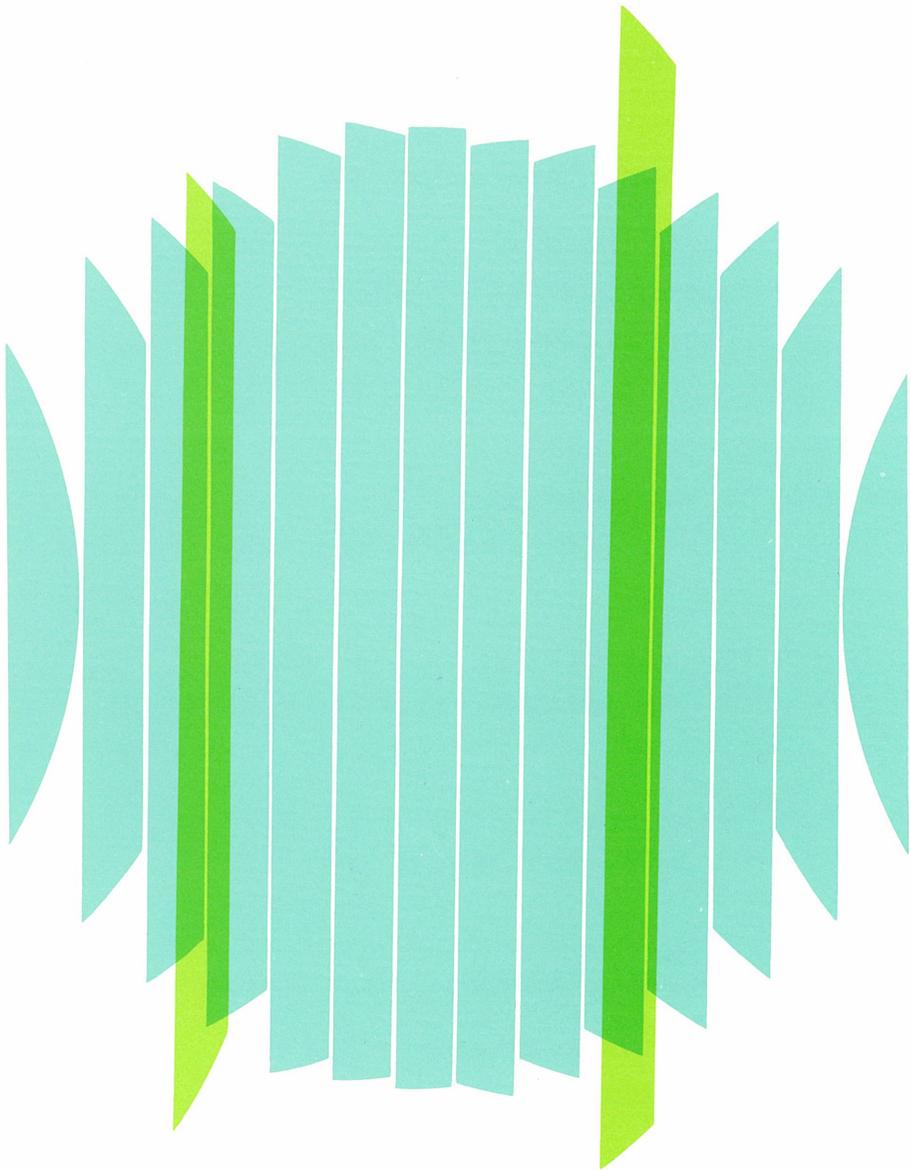


季報 エネルギー総合工学

Vol. 19 No. 4 1997. 1.



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】	初心に返って	電気事業連合会 副会長 外 門 一 直… 1
【理事長対談】	原子力開発と21世紀を迎えてのエネルギー戦略	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 谷 口 富 裕 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 2
【寄稿】	高温ガス炉と原子力エネルギー利用の拡大	東京大学 名誉教授 安 成 弘…18
【寄稿】	米国における電気事業構造の現状と将来	(社)海外電力調査会 調査部 主任研究員 飯 沼 芳 樹…35
【寄稿】	CO ₂ の低減と処分についての内外動向 — CO ₂ 海洋処分技術を中心に —	(財)電力中央研究所 我孫子研究所 環境科学部 上席研究員 大 隅 多加志…45
【調査研究報告】	CO ₂ 回収・処理を考慮した 火力発電システムのライフサイクル分析	研究員 田 中 敏 英…55
【調査研究報告】	天然ガスの資源状況と燃料メタノールへの転換 — 中小規模ガス田と CO ₂ 高含有率ガス田の有効利用 —	専門役 松 沢 忠 弘…66
【内外情勢紹介】	The Sixth International Conference on Cold Fusion (新水素エネルギー国際会議) 報告	プロジェクト試験研究部 部長 松 井 一 秋…75
【訪問記】	関西電力(株) 南港発電所	I A E 女性研究員取材チーム…86
【随想】	クリーンエネルギー自動車レポート (第2報) — 電気自動車のゆくえ —	プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏…92
【研究所のうごき】	97
【編集後記】	99

巻頭言

初心に戻って

電気事業連合会 副会長

外 門 一 直



いよいよ今世紀も残すところあと四年足らずとなった。かつて一世紀、百年が時代の単位だったとすれば、この二十世紀は三十年、さらにスピードアップして十年が一区切りと、文字どおり十年一昔になった感じがする。

昨年の6月末に、電気事業連合会副会長に就任してはや半年が過ぎた。電気事業連合会へは今回で2度目の出向となったわけであるが、就任直後からストックホルムでの日米欧三極電力首脳会議など、あわただしいスタートとなった。

電気事業連合会は、グローバリゼーション、国際化の流れや変化のスピードが速い今日の状況の中で、各電力会社の意見を調整していく立場にある。電気事業においても、個々の事業が多様化、複雑化しており、各電力会社の事情も少しずつ違ってきているため、調整がなかなか難しい。それだけに今後は、短期的な個々の問題への対応もさることながら、電事連としては国際的、長期的な時間軸の中で、基本的な方向、つまり電気事業が同じ方向を目指していけるような視点から調整することが必要である。

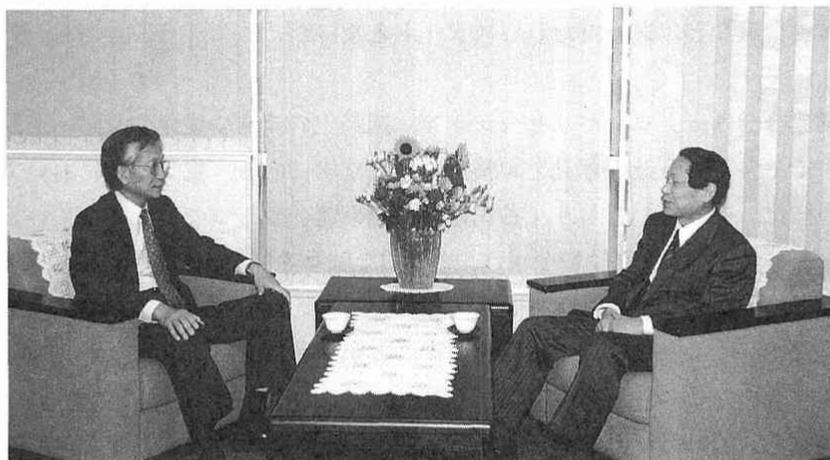
喫緊の課題として、原子力の問題がある。最近、いくつかのことが契機になって、原子力を巡る風向きがアゲンストだとよくいわれる。なぜ、そうなってしまったのか。我々電気事業に携わるもの、一人一人が、初心に戻り、情報公開や広報活動などを通じて、国民のみなさんに原子力利用の意味や役割をわかっただけのよう、最大限努力していかなければと思っている。エネルギー資源の乏しい我が国において、原子力、原子燃料サイクルがエネルギー・セキュリティや経済性、環境保全の面からいっても必要不可欠である。風上げのときにはアゲンストの風が吹かなければ、風は上げられない。風を高く上げるためには、アゲンストの風を有効に使えるよう知恵を絞って行くことが大切である。

電気事業は、原子力を中心とした電源の多様化と安全確保など、二十一世紀に向けて、数多くの課題を抱えており、その解決に向けて、電事連として、いかに取り組んで行くべきか、新年を迎え、初心に戻って考える次第である。

原子力開発と21世紀を 迎えてのエネルギー戦略

谷口 富裕 (通商産業省 資源エネルギー庁)
長官官房審議官

秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所
理事長



帰国して半年間の所感

秋山 谷口審議官は、かつてOECD(経済協力開発機構)科学技術工業局の次長を務められ、その後資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課長、技術課長等の要職を歴任されました。また最近では、OECD/IEA(国際エネルギー機関)の石油市場・緊急時対策局長を務められた後、昨年6月、フランスより資源エネルギー庁長官官房審議官として帰任されました。

一口にエネルギー・環境行政といいますが、審議官がかつて在任されていた頃とはエネルギー・環境を巡る諸情勢は著しく変転しており、ますます重要な時期に着任されたという印象をお持ちかと思います。

最初に、帰国後半年間のご感想をお伺いしたいと思います。

よくやっている

恵まれている日本の原子力

谷口 フランスから帰国しまして皆さんから

先ず言われましたことは、「原子力に大きな逆風の吹くなか、大変ですね」の言葉でした。しかし、私自身の第一の感想は、「アメリカも含めた欧米諸国と比べて、日本は非常によくやってる、またある意味で恵まれている」という感じでした、「むしろ恵まれ過ぎているところに問題があるのかな」との思いさえいたします。

「よくやっている」といいますのは、やはり原子力に51基、4,300万キロワットの発電体制ができると同時に、核燃料サイクルにつきましても、コストとか国際協調とかの課題があるにせよ、着実に大規模なプロジェクトが進行していることです。今後につきましても、欧米には発電所の新規建設がほとんどないのですが、日本は、曲がりなりにも2010年に向けてかなりの数の発電所建設が予定され、あるいは計画されております。

このように恵まれた状況のなかで、日本のよさをいかに生かしていくかが決め手と考えています。

変革が求められる2つの課題

グローバル化と日本的民主主義への対応

谷口 第二点は、さはさりながら、「もんじゅ」以降あるいは阪神大震災のあと、私なりに原子力を巡る情勢も相当厳しくなっていると感じています。

厳しさの中身に二つあって、原子力固有の問題と、日本社会が迎えている大きな転換期が重なり、そのなかで原子力自体が大きな転換期に直面しているという、一つの峠に到達したというのか、一つのサドルポイントにいるのではないかと、思うわけです。

ですから、従来のやり方だけで進めてい

は、むしろ下降線を辿りかねないところですが、軸を変えれば、さらに高い峰や頂に向け大きな飛躍というか、さらなる向上が可能と見えています。

大競争時代という意味で国際社会全体の転換期と重ね合わせてみますと、やはり大きな変化の一つはよく言われるグローバル化でして、特にそのなかで、地球環境のような課題に腰を据えて取り組まざるをえない時期にきていると思います。

また、規制緩和とか市場開放が進むなかで、原子力も含めて、電力、エネルギー産業全体が、世界市場と連動した形で動かざるをえなくなってきました。そういう面で、グローバル化にいかに対応していくかが一つの大きな課題です。

もう一つは、冷戦後の民主主義の新しい転換と申しますか、成熟と申しますか、日本的民主主義がいかなる展開をするかでありませう。これもグローバル化と大いに関係するわけですが、行政改革なり、特に地方の力が相対的に強くなっているなかで、行政の透明性とか住民参加などと、質的に従来と違った方向を目指す必要があり、パブリック・アクセプタンス、地元の受入れ——これには国のレベルと発電所立地地域の視点と両方あると思いますけれども、対応としてこれらの思い切った変革が要るかと考えています。

同時に求められる技術の革新

谷口 それから、原子力ブローパーの問題では、技術の革新が強く求められています。これは、ほかのエネルギー分野——石油、天然ガスなどはこの10年間で目ざましい技術革新をしていますし、さらに広くハイテク分野を見

渡しますと、世界的に極めてダイナミックで熾烈な競争が展開されており、技術の急速なイノベーションが起こっています。

それに対して原子力は、一面に極めて保守的な、あるいは技術変化がしにくい色々な要素がいわばビルトインし蓄積されているわけです。この際思い切った改革、革新が要るかと思っています。特に、若い世代の優秀な頭脳を引きつけ結集するためにも、また同時に、先ほど申しました、もろもろの社会的要因をうまく技術のなかに取り込むという意味からも、技術の革新が必要です。

技術プロパーの変革と、技術と社会なり経営との接点での組み合わせの変革とが重ならないと、大きなイノベーションにならないわけです。こういう意味で、イノベーションが求められていると思います。

秋山 日本と欧州とを比較しますと、基本的なものの考え方、世界観、あるいは未来観に東西の違いもありましょうし、さらには地政学的ファクター、あるいは宗教的・人種的なファクターによる相違も見られるかと思っています。

そこで、そうした点も含めて通商産業省とOECD、あるいはOECD/IEAとの関係、または在欧中特に印象を持たれたことなどがありましたらお聞かせいただきたいと思っています。

国際対応には

足腰の強さとグローバルな視点を

谷口 通産省は、アジアの問題、また欧米との通商摩擦も含めまして、国際的に非常に華々しく活躍しているように見えます。けれども、今日のグローバル化の進展とかアジアのダイナミズムを考えますと、これらに対応

する足腰の強さの点では——これは特に通産省に限らず日本全般の縮図であり、通産省はそのなかでは相対的に進んだところではありませんけれども——やはりそれでも、マルチラテラルな多国間の場で、日本が取りまとめ役として積極的に貢献していくには、まだまだいま一つの感があります。

裏返して見ますと、通産省内の審議会の議論などを聞いていまして「わが国の何とか政策」「わが国のあり方」とか、「わが国」がやたらとたくさん出てきます。グローバル化が進む世界にあって、その中のいわば閉鎖的ビレッジ、あるいはアジアという把えから脱却して、地球全体をどうするのか、だから日本の経済、産業、技術などはかく対応するのだという、発想のコペルニクス的な転換が必ずしもまだ十分行われてないという気がします。

やはり、日本という島国中心の感覚から地動説的な「自らが動く」という感覚にすれば、「日本が」あるいは「わが国が」ということではなくて、グローバルな脈絡の中どこまでやれるかという発想が出てきます。

望まれる「セキュリティ・マインド」

谷口 もう一つの大きな点といいますと、セキュリティ意識の落差です。日本は平和ボケといいますと言い過ぎでしょうが、ヨーロッパは、この1000年ぐらいの歴史の中で、国境が地続きのこともあり、大変な殺し合いや駆け引きを繰返しており、国とか地域が存続するためにはたゆまぬ努力や工夫が要ることが、実感として国民の骨身に染みついています。ですから、国を引っ張り支えていく、政治家、行政官、経営者などの、指導的な役割

を演じるエリートを、日本ですといとも気軽にバッシングして悪者にしますが、ヨーロッパでは、厳しい批判を行っても、彼らがしっかりしていないといけないということは、自分たちの存続の問題、あるいはまさに生存のためのセキュリティの問題として、むしろ本能的に、長い歴史の間に根づいてきています。

日本の場合は、まあ元寇とか黒船とかの脅威もありましたけれど、幸い神風もあってうまく乗り切ってきました。そのような歴史の中で、やはり“安全と水はタダ”という感覚が国民の中にあります。水はちょうど環境とか資源エネルギーに相当し、安全は広い意味でのセキュリティと思います。そのような「セキュリティ・カルチャー」の違いが歴史的・社会的底流にあるなかで、21世紀に向けて日本が国際社会でしかるべき地位を占め、また恵まれた生活レベルを維持していくためにも、国民の中にもう少し「セキュリティ・マインド」とか「セキュリティ・カルチャー」が芽ばえぬものかと懸念しています。

これは、先ほどの日本中心主義といえますか、日本単独セキュリティ論のような、「わが国が」「わが国さえよければ」というようなところとつながるのですけれども、大筋として、その辺がいちばん痛感されたところです。

エネルギー・環境問題を巡る動向

秋山 ここでエネルギー・環境全般の動向についてもう少しお伺いしたいと思います。

平成8年7月より、「総合エネルギー調査会基本政策小委員会」におきまして「2000年目標達成のための対策」あるいは「2010年以降

の超長期エネルギー需給についてのマクロモデル」、その後、いわゆる「エネルギー・セキュリティに関する問題」も検討されてきました。私も、及ばずながらこの小委員会に委員として参加させていただいております。

お話に出ました「セキュリティ」、これはエネルギーだけに限らない非常に重要な大きな安全保障の概念だと思います。わけてもそのなかで、基幹資源であるエネルギーの「セキュリティ」をどうするかが「基本政策小委員会」で議論されているわけです。

委員会にこうした主要議題が提案されてきました背景、現在までの中間的なとりまとめ状況、今後の見通し等のご紹介をお願いしたいと思います。

短期のエネルギー政策

COP3 を睨み思い切った省エネを

谷口 今回の「基本政策小委員会」の関心事は、二つあります。

一つは比較的短期の話でして、地球環境問題で我が国は一人当たりCO₂排出量を2000年の時点で1990年のレベルに安定化するという国際約束をしております。その前提となっているエネルギー消費の見通しでは、伸びをおよそ1%ぐらい見込んでいたのですが、この数年、むしろ3%を超えるようなテンポで伸びています。

この国際約束を達成するには、現にもう2000年の目標値を先食いしていますので、今後、相当思い切った省エネをやらなければなりません。省エネを行ってもなお未達になる部分は、CO₂排出量自体の削減が必要で、それには、太陽光とか風力のような比較的足が短くて効果がある新エネルギーの導入に相当努力



谷口 富裕氏

(通商産業省 資源エネルギー庁)
長官官房審議官

しなければなりません。このほか、大規模な、効率的な電源開発ももちろん必要ですが、リードタイムが長いので、2000年に向けては、先ず省エネが第一で、次いで量的には限りがありますが、補完的に新エネルギー導入とならざるをえません。

我が国は、本年12月、COP3（気候変動枠組み条約の第3回締約国会議）を主催して、2000年以降のCO₂削減目標値をまとめることになっております。主催国が2000年の目標値さえ守りえないようでは、会議の取りまとめは不可能なこともあり得ますので、そこは、相当厳しい姿勢、意気込みを示していかななくてはならないところです。

長期のエネルギー政策

環境面、セキュリティ面からも原子力

谷口 もう一つの点は、さらに長期的に見たCO₂排出の総量安定化の問題でして、2030年を展望したシミュレーションをいろいろやってみました。省エネ、新エネは最大限の実施を前提としており、例えば太陽光発電でいきますと、新築家屋の半数以上で日照のある屋

根などに光発電パネルを設置するぐらいの極端な仮定をしましても、やはり原子力発電を今の計画どおりに推進しないと、CO₂排出の目標値をクリアできないというシミュレーション結果が出ています。

また、地球環境問題だけではなく、セキュリティの観点からも、今後、中国を初めとするアジアのエネルギー消費量が急増し、同時に、石炭から石油、天然ガスへのシフトが進むなかで、中近東への石油依存度が再び非常に高くなってきます。中近東の政治的不安定性をも考えますと、わが国の「エネルギー・セキュリティ」は、脆弱性を増加する方向にあります。

石油需給は、いまや、国内問題というよりも、アジア全体が一つのマーケットとしてまとまりつつあり、そのなかでは、中国で起こるエネルギー危機も、世界の産業経済活動をマヒさせうるという点では、日本にも直接影響する話になります。日本一国だけで備蓄を含めた危機対策をとったとしても、決して解決する問題ではなく、いずれにせよ、そのような石油危機の発生を防止すること、またたとえ発生しても、アジア地域全体として対応を可能ならしめることが重要です。セキュリティ面から中東石油依存度の上昇を抑え、さらには環境保全をにらんで石炭燃焼をそうは増やさない、それには日本で原子力を着実に進め、かつ、アジアでも必要に応じた開発をすることが、アジア地域として必要ではないかと思っています。

わが国が開発目標とする原子力発電規模は、2010年で7,050万kW、2030年で1億kWとなっており、目標達成には、現在の厳しい社会的逆風下での立地を考えますと、相当思い

切った政策努力が必要と感じています。

「一日エネ調」からの感想

活かすべき地方の活力と熱意

重要な次世代若者への原子力教育

秋山 今のお話に関連しまして、「一日総合エネルギー調査会」いわゆる「一日エネ調」が、国が進めている委員会での審議模様の紹介と、広く各界各層の方々からの意見聴取を目的とし、北海道から沖縄まで全国的に開催されました。

審議官も、説明側として精力的に参加されたわけですが、開催の狙い、また成果、感想などをお聞かせいただきたいと思います。特に、一般市民の方々との意見交換を通じて強くお感じになったこと、また認識を新たにされたことはどんなことでしたでしょうか。

谷口 「一日エネ調」を各主要地域で開いている趣旨は、いま理事長が申されたとおりでして、各界各層の人たちの意見を幅広く聞くことですが、特に、地域での意見をなるべく丁寧な吸い上げること、また地域の方にエネルギーに関する理解を深め、広めてもらうことを目的としております。

こういうことは「一日エネ調」だけではなく、並行して「一日資源エネルギー庁」というもう一つの「一日エネ庁」もやっていますし、各種のエネルギー・フォーラムという形で、識者に出席願ひ地域での対話集会もやっているわけです。

実際に参加してみて、私が改めて認識したのは、地方の方々を持つエネルギー問題への熱意と活力でした。「地方分権」あるいは「地方の時代」とよく言われますけれども、さきほど申しました省エネルギーの推進が当

面第一の課題であり、次いで分散型の新エネルギー導入も重要で、これらは地域からの盛り上がりにより期待が大きいところです。

さらに、大型エネルギー施設新設に対する地元の受け容れが、原子力を中心に非常に難しくなっている現状を考えると、地域の方々のそのような活力、関心と熱意を、ぜひ、建設的な前向きな方向、といいますか地域の長期的発展につながる方向に向けて頂きたいし、我々も、一緒になって考え一緒に行動するよう、踏み出さねばならないと痛感しました。

翻ってみますと、今までのエネルギー政策の論議は、東京中心のところがあり、東京の議論なり考え方を誇張していいますと、世紀末的シニシズムというのでしょうか、もう一つ関心とか気力の度合いが弱く、これからは、むしろ地方のほうに期待をかけるべきかという感じがあらたにしています。

具体的な話を一つ紹介しますと、今回は、教育現場にみえる校長先生をはじめとした教育関係者にも多数参加していただきました。これらの方々、教育における原子力等の取り上げ方、いかに苦勞されているかを伺いますと同時に、やはりこの分野は、次の世代を担う若い人達にぜひ理解してもらい、関心を持ってもらうこと、そしてむしろ彼らのイニシアティブなり総意により新しい解決法を見いだしていくことが非常に重要である、との印象を受けました。

秋山 最後におっしゃった、次世代後継者となる若い人々への啓蒙を進めたり、また若い人々から広く意見を聞かれることは、今後ますます重要になってくると思います。その意味で、お役所を初めとしまして、産業界も学

界も、若い人たちとのコミュニケーションを強めようとしておられることは、本当に素晴らしいことだと思います。

「地球再生計画」の再構築

技術的ブレークスルーを目指して

秋山 ところで、環境庁では、来年度から、1990年11月に策定された「地球温暖化防止行動計画」の見直し作業に入るとも聞いてます。また「産業構造審議会の環境政策部会」は、通商産業省が90年に提案されました「地球再生計画」の再構築作業に着手し、今年内終了を目指すと発表されております。そうなりますと、1994年に改訂されました「長期エネルギー需給見通し」との関係がどうなるかが関心の的になると思います。

この辺につきまして、審議官のご意見、ご感想をお聞かせいただければと存じます。

谷口 「地球再生計画」は、2100年まで展望した超々長期の計画でして、私は、日本が超長期でこの種の地球レベルのビジョンなり計画を打ち出したこと自体、国際的にも非常に評価を受け、貴重なことだと思っています。いずれにしても、6、7年前に出された計画を、その後の進展に合わせて手直しするのは極めて大事なことと考えます。

「総合エネルギー調査会」のほうは、2010年なり2030年までの展望ですから、どちらかといいますと、これらは相互補完的な関係で地球環境問題を考えています。

もちろん、両者の重なる部分についての経済成長率その他の前提は、最終まとめ段階までに調整は必要ですが、「地球再生計画」のいちばん大きな特徴は、日本の特徴といえるもので、21世紀の中頃以降の技術革新あるいは

革新的技術による解決策に非常に大きな期待をかけているということです。他の先進国では財政難その他を背景にして、技術革新に対する期待は冷めております。経済的手段である価格メカニズムとか環境税という形である程度の解決を目論んでいるのに対して、日本はむしろ前向きに、新しい技術のブレークスルーによる地球再生を目指し、ここのところを強調している点が特徴と思います。日本の資源は、人材の頭脳と技術しかないということから言えば、やはりこういう方向で積極的にチャレンジすべきと考えております。

秋山 今のお話にありました技術開発に関しまして、欧米諸国がやや消極的だというお話ですが、その理由、ないし背景についても少しご説明頂けますか。

谷口 これにはいろいろなことが言われています。やはり19世紀、もっと遡れば産業革命以来、科学技術に対する大変な期待感、楽観主義がずっとありました。最近になり欧米でかなり技術に関する懐疑主義が出てきていますし、また国の財政難から大きな予算を出しにくくなっています。民間企業にも経営合理化、構造改革、競争激化が進むなかで、長期の大型技術開発をやりにくくなっている背景があり、政府も民間も、現実主義的で、どちらかという短期的な最適化を目指すようになっていきます。言ってみますと、政治も行政も民間産業も、時間的視野がどんどん短くなってきているようですね。

私がもう一つ大きいと思うのは、メディアもじっくり考える活字型から、映像型へと移行し、世の風潮が感性重視あるいは直感型へと傾斜していく中で、息の長い、理知的な努力の積み重ねを要し、リスクが大きい大型技

術の開発に地道に取り組むのを忌避する風潮が、社会の成熟の負の側面として、欧米ではだいふ出てきているという感じがします。

原子力開発を巡る動向

住民投票、円卓会議などを中心に

世界への貢献が大きい日本の原子力開発

秋山 ところで、今後のエネルギーの長期確保の観点から、原子力発電の意義、役割は非常に大きいと考えられますが、この点につきまして、審議官が日頃思っておられることを、グローバルな視点も含めてお話しいただきたいと存じます。

谷口 エネルギー・環境の観点からみた原子力の重要性は、先ほど申し上げたとおりです。それに加えて申し上げますと、原子力の特性は大規模な先端技術システムということです。これは、天然資源、エネルギー資源は殆どないが、人材や知恵なら豊かにある日本のような国が、そういう技術を率先して活用すると同時に、今後の世界の環境問題なりエネルギー・セキュリティ問題の解決、緩和に役立っていくという役割を果たすことが非常に重要と考えます。

特に、先ほど申し上げましたように、欧米先進国には技術に関するある種のシニズムみたいなものと、財政、経営上の制約とかがあり、特に原子力の開発にコンサーバティブになっています。そのような状況のもとで、日本がこの分野で大きな貢献をすることは、日本自身のセキュリティなり存続なりに係わるのみではなく、今後の世界の貴重な共有財



秋山 守氏

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

産になるし、そこで日本が中心的な役割を果たし得れば、セキュリティ上もグローバルな観点からも、非常に大きなプラスになると感じています。

巻町の背後にあった不安と不信

秋山 そこで、重要な意義を持つ原子力発電の推進に関し、昨年8月、巻町で住民投票がありました。その結果をどのように受け止め、また今後の原子力行政にどのように反映すればいいのか、といった辺りについてお聞かせいただきたいと存じます。

谷口 巻町の投票は、町有地を売って町に原子力発電所を受け入れるか否かを問う争点一つのいわゆるシングル・イシューの投票でしたから、結果は反対ということになり易いのはおよそ予想されたところでした。

そういうわけで、率直に申しまして、4割の方の賛成があったこと自体、非常に貴重なことと思っています。同時に、反対された6割の方のなかにも、原子力の必要性は分かるけれども自分のところに受け入れるのは嫌だという人が、その過半数だったという調査も

あります。その辺をどうしていくかが重要なところですよ。

反対する理由のなかには、安全問題、廃棄物問題に関する不安、電力会社なり政府に対する不信が、背景として圧倒的に強いのです。イデオロギーなり、思想、主義でもって反対する人はごく少数でして、原子力に対するある種の漠然とした不安、不信が非常に大きな背景になっています。やはり、「自分のところには嫌だ」という「ニンビー (NIMBY, Not in My Back Yard)」の感情との重ね合わせだと思います。

巻町の説明会に私も出かけまして、連続講演会の最終回、新潟県知事さんと一緒に出させてもらいました。そのときに言われて非常に印象に残っていますのが「もう少し早い時期に対話がなされれば、町を二分する大騒ぎにはならなかったでしょうに」というコメントです。町が町長賛成派、反対派の間で揺れてきたこともあるのですが、その辺の実態を踏まえて、もうちょっときめ細かい、息の長い、地域に密着した努力が要るんじゃないかと考えています。

同時に、既設発電所の地域についても、発電所を受け入れて本当によかったという印象が、地域住民のみではなく、その地を訪れた人々にも一目瞭然とわかるほどに、発電所立地地域の長期発展への支援が必要と思っています。

地方に求められる自主責任の意識

秋山 住民投票に関係して、よく「市民運動」とか「住民運動」と言われる運動があります。これにつきましては西部邁先生が政治形態の観点から、また歴史的観点から大変明快な分

析をなさっておられますけれども、わが国で市民運動的な活動が、原子力に限らず公共的施設の立地等に関して、今後次々と出てくる可能性があると思います。その辺りのことで、特に西欧社会と日本の社会との相違とか、あるいは今後考慮すべき点についてお話をします。

谷口 今申し上げました不安とか不信という問題につきましては、もっと掘り下げて分析し、かつ、払拭するよう努めねばなりません。

25年か30年前にわが国が原子力を始めました当初の5年、10年間は、原子力に対して期待感、夢、あるいは誇りが充溢していました。それが、いまや痛み、被害、あるいは苦しみ、悩み、負担、迷惑というような事態になってしまいました。

いずこにその原因があったか率直に申しますと、やはり「本来、そんなものはない」と説明されていたいろいろな事故、トラブルが起りました。さらに、発生後の対応がもう一つ信頼感を損ったことにあったと思います。

それから、先ほど申しました地元の長期発展に、必ずしもつながっていないこともあります。地元で長く住んでいる人たちから見れば、昔に比べ地域の発展は十分理解してもらえるのですが、ただ、住民の若返りが進み、豊さ、便利さが当たり前の今日になりますと、地域との共存は、継続的、発展的に地元へ貢献する形での対応が求められます。

迷惑施設と見られやすい発電所を受け入れた見返りをするのではなく、基本的には、発電所あるいは会社そのものが、良き市民、良き町民、良き村民として、地元と共存共栄の形に進んでいくのが基本ではないかと思えます。

同時に、ヨーロッパの社会と比較しますと、個人なり地域なり、自分のことは自分で責任を持つという自主責任体制が民主主義の基本として根づいているのに対して、日本の場合、誰かのせいにし、誰かに頼る。結局は国に頼る、あるいは国や電力会社を悪者にするという傾向があり、被害者、加害者的な対立意識に陥りやすい風潮があります。

逆に、自らの町なり村を良くするために、自らの主体性、意志において電力会社なり発電所と共存を図る——これはうまく活用していくということですが——という姿勢が、本当は民主主義の基本としてほしいところです。現状は、他力本願か、自力本願かの選択になってくるんですね。

政府が小さい政府を目指せば目指すほど、政府の役割は、自力本願で行う住民努力を側面からできるだけ支援するということになります。一方に、国が地方に替わって、あるいは前に出てやれという強い声も聞かれます。しかし、私は、原子燃料サイクルのような全国的な話については国がもっと積極的にやったらいいと思いますが、発電所立地の問題などは、国が出過ぎないほうが長期的にはうまく運ぶと考えています。

折り合いが欲しい

民主主義とハイテク技術

秋山 市民としての権利、義務を相伴った、いわゆる正統的な、本来の意味での市民運動が、原子力に限らず公共的施設の立地等も含め、育ててほしい感じがしますね。

谷口 日本の歴史に都市国家がないのに市民がありうるかという根源の問題もありますが、成熟した民主主義が今日のハイテク社会

とやかに折り合っていくかということです。私たちが会ういろいろの議論や反対運動も、原子力の技術体系と日本社会の民主主義が、ともに成熟に進む一つの試行錯誤のプロセスであり、けっして否定的にとらえるべきものではありません。むしろ、日本型の資本主義社会、民主主義社会へ、それこそ日本の存続にいちばんの拠り所となるこうしたハイテクをいかに取り込み、定着させるかの問題でして、大げさにいいますと、人類文化的な課題との感を強くしています。欧米型の個人主義的色彩が強い民主主義が、けっしていいわけではありません。

古代のギリシャですと、市民は、基本的な役割として、都市の防衛があり、体を張ってやりましたが、そこまで行かなくても、やはり今日の日本流の民主主義は、ハイテク技術の原子力ぐらいとは折り合って、これをうまく活用するような方向で進んでほしいという感じはしています。

「新円卓会議」につなげたい参加者の意見

秋山 市民参加というお話がありましたが、学識経験者、産業界の代表者に原子力推進反対派の人も含めて、広く国民の各分野、各界、各層の方々から原子力の今後の展開に関して意見をお伺いする「原子力政策円卓会議」が、これまで11回にわたって開催されました。

そして、この会議の結論としまして、今後「新円卓会議」と「高速増殖炉懇談会」の設置も決まっております。この辺を含めまして、お考えや今後の役所の取り組みなどお話しただければと思います。

谷口 「円卓会議」は、私もずうっと参加させてもらいましたが、非常に幅広いいろいろ



な意見が出て、極めて貴重な場であったと思っています。ただ、反対派と称される人たちと、推進の主体になっている電力会社や動燃の人たちとの意見が必ずしも十分かみ合っていないという感じは受けましたが、これも一つの試行錯誤のプロセスですから、ぜひ次の「新円卓会議」につなげたいと思っています。

われわれとしましては、原子力委員会がこういう公開の場で広く意見を聞き、政策に反映していくのは非常にいいことと思っています。現在、総合エネルギー調査会の原子力部会で今回の議論も踏まえた形で政策をまとめ、引き続き設置される「新円卓会議」では説明したいとしています。

私が大切だと思っていますのは、さきほど申しました賛成、反対という両対極にある方よりも、中間的なところで不安とか不信を漠然と持っているマジョリティの人たちでして、その方々の理解の増進、意見の反映をいかに行うかが、残されたもう一つの重要な課題と思っています。

課題が多い原子力発電の推進

秋山 確かに、中間的な立場にある多数の人々が理解を深めて下さることが大切です

ね。

ところで、今後の原子力発電の推進には、関係各面で取り組まねばならない課題がたくさんあると思います。これに関連して私が日頃感じており、また多くの人も同様に指摘している点を簡単に述べさせていただきます。

まず、当面の課題としましては、今まさに審議官がおっしゃった、原子力発電関係者の側から広く公衆にアプローチしていくこと、これが非常に重要だと思います。

次に、わが国の場合、これまで立地は大都市から離れた臨海地域に限られてきたわけですが、今後の対策としては、需要地域の消費者が立地の問題をもっと真剣に考えるように、都市住民への状況説明とか、あるいは都市側での意見を汲み取る努力を強めることなどが重要だと思います。

第三は、わが国の原子力は、これまでの実績のとおり十分安全でありますけれども、最近、いわゆる「安全から安心へ」と言われておりますように、専門家から見た技術的安全から、一般人への社会的安心へと、考え方の転換も必要になっていると思います。

第四に、これに関連することですが、原子力の用語が難しいと言われております。テクニカルタームも、概念も、普通の言葉に近い表現を心掛けていくことが必要です。多重防護の重構造になっていることで一層分かりにくいのですが、ソフト、ハードを含めて、これらを一般市民に、もっともっと分かりやすくすることが大切です。

最後に、これは言わずもがなですが、原子力に携わる人々の内部から、絶えざる自己革新、自己点検による見直しが必要です。

これらの取組みを積極的に進める一方で、中長期的には、学校教育を通じて若者へ、そして適切な情報提供によりマスコミの方々へ、原子力に対する理解を一層深めてもらうよう働きかけていくことも重要です。

さらに対策の輪を広げていく上では、社会・政治の場や環境に西欧合理主義の優れた面をさらに取り入れると同時に、東洋文明に根ざした融和的な考え方——岡倉天心の『東洋の理想』という理念がありますけれども、これらを複眼的に把えながら、あるいは両者を巧みにミックスしていくことも必要かと思えます。

これらのことを含めまして、ご意見を伺いたいと思います。

重要となる中間層の意見の吸い上げ

谷口 今、秋山理事長が言われたことで、付け足すことはありません。やはり、広く国民なり市民の声を聞くことでいちばん難しいのは、不安や不信を持ちながらもサイレント・マジョリティが、なかなか明示的な明確な声を発してくれないことです。

このマジョリティに対して、マスメディアと反対派が主なる情報供給元という状況は、特に改善が必要なところ。多数を占める中間層の人たちにいかにもうまく語りかけ、その意見を聞くかが、出発点でありポイントであると思っています。そのプロセスで、透明性の維持と情報の公開により、できるだけ不安、不信を解消していくことが大切です。

これらは、言うは易く、行うは難しの問題ですが、今後、ぜひ思い切って進めたいところ。です。

地元の長期発展対策などの支援を

谷口 私どもも、最近、電力消費地の東京や大阪といった大都市と発電立地地域との対話を進めようということで、知事レベルから実務者レベルまで含めて、いろいろな形での集団方式による対話の場を設けております。「一日資源エネルギー庁」は、まさにそれそのものです。

ここで話しておきたい一つの大事なポイントは、巻町の一人当たりの電力消費量が東北で一番高く、東京の平均よりも高いということです。これは、巻町が新潟のベットタウン化が進み、住民に比較的裕福な若い世代のカップルが増えたということもあるようです。また、柏崎や浜岡などの比較的アクセスのいい発電地域は、行かれると実感すると思えますが、すでに立派な都市になっております。豊かさ、情報化の進展、交通手段の改善などにより、日本全国が多様な多様な都市の集合体になりつつあり、そのような状況変化の下での電源地域振興には、長期的持続的な地域の振興・発展という視点が求められることとなります。

これまで通産省で採ってきた立地促進策の柱は、電源三法に基づく交付金ですが、交付期間が発電所の稼働後5年間という期限付きであることから、「釣った魚には餌はやらない」という揶揄もされました。今度、発電所の運転期間中は40年でも50年でも継続交付する「長期発展対策交付金」という制度の導入を検討しており、立地の促進にもっと知恵を出したいと思っております。

大事な点は、今や豊かな時代だ、リアルタイムでボーダーレスな情報の時代だ、という

ことを前提にして、地域の長期発展のための知恵を出していくことだと思っています。

技術革新については、継続的、発展的革新がおっしゃるとおり大事ですが、これは技術プロパーの問題ではなくて、社会的ファクター、あるいは社会とのインターフェイスを取り込んだ革新でないと、これから時代の要請に答えられないという感を強くしています。

エネルギー分野の国際展開

秋山 ここで話が変わりますが、次に、ますます進展するエネルギー分野の国際展開についてお話を伺いたいと思います。

資源エネルギー庁や関係機関を中心に、電力・ガス等の海外事業展開、アジアにおける民活インフラ事業、さらに国際協力といったキーワードでの各種の委員会、懇談会が活発化しているとの印象を持っております。

審議官は、これまで広く国際社会の場で活躍されてこられました。そのときのご経験をもとに、このあたりについてのお話を賜りたいと思います。

先ず自分自身にいいものを持つこと

谷口 国際化時代における日本の役割、国際化への対応ということは、よく取り上げられているところですが、「国際化」という言葉自体は、日本にしかありません。英語の“Internationalization”はあるにはあっても、あまり通用しない言葉です。

私は、国際化の対応でいちばん重要なのは、日本自身が明確な独自性を持ち、それを分かりやすく主張する、また主張できることだと

考えています。そういう意味で、顔とか姿が見える日本の文化や価値観に、さらに技術・エンジニアリングの基本的思想を含めまして、確とした独自性、主体性を持つことが、国際舞台で世界と共存していく第一歩と考えます。

共存の中には、当然、競争と協力とがあり、ときにはケンカも必要ですが、やはり相互に理解し合うためにも、自分自身がしっかりしていることと、自分のものを持っていて、かつ、分かりやすくできるだけ普遍的な言葉で話せることが基本と思っています。国際化の対応を急ぐより、足元を固めることが第一です。

共存するためには、相手と交換できるいいものを、自分自身が持っていないといけません。図体ばかりが大きいのが、主体性がなくフワフワ、フラフラして受け身で、あっちで叩かれ、こっちで叩かれというのがいちばん良くないという感じですよ。

と同時に、やはり多様性とか異質性に対するきめ細かな思いやりも大切で、日本は長い発展の歴史のなかで、異質なものに対して極めて寛容でないところがありました。

これは、今後、革新的、創造的な技術や企業を育成するにも、かなり根本的な問題だとみています。乱暴な言い方をしますと、日本の社会は、安全面でも経済面でも、今まで非常に恵まれた温室の中に置かれてきており、そういう意味での温室効果により、勤勉ではあるが自分の世界に閉じこもりやすい傾向があります。思い切って温室から飛び出す、あるいは温室の窓を開けて、外に向け開かれた対応をしていくなかで生き残るには、自分自身がいいものを持っていることに尽きると思

います。

バックアップしたい

電気・ガス業界の海外進出

谷口 そういう観点からは、日本の電力・エネルギーの分野は、コスト面を別にして、環境対策、安全対策はもちろんのこと、すでに非常にいいものを持っていると思います。

ですから、日本の企業がこれからアジアに進出すれば、それぞれが持ついいものを世界の市場、アジアの市場に出すことになります。そのとき、善意の経済協力だけではなく、ビジネスとしてのやり取りが、新しい相互依存関係をつくり、国際化を進める上での基本的な手段であるわけですので、エネルギー産業、企業は、もっと積極的な進出を図ってはと思います。

電力業界・ガス業界とも、これまで、地域独占という性格を持つ公益事業であるということから、事業展開を国内に止めがちな面がありました。世界のエネルギー市場は、電力・ガス市場も含めて、いまや急速に、ダイナミックなグローバル化が進行しています。電力業界・ガス業界は、そのような認識のもと、最近ではむしろ通産省の予想する以上に、産業界のイニシアティブをもって、アジアを中心とする世界への進出を望んでいるとみています。

これには、地球環境面、セキュリティ面から、国内エネルギー消費はもはや大巾に伸ばすべきではないという社会環境があり、企業はそれぞれが持つ優秀な人材の活躍舞台をアジア、世界に広げたいという背景も出ております。高い授業料を払い、失敗もあるとは思いますが、通産省も、そういう民間の

イニシアティブによる国際進出を、最大限バックアップしていきたいと思っています。

グローバルな貢献と

対アジアの二国間協力を

秋山 先ほどご指摘のように、アジアは今後の長期的かつ広域的な時代の流れのなかで、非常に重要性を増してまいります。その中で日本の役割や西欧諸国の進出の動向を見極めておくことは、これまで以上に大事なことになるでしょう。

そうした状況の中で、「総合エネルギー調査会原子力部会」でも近隣アジア地域を視野に含めた国際協力を積極的に推進することが重要だと指摘しています。

そこで、原子力についての国際協力の現状と今後の協力に当たっての指針などについてお聞かせいただければと思います。

谷口 原子力分野の国際協力機関は、ウィーンにある IAEA (国際原子力機関)、先進国間だけですとパリにある NEA (原子力機関)、その他、産業界、学会の協力機関を含めると、非常にたくさんあります。最近では、新設よりも長期稼働中の発電所が増えて運転時の安全問題に注目が集まるようになり、WANO (世界原子力発電事業者協会) という、共有する運転経験をもとに改善、向上を図る機関が非常に活躍しています。日本は、これらの機関に対して、技術面とそれにも増して財政面で、積極的な貢献をしております。

従来、先進国との関係がうまく行かぬが故にアジアに向かう、という発想もありましたが、私はそれは絶対にうまくいかないと思います。アジアの人たちは、依然として、日本よりは欧米の社会に尊敬、敬意を表しており、

ヨーロッパやアメリカとさえうまく協調できないものが、日本が歴史的に非常に複雑な過去を抱えるアジアとの関係をうまくこなせるわけがありません。

岡倉天心流にいきますと“アジアは一つ”なのですが、実態は、文化人類学者が言っていますように、アジアぐらい多様で、かつ、各地域が孤立している地域はないのです。その全体をまとめていく、あるいは引っ張っていくこととなりますと、大変な努力と力量が必要となります。むしろ、先進国と一緒にあって、グローバルな観点から多様な対応をしていくのが、二国間のきめ細かい対応と併せて、重要かと思っています。

ま と め

重要な2つの「カルチャー」

「セキュリティ」と「イノベーション」

秋山 最後に、この対談のメインテーマは、「原子力開発と21世紀を迎えてのエネルギー戦略」でありました。

ここで「戦略」という言葉を使って、今後の基本方針を議論する場合に、そもそも戦略的な思考、あるいは戦略的な計画と行動について、我が国は西欧諸国からまだまだ学ぶ点が多いと思います。

これらも含めまして、エネルギー問題に関する戦略的観点から、今後の心すべき方針、あるいはそれに沿った具体的なアクションについてお話ししたいと思っています。

谷口 私は、日本社会の特徴は、最初に申し上げましたように、“安全と水はタダ”という

考えがありますとともに、地震とか台風等の自然災害にしばしば襲われて、諦め、空しさ、はかなさの境地も一方に抱いていると見えます。逆に、立ち直りの速さも持っていると思っています。

そのような見方で申しますと、論理的な言葉や思考を重視し、かつ、石の文化で長い間社会を築いてきたヨーロッパの歴史に比べますと、日本の文化はなかなか戦略というものに馴染みにくく、特に長期の大きな戦略をつくるのを不得手とする面があるかと思えます。

西欧の一般的な戦略には、自然や外界と対決しながら人間や自分としての主張をしていくという戦略が基本にあるとしますと、日本の戦略は、むしろ自然や世界と調和しながら自分たちの和を求めていくところがあり、全体としてうまくやっていくという方向です。これは、まあ戦略というより、自然体に近く、無作為の作為というようなところもあります。そういう日本の伝統のなかにいい面も相当あるかという気もしています。

戦略は、やはり先ほど理事長が言われました欧米的な伝統のいいところと日本的なものとを融合させ、特に自然との関係も入れ、資源問題、セキュリティ問題も含めて、21世紀に向けまさにグローバル化した経済の下で、資源と技術とを前提に模索していくことと思えます。

そのなかで、非常に重要なのは、先ほど申しました「セキュリティ」に関する「カルチャー」です。原子力では「セーフティ・カルチャー」が厳しく言われ、安全をきめ細かく追究してきました。これからは、「セーフティ・カルチャー」を前提としつつ、「セキュリ

ティ」に観点を置いた「カルチャー」を醸成していくこと、さらにその補完として、常に技術や経営の革新を目指す「イノベティブ・カルチャー」を合わせ持つことです。

「セキュリティ・カルチャー」は、どちらかといいますと、現状を変えず、持続させるという観念ですが、「イノベティブ・カルチャー」は、状況を変えていく力です。ヨーロッパでは、意識的に自然や外界と対決しながら変えていくという伝統が結構強いのですが、日本の場合は、周囲との和を重んじる伝統のなかで、自ら立ち向かい積極的に変化を求めることは、少なかったのです。最近、異質のものを大事にすることと合わせ、これらが重視されるようになりました。

「セキュリティ・カルチャー」と「イノベティブ・カルチャー」、この二つは、エネルギー戦略にはとりわけ重要とみています。

秋山 審議官と全く同感です。

それぞれの国家民族集団が、自然環境や他の国家民族集団の中で生存と独立主権を確保し、その理念とするところの実現を可能にする総合的な力が、カルチャー、すなわち文化だといわれています。そういう意味では、まさに戦略とは文化だということになります。

大雑把なまとめになりましたが、今おっしゃった「セキュリティ・カルチャー」と「イノベティブ・カルチャー」、この概念をわが国に定着させ、審議官のご指導により、その理解が国民の中により一層滲透するのを念願しております。

それでは、予定の時間にもなりました。この辺で本日の対談を終了させていただきたいと思います。長時間いろいろとお話をお聞かせいただき、どうもありがとうございました。



〔寄稿〕

高温ガス炉と原子力エネルギー利用の拡大

安 成 弘 (東京大学 名誉教授)



1. 高温ガス炉導入の意義

世界の人口は、現在、58億人を超えている。今後、先進国では人口増加は僅少であるか、むしろ減少傾向すら見られるが、一方開発途上国では急速に増加する故、21世紀半ばには、約100億人に達するであろうと予測される。開発途上国では生活レベルも格段に向上すると考えられる。このような21世紀においては、経済・社会の発展、エネルギー問題、環境問題を、互に矛盾することなく解決する方策の確立が、人類社会の平和維持と福祉向上のために、心須のものである。

特に、エネルギー問題に着目すると、石油・石炭・天然ガスの利用は、酸性雨や地球温暖化のごとき環境問題を誘発するものであり、水力エネルギーもまた新規立地の限界や自然環境への影響が懸念されている。また、太陽光利用等の新エネルギーについても、利用効率や経済性向上のためなお多くの要素技術の開発が必要であると言われており、量的にも多くを望むことは困難であろう。

一方、原子力エネルギーは、環境への負荷が少なく、既に開発されている技術レベルや

利用可能な資源量を考慮すると、もちろん、安全性や経済性の一層の向上が望まれるが、上述した課題に現実に応え得るものとして期待される。それ故、原子力エネルギーの利用を、更に拡大することが望まれる。

ところで、原子力エネルギーの利用形態としては、電力利用と非電力(熱)利用とがある。我々が消費するエネルギーの中で電力の割合は、日本を例にすると現在約40%であり、電力のうち原子力発電によるものは、現在日本の場合30%程度である故、原子力エネルギーを電力利用のみに限るとすれば、消費エネルギーのうち約12%が原子力によることとなる。それ故、原子力エネルギー利用を拡大するためには、電力利用のみならず非電力(熱)利用を推進することが大切となる。

上述のような原子力エネルギー利用の拡大を可能にするものとして、高温ガス炉(HTGR, High Temperature Gas-cooled Reactor)が注目される。その理由については、以後の章で詳述するので、要点のみを以下に記述する。

- ① 原子炉出口冷却材温度が高いので、発電の熱効率を高くすることができる。ま

事務局注：本稿は、(財)エネルギー総合工学研究所が開催した「第136回月例研究会」(平成8年5月)における講演内容を、本誌への掲載のため文章化していただいたものです。

た、高温の熱利用が可能となり、原子力の利用分野がより広くなると期待される。

- ② この型式の炉の特徴として、固有の安全特性が高く、原子炉の立地可能地域が拡大される可能性がある。
- ③ ユニット当りの出力が大きくない、いわゆるモジュール型式の炉を採用することにより、エネルギー需要に対し、柔軟性をもって対応できる。

高温ガス炉の実用化、高度化のためには、高温材料、種々な熱利用技術、高温ガス炉用ガスタービン等についての研究開発が必要であり、これらの研究開発からの成果は、高温ガス炉のみならず、広く他の分野への波及効果があると見込まれる。

最後に、高温ガス炉導入に関して、以下のことを述べる必要がある。高温ガス炉の導入は、軽水炉・高速炉路線と矛盾するものではなく、高温ガス炉は、その特徴、利用分野、利用地域からみて、軽水炉・高速炉路線と相補的なものであり、軽水炉・高速炉路線との適切な組み合わせにより、原子力エネルギー利用に貢献するものである。

2. 高温ガス炉のコンセプト

(1) 燃料

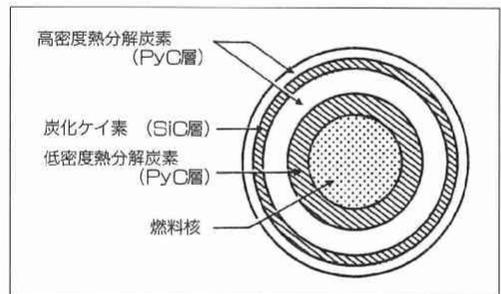
高温ガス炉の燃料は、図1に示すような被覆粒子燃料であり、中心に燃料核、そのまわりを、低密度熱分解炭素、高密度熱分解炭素、炭化ケイ素または炭化ジルコニウム、高密度熱分解炭素の層で被覆する。被覆粒子燃料の直径は約1mmである。粒子燃料の被覆の役割りを、表1に示す。

粒子燃料で燃料要素を作る場合、図2のように、球状のいわゆるペブル型燃料とする場

合と、図3のようにブロック型燃料とする場合がある。後者の場合は、まず燃料コンパクトを作り、次に燃料棒、更に燃料体を作る。現在、ペブル型燃料を使用する炉とブロック型燃料を使用する炉の2種類が存在している。

(2) 炉心

炉心構造体は黒鉛である。図4に、ブロック型燃料を使用する高温ガス炉の例として、モジュール型高温ガス炉(MHTGR, Modular



(出典：E.E.ルイス著，原子炉の安全工学 上巻)

図1 被覆粒子燃料の構造

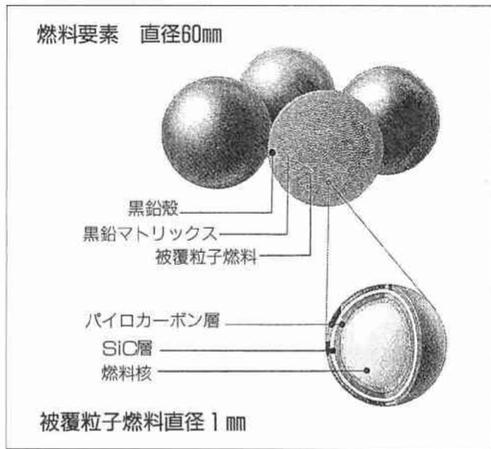
表1 被覆の役割

構造物質	密度 (g/cm ³)	被覆の役割	備考
燃料核	—	—	直径は数百μm
低密度熱分解炭素 (PyC層)	1.0~1.2	・核分裂破損の防止 ・核分裂ガスの保持 ・スエリングの吸収	多孔質である緩衝層とも呼ばれる
高密度熱分解炭素 (PyC層)	1.8~1.9	低密度の熱分解炭素層を透過しやすい核分裂ガスや核分裂生成物の透過防止のため	
炭素ケイ素 (SiC層)	—	Cs, Ba, Srなどの透過しやすい核分裂生成物の透過防止のため	

(参考文献(4)中の図より改作)

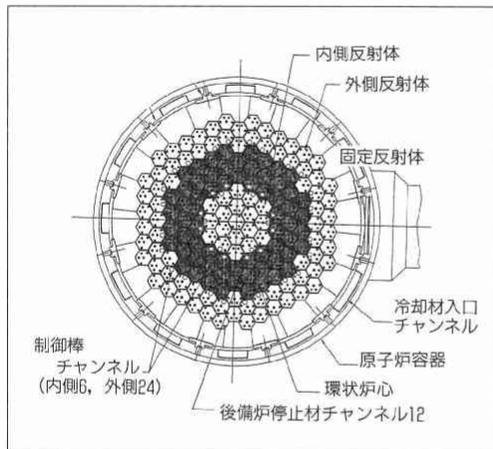
High Temperature Gas-cooled Reactor) の炉心の平面図を示す。炉心部は、図3に示すような燃料体が装荷されている。反射体は黒鉛である。ペブル型燃料炉心では、反射体の内側にペブル型燃料が装填されており、炉心構造は単純である。

高温ガス炉の燃料核は、通常二酸化ウランで3~10%程度の濃縮ウランが使用される。もちろん、プルトニウムを燃料とすることも可能である。また、トリウムを使用し、ウラン-233を作ることを目指す設計もある。



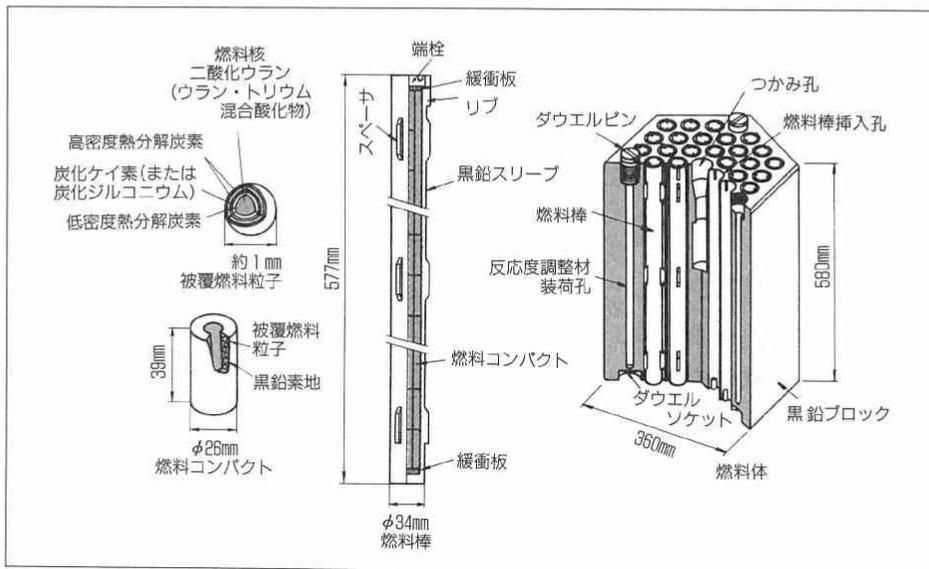
(出典：HTR-GmbH社パンフレット)

図2 ペブル型燃料



(出典：GA社パンフレット)

図4 MHTGR炉心平面図



(出典：高温工学試験研究の現状，日本原子力研究所，1996年)

図3 ブロック型燃料

(3) 冷却材

冷却材としてはヘリウムが使用される。ヘリウムは不活性の気体で、伝熱特性もよく、単相の冷却材として高温ガス炉に最適である。主要設計項目として、わが国の高温工学試験研究炉 (HTTR, High Temperature Engineering Test Reactor) の例を、表 2 に示す。

表 2 HTTRの主要設計項目

項目	仕様
原子炉熱出力	30MW
冷却材	ヘリウムガス
原子炉冷却材温度 (入口/出口)	395/850~950℃
1次冷却材圧力	4 MPa
炉心構造材	黒鉛
炉心有効高さ	2.9m
炉心等価直径	2.3m
出力密度	2.5MW/m ²
燃料	二酸化ウラン (被覆粒子/黒鉛分散型)
ウラン濃縮度	3~10wt% (平均 6 wt%)
燃料体形式	ブロック型
原子炉圧力容器	鋼製 (2 1/4Cr~1 Mo鋼)
主冷却回路数	1 ループ (中間熱交換器及び加圧水冷却器)

(出典：高温工学試験研究の現状, 日本原子力研究所, 1993)

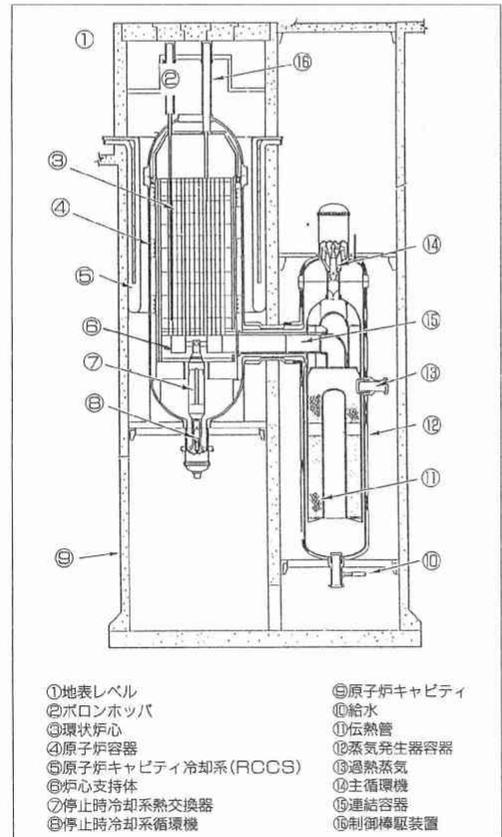
(4) 炉型

高温ガス炉の炉型は、初期には大型炉指向であったが、近年は、通常は、モジュール炉型式である。1つのモジュールについて、MHTGRを例として記述する。MHTGRの1モジュールの断面図を図 5 に、その鳥瞰図を図 6 に示す。更に、主要な設計値を表 3 に示す。また、1モジュールの系統図を図 7 に示す。本設計では、1モジュール当りの熱出力

は350MWであり、炉心出口ヘリウム温度は687℃で、それほど高温ではなく、発電系も蒸気タービンを用いている。

(5) プラント・システム

小規模発電から広範な電熱併給まで、その使用目的によって、種々のシステム構成が考えられる。また、発電に関しても蒸気タービンによるもの、ガスタービンによるものが可能である。モジュール型高温ガス炉プラントの代表的なものとして、MHTGRプラント・システムとHTR-Mプラント・システムについて記述する。表 3 にMHTGRとHTR-M



- ①地表レベル
- ②ボロンホッパ
- ③環状炉心
- ④原子炉容器
- ⑤原子炉キャビティ冷却系 (ROCS)
- ⑥炉心支持体
- ⑦停止時冷却系熱交換器
- ⑧停止時冷却系循環機
- ⑨原子炉キャビティ
- ⑩給水
- ⑪伝熱管
- ⑫蒸気発生器容器
- ⑬過熱蒸気
- ⑭主循環機
- ⑮連結容器
- ⑯制御棒駆装置

(出典：GA社パンフレット)

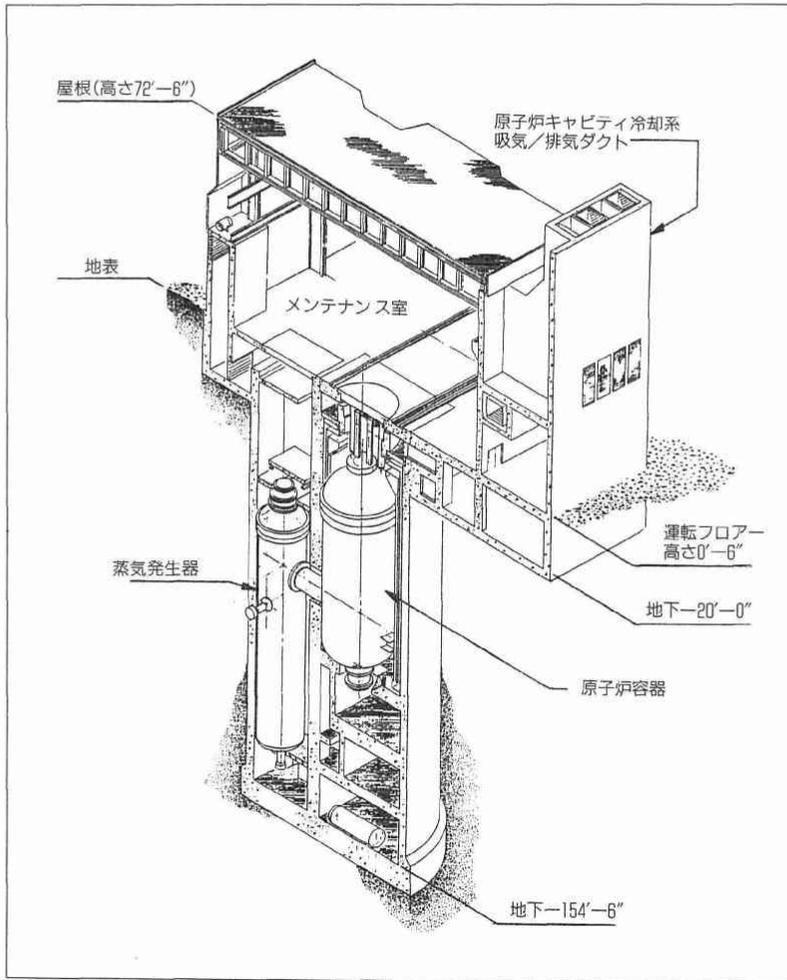
図 5 MHTGRモジュールの断面図

についての主要項目データを示す。1979年に発生したスリー・マイル・アイランド原子力発電所（TMI）2号機の事故の教訓により、米国では、より高い固有の安全性を有する中小型炉に関心を持つようになった。MHTGRはその例である。電気出力約135MWのユニットをモジュールとする約540MWの発電プラントである。原子炉を小型化し、炉心出力密度を低く押さえ、かつ、受動的、固有な安全特性により、安全性の向上をはかるととも

に、モジュラー化による建設期間の短縮、システムの単純化等による建設費の低減、原子炉と蒸気発生器のサイド・バイ・サイド配置等による保守性の向上を目指している。

HTR-Mは、西独で開発が進められたモジュール型高温ガス炉プラントであり、発電・蒸気併給を目的としている。HTR-Mの燃料はペブル型燃料である。図8に、HTR-Mの系統図を示す。

また、ガスタービンを使用するシステムで、



(出典：DOE-HTGR-87-092)

図6 MHTGRモジュールの鳥瞰図

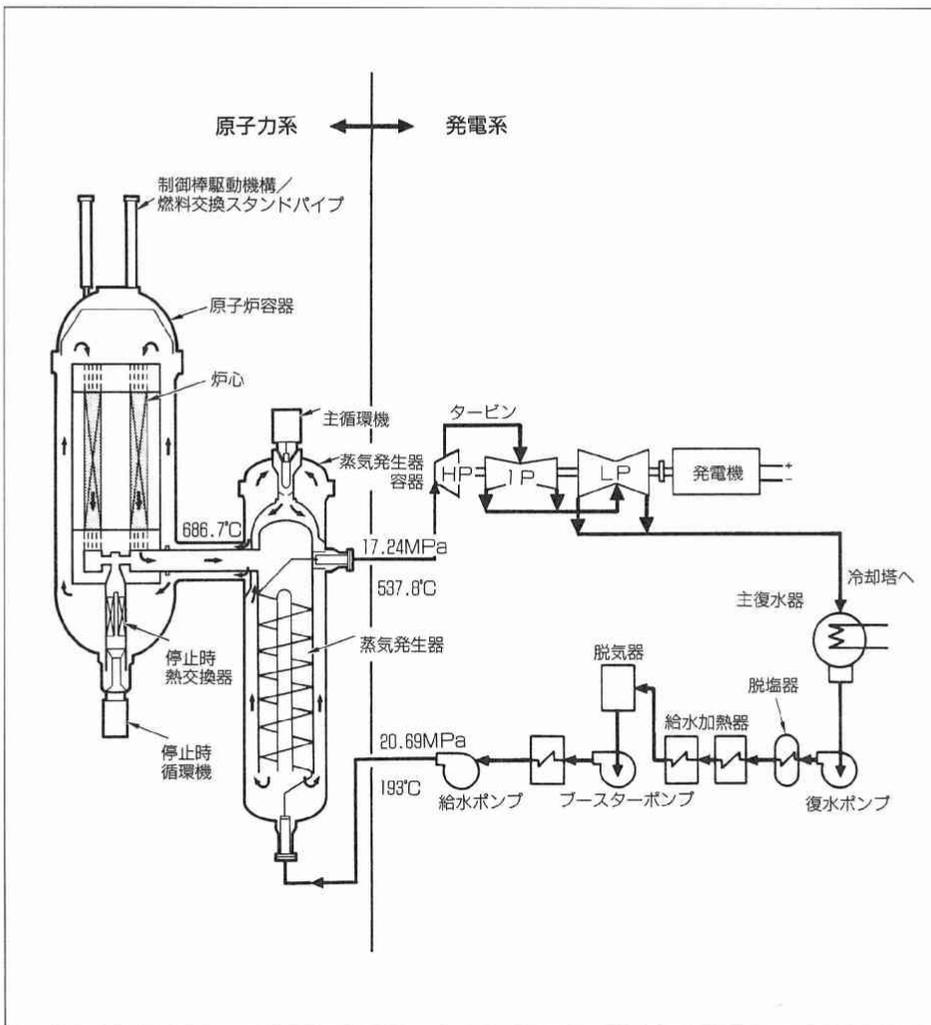
米国で検討されたGT-MHR (Gas Turbine-Modular Helium Reactor) の概念図を、図9に示す。

3. 高温ガス炉の特徴

高温ガス炉は、燃料に被覆燃料粒子を用いているので、高温における核分裂生成物(FP, Fission Products)の保持性能が高い。その理由は、2.(1)燃料のところで説明したように、

セラミックの多層被覆粒子であるからである。実際の試験結果を図10に示す。この図に示されているように、燃料の温度が1,600℃位まではFPの放出は殆んど起っていない。これはSiC被覆の場合であるが、最近行われているZrC被覆の場合には、更に高温までFPの放出は殆んど生じないことが実験で確かめられている。

高温ガス炉は出力密度が低く、炉心の熱容



(出典：GA社パンフレット)

図7 MHTGR の 系 統 図

表3 モジュール型高温ガス炉の主要データ

項目	HTR-M	MHTGR
基本データ		
プラント総熱出力	200MW(th)×2	350MW(th)×4
発電端出力	160MW(e)	538MW(e)
—プロセス蒸気生産量最大	72MW(e)	—
—プロセス蒸気生産量最小	124MW(e)	—
プロセス蒸気生産量		
—最大	115kg/s	—
—最小	47kg/s	—
プロセス蒸気 温度/圧力	17bar/272℃	—
原子炉 (1モジュール)		
燃料要素形式	球状燃料(ペブル)	ブロック燃料
燃料要素数	360000	66カラム×10段
燃料要素寸法	外径6cm	面間36cm ×高さ79.3cm
装荷方法	マルチパス	バッチ交換
1次冷却材	ヘリウム	ヘリウム
定格ヘリウム流量	85kg/s	157kg/s
ヘリウム温度	250/700℃	259℃/687℃
ヘリウム平均圧力	60bar	64bar
平均炉心出力密度	3.0MW/m ³	5.9MW/m ³
蒸気発生器 (1モジュール)		
主蒸気圧力 (SG出口)	190bar	173bar
主蒸気温度 (SG出口)	530℃	541℃
主蒸気流量	77kg/s	137kg/s
給水入口温度	170℃	193℃

(出典: Nuclear Engineering and Design
Vol.121, No2及びDOE-HTGR-87-092,1987)

量が大きいので、種々の異常事象に対して炉心の温度変化が緩慢になる。図11に、軽水炉と高温ガス炉の比較を示す。ここに示されているように、高温ガス炉の出力密度は軽水炉の約1/10で、熱容量は約5倍である。ただし、熱容量については、高温ガス炉では、FP放出の観点から1,600℃まで、軽水炉では冷却材の蒸発潜熱も含めている。例として配管破断による冷却材喪失事故(高温ガス炉では、減圧事故の一種となる)の場合、高温工学試験研究炉では、図12のような温度挙動となる。

高温ガス炉は、減速材に黒鉛を用いているので、即発中性子寿命は0.5msec程度で長い。また、反応度の温度係数は、負側に大きい。

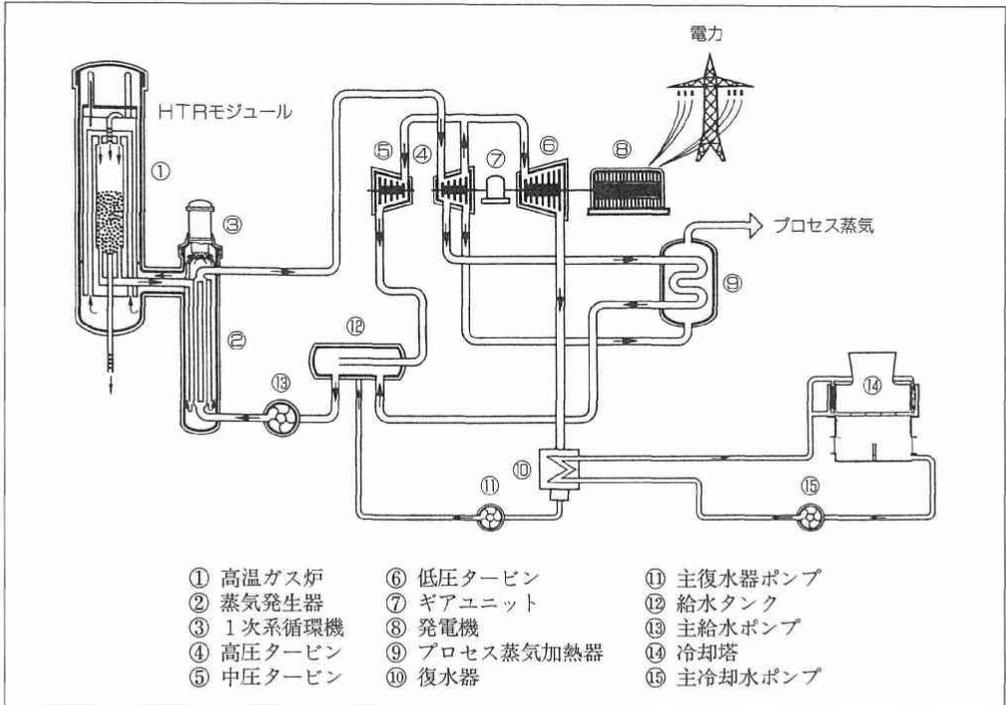
さらに、燃料は減速材である黒鉛中に分散されている。従って、大きな反応度が付加されても、出力上昇の中は小さく抑えられる。また、燃料温度や炉心温度の上昇も小さい。これらのことは、西独の高温ガス炉(AVR, Arbeitsgemeinschaft Versuchs Reaktor)における制御棒引抜き実験によって、確かめられている。図13に、結果を示す。

炉心は黒鉛で構成されており、被覆粒子燃料を使用しているため、實際上、炉心溶融の心配はない。

ヘリウムは化学的に不活性であり、燃料や構造材との化学的相互作用が少ない。また、ヘリウム、黒鉛は放射化されにくい。それ故、従業者の被曝線量が小さくなる。図14に、炉型別の被曝線量を示す。また、放射性廃棄物の発生量も少なくなる。

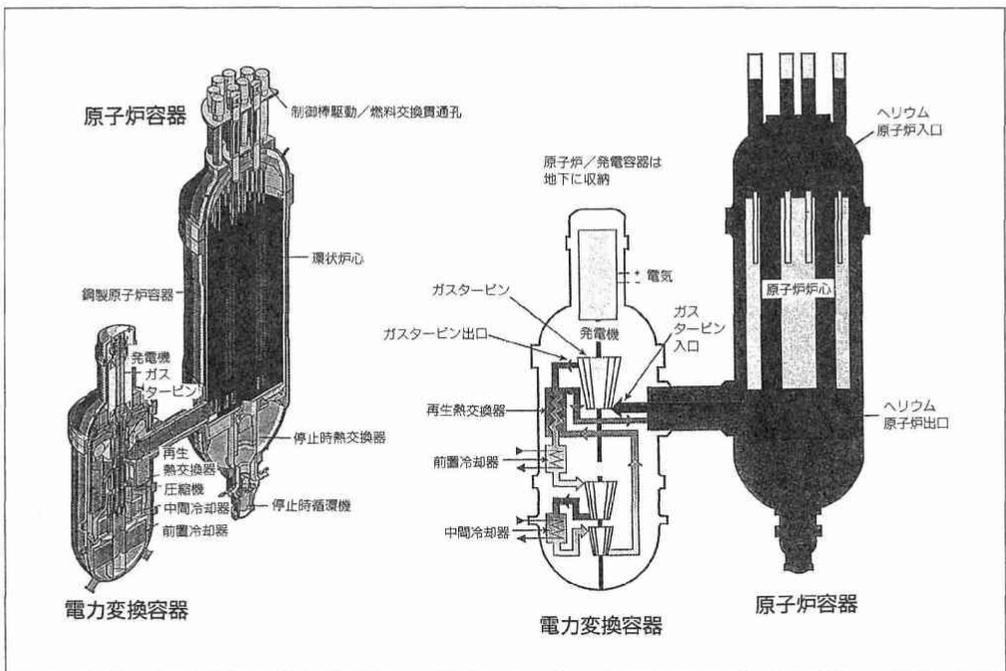
高温の熱が供給できるので、熱の利用効率が高くなる。スチームタービン発電の場合の熱効率は約40%、ガスタービンの場合は、50%近くになる。更に、コ・ジェネレーションや熱のカスケード利用を行うことによって、発生熱の全体の利用効率が上り、約70~80%の利用効率になると言われている。

黒鉛は中性子の吸収が少なく、ヘリウム中で殆んど腐食されることがない物質であるため、燃料を長期間燃焼させることができる。実績として、AVRで最高燃焼度137,000MWD/tを達成している。100,000MWD/tは、それほど難しくなく、将来は、150,000~200,000MWD/tが目標となっている。また、炉心構造をほとんど変更することなく、プルトニウムやトリウムを燃料として使用できる。なお、生成されたプルトニウムは、90%近くまで炉内で燃焼するといわれている。



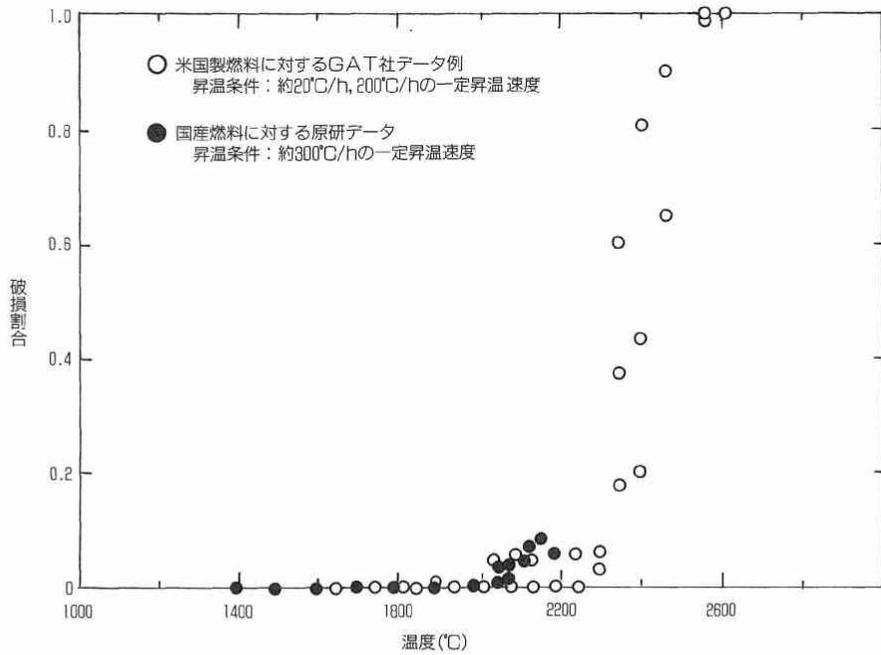
(出典：Nuclear Engineering and Design Vol.121 No2 (1990))

図8 HTR-Mプラント系統概念図



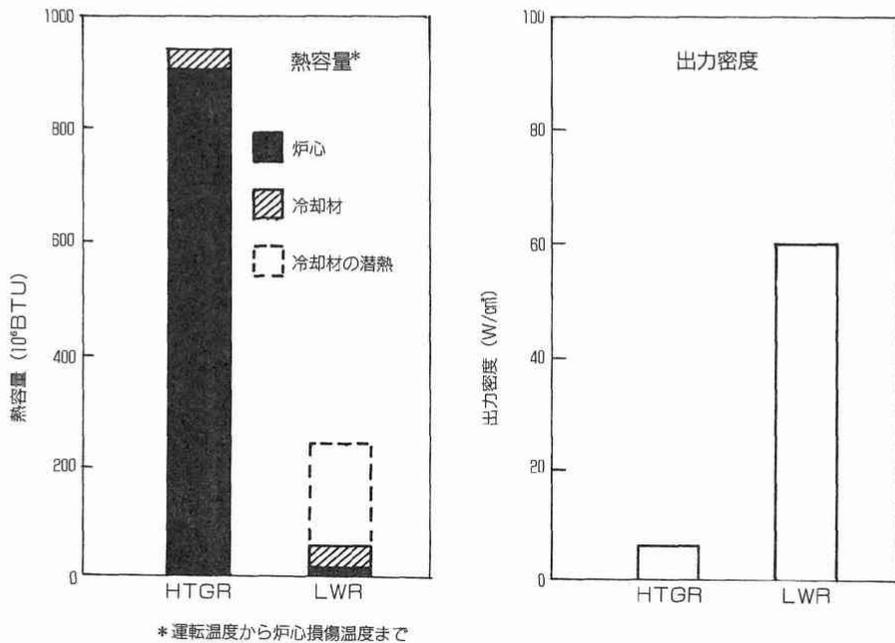
(出典：GA社パンフレット)

図9 GT-MHR の概念図



(出典：原子炉の夢をひろげる高温ガス炉，日本原子力研究所)

図10 燃料の健全性試験結果（温度と破損割合）



(出典：The U.S.HTGR Program (Jan,1984) GA Technologies INC.)

図11 高温ガス炉と軽水炉の熱容量及び出力密度の比較

高温ガス炉は、上述のごとく、FPの保持能力、冷却系機能喪失時や反応度即加時におけ

る原子炉挙動に示されているように、高い固有の安全性を有している。また、以下に記述するような受動的崩壊熱除去も可能である。

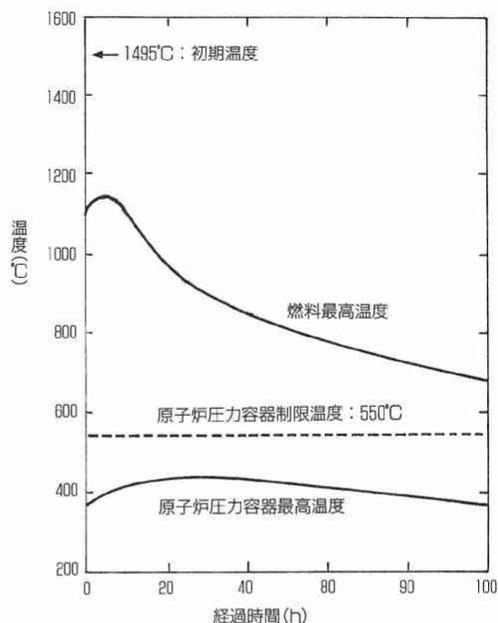
図15に、MHTGRの場合の受動的原子炉キャビティ冷却系を示す。更に、この冷却系も作動せず、全ての流路も完全に閉鎖されても、コンクリート保護用の熱遮蔽が保持されている場合には、熱はコンクリート壁から土壌へと伝達放散され、燃料および炉容器の温度は、許容温度以下におさえられることが、解析により示されている。

4. 高温ガス炉の利用

(1) エネルギー利用上の新たな可能性

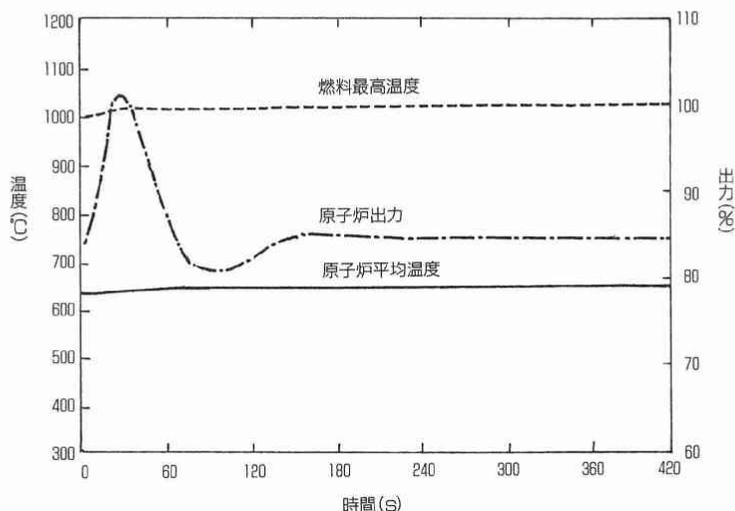
高温ガス炉は、既述のとおり、1,000℃近い高温の熱を取り出すことが可能である故に、熱エネルギーの利用範囲が、他の種類の原子炉よりも広がる。図16に、種々の分野で利用される熱エネルギーの温度条件を示す。

発電については、冷却材の原子炉出口温度



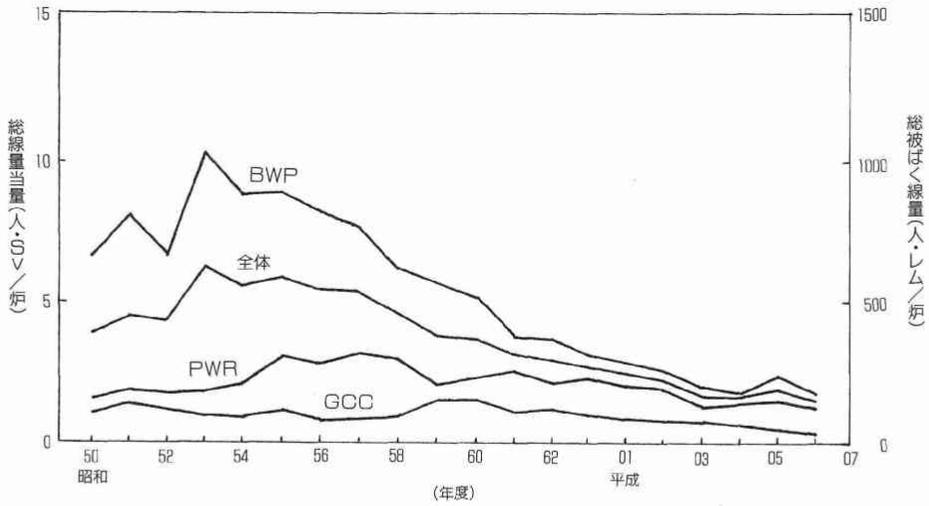
(出典：HTTR資料，日本原子力研究所)

図12 一次冷却材喪失事故（減圧事故）時の燃料最高温度と原子炉压力容器最高温度の挙動（HTTR）



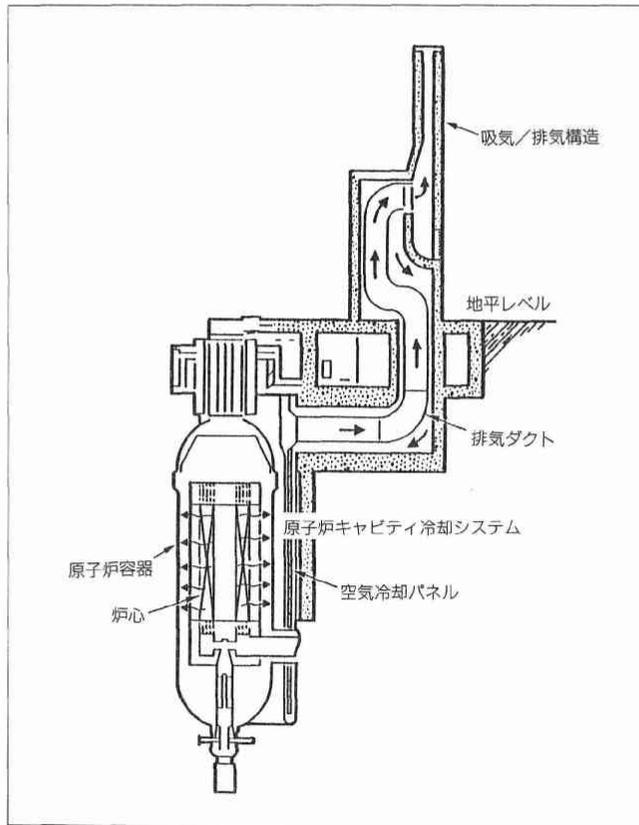
(出典：AVR資料，ユーリッヒ研究所)

図13 AVRにおける制御棒引き抜き試験における燃料最高温度などの変化



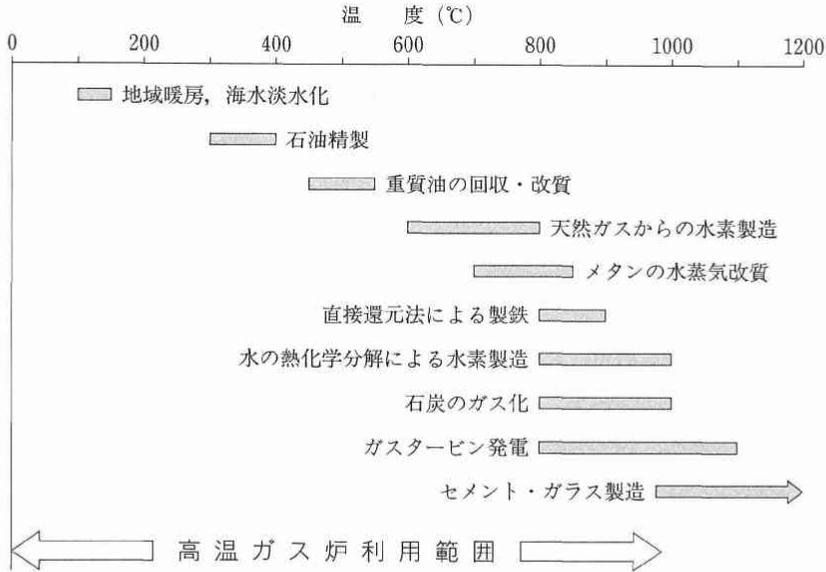
(出典：原子力発電所運転管理年報<平成7年度実績>通産省編)

図14 放射線業務従事者の線量当量 (炉型別)



(出典：DOE-HTGR-87-092)

図15 MHTGRの受動的崩壊熱除去システム



(出典：参考文献(1))

図16 各種産業で使用される熱エネルギーの温度条件

が高いので、蒸気タービンの場合でも熱効率が上昇するが、ガスタービンを使用すれば、更に高い熱効率となる(850°Cで約46%になるとの試算もある)。ガスタービンそのものは、既に火力発電の分野でも花形となりつつあるが、高温ガス炉とガスタービンとの組合せに関しては、西独における過去の経験などをふまえて、なお研究・開発すべき課題が多いといわれている。

非電力分野での高温ガス炉の利用については、紙数に限りがあるので、その代表的なものを、以下に、簡単に紹介する。

化石燃料を水蒸気改質して、取扱いが容易でクリーンな燃料に転換する方法が開発されているが、ここで必要とする熱エネルギーに高温ガス炉からの核熱が利用される。水蒸気改質法は、原料である炭化水素と水蒸気を触媒のもとに高温下で反応させ、 H_2 、 CO 、 CO_2 、

CH_4 、 H_2O からなる合成ガスを得る方法で、この合成ガスからさらに改質して、水素あるいはメタノール等を製造することができる。原子炉からの熱の温度が低くなると、水蒸気改質プロセスへの利用率が急に低下するので、原子炉からの冷却材温度が高いことが必須条件である。

高温での水素製造法の一つとして、高温水蒸気電解法があるが、これに対する高温ガス炉の利用が考えられている。この方法は、900°C位の高温水蒸気を、固体電解要素を用いて水素と酸素に電気分解する方法である。この電解法は、高温で水蒸気を電気分解するので、電気エネルギーが少なくてもよい。また、固体電解質型燃料電池の技術が利用できるなどの特徴がある。高温ガス炉により高温の水蒸気の供給と、電気分解に必要な電力を賄うことができる。水素製造の他の例として、高温での吸熱反応を含む化学反応の組み合わせに

より水を分解し、水素と酸素を作る熱化学法がある。この場合、高温ガス炉の核熱を吸熱反応の熱源として用いる。

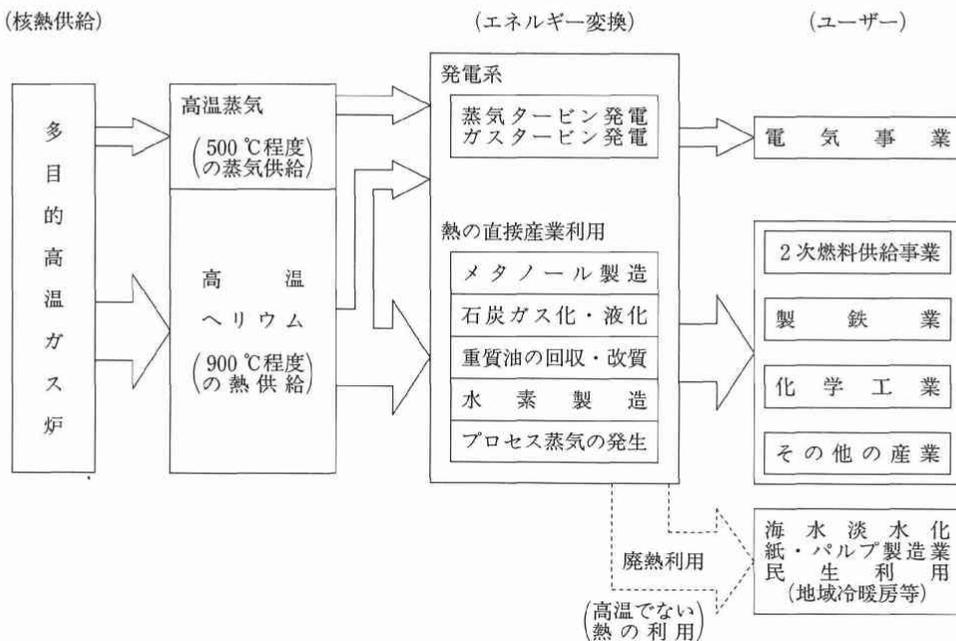
以上のほかにも、石炭のガス化・液化、重質油の回収・改質、タールサンドの回収、産業用のプロセス蒸気生成、海水淡水化、地域暖房等も想定されている。従って、いわゆる熱のカスケード利用も可能となり、このことは、エネルギー節約の視点からも、また排熱が少なくなるので、環境影響の点からも望ましい。高温ガス炉の核熱利用の形態を、図17に示す。

(2) 設置場所（立地）の新たな可能性

モジュラー高温ガス炉は、以下に述べる理由から、設置場所の新たな可能性、換言すれば、原子力エネルギーの利用地域の拡大が可能となろう。

第3章高温ガス炉の特徴で記述したごとく、モジュラー型高温ガス炉は、固有の安全特性が高く、受動的安全システムの採用により、實際上、炉心溶融を想定する必要がない。設計もシンプルであり、運転・維持が容易である。放射性物質の環境放出が極めて少ないのも、この型式の炉の特徴である。それ故、需要地近接立地上有利である。

モジュール型高温ガス炉プラントは、ユニット当りの出力が小さいモジュールから構成されており、建設期間も短かく、初期投資も少なくてすむ。従って、電源計画の柔軟性が增加するとともに、需要の不確実性への対応力も強い。また、運転・維持の容易さも併せ考えると、開発途上国、電力グリッドから隔離された遠隔地や離島等で使用される原子力プラントとしても適合性が高い。



(出典：参考文献(4)の図より改作)

図17 核熱利用の形態

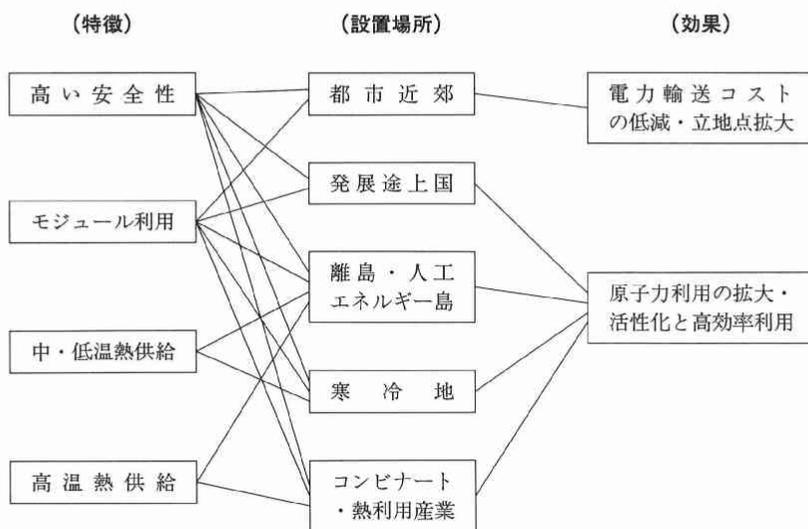
高温ガス炉は、既記したごとく、高温のエネルギー供給が可能であるので、小型の発電プラントから、広範な電熱併給プラントまで、種々のプラント・システムが想定できる。すなわち、原子力エネルギー利用の高効率化・

高度化が実現されることとなる。一方、上述のごとく、原子力の新たな利用地域が開拓される。すなわち、高温ガス炉は、その設置場所の条件に適合した利用が可能であろう。表4に、高温ガス炉の適用分野別の設置場所を、

表4 適用分野別の設置場所

<発電分野>	
ケースA：都市近郊（老朽湾岸火力発電プラントの代替など）	
ケースB：発展途上国	運転や建設に高度の技術を必要としないため、発展途上国での原子力利用を推進するのに適している。
ケースC：離島・人工エネルギー島	モジュール構成のため、離島・人工エネルギー島などへの設置が容易。また、中国のように、広大な国土に孤立した電力供給地帯が存在するようなケースにも対応できる。
ケースD：寒冷地、山間地	余熱を効率的に地域暖房用に供給可能で、寒冷地立地にも適している。また、高効率で廃熱が少なく、大量の冷却水の得られない山間地等の立地にも適している。
<熱利用分野>	
熱利用で最も重要なことは需要地（コンビナート等）と近接して立地ができることである。モジュール高温ガス炉は、需要側に適合した温度を供給できるだけでなく、需要地近接立地にも適しており、熱利用には最適である。	

（出典：高温ガス炉プラント研究会資料）



（出典：高温ガス炉プラント研究会資料）

図18 高温ガス炉の特徴と設置場所

図18に高温ガス炉の特徴と設置場所の関係を示す。

5. 最近の研究開発の動向

最近の内外における高温ガス炉の研究開発の主たる動向として、以下の3点をあげることができる。第1に、海外において（中国、南アフリカ連邦、インドネシア、ロシア等）高温ガス炉導入への新しい動きがある。第2に、高温ガス炉の実用化のためには、国際協力のもとに研究開発を進めてゆくことが必要であるとの認識が高くなっている。第3に、そのような高温ガス炉に関する研究開発を進めてゆくうえで、わが国の高温工学試験研究炉が、重要な役割を果たすべく、国際的に期待されている。以下に、内外での研究開発の概要を紹介する。

(1) 海外における最近の動向

(ア) 実験炉の建設

中国において、実験炉HTR-10(熱出力10MW)が建設中で、1999年初頭に臨界予定である。ペブルベット型炉心で、冷却材ヘリウムの原子炉出口温度は、第1期計画では、700℃であり、蒸気タービン電熱併給である。第2期計画では、ヘリウム出口温度900℃で、ガスタービン発電と高温プロセス熱利用(石炭ガス化、液化等)を目指している。

(イ) 実用炉計画

米国：モジュラー型ガスタービン発電プラント(GT-MHR, 600MWt)の概念設計をロシアと共同で実施中。なお、商用HTGR開発予算は打ち切り。

ロシア：原子力庁(MINATOM)が米国

GA社とGT-MHR実証プラントの開発協定を締結(1993年4月)、1995年2月より概念設計を開始。

ドイツ：電熱併給実用炉(HTR-モジュール200MWe)の予備安全審査を終了(1990年4月)以降、計画は進んでいない。

南アフリカ連邦：電力供給委員会(ESCOM, Electricity Supply Commission)が、ガスタービン発電プラント(100MWe/モジュール)を、安全性の高い分散型電源として、導入を検討中。2003年の運転開始を目標。

(ウ) FS/概念設計

ドイツ：原子力基本法改正(1994年)を背景に、ユーリッヒ原子力研究所(KFA, Kern Forschungs Anlage Jülich GmbH)でカタストロフ・フリー原子炉の概念検討とR&Dを実施中。

オランダ：WHITE(Widely Applicable High Temperature Reactor)計画として、原子力再興の有力な候補炉型として検討中。

インドネシア：天然ガスに含まれている多量のCO₂のメタノール化プラントのFSをIAEA(国際原子力機関)との協力のもとに計画。石炭ガス化・液化、重質油回収、海水淡水化、小型発電プラント等の可能性も検討中。

(エ) 研究開発

IAEA：国際協力研究(CRP, Coordinated Research Programme)として、日本原子力研究所のHTTRを利用した熱利用システムの実証試験を計画。

スイス：臨界実験装置“Proteus”によるペブルベット炉心の国際共同実験を実施。

(2) 国内における最近の動向

日本原子力研究所：高温工学試験研究炉 (HTTR, 熱出力30MW) を建設中で、1997年10月臨界予定。HTTRに接続する水素製造システムの設計・建設および高温発電(ガスタービン発電)、高温ガス炉熱利用系について研究中。IAEAのCRP-4でHTTRによる熱利用系実験計画を原研を中心として検討中。図19にHTTR建設工程を示す。

(注)日本原子力産業会議：原子炉熱利用懇談会において、高温ガス炉の利用について検討された。

高温ガス炉プラント研究会：技術的、社会的側面からの調査・検討を実施中。(研究会メンバー構成は、現在、電力関係4社、

機器製造関係6社、燃料関係1社および若干の学識経験者である。事務局は、(財)エネルギー総合工学研究所)

学会関係：(社)日本原子力学会、(社)機械学会において高温ガス炉関連の調査・検討が行われている。

大学関係：幾つかの大学においても、高温ガス炉およびその熱利用系関連の要素技術研究を実施中。

原子力長計：平成6年6月に改訂された原子力長計では、第4分科会報告書の中で、HTTR計画の推進ならびに新しい原子力生産利用システムの研究開発について記述されている。



(出典：高温工学試験研究の現状 (1993))

図19 HTTR建設工程 (実績と予定)

6. 問題点・課題

上述したごとく、高温ガス炉は、なお研究・開発を続ける必要があるが、その際、特に重要と思われる問題点・課題を以下に記述する。

わが国のエネルギー政策における原子炉熱利用の位置づけ、開発すべき熱利用システムの選定と開発計画および開発体制の検討が重要である。

高温ガス炉プラントの実用化のためには、実証炉運転による実用プラントとしての実証が必要である。第1章でも既述したごとく、高温ガス炉の導入は、世界的視野で計画されるべきものであり、第5章で記述したように、国際協力による実証炉計画の具体化が望まれる。

高温ガス炉の高度化・実用化のためには、固有の安全性の実証、高温核熱利用系の開発、実用炉用の機器の開発等、の課題がある。このような課題の解決のために、HTTRが有効に利用されねばならない。

高温ガス炉は、需要地近接立地の可能性があることが特徴の一つであるが、それを可能にするためには、メカニスティック・ソースターム*の採用等、安全設計や安全評価に関し、更なる検討が必要である。

高温ガス炉の社会への導入に当っては、経済性の評価が重要であることは、論をまたない。経済性の評価においては、環境、資源、

安全等の側面から、いわば高温ガス炉の社会的効果についての経済的評価が行われることが大切である。

7. 結 言

高温ガス炉は、第1章に述べたように、軽水炉・高速炉路線と相補的な役割を果し、原子力エネルギーの利用の拡大に寄与し、国内外において、人類の福祉に貢献することが期待される。このような世界的視点に立って、原子力先進国であるわが国においても、高温ガス炉の研究開発が推進される必要があり、国際協力の面も含めて、より具体的な方策の検討が望まれる。

最後になったが、(財)エネルギー総合工学研究所の関係者にも、心から謝意を表する。

〔参考文献〕

本稿を草するにあたって、以下に記す内外の資料を参考にした。ここに、厚く御礼申しあげる。

- (1) 「地球環境保護への貢献をめざして」(財)日本原子力産業会議 原子炉熱利用懇談会・調査研究グループ 平成4年3月
- (2) 原子力図面集 原子力文化振興財団 1994年
- (3) 高温工学試験研究関連諸資料 日本原子力研究所
- (4) 工藤氏修士論文(東海大学) 1993年
- (5) GA社 高温ガス炉関連諸資料
- (6) 高温ガス炉プラント研究会諸報告

*メカニスティック・ソースターム：事象のなりゆきを解析し、それにもとずいて評価される、格納容器内または環境中への放射性物質の放出量



(寄稿)

米国における電気事業構造の現状と将来*1



飯沼芳樹 (社)海外電力調査会
調査部 主任研究員



1. はじめに

電気事業は、世界的に大きな変化の時代を迎えている。発電部門の参入規制緩和による競争導入、競争を前提とした電気事業への再編の動きは、英米両国を初めとして世界的な潮流となっている。さらには、電気事業構造の変化とともに、電気事業者が一国内に留まる単なる公益事業者から、国境を越えたグローバルな事業者へと変貌しつつある。

このような電気事業構造における変化の先例として、また最近とみに変化のスピードを加速させ注目されているのが、米国における電気事業再編の動きである。周知のように、米国ではブッシュ政権下の1992年にエネルギー政策法 (EPA Act) が成立し、競争が連邦大での電力政策として採用された。さらに1996年4月には、連邦エネルギー規制委員会 (FERC) が MEGA 規則 (送電線の開放、回収不能費用問題および情報ネットワークに関わる規則) を決定し、卸電力市場における競争条件の整備が図られた。

州レベルでの電気事業再編の動きも EPA Act 成立以来加速している。カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC) が1995年12月

に決定した小売部門での競争を前提とした再編政策を始めとして、殆どの州の規制当局あるいは議会の場で、電気事業再編の問題が論議されつつある。

本稿では、米国電気事業が現在どのような規制緩和の流れの中にあるのかについて明らかにするとともに、予想される新たな電気事業構造を俯瞰する。具体的には、公益事業規制政策法 (PURPA) 発効以来の規制緩和動向を簡単に見た後、最近の連邦・州レベルでの再編動向から、21世紀初頭の米国電気事業を特徴づけられると思われる供給システムを展望してみたい。

2. 自然独占性を失った発電部門

(1) 「問題」の顕在化

米国電気事業は、第二次世界大戦後から1960年代中頃まで、最も安定していた時期として特徴付けられる。豊富かつ低廉な化石燃料、技術進歩による発電設備の大規模化と熱効率の改善などによる発電コストの低減を反映し、米国の電気料金は、この期間実質料金は低減している。いわゆる規模の経済による利益を供給側、需要側とも謳歌していた時期である。

*1 本稿における筆者の見解は個人的見解であることをお断りしておく。

しかし、第一次石油危機以後のインフレ、利子率の高騰によって、1970年前後に計画していた大規模ベースロード設備の建設コストや資本コストが大幅に増加した。それに加えて、電気事業者は「1970年国家環境政策法」への対応を迫られたため、建設計画が大幅に遅れ、これも建設コスト高騰の一因ともなった。結果として、電気事業者は電気料金的大幅な値上げを迫られたが、おりからの不況と料金上昇による価格効果によって、需要が大幅に落ち込むことになる。主要な電源である大規模汽力発電設備の技術進歩が停滞し、熱効率改善の頭打ちが見られ始めたのもこの時期である。

また、大幅な料金値上げに対する消費者による規制側への圧力の結果として、州規制当局は適性審査制度（Prudence Review）によって電気事業者の経営判断を事後的に厳しく問うようになった。Black And Pierce の研究によれば、同制度によって1985年～1992年の期間だけで、原子力への投資コストの内224億ドルがレートベース算入を認められていない。この制度の存在が、電気事業者が自ら発電設備建設を逡巡するようになった主たる原因でもある。

(2) PURPAの成立

大規模発電施設の経済性が低下し始めていた時期を同じくして、カーター政権下の1978年にPURPAが発効した。PURPAは資源の効率的利用を定めた法律であり、一定の資格要件を満たした小規模発電施設とコージェネ施設は認定施設（QF）の資格が得られ、電気

事業者はこれら施設から回避可能原価（Avoided Cost）で買電する義務を負うことが定められた。

PURPAの成立は、同法に規定されている要件を満たせば発電市場への参入を可能にしたという意味で、米国電気事業の規制緩和の始まりといえることができる。このような法律の成立が、1994年末現在の全米発電設備の8.0%（エジソン電気協会データ）、発電電力量の11.3%（1994年）を賄うまでに成長した非電気事業者*2を育成する上で有効であったと言える。非電気事業者による発電電力量は、1979年の714億kWhから1994年には3,720億kWhと約5.2倍増となっている。他方、電気事業者の発電電力量は、同期間に2.2兆kWhから2.9兆kWhへと3割程度増加しているにすぎず、非電気事業者発電電力量の伸び率には目覚ましいものがある。また、非電気事業者の発電電力量の内電気事業者向けの比率は、1979年時点では僅か8%であったのが、1994年にはこの比率が55%となっている。この数値からも、PURPA発効当時の非電気事業者発電設備は主に自家消費用だったのが、最近では電気事業者向けに売電することを目的として発電設備が建設されていることが窺える。

(3) QFの登場

非電気事業者発電設備は、1994年末現在、6,501万kWある。この内76%がQFである。全米レベルの比率で見ると限りにおいてはそれほど多くはないが、特定の州では、非電気事業者設備の州内設備に占める比率、絶対量からして、既に供給力として不可欠な存在になっ

*2 非電気事業者発電設備には、QF、IPP、自家発自己消費設備が含まれる。

ている。地域的にバラツキが見られるのは、回避可能原価の高低、州規制当局の PURPA 運用上の積極性、資源の賦存状況の違いなどによるものである。

米国で革新的な規制政策を打出す州の一つであるカリフォルニア州を例にとれば、同州には地熱、風力、太陽といった再生可能エネルギー源が賦存していることや、標準契約様式であるスタンダード・オファー (SO) 制度を採用、取分け長期契約で料金を固定化した種類 (SO4 と呼ばれている) のものが QF 育成に効果があった。結果として、同州の主要電気事業者であるサザンカリフォルニア・エジソン (SCE) 社やパシフィックガス&エレクトリック (PG&E) 社の場合、最近では最終需要家に対する販売電力量の3~4割程度は QF からの買電に依存している。

しかし、SO4 は固定料金であるが故に、回避可能原価算定上の燃料価格が予想とは異なって低価格で推移したこともあり、結果的に最終需要家が QF に対し補助を与えることになった。したがって、QF 取引から得られる便益は全て QF に帰属することになり、消費者にとってはエネルギーの安全保障という公共財は得られたが、何ら直接的な便益は得られなかった。カリフォルニア州では、こうした固定料金による電気事業者から QF への過払い問題や、QF のオファーする設備量が過剰気味になったため、1985年に SO4 は実質的に廃止され、その代わりに競争入札制度が採用されている。同様の例は競争入札が米国で

最初に導入されたメイン州やニューヨーク州でも見られた。

QF の興隆が意味するところは、伝統的な垂直統合した電気事業者のみが供給源である必要がない、言い換えれば発電部門への競争導入の可能性を示唆したということであり、このような意味で PURPA はその後の電気事業構造に多大なインパクトを与えることになった。

だが、現在にいたって競争政策導入の成功例として PURPA がとりあげられることがあるが、当初から競争を意図していたわけではない。公的規制によって実質的に参入が困難な発電市場に、QF のような供給義務を負わない発電業者にも参入を認める時代状況があったということがより重要である。

(4) IPP の現状

PURPA の QF の他、米国発電市場で大きな役割を果たしつつあるのが独立系発電事業者 (IPP) と呼ばれているものである。IPP については、エネルギー政策法 (EPA 法) 発効までは法律上存在しない発電業者であったが、同法によって発電部門の参入障壁となっていた公益事業持ち株会社法 (PUHCA) が改正され、「適用除外卸発電業者 (EWG)」という新しいタイプの発電業者が法的に認知された。この EWG が実質的に IPP ということになる*3。IPP を法的に認知するに至った背景には、QF の電源オプションとしての評価が一応定着し、発電市場のプレーヤーを増

*3 厳密には、1990年に改正された大気浄化法の中で IPP が定義されており、IPP 施設とは、①電気エネルギーの発電に使用され、その80%以上が卸用に販売され、②資金調達についてはノンリコースファイナンス、③特定の場合を除いて、施設の所有者あるいは運転者の関係者に売る電気エネルギーを発電しない、④排出権を所有することを義務付けられた新規ユニットと定義されている。

やすことによって競争を促進することができ
る一方、現実の市場に既にそのようなプレー
ヤーが出現しつつあったという背景がある。
なお、連邦レベルの電力政策として、正式に
競争政策が採用され、また電気事業者が世界
的なレベルで事業を展開し始めたのもこの
EPAAct からである。ただし、RCG/Hagler 社
の調査によれば、1995年3月現在で運転中の米
国内のIPP施設はプロジェクト数で11、容
量では276万kWに過ぎない。開発中のものは
44プロジェクト、計1,551万kWとなってい
る。したがって、IPP設備が米国総発電設備
に占める割合は、現在1%程度と未だ微々た
るものでしかない。

(5) 小規模発電技術の進歩

また、ガスタービン技術の進歩も近年急速
であり発電部門を競争化させる一要因となっ
ている。Studness 論文によれば、コンバイ
ンドサイクル・ガスタービンの技術進歩は目覚
ましく、現在20万kWクラスのプラントの建
設コストは550ドル/kWhくらいであり、ガス
価格が2ドル/100万BTU、資本コストを12%
とすると、発電コストは約3セント/kWhとな
り、非常に安価な電源である。また、この技
術の長所は、小規模でも規模の経済性を得る
ことができるという点である。10年前には、
石炭火力プラントの場合、70万kW~100万kW
級(建設コスト:10億ドル~15億ドル)で規
模の経済性が得られたが、現時点ではコンバ
インドサイクル・ガスタービンであれば、10
万kW級(建設コスト:5,000万ドル~6,000万
ドル)で経済性が得られると言われている。し
たがって、特定の地域用の電源としても費用
対効果があるとともに、資本コストが発電市

場の参入障壁にもならない。FERCの調査で
も、1980年代に建設された電気事業者の大規
模プラントの発電コストは、石炭火力の場合
が4セント/kWh~7セント/kWh、原子力が9
セント/kWh~15セント/kWhであることか
ら、電気事業者所有の大規模発電プラントの
経済性は、ガス焚きのコンバインドサイク
ル・プラントと比較するとかなり劣るものとな
っている。

3. 送電線の開放と託送料金

(1) 送電線開放に至る経移

発電部門での自然独占性が失われたとして
も、送配電部門については依然として自然独
占性が残る。したがって、発電市場の参入障壁
を撤廃したとしても、それだけでは卸電力市場
は活性化しない。電気の輸送手段である送
電線を電気事業者が独占しているからである。

このため、連邦議会は1992年にEPAActを
成立させ、この中で送電線に関わる規制法源
である連邦動力法(FPA)を改正し、規制機
関であるFERCの託送命令権限を強化し、実
質的に米国の送電網は開放の方向で動き出し
た。EPAAct発効後、28件(1996年3月末現在)の
託送命令申請がFERCに提出され、12件の申
請については実際に託送命令が出されている。

しかしながら、FERCはFPAによる託送
命令権限の強化だけでは、電気事業者の送電
線利用に関わる差別的慣行を是正するには十
分ではないとの認識を持っていた。また、仮
にFPAによって是正されたとしても、
FERCが最終的な判断を下すまでには平均9
カ月を要しており、この間に、卸電力市場が
益々競争的になっている状況下、経済的利益
の機会が失われる懸念を指摘していた。合

併・卸料金認可条件としてオープンアクセスを採用している電気事業者についても、その内容は、地点間送電サービスだけであり限られたものであるとの認識を持っていた。

このため、1995年3月FERCは、全米の送電線をコモンキャリア化することを狙った規則案を公示した。この規則案は回収不能費用に関わる規則案、並びに電気事業者に送電線に関わる情報システムの構築を求めた規則案とともに公示された後、1996年4月に規則として決定（オーダー888及び889）され、今後米国電気事業構造に歴史的変化をもたらすものと思われる。

(2) MEGA規則の目的と骨子

MEGA規則^{*4}の基本目的は、卸電力市場における競争の障害を除去し、電気料金の低廉化を促進することにある。この競争の卸電力市場の鍵となるのが自然独占性が残る送電線の開放である。非差別的な送電線利用が、売電事業者にとっては公正な競争上の能力、買電事業者にとっては最小費用の発電源へのアクセス能力を保証する上で決定的に重要であることは言うまでもないであろう。

また、回収不能費用の回収を認めた規則は、経済効率よりもむしろ政治的立場から、競争を前提とした電気事業システムへの秩序ある移行を目的としたものと言える。すなわち、伝統的な規制システムの基で規制当局が認めた費用は、社会契約によって回収が認められた費用であり、競争を前提としたシステムへ

移行するにあたり、これら費用についての規制当局と電気事業者の間の「盟約」は尊重しようとの考え方である。

具体的には、MEGA規則の骨子は以下のようなものである。

■ 州際通商用の電気エネルギーを送電するための施設を所有、制御あるいは運転する電気事業者は

- ① 送電線の開放を前提とした非差別的な送電サービス供給規定によって自社、他社を差別することなく送電線を運用しなければならない
- ② 自社の卸用電力の売買についても、同送電サービス供給規定によって自社の送電線を利用しなければならない
- ③ 送電線利用者が利用可能な送電容量等、送電線に関わる情報に非差別的にアクセスできるような情報システムを構築しなければならない。

■ 電気事業者は発送電サービス機能を分離しなければならない。ここで、発送電サービス機能の分離とは

- ① 電気事業者が新規に卸用電力を売買するために自社の送電線を利用する際にも、一般適用される非差別的送電サービス供給規定によって利用しなければならない
- ② 電気事業者は卸用発電サービス、送電サービス、並びに補助的サービスそれぞれについて料金を設定しなければならない
- ③ 送電線利用者が依拠する情報システム

*4 送電線の開放を目的とした規則、競争を前提とした電力供給システムへの移行期に発生することが予想される回収不能費用の問題に関わる規則、並びに送電線利用者が送電線に関わる情報にアクセスできるような情報システムの構築を求めた規則からなり、今後大きなインパクトを与えることが予想されることから、通称MEGA規則と呼ばれている。

と同じ情報システムによって電気事業者は送電線関連の情報を得なければならないの3つの条件を意味する。

- 電気事業者は正当 (legitimate) 且つ結果として適正 (prudent) であり、証明可能 (verifiable) な回収不能費用を回収することができる。回収不能費用を誰が負担するかについては、離脱する需要家が離脱料金、あるいは送電料金に上乘せされる付加金によって負担することになる。

規則施行の結果として、米国の殆どの送電線 (FERC が規制する施設：全米の送電施設の約8割) は、本規則の施行により実質的にコモディティとなり、送電線利用者は差別されることなく送電線を利用できることになる。また、発電機能を分離するため、発電価格、送電価格、補助的サービス等の価格も明記されることになり、少なくとも機能的には伝統的垂直統合形態が崩れることになる。

(3) 送電料金問題の現状

送電線問題でもう一つの重要な問題は、料金問題である。託送料金は、米国では伝統的に簿価に基づく平均費用 (総括原価) によって決められてきた*5。しかし、簿価であるため現在価値を反映しておらず、新規送電線を必要とするような送電サービスの料金は、実質よりも一般的には安いものとなる。また、限界送電ロスが平均送電ロスよりも高くなれば、平均費用による料金ではロス分を全部回収できない。さらに、第三者の送電線利用を優先させることになれば、送電線を所有して

いる電気事業者は経済融通用の送電線利用ができなくなり、結果として経済融通による便益を犠牲にしなければならないことになる。

こうした機会費用も、平均費用原理による料金設定では考慮されていなかった。したがって、送電線を所有している電気事業者にとっての託送料金は低すぎるものであり、電気事業者が積極的に第三者に送電線を開放するインセンティブが乏しかったと言える。さらには、ループフローのような契約上の送電ルートを通らないような潮流に関わる費用、いわゆるフリーライダーの問題も考慮されていなかった。

こうした問題を考慮して、FERC は一時期ケース・バイ・ケースではあるが、単なる総括原価による料金設定ではなく、機会費用及び増分費用も考慮に入れた設定も認めるようになった。さらに、1994年10月には託送料金設定のガイドラインとなる「送電政策ステートメント」を発表し、料金設定に当たっての原則を明らかにしている。

このステートメントによって、料金設定におけるコスト計算方法、潮流、送電線の分類方法それぞれについて、電気事業者に選択肢を与え、これら選択肢の組み合わせによる送電料金設定が可能となった。選択肢には、距離を反映した料金設定方法や、実際の潮流に基づく料金設定方法等これまで認められていなかった料金設定方法も含まれている。こうした新しい料金設定方法を FERC に認可してもらうためには、経済効率の改善、公正の促進等の条件を満たす必要があるが、伝統的な料金設定方法に比べれば電気事業者にとっ

*5 Postage Stamp あるいは Contract Path と呼ばれている料金設定方法である。

て裁量の余地が増えたと言うことができる。

また、最近ではカリフォルニア州の電気事業再編政策に見られるように、送電線の混雑費用を文字通り機会費用として送電料金に反映させるような設定方法（地点別料金設定方式）*6も採用されるようになり、送電部門にも市場メカニズムが導入されつつある。

以上のように、米国の送電線は実質的にコモディティとなりつつあり、その料金も伝統的な設定方法から、実潮流並びに混雑費用のような限界費用を反映した料金設定方法が採用されつつある。

4. 小売り託送と再編問題

(1) 現実化する小売部門の競争

送電線利用が開放となれば、次の問題は最終需要家を巡っての競争、具体的には小売り託送を認めるかどうかの問題となる。すなわち、発電部門での競争を有効なものとするためには、競争を卸電力市場に留めるのか、あるいは最終需要家が直接発電事業者や供給事業者から買電することが可能となるようなシステムが良いのかどうかの問題を検討しなければならないことになる。

小売託送が米国において制度的に採用される可能性は、EPA Act 成立時点頃までは伝統的な電気事業体制や規制システムを前提としており、低いと見るのが一般的であった。しかし、英国等の先行例もあり、最近ではカリフォルニア州の電気事業改革に見られるように、電気事業の再編を前提として、最終需要

家が供給事業者を選択できるような供給システムを模索し始めている。このような動きは、カリフォルニア州の他、ニューハンプシャー州、ロードアイランド州、ニューヨーク州、ウィスコンシン州等16州で具体化しつつあり、その他の州でも少なくとも14州で小売託送について検討しつつある。

州レベルでの動きに呼応して、連邦議会でも電気事業再編問題が論議されつつある。既に再編法案が幾つか上程されているが、中でもシェーファー下院議員が1996年7月に上程した「1996年電力消費者選択法案」が注目されている。同法案は、全ての最終需要家に2000年までに供給事業者を選択する権利を与える一方で、供給事業者の選択権を需要家が持った場合、PURPA の買電義務条項 (210条) を廃止する等の内容となっている。現議会では成立しないとの見方が多いが、将来的には成立する可能性が高いと言われている。

(2) カリフォルニア州が採用した電力供給システム

こうした小売託送制度の導入を含め、新たな電気事業システムを模索している例として注目されているのが、CPUC が1995年12月に決定した電気事業再編政策である。カリフォルニア州が電気事業再編に着手した背景には、規制システムが実際の電力市場にそぐわなくなったこと、また電気料金が全米平均と比較しても50%高いという現実がある。

1992年以来、同州では州内の電気事業規制

*6 地点別料金設定方式は、短期限界費用原理に基づいており、一般的に、送電施設の固定費用についてはアクセス料金によって回収する二部料金制になる。元々は、MIT のシュエップ教授を中心としたグループが提唱したスポット・プライシングが基になっており、その後ハーバード大学のホーガン教授が発展させ、カリフォルニア州やペンシルバニア・ニュージャージー・メリーランド・パワープール (PJM) 等で実際に応用されはじめた料金設定方法である。また、ノルウェー等でも同様の料金設定方法が採用されている。

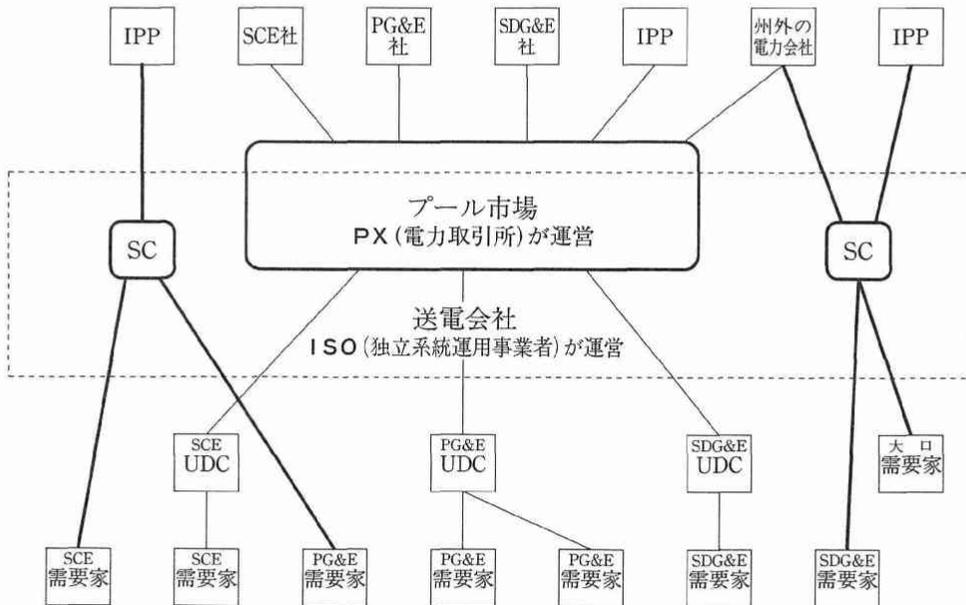
について検討を重ねていたが、公益事業委員会は、1995年5月、電気事業再編案として、卸用電力のスポット市場の設立を再編の核とする案 (Poolco 案) と直接アクセス (小売託送) 案を両論併記の形で発表した。この両論併記自体、関係者間でコンセンサスが得ずらい問題であることを象徴していた。同州の主要な電気事業者である SCE 社が Poolco 案、PG&E 社が直接アクセス案のスポンサーであり、私営電気事業者間でも意見を異にしていたのみならず、大口需要家、消費者団体、IPP、環境保護グループ等多くの関係者の利害に関わる問題であることから、容易にはコンセンサスが得られそうにないことだけは確かであった。

このような結果として、1995年12月に決定

された最終的な再編政策は妥協の産物と言わべきものであり、卸用プール市場と直接アクセス制度を1998年1月までに同時に導入するハイブリッド型供給システムを採用することで決定した。

決定により、私営電気事業3社 {SCE社、PG&E社、サンディエゴガス&エレクトリック (SDG&E) 社} の垂直統合形態の分離を前提として、私営電気事業者3社の送電施設を新たに設立される独立系統運用事業者 (ISO) に移管し、卸用電力のスポット市場としての電力取引所 (PX) も設立されるとともに、直接アクセス制度導入による小売部門での競争も実施されることになった (図参照)。

(3) カリフォルニア州供給システムの特徴



注1. SCは、スケジューリング・コーディネーターであり、電力取引に関して売手と買手及びISOの間の仲介的役割を果す。

注2. UDCは、電気事業配電会社であり、全ての需要家に配電サービスを提供するのに加え、UDCから供給を受けることを選択した需要家に対し供給する。送電施設は所有するが、運転はしない。

注3. 太線は直接アクセスによる取引を示す。

出所：CPUC資料より作成

図 加州新電力供給システムの概念図

私営電気事業者3社の送電施設がISOに移管されることになったのは、基本的には自然独占性が残る送電部門を私営3社が所有・支配することによる市場支配力の行使を未然に防ぐことを狙いとしている。また、ISOとPXをあえて分離した理由としては、仮に分離しないとしたならば、ISOがプール外での取引よりプール内の取引が優先される懸念がある一方、系統運用と系統の混雑についての情報の透明性が確保できる等分離による利点を指摘することができる。しかし、他方で分離される結果ISOとPXの調整が複雑化し、経済的給電も妨げることになり、取引費用がかなり増加する可能性がある。

このスポット市場であるPXへの参加は任意であり、私営電気事業者、連邦の電力局、IPP、州外の電気事業者等全ての発電事業者が参加できる。ただし、州内の主要私営電気事業者である、SCE社、PG&E社、SDG&E社の3社は、移行期間として設定された5年間についてはプールへの参加を義務付けられる。

PXは、取引前日及び取引一時間前の先物市場からなり、発電事業者は時間帯別にプールに入札することにより競争する一方、買電事業者も入札に参加することになる。しかし、既存のQFとの買電契約及び卸契約と、私営電気事業者の原子力と水力プラントについては入札から除外されることになる。したがって、プールで決定される価格が、本来的に競争が有効な市場で決定される均衡価格からどれだけ乖離したものになるかは、現在のところ不透明である。

さらに、英国の経験からもSCE社やPG&E社の水平市場での市場支配力の問題が懸念されることから、両社は化石燃料焚きの火力

発電プラントの少なくとも50%以上を売却、あるいは分社化することを求められている。これに対し、SCE社は全ての化石燃料焚きプラント(1,000万kW)、PG&E社も300万kW分を売却する意向を既に明らかにしている。

一方最終需要家は、直接、供給事業者を選択できるようになる他、いくつかの選択肢が与えられることになる。計画では1998年1月1日までに、ISOとPXが運営が開始されると同時に直接アクセス制度の段階的導入が開始され、5年以内に全ての消費者がこの選択肢を有することになる。また、メーターを設置している需要家には、リアルタイム及び時間帯別料金制度が利用可能となる。消費者の選択肢として、差額支払契約(Contracts for Difference: CFD)のようなりスクヘッジのための契約を締結することも可能である。

以上のようなカリフォルニア州の電気事業再編の枠組みは、米国における新しい電力供給システムの雛形ともいべきものであり、カリフォルニア州の米国内における影響力を考えれば、他州もカリフォルニア州に追随し、同じような電力供給システムに収斂していく可能性が強い。このシステムとは小論で見たように、伝統的な発送配電一貫システムは分離され、競争が馴染む分野については市場メカニズムを利用し、送電線、配電線のような自然独占性が残る部門についてはコモンキャリア化し、消費者が供給事業者について「選択の自由」を与えられるシステムということになる。

5. おわりに

小論では、世界的な潮流となった電気事業規制緩和の代表的例として、米国を取り上げ

た。本論からも察せられるように、米国の規制緩和のスピードは英国等とは異なり漸次的なものであったが、90年代に入り急激に加速し始め、小売部門での競争も全米大で西暦2000年前後に現実化しそうな状況にある。

このような競争を前提とした電気事業に移行するにあたって、供給義務の問題を含め残された課題は多い。しかし、米国における変化の流れの方向、あるいは新しい供給システ

ムの輪郭だけは明らかになりつつあるように思える。その流れの基本的意味とは、電気という財がますます一般商品に近づきつつあるということである。言い換えれば、これまで電気は単一の公共財として捕らえられてきたのが、多様なサービスから構成される財として様々なサービスに分離されるとともに、文字通り私的財として取り扱われる電気事業構造が、米国では形成されつつあると言える。

参 考 文 献

Black, Bernard S. And Pierce, Richard J. Jr. (1993) "The Choice Between Markets And Central Planning in Regulating The U.S. Electricity Industry", Columbia Law Review, Vol. 93, October, pp.1339-1441.

California Public Utilities Commission. (1995) Customer Choices Through Direct Access: Charting A Sustainable Course To A Competitive Electric Services Industry. May.

California Public Utilities Commission. (1995) Proposed Policy Decision Adopting A Preferred Industry Structure, May.

California Public Utilities Commission. (1995) Order Instituting Rulemaking on the Commission's Proposed Policies Governing Restructuring California's Electric Services Industry and Reforming Regulation, Decision 95-12-063, R.94-04-031, I.94-04-032, Dec.20, 1995, as modified, Decision 96-01-009, Jan.10, 1996 (Cal. P.U.C.), published at 166 PUR4th 1.

Edison Electric Institute. (1995) 1994 Capacity And Generation Of Non-Utility Sources Of Energy, Washington D.C. : Edison Electric Institute.

飯沼芳樹「米国卸電力市場における競争の考察」『公益事業研究』第45巻第2号, 1993年12月, 55-75ページ。

Studness, Charles. (1995) "Electric Restructuring: An Urgent Proposal", Public Utility Fortnightly, November 1, pp.39-42.

RCG/Hagler Bailly. (1995) U.S. Independent Power Market: 1995 Status And Trends, Profile IX, March, Arlington, VA: RCG/Hagler Bailly, Inc.

The US Federal Energy Regulatory Commission. (1994) Inquiry Concerning The Commissions Pricing Policy For Transmission Services Provided By Public Utilities Under The Federal Power Act, RM93-19-000, October.

The US Federal Energy Regulatory Commission. (1995) Promoting Wholesale Competition Through Open Access Non-Discriminatory Transmission Services By Public Utilities, RM95-8-000, March.

The US Federal Energy Regulatory Commission. (1995) Recovery Of Stranded Costs By Public Utilities And Transmitting Utilities, RM94-7-001, March.

The US Federal Energy Regulatory Commission. (1996) Promoting Wholesale Competition Through Open Access Non-discriminatory Transmission Services by Public Utilities; Recovery of Stranded Costs by Public Utilities and Transmitting Utilities, Order 888, Final Rule.

Pacific Gas and Electric Company, San Diego Gas & Electric Company and Southern California Edison Company, Joint Application of Pacific Gas and Electric Company, San Diego Gas & Electric Company and Southern California Edison Company for Authority to Sell Electric Energy at Market-based Rates Using a Power Exchange, Docket No. ER96-1663-000, April 1996.

〔寄稿〕

CO₂の低減と処分についての内外動向

— CO₂ 海洋処分技術を中心に —



大隅多加志 (勸電力中央研究所 我孫子研究所
環境科学部 首席研究員)

1. はじめに

地球温暖化問題は、いまや国際政治上の大きな問題となっている。本年12月には、わが国が主催国となって「国際連合気候変動枠組条約（いわゆる地球温暖化防止条約）」の第3回締約国会議が京都で開催されるはこびである。この会合では、2000年以降、先進国に対する法的拘束力を持つ二酸化炭素（CO₂）排出削減の数量目的が取り決められることになっており、先進諸国は、CO₂排出削減のための政策措置の具体的な検討が急務となっている。

豊富で安価な化石燃料資源の供給が、先進国における現在の高い生活水準を支えていることについては、ここで改めて指摘するまでもないであろう。その化石燃料の利用から不可避免的に大気中に放出されるのが、CO₂気体である。進行しつつある大気中へのCO₂の蓄積を主な原因として、文明社会が大きな犠牲なくしては適応できないほどの気候変動が到来する危険性が高まりつつある。このことは、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の1995年の第2次評価報告書にも指摘されている。速やかな対策を求める条約上の要請と、各国のエネルギー政策・産業政策との調整に関して、技術としての対応、特にエネルギー

技術上の対応策についても、多くの検討がなされてきている。

本稿では、この数年、筆者が携わってきたCO₂の海洋処分技術を中心に、CO₂の低減と処分についての内外の動向を、今後の見通しをまじえて紹介する。筆者の専門は地球化学（geochemistry）であり、記述が地球化学からの見方に偏っていることを容赦願いたい。

2. CO₂ 処分の前提

— CO₂ の分離・回収 —

ここで、CO₂の処分とは、人為起源で発生するCO₂を大気圏から隔離する行為を意味している。化石燃料の利用過程でCO₂気体が生成するのは、空気を用いた燃焼の結果であることが通常であるため、排ガスが純粋のCO₂であることはない。ボイラーにせよ内燃機関にせよ、排気ガスの主成分は窒素であり、処分の効率を考えるとCO₂のみを分離する工程が必要となる。

そのための技術は存在している。CO₂を必要とする産業で、なじみ深いのは清涼飲料水のボトリング事業であろう。たとえば清涼飲料水製造工場へCO₂を供給する目的で、発電所排ガスからCO₂を分離することは、米国では実際に行われている。しかし、100万kW級石

炭火力発電所からの年間CO₂排出量は約400万トンに及び、これに比較するとわが国のCO₂の年間需要量（食品工業や冷却剤としての用途など）は約100万トンである。処分のための排ガス脱炭工程では、桁違いの大容量化の実現という技術課題が存在することが理解されよう。そうはいっても、工業技術として実用化ずみのものの大容量化である。技術的な見通しが立たない問題ではない。むしろ、分離と回収に伴う所要エネルギーの大きさが、燃焼で得られる有効なエネルギーの10~20%にも及び、それが排ガスからのCO₂回収処分方策をそもそも「エネルギー資源の無駄遣い」であるとする躊躇を生む主因である。

3. CO₂ の輸送

米国テキサス州では、CO₂輸送のためのパイプラインが存在している。油田からの原油の2次・3次の増進回収法（EOR：Enhanced

Oil Recovery）として、CO₂攻法と呼ばれる手段が実用化されており、CO₂を地下の油田に圧入する需要家（石油開発業者）向けにパイプラインによってCO₂が取り引きされている。

わが国での一般的な輸送方法は、タンクローリーによるトラック輸送であり、用いられる耐圧容器内には、-20度、20気圧の液体CO₂が充填されている。船舶による大量輸送になれば、耐圧タンクの重量を削減し大容量化をはかるため、CO₂の三重点により近い、-55度、7気圧程度の液体CO₂の採用が想定される。

4. CO₂ の地中処分

前節に述べたEORの技術は、すでに実施中のCO₂地中処分であると言える。今後、炭素税などが広く導入されることになれば、まずEOR向けをねらったCO₂回収が実行されるものと予想されている。CO₂処分技術の模

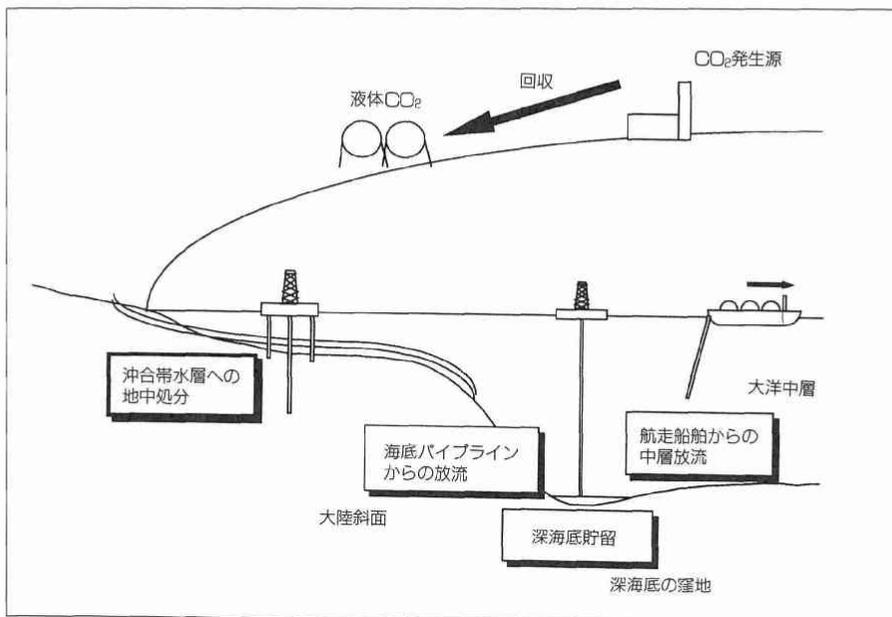


図1 CO₂ 処分技術の模式図

式図を図1に示す。

ここで、地中処分と石油開発との関連で、特に注目される事例を一つ紹介しよう。1996年10月、ノルウェーの国有石油会社スタトイル社をオペレータとする、北海のスライプナー西地区天然ガス田では、沖合地下帯水層へのCO₂圧入が開始された。これは、大気環境保全を明確な目的とする商業規模でのCO₂処分の最初の試みであり、年間規模100万トン、ノルウェーのCO₂総排出量の3%に当たる。

このガス田は、生産する天然ガスに約9%のCO₂を含み、この産出ガスの海底パイプライン輸送にあたっては、腐食防止の技術基準に適合させるため、開発計画の当初から洋上プラットフォーム上でのCO₂除去が予定されていた。今後20年にわたる稼行予定期間中の総除去量はCO₂2,000万トンに及び、そのまま大気放出になるところであったが、ノルウェー政府が石油開発産業に対して、燃焼排ガス以外についても今後炭素税の適用をはかる可能性を考慮して、地中処分を選択したものである。

5. 地中処分と海洋処分の比較

(1) 地中処分の安全性

大気圏からのCO₂隔離という当面の目的達成には、海洋処分も地中処分も一見同等と考えられるものの、その実、両者は大いに異なっている。大量のCO₂の地中処分をねらったとき、想定される処分域は地下帯水層であり、ここに注入されたCO₂は少なくとも数千年間は大気に還流してくることはない。また、地下環境はCO₂の注入によって攪乱を受けるものの、それが大気環境の変動、すなわち気候変動と密接な影響をもつものとは思われない。

気候変動要因となるCO₂を大気圏から隔離するには、まさに最適の場所といえる。

しかし、一方でその実現が困難である要因も指摘されている。一般には、地下は海洋と比較して人間の居住環境に物理的に近接していると認識されており、将来の世代が居住する可能性は、たとえそれがどんなに不毛な地であったとしても、海域に比較したとき、圧倒的に高い。CO₂気体は空気より重く、地上に逸出した場合に窒息という致命的な危険性を排除できないため、地中処分に対する安全面からの反論が、将来世代への責任の議論として十分に予想される。

実際に、1996年9月にボストンで開催された第3回CO₂除去国際会議では、1986年8月カメルーンのニオス湖で発生したCO₂噴出災害(死者約1,700人)を含む火山ガス災害の例が挙げられて、議論が白熱した。実行段階に入った地中処分の技術に対して、社会の理解を得るにはどうしたらよいか模索されはじめている。

(2) 海洋処分における隔離の効果

既存技術である地中処分技術に比較して、海洋処分に関しては技術以前の問題として、大気圏からのCO₂隔離の効果についての微妙な問題が残っている。CO₂を海洋に注入したとき、海水に溶解することが通常は想定されている。しかし、将来の気候変動がある程度不可避であるとすれば、海洋中に溶解したCO₂が気候変動がもたらされたときにも、その条件のもとで大気圏から効果的に隔離されるのかについて、明確に解明されているわけではない。このことは、われわれの文明がCO₂の海洋処分という行為を通じて、どれほ

ど将来にわたって、またどの程度、気候のコントロールに責任をもてるのかという根本問題にさかのぼる。まさに、地球温暖化対策技術としての海洋処分技術の基本的な存立の問題であり、IPCCのような場での科学的な評価が求められるゆえんである。

化石燃料の利用が地球温暖化をもたらすことを懸念して、海洋処分方策が提案されたのは20年前の欧州である。具体的に経済性などが検討されたのは、80年代前半の米国であった。これらを受けて、わが国で具体的なCO₂海洋処分技術の検討が開始されて、8年以上が経過した。多くの研究費が投入され、精力的な検討が進められてきた。

次節以降では、わが国のこれまでの研究の到達点を紹介し、欧米での研究の状況にも触れつつ、特に具体的な技術開発の方向性についての私見を述べることとする。

6. 深海底貯留

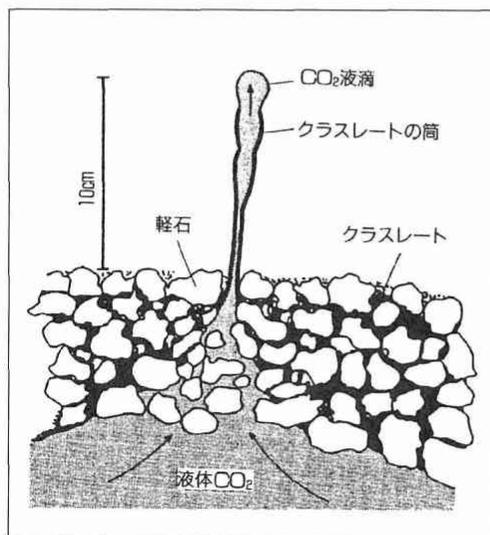
(1) 海洋処分技術開発の端緒

わが国で海洋処分技術の検討がいくつかの研究機関で一斉に開始された1989年、思わぬ新発見がもたらされた。この年の6月、海洋科学技術センターの潜水調査船「しんかい2000」は、沖縄舟状海盆の水深1,300mほどの海底カルデラ調査に従事していた。偶然のことであったが、そこで不思議な光景を目のあたりにし、それをビデオに収めた。

海底から液状のものが漏れ出て浮上してくるのである。薄い膜に覆われた直径1 cm程度の透明な液滴であり、海底の湧きだし部を子細に観察すると、その膜は湧出液体と海水との反応で形成されているように判断された。幸いにも液滴を集めて採取することができ

た。「しんかい2000」が浮上する際には、これが気化してしまうことも観察され、かろうじて採取容器内に残り、回収された気体の分析結果から、液滴は液化CO₂であり、膜状物質の正体は、CO₂を主体とする水和物(ハイドレート)であることが判明した(図2参照)。これまで実験室内でのみ生成され、人為的生成物質としての研究対象であったものが、天然物としての存在がはじめて確認されたとして、米国の科学雑誌「Science」誌に報告された。

ところで、CO₂の海洋処分技術の一つの具体案として、従来から“CO₂ lake”と呼ばれているものが提唱されていた。鍵となるCO₂の物性は、水と比較して液体CO₂の圧縮率が大きいことである。CO₂の液化圧力である水深500 m相当圧での液体CO₂密度は、0.9g/cm³程度であるのに対し、水深3,000m相当圧以上では海水の現場密度を上回るまでの圧縮を受ける。水深3,000m以深の海底には液体CO₂が湖の



出所: "Science", 1990

図2 「しんかい2000」が観察した液体CO₂湧出の様相

ように貯留されうるというイメージは、ここからできあがった。

(2) 深海底貯留方式の可能性

実験研究は、実験室の高圧装置内で、この現象を再現し、あわせて海水と液体CO₂の界面に形成される膜状のCO₂水和物を観察するところからスタートする。世界中でもほとんどわが国だけで実施され、数多くの研究室が1990年以来、この課題に取り組んだ。これらの研究を通じて深海底貯留方式の可能性について解明されたことを筆者なりにまとめてみると、以下のように要約される。

- ① CO₂水和物と平衡にある海水中のCO₂気体の飽和溶解度は、CO₂水和物が生成されない非平衡状態で液体CO₂が海水に溶け込んでいる場合の濃度の1/2程度になっている。この数値により、液体CO₂液面から溶出するCO₂の速度が、膜状のCO₂水和物の存在によって抑制される効果の大きさを説明することが可能である。
- ② 高圧下においてもCO₂が海水に溶解すると海水密度は増加するため、深海底の窪地内に静置されたCO₂液面上の海水中には、下方ほど密度が高く重力的に安定した成層構造が形成される可能性が大きい。海底地形と関係づけてこの密度成層の強さや安定性が十分に理解されているわけではないが、密度成層による物質拡散の抑制効果によって、数千年にわたって液体CO₂が深海底の窪みにとどまることが期待される。
- ③ 膜状のCO₂水和物の厚みが長期にわたって増大する可能性、液体CO₂と海底堆積物（鉱物粒子および間隙水を含む）との相互作用による中和反応、貯留深度を大きくす

ることなどによって水和物のマイクロな構造に変化がもたらされる可能性など、深海底貯留方式によって処分されたCO₂は、海洋環境全体や大気環境からより確実に隔離される可能性がある。

(3) 深海底貯留方式実現のための研究シナリオ

ここで強調したい深海底貯留方式の最大の特徴は、海洋大循環過程を大きく上回る期間、すなわち数千年以上にわたって処分されたCO₂が大気圏から隔離される点である。この処分方式は、人間の生活圏への干渉を最小限にできる点では、地中処分よりも優位にあるとも考えられる。

隔離性能に焦点を絞って研究を進めてゆく場合、現実的には、いかにしてその優れた性能を確証してゆくのか、その道筋を明らかにすることが必要である。確証のための「試験貯留」プロジェクトの立案のためには、実際の深海底窪地内の流動を把握し解明する研究を進めつつ、試験貯留の規模と、その規模に応じて究明できる隔離性能が何なのかを見定めることなど、今後何段階もの研究ステップを踏まねばならない。

数万トン以上の試験貯留規模が可能になるのは、他の方式による処分の開始後と考えたほうが現実的である。ひとことで深海底貯留と呼ばれている“CO₂ lake”という理想的な処分方式が、より明確な概念をかたちづくり、その実現にむけての技術開発研究戦略が策定されるためには、さらに基礎的な研究が必要である。

7. 溶解型の海洋処分

(1) CO₂の隔離期間

地中処分と海洋処分との比較の項で述べたように、一般の海洋処分は、気体のCO₂を海水中に溶解させることを意図している。気体のCO₂は、海洋の大循環に相当する期間、確実に大気圏へと還流してこないと考えられている。その理由を簡単に述べよう。

海洋は、水温に関して沸かしたての風呂のような鉛直構造をもっている。大気と熱や運動量、また気体成分などを活発にやりとりする表層と、それ以深とは、水温が急激に低下する深度である水温躍層によって区切られている。ところで躍層以深の大洋水は、一般にCO₂を大量に含んでいることが知られている。これは、海洋表層の光合成作用によって有機物に姿を変えたCO₂が、有機物の深層への沈降のちに微生物による分解を受けて、再びCO₂の形にもどったものである（図3参照）。深層に溶解するCO₂気体が一度に大気へ

放出されると、大気中のCO₂濃度は現状の2倍にも上昇するほどの量である。氷河時代にはさらに多量のCO₂が海洋中に隔離されていた可能性も指摘されている。化石燃料の利用過程から回収されるCO₂を、このような天然状態にある海水中のCO₂と同様の存在状態に溶かし込めば、天然CO₂と処分したものとに差が認められない以上、海洋中のCO₂の挙動から海洋中での処分CO₂の隔離期間を推定することには、何の問題もない。

躍層以深の大洋水が表層へともどってきて、過剰に溶解しているCO₂を大気へと還流させるのは、主に熱塩循環とよばれる海洋の大循環過程である。世界の深層水が新たに形成されるに相当する分だけ深層水が表層へと戻ってくる。そこで海洋処分されたCO₂の大気圏からの隔離期間は、平均的には海洋大循環の時定数で決まると考えてよいのである。

(2) CO₂の溶解方法

筆者が勤務する（財）電力中央研究所では、

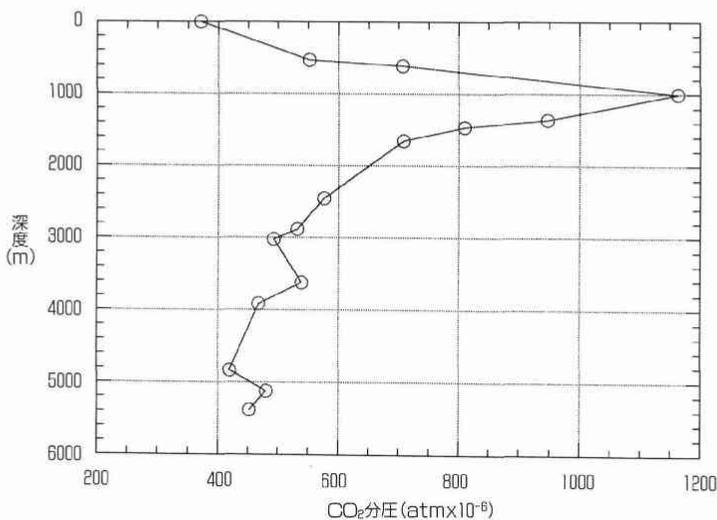


図3 太平洋における海水中CO₂分圧の代表的な深度分布

これまでCO₂を海洋中に溶解処分する方法として、二つの技術方式を提案している。

ひとつは、ドライアイスが船上から投棄する方法である。技術開発がほとんど不必要なことが最大の特徴である。また溶解の対象とする海水の体積が大きい。ドライアイスが沈降しながら海水に溶けるので鉛直方向に、また投棄船が航走していればその方向にも広くばらまくことになるため、希釈倍率が極端に大きく、局所的pH低下という環境影響がほとんど無視できる。しかし、気体のCO₂をドライアイスに固化するエネルギーは、液化の際のほぼ倍を要するため、恒久的な対策とはいい難く、当面の打開策としての位置付けが妥当なところであろう。

(財)電力中央研究所は、1990年、ドライアイスの塊を海中を降下させて、昇華および液化(ドライアイスは5.3気圧以上であれば液化してから気化することになる)する過程および海中沈降速度を観測する実験を実施した。これらの結果から、ドライアイスの大きさの関数として海中沈降にともなう溶解挙動の推定が可能となっている。

(財)電力中央研究所が発案したもうひとつの技術方式に「航走船舶が曳航する放流管からの液体CO₂散布」があるが、この方式を説明する前に、諸外国での研究状況を紹介しよう。わが国以外で検討がなされているCO₂海洋処分の方式はまさに溶解型であり、海底敷設のパイプラインからの放出によるものである。

8. 海底パイプラインを用いた溶解型の海洋処分技術

欧米でのCO₂海洋処分の技術開発は、長期的なエネルギー供給シナリオの中で、石炭利

用を考える文脈において、不可欠の技術として捉えられている。ただし、それはあくまでも地中処分技術の控えの技術としての位置付けである。海洋中に処分可能なCO₂量が、地中に比較して圧倒的に大きいことに着目しての関心であるといつてよい。

米国マサチューセッツ工科大学は、1991年、海中の固定点から連続的に浮上するCO₂液滴群の挙動をモデル化している。翌1992年、ノルウェーの研究者は、英国の科学雑誌「Nature」に発表した論文により、CO₂が高濃度に溶解した海水を固定放出口付近に形成させられれば、密度流となって深海へ到達する可能性を指摘している。この研究を支援していたのは、世界で最初の商業規模によるCO₂地中処分を実施しているノルウェー固有の石油会社スタトイル社である。

一方、好ましくない点として、その後の研究の進展により、CO₂を高濃度に溶解した海水(密度流)の到達深度が当初の予想ほど深くはないこと、また密度流の沈降時に周囲の海水を巻き込んで希釈されてしまうことに抗して、周囲の水との密度差を維持するためには、海底谷地形を利用して巻き込みの効果を抑制することを期待したいのであるが、それは、とりもなおさず海底谷斜面の生態系を低pH海水に恒常的にさらすことになる、なども指摘されている。

海底パイプラインから液体CO₂を海中に放出し、周囲の海水への溶解を期待する技術においては、海底への石油・天然ガスパイプライン敷設が可能な限界の深度まで深くすることを前提に議論されている。これは、大気からの隔離期間を十分に長く確保したいこと、および生物への影響を最小限にとどめたいと

の理由による。

9. 航走船舶からの放流希釈方式

海洋を海水を満たした容器と考えると、容器にあたる海底面と、大気との接触面にあたる海洋表層とは、ともに生物の豊富に生息する場として、まず保全の対象としたい場である。そこで、海底パイプラインからの放流では、放流点の選定が大きな課題となる。放流点近傍では、定常的にpHの低下した海域が出現することとなり、海域の流動状況によっては海底面への影響を避けることが困難な場合も多いと考えられる。

その点、船舶で沖合にCO₂を運び、さらに最大限の希釈を達成するように海洋の中深層へと放流散布する方式では、ドライアイスの投下方式と同様の希釈効率が期待できる。

深海底貯留の方式は魅力的であるが、最大

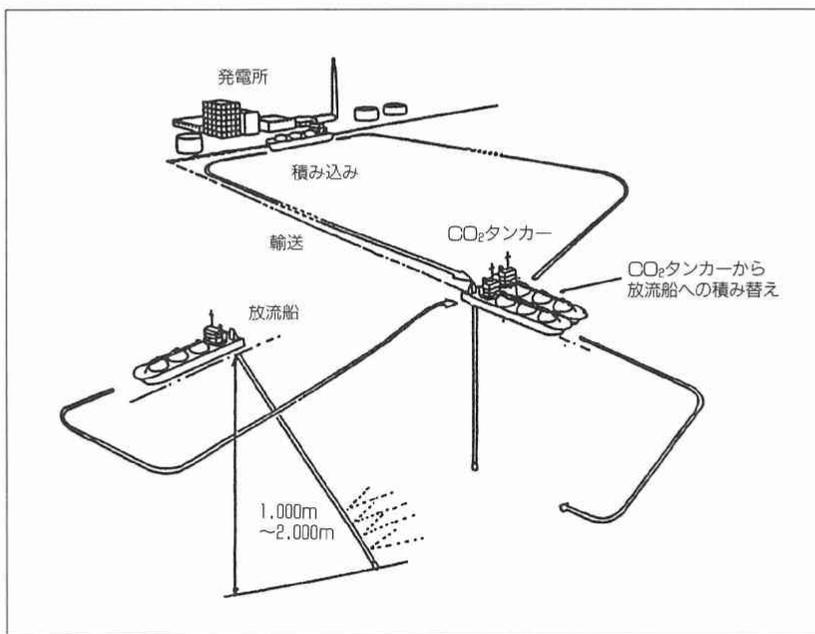
の隔離効果を発揮するための条件でさえ十分には把握されていない。また、船舶からの水深1,000mないし2,000mの海洋中へ放流管を下ろして液体CO₂を送り込む技術の延長線上に深海底貯留技術を想定するほうが理にかなっている。

具体的な技術開発の目標や、当面の環境影響評価の対象を「航走船舶からの放流希釈方式」とすることを提案したい。(図4参照)

10. 環境影響評価

(1) 実施の必要性

そもそも、IPCCの活動自体が、CO₂をはじめとする温室効果ガスに起因する気候変動への対処を求めており、一面からみれば、化石燃料の使用について主に地球規模の環境影響を評価する国際的な役割を果たしている。海洋処分が、長期的に、また地球環境全体に、いか



出所：MTS Journal Vol.29, No.3

図4 航走船舶からの放流希釈方式

なるメリットをもたらし、また一方でどのようなリスク増大の可能性があるのかについては、気候変動予測における精度向上への努力とあいまって、地球科学 (earth sciences) の多くの分野の専門家による検討の継続が必要である。これらが2000年にも予定されている次のIPCC報告書に反映されることは、広い意味での環境影響評価の手續きとして、重要なステップである。

さて、1992年開催のリオデジャネイロの国連環境開発会議が、気候という地球大気の問題に国際社会が真剣に取り組む上での画期であったとすれば、その20年前に開催された1972年の国連環境人間会議(ストックホルム)では、主に海洋環境に大きな関心と呼び、その後、海洋環境の保全について多くの国際的な枠組みが整備されてきた。

海洋汚染防止には、いわゆる海洋投棄を禁止する国際条約として、ロンドン・ダンプンク条約(LDC)があり、国際海事機構(IMO)が事務局としてその運用に当たっている。投棄禁止物質の決め方は、いわゆるリバースリスト方式(リストに載っていない物質を禁止する)に移行することになっている。CO₂海洋処分の事業化には、CO₂を投棄可能物質としてリストに載せることが必要である。その科学的なバックデータとして、CO₂の海洋処分にかかわる環境影響評価が必要になるのはいうまでもない。

CO₂の地中処分についても、安全面からの環境影響評価が求められていることを考えると、CO₂の溶解型の海洋処分についても、まず局所への短期的な生物影響の研究が具体的な処分技術に則して実施される必要がある。

(2) 環境影響評価研究の長期的展開

— その時期と方法について —

筆者は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの要請により、1995年からIEA(国際エネルギー機関)の「温暖化ガス研究開発プログラム(Greenhouse Gas R&D Programme)」で実施しているCO₂海洋処分に関わる専門家会合に出席している。海洋物理学者・海洋生物学者・海洋法の専門家などを交えた会合が、この1年あまりの間に4回ほどもたれ、環境影響評価を国際的な枠組みの中でいかに進めてゆくのかの議論がなされた。

ここで、これらの会合での議論を踏まえ、国際的な連携を重視して環境影響評価の研究を推進するにあたっての長期的な展開を示してみたい。筆者のカバーすべき範囲を超えているのを承知の上で、あえて議論を提起する次第である。

さて、仮に2010年の時点でわが国の産業界がCO₂回収の事業化を求められるとしよう。その場合、政府においては地中隔離についての国内調整が完了していることが必要と見込まれる。国内における地中隔離の方策に政策判断をするためには、他の隔離方策との比較考量が不可欠であり、その時点で、CO₂海洋処分の国際的合意形成の可能性について十分な見通しを得ておく必要があると思われる。

この仮想的なシナリオに沿って研究展開を考える。2010年の時点で海洋処分に関する具体的な可否の判断を、たとえば国際海事機構のような場に求めようとした場合、およそ2005年までには、特定の投入技術について現場海域でのCO₂放出試験をパイロット規模で実施しておく必要があると思われる。この際、

海洋トレーサとして、例えばCO₂に比較してより長期間海洋中での希釈移流の過程が追跡できる六フッ化硫黄(SF₆)を同時に投入するような計画を盛り込むことができれば、大洋の中深層での海洋流動に関する知見の信頼性向上に多大の効果をもたらすものと予想される。ここでは、投入技術を明確化し、一方で影響評価の基礎となる実地データの取得が目指される。

次いで提起されるのが「CO₂の投入方法と海域および投入量」をどの程度まで明確にして国際合意を形成するのが妥当なのか、という問題である。筆者はこの問題に対して、現在のところ答えをもっていない。上記のIEA温暖化ガス研究開発プログラムのCO₂海洋処分に関わる専門家会合での議論では、国際的に取り組む「生態系を対象とした影響評価の研究プログラム」の必要性が提唱されている。これは、閉鎖的で深海（海洋の表層でないという意味での深海）の生態系の性質を備えたモデル海洋としての海域（例えばフィヨルドなど）にCO₂を実際に注入し、生態系への長期的な影響を数年以上の期間にわたって監視しようという提案である。個々の生物種に共通的な生理学的な研究とあいまって、真に後悔することのない技術として、CO₂海洋処分技術を認定するためには必須の研究プログラムとして議論されているものである。

このような研究プログラムの実現性については、今後とも十分な議論が必要である。実際に過去には大洋底からのマンガン団塊の採鉱技術について、小規模ではあるが現場生物影響実験が実施された例がある。しかし、CO₂海洋処分技術についてここで提案されている

規模は、筆者には過大であるように感じられる。このような研究に踏み込まなくても合意形成可能な「投入方法と海域および投入量」があり得るのではないだろうか。

一方、大気へのCO₂蓄積が今後も現状のまま継続した場合、海洋表層の生態系への直接的なpH低下という影響が無視できなくなることも確実である。海洋表層という、生物量も多く、地球環境全体への関わりの深い重要な生態系への未知のリスクを考えると、危険分散という観点から海洋中層へのCO₂溶解処分の有効性を導き出すこともできるであろう。また、実際に大量のCO₂が海洋の深層に注入溶解している海底熱水活動についての知見から、CO₂海洋処分の許容量に関して議論を進めることも可能である。いずれにせよ、海洋処分方策の環境影響評価の観点からの是非は、地球環境と海洋の炭素循環という大きな文脈な中での検討を常に必要とすることは確かである。

11. おわりに

通産省工業技術院は、CO₂の海洋隔離に関して、その環境影響予測技術の開発を目的とした平成9年度からのプロジェクトを計画している。筆者としては、このプロジェクトが、上述のようなCO₂海洋処分技術の位置づけと、これまでのわが国を中心とする研究成果を踏まえつつ、国際的な連携を保った形で遂行されることを期待している。

なお、本稿は、(社)国際海洋科学技術協会の依頼により同協会の機関誌「Sci.& Tech.」に発表した拙稿をもとに、その後の考察を加筆したものである。

〔調査研究報告〕

CO₂回収・処理を考慮した 火力発電システムのライフサイクル分析



田中敏英 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 研究員

1. はじめに

現在、地球温暖化防止策の一つとして、大量のCO₂固定発生源である火力発電システムからCO₂を回収・処理する技術が注目され、その研究開発がなされている。

地球環境対策技術として、このようなCO₂回収・処理技術を付加した火力発電システムの実現可能性や環境影響を評価するためには、燃料の採掘・輸送からCO₂の回収・処理に至るトータルシステムについて、ライフサイクルの観点からエネルギー収支やCO₂等の環境汚染物質の排出量を計量する必要がある。さらに、最近では、CO₂、NO_x、SO_x、煤塵等の環境汚染物質による環境影響を外部コストとして評価する必要性も認識されている。

そこで、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託の下、CO₂回収・処理を考慮した火力発電システムのライフサイクル分析を実施し、環境外部性評価も一部試みた。

本稿では、そのケーススタディについて報告する。

2. ケーススタディの対象システム

(1) 検討範囲

ケーススタディの検討範囲を図1に示す。

(2) 発電プラントとCO₂回収技術

分析対象とする発電プラントおよびこれに適合するCO₂回収技術を表1に示す。

発電プラントは、2000～2010年頃に新設が想定される高効率火力発電プラントを選定し、日本での立地および設備利用率70%を仮定した。発電容量は、CO₂を回収しないベースケースの発電端出力を600MWに設定し、CO₂回収・処理ケースでは燃料使用量をベースケースと同一とし、CO₂回収・液化等による動力ロスを送電端出力の低下として算定した。

各発電プラントに適合するCO₂回収技術については、図2に示す方式を考慮し、これま

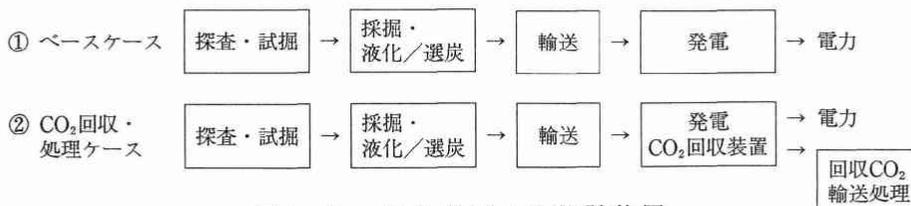


図1 ケーススタディの検討範囲

での分析結果¹⁾ からCO₂回収による送電端効率の低下および発電コストの上昇が小さくなるものを選定した。

(3) 回収CO₂の輸送・処理システム

回収したCO₂の輸送・処理システムとしては、大量のCO₂の処理が可能と期待される海中処理、および原油増進回収法(EOR, Enhance-

表1 ケーススタディの対象とした発電プラントおよびCO₂回収技術

	発電プラント		CO ₂ 回収技術	
	方式	送電端効率(%)	方式	CO ₂ 回収率(%)
LNG火力	LNG複合発電 (LNG-GTCC)*1	46.5	排ガスからの分離・回収 (化学吸収/MEA法)	90
石炭火力	酸素吹き石炭ガス化複合発電 (OB-IGCC)*2	43.0	燃焼前分離・回収 (物理吸収/SELEXOL法)	90
	空気吹き石炭ガス化複合発電 (AB-IGCC)*3	43.0	燃焼前分離・回収 (物理吸着/PSA法)	80
	微粉炭焼き発電 (PCF)*4	40.9	排ガスからの分離・回収 (化学吸収/MEA法)	90
			排ガスからの直接回収 (O ₂ /CO ₂ 燃焼)	100
	石炭ガス化溶融炭酸塩型燃料電池複合発電 (MCFC)*5	53.1	アコードガスからの分離・回収 (化学吸収/炭酸カリ法) 排ガスからの分離・回収 (化学吸収/MEA法)	90
加圧流動床複合発電 (PFBC)*6	41.5	排ガスからの分離・回収 (化学吸収/MEA法)	90	

*1 LNG Fueled Gas Turbine Combined Cycle Plant

*3 Air Blown Integrated Coal Gasification Combined Cycle Plant

*5 Coal Gasification Molten Carbonate Fuel Cell Plant

*2 O₂ Blown Integrated Coal Gasification Combined Cycle Plant

*4 Pulverized Coal Fired Plant

*6 Pressurized Fluidized Bed Combustion Combined Cycle Plant

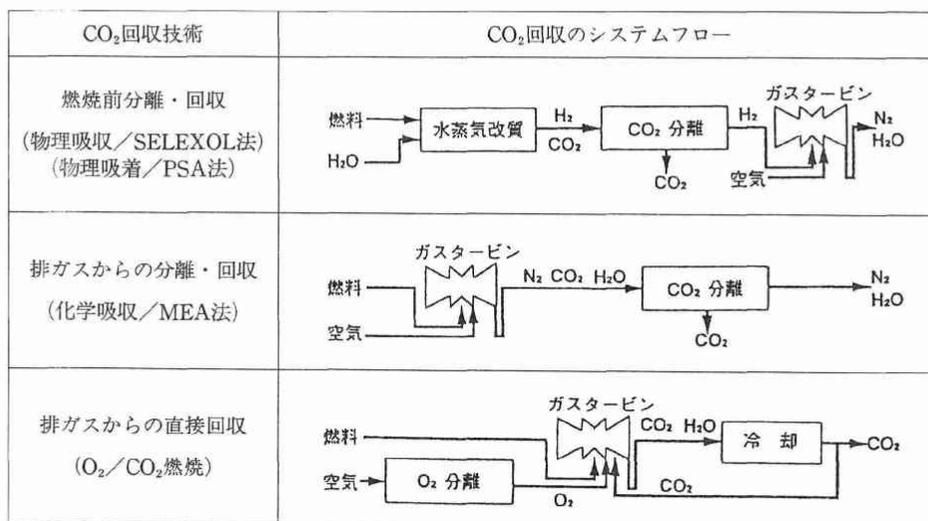


図2 選定したCO₂回収技術

ced Oil Recovery) への利用を含む地中処理を選定し、CO₂の輸送距離、注入深度は表2のように設定した。ただし、これらはCO₂処理のためのシステム構成の代表例として選定したものであり、CO₂の処理方式(例えば海中処理における溶解・希釈方式あるいは貯留方式等)そのものを特定している訳ではない。

3. ケーススタディの項目

CO₂回収型発電プラントおよび回収CO₂輸送・処理システムごとに、下記項目について算定した。本分析では、データ入手が可能な範囲内で、積み上げ法によりライフサイクルにおけるインベントリを作成した。なお、分析対象とした各設備の耐用年数は25年と仮定した。

- ① 発電コスト [円/kWh]
定義：
$$\frac{(\text{設備費} \times \text{年経費率} + \text{燃料費}) [\text{円/年}]}{\text{送電端電力量} [\text{kWh/年}]}$$
- ② 総合効率 [%]
定義：
$$\frac{\text{送電端電力量} [\text{kWh/年}] \times 860 [\text{kcal/kWh}]}{(\text{発電用燃料} + \text{投入エネルギー}) [\text{kcal/年}]}$$

投入エネルギーとは、トータルシステムの各設備の生産、建設、運用等に係る

全エネルギーである。

③ 環境排出物発生量 [g-物質/kWh]

- ・CO₂：発電時、トータルシステムにおける各燃料燃焼時、燃料採掘時(随伴CO₂)、CO₂回収・液化時(漏れ)、設備素材生産時に排出する量
- ・CH₄：燃料採掘・輸送時に排出する量
- ・NO_x, SO_x, 煤塵, N₂O：発電時に排出する量

④ 温暖化効果 [g-C/kWh]

CO₂, CH₄, N₂Oの温暖化物質の排出量を、文献²⁾の時間スケールが100年における地球温暖化指数(CO₂:1, CH₄:24.5, N₂O:320)を用いて、CO₂の温暖化効果に換算した。

⑤ 環境外部性評価(試行)

ライフサイクル分析における環境負荷影響評価の一つの視点として、環境外部性を試算した。

表2 ケーススタディの対象とした回収CO₂輸送・処理システム

ケース	処理地点	回収CO ₂ 前処理	輸送形態	輸送距離(km)	処理形態	注入深度(m)		
ケース1	海中処理	—	CO ₂ パイプライン輸送 (発電所・処理地点)	100 500 1,000 2,000	深層海水注入	3,000		
ケース2			液化・貯蔵	液化CO ₂ 船輸送 (発電所～処理地点)			100 500 1,000 2,000	洋上基地からの 深層海水注入
ケース3	地中処理 EOR利用	—	CO ₂ パイプライン (発電所～処理地点)	100 500	地中、油田注入	2,000		
ケース4			液化・貯蔵	液化CO ₂ 船輸送 (発電所～受入基地)			100 500 5,000*1 12,000*2	受入基地からの 地中、油田注入
				液化CO ₂ パイプライン輸送 (受入基地～処理地点)			100	

*1 東南アジア, *2 中東

4. ケーススタディで用いたデータ

本スタディで用いたデータ(各種原単位等)として、エネルギー原単位は表3³⁾、設備素材の生産に係るエネルギー原単位は表4⁴⁾、燃料の燃焼やセメント生産時のCO₂排出係数は表5^{5),6)}の値を用いた。各発電プラントの発電時のNO_x、SO_x、煤塵、N₂Oの排出係数は表6、天然ガスおよび石炭の採掘・輸送時のCO₂、CH₄の排出係数は文献^{2),5),7)~10)}を参考にして表7の値を用いた。

表3 エネルギー原単位

電力	2,250kcal/kWh
石油	11,280kcal/kg (9,250kcal/ℓ)
A重油	11,071kcal/kg (9,300kcal/ℓ)
C重油	10,538kcal/kg (9,800kcal/ℓ)
石炭	6,200kcal/kg
天然ガス	13,000kcal/kg (9,800kcal/m ³)

表4 素材のエネルギー原単位

	電力 (kWh/t)	石油 (Mcal/t)	石炭 (Mcal/t)	合計 (投入エネルギー換算) (Mcal/t)
鉄	500	0	5,000	6,125
銅	1,700	5,900	1,000	10,725
アルミニウム	17,500	11,000	0	50,375
ステンレス	1,000	0	10,000	12,250
ニッケル	6,100	0	0	13,725
ポリエチレン	2,000	6,000	0	10,500
コンクリート	32	104	188	365

表5 CO₂排出係数

燃料等	単位	CO ₂ 排出係数
電力	g-C/kWh	107.00
石油	g-C/Mcal	78.11
A重油	g-C/Mcal	79.11
C重油	g-C/Mcal	81.80
石炭	g-C/Mcal	103.44
天然ガス	g-C/Mcal	56.39
セメント製造時	g-C/g-セメント	0.214

表6 発電プラントのNO_x、SO_x、煤塵、N₂Oの排出係数
(g/kWh)

発電プラント	NO _x	SO _x	煤塵	N ₂ O
LNG-GTCC	0.10* ¹	0	0	—
IGCC	0.10* ¹	0.22* ²	0.03* ³	—
PCF	0.30* ³	0.45* ³	0.03* ³	0.004~0.047* ⁵
MCFC	0** ⁴	0.003* ⁴	0.002* ⁴	—
PFBC	0.30* ³	0.45* ³	0.03* ³	0.24~0.67* ⁵

- *1 文献¹¹⁾で用いた現在計画されている複合発電プラントの期待値 (NO_x: 10ppm程度 (LNG-GTCC))
- *2 文献¹¹⁾で用いたEPRIガス化会議で発表された建設中プラントの設計値 (SO_x: 25ppm程度)
- *3 文献¹²⁾による石炭火力発電の排出設計値 (NO_x: 45ppm, SO_x: 50ppm, 煤塵: 0.01g/m³)
- *4 文献¹³⁾の排出設計値 (NO_x: なし, SO_x: 1ppm, 煤塵: 0.001g/m³)
- *5 文献¹⁴⁾の微粉ボイラ、流動床ボイラの推計値
※排出原単位 (g/kWh) は発電端出力あたり。
※LNG-GTCCの排出物濃度は酸素16%換算値。IGCC, PCF, MCFC, PFBCの排出物濃度は、酸素6%換算値。

表7 天然ガスおよび石炭の採掘・輸送時のCO₂、CH₄の排出係数

	天然ガス	石炭
CO ₂	(随伴CO ₂) ボンタンLNGの最近のデータより、産出ガスの6%vlを随伴CO ₂ とする。 4.07g-C/Mcal (フレア燃焼によるCO ₂) 産出ガスの1%vl未満であり、液化動力のための燃焼ガス(産出ガスの9%vl)からのCO ₂ に含まれるものとする。	(炭層ガス) 炭層ガス中のCO ₂ 分はほとんどないため、考慮しないものとする。
CH ₄	(採掘、輸送時の漏洩) 日本の電力向けLNG設備ということで、漏洩は極めて少ないものと考えられるため、世界平均の排出量よりも少ない値とする。 0.5~1.0g-CH ₄ /Mcal	(炭層ガス) 炭種、深度により発生量に幅がある。 0.07~2.75 g-CH ₄ /Mcal

5. ケーススタディ結果

CO₂回収型発電プラントおよび回収CO₂輸送・処理システムごとに、トータルシステムの分析を行った結果、発電コスト、総合効率は、表8、9に示すものとなった。また、各発電システムのCO₂、CH₄、N₂Oの排出による温

暖化効果を図3(a)~(g)に示す。

以上の結果より、ライフサイクルの観点からみたときの火力発電システムのCO₂回収・処理による影響および効果をまとめると表10に示すものとなり、以下のことが言える。

- ① 発電コストの上昇および総合効率の低下をみると、CO₂排出規制や炭素税の導入等のインセンティブがないと、火力発電プラントからのCO₂回収・処理技術の

導入の実現性は乏しい。したがって、実用化のためには、その低コスト化およびCO₂回収率や所要動力の高効率化が課題となる。

- ② 発電プラントでのCO₂回収率が80~90%であっても、主として、燃料の採掘・液化/選炭や輸送に要する運用エネルギーに起因するCO₂排出があるため(図4参照)、トータルでのCO₂低減率は54~87

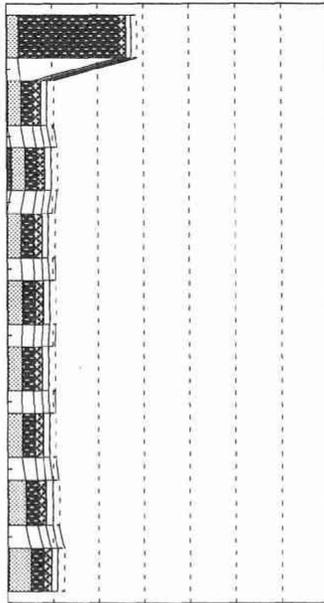
表8 トータルシステムの発電コスト(対ベースケース)

発電システム 回収CO ₂ 輸送・処理方式	CO ₂ 輸送距離 (km)	LNG-GTCC	OB-IGCC	AB-IGCC	PCF	PCF	MCFC	PFBC
		排ガス 分離・回収	燃焼前 分離・回収	燃焼前 分離・回収	排ガス 分離・回収	排ガス 直接回収	アノード排ガス 分離・回収	排ガス 分離・回収
ベースケース (CO ₂ 回収なし)	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ケース1 パイプ輸送/海中深層注入	100	1.30	1.44	1.49	1.64	1.70	1.35	1.58
	500	1.44	1.72	1.76	1.98	2.13	1.56	1.56
	1,000	1.74	2.29	2.31	2.68	3.01	2.02	1.83
	2,000	2.55	3.88	3.85	4.64	5.48	3.27	2.37
ケース2 船輸送/海中深層注入	100	1.36	1.57	1.63	1.77	1.83	1.44	1.67
	500	1.37	1.58	1.64	1.79	1.84	1.45	1.68
	1,000	1.38	1.60	1.65	1.81	1.86	1.46	1.70
	2,000	1.39	1.63	1.68	1.85	1.90	1.48	1.73
ケース3 パイプ輸送/地中・EOR注入	100	1.29	1.41	1.47	1.62	1.66	1.33	1.54
	500	1.34	1.51	1.57	1.75	1.84	1.41	1.65
ケース4 船輸送/地中・EOR注入	100	1.36	1.56	1.62	1.76	1.82	1.43	1.66
	500	1.37	1.58	1.63	1.78	1.83	1.44	1.67
	5,000	1.45	1.74	1.78	1.98	2.03	1.56	1.83
	12,000	1.58	2.00	2.00	2.29	2.33	1.75	2.07

表9 トータルシステムの総合効率(%)

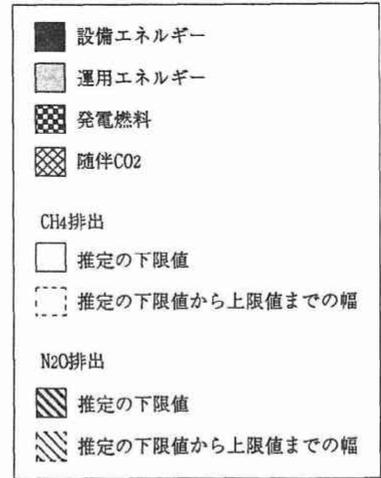
発電システム 回収CO ₂ 輸送・処理方式	CO ₂ 輸送距離 (km)	LNG-GTCC	OB-IGCC	AB-IGCC	PCF	PCF	MCFC	PFBC
		排ガス 分離・回収	燃焼前 分離・回収	燃焼前 分離・回収	排ガス 分離・回収	排ガス 直接回収	アノード排ガス 分離・回収	排ガス 分離・回収
ベースケース (CO ₂ 回収なし)	—	41.5	38.9	38.5	36.4	36.4	47.3	36.9
ケース1 パイプ輸送/海中深層注入	100	36.1	31.0	31.9	28.0	28.1	38.8	28.5
	500	35.7	30.4	31.4	27.4	27.4	38.1	27.9
	1,000	35.5	30.1	31.1	27.1	27.1	37.8	27.6
	2,000	35.0	29.3	30.4	26.4	26.4	36.8	26.9
ケース2 船輸送/海中深層注入	100	35.6	29.5	29.9	27.1	26.7	37.4	27.6
	500	35.5	29.5	29.8	27.0	26.7	37.3	27.5
	1,000	35.4	29.4	29.7	26.9	26.6	37.2	27.4
	2,000	35.3	29.1	29.6	26.7	26.4	36.9	27.2
ケース3 パイプ輸送/地中・EOR注入	100	35.6	30.4	31.2	27.3	27.2	38.0	27.8
	500	35.2	29.6	30.4	26.5	26.3	37.2	27.0
ケース4 船輸送/地中・EOR注入	100	35.4	29.3	29.7	26.8	26.5	37.1	27.3
	500	35.3	29.2	29.6	26.8	26.4	37.0	27.3
	5,000	34.7	28.3	28.8	26.0	25.7	35.9	26.4
	12,000	33.8	27.0	27.7	24.8	24.6	34.3	25.3

温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350



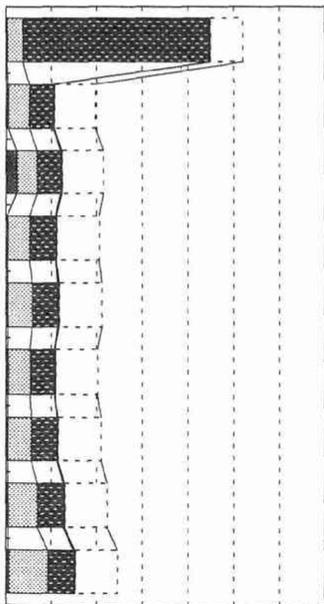
ベースケース(CO₂回収なし)

- ケース 1
パイプ輸送(500km) / 海中深層注入
- ケース 1
パイプ輸送(2,000km) / 海中深層注入
- ケース 2
船輸送(500km) / 海中深層注入
- ケース 2
船輸送(2,000km) / 海中深層注入
- ケース 3
パイプ輸送(500km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(500km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(5,000km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(12,000km) / 地中・EOR注入



(a) LNG-GCTT(排ガス分離・回収)

温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350

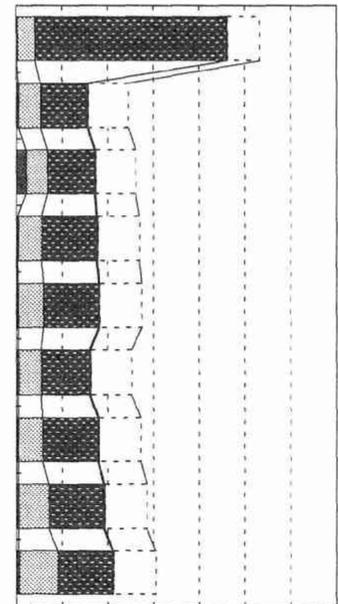


ベースケース(CO₂回収なし)

- ケース 1
パイプ輸送(500km) / 海中深層注入
- ケース 1
パイプ輸送(2,000km) / 海中深層注入
- ケース 2
船輸送(500km) / 海中深層注入
- ケース 2
船輸送(2,000km) / 海中深層注入
- ケース 3
パイプ輸送(500km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(500km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(5,000km) / 地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(12,000km) / 地中・EOR注入

(b) OB-IGCC(燃焼前分離・回収)

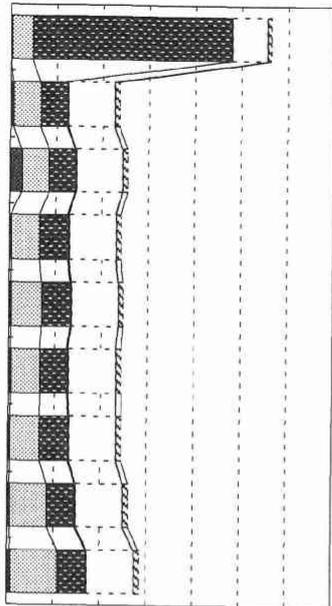
温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350



(c) AB-IGCC(燃焼前分離・回収)

図3 各発電プラントの温暖化効果

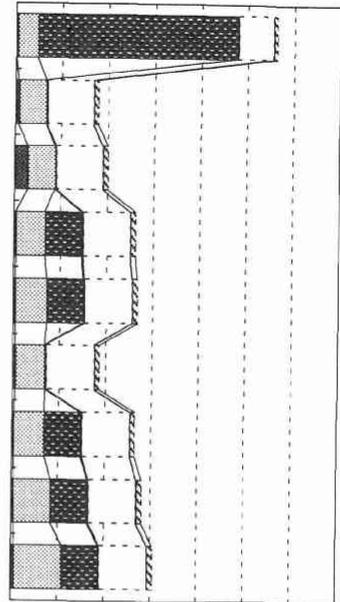
温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350



(d) PCF(排ガス分離・回収)

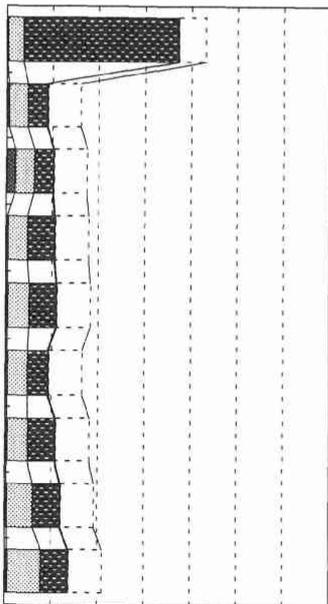
温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350

- ベースケース (CO₂回収なし)
- ケース 1
パイプ輸送(500km)／海中深層注入
- ケース 1
パイプ輸送(2,000km)／海中深層注入
- ケース 2
船輸送(500km)／海中深層注入
- ケース 2
船輸送(2,000km)／海中深層注入
- ケース 3
パイプ輸送(500km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(500km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(5,000km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(12,000km)／地中・EOR注入



(e) PCF(排ガス直接回収)

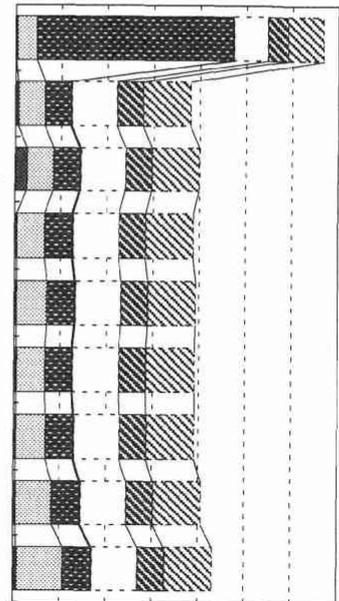
温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350



(f) MCFC(アノードガス・排ガス分離・回収)

温暖化効果(g-C/kWh)
0 50 100 150 200 250 300 350

- ベースケース (CO₂回収なし)
- ケース 1
パイプ輸送(500km)／海中深層注入
- ケース 1
パイプ輸送(2,000km)／海中深層注入
- ケース 2
船輸送(500km)／海中深層注入
- ケース 2
船輸送(2,000km)／海中深層注入
- ケース 3
パイプ輸送(500km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(500km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(5,000km)／地中・EOR注入
- ケース 4
船輸送(12,000km)／地中・EOR注入



(g) PFBC(排ガス分離・回収)

図3 各発電プラントの温暖化効果(つづき)

表10 火力発電システムのCO₂回収・処理による影響および効果 (対ベースケース)

発電コストの上昇	1.29 ~ 5.48 [2.33] 倍
総合効率の低下	13.0 ~ 32.5%
CO ₂ 排出量の削減率	54 ~ 87%
温暖化効果の削減率	47 ~ 77%

※CO₂排出量, 温暖化効果の削減率は送電端あたり。
 ※〔 〕内はケースの1,000kmと2,000kmを除いた値。
 ※温暖化効果については, CH₄, N₂Oは排出推定値の中間値で算定した。

%程度になる。

③ さらに, CH₄やN₂Oの温暖化ガスを含めたトータルでの温暖化効果としてみると, 温暖化効果の低減率は47~77%程度に留まるものの, 発電プラントの高効率化等に

より得られる低減効果に比べて, CO₂回収・処理による低減効果はやはり大きい。ただし, CH₄やN₂Oの排出量とその算定精度が大きな影響を与える可能性がある。

この他, 特徴的な結果については次のとおりである。

- ④ 発電コストの上昇および総合効率の低下は, CO₂負荷の小さいLNG火力の方が石炭火力より小さい。
- ⑤ コスト面では「地中・EOR処理, パイプ輸送-注入」(ケース3)が有利。「海中処理, パイプ輸送-深層注入」(ケース1)は, CO₂輸送距離が長距離になると高コストとなり実現性は低い。

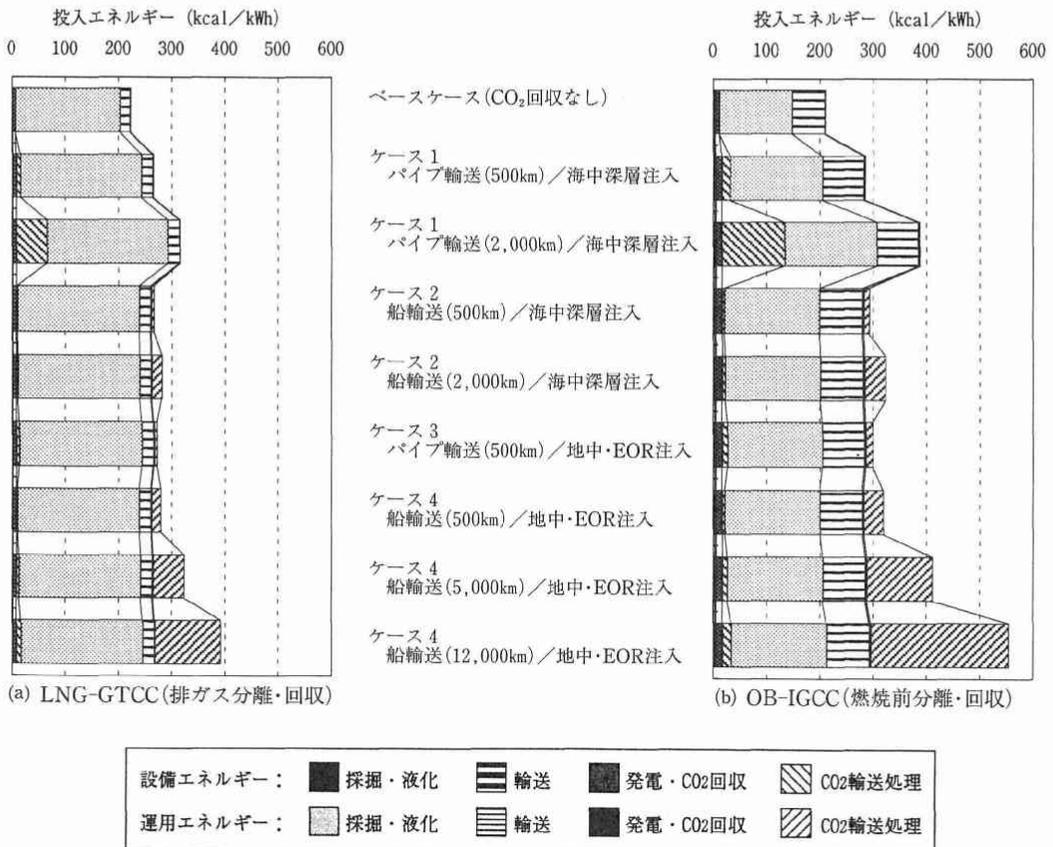


図4 代表的な発電プラントの投入エネルギー

- ⑥ 各システムの総合効率やCO₂排出量は、回収CO₂の処理方式による差より、CO₂輸送距離による差の方が大きくなる傾向にある。ただし、船輸送方式(ケース2, 4)ではCO₂を液化する際に、混入している不凝縮性ガスとともにCO₂の一部が放出されることによりその回収率が低下するため、パイプライン輸送方式(ケース1, 3)よりCO₂発生量が多い。特に排ガス直接回収方式では回収CO₂純度が低くなるため、この影響が大きい。
- ⑦ 天然ガスおよび石炭の採掘、輸送時のCH₄排出は、CO₂回収・処理ケースにおける温暖化効果の20~50%程度を占める可能性があるため、その排出低減あるいは回収による有効利用が課題となる。
- ⑧ PFBCからのN₂O排出は、CO₂回収・処理ケースにおける温暖化効果の40~50%程度を占める可能性があるため、その排出低減が課題となる。

6. 環境外部性評価の試行^{15)~21)}

(1) 環境外部性評価にあたり

エネルギーシステム(発電システム)の外部性は、環境排出物による公衆の健康、生態系、建造物等への影響や地球温暖化等の環境外部性と、補助金やセキュリティ等の非環境外部性に区別される。

今回、火力発電システムを対象とした環境外部性評価を、ライフサイクル分析における環境負荷影響評価の一つの視点として試行した。ただし、これは、評価の手順を明確にした上で、今後わが国においてエネルギーシステムの外部性に関する研究の進めるべき方向性を検討することを主眼としている。このた

め、評価項目として省略したものや、欧米の指標をそのまま流用したのものがあ、結果の絶対的な値には本質的な意味がないことに注意する必要がある。

また、現在、欧米を中心とした外部性評価の研究は、方法論の確立に主眼が置かれており、社会科学的情報の欠如等から、定量化が困難な外部性が多くある。そのため、こういった評価には大きな不確実性が伴うのは必然と考えるべきである。

(2) 環境外部性試算の内容

今回のスタディ(試行)では、様々な環境外部性の事象の内、次の事象について試算した。また、その外部コストは、影響(被害)を補うために必要となる費用であるダメージコストとして算定した。

① 地域規模の環境外部性

煤塵, NO_x, SO_xによる公衆の生命・健康への影響(煤塵, NO_x, SO_xによる拡散のみで、化学変化による影響は考慮しない)

② 地球規模の環境外部性

CO₂, CH₄, N₂Oによる温暖化の影響

(3) 環境外部性評価の手順と試算結果

欧米の既往の研究等による環境外部性評価の一般的な手順と本スタディの手順、および試算結果を表11に示す。

(4) 環境外部性試算のまとめ

本スタディでは、公衆の生命・健康への影響および温暖化の影響を環境外部性(外部コスト)として試算した結果、それぞれ、10^{-8~6}および0.1 [セント/kWh] のオーダーの値とな

った。しかし、上述したように、環境への影響度および経済価値換算の算定方法が未成熟なため、これらの絶対的な値には意味はない。一方、温暖化等の影響評価の考え方によっても、結果に大きく差が現れることもあり、現状において、このような環境外部性が、無視できる値であると言える段階でもない。

そこで、今後、明確な外部性評価を行うためには、次のような課題が挙げられる。

- ・算定対象事象の明確化
- ・環境インパクトの算定法とその根拠の明確化
- ・コストの内部化メカニズムの明確化
- ・わが国の社会・地域状況に応じた経済価値評価法の明確化

7. あとがき

本稿では、地球環境対策技術としてCO₂回

表11 環境外部性評価のケーススタディの手順と試算結果

一般的な環境外部性評価手順	本スタディ	
	地域規模の環境外部性	地球規模の環境外部性
	わが国立地のLNG-GTCC, OB-IGCCの発電プラント	
1) システムや地域等の検討対象の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・仮想都市（人口約120万人）での立地を仮定 ・250mメッシュで人口分布を考慮 	燃料の採掘から発電, CO ₂ 処理までのトータルシステム
2) 環境排出物のインベントリ分析	煤塵, NO _x , SO _x	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
3) 環境排出物の拡散算定	<ul style="list-style-type: none"> ・風下側に都市が広がる状況を想定 ・拡散モデル(プリュームモデル)を利用し, 250mメッシュで排出物拡散濃度を計算 	考慮せず
4) 環境への影響度の算定	<ul style="list-style-type: none"> ・「煤塵濃度と死亡率」のDRF*1より, 統計的推定値を算定 ・「煤塵, NO_x, SO_x濃度と各種疾病率」のDRFより, 統計的推定疾病数を算定 	地球温暖化指数により, CO ₂ の温暖化効果に換算 ↓
5) 環境への影響度の経済価値への換算	<ul style="list-style-type: none"> ・VOSL*2の値を用いて, ダメージコストに価値換算 ・疾病に対しては, その内容が多様なため, 経済価値換算を行わない。 	CO ₂ あたりのダメージコストの値*3を用いて経済価値換算
試算結果 ※試算方法が未成熟であるため, 結果の絶対的な値には意味はない。	<ul style="list-style-type: none"> ・煤塵によるダメージコスト OB-IGCCについて, 3×10⁻⁸~6[セント/Wh(120万人都市)] ・煤塵, NO_x, SO_xによる疫疾患, 喉頭炎, 目の炎症, 気管支炎等の疾病人数 LNG-GTCC, OB-IGCCについて, 10⁻⁵~1 [人/年(120万人都市)] (疾病の種類により分散) 	温暖化によるダメージコスト <ul style="list-style-type: none"> ・LNG-GTCC: 0.32[セント/Wh] (0.10~0.13) ・OB-IGCC: 0.55[セント/Wh] (0.17~0.23) ()内はCO ₂ 回収・処理ケース

*1 DRF(Dose-Response Function): 環境因子量とその影響度の関係を表した関数で, 環境への影響度算定に用いることが多い。当然, この測定も必要となるが, 今回は欧米の既往の研究によるものを用いた。

*2 VOSL(Value of Statistical Life): Ottinger(1991)による4.0[10⁶\$], Fankhauser(1994)による0.357[10⁶\$]の値を用いた。

*3 CO₂あたりのダメージコストの値として, Fankhauser(1994)によるCO₂濃度の倍増時を想定して算出した22.8[\$/t-C]の値を用いた。

収・処理を考慮した6種類の将来型の火力発電システムを対象とし、そのライフサイクル分析を実施した。これにより、CO₂回収・処理によって、発電コスト、トータルシステムの総合効率、CO₂排出量および温暖化効果に及ぼす影響・効果を分析した。また、ライフサイクル分析における環境負荷影響評価の一つの視点として、環境外部性評価を試行し、わが国におけるエネルギーシステムの外部性に関する研究の今後の進めるべき方向性を検討した。

地球環境問題や資源制約を考えると、CO₂の回収・処理のような地球環境対策技術を評価するためには、従来の技術のコストや効率、ローカルな環境負荷の評価だけでなく、トータルシステムのライフサイクルにおける環境影響や化石燃料の利用効率を、環境面、資源面における持続可能性の評価要素として考慮する必要がある。このようなシステム評価を実施するにあたっては、次のような課題について引き続き検討していくことが必要と考えられる。

- ・システム性能評価の効率的な実施
- ・ライフサイクル・インベントリ分析のためのデータ蓄積
- ・外部性評価のための自然科学的・社会科学的データの収集・蓄積と本格的な研究着手
- ・LCA, 外部性評価, 将来シナリオ検討等のシステム評価手法の確立
- ・他の技術オプションとの比較評価および将来シナリオの検討

謝 辞

本研究は、(財)エネルギー総合工学研究所内に組織した「地球環境からみた総合的化石燃

料サイクル分析評価手法の調査委員会」のもとで実施されたものであり、ご協力いただいた委員、関係者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) NEDO, エネ総工研「火力発電プラントからのCO₂回収システムに関する調査」(1993)
- 2) IPCC, "Climate Change" (1994)
- 3) 総合エネルギー統計 平成6年度版
- 4) 科学技術庁資源調査会「エネルギー収支からみた自然エネルギー利用技術の評価手法に関する調査報告」(1982)
- 5) 「気候変動に関する国際連合枠組条約に基づく日本国報告書」(1994)
- 6) 内山, 山本 (財)電力中央研究所報告 Y91015「発電プラントの温暖化影響分析」(1992)
- 7) エネ総工研「火力発電所大気影響評価技術実証調査報告書」(1990)
- 8) (財)電力中央研究所調査資料「温室効果からみた化石燃料の比較」(1990)
- 9) 富舘, 小川「エネルギー経済7」pp2-13 (1991)
- 10) IEA, Greenhouse Gas R&D Programme "FULL FUEL CYCLE STUDY CO₂ Mitigation Vol.3~5" (1994)
- 11) NEDO, エネ総工研「地球環境から見た総合的化石燃料サイクル分析評価手法の調査(II)」(1995)
- 12) 各電力会社による火力発電所の環境影響調査書
- 13) (財)電力中央研究所研究報告 T86084「電気事業における溶融炭酸塩型燃料電池発電プラントの評価」(1987)
- 14) 玉置, 守富他 「環境技術」Vol.24, No.11 pp675-679 (1995)
- 15) T.E.Downing, "Climate Change and Vulnerable Places", Environmental Change Unit, University of Oxford (1992)
- 16) S.Fankhauser, Valuing Climate Change, Earthscan, p180 (1995)
- 17) S.Fankhauser, "The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions, An Expected Value Approach", The Energy Journal, Vol.15, No.2, 157-184 (1994)
- 18) O.Hohmeyer, "The Costs of Climate Change" (1992)
- 19) R.L.Ottinger et al, "Environmental Costs of Electricity", Oceana Publications, p769 (1991)
- 20) D.Pearce, A.Markandya, E.B.Barbier, "Blueprint for a Green Economy", IIED (1991)
- 21) CSERGE, "The Social Cost of Fuel Cycles", HMSO (1992)

〔調査研究報告〕

天然ガスの資源状況と 燃料メタノールへの転換

— 中小規模ガス田とCO₂高含有率ガス田の有効利用 —



松 沢 忠 弘 (働エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 専門役)

はじめに

メタノールは、化学工業用原料として従来から広く使われているが、石油危機を契機としてエネルギー（燃料）として利用する動きが現れ、発電、自動車、都市ガス等の分野で種々利用のための研究が行われてきた。これらの利用技術は、基本的には既に実用化可能のレベルに到達していると考えられる。しかし、1986年以降、石油の供給が比較的安値で安定した状態が続いていることもあり、燃料としての本格的な導入には至っていない。

近年、地球環境問題の高まりに伴い、メタノールのエネルギーとしての利用が見直されているが、現状ではメタノールの価格が高いことが最大の難点となっている。

燃料用メタノールの製造コスト低減を図ることを目的として、新しいメタノール製造法の開発を行う「液体燃料転換技術開発」プロジェクトが、資源エネルギー庁の補助を受けて新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）および 働石油産業活性化センター（PEC）により実施されている。

これに関連して、当研究所ではNEDOの委託により、「メタノール新製造プロセスに適するガス田調査」を平成5年度より実施して

いる。この調査は、上述のメタノール新製造技術の導入、実用化に資することを目的として、産ガス国におけるメタノール製造事業の可能性やその実施場所、実施形態等に関する調査・検討を行うものである。

そこで、平成7年度までの調査結果の概要を、最近の情報・データや当研究所における知見等も加味して以下に紹介する。なお、原委託調査は「メタノール新製造プロセスに適するガス田調査」となっているが、ここでは「天然ガスを有効利用する手段としてのメタノール燃料」という論旨で整理・考察してみたい。

1. 世界の天然ガス資源およびその利用状況

(1) 天然ガスの賦存状態

天然ガスとは、広義には自然界で地下から産出し、地表条件では気体となる物質の総称であるが、通常はメタンを主成分とする低級のパラフィン系炭化水素から成る可燃性ガスを指す。

天然ガスを地下における賦存状態で分類すると、石油に溶け込んで存在している油田ガス（随伴ガスともいう）と、地層中にガス単独で存在している構造的ガス（非随伴ガスともいう）とがある。そのほかに、地下水に溶

解して存在している水溶性ガスもある。日本における天然ガスには、この水溶性ガスが他国に比べて例外的多い。

天然ガスは、性状からドライガス（乾性ガス）とウェットガス（湿性ガス）とに区別される。ドライガスとは、その成分のほとんどがメタンであるガスをいい、ウェットガスは、プロパン以上の重質の炭化水素をある程度含んでいるガスである。油田ガス（随伴ガス）は、通常ウェットガスの状態で産出される。構造的ガスは、ドライガスの場合もあるが、随伴ガスと同様にウェットガスの状態で産出される場合も多い。ウェットガスでも地上施設で湿性成分を分離すればドライガスとなり、分離された湿性成分はLPG等の製品となる。

(2) 天然ガスの埋蔵量および生産量

1996年1月1日現在の世界の天然ガス確認埋蔵量は、約140兆 m^3 とされている。これは、同じ時期の石油の確認埋蔵量の92%に相当する。

最近の5年間でみると、原油埋蔵量の年間平均伸び率は僅か0.17%でほぼ横ばい状態であるのに対し、天然ガス埋蔵量の年間平均伸び率は3.2%で、年々新しいガス田が発見されている。

天然ガスの埋蔵量を国別でみると、第1位は旧ソ連(CIS)で、以下イラン、カタール、アブダビ(UAE)、サウジアラビア、米国と続いている。

一方、生産量は、第1位はやはり旧ソ連であるが、以下米国、カナダ、オランダ、英国の順になっており、自国内での消費量の多い国で生産量が多くなっている。

天然ガスの確認埋蔵量および生産量を表1に示す。石油に比べると世界の各地に分散しているともいえるが、やはり偏在傾向があるのは否めない。

ここで埋蔵量の定義について触れておこう。石油・ガスの埋蔵量とは貯留岩（油・ガス層）中に存在する石油・ガスの量をいい、原始埋蔵量(original oil [gas] in place)と可採埋蔵量(recoverable reserves)とに大別される。前者は、生産開始以前に存在していた油層、ガス層内の原油・ガスの総量をいい、後者は、現状の技術・経済条件において、今後採取可能な原油・ガスの量をいう。通常単に埋蔵量といえば、可採埋蔵量を意味する。また、埋蔵量は、その確実度によって確認埋蔵量(proved reserves)、推定埋蔵量(probable reserves)および予想埋蔵量(possible reserves)とに分けられる。

(3) 天然ガスの流通状況

天然ガスは、化石燃料の中では最も環境影響の少ない優れた燃料であり、そのため世界的に利用拡大の方向にある。

欧米では1950年代から天然ガスの利用が飛躍的に拡大し、天然ガスパイプライン網が発達している。したがって、さらなる利用拡大への対応も比較的容易である。しかし、アジア・太平洋地域では天然ガスのパイプラインはほとんど敷設されておらず、日本をはじめ韓国、台湾等の天然ガス輸入国は、専らLNGの形で輸入している。

石油が完全に国際的な商品になっているのに対して、天然ガスは、生産されるガスの大部分が生産国内で消費されており、国を越えての貿易量は15%（1992年）に過ぎない。

天然ガスを遠隔地に輸送する手段としては、パイプラインによる輸送と、LNGに変換してタンカーで輸送する方法とがあるが、1992年現在、天然ガス貿易の約76%がパイプラインによって取引され、LNGの割合は約24%である。また、1992年におけるLNGの貿易量のうち、日本の輸入量が65%を占め、これに韓国、台湾の輸入量を加えると74%に達する。このように、LNGの消費国は極東アジアに

集中しているため、LNGの生産地もアジア・太平洋地域の産ガス国が多くなっている。

(4) LNGプロジェクトの動向

天然ガスを長距離輸送するパイプラインは、上述のように、アジア・太平洋地域にはほとんどなく、天然ガスは専らLNGの形で輸入されている。

LNGは、 -162°C という超低温の物質であ

表1 天然ガスの確認埋蔵量および生産量

国名 (埋蔵量順)	確認埋蔵量 (1995.1) [TCF]*1	生産量 (1994) [BCF]*1	R/P**	石油埋蔵量 (参考) [10 ⁹ バレル] ○内の数字は順位
旧ソ連	1,977	25,756	77	57.0 ⑦
イラン	742	990	749	89.3 ⑤
カタール	250	432	579	3.7
アブダビ	188	846*3	>222	92.2 ④
サウジアラビア	185	1,254	148	258.7 ①
米国	162	19,740	8	23.0 ⑩
ベネズエラ	130	833	156	64.5 ⑥
アルジェリア	128	1,779	72	9.2
ナイジェリア	120	162	741	17.9
イラク	110	103	1,068	100.0 ②
カナダ	79	5,863	13	5.0
ノルウェー	71	938	76	9.4
メキシコ	70	1,325	53	50.8 ⑧
マレーシア	68	872	78	4.3
オランダ	66	2,931	23	0.1
インドネシア	64	1,951	33	5.8
中国	59	586	101	24.0 ⑨
クウェート	52	165	315	94.0 ③
リビア	46	226	203	22.8
パキスタン	28	576	49	0.2
その他	385	10,608	36	67.9
全世界計	4,980	77,935	64	999.8

注 *1 TCF: 10¹²立方フィート, BCF: 10⁹立方フィート

*2 可採年数 (確認埋蔵量をその年の生産量で割った値)

*3 アラブ首長国連邦全体の生産量

(出所) International Petroleum Encyclopedia 1995 を基に作成

るため、製造、輸送、貯蔵などの取扱いには特殊な構造、材質の設備が必要であり、その設計・建設には高度の技術を要することから設備費が非常に高価となるため、LNGプロジェクトには巨額の投資を必要とする。そのため、取扱い量を大きくしてコストメリットを出そうとしているが、それがまた所要資金の一層の増大を招いている。

このようなことから、LNGプロジェクトは、天然ガスの開発・生産—製造（液化）—輸送—消費が一貫したクローズド・システムとして成り立っており、取引量も長期間にわたり契約で決められているのが通例である。このことは、関与する各事業者のリスクを抑制することに役立っているが、反面、取引が硬直化するという弊害をもっている。

LNG製造（液化）プラントの規模は、今日では300万トン/年×2系列が標準であり、かつ、この程度が最小規模となっている。これに使われる天然ガスの量は年間90億 m^3 で、これを20年以上にわたり安定的に供給するには、埋蔵量7 tcf（約2千億 m^3 ）をもつガス田が必要となる。

日本では、現在、LNGを米国（アラスカ）、ブルネイ、アブダビ、インドネシア、マレーシアおよびオーストラリアの6ヶ国から輸入しているが、1997年からはカタールからの輸入が加わることになっている。日本のLNGの生産国別輸入量を表2に示す。

また、マレーシア、オーストラリア、オマーン、カタール、イエメン等で新規あるいは増設プロジェクトが計画されており、さらに、サハリンでもLNGの生産が検討されているなど、アジア・太平洋地域および中東地域におけるLNG生産の動きが活況を呈している。

表2 日本のLNG輸入量
(単位：千トン)

輸出元国	1993	1994	1995
アラスカ	1,047	1,162	1,219
ブルネイ	5,535	5,455	5,543
アブダビ	2,481	3,149	3,963
インドネシア	17,875	18,472	17,325
マレーシア	7,476	7,855	8,033
オーストラリア	4,877	5,985	6,824
計	39,290	42,078	42,906

出所：大蔵省「日本貿易月表」

2. 天然ガス資源国の動向

天然ガスを日本に現在輸出しているか、あるいは将来輸出する可能性が考えられる国や地域について、天然ガスの開発、利用の動向を述べる。

(1) インドネシアおよびマレーシア

東南アジア地域では、天然ガスはインドネシアとマレーシアに埋蔵量が多い。両国とも現在LNGを生産しており、主として日本に輸出している。

この地域のガス田は、一般に規模の小さいものが多いが、その中では比較的大規模なガス田がLNGの生産に利用されている。未開発で残されているガス田でLNGに適する大規模なガス田は、少なくなってきた。

現在、LNGの生産を行っているインドネシアのアルン・ガス田は、既に当初埋蔵量の約半分を使い切っており、今後新たな発見がなければ、ここ数年のうちに操業を縮小せざるを得なくなろうといわれている。そのため、インドネシアは、ナツナ・ガス田の開発・利用の実現に向けて積極的に取り組んでいる。同ガス田は、可採埋蔵量が炭化水素分だけで

45tcf(約1兆3千億 m^3)という巨大ガス田であるが、ガス中に炭酸ガスが含有率70%も含まれており、その分離および処理に多大な費用を要することから、需要家側にはLNGのコスト増を懸念する空気がある模様である。

インドネシアのジャワ島、マレーシアの半島部などでは人口が多く、産業が発展の一途を辿っている。これに連れてエネルギー需要も急激に増加している。両国政府とも、国内のエネルギー需要には天然ガスの利用を主として充てる方針であるため、この地域では天然ガスは、主として国内需要に向けられることになろう。

インドネシアのカリマンタン、マレーシアのサラワク州では人口が少ないので、今後ともLNGを主体とする輸出用の需要が中心となろう。

天然ガスの価格は、インドネシア、マレーシアとも開発コストを考慮しつつ政治的な要素も加味して決められているようである。用途により大きな幅があるが、後述の中東諸国に比べると、3倍以上の価格になっている模様である。

(2) 中東諸国

この地域には、埋蔵量世界第2位から5位までのイラン、カタール、アブダビ、サウジアラビアという天然ガス資源国がある。

この地域のガス田の特徴は、先ず第一に規模が大きいことである。世界最大のカタールのノースフィールド・ガス田は、約240tcf(約6兆8千億 m^3)の埋蔵量をもつ。

イランには構造性ガスと石油随伴ガスの両方があり、油田、ガス田とも規模の大きいものが多数存在する。

サウジアラビアの天然ガスは、その大部分が石油随伴性ガスであるが、やはり油田の規模が大きく、世界一の油田とされるガワール油田は65tcf(約1兆8千億 m^3)のガス埋蔵量をもつ。そのほかにアブカイク、ベリ、ズルフ、サファニアなどの大規模ガス埋蔵量をもつ巨大油田が存在し、国全体のガス埋蔵量は世界第4位である。

天然ガスの利用に関しては、アブダビで以前からLNGを生産し、日本に輸出しているが、最近、カタールおよびオマーンでもLNGプロジェクトが相次いで立ち上がろうとしている。

しかし、中東諸国では今日でも概して石油の生産が中心であり、利用されずに焼棄されている石油随伴ガスは相当量にのぼっている。とはいえ、各国ともガスの有効利用を政策に掲げており、その実現に向けて積極的に取り組んでいる。

サウジアラビアでは、随伴ガスを回収し、有効利用するための壮大なネットワークシステムが既にできあがっており、今後さらに増強される計画がある。そして、アル・ジュベールとヤンブーにはこのガスを利用した石油化学等のプラントを配するコンビナートがある。また、カタールのウムサイド、ラスラファン、アブダビのルワイス等にも石油化学関連施設がつくられている。これらの地区では、港湾、道路、通信等のインフラストラクチャーが整っており、メタノール製造事業をこれらの地区で行う場合には、既存のインフラストラクチャーの利用が可能と思われる。

天然ガスの利用に関して、中東地域の最大の魅力はガスの価格が安いことである。サウジアラビアでは0.5US\$/MMBtu(約0.22円/

10³kcal) といわれている。

(3) オーストラリア

西オーストラリア州ダンピアで稼働中の北西大陸棚 LNG プロジェクトでは、現在の750万トン/年の能力を1,430万トン/年に倍増する計画が進行している。完成は2003年の予定である。現在生産されている LNG は、ほぼ全量日本に輸出されているが、増設分も日本をはじめとするアジア地域に輸出することを考えている。

オーストラリアでは、天然ガスは都市部で民生用に使われているが、産業用の需要は少なく、今後とも LNG の生産が主体となろう。

(4) サハリン

サハリンの油・ガス田は、サハリン北部に集中している。陸域では1920年代より探鉱、開発が行われ、多くの油田が発見されたが、現在ではそのほとんどが開発後期にある。

サハリン北部東側海域では、1977年にサハリン石油開発協力(株) (旧 SODECO) と、旧ソ連政府所属の企業体である SMOG (サハリン海洋石油ガス合同) が共同で探鉱活動を開始し、チャイウォ、オドプトの2つの油・ガス田を発見した。1984年からは SMOG が単独で探鉱を行い、ルニ・ガス田、ピルトン・アストフ、アルクトン、ダギ、キリンの各油・ガス田を発見している。

最近、これらの油・ガス田を開発するための「サハリン1」および「サハリン2」と称する2つのプロジェクトが相次いで動きだした。

「サハリン1」は、サハリン石油ガス開発(株) (新 SODECO)、米エクソン社およびロ

シア企業2社で構成する企業連合が、アルクトン、ダギ鉱区での探鉱、試掘を開始した。また、チャイウォ、オドプト鉱区でも地震探鉱を行う計画である。埋蔵量は石油24億バレル、天然ガス14tcf (約4千億m³) と見込まれている。天然ガスは、LNGにして日本に送る計画である。

「サハリン2」は、三井物産(株)、三菱商事(株)、マラソンオイル社、マクダーモット社、ロイヤルダッチシェル社の5社が出資し、第一段階としてピルトン・アストフ鉱区を開発し、原油および天然ガスを生産する計画である。当初は2001年生産開始としていたが、ロシア側の要請があって計画を2年早め、1999年から原油の生産を開始することになった。

なお、ごく最近、パイプラインでガスを日本まで輸送する構想が検討されているとの新聞報道があり、今後の動向が注目される。

3. 天然ガスのメタノールへの転換

(1) メタノールへの転換の利点

天然ガスのもう一つの輸送手段として、メタノールに転換してタンカーで輸送する方法が考えられる。燃料メタノールについては、オイルショックを契機に石油代替燃料の一つとして着目され、発電、自動車、都市ガス等の各分野で利用技術の開発がなされるとともに、その導入に関する検討が盛んに行われてきた。その結果、利用技術に関しては、各分野とも既に実用化可能のレベルに達しているようであるが、石油の供給が比較的安値安定で推移していることもあり、最近では、燃料メタノールはあまり注目されなくなっている。

しかし、燃料メタノールは、環境影響面で

優れた特徴をもっていること、および天然ガスの輸送手段として、LNGに比べて次のような利点があるので、今後も有望な代替燃料の一つであることには変わりがない。

天然ガスをメタノールに転換して利用する場合の利点を、LNGと対比しながら以下に述べる。

① 中小規模のガス田利用が可能

前述のごとく、LNG製造(天然ガス液化)プラントは、今日では年産600万トン位が最低の規模であり、これに天然ガスを供給するガス田としては、最低7 tcf(約2千億 m^3)の埋蔵量が必要である。これに対して燃料メタノール製造プラントの規模は、5,000~10,000トン/日(165~330万トン/年)が考えられており、これに対応するガス田は、1.5~3 tcf(約425~850億 m^3)の規模で十分である。つまり、LNGの製造には向かない中小規模のガス田でも、メタノールの製造には利用することができる。

さらにメタノールの場合には、中小規模のオフショアガス田のすぐ近くでバージ上に設置したプラント(洋上プラント)で製造する構想もあり、そのためのパイロットプラント試験が、現在オーストラリアで進行中である。

② フレキシブルな天然ガスの炭酸ガス含有率

天然ガスからメタノールを製造する場合、そのガス中に含まれる炭酸ガスもメタノールの原料として有効に利用されるので、含有率が十数パーセント程度までであれば、炭酸ガスの存在は問題がないばかりか、むしろ、ある程度含まれている方がよいと考えられている。このようにメタノールの場合には、原料となる天然ガスの組成に関してフレキシブル

である。

一方、LNGの場合には、天然ガス中に含まれる炭酸ガスは液化の弊害になるので、100 ppm以下に除去する必要がある。炭酸ガス含量が多いほど、それを除去するための設備費や操業コストが高くなるので、LNGの製造においては、炭酸ガスの含有率は少ない方が好ましい。

したがって、LNGの製造に対しては、炭酸ガスが多いために敬遠されているガス田でも、メタノールの製造には利用できる場合がある。

③ 割安な海上輸送コスト

メタノールは常温で液体であるので、石油と同等の方法で輸送することができる。(ただし、単位容積当たりの発熱量が石油の約半分であるため、同じカロリー当たりの輸送量で見ると、メタノールは石油の2倍の容量が必要となる。)

すなわち、石油と同じく大型タンカーでの輸送が可能であり、後述のごとく、LNGに比べると輸送コストは格段に安く、またそのため、輸送距離による輸送コストの差が小さい。つまり、メタノールの輸送においては、海上輸送距離が長いことは、それほど大きな制約条件にはならない。なお、場合によっては石油タンカーをメタノールに転用することも可能である。

LNGの輸送は、 -162°C という超低温の積み荷を扱うため、特殊な材質と構造のタンクをもつタンカーが必要となり、積み荷の熱量当たりのタンカー建造費は、大型原油タンカーに比べて数倍となる。そのため輸送コストが高くなり、海上輸送距離の長短が、LNGプロジェクトの経済性に大きな影響を及ぼす

ことになる。

④ 割安な受入れ基地コストと操業の柔軟性

海上輸送の場合と同じ理由により、LNGの貯蔵には、特殊の材質と構造をもつタンクが使われている。また、LNGはガス化して使用するの、そのための設備も必要であり、LNG受入れ基地の設置には、液化プラントと同様に膨大な投資を必要とする。

メタノールの場合には、石油とほぼ同等の取扱いができるので、LNGに比べると設備費は大幅に安くなる。

また、設備費が安いことから、貯蔵容量を大きくしても受入れ基地コストへの影響は軽微なので、貯蔵容量に余裕をもたせて製造側と使用側の需給量のアンバランスを吸収できること、ひとつのタンクに異なる産地の製品を混合して貯蔵できることなど、柔軟な取扱いが可能であり、LNGで問題となる硬直性を解消することができる。石油タンクのメタノールへの転用も可能である。

(2) 燃料メタノールの経済性

燃料メタノールを日本において発電に利用することを想定して、LNGとともにその炉前コストを試算し、比較してみる。試算の条件は次のとおりとする。

- ・ 製造規模：メタノール 330万トン/年
(10,000トン/日)
- LNG 600万トン/年
- ・ 製造プロセス：
 - メタノール 気相流動層法
 - LNG プロパン予冷MCR法
- ・ 天然ガス原単位：
 - メタノール 7.10×10^6 kcal(LHV)/T
 - LNG 12.93×10^6 kcal(LHV)/T

・ 製造立地：A. 東南アジア

B. 中東

・ 日本までの輸送距離（片道）：

東南アジア 2,600海里

中東 6,500海里

・ 輸送規模：

メタノールタンカー 10万DWT

LNGタンカー 135,000m³

(載貨重量約6万トン)

・ 発電規模：

メタノール、LNGとも70万kW×2

設備利用率 70%

・ 天然ガス価格：

東南アジア 1.5US\$/MMBtu

(約0.65円/10³kcal)

中東 0.5US\$/MMBtu

(約0.22円/10³kcal)

試算結果を図1に示す。

この試算結果によると、メタノールを発電の燃料に利用する場合の炉前コストは、LNGに比べて東南アジア立地で15%増、中東立地で5%増と若干高いものの、メタノールの取扱いの利便性を考慮に入れると、この程度の差は容認できる範囲にあるといえよう。

(3) 中東地域におけるメタノール製造プロジェクト

今後、天然ガスに関しても、中東への依存度が高まってくるものと予想される。日本で発電の燃料に利用することを前提として、天然ガスをメタノールに転換するプロジェクトを中東地域で行う場合には、日本までの輸送距離が長いことから、輸送コストがLNGに比べて大幅に安いため、LNGとほぼ同等の経済性が得られることが、上述の試算結果が

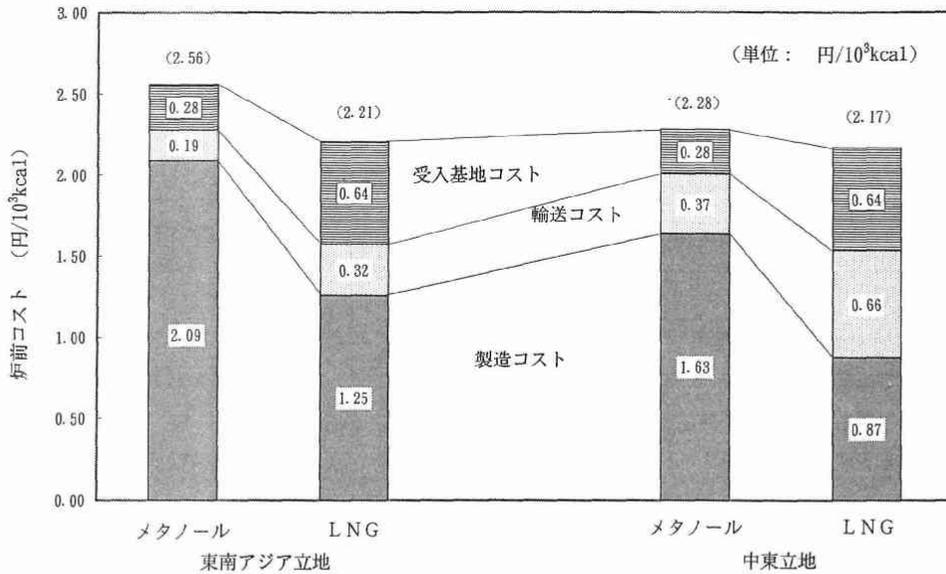


図1 炉前コストの試算結果

ら考察された。

中東では、勿論、特定の地区においてはあがあるが、メタノール製造プロジェクトを実施するのに必要な、原料供給、港湾等のインフラストラクチャーが整っている。また、各国政府も、メタノール・プロジェクトの実施には積極的な姿勢を示している。

このようなことから、中東地域は、メタノール・プロジェクトにとって好都合な条件が揃っているといえよう。

おわりに

以上の調査・検討の結果、LNGには向かない中小規模のガス田や炭酸ガス含有率の高

いガス田の有効利用には、メタノールへの転換が適しており、しかもLNGと大差ない経済性をもっているとの結論が得られた。

また、中東地域においては、メタノール・プロジェクトは、ガス田の条件に関わりなく、LNGプロジェクトとほぼ同等の経済性を有しており、実施に好都合な条件が揃っていることが考察された。

わが国における天然ガスの輸入の形態としては、今後ともLNGが主体であることは間違いないが、ある条件のもとでは、LNGを補完する形で燃料メタノールが導入され、エネルギー安定供給の確保と経済性の維持に寄与するものと期待される。

〔内外情勢紹介〕

The Sixth International Conference on Cold Fusion (新水素エネルギー国際会議) 報告

松 井 一 秋 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長

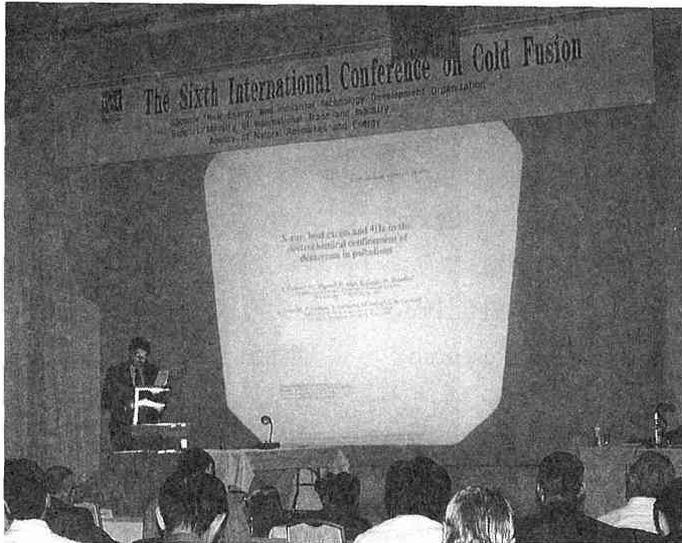


写真1 会議における発表状況

1. はじめに

「新水素エネルギー国際会議」が、1996年10月13日より18日の6日間、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の主催により、北海道洞爺湖を望む丘の上にあるホテルエイペックス洞爺で開催された。当研究所の新水素エネルギー実証研究センター（以下NHEセンター）は、この会議の実質的な事務局の役割を務めたので、ここに会議の概要を報告する（写真1）。

本会議は、英語名にもあるとおり「常温核

融合」に関する第6回目の国際会議であり、通称「ICCF6」と呼ばれている。

「常温核融合」は、1989年にサザンプトン大学フライシュマン教授および米国ユタ大学ポンス教授によって発表された、パラジウム金属を電極として重水を電気分解することにより発生したとする過剰熱の現象、ならびに水素同位体に関連する異常現象の総称である。

当所は、この過剰熱発生現象を「新水素エネルギー（New Hydrogen Energy, NHE）」としてとらえ、将来のエネルギー源としての可能性を追求する技術開発を、通商産業省・

資源エネルギー庁の補助を受けた NEDO からの委託により1993年から実施している。当所は、同年、新水素エネルギー実証ラボラトリー（以下NHEラボ）を札幌市郊外に、新水素エネルギー実証センター（以下NHEセンター）を東京に設置している。

これに加え、当所は、民間企業約20社の支援を得て、全国10大学における本件の基礎的研究を、国の補助事業を補完して実施させている。

「常温核融合」の存在については議論のあるところであり、当所では関連する異常現象の再現性についての精緻な検証を基とする研究開発を実施してきている。従って、会議の和名は「新水素エネルギー国際会議」とし、会議報告のプロシーディングスの題も“Progress on New Hydrogen Energy Research”とさせていただいた。

ここで、新水素エネルギー研究とは一体何かについて、一言述べることにする。実在する現象なのか？ この問いに対して今までの国際会議においても、また当所のプロジェクトにおいても、残念ながら答え切っているわけではない。

パラジウム電極による重水の電気分解の際に異常な熱発生が見られたという報告が発端となった研究であり、異常発熱が新種の核融合反応を示唆するものではないかとして注目を集めた。世界で多くの学者や研究所から、この事象を見たとか、見ないとか、同時に放射線を計測したとかしないとかの報告があった。しかし、率直に言って、この現象に関する研究報告には、精密度に不足するところがあり、科学的にきちんと認知された事象（当然再現性を伴う）でもないし、またおおかた

の納得のいく理論は存在していない。

科学技術として新しい分野は、一般に独創的発想であればこそ、世の中には信じない人、あるいは信じたくない人が必ず存在する。20世紀に花開いた、量子力学、核物理、素粒子実験物理、宇宙論などは、「物の理」を解明してくれたかの感があることは否めない。本当に解明しつくされたのだろうか？

そうではない、物性物理をはじめ、まだまだ科学のフロンティアは存在するのである。その拓かれ方は、未だ定まっていない。現象の存在は確認されている超電導現象や、まだなんのこともやらはつきりしないこの「常温核融合」も、この新しい21世紀に開花するはずの、いやしなければならぬパラダイムチェンジの担い手かもしれないのである。この可能性がどの程度かに注目が集まるところである。

2. 経緯と開催準備

(1) 経 緯

本会議は、これまで表1のとおり、5回開催されている。

前回の第5回会議は、1995年4月、モナコのモンテカルロで開催された。会議開催中に開かれた国際諮問委員会において、我が国に第6回の開催要請がなされた。この国際会議は、これまで、北米、欧州、アジアの3地域の持ち回りで約1年半ごとに開催されており、第3回は名古屋で行なわれている。2回目のアジア開催ということで、はじめ中国が候補に上ったが実務的に無理とのことで、再度の日本開催となった。1995年夏、前述の国際諮問委員会より正式の依頼を受け、まず岡本眞實東京工業大学教授（当時、現東北大学

教授)を委員長とする国内組織委員会が設立され、開催に向けて準備が開始された。メンバーは、表2のとおりである。

開催時期は、一年半周期ということで1996年10月、開催場所は、NH E ラボが札幌市郊外にあることから、札幌ないし北海道ということが認識されていた。

表1 会議開催場所

	開催場所
第1回	ソルトレイクシティ (米国)
第2回	コモ (イタリア)
第3回	名古屋 (日本)
第4回	マウイ (米国)
第5回	モンテカルロ (モナコ)

表2 国内組織委員会メンバー

	氏名	所属
議長	岡本眞實	東京工業大学 教授
副議長	浅見直人	(財)エネルギー総合工学研究所 新水素エネルギー実証ラボラトリー副主席研究員
	池上英雄	名古屋大学 名誉教授
	大村哲臣	NEDO 産業技術研究開発部 国際共同研究課長
	太田健一郎	横浜国立大学 教授
	高橋亮人	大阪大学 教授

(2) 開催方針

今回の国際会議は、国内組織委員会、特に委員長からの強い要求があり、前回までに比べて学術的内容の審査を厳しくして、一定水準までのレベルアップが図られた。前回までは口頭、ポスターの形式の違いはあったにせ

よ、基本的には、ほとんどすべての論文発表を受け入れていたようである。これは他の学会でも多くの例があるが、しかし、この分野は、核物理、電気化学、材料物性と幅が広く、またいわゆる世の異端の研究が発表される場でもあった。さらに、世に認められないことへの不満発散もあったようであり、すなわち玉石混淆の相であった。

このような状況から脱却し、より学術的な発表と議論を求める声は、1993年、マウイの本会議の際にも、当方のプロジェクト関係者のみならず国際的にもささやかれていた。

そして、国際技術プログラム委員会(委員長高橋亮人大阪大学教授、米国より2名、イタリアより2名を含む)が今回初めて組織され、昨年6月、東京で1週間にわたる審議となった。その時点までに提出された約140件のアブストラクトの精査があり、その結果、会議の趣旨とあわないもの、あるいは値しないものとして、その3分の1が拒否された。その中には国内の別の学会では口頭発表されているものや、著名な先生による論文なども含まれていた。たとえ出席者の数が減ろうとも、内容水準を保持するという方針に基づくものであった。

(3) 開催場所

開催場所は、当初、北海道大学の国際会議場ということで準備を始めていたが、最終的には洞爺湖並びに噴火湾を望む絶景の地、ホテルエイッペクス洞爺を選択した。

この地の選択に当たっては、次のような得失が予測された。道内随一の風光明媚な観光地である反面、洞爺湖畔の温泉街から丘の上のホテルまでタクシーで10数分の距離にあ

り、交通の便がよくない。ホテルは立派なプールなどのスポーツクラブとゴルフ場があるが、他には施設がないため、会議参加者の同伴者用のプログラムに難があった。また、会場のホテルに全員宿泊し、いったん泊まればほとんど外出できないのである。

しからばということで、これを幸いとして、プログラムに会議の初日と二日目に夜間のセッション、夜8時から10時までを設けたことである。

(4) プログラム

プログラムを表3に示す。月曜、火曜、水曜、木曜の午前中と木曜午後の前半に口頭発表のセッションを、月曜と火曜の午後にはポスターセッションを設けた。

口頭発表とポスター発表についてはさほど大きな違いを意識しないこととして、ポスターセッションのはじめに約1時間をとって発表者による各2分間の概要紹介を実施した後、ポスター会場での議論とした。発表には持ち時間の超過も少なく、予想以上にスムー

表 3 会議プログラム

	13日(日)	14日(月)	15日(火)	16日(水)	17日(木)	18日(金)	
9:00		開会式	NHE セッション I	材料科学	核物理 アプローチ	NHE ラボ 見学会 (札幌)	
10:00		ヘリウムと発熱の関係					
11:00			過剰熱 I	過剰熱 II	イノヴェイティブ アプローチ		
12:00		昼 食					
13:00		昼 食					
14:00		ポスターセッション 概要紹介 過剰熱と 核反応生成物	概要紹介 核物理 アプローチ	エクスカーション・ ツアー	過剰熱と 核反応生成物		
15:00	登録受付	材料科学	イノヴェイティブ アプローチ				
16:00					会議総括		
17:00					閉会式		
18:00							
19:00	歓迎 レセプション	夕 食					夕 食
20:00		ロシアにおける 常温核融合 の研究状況	CETIセッション				
21:00			特別セッション 核変換	晩餐会			

ズに進み、その後のポスター会場での議論も予期以上に活発で、好評だった。

(5) セッション

会議のセッションを大別すると表4のごとくなり、これはそのまま本件の研究方針と一致している。すなわち、始めに過剰熱現象の実験報告をして、次に過剰熱実験と関連する、ないしは独立の実験による放射線の計測、第3に、以上の異常現象と材料の関係に関する実験報告である。最後に「その他」としているが決して軽いものではなく、いまだに整理不明なるもののセッションと考えて頂きたい。

表4 セッションの分類

区 分	内 容
過 剰 熱 関 係	パラジウム重水系などの電解によるエネルギーバランス
核 物 理 関 係	電解中、ガス充填、放電中あるいは反応生成物からの放射線計測、低エネルギー重イオン照射、理論的考察など
材 料 科 学 関 係	(重)水素吸蔵金属の特性など
そ の 他	—

また、分野別発表件数は表5のとおりであり、口頭発表では過剰熱関係が1番多いことになった。

また、この関係で唯一特許(米国)が成立しているパターンソン パワーセル* については関連の技術発表をまとめ、それに特化して

設立された会社である、クリーン エネルギーテクノロジー社 (Clean Energy Technology Inc.)の名を取って、CETIセッションを火曜の夜に企画した。

表5 分野別発表件数

口頭発表	(合計)	34
ヘリウムと発熱の関係		5
NHEセッション		5
過剰熱		7
材料科学		5
核物理アプローチ		5
イノヴェイティブ アプローチ		2
過剰熱と核反応生成物		5
特別講演	(合計)	9
ロシアにおける研究の現状		1
インドにおける研究の現状		1
CETIセッション		2
核変換		5
ポスター発表	(合計)	77

3. 会議の様相

(1) 開 会 式

登録受付は、10月13日(日)の午後より開始した。参加者は、日本、米国、イタリアを中心に表6に示す登録者176名、同伴者約20名があった。続いて、同日夕刻、ホテルテラスにおいて歓迎レセプションを催した。

開会式は、14日朝9時より、岡本国内組織委員会委員長の開会宣言があり、引き続き湯上博 NEDO 理事、田中隆則資源エネルギー庁公益事業部電気用品室長、稲葉裕俊(財)エネルギー総合工学研究所専務理事より歓迎の挨拶をいただいた。

*軽水電解液中でパラジウムなどを被覆させた微粒子(マイクロビーズ)と対極の間に電流を流すことにより、入力電力以上の発熱があると称する装置の商標名

表 6 登録者数一覧表

国名	人数	国名	人数
日本	91	オーストラリア	1
米国	37	カナダ	1
イタリア	15	ハンガリー	1
ロシア	8	インド	1
フランス	6	スペイン	1
中国	4	台湾	1
ドイツ	3	英国	1
韓国	2	ウクライナ	1
スイス	2		
合計			176名

(2) セッション寸描

次に、主なセッションの印象を、プログラム順に述べることにする。筆者の私見であることをご了承いただきたい。

① [過剰熱とヘリウムの相関]

この異常現象の原理、反応機構は、過剰熱を計測すると同時にヘリウム4の発生を確認でき、かつその再現が容易であるならば、解明されることになるはずである。このセッションは、本会議の目玉となる発表の5件で、電解系並びにガス系における過剰熱とヘリウムの計測実験であるが、繊細な実験であることもあり、おもしろそうなデータもあったが、発表内容の限りでは、まだはっきりとした確信があるわけではないと考えられる。

② [ロシアおよびインドにおける研究の現状]

ロシアとインドにおける「常温核融合」関係の研究状況を、それぞれロシア科学アカデミーのツアレフ教授と、インドのバーバ原子力研究所のスリニヴァサン物理部次長から報

告願った。

ロシアの物理は、基礎も理論も結構強く、突拍子もないように見えても、また恵まれぬ研究環境の中で、多くの研究所や大学などで研究されている。本国際会議と本プロジェクトの国際ワークショップ以外では、例年ロシアで行われてきているこの分野の会議が有名である。

スリニヴァサン氏は、バーバ研究所でこの分野に関わるただ一人の研究者の模様だが、生物関連の実験を含めて積極的な活動をなされている。

③ [NHEセッション]

NHE ラボから4件、再委託先のSRIインターナショナル社から1件の報告である。過剰熱の計測は再現が見られるものの確認までは至っていないという、極めて慎重な報告であった。(図1, 写真2参照)

④ [過剰熱] (その1)

フライシュマン教授とともに常温核融合の提唱者の一人のスタンレー・ポズ教授の発表から始まった。当研究所の札幌ラボには彼らから提供を受けた、「イカロス*」の名称を持つ電解装置のバージョン2までであるのだが、その装置のバージョン9による過剰熱計測結果を報告していた(図2参照)。当所のラボにあるものとは、電解装置の主要部をなす電解セルの本体、陰極・陽極の配置などは変わっていないと見られたが、当所のものでは、今までのところ過剰熱は計測されていない。

続いてイタリアの国立核物理研究所のチェ

*「イカロス」は装置名の英語の頭文字をとったものだが、太陽に近付き過ぎ蠟が溶けて体に付けていた羽根がとれ墜落したギリシャ神話のイカロスにも掛けている

概要： 電解セル冷却水出入口温度差と質量流量による熱量測定
特徴： 真空断熱方式を採用し、熱回収率98%以上
 ヒータ入力併用による一定入力方式
 酸素発生しないクロードシステム
 対極にガス拡散電極を用いる燃料電池型電解セル
 密封重水素ガス圧減から吸蔵率 (D/Pd比) を測定評価

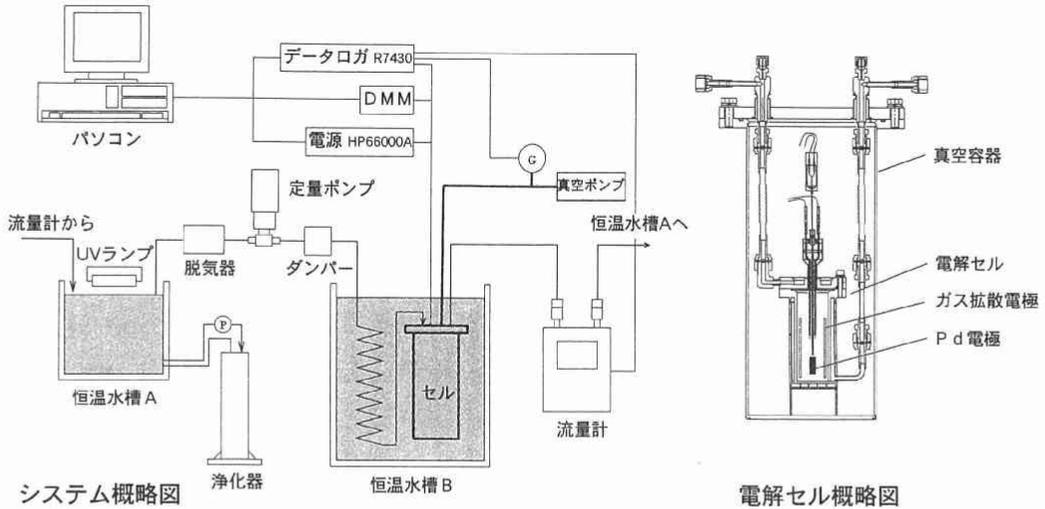


図 1 NHE型マスフローカロリメトリシステム

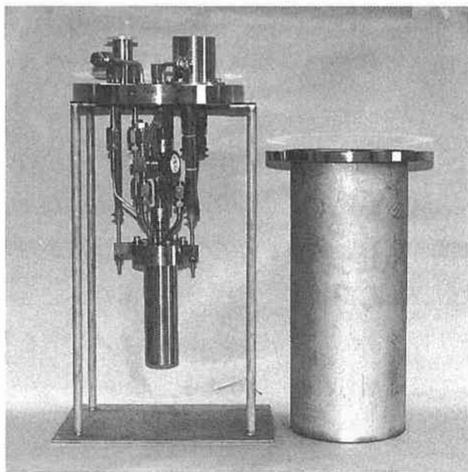


写真 2 NHEシステムの電解セル

ラーニ博士より高周波電源と細線電極を使用し、高吸蔵率をごく短時間に得た実験の報告があった。日頃交流があるラボ研究者にはなじみのある報告であったが、細線を電極とし

て使用し、軸方向に過大の電位差を与えた状態での電気分解は、電気化学者には異論のあるところと思われる。

ロスアラモス研究所の元研究員エドモンド・ストームズ博士の話に続いて、グルノーブルのフランス原子力庁 (CEA) 研究所からの発表があった。フライシュマン・ボンズの実験の追試である。当所のラボと類似した実験ながら過剰熱ありとの報告であった。昨春グルノーブルを訪問された池上英雄名古屋大学名誉教授から伺っていたとおり、研究の進度はまだかなりの初期段階にあると見受けられた。しかし、フランス政府関係の研究機関がこの研究に乗り出してきたことは、極めて注目すべき事柄といえる。

⑤ [CETIセッション]

概要：対極に白金を用い、酸水を放出する開放型セル

ヒータによる定期的キャリブレーション

デュワービン型の電解セルで輻射伝熱支配の熱量計測

特徴：フライシュマン・ボンズ教授らが開発した電解システム

開放型のため定期的に重水補給が必要

沸騰蒸気を捕集計量し、沸騰時の熱量評価が可能

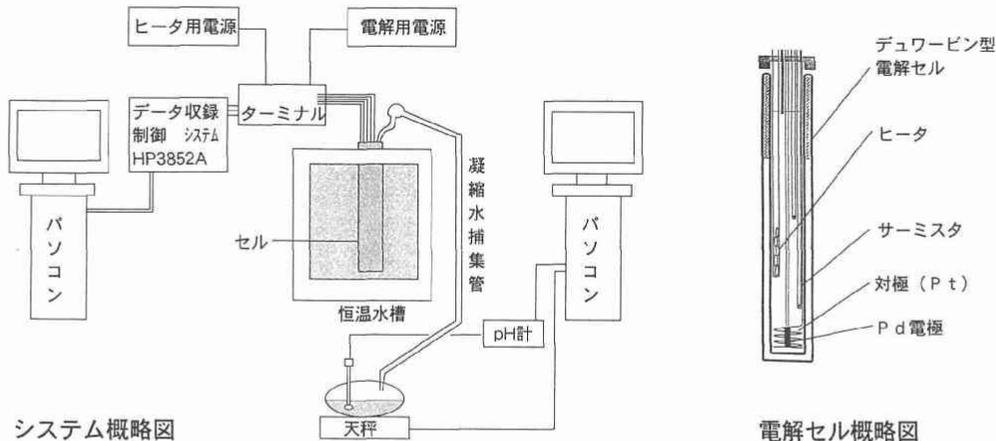


図 2 開放型電解システム (イカロス-2)

CETI セッションの発表は、会議直前に欠席となった同社の研究員に代わり、イリノイ大学核融合研究所のマイリー教授により行なわれた。発表は、期待されていた発熱実験の報告ではなく、微粒子のパラジウムが核変換しているというもので、昨年夏テキサスで行われた第2回国際低エネルギー核反応会議のときと同じ内容と思われた。

⑥ [特別セッション 核変換]

期せずしてなのだが、CETI セッションの後に核変換の特別セッションを設けていた。核変換の研究は、本会議の趣旨と合致するかは議論の余地のあるところだが、応募件数も相当あり、その中の代表的なものを特別セッションで取り上げ、紹介した。

マイリー教授の発表に勢を得て、北海道大

学水野忠彦博士のほか4件の発表があり、ほぼ同じく核変換を認めた旨の報告がなされた。

これに対し議論百出したが、議長の高橋亮人大阪大学教授は、核変換がもしあったとすれば、反応生成物としての不安定核種からの放射線があるはずであり、そのあたりをきちり押さえた分析が必要、とのコメントをもって締め括られた。(写真3)

⑦ [材料科学]

イタリアの代替エネルギー研究所 (ENEA)、スペインのマドリッド大学サンチェス教授、SRI インターナショナル社のタンゼラ上級研究員、(株)イムラ材料開発研究所の寺澤俊久主任研究員、米国海軍研究所の L.P.ヘイガン氏から異常現象と材料問題に



写真3 会議の討議状況

関する発表があった。いずれも基礎がしっかりした地道な研究であった。

国際技術プログラム委員会の委員で、パラジウム水素系の物理化学がご専門の坂本芳一長崎大学教授は、急病のため、残念ながらご発表を伺うことができなかった。

⑧ [過剰熱] (その2)

イタリア物理学会の大物の一人であるミラノ大学プレパラータ教授の発表から始まった。前述のチェラーニ博士の実験の追従という印象である。イタリアの物理学会の大物であるが興奮しやすい方であるせいか、それ以上の議論の展開はなかった。

当所の札幌ラボに隣接するイムラジャバン(株)からは、過剰熱を精密測定する一方法のフローカロリメトリーによる電解実験の報告があった。彼らの電解セルによる過去の発熱実験データは、このフロー実験では再現されていない。実験装置自体は高精度の熱計測が可能なものと思われるが、異常現象発現のためのトリガー(引き金)の欠落がその原因

ではないかとのコメントがあった。

続いて、荒田吉明大阪大学名誉教授から、発熱を伴う電解実験と電極からのヘリウムの検出についての実験、計測の報告があった。ヘリウムについては既報のものに比べてより詳しい説明があり、好評であった。

⑨ [晩餐会]

晩餐会は、岡本国内組織委員長の挨拶、大村哲臣 NEDO 産業技術研究開発部国際共同研究課長の乾杯から始まった。次回の開催国候補になっている米国の ENECO 社イエガー社長の紹介や米国海軍研究所フェローのマイルズ氏、北海道大学の能登谷玲子博士のロシア語による挨拶(ロシア人女性の露英通訳付き)があり、また勇壮な太鼓の余興を楽しんでいた。

⑩ [核物理アプローチ]

笠木治郎太東北大学教授の報告に関心が集まった。本プロジェクトの基礎研究の一つである低エネルギー領域での核反応事象が、従来の想定以上に高い可能性を示唆するものである。

岩村康弘三菱重工業(株)基盤技術研究所主任は、重水素吸蔵パラジウムからの放射線を計測しており、この研究には当所のラボも研究協力を行っている。

⑪ [NHE ラボ見学会]

アカデミックプログラムを終えた次の日に、NHE ラボへの見学会を催した。

日本人約10名を含み、およそ80名の参加者があり、熱心な質疑が交わされた。最新かつ最高級の研究・実験設備に、多くの参加者が

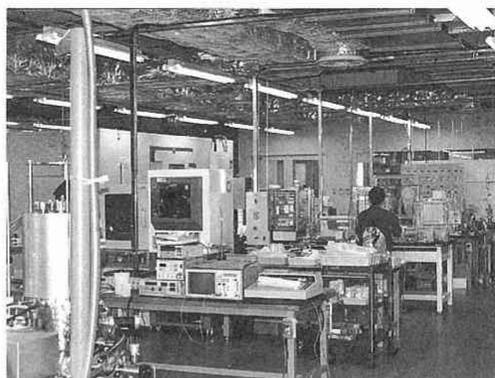


写真4 NHE ラボ実験室



写真5 熱心な見学者

驚嘆、羨望とも思われる眼を向けていた。(写真4, 5)

それと同時に、当ラボにおける研究継続の希望が申し述べられていた。また、インドの原子力研究所からは、若手研究員受け入れ可否の打診もあった。

3. 会議のまとめ

(1) 会議発表へのコメント

本会議の国際技術プログラム委員会を代表して、アカデミックプログラムの終りに日米欧の3委員より、次のような総括があった。

イタリアの国立核物理研究所ブレッサーニ教授は、今回の発表成果などから、ヘリウム4の検出を支持するとし、同時に計測に関しさらにつめる必要があるとして、ヘリウム4同定、定量について国際共通方式を考えようとの提案があった。

米国のSRIインターナショナル社エネルギー研究センターのマツクブリ部長からは、いつもの歯切れよい口調で、過剰熱実験についてのまとめがあった。異常発熱は多く報告されてはいるものの、計測精度の高い熱測定装置を持つところで過剰熱がみられていないという事態に対して、材料調整上の課題および反応のトリガーとなる事象について、より掘り下げるべきとのコメントがあった。

最後に、池上英雄名大名誉教授からは、今回の会議全体を通じてのコメントとして、一つはヘリウム4の検出等将来の期待を膨らます事象について数多くの報告があり、また一方、パラジウム中の重水素の運動を活発化させる可能性をもつ電気泳動のようなアイディアの発表もあって、これらにまだ具体的な目標、真の姿は見えていないものの、新水素エネルギーの研究には着実な前進がみられているとのメッセージをもって、本会議を締め括られた。

(2) 会議発表に見られた研究概要

発表内容をまとめると、次のとおりとなる。

① 過剰熱の存在について

前にも述べたが、今回の会議においても過剰熱の存在を示すデータを示したグループが数多くあったが、再現性にはまだ多くの問題を残している。

逆に、精密熱測定法であるフローカロリメトリーを確立しているグループのSRI、イムラジャパン(株)およびNHEラボは、今回の報告ではフローカロリメトリーで過剰熱のデータを得ていないとしている。その理由には、パラジウムに十分な重水素が吸蔵されていないことや引き金についての検討が十分進んでいないことが指摘されている。

② パラジウム電極材料の電解前処理について

(株)イムラ材料開発研究所、代替エネルギー研究所(イタリア)およびNHEラボから、パラジウムのアニーリングによる前処理が重水素吸蔵率の向上に効果があるとの報告があり、報告数は少ないものの、(重)水素吸蔵金属の基本的な熱力学特性についての知見がより深まってきていることが示された。

③ 反応生成物の存在

過剰熱に伴い、少ないながらもヘリウム4の存在を示すデータを発表したグループが多くみられた。もちろん、核反応生成物がみられないと報告したグループもあった。ヘリウム4の測定方法についてはより慎重な吟味が必要である。

また、現在のところ異端とも思えるが、特別セッションで紹介された原子核変換の報告

にも注意を払いたい。電極表面で異常な核種を見つかったり、重水素ガス中にトリチウムを見いだした発表があった。

4. おわりに

本大会は、登録者数約180名のうち半数が海外からの参加者であったこと、また日本組織委員会の意向もあり、大会の水準保持の見地から発表を制限した経緯もあって、成功との評価を多く頂いている。

また、今回の第7回については、会議期間中に国際諮問委員会が開催され、幹事役にはENECO社が第一候補に選出された。なお、イタリアの代替エネルギー研究所も今回の主催を主張しており、提案の吟味がなされることになっている。

事務局として本国際会議が無事かつ成功裏に終わったことを心より喜んでいる。これは当研究所の所員、特に、札幌ラボのメンバーはもとより、実に多数の方々のご協力の賜物と感謝している。特に、(株)テクノヴァ、アイシン精機(株)のみなさん、(株)コンベンションリンケージ、(株)日本旅行、ホテル・エイベックス洞爺のみなさん、さらにイタリアのチェラーニ博士夫人およびNHEラボ浅見プロジェクトマネージャー夫人にお世話になった。誌面を借りてお礼申し上げる。

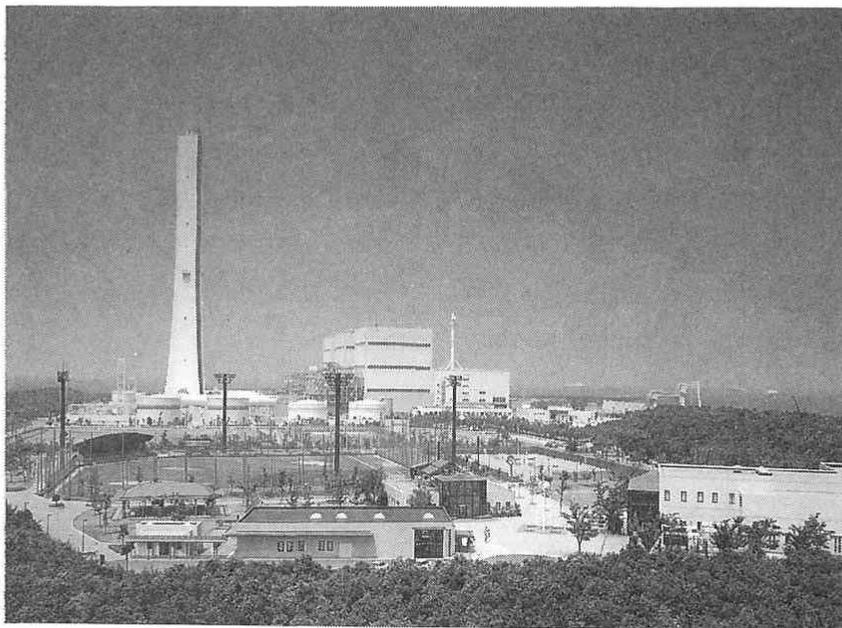


関西電力株式会社

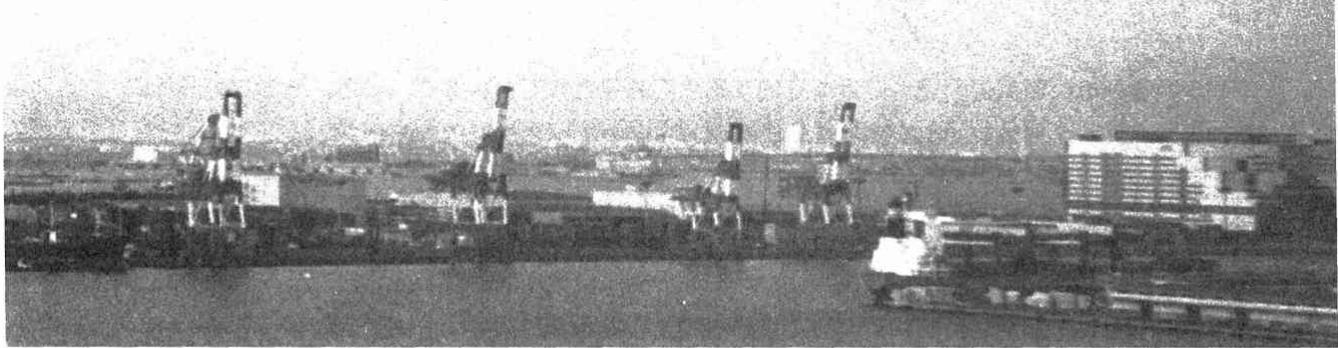
南港発電所

私たちの毎日の生活に欠かせない電気をつくる発電所，かつては灰色をしたコンクリート造りの建物がイメージに浮かびました。でも，環境にクリーンとグリーンが求められ，また個性の時代と謳われている現在，発電所にもイメージチェンジが図られているようです。

そこで，私たちIAE女性研究員取材チーム（丸山，高部）は，今回，環境に優しく，地域との共生に数多くのアイディアが取り込まれている関西電力（株）南港発電所を訪問しました。



高さ200mの煙突「白ねぎ君」と「エル・シティ・ナンコウ」の全景



ボイラー室屋上から大阪港を望む

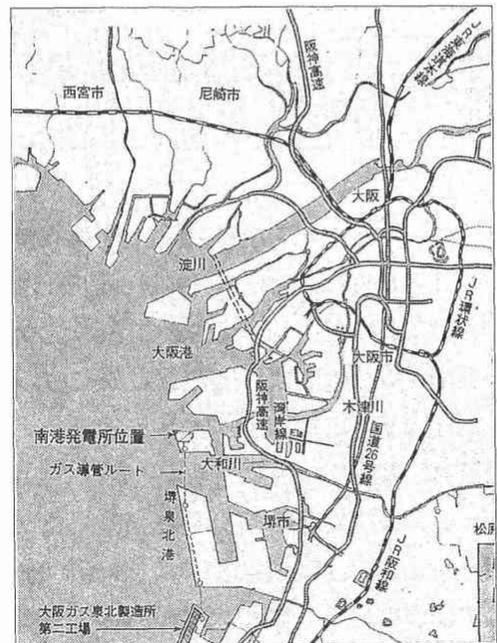
《地域と共に》

大阪は、昔から商業と港の町として栄えてきました。南港発電所は、その海の玄関口にあり、第1号の発電機は平成2年11月に運転を開始しました。現在では、3基の発電機により180万キロワットの規模で電力を大阪市南部に供給しています。

しかし、この発電所は、単なる電気づくりのプラントとして街の一面に存在するのではなく、地域との共存にも大変な気配りがなされています。

工場敷地の周囲には緑化マウンドがあって、約35万本の樹木が植えられおり、この樹林帯の一部は、散歩やジョギングなどができる遊歩道、クリやカキのなる果樹園として、人々の憩いの場所となっているのです。

また、発電所構内の敷地の1割がエル・シティ・ナンコウ(EL CITY NANKO)として一般に開放されており、訪れる人は、年間およそ18万人。電気エネルギーの情報を提供するエル・シティ館、野球場やテニスコートといったスポーツ施設があり、エル・シティ館内にある「ベンチャー・トリップL」は、電子の世界の旅をテーマとした、アドベンチャー気分を楽しめる乗り物になっています。

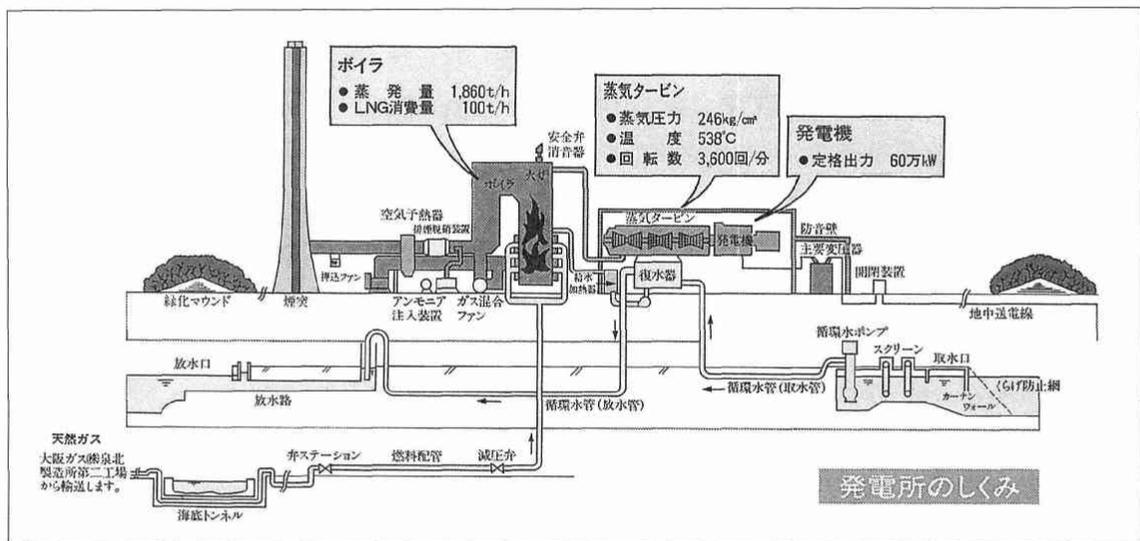


発電所の位置

南港発電所は、電気の消費地に近く立地する点では恵まれています。一方、そのため運転による周辺地域への環境面での影響に、特に配慮が払われているのに驚きました。

この発電所は、クリーンな天然ガスを燃料として使用しています。この天然ガスは、輸入されたLNGを大阪ガス（株）の泉北製造所で気化して送られてきます。LNGは、輸出元の生産地で液化の時に不純物を除去していますので、燃焼の際に環境を悪化する亜硫酸ガス、ばいじんの発生がありません。燃焼時に空気中の窒素から発生する窒素酸化物は、排煙脱硝装置で80～85%除去されるシステムで、大気の汚れを防ぎます。

また、ボイラー、タービン発電機等から出る騒音は、防音壁構造の囲いと消音装置で抑えています。



そして、何といっても目を惹くのが高さ200mの煙突。3基のボイラーからの排煙を最大秒速35mの速さで排出し、上空高く拡散させるのが本来の役目ですが、景観への配慮が大きく、下から上にかけて細くなっていく曲線のデザインがとても優しく、港の玄関口にふさわしいシンボルになっています。側面は、白地にグリーンのストライプを入れた明るい配色で、これから「白ねぎ君」という愛称になりました。

夜間は、春はグリーン、夏はブルー、秋はパープル、冬にはゴールドと四季ごとに色分けされたライトアップで彩られ、「白ねぎ君」は、単なる「煙突」だけでなく「ランドマーク」にもなり、航行する船の安全にも役立っているとのことでした。

このような周辺の環境や地域の人々への配慮が評価され、平成3年度に国際照明デザイン賞と公共の色彩賞、平成6年度にグッドデザイン施設、平成7年度に大阪まちなみ賞と、数々の受賞に輝いています。



メタノールに点火，確認している井形さん

CO₂ からメタノール合成へ

排煙脱炭パイロットプラントにより回収されたCO₂と水素からメタノールを合成し，これを燃料としてリサイクルする技術が検討されています。

発電所内のメタノール合成触媒試験装置では，銅，亜鉛，アルミなどから成る触媒の改良，プロセス条件の把握試験等の実証試験を行っていました。

微生物を用いた水素生産

また，CO₂ からメタノールを合成する際に必要な水素を製造する一つの方法として，自然界の生物によって生産する方法があります。

ここではある種の微細藻類が水素を発生することに着目して，「緑藻」と「光合成細菌」を培養して水素を生産する方法を研究していました。現在のところ1日6リットルの水素の生産が可能（最終計画量は9リットル）とのことでした。



「光合成細菌」を説明する平野さん



増殖されたマングローブ（手前）を示す辻本さん

マングローブなどの組織培養

大気中のCO₂を吸収（固定）する他の方法として，植物の機能が期待されています。

ここでは，バイオテクノロジー技術を用いた植物の大量生産や貴重種の増殖技術の確立，実用化の研究が進められており，熱帯樹林であるマングローブやエビネラン，ユリ類を大量増殖させる研究が見られました。



お世話になった香川所長さん（中央），森塚さん（左）と松葉さん（右）

発電所の周辺には、埋め立てによる造成区画が列なり、マンション、ホテル、博物館、水族館、スポーツセンターなどの施設が建ち並び、近代的なウォーターフロントになっています。これから開発が進めば、さらに大勢の人々が集まり住む場所になるでしょう。

そのような中で、ますます需要が高まる電力の安定供給という使命を負いながら、地球環境を保全する研究に積極的に取り組まれる姿や、周辺の環境を大切にし地域にうまくとけ込んでいる様子が、とても印象的でした。

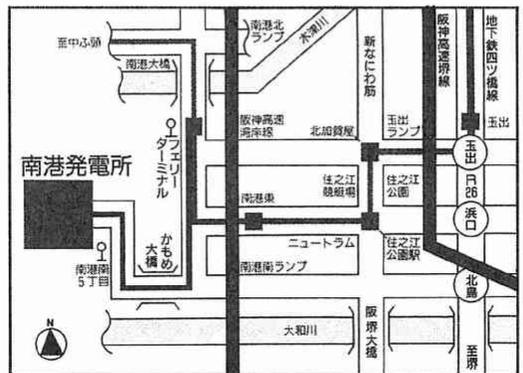
最後になりましたが、お忙しい中、親切に説明をして下さった所長の香川さんをはじめ、発電所を案内して下さいました森塚さん、松葉さん、エル・シティ館館長の滝沢さんや奥村さん、その他取材にご協力いただいた方々に、心よりお礼申し上げます。



～ 交通案内 ～

関西電力 南港発電所
〒559 大阪市住之江区南港南7-3-8
TEL (06) 613-0101(代)

- ・JR大阪駅より車で35分
- ・地下鉄住之江公園駅より車で15分



〔随 想〕

クリーンエネルギー自動車レポート(第2報)

— 電気自動車のゆくえ —

蓮 池 宏 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長補佐)



レポートの第2回目にあたる本稿は、クリーンエネルギー自動車の象徴的な存在である電気自動車についてまとめてみた。

電気自動車(Electric Vehicle:以下EVと略す)については、話題も多く社会的な注目度や期待度も高い。一方で、技術的には電池のエネルギー貯蔵密度という本質的な問題を抱えている。そのため、理想と現実との間で見込み違いや期待はずれが起きることがある。カリフォルニア州のZEV計画はその一例と言える。

<カリフォルニア州のZEV計画>

ここ数年、EVの開発の原動力となってきたのは、間違いなくカリフォルニア州のゼロ・エミッション自動車計画(ZEV計画)であった。1990年に発表された当初の計画では、同州での販売実績が多い自動車メーカー7社(GM、フォード、クライスラー、トヨタ、ホンダ、日産、マツダ)は、1998年から販売台数の2%を、2001年からは5%を、2003年からは10%をゼロ・エミッション自動車とする

ことが義務付けられていた。この計画をそのまま実行するかどうかについては膨大な議論が戦わされ、1996年春、ついに修正が決定された。

まず、台数比率に基づく販売義務づけは、1998年の2%、2001年の5%は撤廃され、2003年からいきなり10%でスタートすることとなった。そして対象メーカーは前出の7社だけでなく、すべてのメーカーに拡大された。

同時に、1998年の2%の販売義務づけの代替として、主要7社は、1998~2000年に合計で3,750台のEVを販売するという覚え書きを交わした。各社の年次別販売台数は表1のように配分されている。また、この覚え書きには、航続距離の長いEVや高性能の電池を使ったEVの場合には、1台を2台または3台としてカウントする、という優遇措置がつけ加えられている(表2および表3)。これにより、より高性能なEVの開発を促そうというねらいである。

全体的に、「EVの技術はまだ未熟で、市場シェアの2%を占めることは不可能」という

筆者は、ここ10年ほど各種の代替エネルギー自動車や新型エンジン自動車の調査研究に携わってきた。自動車用エネルギーの問題は、エネルギーの面からも都市大気汚染の面からも地球温暖化の面からも、今後ますます重要になっていくであろう。さまざまな情報のポイントを整理し、クリーンエネルギー自動車の今後を展望してみる、というのがこのレポートの趣旨である。ここで述べることは筆者個人の見解であり、間違った認識もあるかと思う。読者諸兄のご批判を仰ぎたい。E-mail: hasuike@iae.or.jp

表1 カリフォルニア州のゼロ・エミッション自動車の販売義務付け

(単位:台数)

	GM	フォード	トヨタ	ホンダ	日産	クライスラー	マツダ	合計
1998年	182	181	135	101	70	51	28	748
1999年	365	363	271	202	141	103	55	1,500
2000年	366	363	271	202	141	103	55	1,502
計	913	907	677	505	351	257	138	3,750

表2 航続距離に基づく優遇措置 (単位:マイル)

台数	1996-1997年	1998-1999年	2000-2002年
2	any	>100	>140
3	>70	>130	>175

表3 搭載される電池のエネルギー密度に基づく優遇措置 (単位:Wh/kg)

台数	1996-1997年	1998-1999年	2000-2002年
2	any	>50	>60
3	>40	>60	>90

自動車メーカーの主張が取り入れられた格好になった。実際、冷静に考えれば、世界で1万台程度しか普及していないEVがカリフォルニア州だけで毎年数万台(7社合計)も売れるというのは、現時点では夢物語でしかない。

米国東部のニューヨーク州とマサチューセッツ州は、依然として1999年からのZEV販売義務付けという方針を維持しているが、これらの州も、早晚、計画を修正するであろうという予測が支配的になっている。

カリフォルニア州のZEV計画はやや後退したが、この計画が発表になって以来6年の間、EVの技術の進歩への貢献は非常に大きなものがあった。「大きなものがあった」と過去形で言うのは間違いで、現在も、今後も大きな推進力であり続けるであろう。

自動車メーカーとしては、EV開発の手綱を緩めるわけにはいかない。1998年に2%という基準に比べて、2003年に10%というのは、決して易しい目標ではない。ZEV計画が1990

年に発表されて6年余りが経過したが、2003年まであと6年であり、時間的余裕は多いわけではない。また、覚え書きにより、各社とも数百台のEVを販売してこれらが一般ユーザーの元で使われるようになると、そのケアに追われることになるであろう。初期故障や誤操作などによるトラブルが続出することは、大いに考えられる。メーカーとしては、たとえ誤操作によるトラブルでも、すべて対応せざるを得ない。

<カリフォルニア州向けのEV>

さて、日米の各社は1998年に向けてどのようなEVを市場に投入しようとしているのだろうか。

各社から発表されているカリフォルニア州向け市販EVの概要を表4に示す。GMは既に1996年末からロサンゼルス等でEV1の販売を開始した。1997年中に販売した台数は、表1に示した1998年の台数の一部とみなされる。その際、表2の優遇措置の適用を受け、航続距離が70マイルのEV1であれば1台が3台分としてカウントされる。トヨタも日本国内で1996年9月からRAV4 EVの販売を開始し、米国での販売に備えている。

各社のEVに使用されている電池は、ニッケル-水素電池が2社、リチウムイオン電池が1社、その他は鉛電池である。ニッケル-水素、リチウムイオンといった新型電池は、航

表4 自動車メーカーが米国で販売予定の電気自動車

メーカー	車名	車種	電池	航続距離	投入市場	時間
フォード	TDM	ピックアップ	鉛	50マイル	カリフォルニア州のフリート	1996年夏
	Renger	トラック			米国全体のフリート	1998モデル年
GM	EV1	乗用車	鉛	70マイル 都市内 90マイル 高速道路	ツーソン, フェニックス, サ ンディエゴ, ロサンゼルス	1997モデル年
	Chevrolet S-Series	ピックアップ トラック		40マイル 都市内 45マイル 高速道路	米国全体のフリート	1997モデル年
ホンダ	Honda EV	乗用車	ニッケル -水素	125マイル 都市内	カリフォルニア州のフリート 向けに300台リース	1997年春
トヨタ	RAVE4-EV	スポーツ・ユ -ティリティ	ニッケル -水素	118マイル 都市/高速混合	カリフォルニア州のフリート 向けに320台リース	1998モデル年
日産	Prairie Joy EV	ミニバン	リチウム イオン	120マイル 都市内	カリフォルニア州のフリート 向けに30台リース	1998年
クライスラー	EPIC	ミニバン	鉛	60マイル	未定	1998モデル年

航続距離は長いが高価である。日本のメーカーが新型電池を指向し、カリフォルニア州での自動車の使い方を肌で知っているはずの米国メーカーが航続距離の短い鉛電池を採用しているというのが興味深い。ユーザーは果たしてどちらを選択するだろうか。

ただし、米国メーカーが新型電池に無関心というわけではなく、実際は全くその逆である。ビッグスリーと米国エネルギー省、電力研究所が資金を出している米国新型電池コンソーシアム(U.S.Advanced Battery Consortium)は、第1期の1991~1996年には、ニッケル-水素電池、リチウムイオン電池、リチウムポリマー電池などの研究に250百万ドルを投資し、1996年から開始された第2期では、リチウムイオン電池を中心に、さらに106百万ドルの資金を投入する予定である。

<国際電気自動車シンポジウム>

こうした状況の下、去る平成8年10月16~20

日、国際電気自動車シンポジウムが日本で初めて開催された。このシンポジウムは、EVの分野では最も歴史があり、最大規模の国際会議である。

当初はEVに関する研究発表が主体の会議であったが、カリフォルニア州のZEV計画が間近に迫ってきた前回(1994年、ロサンゼルスで開催)あたりから、次第にビジネス色が強まってきている。会議と並行して展示も行われたが、そこはモーターショーの一部を切り取ってきたような様相であった。

会議は非常に盛況で、参加者数は1,500人を超えて過去最高を記録し、2日目の午後には資料(論文集)の余部が底をついて、資料がもらえずに参加した人もいたという。日産自動車のリチウムイオン電池自動車やトヨタの燃料電池自動車など、注目の論文が発表されたセッションは、立ち見どころか部屋から溢れるほどの聴衆が詰めかけた。

先に紹介したカリフォルニア州向けのEV

のいくつかは、プロトタイプ車が展示され、試乗会にも提供された。加減速のフィーリングや乗り心地などについては、かなり完成度が高いとの評判であった。電池は床下に収められ居住スペースやトランクをつぶすこともない。かつて「電池運搬車」と皮肉られた面影は、もうない。短時間の試乗であれば、「今すぐにでも実用化できるのでは」と思ってしまう人がいても不思議ではない。

新聞各紙は、このシンポジウムの状況を「電気自動車、実用化へ加速」「勢いづく電気自動車の開発」などと積極的に報道した。

しかし、EVが既存のエンジン自動車に肩を並べて普及していくには、まだ問題は多い。一番の問題はやはり電池、特に、その寿命と充電時間とコストである。

<新型電池の課題>

電池の候補は、当面、鉛電池、ニッケル-水素電池、リチウム電池の3種類に絞られたと言ってよい。この他に、ナトリウム-塩化ニッケル電池、亜鉛-空気電池などの発表があったが、やはり自動車メーカーが採用を決めないとインパクトは弱い。

EVの歴史が始まって以来、ほとんどの実用EVに鉛電池が使用され続けてきた。その鉛電池に代わるEV用電池として、ニッケル-水素電池に期待がかけられている。エネルギー密度、出力密度、寿命などEV用電池に求められる多くの点で、ニッケル-水素電池は鉛電池を上回っている。

ニッケル-水素電池にも問題はあつた。まず第一はコストである。ニッケルも水素吸蔵合金も、鉛よりはるかに高価な材料であり、エネルギー密度が高いことを加味しても、ニッ

ケル-水素電池は鉛電池より高くなるであろう。寿命に関しては、車としての使用期間中、交換は不要と想定されているが、実使用状態で期待どおりの寿命性能が得られるどうかか問題である。この他、夏場などの高温時に充電効率が悪くなることやメモリー効果の対策も解決が必要な課題である。

現時点で、鉛電池に代わる高性能電池としてニッケル-水素が最有力であることは間違いない。しかし、いずれはリチウム電池や燃料電池に取って代わられるのでは、という声があるのも事実だ。

そのリチウム電池にしても、実用化への道は簡単ではない。日産がプレーリージョイEVに搭載している電池は、正極にコバルト酸リチウムを用いている。コバルトは希少金属であり、価格も非常に高い。リチウムも高価な金属であるような印象があるが、負極にリチウム金属でなく炭素材料を用いるリチウムイオン電池では、リチウムの使用量はかなり少なく、コスト的にはあまり問題にはならない。問題は正極のコバルトである。コバルト酸リチウムの代替として、ニッケル酸リチウムやマンガン酸リチウムを用いることも研究されているが、サイクル寿命などの点で実用レベルには達していない。

リチウム電池がEV用電池として現実味が出てくるのは、コバルトに代わる安価な正極材料の適用が成功したときである。

二次電池に代わる電源としてトヨタが開発した燃料電池自動車も新聞報道では大きく取り上げられた。カナダやドイツでは既に開発例があるが、今回のトヨタの発表により日本での燃料電池自動車の認知度は飛躍的に向上したことであろう。この燃料電池自動車につ

いては改めて報告したい。

<ウルトラキャパシタに注目>

新聞や雑誌には全く取り上げられなかったが、今回のシンポジウムの発表の中で筆者が個人的に注目しているのは、ウルトラキャパシタである。

ウルトラキャパシタは非常に容量の大きなコンデンサである。(電気の分野のコンデンサは英語ではキャパシタ<Capasitor>と呼ぶ。英語でCondensorは一般には凝縮器の意味。)ウルトラキャパシタは出力密度が高くサイクル寿命が長い、という特長があるが、エネルギー密度が小さい(鉛電池の1/10以下)のが欠点とされてきた。

しかし今回のシンポジウムにおいて、岡村研究所という無名企業から、同社が開発しているキャパシタのエネルギー密度は「従来の20%の向上ではなく、20倍の向上が見込める」という発表があった。従来の1~2 Wh/kgの20倍と言えは20~40Wh/kgということになる。共同開発しているパワーシステム社のブースに展示されていたのは10Wh/kgのセルであった。それでも、今までの常識からすると正に桁違いのエネルギー密度である。

この技術が、信頼性やコストの面でどの程度のものかは不明であるが、性能だけ見れば、ハイブリッド自動車のエネルギー貯蔵用なら、すぐにも二次電池に取って代わって実用車ができるレベルだ。もし、30~40Wh/kgが実現するなら、ウルトラキャパシタだけを電源にしたEVさえ考えられる。ウルトラキャパシタEVは充電の残量を正確に計測でき、急速充電も可能で、二次電池の問題点のいくつかが一挙に片付くことになる。

仮定ばかりに基づいて過度な期待をかけることは戒めなければならないが、今回のこの発表は、今後のハイブリッド自動車を含めたEV開発に大きな影響を与える可能性を秘めていると思う。

<長期的視点での開発が必要>

EVは、クリーンという意味では(特に大都市の大気汚染対策として)理想的な自動車であり、華やかさや夢がある。しかし、早期の大量普及という観点からは、性能面でも経済性の面でも問題が多い。最初にしたように、理想と現実のギャップを見極めないと、机上の空論で実力に不相応の計画を立ててしまう。結果論ではあるが、カリフォルニア州の最初のZEV計画は、よく言えば野心的、悪く言えば無謀なもので、修正されるべくして修正されたと言える。修正後の1998~2000年の販売義務付け台数3,750台は当初計画の約1/50であるが、これさえも簡単な数字ではないと思う。

ここ数年、EVの技術の進歩は確かにめざましいものがある。しかし、実用的な商品として普及していくレベルに達するには、まだ時間がかかりそうだ。EVに短期的に大きな期待をかけるのは無理があり、長い目で開発を進めた方がよい、と筆者は考える。

原稿執筆中に、カリフォルニア州でハイブリッド自動車もZEVとしてカウントする、というニュースが飛び込んできた。インタビューに基づく報道なので正式決定ではないが、これが実現すれば影響は大きい。今回は、このハイブリッド自動車について報告したい。

研究所のうごき

(平成8年10月1日～12月31日)

(日本鋼管(株) 技術開発本部
技術企画部 主幹 大野陽太郎氏)

◇ 第2回賛助会員会議

日時: 11月15日(金) 15:00～18:00

場所: 経団連会館(9階) 901号室

議事次第:

1. 平成7年度事業報告および収支決算
2. 平成8年度事業計画および収支予算
3. 講演「グローバルエネルギー戦略」
(東京大学 教授 山地憲治氏)

◇ 第6回新水素エネルギー国際会議 (The Sixth International Conference on Cold Fusion)

日時: 10月13日(日)～10月18日(金)

場所: ホテルエイベックス洞爺(北海道)

◇ 月例研究会

第140回月例研究会

日時: 10月17日(木) 14:00～17:00

場所: 航空会館7階 第2・第3会議室

議題:

1. 国際電気自動車シンポジウムの概要とわが国における電気自動車の動向
(東京大学 工学系研究科 地球システム工学専攻 教授 石谷 久氏)
2. カリフォルニア州および米国における電気自動車の将来展望(逐次通訳付)
(カリフォルニア大学デイビス校 交通研究所 理事・教授 グニエル・スパーリング氏)

第141回月例研究会

日時: 11月29日(金) 14:00～16:00

場所: 航空会館6階 中ホール

議題:

1. 低品位炭改質技術
—その1 油中改質技術—
(株)神戸製鋼所 技術開発本部
石炭液化推進部 次長 勝島真一氏)
2. 低品位炭改質技術
—その2 ジメチルエーテル合成技術—

第142回月例研究会

日時: 12月20日(金) 14:00～16:00

場所: 航空会館6階 中ホール

議題:

1. 我が国の次世代PWRの概要及び欧米の新型軽水炉開発の動向
(三菱重工業(株) 軽水炉プロジェクト部 次長 松岡 強氏)
2. 欧州加圧水型軽水炉(EPR)の概要と開発状況
(原子燃料工業(株) BWR燃料事業部 主幹技師長 森 一麻氏)

◇ 主なできごと

10月1日(火)・第2回残渣油発電の環境影響調査委員会

・第2回低質燃料利用高効率発電技術調査委員会

2日(水)・第1回負荷集中制御専門委員会

・第2回長期的エネルギー・環境技術の研究開発に関する調査委員会

8日(火)・第2回石油活用型スーパーごみ発電システムの普及促進に係るモデル調査委員会

9日(水)・第2回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会

11日(金)・第1回先進型高温高効率エンジン調査委員会

16日(水)・第1回自動車排出ガスに係わる未規制有害物質調査委員会

20日(金)・第1回分散型電源動向分析調査委員会

・第2回分散型電源としてのHATサイクルガスタービン実用化可能性調査委員会

23日(水)・第1回長期電力需要要因分析委員会

11月1日(金)・第2回含酸素軽油の開発可能性に関する調査委員会
11月5日(火)・第1回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの

- 評価に関する調査委員会
- ・第2回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会
 - ・第1回DSM技術検討委員会
- 6日(水)・第2回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会
- 8日(金)・第1回分散型電源動向分析調査委員会
- ・第1回地熱開発技術調査委員会
- 15日(金)・第3回長期的エネルギー・環境技術の研究開発に関する調査委員会
- ・第1回地層処分研究委員会
- 18日(月)・第2回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会
- 19日(火)・第2回WE-NET全体システム概念設計-安全対策・評価技術委員会
- 20日(水)・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
- 21日(木)・第3回残渣油発電の環境影響調査委員会
- 25日(月)・第7回TRU廃棄物中深地層処分シナリオ調査検討委員会
- 29日(金)・第4回長期的エネルギー・環境技術の研究開発に関する調査委員会
- ・第7回原子炉安全数値解析高度化委員会
- 12月3日(火)・第2回WE-NET総合評価と開発計画のための調査・研究委員会
- 4日(水)・第1回将来型軽水炉要素技術調査検討委員会
- 6日(金)・第3回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会

- 10日(火)・第5回長期的エネルギー・環境技術の研究開発に関する調査委員会
- 11日(水)・第2回先進型高温高効率エンジン調査委員会
- 16日(月)・第2回地層処分研究委員会
- ・第2回高度脱灰火力技術に関する調査委員会
- 17日(火)・第1回石炭水添ガス化高度化調査分科会
- 20日(金)・第2回高温ガス炉プラント研究会
- ・第2回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査委員会

◇ 人事異動

○10月14日付

(昇任)

泉 寛章 プロジェクト試験研究部
主管研究員

○11月20日付

(出向解除)

加藤 恭義 (プロジェクト試験研究部
副主席研究員)

南雲 利夫 (プロジェクト試験研究部
主管研究員)

○11月21日付

(採用)

広瀬八州雄 プロジェクト試験研究部
主管研究員

○12月31日付

(退職)

中川 稔 (総務部長)

編集後記

巻頭言は、電気事業連合会副会長の外門一
直氏に寄稿頂いた。同氏は、昨年6月に現職
に就かれたが、同時に当所の理事にもなって
頂いている関係もあり新年を飾るメッセージ
をとということで御願ひし快く引き受けて頂い
たものである。

理事長対談は、昨年6月OECD/IEAより通
産省に戻られたエネ庁長官官房審議官の谷口
富裕氏との対談である。当季報刊行上の慣例
としてエネ庁審議官が替わられた時にはご登
場頂いており今回も御願ひした次第である。
エネルギー問題特に原子力行政面において豊
富な知見を有される同氏との対談は、原子力
発電を核としての我が国エネルギー政策の在
り方、原子力PA、国際化・情報化時代への対
応等昨今話題のテーマを中心に予定時間を越
える程熱心に展開された。

外部よりの寄稿は3編ある。その1は、東
京大学の安成弘名誉教授による「高温ガス炉
と原子力エネルギー利用の拡大」、その2は
(社)海外電力調査会の飯沼芳樹氏による「米
国における電気事業構造の現状と将来」であ
り、その3は、(財)電力中央研究所の大隅多
加志氏による「CO₂の低減と処分についての
内外動向紹介」である。いずれも、当研究所
が昨年実施した月例研究会で講演頂いたもの
であるが、昨今の状況下で益々話題性を有す
テーマであり、その後の最新情報を加え文章
化して頂いたものである。

所内よりの調査研究に関する発表は2編あ
る。その1は、松沢忠広専門役による「天然
ガスの資源状況と燃料メタノールへの転換」、
その2は、田中敏英研究員による「CO₂回収・
処理を考慮した火力発電システムのライフサ
イクル分析」である。前者は、中小規模ガス
田とCO₂高含有率ガス田の有効利用を提言
したものであり、後者は、開発中の各種CO₂
回収新技術の評価を、素材を含むプラント建
設から運転までの全エネルギー投入量の大小
という観点から整理したものである。

内外状況紹介としては、昨年開催された「新
水素エネルギー(常温核融合)国際会議」の概
要を事務局を代表して松井一秋部長が報告し
た。内外からの出席者約200名(含、同伴者)が、
北海道洞爺湖畔のホテルで4日間ほぼ缶詰状
態の中で熱心に発表、討議が行われた様子が、
現在までの研究成果の概要とともに臨場感あ
ふれる記述で紹介されている。

最後に、女性研究員による訪問記であるが、
今回は、グッドデザイン施設、国際照明デザ
イン賞等数々の受賞を得るなど、地域共生あ
るいは環境研究で有名な関西電力(株)の南港
発電所を訪問した。女性の感性により捉えら
れた発電所が、単なる技術紹介でなく、地域
と共生する血の通った設備として生き生きと
紹介されているのではなかろうか。

編集責任者 小川紀一郎 記

季報エネルギー総合工学 第19巻第4号

平成9年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社