

季報 エネルギー総合工学

Vol. 28 No. 1 2005. 4.

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

目 次

【巻頭言】	エネルギー戦略の視点 経済産業省 資源エネルギー庁長官	小平 信 因	1
-------	--------------------------------	--------	---

-----【特集 シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか」】-----

【概要】	「日本のエネルギーに未来はあるか」 —有限の地球に生きる—		3
【基調講演】	安く豊かな石油時代が終わる —“石油ピーク”の意味するところ— (社)日本工学アカデミー 環境フォーラム代表 東京大学名誉教授, 富山国際大学教授	石 井 吉 徳	4
【講演】	エネルギー政策をめぐる諸問題 (社)日本工学アカデミー エネルギー基本戦略部会会長 三菱マテリアル(株)名誉顧問	秋 元 勇 巳	14
【講演】	新しい文明への移行—“人類と地球”の世紀 (株)モリエイ代表取締役会長 (財)日本学術協力財団理事	内 田 盛 也	29
【講演】	水素エネルギーの展望と課題 東京大学名誉教授	吉 田 邦 夫	39
【講演】	日本列島をめぐる領土と資源エネルギー 日本学術会議第5部会員 京都大学大学院教授	芦 田 讓	48
【総括とアピール】	(社)日本工学アカデミー エネルギー基本戦略部会副会長 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長	秋 山 守	58

【寄稿】	省エネルギーに向けた ヒートカスケード技術の展開 東京農工大学大学院 共生科学技術研究部助教授	秋 澤 淳	61
------	---	-------	----

【寄稿】	最近の省エネルギー対策の動向 (財)省エネルギーセンター 調査第2部長	佐 藤 文 廣	67
------	--	---------	----

【事業計画】	平成17年度 事業計画 (財)エネルギー総合工学研究所		74
--------	-----------------------------	--	----

【研究所の動き】			78
----------	--	--	----

【第27巻通巻目次】			80
------------	--	--	----

【編集後記】			84
--------	--	--	----

巻頭言

エネルギー戦略の視点

小平 信 因 (経済産業省
資源エネルギー庁長官)



言うまでもなく、エネルギーは、国の最も重要な基礎的インフラのひとつである。産業の発展も国民生活の向上も、エネルギーの円滑な供給があって初めて可能となる。エネルギーの確保は、明治維新以降の経済発展の過程、第2次大戦での敗戦からの復興—経済成長を目指す上で、常に大きな課題であり、政府が重点をおいて取り組み、民間において様々な努力が行われてきた。経済成長が実現した後、エネルギーが国にとっての基礎的インフラであることが国民の間で改めて強く認識されたのは、第一次石油危機の時であった。官民挙げての取り組みにより、省エネルギー、石油代替エネルギーの導入の促進、供給源の多様化が急速に進展し、エネルギーの需給構造の改善が進んだ。これは世界においても同様であり、その結果、石油を始めとするエネルギーの需給は、1980年代半ばから大幅に緩和し、価格も低位安定の状況となった。

こうした状況の中で、エネルギーに対する関心は、経済性（価格）に移り、基礎的インフラであるとの意識は低下し、「普通の商品」に過ぎないとの見方まで生まれることになった。先進国においてはエネルギー分野での規制緩和が進み、エネルギー価格は下落した。基礎的インフラである以上、可能であれば「低廉安定供給」が最も望ましいと考えられるのはある意味では当然であり、第一次石油危機以前のエネルギー政策の目標は、まさしく「低廉安定供給」とされていた。石油危機後はこれが「安定供給」となり、そして80年代の終わりからは、安定供給が確保されている下で「低廉供給（経済効率の重視）」に重点が移るという変遷を経てきた。

近年、世界のエネルギー情勢は大きく変わりつつある。米国が経済成長を続けエネルギー需要が伸び続ける一方で、急速に経済成長している中国のエネルギー需要は劇的に増加している。中国当局は、2020年のGDP（国内総生産）は2000年の4倍になるが、省エネルギーの強化によりエネルギー需要の伸びは2倍にとどめるとの

方針を示している。しかし、これまでの各国の例をみても、経済の発展過程では、エネルギー需要は、経済成長を上回る伸びを示すのが普通であり、こうした方針の実現は相当困難と思われる。また、インドも中国を追って急速な成長を遂げており、中国と同じく2020年のGDPは2000年の2倍以上になると予想されている。中国もインドも国内のエネルギーの賦存が不足しているため、海外での資源の確保に躍起となっており、まさに「資源争奪競争」とも言える時代に入りつつある。こうした需要の伸びに供給が対応していけるのか。特に石油に関しては、「オイルピーク」説の当否は別として、IEA（国際エネルギー機関）の分析によっても遅くとも21世紀の半ばまでには世界の石油生産はピークを迎えることになるとの結果となっている。一部では天然ガスについても石油よりはタイミングは相当後になるものの生産のピークを迎えるとの懸念が示されている。少なくとも石油・天然ガスの世界の長期的需給は、現在のような状況を前提とすれば、相当に厳しくなっていくと見るべきであろう。更に、地球環境問題、温暖化への対応が先進国・発展途上国が協力して持続的に取り組んでいかなければならない一段と大きな課題となっており、エネルギー問題を規定する重要な要因となっている。

日本は、早ければ今年が人口のピークとなり、今後急速に少子高齢化が進んでいく。経済も一段と成熟化し、中国やインドが見通し通りの経済成長を続ければ、世界経済の中での相対的地位は低下していくことになる。これは、エネルギー分野でも同様である。成熟化する経済の中で活力を維持し快適な国民生活を実現していくために、基礎的インフラであるエネルギーについて、5年、10年でなく、40年、50年の視点に立った、また、エネルギーの安全保障と地球環境問題への対応に軸足をおいた確固たる対応が必要である。その際の基本は、激動が予想される国際エネルギー情勢からの影響を最大限緩和できる需給構造を構築していくことであろう。出発点は、「常に世界の最先端をいく」エネルギー高効率社会の達成とその世界への普及であり、それが、エネルギーの安全保障と地球環境問題への対応を同時に可能とする道である。供給面では、安全の確保と地域を始めとする国民の理解を前提とした核燃料サイクルを含む原子力発電の推進、再生可能エネルギーの拡大等である。需給両面にわたり、経済性の向上も含めた技術の果たす役割への期待はますます大きくなる。

[概要]

公開シンポジウム
「日本のエネルギーに未来はあるか」
—有限の地球に生きる—

2004年11月1日、日本学術会議講堂にて標記シンポジウムが実施された。当日は雨の中ではあったが、出席者は約300名を超え満席となる盛況であった。

開会挨拶で、岸輝雄日本学術会議副会長は、学術会議における基本的役割を紹介されるとともに時のテーマ（例、「環境」、「人口」、「南北格差」、「安全・安心」を含めた「サステナビリティ」）にも積極的に取り組む姿勢を示され、その意味からも本シンポジウムへの期待が大きいことを強調された。

続いて、冒頭の目次に紹介の方々による5つの講演、および「総括とアピール」がなされた。（詳細は本ページに続いて紹介）

最後に、三井恒夫日本工学アカデミー副会長が、日本のエネルギー問題は今や世界のエネルギー問題であるという認識のもと、長期的視点が重要であることを強調され閉会挨拶とされた。

主催 日本学術会議第5部 資源開発工学研究連絡委員会
エネルギー・資源工学研究連絡委員会
地球・資源システム工学専門委員会
（財）日本工学アカデミー エネルギー基本戦略部会
環境フォーラム
（財）エネルギー総合工学研究所

後援 内閣府、外務省、資源エネルギー庁、国土交通省、環境省、
経済同友会、日本経済団体連合会、新世紀文明国会議員懇談会



開会挨拶の岸輝雄日本学術会議副会長



閉会挨拶の三井恒夫日本工学アカデミー副会長



[基調講演]

安く豊かな石油時代が終わる* — “石油ピーク” の意味するところ —

石井 吉 徳

(旧日本工学アカデミー 環境フォーラム代表
東京大学名誉教授、富山国際大学教授)



はじめに

私は「安く豊かな石油時代が終わる」と、最近の3年ほど繰り返し社会に訴えています。最近、石油が1バレル50ドル、あるいは60ドルになるかも知れないと言われていますが、私はこの高値が一過性とは思っていません。それは産油国の政治的な思惑で起こった1970年代の石油ショックとは、構造的に違うからです。最近の石油価格の高騰は、やがて来る石油減耗の予兆かも知れないのです。石油生産のピーク、つまり「石油ピーク」後、ゆっくりと世界の生産量が減退する可能性があるのです。

私は大学卒業後、帝国石油に入り石油公団の前身などで石油探査の仕事に16年間従事しました。アジアでは、日本が国家としてインドネシアで最初に石油の探査する時には、現地状況の調査、地図探しなどにジャカルタ、メダンなどに行きました。その頃、日本でも新潟、秋田には石油掘削の櫓が立っていました。八橋油田(秋田県)では、試油で石油が勢いよく自噴する様子を目の当たりにしたこともあります。

油田とは、地下の背斜構造の油層内に、天然ガス、石油、水が軽い順に集まり濃縮されているものなのです。この油層の上には不透性の地層(キャップロック)があって、はじめて何千万年もの間石油がたまることができます。この“濃縮”の過程が油田形成の非常

[略歴]

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

現在、富山国際大学教授、東京大学名誉教授、日本工学アカデミー会員、地球子どもクラブ会長などを務めている。

専門分野は、地球環境学、資源・エネルギー論、リモートセンシング、物理探査学。

に重要なポイントです。ここで油層に井戸を掘り圧力が解放されると、猛烈な勢いで石油が自噴します。この自噴こそが油田の活力、特徴なのです。これがエネルギー資源の「質」なのです。これが大きなポイントです。よく「石油は後40年ある」と言われますが、それはあくまでも量だけの話であって、質を考えるとまったく違ってくるのです。

これは「熱力学の第二法則」のエントロピー則で考えると分かってきます。「熱力学の第一法則」とはエネルギーの「量が保存される」と言っています。これに対して、「第二法則」は、「質は劣化する」と言っているのです。

「地球は有限」が原点

持続可能でない大量生産、大量消費、大量廃棄社会

最初の図1はLimited Our Earth(我々の地球

*本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部/旧日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他/旧エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における講演を本誌掲載用にテープ起こしたものです。

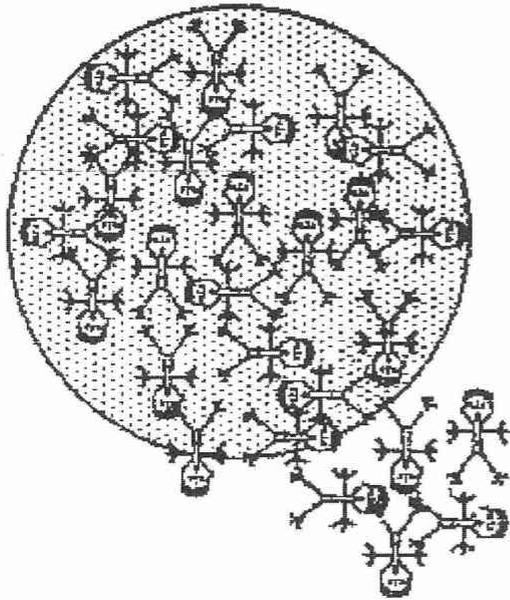


図1 Limited Our Earth

は有限である)です。私が1984年に描きました。その頃の世界人口は44億人でしたが、今は20億人増え64億人です。増え続ける人口が大量の資源エネルギーを使い、大量に物を作って消費し最後に捨てる。人間は膨大な廃棄物を大気に、水に、陸上に捨てています。大気に捨てるのが地球温暖化の原因と言われる二酸化炭素(CO₂)で、陸上には色々な固形ごみ、水にも色々なものを捨てています。ですから、人口、資源エネルギー、環境問題は同時に取り組むべき問題なのです。

図2は、今やっとレバノンに残っている樹齢数千年のレバノン杉です。国連教育科学文化機関(ユネスコ)の世界自然遺産に指定されました。かつてはここに鬱蒼たるレバノン



図2 僅かに残ったレバノン杉の森(1996年)

杉の森があったのですが使い果たし、今はこの程度の森とは言えないような林が2, 3カ所残る程度になっています。

既に人類は、地球上の森を半分使いました。森は地上にあるので、少なくなったことが目で分かります。しかし、地下にある石油は見えないために、減っても見えません。既に2兆バーレルと言われる石油の半分を人類が使ったことに気が付かず、「石油はまだまだある、科学技術が進歩すればまだ見つかる」と考えます。

図3は、日本の最西端にある対馬の井口浜に漂着したゴミです。韓国からが殆どですが、中国、若干日本のものも混ざっています。これはほとんど知られていません。木材などの産業廃棄物も含めた、様々な大量のゴミです。

循環型社会構築にはエネルギーが必要

資源エネルギーを大量に使って物を大量生産し、大量消費をし、大量投棄するので環境問題となるわけです。そこで「循環型社会」と、リサイクルが大きな運動になっています。しかし、循環には必ずエネルギーが要ります。生み出される廃棄物、ゴミは常に拡散、劣化の一途を辿るからです。これを元に戻し、循環させるためには、エネルギーを投入しなければならないのです。

「大丈夫、自然も循環している、それに見習う」という話もありますが、これは間違ってい



図3 対馬に漂着したアジアのゴミ(1998年)

ます。自然生態系の循環システムは、太陽エネルギーで運転されていることを考えていないのです。大気中のCO₂を植物が光合成で固定し、それを動物などが食料とします。有機物は順次利用され、最後にCO₂になって大気に戻るのです。このシステムには、膨大な太陽エネルギーが使われているのです。循環にはエネルギーが必要なのです。

採れば必ず減るエネルギー資源

石油は「何とかなる、まだまだある」と、公的には国際機関も政府も述べるようです。

これが世間の大方の理解ですが、本当にそうなのでしょうか。

資源は採れば必ず減っていくものです。人間は質の良いものから採りますから、資源は量が減るとともに、質も悪くなります。ようやく日本のマスメディアも、このことに気づき始めたようで、朝日新聞が私の「石油ピーク」の話を取り上げました。図4がその記事です。

しかし、今も公式には表1のようになっています。可採年数、いわゆる寿命も石油が40.6年などとなりますが、これは確認可採埋蔵量を年間生産量で割っただけの、量の話です。質がまったく入っていない、ということにご注意くだ

科学劇場記者席

編集委員 内山 幸男

原油が高騰している。ニューヨーク産取引所の米原油WTI原油の先物価格は1ヤリ50.78ドルを越え、さらに海運を更迭した。中東情勢、中国の高騰増などさまざまな原因が指摘されている。

しかし、2年前に聞いた議論が裏になつて仕方がない。石油地質学者で、石油会社トタル社元幹部のC.J. キャンベル氏が88年に発表した「石油生産、2004年11月版」で、予測が正しければこれから石油生産は減り続ける。

「1971年だった予測は、88年に米国の石油生産は70年がピーク」と予測していたのが、当分の実績をもつて、高くて正しい石油時代が来る」との警告を鳴らしている国立資源研究所元所長の石井吉徳・富山国際大教授によれば、油田の発見のピークは80年代だった。81年以来、石油の消費量は発見量を上回っている。

世界最大のサウジアラビア・ガワル油田の発見は40年代。当時は勢よく自給していたが、今は1日400万バレルの海水を注入して、搾り出している状態だ。

石油が枯渇するかどうか警告は、72年のローマクラブの

【原油高騰】「オオカミが来た」が現実

「成長の限界」を暗示する。近年の石油危機は、それが証明されたように思われる。

「オオカミ」が、可採年数(の予測)探埋蔵量(の年数)が、約36年の事実、毎年たつても減り、80年にはさらに急速に増え、01年には44年に石油埋蔵量はオオカミ少年年をたいてしまった。

しかし、企業や国家から集めたこのデータが怪しいらしい。実際、今年、シエラ石油の埋蔵量増しが発表された。さらに深刻なのは、原油の値の低下だ。探埋エネルギーに対する、得られるエネルギーの比(EPR)は、元来石油田は50以上だが、探埋が進むとどんどん下がる。米国の油田の平均は、1以下なる資源として価値はない。

オイルサンドは、環境復まで含めれば1以下だと井さんはいう。「それなら、最早、カナダのオイルサンドが石油埋蔵量に入った」フリンゴ教授は、キナバルの情報を熟知しているという。日本はどうか、ペソップ物産の羊飼いの少年は「オオカミが来た」とうそをいふ、やがて村人はその言葉を信用しなくなった。しかし、最後には本音がオオカミがやってきました。

図4 「石油ピーク」を紹介した朝日新聞のコラム(2004年10月9日夕刊)

表1 世界の資源量

	石油	天然ガス	石炭	ウラン	
確認可採埋蔵量	1兆480億バレル	156兆m ³	9,845億トン	393万トン	
地域別賦存状況	北米	3.6%	4.4%	26.1%	17.9%
	中南米(注3)	10.6%	4.7%	2.3%	6.5%
	欧州	1.8%	3.8%	13.2%	3.5%
	旧ソ連	7.5%	35.4%	22.9%	30.6%
	中東	65.4%	36.0%	0.2%	0.0%
	アフリカ	7.4%	7.6%	5.6%	17.8%
	アジア・大洋州	3.7%	8.1%	29.7%	23.8%
年生産量	270億バレル (73.9百万B/D)	2.5兆m ³	48.3億トン	3.7万トン	
可採年数	40.6年	60.7年	204年	61.1年 (注1)	

(注1) ウランは十分な在庫があることから年生産量は年需要量(6.2万トン)を下回る。このためウランの可採年数は確認可採埋蔵量を年需要量で除した値。
(注2) ウランは2001年の数値。それ以外は2002年の数値。
(注3) 2002年版より中南米にメキシコを含めることとしたため、それ以前との比較の際は注意を要する。

(出所: 総合エネルギー統計(平成14年度版), 経済産業省資源エネルギー庁)

さい。多くの方は、「石油が40年後になくなるのであれば、40年後に考えればいい」と思っているようです。そして「40年前も専門家は40年後に石油がなくなると言ったが、大丈夫だった。だから、『石油ピーク』の話もあるが、また大丈夫」と言うのが「石油ピーク」に対する日本人の一般的な反応です。

「石油ピーク」

欧米で深まる理解

かつての「ローマクラブ」*のような集まりが、今ヨーロッパにできています。ASPO (The Association for the Study of Peak Oil) です。最近天然ガスもあやしくなってきたため、“The Association for the Study of Peak Oil and Gas” としました。石油地質学者C.J.キャンベルなどが中心となったヨーロッパの14カ国の専門家グループで、拠点はスウェーデンのウ

プサラ大学にあります。3年前から年に1回、ワークショップのような会合を開いています。このASPOには単に石油関係者だけでなく、原子力、銀行、EU議会のメンバーなど、幅広い人達が参加します。

図5はキャンベルが1998年に発表した、世界の石油生産量のカーブです。石油の生産量は2004年にピークを迎えるとなっていますが、ピークは滑らかですから2004年という数字にそれほど大きな意味はありません。私も含めて専門家は、2010年までにはピークが来ると思っています。

カーブの下の面積は埋蔵量(約2兆バレル)です。基本的に質のいいもの、使いやすいもの、儲かるものから生産し、いずれ需要に生産が間に合わなくなり、生産量が減退し始めるということです。40年後に急になくなる、ということではありません。

これは一種の予測理論ですが、過去の石油生産量の経過と総可採埋蔵量に関する、膨大なデータに基づいています。このカーブを「ハバート・カーブ」と言い、ピークを「ハバ

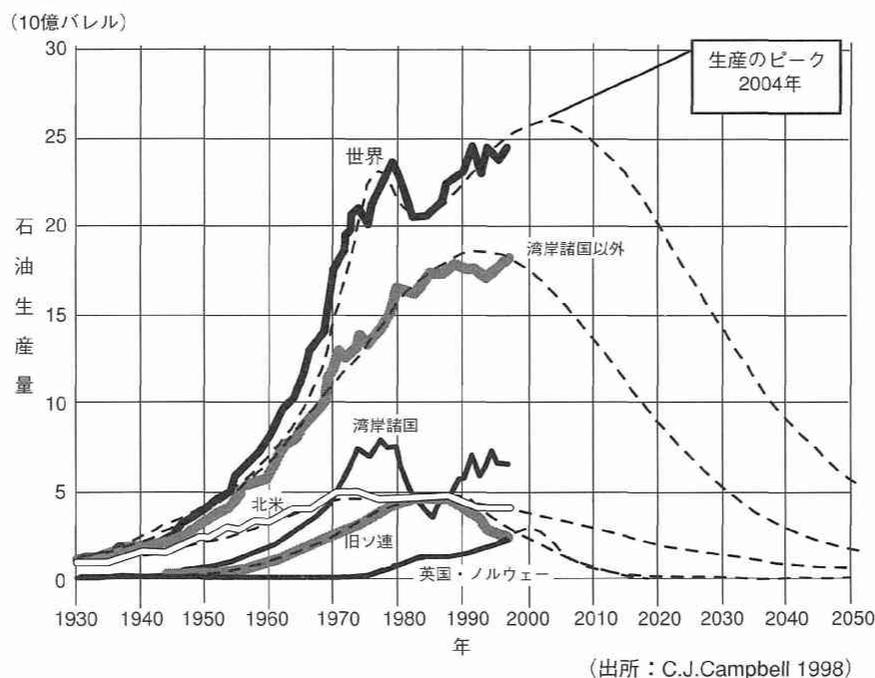


図5 世界の石油生産量：過去と未来，ハバートピーク

*環境、人口問題など、地球的規模の課題で想定される人類の危機を回避することを探ることを目的に、世界の科学者、経済学者などが集まり、1968年に活動を開始した民間組織。1972年に発表した『成長の限界』は、経済開発中心だった当時の社会に警鐘を鳴らし、地球環境問題への取組みの原点と言われる。(編集部作成)

ート・ピーク」,あるいは「石油ピーク」と呼ぶのです。1956年,シェル石油の研究所の地球物理学者キング・ハバートが「アメリカ48州で,石油が1970年頃にピークを迎える」と主張したのです。当然,大反対をされたようですが,彼の予測が当たりました。ですが1970年のピーク時に,それがピークだと気づきませんでした。当たり前です。その時がアメリカ48州は,最大の生産量を誇っているわけですから。

M. シモンズの「Too Late 論」

去年のパリでの会合にはキャンベル氏に呼ばれて,私も出席しましたが,東洋人は私1人でした。

アメリカからは,ブッシュ大統領のエネルギー顧問, M.シモンズ氏が話しました。彼はハーバード大学経営大学院を出てテキサス州ヒューストンでエネルギー投資銀行を経営しており,世界中の石油の状況がよく分かっているようです。

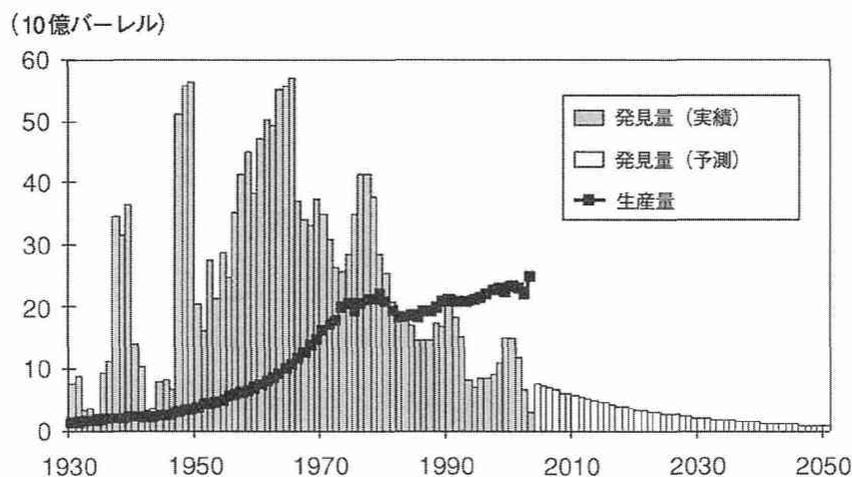
彼は,「ブッシュ大統領は『石油ピーク』を理解している」と言っています。また,「自分が間違っていればいいと思うが」と前置きしながら,「2000年に石油ピークが来た」とも言っています。「ところが,アメリカも含め一般の人たちは,なかなかそれを理解しようとしな

それでも楽観論者と悲観論者が議論を始めたのはいいことだ。悲観論者でも楽観的過ぎる。そして遅過ぎる (too late)」とも言うのです。というのは,現代社会のエネルギー・インフラは簡単には変わらないからです。例えば,高い石油時代の後に,石炭や原子力の時代が直ちに來るわけではない。今の石油社会を,急に別のエネルギー社会に変えることはできないからです。石炭から石油に変わるのに,何十年もかかりました。この時は,石炭よりも便利な石油への移行だったので自然に変わったのですが,今度は不便なものに移行するわけですから,そう簡単ではありません。ですから何十年もかかる,待てないというわけです。

1970年にアメリカの石油生産がピークを迎えていたのに,それに気づかなかったことについて,シモンズは,バックミラーの写真で「通り過ぎないとバックミラーに映らない。ある程度年数がたってから初めて分かる」と述べます。しかし,気づくのが遅過ぎ,間に合わないというのが彼の心配,「Too Late 論」です。

石油の発見と生産の歴史

世界の石油発見のピークは,ならずと1964年頃となるようです。図6で示すように,1984年頃に年間生産量と年間発見量が同程度でした。今は発見がどんどん減り,逆に生産



(出所: ASPO Newsletter No.48-December 2004を基に作成)

図6 拡大する石油発見量と生産量のギャップ

量が伸びています。

1945年から60年頃までは、年間350億バレル程発見されていました。1970年代は年間230億バレルになり、1990年代には年間60億バレルぐらいに減りました。

では、どのぐらい石油を使っているかですが、1999年頃は250億バレルも使っています。発見は生産量の4分の1程度です。現在はもっと増えて、300億バレルになっています。人類は、過去の貯金を食い潰して繁栄しているのです。300億バレルと言えば、一頃は「第二の中東」と呼ばれたカスピ海周辺の発見量（約300億バレル）を、1年で使ってしまふほど莫大なのです。この浪費が継続できるはずがありません。

強まらざるを得ない中東依存

中東という地域の特殊性

最後の頼りが中東です。図7は、シカゴ大学のダンカン教授が世界全体について描いた石油生産量のカーブですが、彼は「2006年にピークとなり、いずれOPECに頼らざるを得なくなる」と言っています。

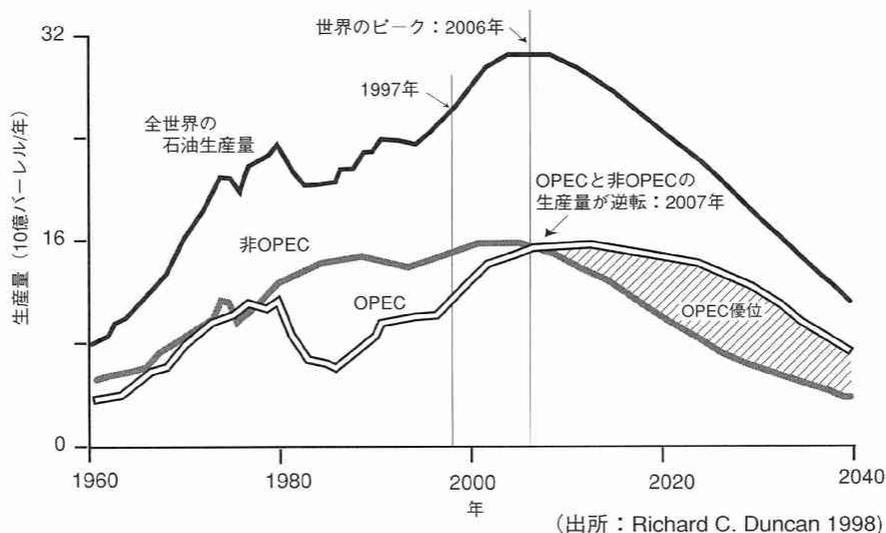


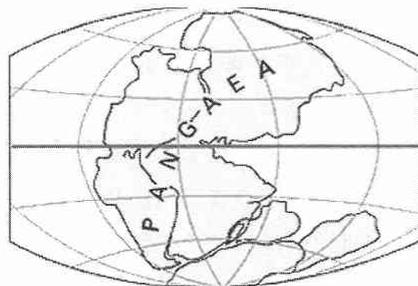
図7 2007年以降に来る「OPEC優位」の時代

中東という地域を知るために、地球の歴史を振り返ってみます。図8に示すように、2億2500万年前、地球は「パンゲア」と言う1つの超大陸にまとまっていた。それから、大陸が少しずつ分かれてきました。現在の中東に当たる地域には、内海のテチス海ができ、赤道直下に停滞しました。

恐竜がいたジュラ紀（1億3300万～1億8600万年前）には、大量の植物生産量がありました。その頃の地球は温暖で、大気中のCO₂濃度は今の10倍だったことが分かっています。気温は10度ぐらい高かったのです。そして生産された膨大な有機物が、内海であるテチス海に沈殿し、陸からも有機物が流れてきたわけです。内海であったテチス海は攪拌されず、酸欠状態が続き堆積した有機物が石油に変わったのです。

このように地球の歴史上、中東は特殊な場所です。ですから、現在の中東以外に、中東と同じ場所は地球上にもうありません。石油は探せば、まだまだ見つかるというのは幻想です。

図9は中東の石油・天然ガス生産が集中する「エネルギー三角地帯」です。面積は中東のたった7%に過ぎません。サウジアラビア、世界最大のガワール油田は1948年に発見されました。第2位のブルガン油田は1938年、イラクのキルクーク油田は1927年にそれぞれ発見されま



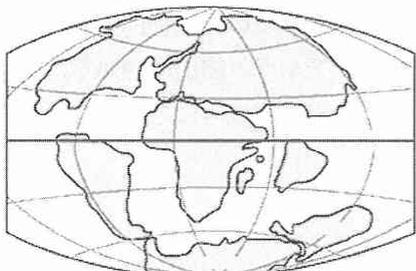
二疊紀
2億2500万年前



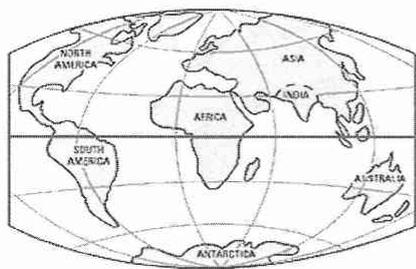
三疊紀
2億年前



ジュラ紀
1億3500万年前



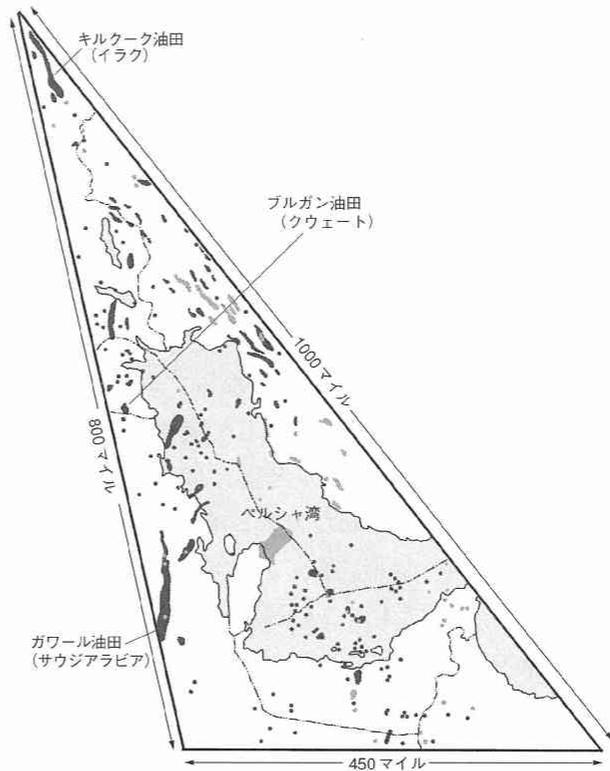
白亜紀
6500万年前



現在

(<http://geology.com/pangea.htm> の図を基に作成)

図8 大陸の変遷：パンゲアから現在まで



(出所：Simmons & Company International, 2003を基に作成)

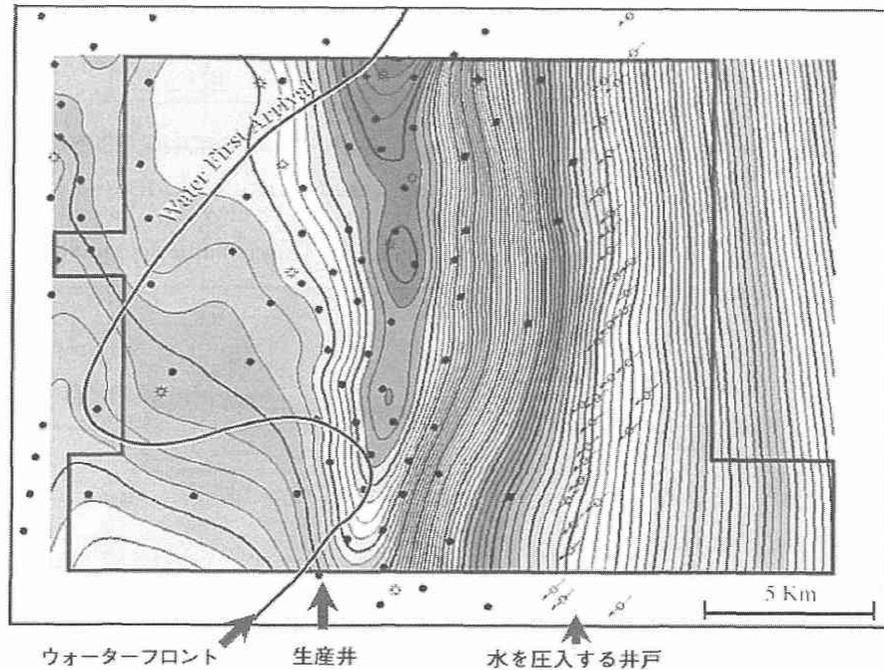
図9 中東の「エネルギー三角地帯」

した。ガワールは、今は年をとり自噴する力が衰え、水を圧入しています。この狭い三角形に世界が依存しているのですから、これから大変なことになるはずですよ。

衰えたガワール油田

ガワール油田も含めて、公式にはサウジ政府は「石油はまだまだある」と言っています。しかし、そうとは限らないようです。世界最大のガワール油田は、長さ約240Km、最大幅約40Kmもあります。生産量は450万バレル／日です。日本の輸入量が約500万バレル／日ですから、日本全部の分をここで生産していることになります。また、これはサウジの石油生産量の60%に当たります。2番目のブルガン油田の生産量は100万バレル／日ぐらいですから、ガワール油田がいかに巨大かが分かります。ですから、ガワール油田がこければサウジがこけ、世界がこけます。

“Ghawar is dying” (ガワールは死につつあ



(出所: <http://home.entouch.net/dmd/ghawarwaterfront.JPG> を基に作成)

図10 ガワール油田における石油生産

る)という言葉があります。60歳のガワール油田では、毎日700万バレル(約100万トン)の海水がペルシャ湾のある東側から圧入され、自噴圧力が維持されています。

図10は油層の構造図です。黒丸が生産井、水圧入井は白丸で示されています。

オイルサンドは中東原油の代替にならない

エネルギー資源では「質」が大切ですが、これは出力エネルギーと入力エネルギーの比率(Energy Profit Ratio: EPR)などで表されます。若い油田のEPRは、例えば50とかの値です。今、アメリカでは3ぐらいとも言われています。これが1.0になったら、もう意味がありません。

「石油がなくなったら、オイルサンドがある」という話をする人がいますが、これにはかなり誤解があります。図11は、カナダ・アルバータ州北部のアサバスカ・オイルサンドの露天掘り現場の人工衛星映像です。ここでは約50万バレル/日の重質油を生産しています。実際に採算がとれているわけですが、EPRは1.5くらいです。通常の油田と違い、自

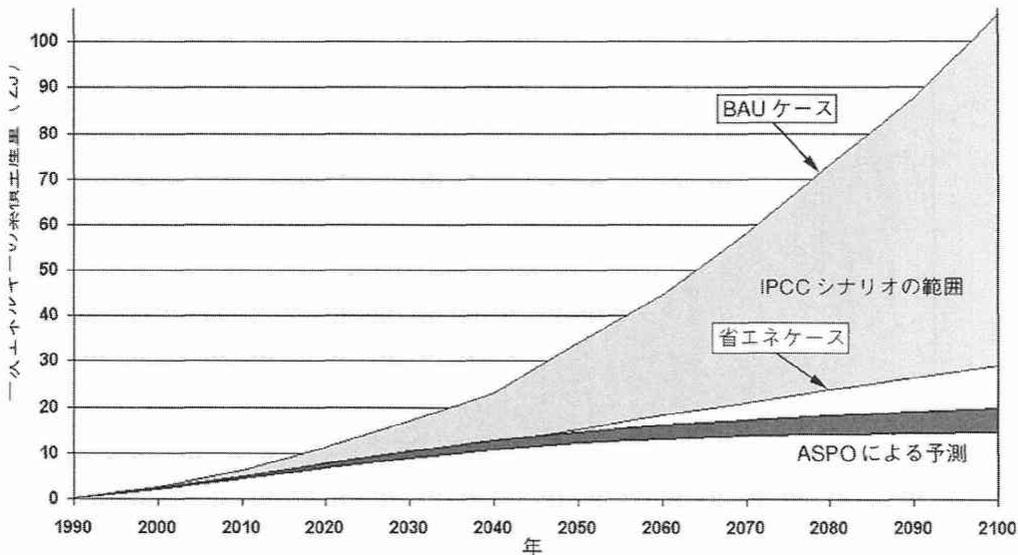
噴しないので、鉱山のように砂を採掘、処理しますから大量のエネルギーと水を使います。

この映像に見るように、排水は湖のように大きな池に貯められています。環境破壊はかなりなものですが、1.5というEPRには、環境修復は入っていないでしょうから、実際のEPRはもっと小さいはずですが、「オイルサンドなど、重質油がまだまだある、大丈夫」という話は、ほとんど間違いなのです。重質油の量そのものは中東原油と匹敵するというのですが、それを取り出すエネルギーは膨大で、しかも重質油であり環境負荷も大変です。



(出所: 資源・環境観測解析センター)

図11 アサバスカオイルサンドの採掘現場



(出所： http://www007.upp.so-net.ne.jp/tikyuu/images/co2_op.jpg を基に作成)

図12 世界の一次エネルギー生産量の実績と予測

エネルギー問題の深刻さ

温暖化対策と同じ真剣な取組みが必要

図12は、世界の一次エネルギー累計生産量です。地球温暖化問題について「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)は、何ら温暖化対策を講じないケース(BAU: Business As Usual)では一番上の線、省エネルギーに努めて一番下になるとしています。いずれにせよ、今後は温暖化が深刻になるということです。

ところが、「石油ピーク」の考え方に立つと、エネルギーの累積生産量はIPCC予測の最低線すら下回ってしまいます。石油がいくらでもある、と思って温暖化対策を考えると、「石油ピーク」を理解して対策を考えるのとでは、その論理に雲泥の差があるはず。だからと言って、地球温暖化対策をしなくて良いというわけではありません。温暖化対策に、今まで以上本気で取り組む必要がある、浪費型の現代社会を本気で変える必要がある、ということです。しかも、この「石油ピーク」の影響は、ここ10~20年の話なのです。

「食の問題」に直結する「石油問題」

石油問題は、徹底的に食の問題、農業の問題でもあります。石油で作る窒素肥料、殺虫剤、除草剤など、大量の合成化学物質で近代農業が成り立っているからです。そして、大型の農業機械なども石油で動きます。「石油＝農業」なのです。

旧ソ連からの石油援助が途絶えた北朝鮮が今飢えているのは、天候不順などによるものではなく、現代の工業化農業の弱さが石油切れで露呈した典型例なのです。ところが、同じ状況に置かれたキューバは自然に戻った、有機農法に戻ったのです。キューバの人は飢えなかった、大きな違いです。

さいごに

人類の工業化社会、現代文明の繁栄はインパルス

図13はダンカンが描いた、数千年の超長期でみた人類の過去、未来です。縦軸はエネルギー消費です。1人当りエネルギー使用量がピーク時の37%のポイントは1930年と2025年

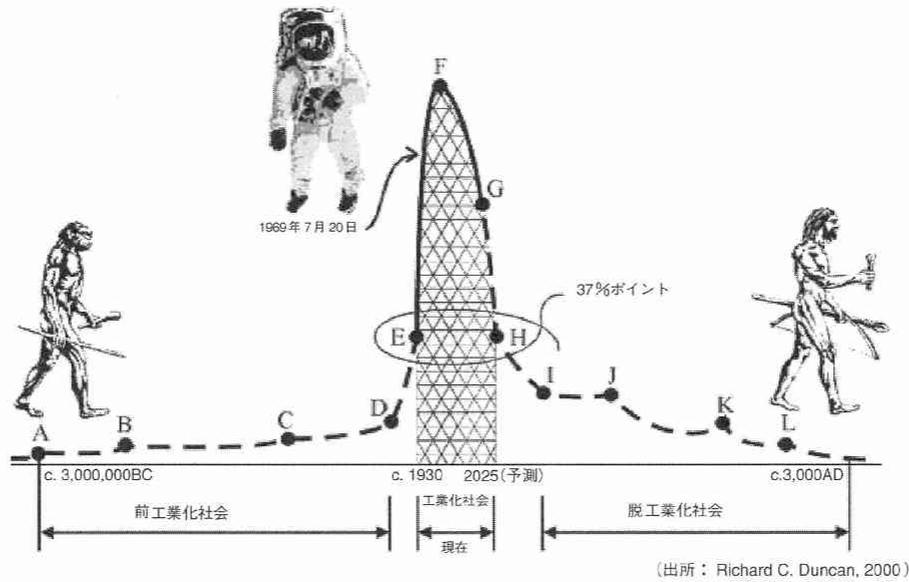


図13 人類の過去と未来

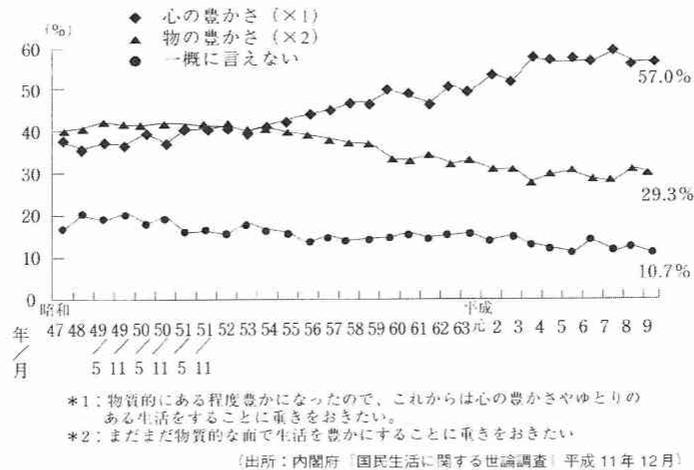


図14 「心の豊かさ」へと変わる国民意識

で、その間を「工業化社会」と言っています。ところが、今のままでは、紀元3000年には人類はまた裸に戻ってしまいます。左右の顔も比較してください。

これからは「何とかなる」ではなく、どうすれば持続可能か本気で考え、できることから始めなければならないのです。75%が山岳地帯の日本列島では、欧米の大陸型社会をまねるのではなく、最大限に自然と共に生きる知恵を働かせる必要があると思います。

幸い、国民の意識が変わってきました。内閣府が平成11年に行った世論調査では、図14に示すように、「心の豊かさを優先する」が57%、「物の豊かさが優先する」が29.3%とな

っています。両者が入れ替わったのは今から20年前でした。国民の意識は20年前から変わっているのです。

優れた「集中エネルギーである石油」が「都市への人と物の集中」を可能にしました。この石油が本当に翳り始め、もう危ないのです。これからの21世紀は、20世紀とはまったく違う発想をする必要があります。それができなかつたら、人類は3000年頃には、この図のように、また裸になってしまいます。日本人がその最初の手本になることのないように、と願っている次第です。ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

エネルギー政策をめぐる諸問題*

秋元 勇 巳 (社)日本工学アカデミー エネルギー基本戦略部 部長
三菱マテリアル(株)名誉顧問



はじめに

10月26日、日本の「原子力の日」に、たまたまOECDの国際エネルギー機関(IEA)から『ワールド・エネルギー・アウトルック2004』が出ました。2030年までの世界のエネルギーシステムのあり方を予測しています。これが世界でのエネルギーに関する大方の見方を代表するシンクタンクの最新データだと思しますので、まず、これをご紹介します。次に、日本の現状と戦略についてお話し、主要国の例をご紹介しますながら日本としてエネルギー戦略策定について私見を述べさせていただきます。

ワールド・エネルギー・アウトルック2004

概要

『エネルギー・アウトルック2004』のキーワードは「危機に満ちた世界におけるエネルギーセキュリティ」(Energy Security in a Dangerous World)です。エネルギー資源があるかということよりも、供給がきちんと確保できるの方が問題だと言う意味で、短期的

[略歴]

1951年東京文理大学(現筑波大学)化学科卒業。1954年三菱金属鉱業(現三菱マテリアル)入社。鉱山で鉛製錬法の開発を手がける。1957年理学博士。1958年からカリフォルニア大学ローレンス・バークレー放射線研究所に留学、シーボグ博士に師事。アメリカ留学を含む20余年の研究者生活では原子力畑を中心に、シリコン、電子材料等の研究開発に携わる。1994年社長、2000年会長、2004年から名誉顧問。

日本原子力文化振興財団理事長。日本経済団体連合会資源・エネルギー対策委員会委員長。

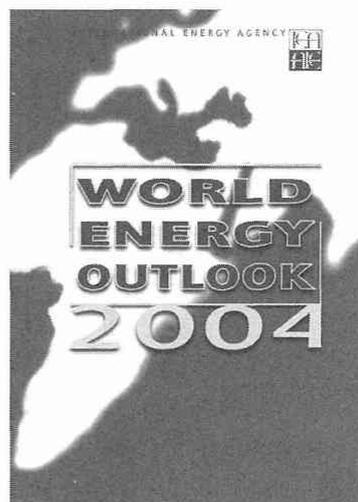


図1 ワールド・エネルギー・アウトルック2004

にはエネルギーセキュリティのリスクが増大すると警告しています。

また、「2030年まで一応エネルギーは量的にはもつだろう。ただ、それを地上に引っ張り出してくるには巨大な投資が必要だろう」という言い方で、今までのやり方で簡単にエネルギーが手に入る時代ではなくなってきたこ

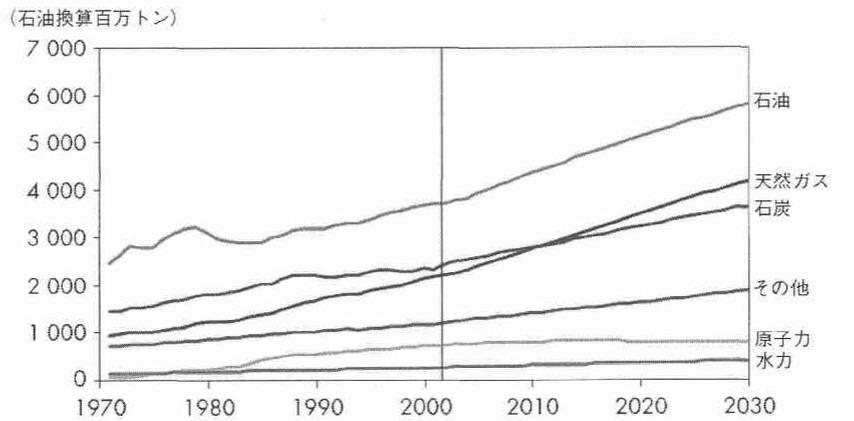
*本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部/(社)日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他/(財)エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における講演を本誌掲載用にテープ起こしたものです。

表1 世界の一次エネルギー需要

(石油換算百万トン)

	1971	2002	2010	2020	2030	2002-2030
石炭	1,407	2,389	2,763	3,193	3,601	1.5%
石油	2,413	3,676	4,308	5,074	5,766	1.6%
天然ガス	892	2,190	2,703	3,451	4,130	2.3%
原子力	29	692	778	776	764	0.4%
水力	104	224	276	321	365	1.8%
バイオマス、廃棄物	687	1,119	1,264	1,428	1,605	1.3%
その他再生可能	4	55	101	162	256	5.7%
合計	5536	10345	12194	14404	16487	1.7%

(出所：World Energy Outlook 2004, IEA)



(出所：World Energy Outlook 2004, IEA)

図2 世界の一次エネルギー需要（エネルギー源別）

とを、指摘しています。

その他、世界には欧米や日本のようにエネルギーに恵まれている社会と恵まれていない社会があるわけですが、その不公平さは2030年になってもあまり変わらないだろうと、少し悲観的な見方をしています。

最後に、世界のエネルギーシステムの持続可能性を高めていくために、エネルギーの生産及び消費形態を根本的に変えてしまうような、技術上の大躍進が必要となる、という考えを示しています。

分析結果と予測

表1、図2は世界の一次エネルギー消費に関するIEAの予測です。エネルギー全体の量が

2030年までに60%増え、増分の3分の2は途上国から出てくる。しかも、増分の85%がすべて化石エネルギーだということです。

一方、電力需要は、電化が進んで、2030年までに倍増します。そのほとんどが途上国からのものだということです。

エネルギー源別では、石油生産は2030年までピークを打たないと予想しています。

天然ガスは倍増して、石炭のシェアを超えます。ラテンアメリカやアジアの途上国、アフリカで増えてきます。増加分はほとんどが発電用になると見られています。天然ガスが増えてくると、域外から輸送される量も増え、今までの30%から50%になります。その半分が液化天然ガス（LNG）で賄われるということです。

石炭の消費量はこれからかなり増えますが、シェアは若干低下していきます。増分の68%が中国とインドです。

原子力発電所の建設スピードは若干速まりますが、シェアは低下していきます。増えていくのはアジアです。ヨーロッパでは今のドイツの政策などがそのまま実行されると、原子炉が減っていくことになるわけですが、このあたりは政権が変わればどうなるかまだわからないという感じです。

う中で、石油危機を迎えたわけです。1973年の第一次石油危機、1979年の第二次石油危機の時期に、日本では原子力のシェアがかなり増えました。それから産業界では、石油を石炭に換えていくという動きが、95年ぐらいまで続きました。近年は、天然ガスに置き換わっていく傾向が見られるようです。

危険海域を通過する日本向け中東原油

日本は、一次エネルギーに占める石油のシェアが非常に高い上に、その原油の中東依存度が高いという二重の脆弱性を抱えています。日本の中東依存度は、図4に見るように、第一次石油危機、第二次石油危機の時の依存度77%をはるかに超えて、今では85%になっています。さらに、図5に示すように、その原油がホルムズ海峡、マラッカ海峡といった非常にリスクの高い海峡を越えてやって来ます。IEA予測によると、この交通量が2030年には倍になることから、エネルギーセキュリティ上の問題となっています。今でもある海難事故、海賊の危険がさらに深刻化するというわけです。しかも、倍増するかなりの部分が中国向

日本のエネルギー事情

高まる輸入依存度

日本の一次エネルギー需要の変遷を示します。図3に示すように、1955年頃には80%が国産エネルギーでした。産業の急進とともに石油をどんどん使い出しましたが、そのほぼ全量を海外からの輸入で賄ったために、自給率は80%から急降下しました。逆に、全体のエネルギー消費量は増えてきました。そうい

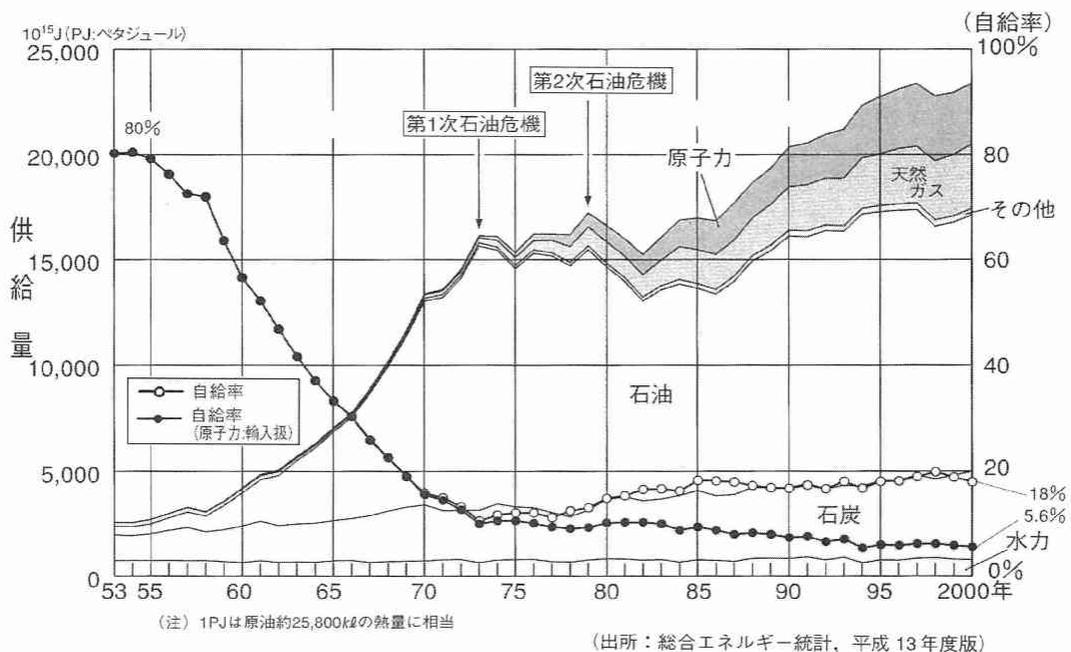


図3 日本の一次エネルギー需要の変遷

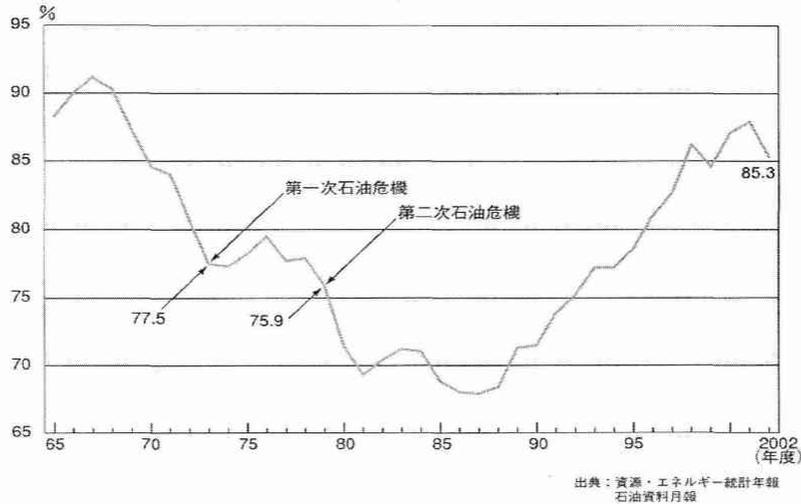


図4 日本の中東依存度の推移

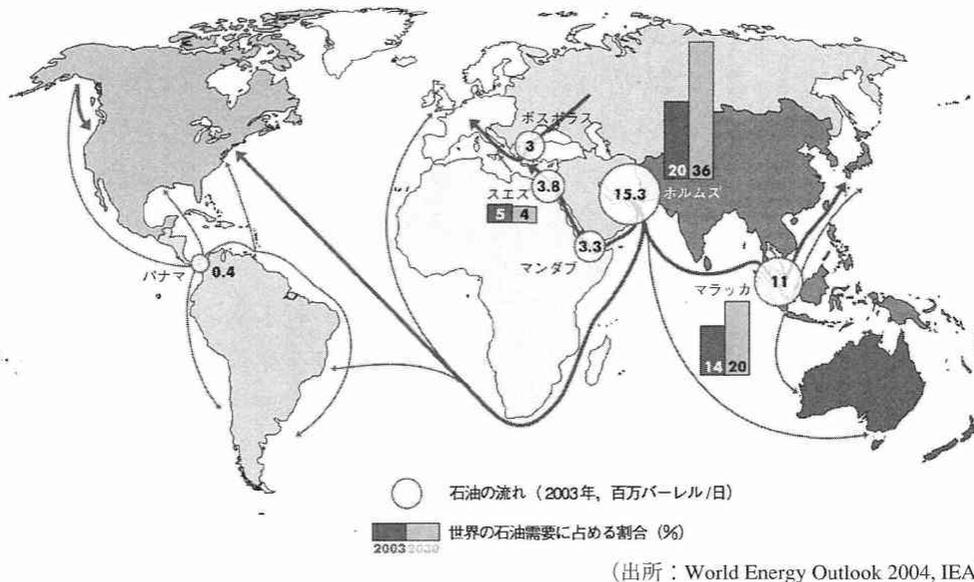


図5 世界の石油の流れ

けです。中国の原油輸入は、今後10年間に10倍になるといことです。中国の石油輸入が急増しているために、既にタンカーが足りなくなってきました。日本が石油を買おうと思ってもタンカーが高い、高いだけならまだしも物理的に手配できないという状況が始めています。ですから、石油の輸送という点だけでも、日本は非常に脆弱な状況にあるということが言えると思います。

主要産油国で高まる枯渇率

図6は、主要産油国の油田の枯渇率です。インドネシア、カタール、ベネズエラあたり

の油田は既に生産ピークを超え、減少する状況になっています。イランからサウジアラビアはピークに入ろうとしています、この数字はかなり怪しいものです。特に、石油輸出国機構(OPEC)の場合、輸出割当てが埋蔵量に比例することになっているので、各国とも埋蔵量を水増しする傾向があります。サウジの枯渇率が既に50%ぐらいまで上がっていたとしても、驚くにはあたりません。サウジには世界最大のガワール油田がありますから、こうした現実が世界の石油生産がピークを迎つつあることの根拠になるわけです。

まだピークに達していない国の中にイラクやリビアがあります。これで、アメリカが2

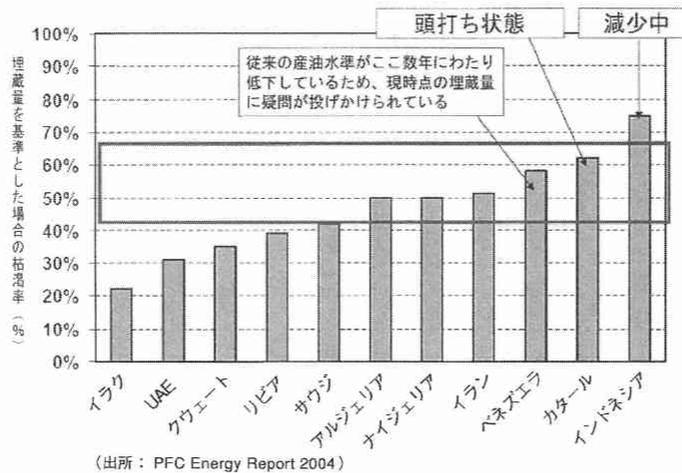


図6 主要産油国の枯渇率

つの国の自由化にとりわけ熱心な理由がよく分かるわけです。各国は、産油国の枯渇率などを見ながら、国際戦略を練っているのではないのでしょうか。

主要国との比較における日本の特徴

図7は主要国のエネルギー輸入依存度です。イタリアより日本の方がましとされていますが、それは原子力の分だけ差があるからです。

日本と非常に似ているのがフランスです。ただ、フランスの場合、発電の80%を原子力で賄うという施策をとっていますので、原子力を国産エネルギーと考えた場合、エネルギー

輸入依存度が半分に下がります。フランスが燃料サイクルに非常に熱心な訳がお分かりいただけると思います。イギリスはまだ余裕があるようですが、北海油田が怪しくなってきた、近いうちにエネルギー輸入国になっていくと考えられます。

図8は、日米欧におけるエネルギーの最終消費の伸びを比較したものです。日本の産業部門のエネルギー消費伸び率がマイナスになっています。これは日本の産業部門がエネルギーを節約しながら生産性を上げることに成功していることを意味します。省エネテクノロジーで日本は世界有数と言えると思います。

もう1つ、日本の場合、民生部門でのエネルギー

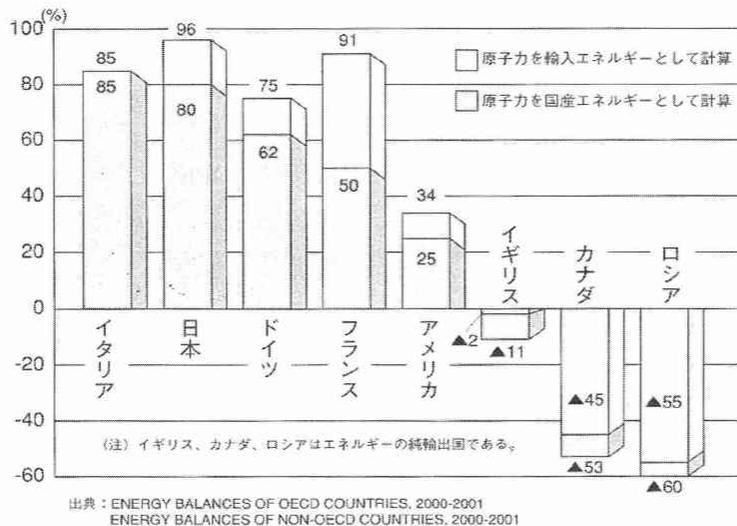


図7 主要国のエネルギー輸入依存度 (2001年)

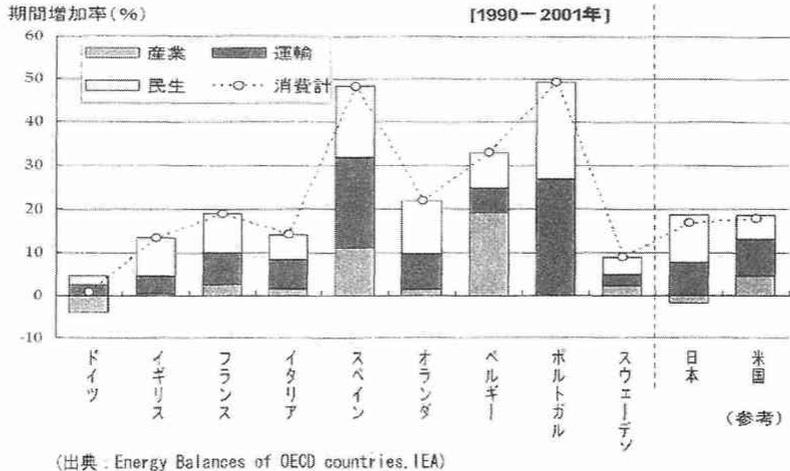


図8 日米欧におけるエネルギー最終消費の伸び率

ギー消費の伸びが非常に大きい。これは日本の生活パターンが、旧来型から西欧型に変わる途上にあるから、と言えると思います。

日本のエネルギー戦略

3Eを見直した「エネルギー政策基本法」

90年代、市場の自由化の波が日本のエネルギー界にまで及んで来た時、「なんでも自由化すれば安くなるんだという、ハンバーガーでも買うような論理を、エネルギーに適用するのは間違いではないか」という意見が出てきました。それを受けて、2002年、超党派で「エネルギー政策基本法」が制定されました。同法は、従来同じ程度に重要としてきた3つのE (Economy, Environment, Energy Security) の位置づけを変えました。環境面で受容可能なエネルギーセキュリティがあって初めて、エコノミーが成り立つ。エネルギーセキュリティと環境という条件を無視した安易な自由化は戒めるべきだということが同法の精神になっています。同法に基づいて2003年10月、「エネルギー基本計画」が出てきました。これは「基本戦略」と言えるものです。例えば、「原子力」を引き続き基幹エネルギーとして推

進していくのか、「新エネルギー」はどのようなか、色々なことについて述べています。

この「エネルギー基本計画」に基づいて、「2030年のエネルギー需給展望」が経済産業省「総合資源エネルギー調査会需給部会」で策定されました。これは「需給計画」と呼んでも良いものです。これと並行して、経済産業省「産業構造審議会地球環境小委員会」では、二酸化炭素 (CO₂) 排出削減を約束した「京都議定書」との整合性をどう図っていくかという立場で、検討がなされています。経済の立場、CO₂排出削減の立場から、2010年、2030年の状況が明らかになってきたというわけです。

2030年のエネルギー需給展望

[予測の前提]

需給部会では、まず、人口をベースにエネルギー需給を予測しています。図9が2030年までのエネルギー需給予測を計算する際に使った人口の推移です。2006年に1億2800万人でピークとなり、その後は下がっていきます。その中で高齢者の比率が高まり、2030年頃には30%になります。人口が減りますと、所帯数、電車の旅客数、全体の床面積などが減ってきます。そうするとエネルギー需要も減るという話になるわけです。

また、需給部会は、2010年までの経済成長

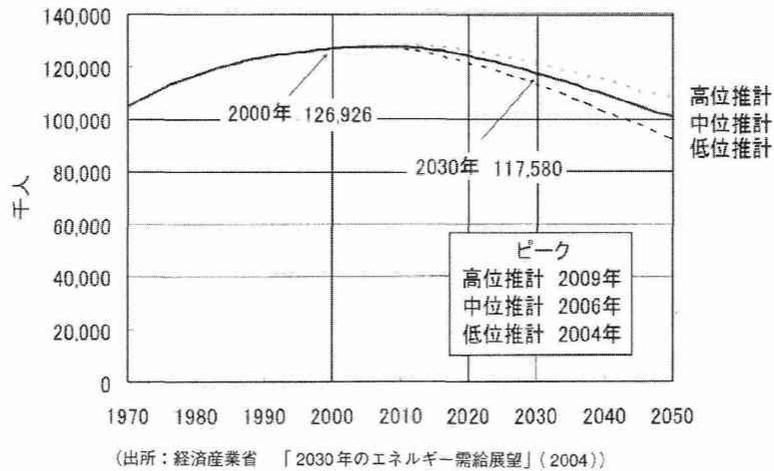


図9 2030年までの日本の人口推移

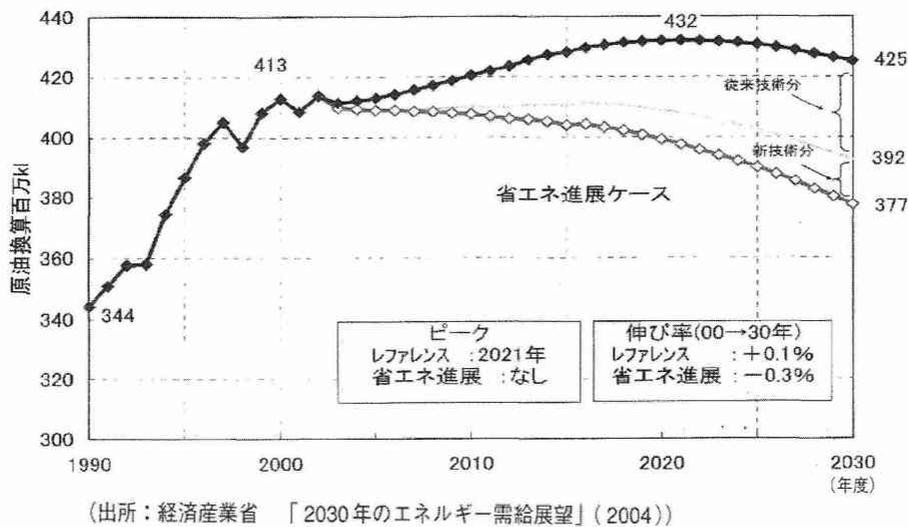


図10 最終エネルギー消費（省エネ進展ケース）

率は約2%，2020年までは1.7%，2030年までは1.2%を確保するというを前提にエネルギー需給予測を行っています。

[エネルギー消費量予測]

図10は、エネルギー消費量の予測です。普通に省エネ努力を続けていった場合（レファレンスケース）が一番上の線です。2021年にピークを打ちます。今回の需給計画の特徴は、省エネルギーにハイライトをあてたことであると言えます。もし、計画どおり省エネルギーが大きく進展するようなら一番下の線となり、京都議定書で約束したCO₂の排出量削減が達成できるぐらい消費量が下がると予測しているのです。

省エネルギーの中身は、従来技術分と新技術分とに分かれます。従来技術分と言うのは、既存技術の導入を促進していく形での省エネルギーのことです。例えば、熱効率の悪い工業炉を効率の良いものに変えていくとか、ボイラーや給湯器、家庭の照明を変えていくとか、自動車もハイブリッドのクリーン自動車に換えていくとかの取組みです。新技術分というのは、例えば、高効率電力熱併給（コージェネレーション）、燃料電池、分散型エネルギーの導入など、従来なかった取組みで省エネルギーを図ろうというようなことです。

この需給予測をCO₂排出量に反映させると図11のようになります。人口減少をバックに、

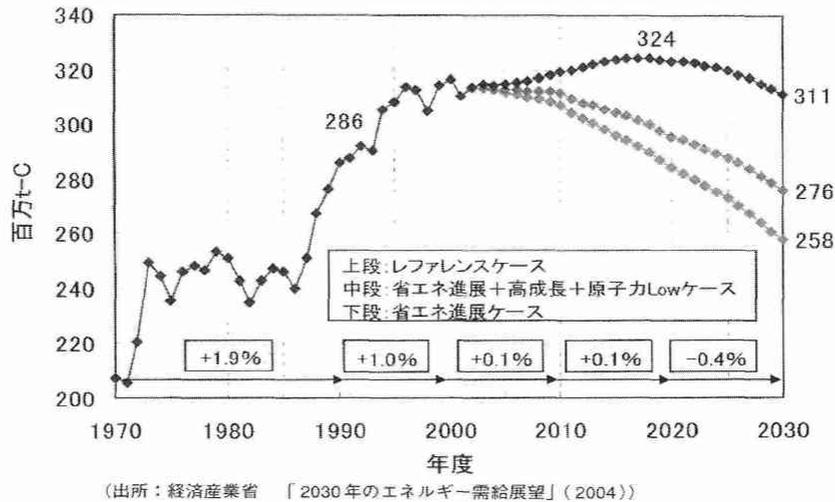


図11 エネルギー起源CO₂排出量の予測

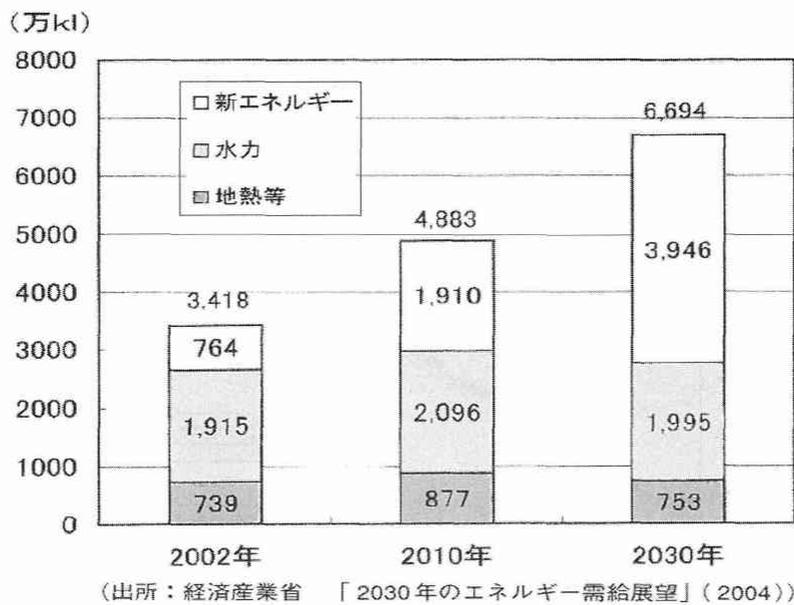


図12 再生可能エネルギーの導入見通し

省エネルギー技術の伸展でCO₂排出量をかなり減らせるという結論です。確かに、そうなると大変ありがたいのですが、このシナリオでは、人口の減少を奇貨に、今はあまり努力しなくてもいいというムードが生まれはしないか少々気になります。また、いつまでも純血主義では産業の伸展は期待できないとなれば、海外からの流入による人口増をベースに加えていいのか。人口とGDPの関係をきちんと検証する必要があるのではないかと思います。

[新エネルギー]

図12は新エネルギー導入の予測です。2030年は2010年の倍増というかなり野心的な計画ながら、エネルギー総量（絶対値）が小さいので、新エネルギーはCO₂削減の主力にはなり得ないという事情がわかります。

[電力需要の今後]

図13は家庭用電力の伸びです。今まで色々な家電製品が使われてきました。我々が今使っている冷蔵庫、電子レンジなどは一昔前に比べエネルギー効率が格段に高まっています。

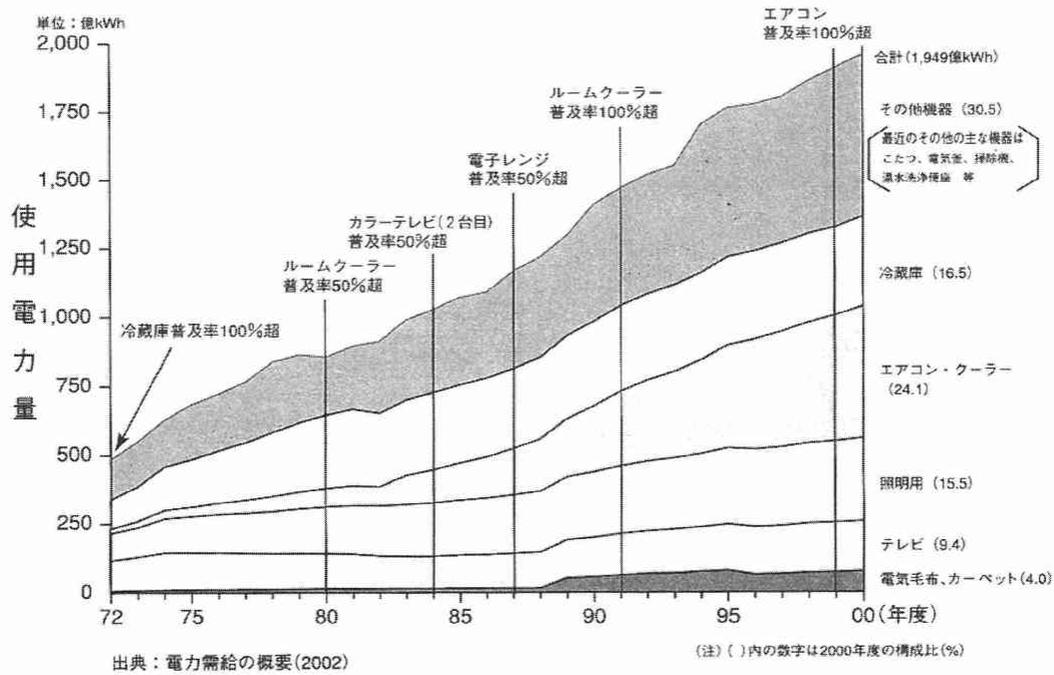


図13 家庭用電力の伸び

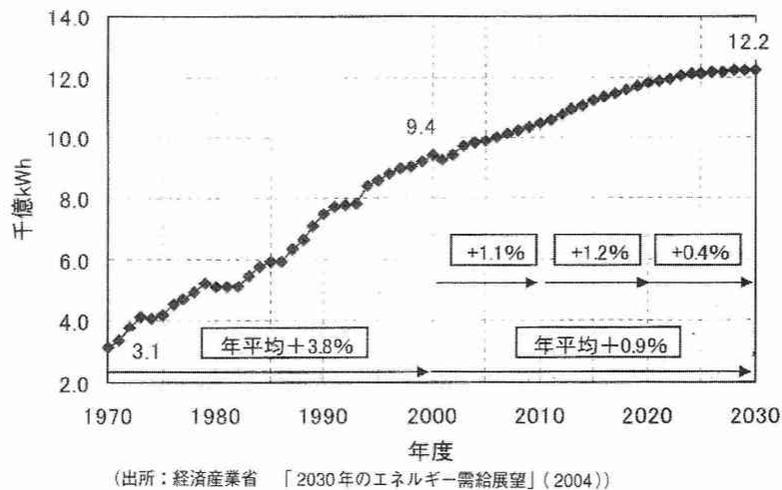


図14 電力需要の実績と見通し

ところが、そういう機器を買い求める人が増え、全体としてのエネルギー消費は以前よりも増えてしまいました。

図14は電力需要です。エネルギー全体の需要は頭打ちになるのですが、電力需要は頭打ちしません。電化率は毎年上がってきています。これは引き続き増加して、2030年には26.5%に達すると予想されています。

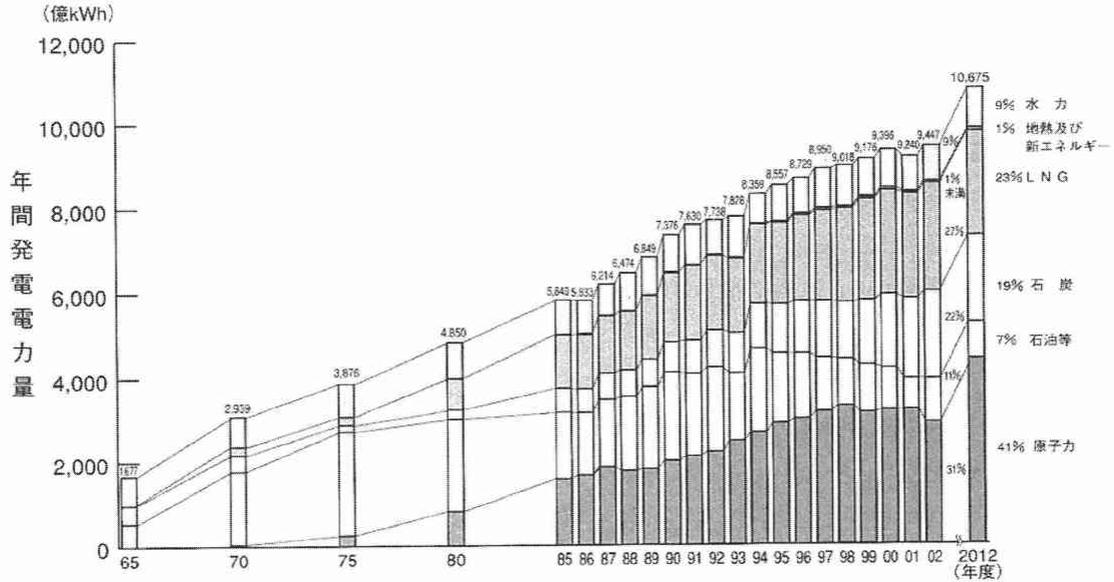
ただ、電力需要増加のペースは落ちてきて、特に2020年以降では所帯数と床面積の減少、

さらに省エネ機器の進展などでほとんど水平化していくという予想です。

[電力供給の実績と見通し]

図15を見ますと、石油危機時代の1975年あたりから20年ばかりの間、原子力が非常な勢いでシェアを伸ばしてきたことが分かります。同時に、石炭も伸びてきている。その分が石油の減少につながっているのです。

1997~98年頃までは、原子力とLNGで石油を



(注) 1.石油等にはLPG、その他ガス及び瀝青質混合物を含む。
 2.構成比の各欄の数値の合計は四捨五入の関係で100%にならない場合がある。

出典：平成15年度供給計画の概要（平成15年3月）

図15 電源別発電電力量の実績と見通し (需給計画)

表2 電源別発電電力量の見通し (2030年のエネルギー需給展望)

	1990年度	2000年度	2030年度		
			レファレンス	省エネ進展	新エネ進展
発電電力量	100%	100%	100%	100%	100%
火力	60.5%	55.5%	51.4%	39.1%	46.2%
石炭	9.7%	18.4%	16.5%	15.0%	15.9%
LNG	22.2%	26.4%	30.1%	18.2%	25.3%
石油等	28.6%	10.7%	4.9%	6.0%	5.0%
原子力	27.3%	34.3%	38.2%	47.4%	40.1%
水力	11.9%	9.6%	9.2%	12.0%	9.6%
一般	10.7%	8.3%	8.2%	10.2%	8.6%
揚水	1.3%	1.3%	1.0%	1.8%	1.0%
地熱	0.2%	0.4%	0.3%	0.4%	0.3%
新エネルギー等	0.0%	0.2%	0.9%	1.1%	3.7%

代替していき、その後は石炭が伸びてきています。これからは、天然ガスに大変な期待がかかっています。電力業界が作っている「需給計画」では、電源別発電電力量について2012年度の予測をしています。原子力41%、石油7%、石炭19%、LNG23%、地熱及び新エネルギー1%、水力9%となっています。これが「2030年のエネルギー需給展望」では、レファレンスケースで、原子力38.2%、石油4.9%、石炭16.5%、LNG30.1%、新エネルギー1.2%に変わりました。これは、かなり大胆な予測だという気がします。LNGが大幅に増える反面、石炭と石油は減少す

る、原子力も若干シェアを落とすという見通しですが、激しい国際資源競争レースの中、天然ガスがそれだけの役割を担えるのか気になるところです。

複雑な日本の戦略の決まり方

ところで、この「2030年のエネルギー需給展望」で日本全体のエネルギー戦略が決まるのかといえますと、そうではありません。日本の戦略の決まり方は非常に複雑で、環境省には「中央環境審議会」があり、そこで経済産業省とはまっ

たく独立にエネルギー問題、環境問題に関する検討を行っています。「中央環境審議会産業総合企画小委員会」では、環境税が議論の中心課題となっていくわけです。さらに、例えば、交通の問題では国土交通省がありますし、農林水産省も入ってこなければいけない。省庁を全部まとめ総合戦略を打ち出せる機関は日本にはありません。各国がエネルギー戦略でしのぎを削っている時に、日本のエネルギー戦略の立て方がいつまでも、こういう体制のままでもいいのかという疑問が湧いてきます。

CO₂排出削減が対策の中心

大気中のCO₂濃度は、図16で見るように産業革命以降、着実に高まり、今が過去40万年で最高水準となっています。図17を見ると、日本の場合、CO₂の排出削減が温暖化防止対策の中心になることが分かります。

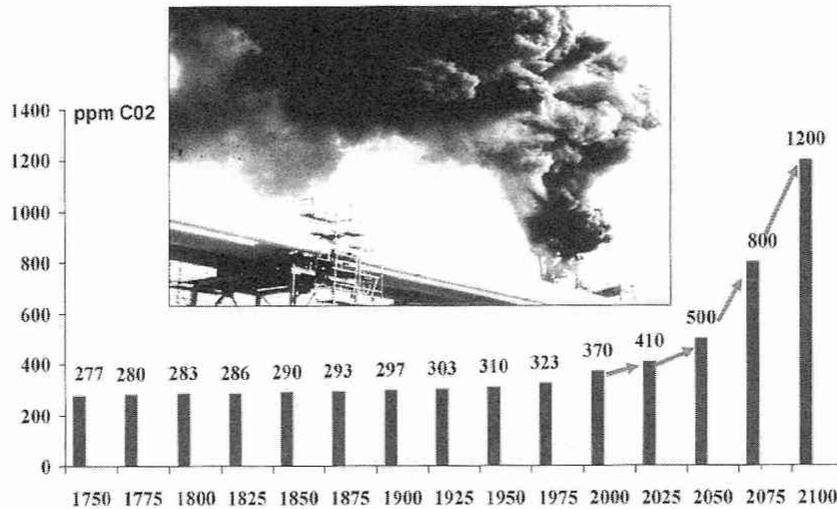


図16 大気中のCO₂濃度

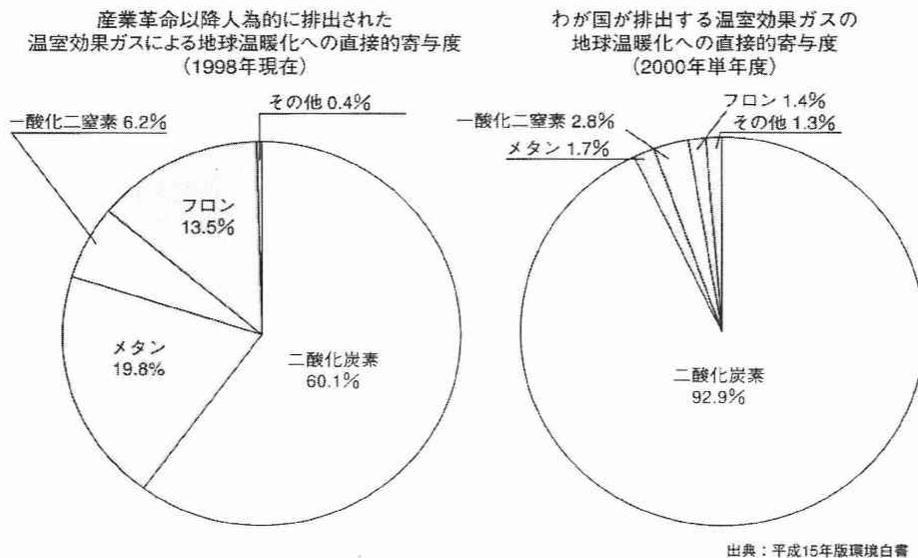
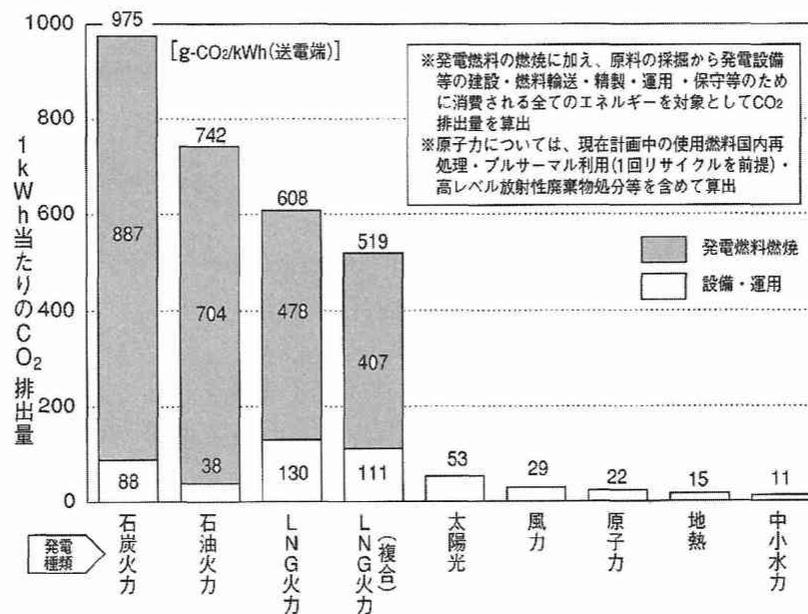


図17 温室効果ガスの地球温暖化への寄与度



(注) 合計の数値と個々の数値の和は、四捨五入の関係で一致しない場合がある 出典：電力中央研究所報告書 他

図18 各種電源別CO₂排出量 (2000年, LCAベース)

防止策としてポテンシャルの高い原子力

図18は、CO₂排出削減の有効策を探るため、ライフサイクルアセスメント (LCA) をベースにした各電源別のCO₂排出量を計算したものです。石油、石炭といった化石燃料を燃やすことによるCO₂排出が非常に多く、LNGも相当CO₂を出します。それに比べると、再生可能エネルギーや原子力は非常に少なくてすみます。

風力、太陽光は、稼働率も高くなく、構造物も非常に大きくなりますから、1kWh当りで見ると、原子力よりCO₂を排出する計算になります。これからCO₂排出を抑えていくためには、稼働率という面でも、1つの発電設備で出せるエネルギー量と言う点でも、再生可能エネルギーには限界があり、ポテンシャルが大きな原子力を抜きにしては、次のシナリオを考えにくいのではないかと思います。

今年の夏、イギリスの環境学者ジェームズ・ラブロック博士*の主張がイギリス有数の新聞『Independent紙』の1面を飾りました。

「これだけ地球の危機が進むと、これ以上化石エネルギーにおんぶするわけにはいかない。今、炭酸ガスを出さない安全で強力な現実的手段は、原子力しかない。今まで原子力に反対してきた環境保護者たちも、冷静に考え直して、原子力をサポートすべきだ」と言うのです。彼の呼びかけは、ヨーロッパでかなりの反響を呼び、まもなくル・モンド紙を始め各国の新聞で大きく取り上げられました。最近では、オーストラリアでもテレビ中継があったそうです。

「2030年のエネルギー需給展望」では、原子力設備容量を表3のように示しています。レファレンスケースでは、2030年までに約10基ということ。かつて2010年までに20基という案がありましたが、それに比べるとかなりスローダウンです。Highケースといえども17基、Lowケースで8基ということ。基数だけから見ると、既にかなり準備が進んでいるところだけ勘定に入れておけばいいという姿勢にも映ります。原子力と

*イギリスの化学者。超高感度分析器を開発し、環境に影響を与える微量ガスを世界に先駆けて計測し、フロン公害問題の原点となった、オックスフォード大学グリーンカレッジ名誉客員教授。従来、無機的な化学変化によって説明されてきた地球の物質環境の発展を、地球という有機生命体を想定することによって説明しようという「ガイア仮説」の提唱により、旭硝子財団ブループラネット賞を受賞 (平成9年度)。

表3 原子力設備容量・設備利用率の見通し

万kW/利用率(%)	2000年度[実績]		2010年度		2030年度	
Highケース [17基運開]	4,492	82%	5,014 [+4基]	85%	6,795 [+13基]	90%
レファレンスケース [約10基運開]					5,798 [+約6基]	85%
Lowケース [8基運開]					5,597 [+4基]	

*1基136万kWとして基数換算

(出所：経済産業省 「2030年のエネルギー需給展望」(2004))

いう一番パワフルなクリーン電源をわきに置いて、それ以外で何とか辻褄を合わせようという姿勢では、炭酸ガス排出抑制はかなり難しいのではないかという感じがします。

また、原子炉の稼働率では、実績が82%で目標は、Highケースの場合を除き85%に止まっています。ところが、アメリカはとっくに90%を超えていますし、韓国でもそのぐらいの数字を出しています。日本の原子力界が前向きになれば、アメリカ、韓国なみまで稼働率を安全に高めることは難しくはないはずです。そうなれば少なくとも原子炉を2、3基新規に建てる分の電気は出てくるでしょう。新規建設が困難であったとしても、もう少し原子力を有効に働かせるシナリオがあつていいと思います。

主要国のエネルギー政策における原子力

図19はフランスとイタリアのエネルギー輸入

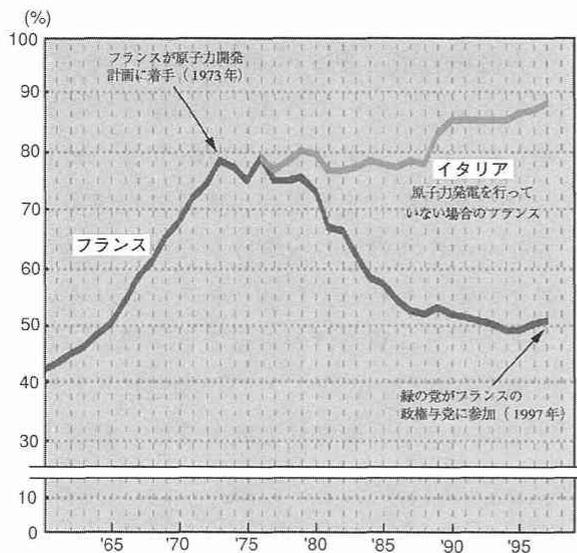


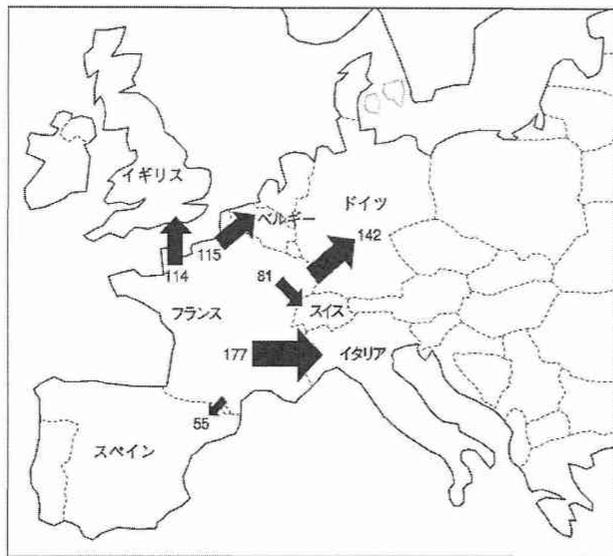
図19 フランスのエネルギー輸入依存度推移

依存度の推移です。両国はかなりの時期までほとんど国内エネルギー資源がないという点で一致していましたので、産業が興ってくるとエネルギーの輸入依存度が上がってきたわけです。ところが、1973年にフランスは、これからの電気はすべて原子力で賄うという国策を立てました。反対にイタリアは脱原子力を国として決めました。その結果、フランスの資源輸入依存度は下がり、イタリアは上がりっ放しです。フランスがごく最近少し依存度を上げている理由は、「緑の党」が入閣して、原子炉建設に反対し、天然ガス焚きの発電所を入れた影響によるものです。

エネルギー自給政策を推進してきたフランスは、現在、図20に示すように、強力なエネルギー輸出国になっています。もし、隣国のドイツが本当に原子炉を廃棄すると、その部分はフランスから輸入しなければいけないということになるでしょう。最近、ベルギーが脱原子力を議会で決めましたが、かなりの量の原子力エネルギーをフランスから買っているからできることです。イタリアもそうです。ですから、ヨーロッパの各国が原子力をやっているか、やっていないかということ自体は、あまり意味がありません。全ヨーロッパが1つのシステムで融通し合っているからです。

図21を見ると、フランスの原子力比率が非常に高いことが分かりますが、アメリカもシェアとしては小さくても、発電電力量で見れば、世界最大の原子力国であることに違いはありません。

この中で一番問題なのは中国だと思います。



フランスからの輸出電力量 (A)	684億kWh
フランスの発電電力量 (B) (送電端)	5,167億kWh
輸出比率 (A/B)	13%

出典：海外電気事業統計2003年版

単位：億kWh

図20 フランスの電力輸出 (2000年)

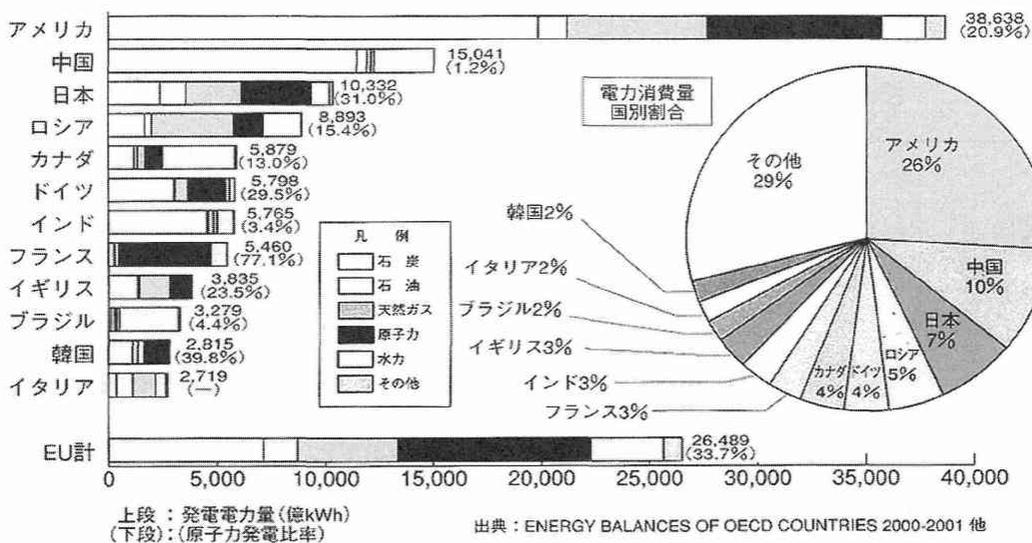


図21 主要国の電源構成と原子力が占める割合

既に中国の電力消費は日本を抜いており、大変な電力不足が起っています。2004年の夏には、休日のシフトや計画停電でしのいだり、電気が足りなくなると逆に盗電がかなりの量に達して、エネルギーの安定性が崩れました。そのため少しでも供給を増やそうというのが今の中国の姿勢です。中国の発電量は2020年には倍になると言われています。その中で、今は9基で2.3%にすぎない原子力ですが、2020年までには5倍の19基を建てるという計画を立てているわけです。中国がこれから

「輸入資源に頼るエネルギー消費大国」になる。日本の隣にそういう国が出てくるとことは重大な問題だと、認識しなければいけないと思います。東シナ海の油田を巡る日中の問題は、単なる嫌がらせではないと思います。本当にあそこで見つければ、中国は絶対にその油田を手放さないでしょう。そういう状況の中で、日本は本当にこのままでいいのか大変な問題になってくると思います。

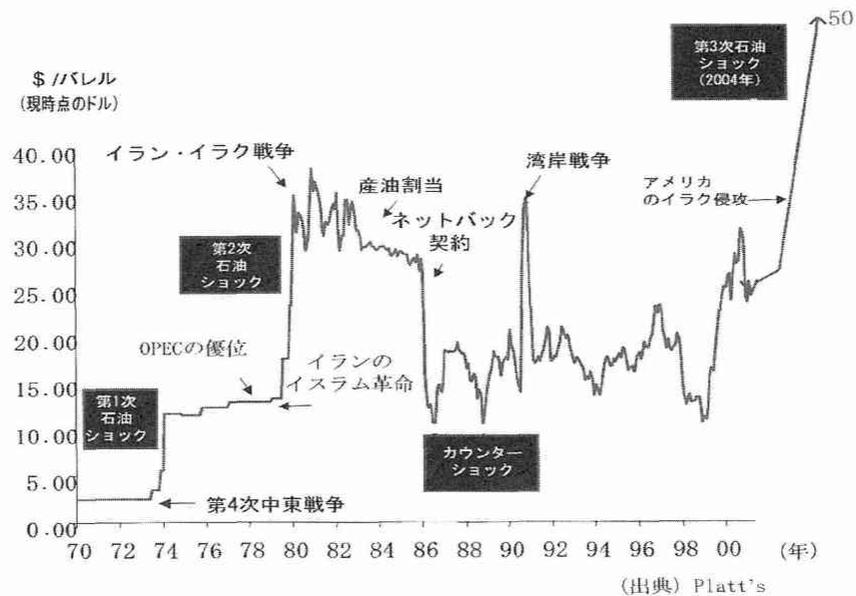


図22 原油価格の推移

さいごに

原油価格は1バレル50ドルを超えてしまいました。図22で分かるように、イラン・イラク戦争（1980年～1988年）、湾岸戦争（1991年1月～2月）の時期の値段をはるかに超えてしまったわけです。

「総合資源エネルギー調査会需給部会」でも、石油はそうそう高くなることはないだろうと言う、わりと楽観的な見方で進んでいたわけです。ところが、実際はこの予想を超えています。2000年～2030年の平均価格は、よくて35ドルあたりでの高止まりになるのではないかという状況になっています。その中で、世界を股にかけた油田争奪戦が予測されるわけです。

「たかだか20ドルが50ドルになったって金を出せばいいじゃないか」で済む状況は、そ

う長くは続きません。いくら金を積んでもエネルギー資源が手に入らない時代は目前に迫っています。こんな時に、今の体制で日本のエネルギー戦略はいいのか。やはり、省庁の枠を超えた戦略の策定推進が必要だと思いますし、そういう機構を支えるシンクタンク、これは単にエネルギー問題だけではなくて、例えば、外交、地政学の問題、防衛問題、科学技術、すべてを含んだ芯の通ったエネルギー政策をやっていける部署を作っていく必要があるでしょう。既にアメリカやフランスは体制をきちんと整えています。

日本にとって経済と環境の両立はこれからの最大の課題です。京都議定書にどう対応していくかも含め、本当の意味での総合エネルギー戦略を、きちんと進めていく必要があると思っています。

これで講演を終わらせていただきます。どうもありがとうございました。(拍手)

[講演]

新しい文明への移行—“人類と地球”の世紀*

内田盛也 (株モリエイ代表取締役会長
 (財)日本学術協力財団理事)



はじめに

産業革命以来、「無限の材料、資源」を前提に経済活動が進められてきていますが、今、どうもそれではいけないのではないかという意味で、文明的な大転換期、地球文明そのものの分岐点が来ていると考えられます。そこで、まず、技術とエネルギーが文明の形成力だというお話をし、有限の地球と人口増と化石燃料消費、さらに地球温暖化と食糧/石油との関連について、最後に国家戦略の見方についてご紹介したいと思います。

[略歴]

1953年東京工業大学有機材料化学(旧制)卒業。同年帝人(株)入社。同社中央研究所長、生産技術研究所長、新事業推進本部長、常務理事などを歴任。現在、(株)モリエイ代表取締役会長。工学博士。

1987年科学技術会議(中曽根内閣)専門委員。1988年日本学術会議会員第16期第5部長。1993年科学技術庁参与。(財)日本学術協力財団理事。(社)化学情報協会理事。(社)日本工学アカデミー会員。(社)日本工学会顧問。1973年~2004年東京工業大学等6大学の非常勤講師。

技術とエネルギー

産業革命までは人力、牛馬、自然の力

表1は、私が中曽根内閣の科学技術会議専

表1 人類・技術とエネルギーの年代

年 代	主要事項	闘争の年代	技術とエネルギー	個体より社会への拡大
E.C.1300万年 300万年	中生代	〔生物の種の闘争〕 進化の時代	人体の形成	〔経験の連続性〕 ①哺育と経験の連続化
	新生代			
5万年	ネアンデルタール人	〔人類進化の時代〕	火の使用	②温度変化に対する抵抗力 ③火の使用による温度の変化に対する抵抗力
2万年	水河期			
1.5万年	草地時代	—農耕の始まり—	道具の利用	④道具の利用による余剰食物の発生
	森林時代			
1万年	新石器時代	王朝形成時代 〔食糧生産の共同体の形成〕	文字の発明、共同作業 ○家畜エネルギー利用(エジプト) ○奴隷エネルギー利用(水車製粉機(小アジア))	〔社会形成〕 ⑤農耕による余剰食物の発生および家畜・奴隷エネルギーの使用 ⑥分業および階級制度の発生
5千年	青銅時代			
1千年	鉄器時代	〔キリスト教、仏教、回教の誕生〕	交通発達による技術の後流	〔言語教育〕 ⑦交通・言語・文字の発達による国家の統一および思想の発達 ⑧人間尊重概念の発生 宗教を基礎とする教育制度の発達
西暦紀元0	1 遊牧民族と定住民族との闘争 2 朝貢国の征服 3 経済帝国の形成			
1千年	1 産業革命	〔マルクス、ケインズ、シュンペーター〕	ワットの蒸気機関(1875) 電話の発明(1835)	〔産業革命〕 ⑨交通・通信の発達と思想の世界的交流と世界的資源確保競争の開始
18世紀	2 社会階級の形成			
19世紀	3 第1次世界大戦	社会体制の闘争の時代	石油・自動車・航空機 高分子・原子力・エレクトロニクス・ライフサイエンス	〔エネルギー的革命的〕 ⑩石油資源によるエネルギーの世界的交流
20世紀	4 第2次世界大戦 5 南北・東西問題			
[21世紀]	多極化	産業革新		〔情報革命〕(第3の波)

人類の特性：経験の連続化と技術の伝承

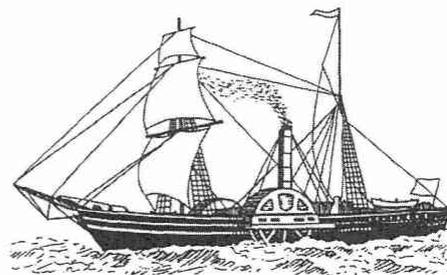
(出典) 内田盛也：「工業所有権による国際技術戦略」(有斐閣，昭60)

* 本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部/(社)日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他/(財)エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。

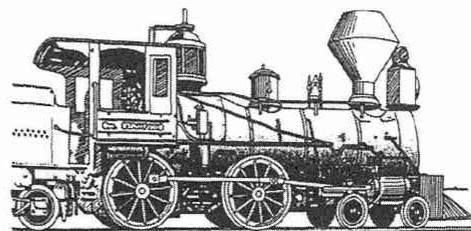
門委員だった時に提起したグローバルな問題の背景となった思想です。人類と地球社会の中でやはりどう生きるかという技術では、エネルギーが骨幹なのです。まず、人類は、火を発見しました。産業革命までは人類のエネルギーは人力、牛馬、自然の力でした。

コロンブスの新大陸発見（1492年）に刺激されて、バスコ・ダ・ガマがポルトガルからアフリカの南端、喜望峰を回ってインドに達します。そのバスコ・ダ・ガマに続いてマゼランが世界を一周します。この時代はあくまで風力が移動の原動力でした。16世紀というのはスペインの時代でした。17世紀になると、イギリスとオランダがアジアに出てきて東インド会社を作り貿易を行います。その後、環シナ海貿易でオランダはイギリスとの競争に勝利して、日本に来て長崎に出島ができたわけです。この時代は食糧とか製品を全部移動させるだけの動力がありませんでしたから、富だけを収奪していました。ヨーロッパは貿易決済手段としての金銀銅を元手に交易を拡大し、アジアから香辛料や染料、生糸、絹織物、陶磁器などといった貴重なものを運んで行ったわけです。

そういう状態の中で、産業革命が起こりました。1785年にジェームズ・ワットが蒸気機関を発明します。物を大量に運ぶ輸送手段は、図1にありますように、海上では帆船から蒸



大西洋横断シリアス号



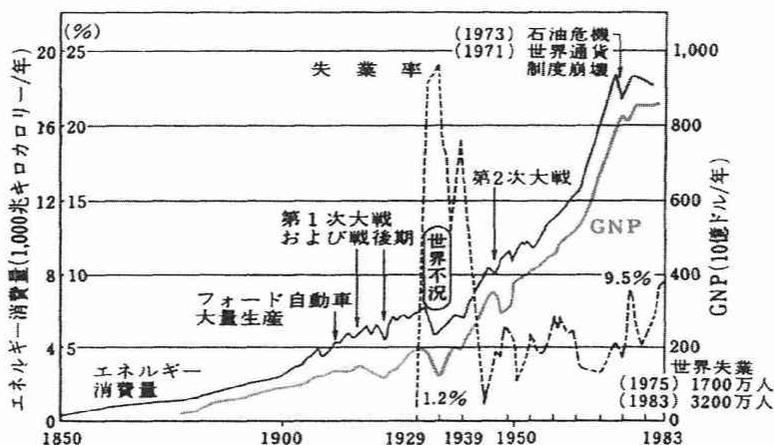
セントラル・パシフィック鉄道の第一号蒸気機関車

図1 蒸気船と蒸気機関車

気船に、陸上では蒸気機関車に変わりました。当時大西洋を横断していた蒸気船は何と2万2,500トンの大型船です。動力源の主流は石炭だったため、この頃は大量の石炭資源を活用したイギリスの世紀でした。

石炭から石油へ

1859年、ペンシルベニア・ロック・オイル社のエドウィン・ドレイクが工業的に価値の



(注) 矢印は、自家用自動車の普及が急速に始まった時期
 (出典) 高分子同友会「技術革新と化学工業」15ページ (昭57)

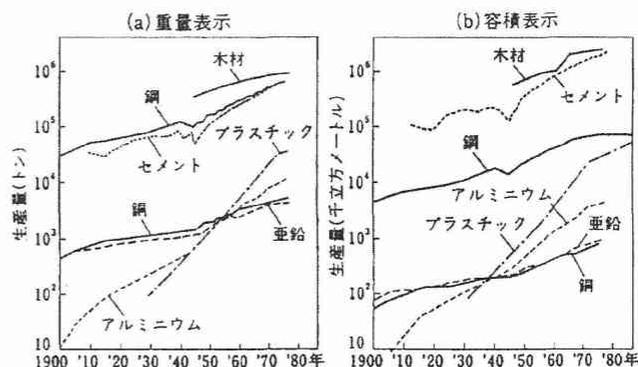
図2 アメリカのGNP,失業率とエネルギー消費の経時的変化

ある石油鉱脈を掘り当てました。1870年には、ジョン・D・ロックフェラーがスタンダード石油を設立し、石油精製事業に乗り出しました。図2に示すように、アメリカの国民総生産（GNP）はそれ以降ずっと伸びています。エネルギー消費量とGNPの動きはぴったり一致し、エネルギーの投入でGNPが伸びることを示しています。それを大きく支援したのがフォードの自動車大量生産と「馬無し馬車」と言われた自家用車の普及です。

この時代、石油を持っていたのはアメリカでしたから、第二次世界大戦でアメリカは、連合国に石油を供給しました。ドイツは、カスピ海周辺の石油を狙って進撃したのですが、スターリングラードで敗れ進撃を止められてしまいました。「無敵の戦車隊」を率いていたロンメル将軍がエジプトで敗れたのも石油がなくなって砂漠で停まったためというぐらい戦争は石油頼みでした。

また、アメリカは巨大油田の発見が相次いだ中東の石油開発に力を注ぎます。世界最大のガワール油田は1948年、第2位のブルガン油田は1936年に発見されました。そして、1930年代半ばまでに、中東地域の石油を7大石油メジャー（エクソン、モービル、シェブロン（ソーカルとガルフ合併）、テキサコ、BP（ブリティッシュ・ペトロリアム）、ロイヤル・ダッチ・シェル）が支配する体制が築かれたわけです。ちょうどこの頃、カリフォルニア・スタンダード石油とテキサコが「カルテクス」という合併会社を作り、日本に石油を売り込みに来ていました。終戦直後、アメリカが中東原油と穀物を日本やヨーロッパに徹底的に供給したわけです。それが日本とヨーロッパの復興につながったわけです。

原油から自動車用ガソリン、石油化学製品のナフサ、航空機燃料のケロシン、家庭用灯油、発電・船舶用の重油などが石油精製技術によって作られています。だから、原油の値段が上がれば、ガソリン、灯油、航空機燃料はそのまま上がるわけです。一方、高分子科学技術と工業



(出典) W. F. Duckworth: "Future Metal Strategy" The Metals Soc., London 1980, 156.

図3 素材の世界生産量の推移

の発達で、合成繊維、合成ゴム、プラスチックの巨大産業が創出されました。全世界繊維生産の52%が化学繊維となりました。図3に見るように、1980年代にプラスチックの世界生産量は、容積ベースの鉄鋼生産量と並びました。これらの製品は石油から作っています。この他にも、石油は、空中窒素の固定による合成肥料や農薬などを通じて農業に、また製薬業や生活産業全般とも深くかかわるようになっていきます。ですから、石油がなくなったら、これらの現代文明を支えている産業が大きなダメージを受けてしまうわけです。

石油生産と消費

欧州科学者技術者会議が認めた「石油ピーク」

2004年6月にパリで欧州地球科学者技術者会議（EAEG: European Association of Earthscientists & Engineers）の大会がありました。参加した世界第4位の石油メジャーであるフランスのトータル社の社長、探査業界の会長等々の4人が、2004年世界のエネルギー総需要量（石油換算で約1億3000万バレル/日）の需給バランスが今後乖離して不足する「もうオイルピークは来た」と認めたそうです。大きな理由として、予想外の石油消

費急増、中でも中国、インドの経済成長による石油需要を過小評価したこと。また、過去25年間、探査技術の革新的進歩にも拘らず、石油、天然ガスの新規の大規模な発見はほとんどないことを挙げています。

最新の油田探査技術である3次元探査を行えば、CTスキニングのように地球全体の地下構造がほとんど分かるそうです。8本油田を掘ると7本は必ず当たる。その技術で調べて、経済的に利用可能な鉱床の約9割は判明済みとしており、今後新規の大規模な発見は期待できないことをはっきりと認めたのです。

石油メジャーは、所有確認埋蔵量が生産供給して減少する一方で、新規開発をして可採可能量を増やして、所有確認埋蔵量が減少しないように投資を行ってきました。これを「代替率」として明示しています。100%の場合「増減なし」と言うことです。

2004年、エクソンモービルの代替率は83%で減少、新規開発の9割はカタールのガス田。ロイヤルダッチシェルは15~16%、トータルは18%と各社ともに所有埋蔵量を減らしています。そして、世界全体の既存油田による生産供給量は、年率4~6%減少し続けて行くとしています。こうして、商業的に回収できる確認埋蔵量は、確実にピークに達したことを示すようになりました。

2015年の世界エネルギー需要は、石油換算で1億6000万バレル/日に達すると予想されていますが、その半分ぐらいは、既存油田の原油回収率を現在の約30%から50%、できれば70%へと高める技術開発と基盤投資で対応するとしています。また、海洋全体の石油埋蔵量は世界の約23%、天然ガス埋蔵量は約14%を占めると言われています。水深200mまでの大陸棚に55~70%、その先の大陸斜面に約25%で、200海里までに80~95%存在しています。最近の海洋油田開発は、メキシコ湾、ブラジル沖、西アフリカ沿岸に見られるように、水深2,000m以深の海域まで拡大してきています。新しい国連海洋法条約は、領海の基

線から350海里まで、または水深2,500mを超えて100海里までを大陸棚としており、海洋開発可能限界を囲い込むものと見てよいでしょう。海洋油田は、現在30%強、それが2020年には40%へと拡大、それも深海が対象となり、高度な技術、災害・環境汚染リスク、巨額の投資など容易なことではないのです。陸上の可能地域は、僻地でインフラ整備がなく、政情不安も加わって、石油会社は新規油田開発投資に慎重です。途方もない開発リスクの投資経済性から、中東以外では、ガス田開発を促進するか、石油に代替するエネルギー資源を開発して需要に対応するかしかなさそうです。

油田開発の有望地域は政情不安

新しい油田開発となると、石油輸出国機構(OPEC)加盟国以外では、カスピ海周辺だけが有望なのです。しかし、政情不安のために、まともに掘れない、あるいはパイプラインによる輸送もできない状況にあります。図4に示しましたが、黒海でタンカーに積んで地中海に運び出す3つのルートと、アメリカ主導で建設が進められている「BTCパイプライン」とが競合しています。ここでは各国の利害が交錯して政治問題化しています。また、カザフスタンなど産油国は国営会社の開発比率や利益配分の拡大をはかり、石油メジャーなどの開発意欲を減退させています。

中東は世界の確認埋蔵量の3分の2を占め、その生産原油の約60%はアジア向けで、アメリカ12.8%、ヨーロッパは18%となっています。これが止まったら大変です。アメリカの海外輸入は、中東と南米がほぼ同量。ヨーロッパは旧ソ連邦から約43%、中東から32%、残りの25%はアフリカから輸入しています。ということは、中東依存が高いアジアのエネルギーセキュリティのリスクは欧米に比べて圧倒的に高いということです。

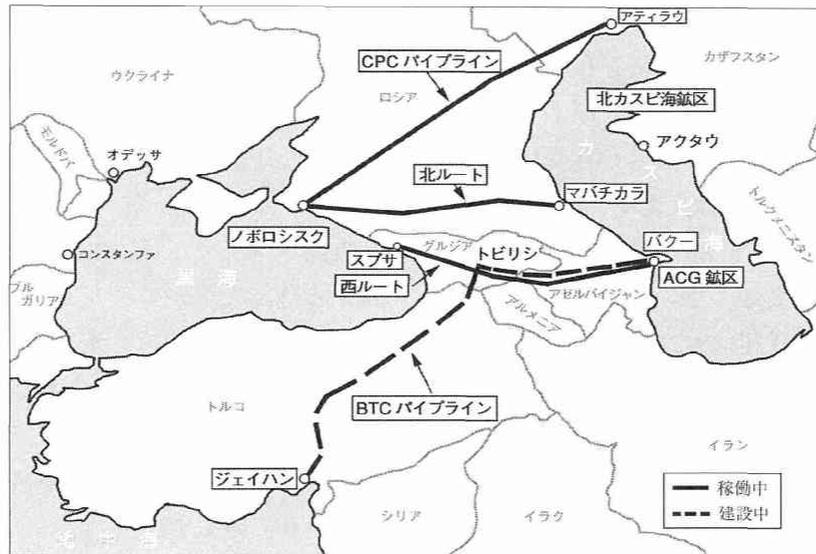


図4 カスピ海周辺の石油パイプライン網

中国、インドの需要増でエネルギー争奪戦へ

世界のエネルギー需要増加分の3分の2は新興国ですが、その中で経済成長が著しい地域として今注目されているのは、BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）でしょう。ブラジルはエネルギーも食糧も自給できます。ロシアはサウジアラビアに次ぐ産油大国。インドは食糧は自給できますが、石油が足りないため中東などからどんどん輸入しています。

中国のGDPは世界の4%ですが、何と世界の鉄鋼の年間生産量の3割、セメントでも3割を消費しています。それが経済成長に伴いもっと増えそうなのです。石油需要は日本を抜き、世界第2位の石油消費国になっています。2004年の中国の石油需要は、前年より80万バレル/日増え、OECD諸国全体の増加分70万バレル/日を上回る勢いです。一方、中国の石油生産の3分の1を支えていた大慶油田は枯渇しそうです。中国石油の埋蔵量は、約180億バレルで現在の中国消費の8年分くらいしかありません。したがって、中国は国を挙げてエネルギー資源確保へ邁進しているのです。石炭も膨大な量を消費しています。2003年の貨物輸送量は20億トンでしたが、その45%に相当する9億トンは石炭でした。今、輸送する手段である鉄道も船も足りない状態

になっています。そこで、中国は、ロシアに接近して何とか石油を中国に供給させるエネルギー協定を結ぶことに成功したようです。

インドと中国の人口を合わせますと23億人です。両方で世界人口の約3分の1になります。アジアでは、インドと中国が世界的な石油の争奪戦を行い、日本もそれに巻き込まれるということになります。石油価格の上昇から始まる争奪戦は、歴史の教えるところによれば、最後は戦争になる可能性も否定できません。その辺りををよく見通して対応策を論議しなければいけません。

石油代替エネルギー候補の可能性

地球外から流入するエネルギーは、太陽エネルギーで、それが空気、水を動かし、植物を成長させるので、それをを用いることが一番良いのは自明の理です。しかし、輸送用を中心に大量の石油代替エネルギーの確保をしなければなりません。

[LNG]

液化天然ガス（LNG）は、巨大な投資をしてガスを引っ張り出して液化し、貯めて、液化船に乗せて運んで、また陸揚げする設備を作ってパイプラインで輸送する形で使われま

す。日本みたいに小さな国土で送電線が全国に張り巡らされ、LNG輸入実績を積み上げてきた国はいいのですが、アメリカのように広大な国土を持つ国でLNGを海外から受け入れるその対応インフラ整備は大変なようです。

また、膨大な投資で生産するLNGですから、20年ぐらいかけて償却しないと採算がとれません。そのため売買契約も20年契約です。しかし、20年契約を結んでも途中で供給が止まっては困ります。例えば、インドネシアと契約を結び供給量が減った場合は、カタール、ブルネイ、オマーンなど他の国から供給するという形で安定供給を約束する仕組みも工夫されています。また、ガス田は石油より生産減衰が早く、供給投資へのリスクも大きい。だから、石油に替わるエネルギーとしてLNGがあると言っても話はそう単純ではないのです。現在、原油のように金さえ出せば買えるという市場整備はなされていません。

[Biofuel：アルコール]

アメリカは世界人口の4%、石油埋蔵量2%、生産は8%、その石油消費は、世界全体（約8,300万バレル/日）の4分の1に相当する2,000万バレル強/日です。したがって、他の地域の4倍の資源減少をさせています。そのため、北米のエネルギー資源の減衰が激しく海外からの輸入拡大となっています。その消費の半分近い900万バレル/日は、ガソリン用に使っています。これはサウジアラビアの1日の産出量と同じぐらいです。国土が広大なアメリカでは、自動車は日常生活に欠かせないもので、ガソリン価格はアメリカ経済に非常に大きな影響力を持ちます。ガソリン価格が、2ドル/ガ

ロンに上がり、アメリカの家計にとって増税と同じ効果を与え、消費者の省エネルギー車志向とともに、ガソリンに替わる燃料が模索されることになりました。

ゼネラルモーターズ（GM）を始めとする3大自動車メーカーは、2005年度の仕様を、穀物から作ったアルコールを、ガソリンに約4分の1混ぜた燃料でも走るようにするそうです。これは環境対策でもあります。

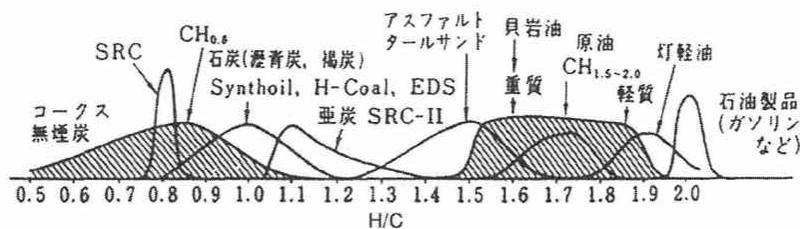
ブラジルでは、ガソリンとアルコールのどちらでも選択して使用できるFlex Carが既に実用化されています。

[GTL]

次がGTL（Gas To Liquid）です。天然ガスをジメチルエーテルやメタノールなど液状にしたものを使うという方法です。それであれば、採算性の低い小さな油田からガスを取り出し、化学反応させて液化できると言うことで、石油メジャーがGTL製造に急速に傾斜しています。硫黄酸化物、窒素酸化物も発生しないクリーンエネルギーです。欧州では、環境対策も兼ねてディーゼル車への適用をはかる開発が進んでいます。

[合成石油・水素]

石炭などから合成石油を生産するには、水素と炭素のモル比を高める（炭素比率を下げ）必要があります。図5で見ると、モル比を右側へ持っていく化学反応を起こさなければなりません。それには当然、必要な炭素、水素元素を持つ物質とエネルギーを投入しなければなりません。そのエネルギーをできるだけ少なくするために、現在、色々な反応や



〔出典〕 日本化学会：「資源から見た化学・化学工業の諸問題」昭和56年3月

図5 石炭、石油成分の水素と炭素のモル比

化学触媒の開発が行われているところです。

水素は環境には一番良いのですが、その生産コストは、水電解でガソリンコストの12～13倍、石炭からは5倍、天然ガスからは2～3倍と見積もられています。

地球温暖化問題

気候を左右する塩分濃度の変化

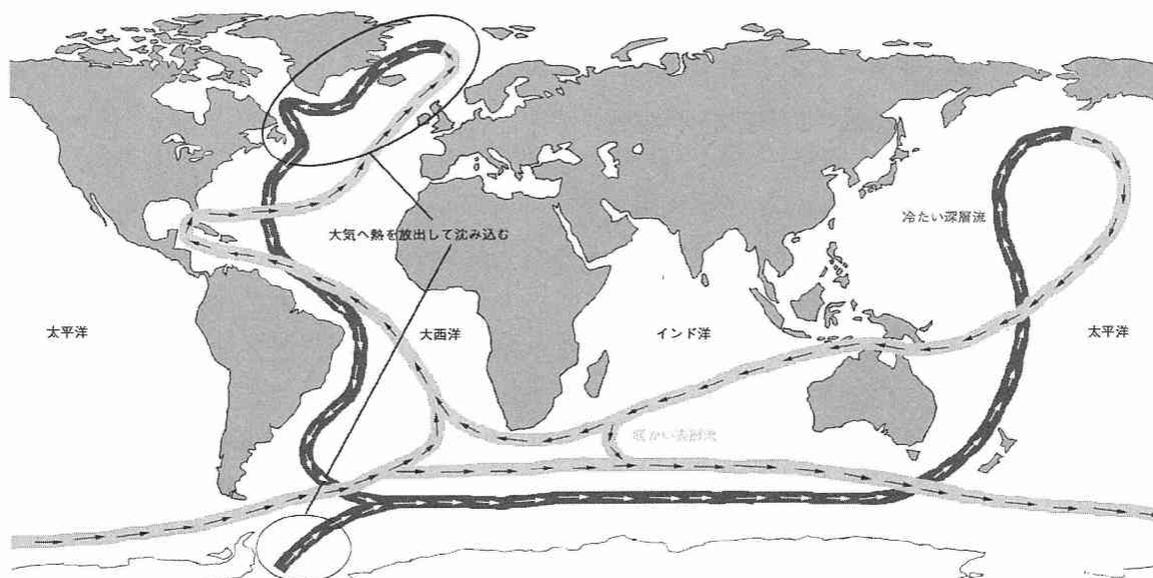
世界中の人たちが異常気象を感じています。実は、その気候を左右しているのは海水の塩分濃度の変化なのです。現在、北大西洋北部と南極海で深層への海水の沈み込みが起きています。海水が沈み込むのは塩分濃度が高まり、それが冷えて比重が高まるからです。北大西洋北部と南極海で沈み込んだ深層水は、合流してインド洋、太平洋へと流れていきます。

北大西洋の低緯度、中緯度では、表層の海水が熱せられて蒸発し塩分濃度が高くなります。その暖水がメキシコ湾流に乗って北へと流れていきます。北極に近づくと冷やされて、海水の塩分濃度が上がり重くなって沈み込み

ます。それが深層流となって回って来るのです。深層流は北太平洋で流れる力を失い周囲の海水とゆっくり混ざり合い表層に上昇し、表層流となって北太平洋、インド洋を回って北大西洋北部へと戻って行くのです。この「海のコンベアベルト」が色々な地球環境に影響しているということです。

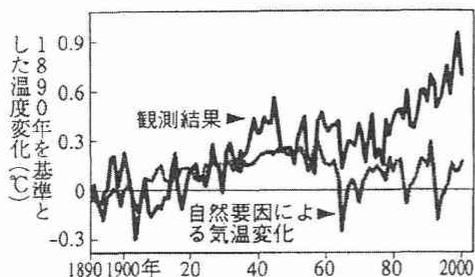
ここで問題なのは、グリーンランド海の氷です。グリーンランド海の氷山の下の方は、地球温暖化の影響でどんどん融けています。すると、塩分濃度が低くなりますから沈み込む力が弱まります。その結果、暖かいメキシコ湾流を北大西洋まで引っ張り上げる力が無くなり、「イギリスあたりは、緯度の同じシベリア並に寒冷化するだろう」とアメリカの国防総省は報告しています。

気候のメカニズムは、大気、海洋、陸面がからみ非常に複雑ですから、そうなるかどうかは分かりません。しかし、欧州連合（EU）の環境省は、今後数十年の間にアルプスの氷河が7割融ける、2100年に世界の平均気温が1.4～5.8℃上昇するのに対して欧州は2～6.3℃上昇すると予想しています。また、中国の新華社通信は、中国科学院の調査として、過去40年間にヒマラヤ等の氷河は7%減少し、年間に溶けた



(出所：“Abrupt climate change,” National Research Council, National Academy Press)

図6 海洋のコンベアベルト



(出所：米国政府報告書)

図7 地球の気温上昇と自然要因による変化

水量は黄河の水量に匹敵すると報じています。現に異変は起こっているのです。

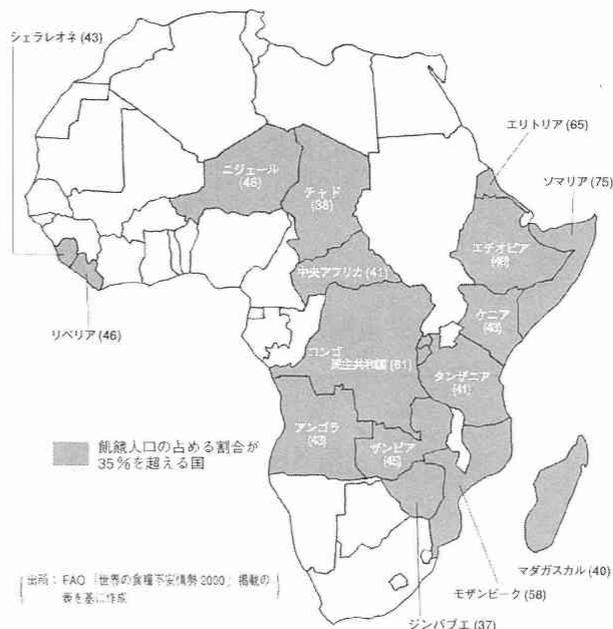
京都議定書から離脱したままのアメリカも地球温暖化の原因について、どうも自然現象だけでなしに人為的影響もあると、2004年8月下旬に発表した報告書『変化する我々の地球』**で初めて認めました。その報告書によると、図7のように地球の平均気温は、1890年から0.7℃くらい上がっているのです。

地球温暖化は、海上より陸上、高緯度のほうが高くなります。それによって、世界の食糧生産適地の変動が起こります。新しい農地の開発には長い年月と多大な労力と巨額の投資が必要です。今、人類は、食糧危機への対応も迫られているのです。

飢えた世界と食糧不安

国連食糧農業機関 (FAO) の報告書『世界の食糧不安情勢2000 (The state of food insecurity in the world 2000)』によると、アフリカが一番飢えています。報告書の調査対象となった途上国、旧ソ連邦など126カ国のうち、飢餓人口が当該国の人口に占める割合が35%を超えていたのは24カ国ありました。図8に示すように、そのうちアフリカが18カ国を占めています。

世界の穀物生産量は、2000年以降収穫量が消費量に満たない年が続きました。穀物備蓄量は、過去30年間で最低水準となっています。



出所：FAO『世界の食糧不安情勢2000』掲載の表を基に作成

図8 飢えるアフリカ

一方、2003年12月15日付けワシントンポスト紙によると、年間5億トンの食糧を必要とする中国で、2003年の収穫量が4億5000万トンとなり5000万トン足りなくなりました。そこで、中国はアメリカ、ブラジルから大豆などを2000万トン輸入しています。2003年までは食糧輸出国だった中国ですが、2004年は食糧輸入国に転じてしまいそうです。ワシントンポスト紙によると、「2、3年後には1日に2～3隻の輸送船がパナマ運河を通過して中国へ行くだろう」と予測していました。それはあたかも「ヘソの緒」のごとくということですから、これを切られますと中国だけでなく、アジア全体が飢えてしまいます。しかし、食糧の供給余力は、世界を見渡すともう米州圏しかないようです。

石油価格の高騰によって、穀物や砂糖などの農作物はアルコール原料と見なされ始めました。エクソンモービル社の報告書『A Report on Energy Trends, Greenhouse Gas Emissions and Alternative Energy』(2004年2月)によれば、仮に2020年にアメリカガソリン消

**商務省、国務省、環境保護庁など関連省庁で構成される「気候変動科学プログラム」が作成した報告書。衛星観測の結果、1981～2001年に、北極地方の表面温度が10年間平均で0.3℃、北米高緯度地域で同1.0℃上昇したことを示すとともに、「1949年までの気温上昇は、自然現象に由来するものと見られるが、その後、99年までの気温の変化は、自然の変動によるものだけとは考えにくい」と述べている。その原因の1つとして、温室効果ガスを明示した。

費の10%を小麦の茎から作るアルコールで代替するとなると、現在の小麦生産地の3倍の農地を必要とし、それは全米土地面積の11%となります。したがって、これはあくまで条件の整った地域での部分的代替としかなり得ません。しかし、需要増は確実に価格高騰へ反映していきます。穀物価格上昇は、貧困国をこれまで以上に飢餓へと追いつめることにもなりかねません。

また、タイの商務長官は、石油価格の高騰から産油国に対するコメ（中国、インド、ベトナム、パキスタン）、天然ゴム（マレーシア、インドネシア）、砂糖（ブラジル）の輸出価格を引き上げる協定を生産国へ働きかけているようです。一種の物々交換思想で、エネルギーと農作物との価格のバランス化と通商における通貨不安への兆しとも見られます。

さいごに

イースター島の悲劇

図9はイースター島のモアイ像です。イースター島は太平洋ミクロネシアに位置する面積1万6,628ヘクタール、周囲60kmの絶海の孤島です。3世紀頃にはポリネシア人が上陸し生活を始めたと言われます。1722年、オランダ人ヤコブ・ロッゲフェンが「復活祭（イースター）の日」に来航しています。その時の人口は6000人くらいで、いくつかの部族を形成し、絵文字も文化も持ち、ニワトリ、サツマイモなどを食物として暮らしていました。それが、約50年後の1774年にキャプテン・クックが上陸した時は、モアイ像は片っ端から壊されていて、一握りの人間が惨めな暮らしをしていたと言われます。1万人を突破したと想定される人口増に対する食糧の窮乏と資源の枯渇が部族間の対立を呼び、奪い合い、闘いとなって自らを滅ぼしたと推定されています。



(出所：日本工学アカデミー・環境フォーラム編『豊かな石油時代が終わる』、丸善、2004年10月)

図9 イースター島のモアイ像

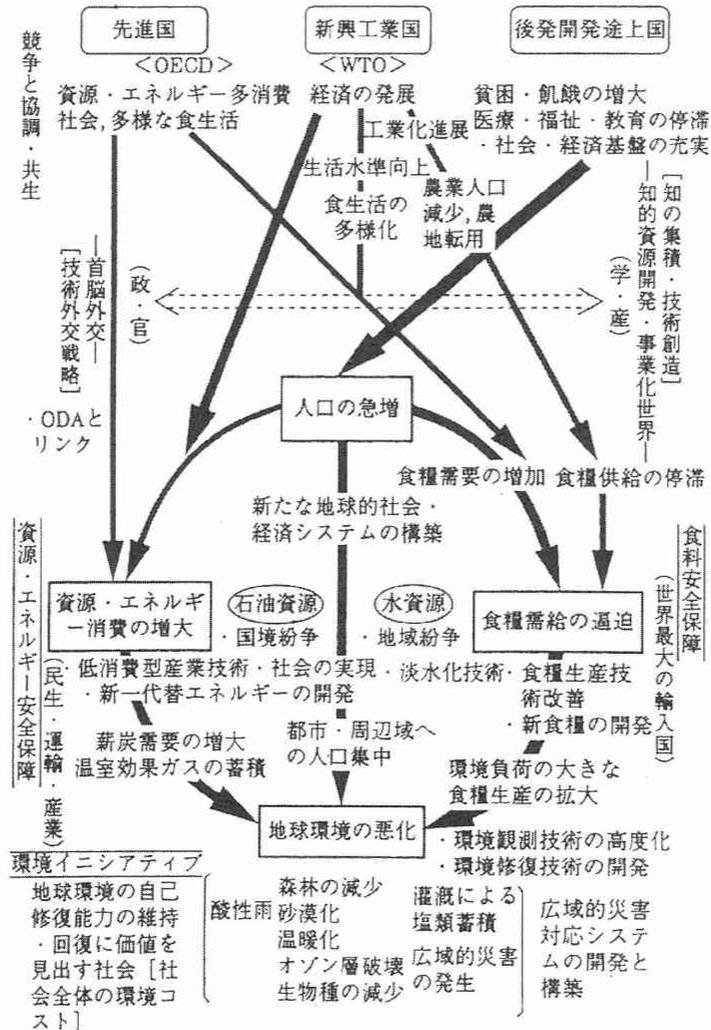


(出所：NASAホームページ)

図10 宇宙から見た地球

図10は宇宙から見た地球です。世界人口が64億人から2050年90億人に迫っていく中で、「石油ピーク」は来るし、石油や資源の輸送面での不安も出てくるし、世界的に見た食糧の配分も偏っています。有限の地球の中で、イースター島のような悲劇は起こしたくありません。どうしたらいいのでしょうか。

図11は環境問題の全体構造です。これは同時に、産業力強化、地球規模での問題解決へ向けたフレームワークでもあります。日本は、食糧の安全保障や資源エネルギーの安全保障をグローバルな視野で真剣に考えないと、人類に貢献するどころか、日本自身が窮乏化して半世紀以前の生活に戻るといふことになりかねません。頼りにすべき最大の国力は、日



〔出典〕 科学技術会議国際問題懇談会「21世紀に向けた我が国の科学技術政策の国際的展開について」(平成8年5月)に追加

図11 環境問題の全体構造

本人そのものと科学技術力です。経済力の維持と同時に、新しい地球社会秩序構築にわが国の人材、技術力と資本力を活用する国家戦略の発揮が必要とされているのです。

これまで日本には、このようなフレームワークに叶う政策をまとめて立案、実施する体制がありませんでした。幸いにして2000年に内閣府ができ、2004年初めには「日本学術会議法」も改正されました。総合戦略策定の根幹となる長期展望などを勧告、提言するために、2005年4月から日本学術会議が内閣府に移管されます。

地球規模の長期的な問題について、外務省、文部科学省、国土交通省、経済産業省、環境省、農林水産省、資源エネルギー庁など、あ

らゆる役所を挙げて戦略を考える際には、そういう問題について考えるシンクタンクが必要です。次の世代、人類のために、皆の力を結集して、そのようなシンクタンク機能を学術会議と連携して設置し、色々な見識が流れるシステムを構築して、国民、産・学・官・政がそれぞれの立場でその「知」を活用できるようになることを願っています。

ご静聴ありがとうございました。(拍手)

[講演]

水素エネルギーの展望と課題*

吉田 邦夫 (東京大学名誉教授)



はじめに

水素は化石燃料と異なる二次エネルギー

水素は、石油代替エネルギーの最有力候補と考えられています。しかし、水素は2つの点で石油、石炭と大きく異なる性質を有しています。第一に、今まで全く使われたことがないエネルギーであるということ。第二に、石油や石炭のように、そのまま入手することは不可能であり、石油や石炭を何らかの形で変換することによって得られるエネルギーであるということ。つまり、石油や石炭が一次エネルギーであるのに対して水素は二次エネルギーであるということです。この二次エネルギーであるという性質があるために、「水素エネルギーシステム」をどう作るかを論じるとともに、水素をどのように入手するかも論

〔略歴〕

1961年東京大学工学部応用化学科卒。1966年同大講師。1983年同大工学部化学工学科教授。1998年同大退官。東京大学名誉教授。アジア科学教育経済発展機構理事としてタイ国教育改革事業プロジェクトに従事。2005年新潟産業大学学長。

現在、経済産業省産業構造審議会クリーンエネルギー部会長、NEDOの省エネルギー技術審議会委員長。

じなければいけないということになります。

現在のエネルギーシステムと将来のエネルギーシステムを図1に示します。現在のシステムでは、化石燃料から電力を得て使うという流れがありますが、もう1つ、化石燃料からガソリン、都市ガス等を得るという流れも成り立っています。将来、化石燃料がなくなって原子力、あるいは風力、太陽等、新エネルギーになった時、電力を得るという流れは確保できます。それに加えて、ガソリンやガスに相当する燃料が必要になった時に、水素を使おうというのが「水素エネルギーシステム」の考え方です。

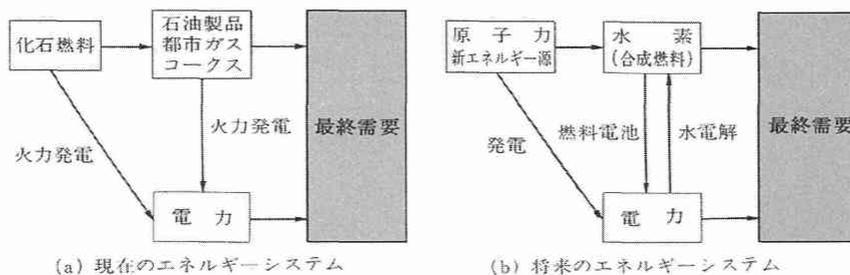


図1 エネルギーシステムの今と未来

*本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部/㈱日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他/財団法人エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。

水素製造技術開発の歴史

アンモニア合成用の水素は石炭ガス化で取得

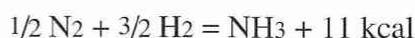
20世紀初頭にドイツのフリッツ・ハーバーとカール・ボッシュが空中の窒素を固定化することでアンモニア合成に成功したという話を高等学校の化学の時間に一度は聞いたことがあると思います。そこにいたるまで、チリ硝石（主成分は硝酸ナトリウム）を得て種々の火薬が作られ、ナイチンゲールの活躍で有名なクリミア戦争（1853～56年）等で幅広く利用されました。同時に、チリ硝石が優れた窒素肥料であるということがわかって、ヨーロッパに大量に輸出されるようになりました。その結果、膨大に堆積されていたと思われたチリ硝石の枯渇が心配となりました。窒素肥料がなくなるということは同時に、小麦の生産量が急減することを意味します。そこで、チリ硝石に代わって空中に豊富に存在する窒素を何らかの形で有効利用して硝酸、あるいはアンモニア合成をすることが急務となり、イギリスの科学会会長から緊急アピールが出される状況となりました。

そのアピールを受けて、最初に作られた技術が「アーク法」です。これに必要な電力を確保するために、ナイヤガラ瀑布を利用する水力発電、あるいはノルウェーの水力発電所

の建設が行われました。

次がカーバイドを経て石灰窒素を作る方法です。このためにも電力が必要だということで、アメリカのテネシー渓谷に大きな発電所が作られました。

しかし、最終的には生産量の大きさや製造コストの安さで圧倒的に有利な「ハーバー・ボッシュ法」が世界を制覇することになります。1907年、ハーバーがアンモニア合成の基礎を確立します。それは次式のように、窒素と水素を100～200気圧、650～670℃で触媒を用いて反応させるというものでした。



1913年にボッシュの指導下に、BASF社で日産10トンの工場が完成しました。1913年という年が非常に重要です。1914年から第一次大戦が始まります。すなわち、ドイツは戦争に間に合ったということです。それは偶然だったようですが、連合国側はドイツへの火薬供給を止めようとして、チリ硝石の対独全面禁輸に踏み切ります。ちょうど第二次大戦中、アメリカが日本への石油の禁輸に踏み切ったと同じような処置がとられたわけですが、ドイツは一向にへこたれませんでした。アンモニアを酸化させることで、硝酸を製造し、火薬を作っていたからです。その結果、第一次大戦が大変長期に続くことになり、多くの人命が失われることになりました。



図2 フリッツ・ハーバー（1868～1934年）
1918年ノーベル化学賞受賞



図3 カール・ボッシュ（1874～1940年）
1931年ノーベル化学賞受賞

連合側にどうしても理解できなかったことが1つありました。アンモニアを作るには空中窒素を固定するだけでなく、 NH_3 の H_2 、つまり水素が必要です。その水素をドイツがどうやって作っているのかということです。国土が平坦で、水力発電所はつくれないのですが、ドイツは既に石炭ガス化技術を開発して水素を作っていました。アンモニア合成の話になると、空中窒素の固定のことばかりが語られますが、同時にこれは水素製造技術の開発でもあったわけです。

ハーバーとボッシュのその後

アンモニア合成に大変貢献したハーバーはカールスルーエ大学の教授でしたが、やがてカイザー・ウィルヘルム研究所（現マックスプランク研究所）の所長となって、塩素ガスを使った毒ガスの開発に努力しました。ハーバーの奥さんはご主人が殺人兵器の開発に力を貸すことを何度も諫めたのですが、彼がどうしても言うことを聞かないので、最終的には絶望して自殺するということになります。実は、ハーバーはユダヤ人で、それが故にドイツで大変な偏見を持たれて苦しんでいた。それがこのような努力をした背景にあったと後では考えられていますが、結局、最終的にはユダヤ人追放の流れに乗ってドイツにいらなくなり、スイスに去って寂しく死んでいきます。

一方のボッシュは、石炭ガス化によって得られた一酸化炭素（CO）、水素とアンモニア合成で確立した高温・高圧の技術とを組み合わせるとメタノール合成にも成功します。彼はこのメタノールを面白いことに自動車の燃料に使用しようとして、メタノール自動車の研究を始めます。やがて、ベルギーの特許を得て、石炭からのガソリン製造に成功し、これがまた第二次大戦でドイツがあまり石油がないにもかかわらず長期間戦争を継続できた原因を作ることにもなります。ボッシュはこのような研究開発を続け、

最終的にはドイツが国家体制を維持するため国家総動員体制のもとで作られたBASFを初め全化学会社と一緒にした「IGファルベン」社の社長となって、ドイツの化学産業を世界に冠たる化学産業に育てあげる働きをなすこととなります。彼はヒトラーとはまったく反りが合わず、ドイツの暗い将来を予言しながら寂しく死去したと言われます。

「アーク法」のために開発されたノルウェーの水力発電所はやがて重水を作るようになり、これが原子爆弾に使われることとなります。一方、テネシー渓谷で石灰窒素のために作られた発電所は、石灰窒素法の競争力が失われたので無駄になり、大量解雇が続きます。それを何とかするために生まれたのが、フランクリン・ルーズベルト大統領が行ったニューディール政策の中心となったTVAプロジェクトです。

水素製造技術は最先端技術ではない

ハーバーやボッシュという極めて優れた化学者の生涯を紹介するのが目的でこのようなことを申し上げているわけではありません。水素の製造方法からメタノールの開発、メタノール自動車、そして石炭の液化といった諸々の技術、今日話題になっている技術のすべてが、既に100年前から存在し、あまり形を変えないままに今日に至っているという事実を申し上げたいからです。

水素が注目されて燃料電池が騒がれるようになり、関連技術があたかも最近生まれた最先端技術であるかのように語られることもあるようですが、既に100年の歴史を有し、必ずしもうまくいっていない技術である。まだまだ地道な努力が必要な技術であるということをおぼえていただきたいと思います。このような話をしたわけでありませぬ。

ボッシュは、まだ高温・高圧にふさわしい材料がまったくない時代、しかも水素ガスを通すことで水素脆性が容易に起こるような材料しか

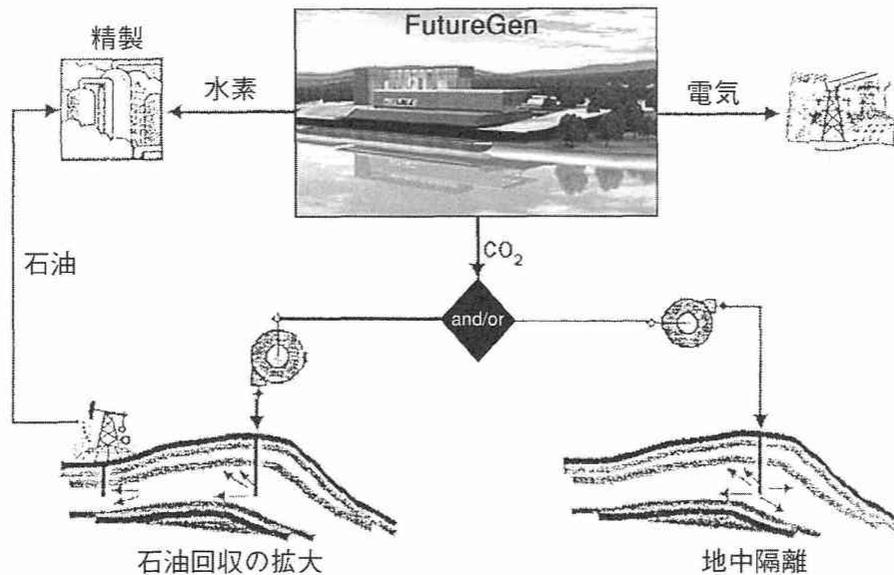


図4 FutureGenの概略

ない時代に、こういった諸問題を解決するために天才的なアイデアを散りばめた反応塔を考えています。ボッシュというのはまさにプロセス開発の天才としか言いようがないと思います。水素エネルギーの開発のためにもボッシュのような天才科学者が少なくとも3人ぐらいは必要なのではないかと思う次第です。

水素社会実現に向けた欧米のプロジェクト

CO₂固定も考慮したFutureGen～アメリカ

アメリカでは、水素経済実現のために水素の位置づけが極めて明確に示されています。アメリカは中東石油の大きな輸入国です。最近では、天然ガスも国産が不足気味ということで、サハリンの天然ガスを液化天然ガス(LNG)という格好で輸入する計画が進められています。すなわち、政情不安な中東の石油、そしてごく数年前まで敵国であったロシアの天然ガスに依存することになるわけで、アメリカの国家の安全が極めて脅かされる場面になるという状況を避けるために自国に豊富に

存在する石炭から水素を製造することが極めて重要であるとうたわれています。このために、“FutureGen”と称する石炭利用プロジェクトが提唱されています。石炭ガス化は、水素を得ると同時にCO₂を作ることもあるわけですが、CO₂を地中に固定したり、石油の高次回収用のガスとして利用することによって、水素製造がCO₂の発生を伴うことにはならないんだという「クリーンな水素開発計画」をきちんと考えています。

風力利用によるクリーンな水素製造～EU

欧州連合(EU)でも水素エネルギーの意義が明確に論じられています。ここでは、再生可能エネルギー、とりわけ風力の大幅な利用による水素製造の重要性が謳われています。EU諸国、とりわけドイツの風力エネルギーの開発は非常に活発で、現在でも既に1万3,000基の風力が稼働中だと言われていますし、2010年には風力発電の総量がエネルギー総量の約10%を占めるという計画が進められています。すなわち、風力から水素を製造することが確かなものであるということを保障するだけの計画が進められているわけです。

「サンシャイン計画」から始まった技術開発

水素がエネルギーとして日本で最初に注目されたのは、石油危機の時です。「水素エネルギーシステム」確立の有力手段として、水電解で水素を得るのではなく、「熱化学分解法」で直接的に水素を得る方法があります。この技術開発を中心に、「サンシャイン計画」の一環として水素エネルギーの研究開発が進められ、それがWE-NETに引き継がれました。ところが、「サンシャイン計画」の後、結局化石エネルギーの逼迫はなさそうだとということになり、水素に関する人々の関心も急激に薄れていきました。それが今また地球環境の悪化でCO₂排出量の増大が憂慮されることになり、CO₂排出抑制の観点から、カーボンフリーの水素が究極のクリーンエネルギーであるということで再び脚光を浴びています。

水素使用側の燃料電池プロジェクトに偏重

日本の水素開発計画は、燃料電池実証プロジェクトに偏っています。図5に示すように、燃料電池を開発することで家庭用燃料電池、燃料

電池車をこのように大幅に導入する計画が進められています。自動車のための水素供給ステーションの実験も実施されていますが、水素製造については、ガソリンやLPGの改質など何でもありで、また、水素を得る時に否応なく排出されるCO₂の問題は全く無視されています。ひたすら「燃料電池車はクリーンである」と言います。確かに、燃料電池そのものはクリーンです。しかし、その燃料となる水素を作る時にCO₂が排出されることを誰も論じようとしないという不思議な状況にあります。

コンビナートで製造されている水素

水素は現在、メタノール、アンモニア等の合成に必要な化学工業原料として、あるいは、石油の脱硫、半導体材料の精製等に必要原料として使用されています。

今、コンビナートをエネルギー利用の観点から見直そうとする「産業間連携プロジェクト」が実施されようとしています。図6を見ると、多くのコンビナートの石油精製業、あるいは製鉄所の高炉等から既に大量に水素が作られていることが分かります。大部分はコンビナートの中で消費されていますが、一部半導体用の水素という格好で外販にも回っています。さらに、水素製造のためにプラスチック等を投入することによる溶鉱炉の積極

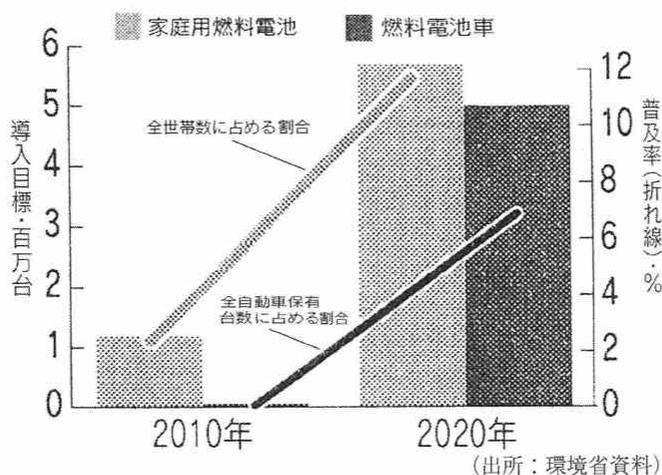


図5 燃料電池の導入目標と普及率

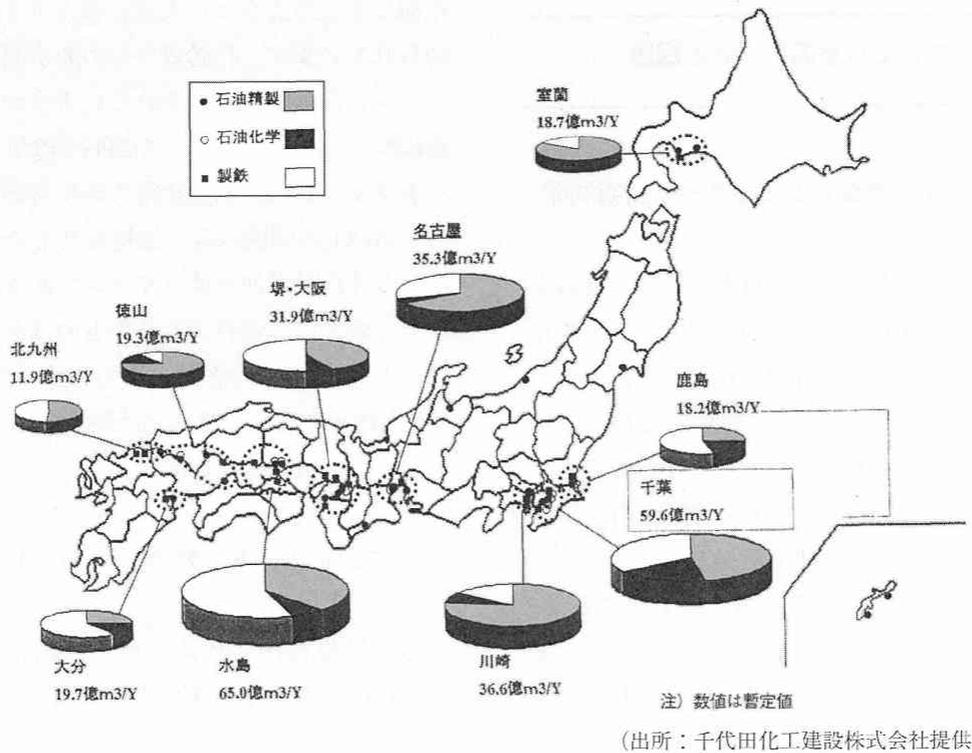


図6 産業間連携コンビナート地域の水素発生量 (平成13年度)

的利用といったことは十分に可能です。少なくとも当面の自動車用の水素はコンビナートから得られる水素で十分賄える状況にあると、いいと思います。

ただし、将来の水素ということを考えると、より資源量が確かなものを使うことを考える必要があります。日本にとって一番手近なところで大量に得られるのは石炭です。中国、オーストラリア、インドといった近隣諸国の石炭を使った水素製造が考えられてしかるべきですが、今、石炭は最もCO₂を排出する「汚いエネルギー源」であるということから敬遠される傾向にあります。

景観規制で進まない風力開発

「サンシャイン計画」の時に取り上げられた熱化学分解法の1つとして、私が長年研究開発してきたUT-3熱化学分解法を下に示します。

4段階の化学反応を進行させることで、水から酸素と水素が作られます。この反応の進行のために必要なエネルギーは、太陽エネルギーあるいは工場廃熱を利用することで十分に得られます。このようなことを実施することで、CO₂の排出を伴うことなく、クリーンな形で水素を十分に製造することができるわけです。そうやって初めて、水素が非枯渇の

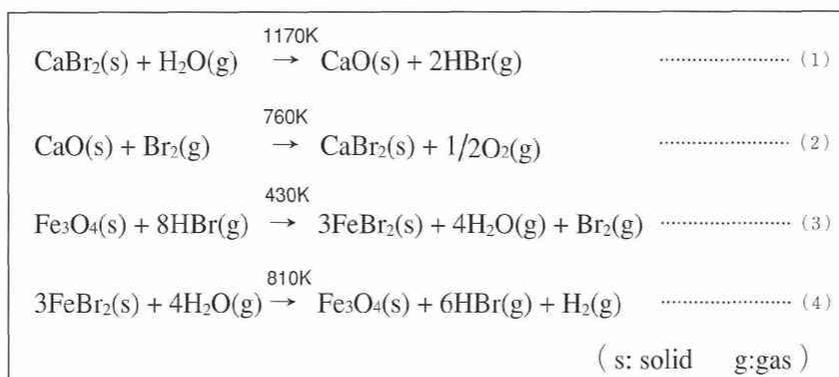


表1 新エネルギー導入実績と目標

	2000年度	2010年目標	2010/2000(*)
太陽光発電	8.1万kl (33万kw)	118万kl (482万kw)	約15倍
太陽熱利用	89万kl	439万kl	約5倍
風力発電	5.9万kl (14.4万kw)	134万kl (300万kw)	約23倍
廃棄物発電	115万kl (103万kw)	552万kl (417万kw)	約5倍
	その他、廃棄物熱利用、バイオマス発電 など		
合 計 (1次)エネルギー総 供給に占める割合	722万kl (1.2%)	1,910万kl (3%)	約3倍

(*) 2010年度の目標値の2000年度末実績値に対する比率。
出典：総合資源エネルギー調査報告書等より作成。

エネルギー、クリーンなエネルギー源として、わが国で意味をもつことになると思います。このような形の研究を十分に進めていくことが必要だと思えます。

クリーンに水素を得ようとする、風力等新エネルギーの利用を積極的に考える必要があります。「総合資源エネルギー調査会」のわが国の太陽光発電や風力発電の導入目標を見ますと、表1のようにそれぞれ15倍にする、23倍にするなど、倍率を見る限り大幅に増えるような印象を受けますが、実質的に考えますと、一次エネルギーに占める割合は3%になるに過ぎません。ドイツのように10%にするといったような努力目標から見ると実に情けない状況にあります。

わが国が風力に恵まれないのかというと、決してそんなことはありません。私は、箱根の十国峠に風力発電所を建てるために色々と風況調査をしました。十国峠は極めて風力発電に適した場所ではありますが、国立公園であるが故に、建築が認められません。しかし、既にレストランや大駐車場が作られて環境破壊が行われています。それなのに風力発電所を建ててはいけないというのは、私には全然理解ができないわけです。また、伊豆大島にも風力発電所を建てようとしています。新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)から風況調査の予算をもらいましたが、その調査にすら環境省から「待った」の聲がかかりました。しかし、これはさすがにおかしいということで、経済産業省が私

たちの努力をサポートしてくれ、取りあえず風況調査だけは実施できました。私たちが風況調査を行った場所には、重要な動物はいません。猿が少しとマムシがいるだけです。重要なのは、樺、いわゆる植物です。したがって、風力が自然環境に悪影響を及ぼす可能性は何らないわけです。にもかかわらず、国立公園であるということで、風力発電所建設の見通しが立たない状況にあります。このような状況がある限り、日本では風力がなかなか先へ進みません。少なくとも、日本は、オランダ、デンマークなどと同じように海岸に風力発電を立てることが十分に可能です。しかし、それがつまらない規制のために進まないという状況にあります。これを何とかしなければいけないということは強く申し上げておきたいと思えます。

水素経済実現に必要な莫大な投資

歴史を振り返ってみますと、新しいエネルギーが使われるようになりますと、産業や経済活動に大きな変化が生じます。わが国では、ちょうど1960年を境に、エネルギーのうち、石炭が占める割合が石油にとって代わられています。以来、石油、あるいは天然ガスがわが国の主要エネルギー源となってきました。これが「エネルギーの流体化」と呼ばれるエネルギーの転換です。この転換のために、大変な投資のもと、石炭置場を石油ターミナルに変える、新設をする、あるいは天然ガスの

パイプラインを作る等々の整備が実施されてきたわけです。それに伴って、わが国では重化学工業が大きく進展をするところとなり、所得倍増が実現し、エネルギー転換のための色々な投資が回収できたわけです。

これから水素経済を実現しようとするなら、今度は「エネルギーのクリーン化」とでも呼ぶエネルギーの転換を実現することになります。このためには、水素供給網の整備、水素のパイプラインの設置等、改めてインフラの整備を進めることが必要となります。水素は無煙炎ですから、放射伝熱量がまったく変わってきますので、ボイラーそのものも全部入れ換えるといったことが必要になります。全てに莫大な投資を必要とします。水素経済が実現することで、私たちが環境上、極めてクリーンな生活を楽しめるということは確かですが、エネルギーの転換の時の所得倍増と同じくらいの直接的な利益が何であるか見えてきません。

目下、高齢化社会が急激に進行してきていて、「年金がもっと欲しい。福祉設備が、医療設備がもっと欲しい」という要求がいよいよ大きくなっています。国際競争力を維持するためには、ナノテクノロジー、あるいはバイオテクノロジー等々の技術開発を進めることが必要であり、このためには技術開発にもっと予算を投じる必要性もまた強く叫ばれています。その一方で、整備新幹線、熊しか歩かないような高速道路の建設といった無駄な投資も依然として続くわけです。こういった中で、莫大な投資を必要とする水素網の整備を本当に進めることができるのか。その必要性を本当に皆が納得しているのか、極めて曖昧な状況にあると言わざるを得ません。

メタノール燃料利用のための研究開発の経験

わが国ではかつてクリーンな燃料として、メタノール燃料の利用が何度も計画され、進

められて来ました。そこには第1次の波（1970年代前半）、第2の波（1980年代前半）、そして第3の波（1990年代）がありました。

第1の波は、メタノールとLNGとの経済性の比較ということで、最終的にはLNGが優位ということで消えました。

第2の波は、いわゆる石油危機の後です。メタノールをやはりクリーン燃料として積極的に利用しようということで色々考えられました。

一番大きかったのは第3の波です。1990年代に電気事業審議会がメタノール発電所（50万kWh）を作る計画を発表しました。その結果、当時の日本のメタノール需要が一挙に約30%増える見通しとなり、そのために燃料用メタノールを安価に大量に作れる新製造法の開発プロジェクトが急いでスタートしました。私はこのNEDOのメタノール製造技術の開発委員会の委員長をしていましたので、プラントの適地を探して、カタール、オマーンといった中東の国々まで行ったことがあります。しかし、電力業界が「やっぱりやめた」と言った途端、すべての話が御破算となって、燃料開発も、メタノール自動車の話もあつという間に消えていきました。本当にあつという間で、私も今更ながら驚いています。

今、日本で進められている水素の話は、トヨタ、ホンダ等の自動車メーカーが牽引役となって進められていると言って良いと思います。今、日本の産業はすべて自動車によって引っ張られているとあっていい状況にあります。その自動車業界が水素を引っ張っているだけに、燃料電池の開発はまさに一日も新聞やテレビで報道されぬことがないと言っていいほどの状態がこの数年続いています。しかし、自動車業界が「ハイブリッド車*でいいんだ」と言ったとすれば、メタノール自動車と同じように、水素の開発、水素への関心がまた一挙に萎んでしまう危険性を有していると痛感しています。それでいいのか、皆でよく考えることが必要でしょう。

*ガソリンエンジンと電気モーターの動力を組み合わせた低公害車。現在主流のガソリン車より二酸化炭素（CO₂）などの排出量が少ない上、燃費が優れている。（編集部作成）

日本に欠けているもの

[資源の観点からの議論]

わが国は第二次大戦の時に、ゼロ戦という大変優れた戦闘機を開発しましたが、その一方で、石油の確保、ハイオクタン燃料の製造技術の開発といった重要な事柄を怠るという大きな過ちを犯しました。今また、燃料電池だけが出来上がって、いざ使う段になって燃料たる水素がないといった過ちが起こる可能性が十分にあります。水素の確保をどうするのか。少なくとも現在は天然ガスを使うことで十分可能です。しかし、天然ガスは一方でクリーンだと言われています。そのクリーンな天然ガスを分解して、水素を作る時にCO₂を発生させるわけです。こんな馬鹿なことに本当に妥当性があるのでしょうか。

[確立すべき水素エネルギー確保のシナリオ]

水素は今使うエネルギーではありません。石油生産がピークを迎える、化石燃料が使えなくなって初めて意味を持つエネルギーです。そうなった時に、一体何から水素を取得するのか。改めて、風力等新エネルギーの利用、あるいは熱化学分解等の開発といったことの重要性を認識し、水素エネルギーの確保をどうするのか十分に検討していくことが必要だろうと思います。

また、将来の水素ということ考えた場合、近隣諸国の石炭を原料に水素を製造することが考えられてしかるべきです。最もCO₂を排出する「汚いエネルギー源」として敬遠すべきではありません。

[再考を要す関連技術開発の実施体制]

燃料電池の開発はNEDOが行い、石炭利用開発は石炭利用開発センター(UCCJ)が行う、CO₂の分離固定は地球環境産業技術研究機構(RITE)がやるといったように個々別々に行われています。石炭ガス化複合発電(IGCC)を実行するのであれば、そこから出てくる

CO₂を固定するプロジェクトが当然その末端につながられて、電力が得られると同時にCO₂も固定されるという格好で技術開発がなされて然るべきです。これが全部個々別々に行われている。これがまた極めて大きい問題を生み出します。

さいごに

私たちは高度成長を追求する経済から持続可能な社会を追求する経済への転換を目指しているわけです。このための有力なエネルギーのあり方として水素を提案し、それを基礎とした経済社会を水素経済と総称したいと思っています。このためには、クリーンなエネルギーシステムを確立する、CO₂の排出を抑制できる社会を実現することが重要です。

水素経済の実現は長い目で考える必要がありますし、そのために、絶えず、競合するエネルギーのコスト、供給の安定性といった情報、それに加えて大気汚染や気候変動の度合などの「エネルギーの外部コスト」の情報もあわせて、産業界のみならず消費者に絶えず与えることにより、水素転換への理解を深めていく努力が求められていると思います。

水素経済の実現に向けて膨大な手間と資金を要するわけですが、それを十分に国民に納得させるだけ大局観のある国家政策の樹立が必要であるということを訴えておきたいと思っています。

繰り返しますが、今、私たちに求められているのは、水素が本当に必要なのか。必要ならば、どのような政策のもとに実現していくのか、十分な議論を尽くし、全国民が納得する政策を打ち立てることであるということです。それを強調して、私の話を終わりたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

[講演]

日本列島をめぐる領土と資源エネルギー*



芦田 譲

(日本学術会議第5部会員
京都大学大学院工学研究科教授)

はじめに

今日は、わが国をめぐる領土と資源エネルギーについてお話しします。まず、世界のエネルギー事情について概説します。次に、私の専門である物理探査についてその手法や最近の動向について解説し、最後に、わが国の資源エネルギー、大陸棚延伸に係わる課題を紹介したいと思います。

[略歴]

1967年京都大学理学部地球物理学科卒業。同年石油資源開発(株)入社。1986年京都大学講師。1996年京都大学工学研究科資源開発工学講座教授。現在、探査計測システム講座を担当。

日本学術会議第5部会員。(社)物理探査学会理事。資源エネルギー庁国内基礎調査実施検討委員会委員長。

世界のエネルギー事情

ピークを過ぎた石油生産

世界の石油発見のピークは数年前に過ぎ、

さらに石油生産のピークは2004年に過ぎたという説もあります。北海油田の減退が予想以上に激しいうえに、サウジアラビアの油田も水を圧入して生産する状況に至っているからです。他方、中国、インドの近代化によって急速に石油需要が伸びています。石油はまだ無くならないにしても生産量は減退していきます。ですから、需要と供給のバランスから石油価格の値上がりは避けられません。恒常的に50ドル/バレルを維持するだろうというのが大方の予想です。

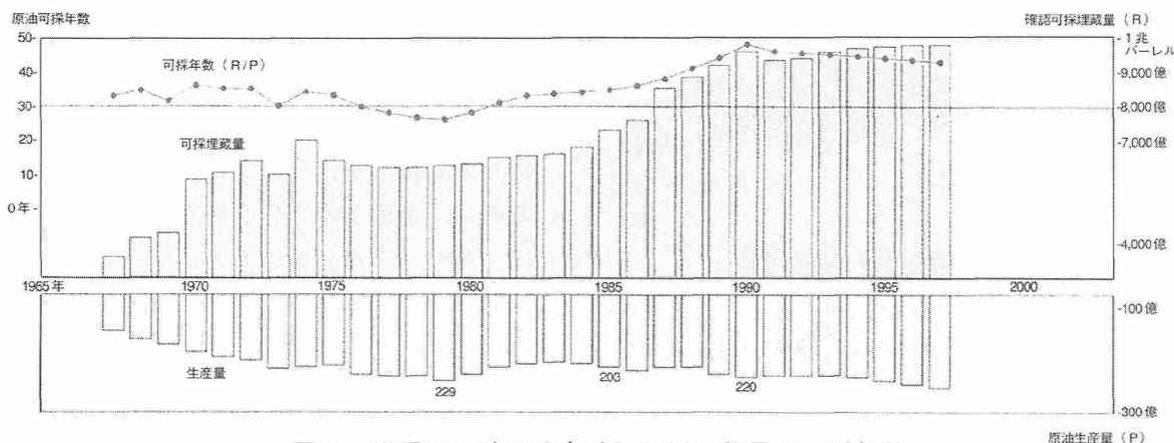


図1 世界の原油の残存確認可採埋蔵量と可採年数

*本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部/社団法人日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他/財団法人エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。

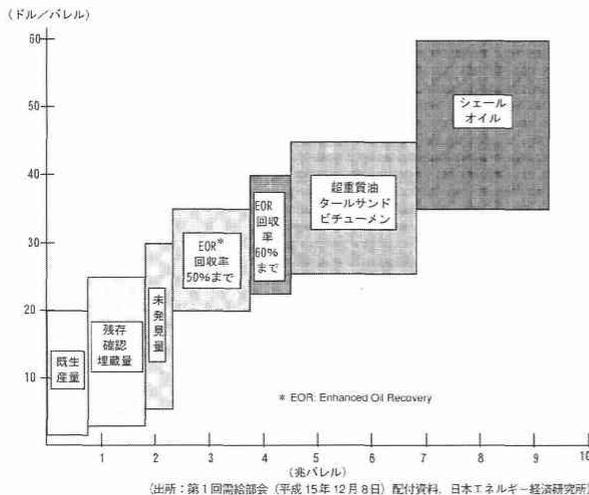


図2 在来・非在来資源と原油価格の関係

現在までに、大油田はほとんど発見し尽くしたと言っても過言ではありません。図1で見ると、世界の石油の可採年数は約41年です。41年前も「後41年で石油が無くなる」と言われました。それから41年たった今、また「41年で無くなる」というのは敷衍して考えれば、「41年たってもまだ41年あるじゃないか」という議論が立ちます。しかし、これは明らかに間違いです。41年前の石油探査技術は現在に比べれば大したことがなかったし、アクセスし易い所しか探査しませんでした。今は高度に進んだ技術で深海からジャングルまで地球上のあらゆる所を探査しています。手をつけてない所は南極ぐらいではないでしょうか。この状態での後41年というのはかなり厳しい状況になっているというわけです。

進まない非在来石油資源の開発

図2は「経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会」で配付された資料です。問題は、オイルサンド、オイルシェールが入っていることです。非常によくまとめられた図ですが、タイムスケールが欠けています。例えばオイルシェールが、いつになれば開発可能なのか分かりません。今、原油価格は50ドル/バレルですが、まだコスト的に見合わず、オイルサンドやオイルシェールの開発はできません。

オイルシェールは、石油ができてそのまま移動しないで泥岩の中に染み込んでいる状態のもので、地下1,000～2,000mの地下にあるオイルシェールを採り出すのは、鉱山開発と同じくらいコストがかかります。こんなものは50ドル/バレルで開発できるわけがありません。これはまだまだ無理であると考えています。

石油代替エネルギーは何か。石油の用途としては発電と工業原料があります。発電については太陽光やバイオマス、風力、原子力などで代替すれば良い。しかし、工業原料としての炭化水素を安価にどこから持ってくるかと言うと、これは残念ながら化石エネルギーしかありません。ですから、我々の方策としては、「発電は他のもので賄い、化石エネルギーしか使えないものはそれを有効に長く使おうじゃないか」という選択になってきます。

物理探査とは

物理探査の手法

物理探査というのは、地球、地層、あるいは岩石の持つ物理的特性を利用して、非破壊で、要するに井戸を掘らないで、地表及びその近傍から地下の構造及びその構造内の物性値を把握し、石油、天然ガス、石炭、金属、地熱、地下水などの各種資源、あるいは断層や破碎帯の存在などの各種情報を得るための技術です。

表1のように、色々な手法で地下を調べます。物理探査法の中でも反射法地震探査は、世界で一番多く使われている手法です。石油のための物理探査の9割方が反射法地震探査です。これは、図3のように人工地震を起こして波を発生させ、地下の地層境界で反射してきた波を地表で受振し地下の構造を調べるといったものです。

我々の仕事は、地下構造のデータを取得して地球記録断面を作ること（順問題）と、それを解釈して地下構造を再構成すること（逆問題）

表1 物理探査技術とその立脚する物理現象

地震探査法	弾性波の反射・屈折
電気探査法	比抵抗・分極現象
電磁探査法	電磁誘導現象
重力探査法	密度
磁気探査法	磁比率
放射能探査法	γ 線, ラドン等の散乱現象
地温探査法	地温勾配, 熱流量, 放熱量等の地熱現象
物理険層	坑井を利用した物理探査
ジオトモグラフィ	地表-坑井-坑井間の物理探査

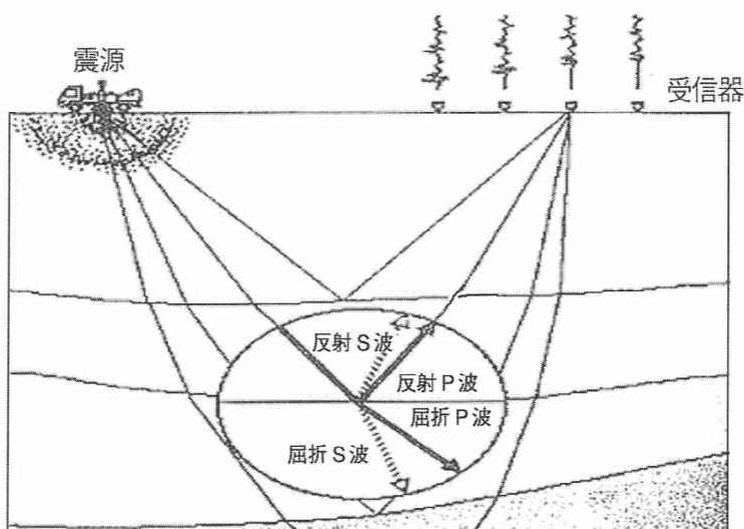


図3 反射法地震探査の模式図

表2 物理探査技術の動向

3次元調査の普遍化 S波地震探査(3成分受振・発震)の導入 会話形式による処理・解釈 各種探査技術の有機的結合 物性解釈・総合解釈 4次元調査(モニタリング)の導入 バーチャル・リアリティの普及 新しい物理・数学的概念の導入

精度を高める3次元調査

図4は、若い女性にも老婆にも見えます。もともと3次元のものを2次元に閉じ込めたものですからそうなっているのです。これに「回転情報」を与え、3次元的に見ることができれば、どちらか一目瞭然になります。

です。順問題で、問題になるのは信号を大きくしてノイズを小さくすることです。逆問題では、分解能の向上が鍵になってきます。これらに対応するため、最近では表2のような動向があります。



図4 若い女性か老女か

図5と図6を用いて2次元と3次元探査の方法と3次元探査のメリットを紹介します。図5に示すように、2次元調査とは直線上に震源と受振器を配置して調査を行うことから、鉛直の2次元断面としての記録が得られます。それに対し、3次元調査では震源と受振器を面的に配置することから、現実には生じている3次元的なデータをとることができます。例えば、図6(a)のような地下構造に対して2次元の反射法地震探査を行った時のLine 6における記録が図6(b)になります。2次元調

査では、横から反射してきた波も真下から来たものと思ってしまうわけです。「マイグレーション」という地下を再構成する技術がありますが、2次元データだとして処理すると、図7(a)のように偽像が出てきます。これを3次元的に処理しますと図7(b)のように正しい形が出てくるのです。ですから、正確な地下構造を求めるには、3次元でデータを取り、処理しなければいけないのです。

現在は3次元データを解釈することで、より正確に地下の構造が分かるようになりました。

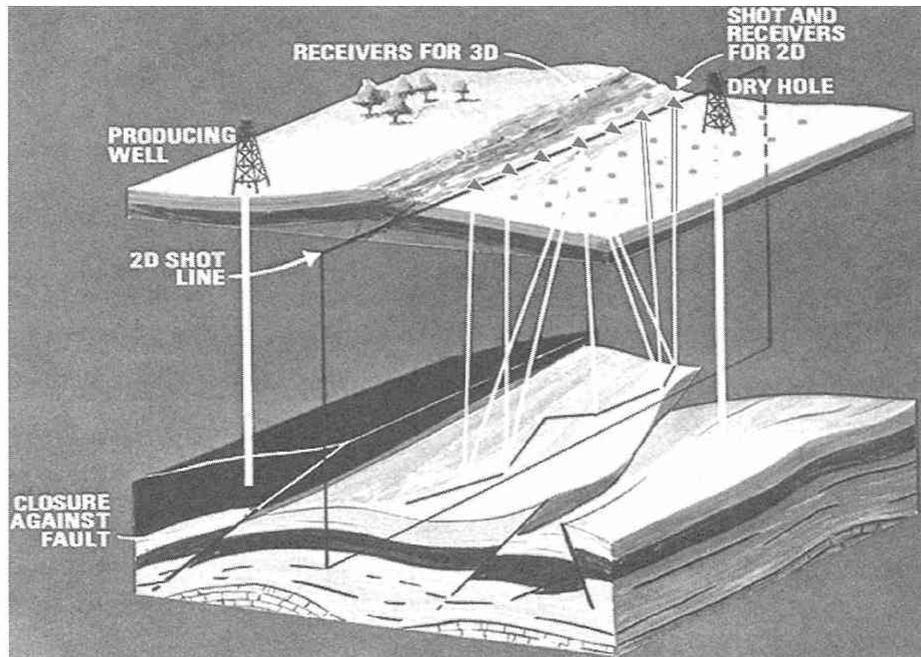


図5 2次元・3次元反射法地震探査

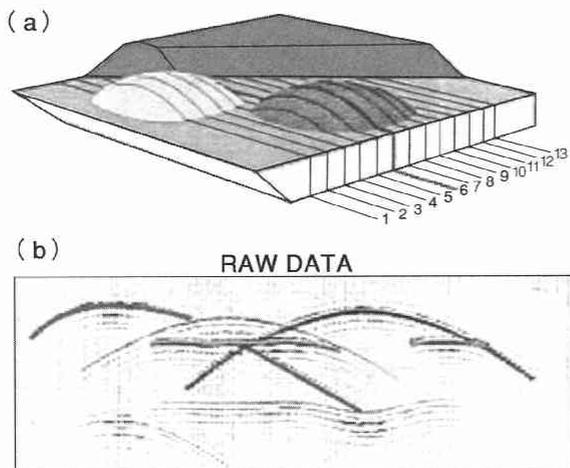


図6 2次元地震探査のデータ

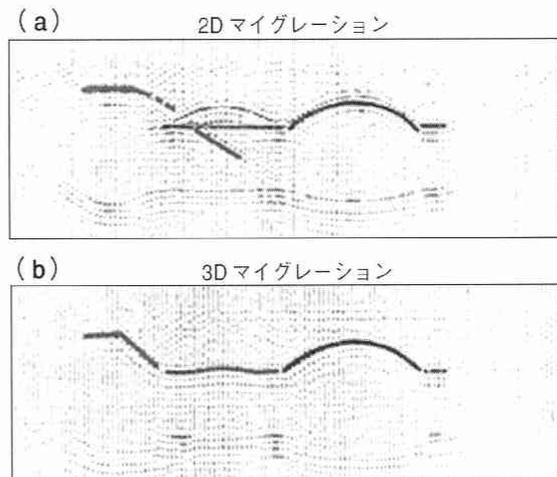


図7 マイグレーション処理したデータ

アメリカの石油会社BP・AMOCOの資料によると、2次元探査をやっていた20年前には14%だった油田の発見率が3次元探査をやるようになった10年前には49%に上がり、現在では75%になっています。すなわち、今は4本掘れば3本当たる時代です。

3次元物理調査船の必要性

3次元調査に欠かせないのが3次元物理調査船です。3次元物理調査船は、図8にあるように、受振器を25～50m間隔で50～100個ぐらい内蔵した浮揚性のある長さ6～8kmのケーブルを、最大20本引っ張って一挙に3次元物理調査を行う船です。震源はエアガンです。2次元・3次元の物理調査船が世界に170隻あります。韓国が4隻、中国が12隻、マレーシアが6隻、シンガポールが4隻、日本は何故か0なのです。私は、地下を調べるためには当然調査船が必要だということで、経産省に3次元物理調査船を建造する予算を付けるよう要望してきました。やっと、経産省から財務省に概算要求する方向で動いてもらっています。**

実は、2年前なら百数十隻もの物理調査船が売りに出されていました。石油探査のため

の物理調査船は石油価格と連動しますから、石油価格が低かった当時、船を持っている会社が売りに出したのです。あの時なら50億円で3次元物理調査船を買えました。現在、物理調査船は70隻ぐらいになりました。そこにきて今、石油価格が上がり、探査の需要が増えてきましたから、「3次元調査をやりたい。船が欲しい」と言っても、そう簡単には調達できません。船を借りてきて調査すればいいだろうという時代ではないのです。

8,000トンぐらいの物理調査船自体は200億円を投じて2年ぐらいで建造できると思います。問題は、日本に3次元探査のソフトウェアとしての調査技術がないことです。3次元物理調査船というのはハイテク工場です。50～100m間隔で受振器を内蔵した長さ6～8kmのケーブルを最大20本も絡まないように引くのは相当の技術が要求されます。残念ながら日本にはそういう技術はこの20年ほとんど育っていません。売り手が「船体は売るけれど、探査装置は売らない。自分たちで開発すればいいじゃないか」と言われたらそれまでです。金さえ出せばいいという時代ではないんです。やはり、ちゃんとした技術は自分で持たなければ駄目です。



図8 3次元物理調査船

**平成17年度予算で3次元物理調査船の建造のために247億円が計上された。

油・ガス田の探査

図9は日本の油・ガス田の分布図です。新潟や山形、秋田県、最近では北海道の千歳空港の南、勇払とかで見つかっています。太平洋側では磐城沖ガス田が見つかっています。

今まで日本は大陸棚の水深200m以浅に限って調査をやっていたのですが、石油、ガスは水深に関係なく存在します。ブラジルでは、水深2,000m, 3,000mの所から出ています。

図10は三陸沖での地震探査断面図です。私が委員長をしている「資源エネルギー庁国内基礎調査実施検討委員会」が水深900mの所にある背斜構造に坑井を掘り、40万 m³/日の天然ガスを発見しました。その天然ガスは石炭起源です。

石炭層は、図11のように磐城沖から三陸沖、勇払沖、サハリンまで伸びています。ですから、このエリアが石炭起源の天然ガスの探査エリアになってくると思います。勿論、北海油田のような大ガス田にはならないと思うのですが、エネルギーセキュリティの面で非常に大きな意味をもってくるのではないかと思います。

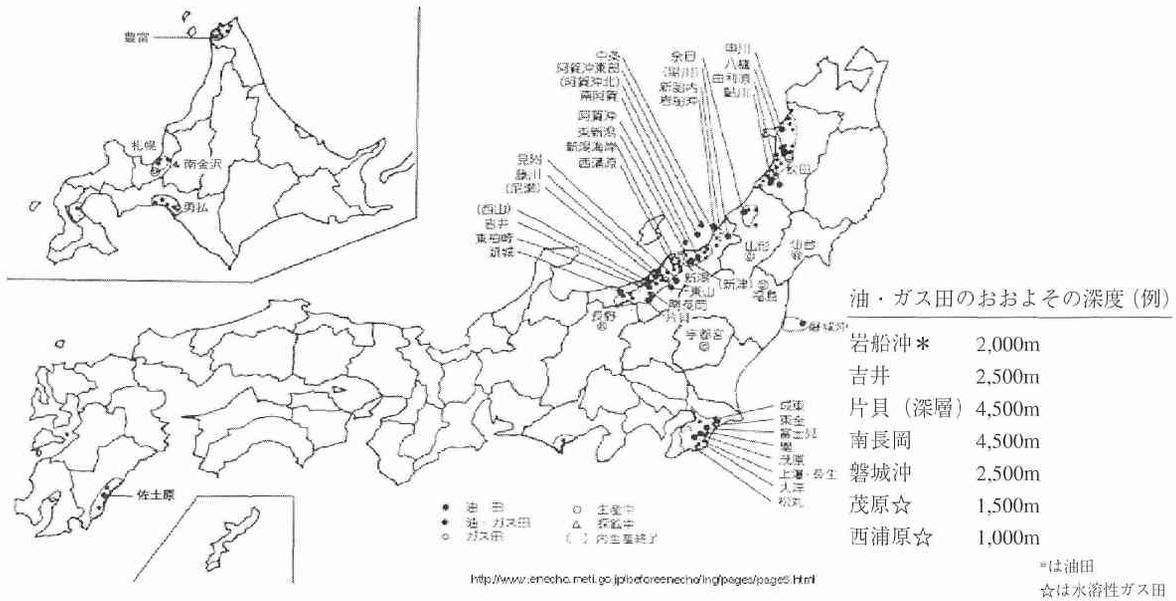


図9 わが国の油・ガス田分布

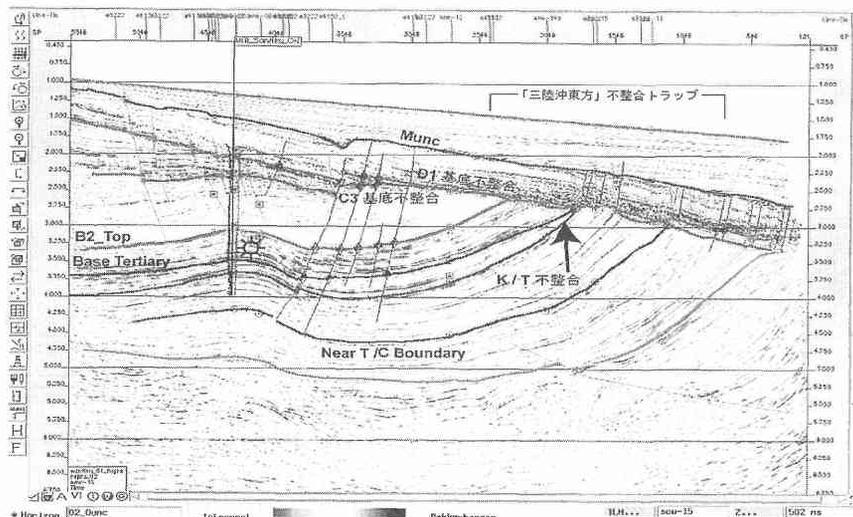


図10 三陸沖の地震探査断面

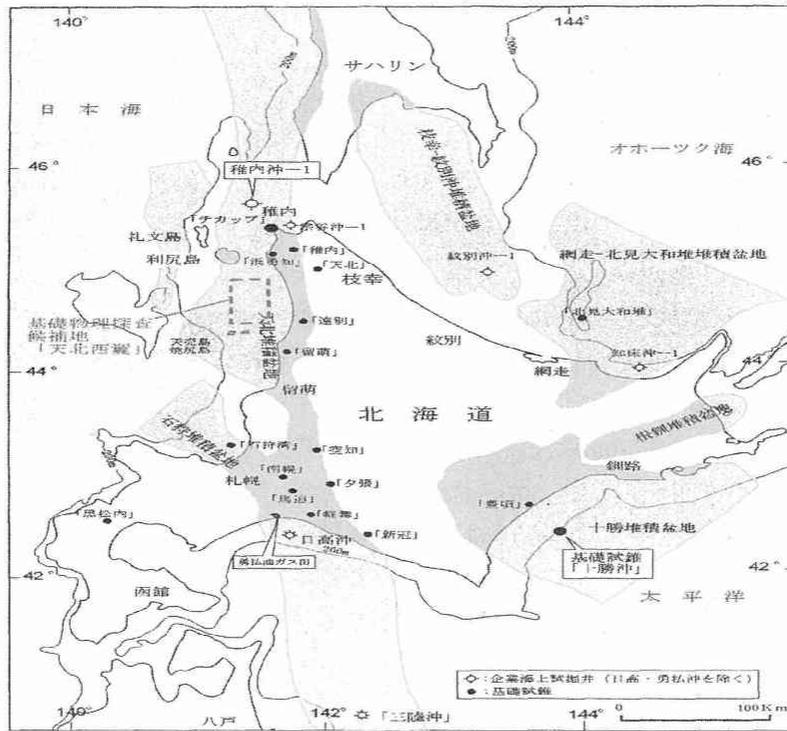


図11 磐城沖からサハリン沖にかけての炭層の拡がり

領土関連問題

急がれる大陸棚限界画定のための調査

1982年に国連海洋法条約が採択され、1996年7月20日にわが国に対して発効しました。海洋法条約で排他的経済水域*** (EEZ: Exclusive Economic Zone) は領海の基線(低潮線)から200海里(約400km)と決められました。ただし、200海里を超えて伸びる大陸棚について、ある条件を満たしていれば、沿岸国の主権的権利が及ぶことになっています。

海洋法条約との関連で、1999年5月、「国連大陸棚限界委員会」の科学的・技術的ガイドラインが採決されました。このガイドラインを批准した沿岸国が低潮線から200海里を超える大陸棚の限界に関する報告書を同委員会に

提出し、「国連大陸棚限界委員会」が審査を行い勧告を出します。それに基づいて設定された大陸棚の限界が最終的に画定することになっています(国連海洋法条約第76条8)。日本はガイドラインを1999年5月に批准しましたから、それから10年後の2009年5月が報告書提出の期限です。後5年しかありません。ブラジルは既に申請しました。オーストラリアは2004年11月19日に提出します(11月16日に提出した—編集部注)。ニュージーランドもやります。日本は、去年からやっと調査している段階です。後5年しかありませんので早く調査を進めていただきたいと思っています。

ガイドラインによると、堆積岩の厚さが大陸斜面脚部までの最短距離の1%である地点、または大陸斜面脚部から60海里の地点のどちらか遠い地点を長さ60海里の直線で結んだ線が大陸縁辺部の外縁となります(国連海洋法条約第76条4(a)(1)(2))。大陸斜面脚部

***沿岸国は、①海底とそこにある生物や非生物の天然資源の探査、開発などの権利、②海水や海流または風からのエネルギー生産のような経済的利用の権利、③人工島などの設置や利用、科学的調査、環境保全についての管轄権、を持つ。他方、すべての国は漁業など資源利用権はないが、陸地部分である領土に隣接する領海と異なり、沿岸国の同意なしに、航行、上空飛行など交通通信権を保持する。沿岸国の沿岸から200海里までについて、排他的漁業水域と大陸棚の概念を結合し発展させた制度である。(編集部作成)

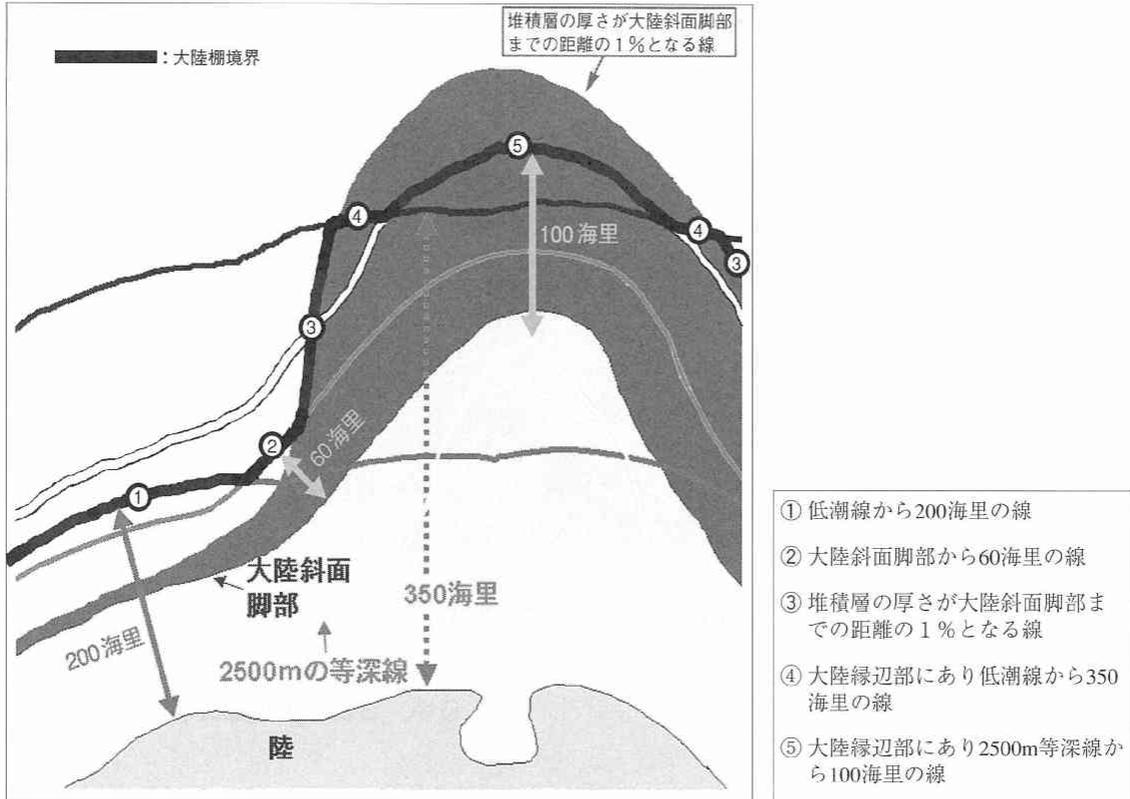


図12 大陸棚の定義（平面図）ヘッドバーク線

とは、大陸斜面からの傾斜の最大変化点です（国連海洋法条約第76条4（b））。ただし、大陸縁辺部は、低潮線から350海里、または、水深2500mの等深線から100海里を超えてはなりません（国連海洋法条約第76条5）。

具体的に図12で説明します。漁業や海底資源採掘などに主権的な権利を主張できる大陸棚の限界を一番太い線で示してあります。こ

の線は定義の異なる5種類の線で構成されています。すなわち、①低潮線から200海里の線、②大陸斜面脚部から60海里の線、③堆積層の厚さが大陸斜面脚部までの距離の1%となる線、④大陸縁辺部にあり低潮線から350海里の線、⑤大陸縁辺部にあり2500m等深線から100海里の線です。

ですから、我々は大陸斜面脚部を決めて、

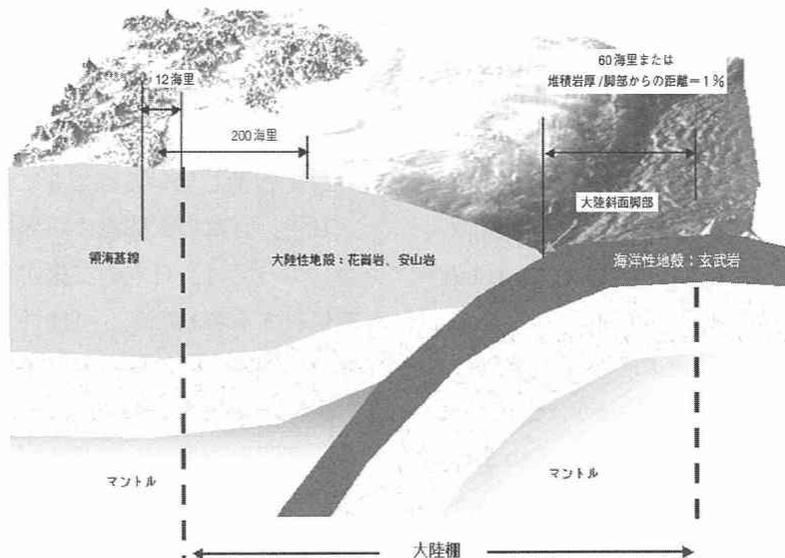


図13 大陸性地殻と海洋性地殻

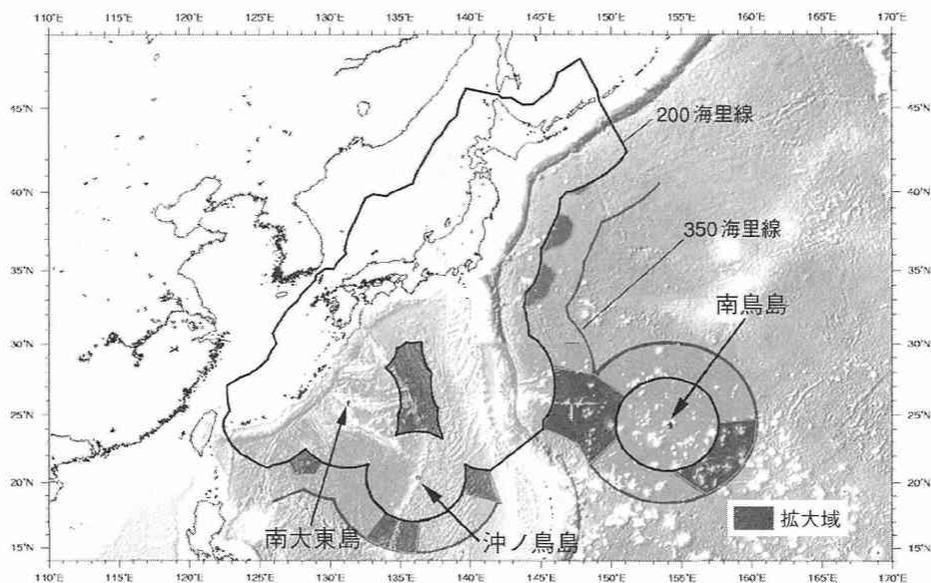


図14 大陸棚限界の拡大域

堆積層の厚さ、水深について科学的な調査をしなければいけないわけです。

地殻が沈み込む日本のようなところは、大陸斜面脚部があちこちにあります。どこを取るのかということになりますが、こういう場合、国連は図13のように海洋性地殻と大陸性地殻の境界から60海里を大陸棚の限界と定めています。海洋性地殻は玄武岩、大陸性地殻は花崗岩、安山岩で構成されていますから、岩石サンプルも採らなければいけません。その分、調査項目が増えることになります。

説得力あるデータの取得が必要

わが国の主張通りに大陸棚限界が画定された場合、図14に示すように、領土と同じような権利が及ぶ範囲が約65万km²拡大すると予想されています。これは現在の国土の約1.7倍とされています。つまり、戦争をしないで主権を及ぼせる範囲が3倍になるということです。

2001年、ロシアが「国連大陸棚限界委員会」に大陸棚延伸の申請を行いました。却下されました。データ不足が理由だと言われています。「国連大陸棚限界委員会」に申請を認めてもらうには、国際的に説得力のある科学的・学問的なデータを示すことが大事だと思います。

日中、日韓の大陸棚限界画定問題

国連は、「向いあっているか又は隣接している海岸を有する国の間における大陸棚の境界画定の問題」には関与しないと言っています(国連海洋法条約第76条10)。ですから、日中、日韓の大陸棚境界は両国間で決めてくれというわけです。中国は物理調査船を持っていますから、日本周辺で多くの調査を行っています。「科学調査」と称しているのですが、「科学調査」は事前通告し、結果を公表しなければなりません。しかし、中国は事前通告も公表もしません。中国は、沖ノ鳥島を「島ではなく岩だ」と言っています。多分、そこを係争地域にして国連の関与がないようにしたいのだと思います。中国は基本戦略をちゃんと持って行動しているのです。

日中、日韓の大陸棚の限界確定交渉では、場合によっては、日本の主張が通らず大陸棚の資源に対する権利を失う可能性があります。二国間で交渉する時、先方は3次元物理調査船で得た沢山のデータを持っているからです。「国連大陸棚限界委員会」に認めてもらうには、誰もが認める方法で精密な調査をして交渉しないといけません。そのために、3次元物理調査船が必要だと私は繰り返し言ってきたのです。

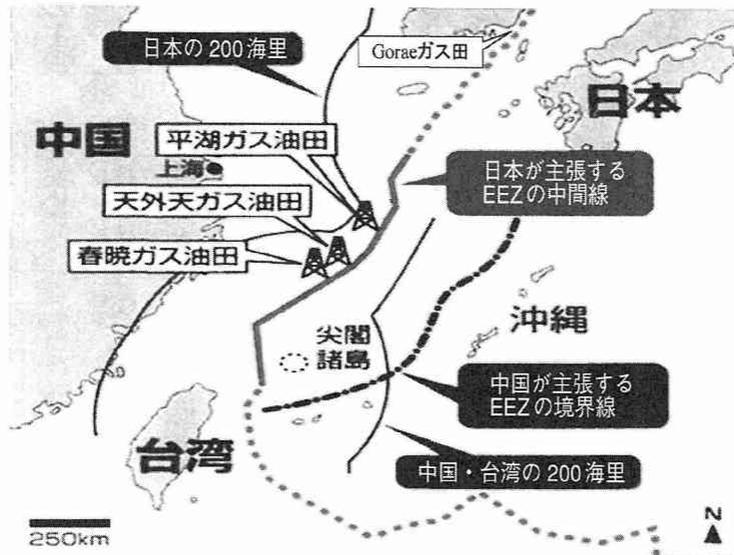


図15 日中、日韓中間線付近の油・ガス田

日中・日韓中間付近の油・ガス田

平湖ガス田は中間線から西へ20kmぐらいですから、これは中国のものでしょうか。今もめているのは春曉ガス田です。日本が主張するEEZの中間線から西へ4～5kmしか離れていません。ところが、この中間線はまだ確定してないのです。

春曉ガス田は今、石油を試掘しています。日一日と槽が大きくなってゆきます。多分、天然ガスのある構造は中間線にまたがって日本側にも続いているので、日本は調査をしてクレームをつけなければ駄目です。そうしないと、資源を全部中国に取られてしまいます。水平掘りという坑井掘削技術がありますから、中国側から掘って日本のEEZ内にある資源を取ることが可能なのです。

それから、中国は、沖縄周辺海域で水深調査をしています。水深1,000mでは全地球測位システム（GPS）の電波は届きません。水深1,000mを航行する原子力潜水艦が太平洋に展開できるよう、沖縄周辺海域の海底地形を調査し、地形で自分の位置を確認しながら航行しようというわけです。

さらに、日韓の中間線周辺のGoraeガス田は、2004年4月から生産を開始しています。残念ながら、日本も30年ぐらい前から、東シナ海

に堆積盆地が3つあることは知っていました。日本の会社が鉱区の申請をしたのですが、当時の通商産業省が認めませんでした。今、ここにイランの油田に相当するぐらいの量の石油があるという人もいます。可能性はありますから、ちゃんと調査をしないとイケません。

さいごに

日本では、エネルギーに関する基本戦略が欠如しているのではないかと思います。皆様のご協力を得て何とか、エネルギー基本戦略を立てるための働きをしていきたいと考えておりますので、ますますのご支援をお願いいたします。どうもご静聴ありがとうございました。（拍手）

総括とアピール*

秋 山 守

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

本日の公開シンポジウムの総括とアピールの言葉を述べさせていただきます。総括に入る前に、若干、本シンポジウムの経緯、趣旨につきまして述べさせていただきます。

これまで本シンポジウムの主催組織を中心に、着実に関連活動の実績を積み重ね、提言を含めて報告書を作成し、公開し、アピールも行っていました。

本シンポジウムの開催趣旨は、特に21世紀に入りエネルギー・環境問題が一段と深刻化してきていることを背景に、地球は有限であるという認識を広く共有し、産業社会と生活への影響を的確に把握しながら、未来に向けた「戦略的な」取り組みを進めていくことです。

本日のシンポジウムを総括いたします。樹木にたとえれば、強い幹を支える根の部分は、基礎科学、基本的な思想、またそれを支える価値観、倫理観であるわけです。その上で、根から幹へ広がっていく取り組みの根幹をなすのは、哲学、理念、戦略です。

その次元において、本日は内田先生から「新しい文明への移行」と題するご講演を頂戴しました。さらに、それから派生する様々な政策があります。これに関しては、秋元先生から内外のエネルギー・環境政策に関するお話を頂戴いたしました。

これに基づき、今度は幹から枝へと展開していく、つまり、具体的な計画を立案し、実施していくこととなります。ここでは、化石燃料資源の問題があります。化石燃料はわが国のエネルギーの根幹を支えてきたものですし、今後も大いに期待されるものです。その中でも特に使いやすく便利な石油資源については、「安く豊かな石油時代が終わる」という認識のもとに、石井先生から貴重なご講演をいただきました。さらに、化石燃料など海底資源を入手していく上での前提として、わが国の領土を確保することが必要で、そうした観点で、領土と資源エネルギーの問題について、芦田先生からご講演をいただいたところです。

また、将来のクリーンエネルギーとして期待されている水素エネルギーについては吉田先生からご講演をいただきました。

このような構成の中で焦眉の急は、枯渇していく石油資源、「安く豊かな石油時代が終わる」ことをどう認識していくかということです。それが終われば、20世紀に栄えた石油文明が衰退していくわけです。その中で資源争奪が起こり、価格が高騰し、貧富の格差も世界的に拡大していくと予想されます。さらにそれが広がると、食糧危機、化学工業原料の不足などによる産業の危機、さらには、燃料が足りないことから輸送の危機に陥ることになるでしょう。これらの問題が、資源、外交、軍事、経済、文化などを含めた総合的な国力、ないしは地位に照らした格差とあわせ、わが国にとって「二重の」将来的な懸念材料となる、こういう認識を持つべきだろうと思います。

【講演1】安く豊かな石油時代が終わる—“石油ピーク”の意味するところ—

石井先生からは、石油資源の入手に係る問題で、「高く乏しい石油時代が来た」という趣旨のも

*本稿は、昨年11月1日の日本学術会議第5部／(社)日本工学アカデミーエネルギー基本戦略部会他／(財)エネルギー総合工学研究所共催の公開シンポジウム「日本のエネルギーに未来はあるか—有限の地球に生きる—」における総括とアピールにつき本誌掲載用にテープ起こしたものです。

とに、世界最大と言われるサウジアラビアのガワール油田では水圧入等により噴出圧力が維持されている状況の紹介がありました。

石油資源について量だけでなく、質についても考えることが大変重要です。資源が“濃縮”されて、しかも経済的に入手できるという観点での基盤は質です。それを今後、定量的に評価していくための指標が出力エネルギーと入力エネルギーの比（EPR：Energy Profit Ratio）です。今後未来のエネルギー供給を考え、浪費型の社会から何とか脱却していく長期の戦略を整えていく際の視点として、EPRによって評価することの重要性が指摘されました。

〔講演2〕 エネルギー政策をめぐる諸問題

秋元先生からは、国際エネルギー機関（IEA）の『エネルギー・アウトック2004』のご紹介から始まり、エネルギーの内訳、そして中東依存度が極めて高いわが国にとっての緊急課題として、タンカーの航路の安全確保、タンカーそのものの確保の問題をご指摘いただきました。

省エネルギーが叫ばれる一方で、民生部門のエネルギー消費が増えていることを背景に、エネルギー政策基本法、基本計画、需給見通し等、最近の動きについて、その受けとめ方はいかにあるべきかという大変示唆に富んだお話でした。その中で、特に自給率向上の面での原子力の役割も的確にご紹介いただきました。

〔講演3〕 新しい文明への移行—“人類と地球”の世紀

内田先生のお話の主題は、新文明に移行すべき時であるということでした。これまで文明は、技術と資源エネルギーを大きな原動力として進歩してきました。石炭から石油文明への移行と技術基盤のお話は大変印象的です。今後は、人口問題、化石資源浪費の問題、特に中国、ロシアの動向をにらみながら的確にエネルギー、環境の問題を視野に入れていく必要があります。

輸送用エネルギーについては、自動車の技術開発の中での見通しの問題があります。さらに、エネルギーと食糧の問題、あるいは気象、海流の変化とエネルギー使用との相関が現実に現れてきています。講演の最後に、未来への航海の海図を描くことの必要性を強調されました。

〔講演4〕 水素エネルギーの展望と課題

吉田先生からは水素エネルギーの特徴を踏まえ、これまで約100年にわたる開発が戦争などを含めた現実的で生臭い状況の中で進められてきたこと、しかし、まだまだこの分野では残された課題も多いといった内容のご紹介がありました。

そして、水素経済実現への重要課題として、長期的視点、エネルギー価格の推移、外部コストの影響評価等を考慮した戦略性、さらに具体的には、インフラの整備、個別の取り組みから脱却した総合的な推進体制が肝要であるというお話でした。

〔講演5〕 日本列島をめぐる領土と資源エネルギー

領土と資源エネルギーについて、大変含蓄に富み、また力強いメッセージを頂きました。海底の地下探査の意義と緊急性、これは第一義的には領土を確保するということですが、あわせて地下資源を確保していく意義も大きいわけですね。物理探査の最前線について、正確に、また速く経済的に探査する技術に関する分かり易いご説明がありました。海底の資源エネルギーの展望についても、適切な内容をご紹介いただきました。

最後に、大陸棚境界画定へのわが国としての行動を今後急いで進めていく必要性が高いというご指摘でした。

以上を総括しますと、極めて有意義な見解が述べられ、現状の理解、今後の厳しい課題への考え方につき数多くの貴重な示唆を頂戴いたしました。有限の地球に生きることの実感が深まるとともに、エネルギーの未来について私たちがなお一層理解を深め、かつ連携を深めながら問題解決に努めていくことについて、本日ご参加の会場の皆様の共通した認識が強まったと思います。

最後にアピールですが、今回の公開シンポジウムの内容を踏まえ、特に問題の改善に向けたこれからの基本姿勢、取り組み方について、意見、要望を社会に打ち出していくことが極めて有意義であると思います。そこで、次の2つの点について急ぎアピールを整え、広く国民に向け、また政界、産業界、学界、官庁などの方々に向けて公開してまいります。

[アピール1]

全地球規模でのエネルギー・食糧・環境の問題解決に向け、必要な情報を自主的に収集し、分析、評価、体系化し、国民・産・学・官・政・メディアに提供していく基盤を構築すること。

[アピール2]

国連への2009年の申請提出期限を念頭に置き、適切な司令塔の下に、領土および地下資源の確保のための国家百年の大計に則った基本戦略を早急に構築すること。

ご報告は以上です。ありがとうございました。(拍手)

[寄稿]

省エネルギーに向けた ヒートカスケード空調技術の展開*

秋澤 淳

(東京農工大学大学院
共生科学技術研究部助教授)



1. はじめに

過去20年の民生部門におけるエネルギー需要の動向を図1に示す。1980年の需要に対する比率で表すと、最も増大しているのは冷房負荷である。民生部門のエネルギー消費は堅調に増大しているため、地球温暖化抑制にとって有効な対策が求められている。事務所ビルの一次エネルギー消費量の半分は空調用であるので、空調用熱源として排熱や未利用エネルギーを利用することが重要である。すなわち、熱を多段階に利用する技術体系を取り込み、空調分野において合理的な熱エネルギー利用を実現することが不可欠になると予想される。

本稿ではヒートカスケードの枠組みの中に位置づけられる熱駆動ヒートポンプ技術について解説する。熱駆動ヒートポンプ技術としては、現在広く普及している吸収冷凍

機、吸収冷凍機よりさらに低温熱源を利用できる吸着冷凍機、吸着冷凍機と同様に吸着材を用いて除湿を行う点に特徴があるデシカント空調について紹介する。これらはコージェネレーションや工場排熱など、一度利用されてから排出された熱を有効利用できる技術であり、ヒートカスケードディング（熱の多段階利用）を構成し、冷熱を発生する役割を担っている。特にシリカゲルを用いた吸着冷凍機は低品質の熱を再活用するヒートカスケードディングの最終段として期待できる。

2. ヒートカスケードディング

(1) ヒートカスケードディングの考え方

ヒートカスケードディングとは小さい滝が連続的に連なるように、高温から環境温度に至るまで熱を繰り返し利用することを意味する。

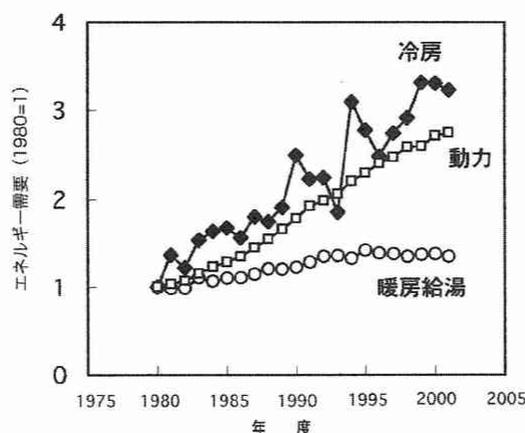


図1 民生部門のエネルギー需要動向

*本稿は、昨年11月26日開催の当所月例研究会（229回）でご講演頂いたものを、昨今注目される省エネルギーの技術動向を扱ったテーマでもあり、改めてご寄稿頂いたものです。

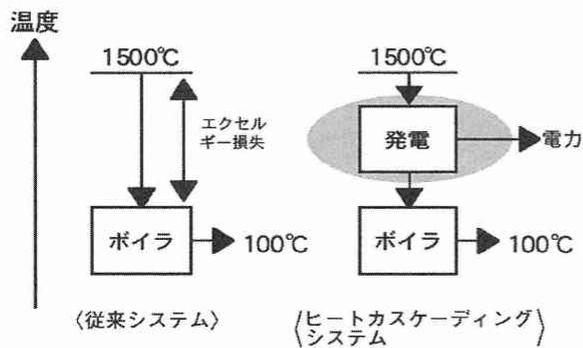


図2 ヒートカスケーディングの概念

すなわち、燃料を燃焼することによって得た1500℃以上の熱を蒸気タービン発電に使い、そこから出る排熱をプロセス加熱に用いる。さらに排出される熱を蒸気製造に使い、温度が低下したその排熱を空調用に用いて、最終的な排熱は環境に放出される。熱は利用する(熱交換する)にしたがって温度が低下する性質を持っているので、温度軸に沿って熱負荷を並べ、順番に使っていくことにより、最初に投入された熱エネルギーの持っているポテンシャルを総て使い尽くす考え方である。高温の熱を低温の熱負荷に消費すると、熱交換によって大部分のエクセルギー(熱から動力を生み出す能力)を損失してしまう。熱力学的に言えば、ヒートカスケーディングとはエクセルギー損失を最小化するような熱の利用法を意味している。図2にヒートカスケーディングの模式図を示す。発電プロセスとボイラをつないで電力を生産すれば、従来システムで損失しているエクセルギーを無駄にしないで済むことがわかる。電力のように高質なエネルギーを生産するには高温の熱ほど有利なので、熱利用はエクセルギーを利用した後にする方がよいといえる。

(2) NEDOによるケーススタディ

ヒートカスケーディングの実効性について、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の調査研究がなされている。東京湾岸地域には多数の大規模工場が立地している。調査はそれら工場間での熱利用や熱融通の合理

化による燃料消費削減効果の推定を目的としている。各工場内での熱利用形態に関する詳細な調査を踏まえ、ピンチテクノロジーを活用して熱利用方法の見直しを行ったところ、22%もの省エネルギー効果が見込まれるとの結果であった。これは国内原油消費量の一日分に相当する量であり、ヒートカスケーディングが大変効果的であることを示唆している。

3. 熱駆動空調技術

家庭用エアコンやビルマルチなどの空調方式は電力駆動であり、高質な電力を用いることによって高いCOP(成績係数=冷熱出力/入力エネルギー)を実現している。一方、熱駆動の空調方式は必ずしもCOPは高くないが、低質な熱エネルギーで冷房できる特徴を持つ。また、太陽熱やバイオマス燃料などの再生可能エネルギーを利用することも可能である。

(1) 吸収ヒートポンプ

電力駆動の圧縮ヒートポンプと吸収ヒートポンプの違いを図3に示す。冷熱を得る仕組みの基本は冷媒の蒸発にある。圧力を下げることによって蒸発器内で冷媒が蒸発し、蒸発熱を奪うことによって冷水が発生する点はこちらも同じである。圧縮式では冷媒蒸気をコンプレッサで昇圧して凝縮器に送るが、吸収式では冷媒蒸気を吸収溶液に吸い込ませ、その溶液を加圧して再生器に送る。再生器で加熱して冷媒を追い出してやり、凝縮器に送る。

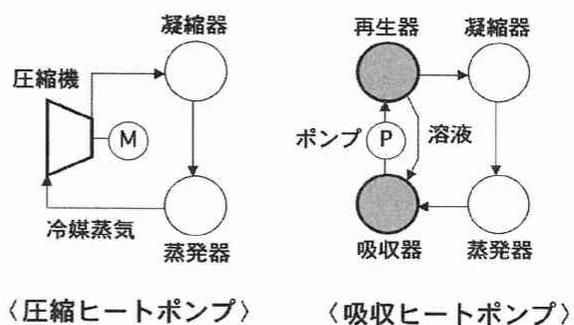


図3 圧縮/吸収ヒートポンプの動作比較

どちらの方式も冷媒を低压側から高压側に送る点に変わりはなく、違いは冷媒を凝縮器に送り込むのに吸収式では熱を利用する点である。凝縮器で冷却されて液化した冷媒は蒸発器に戻り、再びサイクルを繰り返す。

吸収ヒートポンプの作動媒体には臭化リチウム水溶液-水、あるいは水-アンモニアが用いられている。水もアンモニアも天然に存在する自然作動媒体であり、温暖化やオゾン層破壊をもたらさない好ましい冷媒であることも大きな特徴である。

既に普及している吸収冷凍機には単効用機(COP0.6~0.7程度)と二重効用機(COP1.0~1.35)がある。近年、吸収冷凍機の三重効用化が進められ、実機が市場に投入される段階まできている。三重効用とは、再生器を3つ(高温用、中温用、低温用)持ち、冷媒蒸気の凝縮熱を2回再利用することにより、高温用に加えた熱エネルギーによって3回蒸気を発生させることを意味する。その結果、より多くの冷熱を得ることができるため、COP1.6という高い変換効率を実現している。これは圧縮ヒートポンプのシステムCOP(発電の一次燃料から冷熱までの変換効率)とほぼ同程度である。比較的高温の排熱(240℃程度)が利用できる場合には、空調の省エネルギー化に極めて有効な技術となる意義を持っている。

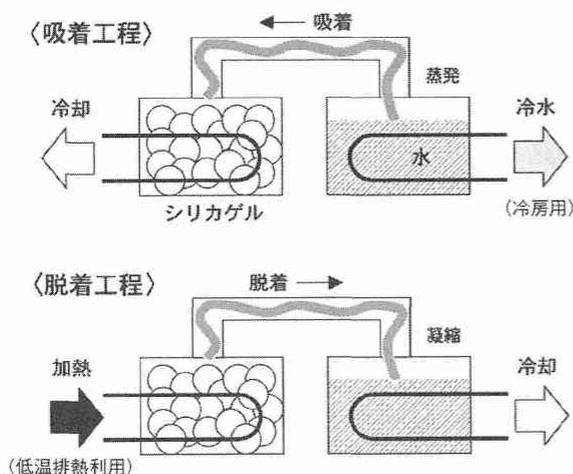


図4 吸着冷凍サイクルの動作

(2) 吸着ヒートポンプ

① 吸着冷凍サイクル

吸収冷凍機が臭化リチウム水溶液あるいはアンモニア水溶液などの吸収溶液を使うのに対し、吸着冷凍機は固体の吸着材を用いる。吸着材としてはシリカゲル、活性炭、ゼオライトなどが使われる。一方、冷媒としてはシリカゲルには水が、活性炭にはメタノールが使われる。シリカゲルは比較的低温(80℃以下)で吸脱着するため、低温排熱利用に適した材料である。

図4に吸着によって冷熱を得る基本的な動作原理を示す。シリカゲル槽を冷却することによって冷媒蒸気が吸着される。その際、蒸発器で潜熱を奪うため冷熱が生じる。その後、シリカゲル槽を加熱すると冷媒は脱着され、蒸気は凝縮器に移行して液化される。これをくり返すことによって冷却効果を生じさせる。脱着している間は冷却効果が得られないので、実機では2つのシリカゲル槽(吸脱着器)と蒸発器、凝縮器から構成され、吸脱着器を交互に運転することによって連続的な出力を得る仕組みとなっている。なお、吸着冷凍機には吸収冷凍機にあったポンプすらなく、バルブの切り替えのみによって運転される。

この基本的なサイクルを、後に述べる多段型サイクルに対比して単段型サイクルと呼ぶ。単段型は加熱温度70~80℃でCOPは0.6程度と、単効用吸収冷凍機とほぼ同様の効率を持つ。課題は設備のサイズが大きいこと、バッチ運転で反応器の加熱・冷却をくり返すため、顕熱的なエネルギー損失の発生が避けられないことがあげられる。

なお、この単段型吸着冷凍機は日本で商用化されており、ディーゼルエンジンのジャケット冷却水排熱(70~80℃)を利用した冷房用などに応用されている。

② 多段吸着冷凍機

熱駆動冷凍機の大きな課題の1つは駆動熱源の低温化である。一般的に低温になるほど

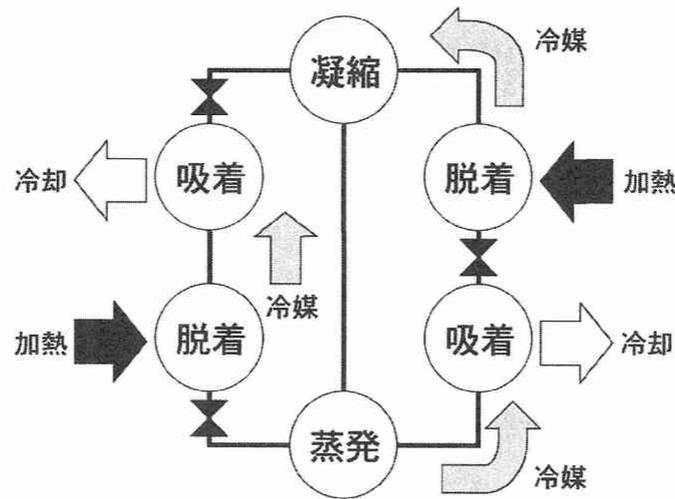


図5 二段型吸着冷凍サイクル

排熱源が多いと考えられるので、より応用範囲が広がると予想される。シリカゲルは比較的低温に向いているため、より環境温度に近い温度域で動作する吸着冷凍サイクルが研究されている。具体的には、吸脱着器ペアを多段に積み重ねることによって、熱源の低温化を図ることができる。二段化することによって、熱源温度を60℃レベルに低下させることができ、さらに三段にすれば50℃レベルの排熱を使って冷水製造が可能となる。図5に二段型吸着サイクルの装置構成を示す。下段の吸脱着器が蒸発器から吸着した蒸気は、再生工程で上段の吸脱着器に吸着される。さらに、上段から再生された蒸気が凝縮器で液化され、蒸発器に戻ってサイクルを繰り返す。

多段にするほど反応器の数が多くなり、顕熱ロスが増加するため効率が低下すると同時に容積が大きくなる難点がある。多段化したがつて反応器の数が増えるため、コンパクト化が大きな課題である。

図6に単段・二段・三段型の実験による吸着材単位質量あたり冷凍能力の比較例を示す。熱源温度が低温になるにしたがつて冷凍能力が低下し、55℃以下では三段型が、55-65℃では二段型が、70℃以上では単段型が最も出力が大きいことが見て取れる。三段型のCOPは実験機で0.1程度であるが、低温になるほど排熱は豊富になるので、COPが低いことは大きな問題にはならないと考えられる。

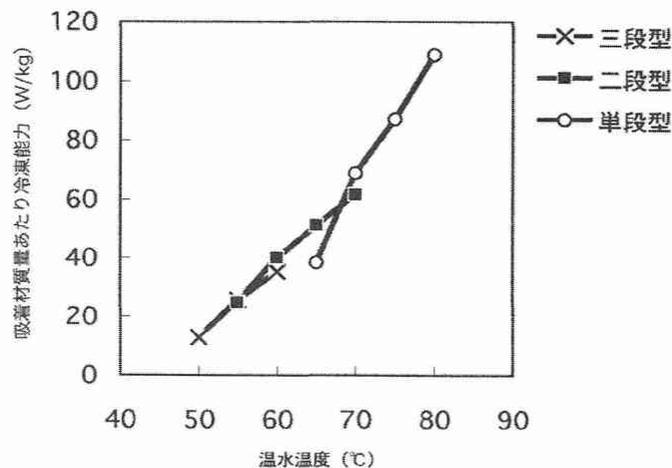


図6 多段型吸着サイクルの冷凍能力

(3) デシカント空調

① デシカント空調サイクル

デシカント空調とはシリカゲルなどの吸湿材に空気を触れさせ、湿分を物理的に除去する方式である。前述の吸着冷凍機がクローズドなサイクルであったのに対し、デシカント空調はオープンサイクルであり、湿分除去に重点をおいている点に特徴がある。

図7に空気線図上での空調方式の違いを図示した。従来のエアコンでは空気を露点以下に冷却して湿分を取り除き、加熱して室内に送りだしている。一方、デシカント空調では吸着メカニズムによって除湿し、吸着熱で温度が上昇した空気を冷却して所望の温度・湿度状態を作り出す。言い換えれば、従来の空調では湿度制御は温度制御のみによる一自由度系であるのに対し、デシカント空調では温度制御と湿度制御の二自由度を実現する技術である。湿分を吸着によって物理的に除去するため過度に冷却するプロセスを省くことができるとともに、比較的低温の熱で駆動できる長所を持つ。

② システムの基本構成

外気を除湿・冷却して室内に供給する全還気型のシステム構成を図8に示す。シリカゲルを表面に塗布したハニカム状の構造を持つデシカントロータにまず湿度の高い空気を通す。除湿の際に空気は吸着熱によって温度が上がるため、次いで顕熱交換ロータを通して熱回収し温度を下げる。湿度を下げた低湿空気を必要な温度に冷却して室内に供給する。この時、蒸発冷却器を用いれば追加的な冷却用エネルギーを投入せずに温度を下げられる。室内で顕熱負荷と潜熱負荷を受け取った空気は加湿による蒸発冷却によって温度を下げ、顕熱交換機で暖められる。次いでヒータで80℃程度に加熱され、デシカントロータを通過する際に吸着材を熱することによってそこに含まれていた湿分を脱着させる。湿度の高い空気は外気に放出される。なお、室内空気で再生するのではなく外気を用いる形式、室内空気を排気せず循環させて除湿・冷却する形式もある。

シリカゲルを脱着させる温度レベルであるので、駆動熱源には太陽熱やコージェネレー

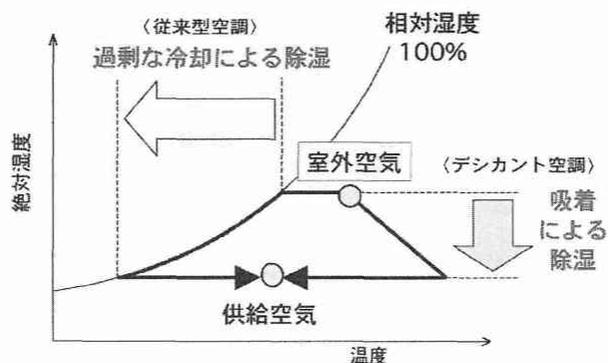


図7 デシカント空調の除湿方式

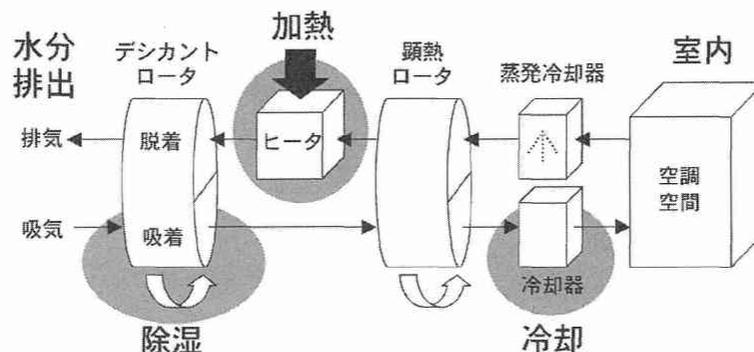


図8 デシカント空調システムの構成

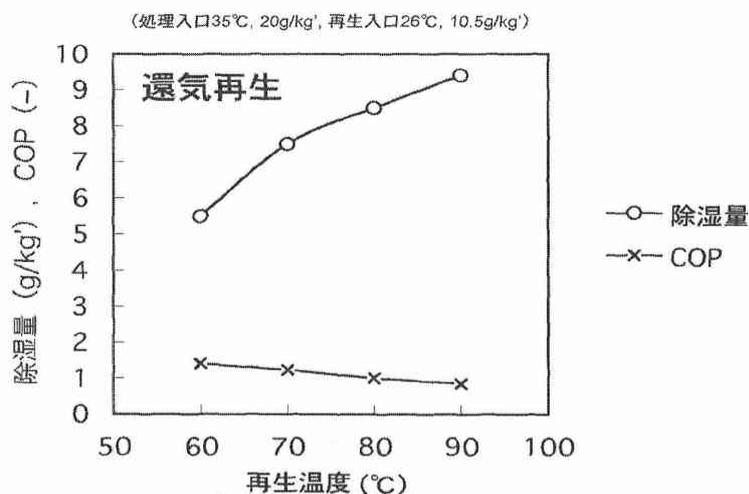


図9 デシカント空調の除湿性能・COP⁽¹⁾

ション排熱が十分利用可能である。排熱温度は若干高めであるが、マイクロガスタービンの排気で直接デシカントロータを再生するシステムが実際に商業化されている。

③デシカント空調の性能

デシカント空調のCOPを外気と室内に吹き出す除湿空気のエンタルピー差に対する再生用加熱量の比で定義する。再生温度と除湿量・COPの関係の一例を図9に示す⁽¹⁾。再生温度が高くなるほど除湿性能は大きくなるが、COPは低下する。

④デシカント空調の効果

現在、デシカント空調はスーパーマーケット、病院、屋内プール、冷蔵・冷凍倉庫などへの導入が図られており、200件以上の実績が報告されている。湿度を下げることによって冷凍庫に霜がつくのを防げること、空気が加熱されるため滅菌効果があることなどの導入理由があげられる。

売場面積1,600m²、ショーケースエリア450m²の大型店舗の事例において、デフロスト運転のための電力が削減された報告例を紹介する⁽²⁾。ショーケースでは20分～30分に一回、霜取りのためにデフロスト運転がなされる。デシカント空調によってショーケース前の湿度を下げた結果、夏季および中間季において

約17%（冬季は5%）のショーケース消費電力の低下につながっている。また、この事例ではデシカント空調駆動用にガスエンジンヒートポンプの排熱が利用されており、さらに省エネルギーが促進されている。

4. おわりに

ヒートカスケーディングの考え方は熱エネルギーの適材適所への利用を図ろうというものである。高質なエネルギーは高質を必要とする需要に、低質でよい需要には低質なエネルギーを供給する仕組みを具体的に作り出すことが必要である。今回紹介した熱駆動ヒートポンプ・冷凍機は低質な熱エネルギーから高付加価値な冷熱を得る技術であり、今後の省エネルギーへの貢献が期待される。これは同時に質の高い電力エネルギーの無駄遣いを省くことを求めているとも言える。「熱でできることは熱でする」ことを実行する社会システムの形成が課題である。

参考文献

- (1) 吉田, デシカント空調の市場動向, 太陽エネルギー, Vol.27, No.2, 2001
- (2) 佐溝, 上村, 池本, デシカント空調機導入事例 (スーパーマーケット), 太陽エネルギー, Vol.27, No.2, 2001

[寄稿]

最近の省エネルギー対策の動向*

佐藤 文 廣 (財省エネルギーセンター
調査第2部長)



1. はじめに

巨大台風，集中豪雨，森林火災など近年異常気象による自然災害の報告が後を絶たず，その最たる原因に地球温暖化が挙げられています。国連環境計画（UNEP：United Nations Environment Program）は，昨年（2004年）の異常気象による自然災害での損失は900億ドルに上り，一昨年（2003年）の650億ドルを上回り過去最大になったと報告しています。地球温暖化問題は身近な問題として具体的に認識されつつあるようです。折しも，ロシアの京都議定書批准により今年2月16日に議定書が発効しました。このことにより，わが国は1990年を基準年にして，地球温暖化ガス排出量をそれより6%削減する義務を国際的に正式に負うこととなりました。この削減目標については，妥当性や実現性についてこれまで

様々な議論がなされてきたところですが，国は議定書の発効を受けて前向きに対応していこうとの立場を明確にしています。

京都議定書の目標を達成する方法として，省エネルギー対策は益々重要な課題と認識され，その成果に大きな期待が寄せられています。ここでは，主として国の審議会で行われている議論を中心に，最近の省エネルギー対策の動向を紹介することとします。

2. 最近のエネルギーを取り巻く情勢

(1) 最近の国内外の情勢

わが国のエネルギー問題は，過去2度に亘る石油危機を契機として大きな転換を迫られました。図1にわが国の最終エネルギー消費の動向を高度成長期の1965年から今日までの

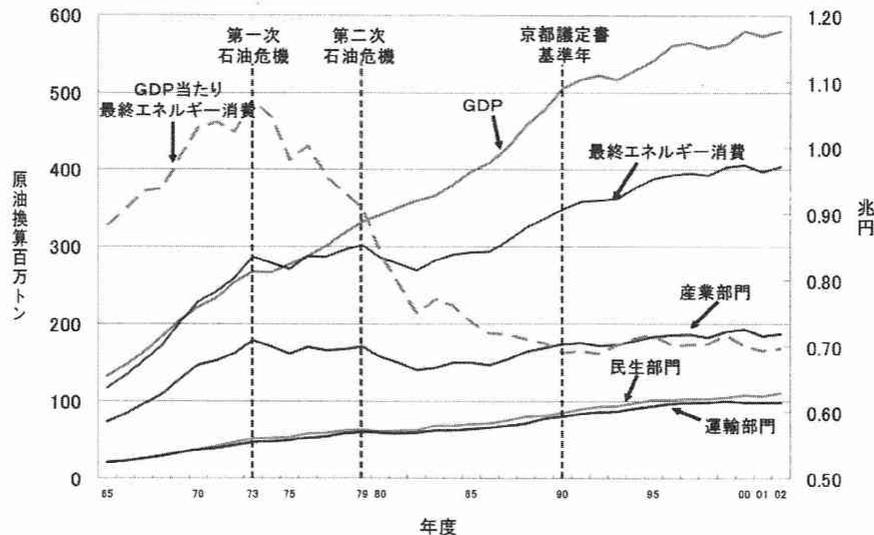


図1 わが国の最終エネルギー消費の動向

*本稿は、昨年11月26日開催の当所月例研究会（229回）でご講演予定であったものが、都合により実施できなかったこと、および昨今注目される省エネルギーの取組み動向を扱ったテーマでもあり、改めてご寄稿頂いたものです。

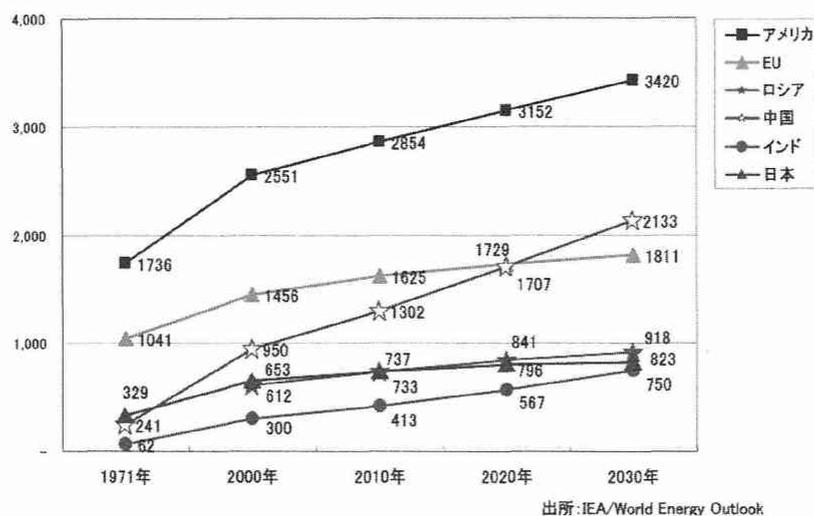


図2 主要国の一次エネルギー消費の動向と予測

推移として示しましたが、石油危機がわが国のエネルギー消費の動向に大きく影響した様子が分かります。一方、近年現実味を帯びてきた地球温暖化現象は、国際的解決課題としてその対策が求められており、温暖化ガスの主要発生源が化石エネルギーの使用によることから、わが国のエネルギー問題は再度の転換が迫られています。しかしながら、図で見る通り、わが国の最終エネルギー消費は京都議定書の基準年である1990年以降引き続き上昇傾向にあり、特に民生、運輸部門において一方的上昇が続いてきました。

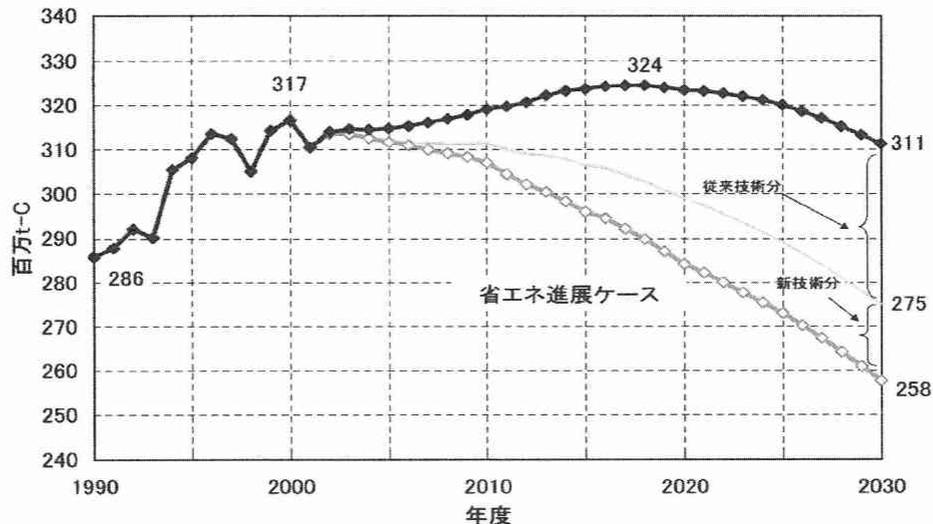
また、冷戦の終結と共に大きな経済成長を遂げつつある中国、インドを始めとするアジア圏のエネルギー需要は、年々急激な上昇を続けており、これまでの世界のエネルギー供給バランスを大きく変える勢になっています(図2)。さらに中東での戦乱は見通しの得にくい状況となり、石油の安定供給に不安を投げかけています。

この様なエネルギーを巡る国内外の状況の変化に対応するためには、エネルギー問題を京都議定書の約束達成といった短期的視点に立つだけでなく、より長期の視点に立った上で、現状の対策を見直すことが必要と考えられます。この様な視点から近年国の関係する審議会においてエネルギー対策の検討が進められています。

(2) 国の審議会での検討経緯

わが国のエネルギー需給に関する基本問題に対応するために、2002年6月「エネルギー政策基本法」が成立しました。この基本法に基づき、10年程度を見通した「エネルギー基本計画」が2003年10月に策定されました。しかし、前節で述べた近年のエネルギーを取り巻く急激な変化に対応する形で、2003年末より「総合資源エネルギー調査会」と「産業構造審議会」の合同会議の場で、より長期の2030年頃を見通した需給予測の検討が進められてきました。検討は複数のシナリオを想定し、比較基準(レファレンス)ケースに対しエネルギー技術の進展ケース、原子力発電の導入が変化したケース、経済成長や原油価格が変動したケース等について具体的な検討がなされ、2004年10月に最終とりまとめが行われています。このとりまとめにおいて、省エネルギー進展ケースとして試算された2030年の炭酸ガス(CO₂)排出量は、これまで進めてきた省エネルギー対策が十分浸透すれば、1990年の基準値以下にすることが可能との数値を導き出しています。(図3)

この試算では、消費者の消費性向がどの程度現実的に予測されたのか、費用対効果を踏まえた対策の実現性はどうか等に疑問が残るものの、他のケースに比べて省エネルギーの実践が極めて効果的であることを示した点で意義深い



注：従来技術分にはヒートポンプの効果を、新技術分には燃料電池&分散型の効果をそれぞれ含む（レファレンスで反映している分の効果は除く）。
出所：需給部会「2030年のエネルギー需給展望」

図3 エネルギー起源CO₂排出量の見通し（省エネルギー進展ケース）

ものがあります。この検討では、京都議定書の達成目標年度である2010年の姿は、2030年に向けての通過点として考えられていますが、2010年の予測についてはより身近な問題として最新の経済成長の見通しを加味する等して試算され、2030年の見通しと若干異なった予測値が示されています。この見通しを受けて、「総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会」において具体的追加対策の検討がなされ、昨年6月に中間とりまとめがなされました。

(3) 京都議定書目標達成計画

京都議定書の成立を受けて、国は過去2度に亘り「地球温暖化対策推進大綱」を著し、京都議定書目標達成に向けて具体的な行動目標を作成してきました。この大綱は京都議定書の発効を受けて、「京都議定書目標達成計画」と名称を変更して近々とりまとめが行われることになっています。この計画に向けて、各委員会の最終とりまとめがこの2月から3月初めにかけて行われましたが、これまでと大きく変わった点は、代替フロンとメタン等の発生量が大幅に抑えられる見通しとなり、エネルギー起源の炭酸ガス発生量に対する削減目標は相当程度緩和される結果となったことです。即ち、エネルギー起源炭酸ガスについては59百万t-CO₂の追加対

表1 2010年における温室効果ガス排出量見通し

	基準年総排出量(1,237百万t)比		
	現行大綱の目標	現行対策ケース	追加対策ケース
1. 国内温室効果ガス	▲0.5%	+6.0%	▲0.5% (1,231百万t)
○エネルギー起源CO ₂	▲2.0%	+5.4%	+0.6%
・エネルギー需要対策	(±0%)	-	-
・国民努力	(▲1.4%)	-	-
・革新的技術	(▲0.6%)	-	-
○代替フロン等3ガス	+2.0%	+1.4%	+0.1%
○非エネルギー起源CO ₂	▲0.5%	▲0.8%	▲1.2%
2. 森林吸収源	▲3.9%	-	▲3.9%
3. その他(京都協定等)	▲1.6%	-	▲1.6%

出所：第26回地球環境小委員会資料

策を講じることで、2010年度の排出量を基準年総排出量比+0.6%（大綱の目標▲2.0%）まで抑制できれば、温室効果ガス全体で大綱の目標である▲0.5%の削減を達成し得る見通しが示されました。（表1）

3. 省エネルギー対策とその評価

(1) 対策の評価方法

現行大綱に示される省エネルギー対策の効果の有無と、これまで効果があり今後どの程度の効果を見込めるかを評価することは、今後の対策をたてる上で極めて重要なことです。

表2 排出量の評価方法（2010年度見通し）

	エネルギー供給CO2排出原単位	×	エネルギー消費原単位	×	活動量
産業部門	・新エネルギー導入により 1,910万k削減 ・電力の使用端CO2排出原単位を 90年度比20%程度改善	×	産業活動(IIP)当たり 7.3%改善	×	鉱工業生産指数(IIP)
民生部門		×	一世帯当たり 18.0%改善	×	世帯数
家庭部門		×	床面積当たり 16.3%改善	×	床面積
業務部門		×	輸送量当たり 16.6%程度改善	×	輸送量
運輸部門					

出所：第26回地球環境小委員会資料

活動量の単位ごとに分類

国ではこれまでの対策を評価し、2010年度の目標見込みを推定しています。

一般に、ある部門における炭酸ガスの排出量は、エネルギー消費1単位当たりの炭酸ガス排出量、エネルギー消費原単位、それにその部門を代表する活動量（生産量等）を掛けて求められます。

炭酸ガス排出量＝炭酸ガス排出原単位×エネルギー消費原単位×活動量

この活動量は、例えば産業部門であれば鉱工業生産指数（IIP）、業務部門では床面積、家庭部門では世帯数、運輸部門では輸送量等が考えられます。活動量の増減はその時点の経済状況や社会状況によって変わってきますので、工場などで省エネルギーを実践する場合には、生産量当たりのエネルギー消費原単位の削減を目標にする事が一儀となります。国で行われる評価でも、原単位改善の見通しに2010年度に向けて想定される人工、世帯数、経済成長率等の諸要素の動向を見込んだ活動量の推計値を掛けることにより最終エネルギー消費と炭酸ガス排出削減量を出しています。（表2）

（2）各部門毎のこれまでの対策の評価

① 産業部門

産業部門では、経団連環境自主行動計画に基づく省エネルギー努力、高性能工業炉、高性能ボイラー等、省エネルギー設備の導入促進などの取り組みが行われています。

「経団連環境自主行動計画」については、「産業構造審議会・総合エネルギー調査会自主行動計画フォローアップ合同小委員会」において、進捗状況のフォローアップが行われています。その結果、自主行動計画は目標達成に向けて総じて順調に進んでいるとされていますが、実質GDP（国内総生産）成長率を見直したことから削減目標量は当初計画より大幅に縮小される結果になっています。

省エネルギー設備の導入促進では、高性能工業炉の導入に対する補助金、高性能ボイラー等の普及に対する支援等の措置により順調に導入が進んでいるとみられ、特に高性能ボイラーの加速的導入が続くものと考えられています。

② 民生家庭／業務部門

民生部門では、家電製品・OA機器等のエネルギー消費効率の改善、住宅・建築物の断熱効率の向上、エネルギー管理の促進などの取組が行われています。

機器のエネルギー消費効率の改善は、トップランナー基準により効率の改善が図られていますが、新規製造／輸入されるトップランナー対象機器は、着実に基準を達成してきており、機器の買い替えに伴い改善が見込まれると評価されています。

新築住宅・建築物のエネルギー性能の向上については、「平成11年省エネ基準」に適合した住宅・建築物が着実に増えており、今後ともこの傾向が続くものと考えられています。

高効率給湯器の普及については、ヒートポンプや潜熱回収型給湯器およびガスエンジン

給湯器等により、給湯器のエネルギー消費量が約15～30%改善改善されるとしています。高効率給湯器の導入を促進するために、2002年度から支援措置を講じており、導入の加速化が今後も続くものと想定されています。

情報技術（IT）を活用して住宅および業務ビルのエネルギーを管理するシステムであるHEMS（Home Energy Management System）とBEMS（Building Energy Management System）については、現在普及促進に向けた実証実験や普及支援が行われています。HEMSについては検証段階にありますが、BEMSについては実用化段階にあり、今後かなりの程度普及していくものと考えられています。

③ 運輸部門

運輸部門の対策としては、「トップランナー基準」*による自動車の燃費改善、クリーンエネルギー自動車の普及促進、交通システムの改善などの取組が行われています。

新規製造／輸入されるトップランナー対象自動車は、基準を達成する自動車が増え続けており、2010年度にかけても引き続き増加すると見込まれています。

電気自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車等のクリーンエネルギー自動車については、補助制度、税制上の優遇措置等の支援措置が講じられており、2010年度において約189万台程度の普及が見込まれるとされています。

交通流の円滑化、物流の効率化などの交通システムの改善効果については、国土交通省との最終的な調整が行われています。

4. 今後の省エネルギー対策（省エネルギー部会最終とりまとめから）

（1）基本的な考え方

2030年に向けたエネルギー需給展望の中で、わが国の省エネルギー政策の目標として、「他国のモデルとなる世界に冠たる省エネルギー国家を目指す」ことが言われています。この考え方を受けて、今回の追加的エネルギー政策の基本的方向は、国民、製造事業者、国等が一体となって活動できる環境を醸成し、最終需要家の努力を引き出すことが必要とされました。このために、国民への正しい情報の提供と技術開発による具体的選択肢の提供が必要であり、また、対策強化を必要とする民生・運輸部門については、最終需要家の努力を求めることが強調されています。さらに、取り組みに際しての公的部門の率先垂範を述べるとともに、産業部門における民生・運輸部門への取り組みが必要としています。

次に、具体的対策について部門毎に概要を紹介することにします。

（2）2010年に向けた今後の省エネルギー対策のあり方

① 民生部門

まず取り上げられたのが、民生部門におけるエネルギー管理の徹底です。エネルギー消費量の大きなオフィスビル等の総点検の実施、比較的小規模な業務用分野の需要家のエネルギーの使用状況を把握させるための仕組み作り、ESCO（Energy Service Company）事業**の活用促進（公的部門での率先的導入）、ITを活用したエネルギー管理の徹底（BEMS,HEMSの普及促進を含む）、さらには複数建物を一括したエネルギー管理の促進の

* エネルギー消費機器の製造または輸入の事業を行う者に対し、機器の省エネ性能（エネルギー消費効率）の向上を義務付けた基準。現在の対象は以下の18品目。

【対象品目】

乗用自動車、エアコン、蛍光灯器具、ビデオテープレコーダー、テレビジョン受信機、複写機、電子計算機、磁気ディスク装置、貨物自動車、電気冷蔵庫、電気冷凍庫、ストーブ、ガス調理機器、ガス温水機器、石油温水機器、電気便座、自動販売機、変圧器

** 工場やビルの省エネルギーに関する包括的なサービスを提供し、それまでの環境を損なうことなく省エネルギーを実現し、さらにはその結果得られる省エネルギー効果を保証する事業。

必要性や重要性が挙げられています。

次に挙げられているのが、消費者への省エネルギー機器提供の促進です。トップランナー基準の対象拡大・強化や高効率給湯器等の加速的普及に向けた支援が必要としています。

さらに、省エネルギー性能の優れた建築物・住宅の普及促進、消費者に対する省エネルギーに関する情報提供の徹底を促進するための施策が必要とし、情報の徹底を図る方法の一つとして、エネルギーのエキスパートである事業者（エネルギー供給事業者、家電などの販売事業者）と消費者との連携を促す仕組み作りが必要としています。

② 運輸部門

まず、燃費の優れた自動車の供給を進める対策が上げられ、トップランナー基準の対象範囲の拡大、アイドリングストップ車やハイブリッド車の導入促進が必要としています。

次に燃費の優れた自動車を消費者がより選択し易くするための対策が上げられ、省エネルギーラベルによる表示制度の導入、販売事業者による消費者への情報提供を行う仕組み作りが必要としています。効果の上がない場合は新たな手法の検討も必要としました。

さらに、省エネルギーに配慮した自動車の利用促進を図るため、エコドライブについての情報提供を進めると共に、アイドリングストップ条例の全国的拡大に期待しています。そのほか、燃料対策として、低硫黄石油系燃料の導入促進、バイオマス燃料の検討、交通流・物流の円滑化、高度道路交通システム等の早期導入・展開に向けた研究開発や標準化などの実施や、荷主と運輸事業者との連携強化の必要性などが挙げられています。

③ 産業部門

産業部門については、これまでと同じく経団連自主行動計画を中心とした取組、および省エネ法に基づく措置と共に、工場総点検に基づく自主行動計画のフォローアップをして

いくことを第一義としています。また、各地におけるコンビナート等の産業集積地において、工場排熱を複数事業者間で融通するなどの取り組みを進める事が必要としています。

④ 部門横断的対策

省エネルギー技術開発の推進を図るために、「省エネルギー技術開発プログラム」を策定し、より投資効果の高い技術を重点的に推進すること。また、これまであまり表に出てこなかったエネルギー関連データの収集・集計の必要性が上げられ、必要な統計の整備検討を進めることとしています。その他分散型電源、公的部門の率先的取り組み、広報・教育・学習、地方公共団体・非営利組織の役割、サマータイム制度等についての課題が挙げられています。

(3) 省エネ法の抜本改正の内容

前節の対策を具現していくために、国は省エネ法の抜本改正を検討しており、今国会に提出し今年中にも改正法を発効させる予定です。その主たるものとして以下の5項目が挙げられています。

① 工場や事業上におけるエネルギー管理の徹底

近年熱電併給設備（コージェネ）など熱と電気を同時に供給する機器が普及してきた事等を背景に、これまで熱と電気を別々に管理し届け出を義務づけてきた工場や事業場に対し、熱と電気を合算して規制する一体管理方式へ変更されます。規制値としては重油換算で第一種：3,000kI/年以上、第二種：1,500kI/年以上とすることが考えられており、これにより省エネルギーの義務のある工場数は約1万から約1万数千カ所に増加することとなります。

② エネルギー機器（トップランナー機器）の普及に向けた家電の販売事業者等による表示の促進（新設）

これまで省エネルギー機器へのラベリング添付については販売事業者の任意としてきま

したが、省エネルギー製品を消費者の間に広く普及させるため、家電や自動車等の販売事業者に対し、店頭において省エネルギー性能（年間消費電力、燃費等）を消費者にわかりやすく表示することを制度化するものです。

③ エネルギー供給事業者による省エネルギーに関する取組の推進

電力会社やガス会社に対して、高効率機器の普及促進やエネルギー使用状況の情報提供など省エネルギー促進事業の実施、および実施状況の公表を求めることを制度化するものです。

④ 運輸分野における省エネルギー対策の強化（新設）

一定規模以上の運送事業者および荷主（製造事業者等）、一定規模以上の旅客運送事業者に対し、省エネルギー計画の策定とエネルギー使用量等の定期報告を義務づけるとともに、公共交通機関の利用促進等について旅客事業者の協力を制度化するものです。

⑤ 住宅・建築物分野における省エネルギー対策の強化

2,000m²以上の建築物と住宅について、新築または、改修時に所管行政庁へ届け出を義務づけるものです。

（４）政策資源の集中投入

省エネルギー対策を効果的・効率的に実施するために、支援策の重点化を行い予算投入の費用対効果を上げようとしています。平成17年度予算より以下の事項に重点化を図り支援策を講じることとしています。

① 産業分門の費用対効果の高い事業。

② 民生・運輸部門については、支援方策の制度改革を行う事業。

5. おわりに

省エネルギーに対する期待と要求は益々強くなるのが考えられます。抜本的な対策を考える時、技術開発に大きな期待が寄せられるわけですが、その方向として「点」から「面」への対策の広がりが言われています。エネルギーの効率的使用はこれまで個別機器、設備に対して考えられることが多かったわけですが、一層の省エネを考えると、企業間あるいは業種間の垣根を取り除き、複数主体による対策が考えられています。これを進めるには、エネルギーに関する情報の整備と情報の活用技術の開発が重要になってくるものと思われます。

平成17年度 事業計画

(財) エネルギー総合工学研究所

1. 基本的な考え方

(1) エネルギー資源の大部分を海外に依存し、エネルギー大量消費国であるわが国は、長期的かつ総合的観点から、技術開発を含む体系的なエネルギー政策を立案し、それを実施していくことが必要である。

エネルギー技術は、エネルギーの安定供給の確保、エネルギーの効率的変換及び利用、地球環境問題への対応、廃棄物の処理・リサイクルの確立等内外の諸要請に対して有効な解決策を与えるものと期待されている。

(2) 当研究所は、わが国のエネルギー工学分野の中心的な調査研究機関として、エネルギーに係る技術開発、供給、利用に係る諸問題について、産・学・官の緊密な連携の下、各技術分野における専門的な知見を集め、技術的側面から総合的に研究を行い、その成果の普及に努める。

(3) 本年2月、温室効果ガス排出削減目標を定めた京都議定書が発効したが、その目標達成は容易ではなく、その達成のためには国民各界各層が最大限の努力が要請される。わが国の高い水準の技術力は、この地球環境問題に対して有効な解決策を与えるものと期待され、経済と環境の両立との原則の下、わが国は、革新的な技術開発を強力に推進して行くことが喫緊の課題となっている。

当研究所は、地球環境問題の解決には技術が果たす役割が極めて大きいとの認識の下、エネルギー各分野における先進的な技術を広く活用した技術的挑戦を行なう。

同時に、エネルギー技術と社会とのインターフェースに係る問題は重要性を増し、また、地球環境問題やエネルギー分野での国際協力なども求められる状況にあり、これらの状況に適切に応えるよう、調査研究を実施する。

(4) 当研究所は、次のような点に留意して、調査研究事業を行なう。

- ① 石油や天然ガスに係る資源制約や地球環境問題等の環境制約の顕在化が、21世紀中にも予見される中、問題の長期性から21世紀というタイムスパンを念頭に置く。
- ② データベースの整備、国内外の諸機関との連携強化等により、適確な政策形成や技術開発の企画立案に資するエネルギー技術情報基盤の整備を図る。
- ③ 技術と社会との係わりを考慮して、学際的研究や異分野の調査研究機関との連携による総合的アプローチを一層進める。
- ④ 国際化が進展する中、グローバルな視点で調査研究を推進する。
- ⑤ 調査研究活動の推進に不可欠なコンプライアンス、人材育成、経営基盤の強化等を図る。

2. 各エネルギー分野における調査研究テーマ

以上のような基本的な考え方を踏まえ、平成17年度においては、以下の調査研究を実施する。

(1) 総合的な見地からの調査研究

① エネルギー技術開発の総合的戦略に関する調査研究

21世紀中にも石油や天然ガスに係る資源制約や地球環境問題等の環境制約の顕在化が予見される中、超長期の視点から、これらの制約の克服に資すると期待されるエネルギー技術を摘出・体系化するとともに、これらの技術に関し技術開発ビジョン及びロードマップ策定に係る調査研究を行なう。

② エネルギー技術情報基盤の整備

資源制約及び環境制約の克服に資する有望なエネルギー技術に関し、関連する情報を収集し、技術的見地から分析を行ない、技術評価、技術開発戦略の企画立案等に資するように体系化したエネルギー技術情報基盤の整備を図る。

このため、同情報基盤に関し、広範なユーザーがインターネットを通して、簡便に検索・運用できるように、データベースの設計を行なう。

③ エネルギー技術開発動向及びその将来性評価に係る調査研究

今後の開発が期待される、時のエネルギー技術を選び、最新の技術開発の動向、エネルギー供給や環境問題緩和に係るポテンシャル、経済性、社会的受容性等の評価、それらを踏まえた将来展望について調査研究を行う。17年度においては、次の2テーマを対象として実施する。

- 1) バイオマスエネルギー
- 2) 燃料電池

④ エネルギーシステムの評価手法開発に係る調査研究

エネルギー需給の将来想定や新しいエネルギーシステムの導入影響評価のツールであるエネルギーモデルに関し、新しい分析手法について検討評価を行ない、従来の手法では評価が難しかった問題への適用可能性について検討を行なう。

⑤ エネルギーに関する公衆の意識調査研究

エネルギーに関する公衆の意識に関し、アンケート調査により定期的に調査・分析を実

施する。

(2) 原子力関連

原子力は、実用的な非化石エネルギー源であり、世界の今後の経済成長を担う上で重要なエネルギーとして開発利用が見込まれる。一方、放射性廃棄物処分、安全確保、核拡散に係る懸念等原子力の開発利用を取り巻く環境は厳しい状況にある。

17年度は、現行の原子力発電システムについて、高度化、将来型軽水炉コンセプトの開発、合理的な安全規制等に係る調査研究を行なうとともに、主要な命題であるプルトニウムのリサイクル、放射性廃棄物処分等の中長期的課題に関し調査研究を実施する。また、社会科学系の調査研究機関との連携により、社会と原子力のテーマに対しても取り組むこととしている。

また、17年度から、革新的な原子力技術の提案公募型研究開発事業の一元的管理業務を実施する予定であり、これにより、最新の原子力技術に係る情報収集を効率的に実施するとともに、評価能力の向上を図る。

(ア) 次世代原子炉技術開発等に関する調査研究

- ① 軽水炉技術開発のあり方に係る調査研究
- ② 第4世代原子力システム開発に関する国際研究協力
- ③ 高温ガス炉プラントの位置づけ・可能性に関する調査研究

(イ) 原子力発電システム評価に関する調査研究

- ④ 原子力発電システムのライフサイクル分析に係る調査研究
- ⑤ 原子力に係る長期エネルギーシステム評価に係る調査研究

(ウ) 核燃料サイクルに関する調査研究

- ⑥ 核燃料サイクルのシステム評価に係る調査研究

(エ) 放射性廃棄物の処理・処分に係る調査研究

- ⑦ 高レベル放射性廃棄物処分の安全規制動向に係る調査研究
- ⑧ 放射性廃棄物処分におけるリスク情報に基づく意思決定に係る調査研究

⑨ 放射性廃棄物処分における安全確保の合理的体系化に係る調査研究

⑩ 放射性廃棄物処分の社会的合意形成に係る調査研究

(オ) 原子力安全に関する調査研究

⑪ 国内外の原子力安全確保における自主保安体制と運用実態に係る調査研究

(カ) 将来に向けた原子力技術に関する調査研究

⑫ 革新的実用原子力技術開発に係る提案公募事業の運営管理

⑬ 原子力システム研究開発に係る提案公募事業の運営管理

⑭ 原子力システム研究開発シーズに係る調査研究

(3) 化石エネルギー関連

エネルギー供給の大宗を占める化石エネルギーについては、資源量が豊富な石炭関連では、環境保全を念頭に、一層の効率的利用の拡大、水素やクリーンな液体燃料への転換技術に係る調査研究に取り組むこととしている。17年度においては、石炭乾留ガスを触媒により改質しクリーン燃料とする技術に係る調査研究、利用が十分に行われていない褐炭等の低質炭化水素エネルギー資源の改質利用技術に係る調査研究を実施する。石油関連では、合理的な規制確立に資する観点から、輸送用燃料に関し環境負荷の面から調査研究に取り組む。さらに、廃水を処理する際に発生する汚泥をスラリー化し、石炭ボイラーで燃焼し熱回収する技術に関しても調査研究を行なう。

(ア) 石油系エネルギーに関する調査研究

① オフロードエンジンから排出される環境汚染物質の測定法標準化に係る調査研究

(イ) 石炭の利用技術に関する調査研究

② 石炭乾留ガス改質技術の開発に係る調査研究

③ 褐炭のスラリー化等の改質による利用技術に係る調査研究

④ 下水汚泥の混焼による熱回収技術開発に係る調査研究

(4) 新エネルギー・エネルギーシステム関連

新エネルギーは、資源賦存に地域性が大きく、また、利用形態も分散型エネルギー、系統電力への併入、熱電併給等多様であり、エネルギー供給システムの最適化を図りつつ、長期的な視点から技術開発を推進していくことが必要である。

17年度においては、分散型の新エネルギー技術開発、新エネルギーに係る熱利用に係る調査研究を実施するとともに、新エネルギーによる分散型電力と系統電力との調和がとれた電力ネットワークのあり方について調査研究を実施する。省エネルギーに関しては、特定のコンビナートを対象に企業間連携による省エネルギーの方策、連携のあり方等について検討する。新しい二次エネルギーとして期待される水素エネルギーについては、関連技術の実用化に関し調査研究を実施する。さらに、電力・ガス分野における総合的な技術開発戦略立案について調査研究を行なう。

(ア) 新エネルギーに関する調査研究

① 下水汚泥の高効率ガス変換発電システム開発に係る調査研究

② バイオマスエネルギー技術に係るロードマップ策定に係る調査研究

③ 廃棄物、バイオマス、未利用エネルギー及びコージェネレーションに係る熱利用の実態に係る調査研究

④ 廃棄物発電施設及び廃棄物変換ガス変換導入普及に係る調査研究

(イ) 省エネルギーに関する調査研究

⑤ コンビナートを構成する企業間連携による省エネルギーの可能性及び対応案に係る調査研究

⑥ コンビナートにおける産業間連携のあり方に関する調査研究

⑦ 小型貫流ボイラ発電システムに係る調査研究

(ウ) 水素エネルギーに関する調査研究

⑧ 水素安全利用に関する基礎物性に関する調査研究

⑨ 水素シナリオ策定に係る調査研究

⑩ 水素エネルギーの革新的技術に係る調査研究

⑪ 水素エネルギー技術に係る国際協力研究

(エ) 電力システム等に関する調査研究

- ⑫ 電力・ガス総合技術開発戦略に係る調査研究
- ⑬ 系統安定に資する電力系統関連設備形成等に係る調査研究
- ⑭ 新電力ネットワーク技術に係る総合調査研究
- ⑮ 風力発電電力系統安定化等技術開発の整合性評価に係る調査研究

(5) 地球環境関連

地球環境問題は、17年2月の京都議定書の発効により、現在、対応が最も急がれている課題であり、各エネルギー分野からの対応が必要とされている。エネルギー技術全般に関し専門的な知見を有する当研究所としては、地球温暖化対策技術に関する調査とその技術の導入効果の評価、エネルギー予測モデルを用いたシミュレーション等に係る調査研究を実施する。また、地球環境問題に係る国際的な動向調査を実施しつつ、わが国の対応について調査研究を行なう。

地球温暖化対策技術等に関する調査研究

- ① 二酸化炭素回収・隔離技術の政策的位置付けに係る調査研究
- ② 地球温暖化問題に対する国際的な対応策・政策に係る調査研究

3. 調査研究成果に係る情報発信

(1) 前号の事業で得られた成果のうち、技術情報として有用度の高いものを編集し、情報提供を行なう。これらの調査研究に係る活動内容や成果は、寄稿・投稿、講演会、学会発表、ホームページへの掲載等により公表し、広く利用に供することとする。

(2) 当研究所では、下記の手法により、調査研究成果に係る情報発信を行なう。

- ① エネルギー技術に係る情報を編集した冊子（新エネルギーの展望シリーズ等）の作成・配布
- ② 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行

- ③ エネルギー総合工学シンポジウム、月例研究会等の開催

4. その他

(1) 産・学・官の緊密な協力体制の下、エネルギー技術上の諸問題について、関係各分野の専門家による情報交換と共有を実施する場を提供し、適宜、エネルギー技術開発のあり方について提言を行なう。

(2) 海外の調査研究機関との交流・連携を深めるとともに、国際プロジェクトへの参画等により、国際協力の一端を担う。

(3) 当研究所に関し、時代に即した適切な調査研究テーマを発掘・企画立案する能力及び情報発信能力の向上を図る。

研究所のうごき

(平成17年1月1日～4月1日)

◇ 第21回評議員会

日時：3月4日(金) 11:00～12:00

場所：経団連会館(9階) 901号室

議題：

- 第一号議案 役員の一部改選について
- 第二号議案 平成17年度事業計画および収支予算(案)について
- 第三号議案 その他

◇ 第64回理事会

日時：3月11日(金) 11:00～12:05

場所：経団連会館(9階) 901号室

議題：

- 第一号議案 平成17年度事業計画および収支予算(案)について
- 第二号議案 役員の一部改選について
- 第三号議案 評議員の一部交替について
- 第四号議案 その他

◇ 月例研究会

第231回月例研究会

日時：1月28日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 701・702会議室

テーマ：

1. 東京工業大学21世紀COEプログラム
ー世界の持続的発展を支える革新的原子力ー
(財エネルギー総合工学研究所 研究理事
松井 一秋)
2. 『原子力専攻』と『国際専攻』の構想
(東京大学 原子力研究総合センター
助教授 小佐古 敏荘 氏)

第232回月例研究会

日時：2月25日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 701・702会議室

テーマ：

1. 日・米・欧の水素エネルギーロードマップ
比較
(財エネルギー総合工学研究所 プロジェクト
試験研究部 主任研究員 岩淵 宏之)
2. 燃料電池用水素製造技術の開発
(東京ガス(株) R&D本部 水素ビジネスプロ
ジェクトグループ 技術開発チームリーダー
安田 勇 氏)

第233回月例研究会

日時：3月25日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 701・702会議室

テーマ：

1. 「変革期のLNG戦略」
(大阪ガス(株)資源事業部 課長
奥田 浩二 氏)
2. 「ピークオイルはやって来るのか？」
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
石油・天然ガス調査グループ 主席研究員
本村 真澄 氏)

◇ 主なできごと

- 1月7日(金) ・第1回原子力LCAに関する委員会
- 14日(金) ・第1回長期エネルギーシステム
評価に関する委員会
- 20日(木) ・第1回「原子力発電の技術開発
の在り方」研究会
・第3回電力・ガス総合技術検討
WG 幹事会
- 21日(金) ・第2回リスク情報検討会
- 25日(火) ・原子力水素研究会
- 2月1日(火) ・第4回電力・ガス総合技術検討
WG
- 2日(水) ・第4回高温ガス炉プラント研究
会
- 4日(金) ・第3回超長期エネルギー技術研
究会
- 8日(火) ・第3回電力・ガス総合技術検討
会
- 9日(水) ・第3回水素の革新的技術に関す
る調査・研究委員会
・第1回電力ネットワーク技術総
合調査委員会
- 10日(木) ・第1回品質別電力供給システム
総合調査委員会
・第3回分散型電源と系統安定に
関わる技術検討会
- 15日(火) ・第1回原子力法制度検討会
- 18日(金) ・第3回リスク情報検討会
- 22日(火) ・第3回風力発電電力系統安定化
等技術開発実行委員会
・第2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
- 23日(水) ・第4回エネルギー経済環境予測
検討委員会
・第2回「原子力発電の技術開発

	の在り方」研究会	◇ 人事異動	
2月24日(木)	・第2回水素技術動向調査委員会	○1月31日付 (出向解除)	
28日(月)	・第3回水素基礎物性に関する委員会	原 猛	プロジェクト試験研究部 主任研究員
3月5日(土)	・第10回革新的实用原子力技術開発提案公募事業 審査委員会	○2月1日付 (出向採用)	
7日(月)	・第2回バイオマスエネルギー導入システムおよびロードマップ等に関する調査委員会	半田卓己	プロジェクト試験研究部 研究員
8日(火)	・第4回リスク情報検討会	○2月28日付 (出向解除)	
9日(水)	・第4回木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発推進委員会	大島哲仁	プロジェクト試験研究部 主任研究員
10日(木)	・第10回革新的实用原子力技術開発提案公募事業 審査委員会	○3月1日付 (出向採用)	
11日(金)	・第4回水素の革新的技術に関する調査・研究委員会 ・第4回分散型電源と系統安定に関わる技術検討会	田村隆之	プロジェクト試験研究部 研究員
14日(月)	・第2回電力ネットワーク技術総合調査委員会 ・第1回ソーラーフューエル研究推進委員会	○3月24日付 (出向解除)	
15日(火)	・第2回品質別電力供給システム総合調査委員会 ・第5回電力・ガス総合技術検討WG ・第2回原子力LCAに関する委員会	曾ヶ端賢治	プロジェクト試験研究部 主任研究員
16日(水)	・第2回新エネルギー熱利用対策調査委員会	○3月25日付 (出向採用)	
17日(木)	・第2回水素シナリオの研究委員会	三部貴之	プロジェクト試験研究部 主任研究員
18日(金)	・第3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 ・第2回長期エネルギーシステム評価に関する委員会 ・原子力水素研究会	○3月31日付 (出向解除)	
23日(水)	・第4回電力・ガス総合技術検討会	奥田 誠	プロジェクト試験研究部 主管研究員
25日(金)	・第3回核燃料サイクル関連技術調査委員会	○3月31日付 (退職)	
28日(月)	・第4回超長期エネルギー技術研究会	森山 亮	プロジェクト試験研究部 嘱託研究員
		○4月1日付 (出向採用)	
		横田英靖	プロジェクト試験研究部 主管研究員
		○4月1日付 (採用)	
		横尾友美	事務局勤務

第 27 卷 通 卷 目 次

VOL.27, NO.1 (2004.4)

【巻頭言】	シンク・タンクのアライアンス (財)日本エネルギー経済研究所 理事長	内 藤 正 久 …1
【座談会】	産業間連携による省資源・省エネルギーの方策 —コンビナートの国際競争力強化について— 東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター長 教授 資源エネルギー庁 省エネルギー対策課長 日揮(株) 技術・ビジネス開発本部 副本部長 新日本製鐵(株) 技術総括部 総括グループマネージャ 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術開発部 主任研究員 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事	秋 鹿 研 一 佐 藤 樹一郎 岩 井 龍太郎 高 松 信 彦 渡 邊 裕 高 倉 毅 …3
【寄稿】	経済産業省のバイオマス導入促進施策 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課長	荒 木 由季子…25
【寄稿】	国内外におけるバイオマスエネルギーの現状と 今後の見通し (株)三菱総合研究所 地球環境研究本部 サステナビリティ研究部 主任研究員	井 上 貴 至…37
【寄稿】	RPS制度の導入で生じたビジネス環境の変化 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー等電気利用推進室 室長補佐	中 島 恵 理…51
【寄稿】	自動車用新燃料について 新日本石油(株) 研究開発本部 開発部 燃料技術室 室長	斎 藤 健一郎…59
【調査研究報告】	将来自動車用燃料とパワートレイン技術の動向 トヨタ自動車(株) 第1材料技術部 燃料・油剤室 シニアスタッフエンジニア	星 博 彦…70
【調査研究報告】	地層処分意思決定に関する調査研究 —事例調査に基づく考察— プロジェクト試験研究部 部長	蛭 沢 重 信…80
【調査研究報告】	エネルギーに関する公衆の意識調査 エネルギー技術情報センター 主管研究員	下 岡 浩…94
【事業計画】	平成16年度 事業計画の概要 (財) エネルギー総合工学研究所 … 107	
【研究所の動き】	.....	110
【第26巻通巻目次】	.....	112
【編集後記】	.....	116

VOL.27, NO. 2 (2004.7)

【巻頭言】	長期的かつグローバルな視点に立った エネルギーの安定供給 中部電力株式会社 代表取締役副社長	伊 藤 隆 彦 …1
【理事長対談】	エネルギー、環境、経済の調和 —世界に先行する日本モデル— 国際問題評論家 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長	小 関 哲 哉 秋 山 守 …2
【寄稿】	これからのエネルギー—文明学—人間と社会からの発想— 一橋大学大学院商学研究科 教授	栗 原 史 郎 …22
【寄稿】	中国のエネルギー事情について (財)日本エネルギー経済研究所 アジア太平洋エネルギー研究センター所長	藤 富 正 晴 …32
【寄稿】	わが国の温暖化対策と排出量取引模擬実験の結果について (株)三菱総合研究所 地球環境研究本部 サステナビリティ研究部環境政策・経営研究チーム チームリーダー	伊 藤 一 道…42
【調査研究報告】	原子力の持続的エネルギー源としての重要性 プロジェクト試験研究部 主管研究員 プロジェクト試験研究部 主管研究員	氏 田 博 士 波多野 守 …53
【調査研究報告】	人工ゼオライト製造プラントの開発 プロジェクト試験研究部 嘱託研究員	森 山 亮 …64
【内外情勢紹介】	炭層へのCO ₂ 隔離とECBM プロジェクト試験研究部 副部長	黒 沢 厚 史 …73
【調査研究報告】	産業間連携による省エネルギーについて プロジェクト試験研究部 主管研究員	塙 雅 一 …86
【行事案内】	第20回エネルギー総合工学シンポジウム ……………	97
【研究所の動き】	……………	98

【新任挨拶】 新任のご挨拶 (財)エネルギー総合工学研究所 副理事長 並木 徹 …1

-----【バイオマスエネルギー特集】-----

【座談会】 バイオマスエネルギーの利用について
 ―バイオマスロードマップの成果を踏まえて―

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授 内山 洋 司
 経済産業省 資源エネルギー庁 荒木 由季子
 新エネルギー対策課長 藤本 潔
 農林水産省 大臣官房環境政策課 資源循環室長
 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 田島 正 喜
 環境技術開発部 主任研究員
 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 小川 紀一郎 …3
 エネルギー技術情報センター長

【寄稿】 森林バイオマスの全面的利用の可能性
 ―木質資源との付き合い方を考えよう―
 東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授 鮫島 正 浩 …21

【寄稿】 木質バイオマスの利用技術の動向
 バイオエネルギー・コンソーシアム運営委員長 城子 克 夫 …30

【調査研究報告】 木質系バイオマスによる
 小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発
 プロジェクト試験研究部 主管研究員 奥田 誠 …40

【寄稿】 欧米での電力自由化動向
 (社)海外電力調査会 企画部 主席研究員 東海 邦 博 …52

【寄稿】 日本の電気事業制度改革
 ―現状の紹介と今後の展開―
 (財)電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員 丸山 真 弘 …66

【調査研究報告】 フレキシブルタービンシステムの研究開発
 ―中小工場における蒸気・排熱の有効利用を目指して―
 プロジェクト試験研究部 主管研究員 蓮池 宏 …76

【調査研究報告】 「高効率廃棄物ガス変換発電技術開発」の成果と展望
 プロジェクト試験研究部 専門役 浅見 直 人
 元プロジェクト試験研究部 主任研究員 阿 閉 聡 …87

【調査研究報告】 高レベル放射性廃棄物の地層処分
 ―不確実性と信頼性に関する考察―
 プロジェクト試験研究部 部長 蛭 沢 重 信 …101

【研究所の動き】 …………… 118

【編集後記】 …………… 119

VOL.27, NO. 4 (2005.1)

【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】	経済産業省大臣官房 審議官 (資源エネルギー庁担当) 名 井 肇…	4
【基調講演】	2030年へのエネルギー展望と当研究所の技術戦略 (財)エネルギー総合工学研究所 副理事長 並 木 徹…	6
【講演】	化石燃料から水素等次世代燃料への技術開発展望 日揮株式会社 プロジェクト事業推進本部 副本部長 岩 井 龍太郎…	20
【特別講演】	米国における水素等の次世代燃料製造への取り組み 米国ペンシルバニア州立大学教授 宋 春 山…	30
【講演】	高温コークス炉ガスのドライガス化法による水素製造 (財)エネルギー総合工学研究所 主管研究員 橋 本 孝 雄…	44
【講演】	オーストラリアにおける褐炭の有効利用技術 一次世代燃料製造に向けて— 豪州褐炭クリーンパワー共同研究センター・プロジェクトリーダー アラン・チャフィー…	55
【講演】	グリーンフェーエル製造プロセスの開発成果 (1) 東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター教授 玉 浦 裕…	66
【講演】	グリーンフェーエル製造プロセスの開発成果 (2) (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事 片 山 優久雄…	75
【総括と閉会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 荒 井 行 雄…	85
【研究所のうごき】	.....	87
【編集後記】	.....	89

編集後記

4月初め、原油価格が過去最高値（4月4日NYMEXでのWTIは初の\$58台/bbl）を記録しました。昨年同時期の約2倍となり、今後の動向次第では折角回復しかけた国内景気、さらに製油所の能力不足が指摘されるアメリカの景気への影響が懸念されます。

ところが、このような高値であっても、1973年の第1次石油危機に比べると、世界でも日本でも比較的冷静に受け止められている感じがあります。当時は、中東紛争を背景とした供給不安もありトイレットペーパーの買占めという社会混乱と狂乱物価を招きました。今回の上昇は、アメリカあるいは中国等新興諸国を中心とした需要の急増に対する供給不足あるいは投機的要因も挙げられていますが、このような時期であればこそ、海外依存率が極端に高い日本のエネルギー問題を改めて考えることは誠に時宜を得たものと考えます。

本号の「巻頭言」は、小平信因資源エネルギー庁長官に寄稿いただきました。本号の特集テーマとは無関係に自由な視点からの随想をお願いしたのですが、期せずして日本のエネルギー問題と今後の方向について簡潔ながら行き届いた文章で解説され、同氏が本問題へ寄せられる思いの一端を伺うことができました。

次に本号の中核となるのが、当所と（社）日本工学アカデミー他の共催で昨年11月に開催した公開シンポジウム「日

本のエネルギーに未来はあるか」の特集であります。各分野の権威である各講師が思いを込めて語られた内容はお読み頂いた通りですが、その基調としては「石油ピークは、一般認識より早く到来するであろうこと」、したがって「その備えを早急に開始する必要があること」につきるのではないのでしょうか。それが軸となって、「評価指標」、「長期視野」、「戦略性」、「人類と地球」、「領土」、「情報」等のキーワードが紹介されたと考えられます。

ところで「石油ピーク」の到来時期に関しては、種々の意見がありますが、遅くとも今世紀中到来への異論はないようです。今年生まれた子供が長生きしたら遭遇することになるわけで、今から準備を進めることは決して無駄にはならないでしょう。

さて、お気づきの通り本号より当誌のサイズはA4版と致しました。従来より読みやすく、特に図表等を大きく見やすくすることを狙ったものであります。また、この機を期して昨今のエネルギー問題の重要性に鑑み、読者の興味と関心に応えたテーマ選定と内容充実を図る所存でありますので、今後とも本誌に対し、ご指導・ご鞭撻とともに、ご協力をも賜りたく紙上からではあります但編集事務局を代表してお願いする次第です。

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 1 号

平成17年4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) 3 5 0 8-8 8 9 4

FAX (03) 3 5 0 1-8 0 2 1

<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。