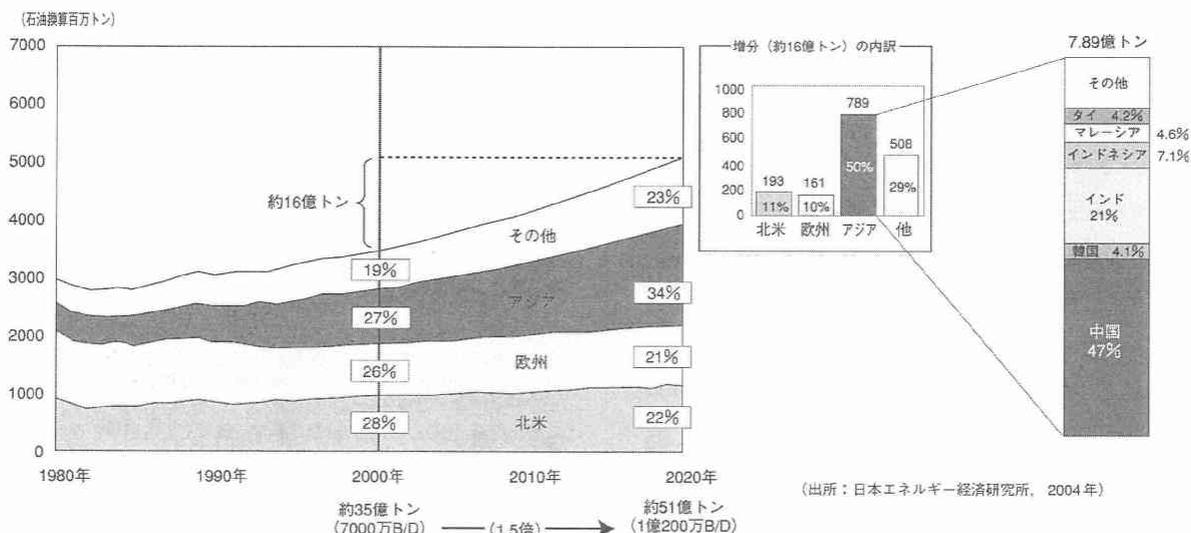


図6 世界の石油消費予測

表2 中東の主要産油国の可採年数 (R/P)

(単位:年)

	アブダビ	イラン	イラク	クウェート	サウジ アラビア	ベネズエラ	中立地帯
1982	30.6	57.0	29.7	64.5	164.6	20.3	5.9
1983	30.5	55.3	41.0	64.2	162.4	21.5	5.7
1985	30.5	48.5	44.5	90.0	169.0	25.9	5.4
1987	31.0	48.8	47.1	91.9	166.6	25.0	5.3
1989	92.2	92.9	100.0	91.9	170.0	58.1	5.2
1991	92.2	92.9	100.0	94.5	257.5	59.0	5.0
1993	92.2	92.9	100.0	94.0	257.7	63.3	5.0
1995	92.2	88.2	100.0	94.0	258.7	64.9	5.0
1997	92.2	93.0	112.5	94.0	259.0	71.7	5.0
1996 (P50)	57.7	64.7	77.4	52.0	222.6	27.4	8.2

※ □ は「P90」の数値。

ミアム」という形で、アジアに入ってくる原油は一定額、欧米より高くなっています。中国、インドを含め、需要が増えてきた時に、その「アジアプレミアム」が今よりももっと高くなるのではないかという危惧が生まれます。メキシコ湾岸等の中南米原油は北米市場に行くし、ロシアでの新油田開発が間に合うかどうか疑問であるということから、アジア諸国が直面する石油価格に危惧があります。

#### [局地的環境問題への危惧]

それから、石油の楽観論に基づけばブラジル、ロシア、インド、中国 (BRICs諸国) で石油の需要は減らないというわけですが、クリーンテクノロジーがそういう国々に普及しなければ、酸性雨などの局地的な環境問題が危惧されます。特に、日本は中国の大気汚染に起因する酸性雨で被害を被る不安が出てきます。

#### [地球温暖化への危惧]

最後の危惧は、地球温暖化に関するものです。今のままでアジア諸国の経済成長が続くと、今世紀末までに大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度を550ppmで安定化させるために、日本に対してより強いCO<sub>2</sub>排出規制が課せられるのではないかという危惧があります。

私の今日の話では、CO<sub>2</sub>問題はメインではあ

りません。ここ100年ぐらいの統計を見ますと地球は温暖化に向かっていますので、それ自身は問題ですが、CO<sub>2</sub>が根本原因であると結論づけるためにはまだデータが不足しています。一番気になるのは大気中の水蒸気の濃度です。地球の気温に最も強い影響を及ぼす水蒸気の濃度がいわゆる将来予測に入っていない以上、CO<sub>2</sub>だけで議論するのは非常に危険だと思うからです。ただし、CO<sub>2</sub>は国際社会の中で今非常に重要なキーワードになっていますので、それを無視した議論はできませんが、このレポートではそれを最優先に考えてはいません。

---

#### わが国の課題

---

#### 高い生産技術の輸出で成長と貢献を

わが国のエネルギー原単位 (エネルギー投入量/国内総生産) は、図7に示すように非常に低いです。これは、わが国が国際的に見ても非常に効率良く生産活動を行っていることを意味します。同時に、エネルギー産業を初め、日本が非常に高い水準の技術を開発し、それを実行しているという証左です。

ところが、各国の2050年における1人当り

\* 一定の技術水準と価格で90%産出できる可能性を持った石油の量 (=確認量 (proven reserves))

\*\*一定の技術水準と価格で50%産出できる可能性を持った石油の量 (=確認量 + 推定量 (proven + probable reserves)) - 編集部注

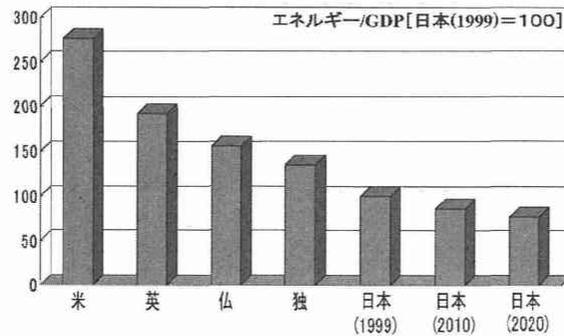


図7 エネルギー原単位の国際比較

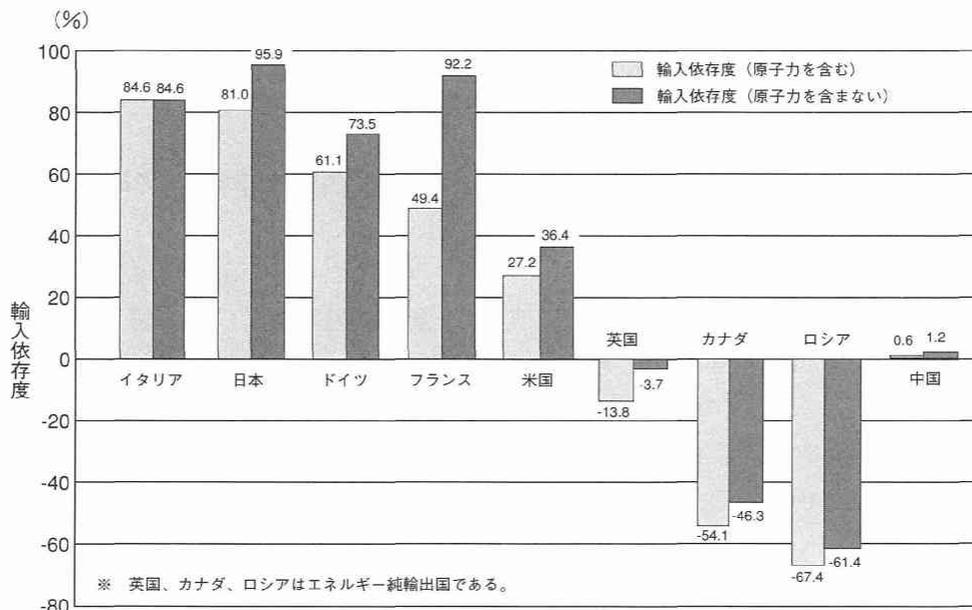
表3 主要国の1人当りGDP予測

	米国	英国	フランス	ドイツ	日本
2000年	34,797ドル	24,142ドル	22,078ドル	22,814ドル	32,960ドル
	↓ (2.4倍)	↓ (2.4倍)	↓ (2.3倍)	↓ (2.1倍)	↓ (2.0倍)
2050年	83,710ドル	59,122ドル	51,594ドル	48,952ドル	66,805ドル

GDPを比較すると、表3のように、米国と英国が約2.4倍、ドイツが2.1倍になると予想されるのに対して、日本は2倍にとどまるという数値が出ています。低いエネルギー原単位を支えているのは日本の技術ですから、その生産技術を輸出技術として、日本の国際競争力を一層高めて経済成長と世界への貢献を同時にすべきではないかと思えます。

#### エネルギー供給の強健性の向上

2つ目に、日本の経済、エネルギー供給の強健性を高めるためにはどうしたらいいかということです。各国のエネルギー輸入依存度を見ると、図8からも分かるように日本の依存度の高さ（自給率の低さ）が目立ちます。カナダ、イギリス、ロシアはエネルギー輸出



(出所: 「原子力」図面集2004-2005, (財)日本原子力文化振興財団)

図8 主要国のエネルギー輸入依存度 (2002年)

国ですから、自給率は100%となります。日本は原子力を算入しても20%弱です。石油を多量に輸入しているわけですが、因みに、平成15年度のがわが国の貿易黒字額は14兆円でした。仮定の話ではありますが、例えば、原油価格が35 \$ / B (平成15年度29.22 \$ / B) で、為替レートが1ドル150円 (平成15年度1ドル116.46円) になると、石油の輸入額が約5兆円増加します。これは平成15年の貿易黒字分の3分の1に相当します。これだけの黒字が消滅するわけです。ですから、わが国の貿易黒字を保つためにも、石油、石炭、天然ガス等の化石燃料の輸入削減が必要だと思えます。

#### 大きな期待はできない再生可能エネルギー

近い将来向かうべきものとして、再生可能エネルギーの導入促進があります。再生可能エネルギーというのは、基本的には太陽からのエネルギー放射によって生まれているものです。導入量については色々な試算があると思いますが、国内のバイオマス、あるいは太陽光、風力等で賄えるエネルギー量は、将来開発が進んだとしても、1990年頃の一次エネルギー総量の半分以下と見ています。もちろん、再生可能エネルギーの利用は促進すべきですが、少なくとも我々が生きている間は、再生可能エネルギーだけで日本のエネルギー需要を満足させるのは不可能だと思えます。

---

### 持続型社会へのシナリオ

---

#### 現代社会の特徴

それでは、今後我々はどうすればいいのか。それを考えるに当たっては、まず、現代社会の特徴を見ておかなければいけないと思えます。現代社会というのは、キャッチアップ時代が終わり、グローバル化、ボーダレス化の

時代にあります。交通革命、情報革命による時空間スケールの短縮、科学技術の世界的進展と普及、工業製品による人工環境と国際企業の登場、地球規模の資源・環境問題など、グローバル化、ボーダレス化が進んでいることは間違いないと思えます。

グローバル化、ボーダレス化というのは、場合によっては、画一化や世界を支配しようという覇権というマイナスの意味を有します。しかし、キャッチアップ時代の次にグローバル化時代を迎えたわが国は、国際社会において強い存在感を持つ「国の姿」をエネルギーに関しても現していく必要があると思えます。

#### 「国の姿」に係わる研究開発プログラム

私はそのような「国の姿」として、3つを期待しています。① 資源、国土の少ない国として国際ネットワークを重視しつつ、様々な側面で覇権に組まない自立性と自律性を持つこと、② 民度の高い国として文明 (物的側面)、文化 (事的側面) の両面で充実した成熟社会を目指すこと、③ 許容性に富む文化を育ててきた国として、画一化や覇権につながらない新たな国際性、すなわち「グローバル化と多様性との共存」を志向すること、の3つです。

そういう国の姿を頭に置きつつ、研究開発プログラムを私なりに考えますと、特にエネルギーについて、Push-Forward型 (フォアキャスト型) プロジェクトとVision-Pull型 (バックキャスト型) プロジェクトがあると思えます。

フォアキャスト型というのは、不確定な未来像を極力排して、ブレークスルーを期待しつつも現状の延長線上に目標を設定し、着実性を基幹にした漸進改良型プロジェクトです。これはキャッチアップ時代には極めて有効であろうと思えます。将来像がある程度見えていますので、それに合わせたロードマップ (行程表) を書けばいいということです。

一方、バックキャスト型というのは、想像できる致命的なリスクを回避するため、あるいは

積極的に国の姿を確立するために、その達成の道筋に不確実性を含みつつも、意志をもって文明的、あるいは文化的未来像を掲げ、その未来像が持つ牽引力のもとでロードマップなどを意識しつつ行うプログラムです。これは、世界を先導する状況において必要で、今後、わが国にはこうしたプログラムを望みます。

冒頭で紹介した「未来開拓連携」の基幹にはこのバックキャスト型を据えています。つまり、キャッチアップ時代の直後にグローバル化時代に遭遇したわが国にとって、期待される「国の姿」を実現するビジョンというのは、「エネルギーと資源の循環に基づく持続型社会の早期実現」ということです。石油楽観論で、「まだ80年石油はある」という数値を示しました。その数値を信用するにしても、石油資源の枯渇は決して遠い将来の話ではないと私は思います。だとすれば、化石資源の依存を前提にその回避を図るのではなく、持続型社会早期建設を目途としつつ対処することが極めて重要であると思います。そういう社会というのは、「トリプル50」－『エネルギー利用率50%』、『化石燃料依存率50%』、『自給率50%』－の持続的社会であるというのが、持続型社会研究協議会が『持続型社会へ向かうエネルギービジョン（改訂版）』（2005年8

月）で示したグランドデザインです。2030年にエネルギー利用率を現在の36～37%から50%へ、化石燃料依存率を現在の81%から50%まで下げる。それをやれば、化石燃料のほぼ全量を輸入しているわが国の場合、自給率は必然的に50%になります。

#### 「トリプル50」達成の検討

次に、エネルギー利用率50%、化石燃料依存率50%、自給率50%は本当に達成できるのかという点に関し検討した結果を紹介しします。前提条件は表4に示すとおりです。

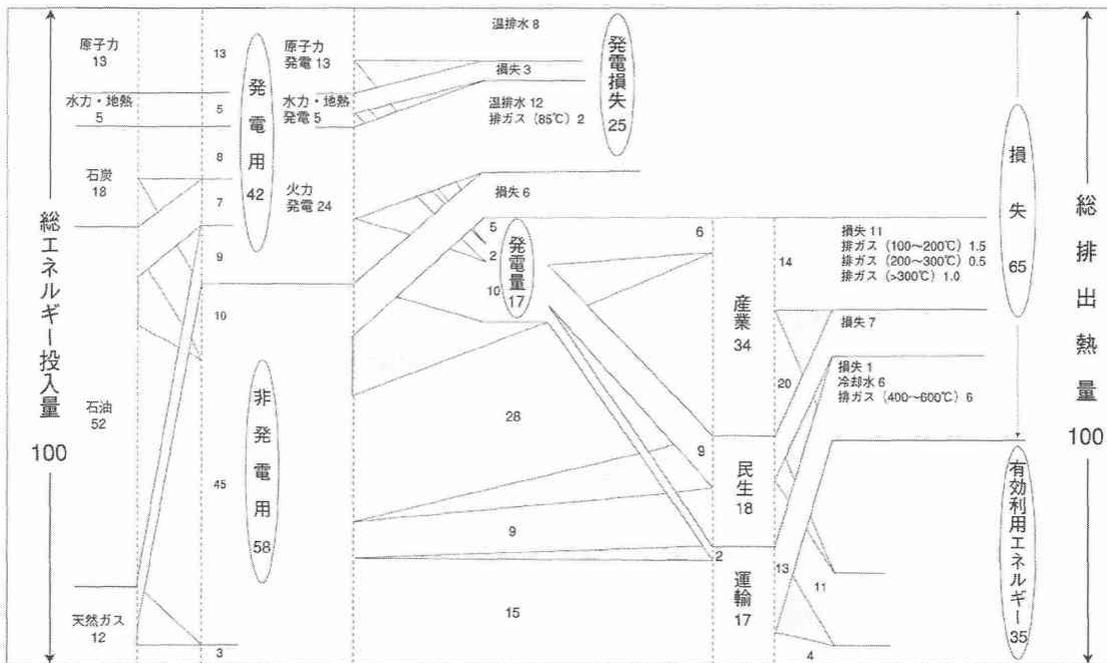
#### 【エネルギー有効利用率50%】

図9に示したエネルギー収支図を参考にしながら、エネルギーの利用効率を50%に引き上げるために、発電、産業、民生、運輸で何をやらなければならないか検討しました。

表5は、総合資源エネルギー調査会の「2030年のエネルギー需給展望（中間取りまとめ原案）」（以下「需給展望」）で挙げられている省エネ技術です。これだけで省エネ率が9.9%になります。さらに、表6に示す我々が付け加えた主な技術によってエネルギー利用率が50%になります。

表4 「トリプル50」達成検討の前提条件

<p>人口：2006年度にピーク（1.277億人）に達した後、減少に転じ、2030年度には1980年度頃の水準になる。</p> <p>エネルギー価格：原油は、2010年度まで緩やかに推移した後、徐々に上昇し、2030年度には29ドル/バレルに達する。天然ガスは基本的に原油価格に連動するが、原油ほどは上がらない。石炭は近年の実績を引き継ぎ、原油より低めで推移する。</p> <p>経済成長率：2010年頃までは年2%程度の成長。中期的には、労働人口の減少と年1%程度の生産性向上を想定して、1%台で推移する。</p> <p>火力発電単価：火力発電の固定費（設備コスト、人件費、効率、補修費）3.3円/kWhを維持し、燃料費（現在2100円/バレル（原油換算））が変動する。「長期エネルギー需給見通し」における標準ケースの10.0円/kWhを想定。</p> <p>他の電源：原子力は「需給展望」における原子力Highケース（運用開始10基→17基、設備稼働率85%→90%）を想定。</p> <p>再生可能エネルギー単価：水力・地熱については従来の試算（水力：13.6円/kWh、地熱：13～16円/kWh）を利用。2030年に火力と競合できる再生可能エネルギーのコストを10円/kWh未満に設定。</p>
--



（出所：通産省/EDMC「総合エネルギー統計」1997年度，日本電気協会「電気事業便覧」1997年度，EDMC「民生のエネルギー消費実態調査」1995-6年度，川崎火力発電所平成16年度以降建設予定のコンバインドサイクル発電方式，平田賢「省エネルギー論」1992年度，省エネルギーセンター「工場群のエネルギーシステムに関する調査研究 平成9年度成果報告書」，宗清ら「自動車用排熱発電装置」日本機械学会熱工学講演会講演論文集1998年度を基に作成）

図9 わが国のエネルギー収支図

表5 「需給展望」が掲げる主な省エネ技術

主な省エネ技術と2010年までの 節減エネルギー量※	省エネ率
ITS (980)	2.4%
トップランナー自動車 (870)	2.1%
省エネ建築 (860)	2.1%
トップランナー家電 (570)	1.4%
高効率給湯器 (260)	0.6%
BEMS、HEMS (260)	0.6%
クリーンエネルギー自動車 (150)	0.4%
高性能工業炉・ボイラー (90)	0.2%
高効率照明 (50)	0.1%

※単位は石油換算百万kl

表6 協議会が追加した新規超高効率技術

- (石炭) 燃料電池トッピング・トリプルコンバインドサイクル
- (石炭) アドバンスドIGCC
- 低質蒸気のリバウリング
- 超高効率ガスタービン
- 薄板直接製板-(産業分野)
- 次世代コークス炉 (SCOPE21)-(産業分野)
- コンビナート内ヒートカスケード-(産業分野)
- エネルギー・物質併産  
(発熱反応の吸熱反応あるいは熱源への供給)-(産業分野)
- エネルギー回生自動車-(民生分野)
- ハイブリッド車用スーパーキャパシター-(民生分野)

表7 「トリプル50」達成に必要な技術開発

	繋ぎ技術	本質技術
供給サイド	<p>(化石燃料関係)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●メタンハイドレード</li> <li>●石炭ガス化</li> <li>●クリーンコール</li> <li>●石炭IGCC, 石炭IGFC石油残渣, IGCC天然ガスMACC</li> <li>●燃料の多様化(オイルシェールなど)</li> <li>●GTL</li> <li>●CO2固定技術</li> </ul> <p>(非化石燃料)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●軽水炉の安全性・稼働率向上技術</li> </ul> <p>(電力系統最適化技術)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●蓄電・蓄熱・蓄エネルギー技術</li> </ul>	<p>(再生可能エネルギーの高効率化)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●太陽光発電</li> <li>●バイオマス(未利用国内資源及び海外バイオマスプラランテーション含む)</li> <li>●風力発電</li> <li>●廃棄物発電</li> <li>●燃料電池</li> <li>●波力・潮力・海洋温度差発電</li> <li>●大規模電源(非化石)の超高効率発電</li> </ul> <p>(超長期持続エネルギー)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●核融合</li> <li>●高速増殖炉(高速炉燃料再処理)</li> <li>●高温ガス炉(水素製造)</li> <li>●超電導電力輸送</li> </ul>
需要サイド	<p>(電力需要平準化技術)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●蓄電・蓄熱・蓄エネルギー技術(2次電池、フライホイール、キャパシタ)</li> <li>●マイクログリッド技術</li> <li>●分散型電源</li> <li>●太陽熱利用</li> <li>●高効率配送, 長距離, 大量, 高速輸送技術(モーダルシフト)</li> </ul> <p>(エネルギー利用技術の最適化(省エネ技術含む))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●コプロダクト技術(製鉄, 化学プロセスなど)</li> <li>●水素利用(燃料電池・貯蔵・輸送も含め)</li> <li>●高効率ヒートポンプ</li> <li>●ハイブリッドエンジン(トップランナー自動車, クリーンエネルギー自動車)</li> <li>●省エネ建築, トップランナー家電, 高効率給湯機, 高効率証明</li> <li>●IT活用のエネルギー管理システム, HEMS(照明・ディスプレイ・家電), BEMS</li> <li>●ESCO事業</li> <li>●全電化システム</li> <li>●ITS</li> <li>●高性能工業炉・ボイラ</li> </ul> <p>(その他)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●素材リサイクル</li> <li>●消費財の長寿命化</li> </ul>	

そのために必要な技術開発を表7にまとめました。当面の持続性を維持するための「繋ぎ技術」と持続型社会へのソフトランディングを目指す上で必要となる「本質技術」に分けてあります。

これらの技術を利用することで、エネルギー利用率が向上し、その結果、表8のように、最終消費は「需給展望」の「レファレンスケース」と比較した場合、産業界95%、民生64%、運輸58%となるわけです。

表8 エネルギー有効利用率50%達成で減る最終需要

(石油換算百万kl)

	産業	民生	運輸	合計
2000年(実績)	195	117	101	413
2030年(レファレンスケース)	188	136	101	425
2030年(省エネ進展ケース)	185	114	78	377
2030年(協議会)	179	87	59	325

レファレンスケース：比較基準となるケース。現行の技術体系と実施済みの施策を前提に、経済社会や人口構造、市場や需要家の嗜好、民間ベースの取組が、今後ともこれまでの趨勢的变化で推移した場合の見通し。

省エネ進展ケース：現在開発中の省エネ技術・ビジネスモデルが、実用化・開拓されるとともに、導入促進に向けた官民の取組、需要家の嗜好等によって円滑かつ広範に普及浸透し、大幅な省エネが実現するケース。

表9 一次エネルギー供給構成における「需給展望」と協議会提案の比較

(石油換算百万kl)

	合計	化石燃料			原子力	水力	地熱	国内再生可能エネルギー※	国外再生可能エネルギー
		石油	石炭	天然ガス					
2000年(実績)	588	274	107	98	75	20	1	14	0
2030年(レファレンスケース)	607	233	106	131	90	20	1	26	0
2030年(協議会)	428	204			113	20	1	72	18
								224 (52%)	

※国内再生可能エネルギーの内訳：太陽 (22)  
 風力 (19) - 賦存量106.25  
 バイオマス (31) - エネルギー利用可能量33

〔化石燃料依存率50%〕と〔自給率50%〕

化石燃料依存率を50%にすることは、「需給展望」に比べて最も大きな変更点です。表9に示すように、大きな違いとしては、化石燃料が相当少ないこと、原子力の増大が大きいこと、そして、国内の再生可能エネルギーを可能な限り導入することがあります。再生可能エネルギーについては、太陽、風力、バイオマス導入の強力な推進を図ると同時に、海外の再生可能エネルギーを現地で中間媒体に変換し、日本、あるいはその他の国に供給することになります。これらによって化石燃料依存率を48%まで下げることができます。定義上、自給率は52%となります。

協議会では、国内でのバイオマス、風力、太陽光など、再生可能エネルギー供給の大幅な増加は、現実的に非常に困難であることから、海外での再生可能エネルギー生産、日本への輸送のフレーム開発も想定しています。

協議会は、2030年における風力発電設備量として、陸上300万kW、洋上2,700万kWを導入目標としています。

なお、ベースとなる陸上風力賦存量は、『大型風力発電システム開発』（NEDO, 1994年）により3,500万kW（340億kWh/年）、洋上風力賦存量は『日本における洋上風力発電の導入可能性調査』（NEDO, 1998年）により25,000万kW（4,000億kWh/年）と見込んでいます。

発電コストは、第25回風力エネルギーシンポジウム（2003年）における発表『風力発電普及

政策とその動向』（資源エネルギー庁）によれば、現在、陸上で11.4円/kWh、洋上で14.0円/kWhと見積もられますが、これを再生可能エネルギー目標発電コスト（10円/kWh）にする必要があります。そのためには、陸上の場合、風車本体以外のコスト低減が、また、洋上の場合には、建設コストによる固定費を約25%低減させるとともに、運転保守料を約50%低減させなければなりません。また、報告書では、出力変動が大きい風力発電を系統に連係する際の技術的課題も述べられています。

協議会は、エネルギーとして利用するバイオマスの供給目標として、ドライ系バイオマスで2,500万kl（石油換算）、ウェット系バイオマスで600万kl（同）としました。バイオマスの賦存量は、2002年に発表された『バイオマス・ニッポン総合戦略』の資料によると、全体で4,334万kl/年、そのうちエネルギー利用が可能な量は、3,279万kl/年と推定されています。報告書では、ドライ系バイオマス、ウェット系バイオマスによる発電の技術的課題も述べられています。

検討の結果、持続型社会においてエネルギー供給源の中核となる再生可能エネルギーの大半が貯蔵性、可搬性、連続性に乏しいため、再生可能エネルギーを変換したエネルギーキャリア、中間媒体、二次エネルギーの利用が極めて重要になることが分かってきました。そのエネルギーキャリアとしては、電力、水素、メタノールなどが有望ですが、当然、変

換技術や利用技術が重要になります。ただし、中核のエネルギーキャリアとして水素を目指すべきかどうかの判断は、電力の利用技術の進展に大きく左右されるため、水素については少しトーンダウンしています。

---

### さいごに

---

今日お話しした「トリプル50」の達成へ向けた検討では、国民の生活をエネルギーを使用しないで我慢する、いわゆるライフスタイルの変更は一切考えていません。エネルギー

使用によってもたらされる生活水準を一定にしたままで2030年でのエネルギー消費、需給体制を考えたつもりです。

最後に、本件は当然、私1人によるものではなく、持続型社会研究協議会の方々の多大な努力によるものです。この場をお借りして御礼を申し上げたいと思います。

「持続型社会へ向うエネルギービジョン(改訂版)」はホームページ (<http://rmo.iis.u-tokyo.ac.jp>) からダウンロードできるようになっています。今日のお話の詳細部分は、それを見ていただきたいと思います。

以上です。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

## 超長期の視点からのエネルギー技術開発戦略 — 検討の枠組みと途中経過について —

赤井 誠

(独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門  
分散システムグループ長



### はじめに

#### 超長期ビジョン策定に至る経緯

「エネルギー分野技術戦略マップ」(超長期エネルギー技術ビジョン)は、経済産業省が「新産業創造戦略」(平成16年5月)の実現に必要な技術目標や製品・サービスの需要を創造するための方策として、21分野で策定を進めてきている「技術戦略マップ」のエネルギー分野版です。同ビジョンは今年7月に産業構造審議会・研究開発小委員会に報告いたしました。報告書はまだ公開されておきませんので、途中経過について説明したいと思います\*。

「超長期エネルギー技術ビジョン」は、経

#### [略歴]

1980年東京工業大学大学院博士課程修了(原子核工学専攻)。同年工業技術院機械技術研究所に入所。90年同院ニューサンシャイン計画推進本部。2000年より改組により産業技術総合研究所へ。

現在の取組の中心は、エネルギー技術・システムの評価研究、中でも環境影響を定量化する手法である環境外部性評価、エネルギーモデリング、技術の社会受容性など。

95年よりIEA/CERTの技術評価専門家会議メンバー。03年よりCO2回収隔離に関するIPCC特別報告書作成に係わる総括執筆者を勤める。

経済産業省資源エネルギー庁からの委託を受け、エネルギー総合工学研究所が事務局となり、2004年夏頃から作成してきました。

この作業に関して図1のような新聞記事が出ていますが、どれもが必ずしも真実ではありません。これから述べることが実際にやってきたありのままを反映しているのご理解い

CO2の排出ゼロに「脱石油」で超長期ビジョン-2100年に標準・経産省

100年後には家庭やオフィス、自動車から出る二酸化炭素(CO2)をゼロにする。経済産業省・資源エネルギー庁は28日、2100年までの長期的な超長期エネルギー技術ビジョンに骨子とめた。50年までに石油に依存しない社会を1兆年とCO2を排出しない空間に切り替える。さらに、ガソリン消費を100%に引き上げると、排出ゼロに向け必要技術

100年後CO2排出ゼロに エネ庁が超長期ビジョン

脱化石燃料へ行程表 省エネ対策素案

経産省

図1 「エネルギー分野技術戦略マップ」に関する新聞報道

\*「エネルギー分野技術戦略マップ」(最終版)は、平成17年10月5日の産業構造審議会研究開発小委員会に報告され、HP (<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g51013aj.html>) で公開されています。

ただければと思います。

図2に「超長期エネルギー技術ビジョン」の作成検討に至った経緯を示します。同ビジョンは検討開始当時の国際動向やわが国としての問題意識等を踏まえて作成されています。国際機関等で2030年、2050年、2100年までのビジョンも作られていますが、経済協力開発機構・国際エネルギー機関（OECD/IEA）を除いて、ほとんどが環境制約（二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出制約、温室効果ガス排出制約等）の観点から行われた検討です。我々はCO<sub>2</sub>問題ではなく、エネルギーセキュリティの観点からビジョン作りアプローチし、そこに2100年までという超長期の観点を入れ込むことにしました。

## 検討の枠組

### 検討体制とスケジュール

図3にビジョンの検討体制、表1にスケジュールを示します。超長期エネルギー技術戦略研究会のミッションは、将来懸念されるリスクを踏まえ、目指すべき社会を提示し、それを実現するために必要となるエネルギー技術戦略を提案することです。

今年4月半ばの研究会で中間報告（試案）が承認され、7月に産業構造審議会研究開発小委

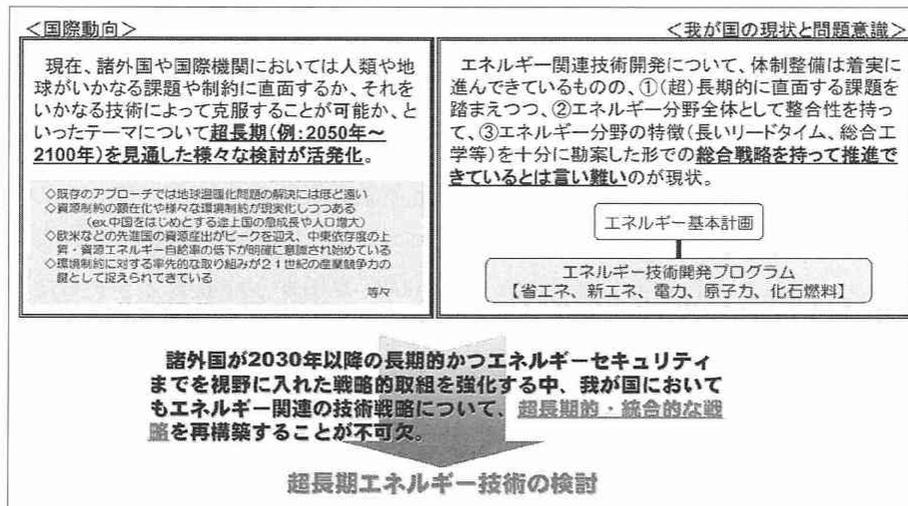


図2 検討に至った経緯

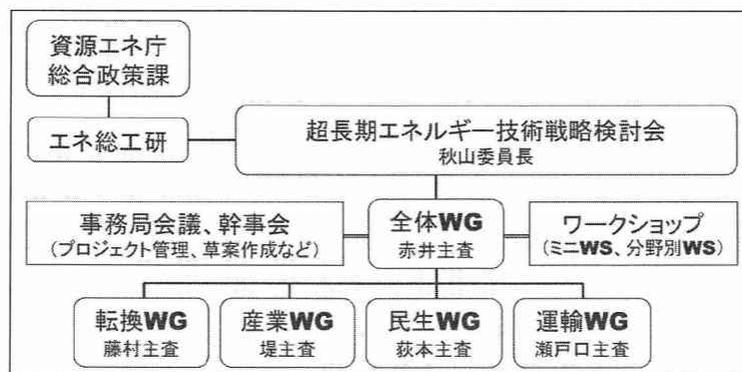


図3 検討体制

表1 スケジュール

2004年8月6日：キックオフミーティング (METI/IAE/赤井)
2004年8月31日：ミニワークショップ開催 (講演7件, 参加者42名)
2004年10月7日：平成16年度第1回全体ビジョン ワーキンググループ会合
2004年10月29日：平成16年度第1回超長期エネ ルギー技術戦略研究会
2005年1月初旬：分野別ワークショップ開催
2005年2月15日：民生分野第1回ワーキング グループ会合開催
2005年4月13日：平成16年度第4回超長期エネ ルギー技術戦略研究会 －中間報告骨子案承認
2005年7月27日：産業構造審議会・研究開発小委 員会にて中間報告
2005年8月24日：平成17年度第3回超長期エネ ルギー技術戦略研究会 －技術戦略マップ案承認

員会で中間報告がなされました。8月末に技術戦略マップの詳細案が承認され、その後、ブラッシュアップを経て、10月5日に産業構造審議会・研究開発小委員会で報告される予定です。

その他に、海外との連携もあります。例えば、IEAのCERT（エネルギー研究技術委員会）関係の専門家会合、米エネルギー省（DOE）、欧州連合（EU）、フランス、ドイツ、イギリス等の政府機関とのディスカッションがあったり、IEAワークショップでの紹介とか、G8サミット（先進国首脳会談）の準備会合的なワークショップでの紹介なども併せて進めてきました。

### 検討の背景

超長期ビジョンを考えようとした際に、表2に示す背景がありました。問題意識としては、今の経済産業省における技術開発プロジェクトが短期プロジェクトにシフトし過ぎているのではないかと。やはりエネルギー関係は超長期を考えないと意味がないわけですし、5年ぐらいで商品化できるものに果たして国の投資が必要かどうかといった疑問点も議論

表2 ビジョン策定をとりまく背景

● 国の技術開発政策に対する問題意識
● 次期温暖化防止枠組交渉（ポスト京都議定書）
● 経済産業省「技術戦略マップ」の策定（産業技術環境局） －エネルギー分野は資源エネルギー庁で作成
● G8首脳会合（グレンイーグルズ、平成17年7月6日～8日）の議題（気候変動＋アフリカ）への対応
● トリプル50（持続型社会研究協議会） －2030年での目標として「エネルギー利用効率50%」「化石燃料依存率50%」「自給率50%」を設定

表3 ビジョン策定の基本的なスタンス

● 3E（経済、環境、エネルギー）のトリレンマ克服のために技術の役割の重要性を論じ、次期温暖化防止枠組交渉（Post-Kyoto）で世界をリードすべき。
● 世界のエネルギー関連マーケットでわが国が長期的に競争力を発揮すべき。
● 内外で共有可能な長期のエネルギー技術ビジョンを策定し、その実現を裏づける技術シーズを発掘し、戦略的な技術開発に取り組むべき。 →研究開発プログラム検討、資源配分に活用
● 第3期科学技術基本計画におけるエネルギー技術開発の重点化

されました。それから、最初に述べたように、日本の環境などを考えた場合、長期の検討では環境問題よりもエネルギーセキュリティこそ重視すべき問題点であろうという意識が強くありました。検討に当たっての基本的なスタンスは表3のとおりです。

### 作業範囲を「2100年まで」にした理由

なぜ2100年までなのか。1つは制約の顕在化を考えたからです。資源制約では数十年単位から100年単位、環境制約では100年から数百年、あるいは1000年単位で考える必要があります。資源制約では、化石燃料生産が世界的に比較的2050年より手前の方にピークがあるという図4のような試算（オランダ・エラスムス大学Odell教授による）が最近増えています。楽観論もありますが、そういったものも背景にあります。環境制約でも図5のように、化石燃料の使用に伴うCO<sub>2</sub>排出によって

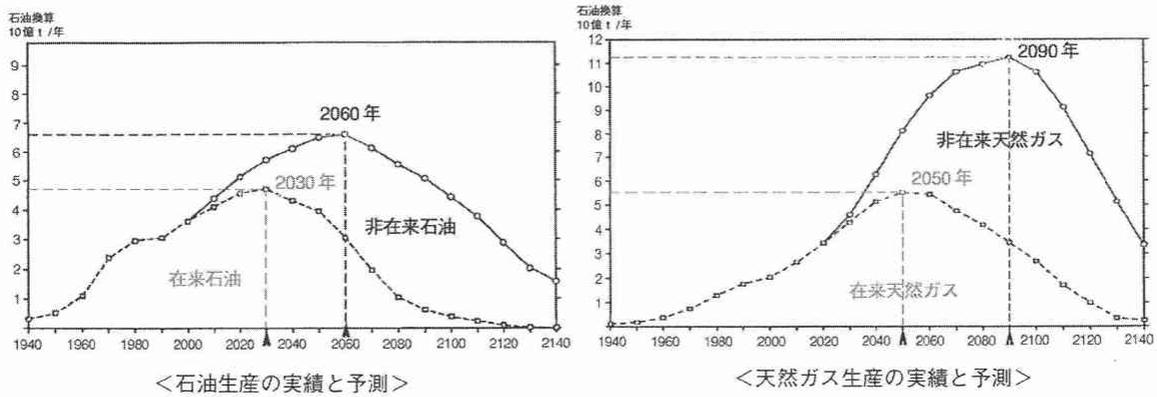
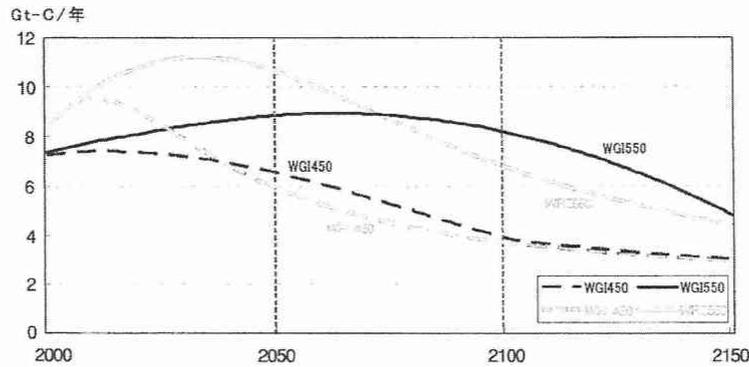


図4 化石エネルギーの生産ピーク予測



※ 550ppm, 450ppmで安定化させるケースについても様々な試算がされており、IPCCにおいて検討されたWG I シナリオ(Working Group Iにおける試算)、WREシナリオ(Wigley, Richels, Edmondsの3氏による試算)の試算を示す。

図5 世界のCO<sub>2</sub>排出シナリオ

大気中のCO<sub>2</sub>濃度や温度が落ち着くまでにかかる時間を考慮すると、少なくとも100年単位で考えないと本質的な解決策を語れないということもあります。

また、研究開発から実証、実用化、あるいは市場導入までの時間や技術ストックのターンオーバータイム、発電所の寿命、インフラ整備に

かかる時間、規模等を考えると、5年～10年の検討をしても無意味な場合があります。

バックキャスト手法による検討

Opportunity-oriented (機会志向的) な手法がフォアキャスト, Goal-oriented (目標志向的)

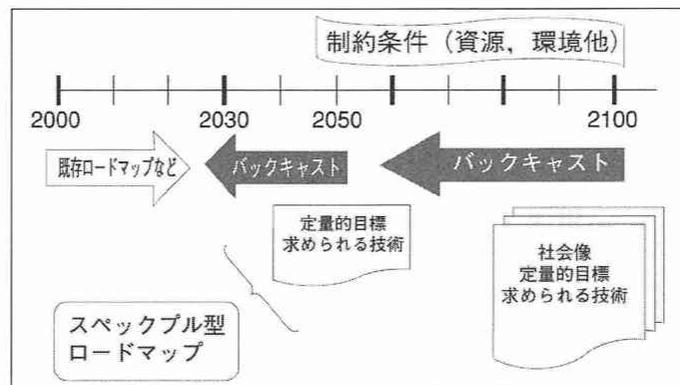


図6 バックキャストによる検討手順

な手法がバックキャストです。バックキャストでは、最初に将来のゴールを設定し、そこから現在に向けて後ろ向きに作業をすることになります。

バックキャストを使って検討した手順をまとめると、図6のようになります。資源や環境の制約条件を考えながら、2100年時点での望ましい社会像を描く。そこから定量的目標を設定して、求められる技術がどのようなものか現在まで逆算してくる。その時に、2050年、2030年あたりをベンチマークとして、二段構えでバックキャストしています。既に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や経済産業省で作られている様々なエネルギー技術に関するロードマップも眺めていますが、現時点で私たちの技術ビジョンと整合性を持たせようという努力は一切行っていません。

---

## 検討の途中経過

---

### 将来の社会像

将来の社会像は、①経済が発展し、生活の質が向上する社会、②必要なエネルギーが量的に充足でき、安定的に得られる社会、③住みよい地球環境を保持した社会、④国際協力により技術革新・先進技術の利用を進めている社会、⑤国・地域の特性を活かした選択を通じた柔軟な社会、の5つの要素で構築しました。つまり、良い意味での人間中心的な価値観を基本に置いていると認識しています。

制約については、特にエネルギーセキュリティ、次いで環境を強く配慮して条件を設定する。制約の解消には、市場メカニズムの活用を基礎を置いた技術による貢献を最重要視する。例えば、環境制約を解消するために、強引に経済的な手法をとるよりも、技術が市場メカニズムで普及していく世界を想定してどこまでいけるか考えてみるということが基本です。

### 将来展望（世界）

世界の人口は増加して経済も成長し続ける。それに伴って、エネルギー消費も増加していくことを想定しました。まず、国内総生産（GDP）をベースに置いて、それに沿ってエネルギー消費等も伸びていくと考えるものです。化石燃料については、検討の制約条件として、資源の有限性を設定しました。ただ、CO<sub>2</sub>排出については、CO<sub>2</sub>濃度は将来的に安定させるために、排出総量を議論するのではなく、GDP当たりのCO<sub>2</sub>排出量である排出原単位（CO<sub>2</sub>/GDP）の改善を目標としました。

### 資源制約、環境制約の仮定

資源制約については、石油生産ピークを2050年ぐらい、天然ガス生産量ピークを2100年ぐらいと仮定しています。

経済成長については、GRAPE（Global Relationship Assessment to Protect the Environment）モデルによる計算結果と他の色々な予測との整合性をとって、世界のGDPは2050年で現在の3倍程度。2100年で10倍程度と想定し、日本のGDPは2050年で1.5倍程度、2100年で2倍程度と想定しています。

環境制約については、将来、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を550ppmで安定させる色々なシナリオを見ると、ほとんど2100年ぐらいで現状と同程度のCO<sub>2</sub>排出量に抑える必要があるという点で共通しています。それをベースに、GDPから逆算して、排出原単位を2050年に2000年の3分の1ぐらい、2100年には2000年の10分の1ぐらいにしておくという制約を仮定しました。

日本の排出原単位は非常に少ないのですが、将来にわたって世界をリードし続けるためには、世界と同一のさらなる原単位の改善をわが国の目標として設定することにしました。

こういった制約条件を需要分野（民生、運輸、産業）ごとにブレークダウンして、こういった技術スペックが必要になるか検討する。

その際、供給側のエネルギー構成について、取りあえず極端に厳しい条件下で、先ほどの制約を克服できる技術を拾い出して、そのスペックを見るという作業をやってきました。結果として、すべて達成できれば先ほど紹介しました排出原単位の3分の1とか、10分の1を超える達成が可能になります。

極端な3ケースによる技術の洗い出し

図7が3つの極端ケースです。冒頭に紹介しました新聞記事では、この3つのケース自体があたかも目標であるかのように書かれています。これらのケースは技術を洗い出すために設定した極端ケースであって目標ではありません。目標はあくまでも前述した5つの要素で構成される社会の実現です。

その時に、例えば、水素社会や分散型エネルギー社会、バイオマス社会だとかを議論の前提にはしないということで合意しています。エネルギーに関わる色々な制約が連鎖構造になっていますので、それを断ち切るといったことを検討のアプローチにしました。

産業、民生、運輸、転換の分野別ロードマップについては、得られる効用（生活の質、あるいは経済活動のレベル）は国内総生産（GDP）に比例して増大するとしました。その上で、色々な連鎖を断ち切るために、転換部門から供給されるエネルギー量が極小で済むような技術的な備えがどうあるべきかといった検討を行いました。図8に示しましたが、効用をGDPに比例して増やすとなると、通常は最終エネルギー需要が増大するわけですが、その関係を断ち切るのが必要だろうということです。そこには、省エネや高効率利用といった技術が対策として入ってきます。

次に、最終エネルギー需要が増大すると普通はそれを満たすために一次エネルギー需要が増大するわけですが、ここも効率改善によって連鎖を断ち切ります。

それから、一次エネルギー需要の増大は、現在のエネルギー供給構造ですと化石エネルギー需要の増大となります。その場合の対処の1つとして、例えば非化石エネルギーに置き換える

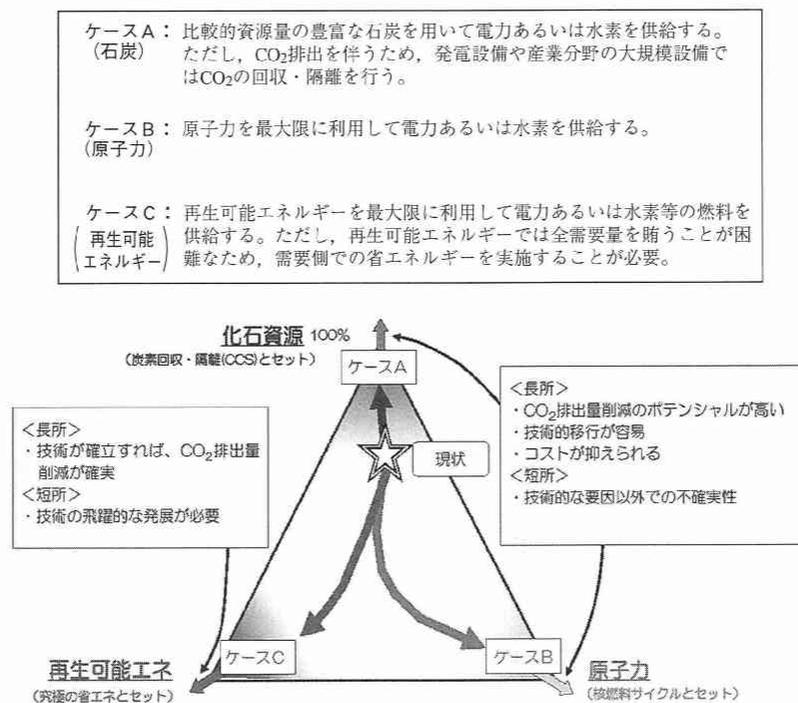


図7 3つの極端なケース

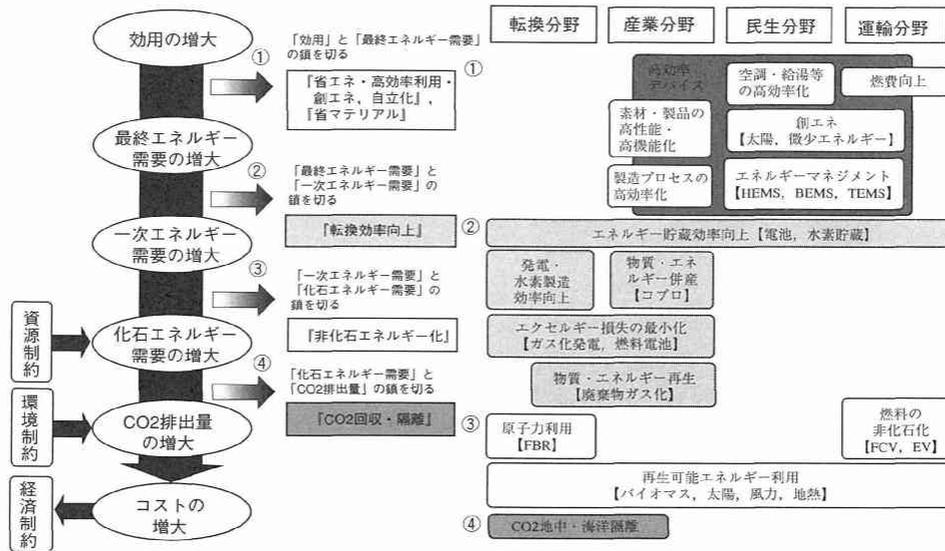


図8 制約克服のための連鎖脱却と技術の全体像

ということによって連鎖を断ち切ります。

あるいは、化石エネルギー需要が増大すると、CO<sub>2</sub>排出量が増大するわけですが、ここも例えばCO<sub>2</sub>回収隔離技術があれば断ち切ることができます。こういった連鎖を常に意識しながら考えてきました。

### 極端ケースにおける技術スペックのイメージ

#### [ケースA：化石資源ケース]

ケースAシナリオを想定して、2100年の世界について、代表的な数字をはじめたものを図9に示します。例えば、最終需要端（需要家が使用する所）でのCO<sub>2</sub>回収処分は技術的に無理ですので、最終的な使用エネルギーは

CO<sub>2</sub>フリーな電力か水素を使わざるを得ません。となりますと、発電または水素製造量が現状の約8倍になってしまいます。しかも、2100年時点でのCO<sub>2</sub>回収処分量は、年間40億トンでないといけませんから、とんでもない世界になります。産業分野でも8割以上のCO<sub>2</sub>回収処分が必要だということになります。

#### [ケースB：原子力ケース]

ケースBについても、供給側ですべて面倒を見ようというのに近いですから、ケースAとほぼ同じ世界になります。図10に示しますが、発電または水素製造量は現状の約8倍で、産業分野、運輸、民生も電気と水素でほとんど賄ってしまうという世界です。

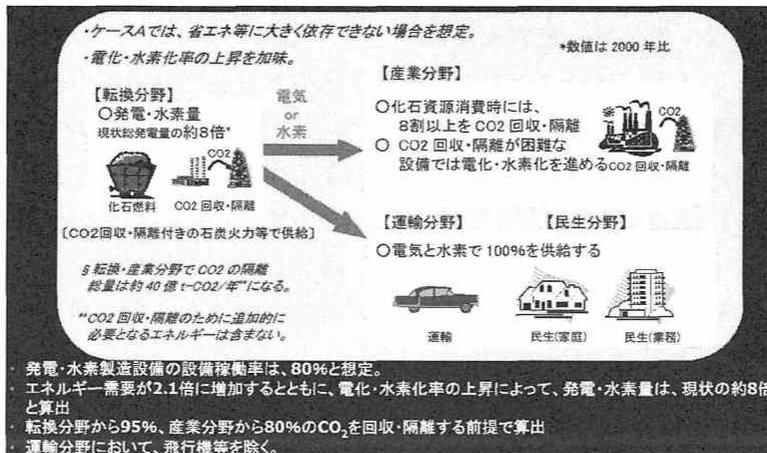


図9 ケースAでの技術スペックのイメージ

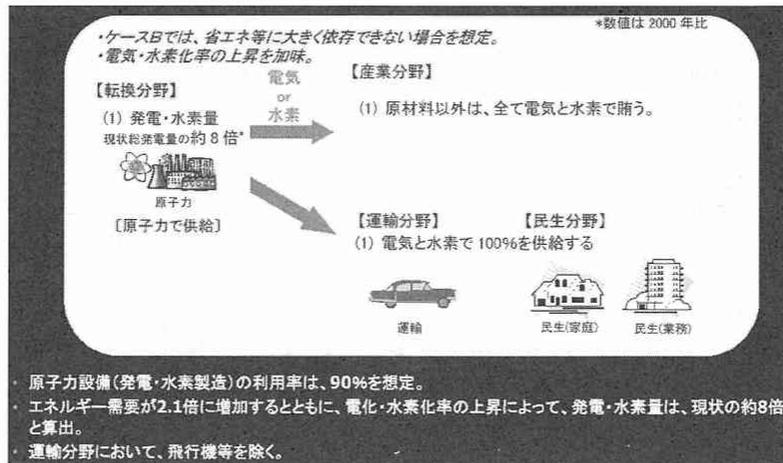


図10 ケースBでの技術スペックのイメージ

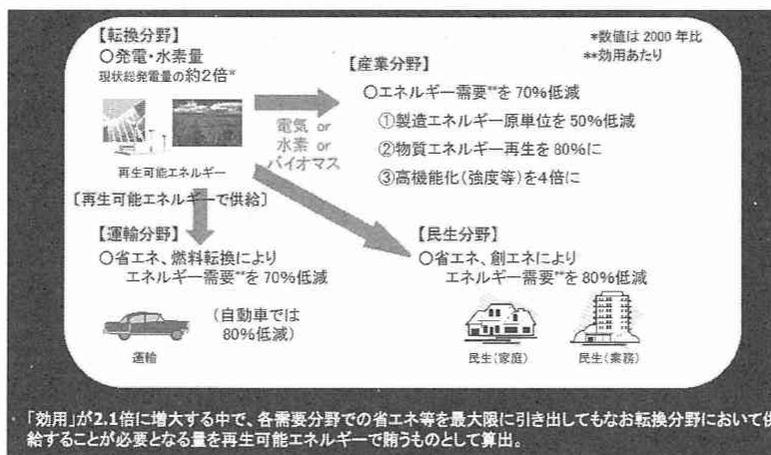


図11 ケースCでの技術スペックのイメージ

### [ケースC：再生可能エネルギーケース]

一番チャレンジングなのが図11のケースCです。まず、省エネで産業分野のエネルギー需要は7割低減します。民生分野では、省エネ、創エネ（家庭用太陽光発電など、需要端でのエネルギー発生、電力発生）で8割の低減です。運輸分野では、省エネ、燃料転換により7割低減します。こういったことを全部やった結果、必要な電力、あるいは水素を賄うとしても発電量は、現状の約2倍になってしまいます。

こういった厳しい条件の下で、各分野特有の技術的要請から技術をピックアップして、ロードマップの作成を進めています。また、ビジョンと全体的なストーリーラインを描いた後で、GRAPEモデルを使ってエネルギー需

給イメージを検証しています。

さいごに

今後のスケジュールとしては、5日の研究開発小委員会で分野別の詳細版まで含めた資料が公表されることになっています。その後、今年度いっぱいかけて、既存のロードマップとの整合性についての検討、あるいは特に産業分野でかなり無理をしているので、そういった分野でもう少し検討を深めるべきではないとか色々な議論がありますけれども、このあたりについては今後お役所、あるいは事務局とも相談して進めていく予定になっております。以上です。(拍手)

[特別講演]

## 原子力安全を考える —「情報の非対称性」と「コミュニケーション的行為」—

鈴木 篤 之 (原子力安全委員会 委員長代理  
東京大学名誉教授)



### はじめに

#### 標題について

私が原子力安全委員会委員を拝命してから4年半になります。

本日の演題ですが、「情報の非対称性とコミュニケーション的行為」としました。詳しくは後述しますが、「情報の非対称性」とは、情報を提供する側と受ける側で情報の量と質に差があるということです。ここでは、提供する側に絶対的な優越性があり、そこに色々な問題が起こる可能性が秘められています。また、「コミュニケーション的行為」とは、「暴力・抑圧に支配されず対話を交わし、相互理解に到達するコミュニケーション的理性の力に基づく行為」と定義できます。これらのキーワードを使って、原子力安全委員として原子力安全に関連して起きた色々なことに携わりながら、日頃感じていることをお話しさせて頂きたいと思います。

#### 『安全神話』の崩壊—安全から安心へ

私が委員になる前、1999年にジェー・シー・オー（JCO）事故が起き、「『絶対安全だ』と言われていた原子力の『安全神話』が崩壊した」と言われました。JCO事故を総括した『原子力安全白書』（平成12年版）の「はしがき」の中で、松浦祥次郎・原子力安全委員長が「実際に

#### 〔略歴〕

1971年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。1986年同工学部教授。1993年同大学院工学系研究科教授（システム量子工学専攻）。2001年原子力安全委員会委員（非常勤）。2003年より現職。日本学術会議会員、米国科学アカデミー理事。

専門は核燃料サイクル工学。現在、核燃料サイクル安全、放射性廃棄物環境安全、原子力安全の社会化（セイフティ・コミュニケーション）、原子力安全の国際化（グローバル・パートナーシップ）といった課題に取り組む。

はどんなに注意を払い、努力を重ねても事故・故障を皆無にするなどということは人工物ではあり得ない。すなわち「絶対安全はない」と改めて書かれました。それが当時新聞の社説等でも取り上げられて、「原子力安全委員会は、よく勇気をもって『絶対安全はない』と言った」と評価されたことを覚えております。

次に、「安全だけではだめで安心が大事なんだ」と言われます。実際どこまで安全を向上させていけば皆さんに安心してもらえるのかということが、一種の悩みになっていると感じます。また、同じような意味で、事故やトラブルが起きると、問題は技術というよりは、その技術に携わる人々や組織の安全文化の問題だと言われることがあります。では、どう具体的に取り組んでいけばいいのか。それが悩みだと感じているところです。

こういうことを考えていくに当たっては、やはり、原子力安全の社会性を考えざるを得ません。つまり、社会との関わり合いを通じて日本的な仕組みとして何が必要なのか考えなければならないということです。

## 1. サイモンの「手続的な合理性」

原子力安全も科学技術の1つだという理解で、私が以前から非常に参考にしているのが、アメリカの経済学者ハーバート・A・サイモン<sup>※1</sup>の『システムの科学 (原題は “The Sciences of the Artificial”)』(1999年, パーソナルメディア社)です。サイモンは、これら一連の業績で1978年にノーベル経済学賞を受賞しています。私自身、サイモンの『システムの科学』を非常に参考にして、大阪大学の元田先生と一緒に『システムの設計・運用・評価』(岩波書店)という教科書を書きました。

私が理解するサイモンの考え方というのは、「学問では理論とともに実践が大事であり、また、その実践を理論化することも大事だ」いうことです。また、彼は「実体的な合理性と同時に、手続的な合理性が大事だ」とも説いています。「実体的な合理性」とは、古典的な意味での満足度と言えます。ところが、個人的な考え方も含めて、人がそれを合理的だと思うには、単なる勘ではなく、学習・ヒューリスティックなアプローチ(経験則)による「手続的な合理性—procedural rationality」も必要だ。その手法というのは、計画や管理の主に経験知的側面に焦点を当て、社会や企業活動に内在する法則性を知り、意思決定の一

## 2. スティグリッツの「情報の非対称性」

アメリカの経済学者スティグリッツ<sup>※2</sup>は、非対称な情報のもとでの経済活動の分析に関する業績によって、2001年にノーベル経済学賞を受賞しています。その手法である「ゲーム論」で、サイモンが重要だと言った学習・ヒューリスティックな手法が使われているのではないかと思います。

スティグリッツが「情報の非対称性」で説いていることの1つ目は、情報を提供する側と受ける側がいる場合、情報を提供する側に絶対的な意味で優越性があり、そこに色々な問題が起こる可能性が秘められているということです。「悪貨は良貨を駆逐する」的な例として、中古車市場が挙げられます。例えば、私が持っている車がある人に売ろうと考えた場合、その車の壊れ具合や性能について一番知っているのは私です。買う相手はよく分かりません。こういう中で、通常の市場メカニズムを通じた取引が続けられていくと、「安くて悪い車しか市場に出回らない」という結末となります。そういう構造をもっている限り、本当にいい車が中古車市場に出回ることはなくなるわけです。

しかし、実際には「情報の透明化」によって情報所有者や情報提供者の信頼度評価がなされ、悪い車を高く売ることができなくなるという自浄の仕組みができています。最近、

---

※1 ハーバート・アレクサンダー・サイモン (1916~2001)

1942年にシカゴ大学から政治学博士号を取得、イリノイ工科大学を経て1949年からカーネギーメロン大学教授。研究の機軸は組織論の分野で、組織における人間の限定合理性と意思決定過程の研究を行なった。その一方で人工知能のパイオニアでもあり、アラン・ニューウェルと幾つもの意思決定支援システムの構築に携わった。人工知能への貢献から1975年にアラン・チューリング賞を、1978年にはノーベル経済学賞を受賞。

※2 ジョセフ・E・スティグリッツ (1943~)

アマースト大学 (1960年~1963年)、大学の最終年(4年)から大学院までマサチューセッツ工科大学。フルブライト給付生として英ケンブリッジ大学 (1965年~1966年) で学ぶ。その後、マサチューセッツ工科大学とイェール大学で教え、現在、コロンビア大学教授。日本でも一時期慶應義塾大学で客員教授を務めた。2001年「非対称情報下の市場経済」という経済分析の発展に対する貢献で、G.A. アカロフ、A.M. スペンスとともにノーベル経済学賞を受賞。

クリントン政権下の経済諮問委員会委員長 (1995年~1997年)、世界銀行の上級副総裁・チーフエコノミスト (1997年~2000年) を歴任。

ネットオークションが非常に流行っている理由の1つはこれなのかも知れません。

2つ目が情報社会にはもともと「情報の非対称性」が存在しているということです。そのために、モラルハザードが起きます。例えば、あるプロ野球選手が身体を壊していることを隠して、ある球団と契約を結び、その契約後に急に「身体を壊してプレーできません」と言って、契約金だけ持っていってしまうことが「情報の非対称性」が招いたモラルハザードかも知れません。

失業保険というセーフティネットもモラルハザードを招く要因の1つです。セーフティネットが完備され、働かなくてもお金がもらえるようになると、働く意欲がなくなってしまいます。

これらの例は、個人の善悪の問題ではなく、社会に「情報の非対称性」があるために、人間というのはそもそもそう行動する可能性が高い生き物なんだということを、スティグリッツは言っているんだと思います。

対策として事後評価による防止があります。例えば、プロ野球選手との契約では出来高払いにすれば良いですし、原子力安全の規制でいえば、アメリカで採用されている成績評価型規制（成績に応じて規制の程度を決めていく仕組み）などを挙げることができます。

### 3. ハーバマスの「コミュニケーション的理性」

ドイツの哲学者ユルゲン・ハーバマス<sup>※3</sup>の著書を読んでみますと、「非対称性」とか、「実践」だとかいう言葉が使われていて、サイモンやスティグリッツとの関連を感じます。

ハーバマスは、『コミュニケーション的行為の理論』（1984年）で「公共の場を通じて相互理解に至るコミュニケーション的理性」が人間にはそれぞれ備わっているものであって、コ

ミュニケーション的理性に基づいて、議論することがいかに大事かを切々と訴えているというのが私の理解です。

ハーバマスによると、昔、伝統的社会から近代資本主義社会への移行がなされたことは合理的なことだった。つまり、目的合理的行為が社会の規範的構造に合致し、しかも、経済発展の持続が目的合理的行為の自己持続性を保証した、つまり、その近代資本主義社会への移行という行為を社会が認めていたのではないかと言うことです。

近代資本主義社会に移行してからの時代というのは、科学技術が財やサービスを増大させることで生活水準の向上を約束してきた時代です。このことが、科学技術の目的合理性や正当化につながり、極端な場合には科学技術そのものがイデオロギーになって信奉されるようになってしまいました。そういう流れの中、「社会的意志決定と目的合理性との一致」が「効率化」であるという認識になって、この効率化を社会が追求した結果、ハーバマスによれば、社会的意志決定の場（公共圏 Public Sphere）がどんどん小さくなってしまった。そこで、公共圏でのコミュニケーション的行為（Kommunikatives Handeln）の回復が必要だと彼は提唱していると思います。つまり、真に合理的行為はコミュニケーションへの制約（権力による支配、コミュニケーション的パターンの非対称性）の除去であって、それを通じて啓蒙された人間の行為にとっては理論と実践（praxis）が必要なんだと言うことです。

### 4. 「アレーの逆説」

人間による選択という行為を説明する理論に「期待効用仮説」があります。例えば、表1の選択問題Iを考えてみましょう。新しい機械を導入せず現状のままでいる選択肢（M）と新し

※3 ユルゲン・ハーバマス（1929～）

ドイツの哲学者。近代を築いた礎石としての「合理性」をあくまで信頼し、強制や支配のないコミュニケーションによって生み出される合意こそが、真に生産的な力であると見なす。主な著作に、『公共性の構造転換』『コミュニケーション的行為の理論』（未来社）、『新たな不透明性』『事実性と妥当』など。

表1 「アレーの逆説」

選択問題 I M：（1年間連続運転：1.00） N：（2年間連続運転：0.10, 1年間連続運転：0.89, 運転不能：0.01）
選択問題 II Q：（2年間連続運転：0.89, 運転不能：0.11） P：（1年間連続運転：0.90, 運転不能：0.10）

い機械を導入する選択肢（N）があるとします。Mでは1年間の連続運転が100%保証されます。他方、Nでは、1年間の連続運転が89%保証され、2年間の連続運転が10%保証されるけれども、運転不能になる可能性が1%あります。

MとNについて、確率から期待値を計算して便益が大きいのはNです。期待効用仮説に基づいて人々が行動するならば、Nが選択されるはずですが、ところが、フランスの経済学者モーリス・アレー<sup>※4</sup>は「確実性の効果（certainty effect）」によって、現実の世界では多くの人が確実性の高いMを選択する、つまり、運転不能になる可能性が1%あるものよりも1年間確実に運転できる方を選ぶ人が多いと言うのです。

今度は表1の選択問題IIを考えてみます。PとQの間での選択です。Pは1年間の連続運転の可能性90%、Qは2年間の連続運転の可能性が89%、運転不能の可能性がそれぞれ10%と11%です。これは見た感じほとんど変わりありません。こういう場合は期待効用仮説に従って人はQを選ぶはずですが。

選択問題IとIIで一貫性がないのです。この非一貫性は期待効用仮説にとっては矛盾です。このことを「アレーの逆説」と呼びます。このことから学べるのは、同じ問題であっても、状況によって人の判断が変わるということです。人の判断に一貫性がないということは、期待効用仮説から言えば矛盾なのですが、人が物事を決める実際からすればこの方が自然だということもあるとアレーは言っているのだと思います。

※4 モーリス・フェリー・シャルル・アレー（1911～）

フランスの経済学者。市場と資源の効率的活用に関する理論への先駆的な貢献に対して、1988年ノーベル経済学賞を受賞。

---

原子力安心・安全とコミュニケーションのあり方

---

リスク・コミュニケーションから

セイフティ・コミュニケーションへの拡大

これまでの考え方を参考に、原子力安全とコミュニケーションについて考察してみます。

リスクについて関係者の間で信頼を醸成し、意思疎通を図ると言う「リスク・コミュニケーション」は非常に重要です。発生頻度が高いものほど手立てを講じる必要があるので、安全対策を色々考えなければいけません。

図1をご覧ください。右に行けば行くほど発生頻度が高くなりデータが集まってきて定量化が可能となり、客観的なデータでの議論ができるようになります。そうなればなるほど、新しいことを知らなくてもいいわけですから、「リスク論的な情報の価値」は、右に行くほど減っていきます。逆に、左に行けば行くほど、つまり、発生頻度が低くなると「リスク論的な情報の価値」が上がっていきます。ところが、あるところから、それ以上一生懸命調べてもなかなか情報として得られない、頻度が非常に低い領域に入っていきわけです。そういうことを前提に、どこまで発生頻度の低い事象を議論すればいいのかというのが「安全目標論」です。これは国際的に $10^{-4}$ /年、あるいは $10^{-6}$ /年の間に「安全目標」があるのではないかとされています。

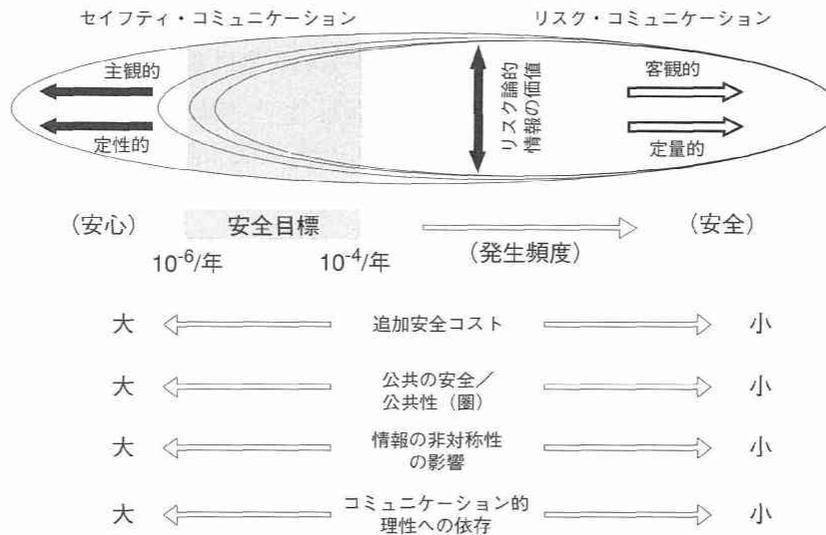


図1 原子力安全とコミュニケーション

原子力安全委員会でも専門部会の提言を受けて、暫定的に $10^{-6}$ /年を提示しています。

リスク論的な考え方に基づいて、ある種の議論、リスク・コミュニケーションができると思いますが、そこからさらにはみ出した部分(図1の安全目標の左側)があるのではないかと思います。

これをより広い意味でのコミュニケーションということで「セイフティ・コミュニケーション」と呼んでみました。左に行けば行くほど主観的にならざるを得ないし、定量的な議論が難しく定性的になっていきます。「安心が大事なんだ」ということは、こういう部分だというふうに理解してみたわけです。こういう理解をすると、追加安全コスト、公共圏のコミュニケーションと、情報の非対称性の影響が、コミュニケーション的理性への依存のいずれもが大きくなります。ですから、技術的な議論だけでは決められない領域だと思います。

#### 日本的なコミュニケーションの仕組み

##### 一不安定な協調的選択

こういうことが実際起きている中で、日本的

な仕組みがどうなっているのか考えてみます。

選択の形として、まず、「切磋琢磨の競争的社会の選択」があります。相手より早ければいいということで、先見性、自発性で勝負は決まると思います。しかし、これは「独善的なもの」であって、本当にそれがいいかどうか問題があります。

次に、「独自性重視の非協調的選択」があります。これが安定化につながるわけですが、非社会的ではないかという問題を生じます。

したがって、日本では、少なくともこれまでは「社会的な選択優先の協調的選択」がとられてきています。誰も損をしない「パレート最適」<sup>※5</sup>なやり方です。しかし、不安定であるという問題があります。

協調的選択が不安定であることを示すゲーム論として、「囚人のジレンマ」があります。例えば、ある運転のやり方を変更するかしないかをA社とB社がそれぞれ独自性に基づいて選択しようとする場合、結局、もう一方がどのような行動をとろうが自分が損をしないように行動するわけです。表2で運転コストを比較すると、500より200の方が小さく、100より50の方が小さいわけですから、A社もB社もコ

※5 与えられた資源、技術、嗜好のもとで、他の財の産出量を減少させることなしには、少なくとも1財の産出量を増加させることができない状態、あるいは、他の消費者の地位を悪くすることなしには、少なくとも1消費者の地位を良くすることができない状態。「パレート最適」は最も効率的な資源配分を示す基準である。

表2 「囚人のジレンマ」的意思決定

A社 \ B社	変更する	変更しない
変更する	I. 独自性 (200, 200) <sup>※</sup>	II. 競合性 (50, 50)
変更しない	II. 競合性 (500, 50)	III. 協調性 (100, 100)

- I. 独自性 (安定的決定 (均衡解),  $200 < 500, 50 < 100$ )
- II. 競合性 (競争的決定 (独善的),  $50 < (100, 200, 500)$ )
- III. 協調性 (パレート最適解),  $100 < (200, 500), 100 > 50$ )

※ (A社が負担するコスト200, B社が負担するコスト200) -編集部注

コスト最小を期待して50を選ぶ, すなわち「変更する」を選ぶこととなります。しかし, 結果として両社とも「変更する」を選んだために, 実際のコストはそれぞれ200になってしまいます。それに対して, もし協調できれば, 両社とも「変更しない」を選んで, それぞれ100の負担で済むのです。

### 原子力安全と社会の相互依存性

わが国の原子力安全における状況を「社会」, 「自治体」, 「規制当局」, 「事業者」の関係で考えたのが図2です。原子力安全, 特に運転等を通じた実際について一番知っているのは, 「事業者」で, 次に「規制当局」, 「自治体」, 最後に「社会一般」の順になります。

規制当局は「情報の非対称性」が社会問題化するのを避けるために, 「事業者」に対して「規制」という対抗手段を持っています。

「社会」は「自治体」に対して「選挙」という対抗手段を, 「自治体」は事業者に対して「安全協定」という対抗手段を持っていると言えます。

また, 「社会」は「規制当局」に対して「説明責任」を求めることができます。「社会」と「規制当局」との間に信頼関係があれば特に求めることもないのですが, 実際に「説明責任を果たせ」という要求が出ていることが多いです。

最後に, 「社会」と「事業者」の関係です。市場メカニズムが働く場合, 例えば, 車の場合にはメーカーやディーラーが「情報の非対称性」をかさに (相手が自分よりも商品について知らないことをいいことに) 自分だけが得するような取引をすれば, 市場を通じて淘汰され, そういう問題が起こらないようにする市場メカニズムが働くと思います。

しかし, 原子力安全の場合, 主として商品は電力で, 競争的な通常の市場とは違う状況で取引が行われています。したがって, 市場を通じた自然淘汰的メカニズムは働きません。

そこで, 私は特に原子力安全については「セイフティ・コミュニケーション」というのが求められているのではないかと思うわけです。

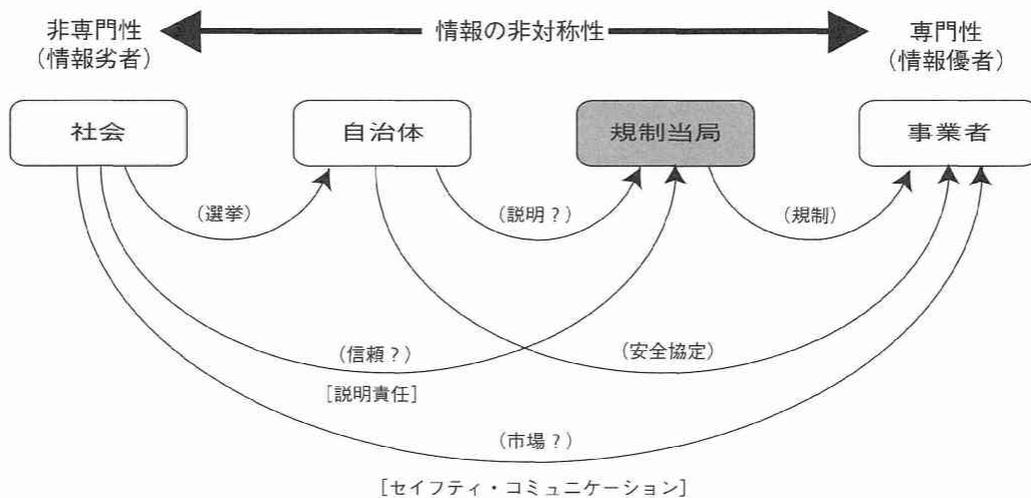


図2 わが国の原子力安全に関する関係図

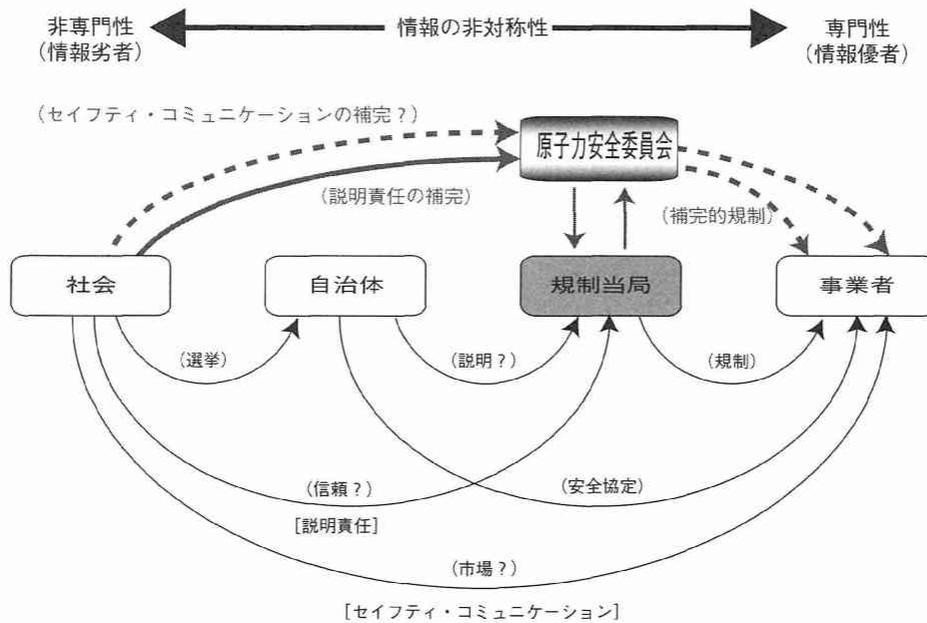


図3 原子力安全委員会に期待される補完的役割

### 原子力安全委員会に期待される補完的役割

「原子力安全委員会」は国際的に見てユニークな存在です。一言で言えば、日本独特の機関で、図3に示すように、セイフティ・コミュニケーションの輪の中で安全委員会がある種の役割を果たすことが期待されているのかも知れません。

規制当局の規制を補完する（設置法で規定）のはもちろんですが、原子力安全委員会の持つ本当の意味は、規制当局と事業者の間にある「情報の非対称性」によって大きな問題が起きないようにするために予め作られた仕組みなのだと思っています。

しかし、事業者と社会一般とがある種の情報交流するとなると、専門性が障壁になって難しいとよく言われますし、現実にもそういうことが多いと思います。より専門化していく（専門性の分化が進む）と、結局、コミュニケーション的行為が大事なことが分かっていますが、やりとりが形式化していき、コミュニケーション的行為が行いにくくなってしまいかも知れません。

専門性を高めていくことが専門家ですから、私は「専門性の分化」はやむを得ないと思う

のです。「情報の非対称性」の拡大は避けられませんから、「情報の非対称性」そのものを解消するのは難しいです。したがって、事故・故障・トラブルの発生が引き金になって、「情報の非対称性」が社会問題化する可能性は常に秘められているわけです。

### 「情報の非対称性」の社会問題化を防ぐ仕組み

「情報の非対称性」が社会問題化を防ぐ日本的な仕組みを表3にまとめてみました。

まず、コミュニケーション的行為の強化、例えば規制強化があります。コミュニケーション的行為に必要な要件の1つは公共性（公正性、透明性）だと思っていますが、これは専門性の退化ではありません。公正性や透明性を構造的に兼ね備える専門性の進化、追求が課題になっています。その点で、日本独特の仕組みとして現実的な意味を持っているのは、コミュニケーション的行為としての「安全協定」です。

それから、公共圏における安全性検討の場の多層化、多重化を図る必要があります。規制当局が直接安全性を審査しているわけですが、安全委員会、さらに各自治体においても検討の場

表3 「情報の非対称性」の社会問題化を防ぐ日本的仕組みの例

<ul style="list-style-type: none"> <li>●公正性や透明性を構造的に兼ね備える専門性の進化、追求 コミュニケーション的行為としての「安全協定」</li> <li>●公共圏における安全性検討の場の多層化、多重化 規制当局、安全委員会、さらに各自治体における検討の場の設置。</li> <li>●事業者の自主性尊重 事業者の自主的な取り組みとして耐震強化、軽水炉を持っている 事業者の間での「オーナーズグループ」結成計画</li> <li>●発信情報の上流化・速報化 想定される事故、トラブルが発生した場合の影響に関する説明も必 要だが、事業所内の監視データを直接、情報を得たい人に提供でき る仕組みを用意する。日本原燃(株)が今計画中、あるいは部分的に実 施中。</li> <li>●社会的意志決定の優先 プルサーマル計画と放射性廃棄物処分計画は、コミュニケーション 的行為なくして実現し得ない。</li> <li>●産官学連携による安全研究・人材の育成</li> </ul>
---

を持つということ。こういうことは、他の国ではあまり例がないと思いますが、日本的な仕組みになるのではないかと思います。

最近、規制当局が「事業者の自主性が大事だ」ということをはっきりさせていく努力をしているように感じます。例えば、安全委員会の場でも、事業者が直接来て原子炉の耐震安全の説明をしたり、事業者が自主的な取り組みとして耐震強化を図ることを決めたり、2次系配管の問題を契機に、軽水炉を持っている事業者の間で「オーナーズグループ」を結成しようということが計画されていると伺っています。こういう自主的な取り組みは、セイフティコミュニケーションの1つではないかと思っています。

それから、発信情報の上流化・速報化。これは原子力安全について論理的に想定されるトラブルが発生した時の影響について説明を繰り返すだけでなく、コミュニケーション的行為ということから考えていけば、事業所内の監視データを直接、情報を得たい人には提供できる仕組みを用意することが有効だと感じています。実際に日本原燃(JNFL)では計画中、あるいは部分的に実施されていると伺っています。

それから、社会的意志決定の優先。プルサー

マル計画と放射性廃棄物処分計画は、まさにコミュニケーション的行為なくして実現し得ない例だと思います。

最後に、産官学の連携による安全研究・人材の育成。これも日本独特の仕組みがだんだん作られようとしていると思います。

---

### さいごに

---

原子力安全にもアレーが指摘した「確実性の効果」があるという前提で取り組む必要があります。特に、コミュニケーション的行為によって規制の説明責任を果たすことが重要です。さらに、自由化、多様化、グローバル化が進む中では独自性が奨励される制度、仕組みが原子力安全でも必要だと思います。

セイフティ・コミュニケーションの自律的進化等、日本的仕組みが色々試みられているわけですが、そういうものを長続きさせるためには、仕組みそのものが持っている問題を自ら取り除いていくようなやり方が必要だと思います。

ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

## 巨大技術開発の5W1H

井川陽次郎（読売新聞東京本社 論説委員）



### はじめに

新聞記者として、色々な技術開発を外側から見てきた経験から、今日は技術開発に臨む際にどういうことを考えて欲しいか、また世間一般の方々はどう思っておられるか一端をお話ししてみたいと思います。

### 「5W1H」とは

#### 「5W1H」の意義

新聞記事の基本に「5W1H」があります。記事として成立するためには、原則として、これだけは欠かせないという6つの基本要素、すなわち、When（いつ）、Where（どこで）、

#### 〔略歴〕

1982年東京大学教養学部基礎科学科卒。同年、読売新聞社入社。2003年より現職。  
産業構造審議会知的財産政策部会委員、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会・廃棄物安全小委員会委員。

Who（誰が）、What（何を）、Why（なぜ）、How（どのようにして）のことです。逆に言えば、この6つの要素が明確でないと、モノゴトの実態、実像を正確につかめない、ということになります。表1に実例を示します。

もちろん記事でも、「5W1H」がすぐには分からない、という例はあります。1999年9月に東海村で起きたジェー・シー・オー（JCO）事故の時も当初は、何が何だか分かりませんでした。つまり、「5W1H」がつかめなかったのです。どんな臨界が起きているのか、誰が停めるのか、どのぐらい影響があるのか。何も分からない状態でした。残念ながらモノゴトによっては「5W1H」が明確には分からないこともあります。

表1 「5W1H」による新聞記事の例

「〇〇日▽時ごろ、〇〇町の国道〇号線で、▽▽さんが運転する乗用車が、中央分離帯を乗り越えて横転した。▽▽さんは全身を強く打っており、病院に運ばれたが、腕の骨折などで重傷。 現場は、見通しの良い直線道路。〇〇署で原因を調べているが、ブレーキ痕がないことから、ハンドル操作を誤ったらしい」	
When（いつ）	→〇〇日▽時ごろ
Where（どこで）	→〇〇町の国道〇号線で、
Who（誰が）	→▽▽さんが
What（何を）	→運転する乗用車が
Why（なぜ）	→ハンドル操作を誤って
How（どのように）	→中央分離帯を乗り越えて横転した

ただ、モノ作りでは、「[5W1H]が分からない」では困ります。それがはっきりしないと、まともなモノを作り上げるのは難しい。しかも、作ろうとしているモノが大型になり、複雑になればなるほど、この「[5W1H]」の重要性は増します。関与する人間や組織が広がり、連携して作業を進めるためには、明確で具体的な「[5W1H]」が欠かせません。

「そんなことは分かっている」と言われるかも知れません。しかし、技術開発、とりわけ、原子力の現場を外から見てみると、どうもこの「[5W1H]」が怪しいと思えます。

### エネルギーの技術開発と「[5W1H]」

私は常々、失敗した技術開発においては「[5W1H]」があまりはっきりしてなかったのではないかと感じています。それを明確にするため、なぜ、「[5W1H]」をはっきりさせないといけないか、エネルギーの技術開発に関して、表2にまとめました。

巨大な、あるいは長期にわたる技術開発（原子力開発など）は、携わる人間の数、部品数、お金のいずれも膨大です。そういう場合、

表2 「[5W1H]」が必要である理由

- |                                 |
|---------------------------------|
| ① エネルギー関連の技術開発は国、産業、個人に密接に関連する。 |
| ② 開発に巨額の資金が必要である。               |
| ③ 国民の支持が欠かせない。                  |

国、産業界、社会を構成しているひとりひとりの受けとめ方、あるいは現場で設計図に線を引く人、ネジを作る人、そういう人の意識までが成否を左右します。だから、「[5W1H]」が曖昧だと、とんでもない問題が起きます。開発の方向も、時には見当違いになります。

エネルギーの技術開発を見てみましょう。表3に、風力発電、バイオマス発電、水素エネルギーに関する「[5W1H]」の問題点を示しました。

風力発電は人気がありますけれども、私は風力がどれほど役に立つのか疑問を持っています。例えば、「東京湾に沢山の風力発電所を作ればいい」と考える人がいます。ですが、ただでさえ東京の街は暑い。しかも空気が悪い。東京への風の入り口である東京湾で、風のエネルギーを奪うと、東京はますます暑くなります。問題を悪化させるだけではないか思います。エネルギー保存の法則から当然のことです。それが分かっていない変な期待があるのではないかと心配しています。

これについては、資源エネルギー庁が興味深い試算を示しています。原子力発電所1基分の電力（100万kW）を風力発電で代替しようとする、山手線の内側の3.5倍の面積全部に風車を立てないと駄目だそうです。こんなことを考えてみると、風力というのはいかかなものかという感じがします。どこに作るのか（Where）、どれだけ作るのかが（How）曖昧なまま、非現実的な夢を描いている、というのが私の印象です。

バイオマスもHowが曖昧なまま進んでいる

表3 「[5W1H]」による新聞記事の例

- |                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| ○風力は、実際にどれほど役に立つのか？  | →Why, Howが曖昧。   |
| どこに作ってもいいのか？         | →Whereが曖昧。      |
| いつまでに、どれだけ作るのか？      | →When, Howが曖昧。  |
| ○バイオマスをどう広げるのか？      | →Howが曖昧。        |
| どう役に立つのか？            | →How, Whyが曖昧。   |
| どこに作るのか？             | →Whereが曖昧。      |
| だれが使うのか？             | →Whoが曖昧。        |
| ○水素エネルギーの水素はどこから来るのか | →How, Whereが曖昧。 |

プロジェクトだと思います。例えば、岩手県葛巻町はバイオマス発電に熱心に取り組んでいます。畜産業も盛んですが、2005年春に施行された法律で、牛糞の処分方法が厳しくなりました。その処分のためバイオマス発電をさらに加速しなくてはならなかった時、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）がバイオマス発電の実験サイトとして国内4カ所を選定するというので、葛巻町も応募しました。ところが、愛知万博の会場でバイオマス発電の実験をするというプロジェクトが浮上し、負けてしまいました。本当に必要な場所より、「見せ物的」なプロジェクトが優先されたわけです。地方自治体や民間企業が独自にやれそうな段階まで技術が進んでいるわけでもなく、開発の道筋がよく見えません。

最近話題の水素エネルギーも怪しいところがあります。どなたも、水素がどこから来るのかを言いません。ガス会社の人は、天然ガスから水素を採り取り出すとおっしゃいます。水素エネルギーがグリーンエネルギーであることを宣伝するため、「水素を燃やしても水しか出てこない」とも言われます。ところが、天然ガスから水素を取り出すところで沢山の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）が出てきます。これもどう作るか（How）という点と、どこから水素エネルギーを持ってくるのか（Where）が曖昧です。

#### 愛知万博から外された原子力

「5W1H」の点で一番由々しい問題を抱えているのは原子力です。例えば、愛知万博では、風力、バイオマス、水素、廃棄物発電などは

表4 愛知万博で原子力が隠された理由

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>① 反対運動を誘発しなかったから？</li> <li>② 実は、5W1Hがないから？</li> <li>③ 原子力関係者以外は、原子力の5W1Hを信じていないから？</li> <li>④ 5W1Hを語っても、思惑通りにいかないから？</li> </ul> |
|--|

前面に出ていましたが、原子力はどこにも見当たりませんでした。「原子力隠し」ですね。将来のエネルギー源としてすら話がありませんでした。唯一、ロシア館の片隅に、将来ロシアが開発する原子炉のプラスチック模型が置いてあっただけです。

この状況をどう考えればいいのか。一般には表4のようなことが理由として考えられると思いますが、私は原子力には「5W1H」が明確に示されていない、あるいは示したものが広く信用されていないせいではないかと考えています。

環境団体等が原子力を嫌っているということもあると思います。私が環境庁（現環境省）記者クラブにいた時に、環境団体の方々と銀座で食事をしていたら、絶滅危機種のオオタカを守るために水力発電所の工事が止まったという話になりました。私が「タカを守るのはいいことだけど、発電所も必要なんじゃないか。特に原子力も必要なんじゃないですか」と言いましたら、「お前は原子力業界の回し者だな。出て行け」と喧嘩を売られました。その時に、私は「銀座で夜使っている電気は、ほとんどが原子力発電の電気だ」と反論もしたのですが埒がきませんでした。そんな経験があります。

原子力の「5W1H」が理解されていないせいですね。しかも困ったことに、原子力関係者でさえ、多くの方が「5W1H」に自覚がありません。取りあえず何となく続けているという原子力関係者もいらっしゃるのではないのでしょうか。原子力関係者が「5W1H」を考えたとしても、地元の理解も政治家の理解も得られないし、何よりマスコミが反対したりして、どうせうまくいかない、という悲観論さえあります。

---

#### 「5W1H」が曖昧だと

---

「5W1H」が曖昧だとどういうことになるか。表5にまとめました。特に、世間の誤解、曲

表5 曖昧な「5W1H」が生むもの

- 世間の誤解、曲解を招く。  
→「できるのか」「可能なのか」と。
- 世間の協力が得にくい。
- トラブルが起きた時に猛烈な批判が出る。  
場合によっては命取りに。
- 開発が遅れる。
- 関係者の志気が低下する。
- 全体像が見えず、トラブルの遠因になる。
- 人材が集まらない。

解が出てくる。去年から大騒ぎしている核燃料サイクルの話でも、関連施設が立地している自治体の知事さん達が、「国はやる気があるのか」、つまり「5W1H」を示せ、とずいぶん反発したということです。

はっきりしないので世間も協力した方が良いのか、協力しない方が良いのかよく分からないというところがあります。そのため、ちょっとしたトラブルでも、対応や反応が大きく揺らぐ結果となります。

内部の人間も、目標達成への動機とか、やる気がなくなってしまう恐れがあると思います。核燃料サイクルでも、最近、電力業界の偉い人が週刊誌で「やめた方がいいと俺は思ってるんだ」とコメントしたりしました。業界内の偉い人までそう言い始めると、例えば、再処理関連の技術者は、将来が怪しい、そろそろ転職でも考えよう、となってしまうかも知れません。

無駄な開発、あるいは非合理的なことも内部で起きかねません。2002年夏に起こった「東電原発トラブル隠し」問題では、配管にヒビがあったという点検データを改竄して隠したと言われていますが、この問題はまさに「5W1H」があいまいだったから起きたことだと思います。

問題が起きた当時、維持基準に基づいて点検し、効率化して稼働率を高めるということは、既に世界の潮流になっていました。国の安全保安院や安全委員会でも点検を合理的にし、経費を削減し、なおかつ逆に安全性が高

まるという方策を議論していた最中でした。そういった「5W1H」が現場まで浸透していなかったために起きたのが「東電原発トラブル隠し」問題だと思っています。国や世界全体の流れを把握できていない現場の人たちは、点検期間を短くして金がかからないようにして、稼働率を上げろという圧力が上から来れば、自分で考えるしかないから、変なことになるわけです。

1995年12月に起こった高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム洩れ事故も同じです。この事故では、配管の中にあった「さや管」という温度計が震動で折れてしまい、そこからナトリウムが洩れたわけです。その温度計を作った下請けの町工場の職人さんは、「何でこんな折れやすいものを作るんだらう」と思ったけれど、元請けから発注があったので黙って作ったということです。現場まで何を作っているか、どういう目的でやっているのかという「5W1H」がはっきりしなかったために起きた事故の1つです。

新人採用の場合も、「5W1H」がはっきりしないと、いい人材が集まらない。結局は「先輩に頼まれたから」、「他に働き口がないから」で選び、使命感が欠如する。

#### Whenが曖昧で起きる問題

個別に見てみましょう。Whenが曖昧だとどういう問題が起きるか。いつまでに完成させるのか。それを支える資金や制度、世間の理解を含めて、完成の裏付けがあるのかが大事だと思います。Whenの設定が合理的なのか、ということも重要です。

#### [アポロ計画]

これは成功例です。アポロ計画では、ケネディ大統領が「10年以内に人間を月面に立たせる」と明確なWhenを掲げました。冷戦時代のことから、対ソ連という強い競争意志があり、巨額の資金も確保できました。資金、

制度、世間の理解という裏付けがあった上に、実現可能なWhenを設定したから成功した。

#### [コンピューター開発]

コンピューターの成功も同じです。開発当時は戦時で、「とにかく速く」という明確なWhenがありました。初期の開発に当たったのは、アメリカとイギリスです。

アメリカでは、砲弾の弾道計算用にコンピューター開発が始められました。その前は、数学科を出た女性達が卓上計算機みたいなもので砲弾の飛距離を計算し、一覧表を作って陸軍などに配っていたそうです。これでは効率的でない、戦争に負けてしまう、ということになり、それが原爆開発の「マンハッタン計画」の人達のコンピューター研究と重なって現在につながるコンピューターが誕生したのです。

イギリスでは、コンピューターはドイツの暗号解読用として、自殺した数学者アラン・チューリング（1912～54年）みたいな人を中心に開発されました。ご承知の通り、暗号解読の能力は戦争の行方を決める急務でした。

いずれも国家事業です。Whenを支える資金と組織もありました。

#### [日本のロケット開発]

日本のロケット開発は、Whenを支える資金と組織が十分ではありません。当初の目標は世界に比肩する大型ロケットを作ることでした。開発当初は世界の衛星打ち上げ市場が活況だったからです。ところが、もたもた開発しているうちに市場は冷え込みました。日本として打ち上げる衛星も少ない。だから、これからも苦しい状況は続くでしょう。お金について言えば、日本の宇宙開発予算はどんどん減ってきて現在2,000億です。宇宙開発の中心となっている宇宙航空研究開発機構（JAXA）の予算は1,800億円ぐらいです。これでは開発が順調に進むわけがありません。アポロ計画のように、目標のWhenを掲げたなら、それに見合った投資が必要なのです。

#### [加速器]

素粒子研究で使う「加速器」の開発もWhenの失敗例です。筑波に、クォーク発見を目指して建設しましたが、ゆっくりのんびり作って、お金も小出しにして完成した時には、既に海外に先を越されてしまいました。間に合わなかったわけです。その後、放射光施設にも転用され成果があったということですが、最初の目標と大分違う。

#### [核燃料サイクル]

原子力では、核燃料サイクルでのWhenの設定が曖昧だと思えます。ずるずるやってきて、コストは上昇し、これでサイクルなんかできるのかという論議が噴出しています。個人的には核燃料サイクルはしっかり進めてほしいと思っていますが、Whenがまだまだはっきりしない。こんなことでは、状況はますます厳しくなります。

#### [ITER誘致]

日本のWhen設定と、それを達成する意思の欠如は、海外から見ると異様です。日本と欧州が競った「国際熱核融合実験炉（ITER）」の誘致交渉でも、そこを突かれました。1年ぐらい前の交渉の場で、フランス政府は「日本の『もんじゅ』を見てみろ。1回停まると10年停まる。ITERを日本に持っていくと、ちょっとしたトラブルで10年停まって世界中が迷惑する。だからフランスにあった方がいい」という内容の怪文書を各国に配っていました。それほど日本のWhen設定には信用がないというわけです。日本の技術開発にとって極めて残念なところでは。

#### Whereが曖昧で起きる問題

#### [ITER誘致]

ITERの誘致交渉ではWhereも問題でした。日本は青森県六ヶ所村に誘致すると言っていました。ところが、海外の関係者は、日本原

子力研究所の施設があり、核融合研究で実績のある茨城県に誘致するのだろうと思っていたので、「何で六ヶ所村なんだ。日本はもう誘致を諦めた」と思われてしまいました。だからこそ、欧州は誘致に本腰を入れたのだそうです。Whereの選択は、プロジェクトの成否にかかわるのです。

#### [もんじゅ]

高速増殖炉「もんじゅ」の場合、福井県に新幹線を造ることで改良工事に地元の了解をいただきました。新幹線がないところで研究開発をすると、こういうことも起きるという例です。高速道路を造れということも、他の地域ではあります。新幹線と高速道路がない所に原子力関連施設を立地する時は、こういうことも考えたほうがいい。やはりWhereが大きな制約になると言えます。

#### [ロケット打ち上げ]

日本は鹿児島県の種子島と内ノ浦にロケット打ち上げ場があります。ところが、この打ち上げ場では秋、冬の2～3カ月しか打ち上げができません。漁業関係者との申し合わせがあるためです。この制約が日本のロケット開発にも大きな影響を及ぼしています。大型ロケットを開発して海外から衛星などの打ち上げを受注したとしても、制約があるため計画どおり打ち上げることができない場合もあります。日本が予定している衛星を打ち上げるだけでも目いっぱいだからです。それでも足りないのです。日本はロシアに頼んで衛星を打ち上げてもらっているくらいです。Whereの制約です。

#### [高レベル放射性廃棄物処理]

原子力の場合、一番のアキレス腱は、高レベル放射性廃棄物の処分です。処分場の場所、つまりWhereがなかなか決まりません。

原子力長期計画策定会議などに寄せられた一般からのパブリックコメントを拝見すると、原子力発電や核燃料サイクルに反対している人

は、「ゴミさえ処分できないんだから原子力はやめるべきだ」と言っています。だが、そうするにしても、既にある放射性廃棄物を何とかしなければいけません。これは「50年先ぐらいに何とかなればいいんだ」という意識ではなく、ここ2、3年のうちにある程度目処を付けないと、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターのある青森県との関係が悪化してしまうのではないかと心配です。青森県を最終処分場にしないという約束までしていますので、放射性廃棄物の最終処分場に目処を立てないと、現在の貯蔵、再処理工場の操業にも深刻な影響が出てくるのではないかと思います。

そうであるなら、国や電力業界は、Whereの問題を解決するために総力を挙げなくてははいけません。Whenの問題と同様に、Whereの問題を解決するための投資と組織を充実させることが急務と考えています。

#### Whoが曖昧で起きる問題

Whoが曖昧でも困ります。国がやるのか、民間がやるのか、国がやる場合も、どの役所がやるのか、それから関係者の協力体制はあるのか等が曖昧になります。

#### [地球シミュレーター]

地球シミュレーターという「世界最高のスーパーコンピューター（スパコン）」を国が作って、海洋研究開発機構（JAMSTEC）に置きました。「世界最高のスパコン」ですが、当初、色々な問題があって政府機関だけで使っていて民間では使いにくかったのです。世間では注目されませんでした。これには2つ問題があります。1つは、JAMSTECという独立行政法人に置いたために、他の研究機関や研究者が使いにくいということです。今度、バージョンアップしたスパコンを作るそうです。今度はJAMSTEC以外にも置くということですが、あちこちにスパコンをばらまく国の政策は理解に苦しみます。Whoがいよいよ複雑になってきました。

JAMSTECのスパコンは、地球環境のシミュレーションをすることが当初の目標でしたが、これも課題があります。優秀な研究者が集まらないからです。ここの研究者の任期は2年～5年です。公募しても、地位が不安定なために優秀な研究者が来ないということです。せっかくアメリカから地球温暖化研究で世界的に知られている気象学者、真鍋淑郎さん呼んできて「地球環境をシミュレーションするんだ」と大々的に宣伝したのに、真鍋さんも匙を投げたのかアメリカに帰ってしまいました。

誰がやるのか、誰が責任をとるのが分からないと、こういうものを作ってもうまくいかないということです。

#### [飛鳥]

「飛鳥」という短距離離陸垂直着陸機(STOVL)もその失敗例です。今から30年近く前に科学技術庁(当時)が開発を始め、1機だけ作って「おシャカ」になりました。開発に8年かけている間に、民間会社を作っている飛行機の性能が良くなって意味がなくなりました。これはWhenの問題ですが、同時に、開発したものを誰が利用するのか、というWhoの問題に配慮が足りなかった。結局、民間が買ってくれないため、6年間試験飛行をして引退です。こういう開発は、最初から民間企業と一緒にあってスピードアップしないと、世界での競争に勝てません。Whoの設定に失敗したことで、多額の開発予算が無駄になりました。

#### [遺伝情報解読]

役所同士の争いが原因で失敗した開発に、生物のDNAの塩基配列を解析する「自動遺伝情報解読技術」があります。日本が世界で最初に研究開発に着手していたのですが、たまたま厚生省(当時)から科学技術庁に出向していた担当者が、「何で科技厅とメーカーごときが遺伝情報解読の機械を作るのか。医療への応用をにらめば本来、医者がやるべき仕事だ」というこ

とでやめさせてしまいました。その成果だけ頂いたアメリカでこの技術が急速に発展して、今、世界中に入っているDNA解読装置の多くがアメリカ製という結果になっています。それで儲けた民間研究機関が世界で初めてヒトゲノムを解読したと発表しました。Whoの設定を間違えたという、もうひとつの例です。

#### [核燃料サイクル]

原子力ではどうなのか。原子力は「国策民営」といわれますが、核燃料サイクルも、主体が国なのか民なのかよく分からない状態で進んでいます。世間からはWhoがよく分からない。去年から今年にかけて、民も国も内部分裂しているという印象があったものですから、不信感を抱かせているのではないかと思います。

#### [原子力安全]

原子力安全について言えば、自治体が主体なのか、国が主体なのか良く分からない状態になっています。国の安全保安院と原子力安全委員会が「安全です」と言っても、地元自治体が「俺たちは安全じゃないと思う」と言えば原子力発電所は動きません。色々な理屈をつけて停めてしまうことがあります。今、総合資源エネルギー調査会原子力部会等では、原子力施設が停まっていようがしまいが関係なく同じ額払われている原子力交付金の見直しを議論しているようですが、これがうまくいかどうか、地元の反発もあるでしょうから難しいと思います。

原子力発電所の耐震性という問題も、誰が責任をもって決めるのかはっきりしていません。

個人的な考えを言えば、一定の確率を使って限界震度を決めたとしても、それをオーバーするものだって起きるでしょう。頻発する地震についてはもちろん万全の態勢で、それを万が一超えたときもそれなりの安全が守られるということを基本に、一定の確率を使って規制する以外に方法はないと思います。だから、今議論しているリスク論で耐震強度基

準を決めればいいのに、誰が決めるのか分からないまま、ぐずぐずしていて本当に大丈夫なのかと心配です。

#### [国が主体となった場合の無駄]

国が主体となった場合も色々な無駄が生じます。先程、JAMSTECの話をしました、[JAMSTECの茶室好き]という言葉があります。これは何でお茶かと申し上げますと、この間、海洋掘削船「ちきゅう」が進水しましたが、これ新聞には書かれていないんですが、「ちきゅう」の中には前の理事長の名前に因んだ「拓海」という名前の茶室があるんです。茶室は、横須賀のJAMSTEC本部にも、地球シミュレーターが置いてある横浜センターにもある。茶器まであるらしいんですけど、何で茶器まで国の予算で買うのかというと、国際的な施設に茶の施設があると国際交流が進むというのが理由だそうです。国が主体となった事業にはこういうことがままたま起こることです。国がWhoでも信用できない例がある。私は民の力も知恵も入れるために、開発組合みたいなものをきちんと作るべきじゃないかと思っています。

#### Whatが曖昧で起きる問題

#### [核熱融合]

色々ありますが、中でも核融合はWhatが曖昧な最たる例です。ITERの誘致騒ぎが起きる前、原子力委員会のホームページを見ていると、「今後30年で発電をする」と書いてあるわけです。この理由は、国立環境研究所の研究者の逆算から始まっているらしいです。つまり、「30年後には実用化しないと地球温暖化が由々しきことになるので、30年後にはできていないといけない」という目標から逆算したと言うことらしいです。金をつぎこんでやれば、きっとできるはずだというのですが、甚だ疑問です。核融合がそんなに簡単にできるとは思えない。材料を始め色々な課題はあって、着実にそれに取り

組むことが先です。むしろもっと細かく、途中の目標、つまり何を実現するのかのWhatをはっきりさせないと、失敗に終わる可能性が相当あると感じています。

#### Whyが曖昧で起きる問題

Whyという部分についても沢山の問題があります。

#### [核燃料サイクル]

どうして核燃料サイクルなのか、そのWhyです。つい最近まで内輪の議論に終始していたところがあると思います。むしろ、公の場で議論して日本のエネルギー事情、世界のエネルギー事情をよく話し合うべきだったのではないのでしょうか。

#### [放射性廃棄物]

放射性廃棄物について、「原子力発電環境整備機構」(NUMO)がテレビのCMで「我々現代に生きる人間の宿題です」と呼びかけていますが、そういう捉え方で本当に、この問題の深刻さが視聴者に伝わるのかな、と思います。なぜやらなければいけないのか、Whyをもっとはっきり伝えないといけないと感じるのです。

#### Howが曖昧で起きる問題

#### [スペースシャトル]

「スペースシャトルはすごいロケットだ。宇宙船だ」と私たちも書いてきたし、そう思ってきましたが、これほど事故が起きると考え直さなくてははいけません。

例えば、なぜ人と貨物を同時に運ぶのか。人を運ぶには物だけよりも2桁ぐらい安全性を高めなければいけません。そうになると、人貨の同時輸送では、余計な安全対策が必要になる。巨大な貨物を人と同時に乗せること自体そもそも間違っているのではないかということ。

しかも、なぜ、帰還して滑走路に着陸する直前の1000メートルくらいからしか役に立たない翼を付けているのか。打ち上げる時は、翼が付いているせいで、風向きの変化の影響を受けて姿勢の不安定さにつながります。その上、翼の部分を宇宙まで打ち上げて持ち帰るためのエネルギーが無駄に使われているわけです。

スペースシャトルに馬鹿げた翼が付いた理由は、冷戦に理由があります。当時のNASAは、「打ち上げてソ連の衛星を破壊して取って返してくる際に翼があったほうが姿勢を制御しやすいから」と軍に宣伝をして軍事予算の一部をもらって開発した。ところがチャレンジャー事故から軍のシャトル離れが始まった。年5回の打ち上げが精一杯という信頼性のなさも問題になった。当初約50億円と言っていた打ち上げ費用も今や500億円を突破し、そのうち800億円、1000億円になるかも知れないといわれています。結局、シャトルは2010年の引退が決まってしまいました。

---

## さいごに

---

### 原子力は順風の今、「5W1H」を明確に

今、原子力は久々の追い風を受けているかのような印象があります。青森県六ヶ所の再処理事業も稼動に向けて準備が順調に進んで

いるし、プルサーマルも一見前向きな感じですよ。地球温暖化を始めとする環境問題、原油高などが原子力を後押ししています。「電源開発促進対策特別会計」(電源特会)も1,000億ぐらい余裕があり、さまざまな政策を検討する余地があるようです。

ただ、この順風の中に「5W1H」を明確に考えて開発に臨まないと、後で問題を抱え込むことになるのではないかと心配しています。なにより、「5W1H」をはっきりさせ、それを関係者が広く共有することが大切です。

その意味では、原子力関係者で政策や計画立案に携わる方々はどうもシステム屋ばかりが多いことを懸念しています。こういう人たちは、配管を直したり、点検をしたり、材料を折ってみたり、壊してみたりした事があるのだろうか、泥臭さを経験した人たちなのだろうかと思っております。だから、現場のことが分かっているのかと。

原子力は非常に広い範囲の方が携わるし、経営形態も5次請けまであったりして複雑ですから相当難しい面がある。ですから、システム屋ばかりでは、頭でっかちになってしまうと、うまく動かない。なるべく現場と交流、あるいは学びながら実態を踏まえた「5W1H」を作って、ますます発展していただければと思います。それが、巨大で複雑な技術開発に挑み、それを維持して行くためのコツと考える次第です。

以上で終わります。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

## 原子力は地球環境を救えるか

松 井 一 秋

(財)エネルギー総合工学研究所  
研究理事兼主席研究員



### はじめに

私の演題「原子力は地球環境を救えるか」ですが、実は、東京大学の山地憲治教授が1990年に同じタイトルの本を日刊工業新聞社からお出しになっています。本の構成は現在でも非常に示唆に富むと思います。

私の話ですが、まず、山地先生の本を紹介させていただきます。次に、環境制約について、私も一部お手伝いしている「日本脱温暖化プロジェクト」((独)国立環境研究所)の話、また、超長期エネルギー需給オプションについて、原子力を中心に置いたスタディの結果も織りまぜてお話しします。さらに、その関連で二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出抑制効果の議論

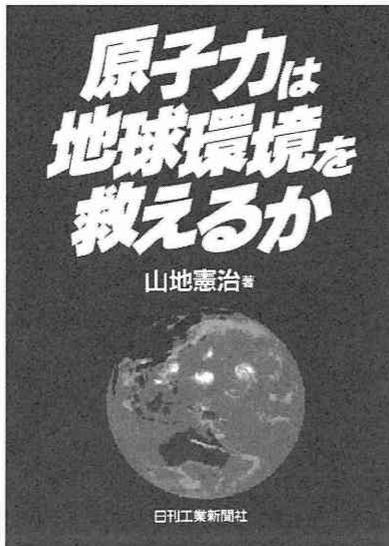


図1 山地著『原子力は地球環境を救えるか』

### [略歴]

1969年東京大学工学部原子力工学科卒業。1971年東京大学大学院工学修士，1971年呉羽化学工業株式会社入社。1975年米国ペンシルバニア州立大学大学院化学工学修士。1980年エネルギー総合工学研究所入所。2003年より現職。国内では原子力委員会の専門委員，国際的には第4世代国際フォーラムのメンバー，OECD/NEAの原子力開発委員会メンバー。

をご紹介した後、最後に、2100年に向けて何を考えた方がいいのか述べたいと思います。

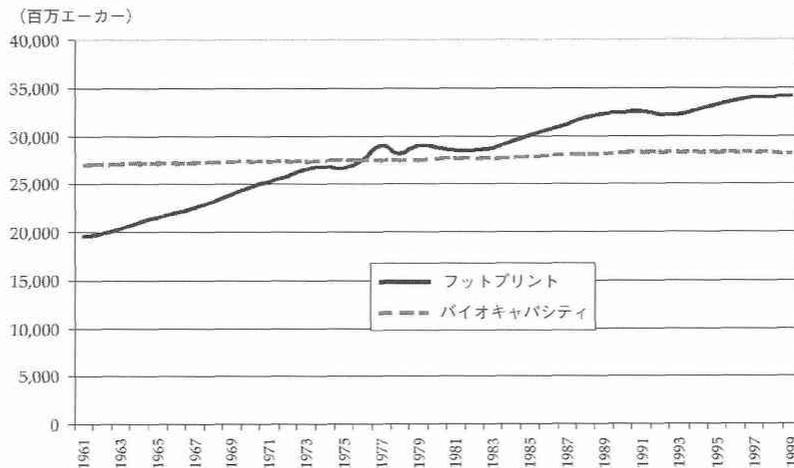
### 『原子力は地球環境を救えるか』再考

図1が山地憲治先生が書かれた本の表紙です。表1が目次です。第1章は「成長の限界」となっています。「成長の限界」とは1972年にローマクラブが出した報告書のタイトルです。人間が豊かになるにつれ、人口増加、ストックの増大、エネルギー・天然資源の使用量の増加が起こるわけですが、この報告書は、指数関数的な増加には限界があると警鐘を鳴らし、何か考えないといけないと呼びかけた先駆的な報告書でした。

図2は「成長の限界」の一例です。これはアメリカの環境団体が発表している図で、生態的に再生可能な量(バイオキャパシティ)と人類が消費する量(エコロジカル・フットプリント)を生産可能な土地の広さで測っています。この分析によると、1970年代に人間

表1 『原子力は地球環境を救えるか』の目次

<p><b>第1章 成長の限界</b></p> <p>1 資源と環境の有限性</p> <p>2 閉鎖系としての地球</p> <p>3 エネルギーの重要性</p> <p>(1) 化石燃料と地球温暖化</p> <p>(2) 各種エネルギー資源の供給力</p> <p>(3) 技術と経済、文化</p> <p><b>第2章 地球環境問題の展開</b></p> <p>1 環境問題の変遷</p> <p>2 酸性雨、フロン、そして地球温暖化</p> <p>3 地球温暖化についての科学的知見</p> <p>(1) 温室効果とは何か</p> <p>(2) 温室効果ガスの大気中濃度</p> <p>(3) 大気中CO<sub>2</sub>濃度増加の原因</p> <p>(4) 地球温暖化は確認されているのか</p> <p>(5) 地球が温暖化すれば何が起るのか</p> <p>4 地球温暖化に対する国内外での取り組み</p> <p>(1) 国際動向</p> <p>(2) 国内動向</p> <p><b>第3章 地球温暖化対策とエネルギー経済</b></p> <p>1 CO<sub>2</sub>発生と経済成長</p> <p>2 CO<sub>2</sub>抑制のための経済的手段</p> <p>(1) 直接規制と経済メカニズム</p> <p>(2) 課税と排出権市場</p> <p>(3) 経済的手段の特徴と課題</p> <p>3 CO<sub>2</sub>課税金の効果とコスト</p> <p>(1) 標準ケース予測におけるCO<sub>2</sub>発生量</p> <p>(2) CO<sub>2</sub>課税金の導入とその効果</p> <p>(3) CO<sub>2</sub>課税金の国民経済へのインパクト</p> <p>4 CO<sub>2</sub>排出権市場の理論的効果</p> <p>(1) 公平で効率的な国際的CO<sub>2</sub>対策</p> <p>(2) CO<sub>2</sub>排出権市場の成立性と効果</p> <p><b>第4章 原子力の基本的意義</b></p> <p>1 技術が決める資源価値</p> <p>2 燃料資源利用効率</p> <p>(1) ワンスルー効率</p> <p>(2) 転換炉における燃料リサイクルの効果</p> <p>(3) 増殖炉における燃料資源利用効率</p> <p>3 転換炉におけるプルトニウム利用</p> <p>(1) 原子炉内でのプルトニウム燃焼</p> <p>(2) プルトニウムリサイクルによる効率向上</p> <p>4 ウラン235損失の回収</p> <p>(1) 減損ウランリサイクルによる効率向上</p> <p>(2) ウラン235の完全利用の効果</p> <p>5 プルトニウム経済</p>	<p><b>第5章 原子力開発の曲がり角</b></p> <p>1 原子力開発の失速</p> <p>(1) 縮小した原子力計画</p> <p>(2) 燃料サイクルバックエンドの混乱</p> <p>(3) 目標を失った新型炉開発</p> <p>(4) 経済性のかげり</p> <p>2 原子力の適正技術</p> <p>(1) 市場競争力のある軽水炉</p> <p>(2) 柔軟性を持った燃料サイクル</p> <p>(3) 世界中で使える原子力技術</p> <p><b>第6章 原子力技術批判</b></p> <p>1 独善的な開発哲学</p> <p>2 放射能とリスク</p> <p>3 省エネか原子力か</p> <p>(1) 省エネルギーの可能性は大きい</p> <p>(2) 省エネは原子力より安い</p> <p>(3) 市場と計画</p> <p><b>第7章 原子力は地球環境を救えるか—その条件</b></p> <p>システム思考の必要性</p> <p>総合エネルギー政策の柱</p> <p>夢の再構築</p> <p>放射能リスクの受けとめ方</p> <p>原子力の適正技術</p> <p>新しいエネルギー文明の創造</p>
---	---



(出所: Redefining Progress, "Ecological Footprint of Nations 2004," March 2004)

図2 エコロジカル・フットプリント

の活動が地球の再生能力を超過するようになりました。地球の生態系が持っているバイオキャパシティ、すなわち、太陽エネルギーを

受けて農作物を作る、漁業をやるといったことで63億人を支えることはできないということです。

第5章の「目標を失った新型炉開発」, 「経済性のかげり」という点については, 真摯に考える必要があると思います。

「原子力の適正技術」では, 軽水炉技術が極めて競争力が高く非常に信頼できる技術になってきているという彼の指摘はそのとおりだと思います。燃料サイクルについては, プルトニウム利用の量と形態にもっと柔軟性を持たせる必要があると述べています。同章の最後には, 原子力が本当の力を発揮するためには, 「世界中で使える原子力技術」が必要であろうと言っていると思います。

第6章で「原子力の開発哲学は独善的である」と彼は断定しています。決められた一本筋を突っ走るというスタンス自身がもう受け入れられなくなってきました。もしそんなものが哲学であったとすれば, それを払拭してもう一度考え直す必要があるのではないかと私は思います。

「省エネか原子力か」という話は, できる限りの省エネをやった果ての再生可能エネルギー利用, 原子力100%の間でバランスをとるということです。最後に「市場と計画」では, 市場に任せておいていいものと, 計画的にやるべき長期的な問題の相克の話が議論されていると思います。

第7章では, 原子力の「夢の再構築」の条

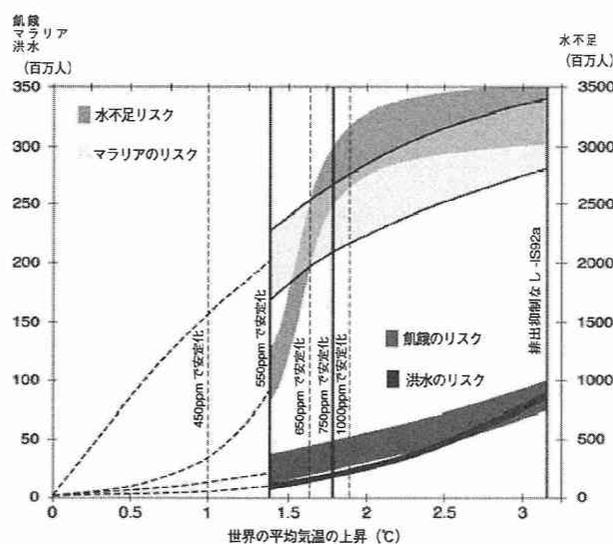
件がポイントです。それは「新しいエネルギー文明の創造」です。それに「総合エネルギー政策の柱」としての原子力をもう一度考えてみようということのようです。

## 地球温暖化問題

### 増大するリスク

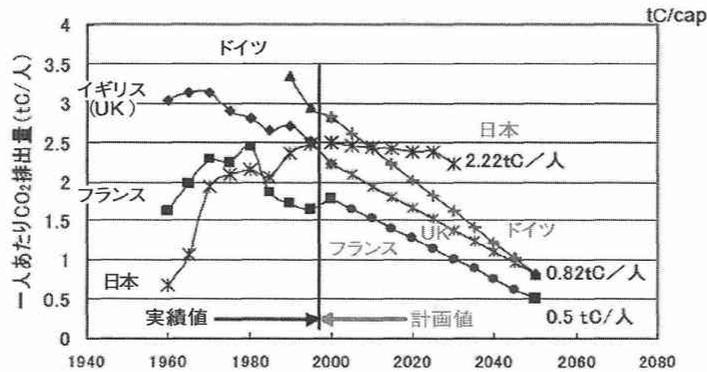
現在の地球の状態におけるCO<sub>2</sub>に関する自然の吸収量は年間3.1Gtです。しかし, 人間が出しているのは, 何と倍の6.3Gtで, その差3.2Gtが大気中に蓄積してくるということです。結局, 蓄積レベル毎の危険性を認知し, どれくらいの速さで炭酸ガスの排出を抑制しなければいけないのかが地球温暖化防止策の一番大きな焦点になると思います。

平均気温が上がるとどんな危険性があるか, スタディの例を図3で紹介します。一番びっくりしたのが水不足です。1.5~2℃ぐらい平均気温が上昇しますと, 20億~25億人が水不足のリスクにさらされるそうです。また, 温度が上がってくると蚊が増え, 2億人がマラリアのリスクを負ってしまうという予測です。



(出所: Parry, M., N. Arnell, et al.(2001). "Millions at risk climate change threats and targets." Global Environmental Change 11(ER3):181-183.)

図3 地球温暖化で増大する様々なリスク



欧州諸国の計画では、現在 1.5tC/（人・年）～3 tC/（人・年）程度の排出量を 2050 年に 0.5tC/（人・年）程度に減少させる。日本の計画は総合資源エネルギー調査会需給部会が推計した対策組み合わせシナリオ。フランスは温暖化対策関係省庁タスクフォース、ドイツは議会諮問委員会、イギリスは貿易産業省（DTI）のシナリオ。

（出所：国際フォーラム講演「長期温暖化対策：日本の挑戦」、国立環境研究所、西岡秀三）

図4 CO<sub>2</sub>排出量削減目標（イギリス、フランス、ドイツ、日本）

### CO<sub>2</sub>排出削減への努力

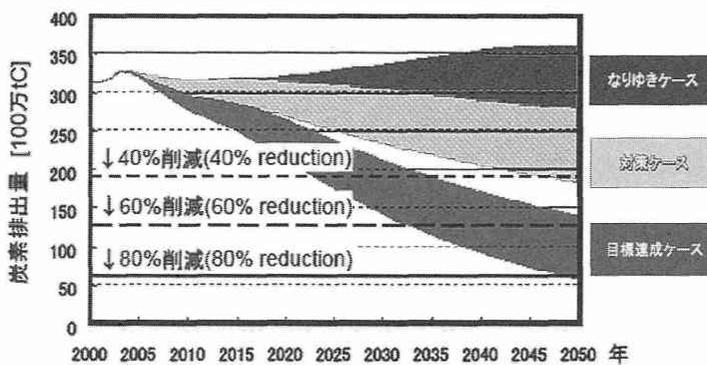
図4に示すように、色々な国がCO<sub>2</sub>排出削減目標を発表しています。イギリスは2000年で2.5 t/人を2050年に0.8 t/人ぐらいまで、つまり3分の1まで落とす。フランスも2000年で1.7 t/人を2050年に0.5 t/人まで落とす。日本は2030年までは2.22 t/人と予測されています\*。他の国にしても、目標を達成するための具体的な施策があるのかという大きな問題があります。

### 厳しい日本のCO<sub>2</sub>削減目標達成への道

#### 目標達成に向けたケーススタディ

#### 〔日本脱温暖化2050研究プロジェクト〕

同プロジェクトでは、2050年でCO<sub>2</sub>排出量を1990年比60～80%削減\*\*するために採るべき施策を検討することになっています。ケーススタディの一例として挙げましたが、図5



（出所：「日本脱温暖化2050研究プロジェクト」会議資料）

図5 低炭素社会達成への3つのシナリオ

\* 『EDMC/エネルギー・経済統計要覧（2005年版）』（日本エネルギー経済研究所）によると、2002年の「1人当たりCO<sub>2</sub>排出量」は、中国が0.744 t/人、インドが0.276 t/人である。日本の数値が2.55 t/人と高いのは、経済規模の大きさに比べて人口が少ないためと思われる。他方、エネルギーの利用効率を示す「GDP当りのCO<sub>2</sub>排出量」を見ると、日本が56.6 t/\$であるのに対し、イギリスは111 t/\$、フランス57.5 t/\$、ドイツ85.8 t/\$である。（編集部注）

\*\* 中央環境審議会は「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）の報告書や最新の研究に基づいて、気温上昇幅を産業革命以前の水準から2度以下に抑えるように提言した。これを実現するには、2100年以降の温室効果ガス濃度をCO<sub>2</sub>換算で475ppmで安定させないといけない。世界全体のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比で2020年に約10%、2050年に約50%、2100年に約75%削減する必要がある。世界全体で50%削減という2050年に、世界の1人当たり排出量を均等にしようとする、日本には約80%削減が求められる。それに幅を持たせて、「脱温暖化2050研究プロジェクト」では削減目標値を60～80%としている。（編集部注）

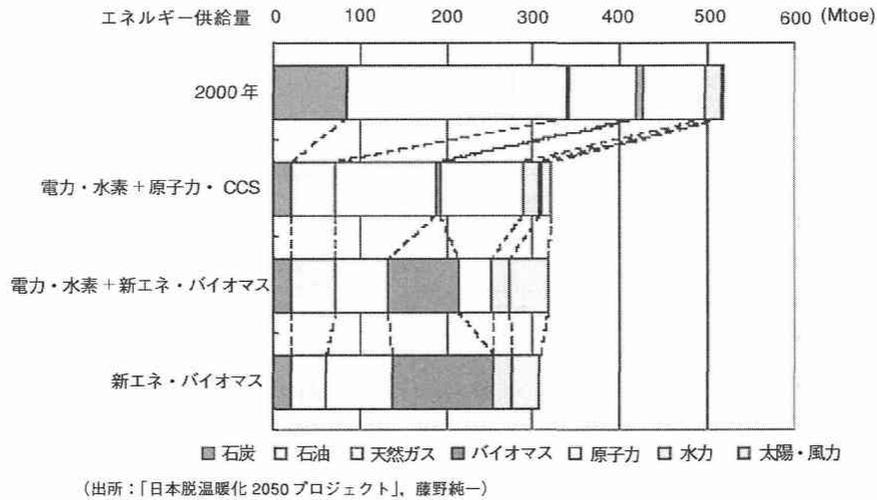


図6 CO<sub>2</sub>排出70%削減時の一次エネルギー供給構成の例

の「なりゆきケース」は、CO<sub>2</sub>排出削減施策なしというケースです。それでも、市場原理によって日本の場合は増えない。ある程度の対策をとる（「対策ケース」）と多少減る。しかし、実際はもっと減らさなくてはなりません。これが「目標達成ケース」です。

図6は2050年時点で1990年比70%削減するためのエネルギー供給構成の例を示しています。図の一番上のケースは、世の中の中心が化石燃料から電力と水素に変わりつつあるケースで、原子力がそこそこ入っています。ただ、総発電量に占める原子力の比率を4～5割に制限していますので、大部分の増分を天然ガスで置き換え、天然ガスから出てくるCO<sub>2</sub>は炭素回収隔離（CCS）するケースです。真ん中は、原子力の新設はない、風力、太陽で頑張る、足りない分はバイオマスを入れ

るというケースです。一番下は、膨大な量のバイオマスで需要を満たすケースです。それだけの量は国内だけでは調達しきれないので、輸入を考えています。いずれにしろ、70%削減は相当努力しないとできません。

[超長期エネルギー技術ビジョン]

図7は、当所が事務局となって行った「超長期エネルギー技術ビジョン策定」で検討した3つの極端ケースです。同プロジェクトでは、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を2100年時点で550ppmに安定化させるために、世界の経済規模（各国の国内総生産（GDP）の世界計）が2050年に2000年の5倍、2100年には同10倍になる中で、2050年、2100年の日本のCO<sub>2</sub>排出量を現状レベル（3億t強）にすることを環境制約としています。ケースA、ケースBとも2100年

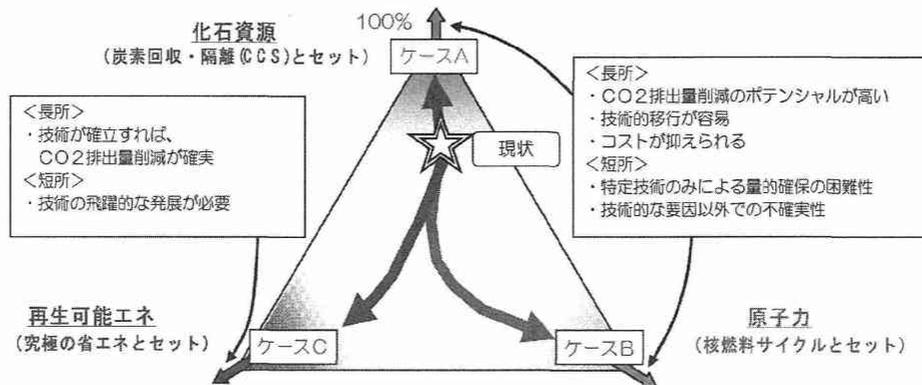


図7 極端なエネルギー供給構成でのケーススタディ

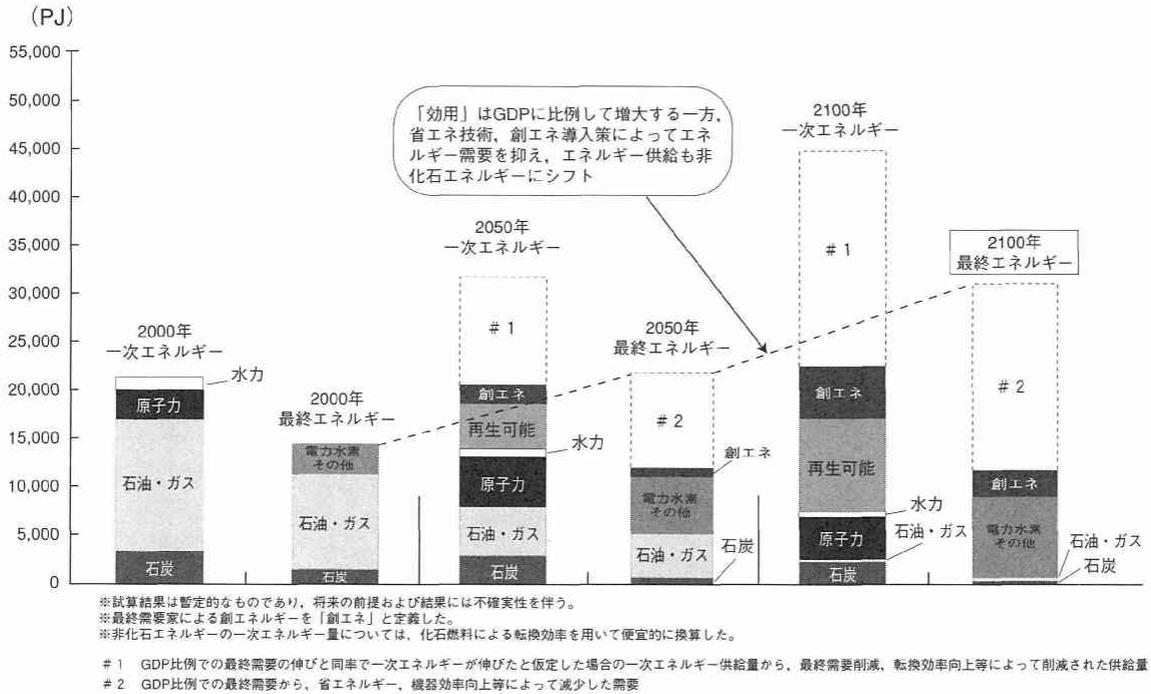


図8 大気中CO<sub>2</sub>濃度550ppm安定化のためのエネルギー需給構成

時点での発電量を2000年の8倍にしないと  
いけないことになっています。

図8は、2100年時点で大気中のCO<sub>2</sub>濃度を550ppmに安定化させるべく、技術目標を達成することで実現する需給構成の例です。GDPが伸びていく中で、一次エネルギー供給量は、最終需要削減と転換効率向上などで減っていき、最終エネルギー需要は、省エネ、機器効率向上などで減少していきます。需要構造側にある石油、ガス、石炭は、原料として使われています。2100年で原子力が入り

いないことになっている理由は、高速増殖炉(FBR)の燃料倍増時間を比較的長く取っていて、世界中で燃料の取り合いになり、日本割当分が少なくなっているからです。

[原子力ビジョン2050]

図9は、「原子力ビジョン2050」では、2050年時点でのCO<sub>2</sub>排出量の削減比率を2000年比で50%、24%、58%にするときの一次エネルギー供給構成を検討しています。

いずれの例でも国立環境研究所が目標とし

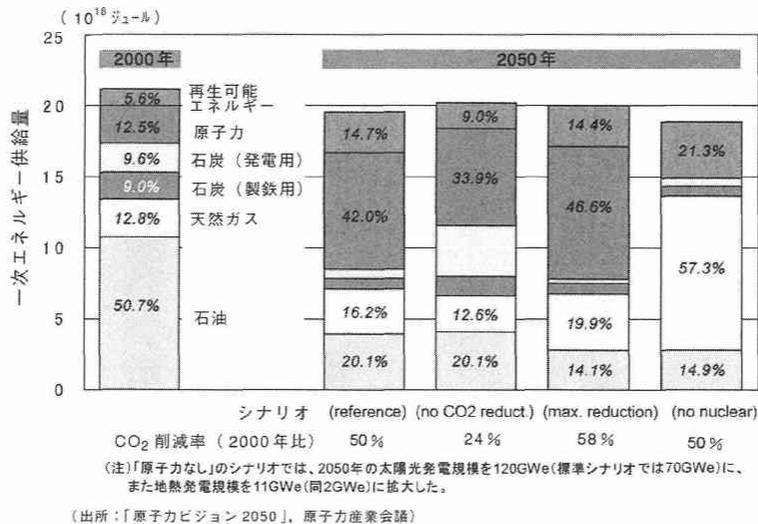


図9 2050年の一次エネルギー供給構成とCO<sub>2</sub>削減比率

て示した60~80%削減にはほど遠い数字です。2050年については、削減率50%達成に対して、原子力を入れるケースと原子力なしのケースを提示しています。原子力なしの場合、天然ガスの大量導入と炭素隔離をセットにする形になります。

### 原子力を中心に据えたシナリオ

図10は2100年時点で世界中で大気中のCO<sub>2</sub>濃度を550ppmで安定させるために、省エネ、原子力、炭素隔離、再生可能エネルギーがどれく

らい寄与するか当所が算出したものです。図11はその時の一次エネルギー源に占める原子力の比率です。図では原子力の比率が結構高くなっています。ただ、原子力による発電量は発電単価で変わります。図12に発電単価に応じた発電量の予測を示します。さらに、FBRがあるケースとないケースでの一次エネルギー源に占める原子力の割合を示したのが図13です。このモデルでは、ウラン資源量を1,500万トンとしています。これぐらいの量ですと、高速炉なしでは2100年には原子力がなくなってしまっているはず

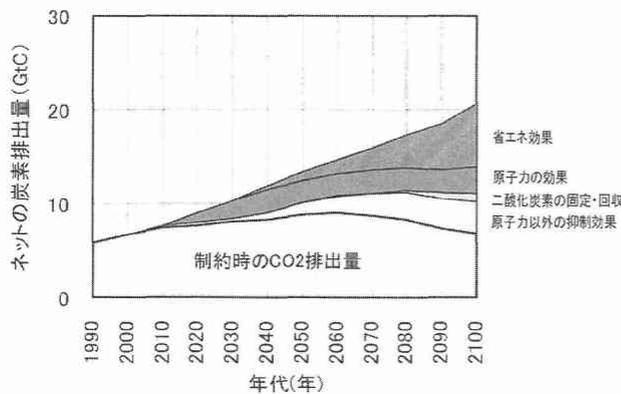


図10 CO<sub>2</sub>排出抑制効果 (550ppmで安定化)

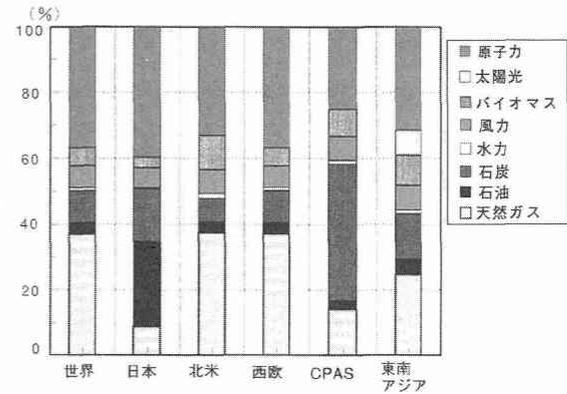


図11 2100年の一次エネルギー供給構成

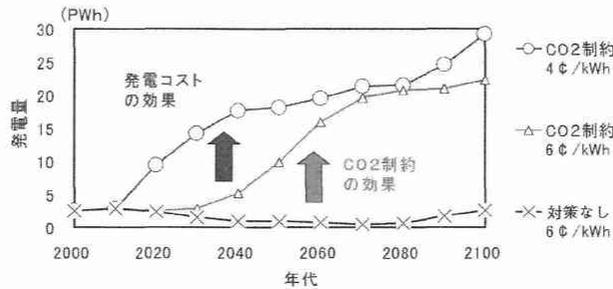


図12 発電単価とCO<sub>2</sub>制約による原子力発電量の推移

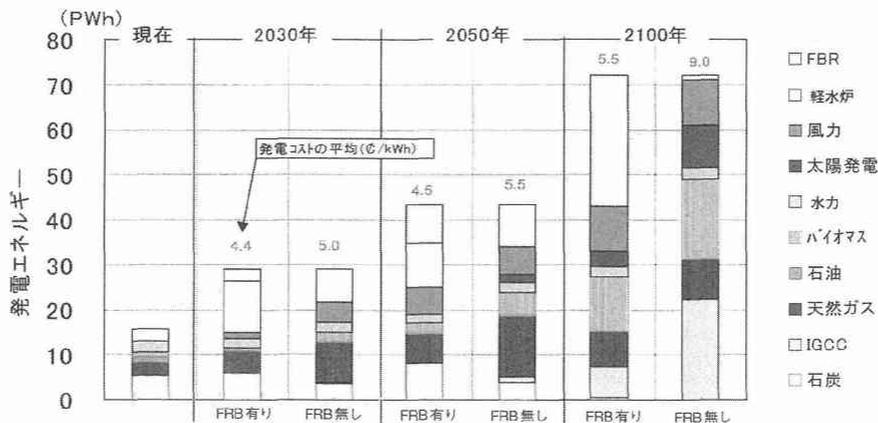


図13 原子力発電量の推移 (2100年に550ppmで安定化)

## 世界における原子力

マサチューセッツ工科大学（MIT）のチームが『原子力の未来』という報告書を出しました。その中で、将来の予測をやっています。表2に示すように、2050年までに世界の総発電量は現在（300～400GWe弱）の3倍ぐらいの38.7兆kWhに増え、原子力のシェアは現在の17%から19%ぐらいになると言っています。

途上国、特に中国、インド、パキスタンで200GWeを原子力で賄うことになると言っています。1GWeは100万kWですから、原子力発電所1基分に相当します。中国、インドでは相当な数を導入しないと200GWeに届かないと思います。ブラジル、メキシコは今も原子力発電所が1、2基あると思いますが、インドネシアを含めて75基ないといけません。つまり、2050年に世界中で1,000基の原子力発電所があるということを意味します（現在約440基）。

表2 世界の原子力成長シナリオ（MITシナリオ）

地 域	原子力発電容量 (GWe, 2050年)	原子力発電のシェア	
		2000	2050
全世界	1,000	17%	19%
先進国	625	23%	29%
米国	300		
欧州とカナダ	210		
先進東アジア	115		
旧ソ連	50	16%	23%
途上国	325	2%	11%
中国、インド、パキスタン	200		
インドネシア、ブラジル、メキシコ	75		
その他途上国	50		
世界の総電力需要	年2.1%伸び	13.6兆kWh	38.7兆kWh

（出所：MIT「原子力の未来」）

表3 IIASA/WECシナリオとMITシナリオ

需要シナリオ	2050年の原子力発電量 (PWh)	2000から2050までの累積U要求量 (百万tU)
高(A3)	12.6*	7.6
中(C2)	8.0*	5.4
低(C1)	2.4*	3.4
MIT	11.8 (1500 GWe)	9.45
(90%CF)	7.9 (1000 GWe)	6.9
RedBook2001既知/究極a		3.9/16.2

\*グラフから読みとったもの。Analysis of Uranium Supply to 2050, IAEA, 2001  
a: EAR-II+SR (正確には、Red Bookでは「究極資源」という用語はない)

ウィーンにある国際計量経済研究所 (IIASA) と世界エネルギー会議 (WEC) が合同で作成したシナリオとMITシナリオを比較してみます。2050年で1000GWe (7.9PWh) は、表3の中位ケースぐらいに当たります。2050年までに使っているウランの量が540万トンとなります。ウラン資源量 (約1,500万～1,600万トン) の4分の1～3分の1を使い切っていることとなります。

## 2100年に向けて

### 原子力は地球を救う使命を持つ

世界の人々はもっと幸福にならなければいけない。貧困、飢餓、病気からの解放が必要です。途上国での人口増加、そこで消費する食糧、水、エネルギーも含めて供給しなければいけない。そうすると、どう見ても温暖化ガス放出や環境破壊の危険がますます増大することになると思います。一番最初にお見せしたフットプリントから言うと、明らかにオーバーしてしまっているわけですが、帳尻が合うまで人類の活動量を落とせという議論は今ここではできないと思います。すなわち、ここで「原子力は地球を救う使命がある」、「世界中どこでも原子力が利用可能になっているべきである」と思うのです。そのためには、安全で経済性があって、かつ拡散抵抗性を備えた原子炉開発を行う必要があります。

### 原子力の挑戦

—安全性、経済性、廃棄物、核拡散抵抗性—

安全性の確保では、「100%安全」と言うことではなく、他のエネルギーとの相対的なリスク比較の点も保証されるべきではないかと思います。経済性では、外部性やライフ・サイクル・アセスメント (LCA) などの観点か

ら公平性も確保した上での競争をしてほしいと思います。

放射性廃棄物処理は非常に大きな問題だと思いますが、量を減らすことは科学的に可能だと思います。その際、どれくらい減らすかは、燃料サイクル全体での経済性の話になると思います。

核拡散抵抗性については唯一の解はないと思いますが、2050年に世界で100万kW級の原子炉が1,000基、2100年で最低でも2,000基あるようにするには、核拡散抵抗性を高める何らかの方法を考え出すことが必須だと思います。

対応策の1つは、マイナーアクチニドを混入した燃料です。簡単に言えば、燃料が熱すぎて触れないので、使用済燃料の盗難防止になるという感じです。

また、原子力エネルギーパークという構想があります。天然ウラン、トリウムを投入して、電気、水素、熱を取り出して使用する。高速炉でマイナーアクチニドなどを潰し、放射性廃棄物をなくしていこうという自己完結性（SCES）を持った原子力エネルギーにすることで、核拡散抵抗性を高めていこうというものです。物理的には可能であるという試算結果も出ています。

もっと進んだ考え方では、再処理不要というシステムがあります。核拡散の問題で一番危険と言われているのは再処理と濃縮です。ならば、濃縮なし、再処理も要らないシステムがあればいいのではないかということで、CANDLEというシステムを挙げることができます。燃料のウラン、トリウムを炉に投入して、自己増殖しつつ、それをまた燃やしていくというタイプの発

電方法です。試算上は40%ぐらいまで燃すことも可能で、天然ウランの有効利用率が現行の軽水炉と比べて、格段に高くなります。ここまで燃せば、当面は再処理を考える必要がないかも知れません。

---

## さいごに

---

発展途上国の人々が自分たちの生き残りや生活水準向上のために多くの原子力システムを必要とするのは間違いないと思います。そういう状況に我々は準備ができていますでしょうか。燃料や廃棄物を処理するセンターとかの仕組みはどうするのか。

核不拡散の話と同じですが、結局、FBRは必要ということになるでしょう。すると、プルトニウムをどうするのが課題だと思います。国際原子力エネルギー機関（IAEA）のエルバラダイ事務局長は、核燃料の多国間管理構想を提案しており、また、総会でもアメリカがある程度それに対応するような提案をしているようです。

私が最後に申し上げたいのは、確かにいろんな問題がありますが、世界的、あるいは長期的に見た場合に、原子力が果たし得る役割は十二分以上にあるということです。しかも、それがもっとより良い性能に改善していく、改良されていく分野、フロンティアはまだ残っているのではないかと思います。

以上、私の話を終えたいと思います。ありがとうございました。（拍手）

[講演]

## 世界の原子力開発動向とわが国の将来展望



榎本 聡明 (社海外電力調査会 会長)

### はじめに

私の話は大きく2つに分けられます。まず、アメリカや中国以外の国で原子力が非常に停滞している理由について、すなわち各国が原子力をどう考えているのかご紹介したいと思います。

次に、中国、東南アジアの状況を見た後、日本について述べたいと思います。結論から言いますと、日本もヨーロッパとよく似た状況にあります。日本では、原子力は電気を起こすために使われています。ですから、電気が要らなければ原子力発電は要らないという現状をよく認識する必要があると思います。そういう中で原子力発電はどう導入しようとしているかお話ししたいと思います。

### 〔略歴〕

1965年東京大学工学部原子力工学科卒業。同年東京電力㈱入社。1981年福島第一原子力発電所技術課長。1991年原子力業務部部长。1995年柏崎刈羽原子力発電所所長，1997年取締役原子力本部副本部長兼技術開発本部副本部長，1999年常務取締役原子力本部長，2002年6月取締役副社長原子力本部長，同年9月退任。2004年より現職。工学博士。

## 世界の原子力開発動向

### 欧州連合（EU）の動向

#### 〔発電電力量の見通し〕

図1はEU15カ国\*の発電電力量の見通しです。いずれの国も今後電力の伸びは1%程度で

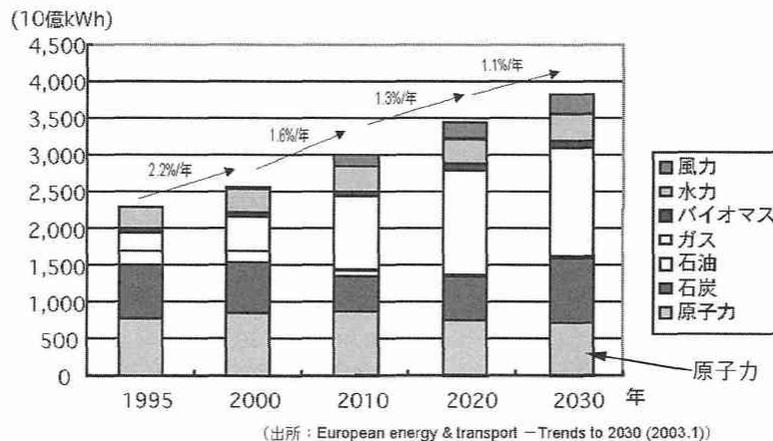


図1 EU15カ国の発電電力量の見通し

\* 1995年の第4次欧州連合（EU）拡大で形成されたもの。2004年に東欧諸国を中心に10カ国が加わり、現在のEU加盟国数は25カ国。新規加盟10カ国のエネルギー使用量は小さく、「EU15カ国」で見てもEU全体のトレンドに大きな違いはないと見られる。

す。イギリス、ドイツ、フランス、スウェーデン、フィンランドの伸び率は、0.6～2.1%の間にあります。いわゆる「電気は要らない」という状況にあります。ただし、伸びは僅かであっても、もともと絶対量が大きいので「伸びの絶対量」は結構大きいものです。例えば、伸びの絶対量を満たすために今後発電所が新たに何基必要かといった話になると増加の印象は図1で見るとより大きくなります。

[発電設備容量の見通し]

図2は、EU15カ国の発電設備容量の見通しです。ここでご注意いただきたいのは、発電設備容量の伸びというのは、それ以前にあった発電所の数とその時点の発電所の数の差し引き（ネットの増加）だということです。新

らたに発電所を建設する新設、現在ある発電所内に発電設備を追加する増設、あるいは既存発電所の建て替えの数そのものではありません。廃止措置による発電所の取り換え（建て換え）を行いながら、需要量の伸びを満足させなければなりません。そうなりますと、新設および増設で追加すべき設備容量は結構あるということになります。

図3にありますように、EUは、2030年までにEU15カ国で8億8,100万kWを、発電所の建て替えを行いながら、新設あるいは増設で増やして行かなければなりません。そのうち原子力発電所につきましても、8,900万kWを新設、増設、建替えて増強しなければいけないと予測しています。

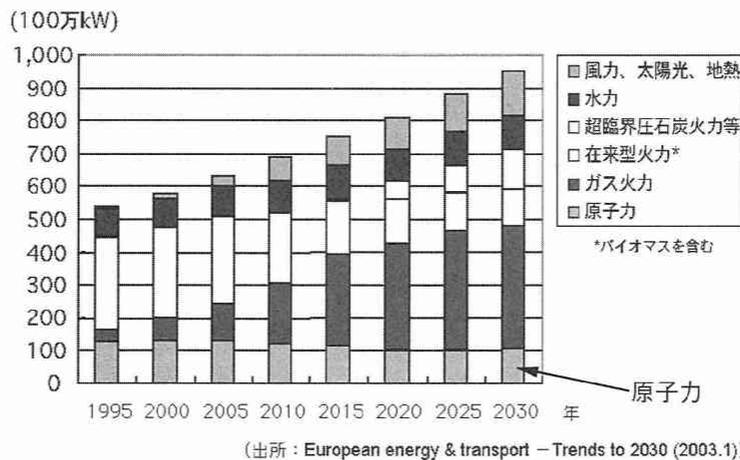


図2 EU15カ国の発電設備容量の見通し

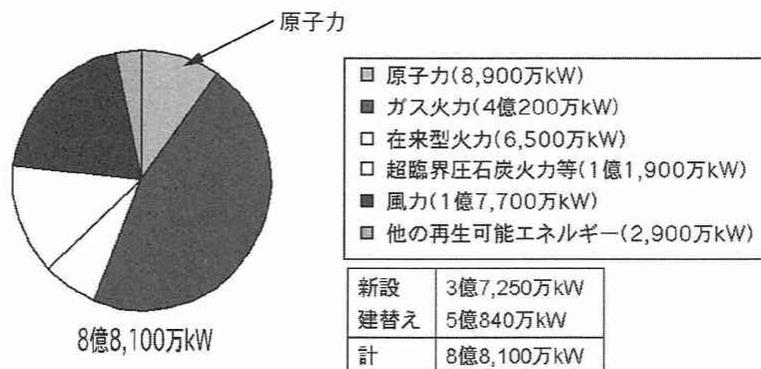


図3 2030年の発電設備容量における電源構成

[EUの原子力政策]

① EU全体

EUは、2000年11月に発表した討論用文書『欧州のエネルギー安全保障戦略に向けて』で、従来の政策のままでは一次エネルギーの輸入依存度が2030年に70%に達してしまう。また、温室効果ガスの排出削減目標の達成も困難だという認識を示しました。

そのために、原子力発電に関して以下のことをポイントに挙げています。

- エネルギーセキュリティ、地球温暖化防止の観点から、中期的には原子力が不可欠である。
- 原子力拡大のためには、政治的なコンセンサスが必要である。
- 廃棄物処理、処分の問題も解決を図るべきである。
- 原子力技術を維持すべきである。

EUは、原子力に前向きに取り組んでいかなければいけないと認識しています。しかし、そのためにはいくつかの問題を解決していく必要があると思います。

② イギリス

イギリスでも原子力は縮小気味です。しかし、2003年2月に発表された『エネルギー白

表1 イギリスのエネルギー政策

<p>【イギリスの原子力政策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力発電所は選択肢として維持 (keep the nuclear option open)</li> <li>・ 原子力発電は炭素を発生しない動力源として非常に重要。</li> <li>・ 経済性、放射性廃棄物の問題があり、新規の原子力発電所の建設は提案しない。</li> <li>・ 新規の原子力発電所の建設は、二酸化炭素の削減目標が達成されない場合に検討する。</li> </ul>
---

書』（英国貿易産業省）では表1のように言っています。

また、原子力発電所の建替えについて、表2に示すような議論がなされているところです。イギリスにおける二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）対策は、今までは石炭から天然ガスへの転換によってなされてきましたが、今後は相当厳しくなると予測されています。特に、科学技術の政策課題に関する政府の諮問機関である科学技術会議の報告書『英国の電力供給戦略』（2005年5月31日）は、原子力発電の研究開発、次世代の開発については今後不断の努力、取り組みをしていくことを政府に提言しています。

③ フランス

フランスでは現在、電力が過剰気味で原子力発電所建設のピッチは少し落ちてきています。しかし、フランスの原子力エネルギーに対する取り組みは首尾一貫しており、まった

表2 イギリスの原子力発電所建替え論議

<p>【原子力発電所建替えに関する議論】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○原子力発電のシェア； 現在は22%（23基）。新設がないと、2014年には8%（5基）、2023年には3%（1基）になる。</li> <li>○再生可能エネルギー電力の開発の遅れ； 2010年までに10%のEU目標に対し、2003年現在2.8%。</li> <li>○二酸化炭素の排出削減； エネルギー白書の目標；2050年までに60%削減（2010年までに1990年比20%削減）は困難。</li> </ul> <p>(削減実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 温室効果ガス；2010年の目標1990年比12.5%は達成。（2002年現在、14.9%）</li> <li>・ 二酸化炭素；2002年現在、1990年比8%削減。</li> </ul> <p>※これらは、1990年代の発電部門での石炭から天然ガスへの燃料転換による。</p>	<p>【英国の電力供給戦略】の提言</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○省エネや再生可能エネルギー（風力等）の開発では、エネルギー白書の二酸化炭素の削減目標を達成できない。</li> <li>○原子力発電、潮力発電、化石燃料発電での炭素隔離などの大規模で二酸化炭素の排出が少ない電源への投資が必要。</li> <li>○既存のサイトへの原子力発電所の新規建設を前提として、以下の対策を政府に要求。             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力発電所の新規建設の妨げ要因になっている発電コストの不確実性を軽減する経済政策</li> <li>・ 原子力発電所の許認可制度の改善</li> <li>・ 高レベル放射性廃棄物の最終処分方針の策定、実行</li> <li>・ 原子力技術の継承</li> <li>・ 次世代型炉、水素製造などの原子力研究開発の促進</li> <li>・ 原子力発電利用に関する国民との対話</li> </ul> </li> </ul>
---	--

表3 フランスの原子力政策

<p>○新エネルギー政策法（2005年6月議会通過、7月公布）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギー・セキュリティ（自給率50%）の確保</li> <li>・エネルギーの価格競争力の確保</li> <li>・環境保護と地球温暖化防止</li> </ul> <p>（温室効果ガスを2050年までに、現在の25%にまで、年3%ずつ削減）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国民が妥当な価格で高品質のエネルギー供給を受ける権利の保証</li> </ul> <p>○目的を達成するための具体的方策</p> <p>省エネルギー；</p> <p>エネルギー弾性値（エネルギー消費の国内総生産（GDP）に対する比）を2015年までに年2%ずつ削減</p> <p>エネルギーの多様化；</p> <p>再生可能エネルギー（水力、風力、バイオマス、太陽光等）の開発 原子力オプションの維持（将来の原子力発電所の建替え準備のためのEPR建設）</p> <p>エネルギー分野における研究開発の推進</p> <p>省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力エネルギー（次世代炉、ITER、廃棄物管理等）、水素利用等</p> <p>エネルギーの輸送（送電線、パイプライン）及び貯蔵（ガス、石油）の確保</p>
---

く揺らいでいないと言えます。

例えば、2020年頃に浮上してくる原子力発電所の建替えに備えて、既に次世代原子炉「欧州加圧水型炉（EPR）」の建設サイトとしてフラマンビルを選定しました。実は、フランスは老朽化する原子力発電所の建替えだけでなく、中国へのEPR売り込みも考えています。中国に売る前に自国でしっかり建設運転をしようという考えもあると思います。フランスのエネルギー政策を表3に、新規原子力発電所の建設の背景を表4に示します。

④ドイツ

ドイツの脱原子力政策と最近の動きを表5

表5 ドイツの脱原子力政策

<p>○原子力発電設備容量(2005.6現在)；2,243万kW (PWR：11基、BWR：6基)</p> <p>○1998年9月；社民党（SPD）と緑の党連立の連邦政府誕生。</p> <p>○2002年4月；脱原子力発電政策を取り入れた改正原子力法が成立。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子力発電所の発電電力量（運転期間を32年間として計算）が尽きたプラントから順次閉鎖。但し、発電所間で割当て量を交換して運転延長を図ることは認められている。</li> <li>・シュターデ発電所（PWR,63万kW）；2003年11月に閉鎖（老朽設備の合理化計画の一環として32年を待たずに閉鎖）</li> <li>・オブリッヒハイム発電所（PWR,34万kW）；2年間延長後、2005年5月11日に閉鎖</li> </ul> <p>○2005年9月の総選挙で野党のキリスト教民主・社会同盟（CDU/CSU）、自由民主党(FDP)が政権についた場合、運転期間32年の延長が図られる公算大。</p> <p>（注）総選挙の結果、両党の勢力が拮抗したため、原子力政策の大きな進展は見られていない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規建設の動きは見られない。</li> </ul>
---

\*\* CDU/CSUによる話し合いの結果、アンゲラ・メルケル氏（51）が党首となり、11月22日、ドイツ連邦議会は同氏が同国初の女性首相に選出された。

表4 新規原子力発電所建設の背景

<p>新設理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2015年；原子力発電所の60%が運転開始から30年。</li> <li>・2020年；原子力発電所の20%が運転開始から40年。</li> <li>・2020年頃からの原子力発電所の建替えに対する準備のため、欧州加圧水型炉（EPR）の建設経験、運転経験を積む必要がある。</li> </ul> <p>建設スケジュール</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2004年10月、フランス電力会社（EDF）は、EPRの建設サイトにフラマンビルを選定。</li> <li>・2007年着工、2012年運転開始予定。</li> </ul>
--

に示しました。今、ドイツは混沌とした状態にあります。先般の国政選挙で、与党社民党（SPD）と野党キリスト教民主・社会同盟党（CDU/CSU）が非常に拮抗した状況になりました。一時は選挙をやり直すかという話もありましたが、現在は連立に向けた議論がなされているようです。その場合、党首を誰にするか色々議論されていると聞いています。\*\* 原子力発電所が新設されるには、少なくとも、運転期間32年に達した原子力発電所は閉鎖するという現行政策をやめること、ゴアレーバーにある廃棄物処理施設を稼働させることの2つが実行されないと難しいとドイツの人は見ているようです。

⑤スウェーデン

スウェーデンは原子力発電をどんどん縮小して廃止していく方向にあります。しかし、表6に示しますように、代替電源の状況を見ながら廃止時期を延ばすなど、現実的な対応をとっているという状況です。

表6 スウェーデンの脱原子力政策

<p>発電設備容量（2005.6現在）；885万kW（PWR：3基、BWR：7基）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・1980年の国民投票の結果を踏まえ、代替電源開発を条件に2010年までに原子力発電所全12基を閉鎖することを決定。</li> <li>・1999年11月、バーセベック1号機を閉鎖。</li> <li>・2002年6月、段階的閉鎖に期限を設定せず、閉鎖時期については電力会社との合意をめざす「エネルギー政策法」が成立（ドイツ方式）。</li> <li>・バーセベック2号機は、閉鎖に伴う代替電源確保の見通しが立たないため、再三延期されてきたが、政府は2004年10月に、2005年5月31日をもって閉鎖を決定し、同日停止。</li> <li>・残る10基の出力増加を計画中。</li> </ul>
---

表7 フィンランドの原子力政策

- ・原子力発電設備容量；267万kW（PWR(VVER-440)：2基，BWR：2基）
- ・2002年5月，同国5基目となる新規原子力発電所建設計画を議会が承認
- ・西欧での新規着工は1991年のフランスのシボー2号機以来
- ・2003年12月，欧州加圧水型炉(EPR，160万kW)に決定（オルキオト3号）
- ・2005年着工，2009年運転開始予定

(背景)

- ・電力需要予測；1.4%/年（2000年→2020年）（他の北欧諸国；0.8%/年）
- ・発生電力は，電力会社（TVO社）の株主である林業関係産業の需要家が買い取るので，長期保証が得られている。
- ・石油，天然ガスの価格高騰で，電力の市場価格がここ数年上昇。
- ・発電コストは，他のどの電源よりも安く，二酸化炭素の削減にも寄与。  
[京都議定書目標値（1990年と同レベル）のクリア]
- ・消費電力量の14%（119億kWh，2002年）を近隣諸国から輸入。

(その他)

- ・2001年5月，世界初の高レベル放射性廃棄物処分場をオルキオトに決定。

⑥ フィンランド

フィンランドは，表7に示しますように，原子力に対して非常に熱心で，自国サイトの中に高レベル放射性廃棄物の処分場を積極的に建設しています。

アメリカの動向

[発電電力量の見通し]

アメリカの発電電力量の見通しですが，図4のようにイギリスと同じで，先進国の平均よりやや堅調であるという感じです。

[原子力発電所の運転状況]

原子力発電所の運転状況を表8に示します。発電電力のシェアは20%，設備利用率は90%

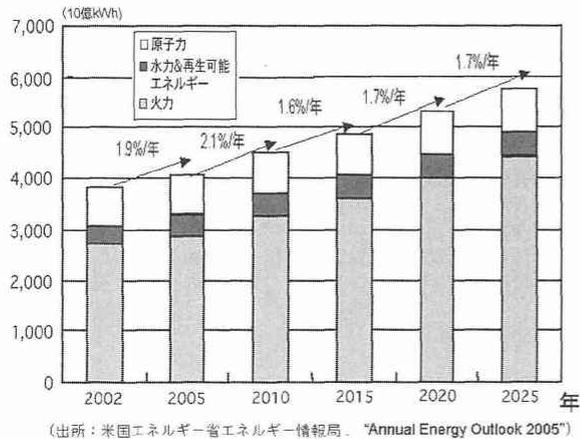


図4 アメリカの発電電力量の見通し

で，電力自由化の環境にあっても競争力を維持していると言えます。

[エネルギー政策]

ブッシュ政権は，原子力発電の競争力と電力需要の伸びを考慮して，原子力発電所にも一定の寄与を求めるという政策決定を行いました。2001年に発表した『国家エネルギー政策』では，表9に示しますように，原子力発電を拡大し，円滑に導入するために色々な制度を整備するという方針を打ち出しています。

[新規原子力発電所の建設動向]

『国家エネルギー政策』を受けた形で，米エネルギー省（DOE）は，『原子力発電2010』（2002年2月）を発表し，新規の原子力発電所

表8 アメリカの原子力発電所運転状況

- ・発電設備容量；9,879万kW（PWR：69基，BWR：34基）
- ・原子力発電の発電電力量シェア（20%）は，石炭（50%）に次いで2位。
- ・設備利用率は2000年以降90%を維持。
- ・電力自由化環境にあっても競争力を維持。
- ・1998年以降，原子力発電所の売却・買収，電力会社の合併・統合が進み，上位10社で全原子力発電設備容量の70%を占める。
- ・出力増加（最大20%）により，1997年～2004年で約420万kWe増加
- ・2000年3月以降，運転認可の更新（40年→60年）が行われており，2005年5月現在32基が認められ，2015年までに85%の原子力発電所が運転認可を更新すると予想。

表9 『国家エネルギー政策』の概要

<p>・原子力は、温室効果ガスを発生しない大規模なエネルギー供給源と評価</p> <p>(提言内容)</p> <p>(1) 原子力発電の拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新型原子炉の許認可の促進</li> <li>・既設原子力発電プラントの出力増加による発電量の拡大</li> <li>・既設原子力発電プラントの運転認可期間の延長(40年→60年)</li> <li>・原子力エネルギーの大気汚染防止に寄与する可能性の評価</li> <li>・原子力安全の強化に必要な人材・資金の増加</li> <li>・高レベル放射性廃棄物地層処分場の建設</li> <li>・原子力プラント売買時、廃炉基金に対する非課税化</li> <li>・プライス・アンダーソン原子力損害賠償法の期間延長</li> </ul> <p>(2) 放射性廃棄物を減少し、核拡散抵抗性の高い核燃料再処理、超寿命核種の消滅処理等の研究、開発、導入</p>
--

表10 DOEの原子力開発計画

<p>○国と産業界がコストを分担して、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新型原子力発電プラントの開発</li> <li>・新規原子力プラントの新許認可プロセスの実証を行い、</li> <li>・2005年までに発注を決定し、2010年までに少なくとも1基の新型原子力発電プラントの運転開始を目指す。</li> </ul> <p>○若干遅れているが、国と産業界は、2008年に建設・運転一括許認可の申請を行い、2014年の運転開始を目指している。</p> <p>・DOEは、2003年11月、建設と運転の一括許認可(COL)を進めるため、「新規原子力プラント許認可実証プロジェクト」に参加する企業を公募。</p> <p>・官民でコストを分担し、新型炉設計の完成、COLの申請準備、申請、NRCの審査に対する協力等を実施</p> <p>・2004年3月、4月、9社の電力会社と4社の原子炉メーカーを含む3つのコンソーシアム(ドミニオン、NuStart、TVA)が応募(カナダ原子力公社(AECL)は2005年1月に離脱)</p> <p>・いずれの電力会社も建設の決定はしていないが、決定に必要な技術的、経済的評価を実施中。</p>
---

の開発計画を明らかにしました。建設動向を表10に示します。

この開発計画には、3つのコンソーシアム(「ドミニオン」、「ニュースタート」、「TVA」)が応募しています。「ドミニオン」はベクトル社とゼネラル・エレクトリック社(GE)で構成され、GEが開発中のESBWR(Economic Simplified Boiling Water Reactor)をノースアンナに建てようとしています。「ニュースタート」は、ニュー・スタート・エナジー・ディベロップメント社、コンスタレーション社、デュークパワー社を含む11社で構成されています。これが6つの立地サイトを挙げて、認可を取ろうと動いているわけです。3つ目の「TVA」は、

GE、東芝、ユーゼック社、GNFA、ベクトル社で構成されています。ベルフォンテにABWR(Advanced Boiling Water Reactor)を建設しようとしています。

しかし、最近情報によりますと、「ニュースタート」は、9月の第4週に、GEのESBWRをグランドガルフに、ウェスティングハウス社のAP1000をベルフォンテに建設したいという話をしたようです。ベルフォンテサイトはそもそもTVAのものでありますから、どのような決着になるのでしょうか。

この動きというのは、2005年8月に成立した「2005年エネルギー政策法(Energy Policy Act of 2005)」の優遇措置が最初に建設した者に与えられることを考慮したものであると考えられます。優遇措置の内容を表11に示します。

表11 「2005年エネルギー政策法」の優遇措置

<p>○生産税額控除</p> <p>2021年以前に運転を開始する600万kWまでの新型原子力発電所に対して、発電電力量1kWh当たり1.8セントの税額控除を8年間にわたって適用。但し、100万kWの発電所の場合、年間1億2,500万ドルが上限。</p> <p>○遅延時の費用の補償</p> <p>3炉型、6基までの新型原子力発電プラントに対し、DOE長官は、NRCの許認可や訴訟による建設又は運転開始の遅延に伴う費用を支払う。初めの2基については、1基5億ドルを上限に遅延費用の100%、続く4基については、1基2億5,000万ドルを上限に遅延費用の50%を支払う。</p> <p>○債務保証</p> <p>DOE長官は、新型原子力施設を含む大気汚染ガス又は温室効果ガスの排出を抑制する革新的技術に対し、プロジェクト費用の80%まで債務保証を行う。</p>
---

アジアの動向

[中国と韓国の発電電力量見通し]

発電電力量の見通しを見ますと、中国は図5のように、アメリカやイギリスの倍以上で伸びています。韓国も比較的今は堅調ですが、先行きは少し鈍化する傾向にあります。中国は石炭火力発電の国で環境汚染が大きな問題になっています。少しずつ環境対策を講じていこうという国の取り組みは見られますが、何しろ汚染源の量が多いので短期的には解決困難だと思われます。

中国が「アジア通貨危機」\*\*の直後に発表した「第10次5カ年計画」での発電開発計画は、経済危機を反映して極めて控えめなものでした。ところが、2000年初頭から今日まで、中国

経済は急激な成長を遂げています。それを受けて、2002年の共産党大会では、発電電力量を2000年比で2020年には4倍に、原子力は全体の4%（現在0.5%程度）までにすると決めました。間もなく発表される「第11次5カ年計画」にこの決定が盛り込まれると思います。

一方、設備容量に関しては、設備容量で原子力が大変な増加率を示しています。表12に中国の原子力発電の導入計画を示します。

韓国は、エネルギー資源の97%を輸入して、原子力の発電設備容量は図6に示すように、全体の30%で、もはや原子力国です。現在、政府主導でPWR（Pressurized Water Reactor）の次世代原子炉「APR1400」（140万kW）を開発中で、中国、東南アジアの売り込みに非常に熱心です。

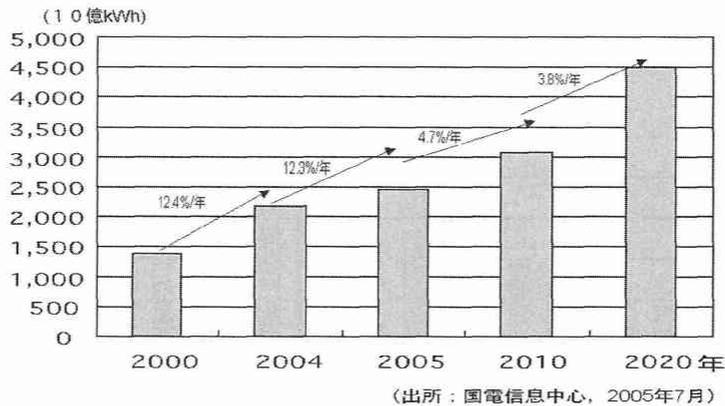


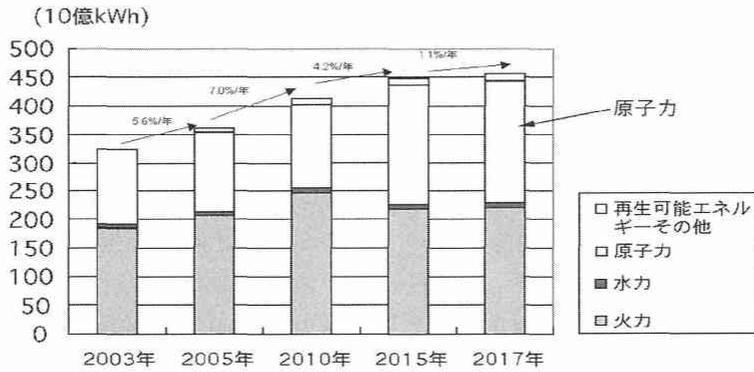
図5 中国の発電電力量の見通し

表12 中国の原子力発電の導入計画

		発電設備容量 (万kW)				構成比			
		2000年	2005年	2010年	2020年	2000年	2005年	2010年	2020年
火力	石炭	23,224	30,330	40,200	59,500	72.7%	70.5%	67.0%	62.6%
	石油・天然ガス	530	1,000	2,000	5,000	1.7%	2.3%	3.3%	5.3%
	小計	23,754	31,330	42,200	64,500	74.4%	72.9%	70.3%	67.9%
	水力	7,935	10,500	15,000	23,500	24.8%	24.4%	25.0%	24.7%
	原子力	210	870	2,000	5,000	0.7%	2.0%	3.3%	5.3%
	新エネルギー	33	300	800	2,000	0.1%	0.7%	1.3%	2.1%
	設備容量合計 (2003年見通し)	31,932	43,000	60,000	95,000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	設備容量合計 (「第11次5カ年計画」見通し)	31,932	50,000	70,000	100,000	-	-	-	-

(出所：中国能源發展報告2003（中国計量出版社），中国電業2005年1月号)

\*\*1997年7月からタイを中心に始まったアジア各国の急激な通貨下落（減価）現象。この現象は東アジア、東南アジアの各国経済に大きな悪影響を及ぼした。狭義にはこの現象のみをさす、広義にはこれによって起こった金融危機を含む経済危機を指す。



(出所：韓国産業資源部、第2次長期電力需給基本計画（2004～2017年）)

図6 韓国の発電電力量の見通し

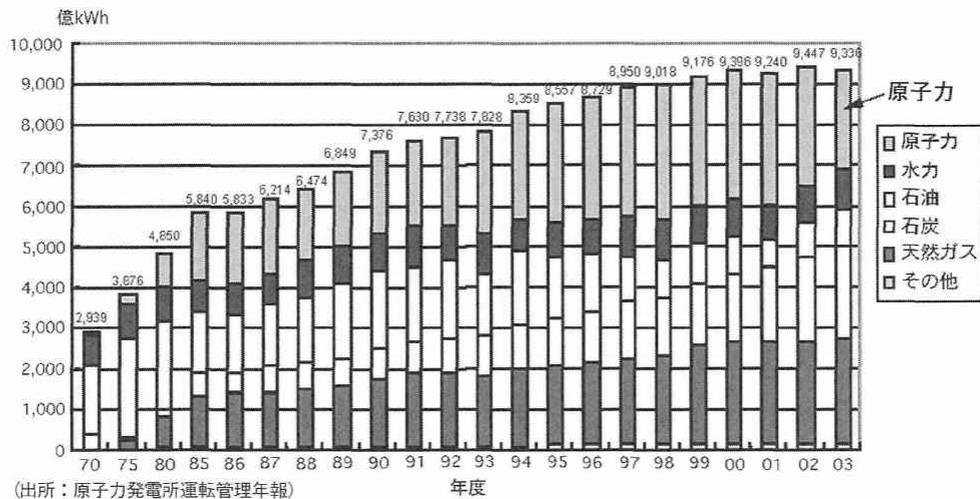
わが国の現状と将来展望

原子力需要の動向

わが国の電力需要の動向と原子力発電の取り組みについてお話しします。図7がわが国

の発電電力量の推移です。近年、発電電力量の成長が相当停滞してきているということがお分かり頂けると思います。図8は、これまでの原子力発電所の運開基数です。中部電力(榑浜岡5号機を含めて)53基です。

電力需要の見通しについてですが、平成17年3月に総合資源エネルギー調査会から『2030年のエネルギー需給展望』（以下「需給



(出所：原子力発電所運転管理年報)

図7 わが国の発電電力量

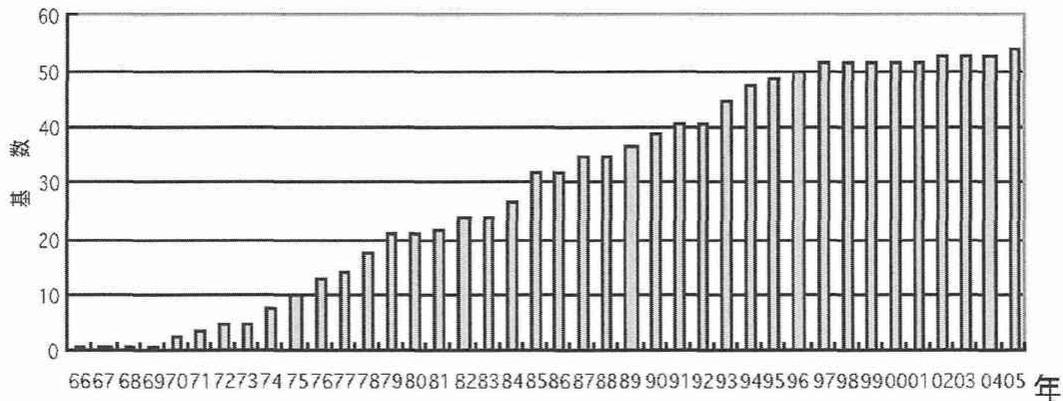
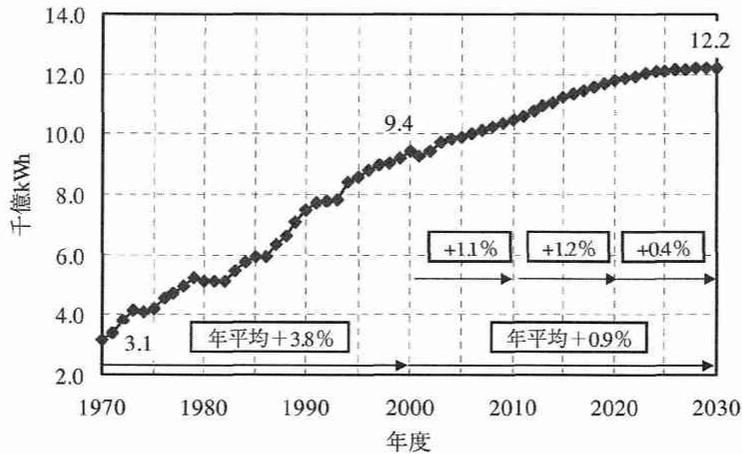


図8 原子力発電所運開基数の推移



(出所：「2030年のエネルギー需給展望」平成17年度)

図9 原子力発電所運開基数の推移

展望)が出ています。その中で、当面は堅調に伸びるものの、将来は人口の減少、世帯数の減少等で伸びが鈍化してくると予想されています。

図9で見ますと、2000年まで堅調に伸びてきて、2000年を超える頃から1.1~1.2%ぐらいに鈍化し始め、2020年頃には1%を割っているという予想です。先ほどのEU15カ国とよく似た状況にあると言えます。

### 原子力発電の取組み

表13は今後の原子力発電導入についての予測です。今後の電力需要の伸びに比例して原

子力が伸びると仮定する「需給展望」のレファレンスケースでは、2000年時点で4,492万kW、2010年ではプラス3基で5014万kW。つまり、2000年から2010年の間に原子力発電所が3基（東京電力東通1号機、北陸電力志賀3号機、北海道電力泊3号機）が建つ、2010年~2030年では6基しか建ちませんと言っています。

「需給展望」では、色々なパラメータサーベイを行い、レファレンスケース、原子力発電の導入が多い原子力Highケース、また導入が少ない原子力Lowケースに分けた予測を行っています。

レファレンスケースでは、2030年度までに

表13 原子力発電供給サイド（「需給展望」から）

○電源構成  
 -平成16年度電力供給計画、建設進捗状況等を踏まえて、電源構成モデルにより経済合理的に決定されるものとして発電設備構成を試算。  
 -但し、非化石エネルギー（原子力、新エネルギー等）については、外生的に設定。

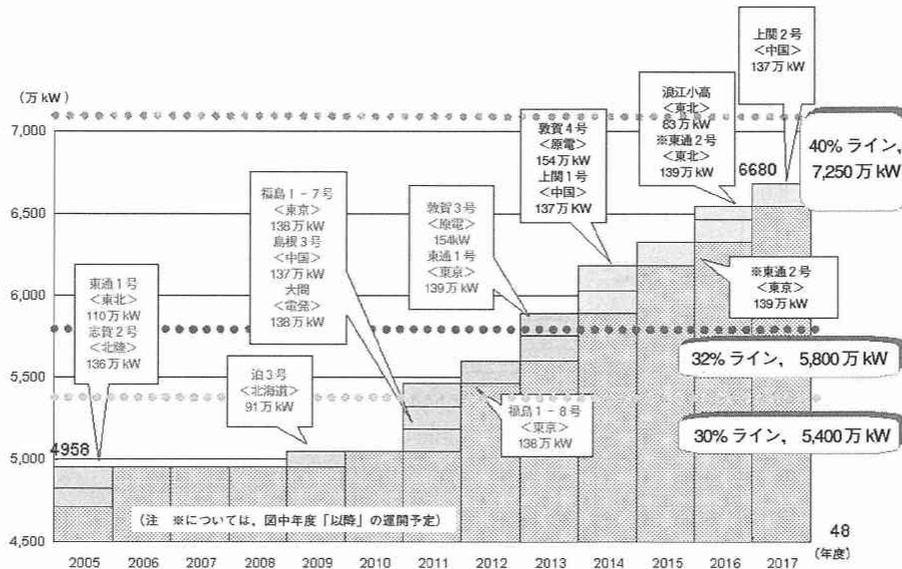
○原子力  
 1. 設備容量

万kW/利用率(%)	2000年度[実績]		2010年度		2030年度	
レファレンス [約9基運開*]	4,492	82%	5,014	85%	5,798	85%
			[+3基] 東通1(110.0万kW) 志賀2(135.8万kW) 泊3(91.2万kW)		[+約6基] 当該期間の電力 需要増分に比例 すると想定	

\*1基136万kWとして基数換算

2. 廃炉  
 -日本原電(株) 敦賀1号(35.7万kW)は、2010年度廃炉

3. 設備利用率  
 -2010年以降、2030年まで85%で一定



(出所：平成 17 年度供給計画を元に作成)

図10 今後10年間の原子力発電容量の見通し

運用開始がなされる原子力は9基に過ぎません。図10に示しましたが、もしも、供給計画で計画されているものが導入されれば（原子力Highケース）、15基か16基ぐらいになります。逆に、現在、申請しているものに絞ってしまうと（原子力Lowケース）、4基しか建ちません。仮定と前提によって、今後建つ原子力発電所の基数はこれだけ変わってくるわけです。

さらに、新設、増設だけでなく、経年化（老朽化）によって建替えなければならない原子力発電所が今後出てきます。それを示したのが図11です。

2013年度までの9基導入まで行った後、敦賀1号機の「40年で廃炉」というのを除いて、全部「60年で廃炉」にする場合だと、一番上の線になります。発電容量が50万kWの原子炉

- ✓ 60年で廃炉を前提とするなら容量減少は2030年前半以降
- ✓ 廃炉が早まる場合は、2015～25年までに3割を下回る

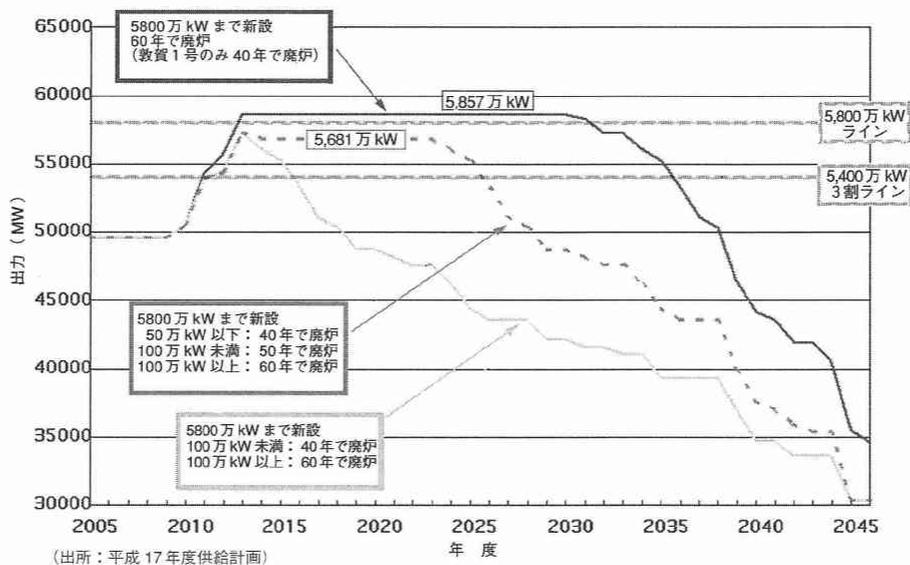


図11 原子力発電リプレース必要量の見通し

は40年、100万kW未満は50年、100万kW以上は60年で廃炉にする場合は、真ん中の線になります。一番下の線は、100万kW未満の原子炉は全部40年、それを超える原子炉は60年で廃炉にする場合です。

これはあくまでも試算に過ぎません。どれくらいの年数で廃炉にするか、発電所をどうメンテナンスしていつまで運転を続けるかについては、国でも検討が進められているところで、これから詳細に決まってくるでしょう。

また、実際にはどのライン（発電電力量に占める割合）を目標にするのかという問題があります。これは、エネルギー資源のベストミックスにかかる問題で、今までは30～40%とよく言われました。ですから、概ねそれに近づけることが1つの目標となるかもしれない。あるいは、地球温暖化防止策として原子力にある役割が求められ、それが目標となるかも知れません。しかし、いずれも今後国民の皆さんの理解、合意を得ながらでないとなかなか進まないと思われまます。

---

### 予測される課題

---

これから述べることは、あくまでも私見であって、いかなる組織をも代表する意見ではないことを最初にお断りしておきます。

#### [産業体制の再構築]

私たちは35年ぐらいの間に五十数基の原子力発電所を建ててきました。ところが、これからの25～30年ぐらいの間には、9基、あるいは『2030年のエネルギー需要展望』の原子力Highケースでも15基、16基しか建ちません。これは、電力会社の原子力発電に対する姿勢がどうかという以前の問題で、「需要のないものは作れない」ということの反映なのです。需要がないのに作る場合は、別に理由があって、政策的な誘導がないとなかなか建たない

ということだと思えます。需要に沿う形で建設を進めていけば、4分の1か3分の1ぐらいのピッチになるはずですよ。

こういった状況下で、原子力拡大期に形成された今の産業体制が維持できるのか。私はこれからの30年は、停滞期のようにでありながら、実は原子力の再生を過去に拘泥せずに検討する絶好の機会ではないかと思っています。例えば、今までの原子力発電所というのは、建設からメンテナンスのかなり入り込んだところまでメーカーに面倒を見てもらっていたわけです。メーカーがやってくれなければできないという状態で来ました。そのために、新たな弊害が出始めています。私は、最近起こっている色々な不祥事はそういうものと根がどこかでつながっていると見ています。ですから、これからは電力会社が自分でメンテナンスをやるという姿勢をとっていくことが非常に大事だと思います。従来、メーカー、電力会社、国が一体となって原子力発電に取り組んできましたが、やや鎖国的な仕事のやり方だったとも言えます。こういったやり方は、電力自由化、グローバル化に沿って見直す必要があると思うのです。

メンテナンスは、電力会社が自前できちんとやり、メーカーの世話にならなければならないところ（例えば、特殊な機器の製作、据え付け等）だけはアウトソーシングをお願いするというレベルにもっていくべきではないかと、私自身は思っています。

プラント建設について、例えば「競争入札しましょう。どこのメーカーでもいいじゃないですか」と踏み切りますと、一番最初に問題になるのはやはりメンテナンスです。電力会社が自由化の中で安くて良い物を世界中から求めてくるという方向に進んでほしいと思っていますが、そのためには、自分の足元をしっかりとらせてからでないと進められません。これからの30年間というのは実はそういうことを思考する期間だと思います。

## [海外進出の推進]

### ① 核保有国との競争で勝算はあるか

海外進出の推進には相当難しい問題があると思います。例えば、日本独自のプラントをどこかの国へ持って行って売ろうとした時に、他国の競争相手も売り込みに来ていることでしょう。例えば、ロシアが来て、「使用済み燃料は引き取ります。再処理もしてあげます。お望みなながらMOXにしてお持ちします」と追加サービスを提供しようとするかも知れないと思うのです。日本は同じことができるのでしょうか。こういうことになると、核保有国が圧倒的な強さを持っているので、そういうところと競合した時に、原子炉そのものは負けないけれども、付帯的なサービスのところで不利な状況に落ち込まないかという問題があると思います。

### ② わが国を国際市場とする覚悟はあるか

国際市場に乗り込んでいく場合には、わが国自体を国際市場の場とする、要するに日本を国際市場化して、日本の電力会社もその中から良いものを買うということをする覚悟が我々にはできているだろうかという問題があると思います。いずれにしろ、電力会社が広く国際市場からニーズに合った原子炉や部品を自由に調達する方針に切り換える必要があると私は思いますが、それができるのか。そのための条件整備はどうしたらいいかという問題です。

## [国際競争力のある原子力プラント]

### ① 国際市場が選択する原子力プラントとは

「全日本」の旗が付いた国際競争力のあるプラントで売り込んでみましょうという時に、国際市場が選択する原子力プラントとはどのようなものか、ある程度思考しておかなければなりません。自己満足だけでは国際市場に受け入れられないと思います。応札時に対象外にならないことは最低限の条件だと思えます。だから、こういうことについて見通しをもって取り組んでいかなければいけません。

### ② 原子炉開発の主導者は誰なのか

その時に、そのような原子炉の開発を主導するのは誰なのでしょう。従来、総括原価方式で国策民営的に原子炉開発を進めてきたため、「国」、「電力会社」、「メーカー」の課題やニーズが共有された形で進められてきたところがあります。

しかし、電力自由化の進展で競争が激化する一方で、電力需要の伸びも鈍化してきています。環境問題、原子力を取り巻く新たな環境変化、今後の原子力の取り組みに対する考え方が「国」、「電力会社」、「メーカー」の間でズレてくる可能性があります。例えば、「電力会社」は、初期投資が大きい原子力は、資金の回収が遅くなりますから、「原子力が長期的に必要である」ということがはっきりしない限り、なかなか手を付けたがらないということがあるかも知れません。しかし、「国」は環境問題等を考えた時に、「もう少し原子力発電所を建ててもらいたい」という気持ちが出るかも知れません。そこで、原子力開発において、それぞれの役割分担をもう少し明確にして、新たな枠組みを構築していく必要性が今出てきていると思います。

## [原子力発電所の導入拡大可能性]

電力需要がそれほど伸びてないから、新規の原子力発電所は要らない。しかし、エネルギー・セキュリティの面をどう考えるか。環境対策の面をどう考えるか。複数の電力会社での共同開発は考えられるか。そういったことも検討する必要があると思います。

## [リプレース（取り換え）時代に向けて]

リプレースは、2030年頃に必要になるのではないかと思われませんが、その時に何でリプレースするのか。その1つに、電力会社にとって、その時に一番ニーズに合ったものを市場から選択するという考え方があります。

もう1つ、これから2030年までの期間をそのための助走期間にするという考え方もありま

す。『原子力政策大綱』の中で「30～40%ぐらいが原子力の導入量が適切である」と言っていますが、そこではリプレースは大型炉指向になっていたと思います。これもメーカーが自らのリスクで、自分のビジネスチャンスを拓けるために、今の炉を改良するという方法があるべき形ではないかと私は思っております。

---

### まとめと提言

---

最後に、提言と言いますか、今までのまとめを述べさせていただきます。それは、

- ① 電力の自由化が進展する中で、「メーカー」、「電力会社」の役割分担を見直して整理する必要がある。
- ② 海外進出で日本国内を国際市場化する必要性が高まる。
- ③ 国内の原子力活動、慣習をグローバルスタンダードに近づける必要がある。
- ④ 電力業界は市場からより良い、安い原子力発電技術をアウトソーシングできる体制を整える必要がある。

以上が私の講演の要旨です。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

## 閉 会 挨拶

荒 井 行 雄 (財)エネルギー総合工学研究所  
専務理事

本日は、長時間にわたりまして、第21回エネルギー総合工学シンポジウムを熱心にお聞きいただきまして誠にありがとうございました。今回は「日本のエネルギーの未来を拓くー超長期のエネルギー技術戦略と原子力の将来像ー」をテーマに開催させていただきましたところ、約400名の多数の方々のご参加をいただきました。ただいままで6件のご講演をお聞きいただきました。いずれも大変興味深く、多くの示唆に富んだ誠に有意義なものであったと存じます。講師の方々に厚く御礼を申し上げます次第です。今回のお話が皆様の今後のビジネス、あるいは研究開発に有意義な情報を提供できましたとしたら、当シンポジウム主催者といたしまして望外の幸せです。

私ども、エネルギー総合工学研究所は、エネルギーに関する諸問題について技術的側面から解決策を提案すべく、調査研究活動を行っています。当研究所の特徴を一言で言いますと、名前にありますとおり、「総合工学」の視点、すなわち、原子力、化石エネルギー、新エネルギー、電力・エネルギーシステム、地球環境といった広範なエネルギー分野をカバーするとともに、産学官の連携によるネットワークをベースに研究活動を進めています。

本日のテーマにありますように、超長期の視野から眺めますと、世界全体としては、人口の増大、中国、インド等の発展途上国における経済成長の進展等が予想され、資源制約、環境制約の顕在化が懸念されるどころです。こうした中で、世界経済の持続的発展を維持しながら、諸制約を克服するためには、技術の果たす役割は極めて大きいと考えられます。

当研究所といたしましても、このようなエネルギー・環境問題の解決のため、エネルギー技術に関し、今後さらに情報基盤の整備、評価機能の強化を図りながら、個別技術課題につきましてその解決策に取り組むとともに、エネルギー技術全体としてのリソースの最適化等の課題にチャレンジしてまいりたいと考えています。

本日のシンポジウムが予定どおり日程を終えることができましたことは、会場の皆様のご協力のおかげと改めて御礼申し上げます。最後に、私ども研究所の運営に対しまして皆様方の一層のご支援、ご協力のほどをお願い申し上げまして、本日のシンポジウムを閉会とさせていただきます。本日は誠にありがとうございました。(拍手)

## 研究所のうごき

(平成17年10月1日～12月31日)

### ◇ 月例研究会

#### 第239回月例研究会

日 時：10月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. スターリングエンジンの研究・開発動向  
(独)海上技術安全研究所環境・エネルギー研究領域大気環境保全研究グループ主任研究員 平田 宏一 氏)
2. 100kW小型貫流ボイラ発電システム  
(株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所流熱技術研究室 主任研究員 工学博士 満田 正彦 氏)

#### 第240回月例研究会

日 時：11月25日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階 501・502会議室

テーマ：

1. 環境効率指標の考え方  
(独)産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター センター長 稲葉 敦 氏)
2. 温室効果ガス削減基準としての「ブラジル提案」の動向  
(財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 副部長・主管研究員 黒沢 厚志)

#### 第241回月例研究会

日 時：12月16日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 701・702会議室

テーマ：

1. 燃料電池の開発動向  
(横浜国立大学大学院工学研究院 機能の創世部門 過程の機能と安全分野 教授 太田 健一郎 氏)
2. 「将来枠組みに関する形式的な合意」モニタリングオール会議(COP/MOP1)報告  
(財)電力中央研究所 社会経済研究所 温暖化対策・制度の分析 重点課題責任者 杉山 大志 氏)

### ◇ 主なできごと

10月17日(月) ・第2回700℃級超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴うCO<sub>2</sub>排出削減研究

10月18日(火) ・第1回長期エネルギーシステム評価に関する委員会

24日(月) ・第2回「廃棄物発電及び廃棄物ガス変換発電導入普及に関する調査」導入戦略委員会  
・第50回企画委員会

25日(火) ・第2回リスク情報検討委員会

28日(金) ・第2回分散型電源と系統安定に関わる技術検討会

31日(月) ・第1回原子力LCAに関する委員会

11月7日(月) ・第1回電力・ガス総合技術検討会及び国内安定供給技術分科会

8日(火) ・原子力水素研究会

9日(水) ・第1回電力・ガス総合資源・環境技術分科会

11日(金) ・第1回水素貯蔵技術開発ロードマップ検討WG  
・第1回水素インフラ技術開発ロードマップ検討WG

15日(火) ・第2回風力発電電力系統安定化等技術開発実行委員会

17日(木) ・第1回オフロードエンジンから排出される未規制物質測定法の標準化に関する調査研究委員会

18日(金) ・高温ガス炉プラント研究会第3回講演会

21日(月) ・第1回エネルギー技術情報基盤検討委員会

30日(水) ・第1回「米国の原子力規制委員会の役割と運用実態について」に関する検討会  
・第1回電力・ガス総合技術作業会

12月1日(木) ・第3回高温ガス炉プラント研究委員会

2日(金) ・第1回軽水炉等技術開発推進事業技術検討会

5日(月) ・第1回軽水炉等技術開発推進事業技術検討会

12日(月) ・第3回エネルギーモデル検討委員会

15日(木) ・第3回700℃級超々臨界圧プラント(A-USC)技術開発経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴うCO<sub>2</sub>排出削減研究

16日(金) ・第3回分散型電源と系統安定に関わる技術検討会

20日(火) ・第3回品質別電力供給システム総合調査委員会  
・第2回電力・ガス総合資源・環境技術分科会及び国内安定供

- 給技術分科会
- ・ 第2回水素貯蔵技術開発ロードマップ検討WG
  - ・ 第2回水素インフラ技術開発ロードマップ検討WG
  - ・ 第3回リスク情報検討委員会
- 12月21日（水） ・ 第2回「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」技術開発推進委員会
- 27日（火） ・ 第2回電力・ガス総合技術検討会

◇ 人事異動

○10月15日付

（出向解除）

松下和海　プロジェクト試験研究部 主任研究員

○10月16日付

（出向採用）

村越俊則　プロジェクト試験研究部 主任研究員

○12月31日付

（出向解除）

志水巨宜　プロジェクト試験研究部 部長・副主席研究員

田村豊一　プロジェクト試験研究部 主管研究員

## 編集後記

2006年を迎え、心機一転と行きたいところですが、エネルギーと環境に関する限り多くの問題を抱えたまま新年を迎えることになったのではないのでしょうか。まずエネルギー問題に関しては、原油価格は依然高値のまま(約60ドル/バレル、NYMEX先物価格)年を越しましたが、新年早々ロシアがウクライナへの天然ガス供給を停止するという事件が起りました。もっとも同事件自体は一応急遽解決を見、またそれを契機として全世界特にEU諸国はガスのロシア依存体制の脆さとともにエネルギーセキュリティの重要性を再認識することになったことは歓迎すべき点もあるようですが、問題の本質は変わっていないと思われま

す。一方、環境面とりわけ温暖化問題に関しては、クリスマス時期に40℃もの高温下にさらされた豪州他、世界的に高温化の傾向が見え、平成17年は観測史上2番目の温度となる見込みであることが報告されております(気象庁速報、平成17年12月14日)。その他、昨秋の米国を襲った大型ハリケーン(カトリーナ)など異常気象に起因したと考えられる多くの災害も発生しました。

いずれにしても本年もエネルギーと環境問題は、喫緊の課題であることには変わりはないようです。

さて温暖化問題解決のためには、京都議定書で定める第1約束期間より長期的

な取り組み、いわゆるポスト京都議定書の進め方が必要とされておりますが、同問題審議のため昨年11月末カナダで開催されたCOP11(気候変動枠組み条約締約国会議)およびMOP1(京都議定書締約国会合)では、同取り組みへの世界的な合意形成が如何に困難かが浮き彫りになったとも伝えられます。

エネルギーと温暖化および異常気象との関係については必ずしも全て定量的に解明されたとはいえないにしても、少なくとも相互に何らかの影響があることが否定できない以上、1日も早い世界的な取り組みに関する合意形成が期待されます。

本号は昨年10月3日開催の当所シンポジウム(テーマ『日本のエネルギーの未来を開くー超長期エネルギー技術ビジョンと原子力の将来像』)特集号です。特に2100年の姿からバックキャストして今日を考える「超長期エネルギー技術ビジョン」は、将来のエネルギーと環境問題解決の一方法を提示しており、今後更なる検討・改定が必要とされるにしても、日本発の独創的コンセプトとして世界に誇れる発想であります。

同ビジョンが新年および未来につながるビッグなお年玉になることを祈念しながら本号をお届けいたします。

編集責任者 小川紀一郎

## 季報 エネルギー総合工学 第28巻第4号

平成18年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2

新橋SYビル(8F)

電話 (03) 3508-8894

FAX (03) 3501-8021

http://www.iae.or.jp/



(印刷) 和光堂印刷株式会社

※ 無断転載を禁じます。