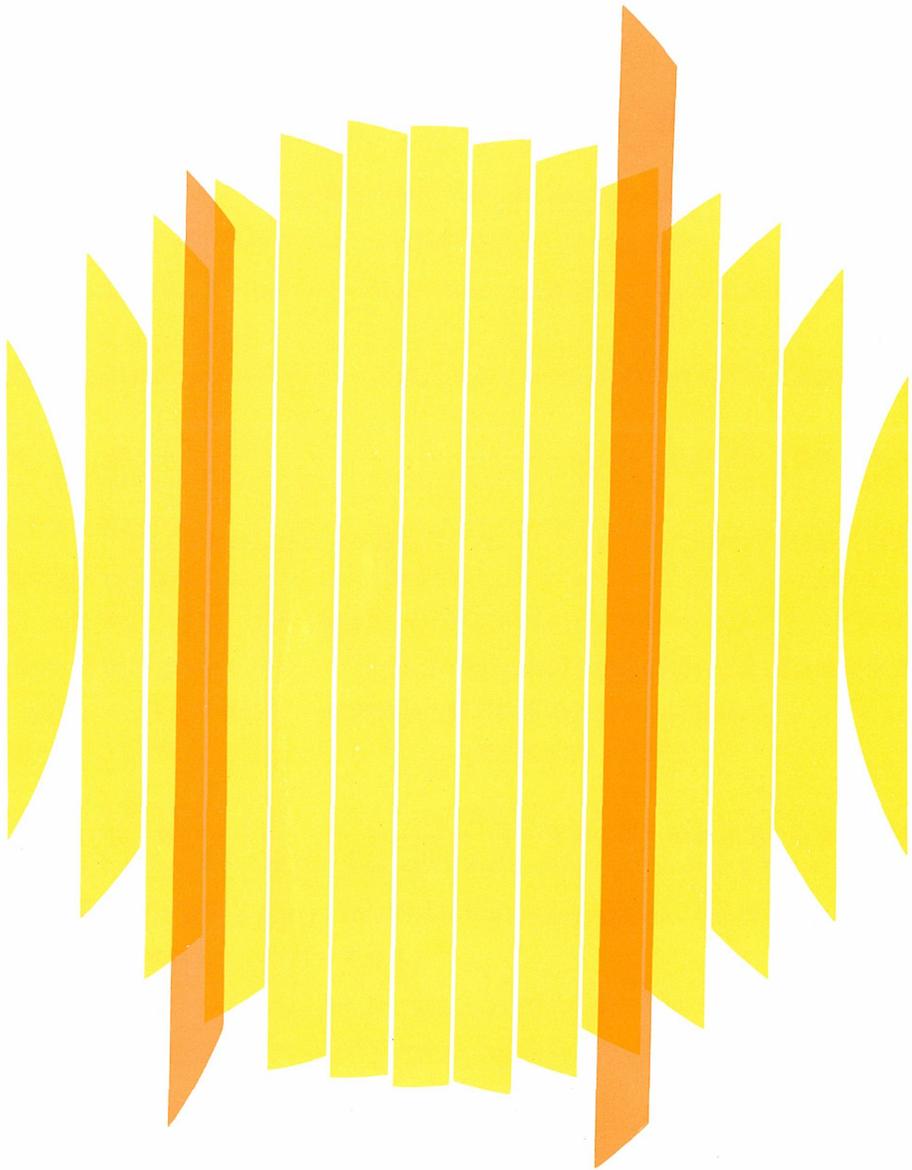


季報 エネルギー総合工学

Vol. 15 No. 3 1992. 10.



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】日本原電の使命	日本原子力発電㈱取締役社長 飯田孝三	1	
【理事長対談】今後の地球環境への対応について	川口順子 山本寛	2	
【寄稿】「スーパーゴミ発電」の推進について	平田賢	10	
【寄稿】「電力と技術」懇談会報告書について	中富泰三	19	
【調査研究報告】固体電解質型燃料電池	岩城秀雄	28	
【調査研究報告】FBR新技術フィージビリティ調査	津久井豊	43	
【調査研究報告】水素吸蔵合金利用	土持綱久	53	
【調査研究報告】諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分に係わる制度	蛭沢重信	67	
【調査研究報告】IEA国際会議「New Electricity 21」	吉澤均	78	
—21世紀に向けての電力技術と経営戦略— (5/12~5/14) の開催を顧みて	森信一郎		
【寄稿】平成4年度版通商白書の概要	竹井友二	94	
【訪問記】大町エネルギー博物館訪問記	IEA女性研究員取材チーム	108	
【随想】エネテクトリーム21 (その3)	奔流となる天然ガスメタノールサイクル発電	与志耶劫紀	112
研究所のうごき		125	
編集後記		128	

巻頭言

日本原電の使命

日本原子力発電株式会社

取締役社長 飯田 孝三



初めに私事であるが、私もとうとうほんものの原子力屋になった。電力会社で長らく工務関係の仕事をしてきたが、13年前急に原子力の担務を命ぜられた。最初はワンポイント リリーフと思っていたが、大事な仕事であり、きちんとしなければと思ってやっているうちに、会社では原子力本部長となり、電気事業連合会の原子力開発対策会議の委員長を仰せつかり、このたび日本原電社長の御指名を頂いた。ほぼ同時に原子力学会会長にもなり、電気事業に一生を捧げることを念願としてきた私にとっては、将に天命を感じるとともに、使命の厳しさに胸をしめつけられる思いがする

電気が水や空気と同じように、いつでも手に入るような気がするため、その有難さと作り出すむつかしさと、そしてまた、大事に使わないと不足してしまうことも忘れがちになる。こうしたことを世間に知って頂くことは大切な仕事であり、あわせて、電気事業は巨大産業であるため安全安定運転に専念していることを知って頂き、信頼して頂くことが何よりも大切である。特に原子力は平和利用であるが、原爆を連想されるため危険視され我々の努力も冷たく見られるのは、誠に残念である。日本原電は原子力発電のパイオニア会社であり、またその専業会社であるため電力会社の先頭をきって、原子力の難局打開に全力投球する所存である。

日本原電は、ガス炉、BWR、PWRなど違った型の原子炉を開発運転しているため、夫々の長所短所を知り、これを今後の改良、改善に反映することが大切である。また、新型炉の研究開発は、将来電力会社で利用して頂くための実証開発であり、パイオニア会社としての使命である。特にFBRは原子力発電の究極目標であり、実証炉開発に万全を期す所存である。更に、将来の電力需給の逼迫に備えて電源開発を推進することは、電気事業の使命であり、わが社はこの点からも貢献したいと思っている。

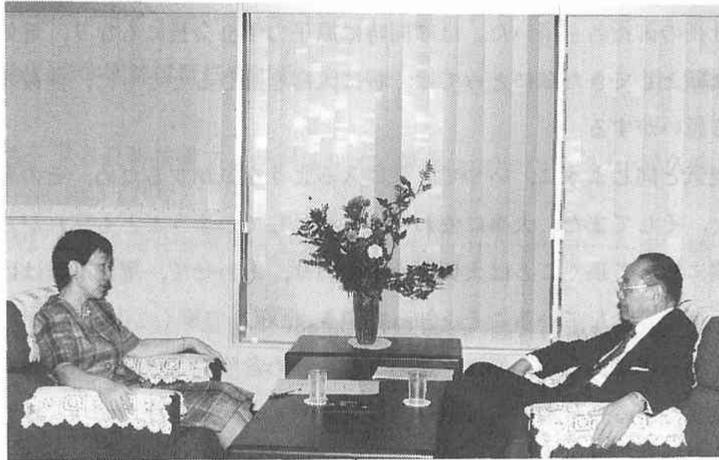
日本原電のもう一つの強みは、昔一緒に勉強した原子力技術者が、今や各電力会社で中枢の技術者経営者となり活躍されていることである。安全対策を始め、原子力政策について連携を密にし、日本の原子力発展に寄与されることを願っている。

日本原電には選択肢がない。そのため経営方針には迷いがなく、原子力発電を強力に進めることがすべてである。今後とも皆様方の御支援を切にお願いする次第である。

今後の地球環境への対応について

川口 順子（通商産業省大臣官房審議官(地球環境問題担当)）

山本 寛（財エネルギー総合工学研究所理事長）



山本 川口さんは6月末に審議官になられました。それまでは駐米公使でいらっしやうと承っております。日米摩擦が厳しい折から、さぞご苦勞も多かったことでしょう。

川口 湾岸戦争の頃とブッシュ訪日の頃の二回、日米関係がさほどよくなかった時期がありましたし、個別貿易問題での交渉が難しかった時期もありましたけれども、それにもかかわらず、日米関係は基本的には強い相互理解の下に良い関係にあると思っております。一時期余りうまくいかないことがあっても、双方の努力でそれをマネージして良い関係にもっていくことができます。

山本 それでは私どもの研究所について少し紹介させていただきますと、この研究所は石油危機の発生後に発足しましたので、エネルギーの供給側の問題を主体に仕事を進めてきたのですが、そのうちエネルギーを使う側の調査研究もする必要があるということで、そちらの方にも手を広げてまいりました。

例えば電力需要の平準化とか、夜間電力を生かすということで電気自動車の開発などの問題にも取り組んでおります。

地球環境問題にあってもエネルギーは大きな関わりをもつものですから、関心は大いに持ってはいるのですが、残念ながらその問題

を専門にフォローしている者はまだおりません。

去る6月にはブラジルのリオデジャネイロで国連環境開発会議（UNCED）という大きな会議がありました。総体的にみればかなりの成果があった会議だと思いますが、これから後が大変だろうと思っております。しかも、何分にも広範な領域にわたっておりますので、これに対応していくのは容易なことではないと思うのですが、具体的にどのようにあの会議をみておられますか。

川口 私はこの間、2週間ほどかけてヨーロッパとアメリカを回って、そのようなことを話し合ってきたところなのですが、皆さん、成果があったとおっしゃって、私どももそう思っています。

他の皆さんが共通しておっしゃるもう一つのことは、これは、これから始まる段階の始まりに過ぎない、出発点であるというご意見でした。

内容的には気候変動枠組み条約とか生物多様性条約とか一後者にはアメリカは加わりませんでしたが一などがまとまり、先進国も発展途上国も含めてそれぞれの条約に150余りの国が署名したわけです。それだけの国が署名できるような形にまとまったということ自体が大変なことだったと思うのです。

さらに「リオ宣言」が出されましたし、「アジェンダ21」といって、21世紀に向けてのこれからの行動計画を示すものが出されました。

森林の保護については、アメリカをはじめ先進国は条約化したかったのですが、条約にはなりませんでしたが、森林に関する原則声明が出されました。

環境問題は開発と切っても切れない関係にあります。

20年前のストックホルム会議では「環境が重要だ」と言ったはずなのですが、その頃に比べると南側の国が強くなったこともあって、環境と開発を一緒にとらえ、持続的な開発つまりサステイナブル・ディベロップメントという言葉がキーワードになったと思います。その言葉で象徴されるような、開発と環境問題は密接不可分なんだという認識が表に出てきたことが、今度の会議の特徴の一つでした。

持続的な開発とは何かということは、多分開発の方に足を入れて見る人と環境の方に足を入れて見る人とは多少解釈が違ふようなところがあるとは思いますが、南側の国からいえば開発が重要であり、リオ宣言でも開発の権利ということが書かれています。

ただし開発をするときにも環境が大事であって、後世でも開発をし続けることができるように、環境に配慮した開発の仕方をしなければいけないということだと思います。

それからまた、やはり環境の再生策といいますか、メンテナンスが重要だと思われません。

南は開発が大事だといひ、今まで環境を汚して来たのは北の責任であるというわけですが、北の立場からいえば、発展途上国も関与しているわけで、これから開発をしていけばこれらの国々も環境問題にいろいろ遭遇することになる。地球環境問題の、ある意味で加害者になっていく前に、彼らの政策なり行動なりを枠組みの中に入れてしまったということだと思います。

そういう意味で、北と南の双方にいろいろ



な対立があったところを折り合って枠組み条約ができたというのは大変なことだったと思います。

各国の元首が多数出席しましたが、その影響は今すぐにはないかもしれませんが、政治の指導者たちが環境問題をそれだけ重要なものだと認識したことは、多分後々の政策に反映されていくことと思われます。

プレスやNGOの人達も大勢来たということもそうであって、世界全体が環境と開発という枠組みの中で、それぞれの人が合意できるような内容の出発点が形成できたということは評価すべきことではないでしょうか。

とにかく、これからやっていくことが大事なことでして、そういう点からいうと、今回のリオの会議のもう一つの特徴は、プロセス管理をやる仕組みに作ってあるということです。アジェンダ21でもそうですし、気候変動枠組み条約でもそうですが、各国が何をしたかをたえず報告することになっています。それは、10年先に目標があったとして、10年たってから「さあ、やりましたか。見てみましょう」というのではなくて、それぞれが何をやったかを毎年発表する場が用意されていまして、したがって本当にやり得るかどうかに ついてもちゃんと考えられる制度にできています。

山本 先進国というか北側の国々が環境を守るために研究開発とか技術開発を進んでやることは大事なことです。南北問題で一番かみ合わないのがお金の問題ではないでしょうか。日本も北側の国としてこの問題にぶつかることと思うのですが。

川口 そうですね。アメリカも非常に大きな赤字ですし、他の国も、日本も含めて経済成長が高いという状況ではなく、財政的にはなかなか苦しい立場にあります。その中でアジェンダ21というのは、貧困の克服から何か何まで入って入って、それを全てきちんとやっていくためには膨大なお金がいるわけです。

UNCEDの事務局はアジェンダ21の所要費用として年間6千億ドル、このうち先進国からの援助が年平均1250億ドル必要だという試算を出しましたが、それは現在の先進国から発展途上国への資金のネットフローに匹敵するほどの額になります。

1250億ドルは承認された数字では全くありませんが、それにしても世界的な資金不足の時代ですから実施に当たってはそれぞれの事柄の重要性を判断することが大事になると思われます。多分、重要度をつけることは政治的にはとても難しいことなのでしょうが、やらざるを得ないことだろうと思われます。

日本への期待には大きなものがありまして日本はリオの会議で70億ドルぐらいの拠出をしようという話をしましたが、これは大変インパクトがありました。ECは全体として30億ドルぐらいということでしたが、ECの場合は、EC委員会として出すのとメンバー国がそれぞれ出す出し方がこれから決まることでして、そういう意味でも日本の申し

出は大変に評価されました。

あるアメリカのシンクタンクが出した今回の会議の評価というのを読んでいたら、アメリカの国際社会におけるリーダーシップが十分に発揮されなかったということと、それに引きかえ日本とドイツの国際的なステータスが非常に上がったということが書かれてありました。

山本 そのお金を北側の国が捻出し準備したとしまして、これを使う場合に南側の国が勝手に使ったのでは困るわけで、その辺の使い方について日本としてはこういうふうにして欲しいといったことはいえるのでしょうか。

川口 GEF（地球環境基金）という地球環境関連プロジェクトへの融資制度がありまして、いま世銀と国連のUNDP一国連開発計画、一それにUNEP一国連環境計画の3者が実施委員会を作って運営しているのですが、そこにお金を出している国が32ぐらいあります。このGEF（地球環境基金）を拡大してお金を増やして行って、気候変動などの問題を扱っていかうということです。

GEFが拡大されてメンバーの国も増え、どういう意思決定メカニズムでお金を使うかといったことは、今いろいろな案が出ていますけれども、この秋から冬にかけて議論をして決まることになっています。

アジェンダ21をフォローアップするための委員会が、国連の経済社会理事会の下にできることまでは決っていますが、具体的にどのぐらいの規模にするとか、何をするとか、いろいろなことは秋のニューヨークでの国連総会で決まります。

山本 私はよく知らないことなのですが、生物の多様性条約については通産省としてはど



ういう点で関係がおりでしょうか。

川口 課でいうと生物化学産業課という課がありまして、そこがバイオテクノロジーの観点から検討しています。

この条約にアメリカがなせ入らなかったかといいますと、いまもお話があったように、この条約に基づいて資金を出すときに、どの国がどれぐらい発言権を持つかという点がアメリカにとっては不満足だったということです。それから知的所有権の問題もございます。そのため重要なアメリカが抜けてしまったのですが、世界にいまあるいろいろな種が、保存されないままに失われていってしまっはいけないという基本的な考えがあるわけです。

森林については、それはCO₂の吸収源の一つであるわけで、森林条約といったものを作って保護することが考えられたのですが、発展途上国からいえば、開発のための非常に重要な資源でもあります。その権利が認められなくなってしまうのでは困る。そこで具体的にどうやっていくかということはこれから詰めていこうと思っています。

山本 大気保全の問題は、この研究所といたしましても、エネルギーに関係しますので大いに関心がありますが、炭酸ガスを除去するとかあるいは炭酸ガスの発生量を低く抑える

ということになりますと、どうしてもエネルギーコストが上がりざるを得ないわけでしてそうなるのとくに産業界には直接響いてくるわけです。その辺のところは、これからいろいろ検討されることでしょうけれども、非常に難しい問題ではないかと思うのですが。

川口 そうですね。その問題は各国とも非常に意識してまして、例えばECではCO₂税によって、経済的手段でCO₂の排出を抑えようという提案が出ていますが、それに対する各国の反応は国によって様々で、賛成している国もあるし、反対している国もあります。反対している国の言い分としては、例えば原子力に課税するのはおかしい。またECだけが同意すると、ECの経済競争力に差が出てしまう。したがって、他の国もやるのであればやっていいという意見もあります。

しかしどういう手段を使えばどの程度の排出抑制が可能かということについては、まだよくわからないことがたくさんありますね。日本の場合には、産業のエネルギー消費が非常に効率的になっていますから、税率を非常に高く70%以上にしないで効果がないという研究結果がOECDから出ています。

オランダでは炭素税を設けたという話ですが、車の数は決して減らなかったという話もありますし、どういうふうに税をかければ生活様式なり行動に影響するかということを引きちんと押さえてからやらないといけなと感じています。

日本はこれまでいろいろな変化に比較的うまく対応できた国だとは思いますが、だんだんに対応する余地が減ってきていますから、これからは容易でないと思います。

山本 これからはライフスタイルを変えてい

かなくては行けないといわれたりしていますが、20年、30年先の社会がどう変わっていくものか容易に予想が付きません。三位一体と申しますか、経済成長とエネルギー消費と地球環境問題のバランスをどうとっていくべきか、少なくとも今までのようなやり方ではやっていけないと思うのですが、その辺はいかがお考えでしょうか。

川口 アメリカに住んでいましたときに、たまたまあるゴミ捨て場の見学に行ったことがあります。そこはボストンの近郊の小さな町なんですけれども、ゴミは基本的に自分がゴミ捨て場まで持って行く。取りにきてもらう人はそれに対して代金を払う。共稼ぎだったりするとなかなか持っていけない人がいるのです。

そのゴミ捨て場に行ってみますと、捨てるところが分けてありまして、ビンでは茶色のビン、白いビン、透明のビン、青いビン。紙は段ボール、新聞紙、などになっていて、その他に刈った芝を捨てるとか、庭の手入れをして出てきた植木の枝や木材を捨てるとか、古タイヤ、電池、古着などなど20ぐらいに捨てるところが分かれています。その結果、燃やすものは本当にちょっとです。

そういうやり方になったのは、しばらく前に大きなゴミ処理場を作ろうとしたら、町の住民が反対して、じゃあどうすればいいかといったところから変わってきたということでした。

山本 ライフスタイルという非常に範囲が広いので全般的には申せませんが、例えば自動車のモデルチェンジをする期間を少し長くするとすると自動車会社の営業成績に響く。家電製品のモデルチェンジもそうかも知れま

せんね。女性の服装の今年の流行色は何色とかいったことも資源の浪費に繋がっている。こういうことはしかしなかなか変えていくのは難しいことでしょうね。

総合的に判断するとして、一体どれぐらい資源の消費を抑えることができるものかについて、役所の方ではどんな考えをおもちでしょうか。

川口 社会のなかに住む人間一人一人がもつ価値感の違いが以前よりも広がってきていますね。先程の「持続可能な開発」という話にしても、環境が非常に大事だということにウェイトを置く人もあれば、環境に対する配慮は重要だけれど、経済成長がゼロやマイナスでは環境に使うお金も出てきませんから、それが出てくるような開発成長はなくては行けないと考える人もいます。

社会全体の環境と経済成長のバランスをどうとるかということなのでしょうが、どこがいいバランスかということについても、これからの時代は人によって考え方にずれが出てきて、社会全体のコンセンサスはなかなか難しいことだと思います。

山本 持続的な開発について日本だけで考えた場合にはある答えが出るとしても、グローバルで考えていくには大変難しい問題になろうかと思えますね。

川口 森林減少を例にとれば、それは焼畑農業によるところが大きいという話ですが、そういう国が早く豊かになるよう、先進国の援助ができれば、そういう種類の環境問題はだんだん減っていくと思います。そういう意味で援助は非常に大事です。

そして経済成長があるところまで進むと、今度は開発に伴ってCO₂の発生とか酸性雨

とか、水の汚染や土壌の汚染とかの問題が出てくるのですが、それは我々が歩んできた道でもあるのですから、それに対する技術の移転が大事な問題です。

そういう意味で国際協力の問題はグローバルだし、解決の方向もグローバルでなくはいけません。

とくにCO₂による地球温暖化の場合は、どこかが出せばその影響が全体に及ぶわけですから、自分だけがよければいいというわけにはいかない。

そういう意味で自分たちの持っている技術を移転し、それで間に合わないところは我々が開発をし、さらに移転を進めていく。これが先のヒューストン・サミットの折りに出しました「地球再生計画」のエッセンスでございます。

そこで国際協力の枠組みを考えていくことがとても大事なことになると思いますが、いまICETT（国際環境技術移転研究センター）という財団法人が技術移転を担当しています。

また技術開発についてはRITEという組織で検討を進めています。

通産省にはまたグリーンエード・プランという政策がありまして、これは発展途上国が環境問題に政策面から対応することができるように、研修生や、こちらから人を派遣することや、その国にとって必要な研究開発があれば一緒に研究開発をするといったことも考えています。

山本 その場合の問題としては、企業がどう絡むかということと、やっぱりお金の問題が絡んでくるでしょうね。

川口 そうですね。今はまだ表面化していませんが、アメリカなどが気にしているのは、

日本の企業は公害などで今まで経験があり、いろいろな知識も技術も持っていて、それらを移転できる。他方、アメリカの企業は、国土が広いおかげでこれまであまり厳しい制約を受けることがなかった。そのため、いざとなると環境関連機器の海外市場が日本企業にとられてしまうのではないかといったことを危惧している人もいます。

我々はそういうつもりで移転をするわけではありませんが、世界にはいろいろな立場の人がいますから、微妙な配慮をしていかなければいけないのかもしれないかもしれません。



でも、アメリカもヨーロッパも日本も、技術での国際協力は非常に重要だということでは一致していると思います。

山本 南北間はもちろん、先進国の間でも意見の一致をみないものがたくさんあるでしょうから大変でございますね。

川口 ああそれから、環境と成長とを二律背反みたいを考えるのは間違っていると思います。

日本の例では、公害防止の技術にたくさん投資をしたことが将来の成長のばねになった経験があります。環境対策を一生懸命にやるのが必ずしも経済成長を阻害することにはならないということは、是非とも諸外国に教えてあげたいと思います。

それにしても海図なき世界みたいなところがありますから、これからはすべてが新しいチャレンジだと思っています。

山本 南側の国は貧困の状態から良い方向に向かうのしょうから問題は少ないとしても先進国の方はこれからはどこかで我慢しなければならない。そうなりますと、やはり国内の人々の十分な理解が一番大事でしょうね。政府が決めたからやれといってもできるものではありませんし。

川口 今の世代の人がある程度我慢をする代わりに、後世の人がその分得をするということになるかもしれませんし、その逆になるかもしれません。

CO₂の排出抑制目標をめぐるECとアメリカの間に対立がありました。ECは、日本も同調しましたが、政治的に目標を示すことが重要だと主張したのに対して、アメリカは自分はやろうと思えばできるのだけれども、政治的にそれをプレイアップするのは反対だという考えではなかったかと思います。

山本 アメリカがどうしてああいう言い方をしたのか、私どもには詳しくはわかりませんが、まったくわからないのは共産国ですね。実際、炭酸ガスの排出という面では旧ソ連や中国の排出量は非常に大きいのですが。

川口 旧ソ連や東欧などの環境問題に援助をするということもこれから大きなテーマになっていくと思います。アメリカの環境庁もそれは一生懸命考えていますけれども。

山本 例えば中国が出す硫黄酸化物や窒素酸化物の影響は日本に直接及びますから、やはり日本からお金を出して、日本が直に掛合ったほうが結局は得ではないかと思いますが。

川口 さっき申しましたグリーンエード・プログラムの一つの対象は中国でして、中国が使えるようにコストの安い脱硫装置をつけるための開発をいま電源開発㈱でやっています。

山本 予定の時間も迫って参りましたが、最後にこれからの社会での女性の活躍についてお考えを伺ってみたいと思います。

川口 日本では例えば女性の大使はいま2人おられます。女性の活躍の場が次第に増えてきていることは事実ですけれども、女であることが意識される間はまだまだ本物とはいえないのではないのでしょうか。

そうはいつでも実はアメリカなんかでもまだ女性はかなり意識されていると思いますけれど。

先週、オーストラリアとの間で日豪環境専門家会議というのがありましたが、向こうから来たチームのリーダー格は女性でして、本省と大使館から合わせて5人の人が出てきましたが3人が女性でした。こちらは地元ですから各省の方が出席しましたが、女性は私1人でした。

女性にも場を与えて経験を積ませれば、そこから自信も自然に出てくると思います。男の人たちも皆さんそのようにして育ってきたのではないのでしょうか。

山本 今日はどうも貴重なお時間をさいってただいて有り難うございました。これからのご活躍を期待しております。 (1992.8.3)

「スーパーゴミ発電」の推進について



平田 賢*

1. 日本のエネルギー需給見通し

21世紀後半の日本のエネルギー供給は、核融合と、太陽を中心とした自然エネルギーに依存するとしても、地球環境問題がクローズアップされた今、そこまでのつなぎは核分裂型原子力と天然ガスに比重が移ることとなる。メタンを主成分とする天然ガスは、同じ発熱量を得るのに石炭に較べて二酸化炭素の発生量が50%、石油に較べて35%減となり、その供給の安定性から見ても、まことに貴重な燃料資源である。

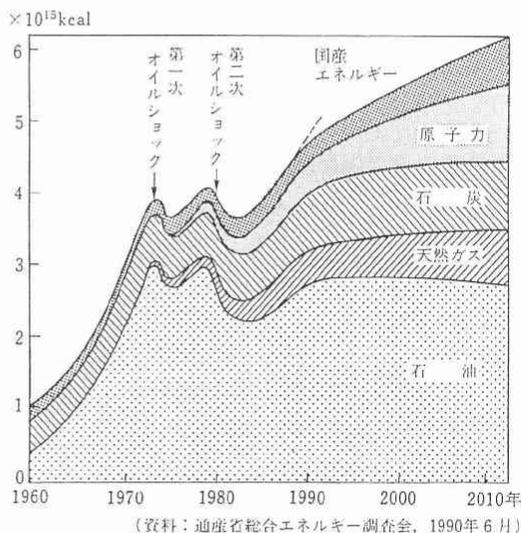


図1 日本の長期エネルギー需給の見通し

図1は1990年6月に通商産業省総合エネルギー調査会がまとめた日本の長期エネルギー需給見通しを筆者が図に表したものである。石油の輸入量を現状のままに抑える一方で、省エネルギーを徹底し需要の伸びを抑えても、2010年までに天然ガスと原子力への依存量を現状の2倍程度まで伸ばして行かなければならない。

現在、日本全国に営業運転中の原子炉は41基あるが、これとほぼ同数の原子炉をあと20年ほどの間に建設してゆくことは極めて困難が予想される。仮に、新規の立地点を考えず、既存の原子力発電所の構内に増設することを主体に考えることとすれば、2010年までにあと15基ほどの建設は可能と考えられるが、ここで原子力発電所25基ぶんほど、つまり2500万kW程度の電力設備の不足を生ずることとなる。

一方、図中の破線はその後のエネルギー消費の実績値を示している。つまり、総合エネルギー調査会が想定したような省エネルギーの実効はあがらず、エネルギー消費は加速的に伸びている。他方で原子力発電所の建設が進まないとなると、このまま放置すれば、極めて重大な予測違いを犯すことになる。省エ

* 芝浦工業大学システム工学部教授，東京大学名誉教授

エネルギーと電源確保の緊急性は極めて深刻である。

もう1つの重大な問題は、電力のピーク負荷の問題である。周知のように、夏期の冷房負荷の増大によって、日本全体では毎年500万kW程度ずつピーク負荷が増大しており、これをまかなうためには毎年原子力発電所5基ぶん程度の発電設備を増設していかなければならない状況にある。これもまた深刻な問題である。

2. 省エネルギーの本質的概念

省エネルギーと電源確保の重要性を述べたが、これを地球環境制約のもとで実現して行かなければならない。

わが国は、高価な代金を払って石油、石炭、LNG(液化天然ガス)、核燃料など1次エネルギーの90%以上を輸入し、これをすべて“燃やして”しまい、高温の「熱」にしてから利用を始める。燃料を完全に燃焼させたときに得られる熱は、1,800℃前後の“高温熱”であるが、日本全国で作り出された全熱量のうち、約半分が「熱機関」のインプットであり、動力に変換されて発電機や自動車を駆動し、「電気エネルギー」や「機械の仕事」を発生する。残りの半分は熱の形のまま産業用および民生用の「加熱」に用いられている。

熱力学の第1法則によれば、エネルギーは不滅であり、はじめ「化学エネルギー」や「核エネルギー」の形で保有されていた1次エネルギーが、「熱」に姿を変え、さらに「機械の仕事(力学的エネルギー)」や「電気エネルギー」、「光・電磁波エネルギー」に形をかえても、その総和は常に一定に保たれている。そして、人間にとって有用な仕事を終えたあ

と、すべてのエネルギーは“常温の熱”となって、大気や海水といった環境の中に入り、雲散霧消するが、その総量は最初に作り出された熱の総量と等しい。

自動車を例にとって考えてみよう。自動車はエンジンの出力によって空気の抵抗に打ち勝ち、ベアリングの損失や地面との摩擦に打ち勝って、人や物のある地点から目的の地点に運ぶ。ガソリンや軽油の燃焼によって、エンジンにインプットされた熱のうち、25%ほどが機械の仕事に変わり、残りの75%はエンジンの冷却水及び排気ガスの中に捨てられて大気中に逃げてしまう。自動車が信号待ちなどでアイドリング状態にある間は、輸送の目的を果たすことなく、無駄にエンジンがまわっていることになるから、真の目的のために有効であったと見積られる機械の仕事に分子にとった効率、わが国の場合20%以下である。エンジンで発生した機械の仕事は、空気、ベアリング、地面などとの摩擦によって発生する熱とバランスしており、摩擦で発生した熱も最終的には、大気や地球といった環境の中に常温の熱となって雲散霧消する。環境の温度、すなわち常温まで下がりきった熱は、墓場に到着した熱であって、もはや使いものにならない。

このようにエネルギーは、高温の熱に始まり常温の熱となってその一生を終えるまで熱力学第2法則に基づき、温度の高いほうから低いほうへ一方に、不可逆的に流れ、自分では決して元に戻らない。「覆水盆に返らず」である。先に述べたように、よく“再生可能”なエネルギーという言葉が使われるが、エネルギーは、“再生不能”なのである。

したがって、熱は生まれたときの高温から、

墓場に到着する常温まで下がって来る間にしゃぶりつくさなければならない。わが国の場合、熱の総合的な利用率は35%程度で、最初に作り出した熱の6割以上は大気中かあるいは海水中へ捨てられている。この効率の悪さの大半の原因は、高温の熱に始まって常温の熱で終わる「熱」の利用技術の「まずさ」による。したがって「省エネルギー」とは庶民にエネルギーの節減や我慢を強いることではなく、技術開発によってこのロスをせめて半分にすることである。

3. コージェネレーションのすすめ

日本人は往々にして“熱”と“温度”をごっちゃにする。小さい頃から母親が子どもの額に手を当てて、「あなた熱がある」と言う。「あなた、体温が高い」という母親は滅多にいない。子供の頃からこのような教育を受けているから、熱と温度の区別がつかない。英語では熱があるということ“*I have a temperature*”(温度を持っている)と言う。“*I am heated.*”(私は加熱されている)とは決して言わない。お隣の中国でも、熱の字の音符“執”は、下に力をつければ勢となるように、ポテンシャルを表し、意符の“灬”は火の意であるから、熱とは“火の勢い”を表したものと考えられる。一方、温度の温はサンズイで水を表し、皿の上に人が囲まれて、あたたかく保たれている意であろう。中国語で熱があると言うことを“我發燒”，若しくは“我發燒”と言うそうであるが、これも“熱がある”とは意味が違う。このように、中国までは欧米系と同じように、熱と温度を合理的に区別している。熱と温度を区別しない日本人は、高温の熱も低温の熱も区別しない。これが問

題なのである。

化石燃料の燃焼や核燃料の分裂によって生成された高温の熱エネルギー、すなわち同じ熱の中でもポテンシャルの高い高級なエネルギーをそのまま熱として使うプロセスは鉄鋼、セメント、窯業など産業界でも限られているから、高温の熱はまず熱機関によって可能な限り効率よく他の利用しやすいエネルギー形態に変換しておき、最後にどうにもならない低温の熱エネルギーをプロセス、暖冷房、給湯などの熱源として利用するのが理想的である。最近まで、そのような総合的熱利用システムは開発されていなかった。省エネルギーというとき“*廃熱回収*”とか、“未利用エネルギーの有効利用”などという。200℃以下程度の低温域の熱の回収も大切ではあるが、意外に見過ごされているのが、むしろこの“高温部の熱の回収”なのである。

山の上にダムを作り、水が海面まで流下してくる間に、川の流れに沿って高度の高いところから順々に水力発電所を仕掛け、水の落差を使いつくすことは誰でも考えることである。熱のほうの“落差”に相当するものは“温度差”であるが、不思議なことに熱のほうは温度の高いところから順々に使ってくることが行われていない。バーナーに火を点けて風呂をわかす。石油ストーブで暖房をする。バーナーやストーブの火炎帯は1,500℃以上の高温であるが、46℃の風呂のお湯や25℃の室温を得るために、1,500℃以上の熱を直接投入して誰もあまり不思議に思わない。廃熱回収や未利用エネルギーは水の流れでいえば、もはや河口近くになった水の落差を利用しようとするようなものである。上流の温度の高いところは回収せずに直接流してしまっ

から河口のあたりを使って来たのがこれまでの多くの場合の熱利用であった。熱力学の始祖カルノーは、生涯にたった一つの論文「火の動力についての考察」(1824)の中で、「動力の発生を伴わない熱の高温から低温への移動は、正味の損失と見なさなければならない」と喝破しているが、その後170年間、我々、特に熱屋はこの指摘を一顧だにしてこなかったといえよう。

燃料に火を点けたらまずいったん動力に変換し発電機あるいはポンプ、圧縮機などの駆動に用い、しかるのちその排熱を熱として加熱なり暖房、給湯などに用いればよい。たとえば各家庭でも、都市ガスを燃やすなら、まずガスエンジンやガスタービンを駆動し、発電機、あるいは圧縮機を回してヒートポンプで暖冷房を行なうと同時に、排ガスやエンジン冷却水の熱を利用して給湯を行なう。高温部は動力に、低温部は加熱にという熱エネルギー利用システムがコージェネレーション(Cogeneration)である。このようなシステムの普及を図ることが省エネルギー技術開発の最も重要なポイントであると考え、筆者は第1次オイルショックの直後からその技術の振興に努めて来たが、やっと最近理解して下さる方が増えつつある。

図2はわが国のGNPの伸展とエネルギー需要の伸びを、第1次オイルショック時点を基準に指数で表したものである。GNPは順調に伸び続けているが、この日本経済の進歩を支えて来たわが国産業界のエネルギー消費は、省エネルギー技術の徹底により未だ第1次オイルショック時点の消費量まで戻っていない。ところが、民生用と運輸用エネルギー消費はGNPの伸びに連動して伸び続けてい

る。運輸用エネルギー消費の議論は本稿では措き、民生用エネルギー消費の伸びについて考えてみる。民生用エネルギー需要はまず第1に、業務用のコンピュータの普及と家庭用を含めた暖冷房需要の伸び、更に家庭用の朝シャンなど給湯需要の伸びに基づくものであろう。このような民生用の暖冷房、給湯の需要は、すべて50℃以下の常温近辺の熱である。先述のように、すべてのエネルギーは、電力も、動力も、熱も、電磁波も、すべて常温の熱へ向かって流れ下りてくるわけであるから、これを集めて利用するシステムがあれば、本来あり余るほどの量であって、とても朝シャンなどでは使いきれない筈である。よく朝シャンをやめれば石油何リットルの節約などという省エネキャンペーンがあるが、電気を作るときについて出てくる排熱を利用できるシステムさえ定着すれば、実は民生用の熱の大半は充分それでまかなわれる筈であ

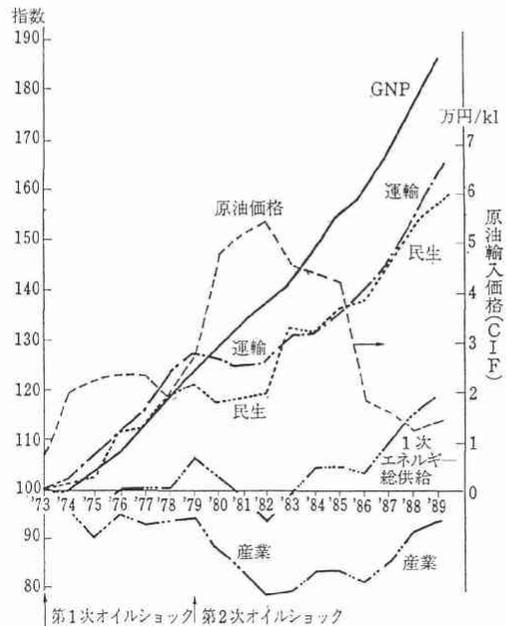


図2 日本の用途別エネルギー消費の推移

る。そのような民生用の熱を得るためにあらためて燃料を焚いたり、高級な電力を用いたりすることは誤りであると言わざるを得ない。そのような社会システム、つまりコージェネレーションの定着・普及をはかることが熱力学の原理に則った方向なのである。

4. スーパーゴミ発電コージェネレーション

植物の光合成作用により太陽エネルギーが固定されて出来た資源をバイオマスと総称している。地球上には約2兆トンが賦存し、毎年約2000億トンが再生されている。バイオマスのエネルギーとしての利用形態は、直接燃焼させて熱を取り出すか、若しくは発酵、熱分解等によってアルコールを発生させ、これを燃焼させて熱を取り出す。バイオマス資源としては、イモ、サトウキビ、トウモロコシ、ユーカリなどの栽培植物、海藻、ホテイアオイなど水生植物、稲ワラ、もみがらなどの農産廃棄物、おがくず、パルプ屑、チップ、廃材などの林産廃棄物、家畜糞尿などの畜産廃棄物、都市ゴミ、産業廃棄物など未利用動植物資源と多岐にわたっているが、どの地域にも賦存することが特徴である。

中でも、日本全国で1日に約13万トン発生する一般都市ゴミの処理の問題は、最近、深刻な社会問題ともなっており、これを資源として有効に利用することが、バイオマスエネルギーの最大の課題であるといっても過言ではない。都市ゴミは現在、焼却処理が75%、残りは埋め立て処理である。埋め立てする場所が無くなりつつあり、焼却処理が増大する傾向にある。ところが後述するように、ゴミを焼却したときに発生する熱は日本の場合殆ど大気中に放出され、捨てられてしまってい

る。近時、下水排熱、河川水、地下鉄排熱など未利用熱エネルギーの有効利用が叫ばれているが、このゴミ焼却廃熱は温度も高く、未利用熱エネルギーの最たるものである。

ところで、米国では、原子力発電所を資金不足、住民反対など様々な理由で天然ガス焚きコンバインドサイクルコージェネレーションに転換する例が実現しはじめた。ミシガン州 Midland 発電所の例では、数千億円の損失を覚悟の上で、85%完成していた原子炉をあきらめ、新たに85MWガスタービンを12台並べて、原子力発電用に計画された蒸気タービンを生かし、137万kWコンバインドサイクルに切り換えた。蒸気は隣接した Dow Chemical 社の工場に供給している。このように既設のボイラー-蒸気タービンのシステムに、新たにガスタービンやピストンエンジンを付加して、熱を一層高い温度から使い始めるような努力をすることをリパワリング (Repowering) と呼んでいる。先述のように省エネルギーの基本に忠実に、熱を高温から低温までしゃぶりつくすためには蒸気タービン程度の温度、つまり500℃ぐらいから下だけを使うのではなく、1000℃以上の高温から熱を使い始めなければならない。先の水力発電の例で言えば、既設の水力発電所の“川上”にもう一つ水力発電所を増設するようなものである。水力発電と違うところは、熱の場合、川上に発電所を増設すると下流の発電所の取水口まで上流に引き上げられるような効果が発生し、下流の発電所の出力が増し、且つ効率も上昇することである。

わが国でも、既存の蒸気タービンあるいは極端に言えばボイラーのみを持っているプラントをガスタービンやピストンエンジンでリ

パワーすることを、もっと検討すべきであるが、真っ先に検討する価値があるのがゴミ発電である。

現在、日本全国に約2000箇所のゴミ焼却場があるが、燃焼ガス中の塩化水素や亜硫酸ガスなどでボイラーチューブが腐食されるのをおそれて燃焼熱を利用することが殆どおこなわれていない。ボイラーで取り出す蒸気の温度が300℃を超えるとチューブの腐食が急速に進行するとされており、300℃の蒸気で蒸気タービンを駆動しても熱効率はせいぜい12%程度であり、努力の割に効果が小さいし、それでは発電は諦めて焼却場の周辺に例えば温水プールやサウナなどを作って熱を利用しようとしても、それらの施設で利用できる熱はたかがしれている。それではフランスのパリ市のように暖房配管をはりめぐらせて地域暖房をやろうとすると、日本の場合配管の費用が膨大となりとても採算が合わないということで、結局燃焼熱は捨ててしまうことになる。燃焼熱で発電を行っているのは全国で僅か110箇所、32万kW程度である。

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、'91年度からゴミ焼却炉過熱管の耐腐食性の向上の研究に着手したが、これまでもゴミ焼却炉からの蒸気条件の改善については幾多の努力が重ねられてきており、簡単に解決の途が見いだされるとも思えない。

そこで、熱力学の原理に従い、上記のリバリングの発想を適用する。つまり、ボイラーチューブが腐食しない程度の蒸気温度、即ち290℃程度の蒸気温度でも、別に燃料を焚いてガスタービンを駆動し、その排気ガスでこの蒸気をスーパーヒートすれば、コンバインドサイクル発電が可能となり極めて高効率の発

電所となる筈である。

財エネルギー総合工学研究所では、筆者のこの提案を受け入れ、財石油産業活性化センターの委託のもとに「高効率石油エネルギーシステム適用モデル事業」の一環として、'91年10月より調査研究を開始した。

ガスタービンとの組み合わせの方法には、幾つか考えられる。ガスタービンの排気ガスの中にはまだ充分酸素が残っているから、これをゴミ焼却炉の火炉に導いて燃焼空気の子熱のように使うとか、上記のようにガスタービンの排熱をゴミ焼却炉から出てきた蒸気のスーパーヒートに用いるとか、あるいは給水加熱に用いるなどであるが、原理的に500℃以上ある折角のガスタービン排気の温度を下げてしまうのはもったいない。つまりスーパーヒートに用いるのが最も全体効率が高くなるであろうことは当初から予想されていた。

図3に従来型のゴミ焼却発電システムをベースに、排気再燃、及び蒸気過熱のそれぞれのフローチャートを示し、表1に、200トン/日ゴミ焼却炉2基で構成されるプラントについて、発電出力、効率などを試算した一例を示す。

計算にあたってはガスタービンには灯油を使用するものとし、ゴミ発熱量は、2300kcal/kg(低位)とした。また時間的に余裕がなかったため、システムの最適化は行っていない。また経済性の検討も今後に残している。また、排気再燃方式は総排ガス量の増加をミニマムに抑えることと同義であり、蒸気過熱方式はNOxの排出量を基準ケースから増やさない条件で計算を行なっている。

結果から明かなように、400トン/日ガスタービンコンバインドゴミ焼却発電システム

は既存技術の組合せであり、新たな開発要素はなく、大半は制度とか法律、さらに関係者の意識の問題である。

まず第一に、関係する省庁が通産省、自治省、地方自治体など多数であり、省庁間の緊密な協力がなければ実現はおぼつかない。次にゴミ処理担当者の深い理解と協力がなければ実現しない。ゴミ焼却場の人々が、発電などという厄介なものを背負い込むのは迷惑という意識があればとても進まない。“お国のために”発電をしてやろうという位の度量をもってことに当たって貰えば有難いわけであるが、それは期待するほうが無理というものであろう。

だとすれば、近々のうちに電源の不足に泣くであろう電力業界が、自らのために実現を図るのが最も現実的である。つまり電力業界が自らのガスタービンをゴミ焼却場の中に持ち込んで、あるいは置かせて貰ってスーパー

ゴミ発電を実行し発生させた電力をみずからの系統に引き取るのである。

なかなかそこまでの意識改革は望み難いとするれば、つぎに可能性のある方法は、これが最も実現性が高いのだが、地方公営電力として実現する方法であろう。その場合に原子力発電に対して行われているような、立地する地元へ交付金を与えるようなしっかりしたインセンティブが必要と考えられる。

いずれにしても、このスーパーゴミ発電を政策の中にきちんと位置づけて、地球環境問題に貢献しながら、省エネルギーと電源の確保、ならびにゴミ処理の三重苦の解決を図ることを提案したい。

本稿をまとめるにあたり、(財)エネルギー総合工学研究所に設けられた「未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査委員会」の委員各位に深甚なる感謝を捧げる。

「電力と技術」懇談会報告書について



中 富 泰 三*

平成3年4月に、資源エネルギー庁長官官房審議官の私的研究会として「電力と技術」懇談会が設置された。同懇談会は、慶応大学の石井威望教授に座長を務めていただき、21世紀初頭にかけて電力技術を取りまく動向、諸課題を踏まえ、技術開発、人材の育成、確保等、技術力の維持向上のための今後の取り組み方について検討を行ってきたが、先般、同懇談会の報告書がとりまとめられたので、ここにご紹介したい。

なお、本懇談会での議論を有効かつ効果的に展開させるため、エネルギー総合工学研究所に事務局を務めていただいて、懇談会の下にスタディーグループを設け、合計14回の会合を開いた。スタディー・グループでは、毎回各界を代表する2名の有識者の方からご講演をいただき、それを受けて自由な討議を行うという形式により、本懇談会を進めていく上でも極めて有益な、多くの御意見、御指摘を頂いた。これらについては、極力本報告書に取り入れられているが、一部については残念ながらご紹介できなかった。それらについても、折角いただいた貴重なご意見であり、別の機会にでもご紹介したいと考えている。

以下に、本報告書の概要を紹介するが、今

後、本報告書で指摘された事項を踏まえて、電気事業者においては、「技術のユーザー又はコーディネータとしての電気事業者」から「優れた技術とサービスの提供者としての電気事業者」への移行を目指すとともに、電気事業における技術力の維持向上により一層努めることが期待される。

「電力と技術」懇談会開催の背景について

近年、世界的に政治経済システムの激変や技術革新の大きなうねりが見られる中で、企業活動の自由化や規制緩和及び国際化が進む一方、企業の社会的責任論やグローバルな貢献論が台頭し、また、需要家や社会のニーズが高度化、多様化するなど、電力を巡る状況が大きく変化している。このような時代の流れの中、電気事業者に対して、公益事業及び地域のリーダーとしてそれらにふさわしい新たな役割が求められてきている。さらに、地球環境問題、資源制約克服、経済活性化、生活の質的向上等への対応は、今後の電気事業の存続、健全な発展を維持する上で、極めて重要な課題となってきている。

一方、21世紀に向けて、技術とそれを支える人材や組織によって、グローバルにみた産

* 資源エネルギー庁公益事業部技術課総括班長

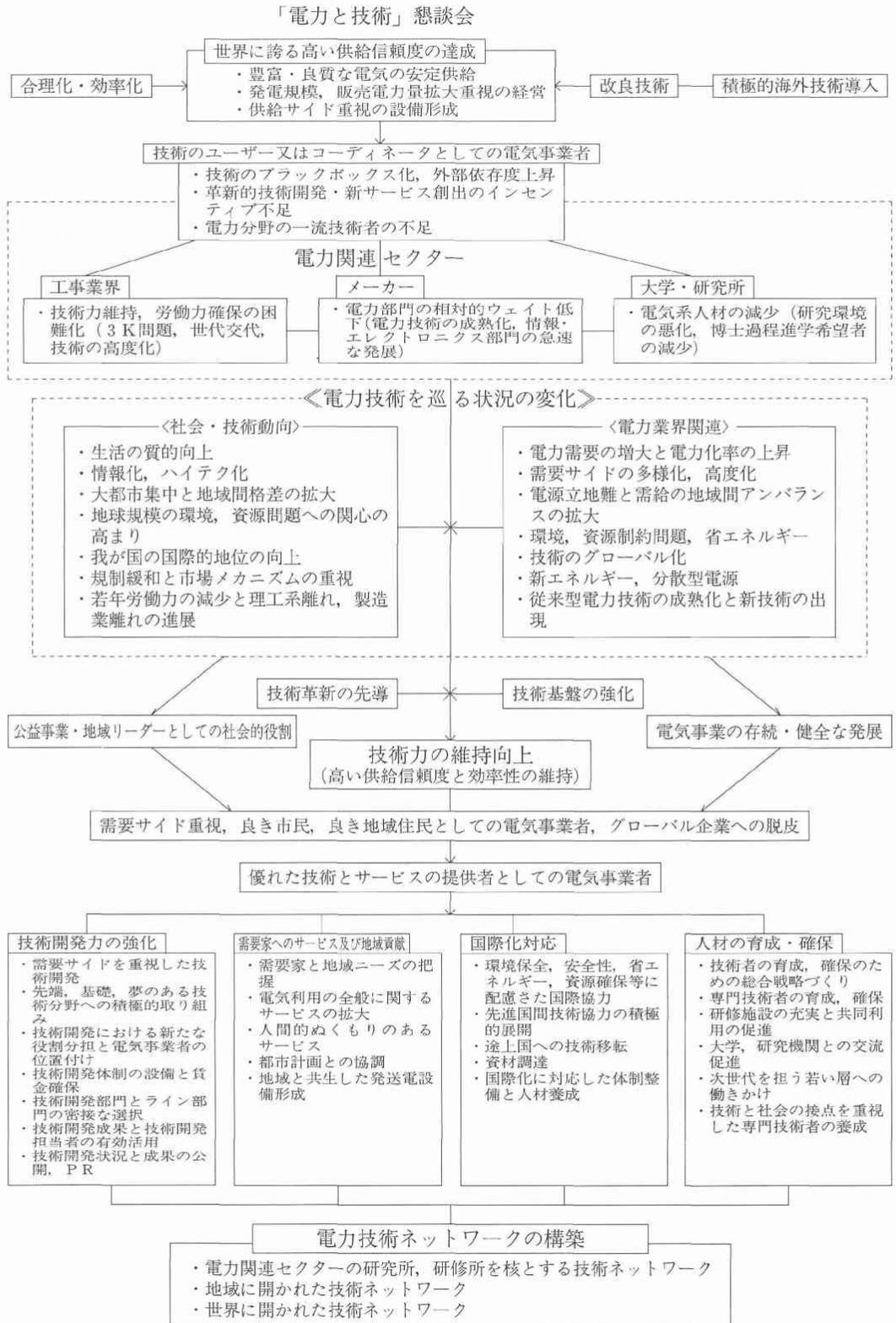


図1 「電力と技術」懇談会の報告書の構成

業構造や企業経営の将来像がますます決定的に方向付けられることが予想される。こうした中、経済の安定的な成長を支えつつ、環境、資源等の制約に対処して適切なエネルギー供給を行うという、トリレンマの克服のためには、電気事業の根幹をなす〈技術〉への積極的取り組みが重要な鍵である。

電気事業の技術力は、様々な要素が複雑に絡んでおり、しかも、リードタイムの長さ、慣性の大きさにより、その維持向上のためには長期にわたる継続的努力の積み重ねが必要とされ、一度技術力の空洞化や脆弱化が始まると取り返すのが容易ではない。

そのため、電気事業者においては、技術力及び経営力、企業イメージ、人材等の中で良循環を実現するため、長期的展望に立った本格的な技術戦略の構築が期待されるところである。

「電力と技術」懇談会報告書の概要

第1章 電力技術の現状

(1) 電力技術の発展過程

電気事業は従来、積極的に海外の技術を導入し、発送変配電技術、系統運用技術、情報通信技術の開発、適用、改良、また、社内的には組織の合理化、効率化を図ることにより世界的にも信頼性の高い電力供給システムを構築してきた。そして、豊富で良質な電力の安定供給という国の基幹産業としての責務を全うするとともに、供給力の拡大に徹してきた。

(2) 技術のユーザー又はコーディネータとしての電気事業者

電気事業者は、事業規模の急速な拡大に対応して経営の合理化及び効率化を積極的に進

める過程で、設備の設計、建設、保守等に関し、メーカーや関連企業等、外部への依存度を高めてきており、技術のユーザー又はコーディネータとしての立場が築かれてきた。また、設備面において、省力化、高度化に対応した自動化の進展に伴い、電気事業者にとってのハードウェア技術の身近感が薄れたことも、技術の外部依存度を高める一因であった。

電気事業者においては、設備のブラックボックス化が進み、さらに、メーカー、工事業界等外部への依存度の一層の上昇に伴い、技術の空洞化が懸念され始めている。

(3) その他の電力関連セクターの現状と問題点

重電メーカーにおいては、国際競争が激しくまた成長のポテンシャルがより高い情報通信分野やハイテク分野へ経営の重点を移す傾向があり、その結果、投資及び人材の両面において電力部門へのウエイトは縮小傾向にある。

電力設備建設等基礎を支えている工事業界等の関連業界においては、3K問題、世代交替問題等があるなかで、人材の育成、確保が大きな課題となっている。

さらに、電力業界の将来を担う人材を育成する大学等においても、若者のハイテク指向等による電力関連技術の相対的な魅力の低下により新たな人材をひきつける力にかけりが見られている。

第2章 電力技術を巡る状況の変化

(1) 社会の動向

近年の電力技術を巡る状況変化のうち、電気事業を大きく取りまく主な社会動向として、次の項目が着目される。①生活の質的向

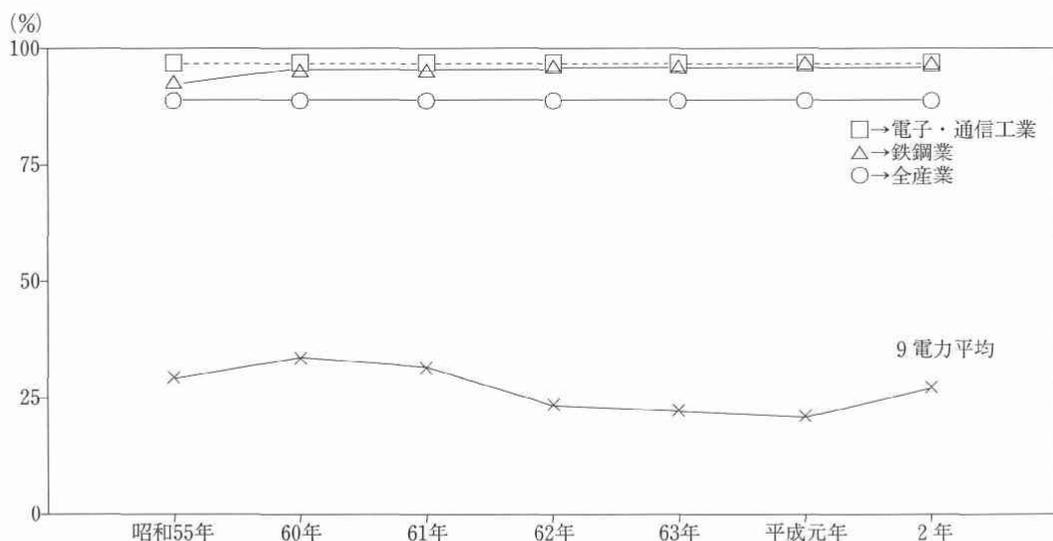


図2 研究費に占める社内研究費の比率の推移

注) 社内研究費 / (社内研究費 + 外部委託費)

資料: 総務庁 (科学技術研究調査報告)

上 ②情報化, ハイテク化 ③大都市集中と地域間格差の拡大 ④地球規模の環境, 資源問題への関心の高まり ⑤我が国の国際的地位の向上 ⑥規制緩和の進展と市場メカニズムの重視 ⑦若年労働力の減少と理工系離れ・製造業離れの進展

(2) 電力関連の動向

近年の電力技術を巡る状況変化のうち電気事業に直接関連する主な動向として, 次の項目が着目される。①電力需要の増大と電力化率の上昇 ②需要サイドの多様化, 高度化の進展 ③電源の立地難と需給の地域間アンバランスの拡大 ④環境, 資源制約問題や省エネルギーの必要性の高まり ⑤技術のグローバル化 ⑥新エネルギー, 分散型電源の導入 ⑦従来型電力技術の成熟化と新技術の出現

第3章 技術力の維持向上のための基本的考え方

(1) 技術力の維持向上の必要性

電気事業の技術力については, 技術革新へ

の取り組み姿勢が, 企業イメージを形作り, これが人材の育成, 確保に大きく影響し, 人材の質が技術力及び経営力を決定するという環の中で形成されるものである。電気事業の存続と発展のためには, こうした技術力の環の中に在って, 良循環を維持することが不可欠である。

また, 電気事業者はそれぞれの地域においては, 公益性が高くかつ最大の企業の一つとして, 地域のリーダーとして中心的な役割が求められている。このような公益事業として電気事業者には, 一企業としての利益にとどまらず, その優れた技術と更なる技術革新のポテンシャルを活用して地域や世界の発展に役立つような技術開発と普及に積極的に取り組むことが望まれている。

(2) 技術力の維持向上のための総合的アプローチ

技術力の維持向上のためには, 高いレベルの技術に積極的に取り組むとともに, すそ野が広く, 層の厚い技術力を持つことが必要で

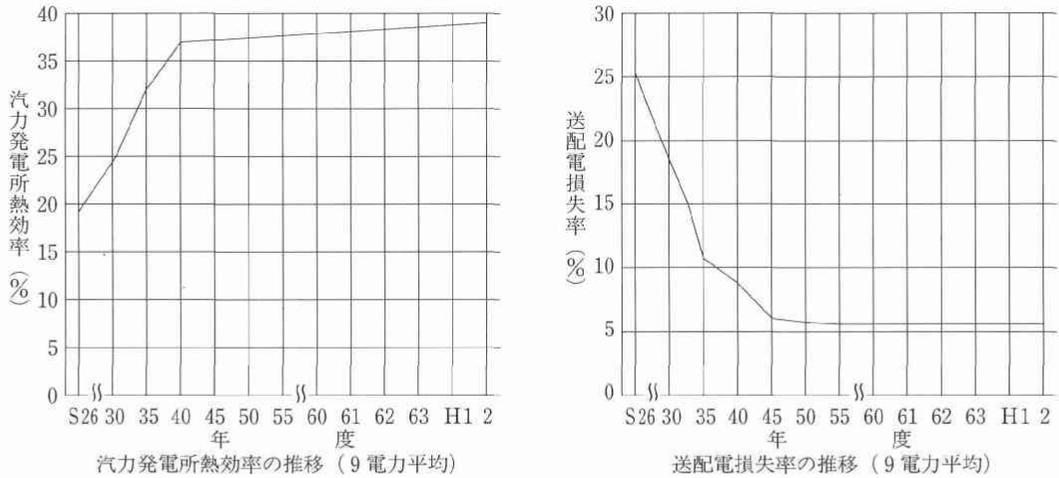


図3 汽力発電所熱効率の推移と送配電損失率の推移

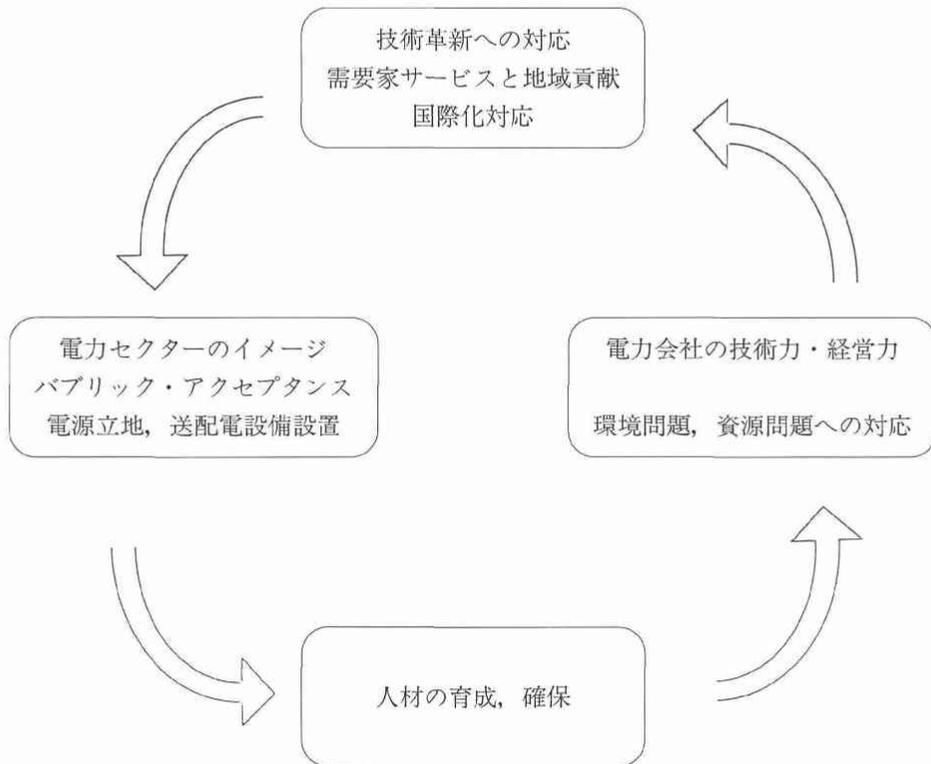


図4 電力技術の良・悪循環

ある。そのため、電力関連セクター全体の技術力を総合的に維持向上させるためには、技術革新の先導的役割を担うとともに、ライン部門を中心とする幅広く層の厚い技術基盤の強化が必要である。

(3) 電力技術の目指すべき基本的方向

今後の電力技術が目指すべき基本的方向としては、電気事業者が新しい技術開発や発想に基づき、「技術のユーザー又はコーディネータ」から「優れた技術とサービスの供給者」

へと自らを変革することが必要である。

サービスの提供者としての電気事業者の原点に立ち戻った場合、需要サイドのニーズに重点を置いた技術の開発が従来にも増して重要である。

また、地域貢献をとおして、親しみと信頼を得られるような良き企業市民となるためには、都市や地域に役立つような技術開発へ積極的に取り組むことが期待されている。

さらに、電気事業者はローカルな企業からよりグローバルな企業へと脱皮を図り、電力技術を中心とした国際協力推進のための世界的なネットワーク作りに貢献し、自らもその中のひとつの優れた核 (COE: Center Of Excellence) となることが望まれる。

第4章 技術力維持向上のための対応策

(1) 技術開発力の強化

今後、電力技術のレベルを維持向上させていくためには、技術開発力とライン技術の強化が重要である。特に技術開発力については、電力技術の高度化に伴い、先端及び基礎的領域にまで立ち入った技術開発が必要となってきたおり、その担い手も、メーカーにおける電力部門ウェイトの相対的低下、大学等での研究環境整備の停滞が見られる中、電気事業者自ら取り組むウェイトを高めることが必要となってきた。そのため、組織、人材、資金面でのより一層の充実が求められている。

一方、先端、基礎分野の技術開発部門と送配電部門のライン技術との関連においては、双方の連携を密接に行うことにより、技術開発を一層促進するとともに、その成果がより優れたサービスに早期に反映されること

が重要である。

さらに、電気事業者による技術開発への取り組みについて、技術者が夢と誇りをもてるように配慮するとともに、広く国民による理解が得られるよう、積極的にPRを実施することが必要である。

表1 我国主要企業における研究開発費比率 (平成2年度実績)

企業名	研究費の売上高比率	備考
電気事業	1.40% (1.39%)	収入 12兆5,828億円 (12兆6,857億円) 研究費 1,755億円 (1,758億円) 《参考》 上記研究費に、電源特別会計の研究費1,764億円を加えた場合、売上高比率は2.80% (2.78%)となる。
鉄鋼業	2.33%	売上高 13兆 300億円 研究費 3,038億円
N T T	4.39%	売上高 5兆9,584億円 研究費 2,617億円
自動車工業	3.73%	売上高 34兆7,500億円 研究費 1兆2,956億円
電気機械工業	5.45%	売上高 57兆7,000億円 研究費 3兆1,463億円
全産業	2.79%	売上高 332兆500億円 研究費 9兆2,672億円

(注)・電気事業の()内は、沖縄電力㈱を含む場合である。
・鉄鋼業・自動車工業・電気機械工業・全産業のデータは『科学技術研究調査結果の概要』(平成3年12月)による。

(2) 需要家へのサービス及び地域貢献の推進

近年、需要家のニーズはますます厳しくかつ多様化してきており、これに積極的に対応することが求められてきている。こうした対応は、公益事業として供給義務がある電気事業者が、新たな時代の要請に応じていく上での基本的責務ともいえるが、さらに、企業の

イメージ向上、人材の確保に寄与するのみではなく、電源開発のPA効果も有するものである。

また、地域貢献についても、公益事業者として、あるいは地域のリーダーとして望まれるだけでなく、均衡ある国土の発展を実現し、長期的な安定経営を維持するうえでも重要である。

今後は、営業と配電部門等とが技術開発部門とも密接に連携をとりつつ、需要家や地域のニーズに積極的に応えた事業展開や技術の開発利用を促進することが必要である。さらに、電力分野における高い技術力と地域共生型の電力設備の活用など地域に貢献し得る高い総合的なポテンシャルを幅広く活かすことにより、地域全体の技術レベルの向上に資するとともに、優れた技術者、研究者を地方に引きつけ、地域産業振興や新産業立地を促進することが必要である。

(3) 国際化対応

我が国の経済活動の国際化が急速に進展してきている中で、電気事業においても資材調達、燃料調達等、取り引きの国際化に対応していくことがますます必要となってきた。また、技術の急速な進歩とグローバル化を踏まえ、自らグローバルな企業へ脱皮を図るとともに、内外の幅広い技術開発成果についても、電気事業への適切な還元が望まれている。

一方、我が国電力技術の国際的評価の向上に伴い、原子力や環境関連技術に代表されるように、国際貢献に対する期待も高まってきている。同時に、我が国の経験を活かし、環境保全、安全性、省エネ、省資源、資源の確保等に配慮した国際協調を一層推進することが今後ますます重要となってきた。

(4) 人材の育成、確保

技術開発力の強化、需要家へのサービス及び地域貢献の推進、国際化対応を今後、図っていくためには、それらの活動を支える、高いレベルの専門技術者から、すそ野が広く層の厚いライン技術者に至る、幅広い人材を育成・確保することが不可欠である。特に、電力設備の設計、運転、保守に係るライン技術者の技術力維持向上を図ることが重要である。

一方において、人材の育成・確保のためには、技術と経営にわたる良循環の確保が必要であり、そのためには、技術革新の急速な進展、需要家ニーズの多様化、社会環境の変化などに対応しつつ、長期的な視点を持って、総合的、計画的な対策を講じることが求められてきている。

(5) 電力技術ネットワーク

①電力技術ネットワークの意義

電力技術の維持向上を図る観点から、電力分野の技術開発と人材育成を効率的に推進し、需要家サービス、地域貢献、国際対応を充実していくためには、情報、人材、施設等を関係組織間で柔軟性をもって融通若しくは共有することが重要である。こうした多様でかつ開放的なネットワークの形成を通じ、電力分野を中心とした各関係組織が、競争と協調によるメリットを得られるものと期待される。また、このメリットは、各関係組織個別に享受されるのみならず、電力セクター全体の技術力向上に寄与する（プラス・サムな）ものである。

さらに、メーカー等電力関連企業や研究及び教育機関を強化するとともに、技術情報の透明性や関連施設へのアクセスを向上し、一

層の競争と協力の促進を図ることが重要である。

その一方、電力技術分野の地域貢献や国際協力を推進するため、地域に浸透しつつ、国際的にも開かれた有益な技術・情報・人材面での支援体制の整備を図ることが必要である。

②開かれた電力技術ネットワークの特徴

- ・電力関連セクターの研究所、研修所を核とするネットワーク

電力業界においても優れた技術の開発、利用促進のために、各社が特色ある研究所及び研修所を整備し、それらを電力技術ネットワークを構成する自律分散型の核として位置付ける。地域と国際ネットワークにおいても、それらの設備が有効に活用され得るように配慮する。

- ・地域に開かれた技術ネットワーク

今後の地域発展のためには、地域の技術の活性化が必要である。そのため地域の実情、産業に応じて、いわゆるハイテク分野のみならず、例えば融雪、養殖等、地域に役立つ技術を蓄積し、また、情報、人材の供給及び発掘とその積極的活用を促すことが求められる。さらに、地域に対して電気事業者を始め多くの関連会社や研究機関を開放し自由なアクセスを可能とすることにより、地域の産業や技術の発展基盤強化に寄与することが期待される。

- ・世界に開かれた技術ネットワーク

我が国の電力技術ネットワークを海外に対しても開放することにより、海外の電力会社及び関連セクターとの間で技術・情報・人材面での交流を促進する。特に、各種情報の開示、移転等を行うことにより、アジア・太平

洋地域を中心とする発展途上国に対する国際協力スキームの拡充を図る。

国内の電力技術と海外の電力技術との相互アクセスを容易にすることにより、電力技術分野の国際協力関係を深めるとともに、競争意識の高揚にも寄与することが期待される。また、途上国向けの環境、エネルギー効率利用を重点とする移転を図ることも有効と思われる。

③電力技術ネットワークの要件

電力技術ネットワークにおいては、情報、技術の交換には、最新のコンピュータ・通信技術を駆使した、分散型情報通信システムが導入されるが、単一のセンター（技術情報のデータベース等）にアクセスするような通信機能のみではなく、自律分散型の機能を持つことが必要である。つまり、ネットワークの核となる各社の研究所及び研修所、勸電力中央研究所、大学、メーカー、その他電力関連企業等の異なる組織の間をインターオペラブルに結び、人材の交流促進、プール化、活性化を常に図り、複数の核の間で単なる情報交換を超えた、共存共栄的な関係の構築が必要である。ネットワークの構成に際しては、技術開発の優先順位を明確にし、既存の組織を最大限に活用しつつ、段階的に構築し、重点分野に焦点を当てた効率的運用が成されることが望まれる。

ここで、ネットワークを構成する核は、現場のライン技術を的確に把握し、それをネットワークに乗せることにより、そのニーズを技術開発に反映させるとともに、技術開発成果を普及、還元させる機能を持たなければならない。

さらに、技術動向と状況の変化を的確に捉

え、新技術の導入、普及を促進するフレキシブルな対応機能を持たせることが重要である。そのため、技術の発展、関連施設の整備、人材の育成等に応じ、段階的にネットワークの構成が変化し、ネットワーク自身が自力で成長する過程が必要となる。

そうした過程において、研究所等のネットワークの核同志の結びつきが一層強められ、その結果、新たな技術革新を生み出す機会が創出されることが期待される。

以上、「電力と技術」懇談会の報告書の概要をご紹介したが、本懇談会がカバーする範囲

は極めて広範である。また、ひとつひとつのテーマについても、掘り下げていけば、それぞれがひとつの検討会を設置して検討を行うに足る重要かつ深淵なものである。したがって、今後さらに一層の議論、検討が必要であると考えられており、「電力と技術」懇談会のPart IIを、今秋から再開することとしている。

Part IIにおいては、特に具体的な技術開発の方向性であるとか、研究所、研修設備といった機関のネットワークの構築の方策といった具体的な問題についても、さらに検討が進められるものと考えられる。

固体電解質型燃料電池



岩城 秀雄^{*}

はじめに

燃料電池 (Fuel Cell) は、最近の地球規模での環境問題等で大きくクローズアップされており、特に固体電解質型燃料電池 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) は、高い発電効率に加えて高品質な排熱が利用できることや全て固体ということ等の種々の特徴から今後の技術開発に対する期待が大きい。

当研究所では、平成元年度より通商産業省工業技術院のムーンライト計画の一環として、「固体電解質型燃料電池の研究開発 発電システムの研究」を新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託のもとに実施してきた。

ここでは、その検討の概要を紹介する。

なお、紙面の都合上、SOFCの原理、開発状況、種類の概要などは先に報告しているため¹⁾、最近の動向に触れさせていただく程度とした。

1. 研究目標、研究体制、スケジュール

1. 研究目標

固体電解質型燃料電池 (SOFC) セルを用いて発電装置として大出力を得るために

は、セルの集積化のための技術開発が必要である。このため、種々の電池形式について研究開発課題の抽出・整理、システム構成、基本仕様等の検討、概念設計等を行う。

(1) 電池材料、製造法、構造の特徴と技術課題の抽出・整理

種々の電池形式について、セル構成、燃料ガス供給部分、電力取り出し部分等について研究開発課題の抽出・整理を行い、解決策等今後の見通しを検討する。また、セルおよびスタックの評価方法等の標準化の検討を行う。

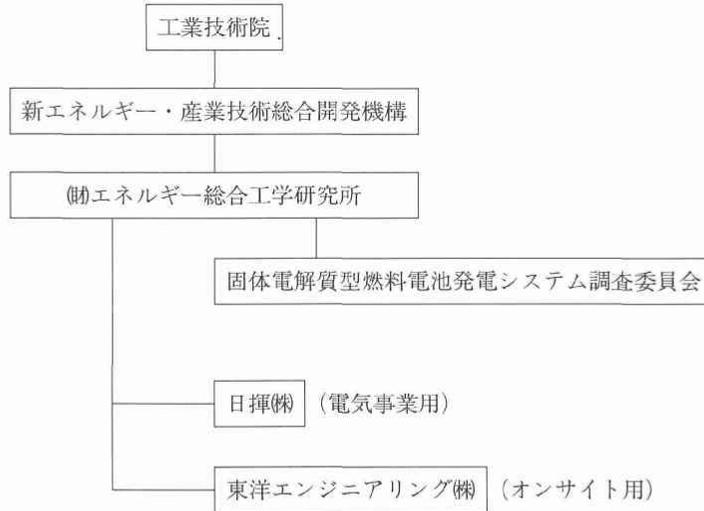
(2) システム仕様等の検討

固体電解質型燃料電池のモジュール化にあたっては、商業発電設備としての設置、運用面からの要求条件を明らかにする必要がある。このため、システム仕様を検討し、概念設計等を行う。

2. 研究開発体制

本プロジェクトの推進は、当研究所内に「固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会」(委員長:工業技術院化学技術研究所 土器屋課長)を設置して行った。また、SOFC発電システムの概念設計等は、関係メーカーに外注した。体制の概要は第1図のとおり

^{*} (勸)エネルギー総合工学研究所 主任研究員



第1図 研 究 体 制

第1表 研 究 ス ケ ジ ュ ール

調 査 項 目	平成元年度	平成2年度	平成3年度
1. 電池材料，製造法，構造の特徴と技術課題の抽出・整理等	←電池材料，製造法，構造調査→		
	←技術開発状況調査→		
	←評価方法の検討→		
	←技術開発課題の抽出・整理→		
2. システム仕様等の検討	←システム要求仕様調査→		
	←システム概念設計→		

である。

3. 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールの概要は第1表のとおりである。

II. SOFCの種類と材料・製造方法

1. SOFCの特徴

SOFCをリン酸型燃料電池 (PAFC)

や熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC) 等の燃料電池と比較した時の大きな特徴は、主要部が全て固体酸化物や金属などの固体で形成されるということ、および1000℃程度の高温作動型ということである。この特徴がもたらすSOFCの長所，短所を第2表に示す。

SOFCは、燃料電池の一般的な長所の他に多様な長所を持つが、最大の特徴としては、SOFCの高温排熱と内部改質によるシステ

第2表 固体電解質型燃料電池（SOFC）の特徴

長所	①高温で作動するため活性分極が少なく、電極触媒の配慮が他の燃料電池より重要でないこと。 ②電池とガスマニホールドの幾何学形状を成型、加工技術が許す限り自由に選べること。 ③液体電解質保持（蒸発、漏液、反応による電解質欠損の防止）のための構造の工夫、または電解質による腐食に対する耐食材料が不要になり、かつ耐久性が期待できること。 ④内部改質が期待できるため、システム構成が簡単となり、小型化が期待できること。 ⑤高温で高品質な排熱を回収することができるため、排熱の利用範囲が広いこと。 ⑥低温型燃料電池では使用困難である石炭ガス化ガスも使用でき、燃料の多様化が図られること。
短所	①高温作動であることから固体接合面での熱膨張率の違いが深刻になること。 ②高温で空気と燃料を分離するガスシール材の検討が必要であること。 ③作動温度が高温であるため、使用できる金属材料が限定されること。 ④電解質をはじめとした電池主要部が脆いセラミックスとなるため、大面積化が容易でないこと。

ムの単純さと考えられる。

2. SOFCの種類と特徴

SOFCは全固体電池であるため、これまで種々な形状のSOFCが開発されている。後述するように現在は材料・製造方法等の研究が盛んであるため分類には困難があるが、便宜上、現在開発中のSOFCを形状／構成／製造法で分類すると、第3表のようになる。

また、円筒型、平板型の特徴は概ね第4表で代表される。

2.1 円筒型SOFC

現在は、ウェスティングハウス社の25kWシステム（円筒縦縞型）が最も進んでおり、東京電力／電源開発／三菱重工の1kW機モジュール（円筒横縞型）がそれに続いている。

ウェスティングハウス社の25kWシステムは、関西電力、東京ガス、大阪ガスが共同で導入し、現在、関西電力の六甲新エネルギー実験センターで試験運転を実施している。

(1) 円筒縦縞型セル ウェスティングハウス社が従来より開発してきたものである。

現在の技術開発状況は以下のとおりである²⁾。

セルの長さは、開発初期段階では30cmだった有効長が、現在では50cmになっている。今後の計画では、100cm（数百kW用）、MW級ではそれ以上の長さの開発を予定している。出力電圧安定性については、1.4%/1000h（1988年製セル、20000h運転後）であった。また、同社は、ブリパイロット生産設備（PPMF：Pre-Pilot Manufacturing Facility）を稼働させて、量産化技術の確立を目指している。

(2) 円筒横縞型セル 電子技術総合研究所・三菱重工等が取り組んでいる。

電総研では、昭和61年度に500W発電実験を完了した³⁾。平成元年には、東京電力／電源開発／三菱重工で1kW級モジュールの発電に成功し、最大出力1.3kWを確認しており、平成3年11月には1000時間連続運転を達成した⁴⁾。

第3表 S O F C の分類

	形状による分類	構成法による分類	製造法による分類
S O F C	円筒型セル	円筒縦縞型セル	EVD法, 湿式法 溶射法
		円筒横縞型セル	
	平板型セル	自立膜型セル	共焼結法 溶射法
		支持膜型セル	
その他 (ハニカム型等)		共焼結法等	

第4表 S O F C の特徴

分類	特徴
円筒型SOFC	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール試験段階（システム試験） ・シール問題を解決（シールレス構造等）
平板型SOFC	<ul style="list-style-type: none"> ・セル/スタック試作段階 ・高出力密度, 低コスト化が期待できる ・多様な製造方法と形態（湿式, 乾式, 共焼結）

2.2 平板型SOFC

平板型SOFCは、PAFCやMCFCで採用しているいわゆる平板型セルと共焼結技術による共焼結型セルに分類することができる。

(1) 平板型セル

平板型セルの特徴は、高出力密度、大型化および低コスト化が期待できることである。平板型セルは、電池3層膜（電解質/電極）の製法により、自立膜型と支持膜型に分類することができる。

a. 自立膜型セル 電解質膜を一枚の自立した膜として成形し、その両面に電極を成膜する構造である。

b. 支持膜型セル 電極と同じ材料を多孔質基板として製造し、この表面に電解質およびもう一方の電極を成膜するものである。

(2) 共焼結型SOFC

共焼結型は、高出力密度、製造コストの低

減に加えて、シールが製造工程中に確保できる等の利点があり、SOFCの大きな可能性を示している。このジャンルの代表的なものは、米国のANL（アルゴン国立研究所）で提案したMSOFC（Monolithic SOFC）である。現在は、Allied-Signal Aerospace社で開発を行っている。

共焼結型セルは、さらに全共焼結型セルと3層膜（電極/電解質）共焼結型セルとに分類できる。

a. 全共焼結型セル 全共焼結型セルとは、スタックの全構成要素を共焼結する結果、これら全構成要素が分離することなく一体化されているものをいう。

b. 三層膜共焼結型セル 電極と電解質だけを共焼結して一体化し、別に準備したバイポーラ板またはセパレータとディストリビュータを組み合わせることで平板型セルを作製するものである。

3. SOFCの材料と製造方法

3.1 材 料

SOFCにおける材料技術は、セルの形態・製作方法によって材料の選定とプロセスが多様に変化することが特徴であり、それだけに開発初期の現段階では材料技術は重要な位置を占めている。

これまで種々検討された材料のうち、現在有力と考えられているのは、第5表のとおりである。

固体電解質は、イオン導電性や安定性の点からイットリア安定化ジルコニア (YSZ, 8-10mol%) が主に用いられているが、機械的強度の優る部分安定化ジルコニア (PSZ, 3-6mol%)、高導電性を示す酸化セリウム固溶体、ペロブスカイトについての基礎研究も進められている。

燃料極は、ニッケル等の金属が使用でき、YSZとの熱膨張率の整合等のためにニッケルとジルコニアのサーメットが主に用いられている。

空気極としてはランタンマンガナイトが有力と考えられており、Laの一部をCa, Sr等のアルカリ土類で置換したものを用いるケースが多い。

インターコネクタ (セパレータ) としてはランタンクロマイトが有望で、導電性等の改善のためにCa, Mg, Sr等のアルカリ土類で置換したものを用いる場合が多いが、これは熱膨張率の整合にも有利である。また、Ni-Cr系、Ni-Al系等の耐熱合金も有力な候補材料である。

3.2 製造方法

SOFCの構成部材には、電解質やインターコネクタのような緻密性と電極や支持管の

ような多孔質性が要求される。

セル製作技術の中心は製膜法であり、一般に乾式法と湿式法に大別される (第6表)。

SOFCの代表的な製造方法を第7表に示す。円筒型セルは、最近では湿式法の検討が始められているが、現在は支持管上に乾式法で成膜する製法をとり基本的にはバリエーションが少ないといわれている。これに対し、平板型セルは、乾式、湿式の両プロセスが可能であり、しかも既焼結膜の積層や共焼結等多様な製法が可能である。

(1) 円筒型SOFC

円筒型SOFCは、多孔質の円筒型支持管の表面に電池を形成したものであり、製造手順としては、燃料極または空気極を先に成膜し、その上に電解質を形成することになる。

円筒縦縞型はEVD法と溶射法を主体としており、CSZもしくはランタンマンガナイト支持管上に空気極、固体電解質、燃料極を順次積層しており、インターコネクタを縦の長さ方向に配置する。

円筒横縞型は成膜速度で有利なプラズマ溶射やアセチレン炎溶射法等で作製される。

(2) 平板型SOFC

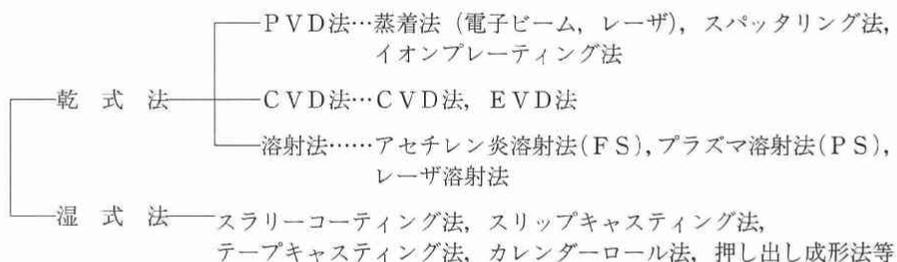
自立膜型では、電解質膜の薄膜化と強度という相反する要件を満足する必要がある。YSZでは、テープキャスト法 (ドクターブレード法) やスリップキャスト法等が考えられる。電極材料は、主にスラリーコーティング法等により電解質膜に付着される。

支持膜型では、電極多孔質基板はプレス成形法やモールド成形法などで成形した板を焼結法を用いて作製する。電解質膜は乾式法として溶射法、PVD法、CVD法などが、湿

第5表 代表的なSOFCの構成材料

部 材	代 表 的 な 材 料
固体電解質	イットリア安定化ジルコニア (YSZ)
燃料極 (アノード)	ニッケル-ジルコニアサーメット (Ni/YSZ) ルテニウム-ジルコニアサーメット (Ru/YSZ)
空気極 (カソード)	ランタンマンガンナイト (LaMnO ₃), ランタンコバルタイト (LaCoO ₃)
インタコネクタ	ランタンクロマイト (LaCrO ₃), Ni-Cr系, Ni-Al系等の耐熱合金
支持体	アルミナ, カルシア安定化ジルコニア (CSZ) ランタンマンガンナイト (LaMnO ₃)

第6表 SOFCの主な製造方法



第7表 SOFCの主な材料と製造法

部 材	主 な 材 料	主 な 製 造 方 法
電 解 質 (緻密膜)	YSZ, PSZ	プラズマ溶射法 (PS) PVD法, CVD法, EVD法 スラリーコーティング法 テープキャスト法 スリップキャスト法 カレンダーロール法
電 極 (多孔質膜)	空気極 La (Sr, Ca) MnO ₃ 燃料極 Ni/ZrO ₂ サーメット	アセチレン炎溶射法 (FS) プラズマ溶射法 (PS) テープキャスト法 カレンダーロール法 スラリーコーティング法
インターコネクタ (セパレータ) (緻密膜)	La (Ca, Mg) CrO ₃	プラズマ溶射法(PS), EVD法 テープキャスト法 カレンダーロール法 スラリーコーティング法 押し出し成形法, プレス成形法
	Ni-Cr系, Ni-Al系の 耐熱合金	

式法としてスラリーコーティング法等が考えられる。また、次項の共焼結法を部分的に組み合わせて、共焼結する方法もある。

(3) 共焼結型 SOFC

共焼結型の代表的な製造方法としては、グリーン（未焼結）状態の各構成要素をスタックに組み立てた後、共焼結して一体化する方法である。グリーン体の成形方法としては、固体電解質やインターコネクタに関してテープキャスト法（ドクターブレード法）やカレンダーロール法などのテープ成形法が用いられる。また、電極はこれ以外に、スラリーコーティング法も用いられる。

3.3 スタック／モジュール構成

(1) 円筒型 SOFC⁹⁾

円筒型 SOFC は、他の燃料電池に類を見ない特徴的な配置となっている。

円筒縦縞型 SOFC（ウェスティングハウス社）の接続は、セル外側（管内部：空気、管外部：燃料）の還元性雰囲気下で、シールレス構造となっているセルを Ni フェルトにより行なわれている。直列に 6 本、並列に 3 本接続された 18 本からなるセルバンドルがモジュールの最小単位となっている。バンドル同士は、Ni のブスパーで直列に接続されている。

円筒横縞型は、支持管上に単セルを配置してインターコネクタで多数のセルを直列接続したものである。これまでの製作例では縦縞型とは逆に支持管内に燃料を流し、外部に空気を流す配置を採用している。

モジュール化にあたっては、縦縞型は大電流タイプのため直列志向、横縞型は高電圧タイプのため並列志向である。

(2) 平板型 SOFC

平板型のスタック／モジュールは、平板状

のセル電池部の 3 層膜とセパレータを交互に積層したもので基本的には PAFC、MCFC と同様の積層となる。しかし、1000℃ という高温運転になること、強度的に弱いセラミックス薄膜を使うことが大きく異なる点で、特別な工夫が必要となってくる。

平板型については、いくつかの積層セルが試作されている程度の初期的な研究が行われている段階で、本格的な検討はこれからである。

III. SOFC 発電システム仕様等の検討

SOFC 発電システムの最大の特徴は、高温・高品質な排熱とシステム構成の単純・小型化であると考えられることから、システム検討の基本的なキーポイントは、これらの特徴を活かした発電システムを探索、設計し、今後の方向性などを検討することであろう。

1. 商用設備からの要求仕様

SOFC は種々のシステムに期待が大きいが、本プロジェクトではその中から、SOFC 発電システムの代表的なものとして、次の電気事業用とオンサイト用の 2 種類を取り上げた。それらの発電システムの要求条件は第 8 表のとおりである。

1.1 電気事業用 SOFC 発電システム

SOFC 発電システムの利用分野、形態は、10-30MW 規模の都市近郊分散配置用および 100-300MW 規模の火力代替用電源の 2 種類が考えられる。要求仕様を第 9 表に示す。

1.2 オンサイト用 SOFC 発電システム

SOFC 発電システムの利用分野、形態は、100-1000kW 規模の業務用、および 1000kW 規模以上の産業用の用途が考えられる。要求仕様を第 10 表に示す。

第8表 代表的なSOFC発電システム

1.利用形態	電気事業用発電システム		オンサイト用発電システム	
	火力代替用	分散配置用	業務用	産業用
2.燃料	LNG, 石炭	LNG	都市ガス, LPG, メタノール	
3.規模	100-300MW	10-30MW	100-1000kW	1000kW以上
4.発電効率	55%以上		45-50% (総合: 75-80%)	

(注) 発電効率: HHV基準

第9表 電気事業用SOFCシステムの要求仕様

	火力代替用	分散配置用
定格出力 (送電端) (ボトムシングサイクル)	100~300MW GT/ST	10~30MW GT
燃料	LNG, 石炭	LNG, LPG, メタノール
改質方式 運転圧力 発電効率 [HHV]	内部改質 加圧型 55%以上 (送電端)	内部改質 加圧型 55%以上 (送電端)
起動時間 (暖機起動) 起動回数 (暖機) 負荷調整速度	2h 以下 50回/年 10~20%/分	2h 以下 50~200回/年 20~30%/分
設置場所 敷地面積 (総計)	湾岸 200m ² /MW以下	都市近郊 100m ² /MW以下
寿命	電池本体: 5年, 電池以外: 15年	

(注) GT: ガスタービン, ST: スチームタービン

第10表 オンサイト用SOFC発電システムの要求仕様

	業務用	産業用
定格出力 (送電端)	100-1000kW	1000kW以上
燃料	都市ガス, LPG, 灯油, メタノール	都市ガス, LPG, 灯油, メタノール
改質方式 運転圧力 発電効率 [HHV] 総合効率 [HHV]	内部改質 常圧型 45-50% (送電端) 75-80%	内部改質 常圧型 45-50% (送電端) 75-80%
起動時間 冷機起動 暖機起動 起動回数 (冷機) 負荷変動範囲 変動範囲 瞬時	8h 程度 1h 以下 1回/年 0-100% 50-100%	8h 程度 1h 以下 1回/年 0-100% 50-100%
構造 据付面積 据付容量 据付重量	パッケージ 0.05-0.07m ² /kW 0.15m ² /kW以下 0.1t/kW以下	パッケージ 0.05-0.07m ² /kW 0.15m ² /kW以下
寿命	電池本体: 5年, 電池以外: 15年	

2. SOFC発電システムの概念設計

2.1 概念設計の進め方

概念設計に当たっては、①SOFCセルの特性を仮定し、それに基づき、②種々のシステム構成や種々の運転条件におけるシステム感度等を検討した後、③期待されるSOFC発電システムを検討し、概念設計を実施した。

2.2 前提条件

SOFC基準性能およびシステムの基準条件を第11表、第12表に示す。

また、SOFCの電池電圧は、電池電圧補正式（第13表）に基づき、運転条件により補正される。

2.3 SOFC発電システムの性能検討

SOFC発電システムの性能等の検討として、①各種発電システムの性能検討、および、②各種運転条件の影響検討を行った。

性能検討の中から抽出したSOFC発電システムの要点は、以下のとおりである。

○内部改質が実現できれば、非常にシンプル、かつコンパクトで高効率なシステムが期待できる。

第11表 SOFC 基準性能

項目	基準性能	
電池電圧	0.7Vセル	
電流密度	300mA/cm ²	
基準条件	運転温度	1000℃
	圧力	常圧
	燃料ガス組成	CH ₄ :100Vol%
	燃料S/C	2.5
	空気組成	O ₂ :21Vol% N ₂ :79Vol%
	燃料利用率 空気利用率	80% 30%

第12表 SOFC (システム) 基準条件

項目	電気事業用	オンサイト用
SOFC		
運転電圧	補正式により算出	
運転温度	1000℃	1000℃
運転圧力	8 ata	常圧
燃料/空気		
電極入口温度	850℃	850℃
電極出口温度	1000℃	1000℃
燃料利用率	80%	80%
空気利用率	熱バランスにより算出	

第13表 電池電圧補正式

電池電圧: $E = 700 + \Delta V_P + \Delta V_T + \Delta V_A + \Delta V_C$ (mV)	
1. 圧力ゲイン: ΔV_P	$\Delta V_P = 63 \log \frac{P_2}{P_1}$
2. 温度ゲイン: ΔV_T	$\Delta V_T = 1.1 (T_2 - T_1)$
3. アノードゲイン: ΔV_A	$\Delta V_A = 250 \log \frac{[(YH_2)/(YH_2O)]_2}{[(YH_2)/(YH_2O)]_1}$
4. カソードゲイン: ΔV_C	$\Delta V_C = 130 \log \frac{(YO_2)_2}{(YO_2)_1}$

(注) 添字1: 基準条件, 添字2: 計算条件

P: 圧力 (ata), T: 温度 (℃)

YH₂, YH₂O, YO₂: 入口と出口の相加平均モル分率

- 発電効率は、電気事業用では、約51%（電池）、約59%（ボトミング含）となり、オンサイト用（常圧型）でも約46%（総合効率67%）となり、高い発電効率が期待できる。
- 石炭ガス化ガス利用システムは、ガス化プラントを考慮したシステム全体としての検討が必要である。
- オンサイト用の総合効率は今回の検討では70%前後になったが、①排ガスからの熱回収をさらに低温まで行うこと、②空気利用率を一層高めること、を実施すれば、80%程度に高めることは可能である。
- コージェネ用熱回収は、二重効用吸収式冷凍機の熱源として8 kg/cm²級スチームの発生はもとより、システム的には1000℃級の高温レベルの排熱等が利用可能であり、より高度な熱利用が可能である。
- システムの総合効率は、電池の冷却方法に大きく依存する。
- 熱電比は、発電効率が高いので1またはそれ以下と低い値が期待できる。また、オンサイト用では、燃料利用率を変化させることで、総合効率をあまり変化させずに、熱電比を変えることができる。

2.3.1 各種発電システムの性能検討

S O F C 発電システムの構成、性能等を明らかにするため、種々の発電システムについて、効率などの検討を行った。

(1) 電気事業用 S O F C 発電システム

第14表に種々の発電システムの構成と特徴を示す。

(2) オンサイト用 S O F C 発電システム

第15表に種々の発電システムの構成と特徴を示す。

2.3.2 各種運転条件のシステム性能に与える影響検討

電気事業用およびオンサイト用 S O F C 発電システムの基準システムを内部改質型システム (SYS. EU 1, SYS. OS1) として、燃料利用率、燃料 S / C、電池入口温度等をパラメータにとり性能検討を行った。効率への影響の傾向を第16表に示す。なお、2種類の発電システムで傾向が異なると思われる場合があるが、これは電気事業用ではガスタービンでの動力回収量に応じて排出ガス温度が変化したのに対し、オンサイト用では排出ガス温度を一定として回収熱量を変化させたためであり、本質的には差異はない。

2.4 S O F C 発電システムの概念設計

2.4.1 エネルギーフロー

(1) 電気事業用発電システム

300MW級加圧型 S O F C 発電システム (SYS. EU1) の概略エネルギーフローを第2図に示す。

20MW級常圧型 S O F C 発電システム (SYS. EU5) の概略エネルギーフローを第3図に示す。スチームタービンでのエネルギー回収はごく僅かであるため、有効な熱利用等が検討されることになろう。

(2) オンサイト用 S O F C 発電システム

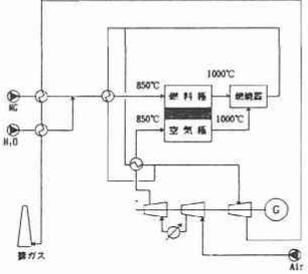
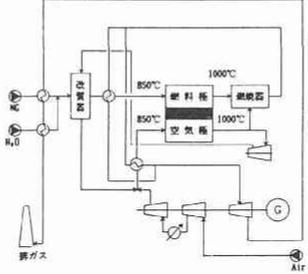
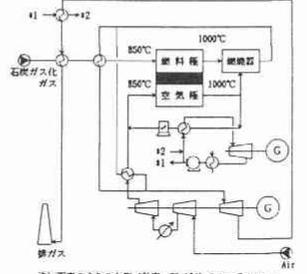
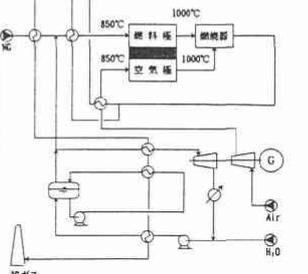
1000kW級常圧型 S O F C 発電システム (SYS. OS1) の概略エネルギーフローを第4図に示す。

IV. 技術開発課題と今後の方向性

1. セル/スタック技術

セル/スタックの技術開発課題は、セラミックスの長所を活かし、如何にしてその短所を克服するかにある。

第14表 各種電気事業用SOFC発電システムの性能検討結果

		内部改質型システム (SYSTEM-EU1 / SYS-EU2)		外部改質型システム (SYSTEM-EU3)		石炭ガス化ガス利用システム (SYSTEM-EU4)		常圧型システム (SYSTEM-EU5)		
システムフロー										
検討条件	出力(送電端)	300 MW	20 MW	300 MW	300 MW	300 MW	300 MW	20 MW		
	燃料改質方式	LNG	LNG	LNG	LNG	石炭ガス化ガス	石炭ガス化ガス	LNG		
検討結果	排熱回収	内部改質	内部改質	外部改質(100%)	外部改質(50%)	内部改質	内部改質	内部改質		
	電池圧力	ガスタービン	ガスタービン	ガスタービン	ガスタービン	G T, S T	G T, S T	スチームタービン		
果	その他	8 ata	8 ata	8 ata	8 ata	8 ata	8 ata	常 圧		
	電池	出力(Net ac)	262.7 MW	19.8 MW	246.4 MW	257.5 MW	229.9 MW	208.9 MW	19.5 MW	
検討結果	出力(Net ac)	50.9 %	50.7 %	47.8 %	49.9 %	37.7 %	34.3 %	47.3 %		
	HR	出力(Net ac)	41.8 MW	3.0 MW	53.3 MW	47.3 MW	87.6 MW	76.0 MW	0.5 MW	
	出力(Net ac)	8.2 %	7.7 %	10.3 %	9.2 %	14.4 %	12.5 %	1.3 %		
果	総合	出力(Net ac)	304.5 MW	22.8 MW	299.7 MW	304.8 MW	317.5 MW	284.9 MW	20.0 MW	
	出力(Net ac)	59.1 %	58.4 %	58.1 %	59.1 %	52.1 %	46.8 %	48.6 %		
特 徴		<ul style="list-style-type: none"> 内部改質により、シンプルなシステム構成となる。 高い発電効率が期待できる。 発電規模の影響は、インバータ等の周辺機器の効率低下による 		<ul style="list-style-type: none"> 電池冷却、改質用熱源などのためシステム構成が複雑になる。 外部改質器や循環ブロー等々の高温機器の設置が必要となる。 総合効率は、ほぼ内部改質と同程度となる。 		<ul style="list-style-type: none"> ガス化ガスを出発点としたため電池発電効率が低い。 改質反応がないので、特に冷却方法の検討が必要(カソード循環、S T発電)。 S/C=2.5 の場合、46.8% となる 		<ul style="list-style-type: none"> スチームタービンによる排熱回収となる。 実用的には、熱の有効利用を検討する可能性大。 		

(注) HR: 排熱回収(ガスタービン、スチームタービン)、CR: カソードガス循環、GT: ガスタービン、ST: スチームタービン

第15表 各種オンサイト用SOFC発電システムの性能検討結果

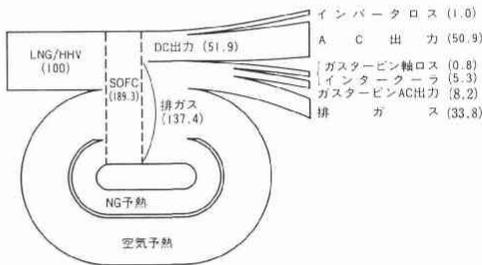
	内部改質型システム (SYSTEM-OS1 / SYS-OS2)		外部改質型システム (SYSTEM-OS3)		アノード循環システム (SYSTEM-OS4)		メタノール利用システム (SYSTEM-OS5)		
システムフロー図									
検討条件	出力(送電端) 燃料 改質方式 電池圧力 電池温度 排出ガス温度 その他	1000 kW 都市ガス(13A) 内部改質 常圧 1000℃ 100℃	1000 kW 都市ガス(13A) 内部改質 常圧 800℃ 100℃	1000 kW 都市ガス(13A) 外部改質(100%) 常圧 1000℃ 100℃ C R	1000 kW 都市ガス(13A) 外部改質(50%) 常圧 1000℃ 100℃	1000 kW 都市ガス(13A) 内部改質 常圧 1000℃ 100℃ A R (15.6%)	1000 kW 都市ガス(13A) 内部改質 常圧 1000℃ 100℃ A R (45.2%)	1000 kW メタノール 内部改質 常圧 1000℃ 100℃ S/C=1.5	1000 kW メタノール 外部改質 常圧 1000℃ 100℃ S/C=1.5
検討結果	電池出力(Net ac) コジェネ用熱源	1000 kW 397Mcal/h	1000 kW 783Mcal/h	1000 kW 433Mcal/h	1000 kW 302Mcal/h	1000 kW 456Mcal/h	1000 kW 578Mcal/h	1000 kW 475Mcal/h	1000 kW 375Mcal/h
	送電端効率(HHV) 熱回収効率(HHV) 総合効率(HHV)	45.6 % 21.1 % 66.7 %	31.3 % 28.5 % 59.9 %	44.4 % 22.3 % 66.7 %	45.5 % 16.0 % 61.5 %	45.4 % 24.0 % 69.4 %	44.6 % 30.0 % 74.6 %	40.9 % 22.6 % 63.4 %	40.7 % 17.7 % 58.4 %
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> 内部改質により、シンプルなシステム構成となる。 現在のセル特性で低温運転を行えば発電効率、総合効率が低い 		<ul style="list-style-type: none"> 電池冷却、改質用熱源などのためシステム構成が複雑になる。 外部改質器や循環ブロー等的高温機器の設置が必要となる。 総合効率は、カソード循環を行えば内部改質と同程度となる。 		<ul style="list-style-type: none"> システム内のスチーム潜熱の有効利用。 高い総合効率が期待できる。 循環ブロー等的高温機器の設置が必要となる。 循環のためのシステム構成が複雑になる。 		<ul style="list-style-type: none"> メタノールは低温で改質可能。 都市ガスと比べて、総合効率は同程度であるが、発電効率はメタノールが多少低い。 	

(注) A R : アノードガス循環, C R : カソードガス循環

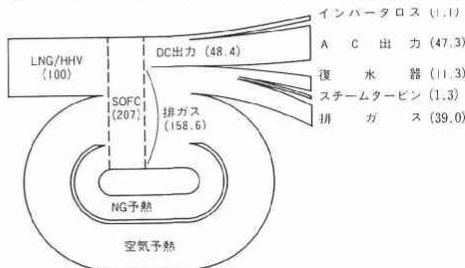
第16表 効率への影響の表

運転条件の変化	システム効率の影響
・燃料利用率を高くすると (75%→85%)	(電気事業用) ○電池発電効率は、 <u>向上</u> する △G T発電効率は、 <u>低下</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する (オンサイト用) ○電池発電効率は、 <u>向上</u> する △熱回収効率は、 <u>低下</u> する △総合効率は、 <u>低下</u> する
・S/Cを低くすると (3.0→2.0)	(電気事業用) ○電池発電効率は、 <u>向上</u> する △G T発電効率は、 <u>低下</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する (オンサイト用) ○電池発電効率は、 <u>向上</u> する ○熱回収効率は、 <u>向上</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する
・電池入口温度を低くすると (850℃→750℃)	(電気事業用) △電池発電効率は、若干 <u>低下</u> する ○G T発電効率は、 <u>向上</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する (オンサイト用) △電池発電効率は、若干 <u>低下</u> する ○熱回収効率は、 <u>向上</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する
・電池圧力を高くすると (2ata→8ata)	(電気事業用) ○電池発電効率は、 <u>向上</u> する ○G T発電効率は、 <u>向上</u> する ○総合効率は、 <u>向上</u> する

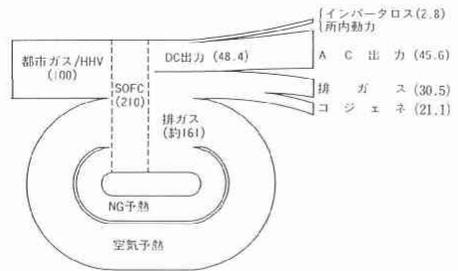
注) GT: ガスタービン
○: 効率向上, △: 効率低下



第2図 エネルギーフロー図 (300MW級)



第3図 エネルギーフロー図 (20MW級)



第4図 エネルギーフロー図 (1000kW級)

1.1 技術開発動向

従来SOFCには多様な形態・コンセプトが可能であることが認識されてきた。しかし、ほぼ出るべきものは出つくし、今後それぞれのコンセプトに対するハード的な検討に基づくある程度の絞り込みが予想される。

しかし、円筒型セルへの湿式法が部分的ではあるものの採用されつつあり、今後の新たな製造方法の展開も予想される。

量産技術については、ウェスティングハウスのプリパイロット生産設備 (PPMF) などにより問題がより一層現実的なものとなるであろう。

1.2 当面の技術開発課題

技術開発課題については、SOFCの開発レベルが、円筒型は1kW~数十kW級セルスタック (システム試験) レベル、平板型は数百W~1kW級セルスタック試作レベル、共焼結型 (全セル) は材料/製造方法探索レベルであるため、それらの技術開発課題が非常に広範囲にあるのは明らかである。

現在の課題を概観すると、円筒型ではモジュール的な課題に移っているのに対し、平板型では、材料、製造法の基礎データの集積やスタック/モジュール構成等が優先的課題になっている。平板型の課題の一つである大面積化は、現在のセラミックス技術をもってす

れば、特に支持膜型で可能であると考えられるが、モジュール/スタック化に当たってある程度の見極めが必要であろう。共焼結の中心的課題は構成材料の収縮挙動を一致させる技術であるため、ノウハウの蓄積等長い地道な努力が必要になる。しかし、製作コスト低減、シール性、高出力密度等の利点があるとともに、平板型においても部分的に採用される重要な技術であり大いに期待される。

1.3 内部改質

S O F Cでは、電池温度が1000℃と高く、また燃料極のNiに触媒効果があるため、適量の水蒸気を添加して直接電池に導入することにより改質反応を行わせることが可能である。内部改質（燃料を電池内部で改質反応を行わせること）は、システム的にも大変魅力のあるものであるが、改質触媒等の基礎研究の段階で詳細な研究は行われておらず、今後の一層の研究開発が望まれている。

1.4 新しいS O F C

これまでの研究の結果、既に述べたような有望な材料、形状、製造方法等を見いだした。しかし、もしこれらの他に高性能・高機能なS O F Cが開発されれば、S O F Cの将来のエネルギーシステムにおいて果たす役割は格段に大きくなるものと考えられる。したがって、従来の技術開発と並行して、従来にないS O F Cの開発等の取り組みも重要である。

2. S O F Cの評価方法

S O F Cはまだ開発途上であることから、評価方法の提言は今後のより高次の開発を妨げる恐れがあるが、技術開発の過程及び実用段階では、開発の達成度の確認や性能・寿命・安全性等の検討は必要である。本委員会では

これらの点を踏まえて評価方法の今後の方向付けを中心に検討したが、このような評価技術の具体的な検討はまだ開始されたばかりである。

3. システム技術

S O F C発電システムに対する大きな期待は、再三述べたように高温・高品質な排熱が利用可能なことと内部改質によるシステム構成のシンプル性およびコンパクト性にある。システム化技術はこれらの期待をいかにシステムに具体化していくかにある。

システム技術の課題としては、①電気事業用/オンサイト発電プラント等を構築するためのシステム技術と、②S O F Cの特徴を活かした新しいシステム、に分けることができる。後者の「S O F Cの特徴を活かした新しいシステム」については、まだシステムそのものの検討は非常に困難であるが、S O F Cの将来の夢/ビジョンを描いてみようという試みである。S O F Cの利用分野/利用形態の展開を含めた新しいS O F Cシステムについてはあまり具体的な検討はされていないため、無限の可能性を秘めている。

おわりに

以上みてきたように、S O F Cは大変魅力的なものであるが、克服しなければならない多くの技術開発課題がある。特に、P A F C、M C F Cの延長的・類推的なものという従来の視点から脱却したセラミックスの特性を活かしたS O F C、あるいはS O F Cの特質を活かしたシステムを実現する新しい概念の創出が望まれている。

しかし、ここ3年間で当初は予想もしなか

った技術が展開されていることは、SOFCの技術が極めて急速に展開されていることを示しており、今後の展開が大いに期待される場所である。

最後に、本プロジェクトを進めるに当たって、工業技術院、NEDOおよび土器屋委員

長をはじめとする調査委員会の委員の方々、さらに他の関係者各位に多大なご教示、ご協力をいただいた。ここに紙面を借りて深く感謝の意を表すものである。

(岩城秀雄氏の現職：東北電力㈱技術開発部
技術調査課)

参 考 文 献

- 1) 季報 エネルギー総合工学, Vol. 13, No. 2 (1990).
- 2) W. J. Dollard, THE WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION SOLID OXIDE FUEL CELL PROGRAM-A 1992 PROGRESS REPORT, IFCC PROCEEDINGS, pp. 313-316, 1992.
- 3) 永田他, 固体電解質型燃料電池500W発電実験, 昭和63年電気学会全国大会, 1973.
- 4) T. Saishoji, OPERATION TEST OF SOFC 1kW MODULE, IFCC PROCEEDINGS, pp. 321-324.
- 5) 山本他, 3kW SOFC装置のテスト結果および経験, 燃料電池シンポジウム・東京 '88予稿集, pp. 77-78, 1988.

FBR新技術フイージビリティ調査

(実用化を目指した新しいプラント概念・要素技術)



津久井 豊*

1. まえがき

高速増殖炉(FBR)は、発電しながら消費した以上の燃料を生成する画期的な原子炉であり、FBRによるプルトニウム利用が本格化すれば、我が国においても、将来的には天然ウランの対外依存を大きく低減させ、原子燃料の資源問題を基本的に解決しうるものと考えられる。このような観点から、FBR実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」が開発され、更には、実証炉建設を目指して現在鋭意研究開発が進められている。

21世紀前半にはFBR実用化が期待されており、これを順調に達成するためには、FBRの安全性、経済性のより一層の向上が求められる。このために、(財)エネルギー総合工学研究所では、通産省資源エネルギー庁の委託により、FBRの実用化を円滑に推進するための新技術について、そのフイージビリティを評価することを目的とした調査研究を平成2年度から平成4年度までの3ヶ年計画で実施している。本報告では、平成3年度までの成果と今後の計画について述べる。

2. 実用化段階の新しいFBRプラント概念

FBRの実用化は、ウラン資源の有効利用というFBRの本質的な成立条件に加えて、先行の炉型に勝るとも劣らない安全性、経済性という条件が確保されて初めて実現されよう。本調査研究では、現状のFBR技術にとられることなく、実用炉に対するニーズを満たすために、種々のアプローチによるプラント概念を構築している。すなわち、

- ①エネルギーの長期安定確保
- ②人間社会との調和、及び
- ③地球環境への適合性

の3点のそれぞれに力点を置き、3種類のプラント概念を構築してきている。これらの概念のキーとなる出力、燃料等については、将来の選択に幅を持たせるため、電気出力については、30万kWeから400万kWeまでを対象とし、燃料についても、混合酸化物(MOX)燃料のみならず、金属燃料、窒化物燃料をも対象として検討している。

以下、これらプラント概念の構築状況を述べる。

2.1 エネルギーの長期安定確保

(大出力FBRプラント概念の検討)

(1)検討の着眼点

※ (財)エネルギー総合工学研究所 主管研究員

エネルギーの長期安定確保のためには、使用済燃料の再処理により分離されるプルトニウムの利用により、天然ウランの利用効率の飛躍的向上が望まれる。これを具体化するには、必要な電力需要に対応したFBR発電所の建設と、再処理施設の確保が必要になる。原子力発電所の立地を巡る情勢は厳しくなっているが、プラント出力の大幅増加を図ることができ、かつ、軽水炉の既設サイトをリプレースできれば、増大する電力需要に対応することができる。FBRは伝熱特性の優れたナトリウムを冷却材として使用しているので、現状のMOX燃料炉心でも出力の増加に対して余裕があり、更に、仮に窒化物燃料炉心のオプションを考えた場合には、燃料自体の安全裕度加わるために、より一層の大出力化を実現できる可能性がある。このような理由により、大出力FBRは、エネルギーの長期安定確保のための有力な手段になり得る。

(2)検討結果

出力規模400万kWeの炉心概念において、MOX燃料を用いた場合、ナトリウムボイド反応度5%以下、燃焼反応度3%Δk/k程度の条件を満たす一つの炉心概念は、ラップ管削除型集合体による超偏平炉心（等価直径約9m）となり、制御棒引抜きによる局所的な出力歪の検出性が課題（構造健全性は未検討）となるが、ATWS事象（スクラム不能時の過渡変化）での安全性については、中性子漏洩効果により、負のフィードバック効果が大きく100万kWeクラスの炉心と比べて遜色ないことが示された。

また、窒化物燃料を用い、炉心上部にナトリウムプレナムを設けることにより、炉心等価直径の縮小、ナトリウムボイド反応度の低

減等が達成され、窒化物燃料が大出力FBR炉心燃料として有望であることが示された。

安全性の検討において、上記の超偏平炉心にもとづく固有の安全機能と制御棒軸伸び促進機構やポンプコストダウン延長策等の工学的安全機能の適切な組合せにより、更に安全性の向上が期待されることが示された。

表1に炉心概念の主要パラメータ、図1にその断面図（窒化物燃料の場合）を示す。

2.2 人間社会との調和

（高度技術・簡素化FBRプラント概念の検討）

(1)検討の着眼点

21世紀の社会にFBR技術が受け入れられるには、人間社会とFBR技術との調和が求められる。このためには、基軸エネルギーに値するほどの低廉なエネルギーであることは

表1 大出力FBRの炉心概念

・電気出力／熱出力	400万／1000万kW
・燃料	MOX，窒化物
1) ラップ管削除型燃料	
（燃焼欠損反応度に対する要求達成のため）	
2) 集合体数	(MOX) 1980体 (窒化物) 690体
・燃焼度	(MOX／窒化物) 15万／16万MWd／t
・増殖比	(MOX／窒化物) 1.27／1.34
・最大線出力密度	(MOX／窒化物) 384／750W／cm
・ナトリウムボイド反応度	(MOX／窒化物) 5%／1.6%

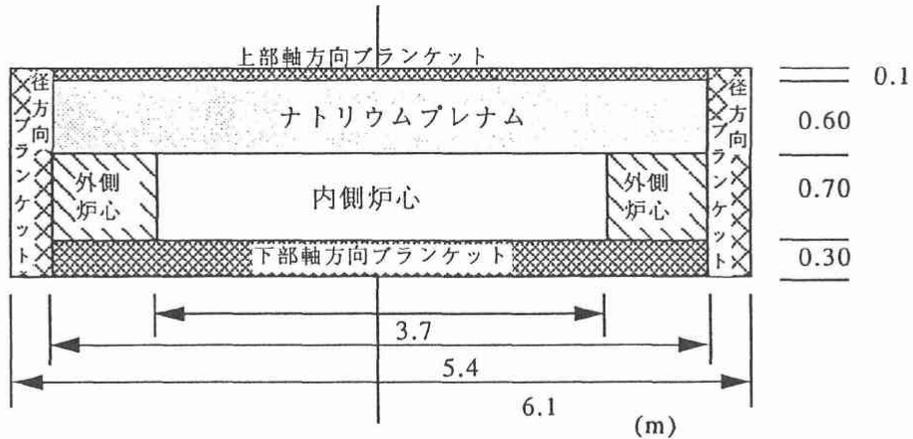


図1 大出力FBRの炉心の断面図（窒化物燃料の場合）

勿論であるが、わかりやすい安全性、運転員・保守員への負担軽減等の達成も重要な要素となる。例えば、だれにもプラントの仕組みがわかり、だれにも運転でき、何が起ころうとも安全なプラントは、「わかりやすい安全性」が達成されているプラントと言えよう。固有の安全性の拡大強化、静的機器の積極的活用等は、「わかりやすい安全性」の具体的な努力の例である。また、軽水炉に対して不利と言われているプラントの建設コストについては、その低減のために、機器の簡素化等の種々の工夫が必要になる。運転保守性の向上のためには、機器の簡素化を拡大して行きつつ、AI等の高度な運転・保守システムで補う形が求められよう。

(2)検討結果

炉心概念の具体化では、「冷却材は沸騰しない。燃料は溶融しない。」を目標に、核的・熱的なプラント過渡挙動の解析によりSafety Mapを作成し、個々の設計パラメータの最適な組合せを明らかにした。これらの結果をもとに、増殖性を確保しつつ、固有の安全性の高い炉心として、炉心とブランケットの混合構成・ラッパ管削除燃料・軸方向非均質・炉

心上部ナトリウム領域設置等の特徴のある炉心概念を構築した。

また、システム・設備の具体化においては、簡素な自然循環型予熱方式を検討し、大幅な簡素化効果が得られる見通しを得た。更に、ラッパ管削除型燃料の採用により、炉心が低圧力損失化され炉心の自然循環流量を約4割増大させることが可能となり、炉心出口のナ

表2 高度技術・簡素化FBRの炉心概念

・電気出力／熱出力	100万／260万kW
・燃料	MOX
1) 炉上部ナトリウム領域設置型の炉心	
2) ラッパ管削除型燃料の使用	
(余剰反応度の低減, 低圧損の達成)	
・燃焼度	14~15万MWd / t
・増殖比	1.1~1.15
・最大線出力密度	
(ナトリウム領域分散型)	約330W/cm
(ナトリウム領域集中型)	約300W/cm
・ナトリウムボイド反応度	
(ナトリウム領域分散型)	約2.5\$
(ナトリウム領域集中型)	約3.8\$

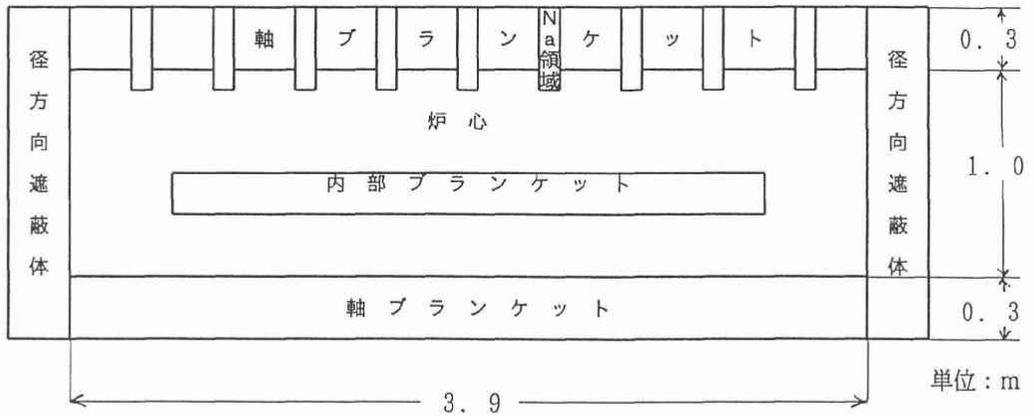


図2 高度技術・簡素化FBRの炉心断面図（ナトリウム領域分散型の場合）

トリウム温度を約20℃低減可能であることが示された。

表2に炉心概念の主要パラメータ、図2にその断面図を示す。

2.3 地球環境への適合性

（サイクルにやさしいFBRプラント概念）

(1)検討の着眼点

発電所の運転中を含む燃料サイクル全体からの放射性廃棄物が少ないことは、地球環境との適合性の観点から望ましいことである。現在、使用済み燃料の再処理からの高レベル放射性廃棄物は、最終的には、深地層処分が安全確保上最も適切な方法であるとされており、研究開発が進められているが、仮に、長半減期の超ウラン元素（以下、Transuranicの略称TRUを使用）の分離や消滅の技術が実現されれば、放射性廃棄物の処理・処分の負担が軽減でき、燃料サイクルの高度化に貢献できる。

ところで、FBRの高速中性子の領域では、核分裂断面積に対する中性子捕獲断面積の比が小さいためにTRUをより多く装荷することが炉心特性上可能である。すなわち、TRU装荷は、中性子の無駄な消費が増加するた

めに、炉心の反応度低下をもたらすが、FBRでは中性子捕獲断面積が小さいのでこの反応度低下が小さくなる。このように、FBRはTRU消滅能力に優れたプラントが実現される可能性がある。

(2)検討結果

FBRでは、より多くの余剰中性子を利用できるため、ゼロボイド反応度及び増殖性を確保しつつ、TRU及び長半減期FPを消滅できるポテンシャルを有している。このポテンシャルを達成する炉心として偏平二層型軸非均質炉心概念（金属燃料、MOX燃料）を

表3 サイクルにやさしいFBRの炉心概念

・電気出力/熱出力	30万/78万kW
・燃料	金属, MOX
1) ラッパ管ありの燃料使用	
2) 偏平二層型アニューラ体系炉心	
3) 炉心部TRU含有率	10%HM
・燃焼度（金属）	9万MWd/t
（MOX）	11万MWd/t
・増殖比	1.05~1.1
・最大線出力密度	250W/cm
・ナトリウムボイド反応度	0 \$程度

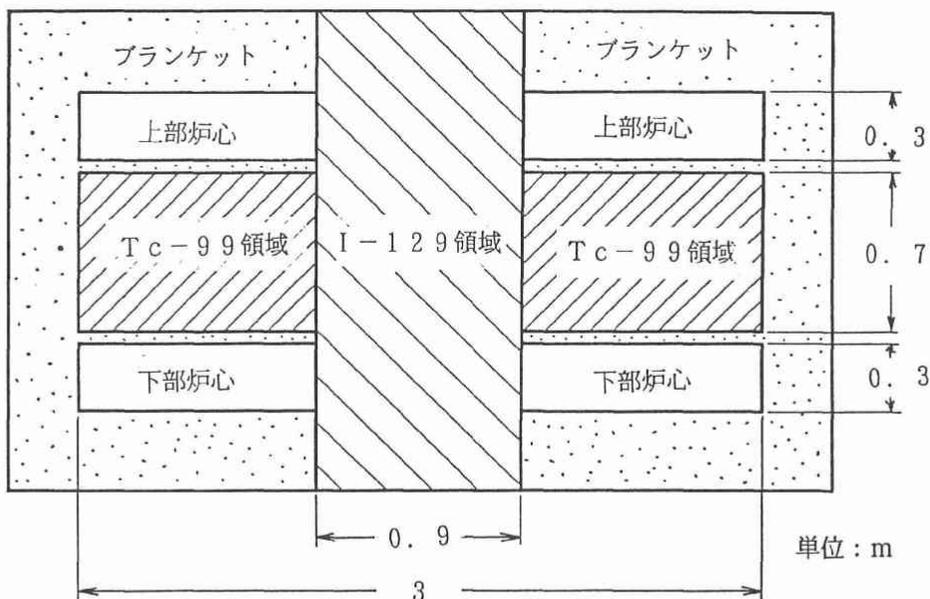


図3 サイクルにやさしいFBRの炉心断面図（金属燃料の場合）

選定し、その核的特性評価を実施して、概念構築を行った。また、燃料サイクル施設との適合性評価のため、各種燃料概念の比較を行った結果、金属燃料炉心が全般的に優れた特徴を有しており、将来有望な炉心概念であることが示されたが、金属燃料と被覆管との共晶反応等については未だ不明な点があり、今後更に検討の必要があることがわかった。

表3に炉心概念の主要パラメータ、図3にその断面図（金属燃料の場合）を示す。なお、長半減期FP（I-129、Tc-99）の消滅のために、炉心のまわりにこれらの領域を設けている。

3. 実用化段階における燃料取扱いシステムの概念

本調査研究は、前述したプラント概念のうち、TRU消滅処理プラント概念及び大出力プラント概念に使用する燃料取扱いシステムについて、それぞれ、炉停止後直接燃料取出

し方式及び炉運転中燃料取出し方式をベースに、概念構築を行った。

以下、概念構築の目的及び検討状況を述べる。

3.1 炉停止後直接取出し燃料取扱いシステム（炉外プルトニウムインベントリ縮小化システムの検討）

本調査研究は、燃料取扱条件の厳しいTRU消滅処理プラント概念に適用できる経済性と安全性に優れた燃料取扱システムを構築し、必要な要素技術を含めてシステムの成立性を明らかにすることを目的としている。

直接取出し方式のシステム構築の基本アプローチとして、静的除熱方式を前提に、高発熱燃料の移送・貯蔵方式、未減衰燃料の管理方法等の検討を進めた。また、FP及び放射性物質の放散に至る事象の分析と燃料温度の解析を行い、燃料移送ポット内のナトリウム喪失の防止が重要であることがわかった。更

に、燃料の炉外滞在期間の長短による炉外プルトニウム量及びTRU量の減少効果を検討し、炉外プルトニウム量の減少には炉外滞在期間の長短が効果があるが、炉外TRU量の減少にはこれは効果が少ないことが明らかになった。

3.2 炉運転中取出し燃料取扱いシステム

(高利用率・コンパクト化燃料取扱いシステムの検討)

本調査研究は、将来のFBRプラントとして有望な大出力FBRプラントに適合し、かつ、実用化段階において想定される燃料サイクル条件、安全性要求等に適合する経済的な燃料取扱システムを構築し、その成立性を明らかにすることを目的としている。

大出力プラントでは、燃料交換数が増加するため燃料交換期間及び炉外貯蔵容量が増大する。そこで、炉運転中に炉内貯蔵燃料を新燃料と交換することで、炉停止期間短縮と炉外貯蔵量削減を可能とする炉運転中燃料出入れ方式について、その効果、成立性、システムイメージについて、検討を進めた。また、炉運転中に新燃料を炉内に入れることから、

熱衝撃の緩和が必要であり、これについては新燃料の予熱温度を上げるか又はナトリウム中への挿入速度を低減するかで緩和可能であることがわかった。

4. FBR実用化を支える要素技術

実用化段階におけるFBRを支える各種の要素技術について、プラント概念、燃料取扱いシステム概念と関連させて、現在、8種類の調査研究を実施している表4に8種類の要素技術の研究目的及び研究内容を示す。平成3年度は、概念構築、試験装置・試験体の製作及び一部試験を実施し、平成4年度は試験の実施とその実験解析により、各要素技術の成立性を評価する。

5. あとがき

本報告は、日本機械学会の第3回動力・エネルギー技術シンポジウム(平成4年11月12、13日)の講演論文集の原稿をもとに作成した。

なお、本調査研究は、東工大藤家教授を委員長とする委員会(委員会の下に、東大斑目教授、東工大斉藤助教授を主査とする2つのWG設置)でレビューを受けつつ進めている。

表4 要素技術の研究目的及び研究内容

テーマ名	研究目的	研究内容
大出力FBR	安全性向上のための固有の特性を活用した原子炉停止機構には、種々のアイデアが提案されてきている。本研究は、大出力FBRへの適用性、特にATWS対策として出力ピーキングを考慮した炉停止系の軸伸び機構について、その成立性評価を目的とし実施している。	軸伸び機構の基本概念を構築するとともに、大出力FBRの安全解析とともに、本機構に要求される作動条件を明確化する。更に、冷却材の異常な温度上昇を想定した場合について、軸伸び量の解析や軸伸び機構への冷却材導入等の水試験を実施し、本機構の成立性評価に関する基礎データを入手する。

テーマ名		研究目的	研究内容
大出力FBR	②合体型機器の開発	NSSSエリアの大幅な縮小のためには配管により孤立している冷却系機器の合体が効果的である。本研究は、合体型機器の概念構築を目的とし実施している。	各種合体案のうち、プラントのコンパクト化に有効なSG・IHX・2次ポンプの合体案について、構造概念の提案、成立性に係る主要な部位について構造解析を実施する。
高度技術・簡素化FBR	③ホットルーフデッキの検討	原子炉ルーフデッキは、断熱層の設置等により複雑構造となっている。本研究は、断熱層を削減したルーフデッキ（ホットルーフデッキ）の概念構築を目的とし実施している。	ホットルーフデッキの概念構築上支配的なカバーガス部の伝熱流動現象について、ナトリウム実験により自然対流、輻射伝熱及びミスト挙動を把握して、解析手法の向上による概念構築に役立たせる。
	④高信頼性SGの検討	FBRのSGはナトリウムと水・蒸気の境界となるので、信頼性の一層の向上が求められている。本研究は、高信頼性SGの達成手段としてのヘリカルコイル二重伝熱管について成立性評価を目的とし実施している。	今までに概念構築を図ってきたヘリカルコイル二重管SGについて、ナトリウムを使用したコイル部の伝熱性能試験、及びヘリウムを使用した漏洩検出性確認試験により、成立性評価の基礎データを入手する。
サイクルにやさしいFBR	⑤安全特性に着目した1次主循環ポンプシステムの研究	ナトリウムという冷却材の特徴を活用してプラントのコンパクト化を図る電磁ポンプを1次主循環ポンプとして使用するシステムが今まで検討されてきた。本研究は、このシステムでフローコストダウン時間確保等の安全特性の確保を目的に実施している。	電磁ポンプの安全特性として、フローコストダウン特性、瞬時電圧低下対応及び部分運転特性の3点について、超伝導エネルギー貯蔵システムを組み合わせたシステムにより試験を行い安全特性の確保状況を確認する。
	⑥TRU回収技術に関する調査研究	高レベル廃棄物からTRUを高い収率で回収し、FBRで効率良く消滅させることは、燃料サイクルの観点から望ましい。本研究は、TRU回収技術として、湿式法及び乾式法を組み合わせる方法を選定し、その成立性評価を目的とし実施している。	高レベル廃液からTRU、希土類の分離には、乾式法（シュウ酸沈澱法）を使用し、TRUと希土類の分類には乾式法（電解精製法）を使用する回収技術について、模擬TRUとしてNdを使用した試験等により、本方法の成立性を評価する。
燃料取扱いシステム	⑦高伝熱性燃料収納容器の開発	TRU含有の使用済み燃料を炉内貯蔵せずに炉外に取り出すと、炉内貯蔵後の燃料に比較し、その発熱量が1桁程度増加する。本研究は、TRU含有の燃料を炉外に直接取り出すための容器（高伝熱性燃料収納容器）の開発を目的とし実施している。	伝熱性に優れた容器の概念構築をするとともに解析により必要な伝熱量が確保されることを確認する。更にナトリウムを使用した伝熱模擬試験により、伝熱性能データを入手する。
	⑧ホット燃料交換機の開発	大出力FBRは燃料体数が増加するため、定検時の燃料出し入れでは、その期間が著しく増加する。本研究は、定検期間の短縮を目指し、原子炉運転時に燃料出し入れが可能な燃料交換機（ホット燃料交換機）を開発するため、その成立性評価を目的とし実施している。	炉心出口温度の条件で正常な作動が期待できるホット燃料交換機を概念構築するとともに、新材料（セラミック、耐熱合金）の機構要素（燃料昇降用ボールネジ）を高温ナトリウム中で作動させ、耐磨耗性、耐蝕性及び作動確認に関するデータを入手する。

一何故FBRの開発を続けるのか (私見)一

最近のマスコミでは、プルトニウム利用の見直し、フランスのスーパーフェニックスの運転再開の延期等が大きく取り上げられて、あたかもFBRの開発はやらなくてもよいような印象を与えている。そこで、以下に、「何故FBRの開発を続けるのか」について、著者の私見をなるべくわかりやすく述べてみたい。

1. FBRの開発意義

FBRの説明資料には、FBRの開発意義として炉物理上の特性について最初に記載されることが多い。従って、今更説明するまでもないように思われるのだが、FBRの論議にはこの確認がやはり必要である。

軽水炉では、主として、天然ウランにわずかに0.7%しか含まれていないウラン-235と、原子炉の運転中にウラン-238から変換生成されるわずかのプルトニウム-239との核分裂のエネルギーを利用しているので、再処理で分離されるプルトニウムの利用（プルサーマル）を想定しても、天然ウランの高々1%程度しか利用できない。これに対して、FBRは、核分裂で発生した減速吸収される前の高速中性子を使用して核分裂を継続しているので中性子の数に余裕が生じ、余った中性子により最初に炉心に装荷した燃料以上の変換生成が可能である。このために、燃料サイクル途上の損失分を考慮しても、天然ウランの約50~70%が使用可能となり得る。

OECD/NEA（経済協力開発機構・原子力機関）の1989年の報告書には、確認埋蔵ウラン資源で再処理を行わないとした場合には、

1000基の100万kWの軽水炉を25年間運転させることしかできず、プルサーマルを実施しても、その期間を40%伸ばすことができるにすぎないとの記述がなされている。これによれば、現在世界には既に100万kW換算で300基の原子力発電所があり、将来の増加を考慮すると100年以内にはウラン資源が枯渇する恐れさえある。更に、同報告には、これらのことを踏まえて、高速増殖炉でプルトニウム利用が図れるならば、1000年間にわたって燃料として使用可能であり、これが石油や石炭と決定的に異なる旨の記述がなされている。

2. FBR開発の歴史と今後の動向

現在世界の原子力発電は、周知のように、殆どが軽水炉を中心とした熱中性子炉によるものであるが、ウラン資源の有効利用の観点から、米国、英国、フランス、ドイツ等の先進国は、FBRの開発を数10年にわたり継続実施してきている。なお、意外に知られていない事実として、世界で最初の発電はFBRによるものであり、1951年米国のEBR-IというFBRの実験炉でこれが達成されている。

FBRの開発は、他の炉型と同様に実験炉、原型炉、実証炉のステップで開発が進められてきたが、実証炉の段階あたりから、ウラン需給の緩和基調の背景のもとで各国の政治的・経済的な事情が絡み、必ずしも当初計画どおりに進んできていないのが現状である。すなわち、米国では、再処理路線放棄により民間のプルトニウム利用は当面中止されており、ヨーロッパでは、個別の国毎の実証炉開発からヨーロッパ統一炉（EFR）の開発へ路線変更がなされている。しかし、大切なことは、

米国では、実験炉を動かし続けるとともに、新型の高速炉（当面は増殖せず）の設計研究と乾式再処理技術の開発を現在精力的に行っており、ヨーロッパでは、1988年以降ヨーロッパ5ヶ国が開発分担して、E F Rの設計研究と要素技術の開発を進めているという事実である。

我が国は、前述の先進国に若干遅れはしたが、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」の開発を着実に進めてきており、現在実証炉の仕様を検討する段階に至っている。我が国では、ウラン資源の有効利用と原子力発電の供給安定性の向上を国の基本方針としており、そのために、使用済燃料の再処理とプルトニウム利用の体系確立を目指している。F B Rがプルトニウム利用の柱であることを勘案すると、今後、安全性・経済性において軽水炉に勝るとも劣らないF B Rを開発することが至上命題となる。

3. F B R実用化までの地道な研究開発の必要性

1987年6月原子力委員会が定めた原子力開発利用長期計画では、F B Rの実用化は基本的には市場メカニズムによるもので、その時期を現時点で見通すことは困難としながらも、経済性・安全性を含め軽水炉によるウラン利用に勝る技術体系を構築することを積極的に目指すことを基本として、「軽水炉と経済性・安全性において競合し得る高速増殖炉の技術体系の確立は、2020年代から2030年頃を目指すこととする」となっている。

当然のことかもしれないが、自国にウラン資源はなく将来的にはF B Rによる発電が必要不可欠で、かつ、F B Rのような長期的な

研究開発を継続できる経済的余裕のある国が積極的に努力すべきであろう。その意味で、ヨーロッパ、日本が現在F B R開発に熱心なのは本来の望ましい姿と言えよう。実用化までに時間に余裕があるからといって、ただ手をこまねいては、その時が来た時にも何もできないことも忘れてはなるまい。

ところで、F B Rの早期導入を躊躇させる主要因に発電コスト、特に軽水炉より高い建設コストの問題がある。我が国の実証炉は、軽水炉の1.5倍以内の建設コストを目指しているが、将来のF B R実用炉は、燃料コスト等の他のコストを含めた発電コストが軽水炉より低くなっている必要がある。現時点で重要なことは、発電コスト低減の見通しを立てその展望を描き、そのための研究開発を今後粘り強く継続することである。現在国内外で研究されているプラント機器の簡素化やプラント標準化は建設コストの大幅低減を狙ったものであり、長寿命炉心の採用、更には金属燃料、窒化物燃料をも将来の候補にあげ幅広く基礎的領域まで研究の対象としているのは、天然ウランコストの大幅上昇を期待せずに、F B Rの実用化を達成するためである。

ヨーロッパのF B Rは、種々のトラブルで利用率が必ずしも高くない。この問題がF B Rの安全性に絡めて論じられることが多い。確かにトラブルは望ましいことではなく、未然に防止される必要があるが、炉心損傷を招いたT M I事故や外部へ放射性物質をまき散らしたチェルノブイリ事故とは全く性格が異なることも認識すべきである。軽水炉に勝るとも劣らない安全性の高いF B R実用炉を実現するには、現在のF B R技術の改善だけで

なく、発想の転換に基づく安全性向上策も必要となろう。FBRが多数基建設され運転されるような状況のもとでは、2系統存在する制御棒が全部挿入できなくなるというような極端な事態を想定したとしても、炉心の固有安全特性により未臨界を達成可能なようなFBRも必要とされよう。このような研究開発も長期的な観点から早めにスタートする必要がある。

4. 地球環境問題への配慮

今後の発電手段の成立条件には、地球環境の問題も避けては通れない。特に、地球温暖化はその主原因が炭酸ガスとみなされているために、石油、石炭等の化石燃料についてはその解決が強く求められている。炭酸ガスの回収・処理の研究が現在積極的に実施されているが、現状ではまだその技術的成立性の見通しが得られておらず、仮に成立するとしても発電コストの大幅な増加が避けられない。水力発電と原子力発電は炭酸ガスを放出しない発電手段の代表選手であり、天然ガスも石炭、石油に比較すると炭酸ガスの放出抑制が可能な発電手段である。今後も、地域、国の特徴を考慮した適切な発電手段の選択の必要があるが、我が国のような場合には、水力発

電は国内には既に開発余地がなく、天然ガスについても海外依存のために多くを望めない。原子力発電に対する期待は強くならざるを得ない。(なお、最近の報告によれば、原子力発電の単位電気出力当たりの炭酸ガス放出量は、ウランの採掘、精鉱、濃縮、廃棄物処理、廃炉等を含めても、化石燃料の発電による放出量の1/10以下となっている。)

一方、原子力発電の負の面として、使用済み燃料を含めた放射性廃棄物の問題がある。この放射性廃棄物の中には、百年、千年の長期間にわたって放射線を出しつづける長半減期核種があり、子々孫々にわたるような処理処分が必要とされる。使用済み燃料の再処理により、放射性廃棄物として扱われるプルトニウムが有効な資源となるために、長半減期の放射性廃棄物の量は、再処理しないで全てを放射性廃棄物とした場合の10分の1に低減でき、更にプルトニウム以外のアメリカシウム、ネプチニウムのようなアクチナイドや長半減期FPを分離させると、長半減期の放射性廃棄物の量は100分の1に低減できるとされている。FBRは、高速中性子を利用しているために、これら長半減期核種を炉内で効果的に消滅し得る特性を有している。原子力発電の負の要素を軽減することにも役立つ。

水素吸蔵合金利用



土持 綱久*

1. はじめに

最近の地球環境問題から化石燃料に代わるクリーンなエネルギー源の一つとして水素が脚光を浴びているが、この水素を可逆的に吸蔵・放出する新素材として、水素吸蔵合金が注目されている。

水素吸蔵合金は、1960年代にアメリカ、オランダで発見された新素材であり、その代表的なものとして、希土類系(LaNi₅)、Ti系(TiFe)、Mg系(Mg₂Ni)、Zr系(ZrMn₂)などの合金がある。

現在、この水素吸蔵合金の持つ種々のエネルギー変換機能や水素貯蔵機能などを利用して、ヒートポンプや冷凍装置、水素自動車など幅広い分野での研究開発が行われており、その応用分野のひとつとして最近実用化されたものに、Ni-Cd電池の代替としてのNi-水素吸蔵合金二次電池がある。

また、これらの利用技術の開発と並行して、より高性能な合金材料の開発も行われており、今後とも各用途に適した合金が開発されていくものと見通される。

本稿では、当エネルギー総合工学研究所において、平成3年度に九州電力株式会社の委

託により実施した「水素吸蔵合金利用に関する調査研究」の調査結果の中から水素吸蔵合金の特性と利用技術の研究開発状況について、その要旨を紹介する。

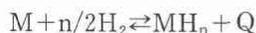
2. 水素吸蔵合金とは

金属あるいは合金の中には、水素と速やかに反応し、大量の水素を吸蔵するものがあり、この種の合金は、水素吸蔵合金(Hydrogen absorbing alloys, Hydride forming alloys)と呼ばれている。

水素吸蔵合金が水素を吸蔵するというのは、水素が合金の表面等に物理的に吸着するのではなく、合金と水素が化合物である水素化物を形成するからである。

つまり、金属は結晶構造をなしており、それを構成している金属原子は規則的な格子状に並んでいる。しかし、原子と原子の間には隙間があり、水素原子がこの隙間に入り込み水素化物になる。

水素吸蔵合金と水素の反応は次の式で示される。この反応は、比較的制御しやすい温度、圧力条件により右へも左へも速やかに進む。



ここで、Mは水素吸蔵合金、MH_nは水素化

* (財)エネルギー総合工学研究所 主任研究員

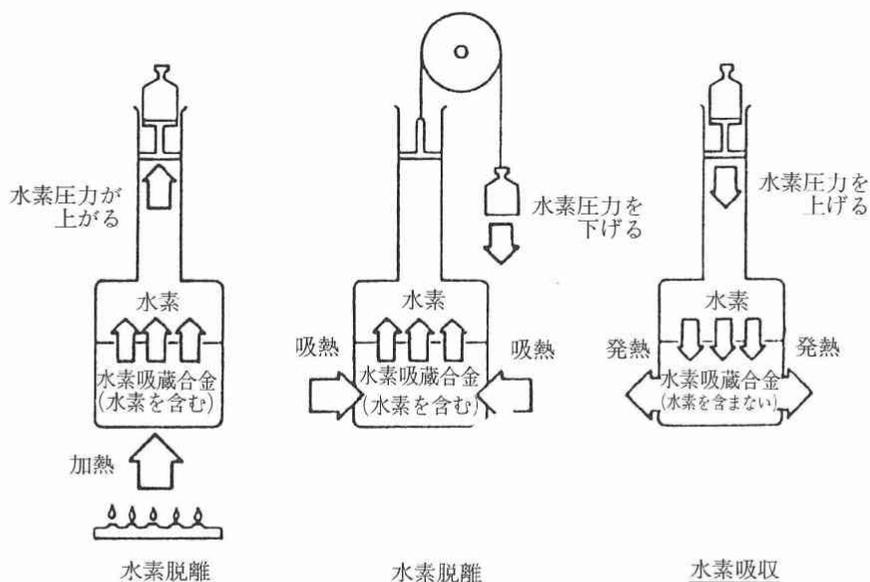


図 1 水素吸蔵合金の原理 (出所) 文献(16)

物, Qは反応熱を示す。

雰囲気温度を上げるか, 水素ガスの印加圧力を下げると, 水素が放出され, 逆に雰囲気温度を下げるか, 圧力を上げると水素が吸蔵される。(図 1 参照)

実用となる水素吸蔵合金は, 通常, 水素を吸蔵する金属(アルカリ土類, III A 族~V A 族の金属及びPd) と水素を吸蔵しない金属 (Pdを除く IV A~II B 族) とが組み合わされている。

水素吸蔵合金の特徴としては,

- ①液体水素に匹敵する高い水素吸蔵密度がある (表 1 参照)
 - ②高压ポンベの 2 倍以上の高い水素含有率をもつ
 - ③発熱量が大きい(水素 1 モル当り 20~65kJ)
 - ④反応速度が速い
 - ⑤安定な化合物である水素化物を生成する
 - ⑥選択的に水素を吸蔵 (水素の精製機能をもつ) する
- などがあげられる。

表 1 水素吸蔵合金中の水素密度と水素含有量 (出所) 文献(8)

	水素密度 (mol H ₂ /dm ³)	水素量 (wt%)
水素ガス (標準状態)	0.045	100
液体水素 (20K)	35	100
水 (293K)	56	11.2
MgH ₂	55	7.7
Mg ₂ NiH ₄	47	3.6
LaNi ₅ H ₆	52	1.4
TiFeH ₂	47	1.9
高压ポンベ(150気圧)	6.7	1.2*

* ポンベの重量を含んだ値

3. 水素吸蔵合金の特性と利用システムの要求条件

先にも述べたとおり水素吸蔵合金は, 大量の水素と反応熱を伴う可逆的な水素化, 脱水素化反応を比較的制御しやすい温度, 圧力条件で起こすことができる。これにより, 図 2 に示すように単に水素の貯蔵のみならず, 蓄

熱，ヒートポンプなどの熱エネルギー貯蔵，変換機能あるいは，熱—機械エネルギー変換機能など種々のエネルギー変換機能が期待できる。

また，水素吸蔵合金には，その性能を評価するための種々の特性がある。したがって，これらの利用システムにおいては，水素吸蔵合金の特性を十分に考慮する必要がある。

3.1 水素吸蔵合金の水素化特性

(1) 初期活性化特性

水素吸蔵合金は製造直後でさえ，その表面には空気中の水分等が吸着あるいは酸化物が形成されており，水素との反応の大きな障害となっている。これを取り除き，水素との反応がスムーズに行えるようにする処理を初期活性化処理と呼び，これには，一般に高温，高水素圧力の還元雰囲気が必要とする。

従って，利用システムの設計においては，その耐圧，耐熱性能を越えない条件で初期活性化

が可能な水素吸蔵合金の選択が必要である。

(2) 平衡特性

水素吸蔵合金と水素の平衡反応は，水素圧力(P)，組成(水素吸収量)(C)及び温度(T)の関係により表される。

一定の水素吸収量(C)における水素圧力(P)は温度(T)の逆数と一次の関係にある。これを Van' t Hoff の関係と呼び，次式で表される。

$$\ln P = (\Delta H/R) \cdot T^{-1} + \Delta S/R$$

ここで，Rは気体定数， ΔH 及び ΔS は水素ガス1 molが合金と反応する際のエンタルピー及びエントロピー変化である。

図3は，代表的な合金—水素反応系のVan' t Hoffプロットを示す。 ΔH 及び ΔS は，Van' t Hoffプロットの傾きおよび切片から求められ，一般に比較的広い温度範囲で一定値を持つことが知られている。

また，一定温度における水素圧力(P)と水素吸収量(C)の関係は，圧力—組成(P—C)

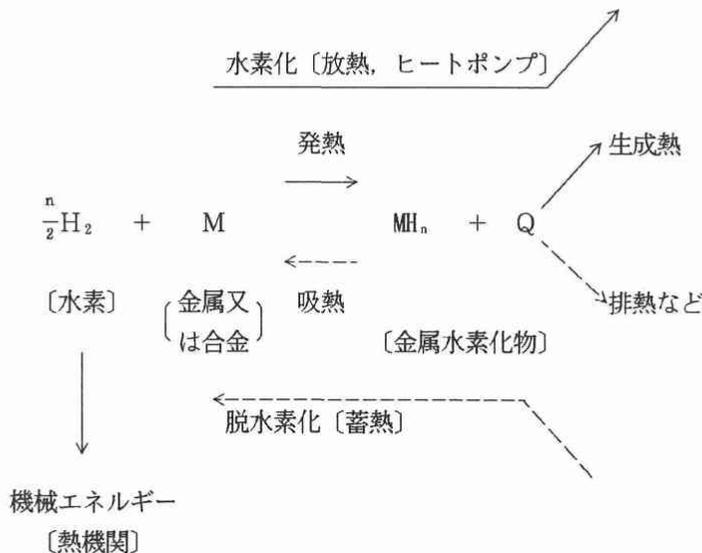


図2 水素吸蔵合金の機能 (出所) 文献(1)

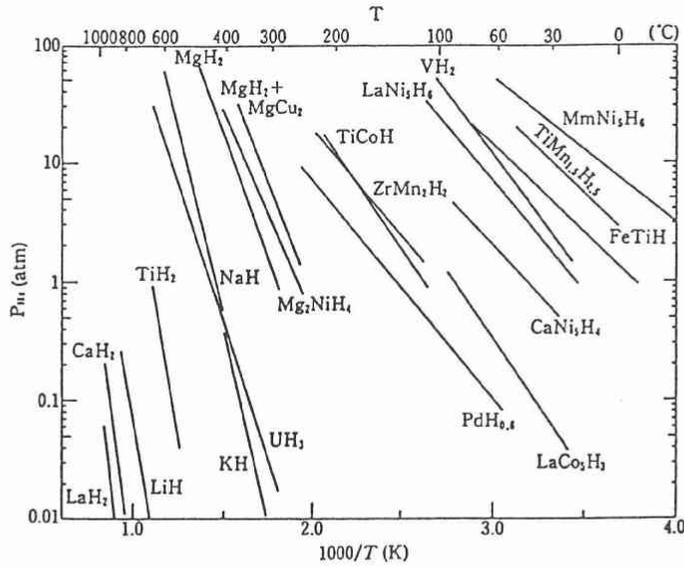


図3 合金-水素系の Van't Hoff プロット (出所) 文献(2)

等温線で表される。

図4に、典型的なP-C等温線を示す。

点線で示す理想的な場合に比べ、現実の水素吸蔵合金のP-C等温線には、プラトー領域の傾斜および水素吸収、放出圧力の差(ヒステリシス)が認められる。これらが小さい程、反応の可逆性に優れたエネルギー変換材料として望ましい水素吸蔵合金であると言える。これらの平衡特性は、利用システムに用いる水素吸蔵合金の選択及び機器そのものの設計に必要不可欠である。特に、平衡水素圧力は利用システムの作動温度、圧力条件に合致するよう調整する必要がある。

(3) 反応速度

多くの利用システムでは、トータルな反応速度として、合金1kg当り5~10sl/minの値が要求される。

利用システム内での反応速度は、反応熱の伝熱が律速する場合と、合金と水素との反応そのものが律速する場合とがある。

常温以上で作動する利用システムの場合、合金そのものの反応速度は、僅かな反応差圧(0.1atm程度)で、要求される値以上となるため伝熱律速となり、水素吸蔵合金充填容器の熱交換器の熱交換性能の向上が重要となる。

一方、0°C以下の低温度域では、合金そのものの反応速度が低下することがあるため、利用システム設計の際には、熱交換器性能と併せて考慮する必要がある。

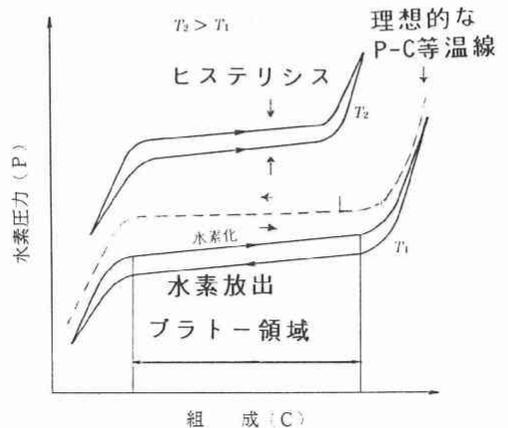


図4 典型的な圧力-組成等温線図

(4) 耐久性

水素吸蔵合金の耐久性には大きく分けて、水素吸放出の繰り返しに対する場合（サイクル寿命特性）と不純物に対する場合（耐被毒特性）とがある。

一般に、水素吸蔵合金が水素化物となる場合、その弾性限界をはるかに越える約20%もの体積膨脹が生じる。従って水素吸放出の繰り返しは、合金の膨脹、収縮を生じさせ、合金の微粉化とともに合金構造そのものを変化させる。また、合金表面の水素に対する反応活性点が不純物により被毒された場合にも、水素吸収量の急激な減少、あるいは反応速度の低下をきたす。従って、利用システムでは、これらを考慮した合金を選択するとともに、水素吸蔵合金充填容器の気密性等にも配慮する必要がある。

3.2 水素吸蔵合金の特性

(1) 粒度

水素吸放出の繰り返しにより合金は、平均粒径が数十 μm 程度にまで微粉し、1 μm 以下の粒子も混在する可能性がある。これは、利用システムにおいてバルブ等の動作不良を引き起こす原因となるため、水素流路等にフィルターを設ける必要がある。

(2) 熱伝導度

微粉化した水素吸蔵合金の熱伝導度は合金自身に比べて大きく低下し、0.5~1 J/s \cdot m \cdot K 程度になる。このことは、利用システムをスムーズに作動させる際の障害となる。伝熱フィン等により、水素吸蔵合金充填層の有効熱伝導度を改善できるが、顕熱の増加による機器の効率低下を同時に考慮する必要がある。

(3) 比熱

水素吸蔵合金の比熱は、他の金属材料と同等の0.4 J/g \cdot K 程度である。その水素化物は、合金中の金属原子とほぼ同数の水素原子を含むため、その比熱はおおむね合金状態の2倍となり、顕熱の増加をもたらす。

(4) 密度

水素吸蔵合金の真密度は Mg₂Ni 等のマグネシウム系で 2 g/cm³、LaNi₅ 等の希土類元素-Ni系で 7~8 g/cm³程度である。一般に水素吸蔵合金は、気孔率50%程度の粉体で使用されるため、水素吸蔵合金充填容器の設計では充填容積を真密度から計算される値の2倍程度にする必要がある。

3.3 水素吸蔵合金の安全性

(1) 発火性

水素吸蔵合金はその構成元素として比較的活性な Mg, Ca, Ti, Zr, V, La 等の元素を含むが、初期活性化処理前の合金は極端な微粉末でないかぎり、空气中で自然発火のおそれは少ない。しかし、初期活性化処理後の微粉末は発火石として知られるCeと同程度の発火性を示し、空気にさらすだけで自然発火する場合もある。従って、利用システムにおける水素吸蔵合金充填容器の気密性は、合金被毒の防止だけでなく、安全性の点からも重要である。

(2) 合金粉体の膨脹、収縮及び流動の影響

水素吸放出による、合金の膨脹、収縮及び流動は、水素吸蔵合金充填容器に局部的な応力を生じさせ、容器の変形、ひいては破壊を招く恐れがある。従って、容器設計では、単に耐圧設計するだけでは不十分であり、約20%の合金充填層の膨脹を緩衝できる構造に

する必要がある。

3.4 合金材料の現状特性と利用システムの要求特性

表2に、現状合金の特性をまとめて示す。これらの合金の内、各特性が最もバランス良くそろっているのはLaNi₅合金を代表とする希土類-Ni系合金であり、利用システム開発では、これを選択しているものが多い。

また、表3には、種々の用途に対して要求される水素吸蔵合金の特性をまとめて示す。平衡特性（平衡水素圧力）は、各用途に共通して要求されるため、合金種を選択において第1に考慮すべき重要な特性である。

4. 利用技術の研究開発状況

水素吸蔵合金の利用技術を分類すると図5のようになる。以下に、いくつかの利用システムの概要を示す。

4.1 ヒートポンプ

水素吸蔵合金を用いたヒートポンプは、いずれも2種類の異なる吸蔵・放出特性を持った合金を組み合わせて利用されており、熱駆動式ヒートポンプとコンプレッサ式ヒートポンプがある。

一例として、図6に、熱駆動式ヒートポンプの暖房サイクルの原理を示す。

- ①合金2を温度T1からTmに加熱して水素を放出させる。(点A)
 - ②放出した水素は温度Thの合金1に吸収させ、この時に発生する熱エネルギーを暖房に利用する。(点B)
 - ③合金1を温度Tmに、合金2を温度T1にすると合金1の平衡水素圧は合金2より高くなり、合金2は吸収していた水素を放出して冷却され(点C)、放出した水素は合金2に吸収される。(点D)
- このようなサイクルを構成して水素をA→

表2 水素吸蔵合金の現状特性

合金系	ベース合金	初期活性化特性	平衡水素圧力(室温)	水素吸蔵量	反応速度	耐久性	
						サイクル寿命	耐被毒, 耐食性
希土類-Ni系	LaNi ₅	100℃以下 1MPa以下	0.01~10MPa	1~1.5wt%	10sl/min以上	10000 サイクル以上	アルカリ耐食性
Ca系-Ni系	CaNi ₅	100℃以下 1MPa以下	0.01~2MPa	1~1.5wt%	10sl/min以上	10000 サイクル以下	—
Ti系	TiFe TiCr _{1.8} TiMn _{1.5}	100℃以下 1~10MPa以下	0.01以下~ 10MPa	1~2wt%	1~10sl/min以上	5000~10000 サイクル程度	—
Zr系	ZrMn ₂	100℃以下 1MPa以下	0.01以下~ 1MPa	1~1.5wt%	10sl/min以上	20000 サイクル程度	—
Mg系	Mg ₂ Ni	200℃以上 1MPa程度	0.001MPa以下	2~3wt%	1sl/min程度	1000 サイクル以下	—

表 3 種々の用途の水素吸蔵合金に要求される特性

利用技術	合金使用雰囲気	初期活性化	平衡特性	反応速度	耐久性
熱利用 (ヒートポンプ, 蓄熱, 熱輸送)	純水素	システム耐圧以下 (1 MPa以下)	適正な平衡圧力 (0.5~1 MPa) 平坦なプラトー, ヒステリシス小	合金 1 kg当り 10sl/min以上	50000サイクル 以上
圧力利用 (コンプレッサー, アクチュエータ)	純水素	システム耐圧以下	適正な平衡圧力 水素吸収量大	合金 1 kg当り 10sl/min以上	50000サイクル 以上
水素貯蔵 (貯蔵, 輸送)	純水素	システム耐圧以下 (1 MPa以下)	適正な平衡圧力 水素吸収量大	合金 1 kg当り 1~5sl/min 以上	1000サイクル 以上
水素純化 (分離, 精製)	不純物含有 水素	システム耐圧以下	適正な平衡圧力	合金 1 kg当り 10sl/min以上	50000サイクル以 上不純物ガスに対 する耐被毒性
電池	アルカリ水 溶液	電池缶耐圧以下 (0.1~0.5MPa)	適正な平衡圧力 (0.1MPa以下)	—	1000サイクル以上 アルカリ水溶液に 対する耐食性

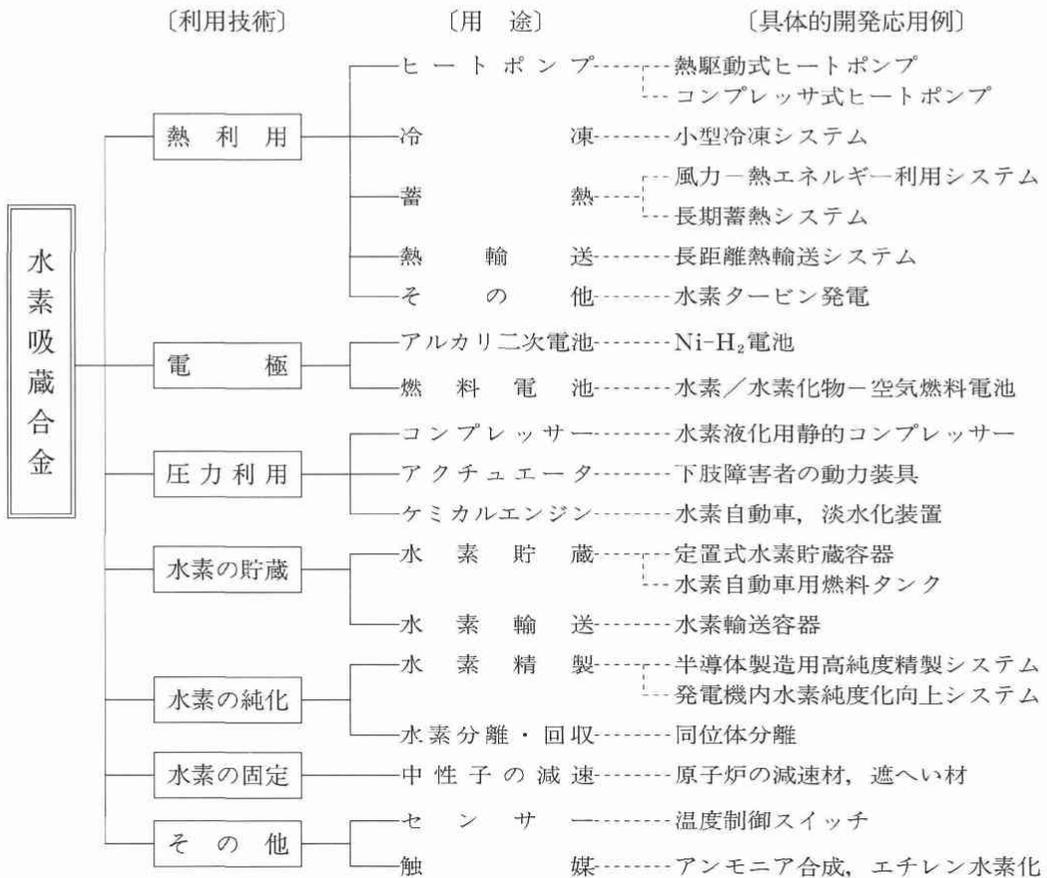


図 5 水素吸蔵合金の利用技術体系

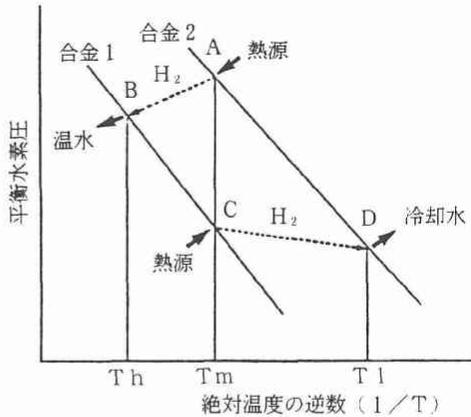


図 6 暖房サイクル (出所) 文献(9)

Bへ、またはC→Dへ移動させることにより、温度 T_m の熱源水と温度 T_l の冷却水を利用して温度 T_h の温水を取り出すことが可能となる。

また、水素吸蔵合金を利用したヒートポンプが二対の合金で構成されるのは、一対の合金のみでは温水発生過程 $A \rightarrow B$ と再生過程 $C \rightarrow D$ が交互となり、温水が断続的にしか取り出せないからである。そこで二対の合金を半サイクルずらして構成し、連続的な温水取得を可能としている。

冷房サイクルは、暖房サイクルに対し水素の流れる方向が逆になり、温度 T_h および T_m の温水から T_l の冷水を得る。

水素吸蔵合金を用いたヒートポンプの特徴としては、

- ① 作動温度範囲が広い (零下数十度～プラス数百度)
- ② 媒体当りの発熱量が他のケミカルヒートポンプの媒体に比べ大きい
- ③ 反応速度が速い (本来的には数～数十秒で反応は完結する)
- ④ 熱駆動式は騒音、振動が少ない
- ⑤ 運転中の消費エネルギーが少ない

⑥ 水素ガス反応熱を利用するので機械式に比べ構造が簡単などが挙げられる。

応用例として、工場内の $40 \sim 50^\circ\text{C}$ の低温排水から排熱回収し、出力 $13,000\text{kcal/h}$ の熱エネルギーを作る暖房システムや温泉熱を回収して、浴用、ロードヒーティングに利用 (暖房時 15万kcal/h 、冷房時 7.5万kcal/h) しているものなどがある。

4.2 蓄熱

水素吸蔵合金の単位重量当たりの蓄熱量は、 Mg_2Ni で 250 cal/g 、程度であり、これまでの顕熱型や潜熱型の蓄熱材料 ($40 \sim 70\text{ cal/g}$) に比べすぐれた蓄熱材料となっている。

水素吸蔵合金を用いた蓄熱の特徴としては、

- ① 保存中の熱損失がなく熱効率が高い
 - ② 長期蓄熱が可能
 - ③ 取出温度の制御が可能
 - ④ 出熱温度が高い
- などが挙げられる。

応用例として、風力エネルギーを直接熱エネルギーに変換・蓄熱させ、施設園芸ハウスの暖房熱源として利用システムの研究開発例がある。これは、直径 14m の風車と圧縮機を連動させ、得られた高温圧縮熱を用いて、 TiFe 系合金から水素を放出させた形で蓄熱し、風のない時は、 TiFe 系合金と水素を反応させ、その反応熱を利用して温室の暖房を行うものである。

また、ソーラシステムにおける 10Mcal 規模の長期蓄熱システムの研究開発例 (図 7 参照) もある。このシステムは、熱負荷の小さい春期ならびに秋期の余剰熱を蓄え、冷暖房の熱負荷の大きい夏期および冬期に回収する

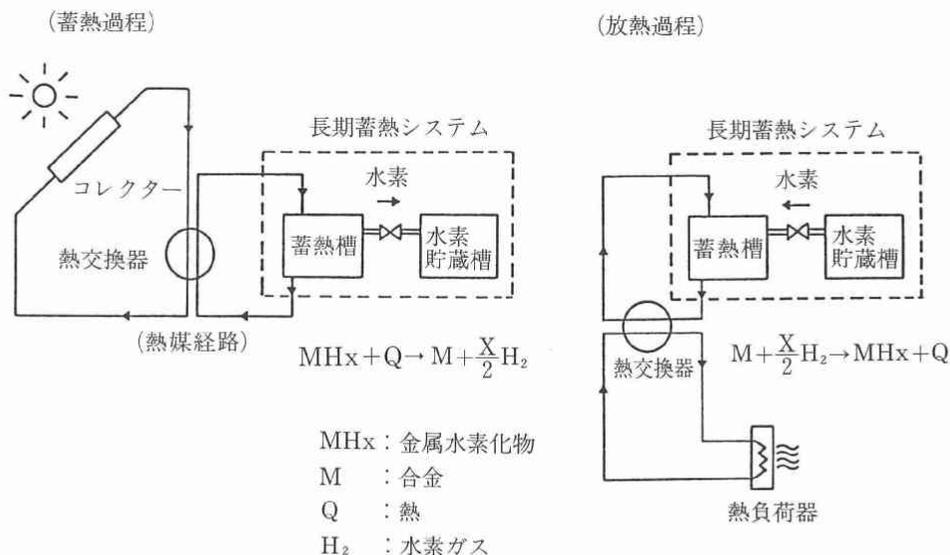


図 7 蓄熱システム原理図 (出所) 文献(18)

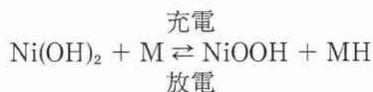
ことにより、太陽熱の有効利用を図ろうというものである。ヒートパイプを応用した合金容器に蓄熱材 CaNi₅ (150kg) 系合金を充填した蓄熱器を 2 器使用し、90℃程度で蓄熱された太陽熱を 50℃程度の排熱源を用いることにより、70℃程度の熱が蓄熱効率約 85% で回収されている。

4.3 Ni-水素吸蔵合金二次電池

Ni-水素吸蔵合金二次電池は、正極に Ni、負極に水素吸蔵合金が用いられている。

充電時には、水を電気分解して発生した水素を吸蔵し、放電時には水素を放出して再び水を作るものである。

電池の全反応を以下に示す。



水素吸蔵合金二次電池の特徴としては、

- ①エネルギー密度が高い
- ②民生用電池として最も普及している Ni/

Cd 電池と電池電圧が同じで互換性がある

- ③過充電・過放電に強い
 - ④急速充電が可能
- などが挙げられる。

最近実用化された民生用電池には、従来の Ni/Cd 電池に比べ容量が約 80% 向上し、充電時間 1.5 時間で、繰り返し充放電 500 回を可能としたものがある。

4.4 アクチュエータ

アクチュエータの原理は、水素吸蔵合金から発生する水素圧を利用して機械的駆動力を得るものである。

図 8 に金属水素化物アクチュエータの一例を示す。

このアクチュエータは、水素吸蔵合金容器、ペルチェ素子、水素圧を力に変換するペローズ式シリンダ部から構成されており、フィルターシリンダ底部に水素吸蔵合金が封入されている。熱電素子であるペルチェ素子を合金

に接してシリンダ内部に組み込み、この素子に流す電流の向きを変えることによって、加熱・冷却を行い合金温度を制御している。

合金の水素化・脱水素化反応の平衡条件は、合金の温度と水素ガス圧によって決まるため、合金の温度を変化させることにより、放出する水素ガス圧の力を利用できる。

水素吸蔵合金を用いたアクチュエーターの特徴としては、

- ①気体の緩衝作用により衝撃や過負荷に強い
- ②小型・軽量で出力が大きい
- ③小出力でも高速動作の可能な別のアクチュエーターとの組み合わせ、ハイブリッド形態で使用するにより制御や応用面での可能性が広がる

などが挙げられる。

応用例としては、多足歩行型ロボット、下肢障害者の動力装具などが考えられている。

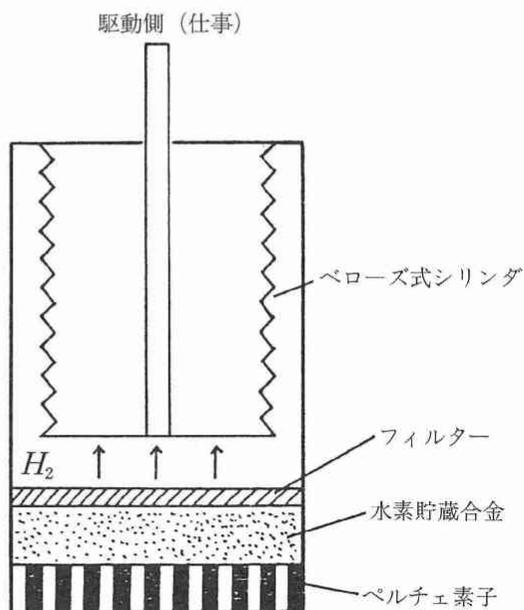


図 8 アクチュエーターの構造
(出所) 文献(15)

4.5 水素貯蔵

水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵量は、合金の種類によっても異なるが、合金体積の700~1000倍の水素ガスが貯蔵できる。

また、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵では、高圧または液化する場合のように多量のエネルギーを必要とせず、液体水素のようにボイルオフによる水素もれ損失もなく、長期貯蔵が可能になる。さらに、放出する水素が高純度化されるので、付加価値も高めることができる。

水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵の特徴としては、

- ①高い水素密度が得られ、体積エネルギー密度はメタノールとほぼ同程度である
- ②重量当たりの輸送水素量が多い
- ③高圧容器や断熱容器を必要としない
- ④長時間の貯蔵が可能である
- ⑤純度の高い水素が得られる
- ⑥高密度貯蔵であるためコンパクト

[容器1000m³(基準状態)の水素吸蔵について、水素ボンベ、球状タンクのそれぞれ1/6, 1/32となり、設置面積は1/3, 1/7で、液体水素の貯蔵容積より小さくなる]

- ⑦金属水素化物(固体)貯蔵のため安全性が高い
 - ⑧低圧貯蔵のため圧縮機が不要
 - ⑨水素放出が吸熱のため、漏洩に対して自己保護性を持つ
- などが挙げられる。

応用例として、定置式水素貯蔵システムやヒートポンプなどに用いられる高速水素貯蔵容器などの研究開発が行われており、水素吸蔵合金には、高い熱伝導性を持つマイクロロカ

プセル合金成形体 (LaNi₅-Cu, LaNi_{4.7}, Al_{0.3}-Cu) などが使用されている。

4.6 水素精製

水素吸蔵合金の水素精製技術への利用は、水素吸蔵合金が水素としか反応しないということを利用するものである。一旦水素を吸蔵させた合金から水素を放出させると理論的には、100%の純度をもつ水素吸蔵合金が得られる。このため、不純な水素を精製するのに水素吸蔵合金が利用できる。

不純物を含有する水素を合金の平衡圧以上に加圧して合金と反応させると、水素のみが選択的に吸蔵され、不純物は空間に取り残される。水素吸蔵終了後、不純ガスをバージし、合金を加熱して水素を放出させると高純度の水素ガスが得られる。

水素吸蔵合金を用いた水素精製の特徴としては、

①水素の選択吸収性が高い水素密度の低い混合ガスに対応可能

②低圧操作が可能

などが挙げられる。

応用例としては、発電機水素純度維持装置や半導体製造用高純度水素精製システムなどの研究開発が行われている。

発電機水素純度維持装置は、水素吸蔵合金容器に発電機内水素ガスの一部を導入し、不純物ガスを分離大気放出後、再度、高純度水素ガスのみを水素吸蔵合金容器から発電機内へ戻すシステムである。

LRMmNi₅合金が使用され、水素ガス中の不純物ガスを分離し、99.99%以上の純度を有する水素ガスを96%の歩留りで回収し、このガスを発電機タンク内に戻すことにより、水

素ガス純度を99.9%に維持している。

5. 利用技術の開発課題

主な利用技術の開発課題を表4にまとめて示す。

これらの開発課題を集約すると水素吸蔵合金を用いる利用技術の開発課題は、次の2つに大別される。

①高性能材料の開発

②システム化技術の開発

高性能材料開発の具体的な要素研究としては、水素吸蔵合金材料の

i) 初期活性化条件の緩和

ii) 温度、平衡水素圧力の適合

iii) 有効水素吸収量の増大

iv) HSファクターの低減

v) 反応速度の向上

vi) 水素吸放出サイクル回数の向上

などがある。

システム化技術開発の具体的な要素研究としては、

i) 熱交換器の伝熱速度の向上

ii) 容器の熱損失係数の低減

iii) 容器の熱容量の低下

iv) 圧力損失の低減

v) 顕熱回収を含めた運転制御技術の開発などがあり、これらの要素研究により図10に示すような利用システムの性能向上を図ることができる。

また、利用技術の実用化に当たっては、これら合金材料、利用システムの高性能化に加え、水素吸蔵合金の価格も重要な問題である。

現在、合金の価格は、その種類によって異なるが数千円~20,000円/kg程度であり、今後、大量生産や低コスト合金の開発などによ

る低コスト化が望まれる。

表 4 主な利用技術の開発課題

利 用 技 術		開 発 課 題
熱 利 用	ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 顕熱ロスの低減 ・ 水素移動量大, 反応熱大, プラトー性良, ヒステリシス小, 熱伝導性良の合金の開発 ・ 合金に最適な熱交換器の開発
	冷 凍	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合金材料における水素吸蔵特性の改善 ・ 反応速度特性の向上, 長期サイクル寿命特性の確認 ・ 熱交換器の高性能化 ・ 熱損失, 熱容量の低減 ・ 顕熱回収量の向上
	蓄 熱	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高効率化
	熱 輸 送	<ul style="list-style-type: none"> ・ 長期サイクル寿命特性の改善 ・ 長距離水素配管性能の改善
圧 力 利 用	コンプレッサー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合金耐久性 (サイクル寿命, 耐食性) の改善 ・ 熱交換器の高性能化による応答性の改善 ・ 水素ガスシール技術の確立
	アクチュエーター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 反応速度の向上 ・ 温度制御の最適化
貯 蔵	水素貯蔵・輸送	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素吸蔵能力の向上
精 製	水素分離・精製	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不純物に被毒されにくい合金の開発 ・ コスト改善のための大型化
そ の 他	セ ン サ ー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱伝導性の改善 ・ ヒステリシスの改善 ・ 水素ガスシール技術の確立

〔高性能材料の開発〕

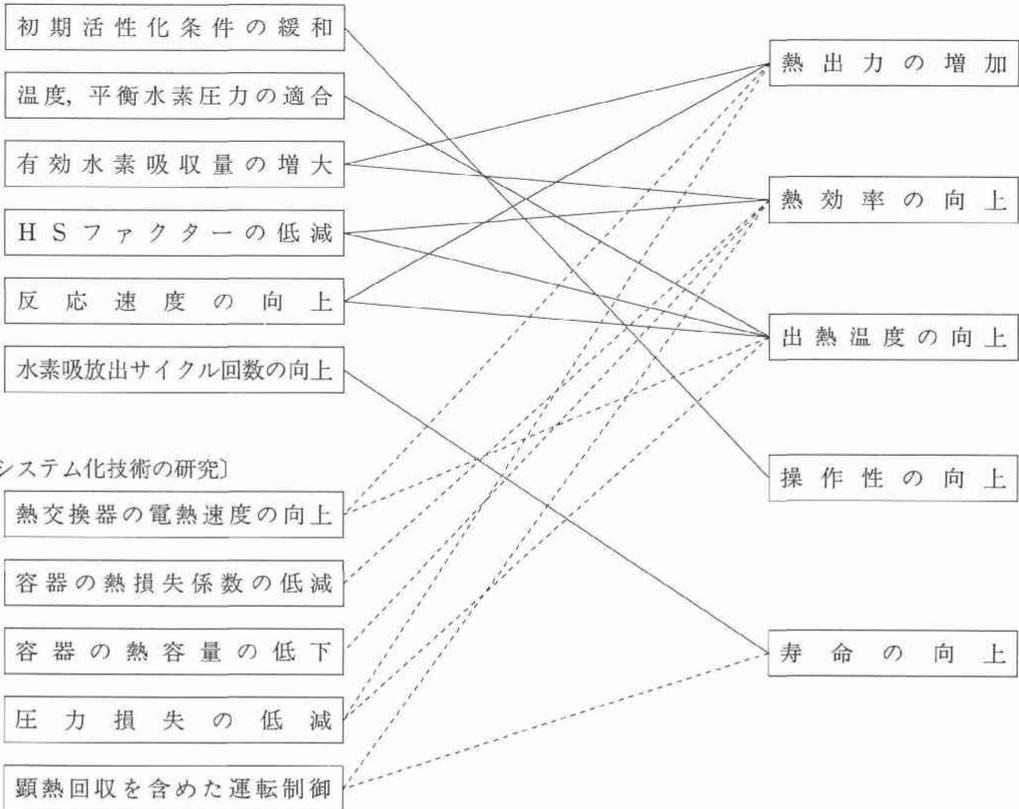


図 10 要素研究の効果

6. おわりに

水素吸蔵合金の特性と利用技術の研究開発状況の概要について紹介した。

水素吸蔵合金を利用システムの実用化のためには、材料面、システム面、コスト面での課題がそれぞれあるが、今後、これらの課題を解決することによりエネルギーの有効利用ひいては地球環境問題への貢献につながる有益な技術が完成できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 酒井貴史, 本田直二郎, 藤谷伸, 工業材料, Vol. 32, No. 5 (1984) 55-61
- 2) 中根正典, 化学と工業, Vol. 36, No. 12(1983) 861-864
- 3) 米津育郎, 藤谷伸, 古川明男, 名迫賢二, 米崎孝広, 斎藤俊彦, 古川修弘, 電気化学, Vol. 58, No. 10 (1990) 946-951
- 4) P. D. Goodell, J. Less-Common Met., Vol. 89 (1983) 45-54
- 5) F. G. Eisenberg and P. D. Goodell, J. Less-Common Met., Vol. 89 (1983) 55-62
- 6) Hirohisa Uchida, Haruhisa Uchida and Yen C. Hung, J. Less-Common Met., Vol. 101 (1984) 459-468

- 7) 田尻耕治, 松原弘美, 朝比奈正, 小坂岑雄, サンシャインジャーナル, Vol. 7, No. 3 (1986) 16-20
- 8) 秋葉悦男「最近の水素吸蔵合金の動向と開発現状」
- 9) 吉村明, 電気評論, (1987) 1068-1073
- 10) 大西敬三「水素吸蔵合金」(白石記念講座)
- 11) 大角泰章, ソーダと塩素, No. 10 (1987) 411-438
- 12) 永井宏, 日本金属学会会報, 第26巻, 第11号(1987) 1019-1027
- 13) 小川博道, 柳原伸行, 工業材料, 第30巻, 第11号 100-105
- 14) 河野眞臣, 有川佳明, 得重浩二, 「発電機水素維持装置の開発」
- 15) 大角泰章, ファインセラミックス, 第7巻 (1986) 178-190
- 16) 古川修弘, 斎藤俊彦, 米津育郎, 名迫賢二, 電池技術, Vol. 2, (1990) 39-45
- 17) 秋葉悦男, セラミックス, 25 (1990) No. 5
- 18) 米津育郎「水素吸蔵合金を用いた新しい熱利用技術の開発」

諸外国における高レベル放射性 廃棄物の処分に係わる制度



蛭 沢 重 信*

本年春、高レベル放射性廃棄物の処分に係わる法制度に関し、諸外国の状況調査を行う機会を得た。調査を実施した国は、スウェーデン、スイス、カナダ、米国、フランスの5ヶ国である。高レベル放射性廃棄物の処分に關しては、計画の概要、研究の現状などを紹介した報告は他でも多く見られると思うが、制度面について紹介したものは比較的少ないと思われる。

ここでは、上記5ヶ国について高レベル放射性廃棄物の処分に係わる制度的な面の現状と将来の予定について、それぞれ特徴的な点を紹介する。制度面の事項として、処分に係わる研究段階から処分の実施に至る道筋の中で重要なこととして次の4つを取り上げた。

- ① 処分の実施主体
- ② 処分研究の手順
- ③ 研究計画書、評価書とそのレビュー
- ④ 地下研究施設の位置づけ

上記4つの事項について各国別に紹介し、最後に各事項について各国を横断する形でもとめを行うとともに印象を述べることとする。

各国の特徴

1. スウェーデン

放射性廃棄物の処分の責任は、その発生者にあることが明確にされていて、それが具体的に現実のこととして成立している。すなわち、廃棄物の発生者である電力会社等が出資して設立したスウェーデン核燃料廃棄物管理会社（SKB）があり、SKBが処分実施に向けた研究、計画の実施や計画の実行を責任を持って主体的に実施している。

1980年代に入って本格的に始められた地層処分研究は、ストリーバ国際共同研究計画を通じて処分場開発のための要素技術の開発、安全評価のために必要な技術の開発やデータの収集を行うことが中心であった。この他、80年代には、そのような個々の技術やデータを取りまとめて処分の実現可能性を示す総合評価（KBS-3報告書等）が行われるようになった年代でもあった。1990年代は、このような80年代の成果を踏まえて、より具体的に実際の処分場の開発を目指した研究開発へと焦点が移ったと思われる。それは特に、1990年に建設が始まった地下研究施設（硬岩研究所：HRL）の目的が、処分場の選定に欠かせないデータを収集するためのものとして位置づけられていることから明らかである。また、HRLで得られたデータに基づき処分

* 勸エネルギー総合工学研究所 主任研究員

場としての適正を判断するための主要な因子や処分地層の諸特性が、地層内部の場所によってばらつくことによる評価結果への影響についてSKB-91報告書(KBS-3以降の総合評価書)では検討されているということからも、具体的な実施のための段階に入ったことが理解される。

処分場の選定を進めるためには、その根拠となる研究開発を行い、この結果に基づき選定の手続き上必要な因子を決める必要がある。その中には、HRLでの研究成果が必要になると考えられている。処分場の選定は、三段階の過程を踏んで進められることが想定されている。第一段階(立地因子の評価)は、選定に係わる諸因子について全体的評価を行う。処分場の予備設計を行い、予備的な環境影響評価書を作成する。第二段階(予備調査)では、三つの候補地点を選定してそこで予備調査を行い、環境影響評価書を完成させる。HRLでは処分場としての評価に必要な詳細なデータの収集を行う。第三段階(詳細調査)で、詳細調査を行う2サイトを選定してそこで詳細な調査を行い予備的安全評価書を作成して処分場立地の申請を行うための根拠文書を揃える。この第三段階の終了時点で処分場の立地が決定される。

このように、処分場の選定には環境影響評価書の作成、地下研究所の建設、安全解析の高度化、評価体制の確立と研究開発の推進とともに、様々な制度的側面が重要になっている。規制当局(主として、スウェーデン原子力検査局:SKI)は、将来の処分場の規制に直接関係する予備調査、詳細調査、立地決定の各段階はもとより、研究開発の過程においても研究開発計画(R&D Programme)、安

全評価書(KBS-3, SKB-91など)のレビューを通じて規制側としての意見が反映されるとしている。特に、研究開発計画については、SKBが3年毎に作成して国に提出し、国(特にSKI)のレビューを受けることが法律により定められている。

スウェーデンにおいては、処分場サイトの決定問題が研究開発の段階から始まる非常に長期間にわたって行われるものと考えられていて、実施者と規制者の間で研究開発段階から技術的なコンセンサス作りを進め、最後の立地、操業段階で齟齬をきたすことのないように進めようとしているものと理解される。

2. スイス

スイスでは、廃棄物の発生者に処分の責任があることが法律で定められている。1972年に原子力発電に関与する6つの電力会社と、医療、産業、研究活動から発生する放射性廃棄物を管理する立場にある政府機関の7者が、放射性廃棄物の処分に係る研究開発を行う機関として放射性廃棄物貯蔵全国組合(NAGRA)を設立した(現在では、処分の実施が業務範囲に含まれる)。次いで、1979年には、1959年の原子力法が改正されて、貯蔵と処分に関する発生者責任が明確にされ、さらに、新規原子力発電所の建設許可等に対し放射性廃棄物の安全な処分の保証が要求された。

この法律に従って、電力会社の要請により、NAGRAは結晶質岩を対象にした地層処分の実現可能性を示した報告書Projekt Gewähr 1985を作成し、政府に提出した。同報告書は国による公式な評価を受け、最終的には議会により基本的に了承された。その際、

国の規制機関であるスイス連邦原子力安全検査局（H S K）の専門家委員会による評価の結果に基づいて、いくつかの研究開発を行うことが勧告された。

その一つは、結晶質岩とともに、堆積岩をも含めた処分場選定計画を進めるように求めたことである。H S Kによる同報告書の評価の過程で、①報告書の中に見られる安全評価のモデルに用いた結晶質岩の存在が保証できる段階に至っていないこと、また、②1983年から1988年にかけて地域調査計画が実施され、処分場として期待できる北部スイスの花崗岩層を広く調査した結果、結晶質岩についても地質構造的に必ずしも単純でないこと、一部に温泉があることが明らかになったことなどがその理由である。その結果N A G R Aは、結晶質岩についての研究に加えて堆積岩の研究も実施することになり、現在、双方について研究開発を進めているところである。

結晶質岩（花崗岩）については新たなボーリング調査が終了し、1993年に向けて新しい総合安全評価書（Kristallin I）を作成している段階である。堆積岩については、4年前に研究が開始され1992年を目途に最終的な安全評価書が作成される予定である。その後、1995～1996年頃に地層処分場の候補地として結晶質岩か堆積岩かを選定する予定である。

地下研究施設がグリムゼルに存在するが、ここは処分に必要なモデルの開発、データの収集、技術の確立を目的としており、将来処分場にすることは制度的に考えられていない。地元への説明でも将来処分場にしないことを明確にした上で建設を開始した。

処分に関する規制に関しては、規制当局（主にH S K）が、実際の処分場の評価や規制の

以前、Projekt Gewähr 1985も含め、評価書のレビューなど研究開発の段階から関与して、この間に実施者と規制者の間の技術的コンセンサスを得ることを考えている。将来の処分場の建設、操業、閉鎖に係る許認可については、その都度段階的に行うことを予定している。さらに、建設の許認可に入る以前に、計画の全体的な見通しを得る目的で行われる一般許認可（general license）を受けることが予定されている。この段階では、処分システムを明らかにするとともに、環境影響評価が行われることになる。この環境影響評価については、広く公衆と地方行政府にも参加の機会があり、最終的には議会の承認を受ける必要があることから一般公衆の意見が反映されるものであり、制度的にみて特に重要な位置づけを与えられている。

3. カナダ

1977年カナダのエネルギー・鉱山資源省は、放射性廃棄物についての見解を政府と公衆に示す専門家グループを設置した。このグループの報告書に基づき1978年にカナダ政府とオンタリオ州政府は、深地層中への処分が安全かどうかを評価するため、貫入型火成岩地層を対象に研究開発を目的とした放射性廃棄物管理計画の実施を公表した。これを受けて、研究開発の責任機関となったカナダ原子力公社（A E C L）は、政府の監督のもとに研究を開発した。1981年にカナダ政府とオンタリオ州政府は、処分サイトを特定しない段階での地層処分の概念が広く評価を受けて国民に理解されるとともに、両政府によって承認されない限り地層処分場の立地選定は行わないことを決定した。A E C Lは、1993年の完成

を目指して処分概念の成立性に関する研究を進めているところである。

A E C Lから提出される処分概念とその成立性を示す報告書については、国側がレビューし、その有効性を判断した上で国としての決定を下すこととしており、レビューのための組織、手順等の体制を整備しつつある。この段階では、廃棄物処分にかかわらず環境への影響が予想されるすべてのプロジェクトに義務付けられている環境影響評価書が最も重要な文書である。そのレビューを行う国側の組織として、環境評価パネルを設置して7名の委員が選定された。このパネルは、A E C Lが作成する環境影響評価書を含む処分概念をレビューし、政府に勧告することを主たる任務としている。A E C Lの提案する処分概念が処分後の安全性を確保できると認められない限り処分場の立地段階に入れないため、同パネルはレビューの段階ではいかなる特定の処分地も頭に描いていない。また、同パネルは、A E C Lが環境影響評価書を作成するためのガイドラインを作成しA E C Lに提示した。A E C Lはこのガイドラインにそって環境影響評価書を作成することになる。環境評価パネルはレビューを実施するとともに、公開ヒアリングを開催して一般公衆の意見も採り入れた後、最終的なレビュー結果を環境大臣に提出し、環境大臣による決定のための基礎を与える。

これらのレビュー活動は、原子力管理法の下で行われるのではなく、環境影響評価の為の法律に従って実施される。従って、レビューの主体は原子力管理委員会（A E C B）ではなく、環境省（環境評価パネル）である。

カナダではプロジェクトの計画段階で、規

制側のみならず一般公衆も含めて、研究開発の実施者であるA E C Lが提案する概念と処分システムについて、国民と議会の承認を得た上で具体的な処分場選定の活動に入るように制度化しているのが特徴である。

マニトバ州に設置されている地下研究施設（U R L）は、マニトバ州との契約により試験研究が終了した時点で完全に埋め戻して返還することを前提にして開始されており、将来処分場になることはないことが明確にされている。U R Lで得られる処分場開発のための技術、および安全評価に必要なデータやモデルは、処分場の概念を作成する上で重要なものとなるだけでなく、将来の処分場の選定のためにここで得られた知見が処分の実施主体にトランスファされることが想定される。

4. 米国

米国は、高レベル放射性廃棄物の処分の研究開発から実施に至る手続きを法律によって詳細に定めている唯一の国である。1987年の放射性廃棄物政策法の改定によりヤッカ・マウンテンが処分場の候補地として指名されサイト特性調査を行うこととなった。ヤッカ・マウンテンが処分場の候補地になった経緯は極めて政治的に行われたとの印象が強く、地元州の反対は相当なものであった。それ以前の米国の研究開発と処分場の選定に至る過程は順調であるかにみえた。すなわち、実施主体のみならず、規制関係機関の役割、処分場開発の規制のための規則類の策定、段階的な処分場候補地の選定プロセスや処分場開発のためのスケジュール等が法律や関連する文書で明確にされ、その通りに進行すれば極めてスムーズに進むような体制にあった。

放射性廃棄物政策法（NWPA1983年）では、処分の実施主体を含め、関係する機関を次の様に定めた。・エネルギー省（DOE）が処分の実施を行う。・環境保護庁（EPA）が環境規準を定める。・原子力規制委員会（NRC）が処分の規制のための実施規準を定めて規制実務を行う。さらに、それぞれの機関が任務を遂行する上で必要な指針、規準類の策定を明示した。

1987年以前の処分場候補地選定のプロセスは次の通りであった。すなわち、NWPAに従って、1983年に処分場候補地として9サイトが選定され、その後環境評価を実施してその中から5サイトをサイト特性調査を行うサイトとして大統領に推薦した。1986年に、大統領はDOEから推薦のあった5サイトから3サイトを承認した。

このように、NWPAの規定に従えば、サイトの選定は段階的に進められ、3サイトでサイト特性調査を実施してその中から処分場を選定することになっていたが、先にも述べた様に、1987年のNWPAの改定によりサイト特性調査はヤッカ・マウンテンでのみ実施すること、従って処分場候補地として選定されることになった。

訪問調査を実施した放射性廃棄物技術評価協議会（NWTRB）は、この法律改正の際に新たに設置がきめられた組織である。NWTRBは、DOEが行うヤッカ・マウンテンにおけるサイト特性調査に関する技術的、科学的正当性についてレビューして、2回/年の割合で議会とDOEに対してレビュー結果を報告することを任務にしている。米国の場合、同法の改正前まではヤッカ・マウンテンでのサイト特性調査が終了し、大統領および

議会により処分場としての指名が承認されない限り公のレビュー活動（この場合は規制行為になる）は行えない制度になっていた。実際にはサイト特性調査活動が進行している段階で、定期的にその活動内容をレビューすることが、全体の進行にとって特に重要であることと、この段階で得られるデータ等の知見が将来の規制で用いられることから、サイト特性調査の重要性が認識され、このような独立したレビューを行う機関が設置されたものと理解される。NWTRBは外国の機関に訪問調査を実施し、欧州各国の動向にも眼を向けるとともに、継続的な情報交換を行うようにするなど、一般的にいわれている欧州流の柔軟性のある進め方にもアプローチしていることは興味のあるところである。

5. フランス

フランス放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が、原子力庁の内部部局として1979年11月に創設され、高レベル放射性廃棄物の処分に関する研究開発が実質的にスタートした。

高レベル放射性廃棄物の処分方策に関しては、1980年代に入って国レベルで検討が行われて幾つかの報告書が作成されてきた。放射性廃棄物の管理に係わる研究開発に関して検討して政府に報告する役割を持つワーキンググループが、キャスタン教授を座長にして設置された。同ワーキンググループが1983年の3月に提出した報告書に基づいて、エネルギー担当大臣は、原子力施設で発生する放射性廃棄物の管理に関する研究に重点を置くことと、深地層処分場の適性評価を目的とした研究を優先的に取り扱うことを指示した。深地層処分場の適性評価のための研究として、

処分の安全性を総合的に解析するために必要な地質学的パラメータの把握を目的とする、1カ所ないし数カ所の地下研究施設の必要性が示唆された。1987年5月には産業大臣とエネルギー担当閣外相の依頼により、地質学者のゴーゲル教授を会長とする調査会が、地層処分サイトの選定規準に関する検討報告書（ゴーゲル報告書）を作成した。産業大臣は、ゴーゲル報告書の提出を受けた後、地層処分場としての詳細調査を行う対象として、地層の異なる4カ所を選定した。その後、それら4カ所で地下研究施設を設置することに関して関係住民の大多数の反対に会い、1990年2月に首相の決定により地下研究施設建設を少なくとも1年間凍結する指示がだされた。このようにフランスでは、このモラトリアムまでは、地層処分に関する研究開発は極端な反対運動に会うこともなく、行政ベースで進められてきたといえる。

この事態を打開するためにロカール首相が下した決定は、1年間のモラトリアムの間に、学識経験者で構成される首相の諮問機関である技術リスク委員会と、公正中立の立場から外部専門家の意見を取りまとめて議会に提出する議会に所属する科学技術選定評価局に、それぞれ放射性廃棄物の管理に関する意見を求めることであった。特に、後者の科学技術選定評価局が作成した報告書（クリスチャン・バタイユ議員による高レベル放射性廃棄物の管理に関する報告書）は国民議会のクリスチャン・バタイユ議員がとりまとめたものであり、その後の「放射性廃棄物の管理に係わる研究に関する法律」のベースにされるなど、内容もさることながら、国民議会議員が中心になってとりまとめた意味からも、フラ

ンスにおける高レベル放射性廃棄物処分の研究の進め方における一つの転換点になるものと捉えることができる。

「放射性廃棄物の管理に係わる研究に関する法律」は、国民議会（フランス下院）と上院の審議を経て昨年（1991年）12月に成立した。フランスにおける高レベル放射性廃棄物対策は、この法律に基づいて進められていくものとみられている。

「放射性廃棄物の管理に係わる研究に関する法律」には、手続き上いくつかの重要な点が盛り込まれた。

1) 地下研究施設の建設は、「環境保全のための規制対象施設に関する法律」の対象施設とする。施設に持ち込まれる危険物質は施設の許可期限が切れる際には、施設外へ取り出さなくてはならない。特例措置として、許可期限が無期限に延長される許可に関しては、それが従うべき条件と保証は今後の立法措置に従うとして、地下研究施設がそのまま処分場へ移行することに法的に歯止めをかけるとともに、一方で将来別の法律を建てることにより移行が可能になるようにも配慮した。

2) 放射性廃棄物の管理に関する研究の進捗状況については、政府が毎年報告書を作成して議会に報告書を提出する。また、法律の公布から15年までの間に、政府は議会に対して、研究の総合評価報告書を作成して、議会に提出することとされた。議会は報告書の提出を受けると、議会の科学技術選定委員会に検討評価を付託する。

3) 地下研究施設の設置に際しての要件を幾つか定めている。例えば、

・設置の全体計画は、予備調査の前に関係住民と選出議員の協議に付されること。

- ・環境影響評価の作成，関係市町村議会，県議会，地域圏議会の意見聴取の実施，公聴会の開催。
- ・放射性廃棄物の保管，処分の禁止。

4) 工業，研究，環境の各大臣の監督下に ANDRA の名称の公共機関を新設する。

このように，高レベル放射性廃棄物の処分問題の主な部分を立地問題と捉えて，その打開のためにまず地下研究施設の設置を異例とも思える「～研究に関する法律」という形で定めて一步前進させようとしたものと理解される。さらに，関係住民の合意を得て進めることを優先にする法的な手続きを定めたことが特徴としてあげられる。

4つの事項についてのまとめ

1. 処分の実施主体について

以上述べた5カ国の中で，スウェーデン，スイス，米国の3カ国は，高レベル放射性廃棄物の処分に係る研究開発から実施までを担当する機関が明確にされている。特に，スウェーデン，スイスでは発生者負担の原則に基づき，放射性廃棄物の発生者である電力会社等が共同で設立した機関が，研究開発から処分場候補地の選定，処分の実施までを一貫して行う体制が整っており，そのプロセスが分かりやすいものとなっている。カナダの場合には，当面の全体計画が第1段階である処分概念の評価に置かれていて，そのための研究の実施機関としてカナダ原子力公社が指定されており，その担当範囲は研究開発にあることが明確にされている。

わが国においては，研究開発の推進機関は定められているが，処分に責任をもつ実施主体は明確にされていない。実施主体の問題は，

研究開発から処分の実施に至る一連の流れの中で，研究開発をどのように捉えて処分の実施と関係付けるかということと密接に関係する。研究の積み重ねを通じて徐々に達成されていく性格が特に強いこの分野において，研究開発の推進機関と処分の実施主体の役割と両者の関係などが全体の計画立案にあたって根幹となる問題だけに今後十分検討すべき重要な課題である。

2. 処分研究の手順について

スウェーデンやスイスの場合には，先に述べた処分の実現性を示す評価書やそのレビューを通して，その後の研究の進め方や重点の置き方，代替案の研究など，研究の進め方に関して一つの方向性を与えるきっかけを作っている。スウェーデンの場合には，ストリーパ研究に代表される1980年代の研究開発，1990年代のHRLを中心にした研究開発，2000年初期に行われる処分場候補地の選定と，ほぼ10年毎に大きな節目をおいて進めている。それぞれの年代で行われる研究の目的は明確にされている。

米国の場合には，処分場候補地の選定から処分場の決定，さらにその後の処分場建設の許認可から続く一連の規制等，処分の実施に至る手順が放射性廃棄物政策法という法律で細かく規定されており，手続きが非常にわかり易く文書化されていて公開されている。それに比べると研究開発の進め方，特にサイト特性調査段階については，詳細な項目は示されていたが，具体的な進め方が明確に示されていなかった。放射性廃棄物政策法の改定の際に新設された放射性廃棄物技術評価協議会は，第三者の立場からDOEの活動をレ

ビューする組織であり、サイト特性調査活動について2回/年の頻度で報告書を作成してDOEと議会に提出することとなり、その報告書の中ではDOEに対して調査の重点や進め方など具体的な勧告も行われることとなった。

フランスの場合にも、「放射性廃棄物の管理に係わる研究に関する法律」の中で、研究の実施状況について1回/年の割合で報告書を作成し、議会に提出することが義務付けられたことから、公表されるか否かは明確ではないが、第3者が報告書をレビューすることを通じて、米国の場合と同様に研究の段階でも実施者だけの間で進められていくという方法は排除しようという姿勢がみられる。

カナダの場合はこれらの国とは若干違った独特の方法を採用している。すなわち、処分場候補地の選定に関する手続きは具体的には一切決められていなくて、むしろ、そのためには、計画の段階で一般公衆も含めて国としてコンセンサスを得た上で進めるものと考えている。これは原子力に特有な制度ではなく、環境への影響が予想されるプロジェクトに対して環境評価法に従って義務付けられたものである。AEC Lの行う研究の当面の目標は、この法律に基づき環境影響評価書の作成を行うこととされている。さらに、国側の評価プロセス、手順も明確にされている。

具体的な処分研究がどのような考え方でどのような手順で進められているかということは、処分についての理解を促進する上で重要なことの一つに考えられる。

3. 研究計画書、評価書とそのレビューについて

スウェーデンやスイスでは、処分場候補地

の選定に至る研究開発の段階で、研究計画やその時々研究成果のとりまとめとレビューが公式に制度的に位置づけられている。特に、KBS-3やProjekt Gewähr 1985は、法律で実施が要求されて行われた処分の実現可能性を示した、研究成果を取りまとめた評価書である。スウェーデンのR&D Programmeは法的に定期的に作成してレビューをうけることが義務づけられた研究計画書である。この二つの国で考えられていることは、研究開発の段階で処分の実現性の見通しをレビュー結果で確認した上で、その後続く規制側による研究開発のレビュー活動を通じて、処分の実施主体と規制側で技術的なコンセンサス作りを図っていくことを重視していることである。特に、スウェーデンにおいては、将来の規制に備えることと、実施者に規制のガイダンスを示すことを目的に規制機関が独自の研究開発を実施していて、レビュー活動のベースにもしている。また、これと似たような活動はカナダにおいても行われていて、AEC Lが作成する環境影響評価書作成のためのガイダンスを、レビュー側である環境評価パネルが作成しAEC Lに示すことにより、事前に共通認識を図ることに留意している。しかし、これはあくまでも開発側、規制側(レビュー側)が法的に与えられた使命を達成し、社会に最終的に受け入れられるための手段として採られている立場と理解される。

米国においては、以前は許認可以前のサイト特性調査の段階では、その活動をレビューする公式な手続きはなかった。この段階における成果が将来の許認可の段階で最も重要になることから、ここでの研究計画や研究の成果がサイトの特性を評価する上で必要なもの

になっていくのかどうかを第3者がレビューする重要性を認識したものと理解される。

フランスにおいてはこれと同様な意味で、研究開発段階で研究の進捗状況や研究の実施状況が計画から逸脱していかないかなどについて、政府が報告して議会がレビューする制度として法律の中で位置づけたものと理解される。

研究のある時点から行われる、このようなレビューについては、各国ともその重要性を認識して制度化を図っているものと思われる。研究開発段階で行われるこのようなレビューを、処分の実施にいたる長い過程の中でどのような位置づけにし、どのようなレビューを制度的に実施するのか、またその行為が処分の実施に向けてどのような役割を果たすのか、わが国としての進め方を具体的に考える時期にきている。

4. 地下研究施設の位置づけについて

地下研究施設の性格を分類すると一つの方法として、3つが考えられる。

①処分技術の開発および必要なデータの取得を主目的とするもので処分場にはしないもの

②処分場候補地に建設され、処分場としての適性を評価するためのもの

③処分場開発に直接役立つ技術やデータの取得を目的とし、処分場との関係を保留しているもの

①に属するものとしては、スウェーデンのストリーパ研究鉱山、HRL、スイスのグリ

ムゼル岩盤研究所、カナダのURLがある。これらはいずれも、将来処分場にはしないことを明確にした上で地下研究施設の建設が始められている。特にカナダの場合には、地元のマニトバ州との間で将来埋め戻してサイトを州に返還するという協定を結んだ上で行われており、制度上その位置づけが非常に明確である。

②に属するものとしては、米国のヤッカ・マウンテンがある。ヤッカ・マウンテンの場合には、法律により処分場候補地が選定されたものの、その後地元州の強い反対に会いスケジュールに大きな遅れをみている。

③に属するものとしては、フランスが予定している地下研究施設があげられる。フランスは、処分の実現性を示す上で候補となりうる岩種を対象にした地下研究施設が不可欠であるとしており、その結果がそのまま候補地となりうる可能性については別の立法措置による手続きが必要であるとしている。地下研究施設がそのまま処分場になることに法的に歯止めをかけておくことにより関係住民等の合意をとりつけ、地下研究施設の建設を促進しようとする意図したものと理解される。

地下研究施設を設置する時点で重要なことの一つは、将来の処分場との関係であり、それを踏まえた上で関係住民の理解と合意を得ることである。国による法制度の違いがあり、さらに今後の進展についても不明な点はあるが、フランスの「放射性廃棄物の管理に係わる研究に関する法律」の中で示された方策の考え方はある意味で参考になると思われる。

地層処分に至る流れ・スウェーデン

	法律、取り決め、計画、評価書 等	地下研究施設	処分場の選定と建設、操業、閉鎖
1970年代	条件法制定 地層処分にに関する研究開発開始		
1980年代	KB S-3 報告書の作成と国によるレビュー R&D Programmeの3年毎の作成とレビュー開始(1986→)	国際ストリーバ計画の開始 地下研究施設(HRL)の設置を決定	
1990年代	SKI Projekt-90(1991) (規制側独自のプロジェクト) SKB-91の作成予定(1992) 処分概念の決定予定 環境影響評価書の作成を予定	国際ストリーバ計画の終了(1991) HRLの第1段階開始	処分場候補3サイトを選定予定(1993年又はそれ以降) サイト調査の実施を予定
2000年代	予備安全評価書の作成 処分場立地申請 最終安全評価書の作成 処分場建設申請		処分場立地決定 処分場建設開始 処分場閉鎖

地層処分に至る流れ・スイス

	法律、取り決め、計画、評価書 等	地下研究施設	処分場の選定と建設、操業、閉鎖
1970年代	原子力法改正 新規原子力発電所建設許可等に対し廃棄物の安全な処分の保証を要求		
1980年代	放射線防護目標(R-21) Projekt Gewähr 85の作成と国によるレビュー(1985→1988) 結晶質岩に加え、堆積岩の研究を指示	グリムゼル岩盤研究所の建設、試験研究の開始(1983)	
1990年代	安全評価書を作予定(結晶質岩、堆積岩)(1993) 結晶質岩か堆積岩かの選択を予定(1995)	グリムゼル岩盤研究所の試験終了予定(1994)	
2000年代	段階的許認可 一般許認可 建設許可 操業許可 閉鎖許可		処分場候補地の選定 候補地における地下研究施設建設のための調査 ・処分場予定地の選定 ・予備調査 ・処分場建設、操業、閉鎖

地層処分に至る流れ・カナダ

	法律、取り決め、計画、評価書 等	地下研究施設	処分場の選定と建設、操業、閉鎖
1970年代	核燃料廃棄物管理計画		
1980年代	核燃料廃棄物に関する10ヶ年の研究計画(1980) 処分概念評価のためのプロセスを公表(1981) 予備的性能評価書 環境評価とレビュープロセスのガイドライン命令(1984) 規制文書(RD) R-71 規制文書(RD) R-104 規制文書(RD) R-72 連邦環境評価パネルメンバーの指名(1989)	サイト調査とモニタリング(1980~2000) 施設の建設とサイト特性調査(1982~1989) 操業段階の実験(1989~2000)	
1990年代	カナダ環境評価法の制定(1990) EISガイドラインの公表とAECLへの通知(1992) EISを含む概念評価書を作成予定(1993)		AECLの概念評価が国の承認を得た後、具体的な活動に入る 現時点では未定
2000年代	国によるEISのレビュー		

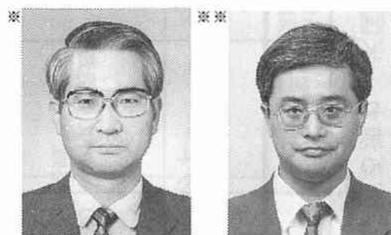
地層処分に至る流れ・米国

	法律、取り決め、計画、評価書 等	地下研究施設	処分場の選定と建設、操業、閉鎖
1950年代	米国アカデミー報告		
1960年代		岩塩プロジェクト	
1970年代	省庁間タスクフォースIRGによる国家計画としてのアウトラインの公表 NRCの実施規準案(10 CFR Part 60)	WIPP地質調査開始	
1980年代	放射性廃棄物政策法(NWPA)制定(1983) 環境評価書案(9サイト) サイト選定指針(DOE) 環境評価書(5サイト) ミッションプラン EPAの環境規準案 3サイトにおけるサイト特性調査活動の決定 放射性廃棄物政策法(NWPA)の改定(1987) サイト特性調査計画書 放射性廃棄物技術評価協議会(NWTRB)の設立(1987)	WIPP最終環境影響評価書作成 WIPP建設開始	処分場候補地9サイト選定(1983) サイト特性調査の適合5サイト選定(1985) サイト特性調査を行う3サイトを承認(1986) ヤッカ・マウンテンのみをサイト特性調査サイトとして指定(1987)
1990年代	NWTRBによるサイト特性調査活動のレビュー		ヤッカ・マウンテンでのサイト特性調査
2000年代			NRCによる許認可

IEA国際会議「New Electricity 21」
—21世紀に向けての電力技術と経営戦略—
(5/12～5/14)の開催を顧みて

New Electricity 21 日本委員会 事務局
(財)エネルギー総合工学研究所)

事務局長 吉澤 均^{*}
森 信一郎^{**}



1. はじめに

平成4年5月12日から14日までの3日間、東京のホテルグランドパレスで、IEA（国際エネルギー機関）と通商産業省、New Electricity 21 日本委員会の3者の主催により、「21世紀に向けての電力技術と経営戦略」を探る国際会議「New Electricity 21」が、開催されました。

会議には、IEA加盟国のほか、中国、タイ、インドなどのアジア諸国や、ロシア、ハンガリー、ポーランドなどの移行経済諸国など35カ国、またEC委員会、世界銀行など7つの国際機関から、電力産業に係わる政府、電気事業者、メーカーの経営者や、経済、技術の専門家が参加し、その数は海外208名、国内572名の合計780名にのぼりました。

本会議では、21世紀の世界においても「電気」はその使い易さやクリーンさからますますその重要性が増加することが、改めて世界

の共通の認識として確認され、資源制約・環境問題・経済開発などの解決を目指し、電力産業に係わる各国の関係組織が、国際的な視野で新技術の開発と適用を進める必要があるとのコンセンサスが得られました。また、電力の安定供給と地球環境保全のための技術戦略や、発展途上国・移行経済諸国への技術移転の方法などについて、活発な議論が行われました。

以下に、IEAが主催する会議の中でも最大規模の会議となった「New Electricity 21」を開催が決まった当初より、準備等を含め、裏方の事情を中心に顧みることとします。

2. 開催趣旨

「21世紀に向けて、社会における電気エネルギーの果たす役割は益々大きくなっており、環境保全と経済の安定成長を両立させつつ、エネルギーの安定的供給を確保するため、電力産業は新たな発想に基づき積極的に対応

^{*} (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事
^{**} (財)エネルギー総合工学研究所 主任研究員

する必要があります。

情報技術や新素材に象徴される著しい技術革新が進展する中で、需要側では、社会・経済情勢や消費者のライフスタイルの変化に伴い、電力のサービスに一層の高度化と多様化が要求されています。一方、供給側では、地球環境問題や資源制約、立地制約などの重要かつ困難な課題があります。

このため、国および電力産業は、革新的技術によるブレイクスルーを見出し、国際協調の下で、長期的展望に立った政策と経営戦略を立案していく必要があります。また、電力技術の開発戦略構築のためには、発電から送配電、利用に至る広範な技術の将来展望と、情報・通信技術や超電導などの先端技術が電力技術に対して果たす役割を、総括的評価によって明らかにしていかなければなりません。

本会議は、世界各国のエネルギー政策と電力産業経営の中心となっている方々によって、21世紀に向けて電力産業が更なる飛躍を遂げるための技術開発と経営戦略、及び国際協力について活発な議論を行い、共通の認識と展望を明らかにして、それらがいかにあるべきかを全世界に向け提言しようとするものです。」(「New Electricity 21」ファーストサーキュラーより)

3. 開催経緯

IEAは、エネルギー分野をとりまく社会・経済状況の変化を踏まえ、技術開発に関する種々の調査・検討、共同研究等を推進しており、また、それらに関する国際会議等を毎年開催しています。

平成2年に、IEAから我が国に対し、21世紀に向けた電力分野の技術開発についての国際会議を開催するよう要請がありました。このテーマは、我が国で強い関心の持たれているものであり、国際貢献に寄与すべく要請を受入れ、本会議は開催されることになりました。

このようにして開催されることになった本会議は、発電・送配電・最終電気利用等の電力技術を中心におきつつ、それらをさらに広い経営・政策的な視点から論ずる会議とすることになりました。電力関係においては、個別技術に関する国際会議は度々開催されていますが、このような試みはこれまで世界でもほとんど例がなく、21世紀に向けた総合的技術戦略を討議する場として極めて有意義と期待されることとなりました。

また、我が国での開催は、NIES, ASEAN等のアジア諸国からの参加も期待でき、従来にない幅広い会議ができるものと期待されました。

4. 開催準備

(1) 運営組織

国際委員会として、IEAの場に関係10ヶ国と5機関の代表者からなる運営委員会(Steering Committee)が設置され、会議の基本的構成、メインスピーカー等の検討、関係国への参加の呼びかけ等を行うことになりました。また、運営委員会の下に組織委員会(Organising Committee)が設けられ、各国関係者との連絡、開催準備を行うことになりました。

一方、日本国内では、通商産業省、学識経

験者、電力会社、エネルギー関係諸団体、研究機関等によって構成される New Electricity 21 日本委員会（委員長：宮原 東京電力副社長，副委員長：関根 東京理科大学教授）が平成 3 年 6 月に設置され、会議の構成、内容、運営等の検討協議を行うことになりました。日本委員会の下には 2 つの専門委員会（総務・運営委員会及び企画委員会）を置き、会議開催のための諸準備、会議運営、会議後のとりまとめ等の実務的作業を行うことになりました。また、日本委員会の活動を円滑に行うため、事務局が(財)エネルギー総合工学研究所内に設置されました。

国際委員会と日本委員会の設置から会議の開催までの準備工程を表 1 「「New Electricity 21」開催工程」に示します。

(2) 会期中の実施体制

海外から多数の参加者が出席する大規模な国際会議となったことから、準備及び当日の運営については、会議運営の業務を委託した(株)サイマル・インターナショナルや旅行代理店の業務要員に加え、総務・運営委員会のもとにスタッフとして、日本委員会を構成している電力会社やメーカー各社、各団体・機関等から約 130 名の方々の応援をいただくことになりました。

この応援により、円滑な運営が可能となっただけでなく、対応について、海外の参加者からも大変好評でした。

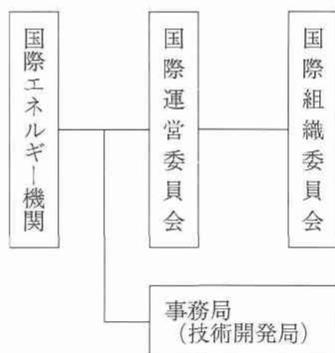
(3) 参加者の勧誘

会議開催決定当初、参加予定者は海外 250 名、国内 250 名、計 500 名を予定していましたが、結果としては海外 208 名、国内 572 名、計 780 名と、参加者の数は当初の予定を上回りました。特に海外からの参加者が 200 名を超えたことは、IEA 側からも高く評価されました。

これは、会議のテーマが国内外を問わず非常に関心の高いものであったことと、以下のような参加者勧誘の努力を行ったためと思われます。

① 会議の開催を通知し、参加を募る「ファーストサーキュラー」の送付は、当初海外 1,000 部、国内 1,000 部程度を予定していま

・国際組織



・国内組織

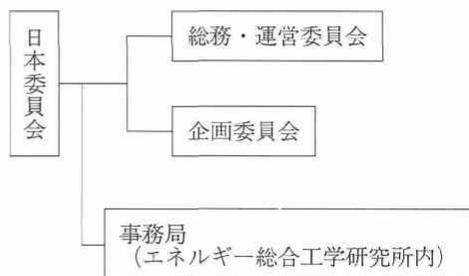


図 1 実施体制

したが、IEA及び国際委員会メンバーから部数を大幅に増やすよう強い要請があり、海外7,000部、国内4,000部、計11,000部を送付しました。

このことが、結果的には海外からの参加者が200名を超えることになった大きな要因となったと思われます。

- ② 平成3年12月及び平成4年2月にパリで開催された国際委員会に、宮原委員長、関根副委員長他、日本委員会関係者が出席し、各国委員に参加・協力の要請をするとともに、この機会を活用し、イギリス、イタリア、フランス等の電力会社を訪問し直接参加・協力の要請を行いました。

これにより、会議に対する日本側の熱意が伝わり、海外からの参加促進に大いに役立ちました。

- ③ 参加国の地域バランスを確保するため、ロシア、インド、タイ、ヨルダンからの参加者については、招聘者として参加していただきました。
- ④ 国内の参加者については、会議運営費確保の見地から各方面に会議への参加のご協力をお願いしたところ、快くご理解いただき、予定を上回る有料参加者の登録をいただきました。ここに、厚くお礼申し上げます。

(4) 募金

計画当初の試算により、会議の準備・運営に要する経費は多額のものとなることが推定され、会議参加者の登録料だけでまかなうことは難しいと判断されたことから、国内及び

海外の電力産業に関連した団体に募金を募りました。寄付をいただいた団体は以下の通りです。

① 国内

- ・電力業界
- ・電機業界
- ・電線業界
- ・機械業界
- ・電設業界
- ・電力建設業界

② 海外

- ・欧州共同体委員会（CEC）
- ・フランス電力公社（EDF）
- ・イタリア電力公社（ENEL）
- ・ナショナル・パワー（英国）
- ・ニュークリア・エレクトリック（英国）
- ・パワージェン（英国）
- ・ナショナル・グリッド（英国）
- ・米国エジソン電気協会（EEI）

なお、海外から寄付をいただいた団体については、共催となっただき、会議のプログラム資料に共催として団体名を記載させていただいた他、会場にも共催として団体名を掲示させていただきました。

5. 会議プログラム

会議は、特別基調講演、3つのワークショップ、スペシャルフォーラム、及びパネルディスカッションで構成されました。

(1) 日程

表2「日程」に会議の日程を示します。

表2 日程

月 日	午 前	午 後
5月12日(火)	開会挨拶 特別基調講演	ワークショップ1(A) ワークショップ2(A&B) ワークショップ3(A)
5月13日(水)	ワークショップ1(B) ワークショップ2(A&B) ワークショップ3(B)	ワークショップ1(C) ワークショップ2(C) ワークショップ3(C)
5月14日(木)	スペシャルフォーラム 総括集約者報告	パネルディスカッション 結論集約 閉会挨拶

(2) 特別基調講演

世界の各地域における電力産業の現状，21世紀に向けての技術進歩や資源マネジメント戦略の決定要因，電力サービス需給の現状及び将来展望

(3) ワークショップ1：電力技術の開発と適用を促進するための経営戦略と政策

1 (A)：環境変化に対応する電気事業経営と意思決定

1 (B)：経済的，資金的課題

1 (C)：政策，規制面の課題

(4) ワークショップ2：資源，環境上の制約を克服するための電力技術

2 (A&B)：10～20年先の発電技術

2 (C)：更に将来の発電技術

(5) ワークショップ3：送配電及び効率的な電気利用のための新技術の開発と導入

3 (A)：送配電技術の進歩

3 (B)：情報，通信，制御技術における先端技術

3 (C)：需要家管理と電力利用技術

(6) スペシャルフォーラム

地球環境問題を克服するための電力技術と国際協力

(7) 総括集約者報告

各ワークショップでの議論の要点の報告

(8) パネルディスカッション

21世紀に向けての技術開発における電力産業の役割

6. 会議の成果

- (1) 本会議は、主催者を代表してガリバー I E A 技術開発局長、沓掛通産政務次官、宮原日本委員会委員長の開会挨拶で幕が開き、那須電事連会長、ミッチェル米国エジソン電気協会次期会長をはじめとして、世界の電力産業に関する団体の多数のトップ層の方々により、包括的、長期的、かつグローバルな視点から、21世紀に向けての電力技術と経営戦略について活発な議論が3日間にわたって行われ、電力産業の直面する課題について共通の認識を得ることができました。

ワークショップにおいては、22の国・機関より基調講演9件、一般講演84件、合計93件もの発表が行われました。

最後に、ガリバー I E A 技術開発局長、宮原日本委員会委員長から会議の集約が行われ、幕を閉じました。

- (2) 会議の主要参加者を表3「I E A 国際会議「New Electricity 21」」に示しますが、本会議のように世界の電力産業に関する行政、学界、産業界、国際機関のハイレベルにある方々が一同に会して議論したことは、初めての試みであり、大変意義深いものとなりました。

また、会議での議論や7.に記します関連行事を通し、電力産業関係者の国際交流が図られました。

- (3) 会議の主要な論点については、最終日に会議の集約を述べられた「宮原日本委員会委員長閉会挨拶(要旨)」と、各ワークショッ

プでの議論の概要を記した「会議のハイライト(速報)」の2つの資料にまとめられていますので、本報告の最後に別添資料として掲載させていただきます。

- (4) 本会議の最終報告書は、I E A において「Proceedings」という形でまとめられ、製本のうえ、参加者各位に送付されることになっています。

- (5) なお、会議に使用されたプログラム資料は、片面が英語版、もう片方の面が日本語版という両面から2カ国で書かれたもので、会場では非常に好評でした。

これは、宮原日本委員会委員長の御提案になったもので、同委員長の数多い海外の国際会議参加の御経験を活かされたものです。

7. 関連行事

関連行事として、レディースツアー、テクニカルツアー及び式典(パーティー)を実施しました。

- (1) レディースツアー

海外の参加者に随行されて来日されたご婦人方を対象として、日本の文化を見ていただき、日本についての理解を深めていただくため、会議開催期間中にレディースツアーを実施しました。

このツアーは、女性ボランティアの方が同行されたことにより、明るく、和やかな雰囲気のうちに進められ、大変喜んでいただけるとなりました。

レディースツアーの日程は以下の通りで

す。

- ① 生花・ショッピングツアー 5月12日
(火)
AM 草月流会館(六本木)
生花の体験レッスン
PM 三越デパート(銀座)
ショッピング
- ② 鎌倉古都見学ツアー 5月13日(水)
AM 鶴ヶ岡八幡宮
PM 長谷大仏

(2) テクニカルツアー

海外の参加者を中心に、日本の電力産業設備及び日本の文化を見ていただき、日本についてより理解を深めていただくために、見学先の各社の御支援と御協力をいただき、テクニカルツアーを実施しました。

このツアーは大変好評なものとなり、参加者の多くの方が、日本の電力技術のレベルの高さ、設備が非常に良く整備されていること、設備が周辺環境に対して十分配慮されていることに感心していました。

テクニカルツアーの日程は以下の通りです。

- ① 東京都心ツアー 5月15日(金)
AM 東京電力大井火力発電所
PM 東京電力中央給電指令所、東京電力箱崎熱供給センター
- ② 東京近郊ツアー 5月15日(金)
AM 京セラソーラーエネルギーセンター
PM 富士電機燃料電池システム工場、東京電力大井火力発電所燃料電池プラント

③ 関西方面ツアー 5月15日(金)～16日(土)

- 5月15日 関西電力六甲新エネルギーセンター、関西電力基幹系統給電所
5月16日 二条城、金閣寺、平安神宮

(3) 式典(パーティー)

参加された世界各国の電力産業関係者の交流の場を設け、相互理解を深め、会議の前後の緊張をほぐすために、式典(パーティー)を実施しました。

式典はいずれも、盛大に、かつ、和やかに行われ、各界からの参加者の交流に大変役立つものとなりました。

式典の日程は以下の通りです。

- ① カクテルパーティー 5月11日(月)
18:30～20:00
会場 ホテルグランドパレス
海外からの参加者を中心に250名が参加。
- ② ウェルカムレセプション 5月12日(火) 18:00～20:00
会場 ホテルグランドパレス
600名を越える参加者を迎えて盛大に開催された。
- ③ バンケット 5月13日(水)
19:00～21:00
会場 学士会館
会議の開催・運営等にお世話いただいた各国の代表100名を招待。

8. おわりに

本会議の開催は、電力技術の革新と研究開

発の最先端をいく我が国で国際会議を開催することの意義を認めた I E A 側の強い要請に応えたものでした。

本会議は、

- ① I E A の電力関係の国際会議は、わが国では最初であったこと
- ② 海外からの参加者が 200 名以上である大型の国際会議であったこと
- ③ 会議資料は全て英語であり、会議時間の制約があることから、会議の進行をスムーズなものにするため、全ての会議で同時通訳をつける必要のあること

等が特色であり、その開催に当たっては、通商産業省をはじめとして、電力産業界の総力をあげて取り組まなければ成功の見通しがたかないと思われる超大型の国際会議でした。

費用も当初の予定より大きく膨らみましたが、国内関係各社の皆様の寄付並びに参加登録者数の増大、海外機関からの Co-Sponsorship により調達することができました。

また、会議の準備及び運営、テクニカルツア一の実施等に関係各社の皆様方の絶大な御

支援と御協力を賜りましたことに対し、厚くお礼申し上げます次第です。

今や日本の電力産業は、世界の電力産業を支えるまでに至ったことが、しみじみと実感される 3 日間でした。

事務局として至らぬ点多々ございましたが、ご存知の通り成功裏に終わりましたことをご報告申し上げ、厚くお礼申し上げます次第です。

末尾になりますが、宮原委員長をはじめとする New Electricity 21 日本委員会の関係者の皆様及び当日の会議の準備運営にあたっていただきましたボランティアの皆様方の御尽力に対しましては深甚の謝意を表します。

特に、New Electricity 21 日本委員会の総務・運営委員会、企画委員会の双方の幹事を務められた東京電力㈱開発計画部の後藤 清課長、事務局を務められた東京電力㈱開発計画部の矢部 邦明 副長の獅子奮迅の御尽力に対しては重ねて感謝の意を表する次第です。

以 上

表1 「New Electricity 21」開催工程

項目	年/月	9 1 / 5	6	7	8	9	10	11	12	9 2 / 1	2	3	4	5	6	7	
国際委員会 日本委員会		5/30○ (パリ)	○6/14	○7/8 (東京)					○12/6 (パリ)	1/23○	2/20○ (パリ)		(東京)○	5/11			
企画委員会	委員会開催		○6/14	○6/25			○10/18						○3/23				
	座長及び講演者		日本側主要参加者調整				主要参加者の決定	論文審査	採用決定			ディスカッションの進め方					
	プログラム	○ 骨子							○詳細 プログラム								
	論文、予稿集、プログラム					論文募集	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	7/31	
総務・運営委員会	委員会開催		○6/14	7/31○						1/17○		3/23○	編集印刷				
	案内		1st サキユア 作成・発送						2nd サキユア 作成・発送								
	資金計画		計画案作成・調整 募金文書発送						募金状況チェック								
	予決算	○基本計画	○一次予算										○二次予算				
	会場		○予約					○設備予約									
	宿泊		○ホテル予約		○ホテル予約												
	テクニカルツアー			○基本案						○詳細案		○最終案					
	式典						○骨子 (VIP 確保)		○各式典内容		○式典次第・出席者						
	広報		6/14○ プレス発表										4/28 プレス発表○				

NE 21 開催... 5月12日 - 5月14日

表3 IEA国際会議「New Electricity 21」の主要参加者リスト

プログラム	役 割	所 属	氏 名
開会挨拶	挨拶	IEA技術開発局長 通産政務次官 日本委員会委員長（東京電力副社長）	S. Garribba 杏掛 哲男 宮原 茂悦
特別基調講演	座 長 講演者	日本委員会副委員長（東京理科大学教授） EC委員会エネルギー局審議官 ユーロエレクトリック会長、イタリア電力公社（ENEL）副総裁（イタリア） エジソン電気協会（EEI）次期会長、ボトマック電力社長（アメリカ） 世界エネルギー会議名誉副議長（ヨルダン） 電事連会長、東京電力社長	関根 泰次 R. De Bauw A. Ortis E. Mitchell H. Khatib 那須 翔
ワークショップ1 セッション1-A	座 長 総括集約者 基調講演者	ドイツ火力発電技術協会（VGB）理事（ドイツ） パシフィックパワー環境技術部長（オーストラリア） 関西電力副社長	H. D. Schilling J. Sligar 成松 啓二
セッション1-B	座 長 総括集約者 基調講演者 招待講演者	アメリカ電力研究所（EPRI）上級副所長（アメリカ） アメリカ電力研究所（EPRI）副所長（アメリカ） パワーゼン常務（イギリス） 電力エネルギー庁長官（インド）	K. Yeager G. T. Preston A. Roberts S. Rajgopal
セッション1-C	座 長 総括集約者 基調講演者 招待講演者	ユニベデ発送電運営委員会委員長 エネルギー環境公社部長（オランダ） 通産省資源エネルギー庁長官 東京大学経済学部教授	L. E. Lundberg R. Derks 山本 貞一 植草 益
ワークショップ2 セッション 2-A&B	座 長 総括集約者 基調講演者	A) パシフィックパワー社長（オーストラリア） B) 日本委員会副委員長（東京理科大学教授） A) ABBカーボン社社長（スウェーデン） B) テネシー深谷電力公社（TVA）技術開発部長（アメリカ） A) 電源開発社長 B) カナダ電気協会理事（カナダ）	R. M. Bunyon 関根 泰次 S. Jansson E. D. Daugherty 杉山 和男 A. E. Kingsley
セッション2-C	座 長 総括集約者 基調講演者	スペイン電力公社（ENDESA）資源燃料局長（スペイン） ヨーロッパガスタービン社（イギリス） 電力中央研究所理事長	J. Fernandez D. Pollard 依田 直
ワークショップ3 セッション3-A	座 長 総括集約者 基調講演者	国際電力技術会議（CIGRE）技術委員会委員長（スウェーデン） 三菱電機電力変電技術部長 アメリカ電力研究所（EPRI）副所長（アメリカ）	M. F. Chamia 鈴木 浩 N. Hingorani
セッション3-B	座 長 総括集約者 基調講演者	日本委員会総務運営委員長（東京電力開発計画部長） EAテクノロジー社（イギリス） フランス電力公社（EDF）副総裁（フランス）	一原 嘉昭 A. D. Cross F. Ailleret
セッション3-C	座 長 総括集約者 基調講演者	スウェーデン電気事業連合会常務理事（スウェーデン） シナジック・リソーシズ社社長（アメリカ） イタリア電力公社（ENEL）（イタリア）副本部長	K. Lindholm D. R. Limaye G. Gallizioli
スペシャルフォーラム	座 長 総括集約者 基調講演者 パネリスト	世界エネルギー会議東京大会事務局長 EC委員会エネルギー局 ノーザンステーツ電力会長（アメリカ） 世界銀行環境政策局長 慶応大学教授 タイ国発電公社技術開発局長（タイ） 能源部電力総工程師兼電力司長（中国） ユニベデ地球温暖化専門家グループ委員長（スイス）	横堀 恵一 M. Gowen J. Howard M. Munasinghe 石井 威望 K. Karnasuta 陸 延昌 Y. Haller
パネルディスカッション	座 長 パネリスト	IEA技術開発局長 ユーロエレクトリック会長、イタリア電力公社（ENEL）副総裁（イタリア） アメリカ電力研究所（EPRI）上級副所長（アメリカ） 中部電力副社長 通産省資源エネルギー庁技術課長 ABB副社長（スイス） 国際電力技術会議（CIGRE）会長（ブラジル）	S. Garribba A. Ortis K. Yeager 太田 宏次 谷口 富裕 G. Lundberg J. Z. L. Lepecki
結論集約 閉会挨拶		IEA技術開発局長 日本委員会委員長（東京電力副社長）	S. Garribba 宮原 茂悦

上記の他に次の方が参加。

イギリス	: ニュークリアエレクトリック社	会 長	J. G. Collier
	: ナショナルパワー社	副社長	G. T. B. Gamsey
ロシア	: ロシア火力技術研究所	所 長	G. Olkhovskiy
スウェーデン	: スウェーデン電力庁（Vattenfall）	副総裁	S. Goethe
フィンランド	: フィンランド電力公社	副総裁	P. T. J. Voutilainen
台 湾	: 台湾電力公司	副社長	Chen Jung-Po
韓 国	: 韓国電力公社	副社長	Lee Dong-Ho
ヨルダン	: ヨルダン電力庁	総 裁	M. S. Arafah
マカオ	: マカオ電力公社	社 長	L. L. Ferreira

I E A 国際会議 New Electricity 21

宮原日本委員会委員長閉会挨拶(要旨)

平成4年5月14日

1. 会議の意義

本会議は、包括的、長期的かつグローバルな視点から、電力技術と経営戦略について、世界の多数の国や機関から電力産業に関係する行政、学界、産業界、国際機関のハイレベルにある方々が一同に会して議論したことは初めての試みであり、大変意義深いものであった。

こうした論議の中で、電力産業を取り巻く環境、諸条件が大きな転換点(ターニングポイント)にあるという認識を鮮明にすることができたばかりでなく、これからの電力産業の活動が資源、環境、技術の問題から単に一地域のローカルな枠におさまらず国境を越えてグローバルなものになったという認識を共通に得られたのではないかと思う。

また、会議中の様々な形での情報交換や意見交換により参加者の皆様方の中で培われた緊密な人間関係と信頼関係は、必ずや今後の世界の電力産業の発展に大きく寄与することであろう。

2. 会議の要旨

会議で議論された問題は、I E A ガリバ局長が報告されたように多岐にわたり、一概にはまとめることはできないが、それらを総合して私なりの所感を以下のように率直に述べたいと思う。

電力産業は、基幹産業として各国、各地域の歴史的、地理的条件、資源賦存状況など、まさにその地域のすべての条件に関わっているため、発展の歴史から来る事業形態も千差万別であり、かかえる問題も多様、解決へのアプローチもさまざまであり、なかには鋭い意見の対立も見られた。しかしながら、参加したすべての人々は、電力産業のかかえる問題について、話し合いと協力を通じて解決の道を探る強い意欲を持っており、会議が終始積極的な発表と討論の場として運営できた。

今回、得られた共通の認識には、次のようなものがあるのではないかとと思われる。

（21世紀における電力の重要性）

来世紀においても、利便性、資源利用効率、クリーンさなどエネルギーの中で電力の持つ優れた特性から、社会の中に電気の果たす役割、重要性がますます増加することが改めて共通の認識となった。

（エネルギー需要の増加と省エネの必要性）

21世紀に向けて、主として途上国における人工増や生活水準の向上によって、エネルギー需要が著しく増加することが確実と予想されるが、これに対し大幅な省エネルギー努力が必要であることが論議された。特に、省エネルギー技術の開発と先進国、途上国を問わずその普及の重要性が共通に認識され、そのための教育問題も含めた国際協力の重要性が協調された。

（安定した電力供給の確保）

さらに、世界の電力需要は、一次エネルギー需要の増加率を大幅に上回って着実に増加してきており、今後21世紀にむけても、同様の高い電力需要の増加率が見込まれる。

世界各国の電力産業は、従来から各地域の特性を踏まえつつ、安定した供給を確保するため努力し、十分その使命を達成してきた。しかし、さまざまなリスクに備えて安定供給を確保するために、今後とも電源の多様化など一層の努力が求められている。そのためには、石炭のクリーンで高効率の利用法、原子力発電の安全性の向上、及び、核燃料サイクルの確立、再生可能エネルギーや未利用エネルギーの利用促進に係る技術開発が必要であると認識された。

また、供給サイドのみならずデマンドサイド・マネージメント（DSM）など需要側の対策の重要性は今後ますます高まるものと予想される。供給・需要両面からの総合的な戦略が不可欠であると考えられる。

さらに、量の確保のみならず、電力の質の確保への要求、お客様ニーズの多様化への対応に向けて、情報技術、先端技術を導入した高度な制御、運用システムを確立していく必要があると思われる。

（地球環境保全への取り組み）

地球温暖化、酸性雨等の地球規模での環境問題は、今後の電力産業の経営に多大な影響を与えることが予想される。電力の形で利用することにより、その他の形でエネルギーが利用されたときに比べて、全体として環境への影響は大きく抑えられてきたが、今後とも電力産業はエネルギーの主要な供給者の一つとして、

また産業界のリーダーの一つとして、人類の未来のため環境を保全しつつ、経済発展を実現することが、必ずや可能であるとの信念を持って、「持続的成長」を具体化する事業活動を実行していくよう期待されている。とりわけ省エネルギー、効率向上等効果が高く、多くの目的に資する対策から順次実施に移す必要があると思われる。

（技術の果たす役割と効率的な技術開発）

これまでの歴史において電力産業が直面した課題の解決に対し、技術は重要な役割を果たしてきた。将来においても、技術こそが問題解決の重要な鍵となるものと期待される。技術開発はまず各電力産業個々の活発な研究、開発によって進むものであるが、効率的な開発を進める上で、行政・電気事業者・メーカー・研究機関の適切な役割分担に基づく協調とともに国際協力が不可欠である。これまでも国際的な組織において様々な活動が行われてきたが、さらに最近も各地域のもつ諸条件に合わせ、種々の先取的な取り組みが開始されており、例えば、欧州の電気事業者は、E Cの統合化の進展に呼応し、石炭ガス化複合発電技術等、域内共同プロジェクトを実施に移しているとの紹介があった。今後は更に全世界規模での先進国間の共同プロジェクト、先進国・途上国の共同プロジェクトも、課題の性質に応じた様々な場で積極的に進めるべきであると思われる。

（競争と協調）

世界各国より競争と市場メカニズムの導入を目指した電気事業の規制緩和、民営化等の組織改編について議論があった。条件によっては電力産業の活性化に寄与しつつあるとの報告がある一方ではいくつかの課題があげられた。電力供給の公益性を満たしつつ競争の利点を最大限に生かすためには、競争と協調の間のバランスについて慎重な配慮が必要と思われる。

（人材育成と社会貢献）

電力産業の高度の技術力を維持する上で、今後とも人材育成は最も基本的な条件である。また電力産業は、常に先端の技術に取り組み、社会において極めて重要な役割を担う産業として、さらには人類の未来を担う魅力ある産業として積極的に社会へPRし、電力産業に対する社会の理解と支持が得られるよう引き続き努める必要があると思う。特に先進国が途上国にこの面でますます支援、協力を強化することが重要であることが確認された。

(国際化と国際協力)

経済、技術のグローバル化が急速に進展しつつある中、電力産業は今までも国際的な情報の交換、共有の実績を積みつつあるが、もっと広範な国際化が今後とも一層加速するものと予想される。今日の討論の色々な局面でもそれがとりあげられた。環境問題はじめ、困難な問題への対応について、技術開発はもちろん、様々な経営的取り組みについての情報交換の拡大、電力産業を支える人の教育、育成の問題も含む交流、協力の拡大、特に環境技術や省エネ技術の途上国への移転を促進していく必要がある。このために、共同技術開発の形も含めた多様な技術協力、情報通信技術の電力系統への利用についての標準化の促進、その他広範な国際的な共同技術開発の必要性が強く認識された。これらの面で日本に対する期待の大きさを強く感じた。

以上

平成4年5月14日

I E A 国際会議 New Electricity 21

会議のハイライト (速報)

New Electricity 21日本委員会

21世紀に向けて、電力産業の技術と経営戦略を地球レベルで論議するために開催された本会議は、I E A (国際エネルギー機関)、通商産業省、New Electricity 21日本委員会の3者主催の下、E C 委員会、フランス電力公社、イタリア電力公社、英国ナショナルパワー社、英国ナショナルグリッド社、英国パワージェン社、英国ニュークリアエレクトリック社、米国エジソン電気協会の共催を得て、1992年5月12日から14日にかけて東京において開催された。

参加者は海外からの200名を含め、約800名で、I E A 加盟国のほか、アジアから中国・タイ・インドなど、移行経済諸国からロシア・ハンガリー・ポーランドなど計35ヶ国、またE C 委員会、世界銀行等7つの国際組織から、電力産業に係わる政府、電気事業者及びメーカの経営陣や、経済・技術の専門家などが参加した。

21世紀の世界を考える上で、「電気」はその使い易さやクリーンさからますますその重要性が高まっている。資源制約・環境問題・経済開発などの解決を目指し、電力産業に係わる各国の関係組織が、国際的な視野で新技術の開発と適用を進める必要があるとのコンセンサスが得られた。電力の安定供給と地球環境保全のための技術戦略や、発展途上国・移行経済諸国への技術移転の方法などについて、活発な議論が行われた。

本会議における議論の要旨を速報としてまとめると以下の通り。

(ワークショップ 1)

政府、電気事業者は効率的な電力供給を可能とするよう、機構及び規制面の課題を克服し経済性の向上に務め、21世紀に向けた新技術の開発と導入促進に協力していくべきである。この場合には、各国により状況は異なるものの、地球的規模での総合的な取組みが求められる。電気事業者は政府及び需要家の理解を得ることにより、政府による適切な規制の下で、新技術の積極的な導入を促進するべきである。

- ・地球的規模の諸課題の解決には、技術開発及びそのための新たな資金調達方法の確立が必要であり、市場経済に即した民間活力を引き出すことも一つの方法である。
- ・電気事業の制度面での変更を行う場合には、事業者間の競争と協調のバランスを考えつつ、従来から達成されてきている電力供給の安定性、信頼性及び効率性が損なわれない

よう配慮すべきである。また、需要家に対し公平なサービスが確保されることも必要である。

(ワークショップ 2)

発電技術は、エネルギー供給のセキュリティと環境保全の課題に対応するために、20～30年あるいは更に長期的な視野で検討されなければならない。

- ・今後20年以上にわたり、電力供給は、化石燃料、原子力と水力に大きく依存し続ける。
- ・環境適合性に優れた発電方式として、まずガス・コンバインドサイクル、次に10～20年後に石炭ガス化と加圧流動床等のクリーン・コール・テクノロジーが重要な役割を果たす。
- ・原子力の安全性を更に高め、標準化を進める必要がある。
- ・再生可能エネルギーは、その導入が進みつつあるが、今後20年以上は、出力が常時一定でないこと、コストが高いことなどにより、大きな供給力としては期待できない。今後ともコストダウンの研究開発が続けられるべきである。
- ・更に将来の発電技術については、種々の先進的な技術の研究開発が進んでいる。現時点でのコスト予測はまだ困難であるが、これら技術の開発促進のためには、長期的な観点から、国際的な情報交換ネットワークの確立や人材交流が必要である。

(ワークショップ 3)

技術開発によって、送配電効率及び需要サイドの電気利用の効率向上が進んでいる。今後、需要家のライフスタイルや経済の高度化に対して、どのような新技術を選択すべきかについて検討する必要がある。供給制約、環境問題への対応を図る視点から、本ワークショップにおいては、以下のような技術について議論がなされた。

- ・UHV送電、直流送電による送電損失の低減
- ・パワーエレクトロニクス適用による系統運用のフレキシビリティの増加
- ・高効率電力貯蔵システムによるピーク負荷の平準化
- ・急速な事業環境の変化に対応するための先進的かつ標準化されたコンピュータ・通信技術の適用
- ・事業者にとって重要なインフラとして的高速通信網の構築
- ・電力消費の抑制と既設電力設備の有効利用を可能とするデマンド・サイド・マネジメント(DSM)

以上

平成4年度版通商白書の概要



竹井友二*

第1章 世界通商・経済の動向

第1節 鈍化した世界の通商・経済

世界経済は、83年以来長期にわたる好景気を楽しんできたが、91年には主要国における景気の鈍化・停滞、旧共産圏地域の経済的混乱、湾岸危機の後遺症による中東地域経済の落ち込みなどを反映して、前年比1%未満の成長にとどまった。

世界的な景気後退基調の中で、アジアN I E S・A S E A N地域においては、やや伸びは鈍化しつつあるものの、引き続いて高い成長を維持している。

91年の世界全体の貿易は、世界全体の経済活動の低調さを受けて、数量ベースで前年比0.6%増、金額ベースで、前年比1.0%増と低い水準の伸びにとどまった。80年から90年にかけての長期的な世界の輸出入構造の変化を見ると、世界の貿易量は、約1.8倍(年平均5.8%)と大きく拡大した(図1)。中でも、経済統合が進展するE C地域と高成長のアジアN I E S・A S E A N両地域における貿易の拡大が顕著である。また、原油輸出を中心とした中東諸国からの輸出が世界全体の輸出に比べ相対的に縮小した。

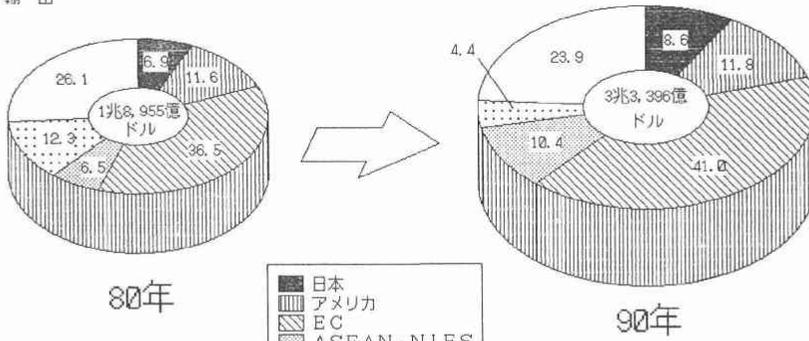
91年の我が国の経常収支は、湾岸支援金拠出の影響により移転収支の赤字幅が拡大したものの(前年比70億ドル)、貿易収支黒字の大幅な増加(同395億ドル)、貿易外収支の赤字幅縮小(同46億ドル)により、一転して黒字幅拡大(同371億ドル)となった。地域別の貿易収支(通関ベース、以下同じ)の動向を見ると(図2)、対アジアN I E S(395億ドル)、E C(274億ドル)の黒字額の拡大、減少傾向にあるものの依然として大きな対アメリカ貿易収支黒字(382億ドル)の存在等、我が国の地域別の貿易収支の構造は多極化しつつあるものと言える。

91年の我が国の輸出は、前年比9.6%増(ドルベース)と近年にない高い伸びとなった。輸出総額の伸びのうち価格上昇は6.5%、数量増加は3.0%と価格面での寄与が大きい。価格上昇の要因としては前年に比して為替相場が円高基調で推移したことによるJカーブ効果に加えて、我が国の輸出財の高付加価値化の進展が挙げられる。

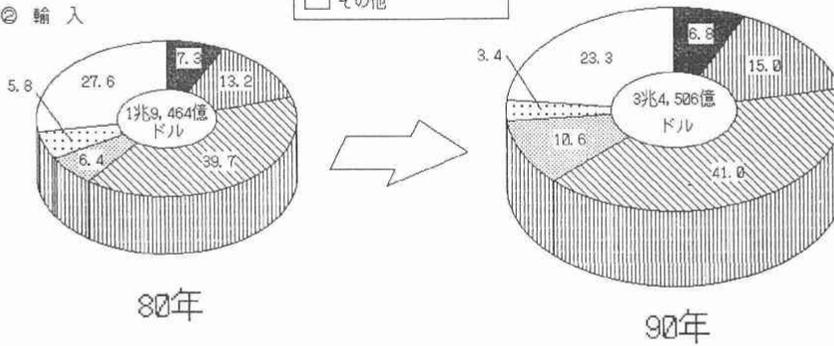
地域別の輸出動向(ドルベース)を見ると、資本財を中心とした東南アジア地域への堅調な輸出の伸びが注目される(アジアN I E S、A S E A N諸国向け輸出合計の、我が国の輸

* 通商産業省通商政策局通商調査室

① 輸出

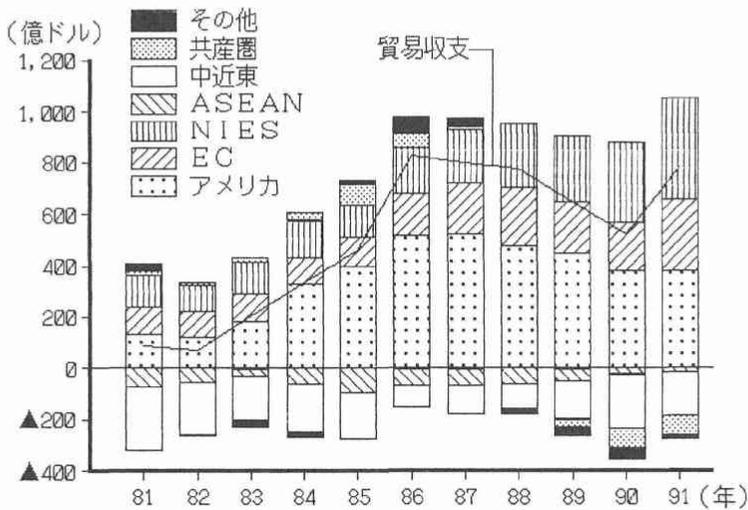


② 輸入



(備考) 世界の輸出総額と輸入総額は、輸出と輸入で統計の取り方が異なることから、数値は一致しない。
 グラフ中の数値は、世界全体の輸出(輸入)総額に占める各地域の割合(%)を示す。
 また、グラフ中央の数値は、世界全体の輸出(輸入)の総額を示す。
 (資料) IMF「DOT」、台湾行政院「自由中国之工業」

図1 主要国・地域の全世界輸出入に占める割合



(資料) 大蔵省「貿易統計」

図2 地域別貿易収支(通関ベース)の動向

出総額の伸びに対する寄与度は4.6%と大きなウェイトを示した)。これは我が国が同地域に対し部品・中間製品を含めた資本財の供給者となっているという、同地域との分業・貿易構造に起因するものと考えられる。また、EC向け輸出はドイツ統一の影響により高い伸びとなった。

91年の輸入は、前年比0.8%の微増となり(ドルベース)、87年以降二桁台の伸びを示してきた輸入の拡大も著しく鈍化した。数量ベースでも3.0%増と90年に比べ伸びは低下した。輸入の鈍化の要因としては、原油輸入価格の低下等による鉱物性燃料輸入の減少、株価・地価の下落に伴う資産効果の剥落による美術品・高級乗用車等奢侈品輸入の急減が挙げられる。また、設備投資の鈍化等を反映した資本財輸入の伸び悩みなどから奢侈品を除いた製品輸入も伸び悩みが見られた。

第2節 ソ連・東欧社会主義圏の崩壊と各国の支援

旧ソ連の国民総生産は、公式統計の発表するところによれば、90年には、2%減と戦後初の減少、91年では前年比17%減となった。命令に依存していた経済において「市場」が十分機能せず、供給側と需要側との間で齟齬が生じていることが原因となっている。都市部においては、流通事情の悪化から農産物を中心に消費財不足が発生するとともに、急速なインフレが進行し、技術者・労働者や年金生活者の実質所得は大幅に減少、一般市民の生活の困難を招いている。これらの問題に加えて、大幅な財政赤字による極度の流動性過剰、貿易の急減、対外債務の増大など困難な問題に直面している。

旧ソ連地域経済の抱える問題点としては、①市場経済の基礎の不備、②競争環境の不備、③生産性の停滞、④中小企業活動の不足による生産主体の層の薄さ等があげられる。経済の混乱や停滞による市場経済に対する不信感の高まりが、経済的・政治的不安定要因とならないようにするために、①流通部門の整備、市場情報の円滑な伝達促進等を通じた市場機能の充実と市場機構に対する信頼の醸成、②独占的企業体の分割や民営化の推進等による競争的市場の整備、③企業経営の自主性の付与、適切な組織・報償システムの形成を通じた生産性向上、④積極的な中小企業の育成等の政策が必要である。

旧ソ連の経済復興は、市場経済に参加する国民の積極的姿勢と、当該地域の自助努力が最も重要だが、それを前提として先進国が同地域のより円滑な市場経済への移行を支援することは有意義である。我が国は、終戦後、市場形成努力、情報の共有、外部経済の内部化等のきめ細かな公的セクターの介入によって、市場メカニズムを補完しつつ自由経済の発展を経験した。今後の同地域への支援に当たっては、各国の要請に応え、適時適切な技術的助言を行っていく体制を整えることが重要である。

第3節 世界のマクロバランスと持続可能な成長の条件

経済の中長期的な最大成長力は、労働人口・労働生産性・貯蓄・資本ストック等の要因によって供給面から制約を受けている。需要の伸びが供給能力を上回る場合、実物面では他国からの財の純輸入によって、資金循環面では他国からの貯蓄の取り入れによって一

時的には需給不均衡が緩和される。

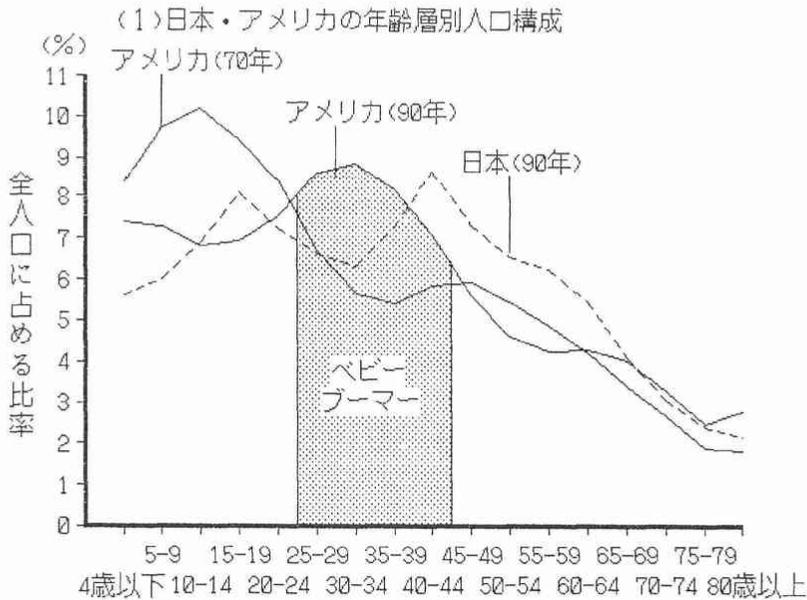
80年代のアメリカでは、金融自由化による消費者信用の活発化やベビーブーマーの消費年齢人口化、財政赤字の拡大により国内需要が急速に拡大する一方で(図3)、供給能力はサービス業等の非貿易財産業へシフトした。我が国では、財政改革による国内貯蓄の増加や資本財価格の低下を通じて設備投資が活発化して供給余力が拡大した。このため主要先進国の対外不均衡が拡大し、国際的な資金移動が活発化した。

現在の世界経済はこの80年代の国際的なマクロ不均衡の回復過程にある。中でもアメリカでは内需の伸びが鈍化しているが、これは消費ブームや財政赤字等によって積み上がった家計・企業・政府の債務削減、ベビーブーマーの壮年化を中心とした人口構成の変化及び住宅・耐久消費財のストック調整メカニズムによる。アメリカ経済が中長期的に持続可

能な成長経路へ移行するには、このようなプロセスを通じて輸出可能な供給能力を充実させる必要がある。

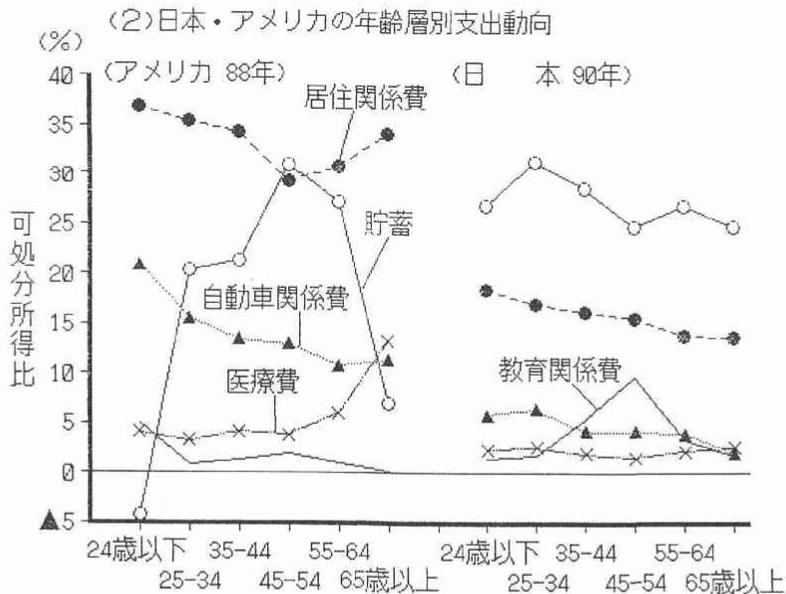
供給能力は、労働供給量と労働生産性によって規定される。我が国の労働生産性は、豊かな貯蓄で投資を行い、資本ストックを増強して量的に生産能力を高めることや、積極的な研究開発活動による技術革新を通じて付加価値の高い財・サービスを提供したり、電気機械産業を中心に高度化・情報化された産業構造へ転換することで高い伸びを達成してきた。

90年代の労働人口が伸びを展望すると、先進国では伸び率の鈍化が予想されている。このため、合理化・省力化投資を通じて労働生産性を高める一方、女性のように必ずしも充分に活用されてこなかった労働力や、国防関連産業のように今後縮小が予想される分野での労働力を活用する必要がある。



(資料)国際連合「WORLD POPULATION PROSPECTS」

図3-(1) 日本・アメリカの年齢層別人口構成



(備考) 1. 支出項目の定義の相違から、厳密な比較はできない。
 2. 貯蓄には、土地家屋借金返済を含まない。
 3. 居住関係費は、住居・光熱水道・家具家事用品・土地家屋借金返済からなる。
 4. 対象は、日本が勤労者世帯、アメリカが消費者世帯。
 (資料)総務庁「家計調査」
 アメリカ労働省「HANDBOOK OF LABOR STATISTICS」

図 3-(2) 日本・アメリカの年齢層別支出動向

第 4 節 我が国の高成長パターンとその変化

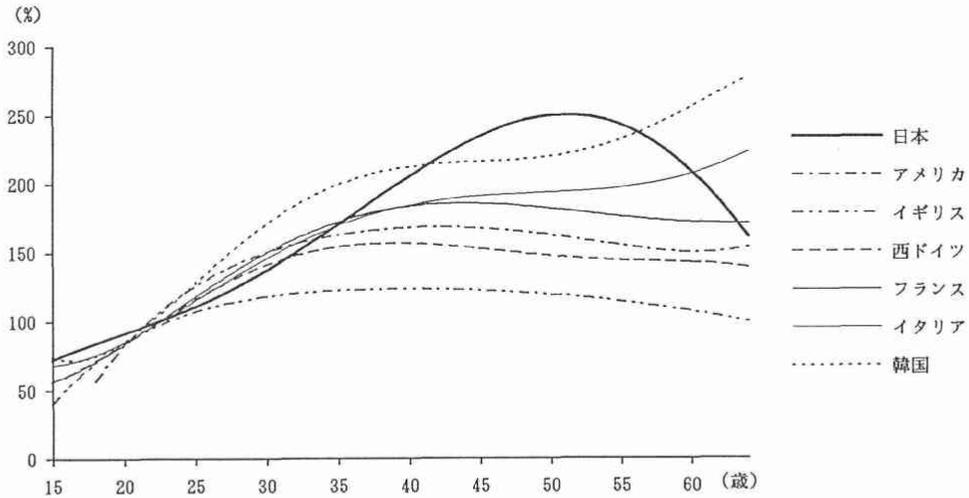
我が国の高経済成長を支えた、①高投資による供給能力の拡大、②高い労働の質の向上のテンポ、③高い貯蓄率というフレームワークの背景には、我が国の企業活動における長期継続的関係を前提としたリスク分散と利益分配のメカニズムがある。

我が国の企業は、取引先、雇用者、株主と、長期継続的関係を前提としてリスクを分散する構造を有する。取引先とは、相互の成長による成果の前提として、契約の範囲を超えた柔軟な取引関係を形成して経営環境を安定化させ、労使関係においては、企業別労働組合、終身雇用慣行、年功処遇制度によって、多くの場合生涯賃金の回収を後ろ倒しし(図 4)、

経営リスクを分散することなどにより企業の拡大・発展を企業・雇用者共通の利益とする傾向が作られた。また、株主も現在の配当より長期的な事業の成長を求める傾向が強い。

取引当事者、雇用者、株主が自らの利益を長期的な視野で見ることにより、企業経営は現在の利益よりも将来の利益への選好を高め、それが長期継続的関係を前提とした柔軟なリスク分散、利益分配構造と相まって積極的な投資の意志決定を促した。こうした積極的な投資によって実現された高成長が将来の期待利益を更に拡大し、関係者の将来利益への選好が一層強まるというサイクルを形成した。

我が国の成長志向の企業活動のフレームワ



- (備考) 1. 20~24歳の平均を100とした指数による推計。
 2. 韓国は全職種、それ以外は製造業管理・事務・技術労働者が対象。
 3. 推計の詳細については付注 参照。
 4. 日本及びイギリスは89年、韓国は87年、アメリカは69年の調査により、その他は72年の調査による。

(資料) 総務庁「労働力調査」、アメリカ商務省「Current Population Survey」、イギリス雇用省「New Earnings Survey」、EC「Structure of Earnings in Industry」

図4 年齢別賃金(男子)国際比較

一は、これまでは経済的に見て合理的な意志決定メカニズムであったが、我が国経済の拡大テンポが過去に比べて相対的に低下していくなかで、将来の主観的な予想利益の低下や現在利益の分配への選好の高まりが見られるようになってきた。さらに、その傾向は近年の通商摩擦の激化に伴う、我が国企業の成長志向型の活動パターンそのものに対する批判の高まりや我が国における価値観の多様化による現時点での生活の充実に対する選好の強まりにより促進されている。

これまでのフレームワークをどのように社会経済の環境変化に適應させていくかを容易に判断できるものではないが、少なくとも、利益分配において現在と将来のどちらを重視するかという選好に関する経済主体の多様性と利益やリスクの分配の在り方についての異なる枠組みの存在を許容するものである必要

がある。今後、価値観と理念を持った国として国際社会において大きな役割を担っていくためにも、我が国が国民的なコンセンサスのもとで新たに形成すべきフレームワークは、自己決定・自己責任の要素をより加味した形で形成されていくことが必要である。

第2章 貿易構造のダイナミックな展開

第1節 精緻な国際分業の進展

70年代から80年代半ばにかけての我が国の産業構造変化の最大の特徴は、加工組立型産業の急速な成長である。この背景には石油危機の影響等による企業収益の悪化及び需要構造の多様化に対応した同産業における積極的なオートメーション化の推進、研究開発の強化等が挙げられる。このような産業構造の変化に加え、円安で推進した為替環境等もあり、我が国の貿易構造は同産業における輸出特化

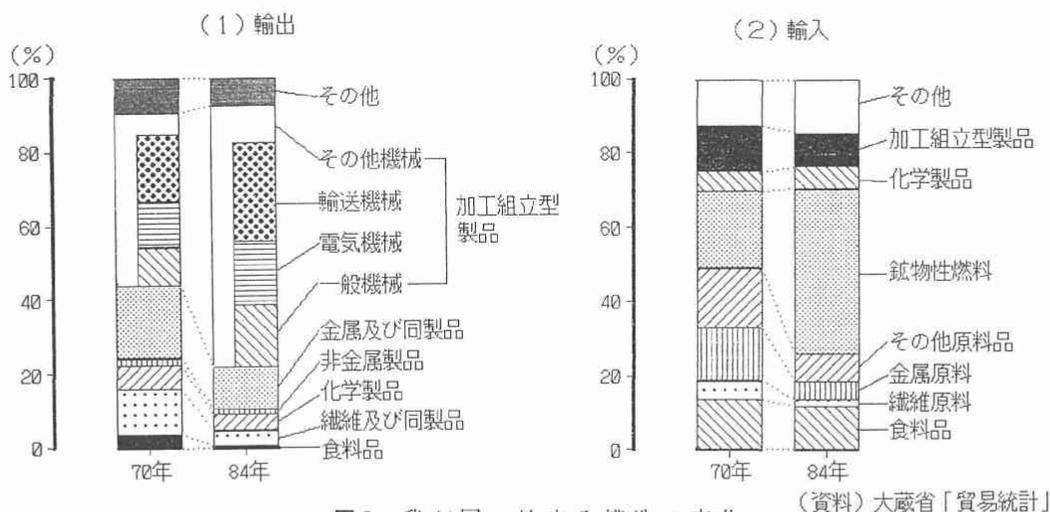


図5 我が国の輸出入構造の変化

の進行、輸入に占める原材料・エネルギー資源の拡大から垂直的な産業間分業の側面が強まった。(図5)。

80年代後半の円高の進展を機に、国内需要の拡大に対応した我が国製造業の内需シフト及び製品のより一層の高付加価値化の推進といった構造的変化、並びに企業活動の国際的展開を背景に、我が国の国際分業構造はより精緻化された分業形態へと変化してきている。例えば、東南アジア地域とは低付加価値製品と高付加価値製品との棲み分けによる垂直的な製品差別化分業並びに部品・中間財の貿易を通じた工程間分業が形成されてきている。ECとの間ではブランド、デザイン等により差別化された製品間での水平的な製品差別化分業が進展した。

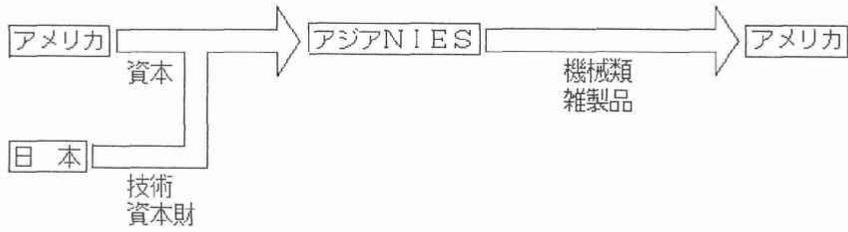
85年以降の我が国の対外直接投資は記録的な規模に達し、投資先国及び投資業種の多様化が見られる。その内容と背景の第一は、我が国企業のアウトソーシングの拡大である。80年代後半の国内需要の高付加価値製品へのシフトと円高の進展による海外生産の有利化は標準的製品や量産品等の価格競争の要素が

大きい製品分野における製造拠点を、国内から東南アジア地域に移転する動きを加速した。第二は、市場密着をめざしたアメリカ、ECへの進出である。この時期、我が国企業の国際企業間提携も活発化している。我が国企業の国際的な企業間提携がこの時期に増加した要因としては、円高にともない我が国市場が外国企業にとって魅力的となったこと、我が国企業の優れた技術力、経営力が認識されてきたこと等が挙げられる。

第2節 急速に深化する我が国とアジアとの分業関係

アジアNIE Sの貿易は、80年代を通して、輸出入共に機械類の比率が上昇し、食料品、原料品等の非製品類の比率が低下した。また、貿易相手国は、80年代前半にはアメリカ向けの輸出、我が国からの輸入が大きいウェイトを占めたが、80年代後半には、輸出入共に貿易量が拡大したほか、我が国市場への輸出拡大等、相手先の多角化も進展した。さらに、80年代末以降、アジアNIE Sの所得向上、ASEAN諸国への直接投資の急増等の要因

①85年以前



②86～88年



③89年～現在

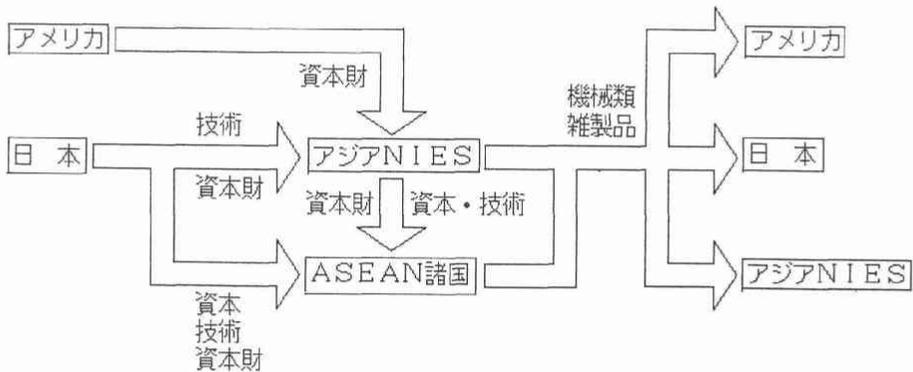


図6 アジア地域の分業構造の変化

により、アジア地域内での取引が拡大してきている。

ASEAN諸国においては、近年、我が国企業を中心とした大量の海外企業の進出により、輸出主導型の工業化が急速に進展しており、これが貿易構造に反映して、特に87年以降、急激に輸出品目の高度化を見せている。地域別には、我が国をはじめ、アメリカ、アジアNIES、EC等主要地域の寄与が大き

く、アジアNIES以上に、外向きの経済発展の色彩が強いと言える。アジア地域においては、我が国—アジアNIES—ASEAN諸国という高度経済成長の連続的な動きが見られ、これは、しばしば「雁行形態的経済発展」と呼ばれている。

80年代を通じ、我が国とアジア地域との分業構造は、我が国企業を中心とする海外企業の進出に伴い、機械産業を中心に工程間分業

が急速に進展した(図6)。我が国から供給される資本財は、アジア地域の生産工程に深く組み込まれているほか、我が国企業は、技術移転や輸入を通じて、同地域の産業基盤の整備、技術力の向上をサポートしている。一方、アジアNIESにおける所得向上による高付加価値品への需要増大等の要因から、近年、我が国とアジア地域との間で垂直型製品差別化分業も進展してきた。さらに、最近では、我が国国内生産拠点におけるアジア地域からの輸入部品の生産工程への組み込みも進みつつあり、我が国とアジア地域との分業関係は急速に深化している。

第3節 複合的かつ精緻な我が国とアメリカとの分業構造

我が国の対米資本財輸出は80年代に一貫して増加する一方、消費財は85年以降の円高・ドル安による価格効果が浸透したこともあり、86年をピークとして88年まで減少し、その後はほぼ横ばいで推移している。資本財輸出増加の背景として、非価格競争力を強化した我が国の高付加価値品に対するアメリカの需要が高まったことに加え、アメリカ企業がアウトソーシングを活発化させる中で、我が国企業のOEM商品や部品の供給が促進され、次第に我が国の輸出がアメリカ産業の中にビルトインされていく傾向が強まったことが挙げられる。

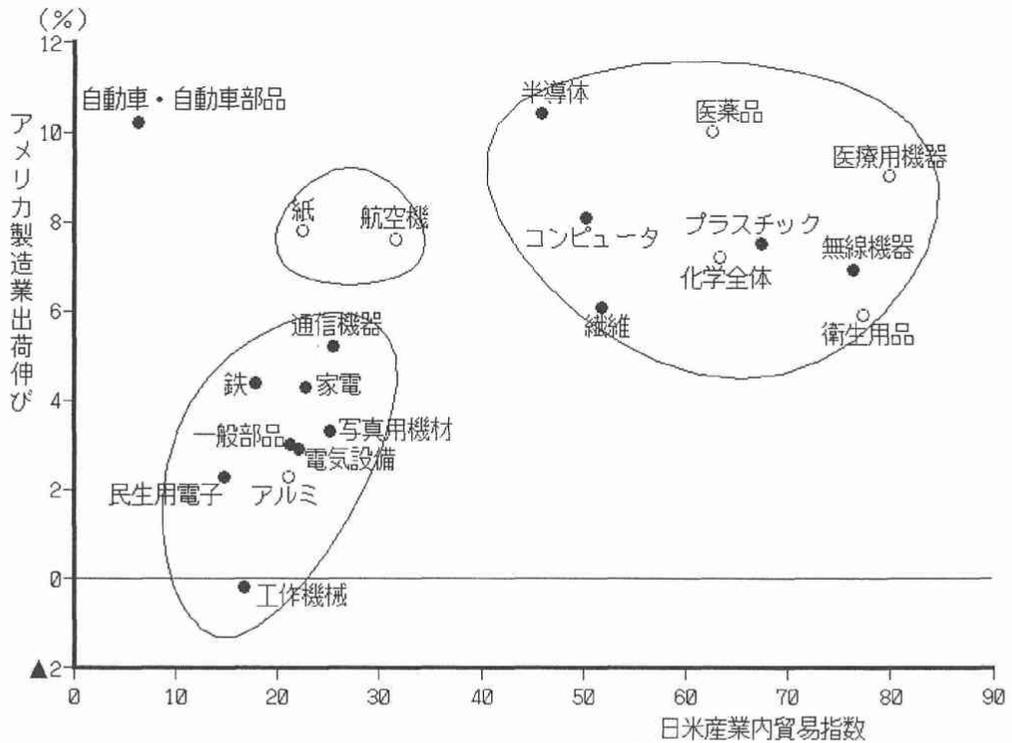
通商産業省の調査によると、まず、我が国の対米完成品輸出の中には民生用電子機器、コンピュータ等のようにアメリカ企業に対するOEM供給分が高い比率を占めている輸出品目も見られる。次に、我が国の対米部品輸出の中には我が国企業の現地子会社向け輸出

のみならず、アメリカ企業向けの部品も相当部分を占めている。また、我が国の対米工作機械の輸出は大部分がアメリカ製造業向けの輸出であり、供給力の十分でないアメリカの工作機械産業を補完していると言えよう。

日米間の貿易においては、アメリカ産業の比較優位構造の変化や我が国の競争力の強化を背景に、民生用電子機器、工作機械、鉄鋼等の産業のように我が国が対米輸出を増加させ、アメリカ市場における供給者としての立場を明確にする一方、アメリカ産業が自国シェアを縮小させた分野がある(図7)。しかし、これらの分野についても現地生産や企業間提携によって相互に補完関係が構築されつつある。そして、アメリカが競争力を維持、あるいは産業内部において比較優位構造を変化させた化学、コンピュータ、半導体のような産業では日米間で産業内貿易が進み、同一産業内でのより細分化された棲み分けが進む形で製品差別化分業や工程間分業が進展していることから、日米の分業構造はより精緻化する方向に向かっていると見えよう。

第4節 製品差別化分業を中心に進む我が国とECとの貿易

我が国とECとの貿易は80年代後半以降、急速に拡大し、我が国の消費構造の多様化等を背景に製品差別化による同一産業内での相互の貿易が自動車、化学、鉄鋼、繊維・衣類等の分野で行われている。他方、電子・電気機器分野では我が国の輸出額が一方的に増加しており、産業内貿易は今のところほとんど進展していない。また、我が国の輸出部品や製造用機械は、EC企業の生産活動にも組み込まれてきており、我が国とECの相互依存



(備考) 1. ●は我が国が輸出超過の財、○は輸入超過の財を表す。
 2. アメリカ製造業出荷伸び率は82~89年平均、日米産業内貿易指数は89年。
 3. i 財の産業内貿易指数 = $(1 - \frac{|X - Y|}{X + Y}) \times 100$
 X; アメリカの対日 i 財輸出額
 Y; アメリカの対日 i 財輸入額
 (資料) アメリカ商務省「INDUSTRIAL OUTLOOK」

図7 アメリカ製造業出荷伸び率と日米産業内貿易指数の関係

関係は質的にも深まっていると考えられる。また、80年代後半以降、EC市場統合の明確化、円高、強まる貿易摩擦等を背景として、対EC直接投資が急速に増加した。在EC日系企業は、現地調達率の上昇や現地での研究開発活動の強化、権限委譲等を通して、現地化の努力も進めている。

80年代後半以降、ECでは設備投資主導型の経済成長が復活し、EC産業の構造変化は進みつつある。こうした産業の構造変化は今のところ貿易構造の変化としては顕在化していないが(図8)、今後EC企業の競争力の強化につながっていくことが予想される。その

一方で、需要・供給ともに今後拡大が見込まれる先端産業において、ECの据野産業が十分に育っていない分野が相当存在する。このような分野で産業力を強化するには、EC企業の販売力・商品開発力等を活用しつつ、高い技術を有する域外の企業とも中間財の調達や商品開発への参画を通じた密接な協力関係を形成していく必要がある。EC企業、我が国企業ともに長期的な相互利益の観点に立って、積極的にこうした協力関係の構築に取り組んでいくことが望まれよう。

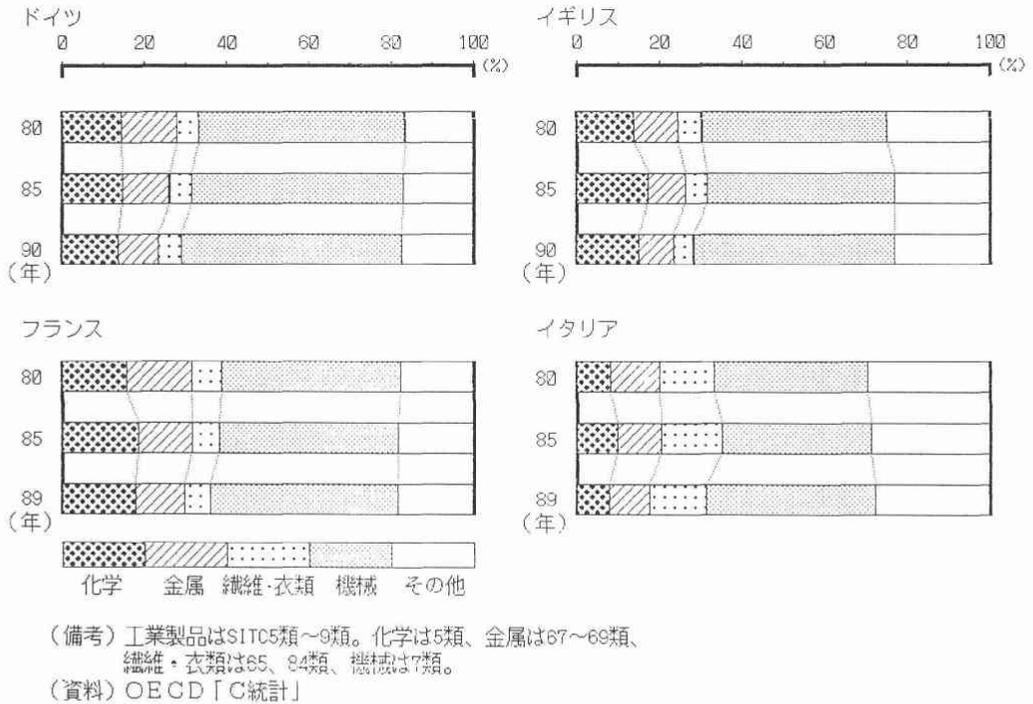


図8 EC主要国の工業製品輸出構造

第3章 自由かつ明確な世界通商システムに向けて

第1節 自由貿易体制の形成と発展

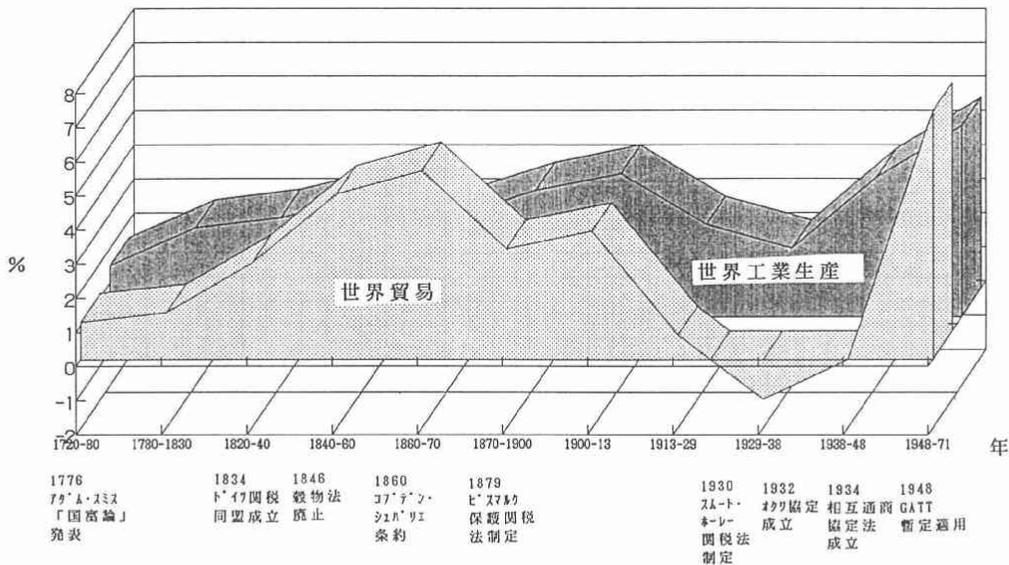
18世紀に産業革命が進展し、世界随一の工業力を持つに至ったイギリスは、1860年までに穀物法等保護関税を基本的に全廃、一方的な自由貿易主義が成立した。1860年には、英仏二国間において最恵国条項を盛り込んだコブデン・シュバリエ条約が成立し、続いて、同様の通商条約がヨーロッパ各国間に網の目のように張り巡らされ、多角的な自由貿易の端緒が開かれた。

19世紀末期、幼稚産業保護論を思想的背景にドイツ、フランス等は保護主義に転換、20世紀初頭の世界恐慌下には、排他的ブロック経済等が次々と形成され、世界貿易は縮小、世界生産も一層低下した(図9)。この自由貿

易崩壊の背景には、当時の自由貿易主義が未だ「強者の論理」の域を出ず、経済厚生全体を高める観点から達成すべき理想であるという認識がほとんどなかったことがある。

戦後、貿易における自由・無差別原則の遵守等を目的とした体制づくりが進められ、貿易面ではGATTが国際秩序として大きな役割を担うようになった。アメリカは、産業上の優位、共産主義陣営への対抗の必要性から、60年代のケネディ・ラウンドに至る度重なる多角的通商交渉を主導した。

1970年代に入り、欧米で保護主義の台頭が顕著となるなかで、多国間交渉により、相互の監視と貿易制限的措置等の撤廃を進める必要性が強まったため、東京ラウンドが実施された。その結果、発展途上国のGATTへの取り込み、一層の関税引き下げ、非関税障壁の軽減等が実行され、GATTシステムは、



(備考) 世界工業生産の1720-80の値は、1705-85の値
 (資料) ROSTOW.W.W.「THE WORLD ECONOMY:HISTORY AND PROSPECT」

図9 18世紀以降の世界貿易・工業生産の実質成長率の推移と通商ルールの系譜

自由世界の大部分をカバーする普遍的システムとなった。

近年、世界の通商はサービス、投資等の極めて幅広い分野と有機的に結び付き、質的に変化している。この中で、GATTを有効な国際通商の包括的枠組みとして発展させていくため、ウルグアイ・ラウンド交渉が開始され、従来の国境措置における機会均等をさらに徹底することに加えて、制度のハーモナイゼーション等のより実質的な機会均等を確保する方向で交渉が進められている。

国際通商ルールの発展の歴史は、一国の自由化から多国間の合意へ、また国境・水際の制度から国内の制度へと進展してきた。今後、世界経済の相互依存関係が深まるにつれて、国際的なルールとすべき事項・制度の範囲と内容が、恒常的な議論と検討の対象になると考えられる。

第2節 通商秩序における複層化と多元化の動き

70年代以降のアメリカやECは各国経済の発展に伴う相対的な地位の低下に直面する中で、GATTルール外の様々な貿易取極や通商政策を展開するようになった。現下の国際的な通商秩序は、URのような一元的秩序の構築と、個別品目分野の通商問題の現実的対応等により複雑化し、多層構造になりつつある。

二国間措置を中心とする現実の通商政策は、国際的な相互依存関係が強まる中で経済的・政治的に多くの国に波及する性格を有し、次のような点でGATT理念のもとにおける一元的な通商秩序に影響を与えている。

セーフガード適用の現実的困難さから増加した輸出自主規制は、発動要因等の透明性に欠けること、現実に世界貿易に占めるウエイトが大きいことから、GATTルール上のセーフガード規定を著しく形骸化させた。しかし近年、輸入国の消費者に不利益との認識も次第に定着し、安易な導入が難しくなってきた。

またアンチ・ダンピングは、不当廉売による損害を相殺する措置としてGATT上認められているが、恣意的な運用の可能性を否定できず、特定の輸出国を狙い打ちすることにより、国内産業保護に濫用される懸念がある。例えば、91年4月、日本系タイプライタ製造企業（A社）が、アメリカ系タイプライタ製造企業（B社）のシンガポール子会社によるポータブル・タイプライタのアメリカへの輸出をダンピングとして提訴し、アメリカの国際貿易委員会により「クロ」の仮決定を受けたが、商務省はA社の提訴適格を認めず調査を打ち切った。一方、B社による日本製パーソナル・ワードプロセッサに関する提訴については、提訴適格を認めているが、B社の米国部品調達比率は、A社製のタイプライタの米国部品調達比率より低いものであった。このようなことから発動要件等のより詳細な明確化が必要である。

一方いわゆる「不公正貿易」に対する一方的報復措置を行使する通商政策の枠組みは、著しく曖昧な「不公正」という概念に基づき、紛争の一方の当事者が独断的に報復の是非を判断するという非常に大きな手続き的問題があるとともに、実体的にもGATTが認める自国産業保護の範囲を超える措置を有し、かつ、実施する国の影響力次第でGATTの紛争処理規定以上の強制力を持つため、事実上このような一方的措置が一次的な世界通商秩序となり、GATTの存在を希薄化する可能性がある。

また80年代には、ECの統合市場の深化を端緒として、NAFTA等の地域経済統合構想が相次いで打ち出され、現実の通商秩序は、GATTルールと地域内通商取極に多元化し

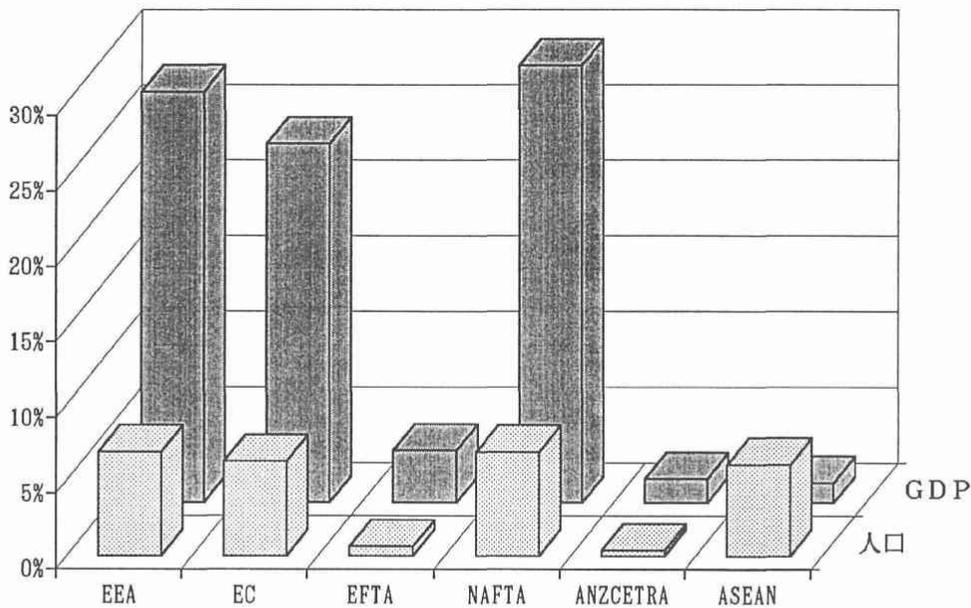
つつある（図10）。

地域経済統合の形成に際しては、域内関税引下げにとどまらず、投資障壁の撤廃や人・サービスの自由な移動、規制や基準認証の統一、公共調達に開放等をはじめとした様々な規制・政策の自由化と共通化が実施され、域内経済成長を高め、世界的な貿易の拡大につながる可能性がある。しかし、貿易転換効果による域外国への悪影響を及ぼすことが懸念される他、次のような点で世界の自由貿易秩序に重要なマイナスの影響を及ぼす危険性を有する。

第一に、GATTの求心力の低下である。地域統合における交渉が先行すれば、それが既成事実化され、GATTレベルの交渉で柔軟な対応がとりづらくなるほか、域内の補完関係が強化されると、世界的な分業を進めるインセンティブが低下する可能性も存在する。

第二に、保護主義的手段の適用機会の増大である。地域経済統合の形成は、原産地規則やセーフガードの選択的適用の適用機会を増大させ、また、そのような対外的影響を拡大する効果を有する。我が国や韓国の半導体メーカーが既にEC各国に後工程工場を設置した後で、半導体の前工程を「実質的工程」とし、これらの企業の製品をEC域内産と認めなかった例がある。

第三に、バーゲニング・パワー濫用の可能性である。統合された地域は、巨大な市場の形成により、国際市場における発言力が拡大される。その力を背景に保護的措置が濫用されれば、域外国の地域統合等による対抗力強化を促し、ひいては通商秩序が、地域間のパワーゲームにとって替わられる可能性がある。



(資料) IMF「IFS」

図10 主な地域経済統合の世界全体に占める比重 (89年)

る。

企業活動の国際化は、自国企業の保護と自国雇用の保護の間に乖離を生じさせている。最近では保護措置の目的が雇用維持から自国企業の保護に入れ替わっている例が見受けられる。保護主義の目的そのものの不明確さは、保護主義的措置の内容を複雑化・不明確化させるとともに、企業にとっての予測可能性の欠如の度合いを増大させている。GATT成立当時においては、国の経済的な役割は、適切な経済政策・通商政策の遂行により、国内の完全雇用に達成することであるという点はほぼ明確に認識されていた。GATTルールの中に認められたセーフガードも、そもそも国内産業を保護する措置は、当該国の消費者

に不利益を与え、一国全体としての経済厚生
の低下につながるものではあるが、当該国の
経済状況を勘案し、失業急増等の産業調整コ
ストを緩和するという観点から、例外的措置
として認められたものであって、自国企業の
保護を認めたものではない。今後、世界の通
商秩序の維持の観点から国内産業の保護が認
められる場合の要件・手続き等についても、
各国間でより冷静な議論が進められることが
期待されるが、少なくとも保護的措置の目的
が国内の雇用の質的向上と量的拡大にあり、
その目的と必ずしも一致しない自国企業の利
益の拡大にあるのではないという点について
は、明確に理解される必要がある。

去る7月13日、私たちは長野県大町市にある、(株)大町エネルギー博物館（以下「エネ博館」）を訪問しました。小中学生を対象としたこの博物館では、実際に見て、体験することによって、科学やエネルギーについて楽しく学ぶことができます。

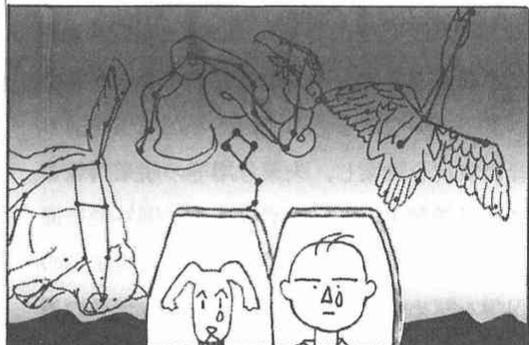
展示物を生み出すまでの苦労話などを中心に取材しましたので、どうぞご覧ください。



展示物の紹介

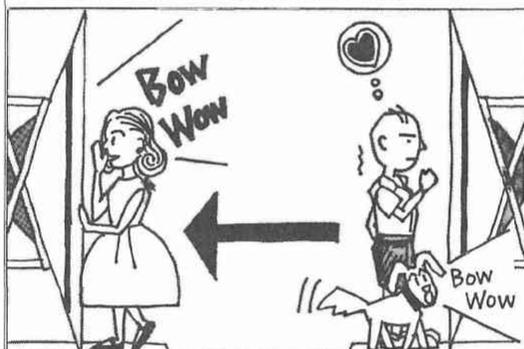


喜多郎のオリジナルBGMの流れる中、地元の民話がスライドで映し出されます。雄大な宇宙の眺めは感動的です。
投影時間30分間（定員60名）



プラネタリウム

昭和51～53年にかけて長野～横手山間でテレビ中継に使われたアンテナ2台が、距離をへだてて向い合っています。音波の反射によって、小声で話しても音が届きます。



パラボラアンテナ

歩いたり飛び降りたりするとランプが光り、「かあさん お肩をたたきましょ」のメロディーが流れます。この機械はつくば科学博の展示品をゆずり受けたものだそうです。



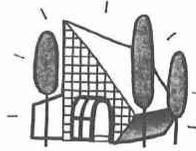
飛び降り発電機

ボタンを押すと、管に通してある赤いリングが、左右に行ったり来たりします。これはボタンを押すことで磁力が起こり、反発力によって飛び上がるのです。



電磁ピンポン

設立当初のお話



このユニークな博物館が開館したのは、今から10年前のこと。もともとは大町市の町おこしの一環として持ち上がった計画のようですが、ちょうどオイルショックの燃料のない時代を経験し、「これからはエネルギーの時代、エネルギーの問題を通して子供たちの社会教育に役立つ施設をつくろう。」という目的で昭和57年の4月に設立されました。

設立当初より館長を努めていらっしゃる村井さんは、実は、博物館に関しては全くの素人だったといえます。博物館設立の話がもちあがり、館長として白羽の矢をたてられた村井さんは、国立科学パイオニアや科学技術館等の博物館施設、更には関係省庁をまわり、

博物館とはいったいどんなものかという勉強をなさったそうです。その結果、「子供たちが物を考える力を持てるような博物館をつくろうじゃないか。」と決意なさいました。

それから10年、現在、エネ博館には村井館長さんと3人の、学芸員と呼ばれる博物館の専門スタッフがいます。子供たちの科学の夢を育みたいという理想に燃えるこの方々がどんな活動をしているのか、次のコーナーでちよつとご紹介してみようと思います。



博物館が行っている活動

発明クラブ



地域の子供たちを集め、週1回開いているクラブ活動です。ここで生み出された作品は、全国の発明コンクールで毎回入賞するほどの出来ばえです。

宇宙トマト



スペースシャトルに一定の期間乗せて、その後、地球に戻したトマトの種を栽培したもので、宇宙空間で受けた放射線がトマトの遺伝子にどのような影響を与えるかを観察しています。希望によっては近くの小中学校に種を配り、普通のトマトとの発育の違いなどを観

察してもらっています。

その他



- エネルギーの写真コンテスト作品展
- 夏休み行事
(FAX交信、手作りおもちゃ教室など)
- 湯道の石仏供養祭
(大町ダム完成による水没地域より移設した石仏29体を供養)
- 工作教室『音リモコンの製作』
(科学技術週間協賛)
- 全日本学生児童発明工夫展・大町移動展など、いろいろあります。

薪ガス自動車(もくちゃん)



いろいろと個性的な活動をしているエネ博館ですが、更にこの博物館の目玉ともいえるべきものをご紹介します。映画『少年時代』にも出演したという人気者、薪ガスを燃料にして走るバス、通称「もくちゃん」です。



信濃大町駅～エネ博館間を走る「もくちゃん」

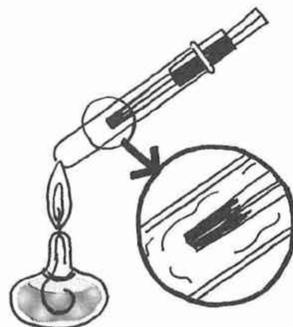
田舎道を“ぼくぼくと”走るもくちゃん。「景色を楽しめるスピードで、旅をするという風情を満喫できますよ。」とは、もくちゃんの運転手を努める学芸員の降旗^{おりはた}さんの弁。

そもそもは、博物館開館の昭和57年に大町市内にあったガス発生炉のメーカーから昭和25年製という窯を譲り受けたのが薪ガス自動車復元のきっかけとなりました。

当初はトラックとして復元する予定でしたが、「せつかく走らせるからには来館者に体験乗車してもらえるようなものにしたい。」ということで、何とかバスとして、それも当時の風情を出すためにボンネットタイプのバスとして復元しようと試行錯誤が始まります。というも、肝心のボンネットバスの車体が手に入らないからです。いろいろ思案したあげく、エンジンおよび骨組みとなるシャシは大町市から払い下げてもらった消防車を使用し、その上にバスの胴体を中抜きして被せ、更にボンネットの部分は消防車からとって付けるというつぎはぎ作業により、ようやく平

もくちゃんはこうして動く

薪を窯に入れて熱を加えるとガスが発生するので、それを燃焼させて走ります。理科の実験で、割りばしを試験管の中に入れ、アルコールランプで熱すると試験管内にガスが充満し、それに点火すると燃焼するのと同じ原理だとのこと。



成2年に完成しました。ガス発生炉を譲り受けてからほとんど10年ごしの復元作業です。

このもくちゃん、実はガソリン走行もできるのです。というより、薪代が高いため、ガソリンで走った方が安くあがるのだそうです。しかも薪を作る業者がないので、降旗さん自ら木を細かく砕いて薪を作っているということで、ちなみに、バスを1回走らせるのに必要な薪を作るのに4時間かかるそうです。

こんな苦勞をしてまで薪バスを走らせている裏には、戦中戦後の物資の不足にもめげず、なんとかして車を走らせようとした苦勞の時代があったことを知ってもらいたい、そしてガソリンでしか車は走らないという固定概念を打ち破り、子供たちに柔軟性のある発想をしてもらいたいという思いがあります。

ゴールデンウィークと8/1～20という期間限定走行のもくちゃんですが、エネ博館の皆さんの熱い思いに押されつつ、晴れ渡った田舎道をのどかに走っていたことでしょう。

今開発しているもの



さて今度は、私たちIAEレポーターが取材にお邪魔した時、まさに開発中だったものについてお話ししてみましょう。

一つは、この夏熱い注目を集めたソーラーカー。各地で様々なレースやイベントが行われたようですが、エネ博館でもその流行に遅れることなく、ソーラーカーを展示品に加える試みをしていました。

外見は遊園地にあるゴーカートのようですが、中身は立派なソーラーカー。もちろん、「体験すること」がモットーの博物館ですから、ただ飾っておくだけでなく、実際に動かして来館者を乗せられるようにときれいに化粧直しをし、耐久性を持たせるため何度も実験を繰り返したそうです。というも、すぐに故障してしまうようでは意味がないからです。いつ、誰が乗っても同じように動く、それによって「太陽のエネルギーってすごい！」そう感じてもらうことが大切なのです。

そして今、エネ博館が力をいれているのが酸性雨の問題です。なぜならこの博物館、雨が降ると、黒部ダム見学や付近の山に登山する予定だった修学旅行の学生たちがどつと押

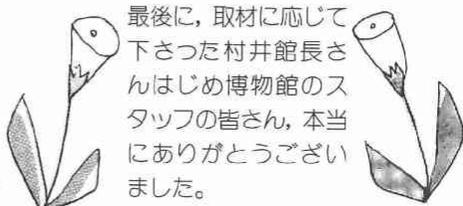
し寄せ、見学者が激増します。その大勢の人々の前で酸性雨の実験をすることができれば、広報価値も高いだろうと考えたわけです。

私たちが取材をした時点では、雨が降るたびにpHを測定し、そのときの気象状況を調べて記録をつけるという作業を行っていましたが、ゆくゆくは、今降っている雨を採ってきて、その場で即座にpHがわかるような装置を導入したいと考えているそうです。

新しいものや今社会で注目されている問題にも積極的に関わっていこうとする姿勢、こうした意欲的な取り組みによって、開館以来エネ博館の展示物はどんどん増加しています。

とにかくやる気のかたまりのような博物館、展示物のほとんどは企業や関係団体からの寄贈によるものですが、そのすべてに創意工夫をこらした改良を施し、体験型博物館に見合ったものに加工してしまうのです。

さあ皆さんもぜひ1度、この遊び心いっぱいの博物館を体験してみてください。エネ博館ならではのユニークな展示物が眠っている感性を刺激してくれるかも……



最後に、取材に応じて下さった村井館長さんをはじめ博物館のスタッフの皆さん、本当にありがとうございました。



★東京方面より

列車で約4時間
東京—中央東線—松本—大糸線—大町

お車で約4時間30分
東京—豊科I.C.—R147—大町

★名古屋方面より

列車で3時間
名古屋—中央西線—松本—大糸線—大町

お車で4時間
名古屋—豊科I.C.—R147—大町

大阪→名古屋→大町 約5時間30分

★糸魚川方面より

糸魚川→大町 約1時間40分

★大阪方面より

日本エアシステム 大阪—松本(通年就航)

	区分	単位(人)	観覧料(円)
一般	大人	1	400
	小・中学生	1	200
団体	大人	1	360
	小・中学生	1	180
備考	特別展示の観覧料は、そのつど発表します。		
備考	●プラネタリウムの投影をご希望の方は、200円増しとなります。		
備考	●団体扱いは30名以上とします。		

■開館時間

通年開館(11月～4月は火曜定休)
AM 9:00～PM 5:00
(入館は4:30まで)
プラネタリウム(投影時間30分間)
午前10:30 午後1:30 3:30
(臨時投影もあり)

●お問い合わせ
大町エネルギー博物館 〒398 長野県大町市大字平・高瀬入 ☎0261-22-7770
●催し物案内テレホンサービス ☎0261-22-2700

奔流となる天然ガスメタノールサイクル発電

よしや こうき
与志耶 劫紀

§1. はじめに

(1) メタノールのエネルギー利用着目の経緯

メタノールは、従来から化学工業用原料として生産され消費されて来ているが、石油危機以降はメタノールをエネルギー（燃料）として利用しようとする動きが現われ、世界のメタノール需要の約10%が石油代替の自動車用燃料として使用された時期もあった。しかし、1986年以降の石油価格の下落に逆比例して経済性の面で競争力を失い、後退を余儀なくされた。発電の分野においても導入の機運は見られたが、メタノール専焼火力の建設や自家発電用ボイラーにおける大量導入には至らなかった。

(2) 最近におけるメタノール発電の本格的導入機運の高まり

最近における地球環境問題の高まりに伴い、メタノールのエネルギー利用が見直され、中でもメタノール発電の本格的導入の機運が高まったことは特徴的である。

①環境対策の面からのメタノール車導入転換

大都市部における自動車公害対策として、自動車用燃料メタノールの導入促進を図ろう

とする動きが、昭和60年頃から活発になってきた。昭和60年3月、運輸省の指導により日本メタノール自動車(株)が設立され、メタノール車の走行試験が開始された。一方、通産省では昭和60年7月に発表した「新エネルギー導入ビジョン」の中で自動車用メタノールについての基本的取組み方を示し、昭和61年に設立された(財)石油産業活性化センターを中心として、メタノール専用エンジンの開発等を含めた研究開発が展開された。

しかしながら、自動車用石油代替燃料としては、都市ガス業界を中心とする圧縮天然ガス車の開発が急速な進展を見せており、業務分野におけるLPG車の普及実績と技術体系から考察すると、メタノール車の本格的導入については楽観的見通しを得ることは困難な状況にあると思われる。

②天然ガス利用の第2サイクルとしてのメタノール発電

石油危機以降エネルギー源の多様化が国策として進められ、発電の分野においても電源多様化が図られてきており、その中核は原子力、石炭及び天然ガスである。

これら三電源の最近における開発状況についてみると、

①原子力発電では、安全性の確保、年間利

用率の高度達成維持、電源三法を中心とする傾斜的立地対策の推進努力にもかかわらず、新規立地は仲々進展しない状況にある。また、近い将来、立地情勢が大きく好転すると判断される要素も余り見当たらない。立地対策における発想の転換が強く求められていると思われる。

②石炭火力発電では、各地で300万～400万kWの大型石炭火力の立地が順調に進んでいる。この要因については、(i)我が国の石炭火力は、高効率の排煙脱硫装置、排煙脱硝装置を設置するとともに、ばいじん対策については吸着灰の再飛散のない「湿式電気式集じん装置」及び「ノンリーク型ガス・ガスヒーター」の採用により、実質的に「Zero リリーズ」の体系を完成し、採用していること、(ii)用地は、大部分が臨海部の埋立により造成されるため、「用地買収・立退き」の対象となる住民が少いこと、(iii)地域住民による反対運動が比較的に弱いこと、地方公共団体における行政当局者の苦勞がやや軽いこと等が特徴的事由として挙げられる。そしてこれらの事由は、地球環境問題への対応上、高効率石炭火力発電の技術開発と導入があれば、近い将来とも変えることはないと思通される。

③天然ガス火力発電では、昭和40年代の天然ガスの導入以来、「LNG」として輸入される天然ガスが利用されている。この「LNG」導入プロジェクトは、現地における液化、輸送のための専用船の建造、国内におけるLNG受入基地の建設などインフラ設備の整備に膨大なコストを伴うため、「大量・長期間安定引取」によるコストダウンを実現しなければならない。従って、天然ガス田から見ると、「大規模かつ良質のガス田」に対象が限られ

るということになる。(また、価格の高い天然ガスの高効率利用技術として、コンバインドサイクル発電方式が採用され、最近立地された天然ガス火力では、プラント効率は48%にも達している。)

今後の電源立地において、原子力発電の未達分については、天然ガス火力により補完せざるを得ないが、事情は欧州・米国等においても同様であり、CO₂排出量削減の最有力手段として各国とも天然ガスへのシフトを明らかにしている。従って、今後のエネルギー市場において天然ガスの奪い合いが急速に激化するものと予想され、現に東南アジアにおけるLNGプロジェクトでは韓国、台湾などの新規参入により我が国の独占は崩れつつある。

このような事情を考察すると、天然ガス利用を原子力発電立地の未達分の補完及びCO₂排出低減のため、より大幅に拡充していくためには、「大規模かつ良質のガス田」だけの開発から、「小規模かつ良質でないガス田」の開発導入の方途を開拓しなければならないこととなる。

ここにいう「小規模」とは当該天然ガス田の可採埋蔵量が大きくない意味であり、また「良質でない」とは、エネルギーとならない成分、例えばCO₂等を多く含むという意味で使わせて頂いている。東南アジア等の天然ガス田ではCO₂が20～30%、場合によっては50%を超えるガス田もあり、このCO₂の効果的処理がガス田開発の課題として、相手国から要望されているケースが少なくないのである。

(3) 天然ガス利用第2サイクルとしてのメタノールサイクルの必然性と発展性

①メタノールサイクル導入の必然性

天然ガスの輸送は、大陸系諸国ではパイプライン網によっているが、海上輸送を必要とする諸国に対しては「LNG方式」が採用され、LNG取引量の7割程度は日本向けとなっている。しかしながら、地球環境問題に対応するためのCO₂削減の手段として、欧州、米国等において「急速な天然ガスシフト」が進むものと予想される。これに伴い、天然ガス利用の第2サイクル（海上輸送を必要とする場合について考察することとする。）として、「小規模かつ良質でないガス田」の有効利用を図るため、メタノールサイクルの導入は是非とも実現しなければならないのである。特に、CO₂を伴うガス田については、CO₂の処理を可能とするメタノールサイクルの導入は必然的なものといえることができる。

②CBM(炭層ガス)メタノールとの合流

CBM(炭層ガス)の実用化は、既に米国で始まっており、数年内には豪州でも本格的採掘が開始される見通しである。この場合、豪州国内での消費よりも、メタノール転換して海外へ輸出する内容で計画は検討されており、CBMメタノールが国際マーケットに登場する日は遠くない。

③太陽、風力、水力等再生可能海外クリーンエネルギー輸送システムにおけるメタノールサイクルとの接続

国のサンシャイン計画で提唱されている「WE-NET構想」では、その技術的実証性、安全性、利用技術の汎用性等から考察すると、「メタノールサイクル」が主流になると予想される。その実用化時期を2010年頃と考えれば、当然、天然ガスメタノール→CBMメタノール→海外クリーンエネルギーメタノールへと接続するメタノール輸送・利用体系

が展開することとなり、かつその主流は発電利用であると考えられるところから、本篇の見出しを「奔流となる天然ガスメタノールサイクル発電」としたのである。(図1：メタノールサイクル説明図)

(4) エネテクトリームとしての「メタノールサイクル発電」の課題

①コストの低減

これまでメタノールのエネルギーとしての利用が進展しなかったのは、単位発熱量当たりの価格が、LNGや石油価格の約2倍(1991年)という「コスト高」に尽きるといえる。従って、天然ガスからのメタノールの製造、輸送、利用(発電等)の各段階でコスト低下の方策を探り、それを実現しなければならない。

②発生CO₂量の削減

「メタノールは製造過程で大量のCO₂発生を伴うから、地球環境対策上天然ガスメタノールサイクルの採用は見合わせるべきだ」との指摘は多い。この指摘は、天然ガスからLNGを製造する場合の熱効率が85~90%であるのに対して、天然ガスからメタノールを製造する場合の熱効率が70%程度に止まることに基づくものと思われる。しかしながら、メタノールサイクルは、①LNG輸送に馴染まない「小規模かつ良質でないガス田」の開発利用に不可欠のサイクルであること、②CO₂もメタノール合成の原料とできること、③メタノール発電技術の高効率化の達成が確実と見通されること等から、CO₂発生量の少ないエネルギーとしての位置付けを失うものではない。

従って、メタノールサイクル側における規模の確保、集荷分散、産地の異なるメタノー

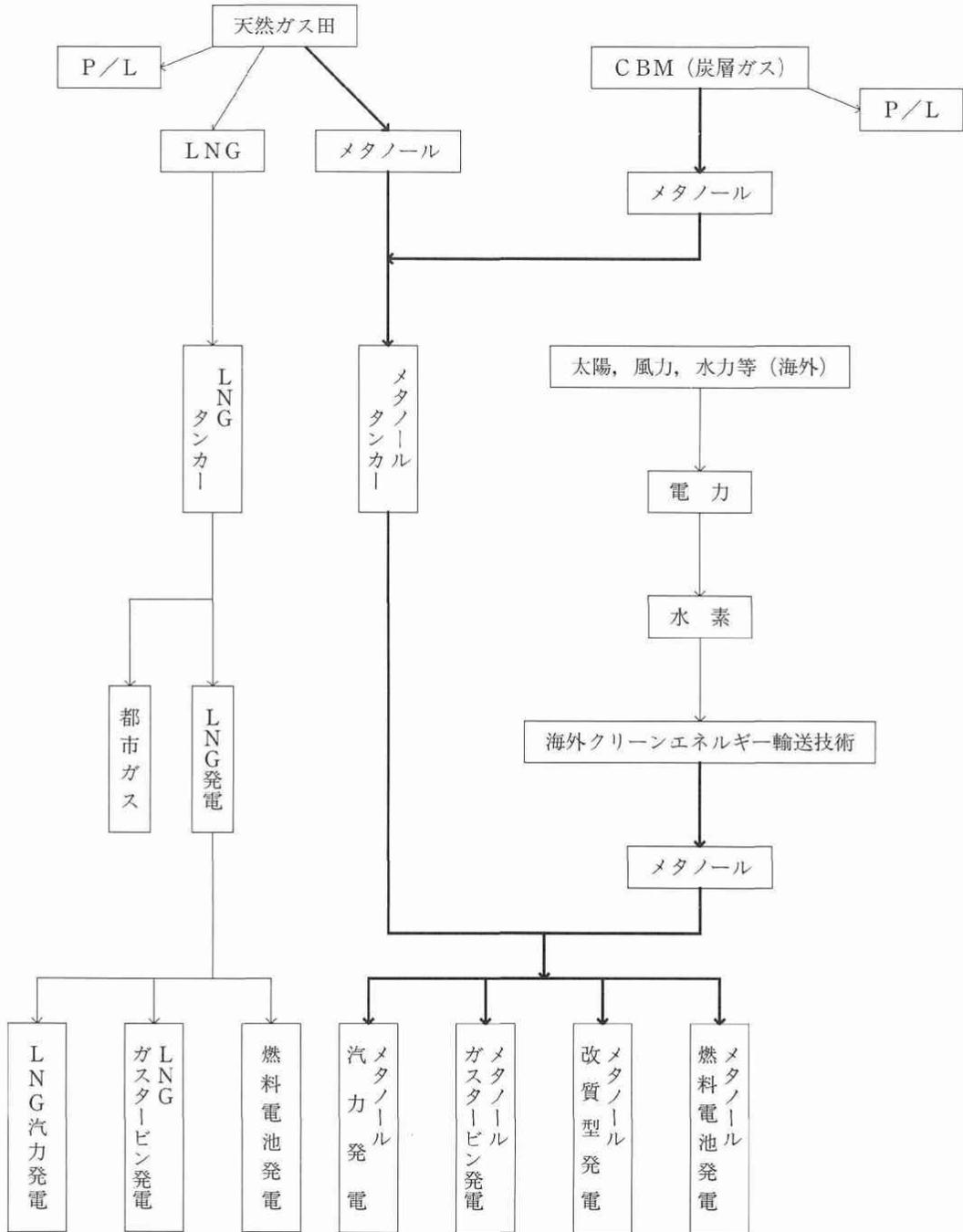


図1 メタノールサイクル説明図

ルの混合による基地設備の合理化等、コスト低減策の達成が、メタノールサイクルの夢を実現する方策となるのである。(天然ガス採掘

におけるCH₄の逸散については、LNG出荷、メタノール出荷の双方に差はない。)

§2. メタノール燃料の特性と環境安全性

(1) メタノール燃料の特性

①メタノールの物性

メタノールは分子式 CH_3OH で示される最も簡単なアルコールで、メチルアルコールとも称する。常温で無色透明な液体であり、特異な香気をもち、水及び多くの有機溶媒によく混和する。その基本的な物性値を表1に掲げる。(表1「メタノールの物性値」参照)

表1 メタノールの物性値

分 子 量	32.04
比 重	(20/4℃) 0.7917 (15/4℃) 0.79577
沸 点	64.65 ℃
引 火 点	11 ℃
発 火 点	470 ℃
爆 発 限 界 (空気中 vol %)	下 限 6.72 上 限 36.5
蒸 気 圧	15℃ 74 mmHg 25℃ 127 mmHg
燃 焼 熱	高 位 5,417 kcal/kg 低 位 4,761 kcal/kg
蒸 発 熱	263 kcal/kg(64.7℃)

②LNGとメタノールの燃料としての特性比較

メタノールはLNGと同様、燃焼ガス中に SO_x 、ばいじんが含まれないクリーンな燃料であるが、分子中に酸素を含んでいるため、LNGに比べて発熱量が $\frac{1}{2}$ 以下と小さく、LNGと同じ熱量を得るには2倍以上の流量(t/h)が必要である。(しかし、LNGは液比重が0.4程度であり、メタノールは同じく0.8程度であるため、輸送、貯蔵面における設備容量は同等である。)また、燃焼温度も低いため、 NO_x の発生量は大幅に低下する傾向にあ

る。

また、燃焼により生ずるとされるアルデヒド類については、国内外においてこれまでに実施された試験例によれば、極めて低い濃度であり、メタノールはガスタービン燃料として、燃焼性、排気性状とも好ましい燃料と評価される。

(2) メタノールの環境安全性について

メタノールは従来から化学製品製造用の原料として広く工業用に利用されてきており、環境安全性についても、消防法、労働安全衛生法、毒劇物取締法等により十分な規制がなされている。また、海上輸送に関しても、船舶安全法、港湾法、港則法、海上交通安全法等により規制がなされているところである。

メタノールの人の健康に対する影響や生物に対する影響については、資源エネルギー庁により昭和56～60年度にわたり、①低濃度メタノールの長期吸入の影響、②メタノールの水棲生物への影響、③メタノールの水中及び大気中での拡散等の挙動の3項目を中心にして、環境安全性実証試験が実施され、有意義な結果が得られている。

以上のとおり、メタノールをエネルギーとして大量に利用するに際しての安全性の確保、環境保全については、十分な見通しが得られており、立地対策上困難が生じることはないと考えられる。

§3. メタノール利用の現状と将来予測

(1) 我が国のメタノール需給

現在我が国におけるメタノールの需要は、殆どが化学製品製造の原料である。1990年のメタノール消費は174万トンであり、その内40

表2 わが国におけるメタノールの供給

(単位：千トン/年)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
カナダ	561	471	532	650	690	674
サウジアラビア	297	331	350	386	388	408
ニュージーランド	153	150	159	177	208	211
マレーシア	24	81	130	170	190	177
チリ	0	0	0	39	124	126
その他	5	0	34	28	0	50
輸入計	1,039	1,061	1,206	1,450	1,600	1,646
国内生産	254	219	178	139	78	84
合計	1,293	1,280	1,384	1,589	1,678	1,730
輸入比率	80.4%	82.9%	87.1%	91.3%	95.4%	95.1%

表3 将来わが国において見込まれるメタノールの燃料用需要

用途	需要量 (千トン)	備考
自動車	0.35	日本メタノール自動車向け150台。1991年実績。
発電	2	メタノール改質型ガスタービン。試験期間1.5年。
発電	1.6	ガスタービン実証試験。
発電	1,600	電気事業審議会需給部会中間報告による2010年のメタノール火力発電の導入見込み(100万kW, 40億kWh/年)より算定。 (メタノール高位発熱量: 5,420kcal/kg, 発電効率: 39.5% [100万kWのうち, 1,300℃級のコンバインド発電(効率: 47%)と単サイクルガスタービン発電(効率: 32%)が50%ずつ導入されるものと想定])
発電	4,170	電気事業審議会需給部会中間報告参考資料による2010年のメタノール燃料電池の導入見込み(240万kW)より算定。 (メタノール高位発熱量: 5,420kcal/kg, 発電効率: 40% [沖縄電力(株)渡嘉敷島発電プラント実績], 発電量: 105億kWh/年と想定)
MTBE	125	全てのハイオクガソリン(平成3年実績ベース)にMTBEを7%混入させ、そのためのMTBEを国内で生産するとした場合。

%以上がホルマリン製造用に向けられている。

日本のメタノール需要の特徴は、欧米と比べ、MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether: ガソリンのオクタン価向上剤。メタノールとイソブチレンから製造される) 用がないことである。しかし、我が国でも1992年にガソリンへのMTBEの混入が認可された

ことから、今後この需要は増加する可能性があると考えられる。

ところで、平成2年6月の電気事業審議会需給部会の中間報告によれば、2010年末においてメタノール火力発電100万kWの導入目標が示されており、利用率70%とすると当該年度において約160万トンのメタノール需要となる。また、2010年には240万kWのメタノール

燃料電池の導入が想定されており、これによるメタノール需要は約420万トンと見込まれることから、発電用として合計580万トンに及ぶメタノールの需要が想定される。これは1990年の国内全需要量の3倍以上であり、供給力は別途手当される必要がある。

メタノール供給面についてみると、95%がカナダ、サウジアラビア、ニュージーランド、マレーシア等からの輸入で賄われている。従って、今後の需要増大に対しては、海外からの輸入プロジェクトにより対処することとなる。

(表2「わが国におけるメタノール供給」参照)、(表3「将来わが国において見込まれるメタノールの燃料用需要」参照)

(2) 世界のメタノール需給

世界のメタノール需要は、1990年で1,815万トンであるが、約4割はホルマリン製造用である。近年の米国及び西欧におけるガソリンの無鉛化に伴い、鉛に代るオクタン価向上剤としてのMTBEの需要が著しい伸びを示している。米国では、大都市地減における自動車排ガス対策として、含酸素燃料を混入させ

た「改良ガソリン」の義務付けが予定されており、MTBEの需要は更に増大する見込みである。

メタノールのガソリンへの直接混合は、1984年から1987年にかけて西独を中心に盛んに行われ、70万トン/年程度使用されたが、1987年のメタノール価格の高騰とMTBEの台頭により下火になり、現在は殆ど使用されなくなっている。

メタノールが主に天然ガスを原料に製造されることから、供給面においては、アジア、オセアニア、中東、中南米などの安価な天然ガスの産地での生産能力の伸びが大きい。現在まで、メタノール製造プラントの稼働率は80%前後で推移してきている。

(表4「世界のメタノール生産能力」参照)

(3) メタノールの価格

メタノールの価格は化学製品の中では最も安いですが、燃料としては原油やLNGよりも割高である。メタノールの平均的な輸入価格はUS\$150/トンであり、これは3.6円/10³kcal、原油価格にして40ドル/バーレルに相当する。

(現在の原油価格が15~19ドル/バーレルで

表4 世界のメタノール生産能力

(単位：千トン/年)

地 域	1983	1986	1989	1990
アジア/オセアニア	911	2,711	2,994	3,030
中東/アフリカ	1,126	2,436	2,436	2,686
北 米	7,341	4,836	5,911	7,110
中 南 米	328	728	1,478	1,507
西 欧	2,505	1,870	2,110	2,970
東 欧	3,690	5,420	5,420	4,980
合 計	15,901	18,286	20,426	22,283
需 要 合 計	13,000	14,301	17,433	18,151
稼 働 率 (%)	82	78	85	81

(注) ニュージーランドの合成ガソリン用は含まない。

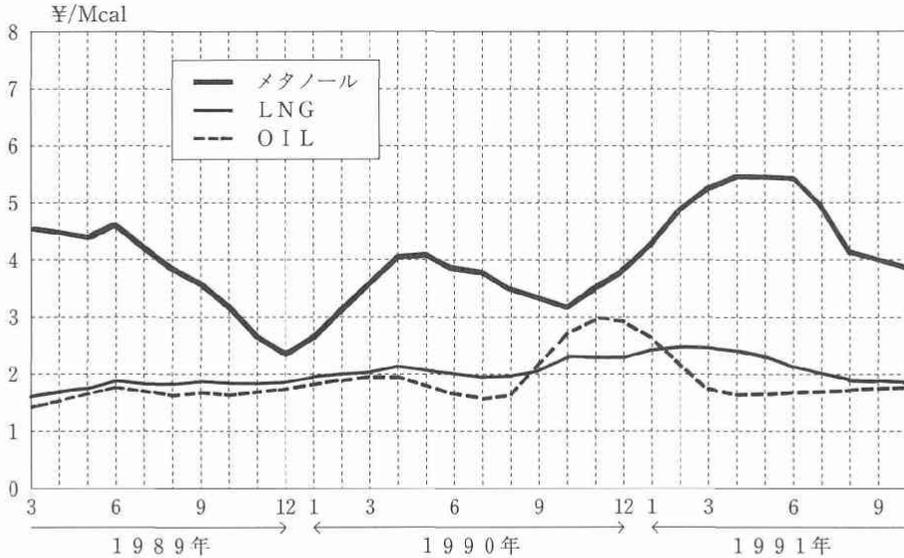


図2 わが国におけるメタノール、原油、LNGのCIF価格の推移

あることを考えれば、かなり割高である。)

また、価格の変動が大きく、原油やLNGにかなり接近したこともあるが、2倍を超えた時期もある。メタノール価格は、需要と供給のバランスに密接に連動し、需給が逼迫すると値上りし、緩和すると値下りするパターンが繰り返されている。これは全体の生産能力が小さいことにより起こる現象であり、今後需要量が大幅に拡大し、生産設備が増加することにより、その変動幅も小さくなるとともに、平均価格も低下するものと予想される。

(図2「わが国におけるメタノール、原油、LNGのCIF価格の推移」参照)

(4) メタノールの海上輸送と、我が国におけるメタノール基地の整備状況

メタノールは安い天然ガスを産出する地域で大型プラントにより製造され、外洋を渡って輸送される量は世界の全製造量の1/3にあたる600万トンに達している。輸送は、汎用ケミカルタンカー、又はメタノール専用タンカー

によりなされており、4万トンクラスが就航しているが、今後10万トン~20万トンクラスへの拡大は十分可能と考えられ、輸送コストの大幅ダウンが期待される。

一方、我が国におけるメタノール基地の整備は全国的に展開されており、海外の産地からのメタノールは一次基地に陸揚げされ、ここから内航船、ローリーあるいはタンク車で二次基地やユーザー向けに輸送されている。大型のメタノール火力発電所が計画される場合は、多量を取扱う必要性から大型一次基地の建設を含めて最も合理的受入体制が検討されることとなる。

§4. メタノール製造技術

(1)メタノールは、一酸化炭素と水素の混合ガス、もしくは一酸化炭素、二酸化炭素、水素の混合ガスを触媒上で反応させて得られる。この混合ガスを通常「合成ガス」という。

メタノール製造プロセスは、合成ガスを製

造する「ガス改質工程」、合成ガスを圧縮して触媒存在下でメタノールに転化させる「メタノール合成工程」、及び合成された粗メタノールから不純物を除去する「精製工程」とから構成されている。

(2)合成ガス製造法として、基本的には「水蒸気改質法」と「部分酸化法」があり、現在は水蒸気改質法が多く用いられている。

省エネルギー、製品歩留りの向上等プロセスの合理化を目標として、研究開発中のプロセスとして、「自己熱改質法」、「低温液相合成法」、「懸濁液相法」、「気相流動層法」等があり、その実用化が期待されている。

(3)精製工程のコストアップは僅か

粗メタノールは、ギ酸メチル、エーテル、アセトン等の低沸点成分、並びに水及び各種高級アルコール等の高沸点成分を不純物として含んでいるので、これらを蒸留で分離する必要がある。この精製工程によるメタノールのコストアップは数%程度に止まるとされているので、メタノール火力発電の実用化を考えるに当たっては火力機器の寿命保持等の見地から、「精製メタノールの導入」として計画が立案されるものと考えてよい。

(図3 「メタノール製造基本工程図」参照)

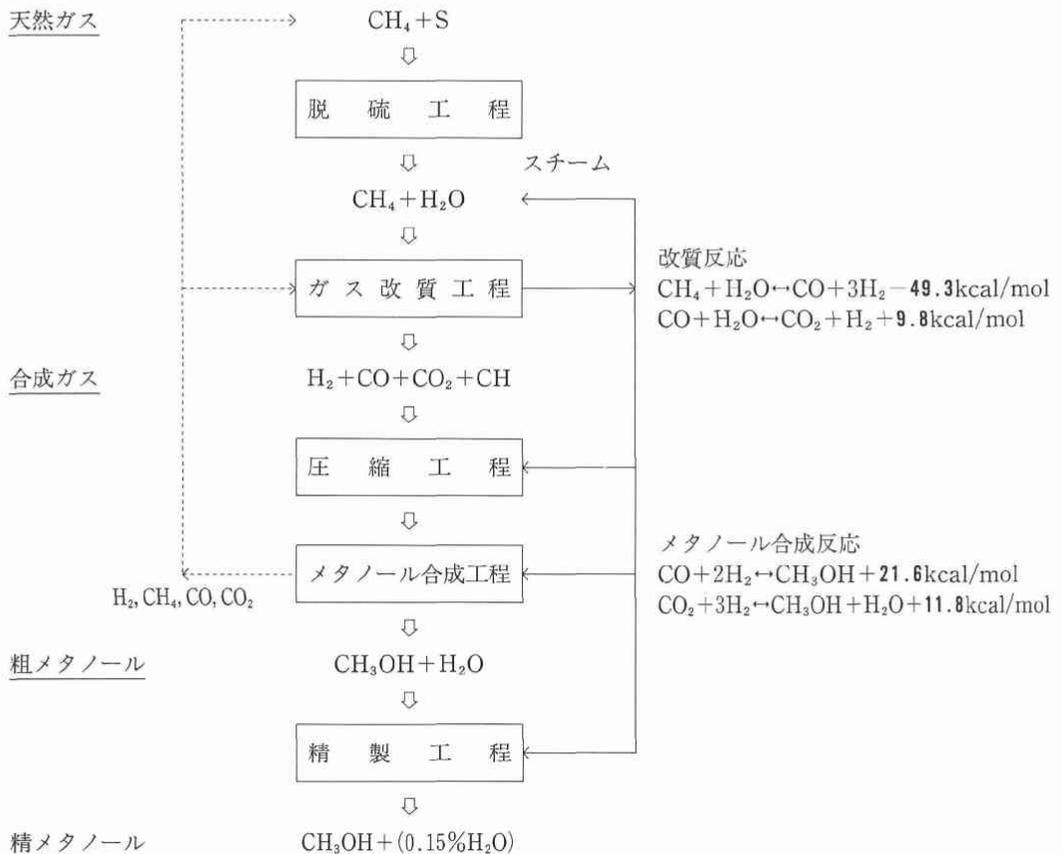


図3 メタノール製造基本工程図

§ 5. メタノールを燃料とする発電技術

(1) 汽力発電（ボイラ燃焼）技術

メタノール焚きボイラは、LNG焚きボイラと比較し、ボイラ本体は同等であるが、煙風道設備はやや大規模となる他、バーナーは構造上異なったものとなる。また、燃焼排ガス中の水分が多いため、水分蒸発潜熱分の損失の増加及び水分による機器腐食防止のための排ガス温度上昇による損失が増加するため、ボイラ効率は低下する。

このようにメタノール焚き汽力発電は、技術的には十分可能であるが、他の燃料と比べて効率が低く、採用上不利となる面を有しているため、NO_x発生量が大幅に少なくなるとしても、大型火力での採用の可能性は少ない。

(2) ガスタービン発電技術

メタノールのガスタービンへの適用については、燃料燃焼設備の若干の変更により在来のガスタービンでも利用が可能である。LNG、石油系燃料と比較して、NO_x発生量の大幅減少（60～70%低減）が可能であり、出力の向上が図れる等、メタノールはガスタービン用燃料として優れた燃料といえる。実用プラントの場合、排熱回収によりプラント効率の向上を確保するコンバインドサイクル発電方式が採用されることとなる。

(3) メタノール改質型ガスタービン発電技術

メタノール改質型ガスタービン発電は、メタノールを改質することで、水素リッチの燃料ガスを生成し、ガスタービンの燃料とする発電方式であり、改質にガスタービン排熱を利用することにより、排熱回収による効率向

上が期待できる。既存技術の組合せで実用化可能であることから、低コストで効率向上を図る方式として注目されている。

現在、資源エネルギー庁、NEDOによる1,000kW級パイロットプラントの実証試験（§ 6 参照）が実施中であるが、将来の実用化段階では更に高効率化を目指して、汽力サイクルと組合せたコンバインドサイクル発電が志向されるものと考えられる。

(4) 燃料電池発電技術

メタノールを燃料とする燃料電池には、メタノールを直接電解液と混合して用いる「直接型」と、メタノールを水素を主とする改質ガスに改質して利用する「間接型」がある。直接型は小型電源に、間接型は小型から地域発電設備までの広い範囲の発電設備として考えられている。間接型のリン酸型燃料電池（PAFC）は最も実用に近く、現在商用化を目指して電池や改質器等の主要機器の性能向上、プラントとしての信頼性の向上、コストダウンに対して研究開発がなされている。

メタノール燃料電池発電は、天然ガス燃料電池と比べ、改質反応が低い温度で極めて容易に反応が進行し（メタノール：200～300℃、天然ガス：800℃附近）、脱硫器やCO転換器が不要であるため、発電プラントとして高い発電効率が得られる。

以上のとおり、今後のメタノール利用発電技術は確実に実用化段階を迎えようとしており、当初は天然ガスを原料とするメタノールの導入からスタートするものと予想される。

§6. メタノール燃料に関する国のプロジェクト、政策の現状

石油危機以降メタノールは石油代替エネルギーの有力候補の一つとして注目され、国レベルにおいても、そのエネルギー利用に関する技術開発プロジェクト等が実施されている。また、メタノール燃料の導入促進を図る政策も発表されてきた。

(1) 発電用

メタノールの発電用燃料としての利用に関しては、資源エネルギー庁により昭和56年度から開始された「石油火力発電所メタノール転換等実証試験」がある。本試験は、昭和60年度まではメタノール燃料の供給、利用に関する調査、メタノール環境安全性実証試験等が実施され、昭和60年度からはメタノール改質型ガスタービンの開発研究が開始されている。メタノール改質型ガスタービンは、1,000kW級のトータルシステムプラントが中国電力(株)大崎試験発電所に設置され、平成3年度で設置工事が完了し、平成4年度から平成5年度まで実証試験が行われる予定である。

メタノールは燃料電池の燃料としても優れており、工業技術院のムーンライト計画の一環として、離島用リン酸型燃料電池発電システム(メタノール燃料、出力200kW)の開発・運転研究が行われている。この試験は、平成2年度末に終了したが、良好な結果が得られている。

発電用メタノール燃料導入への関心の高まりを受けて、資源エネルギー庁では平成3年度から3ヶ年計画で、メタノールのガスタービンでの実機燃焼試験データの評価を主目的

とする「メタノール火力発電所の環境影響調査」を実施中である。

(2) 自動車用

自動車用メタノール燃料については、資源エネルギー庁、運輸省、環境庁などにより、その導入に関する施策が行われている。

資源エネルギー庁では、(財)石油産業活性化センターを通じて、「自動車用メタノール燃料の利用に関するフィージビリティ調査」を実施しており、平成4年1月現在で38台のメタノール自動車(ディーゼルタイプを含む。)が試験走行中である。

運輸省では、主として業務用トラックのメタノール燃料化を推進しており、すでに150台程度のメタノール自動車が導入されている。

環境庁は、昭和62年度に低公害車普及基本構想を発表し、その後のメタノール自動車普及促進懇談会(平成元年度)での検討を経て、現在は公害健康被害補償予防協会の基金による助成策によりメタノール自動車を含む低公害車の普及を図っている。

(3) 導入政策

資源エネルギー庁では、昭和60年7月に「新エネルギー導入ビジョン」を発表したが、その中でメタノール燃料の導入促進を図る必要があるとし、行政側として考慮すべき基本的事項の検討、評価を行った。

また、発電用に関しては、平成2年6月の電気事業審議会需給部会中間報告において、2010年までに100万kWのメタノール火力発電の導入を目標とすることが明示された。

また、燃料電池については、政府の長期的普及見通しの中で、2000年までに30万kW、2010

年までに240万kWのメタノール燃料電池が導入されるとしている。

環境庁では、メタノール自動車普及懇談会の検討を踏まえ、メタノール自動車を含む低公害車の普及促進のための助成策を実施中である。

§7. LNG供給の硬直性とメタノールサイクルの融通性

(1) LNG供給プロジェクトの硬直性

日本に輸入されているLNGのガス田は世界に数ヶ所あるが、場所によりその性状はまちまちである。このため、天然ガスを液化してLNGとする場合に、不純物やメタンより沸点の低い窒素等の非凝縮性ガス、重質炭化水素は分離されるものの、LNGの成分のうちメタン、エタン等の主成分の割合はガス田により異なっている。このため、産地の異なるLNGの混合は、安全確保上、これを避ける必要がある。

LNG供給プロジェクトは、インフラ設備の建設費が高いことから、スケールメリットを確保するため「大量・長期間安定引取」契約となっているが、この産地の異なるLNGの混合不可能性も供給プロジェクトの硬直性を更に強めているのである。

(2) メタノールサイクルの弾力性、融通性

天然ガスメタノールは、①粗メタノールから精製メタノールとする精製コストが数%程度にすぎないこと ②精製メタノールの成分は天然ガス田の産地を問わず、ほぼ一定（メタノール99%以上、他は水分）であることから、容易にメタノールタンカー内で混合可能である。このことは、生産規模の小さい複数

のガス田からのメタノール集荷が容易であることを意味している。また、国内の受入基地のタンク内における混合が可能であることは、タンクの共用を可能とし、コスト低減を可能とする。

このように精製メタノールの輸送、取扱いは極めて弾力性、融通性に富んでおり、明らかにコスト低減をもたらすものと考えられる。

§8. むすびーメタノールは安くできる

天然ガスメタノールの価格を安くする方策としては、次のような事項があると考えられ、現時点では定量的な議論はできないが、これら諸方策を組合せて実施することにより、目標の達成は可能になると予想される。

①需要増大に見合うメタノール生産設備の増強による価格変動の小幅化

§3-(3)で述べたとおり、現在のメタノール価格の大幅変動は全体の生産能力が小さいことに起因する現象であるので、今後の需要増大に見合って十分な生産設備の増強がなされることにより、その変動幅は小さくなり、かつ平均価格も低下するものと予想される。

②大規模需要創出によるメタノール供給プロジェクトにおけるスケールメリットの追求

メタノールガスタービン発電所は出力100万kWで年間約160万トン（利用率70%）のメタノール需要を創出する。この量は1990年の我が国の全需要174万トンに匹敵するものであり、現在の大型設備2,500トン/日（年産約75万トン）を6,000トン/日（年産約185万トン）レベルへのスケールアップを可能とする。このようなメタノール生産設備の大型化ととも

に、受入基地におけるタンク等諸設備の大型化によるメリットを確保することが可能となる。

③メタノールタンカーの大型化による海上輸送コストの大幅低減

現在就航中のメタノール専用タンカーは、積載量4万トンクラスが最大であるが、将来は大型化し、10万～25万トンクラスのタンカーが使用されるものと予想される。これら大型メタノールタンカーは基本的には現在の化学用メタノールタンカーと同様であり、技術的な問題はない。海上輸送コストは大幅に低減可能である。

④メタノール製造設備の大型化、技術改良による設備コスト、製造コストの低減

⑤随伴CO₂の有効利用による開発対象天然ガス田の拡大と低コストメタノールの製造

§1.(2)及び(3)で述べたとおり、天然ガスメタノールサイクルは、CO₂発生抑制のため天然ガスの利用を拡大するには不可欠の技術であり、未利用のガス田の開発利用を可能とする。「小規模かつ良質でないガス田」、すなわち「小規模であり、LNGプロジェクトに馴染まないガス田」「CO₂を随伴するため未利用のままにされているガス田」から、CO₂を有効利

用(CO₂の割合が15%程度が最適といわれている。)して合成するメタノールは、その合成工程の短縮等により明らかに経済性を有するものと見込まれる。

⑥メタノールの発電技術の効率化、大型化による発電コストの低減

LNG火力も昭和40年代の導入当初においては、石油火力より3～4割は割高とされていたが、SO_x、ばいじんを排出しない無公害火力として大都市地域で導入されていた。現在ではインフラ設備の償却が進み、缶前価格において石油と同等程度の事例も出現している。メタノールサイクルについても、償却の進展に伴い、同様の傾向をたどるものと予想される。

そして、この天然ガスメタノールサイクルには、近い将来CBM(炭層ガス)メタノールが合流し、更に2010年以降は、WE-NET構想に基づく太陽、風力、水力等再生可能海外クリーンエネルギー輸送技術によるメタノールシステムに接続されることとなる。まさに、メタノールサイクルは、21世紀初頭において奔流となるのである。(図、表の出典は(財)エネルギー総合工学研究所報告書「メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査報告書(平成4年3月)」等に拠らせて頂いた。)

(了)

研究所のうごき

(平成4年7月1日～9月30日)

◇ 月例研究会

第94回月例研究会

日時：8月28日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 中ホール

議題：

1. エコ・ステーションについて
(通商産業省資源エネルギー庁石油部流通課揮発油販売業務班長 成瀬茂夫氏)
2. 固体電解質型燃料電池発電システムの研究状況について
(東北電力株式会社技術開発部技術調査課 岩城秀雄氏)

第95回月例研究会

日時：9月25日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 中ホール

議題：

1. ニュー・サンシャイン計画
(通商産業省工業技術院サンシャイン計画推進本部技術班長 奥田昌宏氏)
2. 水素エネルギー
(エネルギー技術情報センター長 大塚益比古)

◇ 主なできごと

- 7月7日(火)・第1回エネルギー環境予測検討委員会開催
- 8日(水)・第81回原子力プラントの信頼性に関する研究会
- 14日(火)・第4回原子力熱エネルギー利用基盤研究調査委員会開催
- 16日(木)・第1回原子炉安全数値解析高度化委員会開催
- 20日(月)・第1回FBR F/Sプラント概念評価検討W/G開催
- ・第1回地熱技術開発用高温高压実験装置検討委員会開催
- 21日(火)・第1回EDB石炭技術分科会
- ・第4回21世紀の技術とエネルギー委員会開催
- 27日(月)・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会開催
- ・第1回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査委員会開催
- 29日(水)・第1回FBR F/S要素技術評価検討W/G開催
- ・第2回原子炉安全数値解析高度化委員会開催
- 30日(木)・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃棄物再利用分科会開催
- 8月3日(月)・第1回高効率発電技術調査委員会開催
- ・第1回中規模都市における未利用エネルギーを利用した高効率エネルギー供給システムモデル調査分科会開催
- ・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置物量等分科会開催
- 18日(火)・第1回分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査委員会開催
- 19日(水)・第6回コンセプト研究会開催
- 26日(水)・第1回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会開催
- 27日(木)・第1回新エネルギー技術開発の展開に関する調査研究委員会開催
- 28日(金)・第1回廃棄物発電に係る技術検討会
- ・第7回非在来型天然ガス・コールベッドメタン調査分科会開催
- 9月1日(火)・第2回エネルギー環境予測検討委員会開催
- ・第1回メタノール火力発電所の環境影響評価実証調査委員会
- 3日(木)・第2回原子炉総合数値解析システム実用化調査委員会開催
- 7日(月)・第5回非在来型天然ガス・深層天然ガス調査分科会開催
- 8日(火)・第1回地層処分研究会開催
- ・第5回21世紀の技術とエネルギー委員会
- 9日(水)・第2回FBR F/Sプラント概

- 念評価検討W/G開催
- ・第1回家庭用電力最適運用機器システム検討委員会
 - ・第6回非在来型天然ガス・メタンハイドレート調査分科会開催
- 9月14日(月)・第1回高度負荷集中制御システム検討委員会
- 16日(水)・第4回非在来型天然ガス調査委員会開催
- ・第1回分解軽油の利用拡大に伴うA重油品質のあり方に関する調査・打合せ開催
 - ・第1回分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査幹事会
 - ・第2回FBR F/S要素技術評価検討W/G開催
 - ・第2回軽水炉技術開発の方向に関する調査委員会開催
- 17日(木)・第1回日本における原子力発電のマネージメントカルチャーに関する調査委員会開催
- 22日(火)・第82回原子力プラントの信頼性に関する研究会
- 28日(月)・第1回レーザー濃縮新技術経済性調査委員会開催
- 30日(水)・第1回高効率発電技術調査勉強会
- ・第1回高度負荷集中制御システム検討委員会・システム分科会

◇ 人事異動

○7月1日付

(採用)

- 福井康博 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属
- 松本一彦 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属
- 成田寿治 研究顧問を委嘱
(期間は平成6年6月30日迄)

(昇任)

吉江照一 副主席研究員に任命

(退任)

- 業務部長 大栗正隆 (出向解除)
プロジェクト試験研究部
主任研究員 瓜生宏之 (出向解除)

○7月8日付

(採用)

五十嵐和正 業務部長に任命

(退任)

プロジェクト試験研究部

主任研究員 栗山和重 (出向解除)

○7月15日付

(採用)

原田義也 主任研究員に任命

プロジェクト試験研究部に配属

○7月16日付

(採用)

吉田隆夫 主任研究員に任命

プロジェクト試験研究部に配属

(退任)

プロジェクト試験研究部

主管研究員 重田 潤 (出向解除)

○7月27日付

(採用)

和久英樹 主任研究員に任命

プロジェクト試験研究部に配属

(退任)

プロジェクト試験研究部

主任研究員 岩城秀雄 (出向解除)

○7月31日付

(退任)

経理部 摘田徳文 (依願退職)

○8月1日付

(採用)

大久保憲一 主任研究員に任命

プロジェクト試験研究部に配属

◇ その他

グランドソーラーチャレンジ事業の実施

主管：グランドソーラーチャレンジ推進会議

主催：石川県 富山県 福井県

(財)エネルギー総合工学研究所

○第1回ジャパンエキスポ富山'92参加

～「ソーラーチャレンジランド」出展

期間：平成4年7月10日(金)～9月27日(日)

会場：太閤山ランド(富山県小杉町)

○ソーラーエネルギーフォーラム富山

日時：平成4年7月9日(木)

会場：第1回ジャパンエキスポ富山'92会場内

- ソーラーボートレースイン三方五湖
日時：平成4年8月23日（日）
会場：三方五湖・三方湖（福井県三方町）
- ソーラーフェスティバルイン金沢
日時：平成4年8月22日（土）～29日（土）
会場：石川県西部緑地公園（石川県金沢市）
- ソーラーカーラリーイン能登
日時：平成4年8月30日（日）
会場：能登有料道路及び千里浜海岸（羽咋）
- ソーラーエネルギー国際シンポジウム
日時：平成4年9月5日（土）・6日（日）
会場：石川厚生年金会館（石川県金沢市）

第11回エネルギー総合工学シンポジウム開催

日時：平成4年7月15日（水）
会場：abc会館ホール
テーマ：「非在来型天然ガス資源の展望」

◇ **海外出張**

- (1) 蛭沢重信主任研究員は、高レベル放射性廃棄物処分の状況調査のため、7月12日から7月18日の間、スイスに出張した。
- (2) 佐藤富男主任研究員は、「SPECTRUM '92 参加廃棄物管理米加調査団」に参加し、8月22日から9月4日の間、アメリカ、カナダに出張した。
- (3) 柴田誠一常務理事は、「日本コージェネレーション研究会 第8回海外ミッション '92」に参加し、8月26日から9月9日の間、アメリカ、メキシコに出張した。
- (4) 植村卓司主任研究員は、「第11回電気自動車国際シンポジウム」出席及び電気自動車使用状況調査のため、9月25日から10月8日の間、イタリア、スイス、イギリス、フランスに出張した。
- (5) 蓮池 宏主任研究員は、「第11回電気自動車国際シンポジウム」及び「IEA電気自動車国際協力に関する専門家会合」出席のため、9月26日から10月3日の間、イタリアに出張した。
- (6) 鹿毛 量副主席研究員は、実用発電用原子炉廃炉技術調査のため、9月28日から10月11日の間、フランス、イギリス、ベルギーに出張した。

編集後記

本号の巻頭言は、ご就任早々の飯田孝三日本原電社長から戴いた。社長としての氏の決意の程が率直に吐露されていて、今後のご活躍が期待される。なお同氏は昭和55年から当研究所の監事を、そして61年からは理事を務めていただいている。

さて季報充実刷新の意欲が余って、本号はやや分厚くなり過ぎた。厚すぎず薄すぎずという編集は意外に難しい。

理事長対談には、本年6月、駐米公使から通産省の地球環境問題担当審議官になられた川口順子氏にご登場いただいた。経済発展と環境保全がどこまで調和できるものか、いま人類は容易ならざる問題に直面している。

所外からの寄稿は3編である。

平田賢氏（東大名誉教授）がエネルギー有効利用の推進に以前から並々ならぬ努力を払ってこられたことは改めてご紹介するまでもないだろう。

中富泰三氏（通産省）には、資源エネルギー庁の研究会—電力と技術懇談会—の報告書がまとまった機会に、その概要を紹介していただいた。実はこの研究会の事務局は当研究所

が務めていた。

竹井友二氏（通産省）による通商白書の紹介は昨年度にならう試みである。

所内からは5編である。

岩城秀雄主任研究員には固体電解質型燃料電池について、津久井豊主管研究員には高速増殖炉の新技术について、土持綱久主任研究員には水素吸蔵合金について、また蛭沢重信主任研究員には高レベル放射性廃棄物の処分について、それぞれ読みごたえのあるものをまとめてもらった。

吉澤専務理事と森主任研究員の連名記事は、本年5月に東京で開かれた国際会議ニュー・エレクトリシティ21の概要報告である。

今度のエネテクトリーム21はメタノール発電をテーマにしている。

そして女性チームによる訪問記は、3回目ともなるとさすがに安定感が出てきたように思われる。その上、今回のイラストはチームの一人が書いたもので、彼女は学校時代マン研の副部長だったことがわかった。ことわざにいわく、野に遺賢ありと。（大塚益比古記）

季報エネルギー総合工学 第15巻第3号

平成4年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社