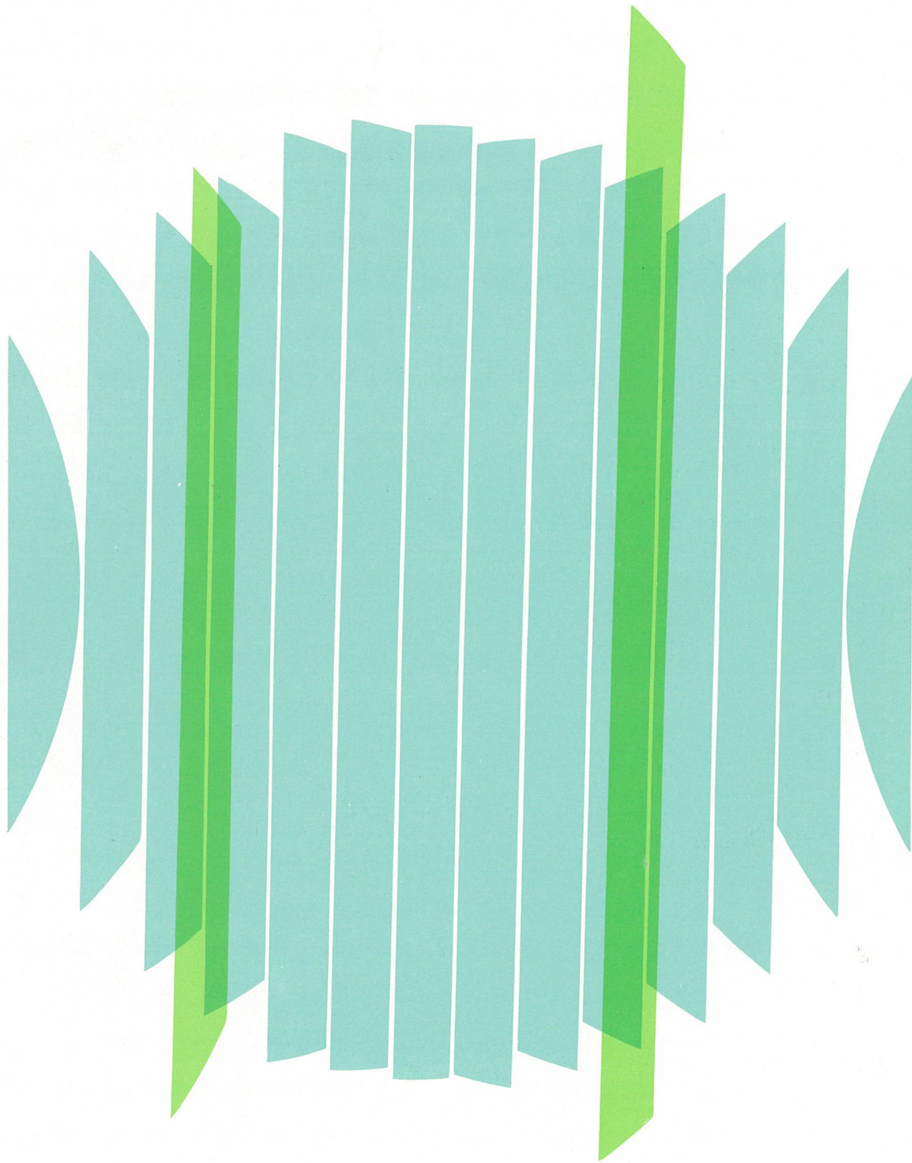


季報 エネルギー総合工学

Vol. 13 No. 4 1991. 1.



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

目 次

環境・資源・エネルギーの統合戦略

.....(財)エネルギー総合工学研究所 理事

(財)日本産業技術振興協会 副会長 窪 田 雅 男..... 1

原子力発電の現状と課題.....秋 山 守..... 2

中国原子力紀行.....松 井 一 秋.....22

電気自動車の導入とその社会, 経済, 環境・エネルギー的インパクトの研究

.....越 川 文 雄

高 倉 毅

岸 孝 雄

蓮 池 宏.....29

ソーラーカーの開発動向.....白 江 孝 俊.....39

有害廃棄物に関する環太平洋国際会議.....矢 島 宏 一.....55

研究所のうごき.....62

環境・資源・エネルギーの統合戦略

(勸)エネルギー総合工学研究所 理事

(勸)日本産業技術振興協会 副会長

窪 田 雅 男

昨年はケンブリッジ大学のホーキング教授らによる宇宙論や、エコロジーに関する地理的歴史的問題など、環境に関するグローバルな話題が関心を集めた。このような知識に触れるにつけ、時間的にも空間的にも、人間の営みのわい小ささが痛感されると共に、突きつめて言えば、神と永遠を信ずるか、刹那主義を採るかの選択に直面せざるを得ない。仮に物理的に永遠が有り得ないとしても、地球上において最高度に進化した生物としての人類の存在を肯定する限り、豊かで生き甲斐のある生活を現世代において実現するばかりでなく、子々孫々に至るまで末永く維持されるように努力することは、モラルの基本である。

わが国は、戦後産業の急速な復興のために、石炭の傾斜生産が行われ、次いで中東に豊富に発見された石油を輸入してエネルギーの大量消費に備え、高度成長を実現したが、それに伴って多くの環境悪化を招いたことは周知の通りである。環境破壊を避けるためエネルギー消費の節減と効率化が提唱されているが、十分な効果はこれからである。

賦存量から見て、新規発見を加えても石油は後40年ないし50年、石炭は後300年前後と言われている。核分裂原子力発電も環境問題と共に資源の有限性が問題であり、究極のエネルギー源として核融合発電が期待されているが、その成否は未知数である。太陽エネルギーを始め、リサイクル可能な種々の自然エネルギーの利用は緒についたばかりである。このような状況で、50年先、あるいは300年先はどうなるかについては、全く予知できない。日常生活ばかりなく、産業界においても経済性の重視から使い捨ての風潮が強く、リサイクルのない資源浪費がまかり通っており、まさに「後は野となれ山となれ」の刹那主義であり、ローマクラブの「成長の限界」も甘いものと言える。環境と資源エネルギーの対策もバラバラである。

事ここに至れば、我々は想を新たにして、人間性(Humanity)の尊重を基本とし、環境(Environment)重視を前提として、資源(Resources)・エネルギー(Energy)問題解決のための統合された戦略(Integrated Strategy)を確立して推進すべき段階ではないであろうか。些か冗戯に類するが、()内の頭文字をつないだHERE-I Sは、プランここに在りという意味を込めて、PLANの上に冠するにふさわしいように思われる。(くばた まさお)

原子力発電の現状と課題

秋 山 守

皆様方には日頃なにかとご支援を賜わっておりますことを、この席をお借りして、まずは厚くお礼申し上げます。

さて、本日は原子力の現状と課題についてお話をさせていただきますが、なにぶんにも大きな題目ですので、どうしても概略的な内容に終始するかと思います。そのため、個々の事柄については専門的にとくに耳新しいことをお伝えできず、果たしてご期待に沿えるかどうか分かりませんが、それはともかく、ご出席の評議員の皆様が最近の原子力発電の全般的な動向を概観なさる上で、なにがしかのご参考になればと願いつつ、早速始めることにします。

1. 数字でみる原子力発電の実績

お手もとの資料の中に「数字でみる原子力発電の実績」をまとめてあります（付表1）。

新聞等でもご案内のように、現在、世界で27カ国が原子力発電をしております、一番新しいところではメキシコがこの8月に参入（営業運転を開始）しました。それから中国が、上海にほど近い杭州湾北岸の秦山でもって、自力で原子力発電所を建設しており、そのプラントが来年にも立上がろうという状況です。

原子力発電をしている国の国勢をまとめて世界全体と比較しますと、人口では現在約50

％、中国を含めた場合には約75％の人が原子力発電国に住んでいることになります。

国土面積の割合を見てみますと、現在50％強、中国を入れると約60％になります。

GNPでは、先進国の多くが原子力発電をしている関係で、80％強を占める勘定になります。

中でも、原子力発電プラントの最大の保有国はアメリカでして、現在約110基が稼働しています。

ところが、アメリカは国も大きく、エネルギーの使用量も格別に多いこともあって、発電電力に占める原子力発電の割合という意味からは、一番ではありません。トップはフランスです。

現在、世界で運転中の原子力発電プラントは423基、3億3,700万kWで、建設中や計画中のものを入れれば5億kWの規模にのびります。

アメリカは、1979年にスリーマイルアイランド（TMI）の事故が起きて、それ以降は新規の発注は途絶えています、以前からの契約に基づいて79年以降、実に45基の原子力発電プラントが新たに建設され、運転に入っています。

世界の原子力発電がどんな原子炉によって行われているかを見てみますと、量的にはお

よそ9割がたが軽水炉（加圧水型原子炉（PWR）と沸騰水型原子炉（BWR））です。

古いプラントでは運転開始からすでに30年ほどが経過しました。1957年に作られた最初のPWRである Shippingport 炉は、つい先年、解体撤去されましたが、ほぼ同年代の他の原子炉はまだまだ活躍中です。原子炉のこれまでの運転経験を全部総和しますと、約5,500炉年にもなります。

次に原子力で発電をした電力量ですが、1989年の1年間に1兆8千億 kWh ということでありまして、発電電力量に占める原子力の比率は、世界全体で約17%、国別ではフランスが最高で約75%、それからベルギー、韓国、ハンガリー、スウェーデンと、どちらかといえば人口の比較的少ない国々が続きます。

原子力に1/4以上の電力を頼っている国は13カ国にのぼり、日本もその中の一つです。

さらにもう一言付け加えれば、89年の1年間で、中東諸国の年間生産量の半分に匹敵する約4億トンの石油を節約した勘定になり、また、それに伴って世界の炭酸ガスの放出を7%ほど減らす効果が上がりました。

さて、わが国の原子力発電の状況ですが、運転経験の一番長いプラントでは約20年を経過しており、今日では商業用の原子力発電プラントは39基、設備容量3,148万kWに達しています。このほか、建設中、計画中のものもあります。BWRとPWRとはほぼ半数になっています。

昨年の実績では、原子力発電は総発電電力量の25%強、全エネルギー需給のうちの約8.9%を受持ちました。これはもちろん、全エネルギー中の石油のシェアである約58%、石炭17%、天然ガス10%などの数字に較べれば、

まだ少ないわけですが、今後さらに伸びることが予測されています。

その他、原子力産業の売上高とか、従事者の数、原子力研究の投資などについても、資料に見られるような状況です。

2. 原子力発電を巡る社会的情勢

次に、原子力発電を巡る社会的情勢についてお話をいたしますが（付表2）、まず原子力発電に関する社会的な議論の特徴はどうか、という点では、第1に政治的な影響が依然として、あるいは益々といいたしうか、非常に強いことが挙げられると思います。

例えばスウェーデンでは、12基の原子力発電プラントをこれ以上増やさず、漸次解体撤去していく方針を、すでに国民投票によって決定しています。計画によれば、差し当たり1995年と96年に1基ずつ廃止する予定でしたが、その後、現実問題としていろいろ考えてみると、大変なことだということで、国内の議論が沸騰している状況です。

またドイツを見ますと、連邦政府と州政府の、いわゆる二重規制のようなことになっており、このたび原型炉のTHT Rという高温ガス炉を廃止することに決めた件でも、その取扱いを巡って、政治的、経済的な多くの議論があったようです。

アメリカの例では、ニューヨークに近いシヨールムという原子力発電所の問題があります。このプラントは貴重な電力源として国も運転開始を期待しており、またNRC（原子力規制委員会）も安全上の問題はないと結論を出しているのですが、地元のニューヨーク州が頑固に反対しているために、事態が難航しています。

立地問題に関していえば、原子力発電所の立地もさることながら、とりわけ放射性廃棄物の処分場について、海外でもなかなか議論が詰っていない状況です。

このように、燃料サイクルの課題が前面に出てきたことが挙げられるほかに、傾向として、最近ではグローバルな視点に立った国際協力の強化が重要になっていることが挙げられます。これはとくに、チェルノブイルの事故のあと、放射能の影響には国境がないという認識が深まったこと、そして、情報交換とか、技術支援が一層大切になってきたことによるものです。ソ連や東欧の原子力の設備、技術の実態を詳細に知れば知るほど、やはり国際的にできるだけの協力をしなければいけないと、誰もが実感していると思います。

さらに、国際的にユニフォームな、言ってみればどの国でも通用し、どの国にも適用させたい安全基準を整備していくことが大事ですし、また次の世代の原子炉を目指して、基礎体力的な安全余裕の向上につながるような、さまざまな新設計構想や改良策を検討していくことも、これからの大きな課題だと考えます。その際、効率的に仕事を進め、成果をできるだけ共有していくという意味において、国際協力を期待するところがますます大きいいえるでしょう。

もう1点は、情報公開を通して信頼感を持ち安心を得たいとする公衆の動きです。ソ連のベレストロイカ、グラスノスチは、最近いささか混乱気味ですが、良い方向に落ち着いてくれば幸いだと思います。

次に、原子力に対して厳しいファクターを並べてみたものが、「向い風」と書いた中身ですが、第1は、TMIだとかチェルノブイル

といったような、およそ日本の原子力関係者には想像もつかなかった起因・背景による、大きな事故が発生し、それが世界的に衝撃を与え、広くかつ深刻な余波を残している事実です。そのほか、ソ連、東欧における問題プラントの存在と、これまで情報が遮断されていた社会体制への反発、それから世界的にはプルトニウムや放射性廃棄物の課題があります。

一方、原子力に対してやや追い風かと思われるものもいくつか出てきています。一つは中東湾岸情勢の急変で、これは偶然的ともいえますが、私はむしろ長期的視野に立てば必然と受け止めるべきだと思っています。我々は以前、石油にどっぷりと漬かってきて、1973年のオイルショックで目を覚ましたはずですが、その後、石油の情勢が緩むにつれて、再び気も緩んできたとしか言いようがありません。

時間の大きな流れを考えれば、今回のような緊張状態はもちろんのこと、もっと厳しい状況すらも、いつか起きるかもしれないと、常々心に留めておくべきだと考えます。

もう一つの話題として地球環境問題が急速に浮上してきました。酸性雨や気候温暖化の問題の解決にとって、原子力が役立つことへの理解も徐々に広がっているようです。最近の世論調査をいくつか見てみると、1990年1月のエネルギー情報工学連絡会議の国内調査結果では、原子力の重要性は「ある」と回答した人が7割にものぼった、という統計が出ています。

ケンブリッジ・レポートが89年11月に実施したアメリカでの世論調査によれば、やはり7割から8割ぐらいの人が、一般論として、

原子力は重要なエネルギーの選択であると、前向きな回答を示しています。

チェルノブイル事故の影響がやや遠のいた今日、スウェーデンあたりでも、6～7割の人は、原子力が重要なオプションだと考えるようになっており、世界的に見て、一般論としては、多少いい方向に向っている様子です。もっとも、各論的にはまだまだ難しい問題があることも事実です。

さらに、これは私のやや希望的な観測に基づく見解ですが、身近な学生の様子を見ているかぎり、偏見をもたない若い世代が次第に力をつけてきていることを感じます。原子力に関心をもつ学生数は、欧米ではかなり減ってきており、わが国でも似たような傾向がないわけでもありませんが、それは偏見によるものではなくより魅力的だと彼等を感じる他の分野との競合の問題であるのです。

原子力が今後とも素晴らしい実績を残すと同時に、関係者が絶えず努力して、さらに魅力的な課題と環境を整えていくことが、高い関心の獲得につながる鍵であって、このことを是非ここで申し上げておきたいと思います。

3. 国別に見た動向

こんどは国別にみた動向についてお話しいたします（付表3）。

まず日本ですが、これはもうご説明するまでもなく、関係の方々の大変な努力の結果として、今日では世界最高のレベルに到達しています。最近では、改良軽水炉の開発がハイライトの一つです。

わが国の軽水炉に関しては、1975年頃から改良標準化が始まり、それはABWRとAPWRの二つの改良型軽水炉を主な対象とする

第3次改良標準化をもってひとまず終了しました。現在は現実にABWRが建設に向けて動き始めているところです。

既存炉も改良炉も、そして次世代軽水炉の構想についても、すべては軽水炉高度化の推進というスコープの中で活動が展開されており、国と電力とメーカーの協力のもとで、体系的かつ組織的な取り組みが行われています。

次は海外ですが、アメリカはTMIの事故の頃から、先ほど申上げましたようにその後の新規発注が途絶えています。電力需要は伸びており、近年、深刻な電力不足に直面しています。とくに東海岸の北のほうでは、供給電圧を下げて、なんとか凌いだというケースや、現実に停電が発生したケースが昨年から今年にかけて報告されています。

アメリカの場合には、原子力発電所が、これから先の大きな電力源として蘇ることを期待しているのですが、なかなかそれが現実のものとならないため、現在動いている100基強の原子力発電プラントの運転に関し、現行の認可の上限である40年を、最長で20年ほど延長しようとする動きが出ています。

もちろん、それにはNRCの許可が得られればという条件があることですが、最近NRCがその案を『官報』に出し、これに対する意見を求めています。目下、それを巡る議論がなされている状況です。

運転年数を60年間くらいに延すことで、21世紀初頭までつないでいき、その間に新規のプラントを立ち上げようとする戦略でありまして、このいわゆる長寿命化（設備寿命期間内での許認可寿命の延長）のプログラムには相当に力を入れています。

一方では、新しいタイプの原子炉の開発と型式承認の動きがあります。これには大型炉と中小型炉の二つのカテゴリーがあり、とくに後者に関しては、設計を極力単純化して、スケールデメリットを打消すことを狙うのが特色となっています。90年代の比較的早い時期に、型式承認をとるものが出てくると期待されています。

アメリカの原子力発電は、1987年に100基体制、そして88年に1億kW規模に到達しており、現在、総電力量の中での原子力発電の比率は約19%で、石炭火力の50%に次いで多いのですが、先ほど申上げたような理由で、なかなか次の大きなうねりがこない。そこで、この辺でテコ入れすることも考慮してか、ブッシュ政権が年内にも国家エネルギー戦略を、原子力を大きな目玉としながらまとめる意向のようです。

さて、話しを欧州に移しますが、こちらのほうはECの統合を目前に控えて、原子力に限らずすべての産業分野で再編成の動きが非常に活発になっています。いうなれば競争と協力の混在した流動的時代を迎えたわけで、伝えられるところによれば、例えばベルギーでは電力会社が3つありますけれども、これが近い将来合併する旨、90年2月に合意されたとのこと。アメリカと欧州の多数の原子力関係企業がそれぞれ合併会社を作り、お互に、というよりも、今はどちらかといえば一方的にアメリカにベクトルが向いているようですが、そういった企業がそれぞれ生残りを賭けて、協力体制を熱心に敷きつつあるというのが現状です。

イギリスは本来はガス炉を自分の国で開発してきたわけですが、途中からPWR路線に

変更しました。そして、長い公聴会のプロセスを経た今日、サイズウェルBというPWRを建設中です。これに続いて2、3、4号機をそれぞれヒンクレイポイント、ウイルファ、サイズウェル(C)に設置するべく検討していましたが、紆余曲折の結果、今の状況ではどうも2号機以降は実現は見込薄となっているようです。その一方で、コールダーホールのリプレースの計画なども積極的に打ち出されています。

イギリスには北海の油がありますので、原子力は一時期スローダウンしていましたが、近年、21世紀を睨んで再び原子力に力を入れるようになりました。とはいっても、サッチャー政権下における国営企業民営化の取り組みにからむ諸問題やら、全般的な財政制約等の問題やらが重なって、必ずしも思うようなペースでは進んでおりません。ちなみに、1990年3月の電気事業組織の再編成の結果では、原子力発電は国のほうに残った形となっています。

フランスは相変わらず、一貫して原子力発電も再処理事業も強力に推進しています。ただ最近では、ご他聞にもれず、放射性廃棄物処分場のサイトを巡る問題などで時々国内の議論が目立つようになりました。

フランスはイタリア、イギリス、スイス、ドイツなどに向けて、原子力発電でできた電力のうち、昨年の実績では約12%を輸出しました。今後も欧州の電力の輸出元として引き続き頑張っていくために、最近、原子力庁(CEA)と産業界のそれぞれの役割を一段と明確化し、またCEAの研究開発部門では安全保障と研究開発のための体制を強化するなど、戦略的に取り組んでいます。原子炉メー

カーのフラマトムを中心として、次世代原子力発電システムの検討も進めています。

ドイツは、先ほど申し上げたように、州政府の行政権限が強いこともあって、いろいろと議論の多いところでもあります。再処理事業については、経済性の問題などもあって国内の計画を当面断念し、フランスとイギリスに委託することに方針が転換されました。

それから、旧西ドイツは旧東ドイツの原子力・エネルギー・環境の問題をいっぺんに抱えてしまいましたが、旧西ドイツの安全基準に照してみると、旧東ドイツのソ連製原子力発電プラントはみんな不合格というような状況で、これを如何に解決していくかが大きな課題となっています。压力容器の安全対策、格納容器の設置、安全設備容量の増加などを筆頭に、改善を要する点が多く、長期的になんとかそれらに対応しようとする考えもありますが、実際のところは先が見えないのだろうと思います。

別の見方をしますと、ドイツ全体として旧東ドイツの原子力発電サイトを手に入れたともいえるわけで、うまく運ばば、この国の原子力発電にとって将来の発展の足掛りを得ることができる、と考えても良いかと思います。

次はスウェーデンであります。この国はエネルギーの消費レベルが際立って高いのが特徴です。一人あたりの電気の使用量を見ますと、イギリス、ドイツに比べて2倍から3倍にも近い値です。

従いまして、電力の消費を2割か3割減らせれば、原子力発電を相当控え目にしてもやっていけないわけではないのですが、やはりこれまでの高い生活水準や産業の活力を維持するためには、現在のエネルギー消費レベル

はそう簡単に下げられないものでして、代替エネルギーを何に求めるか、大変な議論になっているところです。

1989年の世論調査では、国民の8割が2010年以降も原子力発電が存続すると見ているそうですし、また、つい最近の投票結果では、1995、96年に各1基廃止することに待ったが掛った状況です。

このような複雑な議論のある一方で、よく調べてみますと、8基あるBWRの出力を少しずつ増やすことを政府のほうで認めた結果、合計で50万kW分の容量増大になったと報じられています。つまり、中小型炉1基分くらいが現実には増えた勘定ですから、やっていることと大義名分がどうも一致していないように思えるのです。

さて、時間もありませんので、スイス、イタリアあたりの事情はおおむね省略しますが、ただ、イタリアについて一言申し上げますと、アンサルドという大きなメーカーのエンジニアに先日「イタリアは将来のエネルギー資源を何に求めようとしているのか」と質問したところ、肩をすくめ、苦笑しながら小さな声で「フランス」と答えてくれました。たがいに大笑いしたことはいうまでもありません。

ソ連、東欧につきましては資料（付表3）に書いてあるような状況です。VVERは西側の加圧水型原子炉にほぼ相当するものですが、原子炉压力容器が細くなっています。その理由についてですが、ソ連では、工場から発電所まで压力容器も鉄道で輸送するため、運べる大きさも重量も相当に制限されるからだと説明されています。スリムな压力容器では、炉心との間に介在する水の層が比較的に薄いため、中性子の照射の度合いが厳しくな

り、材料的にかなり脆くなっていくことも懸念されます。旧西ドイツや日本の専門家が現地に行き、圧力容器の脆化対策として焼なましを施したことなどについて、調査をしていますが、原理的なことはともかく、実際問題としてどれくらい詳細に検討し、どれくらい慎重に実施したのか、専門家には意見のあるところだと思います。

また、VVERの小型の44万kWのものに格納容器がないことも問題となっています。そこで格納容器をつけるとか、将来的にはVVER全般に対して、パッシブ安全機構と呼ばれるもの、例えば万一冷却水が抜けたような場合に重力を利用して水を注入する方式だとか、残留熱を大気に逃すための自然通風式の格納容器ドラフトだとか、を取入れるなど、思いきった改善を行いたいとの趣旨で、フランスのエンジニアなどの知恵も借りながら、目下研究中であります。

ソ連としては、やはり日本の技術力、経済力に非常に期待しているようでして、ソ連、東欧の新しい世代の原子力発電プラントの設計についても、日本が今後支援協力できる余地が大きいのではないかと思います。

さて、近く原子力発電国の仲間入りをすることになる中国の状況ですが、ただいま秦山のプラントが完成間近でありまして、この間も向坊先生からお話を伺ったところですが、中国としては非常に熱心にやっているそうです。

主要な機器は、日本からは圧力容器やバルブ、ドイツからはポンプ、フランスからは炉内計装という具合に買込んで、それらをアッセンブルして自力でシステムを作り上げようとしているわけですが、初めての経験だけに、

よそから見ても多少の心配がないとはいえません。

このたびの新聞報道によりますと、日本の電力会社から当面3人ばかり応援に駆けつけるようでして、中国とも今後いろいろ協力が深まっていくだろうと思います。

導入型プラントとしては、香港に近い大亜湾において広東原子力発電所を建設中です。フランスの90万kW級PWR 2基で構成されるこの発電所の1号機の運転開始予定は1992年10月とされています。

4. 原子力発電技術の現状

こんどは、原子力発電所の技術の現状について展望してみたいと思います。(付表4)ご専門の方には新味がなく退屈なお話しで恐縮ですが、まずプラントの設計概念の最先端の様子を見ますと、フランスでは、一番大きなプラントN4があります。これは150万kWの発電能力のあるプラントであり、現在2基が完成間近で1992年には運転を開始する予定となっています。N4に続く次世代の軽水炉システムとして、PWR-2000と呼ばれる構想の準備も始まっています。

ドイツの改良標準化プラントであるコンボイは、設計から安全審査、建設に至るまで、一貫して標準化された130万kW級PWRで、この型のプラントはすでに稼働を始めています。

日米協力で開発されたABWR、APWRについては、まずABWRが柏崎6、7号機として1990年代の中旬ごろに運転開始する運びとなっています。

安全設計の進歩について若干触れますと、TMIやチェルノブイルの事故以降、ヒュー

マン・ファクタの問題、つまり人間が原子力発電所のような大変複雑なプラントにいかに関わっていくかということが大きな問題になりました。人間に優しい中央制御盤、つまりマン・マシン・インタフェースを高度化した新型制御盤が作られるようになりました。ソフトの面では、異常時にどのようにしたらいいかというようなことを、ブラウン管の上に表示したり、あるいは音声で知らせてくれるような、高度な運転支援システムが開発されています。これらの分野でも、日本が世界で一番レベルの高いところにきています。

安全評価の技術としては、安全規制上の判断を側面から助けるための有用な手法として、ここ数年来、確率論的安全評価(PSA: プロバビリスティク・セイフティ・アナリシス)と呼ばれる手法が注目されるようになり、わが国でもスタディが実施されているところ です。

アメリカでは、MITのラスムッセン教授らがこの手法を使って軽水炉の安全評価を実際にやり、レポートを作ったのが始まりです。しかし、実は研究ベースでさらに先駆的な仕事をされたのは、かつて原子力委員をされていた山田太郎先生であり、そのあたりのことを、今年(1990)の何月号でしたか、日本原子力学会誌に思い出話として書いておられます。

原子力発電所の安全性・信頼性に関して、運転・保守技術の重要性がますます高まっており、シミュレータの活用とか、メンテナンス、信頼性工学などに関係した話題が、最近大きなウエートを占めるようになりました。

従来は、シミュレータといえば、運転員が

実機と同じ運転環境で実機相当の操作訓練を行なうことを目的としており、このことは今も基本的に変わりませんが、最近では、安全審査等で要求されていないような想定事象、例えば多重の故障が同時に起きるとか、安全設計の限界を超えた異常事態にまで立ち至ったらどうなるかという辺りまでもシミュレーションして、対応の懐を深くしておくように心掛けています。具体的には、訓練用シミュレータのソフトの種類・内容を増やして、訓練内容を高度化すること、また、物理プロセス等の詳細も学習できる高度な学習用シミュレータを活用することなどです。

メンテナンスについては、事後保全ではなくて、予防保全をする。それから徴候ベースといいますか、徴候の段階で捉えて異常事象の発生に対して先手を打っていく。そういうやり方を日本はもともととっておりますが、それは世界的にも評価されております。

次に各種技術ですが、いわゆるハイテクの分野の名称が表の中にずらっと並んでおります。

新素材から始まってバイオまで書いてありますが、これらのキーワードの中身をそれぞれ調べてみますと、研究もそうですし、企業の設計部門や開発部門における仕事もそうですが、原子力の分野で大変に先駆的な仕事があるのがよく分かります。原子力以外の産業から種がやってきて、それに原子力の側で付加価値を与えていったものもありますし、逆に原子力の中から新しいアイデアが出てきて、それが他の産業にもほとんどそのまま利用されるといったようなこともあります。実際、波及効果の種は驚くほど沢山あるのです。

エネルギー総合工学研究所のような機関は、原子力もそうでない分野も含めて、産官学の諸機関のバラエティに富んだ方々が集まり、意見や情報を交換できるのが大きなメリットでありますから、この辺りのテーマで適当なものがあれば是非、積極的に取上げて頂きたい。それは原子力にとっても、また関連のハイテクにとっても、非常に役立つことだと思うのです。

センサーの例でいいますと、スキッドを利用した量子センサーがあります。これは超伝導材料によって、極く微弱な磁場を測るものでして、例えば人間の脳のどこから、どういう信号が出てくるのか、それが脳の働きとどう結びついているのか、などを調べる研究に応用されています。同じような測定原理を使って構造物のわずかなクラックを精度よく検出することも、十分期待できるわけで、実際にも調査研究が始まっています。

コンピュータのほうでも、技術の進展は極めて速く、スーパーコンピュータの一層の大容量・高速化、超並列システムの開発と実用化、画像処理技術の高度化、全般的なAI化など、今後予想以上の展開があるものと思います。このような分野における、創造的かつ骨格的な研究開発プログラムの候補の一つとして、スーパー・シミュレータ(アドバンスド・シミュレータ)の構想が検討されています。

5. 安全性、信頼性、経済性について

こんどは安全性、信頼性、経済性のお話に移らせていただきますが(付表5)、原子力発電では、安全を体系的に確保するという思想をもって、そもそも開発の当初からスタートしております。

安全設計の一つの大きな特徴は、多重防護と呼ばれる設計思想にあります。これは同心円で書きますと、三重の円になるのですが、第1は異常発生を防止する。それから、第2は異常がもし発生したら、速やかにそれを知知して、プラントを停止する。さらに第3に、それでも収まらない場合には、異常事象の拡大を防止するという考え方です。

安全設備としては、原子炉停止系、安全保護系、それから事故の影響を最小限に抑えるための工学的安全設備などがあります。工学的安全設備には格納容器ですとか、炉心に水を注入する非常用炉心冷却装置などがあります。

原子力発電プラントで起きるかもしれない、さまざまな異常・事故の事象が、少数の代表的な事故の過程で包絡されるように整理したものを、設計基準事故(DBA:デザイン・ベース・アクシデント)と呼んでおり、安全設計はDBAの土俵の中で行なわれます。

DBAを超えるような事態(ビヨンドDBA)は、わが国の原子力プラントでは起こるとはまず考えられませんが、そこは念には念を入れて、かりそめにもそういう厳しい状況になったとき、どれくらいの安全余裕があるのだろうか、また、どういう対応ができるのだろうか、などと自問するのです。重大な炉心損傷と熱の除去機能の喪失を伴う大事故のことをシビアアクシデントと名付けていますが、いま申上げたような趣旨に沿い、シビアアクシデントの研究が国際協力の下で進められています。

さて、原子力発電の安全性・信頼性を議論するときに、安全か安全でないかをどう判断するのか、そして原子力発電にはどの程度の安全性を要求すべきなのか、などが問題にな

ります。そこで、できるだけ定量的な数字をもって、また、他の分野の安全性にも共通する尺度を使って、議論することが望まれ、『リスク』の登場となります。

一般には、起こるかも知れない危険を漠然と指してリスクと呼んでいるわけですが、専門用語のリスクとは、生命とか財産に対して不利益が発生する頻度と、もしそれが起きたらどのくらいの損害になるかという結果の大きさを掛け合わせた、一種の確率的な概念であります。

個人が死亡することのリスクを考えた場合、それが仮に 10^{-4} /年であれば、確率統計的に年間1万人につき1人が死亡することを意味します。

ここに自動車関係の方もお見えかも知れませんが、あまり良い例でないかと思いますが、例えば交通事故のため日本全体で年間1万人が死亡したとしますと、総人口を丸めて1億人と見て、ほぼ年間1万人割る1億人、つまり 10^{-4} /年という数字が出てきます。

我々は自然環境とか、自然災害、社会活動、個人活動、あるいは病気など、実にさまざまなリスクに晒されています。昨日は東京近辺で爆弾がいくつか飛んできたようですが、それが屋根を貫いて、運が悪ければ人が死んだかもしれません。それもリスク要因の一つといえましょう。では、いくつかの要因に基づくリスクを横に並べた場合に、原子力発電というのは一体どの辺にくるのか見てみますと、これは現実には非常に小さく、ほとんど無視できる程度であることがはっきりします。

ところが、チェルノブイル事故では200名ほどが急性放射線障害のため病院に担ぎ込ま

れ、事故直後から30名以上の人が死亡し、そして周りの住民が10万人単位で避難しました。そのような場合には相当なリスクになるのではないかと疑問も当然でてくると思いますが、専門家の示唆するところでは、大型の流行性感冒や喫煙によるリスクはこれよりも遙かに大きいようです。むろん、チェルノブイル事故の影響は今後とも徹底的に追跡調査し、正確な理解に努め、教訓を生かすことで、禍を転じていかねばなりません。

いろいろな発電システムについて、リスクがどのくらいかということを研究している人達があります。この図(付図1)はその一例で、スイス原子力安全協会のフリッチェ博士の調査から引用したのですが、これによりますと、石炭、石油、ガス、木材、太陽熱、太陽光、風力、水力、原子力(軽水炉)を比較し、発電した電力量1 GWy 当りにつき何人死亡したかを見れば、原子力がかなり低い側に納っていることが分かります。数字が十分正しいかどうかは別にして、各種の発電方式の安全性を相対的に眺めるには、かなり参考になる資料だと思います。

石炭や石油の利用に伴う病死リスクがなぜこんなに突出しているかといいますと、燃えたあと大気中に放出される化学物質が健康に有害だからです。また事故死リスクは輸送中の火災・爆発事故の巻添えによるものです。この図には現れていませんが、容易に想像できるように、職業人に対しては、石炭、石油の採掘現場での事故が大きな要因となっています。

多くの人は、太陽エネルギーならばならリスクはない、これは大丈夫だと考えるかも知れませんが、確かに温水器が爆発したり有害

物質を放散したりすることはまずないでしょう。ところが、太陽エネルギーで100万kWの発電をするなどということになれば、シリコンをはじめとする各種の材料集めから、加工、建設、修理などの大変な手間が掛ることになります。分散型にすればなおさらのことです。これらの手間とプロセスに伴うリスクを合計すると、予想に反して図のように、結果的に高いリスクになってしまうのです。もちろん、新エネルギーのリスク評価にはまだ大きな不確実性が残されていると考えられます。しかし、運転中のリスクがほとんどないだろうということだけで、トータルとして太陽が最良だと速断するのは、いかにも正しくなさそうです。

こちらの図（付図2）も、原子力発電所のリスクを比較したフリッチェ博士の研究結果ですが、横軸が事故当りの急性死亡者数で、縦軸はその数ないしそれを上回る事故が発生する確率を示したものです。例えば 10^{-6} というのは100万年に1回ということの意味しています。この図は、火力や水力による発電に比べて、原子力発電が決して危険なものでないことを良く説明しています。

付表には書いてありませんが、最近、イギリスなどでラドンのリスク評価の結果が発表されています。それによれば、イギリスでは肺がんで亡くなる方が年間4万1千人いるのですが、その中の6%、2,500人がラドンによるもの、と推定されています。全体の約90%は、皆さんご存じのように喫煙が原因のようです。

原子力発電所で作業している人達は、毎日被ばくをして危ないのではないかと、一般人は想像しますが、イギリスの例でいいます

と、石炭を掘る鉱夫のほうが概してはるかに被ばくは多いのです。炭坑内はラドンの濃度が無視できないからです。

また、飛行機の乗務員は年に何十回も空を飛びますが、上空では線量率が高いため、積算すると地上の一般人よりも高い放射線量を受けることになります。原子力発電所の被ばくは、このような例に比べても概して十分低く抑えられており、危ないことはありません。

さて、次に信頼性や安全性の現状はどうなっているかについて簡単にお話しいたします。

ところで、その前に、原子力発電の信頼性の高低や運転管理の良否は何で測ったら良いのでしょうか。その答として、アメリカの原子力発電運転協会（INPO）は資料（付表5）に見られるように、フル運転の何パーセントを達成できたか（設備利用率）をはじめとして、非常用の発電機が作動しなかったとか、原子炉がスクラム（制御棒が自動的にいっぺんに炉心の中に挿入され、原子炉の運転が直ちに停止）したとか、あるいは安全系が思わぬ時に過って動き出したなどの10の項目を、運転成績指標として用意しています。

なお、最近INPOと国際電気事業者連合（UNIPED）が協議してまとめた国際運転成績指標のほうでは、設備利用率、計画外停止による発電損失率、産業安全度（事故による従業員不就労率）、熱利用率、安全系信頼度、計画外自動停止頻度、燃料健全性（冷却水中放射能）、化学的指標、従事者被ばく線量、低レベル固体放射性廃棄物量などのように整理しています。

それはともかく、これまでのINPOの報告書を見ると、国内および世界の原子力発電

所プラントに関して、それぞれ平均値と上位1/4の値が数字で示されています。

なかでも重要な指標が図（付図3）に見られる設備利用率です（これはわが国の実績）。設備利用率といいますのは、1年の間、全出力ですっと通して運転したときの計算上の総発電電力量を100とし、それに対する同期間の実績値を％で表わしたものであり、もちろんこの値が大きいほうが望ましいわけです。

1989年の統計によれば、設備利用率の世界平均は64.8％で、成績の良い順番としては、北欧、カナダ、日本、ドイツ、フランス、アメリカ、イギリスと続きます。

ただし、日本のように、約1年に1回原子炉を止めて定期検査をするように法律的に義務付けられている国と、そうでない国、例えば燃料交換のサイクルに合わせて1年半程度の連続運転もできる国とではベースが違いますので、設備利用率の数字が大きければ、直ちにそれだけ信頼性が高いとは単純には言いできません。燃料交換や検査に要する期間は連続運転期間の長短にはあまり関係がないため、連続運転期間が長いほど設備利用率は高くなり得るのです。

このように、日本は計算上どちらかといえば、ややハンディを負っているわけですが、いわゆる長サイクル運転が行われるようになれば、設備利用率の値でも世界のトップクラスになることは間違いありません。

もう一つの重要な指標はスクラム頻度の小さいことです。日本の統計では、従来1プラント平均で1年間あたり0.2から0.3回で推移しており、1989年には0.0回となっています。こうした成績は世界的に見て正に抜群であり、信頼性の高さを象徴しています。ちなみに

に、アメリカでは1989年実績が1.8回となっており、1990年にはこれを1.5回まで下げたいとしています。

最近では事故や故障が起きたとき、それがどの程度のものであるかを評価する尺度を、フランスや日本で設けています。これは、法律や通達の対象となる事故・故障・トラブルについて、簡明で分かりやすい尺度を使ってランクづけし、それを公表することによって、一般の方にも十分ご理解いただくという主旨です。

1987年7月からスタートしたわが国の評価尺度は、軽微なほうから重大なものに向けて、レベル0からレベル8までの9段階で構成されています。

このような評価尺度は国際的に統一したほうがベターだとして、IAEAとOECD/NEAは国際的な評価尺度をまとめ、当面、試験的に運用を始めているところです。

安全性・信頼性の現状は以上のようなのですが、では組織的・体系的な次元で、また技術的な次元で、今後に向けて一体どのように取り組んでいるのか、少しだけ触れてみることにしましょう。

日本では、セイフティ21プログラムを数年前からスタートし、正に体系的に安全確保の一層の努力を展開しています。

国際的に見ますと、国際機関のIAEAとかOECD/NEAでいろいろな活動をしていまして、国際的な安全基準を整備するとか、原子力発電所に安全運転調査団(OSART)を派遣してプラントの運転管理状態を評価するとか、あるいはPSAの支援をするなどが好例です。ご承知のように、1988年10月、日本にも高浜発電所にOSARTがやってきまして、

1989年2月に調査報告書をまとめています。

それから電力界では、世界原子力発電事業者協会(WANO)が昨年の5月にモスクワで設立発足しました。

次に、技術面の動きを見てみますと、最近、原子力発電所の信頼性向上ならびにトータルライフ・コスト最適化の観点から、メンテナンス・長寿命化に関する技術開発が盛んに行われるようになっていきます。また、例えばPWRでは、蒸気発生器を取り出して新品と交換するといったことが、海外ですでに2～3始まっています。

炉心・燃料高度化の方面では、燃料を効率的に使うための高燃焼度燃料が実用化されたこと、炉心管理技術が年とともに磨かれてきていることなどが、まず挙げられます。そのほか、軽水炉で混合酸化物(MOX)燃料を利用するための検討や、将来の燃料・資源環境条件の変化に柔軟に対応できる高機能炉心の研究なども進められています。

時間が少なくなってきましたので、あと二つくらいお話しをして終りたいと思うのですが、次の世代の原子炉——わが国の場合には、現在の発電所が好調ですから、急いで次の原子炉を設計しなければならない状況にはないのですが——これについて世界の動きを見てみますと、とくにアメリカあたりでは、一般の方や電力会社への投資家などに、これなら単純明快で魅力的だと認めてもらえるような、いってみれば技術の素人にも分かりやすい、斬新なものを提案していかなければならない、という事情があります。

そのような次世代の原子炉の構想として、パッシブ安全炉(静的安全機構が特徴)とか、AI炉(AIをフル装備したインテリジェン

トな自律システム：仮称)とか、いろいろ考えられますが、アメリカでアンケート調査をやりまして、どのような名前が魅力的かということ調べたところ、得点が一番高かったのはSafer(より安全)でした。次がNaturally safe(自然に安全)、そして順にInherently safe(固有の安全)、Walkaway safe、Passively safe、Transparently safeなどとなっています。絶対とか固有といったような極めつけの言葉は却って敬遠され、またパッシブは消極的な語感のゆえに嫌われているようです。ともかく、原子炉本体もさることながら、素敵な呼びかたを探ってみようという考え方は面白いと感じます。

次世代の軽水炉に関する課題については、わが国でも将来ニーズへの対応、機能・性能の向上、構造の単純化、先端技術の一層の活用などを視野に入れながら、資料(付表5)のキーワードに即した検討を進めているところではあります。

経済性に関することは、資料中の関連部分をご覧ください。ことごとくご容赦をお願いします。

6. 原子力発電の役割と今後の課題

最後に、原子力発電の役割と今後の課題がありますが(付表6)、今年、通産省の総合エネルギー調査会の需給部会から、電源ベストミックスの見地ならびに世界の炭酸ガス問題の議論に十分応えるという見地から、将来のエネルギー需給の見通しをまとめた中間報告が出ました。それによりますと、2010年に原油換算6.66億kl、原子力発電7,250万kW云々となっていて、2010年までの20年間に100万kWの原子力発電プラントを40基つくる必要があることを示唆しています。

もちろん、原子力が相応の目標を達成したとしても、全体として炭酸ガスの放出がどれほど大幅に削減できるのか、まだまだ油断はできません。

ちなみに、ご案内のように日本は現在世界のエネルギーの5%を使い、4%の炭酸ガスを放出し、10数%のG N Pをあげています。世界に率先して炭酸ガス放出を減らすことは、言うは易くして行うは難しいのですが、わが国としてもそれにできるだけ貢献していかなければなりません。その観点からも、やはり原子力を合理的、積極的に推進することが不可欠だと思います。

今後の重要な活動課題としまして、私自身

が大学から世の中を見ていて感じるままに、沢山の項目を資料（付表6）の中に並べておきました。なお、デコミッショニング、燃料サイクル・バックエンドなどの重要課題については、時間の関係もあって、今回はお話を割愛させて頂きましたが、それぞれ活発な取り組みが進められていることだけ、ひとこと申上げておきます。

ご静聴ありがとうございました。（あきやまもる 東京大学工学部教授、(財)エネルギー総合工学研究所理事）

本稿は、平成2年11月13日開催の当研究所第11回評議員会での講演を基に、著者が加筆されたものです。

付表 1 数字で見る原子力発電の実績

(1) 世界の原子力発電

・原子力発電をしている国の数

現在27カ国、最近ではメキシコ（ラグナベルデ1号BWR67.5万kW）が参入

・原子力発電プラントの基数と容量

運転中423基 3億3,744.4万kW、建設中と計画中也含めた合計は596基 5億23.7万kW

最大は米国で1990年現在112基が運転中、合計容量は約1億500万kW

・型式とシェア

軽水炉約90%（PWRとBWRの比は約4対1）、その他約10%（CANDU, GCR その他）

・原子力発電の運転経験

最長のプラントは約30年の運転歴、全体では原型炉等を含めて約5500炉年

・1989年原子力発電量

1兆8,545億 kWh 全発電電力量に占める割合は世界全体で17% トップはフランス74.6%
原子力発電に1/4以上を頼った国は13カ国

・原子力発電の石油換算量

1989年の合計4億5,000万トン分相当で中東諸国の年間石油生産量の半分以上に相当

・原子力発電によるCO₂放出抑制への寄与

1989年では全世界の放出量の7%強を削減した

(2) 日本の原子力発電

・原子力発電プラントの基数と容量

運転中39基3,148万kW、建設中11基1,089.1万kW、建設準備中3基353.7万kW

・型式とシェア

ガス炉1基を除き全て軽水炉でBWRとPWRはほぼ半数

・原子力発電の運転経験

これまで最長で約20年

・1989年原子力発電電力量

全発電電力量の25.5% 1次エネルギー消費（原油換算3億3,700万kl）の8.9%

- ・原子力産業売上高と手持受注量
1988年約1兆5,000億円(1981年に1兆円を超過), 1990年4月手持受注777万kW分
- ・1988年原子力関係従事者数
合計約6万人
- ・1988年原子力研究投資
4,498億円でエネルギー関係総額8,893億円の50.6%

付表 2 原子力発電を巡る社会的情勢

- (1) 問題の特徴と傾向
 - ・政治的な影響が相変わらず強いこと
 - ・立地問題が極めて重要となってきたこと
 - ・燃料サイクルの課題が前面に出てきていること
 - ・グローバルな視点に立った国際協力の強化が必要になっていること(事故影響, 環境問題)
 - ・情報公開を通じた信頼と安心の向上が求められていること
- (2) 向い風
 - ・スリーマイル島事故やチェルノブイル事故の影響
 - ・ソ連, 東欧における問題プラントの存在
 - ・ソ連, 東欧におけるこれまでの体制への反発
 - ・Pu輸送に関する論議
 - ・放射性廃棄物処分場の立地に関する反対
 - ・低レベル放射線影響に関する論議
- (3) 追い風
 - ・中東湾岸情勢による石油供給不安定化と石油価格上昇
 - ・地球温暖化問題
 - ・最近の世論調査に現れた傾向
 - ・偏見を持たぬ若い世代の出現

付表 3 国別に見た動向

- (1) 日本
初期のトラブルの克服, 国産技術による改良改善, 世界最高水準の技術と運転実績の達成, 改良軽水炉の開発, 核燃料サイクルへの取り組み強化, PAの推進, 軽水炉高度化の推進
- (2) 米国
TMI経験, 新規発注停止, 電力不足への直面, 長寿命化, メインテナンス, 次世代型原子炉の開発と型式承認, 国家エネルギー戦略の検討
- (3) 西欧, 北欧
 - ・全体
EC統合を目前に迎えて, 国内外の体制の再編成等を通じて, 各自のイニシアティブ確保を目指している。協力と競争の混在した流動的時代を迎えようとしている。
 - ・英国
ガス炉の競争力低下, PWR路線への変更, 再処理事業の発展, 電気事業組織を再編成
 - ・フランス
原子力発電・再処理事業の一貫した推進, 廃棄物処分を巡る国内議論の台頭, CEAの役割明確化, 次世代炉の設計などによる一層の基盤強化

- ・ドイツ
連邦政府と州政府との二重構造，再処理は当面仏・英に委託の方針，高温ガス炉等の問題，旧東独のエネルギー・原子力問題の抱え込みとともに事業拡大の可能性
 - ・スウェーデン
モラトリアム(1980年国民投票)とエネルギー行動計画(1988年6月可決：1995年，1996年に各1基廃止)を巡るその後の動き，BWRの出力増強運転許可，1989年の世論調査結果
 - ・スイス，イタリア
スイスの国民投票(1990年9月：今後10年間は新規原子力発電所は建設しない，稼働中の原子力発電所の廃止はしない)，イタリアのエネルギー政策
- (4) ソ連，東欧
- ・ソ連
チェルノブイル事故(1986)，ウラル事故(1957)等を巡る国内世論の高まり，事故処理，立地指針や安全設計基準の見直し，VVERの設計・設備改良
 - ・東欧
VVERの問題，大気環境問題，経済疲弊
- (5) 韓国，台湾，中国
- ・韓国，台湾
国際協力の推進，PA問題の重要性が増大
 - ・中国
自主開発による秦山プラントの完成間近，導入による広東原子力発電所を建設中，今世紀末までに600万kWの原子力発電開発を目指す

付表 4 原子力発電技術の現状

- (1) 原子力発電技術のカテゴリー
- ・原子力プラントシステム技術
設計・評価：設計概念の進歩(フランス：N4，PWR-2000，ドイツ：KONVOY，日米：ABWR，APWR)，改良標準化(米国，フランス，ドイツ，スウェーデン，ソ連，日本)，マンマシンインタフェース(新型制御盤，運転支援システム，人間工学)，確率論的安全評価手法(PSA)
製造：新型工法
運転・保守：シミュレータ活用(フルスコープ訓練，高度学習)，メンテナンス理論(予防保全)，信頼性工学(TQC)，廃棄物管理(減容化)，デコミッショニング(トータルエンジニアリング)
 - ・各種技術と支援技術
新素材：メンテナンスフリー化，長寿命化，作業線量・廃棄物量低減
コンピュータ：解析評価の精度と速度の向上，シミュレーション，画像処理，CAD，CAE
メカトロニクス：自動化，ロボティクス
センサー：耐放射線センサー，量子センサー
情報処理：オンラインモニタリング，安全情報の迅速的確な伝達と処理
知識工学：設計・運転支援，エキスパートシステム
レーザー：情報処理，診断，材料加工，構造物解体処理
バイオ：神経情報システム，分散自律型システム
加工：溶接，表面処理
- (2) 原子力発電技術の特徴と水準
- ・マクロとミクロ：高度システム技術と量子技術の総合

- ・極限環境条件：照射，高温，低温，高熱束，化学環境
 - ・パラメータや専門の複合：放射線とコンベンショナルな技術要素との複合
 - ・動的，分布系：異常・事象にまでわたる詳細評価
 - ・高い品質と精度：設計・製造・運転管理等にわたり高い品質，精度，確度，再現性
 - ・高い信頼性と安全性：信頼性・安全性の確保と定量的評価
 - ・シナリオ性と抗弁性：徹底的に詰めておく必要がある
 - ・リードタイムが長く開発リスクが大きい場合がある
- (3) 他分野への波及効果の例
- ・スーパーコンピューティング，安全解析評価手法，その他

付表 5 安全性，信頼性，経済性について

- (1) 原子力発電の安全性・信頼性
- ・リスクを考える

各種のリスク，巨大技術の安全性，リスクの実態，各種発電方式のリスク比較
 - ・原子力発電のPSA：レベル1，2，3

日本の参考プラントに関する評価結果は米国等の結果よりも桁違いに良好
 - ・信頼性の現状

全般：INPO（米国原子力発電運転協会）の運転成績指標

非常用発電機不作動，スクラム，安全系計画外作動，設備利用率，計画外停止率，熱利用率，燃料信頼性（放射能漏れ），作業線量，低レベル廃棄物量，作業損失率

設備利用率

1989年世界平均（ソ連，東欧を除く）は64.8%，北欧，カナダ，日本，ドイツ，フランス，米国，英国の順

スクラム頻度

わが国ではここ数年間の実績は0.2～0.3回／炉年 1989年は0.0回／炉年

米国の約2回／炉年に較べて1桁低く信頼性の水準の高さを示している

事故・故障の状況

わが国では原子力発電所の周辺に有意な放射線影響を及ぼすような事故・故障は発生していない。法律に従い報告された故障・トラブル件数はここ数年約0.5～0.6件／基年，評価尺度を適用
- (2) 安全確保，信頼性・経済性向上への取り組み
- ・組織的・体系的な取り組み

わが国における Safety 21 プログラム

国際機関における活動（安全基準整備，運転管理評価，運転支援，PSA支援，連絡通報）

世界原子力発電事業者協会（WANO）1989年5月モスクワにて正式に設立発足

学会活動の国際化（ソ連原子力学会1989年7月にENSに加盟）
 - ・マンマシンインタフェース，ヒューマンファクタ
 - ・メンテナンス／長寿命化
 - ・燃料高度化，プルサーマル利用
 - ・安全設計想定事象を超える事象についての検討
 - ・次世代軽水炉の検討

先進設計概念

高性能炉心，高機能炉心，AI炉，パッシブ安全炉，単純化炉

日米欧の取り組み

日本：高燃焼度化，先端技術（自動化等）の開発，設計構想の検討

米国：単純化炉の設計と型式承認

(3) 経済性評価

- ・ 1989年運転開始ベースの送電端発電原価に関する通産省試算(円/kWh,概略値)
(原子力：9, 石油火力：10～11, 石炭火力：10, LNG火力：10～11, 一般水力13)
- ・ 2000年運転開始ベースの送電端発電原価に関するエネ研試算(円/kWh)
(原子力：7.5, 石油火力：12.7, 石炭火力：9.6, LNG火力：12.6)

付表 6 原子力発電の役割と今後の課題

(1) 将来のエネルギー需給

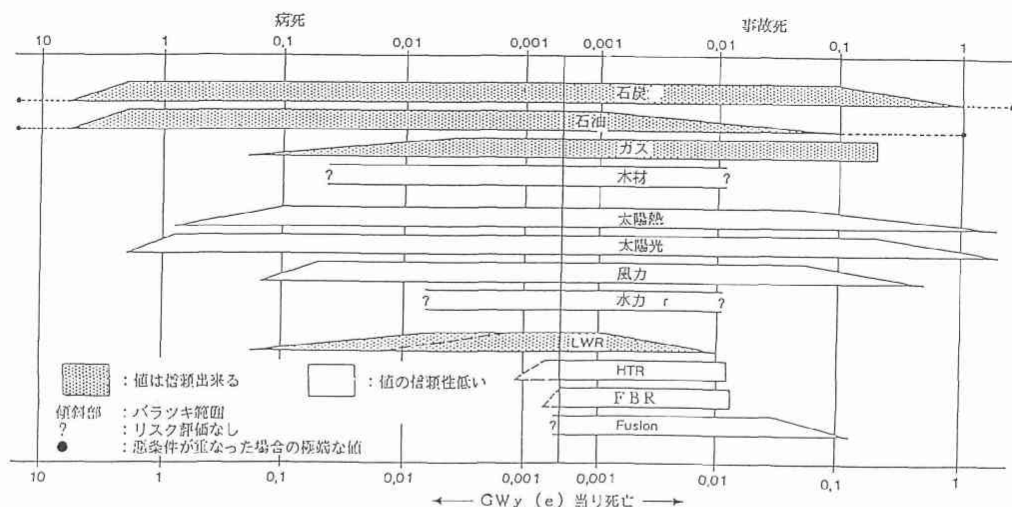
- ・ 世界の需給：IEAの見通しによれば1987年から2005年にかけてのエネルギー需要の伸びはOECD諸国で1.3%, (現・旧)社会主義国で3.0%, 途上国で4.3%, 世界全体で2.4%
- ・ 日本の需給：通産省総合エネルギー調査会によれば2000年に原油換算5.97億kl, 原子力5,050万kW, 2010年に6.66億kl, 原子力7,250万kW

(2) 原子力発電の役割とビジョン

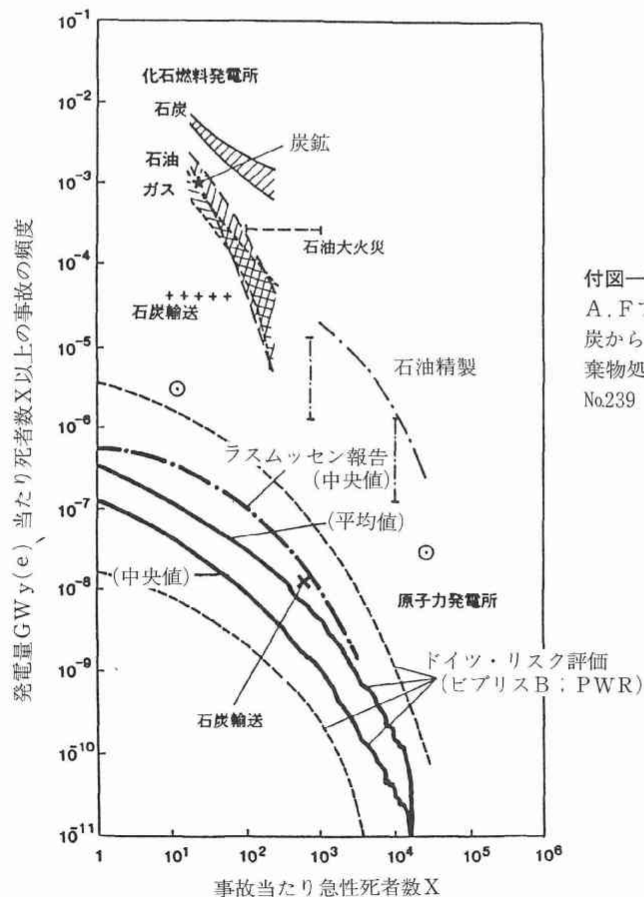
- ・ 電力の供給：必要量の電力を安定的かつ経済的に供給, 高品位の電力の供給に寄与, 環境保全とリスク低減
- ・ CO₂放出を抑制し環境保全に寄与：発電に伴うリスクの低減に寄与, 放射性物質の安全な閉込めが前提
- ・ 基幹高度科学技術／基幹産業としての役割とビジョン：先端科学技術の創出, 産業経済の牽引, 高度文明への指向

(3) 今後の重要な活動課題

- ・ 原子力発電の高度化プログラムの展開
設備, 技術, 情報, 人材, 組織, 体制, 法規制, 公衆, 社会, 企業, 地域, 国, 世界
- ・ 特に安全性, 信頼性, 経済性の確保・向上
安全性：事故・故障の未然防止, 設計から運転管理にわたり高度安全をビルトイン
信頼性：トラブルの未然防止, 経験情報の活用, 人間・組織の信頼性向上
経済性：トータルライフコストの低減, 燃料サイクルコストの低減
- ・ 経年劣化対策とメンテナンス高度化
- ・ シビアアクシデント研究
- ・ デコミッショニングとその廃棄物への取り組み
- ・ Puの安全な輸送と管理
- ・ 放射性廃棄物の長期的管理
- ・ 先進的プラント設計概念の開拓
- ・ パブリックコミュニケーション／リスクコミュニケーションの促進
- ・ 推進主体, 規制当局, 公衆のクレディビリティの増進
- ・ 合理的な意志決定のシステムの構築(立地, 安全目標, 需給, 補償等)
- ・ 国際協力と人材確保, 国際的な人材の養成
- ・ 基礎研究の興隆を通じて創造的な技術を開拓
- ・ 新時代のパラダイムに沿った開発方針を探る
- ・ 他分野の先端科学技術・先端産業との相互波及効果の拡大
- ・ 原子力発電システムの文明論的考察
原子力の長所と可能性を最大限に活用
原子力発電の魅力あるビジョン, 意義, 役割を絶えず明確に



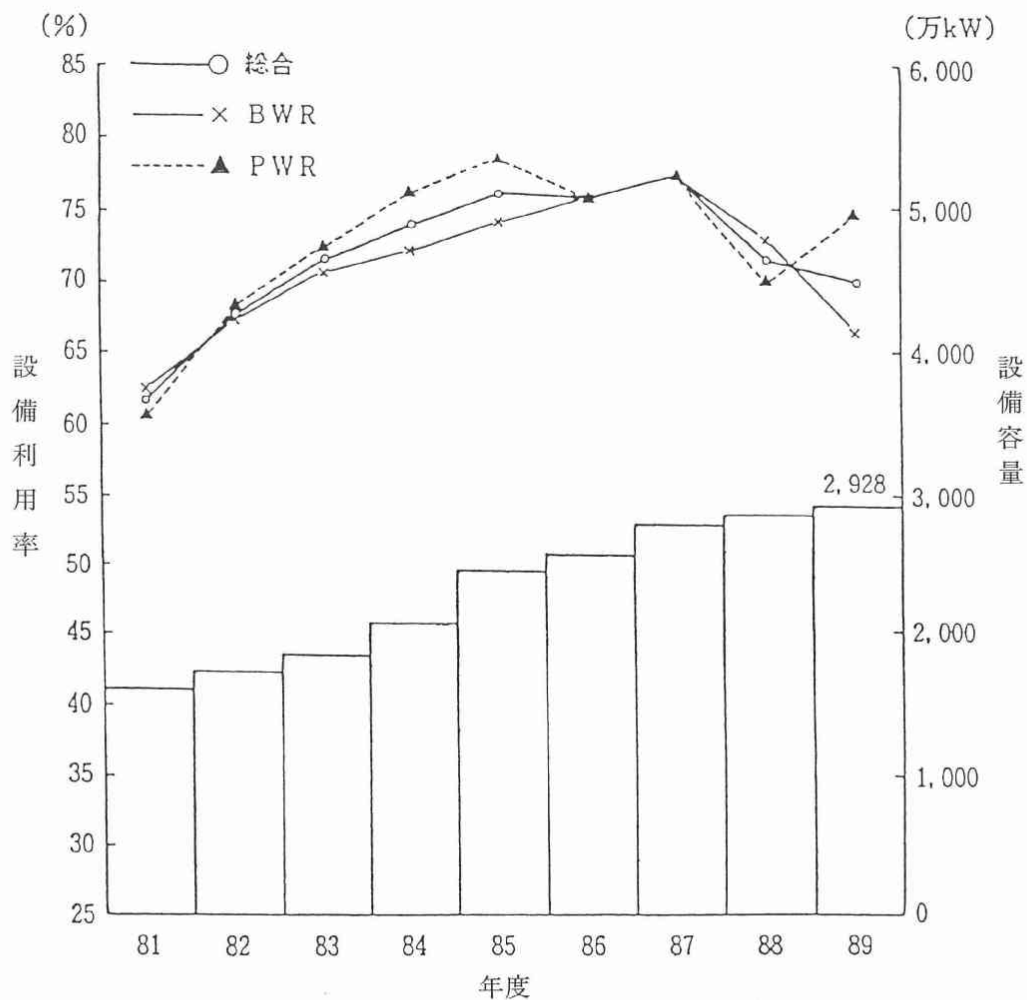
付図一 1 各種の発電システムに対する発電GWy 当り公衆死亡リスク



付図一1,付図一2の出典:

A. Fフリッチェ「発電システムの健康リスク——石炭から未来エネルギーまで、そして原料採掘から廃棄物処分まで」(日本原子力産業会議:原子力資料No239 (1990) に訳文掲載)

付図一 2 各種発電システムの大事故の結果としての、発電量GWy 当りの急性死亡数の累積



付図一 3 わが国における原子力発電の炉型別設備利用率の推移

出典：資源エネルギー庁原子力発電安全管理課編：
原子力発電所運転管理年報（1990年版）

中国原子力紀行

松 井 一 秋

1. はじめに

平成2年10月に国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) が主催した技術委員会会議が中国、四川省で開催され、参加する機会をえた。テーマは「次世代の水炉 (軽水炉と重水炉) の望ましい特性」というもので、両炉が世界で実用化されている原子炉の大半を占めていることや、いくつかの国々では際立って新しい性能を持つ原子炉を掲げて自国の原子力開発の沈滞を打開しようとしたり、開発導入に弾みをつけようとしたりしているので、この会議はなかなかタイムリーであったと思われる。先年の天安門事件でこの会議の開催が危ぶまれていたが中国側の熱心な働きかけにより今回実現したと聞いている。ここでは会議の内容そのものよりは現地で見聞きしたり他国の参加者よりうかがったことなどを中心に話を進めるつもりである。

2. 石 炭

今のところ中国の主要なエネルギー源は石炭である。産業用、発電用、そして台所の煮炊きも石炭のようである。大きなトラックにも小さな三輪車にも石炭を積んで町を走っている。ホテルの食堂のかまども、コックさん

がスコップで石炭をばおり込む。北京の町の高層ビルはかすんで見えるし、八達嶺の万里の長城 (北京から車で1時間くらい) ですらかすんでいる。町中ではときおり昔の記憶を呼び起こす硫黄化合物の臭いがする。会議に出席した核能源部の幹部にうかがってみたところ、だからこそ原子力開発と利用は中国にとって急務であり、特に北部におけるコジェネに関心があるとのことである。近年電力需要の伸びは急ピッチで、電源開発にはかなり苦勞しているようである。水力や原子力の開発には時間がかかり、当面どうあっても石炭に頼らざるをえないというところである。それにともなって確実に生じるであろう環境影響については積極的かつ大規模な技術経済援助が必要である。現在すでに国境を越えた酸性雨の問題がわが国でも取りざたされているが、長期的な視野からも対応が求められよう。

3. 通 貨

中国の貨幣の単位は元であり、円と同じ¥を使う。元には2種類あり、ふつうの中国の方が使うのは人民元 (RMB) で、円やドルの外貨で購入できるのがFEC (Foreign Exchange Certificate) である。同じ元ではあるものの異なる紙幣を使う。ソ連でも同じと聞いたが、FECの方が価値があり、店に

よってFECしか使えない。北京の空港の食堂でカレーを食べたら（実に日式カレーとあった）FECでは16元とあるのにRMBでは18元となっていた。公式レートでは1元が30円弱となっているが、実勢としてはもっと弱いと思われる。今回の会議のホスト役は核能源部傘下の研究所がつとめたが、宿泊代や国内線の航空賃はすべてホストを通じてドルで支払うことを要請された、しかもキャッシュで。若手の研究者に給料を聞いたら月々200元とのことで、首相の給料500元と比べてそんなに悪くない。もっとも円に換算すると6千円もないわけとんでもないことになるが、たとえば200元の購買力が20万円相当とすると1元は千円相当ということになる。千円はちょっと高すぎるとしても、国産タバコが1元ぐらいということからすると200円程度の感覚かも知れない。今からでは想像もつかないかもしれないが、円が弱かったときの日本を思い出しそれをもっと極端にした場合に似ているのではないだろうか。中国の原子力関係者が現在世界で通用している原子力発電プラントの価格は受け入れがたいと言っているのも、感覚的に1桁位高いと感じているとすると理解できる。すなわち外車には手がでないと言う感じである。そこで秦山発電所の自力開発ということになる。

4. 蔣介石

今回のIAEA会議が行われたのは四川省の省都である成都（チェンヂュあるいはチェンチュ）の郊外にそびえる、かの峨眉山の麓にあるホテルであった。成都に到着してもまだ、会議場は成都市内にあると思っていたわれわれ外国人は闇の中を3時間も車にゆられ

ることになった。赤の回転灯を天井につけた警察（研究所のガードマンのような人々だったのかもしれない）の車に先導されたわけであるが、この警察の運転たるやすさまじく乱暴で外人からは非難ごうごうであった。少なくとも犬2匹をひき殺し（うち1匹は私も目撃した）、交差点の事故をも引き起こす原因をつくったと言われていた。要するにそのけそのけのフルスピードで突っ走る。これが例外ではなく皆さん大なり小なり似たような行動をとる。向こうから来る車を見て道端にさっと避けるのは私と100匹のアヒルの1群ぐらいであった。闇の中で峨眉の文字のある標識を見つけたときはじめて自分達がどこへ連れて行かれるのか分かった。ウメイへ行くのだと言われてもチンブンカンブンである。峨眉山は標高およそ3千メートルの峻険な嶺峰と豊かな緑と水に恵まれ古代よりその風光明媚なことで知られていた。町の入り口には郭沫若の天下名山の額があった。ちなみにここは彼と蘇東坡の故郷とのことである。晋の時代より道教や仏教の寺が競って建てられ、唐の時代より徐々に仏教の聖域となったようだ。中国仏教四大名山の一つで明清時代には151もの寺があったとのこと。その後の戦乱で多くが荒廃したが現在では20以上の寺が復興されていて、我々は山の麓に近い報国寺（写真1）と伏虎寺のみを訪れる機会があったが、なかなか立派なもので訪れる人々も多かった。山頂まで寺を訪れながら登るのは何日もかかるようである。それぞれの寺の周囲には旅館が多数並んでいる。大体は小規模のローカルな旅館（写真2）のようであるが、大きなホテルらしきものも建設中であった。会議場兼我々の宿舎となったのは紅珠山菜館と



写・1 報国寺の前にて



写・3 蒋介石官邸碑の前にて



写・2 峨眉の町の旅館街



写・4 蒋介石官邸内でのワークショップ

呼ばれるホテルで、平屋ないしは2階家の建物が10棟ぐらいからなる。我々日本人とロシア人に割り当てられたのは第4号棟で、実にかの蒋介石の夏の官邸であったところであった。官邸と言っても多少立派な寝室と20名ぐらいの会議室、いくつかの寝室からなっていた。会議室には孫文の写真が飾られており、庭には1986年になってから、近隣の樂山市が建立した蒋介石官邸と銘した碑がある（抗日戦争の仲間として名誉回復しているようである）。日露に留学の経験があり、かつ両国に激しく敵対していた人物にゆかりの建物に両国人が寝泊まりするとは、ホスト側に意図があったかどうかは不明である。彼が夏の間たぶん避暑のためにこの地に現れていたのは1930年前後の南京国民政府の時代と思われる。（写真3、写真4）

四川の名のとおり4本の大河があり、もともと湿気の多い地で、さほど高くはないものの峻嶒な山があって多雨で気温も低い。私は毎日三揃いの背広を着ていたが、皆さんセーターないしは防寒服を着ていた。実際会議中は手をポケットにつっこみ、足を踏みならしていたことから想像できよう。事情を知っていたフランス電力の方は厚手のオーバー、帽子に手袋を持参していた（彼らは大亜湾にきているフラマトムの連中から情報を得ていた）。しかし部屋には暖房が見あたらない。あまり雪は降らないとのことであるが、寒くなったらストーブでも持ってきてくれるのかしら。気温が低い上に湿気が高く、風呂場に干した下着はいつこうに乾かない。朝10時までに洗濯物を出せばその日の内に届けると部屋の案内にはあるが、まるで無理。2日後にプレ

スもされずにしけたシャツが戻ってきた。

部屋は一応洋風であり、バストイレもそれらしくある。お湯も帰る前日まで出ている。毎朝お湯のポットとお茶の葉を各部屋に配っている。急須はなくお茶の葉を直接湯呑みにいれ、そこへお湯を注ぐ、慣れれば何でもないのだが、インドネシアのコーヒーと同じでしょっちゅうべっぺししなければならない。部屋のベッドのちょうど頭の部分にかかるように蚊帳らしきものがある。テレビはあったが私の部屋のテレビは故障していた。夕方のニュースで会議の紹介があり、私がしゃべっているところも放映されていた。ほかのスピーカーでテレビに映っていたのはすべて白人だったところを見ると、テレビ局は私を中国人とまちがえたのではなかろうか。(私は成田とシンガポールで中国人ないしは中国系の東南アジアの人とまちがえられた経験がある。)

ホテルの従業員は基本的にはお役人で、従ってサービス精神に欠ける傾向がある。たとえばホテルのフロントで高額紙幣を崩そうとしても調べもせずはないとくる。インドネシアでもタクシーの運転ちゃんは同じような事を言うが、これはチップをせしめようとの魂胆からである。

5. 四川料理

ご存知のように四川料理は激辛ということになっている。ところがちっとも辛くない。外国のお客用に抑えたとのことで、次の食事から地元の味をと粹がってみたらさあたいへん、鷹の爪のぶつ切りがバラバラと料理にかかっていると思えば良い。インド人やメキシコ人は満足といった顔をしていたが、ほかはげんなり。朝はお粥で軽いが、昼と夜はほと

んど同じように重い。中華料理はさすがにおなか一杯になっても次の食事時にはまたぱくぱくと食べてしまう。数日もいるとこの皿はこのあいだの皿と同じと分かるものも出てくるが、不思議なことに飽きはこない。会議の最終日の晩にホストによる晩餐会があって、見慣れていたウェイトレスが真っ赤な中国服（スリットが腿のへんまでである）を着て豪勢な料理を並べてくれたが、味は普段の方がよろしかった。

我が部屋より会議場への近道はちょうど台所と材料置き場の間を通り抜ける。台所には大きな竈が四つあり、コックがくわえタバコで石炭をスコップでくべている。材料置き場にはおもに野菜がおいてあったが、たまに鯉らしき魚や鰻なぞが床の洗い場に転がっていた。今晚のご馳走である。その小屋の脇の崖に小さい穴があり、ネズミが逃げ込むのを見たときはあまりいい気持ちはしなかったが、まあ中華だから大丈夫でしょう。

お箸は韓国人も含めて常用なので問題はないが、ちょっと気の利いた欧州系の人々も器用に使う。東欧系やインドが具合が悪く、スプーンとフォークを所望するはめとなる。箸もなかなか国際化したなと思う次第である。

6. 会 議

このIAEAの会議には表1に示すような国から、研究所、規制当局、電力、メーカーの方々、総数30名が参加した。このほかにもホスト国である中国からは北京のエネルギー省から、そして上海からも参加があった。会議の実際の運営には地元四川省にある中国核動力院(Nuclear Power Institute of China/NPIC, 旧西南核研究所)の30才前後の若

手10数名が当たっていた。皆さんたいへん献身的ではあるが、責任の所在がはっきりしないなど問題も見受けられた。後で述べるようにわれわれは、スケジュールの調整がつかず、この研究所を訪問する事はできなかった。たいへん残念ではあったがこの研究所は成都の南方約150キロ、峨眉山の東方30キロぐらいのところに位置する。なぜ中央の北京からも海岸沿いの大都市からも離れた場所につくったのだろうか、多少の疑念無しとはしない。前

述のようにこの地は多湿で年間の晴天日数はかなり少ない、すなわち上空からの探査は比較的むずかしいと思われる。このNPICは成都市内にもエンジニアリング部門を持っているようであるが、どこでも同じなのだが辺りな研究所の方へは皆あまり行きたがらないと聞いた。

今回の会議の初めの二日半は技術委員会であって、各国から次世代炉に対する要求性能に関する発表があった。各国ともに異なるエ

表-1 出席者

ソ	連：クルチャトフ1名、ゴーリキーより1名	計4名
日	本：岡芳明（東大教授）、中村守（産創研）、松井	計3名
韓	国：韓国電力、原研より各1名	計2名
英	国：AEA Tech., ロールスロイスより各1名	計2名
フ	ランス：フランス電力公社(EdF), NPIC (National Power International)	計2名
カ	ナダ：AECL	計2名
リ	ビア：原子力研究所	計2名
フィン	ランド：IVO（電力）	計1名
イ	ンド：バーバ原研	計1名
インド	ネシア：原子力庁（BATAN）	計1名
イ	タリア：ENEL（イタリア電力公社）	計1名
メ	キシコ：原子力安全委員会	計1名
パ	キスタン：カラチ原子力発電所（CANDU）	計1名
ル	ーマニア：研究所	計1名
ブ	ラジル：研究所	計1名
ブル	ガリア：研究所	計1名
ト	ルコ：原子力委員	計1名
I	A E A：クピッツ氏、グッドジョン氏	計2名
中	国：エネルギー省（能源部）	計1名
	中国原子力センター（CNNC）	計1名
	中国科学技術委員会	計1名
	中国核動力院（NPIC）	多数
	上海核工程設計研究院	計1名
	北京核工程設計研究院	計1名
		合計34名
		（NPICを除いて）

エネルギー、電力そして原子力事情があり、従って次のあるいは将来炉に対する要求性能も多少異なることになる。原子力開発や導入が比較的うまく行っている日、仏やフィンランドでは今までの開発、建設、運転の経験に基づく新しい原子炉を模索する傾向があるのに対し、イギリス、イタリア、ソ連などどちらかと言うと導入にトラブルしている所は、物真似的でもあるが思い切った（安全上の）特性を求める事になる。これから導入しようとしている国でもその緊急度はいろいろで、中国などは必要性およびその有効性はかなり明かである。急激に経済を発展させて国民生活の向上をはかるには、大量のエネルギー特に電力が必要になる。中国では1980年から10年ごとに電力供給を倍倍とすることを計画している。10億の民の必要とする電力を供給する石炭の量たるや気が遠くなるほどであろう。従って原子力を切望する気持ちは痛いほど分かる。財政的に問題のある国は一般的に資本費の少ないプラントを望むことになる。さらに運転、保守に手のかからないプラントを望む。しかしこのような要請は途上国に特有なのだろうか。いや先進国、たとえばアメリカにとっても望ましいプラントであろう。このような観点から考えると、多少時間がかかるとしても世界共通の望ましい特性とはなんだろうかと考えることは、特に十分な安全を求める点からも有用である。

1992年のヨーロッパ統合に向けてそのエネルギー市場の統合は重要な課題である。ハードウェアとしての原子炉についても、ドイツのジーメンスとフランスのフラマトムは共通の製品とはなにかと言う課題に取り組んでいる。またフランス電力の、フランスにとって

次世代原子炉とは何かと言うプロジェクトである“REP2000”はドイツやスペイン、オランダなどの電力との共通プロジェクトとなりつつある。かたや目をアメリカに転じると、原子力再生の悲願の象徴とも思える新型軽水炉開発計画には日、伊などの電力、メーカーが参加することになっており、同様に国際プロジェクトの様相を呈してきている。このような動向の中に将来炉としてのありうべき姿をかいまみることができる。

7. 秦山原子力発電所

（浙江省嘉興市海塩県）

中国初の原子力発電所として1983年に着工し、1990年の運開予定であった。会議が終わって帰国した頃、日経新聞に現地ルポの記事があったので、織り混ぜて話を進める事にする。この発電所は上海の南西百キロほどの海浜にあり、出力30万キロワット、中国独自の設計で設備の90%は国産である。压力容器は三菱重工製など主要な機器は日本などから輸入したようだ。しかし国産品の品質が悪かったり、また工程管理もうまくいっていないようで運開は少なくとも半年は遅れるようである。当初国産、自力更生を旗印にしていたが、ここへきて日本や国際機関に協力を求める姿勢に変わりつつある。来年の運開に向けて日本の電力業界に技術者派遣などの協力を要請した。天安門事件の後で本会議の開催も危ぶまれていたにもかかわらず、中国側の強い要請があったと聞いたこともそれを裏付けている。運開後の電力は電力不足に悩む上海に送られる。現在建設中の1期工事に続いて、第2期工事（60万キロワット2基、1995年運開予定）、第3期工事（2基）の予定がある。

8. 大亜湾原子力発電所（広東省）

秦山のほかに現在中国では香港のそばで90万キロ2基が建設中である。発生電力の7割を香港に供給する計画で、香港と中国との合併事業であり、中国にとっては貴重な外貨獲得となる。原子炉はフランスのフラマトム、タービン発電機は英国GEC、プラントの設計から、工程管理、要員訓練、試運転などフランス電力公社が技術的責任を負う事になっている。1号機は1992年、2号機は1993年に運開の予定である。香港からの機中へ乗り合わせていたアメリカ人のおばさんは日本に剣道の段位の試験を受けに行くのだといってい

たが、大亜はdire(恐ろしい、悲惨な)に通じ、香港から引き上げの潮時ではといていた。気持ちには分からないでもない。同様の事をインドネシアの原子力開発についてシンガポール在住の英米人も言っているのを聞いた事がある。いったいどの神様が原子力発電開発の許しを与えるのであろうか。

蛾眉山月半輪秋

影入平羌江水流

夜発清溪向三峡

思君不見下渝州（李白「蛾眉山月歌」）

蛾眉山月 半輪の秋

影は平羌江の水に入りて流る

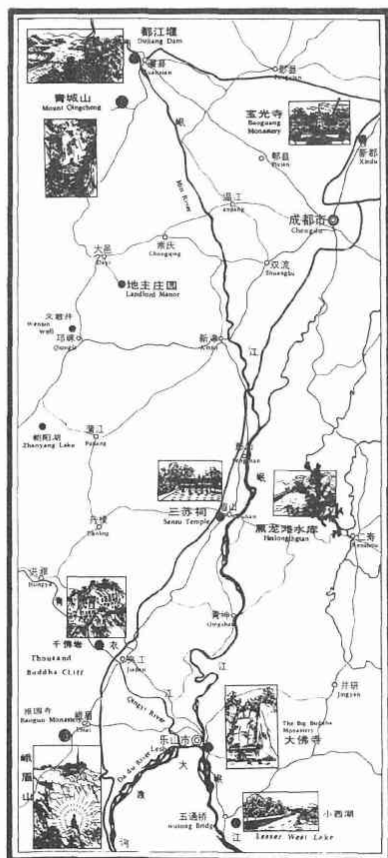
夜に清溪を発して三峡に向う

君を思えども見えず 渝州に下る

この詩は、若い頃の李白が西甬の蜀、今の四川省から川を下り、中央をめざして旅立ったときの作といわれている。

（まつい かずあき 副主席研究員）

AN ITINERARY MAP
OF CHENGDU—EMEI SCENIC SPOTS



電気自動車の導入とその社会，経済， 環境・エネルギー的インパクトの研究

越 川 文 雄
高 倉 毅
岸 孝 雄
蓮 池 宏

本稿は、当研究所が総合研究開発機構からの委託により実施した「電気自動車の導入とその社会，経済，環境・エネルギー的インパクトの研究」の成果を要約したものです。

1. 自動車と自動車交通の未来

1.1 自動車普及の背景とそのデメリット

自動車は人間を移動させ物を運搬するという人間活動の基本に関わるものであり、しかも、自由にドアーツードアで人間が移動することを可能とし、自由・開放感を感じさせる等、人間の感性に直接訴える魅力を持っている。そのため、自動車は大量に利用され、国民生活の必需品となっている。

一方、その普及は、鉄道等の公共交通機関の衰退という代償のうえに進展しており、いわゆる交通弱者を生み、交通事故の増加、環境の質の悪化、交通渋滞、石油依存度の増大等の大きな社会問題をもたらした。

1.2 ユーザーニーズの変化への対応

国民の価値観の多様化、高齢化の進展、人口の都市集中等の社会環境の変化のなかで、今後のわが国の自動車に対するユーザーニ

ズは、自動車利用の増大、高度化、実用指向と高級指向の二極分化等の方向に進んでいくと考えられる。

特に情報化の進展は、交通需要の代替となる面もあるが、相互補完、相乗効果により、総体としては交通需要を増大させる等のインパクトを持つ。自動車自体が情報通信機能を持ち、社会の情報システムの中で重要な役割を果たすようになるとともに、情報技術の採用により自動車性能の高度化が進展するであろう。

1.3 問題点への対応

自動車普及に伴うマイナスのインパクトのうち、現在特に強く改善対策が求められているのが、安全、環境、渋滞の問題である。さらに、エネルギー問題においても、また、最近大きな問題となっている地球環境問題においても、自動車についての対応策の重要性が増大している。それらの問題についての対応策として考えられているもののうちで、電気自動車等の代替エネルギー自動車の積極的導入は極めて重要である。

1.4 未来のイメージ

自動車および道路等の利用システムの基本

的イメージは、今後20年位のタイムスパンを考えた場合大きな変化は起こらないであろう。自動車の保有台数は今後とも増大するものと予想され、2000年には7,200万台(1985年では5,250万台)に達すると通産省は予測している。それに伴い交通量が増大し、社会のニーズに対応して交通および自動車の利用が変化することになる。

自動車の未来のイメージについて電気自動車との関連において考察してみると以下のとおりである。

すなわち、各種交通手段の棲み分けが進み、自動車は都市内交通、地域内交通等中短距離にて利用されることになる。高齢化等に伴い都市内では走行距離が低く抑えられ、騒音が少なく、低速走行に有利な電気自動車の利用が増大するであろう。特に渋滞、公害対策としてロードプライシング等が一般化し、その運用に当たって電気自動車にメリットが認められ、その導入促進が図られるであろう。地中や建物内を利用した自動車専用道路が多く建設されるが、そのような道路では排気を伴わず電気自動車を利用されることになる。郊外の地域内交通においては、キスアンドライド等が通勤、通学に利用され、ミニカー利用が増加する。特に高齢化に伴い屋内外共用のミニ電気自動車を利用されるようになるであろう。

2. 都市における自動車交通

2.1 都市交通の現状と将来

わが国では、大都市における通勤交通などには鉄道がかなり使われているが、地方都市では自動車に頼る傾向が強い。また、都市内の貨物の輸送はほとんど自動車によって行われている。旅客輸送、貨物輸送とも自動車の

分担率は増大する傾向にあり、ドアツードア性、機動性、高速性といった優れた特性を有する自動車交通への需要は今後も増大していくと予想される。

増大する自動車交通需要に対応していく際には、既存の自動車・既存システムの単なる量的拡大ではなく、自動車が有する優れた特性を維持しつつ、現在の問題点を減らし将来に向けての要求を満たすような自動車交通システムを実現していくことが重要である。

2.2 都市アメニティの高度化と住民参加

都市におけるアメニティ向上についての関心は、今後一層高くなるであろうと予想され、多様化する住民の意識を包含する都市づくりが重要になってきている。米国はこのような面からの取組がわが国に比べて進んでおり、ロサンゼルスでは交通計画や環境管理計画の策定過程において住民の理解と議論を助けるような配慮や工夫が行われ、それが住民意識にも反映されている。

アメニティの高度化とハイモビリティとの調和を図るためには、電気自動車等の低公害車の役割が極めて大きいと考えられ、ロサンゼルス状況に見られるように、わが国においても住民意識の高揚とともに低公害車についての認識が高まってくるものと期待される。

2.3 交通渋滞の緩和方策

わが国は先進諸国のなかで群を抜いて交通渋滞が激しいといわれ、今後、相当規模の道路建設投資が計画されている。

しかし、大都市では道路整備のみによって交通渋滞を解決することは不可能と言われており、交通需要の調整方策に配慮することも

今後はより重要になると考えられる。交通需要抑制にはさまざまな方法があり、一部ヨーロッパ等で実施されている。

わが国でも、トラフィックカーミングや地域を定めての進入規制、ロードプライシング等の実施が必要になり、それらは技術的にも経済的にもフィージブルであると予想される。こうした交通需要の調整方策は、住民の理解、受け入れの姿勢がなければ円滑にしかも効果的に実施することができない。このため、計画づくり段階からの住民参加、関連アセスメント結果の公表、マスメディアを通しての情報提供等により、住民エゴでなく真に住みよい町づくりに貢献しようという住民意識の高揚を図ることが、長期的にみると重要である。

2.4 都市環境問題と自動車交通

大気汚染については、わが国では窒素酸化物（NOx）による汚染が最も問題になっている。東京都は2000年を目標とするNOx排出削減計画を発表しており、それによると削減量の8割を自動車が分担し、主として排ガス規制の強化によりこれを達成する計画となっている。米国ロサンゼルスでも大気汚染（特にオゾンによる汚染）は深刻であり、最近2007年を目標とする総合的な改善計画がまとめられた。自動車関係の対策では、自動車の供給側での対策とともに、クリーン自動車の使用義務付けや都心部への自動車乗り入れ規制など、自動車を使用する側の理解が不可欠なものも含まれていることが注目される。

騒音についてもわが国では環境基準の達成は低いレベルに止まっており、そのような状況は改善されるよりむしろ少しずつ悪化する傾向にある。現在の自動車について騒音規制

の大幅な強化を行うことは容易ではなくなってきており、自動車騒音を画期的に低下させる手段として電気自動車の導入が期待されることになろう。

廃熱に関しては、環境基準や排出規制の対象となっていないが、ヒートアイランド現象等、都市の気候に明らかな影響を与えている。ヒートアイランド現象は、現在のところ人々の健康や社会活動に対し特に重大な被害を与えているような状況にはないが、間接的な影響も含めれば未解明な部分も多いため、現象とその影響に関する研究とともに防止策の検討も行っておく必要がある。

2.5 都市エネルギー利用と自動車交通

都市におけるエネルギー消費のうち自動車用エネルギーは約30%を占める。一人当たりの消費量をみると、東京都ではガソリンと軽油は全国平均よりやや少なく、自動車用LPガスは約2倍を消費している。

自動車用エネルギーが他の都市エネルギーと異なる点は、一次エネルギー源をすべて石油に依存していることである。今後は石油資源の不確実性に加え大気汚染問題からの要請もあって、新しい自動車用エネルギーの導入が進むものと予想される。また、石油依存度の低減、大気汚染対策と並んで、エネルギー効率の向上が今後の自動車用エネルギーの重要な課題となるであろう。

2.6 自動車に関するロサンゼルスと東京の住民意識

都市における自動車交通の今後の方向と自動車による公害・渋滞対策さらには低公害車の普及についての検討に資するため、米国ロ

サンゼルスと東京においてアンケート調査を行った。

ロサンゼルスは典型的な自動車依存型の都市であるといわれ、自動車交通を前提とした都市づくりが進められたが、今や自動車公害と交通渋滞に悩まされ、くるま社会の未来を象徴するものと考えられるようになっていく。そのため、こうした問題を改善しようという住民意識が高まりを見せており、2.4に述べたように具体的な対策実施に向けての動きが活発化している。

今回のアンケート調査においても、こうしたロサンゼルスと東京の実態をかなり良く反映した結果が得られた。とくに低公害車に対する住民意識の差異が浮き彫りされた点が注目される。

3. 電気自動車の現状と見通し

3.1 電気自動車と他の代替エネルギー自動車との比較

代替エネルギー自動車としては、電気自動車の他にアルコール自動車（メタノール、エタノール、Flexible Fuel Vehicle-FFV）、天然ガス自動車、水素自動車などがあり、それぞれ技術開発が進められている。

電気自動車はこのような代替エネルギー自動車と比較して、環境保全性やエネルギー効率の面で優れている。しかし、運転性能が劣っており、この点を改善することが電気自動車の最大の課題となっている。

3.2 電気自動車普及の現状

わが国における電気自動車の普及状況は、オンロード車が800台程度、オフロード車（ゴルフカーなど）が1,500台程度である。欧米に

おいてもほぼ同様の状況であり、本格的な普及には程遠いというのが現状である。

現在の電気自動車はガソリン車などの内燃機関を用いる自動車と比べて、性能面でかなり劣ること、また、このため用途が限定され生産台数が極めて少なく、高価なことが普及を拒む最大の要因となっている。

電気自動車の導入を促進する当面の方策としては、電気自動車の特徴を活かす利用分野を洗い出し、これらの分野で積極的あるいは集中的に電気自動車を利用していくことが考えられる。そのような観点から、国内外において新たな電気自動車導入の計画が進められている。

3.3 技術開発動向

わが国の動向としては、通産省工業技術院の電気自動車への新型電池適用可能性調査、資源エネルギー庁の電池交換型電気自動車の研究開発、環境庁の公害健康被害補償予防協会基金を活用した高性能電気自動車（最高時速110km/h、一充電走行距離240km）の開発などがある。また、電力会社は国内の自動車メーカーと協力して電気自動車の独自開発あるいは共同研究を進めている。

米国ではエネルギー省（DOE）を中心に長期的な研究開発が進められ、二次電池の開発、新しい駆動装置の開発とその試作車への搭載試験、各種電気自動車のフィールドテストなどが行われている。最近、新技術の粋を集めた電気自動車（ETX-II）が完成した。また、燃料電池と二次電池とを組み合わせた、ハイブリッド車の研究開発も開始されている。

現状の電気自動車の最大の技術的課題は電池の性能が不十分であると考えられてお

り、わが国や欧米諸国において鉛電池に代わる新型電池の開発が行われている。新型電池には多くの種類があるが、短期的にはニッケ



写真1 GMインパクト
(GM社 パンフレット)

一方、1990年1月にGeneral Motors社は画期的性能の新しい電気自動車(IMPACT, 写真1)を発表し話題を呼んだ。この電気自動車は、ボディの材料やデザイン、モーター、タイヤ等において軽量化、低抵抗化、高効率化を徹底したもので、鉛電池を用いても相当の性能の電気自動車が実現できることを示した。

わが国においても、同じ考え方にもとづく電気自動車の研究開発が進められている。新日本製鐵㈱が最近開発した高性能電気自動車(写真2)や東京電力㈱が開発計画を発表した高性能電気自動車は、こうした研究開発の成果の一端を示すものである。

3.4 ニューコンセプトカー開発の可能性

ニューコンセプトカーとは、現在の内燃機関自動車と同等の性能を持つ高性能電気自動車を意味する。ニューコンセプトカーが実用化されれば、電気自動車は性能上の制限からくる限定的利用という枠がかなり取り払われ、本格的普及が始まろう。ニューコンセプトカーでは今後の技術進歩を考慮し、一充電

ルーカドミウム電池、中期的にはナトリウム-硫黄電池、長期的にはリチウム系電池が期待されている。



写真2 新日本製鐵㈱の高性能
電気自動車NAV

走行距離、電池寿命、経済性などを飛躍的に向上させるものとし、小型普通クラスの乗用車に相当するものをモデルとして考えた。その内容はおよそ表1のようになる。

3.5 2010年における電気自動車の普及のシナリオ

現状の電気自動車の技術をベースとして考えた場合、2010年の電気自動車普及見通しはせいぜい15万台ぐらいに止まると考えられている。

したがって、本格的な電気自動車の普及を図るためにはニューコンセプトカーの実用化が不可欠であると考えられる。本研究では、ニューコンセプトカーの実用化を前提とし、かつ、2005年頃までに原油価格が45ドル/バレル程度に上昇するという仮定にもとづき、2010年には、

軽乗用車	120万台
小型・普通乗用車	210万台
軽・小型貨物車	240万台
普通貨物車	16万台
バス	5万台

特種車 9万台
 がそれぞれ普及するという想定を行った。
 この想定によると、2010年における自動車
 全体に対する普及率は、全国ベースで9%となる。このうち東京都では重点的な導入施策が取られ、24%の普及率が達せられるとした。

表1 ニューコンセプトカーの開発目標

項 目	開 発 目 標
車 体 構 造	軽量化ボディ（アルミニウム、FRP等新素材の活用） 低空気抵抗車体デザイン（空気抵抗係数 0.20程度） 低転がり抵抗タイヤ採用（転がり抵抗係数 0.005程度）
電 池	普及初期 ナトリウム―硫黄電池など開発中の新型電池 本格普及期 リチウム系などの未来型電池
性 能	最 高 速 度 : 150km/h程度 加 速 性 能 : 0-100km/h 13秒程度 一充電走行距離 : 普及初期 400km (10モード走行時) 本格普及期 600km
付 帯 装 置	空調、移動体通信、ナビゲーションシステム等の装置
経 済 性	ガソリン自動車と同程度

4. 電気自動車普及の社会、経済的要因

4.1 普及に当たっての社会的要因

わが国における電気自動車の普及目標としては、昭和58年12月に通産省の電気自動車協議会が、平成2年度でオンロード車5,000台、オフロード車10,000台の計15,000台という値を設定した。そして、電気自動車の普及を推進するため、自動車取得税軽減等の優遇税制、日本電動車両協会による電気自動車試用制度、環境庁の公害健康被害補償法に基づく助成、などが行われてきた。

しかしながら、現在の普及状況はオンロード車800台、オフロード車1,500台程度にとどまっている。電気自動車協議会では、最近の社会情勢の変化を踏まえて普及目標値の見直しを検討している。

今後の電気自動車の本格的な普及を目指すには、電気自動車自体の性能向上とコストダウンが必要であることはいうまでもないが、

その普及を促進するためには、さらに、サポートシステムとして充電スタンドや駐車場への充電設備の設置、電池リサイクルシステムの整備等も必要となろう。

また、道路運送車両法等の関連法規も電気自動車に適したものへの抜本的な見直し等が必要となるであろう。

助成措置に関しても、都心、ニュータウン、国立公園等において電気自動車利用モデル地域を設定し、充電スタンド等のインフラ整備をも対象とした助成を行うことにより、多数の電気自動車の同一地域における利用促進を図る、深夜電力使用料金相当あるいは季特別料金等の電力料金制度の導入等により電気自動車へのインセンティブを与える、など一層の努力が望まれる。

これら電気自動車普及の基本的な課題以外にも、①ガソリン自動車の乗り入れ規制を行い、電気自動車を優先的に使う交通システムの導入、②深部地下空間を有機的につなぐ地

下道路の交通手段としての電気自動車導入、
③高齢化社会への対応として低速走行ゾーン
の設定と、そこへの電気自動車導入などを図
ることが考えられる。

4.2 普及に当たっての経済的要因

現在、電気自動車は年産10～30台(軽四輪)
程度の少量生産であり、車両価格はガソリン
自動車の3倍程度とかなり割高となっている。
したがって、トータル年経費でも電気自

動車はガソリン自動車の約2倍かかり、この
ままでの普及促進を図ることは、かなり難し
い。第3章で提示したニューコンセプトカー
について、現在(1990年)、2000年並びに2010
年時点における経済性を一定の前提条件をも
とに試算すると、図1に示すように、本格的
に普及するであろう2010年には年経費でみて
ガソリン自動車と同等以下になると見込まれ
る。年経費のなかでは、車両価格の償却費が
大きな比重を占めており、車両価格低減の実

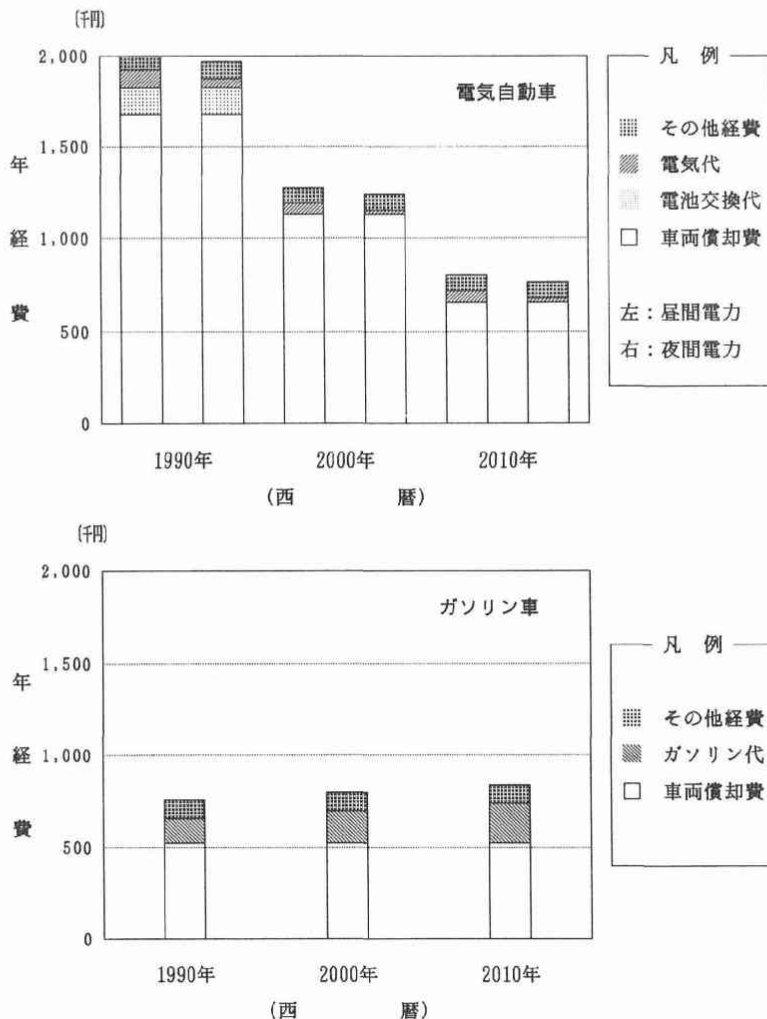


図1 電気自動車とガソリン自動車の経済性

現こそが、電気自動車の普及促進を達成する上で欠かすことができないポイントである。

4.3 電気事業への期待

電気事業は、わが国だけでなく海外においても、電気自動車が電力負荷平準化等の役割を果たす可能性のあるものとしてこれまでも関心を持ち、研究開発や業務用車としての利用を試みてきており、最近では、さらに力を入れる方向になってきている。

特に、米国の電力会社のなかには、経営多角化の有力事業分野として位置づけ、一般消費者を対象とした電気自動車販売、電池リース、修理サービス等のソフト蓄積を試みているところ等、電気自動車の開発普及について積極的に取り組んでいる事例がみられる。

わが国の電力会社も、最近の経営環境の変化等への対応として経営多角化に積極的に取り組む方向が出てきており、情報通信、熱供給、都市再開発さらには、各種地域活性化に資する事業に参画するようになってきている。運輸分野への取り組みは、これまであまり大きなものは見られないが、黒部川のダム建設用に作られたトンネルを利用した観光用トロリーバス事業を経営している例等がある。

電気事業と電鉄事業とは、過去において極めて密接な関係にあり、両者には本質的な親近性がある。電気自動車や新交通システムは、電力技術者の得意とするパワーエレクトロニクスやシステム技術を駆使したものであり、技術的な共通点が多い。しかも、これらは地域振興に役立つだけでなく、地域社会の環境改善にも貢献するものである。

このように、電気自動車関連分野は電気事業の多角化の対象として検討するにふさわし

いものと思われる。

5. 電気自動車普及によるインパクト

第3章において想定した電気自動車の普及(2010年において全国で600万台、うち東京都で120万台)が実現した場合のインパクトについて、交通の流れ、都市環境、都市エネルギー、防災・保安の面から検討を行った。

5.1 交通の流れ

排ガス公害や騒音公害の減少による道路建設の円滑化、自動運転の導入による交通容量の増大などにより、交通渋滞の解消に寄与すると考えられる。

5.2 都市環境

東京都における自動車からのNOx排出量は、2010年において23,700t/年と推定されるが、電気自動車の普及により24%(5,800t/年)が削減される。この削減量は、一般環境におけるNOx濃度を環境基準下限値(0.04ppm)以下とするために必要な削減量9,600t/年の6割に相当する。

また、東京都のエネルギー消費に伴う廃熱が6%減少してヒートアイランド現象の抑制への寄与が見込まれるほか、騒音の低減についてもかなりの効果が期待される。

5.3 都市エネルギー

東京都の電力負荷率は電気自動車の普及により1.1%改善される。

省エネルギー効果については、全国ベースでのエネルギー需要が1.2%減少し、石油消費量については、同じく全国ベースで2.5%減少するといった効果が推定される。このほか、

NOx排出削減によりコジェネレーションシステム導入の余裕が生じれば、そこでの省エネルギーも期待できる。

5.4 防災・保安

ガソリンや軽油の輸送・貯蔵が少なくなることにより、事故の危険性が減少するというメリットがある。ただし、新型電池に使われる活性の高い物質(ナトリウム、リチウム等)の安全性確保については、使用時はもちろん廃品の処理・回収なども含めて十分な検討が必要である。

上のように、電気自動車は現在の自動車および自動車交通の弊害を少なくするとともに、より多くの人が自動車を利用することを可能にすると考えられる。さらに、電気自動車の導入利用を地域の交通計画と組合せて考えることは、都市アメニティの高度化を推進していく上でも有用であると考えられる。

6. 電気自動車普及方策

これまでのアセスメント結果をもとに、自動車のあり方等についての基本認識を明らかにした上で、長期的視点にたって電気自動車の本格的普及を図るためには、現時点において何をなすべきかを明らかにした。

〔基本認識〕

自動車の普及は社会に大きな問題をもたらしているが、自動車の必要性や魅力は今後さらに増大するものであり、今後とも一層多くの人々が自動車の利用を可能とするための工夫をすべきである。そのためには、ハード面での技術進歩とともに利用者意識の改革と利用に当たってのソフト面での革新が不可欠で

ある。

電気自動車はこうした方向に沿うものであり、特に地球環境時代におけるその意義・役割は極めて大きく、その開発普及を全地球的課題として促進すべきである。

〔電気自動車の本格的普及を図るための方策〕

- (1) 電気自動車の本格的普及を図るためには現在のガソリン車並みの性能を持つニューコンセプトカーの開発をナショナルプロジェクトとして推進すべきである。併せて大型トラック用等に適した燃料電池との組合せによるハイブリッドカーの開発にも取り組むべきである。
- (2) ニューコンセプトカー等の開発のためにも、現状の電気自動車の性能向上のためにも高性能新型電池の開発をナショナルプロジェクトとして推進すべきである。
- (3) 現状の電気自動車は、性能的に用途が極めて限定されるが、きめ細かい用途に応じた製品開発、国等による革新的な助成等により電気自動車の利用実績を蓄積すべきである。
- (4) 電気自動車の本格的普及を図るためには、販売、修理、充電スタンド等のインフラ整備必要である。この面での電気事業者の貢献が期待される。
- (5) 住民参加の都市づくりを通して都市アメニティ高度化の努力が強化され、とくに電気自動車の優れた点が理解され、利用が促進される可能性が高いと思われる。そのため、米国にならい住民参加の都市づくりをわが国において定着させる努力を行うべきである。
- (6) 自動車用代替エネルギーに関する本格的アセスメントを行い、今後の自動車社会に

おける電気自動車の役割，位置付けを明らかにすべきである。

補 記

最近の地球環境問題および中東情勢を背景として，通産省は，くるま社会のあり方等について検討すべくフォーラムを設置したり，電気自動車の普及促進策を見直すための準備を進めている。環境庁においても，平成3年度の新政策として電気自動車1000台普及計画を推進しようとしている。

このように今後，くるま社会のあり方，電気自動車の普及方策について国民の関心が高まり，具体的な方策が検討され，実施されることになると思われるが，本研究の成果がこ

うした検討に当たって大いに参考になれば幸いである。

謝 辞

研究の過程において，総合研究開発機構の方々をはじめ，NIRA-EV研究委員会(当所内に設置)の岸田純之助委員長(㈱日本総合研究所顧問)，太田勝敏主査(東京大学助教授)，その他，自動車・電力関連の専門家の方々にご指導ならびにご協力をいただいた。紙面を借りて深く感謝申し上げます。(こしかわ ふみお 専務理事，たかくら たけし 副主席研究員，きし たかお 主任研究員，はすいけ ひろし 主任研究員)

ソーラーカーの開発動向

白 江 孝 俊

1. はじめに

今日、化石エネルギーの大量消費は酸性雨や二酸化炭素などによる地球温暖化といった地球環境問題を引き起こした。また、石油を中心とする世界のエネルギー需要の増勢に対し、今後、石油需給の逼迫化や中東依存度の高まりが懸念されており、石油代替エネルギーの開発導入や省エネルギーが推進されている。このような中で、運輸部門における対策の一つとして、環境との調和やエネルギー利用効率化を目指して、従来より電気自動車の開発が行われている。

一方、近年、スイスのツール・ド・ソルや豪州のワールド・ソーラー・チャレンジ (W S C) 等、ソーラーカーレースが盛んに行われるようになり、マスコミに取り上げられたこともあって、専門家はもちろん、広く一般にもソーラーカーが注目されるようになってきた。我が国においても、その種のレースに出場することを目的としたソーラーカーが何台も製作されてきており、さらに、最近では、クリーンエネルギーカーとして、コンピュータの開発も実施されている。

本稿では、ソーラーカーの開発動向として主要コンポーネントの一般的な技術動向を概説し、これまでに開発されたソーラーカーの実例を紹介するとともに、各国で実施されて

いるソーラーカーレースについて概要を報告する。

2. ソーラーカーの技術動向

典型的なソーラーカーは図1に示すような主要コンポーネントで構成されている。ソーラーカーは、天候に左右され不安定な太陽エネルギーを安定的に利用するため、あるいは発進時や加速時の出力不足を補うため、蓄電池を搭載しているのが普通である。蓄電池容量の大小は別にして、太陽電池部分が電気自動車に付加されたと考えれば、ソーラーカーは技術的には電気自動車の一種である。以下に、このソーラーカーを構成する主要コンポーネントについての技術動向の概要を述べる。

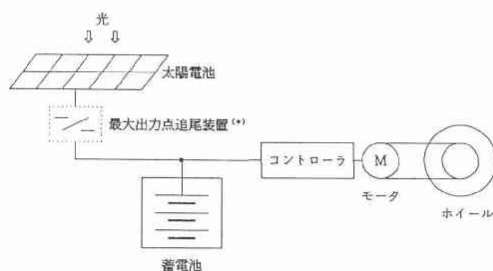


図1 ソーラーカーの概略構成

(*) 最大出力点追尾装置は省略される場合もある。

2.1 太陽電池

太陽電池は光を直接電気に変換する装置であり、太陽電池に用いる半導体材料としては、

広く一般に知られているシリコン (Si) の他に、化合物半導体のガリウムヒ素 (GaAs) などがある。

(1) シリコン太陽電池

一般に、太陽電池といえば、現在ではシリコン電池のことと思ってよく、ソーラーカーへ適用されているのも、主にシリコン太陽電池である。使われるシリコンの形によって、単結晶、多結晶、およびアモルファス (非晶質) の三つに大別される。単結晶シリコンが最も変換効率が高いが、製造に手間もかかり多量の電力を消費する。逆に、アモルファス・シリコンの場合は、工程も少なくコストも安い、変換効率は最も低い。

太陽電池の変換効率を向上させることは、その製造コストの低下とともに、この方面の研究開発の主要な目標である。研究室レベルの記録としては、単結晶で24%の変換効率達成が豪州ニューサウスウェールズ大学Martin A. Green博士から報告されている。市販される太陽電池セルの変換効率は、単結晶の場合15~16%、多結晶で13~14%に達しているが、アモルファスの場合はせいぜい10%である。そのうえ、アモルファスでは、使用開始後の数週間間に1割程度効率が落ちる初期劣化現象が見られる。

競技用のソーラーカーでは高効率が求められているので、単結晶が主流となっており、'90WSCでは、はくさんが変換効率19.3%のセルを製造、使用したが、中にはアモルファスの適用を試みているチームもあった。

(2) 化合物半導体太陽電池

宇宙用 (人工衛星用) には特にガリウムヒ素電池が注目されているが、それはその変換効率がシリコン電池よりも高い (宇宙用で

22.5%が得られている) ことのほかに、耐放射線や耐熱の点で優れているからである。しかし、価格的にはシリコン電池に比べてはるかに高く、特殊用途用である。ソーラーカーにおいても、競技用として、1987年のWSCにおいて圧勝したゼネラル・モーターズ (GM) のサンレーサーに用いられたことは有名であるが、ガリウムヒ素の強い毒性が環境へ及ぼす影響についての懸念や批判もあるようである。

このほか、ソーラーカーへの適用は不明だが、 CuInSe_2 (略してCIS) やInP太陽電池も注目されており、さらにアモルファス太陽電池と他の太陽電池を組み合わせたタンデム化による高効率化も話題になっている。

2.2 蓄電池

輸送分野では、石油代替として、かねてから電気自動車が注目されてきた。その電気自動車における一番の技術開発対象となっているのが、蓄電池 (二次電池) であり、ソーラーカーにおいても小型・軽量で高性能な蓄電池が求められるのは同じである。ソーラーカーには、電気自動車用として開発されている蓄電池が適用されているのが通常であるので、ここでは電気自動車用蓄電池について述べることにする。

電気自動車用蓄電池の性能としては、エネルギー密度 (Wh/kg) と出力密度 (W/kg) が重要な尺度である。一充電走行距離 (1回の充電で走ることのできる距離) を延ばすためにはエネルギー密度が高いこと、加速性や登坂力のためには出力密度が高いことが望まれ、それが不十分な場合には電気自動車の利用範囲が限定される。両者の間には一般に相

反する関係があつて、一方を大きくしようとすると他方が小さくなる傾向がある。また、実用に耐えるためには、寿命も重要な要素であり、充放電できる回数（サイクル数）によって寿命を表すが、エネルギー密度と寿命の間にも相反する関係があつて、一方を上げようとすると他方が低下する。

表1に、各種新型電池の性能の概略を示す。我が国では、電気自動車用としては、これまでニッケル―鉄、ニッケル―亜鉛、亜鉛―臭素、ナトリウム―硫黄、ニッケル―カドミウ

ム電池などの開発や適用の検討がなされてきた。アメリカの場合は改良型鉛の次の段階としてニッケル―鉄の実用化が目指され、その後にナトリウム―硫黄やリチウム―硫化鉄が有望視されている。欧州では当面鉛電池を利用するが、それに次ぐ新型電池の評価は国によって異なり、フランスではニッケル―カドミウム、イギリスやドイツではナトリウム―硫黄の開発が盛んである。競技用ソーラーカーでは、銀―亜鉛電池の適用が多い。

以下に、主な電池について簡単に説明する。

表1 電気自動車用新型電池の性能一覧

種類 項目		鉛	ニッケル―カドミウム	ニッケル―鉄	ニッケル―亜鉛	亜鉛―臭素	ナトリウム―硫黄
エネルギー	重量	40Wh/kg	55Wh/kg	55Wh/kg	70Wh/kg	70Wh/kg	85Wh/kg
密度	体積	75Wh/ℓ	95Wh/ℓ	90Wh/ℓ	130Wh/ℓ	85Wh/ℓ	100Wh/ℓ
出力	密度	130 W/kg	200 W/kg	100 W/kg	150 W/kg	90 W/kg	130 W/kg
充放電効率 (DC-DC)		75%	75%	65%	75%	70%	80%
自己放電率		0.2%/日	0.5%/日	1%/日	0.5%/日	1%/日	~15%/日
サイクル寿命		300~600	1,000 1,200	800~1,500	200~250	~300	~350
種類 項目		ニッケル―水素	銀―亜鉛	アルミニウム空気	常温型リチウム	高温型リチウム	
エネルギー	重量	60Wh/kg	80Wh/kg	170Wh/kg	100Wh/kg	100Wh/kg	
密度	体積	200Wh/ℓ	180Wh/ℓ	170Wh/ℓ	200Wh/ℓ	230Wh/ℓ	
出力	密度	200 W/kg	150W/kg	100 W/kg	200 W/kg	130 W/kg	
充放電効率 (DC-DC)		80%	80%	~20%	85%	80%	
自己放電率		0.5%/日	0.5%/日	1%/日	0.03%/日	2%/日	
サイクル寿命		300~700	~100	1,400	200~400	300	

(注) 鉛、ニッケル―カドミウム、ニッケル―鉄、ニッケル―亜鉛、亜鉛―臭素、ナトリウム―硫黄、銀―亜鉛は実車搭載可能電池、他は単3型または数セル規模での実績値

(1) 鉛電池

二次電池の元祖である鉛電池では、正極が過酸化鉛 (PbO_2)、負極が鉛 (Pb)、電解液は希硫酸である。1859年に発明されて以来、種々の改良が重ねられ、その相対的な経済性から今日でも最もよく利用されている電池である。1970年代からは、保守不要の密閉型鉛電池が実用されるようになり、可搬機器の電源用や自動車用、通信の予備電源などの据置用にも採用されており、ソーラーカーにも多く用いられている。

(2) ニッケル-カドミウム電池

以前から実用されているが、今日の電池は、正極にオキシ水酸化ニッケル (NiOOH)、負極にカドミウム (Cd) を用い、水酸化カリウム水溶液を電解液として、さらに密閉化が図られている。我が国では、主にポータブル機器の電源用として、エネルギー密度の向上や充電速度の向上などを目指して開発が進められており、一方、海外では電気自動車用の開発が進められているが、ニッケルもカドミウムも高価なため電池のコストは鉛電池の3倍程度と言われており、その低減が最大の課題である。

(3) ニッケル-鉄電池

正極にオキシ水酸化ニッケル、負極に鉄 (Fe) を用い、水酸化カリウム水溶液を電解液とした電池である。今日ではエネルギー密度も出力密度も寿命も比較的良好、特にアメリカや欧州では電気自動車用として鉛電池に取って代われるものとして期待されているが、鉄極の溶解と水の分解を抑えにくいため、充放電効率や保守性の面でやや劣る。また、ニッケルを使用するためコストの点に不安がある。

(4) ニッケル-亜鉛電池

正極にオキシ水酸化ニッケル、負極に亜鉛 (Zn)、電解液に水酸化カリウム水溶液を用いた電池で、エネルギー密度、出力密度、充放電効率などでニッケル-鉄より優れているが、寿命が短いことが実用上障害になっている。

(5) 銀-亜鉛電池

正極を酸化銀 (Ag_2O または AgO)、負極を亜鉛とし、水酸化カリウム水溶液を電解液とした電池で、エネルギー密度も出力密度も極めて高く、保守性にも優れるが、寿命が短く、銀を使用するので高価なため特殊用途に限られる。ソーラーカーにおいては、競技用として多く用いられている。

(6) 亜鉛-臭素電池

正極に臭素錯化合物、負極に亜鉛、電解液に臭化亜鉛水溶液を用いた電池で、主な特徴としては、構造材料の大部分がプラスチックであり大量生産に適しているが、ポンプで電解液を循環させる必要があることや、充電の際に亜鉛が均一に析出するように1ないし数サイクル毎に完全放電する操作が必要なことなどがある。電気自動車用としては、トヨタ自動車は1987年の東京モーターショーに出展した小型電気自動車 (EV30) に搭載された。海外での開発の歴史は古く、欧米で開発が進められている。

(7) ナトリウム-硫黄電池

正極を硫黄 (溶融状態)、負極をナトリウム (溶融状態) とし、ベータ・アルミナを固体電解質 (隔離板の役目も兼ねている) とした高温作動 ($300\sim 350^\circ\text{C}$) の電池である。この電池はエネルギー密度も充放電効率も高く、完全密閉で保守性に優れている。しかし、作

動温度が高いため熱管理が必要である。欧米でも開発が進められ、特にイギリスやドイツではすでに実車走行の報告もある。

2.3 モータおよびコントローラ

太陽電池や蓄電池からのエネルギーを使ってモータを駆動し、車輪に伝達して車体を動かすのであるが、車速の制御はすなわちモータの回転速度の制御であり、モータを制御するためにコントローラが付随して必要になる。モータには、直流（直巻、分巻、複巻、他励）モータ、誘導モータ、同期モータがあり、各々その速度制御法がある。近年、半導体電力変換技術の進展により、特にバイポーラパワートランジスタやGTO（Gate Turn Off Thyristor）等の自己消弧素子の大容量化

が目覚ましく、また高性能マイクロプロセッサやLSI技術の進歩により制御システムのデジタル化が促進されている。

各駆動系の特徴を示すと表2のようになり、現状では、直流駆動系と交流駆動系ではほとんど差がなく、今後のインバータ素子や回路技術、制御技術の発展に伴い低コスト高効率の制御が可能になることを考えれば交流駆動が有利になってゆくものと考えられ、特に永久磁石同期モータは希土類磁石等、磁性材料の研究がすすめば有望と考えられる。ソーラーカーにおいても、競技用には永久磁石同期モータの適用が多い。

以下に、モータの可変速制御システムの技術動向を整理してみた。

表2 各モータ駆動系の特徴

		直流モータ駆動系	交流モータ駆動系	
			誘導モータ駆動系	同期モータ駆動系
モ ー タ	種 類	分巻（他励）直流モータ	かご型誘導モータ	永久磁石モータ
	重 量	重	軽	軽
	保 守	ブラシの交換必要	ほとんどなし	ほとんどなし
	コスト	高	低	高
駆 動 回 路		電機子電圧制御チョップアップ回路、界磁電流制御チョップアップ回路	電圧型インバータ（電流制御・電圧制御型）	電流制御電圧型インバータ
制 御 方 式		電機子電圧、界磁電流制御 (簡単)	V/f一定制御＋すべり周波数制御、ベクトル制御 (複雑)	ベクトル制御 (複雑)
検 出		モータ回転数	モータ回転数 回転子位置	回転子位置
モータ効率		高	中	高
変換器効率		高	中	中
変換器コスト		低	中	中

(1) 直流モータ

直流モータは、機械的整流に伴う種々の問題点を有するものの電機子電圧、界磁電流の双方の制御によって種々の特性が持たせられるという制御性の良さから広く用いられている。半導体電力変換装置を用いて、界磁電流のチョップ制御と電機子電圧のチョップ制御とが行われている。直流モータの問題点はモータの重量が重く整流子が必要なため保守の問題があることと、回転数に制限があること、およびブラシの長寿命化が課題である。

(2) 誘導モータ

誘導モータは、モータ自体が堅牢で整流子なども不要なため、コストが低く保守もほとんど不要である。しかし、速度制御を行うには直流モータに比べて複雑な制御が必要になる。従来より、1次電圧制御法、可変電圧可変周波数制御による V/f 一定制御法あるいはすべり周波数制御法などが一般に用いられているが、最近では、広範囲にわたって高速応答が可能なベクトル制御が主流となりつつある。ベクトル制御は、電流ベクトルを回転磁界と同方向の励磁電流成分とこれに直交するトルク電流成分に分離し、各々を独立に制御するもので、直流モータと同様な高精度の速度制御が可能となる。

電気自動車への適用では低速領域でベクトル制御によりトルク一定とし、高速領域ではすべり周波数制御により出力一定とすることが考えられる。回転子の銅損、インバータの損失などのため直流モータよりも効率が低下する。また、インバータおよび制御系のコストの問題は、最近のパワーエレクトロニクス発展により急速に改善されてきている。回転磁界の検出が必要であるが、検出器を不要

にする方法の検討も行われている。

(3) 同期モータ

電気自動車用として、同期モータを速度制御に用いたものとしては、慣性の小さな強力永久磁石を回転子として用いることにより高速回転が可能で接触子のない永久磁石同期モータ（ブラシレスDCモータとも呼ばれる）が有望になってきており、競技用ソーラーカーで多く用いられている。これは最近の磁性材料の進歩により強力な希土類永久磁石が得られるようになったことが大きく、誘導モータと比べて回転子の銅損がない分、効率が向上する。永久磁石同期モータは誘導モータと同様に三相電圧型インバータにより駆動され、速度制御はベクトル制御により行われる。

電気自動車への適用においては、低速の定トルク領域ではベクトル制御により定トルク特性を得て、高速の定出力領域ではインバータ出力電圧を矩形波として位相制御により磁束弱め制御をして定出力特性を得る。ベクトル制御および位相制御に際しては、回転子の位置検出が重要である。また、誘導モータと同様にインバータおよび制御系のコストと効率の問題があるが、今後著しく改善されていくと考えられる。より重要な課題は、使用する永久磁石の特性およびコストであり、今後の開発が期待される。

2.4 車体

車体については、新しい材料により軽量化が可能になってきている。例えば、鉄製の部分を大幅にアルミニウム化したり、窓類をプラスチック化するなど、随所に新素材を用いることによって重量を低減することができる。総重量を減らすことは、タイヤのころが

り摩擦抵抗を減らす効果やブレーキ損失の低減効果もあり、さらに加速時のモータの効率を向上させる上でも有効である。

ボディフレームについては、従来主に用いられてきた冷間圧延鋼板に代わって、高張力鋼、高張力アルミニウム、カーボンFRP、アラミド繊維などが新材料として供され始めており、強度や弾性などの性能と価格を勘案して用いられる。

また、車体設計の点では、空気抵抗をいかに少なくするかが重要であり、空気抵抗係数(Cd値)の小さなデザインが求められている。競技用ソーラーカーでは市販乗用車の半分程度の値のものが用いられている。

2.5 その他

これまで述べた主要コンポーネントの他に特記すべき点を以下に紹介する。

(1) 最大出力点追尾装置

ソーラーカー独自のものとしては、太陽電池の出力を常に最大に得られるようにその出力電圧を制御する最大出力点追尾装置(MPPT: Maximum Power Point Tracker)がある。用いられるDC/DCコンバータの変換損失や若干の重量増を伴うので、太陽電池と蓄電池の組合せを最適値に固定してMPPTを省略することも可能だが、変換損失については効率98%程度のものが実用されており、今後搭載される方が主流となるであろう。

(2) タイヤ

タイヤは主要コンポーネントの一つと言ってもよいものであり、そのころがり摩擦抵抗を小さくするため、ころがり摩擦係数の小さなタイヤの開発が行われている。競技用ソーラーカーにおいては自転車用のタイヤが多く用

いられ、乗用車用の市販ラジアルタイヤの半分程度のころがり摩擦係数を得ている。

(3) ダイレクトドライブ方式

モータの出力を車輪に伝える伝達機構を取り除き、モータを直接車輪に取りつけて駆動するダイレクトドライブ方式が採用されれば、エネルギーの伝達に係わる損失がなくなることや軽量化・省スペース化が図れることなど利点が多い。競技用ソーラーカーでは、チェーン駆動のものが多く用いられているようである。

(4) 回生ブレーキ

電気自動車ではモータを発電機として働かせることにより、減速時にブレーキで消費されるはずの運動エネルギーを電気エネルギーに変換し、電池に再充電することができる。このように、減速の際にエネルギーを回収するシステムを回生ブレーキと呼ぶが、半導体電力変換技術の進展により、より一般的な技術として取り入れることが可能となってきた。

3. ソーラーカーの開発状況

開発されているソーラーカーには、現在のところ、ソーラーカーレースのための競技用のものと、一般の実用目的のものがある。競技用ソーラーカーの代表例として豪州WSCの第1回と第2回の優勝車の概要を各々表3、図2と表4、図3に示す。競技用では、徹底した軽量化や空力特性の向上などを図り、高性能の太陽電池や蓄電池を使用して高出力化するなど極限まで高効率化を追求しているため、トップクラスのものでは、1人乗りではあるが、最高時速が100km/hを超えるものも作られている。このような競技車の開

発を通じて培われた技術が一般用の実用車あるいは電気自動車の開発に適用されていくことになるであろう。GMにおいて、サンレー

サの開発経験を1990年1月に発表された高性能電気自動車インパクトの開発へ結び付けたことなどは、その好例である。

表3 1987WSC優勝車（サンレーサ）の概要

項 目		諸 元
寸 法		6,000 (L)×2,000 (W)×1,000 (H) mm
空車重量／乗車人員		177kg／1名 (85kg)
空 気 抵 抗 係 数		0.13
モ ー タ	種 類	ブラシレスDCモータ (GMRLマグネチエンチIII)
	重 量	5 kg
	出 力	1.5kW (2 hp)／4,000rpm
太陽電池	面 積	8 m ²
	出 力	1.5kW peak power, 150 V
蓄 電 池	種 類	銀-亜鉛電池
	容 量	25Ah, 102 V, 68セル
	重 量	27kg
ブレーキ	一 次	回生制動 (左後輪)
	二 次	油圧ディスクブレーキ (前2輪)
	非 常 用	メカニカルディスクブレーキ (右後輪)
特 性	加速性能	20秒 (0→64.4km/h)
	最高速度	78km/h* (太陽電池のみ)
		129km/h (太陽電池+鉛蓄電池)

(注)*：1988年6月アリゾナ州メサのGMグランドで公式記録員立会いのもと、蓄電池を搭載せずに達成した世界新記録である。(これまでの記録は1987年にサンレーサー1号車により樹立された57km/h)



図2 1987年WSC優勝車（サンレーサー）の外観

表4 1990WSC優勝車（スピリット・オブ・ビール）の概要

項 目		諸 元
寸 法		5,620 (L)×2,000 (W)×1,000 (H) mm
空車重量／乗車人員		175kg／1名 (80kg)
空 気 抵 抗 係 数		0.13
前 面 投 影 面 積		1.1m ²
モ ー タ	種 類	ブラシレスDCモータ
	重 量	4.2kg
	出 力	1.1kW, 5.0kW peak power
太陽電池	面 積	7.67m ²
	出 力	1.3kW peak power
蓄 電 池	種 類	銀－亜鉛電池
	容 量	25Ah (35Ah at C/5), 129V, 86セル
	重 量	38kg
ブレーキ	前 輪	油圧ディスクブレーキ
	後 輪	メカニカルブレーキ
特 性	最高速度	72km/h (太陽電池のみ)
		100km/h以上 (太陽電池＋鉛蓄電池)



図3 1990WSC優勝車（スピリット・オブ・ビール）の外観

当初より一般の実用車を目指しているものとしては、日本では、東京電機大学の藤中教授が市販小型乗用車を電気自動車に改造し、車載補助電源としてソーラーパネルをルーフ上に架装してソーラーカーとされているのが有

名である。最近では、通勤カーとしての開発に取り組む企業も現れてきて、有力太陽電池メーカーの一つである京セラにおいて、実用的なソーラーカー（ソーラー通勤カー：SCV）の開発が行われている。

試作車SCV-0（表5、図4参照）が既に公開されており、買物など近距離走行用に5年以内の実用化を目指すとしている。太陽電池メーカーでは、三洋電機やはくさんでも博覧会用などのソーラーカーを製作した例がある。

また、必ずしも実用車としての開発とは言えないが、トヨタ自動車によってマラソン伴走用ソーラーカーSC10（通称RaRaII）が開発され、我が国で初めて制限付きながらナンバープレートを交付された。表6および図5に概要を示す。

表5 京セラSCV-0の目標仕様

項 目		諸 元
寸 法		3,300 (L)×1,400 (W)×1,300 (H) mm
空車重量／乗車人員		350kg／2名
モーター	種 類	ACサーボモーター
	出 力	1.5kW 4台
モータードライバ		PWMインバータ
太陽電池	面 積	7.67m ²
	出 力	0.46kW peak power
蓄電池	種 類	ニッケル—亜鉛
	容 量	6kWh
特 性	最高速度	80km/h
	登坂能力	0.3／15 (tanθ／km/h)
	一充電走行距離	240～300km (40km/h 一定・快晴)
		120～150km (4モード・快晴)



図4 京セラSCV-0の外観

表 6 トヨタSC10の概要

項 目		諸 元
寸 法		4,785 (L)×1,995 (W)×1,240 (H) mm
空車重量／乗車人員		210kg／1名
モーター	種 類	ブラシレスDCモーター
	出 力	1.5kW
太陽電池	出 力	0.87kW peak power
蓄電池	種 類	銀-亜鉛電池
	容 量	20Ah, 100V
特 性	最高速度	44km/h
	制動停止距離	10m (初速35km/h)
	登坂能力	10度
	加速能力	0.6m/s ²
	最小回転半径	4.8m

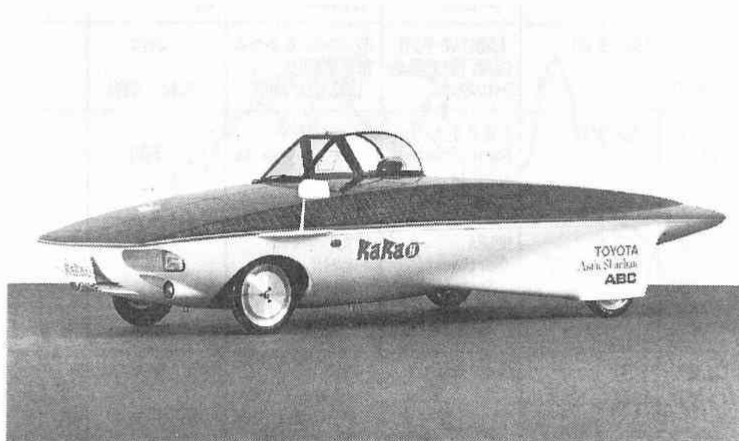


図 5 トヨタV10 (通称RaRaII) の外観

海外では、ツール・ド・ソルの行われているスイスにおいて実用が進んでおり、1984年以降、公道を走るようになり、現在は約600台が走るようになっているとのことである。ただし、太陽電池を積載するタイプではなく、自宅屋根の太陽電池やソーラースタンドなどで充電するタイプが主流のようである。

4. ソーラーカーレースの実施状況

表 7 には世界で行われている主なソーラーカーレースを示す。最も古いのがスイスで毎年行われているツール・ド・ソルで、実用車からレーシングカーまでカテゴリーを分けて競う山岳コースのステージ制レースである。

これに対し、豪州のWSCは距離が長く、耐久レース的色彩が強いが、その自然の雄大さもあって世界的にも最も有名なレースとなっ

ている。WSCは、第2回が1990年11月に開催されたばかりであるので、以下に簡単に紹介する。

表7 主なソーラーカーレースの概要

No	レース名	開催期日	主催者/スポンサー	コース概要	参加車	備考
1	Tour de Sol (スイス)	1985 1986 1987 1988 1989. 6. 26~7. 1 1990. 6. 25~30	Tour de Sol/ 各年毎に募集 (前年度優勝者に優先権有) (日本事務局) (株) 欧州トランス	各年度毎に設定 '89コース: スイス国境 エトネーラインクワルテ 約400km '90コース: シャウゼン - ミュンゼン 約300km	1989年 111台 (日本 0台) 1990年 82台 (日本 0台)	自然環境保護のための ソーラーエネルギー利用の 促進・普及が目的 ガリ- 別 ステ-ジ 制
2	World Solar Challenge (オーストラリア)	1987.11.1~12 1990.11.11~22	Energy Promotions / 各回毎に募集 (日本事務局) (株) 東京映像社	オーストラリア大陸縦断 (ダーウィン - アデレード) 約 3,000km	1987年 23台 (日本 4台) 1990年 36台 (日本11台)	長距離ビードレース
3	朝日ソーラー ・ラリー (日本)	1989. 9. 4 1990. 10. 10	朝日新聞社 (協賛 シャ-ワ)	神戸市立農業公園 1989年 1.3km/周回 1990年 1.7km/周回	1989年 10台 (全て日本車) 1990年 14台 (米2台招待)	デモンストレーション・ラン
4	GMサソレス USA	1990. 7. 9~19	General Motors アメリカエネルギー省 アメリカ自動車エンジン アソシエーション	アメリカ大陸縦断 カリフォルニア州 8つの州を通る 2,640km	大学 32台 (100以上の申込 から32チームに 選抜)	World Solar Challengeへ上位3 台を派遣
その他	Eurosol (フランス)	1987. 9. 20	太陽エネルギー利用 促進行動委員会 ライオンクラブ	パリ, フランスのオーテル 競馬場周辺 1周3.1km 周回	44台 (日本 0台)	
	The America's Solar Cup (アメリカ)	1988. 9. 17	I. H. P. V. A (Int Human Powered Vehicle Association)	カリフォルニア州 Visalia 約298km のワイウェイ	不明	
	American Tour de Sol (アメリカ)	1989 1990. 5. 23~27	NESEA (Northeast Sustainable Energy Association)	1990年 バーモント州 Montpelier → マサチューセッツ州Boston 376km	15台	ガリ- 別 ステ-ジ 制
	AUSTRO SOLAR (オーストリア)	1989 1990. 5. 24~26	ÖAMTC/VEÖ	1990年 Salzburg → Faak/See 3ステ-ジ計 295km	29台	
	European Alpine Solarmobile Championship (ASEM) (スイス)	1989. 8. 30~9. 2	Tour de Sol/ ISF	Grisson州の山岳地 帯を走行	20台	ガリ- と レ-ス タイ
	Ener Run (アメリカ)	1989. 9. 8~16	SPORTPRO, Inc.	アメリカ大陸縦断 Temecu, CA → New York	不明	
	1st Tour de Sol Alpine (スイス)	1990. 1. 14~15	Tour de Sol/ ISF (International Solarmobile Federation)	Lenzerheide/ Valbella	約30台	ガリ- と 市販車 冬期におけるソーラーカー の性能評価とデモ

第1回は1987年に開催され、豪州北部ダーウィンから南部のアデレードまで3,004.76km（図6参照）を出場23チームの内、アメリカGMのサンレーサー（前出表3、図2参照）が平均時速66.92km/hで圧勝した。今回1990年には、そのときの記録更新を目指して9か国36チームが参加し、スイスのビール工学校スピリット・オブ・ビール（前出表4、図3参照）が頂点に立ったが、記録更新はなかった。

表8に出場車の成績と仕様を示すが、サンレーサーがシリコン太陽電池とガリウム-ヒ素太陽電池の混用であったのに対し、スピリット・オブ・ビールがシリコン太陽電池だけでサンレーサーの記録にほぼ匹敵する記録を達成したことは、大いに評価される。また、

9位までが前回の2位の記録を上回り、公式完走も6チームから19チームに大幅増となった。日本からも11チームが参加し、本田技術研究所が初参加で2位に入るなど健闘を見せた。また、アメリカからは、GMがスポンサーとなりエネルギー省（DOE）が後援して7月に行われたGMサンレースの上位3大学チームを含め、計8チームが出場したが、その内7チームが完走するという質の高さを見せた。スタート前は本田チームの評判が高かったが、スイスチームの後塵を拝する結果となった。スイスチームの勝因については、後に詳細な分析がなされるであろうが、今のところレース初日から2日目にかけての天候不良の間に蓄電池容量の差でリードしたのが大きいと見られている。



図6 WSC競技ルート

表8 1990 WORLD SOLAR CHALLENGE 出場車 成績および仕様一覧(1)

最終結果 順 成績	番号	チーム名 "車名"	国名	予選 km/h	モータ	ソーラーアレイ	バッテリー	空気抵抗係数	摩擦係数	全長 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)	重量 (kg)	最高速 (km/h)	その他
1 46H07M51	100	Ingenieurschule Biel "Spirit of Biel/Bienne II"	Swi	100	永久磁石 1.1kW 5kwp	シリコン 1.3kW (レザ-エッチ)	銀-亜鉛 12SV 25Ah	0.13		5620	2000	1000	175		前回3位
2 54H59M49	1	HONDA R&D Co., Ltd.	Jap	94	ブラシレスDC 1.2kW 4.5kwp	単結晶 1.4kW	銀-亜鉛 102V 20Ah	0.12	0.004	5730	2000	1000	140	120	
3 57H14M49	35	University of Michigan "SunRunner"	USA	78	未公表	Spectrolab K7 space cells 1.4kW	銀-亜鉛 5.0kWh			6005	2012	1219	227		GMサニレス 優勝
4 57H20M49	6	HOKAN Corporation "Phoenix"	Jap	83	ブラシレスDC 1.2kW	単結晶 1.4kW 19.3%	銀-亜鉛	0.12		5950	2000	1040	150	100	前回出場
5 58H29M49	20	Western Washington University "Viking XX"	USA	79	永久磁石 14.9kW	単結晶	銀-亜鉛 5kWh			6005	1981	1706	204		二人乗り GMサニレス 2位
6 59H53M49	30	Australian Energy Research Laboratory	Aus	72	永久磁石 1.4kW	単結晶	鉛			5400	2000	1100	160	90	
7 60H42M50	10	University of Maryland "Pride of Maryland"	USA	93	ブラシレスDC 1.5kW 14.9kwp	シリコン 1.25kW	銀-亜鉛 4.8kWh			6005	1981	1006	159		GMサニレス 3位
8 62H57M50	33	Crowder College "Star II"	USA	74	DC 3kW 2台	シリコン 1.5kW	銀-亜鉛 4.8kWh			6000	2000	1310	250	100	前回出場, 二人乗り (GMサニレス 5位)
9 63H17M06	9	Kevin Rohrlach Museum "Team Barossa"	Aus	66	DC 1.5kW 2台	BP Solar cells	銀-亜鉛			5500	2000	1100	210		前回4位
10 67H45M50	19	Los Angeles, California State University "Solar Eagle"	USA	92	ブラシレスDC+BRUSA三相AC	シリコン 1.2kW	銀-亜鉛 69×40Ah			6005	1981	1006	181		(GM サニレス 4位)
11 68H01M51	25	California State Polytechnic University, Pomona "Solar Flair"	USA	70	ブラシレスDC 1.3kW	ガリ砒素 1.1kW	銀-亜鉛 2.7kWh			6000	2000	1000	209	88	(GMサニレス 10位)
12 69H36M32	15	Northern Territory University "Desert Rose"	Aus	56	ブラシレスDC 1.2kW	シリコン 15.6% (レザ-エッチ)	銀-亜鉛 42V 115Ah	0.13		5800	2000	700	180		前回5位
13 69H48M50	12	Monash University "Parhelion"	Aus	78	永久磁石 1.0kW	単結晶	銀-亜鉛			5500	2000	1000	170	109	
14 71H22M51	77	Kyocera-Kitami I. Teck. "Blue Eagle"	Jap	94	ブラシレスDC 2.0kW	シリコン 1.37kW	Ni-亜鉛 108.8V 19Ah			5900	2000	1000	150	90	
15 80H03M50	22	Star Micronics "Solar Star"	Aus	103	非同期	1.14kW	鉛	0.20	0.004	5960	1980	1000	285	130	欧州の各種レースで優勝
16 90H56M33	17	Simon Co., Ltd. "CSK Simon 90"	Jap	45	永久磁石 0.75kwp	単結晶	GS GT-28A19R			5250	1960	1070	153	105	
17 94H42M50	14	Lajovic, Mr. Dimitri	Aus	32	未公表	未公表	未公表								前回出場
18 96H12M21	4	Konawaena High School "Ka La Ikaika"	USA	50	Bosch 24VDC, E-TEC 48V	18 Solec S-50 panels	Trojan Pacer U1-9L						145		

(注) 1. 仕様に関しては、オフィシャルプログラムに基づいた。

2. 最終結果欄では、公式完走車については順位と所要時間を示し、レース終了時点での未完走車については順位をNPとしてその時点でのスタートからの到達距離を示す。

表8 1990 WORLD SOLAR CHALLENGE 出場車 成績および仕様一覧(2E)

最終結果 順位	成績	番号	チーム名 “車名”	国名	予選 km/h	モータ	ソーラーアレイ	バッテリー	空気抵抗 抗係数	摩擦 係数	全長 (mm)	全幅 (mm)	全高 (mm)	重量 (kg)	最高速 (km/h)	その他
19	96H34M26	8	Dripstone High School “Aquila”	Aus	42	可変周波数三相	Arco array 0.85W	鉛	0.23		4000	2000		250		DIT“Desert Rose”として前回5位車改造
NF	2,974km	18	Annesley College “EOS”	Aus	48	永久磁石 0.75kW	単結晶	鉛 1.5kWh								前回出場、女子校
NF	2,938km	2	SOFIX	Jap	77	ブラシDC 1.0kW	単結晶 1.1kW	Ni-亜鉛 2.0kWh			4200	2000	1080	170		
NF	2,915km	29	Waseda University	Jap	40	DC 1.1kW	単結晶	鉛			5000	2000	1000	150		
NF	2,842km	898	Mr. Stewart Lister “Solar Kiwi”	NZ	34	DC 0.35kW 4台	Solarex lite panels	鉛			5000	2000	1100	230		
NF	2,494km	28	Queens University “Sun Quest”	Can	55	ブラシDC 14.9kW	単結晶	銀-亜鉛 1.8kWh			6000	2000	1000	227		
NF	2,456km	83	Aisin Seiki Co., Ltd. “Aisol”	Jap	54	未公表	シリコン 0.9kW+SEG 80W	Ni-亜鉛 2.04kWh			6000	2000	1200	200		SEG=スターリング・エンジン・Ge
NF	2,110km	26	Mr. Hajime Yamawaki “Ninja”	Jap	51	未公表	未公表	未公表								前回出場
NF	2,071km	90	Solar Research Association /Barclay, Mr. John	Aus	29	永久磁石	シリコン 0.8kW	なし、計装用のみ			5300	1980	1250	250		
NF	1,996km	5	Semiconductor Energy Lab. “Southern Cross”	Jap	40	未公表	アモルファス	鉛			5500	2000	1000	200	40	前回出場
NF	1,961km	21	Schmitz Construction “Helio DET 1”	Ger	28	Bosch 0.75kW	単結晶 0.9kW	Ni-Cd 40V 100Ah			6000	1960	1010	99	60	前回出場
NF	1,900km	92	Mr. Michiro Eguchi “Solar Japan”	Jap	47	未公表	シリコン	鉛			4900	2000	1150			
NF	718km	11	Morphett Vale High School “Photon Flyer”	Aus	40	永久磁石	単結晶 1.2kW	Gates J-cells 72V 36Ah			4300	1995	1050	175		前回出場 パネ 各22.5° 傾斜可
NF	320km	16	Mr. Phil Farrand “Solar Flair”	UK	46	ブラシDC 2.24kWp	単結晶 1.2kW	銀-亜鉛 102V 50Ah	0.26		4500	2000	1600			
NF	124km	101	Mr. Nabuaki Hosokawa “Ryu Sei Go”	Jap	34	未公表	シリコン	鉛			4530	2000	1160	150		
NF	102km	27	Rendev Solar Team /Jansen, Mr. Mark	Aus	40	永久磁石 0.5kW 2台	単結晶	鉛			5400	2000	1600	150		前回出場?
NF	5km	31	University of Oklahoma	USA	53	未公表	未公表	未公表								
NF	—	23	Sonderborg Teknikum “Grundfos/Solvogn Danmark”	Den	51	ブラシDC 1.0kWp	シリコン・バイフェタル 15%	銀-亜鉛 2.5kWh	0.30		5000	2000	1600	180	110	前回出場

(注) 1. 仕様に関しては、オフィシャルプログラムに基づいた。

2. 最終結果欄では、公式走車については順位と所要時間を示し、レース終了時点での未走車については順位をNFとしてその時点でのスタートからの到達距離を示す。

表8からすると、上位の車には、ブラシレスDCモータ、単結晶シリコン太陽電池、銀-亜鉛電池を用いたところが多かったようである。外観的にはサンレーサータイプのコックローチ型が多く目につき、斬新なデザインのものとは少なかった。

第2回が終了したばかりではあるが、すでに1993年の第3回に向けて意欲を示すチームもあるほど参加者にとって魅力溢れる大会となっているようである。

これまで述べたように、ソーラーカーの開発において、大きなインセンティブを与えているのがソーラーカーレースである。ロマンと冒険を求めている参加者もあり、確かにその要素が占める割合は大きいものではあるが、企業や大学などのチームの場合、レース参加自体が実証試験である場合が多く、「走る実験室」から得られる貴重なデータは有用であろう。日本においても平成4年8月に「グランドソーラーチャレンジ」(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、財団法人エネルギー総合工学研究所)の一環として石川県で北陸国際ソーラーカーラリーが開催される予定となっており、技術開発の一層の進展が期待される。

5. さいごに

ソーラーカーは技術的には電気自動車的一种であると前述したが、ソーラーカーの開発においては、一充電走行距離を延ばす目的で電気自動車に太陽電池を搭載しようという発想もあろうし、クリーンエネルギー利用の無公害車を目指して太陽エネルギーだけで走行する車を開発しようという発想もあろうと思われるが、少なくとも、太陽エネルギーを動

力源の一つとすることで自動車の石油依存度低減に大きく寄与することは間違いない。

国においても、去る10月には地球温暖化防止行動計画が決定され、運輸部門においても地球温暖化防止のための各種の対策を推進することとされている。その中で二酸化炭素の排出防止に有望である太陽エネルギーを動力源として走行するソーラーカーは今後ますます注目されていくにちがいない。(しらせ たかとし 主任研究員)

参考文献

- (1) 新エネルギーの展望—太陽光発電編—, 財団法人エネルギー総合工学研究所, 1987年2月
- (2) 新エネルギーの展望—二次電池編—, 財団法人エネルギー総合工学研究所, 1989年3月
- (3) エネルギー技術データハンドブック—電気自動車編(モータ・コントローラ)—, 財団法人エネルギー総合工学研究所, 1989年1月
- (4) エネルギー技術データハンドブック—電気自動車編(米国における電気自動車開発の現状)—, 財団法人エネルギー総合工学研究所, 1990年1月
- (5) 清水, 新しいEV, オーム社, 1987年11月
- (6) 手塚, ソーラー自動車・自然エネルギーの理想的利用例, 低公害車国際シンポジウム'90論文前刷集, pp. 87-96, 1990年9月
- (7) 高橋, 太陽光発電の問題点と将来展望, エネルギー・資源, Vol. 11, No. 1, pp. 27-31, 1990年1月
- (8) WORLD SOLAR CHALLENGE official program and souvenir, SOLAR PROGRESS, Vol. 11, No. 3, 1990
- (9) Tuckey, B., "SUNRAYCER", 1989
- (10) ウィルソン他, ソーラーカーの可能性, サイエンス, 19巻, 5号, pp. 26-34, 1989

有害廃棄物に関する環太平洋国際会議

矢 島 宏 一

1. はじめに

今日の環境保全の意識の高まりとともに、廃棄物の問題の重要性が多くの人々に認識されつつある。廃棄物の問題は決して新しい問題ではないが、近年の人口の増加と産業の発展により、その重要性は日々高まっている。つまり、大量の資源を用いて製品を作り消費することにより大量の廃棄物が発生することに加え、その質的な多様性の増大のために、廃棄物の処理・処分や再資源化が一層困難になっている。

このような、人々の生活の営みや産業活動に深い関わりを持つ廃棄物に対して、環境保全や公衆衛生あるいは資源保護の立場から、将来の世代に対する責任というような長期的視点に基づく対策が強く求められている。

わが国においても、昨（1990）年3月に廃棄物学会が設立されるなど、問題の解決のための動きが活発化しているが、国際的にも色々な動きが見られる。そのような活動の1つとして昨年11月に米国のホノルルにおいて有害廃棄物に関する環太平洋国際会議（Pacific Basin Conference on Hazardous Waste）が開催された。

本稿では、この会議の報告を中心に、有害

廃棄物について述べてみたい。これが廃棄物問題を考える一助となれば幸いである。

2. 会議の概要

本会議は、環太平洋有害廃棄物研究協議会（Pacific Basin Consortium for Hazardous Waste Research）の主催により、1990年11月12～14日にハワイ大学の東西センターにおいて開催された。

同協議会が主催する国際会議は今回が第3回であり、第1回は1988年2月にハワイで、第2回は1989年4月にシンガポールで開催されたとのことである。なお、次回は1992年3月にバンコックでの開催が予定されている。

今回の会議では66件の講演および発表がおこなわれた。内容は放射性廃棄物を除く有害廃棄物問題全般に関するものであり、その内訳を以下に示す。

a. 基調講演および全体講演

- ・有害廃棄物管理に関する各国の経験、計画の見直し、国際協力について（7件）

b. 有害廃棄物の技術

- ・廃棄物の減量化（6件）
- ・有害廃棄物の熱処理（6件）
- ・有害廃棄物の物理、生物処理（6件）
- ・有害廃棄物の化学処理（3件）

- ・有害廃棄物の固化，安定化 (3件)
- c. 有害廃棄物の解析，評価
 - ・有害物質の影響 (8件)
 - ・モニタリングと測定方法 (6件)
 - ・データベース (6件)
 - ・リスク評価 (3件)
- d. 有害廃棄物の管理，行政
 - ・管理問題 (6件)
 - ・大気汚染 (2件)
 - ・有害廃棄物管理組織 (2件)
 - ・危機管理計画 (2件)

これらを国別に分類すると，米国25件，日本6件，タイ5件，香港・フィリピン各4件，中国・カナダ・オーストラリア各3件，韓国・シンガポール各2件，台湾・マレーシア・ベトナム・ニュージーランド・メキシコ・イタリア・英国・オランダ・スペイン各1件となる。この他にもソ連の科学アカデミーの研究者による予定外の発表があった。

基調講演および全体講演以外の発表は3つの会場に分かれ並行して行われた。会議の参加者は全体で100名程度であり，各会場では数10名となり，少人数で親密な雰囲気の中で発表がなされていた。

会議に付属して，ポスター展示およびテクニカルツアーが行われた。テクニカルツアーは，ホノルルにあるH-POWERという廃棄物を燃料とした発電施設の視察であった。

プログラムによれば，会議の前後には技術者の訓練コースと専門家によるワークショップが開催されたようである。訓練コースは11月9～10日に，有害廃棄物管理の概要，廃棄物の減量化，環境毒性学入門の3コースが並行して行われ，中小企業の廃棄物管理に関するワークショップは11月15～17日に行われた。

3. 環太平洋有害廃棄物研究協議会

今回の会議の性格を理解するために，ここで，主催者の環太平洋有害廃棄物研究協議会について簡単に紹介したい。

環太平洋地域は世界で最も急速に経済が成長している地域であり，それに伴い廃棄物の問題も増大しつつある。このような状況を考慮し，同協議会は1986年に設立された。設立の目的は，

- ・環太平洋諸国に共通の有害廃棄物管理問題を明確にし，評価し，優先順位をつける。
- ・上記問題の解決のための技術の研究，開発，実証を推進する。
- ・技術の移転と情報交換に有効な手法を確立する。
- ・技術者に対する，完成した技術や先進技術の訓練の機会を提供する。

であり，これらによって研究とその応用をスピードアップし，有害廃棄物管理の費用を減少させようとしている。

協議会のメンバーは各国の大学・研究機関・企業等であり，1990年11月時点では環太平洋諸国を中心に19ヶ国の70団体が参加している。日本からも国立公衆衛生院をはじめ，数団体が参加している。

協議会には国際的な理事会があり，実際の運営はハワイの東西センターに置かれた事務局がおこなっている。現在の活動の主なものは，国際会議の開催，ニュースレターや技術資料の発行，会員間の共同研究や人員交流の援助，技術者の訓練，などである。

4. 有害廃棄物問題の概要

会議の基調講演は，国連環境計画UNEP

(United Nations Environment Programme) のアジア太平洋地域代表である G O H Kiam Seng氏によって行われた。この講演を基に、有害廃棄物問題の概要をまとめてみたい。

4.1 有害廃棄物とは

廃棄物は様々な産業活動により発生する。これらの廃棄物の一部を、特に「有害廃棄物 (Hazardous Waste)」とよぶことがあるが、この用語は各国毎に異なった使われ方をしており、国際的に統一された定義はない。

米国では、不適切な管理（処理、貯蔵、運搬、処分）がなされた場合に、死亡率や快復困難な病気の増加など人間の健康や環境に悪い影響を与える可能性のある廃棄物を有害と定義している。ドイツでは、「特殊廃棄物」という用語を用いており、その定義は「その性質、配合、量により、健康、大気、水質を害し、爆発性、燃焼性、伝染性を有するもの。そのため、その管理には特別の配慮が必要なもの」となっている。世界保健機構WHO (World Health Organization) では有害廃棄物を「健康や環境のリスクを避けるためには、その物理的、化学的、生物学的性質により、特別な取扱いや処分方法が要求されるもの」と定義している。日本においては、有害廃棄物という用語は廃棄物処理法等の法律には用いられておらず、まだ統一された定義はないようである。

また、有害廃棄物を定義する他の手段に、リストを作成するという方法がある。英国では、短期の取扱いにも長期の環境にも危険を与えない廃棄物のリストを作り、リストに載っていないものを有害廃棄物としている。し

かし、多くの国では有害廃棄物のリストを作成し規制が行われており、北米、ヨーロッパ、スカンジナビアの国々の一部やマレーシア、シンガポールなどで使用されている。有害廃棄物のリストを用いる場合の問題点は、完全なリストを作ることが困難であり、脱落するものがある、ということである。

このように、国際的に受け入れられた有害廃棄物の定義は現状では存在しない。これにより2つの問題が生じる。1つは、各国の各産業の有害廃棄物の発生量を見積る場合、採用した定義が異なるために、共通で比較可能なものとならないという問題である。他の問題は、有害廃棄物の国際間の移動に関する規制を複雑にし、実行を困難にすることである。

4.2 有害廃棄物の発生

OECD諸国の有害廃棄物の発生量は、毎年3～8億トンかそれ以上と見積もられており、その9割程度が米国から発生していると考えられている。その他の国の有害廃棄物の発生量は、カナダが330万トン（1980年）、フランスが200万トン（1984年）、西ドイツが500万トン（1985年）、イタリアが200万トン（1980年）、英国が390万トン（1986年）、ハンガリーが700万トン（1985年）、日本が66.6万トン（1986年）、韓国が18万トン（1981年）、マレーシアが41.9万トン（1985年）、オーストラリアが30万トン（1980年）、ニュージーランドが4.5万トン（1982年）と見積もられている。ただし、この数字は前述の有害廃棄物の定義の問題もあり、単純な比較はできない。

発生量の内訳も、国により非常に異なる。たとえば、米国では、有害廃棄物の71%が化学産業より発生し、8%が石油精製と金属産

業、残りがその他の産業から発生している。一方、ハンガリーでは、66%が鉱業、17%が化学産業、残りがその他の産業から発生している。

4.3 有害廃棄物の投棄・処分と環境問題

伝統的で安価な有害廃棄物の投棄・処分の方法は、埋立、地表貯蔵、深井戸への注入である。深井戸への注入はヨーロッパよりも米国で一般的に行われている。OECD諸国における有害廃棄物の75%以上が地上に投棄・処分されており、廃棄物は、ばら荷のままかドラム缶やタンクに入れられて投棄されている場合が多い。

近年、これらの有害廃棄物を投棄した多くの埋立地や地表貯蔵所が、全く満足できない状況にあることが明らかになってきた。このような場所には、数十年間にわたって有害な物質が蓄積され、地下水や表面水や大気をとおして環境中に流出・拡散している。

米国においては、ラブ・キャナル事件を契機にスーパーファンド法が制定され、このような問題に対処しようとしている。ラブ・キャナル事件とは、1950年頃にケミカル・フッカーという化学会社が六塩化ベンゼンを中心とした有害廃棄物をラブ運河に投棄したが、その後、埋立られ、家が建ち、人々が住むようになり、その住民に有害物質が原因とみられる種々の健康被害が発生したため、大量疎開に至った事件である。スーパーファンド法は有害廃棄物による汚染地の浄化を行うために1980年に制定された。この法律では対策を実行するための基金を設立し、その額は当初16億ドルであったが、1986年の法改正により85億ドルに増額された。財源は石油消費税、

化学原料物質消費税、環境税などが主である。米国には数万カ所の有害廃棄物の投棄サイトがあると見られているが、これらを調査し、浄化を実行する必要がある汚染地の優先順位を示す一覧表（National Priority List）が作成されている。一覧表には、1989年3月時点で1,177カ所がリストアップされているが、最終的には10,000カ所程度になり、その浄化に要する費用は230億ドルないし1,000億ドルにものぼる莫大なものになると見積もられている。

デンマークでは3,200の投棄サイトが記録されており、その浄化の費用は10億ドルに達すると見られている。西ドイツでは35,000カ所の浄化に、少なくとも100億ドルの費用が見積もられている。オランダには4,000の投棄サイトがあり、そのうちの350カ所は改善が必要である。

有害廃棄物の海洋投棄はロンドン・ダンピング条約等により制限されているにもかかわらず、いくつかの国では、いまだに海洋投棄が用いられている。例えば、英国では海洋投棄は埋立に次いで2番目によく使われる投棄方法である。1986年には、57.9万トンの廃棄物が海洋投棄され、その半分は有害廃棄物に分類されている。

地下貯蔵は、それほど大きくない規模ではあるが、いくつかの国で行われている。例えば、カナダ、米国、オランダなどであるが、最も有名なのは西ドイツのHerfa-Neurodeの施設であろう。この施設は1972年から操業されて27万トン程度の有害廃棄物が地下700mの廃坑に貯蔵済みであり、現在でも毎年3.5～4万トンの廃棄物を受け入れている。詳細な資料はないが、これらの地下貯蔵は一時的なも

のではなく最終的な処分だと思われる。

ここでは、講演においてdisposal (処分) という用語が用いられていても、その訳を、あえて投棄とした部分がある。処分とは「廃棄物を再び取り出す意図なしに定置すること」だとすれば、処分後は、人間が関与しなくても、長期にわたり人間の健康や環境に対して与える影響は十分小さいことが要求される。このような長期的な要求を考慮していないと思われる事項に対しては、処分ではなく投棄という言葉を用いた。

4.4 有害廃棄物の処理

多くの国は、いまでも有害廃棄物を、そのまま埋め立てるなどして投棄している。しかし、いくつかの技術が有害廃棄物の処理に利用できる。処理技術とは、物理的、化学的、生物学的な手法により廃棄物の量や有害性を減少させるものである。

このような処理技術のうち、適切に設計された焼却施設は、最も広範囲の有害廃棄物を分解することができる。デンマークにおけるKommunekemi焼却施設は最も有名である。この施設は1973年にNyborgの町に作られ、デンマークの有害廃棄物の90%を処理している。それと同時に焼却熱を回収しNyborgの住民に供給することにより、その需要の35%を賄っている。西ドイツのBavariaにある複合処理施設には、焼却炉、無機化学処理プラント、安全な埋立処分場がある。同様の焼却システムは最近、フィンランド、スウェーデン、米国、韓国、カナダで建設された。

焼却により二酸化炭素と水蒸気と不活性の灰のみが発生することが理想的であるが、実際にはその他の種々の物質が発生する。どの

ような物質がどれだけ発生するかは、燃焼条件と焼却する有害廃棄物によるが、一般的には塩化水素、窒素酸化物、硫黄酸化物や微量の金属、ダイオキシンなどが発生する。これらの物質の排出を低減させるための技術は種々のものが用いられており、現在も新しい技術開発の努力が続けられている。特別に設計された船により海上で焼却を行うという方法がある。これは、陸上の焼却に比べ排出がそれほど厳しく規制されないため、費用が1/3から1/4になるという利点があるが、最近では海上焼却を制限または禁止しようという動きが強くなっている。

焼却を主とした処理を行うことにより、そのまま投棄するよりも、全体的なリスクが低減することが明かな場合でも、予算の不足や住民の反対により新しい施設の建設が困難な場合が多く、計画の実行が遅れがちである。

4.5 有害廃棄物の越境移動

ある国から他の国へ、処理や投棄のために有害廃棄物が越境移動することがある。OECD諸国で発生する有害廃棄物の1/10以上が国境を越えて移動している。ヨーロッパ内のOECD諸国では1983年に220万トンの有害廃棄物が移動した。例えば英国は有害廃棄物を処理するために輸入しており、その量は1981年の5,000トンから1986/87年の53,000トンに増加している。英国に対する主な輸出国はオランダ(55%)、アイルランド(12.5%)、ベルギー(12.5%)である。これは、各国における有害廃棄物の処理・処分能力と発生量のアンバランスが原因である。

最近では各国間のアンバランスに加えて処理・処分能力の絶対的な不足により、有害廃

棄物が先進国から第三世界の国々へ投棄のために輸出されるようになった。ある場合は、正式の契約に基き、第三世界の国または会社が現金と引換に先進国の会社から廃棄物を受け入れているが、違法に投棄されている場合も多い。最近では、ギニアのKassa島へ米国のフィラデルフィアの15,000トンの焼却灰が投棄された例や、4,000トンに及ぶイタリアの化学廃棄物がナイジェリアのKoko港に投棄された例などがある。自分の家のゴミを他人の家の庭に捨てるような行為は道義上許されないであろう。

これらの問題に対して、UNEPは有害廃棄物の越境移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約を1989年3月に採択した。これは、有害廃棄物の越境移動の原則禁止、自国内処分の原則、越境移動の際の事前通報義務、違法な越境移動の場合に廃棄物の発生国が再輸入等の処置をとること、開発途上国への技術協力などのための基金の設立などを主要内容としている。1990年6月時点で4ヶ国が批准しており、20ヶ国が批准した後発効する。日本も早期批准に向けて努力していく必要があるだろう。

4.6 有害廃棄物の減量化

発生する有害廃棄物の量を減少するか全く発生しないようにすることができれば、その処理、貯蔵、輸送、処分に必要な費用を節約することができる。また、このように廃棄物の発生を抑制することは、資源の有効利用や環境保全の観点からも最も望ましい。人間の健康のためには、病気の治療よりも予防が重要であることと同様である。

様々な物を製造する過程における有害物質

の発生の抑制には、製造過程の変更、製造過程で発生した廃棄物の分離・集中とその再使用、使用原料を安全な物質に変更、などの方法が用いられる。当然のことながら、産業および製造過程により用いられる技術は非常に多様なものとなろう。

有害廃棄物のリサイクルも先進国において強い関心が持たれるようになってきた。OECD諸国のうちの数カ国では有害廃棄物のうちのわずか4～5%しかリサイクルされていないが、溶剤やクロム・水銀・銅などの金属の回収が増加する可能性が高い。米国における廃棄溶剤の80%と液状廃棄物中の金属の50%は、現在の技術で回収可能だと見積もられている。

ある企業の廃棄物は他の企業にとって原料になりうる、という考えから廃棄物の交換が先進諸国で行われている。廃棄物の情報を収集しカタログのような形で発行することにより、交換の機会を作り出している。廃棄物を買う会社にとっては処理・処分にかかる費用を低減でき、廃棄物を買う会社にとっては原料費を節約できるという利点があると共に、全体的な廃棄物の減量化につながる。

有害廃棄物の減量化を推進するためには、技術の研究・開発と共に、資金的・行政的援助が必要である。有害廃棄物の対策としては、減量化が最も本質的・正当的なものであり、今後、その重要性を強調すべきであろう。

5. おわりに

環太平洋国際会議の報告を中心に放射性廃棄物を除く有害廃棄物について述べてきたが、最後にこれらの問題に関する感想を記し、まとめたい。

有害廃棄物は産業の発達、特に工業化の進展とともに、その発生量が増加し、質的な多様性も増大してきた。先進国、特に米国など、世界で最も早く工業化した国では、数十年以上も昔に投棄された有害廃棄物が現代の人間の健康や環境を脅かしており、その浄化を多額の費用をかけて行おうとしている。このことは、有害廃棄物の問題は完全な対策が行われなければ次の世代の負担となるという教訓を与えている。

有害廃棄物の完全な対策とは、製品の製造過程において有害廃棄物は発生させず、その製品が寿命を終えて廃棄された場合も有害物質はリサイクルされ発生しない、というものであろう。これは有害廃棄物の減量化が進んだ最終的な姿であり理想であるが、しかし、現実的ではない。なぜなら有害廃棄物の発生

を完全に無くすことは不可能だと考えられるからである。現実的な有害廃棄物対策には、発生した廃棄物を管理（処理、貯蔵、運搬、処分）するシステムが不可欠である。

現状では、いくつかの先進国が有害廃棄物の管理システムの基礎を確立したところであり、ほとんどの国では規制のための法律も、訓練された人間も、適切な処理・処分のための施設もない。このような状況における緊急の課題は、国際的な協力により、合理的で統一された規制のための規準を確立すると共に、各国に最適な管理システムを構築することであろう。環境保全や公衆衛生あるいは資源保護の立場から、将来の世代に対する責任というような長期的視点に基づく対策が強く求められている。（やじま こういち 主任研究員）

研究所のうごき

(平成2年10月1日～12月31日)

◇ 第11回評議員会開催

日 時：11月13日(火) 15:00～17:45

場 所：経団連会館9階 クリスタル・ルーム

議事次第

1. 平成元年度 事業報告および収支決算
2. 平成2年度 事業計画および収支予算
3. 講演 「最近の原子力発電の動向について」(当研究所理事・東京大学工学部教授 秋山 守)

◇ 月例研究会

第74回月例研究会

日 時：10月26日(金) 14:00～16:00

場 所：霞山会館まつ・たけ

議 題：

1. 多極分散型エネルギー政策を考える
(財原子力工学試験センター特別顧問上村雅一氏(前通産省中国通商産業局長))
2. 化石燃料からの二酸化炭素排出について
(プロジェクト試験研究部主管研究員 重田 潤)

第75回月例研究会

日 時：11月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館(6階) 中ホール

議 題：

1. 石油代替エネルギーの供給目標の改定について
(通産産業省資源エネルギー庁長官官房企画調査課長 中嶋 誠氏)
2. IPCC報告について
(エネルギー技術情報センター長 大塚 益比古)

第76回月例研究会

日 時：12月21日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館(6階) 中ホール

議 題：

1. 欧米における自動車の大気汚染防止対策

の動向 [ガソリン自動車編]

(プロジェクト試験研究部主任研究員 古澤貴和)

2. 欧米における自動車の大気汚染防止対策の動向 [ディーゼル自動車編]

(プロジェクト試験研究部主管研究員 田村啓一)

◇ 主なできごと

10月3日(月) 第1回高度負荷集中制御システム専門部会開催

9日(火) 第2回FBR新技術F/Sプラント概念評価検討WG分科会開催

11日(木) 第1回電気自動車用電池に関する新型電池分科会開催

12日(金) 第3回火力発電所の大気影響評価技術実証調査開発技術評価分科会開催

第3回業務用石油燃焼機器の低NO_x化技術に関する調査燃料品質分科会開催

15日(月) 第1回電気自動車用電池に関する検討委員会開催

第1回EDB固体電解質型燃料電池分科会開催

16日(火) 第1回大型分散型新電源系統連系技術調査委員会開催

第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置廃棄物再利用分科会開催

18日(木) 第2回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会開催

19日(金) 第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置手続分科会開催

22日(月) 第2回EDB石炭技術分科会開催

23日(火) 第2回火力発電所の大気影響評価技術実証調査委員会開催

25日(木) 第2回石油エネルギープラントの設備診断技術に関する調査委員会開催

26日(金) 固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会ワーキング開催

30日(火) 第4回業務用石油燃焼機器の低NO_x化技術に関する調査燃

	料品質分科会開催		討分科会開催
	第4回火力発電所の大気影響評価技術実証調査開発技術評価分科会開催	19日(月)	第2回EDB固体電解質型燃料電池分科会開催
	第2回構造材料の経年劣化特性に関する調査研究委員会開催	20日(火)	第2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開催
31日(水)	第4回火力発電所の大気影響評価技術実証調査モデル評価分科会開催		第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会の開催
11月1日(木)	第4回MTBE導入に関する調査試験分科会開催	21日(水)	第71回原子力プラント運転の信頼性に関する研究会
	第2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	22日(木)	第1回電気自動車用電池に関する燃料電池分科会開催
2日(金)	第3回固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会開催		第1回電気自動車用電池に関するスターリングエンジン分科会開催
5日(月)	第10回業務用石油燃焼機器の低NO _x 化技術に関する調査委員会ヒアリング	27日(火)	第4回エネルギー需要予測検討委員会開催
	第1回大型燃料電池導入形態調査委員会開催	30日(金)	第3回EDB石炭技術分科会開催
	第1回BWRサブチャネル解析コード開発に関する打ち合わせ		第1回電池評価方法に関する検討委員会開催
6日(火)	第2回大型分散型新電源系統連系技術調査作業会開催	12月3日(月)	第3回FBR新技術F/S要素技術評価検討WG分科会の開催
8日(木)	第1回大型燃料電池導入形態検討小分科会開催	4日(火)	第5回火力発電所の大気影響評価開発技術評価分科会開催
	第5回シミュレーション技術部会開催		第3回FBR新技術F/Sプラント概念評価検討WG分科会の開催
9日(金)	第3回大型分散型新電源系統連系技術調査作業会開催	5日(水)	第1回ウェイトフォーラム'91準備委員会の開催
	第1回大型分散型新電源系統連系技術調査検討委員会開催		第6回シミュレーション技術部会開催
	第2回業務用石油燃焼機器の低NO _x 化技術に関する調査燃焼技術分科会開催	6日(木)	第4回MTBE導入に関する調査分科会開催
13日(火)	第1回高効率廃棄物発電に関する調査委員会開催	10日(月)	第2回BWRサブチャネル解析コード開発に関する打ち合わせ
	第3回中小型軽水炉検討委員会開催	11日(火)	第5回MTBE導入に関する試験分科会開催
14日(水)	第1回大型燃料電池導入形態調査直交変換装置検討分科会開催		第5回火力発電所の大気影響評価技術実証調査モデル評価分科会開催
16日(金)	第2回業務用石油燃焼機器の低NO _x 化技術に関する調査委員会開催		第3回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会の開催
	第1回大型燃料電池導入形態検討	12日(水)	第3回石油エネルギープラントの設備診断技術に関する調査委員会開催

- 14日(金) 第2回MTBE導入に関する調査委員会開催
第2回環境調和型ディーゼル燃料の開発に関する調査委員会開催
- 17日(月) 第2回大型燃料電池導入形態検討小分科会開催
- 18日(火) 第1回大型燃料電池導入形態調査直交変換装置検討小分科会開催
第4回中小型軽水炉検討委員会開催
- 20日(木) 第2回高度負荷集中制御システム分科会開催
第1回新型電池電力貯蔵システムの導入普及調査検討委員会開催
- 26日(水) 第1回火力発電ボイラー用パルスプラズマ脱硫・脱硝技術調査委員会開催

◇ 人事異動

- 10月1日付
(採用)
加賀城俊正 主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属
- 11月30日付
(退任)
プロジェクト試験研究部 研究員
平野裕子(依願退職)

◇ その他

第5回確率論的安全評価(PSA)に関する国内シンポジウムの開催
日時:平成2年12月18日(火)~20日(木)
場所:石垣記念ホール(虎ノ門)

海外出張

- (1) 松井一秋副主席研究員は、インドネシア科学技術インフラ整備に関する評価プロジェクト調査のため、10月7日から10月14日の間インドネシアへ出張した。
- (2) 古澤貴和主任研究員は、欧米におけるMTBE使用動向調査のため、10月9日から10月

- 26日の間アメリカ、イタリア、スイス、オランダ、イギリスへ出張した。
- (3) 谷口武俊主任研究員は、「IAEA Technical Meeting」に出席するため、10月14日から10月21日の間オーストリアへ出張した。
- (4) 松井一秋副主席研究員は、「IAEA Technical Meeting」に出席するため、10月20日から10月27日の間中国へ出張した。
- (5) 瓜生宏之主任研究員は、欧州における高度負荷集中制御システムの実施状況調査のため、10月20日から11月5日の間フランス、ドイツ、オーストリアへ出張した。
- (6) 蓮池宏主任研究員は、天然ガス自動車実用化海外調査のため、10月23日から11月4日の間オランダ、フランス、イタリアへ出張した。
- (7) 安田健次主任研究員は、高齢化社会における電気利用状況海外調査のため、11月4日から11月18日の間スウェーデン、デンマーク、ドイツ、フランスへ出張した。
- (8) 白江孝俊主任研究員は、グランドソーラーチャレンジに関する調査を実施するため、11月7日から11月17日の間オーストラリアへ出張した。
- (9) 藤井外志雄主管研究員は、米国におけるFBR新技術F/S調査を実施するため、11月10日から11月23日の間アメリカへ出張した。
- (10) 矢島宏一主任研究員は、高レベル放射性廃棄物の相対的なリスク評価に関する調査を実施するため、11月11日から11月25日の間アメリカへ出張した。
- (11) 黒沢厚志研究員は、欧米における原子炉総合数値解析システム実用化調査のため、11月11日から11月25日の間アメリカ、イギリス、フランス、ドイツへ出張した。
- (12) 高倉毅副主席研究員は、FCDICの海外調査実施のため、11月18日から12月1日の間アメリカへ出張した。
- (13) 田村啓一主管研究員は、軽油の低硫黄化に関する海外調査のため、11月18日から12月5日の間アメリカ、カナダ、イタリア、ギリシャ、ドイツ、スウェーデン、イギリスへ出張した。
- (14) 岩城秀雄主任研究員は、海外における固体電解質型燃料電池発電システムを主体とした燃料電池の開発動向を調査するため、11月24日から12月8日の間アメリカへ出張した。

- (15) 松葉明主任研究員は、海外における大型燃料電池の技術開発動向及び導入形態調査のため、11月24日から12月8日の間アメリカへ出張した。
- (16) 蓮池宏主任研究員は、電気自動車国際シンポジウムに参加するため、12月2日から12月6日の間香港へ出張した。
- (17) 太田昭司主任研究員は、欧米における分散型新発電系統連系に関する調査のため、12月2日から12月16日の間アメリカ、フランス、ドイツ、イタリアへ出張した。
- (18) 吉江照一主管研究員は、欧米における大型分散型新電源系統連系に関する調査のため、12月2日から12月16日の間アメリカ、フランス、ドイツ、イタリアへ出張した。
- (19) 安田健次主任研究員は、米国における家庭用等夜間電力最適運用機器システム技術開発動向調査及び次世代屋内エネルギー供給利用システムの研究に関する調査のため、12月2日から12月16日の間アメリカへ出張した。
- (20) 松井一秋副主席研究員は、労組幹部国際エネルギー事情調査団への協力のため、12月4日から12月14日の間スウェーデン、ドイツ、オーストリアへ出張した。

季報エネルギー総合工学 第13巻第5号

平成3年2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