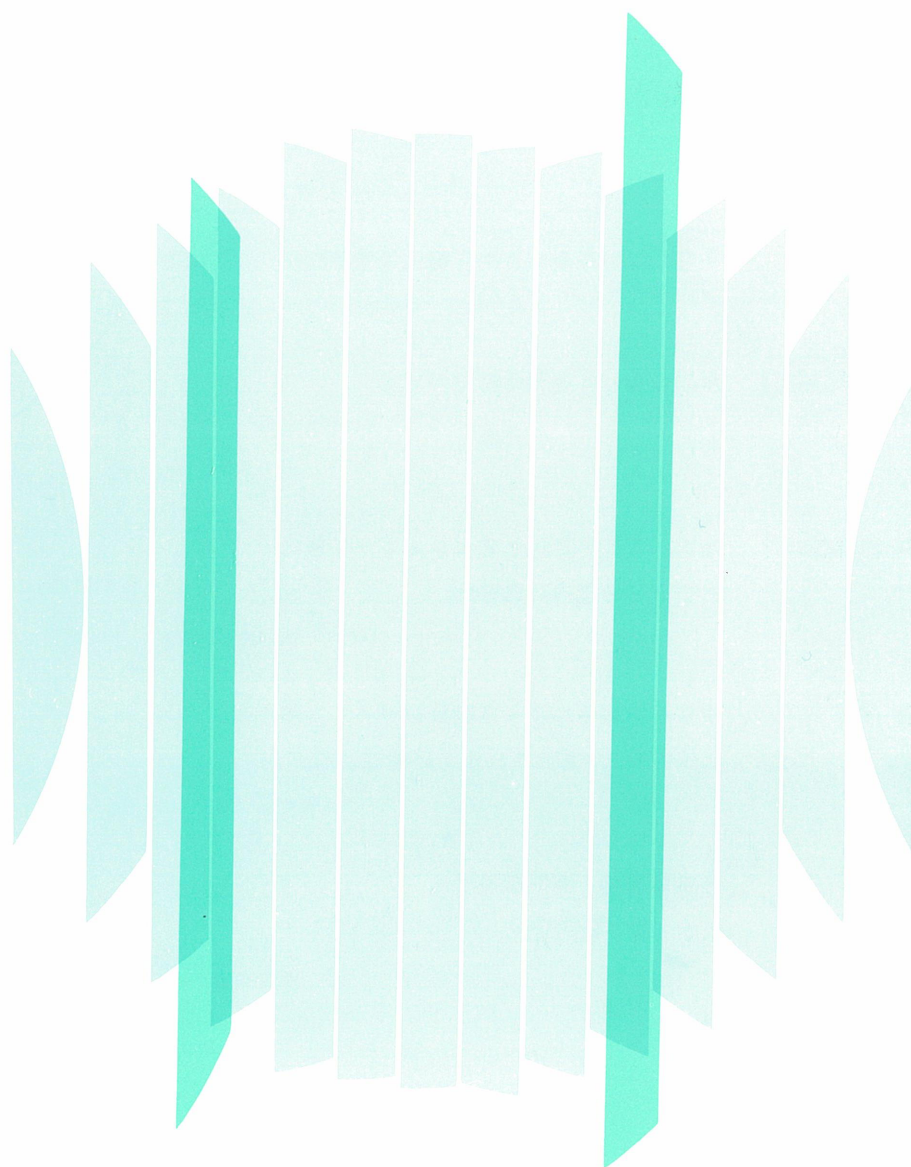


季報 エネルギー総合工学

Vol. 20 No. 2 1997. 7.



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】	地球からの視点	工業技術院長 佐藤 壮 郎… 1
【理事長対談】	情報化時代のエネルギー戦略を考える	慶応義塾大学 教授 石 井 威 望 (財) エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 2
【特別講演】	気候変動問題への我が国の対応について ——「新地球再生計画」構想を中心として——	通商産業省 環境立地局 環境政策課長 松 永 和 夫…21
【寄 稿】	I S OにおけるL C A規格化の最新動向	工業技術院 機械技術研究所 研究調査官 赤 井 誠…35
【海外出張報告】	米国における廃棄物発電の現況	エネルギー技術情報センター長 小 川 紀一郎 前 主任研究員 山 口 健 一…47
【調査研究報告】	電力の負荷平準化と省エネルギーを目指す D S Mの国内外の動向	前 主任研究員 土 器 勉…60
【随 想】	クリーンエネルギー自動車レポート（第4報） ——将来が期待される燃料電池自動車——	プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏…71
【訪問記】	九州電力㈱ 前原営業所 ——負荷集中制御システム実証試験——	I A E女性研究員取材チーム…78
【研究所のうごき】		84
【編集後記】		86

地球からの視点

工業技術院長

佐藤 壮 郎



地球は46億年という長い歴史を持っている。地球全体を覆うマグマから海と陸が生まれ、二酸化炭素を主成分とする厚い大気が分離した。やがて海に生物が発生し、大気中から二酸化炭素を取り除くと同時に酸素をはきだして、大気は徐々に現在の組成に近づいていった。海と陸はさまざまに形を変え、火山の大噴火、山脈の形成、隕石の衝突などの大変動を何度も経験した。生物はこのような大変動による大量絶滅をかいぐりながら、哺乳類へ、そして人類へと進化してきた。

私達が使っている石油や石炭、原子力などのエネルギーも、金属やセラミックスなどの工業原料も、肉や野菜の食料も、そしてホモサピエンスという生物種の存在さえも、この長い歴史の間の地殻変動と生物の進化の産物である。私達は文字どおり地球によって生かされている。

面白い比較をしてみよう。3年ほど前に評判になった本川達雄著「ゾウの時間 ネズミの時間」によると、大きい動物ほど時間の流れがゆるやかになり、時間の速さは体重の4分の1乗に比例するそうだ。この関係を地球と人間に当てはめると、地球には人間の56万倍もゆっくりと時間が流れていることになる。人間の一生は、地球の時間ではほぼ3000万年になる。地球の時間を人間の時間に換算してみると、人類の祖先が現れたのは4年前であり、現代人種が現れたのはわずか3ヶ月前に過ぎない。そして人類が農耕や牧畜を開始し、初めて文明らしきものを築いたのはたった1週間前である。このように考えてみると、人類の発展のスピードがあまりにも速すぎると言わざるを得ない。壊された自然は地球の時間でしか修復されない。

大量消費社会の行く末や最近の地球環境の悪化を思うにつけ、私達は地球によって生かされていることと、地球には地球の時間があることを改めて認識し、地球からの視点を大切にする必要があると痛切に思う。

情報化時代の エネルギー戦略を考える

石井 威望 (慶應義塾大学 教授)

秋山 守 ((財)エネルギー総合工学研究所
理事長)



はじめに

「スコピード」の時代

「ウェブ・イヤー」の感覚で

秋山 石井先生はご専門が医学、医療工学、産業機械学さらに情報学と、大変に幅広く活躍していらっしゃいますが、最近では、とりわけ情報を中心とした将来の文明論、社会構造論などの基盤的な観点から、極めて先駆的

なお仕事を展開しておられます。

本日は、石井先生の最近のお仕事やお考えについてお話を賜りながら、併せて当研究所の事業分野でありますエネルギー問題につきましても、いろいろご意見を頂戴いたしたいと願っております。

石井 私は、東京大学工学部を退官後、いまは慶應義塾大学大学院の政策・メディア研究科で、マルチメディア、インターネットなどのネットワーク、その工学も含めた産業、社会、文化など、横断的な関係の研究と教育を

やっております。

教育といいましても、大学院ですので、インターネットをフルに活用したりしてやっているわけです。

従来の大学の情報インフラは、特に文系では、学会誌にしろ何にしろ紙の印刷文化が前提でしたが、それをインターネットを前提として基本的にソフトコピーとか、通信のネットワーク回線とか、特にデジタルの映像からいわゆるマルチメディアまで、広く新しいメディアの可能性を本格的に取り込んだ研究と人材育成をやっています。

秋山 情報化時代の最先端のお仕事を、若い人の育成とあわせて、大変積極的に進めておられるのですね。これは本当に素晴らしいことだと思います。

石井 いやいや、なかなか最先端でもないのですが、最近の傾向では、現実のほうが早く進むんですね。ですから、「デファクト」というんですが、スタンダードでも既成事実が標準になっちゃうんですね。

秋山 そうですね。国際的に見ても、先生のいまのお仕事は非常にユニークで、デファクト・ペースで、これから広まる一つの典型といえますね。

それで、近頃、先生がいちばんご関心をお持ちのテーマにつきまして、もう少し具体的に付け加えてお話したいのですが。

石井 新しいメディア、特に通信ネットワークとかデジタル化、あるいは映像、イメージ、それらが世の中で実際にどんな影響を持ちだすかということです。一つは、大変なスピード化で、例えば郵便の手紙のような紙の通信に比べて桁違いに速いわけですね。

遠くの映像ということでは、従来のテレビ

ジョン放送は、一方向でパッシブですが、インターネットはインタラクティブ、双方向性ですから、その点も変わってきます。

それから、電子メールのような文字だけでも、しゅっちゅう皆がやりだすようになる。それも、どこでも、いつでも、誰でも、と全員がやりだすということですね。

要するに、昔は読み・書き・そろばんといった感じで、識字率を高めて工業化を進めたのですが、今度は、もう一つ上の能力、いわば情報活用能力（メディア・リテラシー）を高めることで、まずスピードが猛烈に上がるんですね。さっき郵便との比較を言いましたけれども、例えば、インターネットで学会の発表などをやりますと、従来のタイプに比べ情報が非常に早く拡がるわけです。

もちろん、それが常にスムーズに行われるわけではなく、トラブルも起こりますけれども、とにかく速くなる。

もう一つは、「インター」という言葉で分かるように、「インターナショナル」というか、「インターワールド」というか、非常に横断的で、ボーダーレスで、範囲が広い。それから「スコープ」、つまり範囲が広くてスピードが速い。だから、私が勝手に付けた新造語ですけど「スコピード」と言ってるんです。まあどんなに低く見積もっても1桁ぐらい上がったと見ています。

最近では、「ウェブ・イヤー」と言いまして、大体3ヵ月ぐらいで1年分ぐらいがかわってしまうような感じです。よく「ドッグ・イヤー」あるいは「象の時間」「ネズミの時間」などと言いますが、インターネットのようなネットワークが動きだしている世界は、技術革新などが3ヵ月で1年ぐらいの感じで進むの

で、3年も経てば10年ぐらい、まさに10年一昔です。

事実、3年前のパソコンは、もう陳腐化し見捨てられています。それから、3年前になかったものがいくらかでもあるわけで、1年か2年で変わってしまう。世の中の変化や、情報の広がり方のスピードとかが、ものすごく速くなりました。

情報化社会の展望

山間僻地の中学校で

生徒8人パソコン6台の情報教育

ところが一方には古いシステムとか古いメディアとかがあり、いちばん変わりにくいのは人間の固定観念とか基礎概念ですね。そうすると、新旧の間にギャップが出てくるわけで、一方ではものすごい競争をしているんですけども、一方では、例えばインターネットがなかったら、国でも場所でも、遅れちゃう。山奥でもインターネットがあるところがあるわけで、事例で言いますと、三重県の熊野市神川町。その神の上（こうのうえ）中学校は、生徒が8人しかない過疎地の中学校ですけど、パソコンが6台あり、インターネットにつながってるんですよ。

秋山 パソコンがある、インターネットにつながっているという環境があって、そこで自発的に活動が盛んになったのか、あるいは何かそのほかにプラス・アルファの、特徴的なファクターがあるのでしょうか。あるいは、いまのお話で、どこでもということではなさそうですが。

石井 なぜ私が知っているかといいますと、

インターネットでつながっているからなのです。たぶんそれがなかったら知らないでしょうね。それから、そこから見学に来たいといってきました。パソコンが6台あるなんてこともホームページで知ったわけです。その子供たちが、この間、修学旅行で本当に東京へ来ましてね。一人ひとりにいろいろ聞いてみると、例えば授業をしていると山から猿がやって来るなんて話なんですよ。ちょっと国内でそんなところがあるのかという感じですけどね。

秋山 8人に6台というパーセンテージはおそらく平均よりも飛び抜けて高いんでしょうね。

石井 それはもう東京大学や、私ども慶応大学の湘南藤沢キャンパスだって、そんなにありませんからね。ですから、ものすごい密度が高い現実が起こっており、また、そういう子供たちは、よその中学と通信したりしています。昔は情報の共有に関して何か阻害されてたところがありました。しかし、いまは東京の中にいるといっても、やってないところは大きな情報通信ギャップができてしまうわけです。

この中学校の場合、自然があり、昔の環境のなかにいるわけです。従来の考えからいくと、まず工業化が進み、都市化が進んで、その上で情報化という順になるんですけど、ここでは、飛び越しちゃってる。

学齢期からのリテラシー教育と

メロー年齢層ケアの二段構えで

秋山 情報の共有に関しては、若い生徒の方が先導的な活動をしているとのお話がありましたが、メディア・リテラシーの観点で見ますと、やはり情報弱者である年配層に対して、

今後考えるべき問題があると思います。

石井 いまの教育システムは印刷文化ベースの教育体系になっています。そのなかでコンピュータを教えますから、極端にいうと、たとえば東大工学部に行って初めて本格的コンピュータ教育をやるのがほんとにいいのか、と問われるわけです。例えばキーボードの操作などは、本当は中学校あるいは小学校で覚えるほうがよく、別に大学に入るのを待つ必要は一つもないわけです。教材の内容はそれこそゲームでも何でもいいのです。極端にいうと、高齢者になってからやるのは非常に身につけづらく、いまの高齢者たちは大きなハンディキャップを持っているわけですね。つまり、若いうちにそういう環境を与えられなかったから。

秋山 先生のおっしゃいましたように、今後は若い方が自発的といいますか、自動的に情報コミュニティのコアになっていくと思いますけれども、過渡期の現在、年配者に対する何らかのケアが必要だと感じますね。

石井 「メロー・ソサイエティ・フォーラム」というのがありまして、私が会長で10年近くやっていますが、そこにも1万人ぐらい「メローネット」というパソコン通信に入っている人がいます。過渡期としては、先生がおっしゃる点が非常に問題ですが、一方で本格的なリテラシーの教育システムをつくりながら、もう一方でいまの高年齢の人達のようなワリを食っている世代をケアするという、2段階構えが必要ですね。

どこまで考えるか

セキュリティ・レベル

秋山 ところで、情報の共有がどんどん進み

ますと、一方で情報公開に関する制度的あるいは技術的な課題が出てくると思います。特に情報化社会ないしはネットワークに関するセキュリティにつきまして、先生はどのようなお考えでしょうか。

石井 ネットワーク・セキュリティが一つ問題ですけど、工業化社会でのセキュリティとはずいぶん違いますね。

例えば、これからいろいろトラブルにぶつかり対策をつくっていくことは、従来からの経験を積み上げた上にできているものと違うんですね。いちばんまずいのは、工業化社会にできているルールがそのまま生きていて、それで処理されるということです。

例えば治安にしても、昔は、ハッカーとかウィルスなどなかったわけですね。そんなのは法律のどこにも書いてないし、かりに法律を変えたって、執行する側がそれをちゃんと処理する能力を持ってないわけです。ハッカーのほうかはるかに能力を持っているわけです。(笑い) だから、いちばん簡単なのは、ハッカーを雇って、ハッカーに対して毒をもって毒を制することはできるかもしれないけど、一般には向こうのほうが進んでいるんですね。だから、セキュリティといっても、モラルもそうですが、ギルティ・コンシャスではないのですね。何でもありの法外の世界ですから。

著作権自体も、紙の時代の決まりでしょ。ソフトコピーは要するに電子媒体であることから、紙の印刷と違って、自由に変更、編集できることが大きなポテンシャルです。ところが、肖像権というのは変えちゃいけないでしょ。そうすると、このようなポテンシャルを阻止するのですね。印刷物というベースで、



石井 威望氏

(慶應義塾大学 教授)

しかも印刷所で印刷する方式とソフトコピーというのが整合しない。印刷もデスクトップ・パブリッシングじゃないけど、コンピュータがみなプリンターを持ちだし、カラープリンターだって最近は結構いいですからね。すると、どこでも印刷や少量の出版だったらいくらでもできちゃう。

それから、非常に速いスピードでことが起こるので、活字になったときには、もうすべてのイベントが終わっちゃってるわけですね。すると、従来の著作権などの枠組みとかセキュリティのやり方を情報化時代用に変えなくてはいけないのですが、どう変えたらいいのかはまだ先のことでよくわからないのです。事例が少ないものですから、どうしても暫定的なものになっちゃうのです。

秋山 確かにセキュリティ管理の考え方にしても手法にしても、情報化時代に適合した新しい体系が求められているようですね。ところで、そのような問題意識を持った専門家の方が、組織的に検討を進めているという状況にあるのでしょうか。

石井 もちろんずいぶん努力はしています。

アメリカの場合は、国がセキュリティにものすごく関心を持ち、厳しくやっています。

ただ、もう一つの問題は、インターネットをやる人はいま何千万のオーダーですが、そのうちに何億になる。そういう人たちが入って来たとき、従来の方法ではもうコントロールできないんです。

秋山 そうですね。要するに、ひと言で言えばセキュリティ・レベルをどこまで考えるかによって、投入する労力の大きさが決まるということですね。

インターネット——

動きながら、いつでも、どこでもの時代

秋山 先ほどちょっとお話に出ました、先生が造られた「スコピード」。これは実には大変すばらしいコンセプトだと思います。そこで、もう少し具体的に、これをどんな形で取り込んでいったらいいのか。その辺りのことをご教示願います。

石井 最近「ウェブ・イヤー」のほうが行ってますね。ウェブの中の、さっきも言った時間の刻みですね。しかし、「ウェブ」という言葉の中に、「ワールド・ワイド・ウェブ」のような、世界的というスコープのニュアンスが入っていると思うんです。

ビジネスの世界では、例えば、ちょっとしたいいい新製品が出ますと、ホームページに1日に20万ものアクセスがあるんですよ。ほかの宣伝媒体ではとても考えられません。しかも、海外からずいぶん来るわけです。それから、非常にいい学術的な仕事ですと、1日に、1万や2万来るのは当たり前なんですね。しかも、8割が海外からとかね。だから、「そういうことは俺は印刷でいく」なんて言ってた

ら、とても競争できないです。それをやらないのは自殺行為なんですね。そうすると、みんなやるわけですよ。ですから、爆発的に増えちゃう。

もう一つはインタラクティブな点ですね。印刷物だって、ゆっくり手紙が返ってくるとか、ゆっくり世論の反応が起こることがあるかもしれないけれど、出した瞬間にということはありませんからね。

分かりやすい例では、「たまごっち」の話。これを手に入れるのは非常に大変なんです。

この間、池袋の某百貨店で「『たまごっち』を明日2,000個売る」と、貼り紙を深夜に出したらしいんです。12時頃。そしたら、それを見た人がすぐ「たまごっち」のホームページに書き込むわけです、インタラクティブだから。すると、私のところの大学院の学生が朝6時に起きてそのホームページを見たら、そのメッセージが出ているのが分かった。彼は東京の郊外に住んでまして、池袋にすぐ走って行ったわけです。

そして、そのときにすぐに携帯電話で連絡を始めているわけです。だから、動きながら友達に連絡できるわけですし、例えば池袋に近い友達には先に行って並んでくれとかね。ともかく、9時に着いてみたら、10時開店の百貨店の前に2,000人ちゃんと並んでたというんですね。それも全員携帯電話を持ってる人がですよ。

さらに意外だったのは、お母さんたちがずいぶん多いんですね。ということは、家庭でもずいぶんインターネットをやっているということです。だって、それ以外にそのことを知る通信手段は、その朝には他にありませんからね。

朝見てすぐに行動を起こして動くというのは、「たまごっち」みたいな遊びの道具を買うときにさえも、そういうことをやるわけです。というのは、ほかのビジネスでも何でもそれで動きだしているわけです。ですから、ものすごいスピードがあるわけ。最近、「モバイル」と言いますが、移動体通信というわけでありまして。デスクトップのパソコンをじっと座って見てるだけではなくて、行動が伴う。これはカー・ナビゲーションもみんなそうですね。動いている中で何でもやる。

従来はフィックスしたネットワークの中で「いつでも、どこでも、誰でも」だったのですが、今度は、「動きながら、いつでも、どこでも」ですよ。

動きを決める新説

「オーギュメントッド・リアリティ」

秋山 いまの先生のお話で、時間的にリアルタイムで広がることと、空間次元そのものも動いていくことが納得できました。インターネットのスクープで見ますと、具体的には、例えば交通で言いますと道路に対応する動く情報、それからいろいろなメニューがあるという意味では、その辺に開店中の商店がたくさん並んでいるようなイメージかもしれません。また、もっと進んでいけば、ほとんど「バーチャル・ワールド」みたいに、人間の社会、経済、ないしは文化的活動が、現実とそれを超えた「バーチャル・ワールド」との混成時空間の中に出現していくということかも知れません。

石井 確かにそうなんです。「バーチャル」と「リアリティ」の両方がない駄目だというふうになってくると思うんですね。現実だけ

ではなかなか動きが分からないわけです。

例えば先ほど申しました、朝突然2,000人が並ぶという現象を現実だけで見たら、なぜこんなに人が来たか理解できないわけですね。ネットワークを見ていれば、あ、このホームページが出たから、それで起こったと分かるわけです。

それから、例えばペルー日本大使館の人質事件のとき、われわれはペルーのことは余り知りませんから、テレビなどの報道だけ見ていたのでは分からないんですけど、ところが、事件の発生後すぐにペルーのテロの連中もちゃんとホームページに出してるんです。北朝鮮だってみんな出してます。

ですから、それを見てないのと、見て現実を理解するのではずいぶん違うわけです。従来は現実がすべてだといってたんだけど、現実を動かしている、先ほど先生がおっしゃった「バーチャル」のほうと一緒にして、最近、「オーギュメンテッド・リアリティ」というんです。「バーチャル・リアリティ」というときは、「リアル」に対して「バーチャル」と分けてるんだけど、「オーギュメンテッド」というのは、両方一緒にしないと分からないというのです。

もちろん、常に「バーチャル」だけで動いているものもあるんだけど、多くはそうではなくて、カーナビなんかは典型的な例ですね。マップは「バーチャル」ですが、動くのは「リアルワールド」です。だけど、「バーチャル」の中である位置が動くというのは、両方一緒になってです。最近、カーナビ依存症というのが出てきており、マップの情報つまり「バーチャル」も応用して走っていると、カーナビがないとやっぱり不安で運転しにくいなんて

いう感じになるようです。

いままで「バーチャル」のほうは、地図が紙の上に書かれていたように、ネットワークと関係なかった。

ところが、最近、特に PHS(簡易型携帯電話)の32 Kbpsの高速データ通信というのが4月から動きだしました。そうなりますと、そのときの地図、例えば渋滞とかいろいろの情報を全部入れたのがネットワークで提供できるようになります。高速道路を使って急いで速く行こうというときは、事前にこれを見ないで突っ込んだらひどい目にあう。だから、みんなが情報を共有して、あるいは自分が動くときの判断のもとにしており、かつ、全体のことを常にローカルでも知っていて、みんな「オーギュメンテッド・リアリティ」になっていく。

環境情報をとらえる新理論

——昆虫が使う「アフォーダンス」——

秋山 先生の「オーギュメンテッド・リアリティ」という考え方や似ているかも知れませんが、工学技術の世界ではシミュレーションというのをよくやりますね。例えば事故のシミュレーションですね。いろいろなケースをイメージに描き、ファースター・ザン・リアルタイム——つまり実時間よりも速く現象をコンピュータで予測していくという手法——で、こうなればこうなるというシナリオを「バーチャル・リアリティ」ベースで先取りして頭に入れておく。そうすれば誤りを未然に防止したり有効な対策を施したりする上で、非常に役に立ちます。リアルタイムの実データと未来時間領域の予測情報とを同時共有しながら安全向上に役立てよう、という考え方が

のです。医学の手術や治療などでも、こう処置したらこのような反応が起きるかもしれない、その時はどのような薬剤投与をして……などと先を予測しながら実時間領域で最適の対応を進めていくのではないかと想像しますが、一般的にかなり先を読んだシミュレーションが、「オーギュメンテッド・リアリティ」のようなコンセプトの中で、今後さらに展開される可能性があるのでしょうか。

石井 「バーチャル・リアリティ」と「リアル」と分けてたときは、先生がおっしゃっているようなモデルだったのです。だから、事前に「バーチャル」でずいぶんシミュレーションして、それでリアルに入りました。

月に着陸するときは、1,000回ぐらいシミュレーションして1回ほんとに「リアルワールド」が起こるのですが、ところが、火星に行くのには困っちゃったんです。月は近いから表面の情報をあらかじめ全部とって「バーチャル・ワールド」をつくれるのですね。ところが、行くだけでも大変な火星の写真を全部撮るなんて、それはものすごいコストがかかります。

そこで、「オーギュメンテッド・リアリティ」よりはむしろ「アフォーダンス」という、最新のロボットでも使用されている理論があります。マサチューセッツ工科大学のロドニー・ブルックスがやりだし、東大ですと三浦宏文教授のところの下山勲助教授がやっているものです。環境の情報をメモリーの中に全部取り入れてバーチャルな世界でシミュレーションするという考えではなく、「アフォーダンス」というのは現実の環境自体も情報を持っているとするわけです。それで、現実からのつまり本当の「リアル・ワールド」から発



秋 山 守 氏

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

信している情報は、内容が分からないものもあるにせよ、われわれはとにかく「アフォーダンス」として環境から情報をいっぱい受けているのです。

例えば昆虫なんかは殆ど「バーチャル・ワールド」を持っていません。殆ど神経細胞もメモリーもありませんから。どうしているかという、昆虫のストラテジーは環境の情報をそのまま使っているわけです。それがメモリーであると同時に実在なんですから、どんな環境に行っても昆虫類は適応できるわけです。ですから、われわれが捕まえようと思ってもうまく逃げたり、結構高級なことをやっています。

ところが、われわれは一回抽象化して、データとして脳でデカルトの世界をやっているんです。現実から抽象化して、二元論ですから「バーチャル」の世界へ一旦全部取り込んで、そのデータで「バーチャル・ワールド」内に再構成するわけです。この欠点の一つは、ある意味では任意に取り込めますから、抽象するときに落ちる情報がいっぱいあることです。全部をとるんだったら、そのまま実物

になっちゃうから、全部をとるセンサーはないわけです。

それで、「アフォーダンス」の考え方は、ギブソンという心理学者により1960年代から始まってます。外の現実の世界に全部あるということで、それをデータとして取り込まないわけですね。大脳皮質がなくても、現実にある情報は全部実在と重なっちゃう。それがまあ「オーギュメントド・リアリティ」ということです。

火星のロボットをつくる時、殆どメモリも何もない「アフォーダンス」の考えを使ったわけです。つまり、火星へ行ったとき、昆虫的に対応するシステムだけつくった。それで、マシンとしてみるとものすごくシンプルになったわけです。

しかし一つだけ必要条件があって、しょっちゅう動いてないと駄目という条件があるんです。ゴキブリだってじっと考え込むゴキブリなんてないわけ。チョコマカ、チョコマカ動いている。あれで実は環境の情報をしょっちゅうとって動いているのです。

エネルギーの場合も、エネルギーというリアリティがあって、それを情報として抽象して、改めて従来の形で結び付けるのが、デカルト的な意味での一つの方法なんですね。ところが、もう一つは、もっと密着した「オーギュメントド・リアリティ」的なやり方もあるのです。

工業化と情報化で活力あるアジア

秋山 次に、日本と外国との国際比較について伺いたいと思います。具体的にはアメリカと日本を比べた場合に、日本の抱える課題には、先生の著述のなかで、成長のスピードを

失っている、また国際化にも立ち遅れており、最近ではシンガポールなどのほうがはるかに活力がある、などと述べられています。

それからもう一つ、先生もご指摘になっており、私も常に考えているのですが、やはり日本の教育システムと文化的な環境が、西洋に見られる個性を伸ばす考え方に比べて相当に異質なところがあります。わが国としてのこのような課題を徐々に解決していく方向で、またもう一方では、特に21世紀を睨んだ場合に、日本が先進国家として国際貢献をする必要があるという観点でも、若い人に情報の分野でも活躍してもらいたいと思います。例えばゲームソフトなどでは、わが国の関係者が非常にいい仕事をしているわけですが、さらに広い視野で見た場合のわが国の問題点とか、今後の考慮すべきポイントなどについては先生のお考えはいかがでしょうか。

石井 ごく大雑把に言いまして、工業的なシステムでは、日本は19世紀後半から明治維新でキャッチアップの過程に入るわけです。ところが、その時期、情報化とか、いま流にいうネットワークも何もなく時代です。強いていうと郵便というネットワークはありました。ですから、工業化の枠の中でずっとやってきたシステムにしろ社会構造全般が、もう一つの新しいファクターが出てきたいま、不適応現象を起こしてるのです。カバーできないところが出てきちゃったのです。

アジアはいま工業化を進めています、日本と全く違うのは、同時に情報化が進行してるわけです。日本のときは、情報化なしの、先進国がやった従来タイプの工業化をただデッドコピーしたものでした。

ところが、アジアは違う。たとえば携帯電

話がいちばん典型的ですが、アジアでは日本よりはるかに先に普及している。それは、一つはモバイルなんですね。線を引くよりはるかに安いし、効率もいちばんいいわけです。普通の電話ですと、そこに相手がいないと使えませんけれど、携帯電話はいつでも使えますからね。

最近の学生なんかも、全部携帯電話になったものだから、下宿に電話のないのが増えてるわけです。電話の加入数を見ていると、去年の12月までは日本は有線の電話が増えていたんですね。それが今年の一月から減りだし、逆に、携帯電話のほうは去年1年間で2倍に、1,000万台が2,000万台になっているのです。それに、PHSはいま600万台ぐらい、全部で2,600万台の移動体通信ができちゃっている。

その設備投資が1兆4,000億円という、大設備投資なんです。自動車や鉄鋼でも何千億円で、いま、それに対抗できるのは、電力だけです。

それで、情報通信全体ですと、いまでももう何兆円でしょう。大体2000年初頭には電力投資を情報通信投資が抜く見通しで、その中心は移動体通信になっていくわけです。移動体はどんどん増えてるが、有線は減りだしているという構造変化が起こっている。それで、当然ライフスタイルが変わっているわけですね。

初めは私なんかも携帯電話をテレビぐらいに考えていた。何か香港、シンガポール、台湾あたりでやっているけど、それは電話が普及していないからやってるんだろうと思っていた。ところがそうじゃなくて、遅ればせながら日本もモバイルのほうが中心になりだ

した。

その点では、従来の工業化のパターンと違うことがアジアで起こりだしたんですね。

エネルギー産業と情報化

インターネットが役立つ

デマンドサイド・マネジメント

秋山 ところで先生は、政府ベースあるいは民間ベースで、国際的なエネルギー環境問題にも取り組んでおられます。そこで、まずエネルギー・セキュリティについて、わが国はどのような政策をもち、技術開発を進めたらいいのか、エネルギー・マネジメントの観点も含めてお伺いしたいと思います。

石井 例えば、通信系が入ってきてインタラクティブになったとき、どう変るかといいますと、普通の人は電気を使うときに、例えば、いま電気が余っているのか、発電所はどんな稼働率なのか、知らないですね。電力会社はそういうのをモニターしていますけど、それは供給側が知っているだけで、使うほうは知らないわけです。

秋山 それを例えばテレビの画面で、いまの利用率がどのくらいで、いまどのくらいのお値段だというように知らせることができれば、ずい分状況が変わるわけですね。

石井 そうそう、株式市場と同じでね。だから、需給関係は、例えばインターネットみたいなものがある、関心があれば、電気をいくらかで買うんだとか、その価格は常に変動してるというようなことがわかるわけです。

交通でも、最近、同じことが言われだしましてね。高速道路はいま均一料金でしょ。あ

れはしかし、空いているときも同じというのはおかしいじゃないか、混んでいるときは高くしたらどうだという説がある。

いままでは技術的にできなかった。この考えは、ロード・プライシングというんです。だけど、GPS（衛星測位システム）なりカーナビが出てきて、もうすぐ走行中に色んな道路情報を無線通信でも取れるようになる。これに料金の自動徴収、つまりあとで銀行決裁のシステムを組合せればいけるわけです。そうしたら、環境に応じてみんなが考えて、「自分は急がないから、迂回して安く行く」とか「もうどうしようもなく急ぐから、うんと高く払う」とか。その人のそれぞれの場合に応じてのデシジョンです。トータルとしてその人が自分のお金をどう配分するかは、それぞれの知恵を働かせればいいんだという考えです。これがネットワークができたときの、特にモバイルができたときの、新しい可能性として、社会の資源配分、あるいは人々の参加という活性化でしょうね。

だから、まさに「デマンドサイド・マネジメント」ですよ。マネジメントという意味は、いままでは使う方は均一で安く湯水のごとく使うのが幸福だと考えていた。で、それを見ると結局無駄遣いになっちゃったりしたわけです。一方、供給側は供給義務があるものだから、ピークロードに合わせて設備を造り、今度は国鉄の赤字路線みたいになったりする。

だから、そういう変なところが出てきたとき、情報化が進んでいると、極端に言うと、少し電気を節約して出費を稼ごうと思う人が、電力会社と個別に取り引きすればいいと思ひ出すわけです。電力に余裕があり料金が

安いときに、じゃこの仕事はここでやっちゃおうと。すでに大きな工場はみんなやってますね。いままで大企業が考えていたようなことを、一人ひとりの小さな家庭ぐらいのレベルでも、やろうと思えばできる方向へ行けば、全体としてみると、社会資源、あるいは環境など全部を含めて、市民自身も考えることになる。いままでなら、考えるにしても、データも参加する通信方法もなければ、取引市場もなかったわけです。

秋山 まさに、こういう情報化の時代であれば、先生のいまおっしゃるようにエネルギー・マネジメントは、デマンドサイドのレスポンスを受けて、供給側が需要にマッチした供給量や供給価格の調整を行なうと同時に、需要側でも供給環境に応じて柔軟かつ微細に自己調整をして、その結果として需要システム全体としての高度化が実現できるということになりますね。

デマンドサイドで時刻表が変わる？

石井 特に供給側から見ますと、そういうインタラクティブなプロセスを通じて、次はどういうふうに操業すればいいかが分かるんですね。

こんな例があるんです。例えばアメリカではバスの停留所の時刻表は、些細なことですけど、結構インターネットで見てるんですよ。新聞社のホームページで15分ごとに新しい情報が入ってくるから、新聞をインターネットで見るというのはよくあるし、その狙いもよくわかるのですが、案外多く見ているのが時刻表なんです。不思議でしょう。時刻表というのはちゃんと印刷したのがあるのですからね。ところが、臨時便があるわけです。ある

いは故障して来ないこともあります。これはネットワークで見る以外にわからないわけですね。

ところが、この次のフェーズを考えてみますと、みんながそれを見だしますと今度は、バス会社にしてみたらどれだけアクセスがあるか知りたくなる。するとガラガラで走ることとはなくなり、それに合わせて時刻表が変わるわけです。ということは、毎日毎日時刻表が変わることになり、乗る方はそれを見ないと乗れないわけです。皆が見てたくさんアクセスしてくれればくれるほど、今度は予測は非常に的確になるわけです。予約したと同じですからね。そのプロセスが、バスみたいなレベルばかりでなく、新幹線、飛行機でも起るわけです。

「デマンド・サイド・マネジメント」の原点はそこにあって、特に電力は需要をかなり先行的に予測して発電所を運転しないとイケない。そのとき、先行的な情報がとれるかどうかが重要で、それがあれば、供給側は、例えば何も縛られた時刻表に従って空のバスを走らせるようなバカなことはしない。これは社会的ロスですからね。それから、混雑するときにはたくさん走らせる。そのためにはもちろん運転手の勤務状況から全部をスケジュールしないとイケないので、それが先行的に分かれば分かるほどやりやすいわけですね。

秋山 先生がおっしゃるように、情報の基盤なり、情報のマネジメントがさらに高度化して、あらゆる面で合理的な、効率的なシステム、例えば生産現場での看板方式に似た環境が整備されますと、マネジメントの効用は格段に進みますね。

石井 そうそう、POS（販売時点情報管理、

Points of Sales）システムです。スーパーのレジなどでバーコードを読んで、その販売データが即時に管理センターに記録されるというあれですね。どの店にどれだけ需要があるか、それに対してフレキシブル・マニュファクチャリングではないけど、今度は生産態勢もそれに柔軟に対応しなきゃならない。計画生産方式みたいに硬直的に決めちゃって、それに合わせて乗ってくれというのが従来の交通サービスですね。駅へ行くとどこも、駅で決めた時刻表があつてね。だけど、やはり臨時使みたいなの为中心になり、デマンドに応じて走らせるのが、「デマンド・サイド・マネジメント」の考え方。デマンドがないとき空の車を走らせるのは無駄ですからね。

情報時代のPAは

インタラクティブなプロセスで

秋山 お話のように「デマンド・サイド・マネジメント」の考え方は、エネルギーの分野も含めて、これから社会全般にわたって浸透していくでしょうね。

ところで、話が前に戻りますが、エネルギーの供給量の確保に関して、政府も電力会社の方々もいろいろな政策を実施しています。エネルギーのベストミックスという考え方、——つまり原子力、新エネ、省エネ、それから従来の化石エネルギーを、それぞれ合理的かつ最大限に活用していくという考え方——に立ちながら、皆で協力していくということでしょうね。その際に、環境との調和の問題や、経済的ないしは物理的な資源制約の問題をどう切り抜けていけばいいのか。そのことを一人ひとりが十分に考えていく必要があります。



石井 これは、先ほどの話と原理はかなり似ています。いまの原子力もそうですけど、世論というか、みんなのコンセンサスが非常に大事になりました。専門家がこう考えて、この計算でいこうという計画に対して社会の合意がなければ、仮に理論的にそれこそバーチャルなシミュレーションの最高の結果だといっても、リアルにはできません。

だから、リアリゼーションしようとする、先ずシナリオをつくり、さっきのPOS みたいに、そのシナリオをいかにして現実の社会のアクセプタンスを得るかというプロセスが、これからはいま以上に必要になってくると考えます。そのためには十分情報を流し、一般の人が、エネルギーを少しでも安く使おうと思って、ネットワークを通じてしょっちゅう電力の状況を見ていることが、一方では問題の理解にもなるんですね。そうすると、まともな議論ができるわけです。

それがなくて、何か分からないんだけど、「こういうことをやれ」とか「これがいいよ」と言われたときに、昔は医療でも、患者さんは「任せなさい」と言われて、名医がこうだという治療法を信じてやってきた。いまは「イ

ンフォームド・コンセント」で、「こういう可能性のうちどれを選びますか」と問われて自分で納得してやっている。

さっきの情報の公開とか共有の話になりますが、相当量の情報が提供されなくてはならない。例えばいろいろなシナリオがあって、あるいは専門家のなかでも意見がこんなに違いますとか、医学の場合ですと、外科の人はこう、内科の人はこう言っているとか。いままでは誰かが任されて決めてたわけです。ネットワークの時代になりますと、いろいろな意見とか、そういうインタラクティブなプロセスを経ることになります。

だから、最近、審議会なんかも全部公開の方向にいつてますね。

分散系システム利用の先導による コントリビューションを

秋山 最近では、お役所の方が地方や地元に出向いて国のエネルギー政策、原子力政策などを説明し、また逆に地元の意見を聴取されて、いわば直接的なコミュニケーションを深めようと努力しておられます。このことも、まさに先生のお話と同じ方向の動きですね。

石井 そのときに問題になるのは、まず一つは、そういう情報の交流ができるインフラです。さっきの、山奥でも交流ができれば、あまり遜色がないというのと同じような意味です。もう一つは、リテラシーで、年配者まで含めて、情報交流が自由にやれる状況にすること。そういう前提はありますが、基本的には公開とか透明性とか、それからは納得のいくプロセスが大切です。

従来できなかったのは、これを文章とか新聞とかの、スピードの遅いメディアでやって

たからものすごい時間がかかった。しかし、情報化が進めば瞬時にできますからね。

秋山 そのような情報化の進展を背景として、通商産業省の谷口富裕審議官のご発案により、石井先生が座長となられて「原子力と情報」の懇談会が活動を始めましたね。原子力と情報を広く見渡しますと、やはり情報基盤や情報そのものの持つ大きな力を原子力分野でどう利用していくかということが、まずは念頭に浮かびますが、それは極めて自然なことだと思います。私はさらに、原子力のコミュニティの中から情報分野に対して斬新で先行的な情報科学技術の芽出しというか、何がしかの内発的なコントリビューションができるように心掛けていきたいと思っています。

石井 もともと私がコンピュータをやりだしたのは、「ニュークリア・コード」というグループがありました。その研究グループに加わったのが切っ掛けなので、個人的な思い出がありますね。当時はIBM 650の時代で、私は放射線遮蔽のシミュレーションをやっていました。その頃いちばんアクティブだったコンピュータのユーザーは原子力だったんです。

秋山 そうですね。いまでも全体的な規模の面から見ても、原子力は依然として非常に大口のユーザーですね。

石井 だから、電力にしろ原子力にしろ、エネルギー関係がある意味でコンピュータのリーディング・パワーを持っていたときがあるんですね。

ところが、事情が大きく変わったのは、あるいはカルチャーが変わったのは、コンピュータがメインフレームから分散型のパソコンに変わった時です、つまりネットワークに。この

ときにリーダーシップを失っていますね。だから、今度の秋山先生がおっしゃった「原子力と情報」の懇談会でもそうだけど、もう一回コントリビューションするとすれば、さっきのデマンド・サイド・マネジメントもそうですが、新しいタイプの分散系でやるべきなんですね。これができれば、これは大変大きな蓄積もあるし、人材も持ってるし、もちろん現実にはいろいろなニーズもありますからね。

分散型タイプでできると、これは何もエネルギー関係だけに限らず全産業に有効なやり方ですからね。だから、そこは今回、何も「原子力と情報」といわず、本当に「産業と情報」といってもよいかと思いますね。

ネットワーク社会への対応

生産工程にフレキシビリティを

秋山 エネルギー産業では、最近、先生のご指導のもとに、例えばCALS (Continuous Acquisition and Lifetime Support, 生産・調達・運用支援総合情報システム) のような革新的な手法が広まりつつあります。この辺りについて、現状や見通しをお話し願えればと思います。

石井 この向うところは、結局、航空機産業、宇宙などもみんなそうですが、すべての産業がフレキシビリティの問題を産業の生産サイドに取り入れていくことです。それが無い限り、いくら情報で合意なんていっても対応できませんからね。

ですから、例えば航空機で何かトラブルが起きたとき、契約から設計、生産、試験、メンテナンスの全段階が十分に情報化されていると、いま飛んでいる飛行機も悪いところは

即時直すとか、すぐ対応できるわけです。もし対応が遅ればその分、場合によっては人命をもってあがなうぐらいのロスが起こりうるわけですね。

従来、フレキシブル・マニュファクチャリング・システムなんていってたけど、もっと計画、調達の段階から全部情報化されてないと、いまのような対応がとれず、エネルギー産業の場合もそうですが、大きなシステムになればなるほど必要だと思います。

一方で、使う方は、さっきの一人ひとりのデマンドサイド・マネジメントの話のように、ますます小口になっていくわけですが、供給側はやはりスケールメリットの追求で掘り下げますからね。そうすると、考えてみると両極端みたいなことなんです。しかし、両極化になってわれわれが硬直化しちゃうと、それは当然変化に対応できませんから、また新たな一つの問題を起こしちゃいます。エネルギー産業における CALS をはじめ、新しい情報化を開拓すべきですね。これには、メンテナンスも入っていると思います。

この間もあるアメリカの原子力発電所の例で、なかなかいいメンテナンスをしている事例を聞いてみますと、かなり情報化が徹底してるんですね。だから、その辺は、今後、原子力をはじめとするエネルギー産業、それに関連産業を含めて、文字どおりネットワーク社会に対応できるフレキシビリティが必要だと思います。

情報ファイルのコンバージョンが ネットワークへの入場切符

秋山 話が変わりますが、私どもの研究所ではエネルギーの技術情報ベースを整備して利用

に供することを、事業の大きな柱の一つとしております。外国のシンクタンクでも関連の活動がありまして、それらの情報をネットワーク化するとか、あるいは全体的な協力態勢を政策的に強化していくなどが望ましいのですが、きょう先生にいろいろとお話しいただきました情報分野のハード、ソフトを含めたインフラの活用の仕方とあわせて、ご示唆をいただけないでしょうか。

石井 これは、2段階になっています。まず何も自分になくて、データベースでよそのを使うことはできないですね。まず自分が持たなくてはいけません。最低限あるところまで持ちますと、相手もそれを使いたいから、相互乗り入れができて、社会に広げていけるわけです。そこで初めてバーゲンができるわけです。バーゲンができたなら、ネットワークだからどこでも行けますから、世界の全部が自分のものになっちゃう。そのためには、入場切符というか、あるところまではまず自分で持たなければ駄目ですね。

秋山 当研究所も設立から数えて19年になりますが、当初からデータベースは看板にかけてまして、すでに相当のストックがある状況です。ですからそれを、先生のおっしゃるようにネットワークにいかに有効につなげるか、少ないマンパワーでいかに効率的に提供するか、というのがいまの緊急の課題です。

石井 デジタル化は、ペーパーで持っている場合はできません。最近、「コンバージョン」といっていますが、ファイルのコンバージョンは大変なんですよ。一度デジタル情報にできたら、これは入場切符なんですよ。これだけ持っているとしせば、向こうからもすぐ入れますから。そのかわりこっちも乗り入れると

いうので、アッという間に何倍とか何百倍になっちゃう。

秋山 その場合、いわゆるプロプライアティ・ベースのものと一般情報と、やはり内容において適切に分別していかなきゃいけませんね。

石井 だから、やっぱり計画的にやることになり、初めのところは何かしんどいでしょうね。あとは、雪だるま式になって行くところは結構速いですよ。

秋山 そのことに関しまして、やはりいまの先生のご示唆のなかにあったと思いますが、インターネットが大きな基盤になりますね。

石井 そうなりますね。つまり情報の交換ですね。公開情報なら別に守秘する必要ありませんから。強いて言う、変なはずらだけガードしていればいい。それとは別にシークレットもあるけれども、当面は公開的なものでお互いにオープンに交流できるようなところがいちばん量的にも多いし、それからさっきの外部との公開情報的なものの共有とか合意形成とか、いろいろできますね。

技術提携は

ユニークさと共通性の複眼で

秋山 エネルギー問題は、環境問題と並んで、国際的、全地球的なことですから、国益の観点に傾いた論議は妥当ではありません。さはさりながら、やはりエネルギー技術は産業と深く係っており、その点も十分考えていく必要があります。国際貢献と国益とのバランス、その辺りを、私はいつも「複眼的」と呼んでいます。情報分野ではいかがお考えでしょうか。この国を世界に完全にホモジナイズしてしまうということでもないと思いますし

ね。

石井 さっき言った入場切符ということですが、技術提携は昔からそうですけど、まずアライアンスするとき、相手と同じホモジニアスだったら相手が魅力がないはず。だから、内容についてはユニークでないとけない。それは、さっきおっしゃってた「複眼的」の一方の目なんです。非常に差別的じゃないと、向こうが入場切符として認めてくれないわけです。同質だったら量的に強い方にやられちゃうんです。

一方ではしかし、共通な情報にするという意味では共通なんで、まさに複眼的といえます。これはどこでもみんなそうなんです。かなりユニークでないと魅力がない。そうかといって、断絶してたら、存在意義がないんだからどうしようもない。

だから、一方では共通のベースなり共通の部分を持って。しかし、その上にやはりそこならではの独自性があるって、なるほどアライアンスのメリットがあるということになり、じゃパートナーとしてそれぞれのいいところをもっと進めようというのが普通のやり方なんです。

だから、アライアンスというと、何か向こうに合わせるといふ風に従来ついつい考えがちだけど、合わせる部分もあるが、全く合わせないところもないと成り立たないというものです。

協力し統合して進む「ニューハード」

秋山 先生が、「ニューハード時代」の到来について述べられた論文を拝見しております。これは、ハードとソフトが相互に競争して引張り合い、ウェーブをなして進歩するという

論説と思いますが、その辺りについて戦略的な次元のお話も含めてお伺いしたいと思います。

石井 日本では、「物にならん」という言葉があって、ハード(物)にならないものは「駄目」だという言い方がありますね。そのように「物」が結局ものを言うわけで、日本の社会ではハードウェアは、キー・コンポーネントになるんですね。部品でもそうですけど。これは不可欠でして、ハードがないソフトだけの議論は、日本の産業界では心底から賛成されないという気がしますね。

しかし、ハードだけでいいという議論は、1990年代になって退潮し、徹底的にソフトを取り込まないと駄目だという方向に変わっています。インターネット一つにしてもそうですね。それで、文部省がいまやインターネットを全部の小学校に入れると言いだしてましてね。10年前には考えられなかったことです。中曽根総理のとき、臨時教育審議会で情報のことを主張しましたが、当時はインターネットもなかったしパソコンもまだで、メインフレームの全盛時代でした。だけど、いまでは、クリントンは12歳の子供全員にインターネットを身につけさせるとか言ってるでしょ。だから、いまや情報ネットワークを抜きにした議論というのは成り立ちません。

だから、ハードウェアを考えるときには、あるいはハードウェアの能力をフルに活用するためには、もう絶対、ネットワークなり、ソフトなりがいるのです。

逆に言うと、ハードウェアが本来持っていた能力を、ソフトウェアが貧弱だったから十分発揮させられていなかった。ハードに「ものを言わせる」という言葉の「もの」という

ときに、われわれは従来のコンピュータ利用環境しか考えてなかった。これがネットワーク環境が出てきた、サイバースペースが出てきた。これによって、サイバースペースの中の「もの」というのは、もう一回リデファインして考えなくてはならないということで、その場合、それは「もの」の否定ではなくて、ある意味ではまさに「ニューハード」なんですね。つまり進化するんです。だから進化論なんですよ。

逆に、「ニューハード」があってこそ、いいソフトもできるんですね。古いハードウェアだけでは、例えば真空管しかなくてはいまのコンピュータはできませんからね。そうすると、半導体という非常にニューハード的なものが出てくると、今度はパソコンの分散ネットが出てくる。するとまた次のソフトと、そういうふうに交互に進化してるんです。

大衆車にも

「ニューハード」が入る時代に

秋山 先生がいまお話し下さった「ニューハード」のコンセプトは、情報産業はもちろん、あらゆる産業に広がって適用され、また適用して理解していくべきものですね。

石井 あるいは「ニュー・エネルギー」とも言っております。

ハードかソフトか、どちらかだけという二分割的志向のやり方というのが問題ですね。さっきもデカルト以来と言いましたけれども、当時は「アトミズム」というようなことしか扱えなかった。

だけど、いまでは複雑系、カオスとかが扱えるようになってきた。

それは、いまではちょっとしたパソコンの

いいものだったら、一昔前のスーパーコンピュータ位の能力がありますからね。それがまたネットワークで膨大な台数が接続されており、そのポテンシャルは桁違いなんですね。そうしますと、従来やっていた、つまり「アトミズム」だけでシンプルな範囲、例えばリニア系はごくごく一部で、やはりカオスまで含めたより広汎な複雑系になっていく。

このようにサイエンス自身も進化を遂げてますし、それをサポートしているハードウェア、ソフトウェアとかシステム関係もようやく複雑系対応可能になっており、その背景での新しいハードウェアであり、新しいエネルギーだということです。

自動車でもそうです。自動車でこの春に起こった面白いことは、新型カローラの発表。カローラはこの28年間、大衆車のなかでいちばん売れてる車でしょ。5月10日の発表のとき、朝刊に広告を出したんです。

1ページの上半分に出ているのは、車のダッシュボード。その真ん中の上部にカーナビが入っている。従来、カーナビは高級車の装備品で、それがスピードメーターよりもっといい場所に置かれており、その広告のコメントが「クラスを超えた新カローラ」と書いてあるのです。要するに高級車に近い感じ。つまり大衆車で純正部品というか、初めからつくり付けのカーナビゲーションを持った車というコンセプトが標準的になっちゃっている。ということは、車全体が変わったんですね。「ニューハード」になった。

秋山 大衆車でそのような最先端のコンセプトを持った車が出てきたのは大変面白いですね。これは「ニューハード」を装備したコックピットですね。将来型の。

石井 そうなんです。で、宇宙船に似てきたわけですね。情報を十分取り入れ考えて走る。むやみやたらと走るんじゃないという意味では、さっきの「アフォーダンス」の昆虫と相反するようなことをいいますけど、前に出ている画像を見て走るということは、昆虫の場合には環境と自分しかいないけど、人間の場合にはその間に「サイバースペース」の環境が加わるんですね。

このところの評判のトピックスを振り返りますと、PHS-32Kがあります。使ってみるとこれは、以前に比べ送受信スピードがクリティカルなレベルを超えたという感じですよ。それまでのやはり実用的には使えなかったのです。このスピードになって初めていけるというわけです。

それからもう一つは、先述の大衆車にカーナビゲーションが入ったこと。普及はまだ3、4%なんですけど、コストダウンによりこれからまだ伸びていくはずですよ。おそらく日本に限らず、アジアを含めてうんと広まると見えています。

なぜかといいますと、アジアのパソコン出荷額が、去年、ヨーロッパを抜いたんですよ。トップはアメリカですけど、全世界で6千数百万万台の出荷のうち、アメリカは2,900万台ぐらいで、半分近く。アジアはもう1,600~1,700万台。アジアでトップはもちろん日本、800万台で約半分。あと、2番目がなんと中国で200万台強。3番が韓国。

伸び率は、アメリカが10数%で、日本と中国はいま40%ぐらい伸びてます。だから、2年たったら2倍になりますからね。PHSのように今まで日本が遅れているということは、逆にこれから伸びるということですから

ね。だから、「ニューハード」の問題も、以前に比べてそういう条件がずいぶん変わってきました。

む す び

モバイル機器が呼び起こす

「エネルギー・マインド」

秋山 きょうは、先生からエネルギーのことを含めて、情報分野の最先端の現状と今後の展望について、幅広く大変に魅力的なお話を聞かせていただき、誠に有難うございました。エネルギーと情報と申しますと、私が在学した頃の昔の大学の教育・研究では、両者は画然と別のものでありましたし、いまでも物理現象としては別々の理解が求められることに変わりはないでしょう。しかし、少くとも社会的に見れば、情報とエネルギーは密接に結合し、ミックスした状態になってますね。

石井 面白い現象ですけど、モバイルになると、とたんにみんな「エネルギー・マインド」になるんです。デスクトップまでは駄目なんです。コンセントから電気を湯水のごと

く使えますからね。

ところが、ポータブルになってモバイルにすると、電池が常に問題になるわけです。ということは、ものすごく「エネルギー・マインド」になるんです。

電気が空気のように、湯水のように使えるというひとつの理想も昔からありましたが、やはり環境、限られた資源、効率性などが問題になっているとき、そういうエネルギー・マネジメントの認識を一人ひとりがするというのが、さっきの「ネットワーク時代」の前提なんです。大事な時に電池が切れたりする目にあっていて、モバイル機器の普及は、その意味でエネルギーが市民個人に定着した存在として再認識される機会になるのではないかと考えています。

秋山 そうですね。これからはまさに市民も産業界も学界も、そしてもちろん政策の立案実行にあたられるお役所の方も、情報とエネルギーを総合的に把えて、コラボレーションというか高い次元での統合の観点を含めながら、未来を目指していくということでしょうね。きょうは大変勉強になりました。本当に有難うございました。

〔特別講演〕

気候変動問題への我が国の対応について*

—「新地球再生計画」構想を中心として—

松 永 和 夫 (通商産業省 環境立地局 環境政策課長)



ご紹介いただきました松永でございます。
本年は地球環境の年といわれ、世界にとってもわが国にとっても、環境問題に関し極めて重要な年となります。本日は、わが国のエネルギー・環境政策上「ビッグ・パッケージ」といわれる3本の重点施策のうち、最もウェイトの高い「新地球再生計画」に焦点をあてながら話させていただきます。

また、気候変動枠組み条約、さらにその後の議定書取りまとめ交渉の現状について、いま何が議論の中心なのか、どこに問題の焦点があるのか、いま一度おさらいさせていただきたいと思えます。

国際交渉の経緯と動向

「数量目的」なる語のいわれ

気候変動枠組み条約は、94年3月発効になりましたが、この条約は2000年までしかカバーしておりません。そこで、第1回締約国会議(COP1)が95年3月に開催されて「ベ

ルリン・マンデート」が採択になり、2000年以降の新しい国際的なフレームワーク、すなわち議定書づくりが決まったのであります。

この議定書づくりの検討課題、交渉テーマは大きく分けて二つあり、一つが温室効果ガスの抑制・削減の「数量目的」を設定すること、二つ目がその実現に向けた政策措置の決定であります。

こういいますと、特別に問題を含まないように聞こえますが、ベルリン・マンデートの採択時においてさえ、各国間で非常に厳しい尖鋭な議論が交わされました。

「数量目的」という言葉、これは非常にわかりにくい日本語でして、「数量目標」ではないのです。英語では、“target”ではなく“objectives”を使っており、この段階で既にみられた、アメリカ・EU(欧州連合)対立の妥協の産物だったのです。EU提案は“target”でしたが、アメリカは“target”という言葉嫌い“objectives”を主張しました。これではヨーロッパがおさまらず、その前に「数量化された」という意味の“Quantified”という形容詞をつけ、最終的には“Quantified Emission Limitation and Reduction Objectives (QE

*本稿は、本年3月28日、当所の第45回月例研究会におけるご講演をテープに起こしたものに、その後の状況進展に伴う修正を加筆していただいたものです。

LROS)”, 日本語で「数量目的」という表現に決着したわけです。

それから、2 番目が政策措置に関することでして、“Policies and Measures”, 頭文字をとり“PAM”と呼んでおります。この二つが条約交渉のターゲットになっているわけです。

今後のスケジュールは、12月1日から10日まで京都の国際会議場で開催される第3回締約国会議（COP3）で結論を得ようということで、それに向けてここ2年間、国レベルの準備交渉が積み重ねられてきました。

一律か一人当りの削減か

論争を生む各国事情

現状の論争点が表1です。

「数量目的」を差別化でいくのか、それとも一律削減でいくのかが、大きな対立ポイントです。

また、ベルリン・マンデート採択時のもう

一つの大きな争点は、義務化の対象に発展途上国を新たに加えるか否かの問題でした。結果は、現行の条約と同じく、途上国には新たな義務を課さず、例えば「数量目的」のようなキャッピングの対象にはしないことになっております。したがって、「数量目的」の設定を議論する、交渉する間柄は、主要先進国に限られているのであります。

ところが、その先進国の間でもかなり状況の違いがあります。図1および表2は、先進国のCO₂排出量を示したものです。同図にありますように、一人当たりでいちばん大きいのがアメリカの年間5.4トン、フランスは最も小さくて1.8トンで、3倍ぐらゐの開きがあります。

あとで触れますけれども、CO₂問題、気候変動問題は、環境問題の一つの大きな課題ですが、同時に、エネルギー問題であり、また経済問題でもあります。温暖化ガスの代表選手

表1 主要各国のスタンス

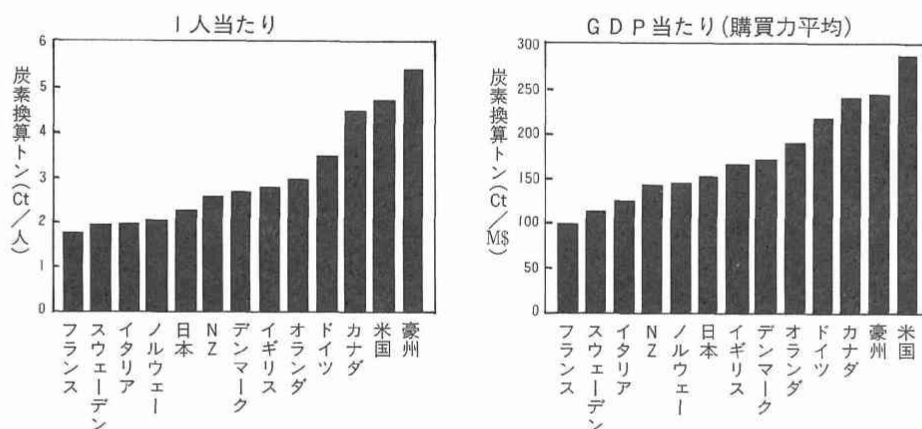
	数 量 目 的	そ の 他
日 本	・ 国の状況を踏まえた目的の相違化 （「差別化」）	
米 国	・ 数量目的達成の柔軟性の確保 （排出権取引、共同実施、バンキング、ボローイング）	・ 発展途上国の将来の目標義務化
E U	・ EU全体での目標設定 （EUパブル）	・ 個々の政策・措置の導入を各国共通に義務化
① 米国：一律削減の考え方を支持。また、共同実施、排出権売買に関心。 ② 独：数量目的に関し、従来、大幅な一律削減（2005年▲10％、2010年▲15～20％）を強く主張。（注） ③ 英：数量目的について、従来、各国一律削減（2010年▲5～10％）を主張。（注） ④ 仏：数量目的については、従来、差別化を支持。（注） （注）EUでは、平成9年3月にCO₂、メタン、亜酸化窒素合計で、2010年▲15％の削減を行うこと、EUはEU全体で目標を達成することを提案。（EU域内については、90年比10％削減分のみ負担分担について合意。国によって+40％の増加から、▲30％の削減まで認め、うち独は、▲25％、英は、▲10％、仏は、±0％。）（域内差別化）。		

であるCO₂排出は殆どエネルギー起源ですので、各国のエネルギー事情に応じて、当然ながら、排出の仕方、量に差があるわけです。

例えば、図1の1人あたりの棒グラフで説明しますと、図で右の方に位置する国は、一律削減、例えば、90年の数字に対して2010年1割カットという形になれば、1人あたりの

排出量を指定されるより削減量はより小さくなります。

これに対して左の方に位置する国は、例えばフランスのようにかなりの量の原子力発電を導入している国では、一人当たりの排出量が現在既に少なく、これ以上さらに一定割合削減するのは、当然エネルギー政策に依存す



出典：CO₂排出量（通報値）：National Communications, UN, 1996
 GDP：IMF International Financial Statistics Yearbook 1995 及び
 人口：World Population Prospects, UN, 1995
 OECD National Accounts 1996（ドイツ）

図1 主要先進国のCO₂排出量

表2 主要先進国のCO₂排出量(対日本比)

1990年	CO ₂ 排出量 (Mt)	CO ₂ /人 (t/人)	日本= 1	CO ₂ /GDP (t/MS)	日本= 1
フランス	100.0	1.8	0.7	101.5	0.7
スウェーデン	16.7	2.0	0.8	114.7	0.8
イタリア	117.0	2.0	0.8	126.7	0.9
NZ	7.0	2.1	0.8	153.4	1.1
ノルウェー	9.7	2.3	0.9	142.7	1.0
日本	320.0	2.6	1.0	146.0	1.0
イギリス	157.4	2.7	1.1	171.9	1.2
デンマーク	14.2	2.8	1.1	167.0	1.1
オランダ	45.5	3.0	1.2	190.6	1.3
ドイツ	276.8	3.5	1.3	218.3	1.5
カナダ	124.7	4.5	1.7	242.2	1.7
豪州	78.8	4.7	1.8	290.0	2.0
米国	1351.9	5.4	2.1	244.8	1.7

出典：CO₂排出量（通報値）：National Communications, UN, 1996
 GDP：IMF International Financial Statistics Yearbook 1995 及び
 人口：World Population Prospects, UN, 1995
 OECD National Accounts 1996（ドイツ）

るのですがその余地は小さく、コスト高になります。このような問題から、一人当たりのターゲット設定が有利となるわけです。

いま、仮に一律3トンにターゲットを置きますと、対策を要する国と不要な国との極端な色分けになってしまうわけです。ちなみに、先進国のいま一人当たりの平均の排出量は3.5トンですので、先進国平均の3.5トンを3トンに絞ればかなりの効果が出るのですが、その場合、対策を要する国では非常に多くのカットを課せられることになり、対立が生じているのです。

CO₂削減策に関する各国の主張

政策措置の義務化では、アメリカとEU間に深刻な対立があります。

ヨーロッパの主張は、典型的な例で炭素税導入のような政策措置ですと、一カ国が単独に実施してもリーケージ現象が当然起こり、効果が希薄化します。また、その政策を導入した国の産業競争力には大きな影響を与えることになり、そういう政策は世界共通のマנדトリー(Mandatory)、すなわち各国が同時導入を義務付けるのでなければ意味がない、というものです。

これに対しアメリカは、いかなる政策措置をとるかは、基本的には、その国が持つ資源の賦存状況、過去からの政策の積み重ねによるもので、当然各国の主権に委ねられるべきであり、自由であるべきという立場でして、両者間に大きな対立があるのです。

次にEU、アメリカ両者の提案を紹介します。

EU一本で15%カットを提案

域内には差別化含みで

EUは、この3月初めに提案を出しました。新聞にも報道されましたが、かなりの環境配慮型でして、2010年に向けてEU全体として90年の排出量を15%カットするという提案でした。同時に、相当詳細な政策措置のリストを提出しており、そのかなりの部分を各国が共通・協調して導入するマンドトリの政策にすることを主張しています。

EU提案は、「EUバブル」とも呼ばれており、義務を負う主体あるいは締約国がEU一本になっています。また、15%カットを宣言したことから、他の先進国にもすべて15%カットの実施を求める提案になっています。

これに対し、日本その他の国が反論を展開していますが、日本の主張は、当然に差別化でして、一律削減には反対です。各国がこれまで積み上げてきた省エネルギー努力を反映した公平な基準でなければならないというのが立場です。

この「EUバブル」は非常にトリッキーな提案でして、差別化という観点からみますと、EUの内部ではまさに差別化をしておるのです。ポルトガルには90年に対し40%の増加を認めている一方、ドイツが25%、イギリス、オランダが10%のカット、フランスは0%。いちばん削減幅の大きいルクセンブルは30%のカットですから、プラス・マイナス合わせて70%の間で差別化をしていることになるわけです。

EU以外の国々は、これはヨーロッパ自体が一つの差別化を容認している有力な証拠ではないかと主張をするのに対し、ヨーロッパ

は、あくまでもE U内部の政治的決定であって、何の差別化でもない」と反論しております。

この提案は非常に問題があり、条約交渉の場で、日本は「こういう行き方はまさにディスクリミネーションではないか」と指摘、アメリカは「E Uは非常に偽善的である」と断言し、激しい交渉を展開中であります。

法的拘束力、柔軟性、発展途上国の参加 を主張する米国提案

アメリカは、ベルリン・マンデート採択時まではCO₂問題にはかなり慎重論でしたが、昨年あたりから、政治的に環境重視の方向に大きく転換してきております。

アメリカ政府の中では、ゴア副大統領のチームが環境政策をリードしており、ゴアの懐刀である人間が関係省庁の主要ポストを占めております。中心になっている国務省のほか、ホワイトハウス、EPA(環境保護庁)、エネルギー省、商務省がチームをつくりPRを行っております。ゴア副大統領の立場を反映し、政治的に環境重視型の方針を打ち出さざるをえないのであります。

ただ、現状は図1で紹介しましたとおり、世界で最もエネルギー浪費の多い、無駄な使い方をしている国がアメリカでして、いまでも消費量はどんどん伸びています。2010年までの見通しで、たぶん90年比15%から20%の消費増大が見込まれ、これに伴い当然CO₂の排出量も増え、CO₂の抑制・削減の絵は描きにくいのが現状です。

しかし、政治的には環境重視のスタンスをとらざるをえず、困惑の末、1月中旬、アメリカ提案を出しました。

キーポイントは、3点から構成されたもの

です。その第一点は、議定書の数量目的は法的拘束力(リーガリー・バインディング)を持たねばならない。第二点は、条約のスキームは目的達成のための柔軟性がなければならない。第三点は、CO₂対策は、先進国のみならず、発展途上国も含めて世界のすべての主体が取り組むものでなければならない。これがアメリカの主張です。

この3点はすべて関連しており、特に「柔軟性」が重要なポイントでして、具体的な提案でその中身を説明をしております。

ベルリン・マンデートは、2005年、2010年、さらに、2020年というタイムフレームの中で「数量目的」決定を目指していますが、アメリカの提案は、一つのピンポイント、例えば2010年という1年をターゲットにすべきではなく、例えば3年から10年という期間で考えるべきだとしています。その期間の累積排出量、排出予算を各国ごとに決めようではないか。例えば、最長期では2010年から20年の10年間にある一つの国が排出を許容されるCO₂量をリーガリー・バインディングあるものにしよう、というのがアメリカの提案であります。

これをいかにして達成するのか。当然、省エネルギー努力や新エネルギー導入などの推進によるわけですが、一カ国だけではなかなか守れない。そこで、「排出権売買」なるものを取り入れよう。自分の国で守れなければ、ほかの国から排出枠を買ってくる。あるいは「共同実施」する。これは、発展途上国に省エネルギー技術の移転を行った結果、発展途上国で削減されたCO₂量の一定割合を技術供与国がカウントできることにする。さらには、一つの期間で満たせなくても、次の期間から

借りてくれる。「借り入れ」、「ボローイング」と言っていますが、例えば2010年～2020年の排出超過分を自国の2020年～2030年の排出枠から借りてくる。また、この逆に繰り越しも認めようということを提案しています。

これがアメリカの提案でして、いろいろな形で、柔軟にこの枠を設定しようではないか。それによりアメリカとして到達できる絵を何か描きたいというものです。もちろん、絶対的なレベルはまだ示しておりません。

「柔軟性」という枠組みは、「リーガリー・バインディング」と絡んでおり、排出権売買を国際的に仕組むためには各国の排出枠がリーガリーにバインディングされたものでなければ成立しえないわけです。また、将来的には排出権売買の対象国には発展途上国が非常に大きな位置を占めますので、三点目の主張は、途上国もこのスキームに入れるべきだとしています。

選択方式をベースとする日本提案

日本の主張は、アメリカ、ヨーロッパの間に行くもので、先ず一人当たりの排出量で「数量目的」を決める。ただ、アメリカ、オーストラリアのように、それでは非常に厳しくなる国には総量削減も認める選択方式をとっております。また、政策措置は、省エネ・新エネなどの分野でメニューを決めて、その中では各国の自由にしようという提案です。

結論から言いますと、各国の主張の間にはかなり隔たりがあり、これをCOP3までに議長国日本がまとめるのは並大抵のことではありません。

我が国の基本スタンス

市場原理のもと

100年スコープで持続的に

日本が、議長国として議論をまとめるには、基本的スタンスの整理が必要です。

日本提案の第1点は、CO₂問題は、単なる環境問題ではなく、エネルギー問題、経済問題でもあるとの理解の上に、NO_x、SO_x、水質汚濁とは異なる性質の問題として対策を講じる必要があるということです。

これは、狭義の意味での、いわゆる経済、エネルギー、環境の三位一体論ではなく、むしろアメリカの考え方に近いわけでした。COP3をいわゆる環境派向けのビューティ・コンテストにしないためにも、経済メカニズムあるいは市場原理のなかに対策の中身をうまく埋め込んで、持続的な対策を可能ならしめることが一つの目的です。

日本提案の第2点は、わが国の「新地球再生計画」と非常に関係あるものです。気候変動問題は、ご承知のとおり、2100年、2200年という100年単位のスコープを持った問題です。仮に、COP3の成果として2010年ターゲットのすばらしいパッケージができたとしても、100年単位で論ずべき気候変動問題の中での位置づけは、相対的に小さくならざるをえないのです。100年スコープの中で、持続的対策が講じられる、実行可能性を伴ったパッケージを追究すべきとするものです。

民生・運輸部門とも相携えて

まずは2000年目標の達成を

しかし、日本は偉そうなことを言えない状況でして、表3のようになかなか厳しい現状です。

表3 我が国のCO₂排出動向
(単位：炭素換算 t)

年 度	90	91	92	93	94	95
総排出量 (百万t)	307	313	317	311	330	332
うちエネルギー起源	287	293	296	290	309	310
一人当たり排出量 (t)	2.48	2.52	2.55	2.49	2.64	2.65
実質経済成長率	5.6	3.1	0.4	0.2	0.5	2.4

わが国は、1990年10月「地球温暖化防止行動計画」を閣議決定し、現行の条約に則して2000年のターゲットを定め、国際的にコミットしました。これは、「一人あたりのCO₂排出量を、2000年以降概ね1990年レベルに安定化を図る」ということでして、1990年の一人あたりCO₂排出量は2.48トンでありましたが、1994年、1995年とも2.6トンを超えており、このままではこのターゲットの達成は極めて困難な状況になっております。

したがって、まずこの2000年目標の達成には、「省エネ」、「新エネ」を中心とした施策の強化が、わが国の政策パッケージの主要な要素にならざるをえません。

そのため、本年4月1日の「総合エネルギー対策推進関係会議」で、2000年ターゲットに向けた政府全体としての強化施策が発表されました。例えば、産業分野では、「省エネルギー法」に基づく1%の原単位の改善目標と、また新エネルギーでは、先の国会で成立した「新エネルギー導入促進法」との両者の確実な実施が中心になろうかと思えます。

民生分野では、特に住宅対策が大きなウェ

イトを占めております。建設省では、省エネルギー型住宅の普及促進、住宅以外の建築物でも省エネ化の推進、また、エネルギー消費機器に対するラベリングのようなソフトな政策も含め、いろいろな省エネ施策を検討しております。

また、運輸省関係では、警察庁と協力して、TDM(交通需要マネジメント)、ITS(高度道路交通システム)などの交通需要マネジメント、あるいは「都市圏交通円滑化総合計画」などの施策を整備・促進しております。さらに、物流につきましても、「総合物流施策大綱」が唱える立場を押し進めており、かなり思い切った政策の展開をしております。

省エネルギー政策は、これまで産業分野を中心に、通産省・資源エネルギー庁のみが独走して施策を積み上げる形が多かったのですが、最近のエネルギー消費、あるいはCO₂排出量増大の要因は、民生、運輸部門にあり、そこに焦点を当てた政策がいま待たれるわけがあります。関係省庁が相携えての施策強化が、非常に重要と思っております。

長期の視点に立った国際協力のルールを

わが国は、ベルリン・マンデート交渉の日本提案をベースにしながら、これまでお話ししました基本的考え方に則して、温暖化防止の国際交渉をリードしてきました。長期的な性格を持つ気候変動問題は、ベルリン・マンデート問題を解決しても直ちに解決につながるものではなく、それ以外に、私どもが「ビッグ・パッケージ」と呼んでいます第3の政策課題が出てくるのであります。

「第3」と言いましたのは、1番目が、短期的に2000年に向けての施策の強化、2番目

がベルリン・マントート交渉の成功、3番目が、長期的視点に立った国際協力アクション・プログラムの形成であります。

以下、第3番目の政策課題をもう少し詳しく紹介します。

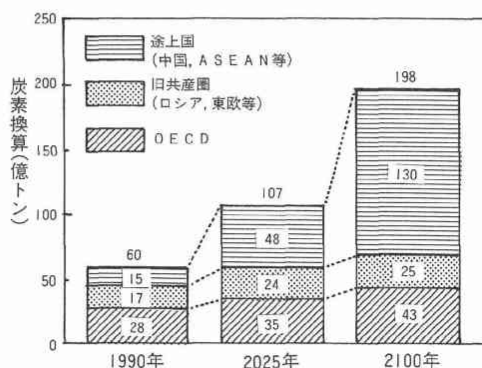
なぜこれが必要かは、発展途上国の問題があるのです。

ベルリン・マントートでは発展途上国に新たな義務化を課しませんが、表4のような人口増加が予想され、2100年になりますと、途上国のCO₂排出量のシェアは、図2にありますように、65%まで高まります。たぶん、2020年を待たずして途上国の排出量がOECD（経済協力開発機構）諸国を上回りますので、途上国が加わらない政策パッケージや条約は無意味なものになります。

表4 世界の人口（億人）

	1990年	2025年	2100年
OECD	8.4	9.4	9.0
途上国	39.8	69.7	99.0
旧共産圏	4.3	5.0	5.1
世界計	52.5	84.1	113.1

出典：IPCC第2次評価報告書（IS92aシナリオ）



出典：IPCC第2次評価報告書（IS92aシナリオ）

図2 発展途上国のCO₂排出量

さて、COP3で決まる議定書に直ちに途上国を入れる、あるいはキャッピングを行うこと——これはアメリカの主張ですが、これには、途上国に強い反対があり、ここらをどう解決するかが非常に重要な課題になります。

もう一つの長期的な問題では、EUは2010年での15%カットを華々しく打ち上げましたが、2100年以降のCO₂濃度を、産業革命時以前の濃度280ppmの2倍値550ppmで安定化させようとしたとき、人口増を考慮しますと、一人当たりのCO₂排出量は1トンを切って0.7トンぐらいに抑えざるをえません。

先ほどお話しましたように、現在、先進国の一人当たりのCO₂排出量は年間3.5トン、これを1トン以下に抑えるのは容易な業ではありません。たぶん、2010年15%カットを標榜する程度の施策の延長線上では、こうした課題に応えられる解答は出てこないと思われます。逆に言いますと、いまの技術体系を抜本的に変えない限り、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が描く地球温暖化防止のシナリオは長期的には書けないのです。これにどう応えるのか、こちらも同時に大きな課題であります。

ややヨーロッパの悪口を言いますと、たぶん、2010年を超えるとヨーロッパ全体のCO₂排出量はますます増加すると思います。それ以降の絵はかけてないのです。

短期的な対策は講じられています。例えばドイツは、東ドイツの統合以降、東ドイツのGDPは毎年低下しており、これに伴いCO₂排出も減少しています。もう一つ、ドイツ、イギリスではいま、他国に遅れたエネルギー転換——石炭から天然ガスへの転換を進めております。したがって、2010年までの短期的

な対策はヨーロッパ全体として絵がかけられるのですが、その先は描けません。それ以降の長期の話をするのは、非常に臆病にならざるをえない状況にあるのです。

気候変動問題を根本から考え対策を講じるには、こういう長期的な視野、視点が不可欠であります。したがって、日本が議長国として主催するCOP3では、当然ながら、ベルリン・マニフェスト交渉をきちっとやるとともに、気候変動問題を抜本的に解決する国際的なシナリオに合意をつくり出し、それに基づくアクションのルールを敷くのが重要な課題かと思っております。

これが3番目の政策課題でして、私どもは「国際協力アクション・プログラム」と呼んでおりますが、そのベースとなるのが、これからお話します「新地球再生計画」であります。

「新地球再生計画」

数量化された超長期の課題

図3は、「新地球再生計画」を図示したものでして、以下その意とするところをお話します。

表5は、モデルによる試算の概要を示したものです。また、この図の検討ベースとなるCO₂排出量と貯留量との関係を示すのが図4です。「ビジネス・アズ・ユージアル」といいますが、何ら追加的な施策を講じない自然体ケースでは、2100年に向けてCO₂排出量は、図4の左側図で棒グラフの頭を結ぶラインで伸びていきます。

一方、2100年のCO₂濃度を550ppmに抑えるためには、IPCCのシナリオによりますと、世界全体で図3の「CO₂正味排出量」と示す部分までCO₂排出量を削減せねばなりません。この膨大なCO₂排出量の抑制・削減を行うた

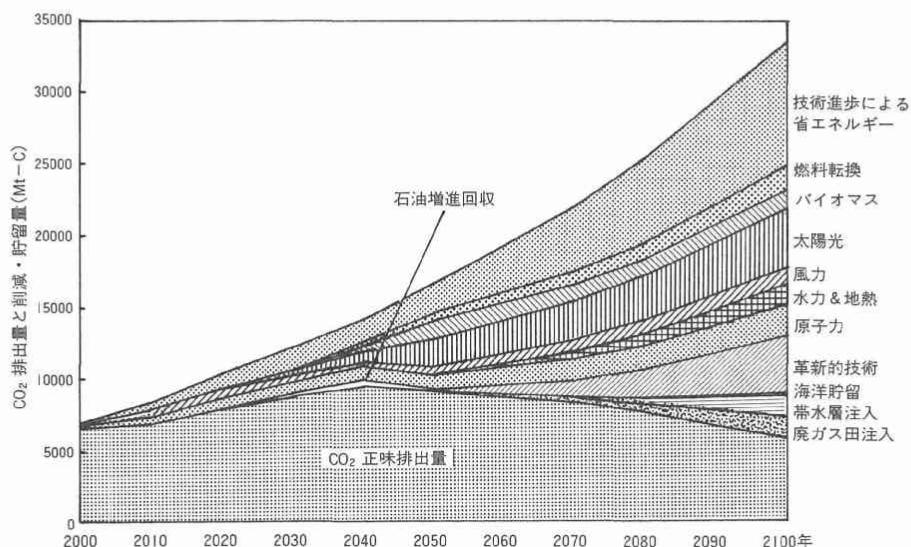


図3 「新地球再生計画」(地球再生ケース)

めには、図3右軸にありますように、世界各国で省エネルギー・新エネルギーの導入、原子力、革新的な技術開発、これに加えてCO₂の貯留、これらの対策推進が必要です。これらを実行すれば、CO₂正味排出量は、図のとおり、抑制可能となるというシナリオを示した

ものであります。

90年に通産省が創案した「地球再生計画」は、リオの地球サミットに向け日本として提案しました一つのコンセプトでしたが、それを計量モデルに落として積算し、数量的にそのコンセプトを明確化したのが「新地球再生

表5 エネルギー計量モデルによる試算の概要

(1) モデルと試算ケース
今回、試算に使用したエネルギー計量モデルは、世界のエネルギー需要に対応して供給コストが最小となるようにエネルギー需給構造を決定する動学的最適化モデルで2000年～2100年を対象として、次の3ケースで長期のエネルギー需給構造とCO₂排出量の見通しについて試算を行った。
① 自然体ケース (CO₂の排出制約のない場合) ② 技術開発・移転自然体ケース (2100年にCO₂濃度を550ppmに制約する場合) ③ 技術開発・移転進展ケース (地球再生ケース) (技術開発・移転を政策的に促進する前提で2100年にCO₂濃度を550ppmに制約する場合)
(2) 試算ケースの前提条件
① 自然体ケース ・世界経済は2.3%/年で成長、エネルギー消費のG N P原単位は1.0%/年で改善。 ・原子力発電は2050年に10億kWの設備容量を上限とし、その後は一定。 ② 技術開発・移転自然体ケース ・①と同じ条件 ③ 技術開発・移転進展ケース (地球再生ケース) ・エネルギー消費のG N P原単位は1.3%/年で改善。 ・原子力発電の上限とする設備容量は、2050年・10億kW、2075年・12億kW、2100年・15億kW。
(3) 試算結果の概要
① 自然体ケース ・一次エネルギー供給における石炭の割合が著しく増加するため、CO₂の排出総量の伸びが著しく、2100年で現状 (64億 t・C) の5倍 (334億 t・C) に増加する。 ・このため、地球の温暖化が進む。 ② 技術開発・移転自然体ケース ・大気中のCO₂濃度は550ppmに抑制されるものの、技術開発が進まないため対策技術のコストが下がらず、エネルギー供給コストが大幅に上昇し、エネルギー需要が減退 (自然体ケースに比べ4割強の減) する。 ・CO₂排出量の削減はCO₂の回収・貯留に相当程度 (削減量の3割) を依存する。 ③ 技術開発・移転進展ケース (地球再生ケース) ・一次エネルギー供給におけるクリーンエネルギー (便宜上、化石燃料以外のエネルギーとする) の割合が増加、21世紀後半には革新的技術の開発・導入が進む。 ・エネルギーコストの上昇は緩慢で、①のケースとほぼ同じ。 ・CO₂の排出量の削減は省エネルギー (3割)、クリーンエネルギー (3割)、革新的エネルギー (2割)、CO₂の回収・貯留 (1割弱) と分担。

計画」であります。

具体的には、表5の最下段にありますように、革新的な省エネルギーを含めて省エネ技術の開発・導入、クリーン・エネルギーのコスト低減を目指した研究開発、革新的なエネルギー技術の開発、さらにCO₂の生物的、化学的な固定を含めた革新的な環境技術の研究開発の促進、等々の施策を実施し、これを途上国を含めて世界的な普及を図るのが課題になるわけです。

コンセンサスを形成して 国際協力の速やかな展開を

難航が予測されるこの課題を、直ちに実施に移そうというのが「国際協力プログラム」の中身であります。

ことは地球環境の年であり、COP3に向け国際的に議論する場がいくつか設定されております。6月末には、アメリカが議長国となってデンバーでのG8サミットが行なわ

れ、その直後、23日から27日までの間ニューヨークで国連環境特別総会（UNGASS）が開催され、92年のリオの地球サミット以降5年のレビューが行われました。「アジェンダ21」を初めとして、現在の地球問題全体について幅広く進捗状況を整理し、今後の重点課題のセットを目指したもので、極めて重要な会議でありました。サミットのコミュニケでは、G8が「2010年までに温室効果ガスの削減をもたらすような、意味のある、現実的で衡平（equivalent）な目標」にコミットする意思を確認し、また国連環境特別総会においても類似のメッセージが出されました。

エネルギー全体の会議では、先づ、5月中下旬のIAEA（国際原子力機関）定例閣僚理事会、それからOECD閣僚理事会が開催されました。APEC（アジア・太平洋経済協力）では、カナダが議長国のバンクーバー首脳会議に向け、APEC環境大臣会合、あるいはエネルギー大臣会合が6月、8月と行

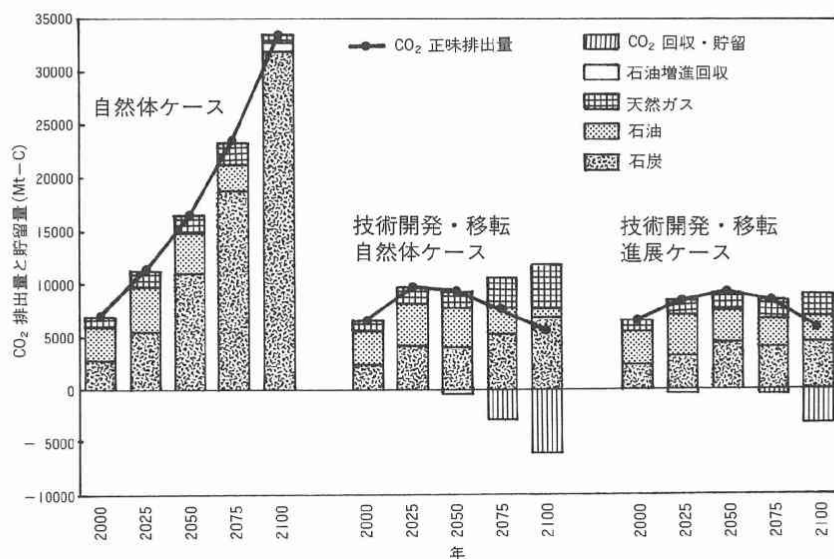


図4 CO₂排出量と貯留量（世界）

われます。

これらの機会を利用して、国際的シナリオの一つである「新地球再生計画」を提示して、いち早く100年単位の超長期の問題として、世界的なコンセンサスとベースの形成が必要と思っています。そのうえで、二つの面から国際協力の推進を直ちに展開しようというのが日本の提案になろうと思います。

一つが先進国間の協力として、省エネ、新エネおよび植林の世界的な推進、さらに革新的な技術開発で、メニューはいくつかあります。

省エネについては、現在、通産省が予算措置を講じており、一例として高性能工業炉があります。この開発普及に成功しますと、うまくいけば5%の省エネが可能になるもので、こういうプロジェクトを国際協力のなかで推進したいと考えています。また、コンピュータ関連機器に付けられている「エナジー・スター・マーク」のような、国際的なエネルギー効率基準の設定。いま日米で実施中ですが、ヨーロッパへの拡大、さらに世界的スタンダードまで拡張するアプローチもあろうかと思っています。

新エネルギーの分野では、例えば太陽光発電。日本国内でも補助予算を付けて、住宅設置の普及拡大を進めておりますが、途上国での利用を考えますと、そのウェイトはかなり高くなります。低コスト化を進め、東南アジア市場に向け大々的な普及を行うには、大きな関心を持っているドイツあたりと日独連携の形で市場拡大を図るアプローチもあろうかと思っています。

さらに、革新的な技術開発。これは、議論の余地もかなりあり、夢に近いところもありますが、例えば、CO₂の固定に加えて海洋貯留と

いうプロジェクトがあります。日、米、ノルウェーで、今年から、国際的なフレームワークのもとで推進しようという動きが出ています。

ま と め

C O P 3 —

持続的対策の出発点に

最後に日本の主張をまとめますと、大事なポイントの第1点は、「新地球再生計画」はベルリン・マンドート交渉に対する日本としての「ディレイング・タクティクス (Delaying Tactics, 交渉を遅らせるための戦術)」ではないことです。

対策には、実用化の見込が2030年とか、2050年とか、かなり足の長いものもありますが、省エネ、新エネのようなプロジェクトには、合意できれば直ちに実施可能なものも含まれており、それらをこの「新地球再生計画」に基づく国際的な協調アクションとして推進するのが重要と思っております。

第2の点は、いずれの対策も、通産省が目指しております「環境と経済の統合」に則して、「持続的」に考えていく必要があることです。

92年は、今年と同じく地球環境の年でありましたが、その状況を考えますと、1年だけのいわば線香花火に終わった感も否めません。地球環境問題の重要性、さらにその持続的な取り組みの重要性を考えますと、世界の政治家の、単に1年限りのパフォーマンスの舞台に止めるのは途轍もない話でありまして、今年のC O P 3は持続的な対策の一つの出発点になすべきと考えます。

そのためには、こうした対策が市場メカニ

ズムの中に根づいたものであり、さらには、環境政策を実現する多くのプロジェクトが世界各国の環境ビジネスとリンクするようなアクションにしていく必要があり、そのメカニズムの形成が極めて重要な課題になってまいります。

そういう意味で、COP3に向けた今年のもろもろの国際会議は、気候変動問題解決へ向けての重要な道程であり、試金石になると思っています。

雑駁な説明でしたが、以上で私の話を終わります。(拍手)

○質問

先の「総合エネルギー調査会」の報告には2030年に向けての4つのシナリオがあり、その一つのケースで2030年にはじめて1990年レベルのCO₂排出量まで抑制可能というシナリオでした。その総合エネ調の成果と、今回のこの「新地球再生計画」のモデルとの整合性また

は関係についてお聞かせいただけますか。

○松永

全然違うモデルですので、当然ながら整合性はありません。基本的に、「総合エネ調」でのシミュレーションは日本についてのシミュレーションであり、この「新地球再生計画」はまさに世界モデルですので、日本はこの中の一部という関係になります。

日本のCO₂の排出量は、世界全体の5%ですので、この「地球再生ケース」のモデルの中では非常にウェイトの小さいものになります。

図2にありますように、2100年に向けて、2030年以降のCO₂排出をいかに抑えるかというのは、途上国対策がかなり大きなウェイトを占めています。こういう関係だと思います。

○質問

「新地球再生計画」自体の構成概要をもう少しご紹介いただけませんか。

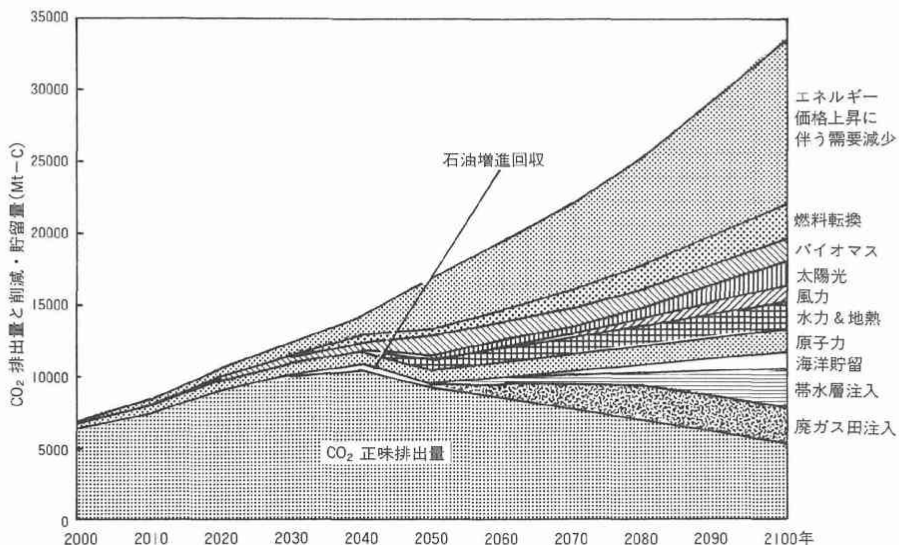


図5 技術開発・移転の自然体ケース

○松永

モデルによる試算の概要は表4のとおりです。モデルに重要な前提条件は、基本的には、IPCCのモデルを踏襲する形になっております。特に、この世界経済の成長率の前提とか、あるいはエネルギー消費のGNP原単位などにはそういうものを入れております。

全体の構造は、「何もしない自然体ケース」「技術開発が自然体で進むケース」さらに「その上に政策措置により技術開発を進展させるケース」とで、三段階において試算をした形になっております。

図5は、「技術開発・移転の自然体ケース」

を示しますが、こういう推移になりますと、図の右側に示すCO₂排出量削減項目のうち、エネルギー価格の上昇により経済全体がシェリングして需要減少に陥るような、いわば経済衰退の状態に陥ります。そういう事態を防止するため、技術開発を政策的に促進して解決する方向でできたのが図3の「地球再生ケース」であります。

ただ、そのなかで、「革新的技術」の開発は、モデルの前提条件の設定が難しく、図3にもありますように、2050年から導入され、2075年で1割、2100年で2割の抑制を見込んだ形でつくったものであります。



ISO における LCA 規格化の最新動向

赤 井 誠 (工業技術院 機械技術研究所 研究調査官)



1. はじめに

近年、人間活動に伴う環境負荷の低減の必要性に対する認識が高まり、世界的にも、また我が国の「環境基本法」においても環境負荷の少ない持続可能な社会の構築が目指され、そのための事業者の責務が規定されている。このような状況の下、個々の事業者や業界団体においても、製品のライフサイクル全体を考えた際の環境への負荷・影響を低減するための対策が採られつつあり、他方、消費者側でも環境負荷の小さい製品を志向する動きが広まりつつある。このような、製品の提供等に伴う環境への負荷を、関連するライフサイクル—いわゆる「揺り籠から墓場まで」—を対象として定量的に分析・評価するための有効なツールのひとつとして、特に近年研究が盛んになっているのがライフサイクルアセスメント (LCA) と呼ばれる手法である。

本稿では、このような背景の下に活動が行われている国際標準化機構 (ISO) において、環境管理規格—いわゆる ISO 14000 シリーズ—の枠組みの中で作業が進められている LCA の規格化について、1997年4月に行われた京都会議までの進捗状況を紹介する。

2. 環境管理規格制定に至る背景

1992年にリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議 (UNCED) を受けて、産業界からの対応機関として「持続可能な開発のための経済人会議 (BCSD: The Business Council for Sustainable Development)」が組織され、その中での検討において、環境パフォーマンス、製品・サービスのライフサイクル分析等についての国際規格化が重要との結論が出され、ISO への検討依頼がなされた。

ISO では、国際電気標準会議 (IEC) と共同で事前検討のための「環境に係る戦略的顧問委員会 (SAGE: Strategic Advisory Group on Environment)」を同7月に組織し、ここでの検討結果を踏まえて、1992年9月のISO理事会において、環境管理のツール及びシステムの分野での規格化を行うための新技術委員会 (TC 207) が設置され、ISO 14000 シリーズとして知られる国際規格の作成作業がスタートした。

この TC 207 の制定は、環境問題への対応を目的とする一方で、英国、欧州共同体、或いはカナダなどの環境管理規格や多くの国々におけるいわゆる「エコラベル」など、国・地域毎に種々の環境関連規格が成立することによる産業界の対応の困難さが予想されるよう

になってきたこと、また他方では、それまでの ISO 規格とは観点の異なった、システム規格ともいうべき、品質に係る ISO 9000 シリーズが制定後に急速に普及するという成功を見せたことを背景としていると認識すべきであろう。

この TC 207 の第 1 回会合は、1993 年 6 月にトロントにおいて開催され、表 1 に示すような、個別項目についての検討を行う 6 つの小委員会 (SC) とその幹事国が決定され、LCA はドイツを委員長とする SC 5 で取り扱うことと決定された。但し、ここでは、排出物の測定法、排出基準の設定、環境活動 (perfor-

mance) のレベルの設定、製品の規格化は行わないこととなっている。これらの規格はその性格によって特徴付けると図 1 に示す様になる。

この TC の会合を受けて各 SC が作業に入り、LCA の規格化を行う SC 5 の第 1 回会合は 1993 年 11 月にパリで開催された。

一方、我が国では、1993 年 6 月、TC 207 全体を対象とした環境管理規格審議委員会が設置され、その下に、環境管理システム、環境監査、用語と定義を取り扱う第 1 分科会と、環境ラベル、環境パフォーマンス評価、ライフサイクルアセスメントを取り扱う第 2 分科会、及びそれらの下に個別の小委員会が設けられ、ISO の場での作業報告と対応方針に関する検討作業が続けられている。

表 1 ISO/TC 207 「環境管理規格」の小委員会構成

目的：環境管理のツール及びシステムの分野での規格化	
小委員会	内 容
SC 1	環境管理システム (EMS)
SC 2	環境監査 (EA)
SC 3	環境ラベル (EL)
SC 4	環境パフォーマンス評価 (EPE)
SC 5	ライフサイクルアセスメント (LCA)
SC 6	用語と定義

3. ライフサイクルアセスメントとは

LCA は、図 2 に示す様に、製品やサービスの提供に必要な資源とエネルギーの消費及び結果としての各種環境負荷を、〔天然資源の採取→製品の製造→流通→使用→リサイクル・廃棄〕といった関連ライフサイクルを対象に分析・評価するための手法であり、主たる適

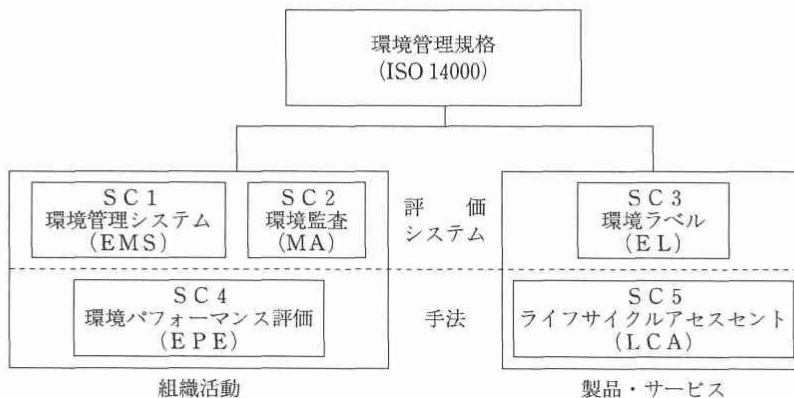


図 1 環境管理規格の体系

用分野としては以下の様な事柄が挙げられる：

- 製品設計や製造プロセスの改善に係る意思決定の支援
- マーケティング（「環境にやさしい」といった主張の根拠）
- エコラベル等の環境基準の達成度の評価指標
- リサイクルや処理・廃棄プロセスなどの社会システムの評価
- 消費者への客観的情報提供

LCA は、ライフサイクルを通しての製品の環境への影響、及び製品に加えられた変更点がそれらの影響をどの様に変化させることができるかについて包括的かつ多面的な情報を提示し得る手法であると言える。この分野で

先行している SETAC（環境毒物・化学品協会）では、LCA を表 2 に示す様なステップ（フェイズと呼ぶ）により構成されるものと規定している。

ISO における規格制定作業の場などを見ても、LCA の分野では上記の SETAC における活動などを通じて、欧米が先行しており、我が国は、エネルギー・システムの分析といった特定の分野を除いては LCA の研究は緒に就いたばかりである。特に欧州では LCA の実施サービスを業務範囲に加えた、いわゆる環境コンサルタント企業などが急成長しており、またこの種の企業や大学・研究所等から LCA 用のデータベースや分析ソフトウェアも数多く提供されている。また、一部には、企業や政府の調達活動において、環境インパ

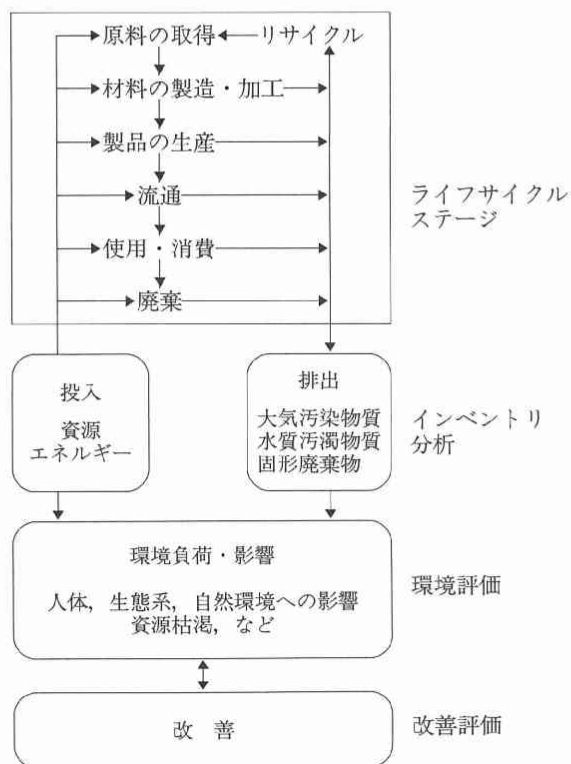


図 2 LCA の概念

表 2 LCA を構成するフェイズ (SETAC の定義に基づく)

フェイズ	内 容
目的および調査範囲の設定	LCA の実施に先立って、目的、用途、実施主体、公表先、データに対する要件、分析過程や結果の検証方法等といった目標と、対象となるシステムの機能、システム境界、影響評価の方法等といった課題 (分析範囲) を設定する。
インベントリ分析	定義されたシステム境界に含まれる各々の段階に沿って、インプット及びアウトプットとなる総ての原材料、エネルギー、生産物、排出物、最終廃棄物等の量を定量的に分析する。(LCI と呼ばれる)
影響評価	インベントリ分析から得られたデータを人体・生態系及び地球環境等への影響として定量的に評価する。次の様な要素から成るとするのが一般的な考え方である： 分類化：インベントリ分析から得られた負荷データを、環境影響のカテゴリー（例えば、酸性雨、オゾン層破壊、水質汚濁等）毎に分類する。 特定化：各カテゴリー毎に分類された負荷（排出物量など）による影響を分析する。一般的には各負荷の加重和を計算する方法が採られる。 数値化：特性評価の結果得られた各カテゴリー毎の影響度をさらにひとつの数値として統合化する。 これらの評価に係る環境影響項目として挙げられているのは、化石燃料・生物・鉱物等の枯渇資源消費、酸性雨、オゾン層破壊、地球温暖化等の地球環境影響、エネルギー消費、水資源消費、大気汚染、水質汚濁、廃棄物等の地域環境影響、及び人間の健康への影響など。
改善評価	上記の一連のフェイズの結果に基づき、トータルで環境負荷を低減するための製品やプロセスの改善点を検討・評価する。

クトを LCA により評価した結果の提示を義務づける、いわゆる「グリーン調達」制度の検討なども進められている。

4. LCAの規格化の進捗状況

1993年6月のトロントでの第1回 TC 207 総会の後、SC 5 の第1回会合は1993年11月4、5日にパリで開催された。この両会合を経て、SC 5 の下で実際の規格案作りを行うワーキング・グループ (WG) の構成、及びその作業内容が表 3 の様に決定された。この構成は、

上記の SETAC による LCA の枠組みを反映して決められたものである。

TC 207/SC 5 の作業は、次の様な優先順位を設定して開始された。

- 1) LCA の一般原則と手順に係る規格の制定 (WG 1の作業への協力)
- 2) 原則、インベントリ分析、影響評価、改善評価といった個々の項目に関する規格の制定 (各ワーキング・グループでの個別作業)

我が国では、表 3 に示した各ワーキング・

グループに対して、産業界・大学・国立研の専門家を中心としたメンバーをエキスパート登録すると共に、環境管理規格審議委員会の下のLCA小委員会において、国内委員会で

の論議に基づいた我が国の意向を十分に反映させるべく対処方針の検討がなされている。

LCAの規格作成作業は、表4に示す様な日程での会合及びその間のFAX等による文書

表3 ISO TC207/SC5のワーキング・グループ構成

タイトル	ライフサイクル評価 (Life Cycle Assessment)		
作業範囲	製品等に関する環境管理のツールとしてのLCA分野の規格化を実施する。これには、原料の調達から廃棄物の最終的廃棄までの環境への影響の評価を含む。		
WG (議長)	内 容	当 面 の 作 業 項 目	作成する規格
WG 1 (米国)	一般原則及び手続き	LCAの実施から報告に至る活動全般に関する原理・手順の規定	ISO 14040
WG 2 (ドイツ)	インベントリー解析・一般	インベントリー分析に関する方法論の検討。このWG 2 & 3は当面共同で活動を実施する。またフレームワーク、個別規則の検討については、プロジェクト・グループを組織して実質的な活動を行う。	ISO 14041
WG 3 (日本)	インベントリー解析・特定		
WG 4 (スウェーデン)	影響評価	製品やプロセスの環境影響評価に関する方法論の検討。	ISO 14042
WG 5 (フランス)	改善評価	製品等が及ぼす環境への負荷・影響を最小化する方法を特定・評価・報告するための指針の検討。	ISO 14043

注：一部ドキュメントのタイトル及び作業範囲は後に変更されている。

表4 TC207/SC5の会合一覧

年 月	場 所	TC 207	SC 5	ワーキング・グループ
1993-11	パリ (フランス)		○	WG 1~5
1994-03	フィラデルフィア (米国)			WG 1, WG 2 & 3-PG, WH 1+WG 2 & 3 WG 5
1994-05	ブリスベン (オーストラリア)	○		WH 1~4, WG 1 + WG 4
1994-09	ニース (フランス)		○	WG 1~5
1994-10	東京 (日本)			WG 2 & 3
1995-02	ベルリン (ドイツ)		○	WG 1~5
1995-06	オスロ (ノルウェー)	○		WG 1~5
1995-11	バンクーバ (カナダ)		○	WG 1~5
1996-03	リオデジャネイロ (ブラジル)		○	WG 1~5
1996-06	フランクフルト (ドイツ)			WG 2 & 3
1996-12	マイアミ (米国)			WG 1~5
1997-04	京都 (日本)	○	○	WGs
1997-12	マドリッド (スペイン)		○	WGs

交換により行われている。また、文書の推敲に重点を置いた小グループでのミーティングも随時開催されている。

以下、各WGにおける作業の進捗状況を述べる。なお、参考までにISOにおける国際規格の制定に至る手続きの概要を表5に示すが、この手続きはあくまで標準的なものであり、一部、例外的な手続きも採られることもある。

表5 国際規格の制定まで

- | |
|---|
| 1) TC (技術委員会) の設立 |
| 2) 作業計画の策定およびSC (小委員会) とWG (ワーキング・グループ) の結成 |
| 3) WD (ワーキング・ドラフト) の作成と審議; WG |
| 4) WD→CD (委員会ドラフト); SC |
| 5) CDへのナショナル・コメントの要求・修正 |
| 6) CD→(3ヶ月投票)→DIS (国際規格ドラフト) |
| 7) DIS→(5ヶ月投票)→FDIS (国際規格最終ドラフト) |
| 8) FDIS→(2ヶ月投票)→国際規格 |

4.1 WG1—一般原則及びフレームワーク (Principles and framework)

本WGは、LCAを構成する各フェイズの概要と実施に伴う種々の手順をISO 14040として文書化することを目的とし、実質的な作業は1994年3月のフィラデルフィア会合から開始され、関連する各ワーキング・グループの協力を得て内容の検討と文書化作業が進められて来た。

WG1における討議過程で特に論点となったのは、特に製品間の比較主張(判り易く言えば比較広告)を目的とした外部へのLCA結果の公表と関連した、LCAの審査(Critical review)手続きに関するもので、この様な項目を規格に盛り込むこと自体についても疑問

が提示されるなど、産業界や所謂環境コンサルタントの利害などの思惑が複雑にからみあった議論が続けられてきた。

この問題について、一応の合意が得られたのは1994年9月のニース会議においてであり、我が国からの代表を含めた検討アドホック・グループからの提案を元に、このレビューの問題を中心にLCAの規格化の基本的考え方を示したいいわゆる「ニース合意(Nice Accord)」が提示され、その後の作業の基本的方針として受け入れられることになった。このニース合意の内容には、産業界からの意見がかなり取入れられ、レビューについては、基本的には自己レビューを含むオプショナルなものとし、公表を目的として、競合する製品間の比較評価を行う場合に限り、公平な立場にある第三者及び利害関係者(競合する相手を含む)から構成されるパネルによるレビューを行うと規定したかなり限定的なものとされるなど、全般的に概念的なドキュメント→WD(ワーキング・ドラフト)14040が作成され、SC5委員会での議論を通じて若干の語句の修正が加えられた後、コメントを求めるためのCD(委員会ドラフト)とするコンセンサスが得られた。このCD14040は参加各国に配布され、1994年末を締切としてナショナル・コメントが求められ、その結果を踏まえてさらに次のベルリン会議で検討が加えられることになった。

ベルリン会議での審議を経て作成されたCD14040.2は、DIS(国際規格ドラフト)への昇格を目指した国際投票にかけられたが、我が国を始めとする反対投票によりDIS化は否決された。その後のオスロ、バンクーバーでの審議の結果、タイトルも、その位置付け

や内容などを考慮して「一般原則およびフレームワーク」と改訂して作成されたCD 14040.3に対し寄せられた280項目に上るコメントについて1996年3月のリオ会議において審議が行われ、改訂版ドラフト(SC 5-N77)が作成され、コンセンサス・ベースでDIS化が承認された。

このISO/DIS14040は、その後、FDIS(国際規格最終ドラフト)への昇格を目指した国

際投票にかけられ、1996年末、90%以上の賛成を得てFDIS 14040が成立した。このFDISに対しては、マイアミ会議での指摘を踏まえて若干の修正が加えられた後、国際規格化の承認を求める2ヶ月投票が実施され(投票期日は1997年5月13日)、LCAに関する最初の国際規格が成立した。

一方、国内では、本文書がLCAに係る最初の国際規格となることを見越して、JIS化作業が進められており、早ければ1997年秋までに発行される予定である。

表 6 LCA国際規格14040最終ドラフトの構成

環境管理規格/ライフサイクルアセスメント/一般原則及び枠組み
序 文
1 適用範囲
2 引用規格
3 定義
4 LCAの一般的記述
4.1 LCAの主要な特徴
4.2 LCAの構成段階
5 手法の枠組み
5.1 目的と調査範囲の設定
5.1.1 調査の目的
5.1.2 調査範囲
5.1.2.1 機能及び機能単位
5.1.2.2 システム境界
5.1.2.3 データ品質要件
5.1.2.4 システム間の比較
5.1.2.5 クリティカル・レビュー
5.2 ライフサイクル・インベントリ分析
5.2.1 ライフサイクル・インベントリの一般的記述
5.2.2 データ収集と計算手順
5.3 ライフサイクル影響評価
5.4 ライフサイクル解釈
6 報告書作成
7 クリティカル・レビュー
7.1 クリティカル・レビューの一般的記述
7.2 クリティカル・レビューの必要性
7.3 クリティカル・レビューの過程
7.3.1 内部専門家レビュー
7.3.2 外部専門家レビュー
7.3.3 利害関係者によるレビュー

表 6 に、FDIS 14040の目次を示すが、本規格案のポイントをまとめると以下ようになる。

(1) 全般的事項(主に「序文」及び4.1節)

LCAを、環境側面と潜在的な環境影響を評価するためのツールと位置付け、(製品改善などの)応用は規格の範囲外であるとする(5.4節)と共に、「手法は発展途上にある(特に影響評価(5.3節))」、「環境管理手法のひとつに過ぎない」、「全ての状況において最適な手法とは限らない」といった限界を認識している。特に、「LCAの結果をひとつの数値で表現する」といった手法には科学的根拠は全くない」とし、影響評価における安易な数値化(Valuation)には歯止めがかけられている(5.3節)。また、対象とする適用範囲や詳細さは、LCAスタディの目的設定に依存し、分析プロセスは反復的であることが明記されている。一方、LCAの実施上の注意事項として、透明性の確保を唱える一方で、企業機密の保護には注意を払うべきであり、さらに、規格化作業での最大の論点であった「第三者公表を目的とした比較評価」を実施する際には特別な要件が課せられることが明記されている。

(2) LCAのフェイズ (4.2 節)

従来、影響評価はオプションなフェイズとされていたが、最終的には必須の要素となり、「目的及び調査範囲の設定 (Goal and scope definition)」、「ライフサイクル・インベントリ分析 (Life cycle inventory analysis)」、「ライフサイクル影響評価 (Life cycle impact assessment)」、「ライフサイクル解釈 (Life cycle interpretation)」の4つのフェイズから構成されるもののみをLCAと規定している。また、これに伴って、4つの内影響評価を省略したものは、ライフサイクル・インベントリ (LCI) スタディと呼ぶものとしている (但し、要件は本規格に従う)。ISO 14040に規定されたLCAの構成を図3に示す。

(3) 比較評価 (5.1.2.4 節)

当初から下記のレビューの問題と併せて議論の対象となって来た項目であるが、本DISでは、比較評価は等価なシステムに対してのみ行えとし、また第三者公表を目的としたLCAにおいては、影響評価を実施することと、最も厳格なレビューを受けることを義務づけている。

(4) テクニカル・レビュー (5.1.2.5 節, 7 章)

この様な項目を規格に盛り込むこと自体についても疑問が提示される等、激しい議論が続けられてきたが、産業界からの意見も取入れられ、基本的には自己レビューを含むオプションなものとし、第三者公表を目的として、競合する製品間の比較評価を行う場合に限り、公平な立場にある外部の専門家及び利害関係者を含むパネルによるレビューを行うと規定した限定的なものとなっている。

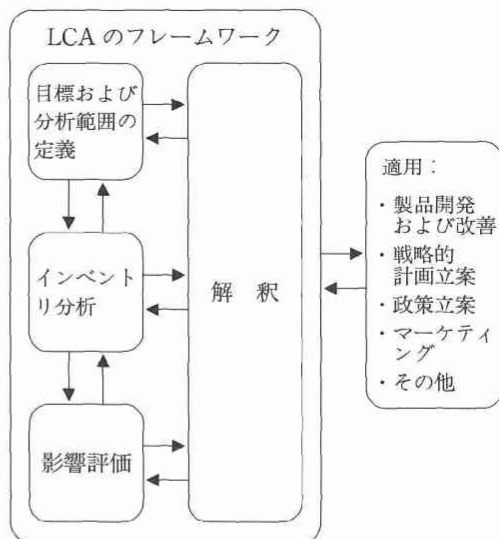


図3 ISO14040におけるLCAの枠組み

(5) 結果のレポーティング (6 章)

ここでは、LCA スタディの結果を公正かつ正確に透明性を保って報告することが求められており、その内容は分析範囲の設定時に決定することとされている。一方、第三者へのレポートについては、報告すべき項目が規定されており、さらに第三者公表を目的とした比較評価を行う場合には、より厳しい要件が追加されている。

4.2 WG2—目的と調査範囲の設定、及びインベントリ解析—一般 (Goal and scope definition and life cycle inventory analysis - general)

本WGは、LCAを構成する「インベントリ分析」の手順をISO規格14041として文書化することを目的としてスタートしたが、関連性が密接なことから、「目的及び調査範囲の設定」のフェイズの規格化をも行うこととなった。また、LCIについては、WG2 (一般) とWG3 (特定) という2つのワーキング・グル

ープが作られているが、14041の完成を優先した作業を共同で行ってきている。

本ドキュメントは技術的な内容のものであり、また LCI の概念自体も他のフェイズと比較して比較的確立しているため、WG 1 で見られるような種々の思惑が絡み合った議論は比較的少ないが、未だに「function, functional unit, reference flow」といった基本的用語に関するエキスパート間の理解の相違があったり、「リサイクルの取り扱いを含めたエネルギーや資材の配分手法」といったポイントについては会議の度ごとに同様な議論が繰り返されるといった状況が見られる。これらの点についても、適切な付録を添付する方法で徐々に解決が図られて来た。

最初の CD 14041はオスロで成立し、その後、リオとフランクフルトの会合において、寄せられたコメントを反映させる作業を行い、改訂版ドラフトを作成し、その取り扱いについて協議した結果、コメントと DIS 昇格への承認を求める投票を行うことが了承された。この投票期間は10月25日までとされ、70% 強の賛成を得て、DIS 14041が成立した。現在、FDIS への昇格のための DIS の修正作業が行われており、国際投票は1997年6月12日から開始された。

4.3 WG 3—目的と調査範囲の設定、及びイベントリ解析—特定

(Goal and scope definition and life cycle inventory analysis-specific)

このワーキング・グループは、TC 207全体を通じて我が国が議長を務める唯一の作業部会であるが、設立当初には具体的な作業計画がなく、WG 2 との共同作業が2年以上続け

られてきていた。14041の作成の目途がついてきたことを踏まえ、1995年12月、バンクーバー会議において、ISO 14041 (一般) をより具体的にするために LCA (LCI) のケース・スタディ或いは事例を盛り込んだドキュメントを作成するという WG 3 の活動方針案が提唱され、その後のリオでの議論を経て SC 5 において承認された。フランクフルト会議では、具体的活動方針案について審議が行われ、WG 3 文書で取り扱うべき LCA (LCI) 実行上の課題が選定され、各項目に関して具体的な例を記述した文書作成を行うことになった。当面の検討対象として以下の6項目が挙げられ、各国のエキスパートが分担執筆し、マイアミ会議へ持ち寄って審議することになった。

- LCA 調査の目的に沿った機能単位 (functional unit) の定義法とリファレンス・フロー (reference flow) を用いたデータの規格化手法

- システムを比較する際の機能の定義法

- 負荷配分とリサイクル

- 単位プロセスの境界とそれを通じての入出力の規定方法

- データ品質の評価手法

- 感度解析の手法

1996年12月にマイアミで開催された WG 3 では、持ち寄られた事例については執筆者が簡単な説明を加えた以外は技術的な審議は行われず、WG 3 が作成すべきドキュメントの性格に関する議論が繰り返され、テクニカル・レポート (TR) の作成を示唆する意見が多く見られた。この結果を受けて議長は、テクニカル・レポートの作成を目標とする新しい作業計画を SC 5 の事務局へ提出し、1997

年4月の京都会議ではSC5総会において米国、カナダ、スイスなどからの強い支援を得て計画が承認された。

国内では、これと並行してマイアミでエキスパートから出された事例に基づいて筆者を含めたタスク・チームによりテクニカル・レポートのイニシャル・ドラフトが作成され、海外のキー・メンバーとの討議を経て改訂し、

京都会議において審議が行われた。

京都会議での審議に基づいて改訂されたドラフトは、会議終了後直ちに各国へ配布され、今後各国からのコメントを受けてさらに改訂作業を行い、1998年半ばのテクニカル・レポートの発行を目指して12月のマドリッド会議以降、審議が続けられる予定である。

DIS 14041の目次と、京都会議において修

表7 国際規格14041ドラフトの目次とテクニカル・レポート中の事例

国際規格14041ドラフト (WG2 N112)	テクニカル・レポート中の事例
0. 序文	
1. 適用範囲	
2. 引用規格	
3. 定義	
4. 技術的概論	
4.1 製造システム	
4.2 単位プロセス	
4.3 データのカテゴリ	
4.4 製造システムのモデル化	
5. 目的と調査範囲の設定	
5.1 調査目的	
5.2 調査範囲	
5.2.1 機能、機能単位、リファレンス・フロー	3 機能の開発、機能単位、リファレンス・フロー 4 システムを比較する際の機能の定義
5.2.2 システム境界の定義	
5.2.3 データのカテゴリ	
5.2.4 入出力範囲の基準	5 単位プロセスの境界とそれを通じての入出力の規定方法
5.2.5 データ品質要件	9 データ品質の評価方法
5.2.6 クリティカル・レビュー	
6. インベントリ分析	
6.1 データ収集の準備	
6.2 データ収集	
6.3 算定手順	
6.3.1 データの検証	
6.3.2 データと単位プロセスとの関連	
6.3.3 データと機能単位及びデータの取扱い方との関連	3 機能の開発、機能単位、リファレンス・フロー
6.3.4 システム境界の見直し	10 感度解析の実行
6.4 負荷配分	
6.4.1 負荷配分の原則	
6.4.2 負荷配分の手順	6 負荷配分の回避 7 負荷配分の適用
6.4.3 リサイクルの負荷配分の手順	8 リサイクルの負荷配分の適用
7. LCIの限界 (LCI結果の解釈)	
8. 報告	
補足資料	
A データ収集シートの例	
B 種々の配分手順の例	

正されたテクニカル・レポートの目次とのクロス・レファレンスを表7に示す。

4.4 WG4—ライフサイクル影響評価

(Life cycle impact assessment)

本WGは、LCAを構成する「影響評価」の手順をISO規格14042として文書化することを目的としてスタートしたが、これについては、「手法は未完成で発展途上にある」といったISO14040の記述からも分かる様に、合意された方法論がない状態であるところに規格化の困難さがある。

実質的な作業は、他のWGから若干遅れて1994年5月のゴールドコースト会合から始まり、当初はやはりWG1向けのフレームワーク文書の作成を主とした作業が行われてきた。内容については、影響評価を、表2に示した分類化、特定化、数値化の3段階に分けて検討するという合意の下に作業が開始された。

これらの内、特定化については、明確な科学的根拠が必要であるが困難であること、また、数値化については、評価主体者の属する国・地域の政治的・社会的背景による価値観の違いなどにより、「重み」は、多様な値を取り、規格化は極めて困難であろうとの指摘がなされている。総ての影響をまとめてひとつの数値にまとめるといった極端な数値化(Valuation)法には異論が多く、「Valuation」という要素は、「Weighting」という用語に変更され、京都会議では、科学的根拠がないという理由で、影響評価の要件からは除外され、オプション的な要素とすることになった。

また、比較主張を行う場合には、ISO14040において影響評価が義務づけられていたが、

科学的合意の得られていないカテゴリのインパクト項目を用いる場合は、審査パネルの判断にゆだねるとする方向で合意が形成されつつある。

WG4では既存の文献のレビューなどを踏まえたこの様な議論を経て、1997年1月になって最初のCDが発行され、これに寄せられたコメントに対する京都会議での審議を通じて改訂CDが発行され、1998年秋の規格化を目指した作業が行われる予定である。

4.5 WG5—ライフサイクル解釈

(Life cycle interpretation)

WG5は、「改善評価」のフェイズの規格化を目指してスタートしたが、当初からLCAの一部として考えるべきか否かといった本質論が論じられてきた。すなわち、この項目の規定に反対する側の意見は、「環境への影響が規定されれば、その低減のための対応には多様性があり規格として限定することは疑問である」というものであり、一方賛成側は、「そもそもLCAの目的が環境改善にあり、改善に対する一律的な規定が必要である」とするものであった。このため、具体的ドキュメント作成作業は、1995年6月のオスロ会議で、タイトルを「解釈(Interpretation)」とし、LCIや影響評価の結果を意思決定に結び付けるための方法論を規定することが合意され、「改善評価(Improvement Assessment)」がISOのLCAのフェイズから完全に消滅した時点になって始めてスタートした。

本WGに対しては、当初、我が国からはエキスパート登録が行われておらず、他のワーキング・グループの合間にボランティアに対応して来たが、日本の参加が強く要請される

様になり、1995年11月のバンクーバー会議から正式に参加した。

本WGでは、議長の方針もあり、事例に基づいた作業が行われ、LCAの実施例と其中での解釈の考え方や位置付けなどについて各国からプレゼンテーションが行われ、その内容が議論のベースとされてきた。最初のCDは1997年1月に発行され、京都会議でコメントの審議が行われ、解釈のフェイズは、顕著な環境問題の同定、評価（完全性チェック、感度分析、一貫性のチェック）、結論と勧告を構成要素とすることが合意された。

近い内に改訂CDが発行され、1998年秋の規格化を目指した作業が行われる予定である。

5. おわりに

以上、ISO-TC 207/SC 5（ライフサイクルアセスメント）の規格作成作業の進捗状況を、中に設けられた各ワーキング・グループでの活動状況に沿ってまとめた。

本規格化作業については、筆者も1994年3月のフィラデルフィア以降の会合に企業メンバーを中心とする専門家の方々と出席しているが、いずれのワーキング・グループにおいても、朝から夕刻まではもとより、時には早朝から深夜に至るまでの議論や対処方針の検討等、更にその中で我が国の立場に基づいた見解を盛り込むための根回しなどにも時間を割かれるといったハードな作業を行って来ている。ここでは、このような場でのインフォーマルな議論などに基づき、個人的な感想を述べさせて頂く。

LCAの規格化については、ISO 14040の成立が秒読みに入ったこともあって、これに続くインベントリ分析、影響評価、解釈の規格化作業も加速されつつある。しかし一方、LCAについては、取扱うべき境界をどこまでに設定するか、エネルギーやリサイクルをどう取り扱うかなど、手法そのものに関しても未だ議論があるばかりでなく、結果の透明性・公開性と企業秘密の保護とのトレードオフといった実務上の問題もある。

一方、LCAの規格化作業は、SC 5の委員長（独）の言を借りると、所謂環境コンサルタントを中心とする「LCA インサイダー」と「アウトサイダー」との2極構造、或は日本－米国－欧州という先進国間の3極構造の間の駆引きの場となっているきらいもあり、これは、TC 207全体についても当てはまる。その様な中で、ひとつのワーキング・グループの議長の地位を我が国が占めているのは、情報の流れを掴むといった意味からも極めて重要であり、積極的な対応を通じて我が国としての立場を主張して行くことが重要であろう。

このような状況下、SC 5-WG 3におけるテクニカル・レポートの作成という作業については、米国などから「TC 207全体の作業における規範となり得る可能性がある」といった意見も出るなど、その重要性が高まりつつある印象を受けている。さらには、所謂LCA業界用語が散見される14040或いは14041に対する理解を高めるという意味で、途上国を中心に、その成果に対する期待も大きく、今後のとりまとめに向けたリーダーシップの発揮が極めて重要となろう。

〔海外出張報告〕

米国における廃棄物発電の現況

小川 紀一郎* (勸エネルギー総合工学研究所
エネルギー技術情報センター長)

山口 健一** (勸エネルギー総合工学研究所
前プロジェクト試験研究部 主任研究員)

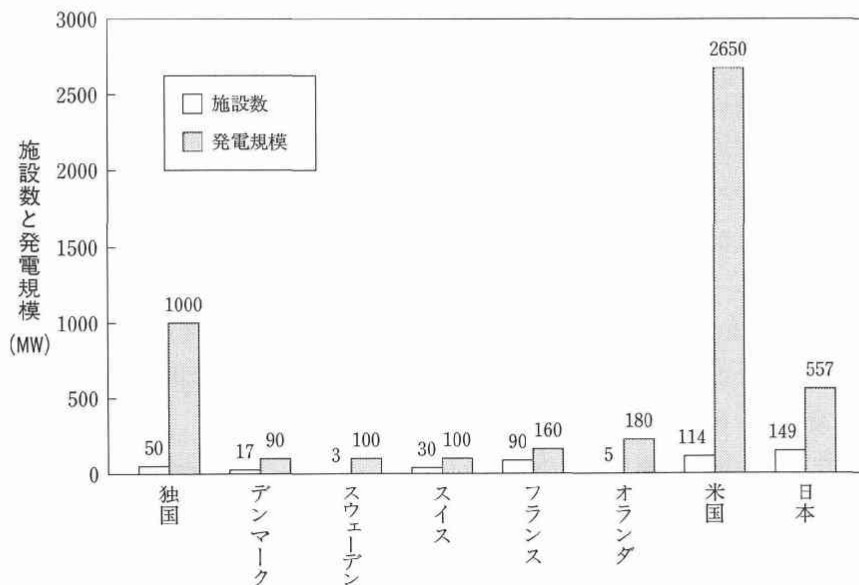


1. はじめに

わが国における廃棄物発電は、平成7年度末で施設数は149、発電出力は56万kWで、近年、毎年約10万kW前後の増加があり、その点では新エネルギー等の中では、着実に発展している。しかし、それでも「新エネルギー導入大

綱」で設定された目標レベルである2000年で200万kW、2010年で400万kW達成にはまだ程遠く、一層の努力が必要とされている。

一方、米国では、廃棄物発電施設数は114施設で、発電出力は265万kWと、施設数はわが国と大差ないながら発電規模は約4倍も大きい。(図1参照)



(注) 日本、米国は1995年度ベース、他国は1990～93年度ベース
図1 欧米主要国の廃棄物発電施設数と発電規模

** 現職：北陸電力(株) 石川支店 手取電力部 発電保守課 勤務

しかしながら、伝え聞くところによれば、現在米国での廃棄物発電プラント建設は停滞し、今後も余りその進展は期待できない状態といわれている。

その理由と背景を探り、わが国が進める廃棄物発電の規模拡大に資する目的で、平成8年12月上旬米国を調査する機会を得たので、その概要を報告する。

なお、本報告は平成8年度新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）殿よりの委託により実施した調査研究成果の一部を取りまとめたものである。

2. 調査日程及び訪問先(主要箇所のみ紹介)

調査対象としては、政府関係機関の代表的なところであるDOE（米国エネルギー省）、EPA（米国環境保護庁）と民間の非営利研究機関であるIWSA（Integrated Waste Service Association）に、廃棄物発電の政策・制度面と事業動向面の概要を聴取した。

さらに、技術面に関しては、わが国でも大勢を占めている焼却方式である全種類ごみ焼却方式ともいえる「マスバーン（Mass-Burn）方式」と簡略化されたRDF（ゴミ固化燃料）方式ともいえる「シュレッド・アンド・バーン（Shred & Burn）方式」の中から、比較的最近建設され、また高効率化プラント条件（高温・高圧化）を備えているプラントをそれぞれ2プラント選び調査した。ただし、本報告はそこから主に政策・制度面および事業動向面を主体に紹介し、技術面に関しては別の報告の機会にゆずることとした。

今回の主要訪問先とスケジュールを以下に示す。

12月2日 シーマス（SEMASS, South

Eastern Massachusetts）プロジェクト

12月4日 オグデン社ハンチントン発電所（Oguden Martin Systems, Huntington）

12月5日 IWSA

12月6日 EPA

12月6日 DOE

12月9日 フィールラブレター社サウス・ブラウズ発電所（Wheelabrator South Broward Plant）

12月11日 フォスターフイーラ社ロビンス発電所（Fosterwheeler Robbins Plant）

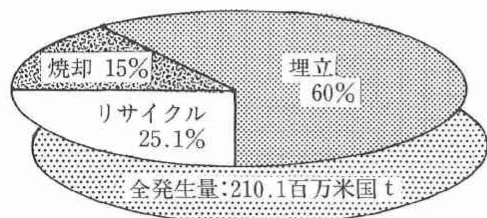
12月12日 ダイヤモンド・エナジー社（Diamond Energy Inc.）

3. 米国における廃棄物発電発展の経緯とその背景

(1) 現 状

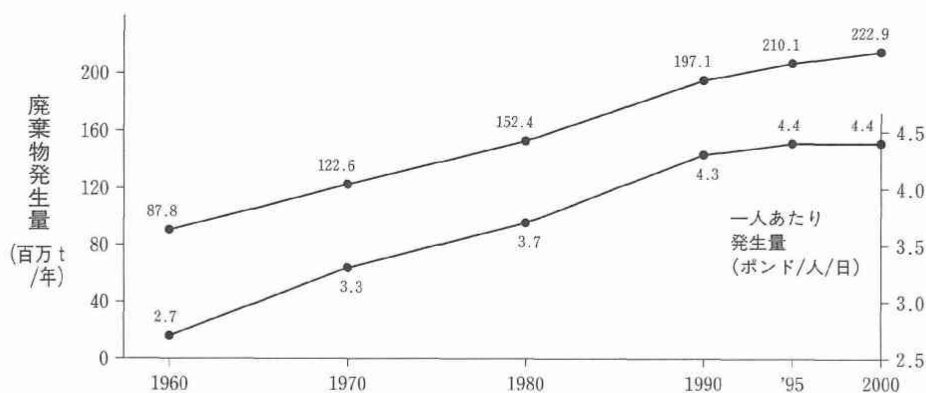
米国の（一般）廃棄物発生量は、現在約2.1億米国トン/年（1米国トン＝トン×1/0.9）で、その処理方法としては、70%が埋立、15%が焼却、残り15%がリサイクルである。（図2および図3参照）

特記すべきは、その焼却の割合（焼却率）は15%であるが、全国の焼却炉の施設数は146



出典：EPA資料

図2 米国のゴミ処理の現状



出典：EPA資料

図3 米国の廃棄物の発生量推移

あり、そのうち発電設備を備えている廃棄物発電*プラントは114であり、その割合は数にして78%であるが、処理量による割合すなわち「ごみ発電実施率」は93%、その発電規模は210万kWにものぼる。また、一施設あたりの規模が大きいこと（単純平均して、一施設の発電規模は22MW、処理量にて約800t/日）も大きな特徴である。（*米国では、廃棄物発電のことをWaste to Energy、略称WTEと称している）

ちなみにわが国の場合、「焼却率」は76%であるが、「ごみ発電実施率」は42%であり、更に一施設あたりの規模も単純平均値で3.8MWと小さい。

なお、146の焼却施設のうち、その所有に関しては自治体等の公的機関と私企業との割合は約半々であり、私企業の占める割合は、年々増加傾向にある。

廃棄物発電プラントの建設時期については、1980年頃を中心として急拡大し、近年その規模増加が停滞している。

なお、ごみの処理自体は、地方自治体レベルで責任があり、自治体と発電所のごみ処理に係る長期契約、ごみ処理代(Tipping Fee)の設定が発生電力の売電収入とともに企業が行

う場合の運営上の大きな要素となっている。

その背景と最近停滞の原因について今回訪問先より聴取した事項を総合すると次のとおりである。

(2) 廃棄物発電発展の経緯

1970年頃；

Air Pollution Act（大気清浄化法）が成立し、それに合致せぬ多くの小規模施設は閉鎖に追い込まれた。

1973年頃；

石油危機を契機として、ごみはエネルギーとしての評価を得、よりエネルギー一回収効率が高く、環境的にも優れた炉の建設が必要と判断され、政府（EPA）主導で欧州炉の調査が実施された。この時、性能、構造、運転等に関し、プラント建設発注者（自治体等）がメーカーに発注する時の標準的仕様書が作成されている。また、廃棄物発電プラントにおけるTurn Key方式による発注もこの時期に確立されている。

1970年後半；

この頃成立したPURPA（Public

Utility Regulatory Policy Act, 1978年成立)により新エネルギー・再生可能エネルギーから発生した電力は「電力会社を買取らねばならぬこと」が義務付けられ、廃棄物発電も同法対象の発電技術と見なされるようになったことも廃棄物発電推進に寄与するところとなった。

1970後半～86年頃；

この間に、前記調査結果を受けて更に、税制面の特典、比較的高い電力代、埋立コストとの関係、等もありこの時期多くの炉が建設された。

税制面の特典で代表的なのが、Investment and Energy Tax Credit Law (Tax Lawと略称)である。これは、廃棄物発電プラントを建設する際の起債に対する税制面の優遇措置を定めたもので、それにより起債時の債券を、一般購入者が有利な条件で買えるようになっている制度である。同法は時限立法で1986年に終了している。しかし、その終了間際に同法適用を狙った駆け込み的建設ラッシュがあった。

(3) 最近になって廃棄物発電プラントが建設されなくなった背景

今回訪問した各場所において、それぞれ立場の違いもあって、その理解と強調点に若干の相違は見られたが、総括すると大体以下のようによ約できる。

最近になって廃棄物発電プラントが建設されなくなった主な理由を列挙すると次のとおりである。

- ① 上述Tax Lawが終結(1986年)したと。
- ② 石油、天然ガスの入手価格が下がり、電力会社への売電単価が安くなってきたこと。(注、電力への卸し電力価格で、80年代当時は、6～7 ct/kWhしたのに、最近では3～4 ct/kWhへと低下してきている)
- ③ 場所によっては大規模埋立場所の開設により埋立費が下がり、従来より更に埋立費との価格差が広がったこと。(図4参照)
- ④ 新設プラントの環境対策が従来以上に必要となり、それに伴う建設コストが上昇したこと。(これには大型化によるスケ

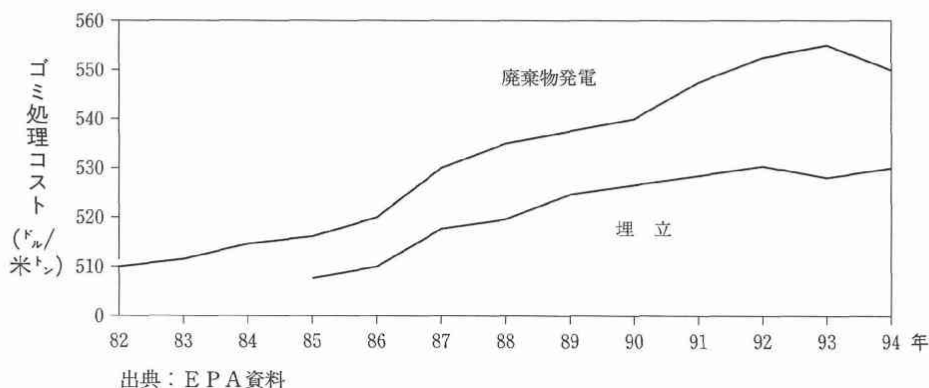


図4 米国の焼却処理と埋立処理の経費比較

ールメリットや広域集荷で乗り切れると
 のことで異論を唱える向きもある)
 などの理由から、最近では、新規プラント建設
 の経済的成立条件が厳しくなり、特別好条件
 に恵まれた処を除いては、廃棄物発電プラント
 新規建設は、非常に困難な状態となっている。
 なお、米国では廃棄物発電プラント建設
 への政府補助はない。

これらのことから、米国における経済性至
 上主義のフリーマーケットの市場環境によ
 り、廃棄物発電プラントといえどもその環境
 の中で企業としての生存競争を強いられるこ
 と、また米国は全体的に今なお埋立地に余裕
 があり、1980年代に整備された大型埋立地が
 当面安価に利用可能で、廃棄物処理すなわち
 焼却発電という図式が描けなくなったことも
 理由の一つとして挙げられる。図5は、廃棄
 物発電建設の動向を示したものである。

4. 米国における廃棄物発電の現状と将来見 通し

(1) ごみ処理の全般的状況

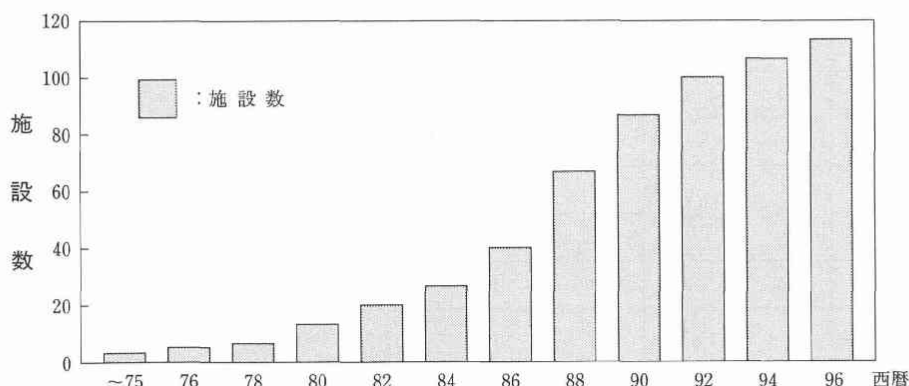
米国のごみ処理要領は、前述のとおり現状

では圧倒的に埋立処分が多い。ただし、東部
 州のように埋立地不足（NYでは埋立禁止令
 が出されている）の州もあり、地域によって
 状況は異なるが、大半の州では埋立に余裕が
 あり埋立容量寿命が10年以上もあるところが
 6割の州にものぼっている。更に国産のエネ
 ルギー（石炭、天然ガス等）を大量に有して
 おり、廃棄物からのエネルギー回収をエネ
 ルギー戦略上期待する必要は極めて少い。

従って、米国における廃棄物発電は、わが
 国のように埋立地延命化からの減容化期待あ
 るいは「新エネルギー導入大綱」に見られる
 ようにエネルギーと環境政策面から国全体と
 してかくあるべきといった、エネルギー・政
 策面からの期待はなされてなく、各地域の
 個々の事情、状況に一任されている。

(2) 廃棄物発電事業の現状

前述のように、現状は廃棄物発電の経済的
 な魅力も薄れ、さらに環境面での低質の廃棄
 物発電プラント建設における住民の拒絶反応
 は段々つよくなり、今後の新規建設はより高
 度の環境対策を備えないと認められない状況



出典：IWSA：The 1996 IWSA Municipal Waste Combustion Directory of USA Facility より作成

図5 米国における廃棄物発電施設数の推移

にある。そのため当面の新規建設は、全般的に困難な時代となってきている。

ただし、最近新環境基準が適用されるようになり、既設炉は、改造あるいは更新を要する施設も出てくるので、その分の工事量はそこそこにある様子である。

表1に、米国の環境基準を他の先進国との対比において示す。

(3) 将来の見通し

2000年以降の将来に対する見方は、各訪問先によって意見が異なったが、総じて当面安い電力は続き、また廃棄物発電と埋立コストとの差は、そう簡単には接近せず、廃棄物発電が今後再び大巾に増加する可能性は当面少ないと見られる。

しかし、将来廃棄物発生量は緩やかながら増加し(2000年時点で220百万t/年と予想されている)、従って廃棄物発電の割合が現在と同

割合(15%)でも発電量も若干増加するし、EPAによれば廃棄物発電の割合自体が21%と増加する予想も立てられている。

とくに、廃棄物発電の有する地球温暖化に関する良好な環境特性、将来における埋立地のスペース確保困難さ等もあり、廃棄物発電はいずれ増加するとの見方も根強い。

5. 廃棄物発電に対する政府・地方自治体の役割

(1) 概要

米国においては、連邦政府議会は連邦としての基本的事項を「Federal Law (連邦法)」として制定し、州議会は州としての基本的事項を「State Law (州法)」として制定する。その連邦法実行のために、連邦の政府行政部門であるEPA、DOEが、また州法の実行のために州の環境保護省などの行政部門が、「Rule」や「Regulation」等いわゆる規則や

表1 日米欧における有害物質の大気排出基準 (対新設炉)

1997年1月

項目	国名	単位	EU指令 (89/369号)	EU提案 (1994)	英 国	独 国	オランダ	デンマ ーク	スウェ ーデン	スイス	米 国	日 本
ばいじん		mg/Nm ³	30	5	30	10	5	30	20	10	—	(特別)80 (50)
CO		"	100	50	100	50	50	100	100	50	MB*1 100ppm RDF*2 150ppm	(30)**
SOx		"	300	25	300	50	40	300	—	50	30 (or 80%*3)	K値による
HCl		"	50	10	30	10	10	50	100	20	25 (or 95%*3)	700
HF		"	2	1	2	1	1	2	—	1	—	—
NOx		"	—	—	350	200	70	—	—	80	180(初年度) 150(2年以降)	250
Cd		"	} 0.2	} 0.05 (含.Ti)	0.1	0.05	0.05	} 0.2	—	} 0.1	0.02	—
Hg		"			0.1	0.05	0.05		0.03		0.08 (or 85%*3)	—
オーガニック コンパウンド		"	20	10	20	10	—	—	—	20	—	—
ダイオキシン (TEQベース)		ng/Nm ³	—	0.1	1	0.1	0.3 (目標 0.1)	—	0.1	—	(全ベース)13 (TEQベースは 1/50~1/100)	(0.1)**
備考 (適用年他)			1989年	1996年 より指令 に格上か	新設1991年 既設1996年 12月	新設1989年 既設1996年 12月	1993年				1995年12月	()は厚生省 ガイドライ ン

*1 MB: マスバーン方式, *2 RDF: ゴミ固化燃料方式, *3 除去率, *4 1997年1月23日付厚生省ガイドライン(新設ケース)

指針を決める。また地方自治体のレベルでも「Rule」や「Regulation」を定めることはできる。

また、「Rule」や「Regulation」が「Law」にそぐわないと抗告（アピール）があった場合には、同「Rule」や「Regulation」が「Law」に合致しているかどうかをチェックする機関として「Judicial Courts（裁判所）」が存在する。「Rule」や「Regulation」は、「Judicial Courts」より合法性ありと判断されて始めて強制力を持つこととなる。

廃棄物発電に関する主要法律は、前述のとおり新エネルギー発生電力の買取り義務を課した「PURPA」、プラント建設費起債の税制面の優遇措置を計った「Tax Law」、大気清浄化の基本的事項を制定した「Clean Air Act」等がある。

「Regulation」としては、「Clean Air Act」の思想に照らして環境排出値等の具体的数値を定めたものがある。

廃棄物発電に関する限り、政府・議会の役割は前述の基本的な法律あるいは「Regulation」制定・改訂とともに、過去において1980年前後の政府主導による欧州調査と米国独自炉建設に係わる標準技術仕様書作成作業が挙げられる。

なお地方政府、自治体は、同「Regulation」と同等かより厳しい独自の「Local Regulation」を定めている。一般に、特別な処を除いては、中央の「Regulation」と同一の基準を定めるところが多い。

(2) 廃棄物発電におけるEPAの役割

前述「廃棄物発電発展の経緯」でも述べたとおり、過去の廃棄物発電プラント建設にE

PAが果たした役割は大きい。

EPAが「Regulation」にて定める環境関係の規制値は、5年毎に見直し、その時点のトップ12プラントが採用している技術とその達成性能があれば、MACT（Maximum Achievable Control Technology）と称して、その時の新規プラント建設時のモデルとして採用するなど同「Regulation」の運用には絶えず改善（厳しい条件）が施されている。

(3) 廃棄物発電におけるDOEの役割

DOEは、かつて、廃棄物発電を再生可能エネルギーとして把え積極的にサポートした時期はあったが、現在はDOEが取り扱う主要テーマから廃棄物発電は除外されている。

ただし、成長の早い草木類によるバイオマスは、これをエネルギー効率向上及び再生可能エネルギーの一つとして位置付け、バイオマス・ガス化技術開発等に補助金をつけて実用化促進を図っている。

6. 米国における廃棄物発電プラントの技術的概要

前述のように、米国における焼却炉の現在の主流はマスバーン方式とシュレッド・アンド・バーン方式に大別される。

(1) マスバーン方式

ごみを選別或いは前処理加工することなく全て焼却炉で焼却する方式で、わが国でも実績の主流を占めている方式である。なお、炉自体の型式としては、ストーカ炉が多い。本方式に関しは、今回2プラント（ニューヨーク州オグデン社ハンチントン発電所（940t/d×3）、およびフロリダ州フィールラブレタ

一社サウス・ブラウズ発電所(750t/d×3)を調査した。

両プラントは、メーカーが異なるなこともあり焼却炉(ストーカ)方式、ボイラの伝熱面配置等各所に違いは見られたが、マスバーン方式としての廃棄物受け入れから焼却発電、排ガス処理、灰処理等、技術的には既存技術の組合せでありプラント全体における共通点も多く見られた。

(2) シュレッド・アンド・バーン方式(簡易型RDF方式)

米国のRDFは、わが国で検討されているペレット状等に成形加工した物ではなくごみを単に破碎(シュレッド等で破碎)し、場合によって一部不燃物を分別して炉内に投入し、燃焼・利用するものである。すなわち、「ごみ」を焼却前に若干の加工をした簡易型RDFである。RDFを発電用を主体に燃焼し前後にリサイクル物質を分離するという目的に絞って考えるとRDFの過度の前処理は経済性面で採算が合わないこと、また最終処分場へいくごみ量が逆にマスバーン方式以上に増えてしまう可能性のあることから簡易型RDFにとどめておくことの利点が認識されたためであった。実績数はマスバーン方式より少ないが、米国において最近建設される廃棄物発電に採用が多く見られる様になってきた。

今回訪問したプラントは、マサチューセッツ州に立地するエナジー・アンサーズ社のシーマス・プロジェクト(900t/d×3)とイリノイ州のフォスター・フィーラ社のロビンス発電所(600t/d×2)である。両方式は、プラントの特徴、炉形式等に大きな違いが見られた。

(3) 新技術開発の動向

米国では、技術開発は新環境基準を満足するとともに更に経済性においても優れた技術であることが求められている。国の広さも異なり、わが国のように灰の減容化、イナータ化、高効率化のニーズはそれほど強くはないので技術開発の方向も異なっている。その意味では、わが国が現在検討中の新技術面の直接参考とはならないかもしれないが、経済性追求の技術開発を考える場合は、米国の方向も大いに参考になるところがあると考えられる。

7. その他確認事項(所感も交えて)

(1) 焼却率は低いにも係らず出力が大きいことの背景

第3章でふれたが、米国のごみの発生量全体は、わが国より多いが、前述のとおり焼却率が低いため焼却に廻されるごみの絶対量はわが国と大差ない値となっている。それにも関わらず、発電規模は265万kWと、わが国の4倍以上の差が出てしまっている。この根拠は、焼却プラントのほとんどが発電している、すなわち発電実施率が高いことは前述した。検討の結果、それに加え大型プラントが多く発電設備の効率が高いこと(単純平均効率 約22%)(わが国では、単純平均効率 約10%)にも起因することが判った。この詳細比較を表2に示す。

(2) 過去の建設ブームと現在の停滞状況の背景

このような大容量、高効率の廃棄物発電が1980年代前後に続々と建設されていったのは、前述のとおり、基本的には、「Clean Air

Act」により環境面で古い炉が運転できなくなったこと、「PURPA」により発生した電力は買い取られるべきとする義務付けがなされたこと、同時にその時期に建設されたプラントの起債に対するTax Lawが存在したこと、買い取られる電力代とTipping Feeがほとんどに高かったことなどの条件が昨今と大きく異なっていたためである。昨今、それらの条件が成立せず新設プラントの建設が停滞しているわけで、いかにこの条件が米国のような市場環境下では重要かを示すものであろう。

廃棄物発電プラントの所有は約半数が私企業で、自治体といえども経済性を重視しているお国柄の相違に起因していると思われる。

基本的な政策による方向付けは政府が行ったが、あとは個々の条件下における（自由マーケットにおける）経済性見通しにおいて廃棄物発電プラントは競争力ありとする「イン

センティブ」が働いたことが過去の建設ラッシュの大きな力となったし、現在停滞しているのはその「インセンティブ」が働かなくなったということもできよう。

(3) 米国における棄物発電の技術面の特徴

技術に関しても、上記背景もありプラントの建設費、運転経費等を節減し私企業の採算が可能なよう経済性重視の思想が貫かれている。

プラント規模を大きくすることは、プラントの高性能化と経済性向上に寄与するので、いかに地域周辺のごみを大量にかつ長期にわたって確保するかが最初の条件として重視されてきた傾向が伺える。また、米国では一般廃棄物と産業廃棄物の区別はなく（注、危険物にかかわる廃棄物の規定はある）、日本でいう産業廃棄物に相当するごみも大量かつ長期に処理する契約も可能であり、その点でごみ

表2 廃棄物発電施設関連諸数値の日米比較

項目 国	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
	廃棄物 総発生量 (万t/年)	焼却量 (万t/年) (対総発生量割合%)	発電に 供される量 (万t/年) (対焼却量割合%)	発電付き 焼却施設数	発電出力 (万kW)	一施設あたり 平均処理量*3 (t/d)	一施設あたり 発電出力*4 (MW)	平均効率*5 (%)
日本 (1995年度ベース)	5,100	3,800 (74.5%)	1,630 (仮定40%)	149	56	400	3.8	9.7
米国 (1995年度ベース)	18,900*1	2,880 (15%)	2,680 (93%)*2	114	265	860	23	22.3

* 1. 米国トンは全て（メートル）トンに換算（トン=0.9×1 USトン）

* 2. I W S A（'96）レポートにより逆算

* 3. 平均処理量=③×10,000/④×365×0.75（注、プラント利用率を0.75と仮定）

* 4. 平均出力=⑤×10,000/④×1,000

* 5. 平均効率は発電出力より逆算

平均効率=⑤×8,760×0.75×860×100/（③×2,000×1,000）

（注、プラント利用率0.75、ごみ発熱量2,000kcal/kg（日本の場合）、2,500kcal/kg（米国の場合）と仮定）

表3 廃棄物発電に関する欧米主要国の政策・制度概要

国名	① 廃棄物取組基本方針 (プライオリティ)	②*1 排出量(Mt/y) (人口)	③ 処理要領			④ 焼却発電規模(MW)*1 (設備数: 全数/発電)	
			リサイクル	焼却	埋立	(現在)	(将来)
英国	1. 発生抑制 2. リサイクル 3. 焼却&エネルギー回収 4. 廃棄	20 (57百万人)	5 ↓ 25	5 ↓ 5	90 ↓ 70	70 (33/—)	400 (2000年)
独 国	1. 発生抑制 2. リサイクル 3. 焼却&エネルギー回収 4. 焼却のみ 5. 廃棄	22 (含・産廃300) (80百万人)	10 ↓ 35	30 ↓ 65	60 ↓ 0	約1,000 (約50/約50)	目標値 なし (増加傾向)
デンマーク	CO ₂ 削減の観点より廃棄物は バイオ燃料として位置づけ 1. リサイクル 2. 焼却&エネルギー回収 (例: バイオ燃料)	2.4 (5.1百万人)	45 ↓ 50	30 ↓ 30~35	25 ↓ 15	約90 (33/17)	目標値 なし
スウェーデン	1. リサイクル 2. 焼却&エネルギー回収 3. バイオ処理 4. 廃棄	3.2 (8.7百万人)	19 ↓ 増加	41+4*2 ↓ 増加	36 ↓ 減少	約100 (21/3)	目標値 なし (増加)
スイス	1. 発生抑制 2. 製造過程の発生抑制 3. リサイクルの向上 4. 焼却&エネルギー回収	2.8 (7.0百万人)	28 ↓ 40	56 ↓ 60	16 ↓ 0	約100 (30/約30)	目標値 なし
仏 国	1. 発生抑制と仕分け 2. リユース&リサイクル 3. 焼却&エネルギー回収 焼却の主目的は、エネルギー 回収ではなく環境対策	20 (60百万人)	3 ↓ 増加	42+10*2 (10Mt/y) ↓ 増大 (18Mt/y)	45 ↓ 減少	約160 (300/約90) (300/約90)	2000年迄に 100~150 プラント数 のリ・コン ストラクト 計画有り
米 国	1. 発生抑制 2. リサイクル 3. 焼却&エネルギー回収 4. 埋め立て	190 (258百万人)	25 ↓ 増加	15 ↓ 増大	60 ↓ 減少	2,650 (146/114)	目標値 なし
日 本	1. 発生抑制 2. リサイクル 3. 焼却 (エネルギー回収) 4. (適正処理後) 廃棄	50 (124百万人)	11 ↓ 増加	74 ↓ 増加	15 ↓ 減少	557 (1,854/149)	2,000 (2000年) 4,000 (2010年)

*1 日本、米国は1995年3月時点ベース、その他の国は1990~93年ベース。

*2 コンポスト

(出所: 欄②はOECD ENVIRONMENTAL DATA DATA95, ③, ④は聴取データ他)

表3 廃棄物発電に関する欧米主要国の政策・制度概要（つづき）

1997年3月

⑤ 推進上の 政策、助成、補助等	⑥ 廃棄物 発電者	⑦ 発生電力 売電価格設定	⑧ 住民の負担程度
1. NFFO(非化石燃料使用義務)法あり 2. 配電会社は発生電力の購入義務あり 3. 配電会社買入電力費に政府補助あり 4. 1996年より全ての焼却炉は発電設備設置要となる (NFFO第4次)	私企業 (自由競争下での営利目的)	NOFFOにて上限価格指定 (同価格はNFFO募集年次により異なる)	直接廃棄物への課税はないが、税金と電力代の支払により間接的に課税また、廃棄物処理上の特別負担も無し
1. 廃棄物発電先進国であったが、現在環境面、住民反対等から新設困難 2. 焼却時はエネルギー回収の義務あり 3. 電力会社は発生電力の購入義務あり 4. 廃棄物発電への政府補助無し	自治体、第3セクター、または一部私企業	電力会社と自治体との間で話合いで決定	廃棄物処理コストは住民が負担する (バイエルン州では平均700DM (5万円)/年・戸)
1. エネルギー省と環境省が統合されエネルギー環境省に一元化される 2. 熱供給、環境、電力が政策の基本 3. 焼却時はエネルギー回収の義務あり 4. 電力会社は発生電力の購入義務あり 5. 燃料転換、コージェネ化推進の一環として建設費への補助あり(返還不要)	自治体または私企業 (ただし、利益を上げることとは不可)	電力会社と発電者の間で決定	「ごみ税」として家の規模、廃棄物の処理方法等により各自治体が徴収 (例: 埋立 195DK (3,600円) /年・戸 焼却 160DK (3,000円) リサイクル Tax無し)
1. 焼却時は、エネルギー回収の義務はないが、実態は大部分回収装置装備 2. 電力会社の購入義務もない 3. 環境関連法は厳しく、環境対策の徹底が要求される	(自治体所有の) 私企業 (ただし、利益を上げることとは不可)	電力会社が熱供給会社も兼ねており、電気と熱を併せて管理	「ごみ代」として住民が負担。80%が収集業者、20%が焼却業者へ (例: 1,100SK (15,000円) /年・戸)
1. 2000年以降、直接埋立を禁止(埋立の前に焼却等処置を課す) 2. 焼却時はエネルギー回収の義務あり 3. 電力会社は発生電力の購入義務あり 4. プラント建設費への政府補助あり	自治体、または私企業	・電力会社と発電者間にて決定 ・法律で価格設定の方法がマニュアル化されている	「ごみ代」として住民が袋を買う形で負担 (例: 140SF (12,000円)/年・戸 特別課税無し)
1. 2000年以降、直接埋立を禁止(1992年環境法制定) 2. 焼却発電を推進する補助制度あり 3. 焼却炉はエネルギー回収の義務あり 4. 電力会社は発生電力の購入義務あり 5. プラント建設費への政府補助あり	所有は自治体、運転は私企業	・価格は、電力会社(国営)と産業省、経済省の間で設定 ・価格算出式あり ・保証出力あり	特別課税無し (廃棄を目的とした特別税無し。自治体、または国へ納め税金の一部を充当するので間接的課税) 処理上の特別負担無し
1. PURPA, Clean Air Act, Tax Law等による政策裏付けと経済条件も整い80年代に大型廃棄物発電所が建設される。 2. 焼却炉はエネルギー回収の義務はないが、実質上回収(電力)が大部分 3. 電力会社は発生電力の購入義務あり 4. プラント建設費への政府補助無し	自治体、または私企業 (約半々)	・各電力会社とプラント所有者間にて決定 ・Avoided Cost(回避可能原価)が上限の目安	発電所はTipping Fee(ごみ処分費)をごみ収集業者より受け取るのが通例。住民は、そのためのごみ代を支払う
1. 「長期エネルギー需給見通し」による2000年、2010年の目標設定あり 2. 通産省、環境庁、自治省、厚生省より補助金、特別融資の形で補助政策を計画または実施中	自治体	各電力会社と自治体の間で決定	処理上の負担に関しては自治体により異なる

(財) エネルギー総合工学研究所

の集中化に役立っている。

EPAが主導して行った標準的メーカへの発注仕様書もユーザ主導の価格構成へ誘導し易いものであったし、例えば屋外式蒸気タービンの採用、炉内脱硝の採用（触媒式脱硝不採用）、建物構造、煙突構造等の技術的簡素化、またRDFに関しては、粉碎（或いはそれに選別を追加するだけの簡単な方式）だけでリサイクル率向上にも寄与するRDFとして取り扱うなど、わが国でも参考になる点があると思われる。このように、ユーザ、メーカが協力して行うコスト削減への努力の跡が随所に見られた。

なお、今後環境基準は厳しくなるので新規は勿論、現在ある設備で基準を満足しないものは、所定期間内の対策・改造が要求されることになる（遅くとも2000年まで）。その点は、（環境）技術優先となり、従って経済性を多少犠牲にしても技術的対応が求められるようになるので、今後廃棄物発電の新規着工はその点からも制約されるものと考えられる。

(4) 新規プラント建設をベンチャー企業が取り組める土壌について

シーマス・プロジェクトの例では、米国でも成功した数少ない例の一つかも知れないが、いわばベンチャー企業が地下水の汚染が最も懸念される果樹栽培地域で大型の新形式廃棄物発電プラント計画の構想を造り、当初住民の反対に会いながらも最終的には信頼を勝ち取り建設・運転を成功させている。この背景にはベンチャー起業家の熱意、粘り強さもさることながら、そのプロジェクトの将来性を評価して融資（プロジェクト・ファイナンス）する銀行の存在も大きい。また、住民側にと

っても過去の実績のないベンチャー企業の提案と説明を（最終的に）受入れる「良いものは良い」とする風土がわが国とはかなり異なるようにも思われた。

(5) 米国の廃棄物発電は、リサイクルを意識している。

米国における廃棄物処理要領において、リサイクルは1980年より今日迄10%から25%へ上昇しており、一方、廃棄物発電も9%から15%に上昇したが、将来においてはリサイクルの量が更に増えると予想されている。（注、2005年にはリサイクルの割合は35%に上ると予想されている）

そのリサイクル向上に廃棄物発電の普及拡大は有効な手段と考えられている面がある。

今回訪問した廃棄物発電プラントにおいては、廃棄物の燃焼過程で分離される非燃焼性物質（鉄分等）のリサイクル利用は当然のことながら、特にRDF方式においては、前段階でガラス、アルミ罐等を分離するものや燃焼後の灰から更に徹底してリサイクル物質を磁気分離するなど電気発生とともにリサイクル率の向上も狙っている。

全米平均のリサイクル率は、現在25%であるが、廃棄物発電プラントのある州はリサイクル率がそれより高い州が多いことが知られている。すなわち、廃棄物発電の普及はリサイクル率向上に大いに寄与すると見られている。

8. おわりに

以上に見られるように米国における廃棄物発電の経緯と最近の状況を調査することができた。その結果、調査前にもっていた疑問の大部分についての解答が得られたように思う。

わが国においては、現在特に電力業界においては、2001年迄に国際的に遜色ないコスト水準を目指して「経済構造改革プログラム」が積極的に推進されている。

また、本年2月の電気事業審議会基本問題小委員会にて廃棄物発電は、余剰電力扱いながら、電力会社より回避可能原価相当にて買い上げられるという余剰電力扱いの中では優遇された取り扱いとすることが答申された。その点、廃棄物発電推進には、好都合の状況になってきているといえよう。

しかし、廃棄物発電の一層の進展をはかるためには、最新の環境条件を満たすことはもちろんのこと、さらにコストダウンによる経済性追求が要求されると思われる。その様な際に、廃棄物発電において世界最大の規模を

持つ米国が経験してきたことは、多少とも参考になるのではないと思われる。

欧米および日本の廃棄物発電にかかわる政策・制度面の概要を表3に示す。

なお、今回は約2週間の短期間における調査であったため、米国の状況をどれだけ正しく知り得たか疑問が残るところである。その点読者の忌憚のないご意見、ご指摘を賜われれば幸いである。

最後に、本調査研究の委託元であるNEDO水素・アルコール・バイオマス技術開発室および米国調査に際し、現地訪問先とのコンタクトおよび訪問先一部への同行などの労をとっていただいたNEDOワシントン事務所の関係者に紙面をお借りして深甚のお礼を申しあげる。



〔調查研究報告〕

電力の負荷平準化と省エネルギーを目指す

DSMの国内外の動向

土 器 勉 (財)エネルギー総合工学研究所
前プロジェクト試験研究部 主任研究員*



1. はじめに

夏期の最大電力は空調設備の普及に伴い、年々先鋭化し、電力需要の昼夜間および季節間格差が拡大するとともに、年負荷率（平均電力／最大電力）も低下傾向を示している。

電気事業者は、この増大し続ける最大電力に対して供給設備の確保が必要となるが、近年、環境問題や電源立地の制約が厳しくなり、設備建設は次第に困難さを増している。

負荷率の低下は、発電設備の有効活用が図れず、コストアップの要因となっている。

この対応策として、供給サイドと需要サイドが一体となって効率的な負荷管理および省エネルギーを推進することが、国家的課題となっている。

本稿では、以下において、この対応の方策概念であるデマンドサイド・マネジメント (Demand-side Management：需要側管理、以下D S Mと略す) の概要、欧米におけるD S Mの取り組みの概要、わが国における電気事業者のD S Mの取り組み、国のプロジェクトとしての負荷集中制御実証試験の概要、今後のD S Mの方向について紹介する。

2. DSM とは

(1) DSM の概念

DSMの目的は、電力会社側から需要家側に積極的に働きかけて、電気事業にとっても社会全体にとっても望ましい需要（負荷のパターンおよび大きさ、品質）に誘導する計画を立案し、実施することにある。図1に、DSMのあり方の概念を示す。

DSMに含まれる電気事業の活動には、従来の負荷管理、新規需要の拡大、省エネルギーなどを目的とする諸方策の立案、評価、実行が含まれ、その対象は家庭用、業務用、産業用など、全ての需要家に及ぶ。

DSM の代表的な方策例を図 2 に示す。

(2) DSM の分類

DSM の分類としては、電気事業者が経営改善手法の一つとして採用する「負荷平準化型 DSM」、規制当局が CO₂ 削減など環境面の国策を実現するために主導的に実施する「省エネルギー型 DSM」がある。

このうち、欧米の先進諸国で多く採用されている手法は、オフピーク時間帯の料金を安くすること以外には、後者が中心である。

表 1 に、先進諸外国で実施されている

* 現職：6月30日付人事異動により、九州電力(株) 総合研究所 研究企画課 副長

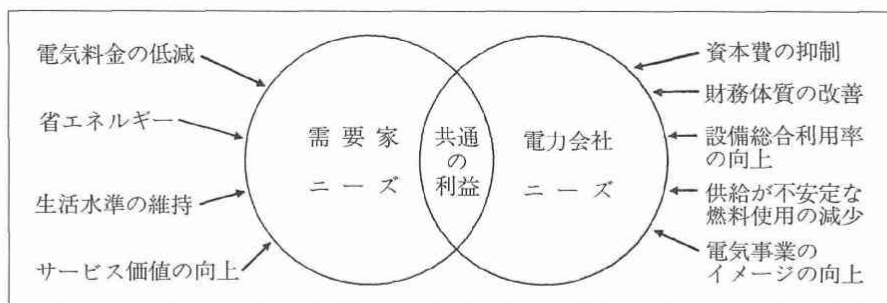


図 1 DSMのあり方の概念

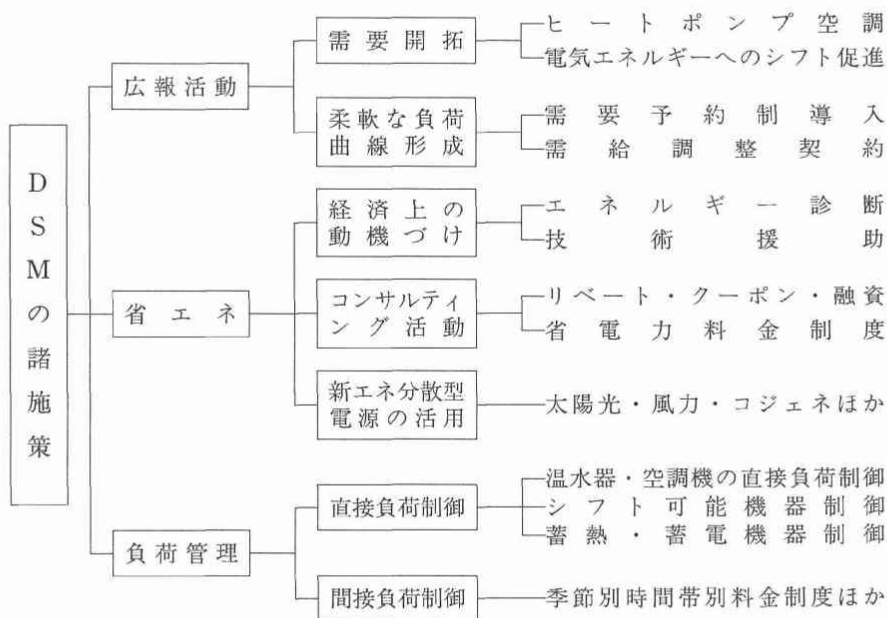


図 2 DSMの代表的な方策例

DSM 方策の例を示す。

3. 欧米における DSM

欧米諸国の電気事業体制は、「民営化」と「競争導入」の考え方により、見直しが加速的に進行している。このような状況変化に伴い、表 1 の DSM 方策も大きな変革の波にさらされている。

ここでは、事業環境の変化が進展しているアメリカ、イギリスにおける電気事業の環境

変化および、その DSM 方策に与える影響について述べる。

3.1 アメリカにおける DSM

(1) 事業環境の変化

1992年制定のエネルギー政策法により、独立系発電事業者が公益事業持株会社法の適用除外となり、適用除外発電事業者として発展するなど、発電市場への参入者が増加している。

表 1 先進諸外国で実施されている DSM 方策例

(電気料金制度を活用したものと直接負荷制御を除く)

省エネルギー型 DSM	製品への効率表示 (ラベリング)	機器のエネルギー効率と年間エネルギーコストを表示するもので、店頭における購入者の意思決定に影響することが期待されている。国により、任意のものと強制の場合とがある。
	高効率機器への認定証表示	情報機器における「エナジー・スターマーク」のように高効率機器に張るマーク。エンドユーザーだけでなく、流通のあらゆる段階で注目される。
	情報提供	情報提供による市場誘導は、単に消費者をエネルギー高効率機器の購入に向けるだけでなく、機器メーカーが高効率機器を製造する効果も期待できる。この場合、メーカーは奨励金や購入保証などのインセンティブを与えられることもある。
	省エネルギー基準の設定	住宅やビルなどの建物と設備機器に対する省エネルギー基準がある。
	税制面での優遇、助成	高効率機器への助成とともに低効率機器への課徴金という仕組みもある。この制度は市場に過度の影響を与える可能性もあることに注意しなければならない。
負荷平準化型 DSM	地域冷暖房	北アメリカやスウェーデンで増加中のサービスで、電気事業者は資金力、信用力、営業力の点で競争力がある。
	街路灯サービス	従来は規制下にある電気事業者の典型的なサービスであったが、将来的には「照度×点灯時間」を契約単位とすることにより、高効率照明器具導入等による競争市場となる可能性がある。
	空調システムの遠隔監視制御とメンテナンス	エネルギー管理、個々のニーズに応じた評価報告、故障時の警報、予防保全、遠隔診断等が主なサービスメニューであり、情報技術の進歩により今後の発展が期待される。また、遠隔監視制御の受託は、その延長線上に空調機器システムの所有権の移転（需要家資産から電力会社資産へ移転）もあり得ることを示唆している。
	ビル総合サービス	エネルギー調達、機器の運転・保守、機器の所有までを一括して電力会社が請け負い、ビルオーナーは月々のエネルギー料金あるいは毎月一定の共益費を支払う仕組み。北アメリカ、ニュージーランド、ノルウェーで提案されている。状況に応じて、電気料金の価格交渉、負荷平準化、省エネルギー改善投資、資金調達までもを請け負うこともあり得る。

さらに、エネルギー政策法による送電線開放の動きがある。このように、発電部門は自由化、送電部門は共有化の方向に動き出しており、残る配電部門の自由化への環境は整いつつある。カリフォルニア州では、全ての需要家が、電力サービスの提供について、電力サービス供給業者を選択できる時期を当初計画の2002年1月1日から4年前倒しすることを今年5月に決定している。

(2) DSM 方策への影響

全米の電気事業者による DSM の効果は、かつて1993年には、最大電力で4,000万kW、電力量で440億 kWh の削減が達成されたとの報告がある。

しかしながら、事業環境の変化を受けて電気事業者全ての傾向ではないが、競争激化に備えたコストダウンが経営上の優先課題となり、私営電気事業者の DSM に対する投資は、これまで DSM に積極的であったカリフォルニアをはじめと多くの州で急激に縮小しつつある。

また、配電事業者は、電気事業体制の水平分割に伴い、ピーク時の供給責任がなくなることから、統合資源計画を立案・実施する必要性が軽減したこととも合わせて、DSM 投資削減の背景となっている。

このような状況から、負荷平準化型 DSM は、電気事業者にとって供給力の代替案という役割からマーケティング・ツール、および顧客離れの防止手法となっている。

負荷平準化型 DSM が減速傾向にある一方で、規制当局や電気事業者等にはエネルギー効率化活動(省エネルギー型 DSM)の継続は必要との認識があり、その資金調達方法が問

題になっている。

さらに、省エネルギー型 DSM が、水平分割後の電気事業界において、どのように促進できるか、またその可能性についても多くの調査が実施され、競争市場下におけるエネルギー効率化プログラムなどの実施主体の明確化についても議論されはじめている。

このような社会的背景から省エネルギー型 DSM に対する取り組みは、今後も継続されるものと予測される。

3. 2 イギリスにおける DSM

(1) 事業環境の変化

イギリスは、中央発電庁による発送電独占体制がもたらす、過剰設備の計画・保有と電気料金の上昇という弊害を排除するため、1990年、垂直統合型の事業体制から、発電部門では、中央発電庁を3発電事業者に分割、送電部門では、12の配電事業者が株を保有するナショナル・グリッド社の運営に、配電部門では、12の地域配電局を全て民営化する、などの抜本的な規制緩和を実施した。

需要家側には、現在、契約電力100kW以上の需要家に対し、電力供給者を選択する権利が与えられており、異なる地域の配電会社や電力プール(競争入札制度がとられる電力卸売市場)から直接電力を購入することが可能となっている。さらに、1998年には全需要家に電力供給者を選択する権利が与えられる予定になっており、配電事業者間の自由競争が始まることになっている。

(2) DSM 方策への影響

需要家との関係が密接であり DSM プログラムを最も実施しやすい立場にある配電事業

者は、垂直統合が完全分離されたとき、DSM活動に大きな魅力を感じる新規発電設備費及び燃料費の回避コスト等の利益を享受できない。

このため、DSMは、どちらかといえば省エネルギー型DSMとして認識されることが多く、電力会社による負荷平準化型DSM活動の位置づけが微妙に変わりつつある。

電気事業再編後の省エネルギー活動としては、省エネルギー基金(政府保証の私的機関)が、地球温暖化防止に関する温室効果ガス排出量削減目標達成のため、1992年、政府と電力会社等により設立され、エネルギー効率化への市場誘導を目的とした活動から、省エネルギー手法に関する情報提供活動まで行っている。

また、電気事業規制局は、1994年より地域配電会社ごとのエネルギー効率化基準の設定、地域配電会社による基準達成プログラムの実施、省エネルギー基金による効果の確認などに取り組んでいる。

電気事業の自由化が、1998年以降さらに進展し、配電会社間で電気料金の価格差等の形で競争が激化したとき、省エネルギー活動の位置づけ、方向性がどのようになるのかが注目される。

4. わが国における DSM

わが国の電気事業を取り巻く環境変化としては、「規制緩和」という大潮流のなかで、電気事業法の大幅改正があり、電力卸供給の入れ制度、負荷平準化のための選択約款電気料金制度などが創設された。また、今春の総合エネルギー対策推進閣僚会議において、わが国の最終エネルギー消費の増加傾向、増大す

る電力需要に対応するため、2000年に向けた総合的な省エネルギー対策、蓄熱式空調システムの普及、需給調整契約の拡大など、わが国経済の高コスト構造は正等の観点も踏まえた電力の負荷平準化対策が、関係省庁の協力により一層推進されることが了承されている。

ここでは、このような事業環境変化の下で、日本の電気事業者が取り組むDSMの特徴および概要について述べる。

4. 1 電気事業者による DSM の特徴

現段階でのDSMは、わが国の省エネルギー水準が北米に比べて高く、家電機器にリベート・プログラムを実施してもそれほどの効果が期待できないこと、また、産業用・業務用部門を対象に省エネルギーや負荷平準化に資する設備取得に対して、国が一部税額控除や特別償却の認定制度を既に設けていることなどの理由から、ピーク抑制、負荷移行などの負荷平準化にウエイトを置いて、さまざまな取り組みが行われている。

4. 2 電気事業者の取り組みの概要

各電力会社は、DSMの取り組みとして、①季節別時間帯別料金制度、需給調整契約などの間接負荷制御、②省エネルギーの観点からの省電力料金制度、③マスメディアの活用による省エネルギー情報の提供、④需要開拓の観点からの蓄熱・蓄電機器、ヒートポンプ機器、および温水器などの深夜負荷機器の普及促進、を展開中である。

また、数社の電力会社は、エアコンや温水器の空調・給湯負荷機器の直接負荷制御については、後述する国のプロジェクトを除き、

表 2 日本で実施されている D S M 方策の取り組み (概要)

方 策		内 容
省エネ ルギ ー 型 方 策	政 府 実 施 事 項	①政策面では高効率機器等の導入促進のための各種助成措置 ②税制面では産業・業務用分野を対象に、省エネルギーや電力負荷平準化に資する設備・機器の取得に対し、一部税額控除ないし特別償却の認証制度 ③融資面では産業・業務・家庭分野を対象に、日本開発銀行などの政府系金融機関を通じて、省エネルギー設備の取得に対する特利融資 ④メーカーとの省エネルギー機器の普及促進
	電 力 会 社 実 施 事 項	①メーカーへの奨励金制度、負荷平準化機器の普及。ただし、需要家に直接行う金融上の動機づけ（奨励金、リベート、融資）方策は実施していない ②省エネルギーの観点からの省電力料金制度、マスメディア活用による省エネルギー情報の提供 ③業務用蓄熱調整契約という価格インセンティブと、蓄熱式ヒートポンプエアコンの導入勧奨。コンサルティング活動として、電力ピークを大きく増加させている業務用の冷房需要対策の 1 つとして、昼間冷房負荷の夜間移行を図るためのもの。
負 荷 平 準 化 型 方 策	間 接 制 御	料金制度は、各種料金メニューが整備され、産業用大口を中心に着実な実績をあげている。しかし、夏期ピークは、依然先鋭化傾向にあり、電力需給は中長期的にタイトな状況で推移する可能性が高いと見られている。 また、環境保全の観点から、省エネルギーへの要請が強いことも加わり、ピークを押し上げている民生部門の需要対策を中心に、負荷平準化対策の多様化が一段と望まれている。
	直 接 制 御	エアコンや温水器の空調・給湯負荷機器を対象に、数社の電力会社で基礎研究・小規模の実証試験を実施中。
負荷平準 化機器の 開発等		蓄熱型の家電製品の開発。ただし、負荷移行はそう簡単ではない。 時間帯別料金制度の活用を図るためには、夜間運転可能な家電製品の普及促進が必要。

基礎研究・小規模の実証試験を実施している。

表2に、日本で実施されているDSM方策の取り組みの概要を示す。

5. 国の負荷集中制御実証試験プロジェクト

5.1 プロジェクト取り組みの概要

冒頭に述べたような国家的課題への対応として、当研究所では、通産省資源エネルギー庁、さらには新エネルギー・産業技術総合開発機構を通じた委託を受け、九州電力㈱と共同で以下の実証試験を行っている。

試験は、昭和61年度から平成5年度までの8年間、鹿児島市の一部で電力供給側から需要家の負荷機器（温水器、エアコンなど）を直接負荷制御する実証試験を行ってきた。その結果、電力需要の最も落ち込む深夜帯で、

電気温水器の通電時間を制御することにより、試験地区のボトム電力を6～7%アップできることを確認した。

また、夏期昼間のピーク時に、需要家に最も受け入れられる制御パターン（一般家庭用エアコン：12分ON 3分OFF、商店・事務所用エアコン：15分ON 3分OFF）でON/OFF制御を実施することにより、試験地区のピーク電力の3～5%をカットできる結果を得た。しかしながら、今後の実用化に当たってはさまざまな解決すべき課題が残されている。

そのため、平成6年度から平成11年度に亘って、低圧電灯需要家に対し、電気使用状況、電気料金情報などを提供して、需要家の反応を検証する間接負荷制御試験、間接負荷制御

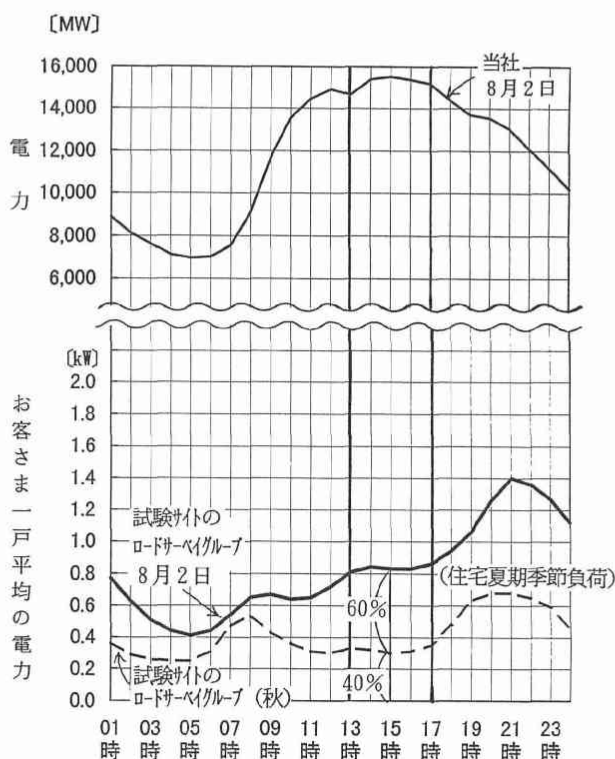


図3 夏期の一日の負荷曲線〔九州電力㈱のデータ〕

と直接負荷制御（エアコン）の併用によるピーク抑制効果を検証する試験を福岡市の一部で実施している。

平成8年夏期における九州電力管内（全ての需要部門の合計）と今回の試験対象とし

た民生家庭部門（試験サイトのデータ）の一日の負荷曲線を図3に示す。

同図から家庭部門では、電力のピークが、夕刻～夜間にかけて形成されていることが分かる。

表3 負荷集中制御実証試験の概要

項 目	内 容
試験実施時期	夏期（7月～9月の3か月間）の平日
試験実施規模	・ 低圧電灯契約の需要家を対象 ・ ロードサーベイ、間接負荷制御、直接負荷制御のグループで構成 ・ 1グループの需要家戸数の目安は、400戸程度
システム概要	・ 制御センター（営業所）と需要家間を光／同軸ハイブリッド伝送路で接続 ・ 需要家宅に需要家端末器（HTU）と宅内表示器（テレビ）を設置して、需要家が必要な諸情報をいつでもリアルタイムに表示 ・ 宅内表示器からアンケートの回答および意見などを入力 ・ 直接制御グループの需要家については、無線方式により、需要家宅のエアコンを制御（ON/OFF 制御など）

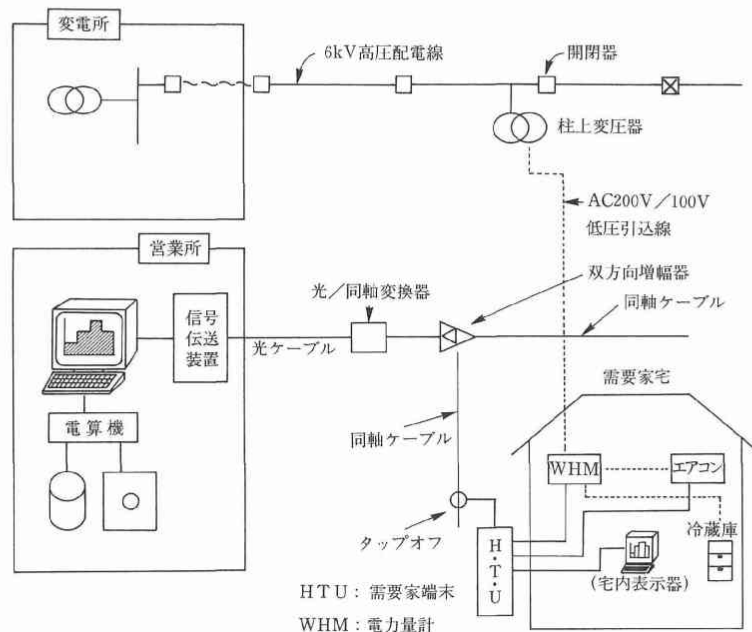


図4 システム構成

情報提供などの支援が重要と思われる。特に民生部門を対象に、需要家が電気エネルギーをどのように使っているかという実態調査や高効率化に向けた技術開発などに重点を置くことによって、はじめて省エネルギー、エネルギーの効率的利用が達成できるものと考えられる。

7. おわりに

本稿では、世界的な潮流となった電気事業の規制緩和とその渦中におけるDSMの推移について、アメリカ、イギリスの状況を取り上げた。

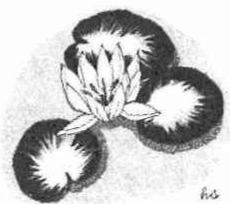
わが国では、先進する欧米諸国の動向を参考にしながら、エネルギー・セキュリティの確保と地球環境問題への対応について、経済構造改革の観点も踏まえつつ具体的取り組みが始まったところである。

21世紀を目前に、わが国が国策として省エネルギー対策と負荷平準化対策を同時に取り組む姿は、国際的に注目を浴びるであろうし、その成果に期待したい。

なお、本稿は、「エネルギーレビュー」(平成9年4月号)に投稿した『DSMと省エネルギー』を本誌掲載のため一部修正したものである。

《参考文献》

- (1) 小特集／電力のデマンドサイド・マネジメントを考える, 省エネルギー, 90年6月
- (2) 特集／デマンドサイド・マネジメント, エネルギー・資源, 93年11月
- (3) 先進諸国のDSMと省エネ, 電気新聞, 96年9月
- (4) 高度負荷集中制御システム等の研究(平成6年度, 7年度研究報告書), 新エネルギー・産業技術総合開発機構



〔随 想〕

クリーンエネルギー自動車レポート(第4報)

—— 将来が期待される燃料電池自動車 ——

蓮 池

宏 (勸エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長補佐)



はじめに

昨年(1996年)9月、トヨタ自動車が燃料電池自動車の試作車を発表した。この自動車は各種のマスコミで採り上げられ、それ以降、燃料電池自動車はクリーンエネルギー自動車の一つとして広く知られるようになった。

世界的にみると、燃料電池自動車の開発は特に最近になって活発化してきたわけではなく、米国、カナダ、ドイツ、ベルギー等の海外諸国において、だいぶ前から行われてきた。わが国でも、1990年代前半に富士電機、マツダなどが、研究用に燃料電池で駆動する車両、あるいは燃料電池本体を製作し発表している。しかし、日本最大の自動車メーカーが、一般の乗用車と変わらない形にまで仕上げた車を発表したことで、日本における燃料電池自動車の注目度が一気に高まったと考えられる。

燃料電池自動車の構成と特徴

燃料電池自動車のパワートレインの構成を図1に示す。

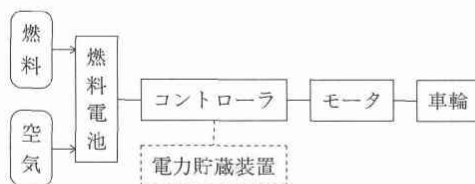


図1 燃料電池自動車のパワートレインの構成

燃料電池自動車は、基本的には電気自動車のバッテリーが燃料電池に置き換わったものと考えればよい。バッテリーは、鉛、ニッケル、リチウムなどエネルギーの元になる化学物質をすべて内部に蓄えておく必要があるが、燃料電池は、内燃エンジンのように燃料と酸素(空気)を外から供給してもらうので、エネルギー密度の面問題は少ない。

一方、出力密度が小さいことが燃料電池の短所であり、これの改善(出力密度の向上)が自動車用燃料電池を開発する上で最も重要なポイントとなっている。出力を補うためにバッテリーなどの電力貯蔵装置を設置してハイブリッド・システムを組むことも、しばしば行われる。この電力貯蔵装置は、制動時の回生エネルギーを吸収して再利用するという

自動車用エネルギーの問題は、エネルギーの面からも都市大気汚染の面からも地球温暖化の面からも、今後ますます重要になっていくであろう。さまざまな情報のポイントを整理しクリーンエネルギー自動車の今後を展望してみる、というのがこのレポートの趣旨である。ここで述べることは筆者個人の見解であり、必ずしも的を得ていない点もあるかと思う。読者諸兄のご批判を仰ぎたい。E-mail: hasuike@iae.or.jp

機能も兼ねている。

燃料電池自動車の燃料としては、水素、あるいはメタノールを用いることが想定されている。その他、ガソリンの利用も研究されている（燃料の問題は後述する）。

これまでに開発された燃料電池自動車は数えるほどしかなく、実用化されているものは1台もない。しかし、その将来性に関しては大きな期待がかけられている。その理由は、燃料電池自動車が次のような特性を備えているからである。

- ①排ガスがクリーンである。一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、粒子状物質(PM)は発生せず、水素燃料の場合は窒素酸化物(NOx)や二酸化炭素(CO₂)も発生しない。
 - ②電気自動車に比べて航続距離が長く、燃料の補給に要する時間が短い。
 - ③内燃エンジンに比べてエネルギー変換効率が高い。
 - ④燃料となる水素やメタノールは、化石燃料以外からも製造できる。
- つまり燃料電池自動車は、実用的な性能を持

ったゼロ排気車(ZEV)であり、将来的にはゼロCO₂車となる可能性を有する車と言える。

燃料電池の種類

一般に燃料電池は、表1に示すように、使用する電解質などによって①アルカリ型(AFC)、②リン酸型(PAFC)、③熔融炭酸塩型(MCFC)、④固体酸化物型(SOFC)、⑤高分子電解質型(PEFC)¹⁾、⑥メタノール直接型(DMFC)の6種類に分けられる。

自動車用には、(a)出力密度が高い（コンパクト化可能）、(b)作動温度が比較的低い（短時間で起動可能）、という理由から、PEFCが有望視されている。トヨタ自動車をはじめ、米国のビッグスリーやベンツなども、みなこのPEFCを用いた自動車の開発を進めている。

PEFC以外では、米国において1980年代半ばに、定置用に技術開発が進んでいたPAFCを自動車に適用する研究が開始され、1992年には試験用のバスも製作され走行テストも行われた（搭載された燃料電池は富士電機が製作した）。しかし、このプロジェクトはすでに

表1 燃料電池の種類と特徴

種類	アルカリ型	リン酸型	熔融炭酸塩型	固体酸化物型	高分子電解質	メタノール直接型
作動温度(℃)	70~100	150~200	600~700	900~1,000	70~140	70~140
電極供給燃料	純水素	粗製水素	粗製水素	粗製水素	粗製水素	メタノール
使用可能な燃料	高純度水素	水素 天然ガス メタノール 軽質油	水素 天然ガス メタノール 石油・石炭	水素 天然ガス メタノール 石油・石炭	水素 天然ガス メタノール 軽質油	メタノール
出力密度(W/cm ²)*	0.1~4	0.1~0.3	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~2.0	0.1~0.3
発電効率(%)	~60	35~45	45~55	>50	40~50	35~45

*：電極面積当たりの出力

1) PEFCは電解質として水素イオン交換膜を用いており、PEM FC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) と呼ばれることもある。

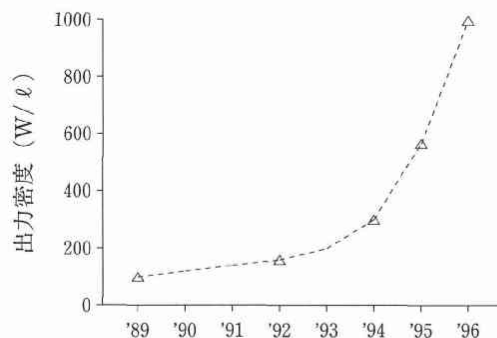
終了し、一方でよりコンパクトで作動温度の低いPEFCの技術が向上したことにより、PAFCを自動車に適用することはほぼ断念された形になっている。

また、PEFCと同様に、高分子膜を電解質としてメタノールを直接反応させるDMFC (Direct Methanol Fuel Cell) も自動車への適用を目指して開発が進められている。この方式はメタノールの改質装置が不要なため、システム全体が簡素化され、負荷応答性も良くなる、という長所がある。メタノールの反応性があまり高くない (PEFCの電極反応物質である水素に比べて) ために、出力密度が小さいことがDMFCの問題点であったが、近年の研究開発により改善されつつある。今後、技術開発が進めば、DMFCが自動車用燃料電池の有力候補に浮上してくる可能性もある。

本稿では、自動車用としての開発が最も盛んに行われているPEFCに絞って話を進めることとする。

国内外における開発状況

PEFCを使用した自動車は、1993年にカナダのバラード社が開発したバスが最初である。バラード社は現在もなおPEFCの開発においてトップを走り続けている。図2に示すように、同社におけるPEFCの出力密度の向上は著しく、重量はセル・スタックのみで1.25kg/kWまで軽量化の目処がついているという。これは、内燃エンジンの最大出力と重量の比にはほぼ匹敵するレベルである。燃料電池自動車の場合は、駆動力を得るためにさらにモータが必要なので、燃料電池だけと内燃エンジンとの比較は、あまり適切とは言えない。しかし、かつての燃料電池のサイズあるいは重量から考



(出所: D.G. Oei他, ATD/CCM, 1996)

図2 バラード社のPEFCの出力密度の推移

えると、内燃エンジンと同レベルにまで小型軽量化されてきたのは画期的なことである。

PEFCの出力密度がここまで向上すれば、車両として必要な最大出力を全て燃料電池が負担することも不可能ではなく、実際にそうしたシステムも検討されている。

欧州では、ベンツが、1994年に“NECAR I”を製作し、1996年にはその改良型“NECAR II”を発表した (図3)。燃料電池の重量は21 kg/kWから6 kg/kWへ軽量化されている。ドイツでは、この他にジーメンス社がPEFC本体の開発を行っており、BMW社がそれを用いた燃料電池自動車を開発している。

米国では、クライスラー、フォード、GMのビッグスリー3社が、エネルギー省の補助を受けて燃料電池自動車の開発を行っている。PEFCの本体はバラード社などの燃料電池開発会社から供給を受けることになっている。燃料については、GMはメタノールを改質する方式、フォードとクライスラーの両社は水素を搭載する方式を目指している。最近になってクライスラー社は、ガソリンを改質する方式にも取り組むと伝えられている。

日本では民間ベースでの開発が先行しており、いくつかの自動車メーカーがバラード社

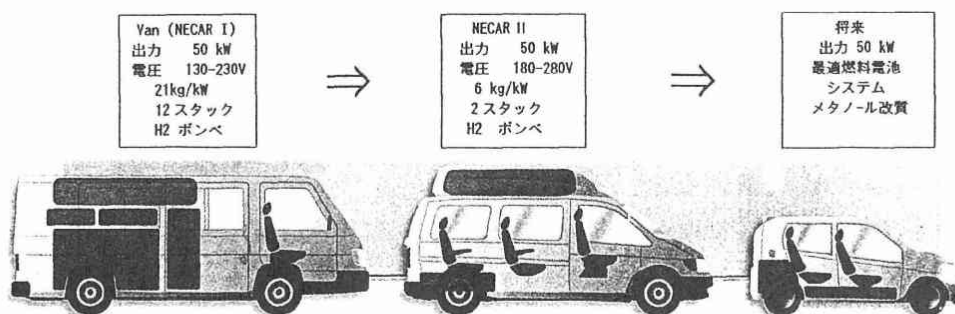


図3 ベンツの燃料電池自動車（出所：FC Newsletter, Vol.9, No.1, 1996）

からPEFCの供給を受けて車両システムの開発を行っている。これに対し、冒頭に紹介したトヨタ自動車の燃料電池自動車は、燃料電池本体や水素貯蔵合金も自社で開発した、という点が注目される。ただし燃料電池の重量出力比は6 kg/kW程度で、バラード社ほどの軽量化は達成されていない。

国家プロジェクトとしては、通産省工業技術院のニューサンシャイン計画の一環として、1992年よりPEFCの開発が行われている。1995年度でフェーズⅠの開発が終了し、1996年度からのフェーズⅡにおいて、三菱電機が、自動車にも適用可能な移動用システムの開発を行っている。ただしこれは、燃料電池のみの開発であり、車両の開発は含まれていない。また、本レポート第3報で紹介した通産省のハイブリッド自動車開発計画のなかに燃料電池自動車を取り入れられる可能性がある。これまで国内の自動車メーカーは、ほとんど自己資金のみで開発を行ってきたが、今後は政府による開発補助も増えていくと予想される。

燃料電池自動車への燃料供給

PEFCを用いる燃料電池自動車にどのよう

な燃料を使用するか、ということについてはいくつかの選択肢がある。ここでは、それらの選択肢の得失について考えてみる。

PEFCの電池本体には水素を供給する必要がある。

水素を供給する一つの方法は、炭化水素系燃料やアルコール類のように、水素を含む燃料とその燃料の処理装置を車両に積み込み、車両上で水素を製造することである。（図4）種々の燃料とその処理方法のなかで、メタノールの水蒸気改質が最も有望と考えられている。その理由は、①反応温度が250℃程度と相対的に低い、②反応の副生成物が少ない、③反応装置が比較的シンプルでコンパクト化に向いている、などである。ただし、バス搭載用のメタノール改質装置は開発されたことがあるが、乗用車に収まるようなコンパクトなものはまだ開発中である。

メタノールは常温で液体なので国内の輸送や車両への給油も技術的には容易である。しかし、メタノールの供給システムは、給油ステーションに加えてメタノールの製造プラントも大量に建設する必要がある。（1996年の世界全体のメタノール生産量は2,400万tで、こ

れは日本のガソリン消費量の4ヶ月分にしか過ぎない。)

水素を供給するもう一つの方法は、水素自体を車両に積み込むことで、高圧ボンベ、水素吸蔵合金タンク、低温液体タンク、という3つの方式があり得る。

車両システムとしては、メタノールを改質するより水素を直接積み込む方が構成が簡単で、燃料電池の性能の面からも、起動時間やスペース・重量の面からも有利である。しかし、燃料の供給システムの構築という面から見てメタノールの方が現実的という意見が多い。そう考えるのは、水素の供給システムとして、砂漠や海上で太陽エネルギーから水素を作って液体水素タンカーで輸送し、消費地には水素パイプラインを張り巡らすという本格的な水素エネルギー時代のようなイメージを想定するからであろう。

そのような本格的なものでもなくとも、燃料電池自動車用に水素を供給する方法はある。都市ガスや軽質の石油系燃料(ナフサ、ガソリン、灯油など)を原料として、燃料供給ステーションで水素を製造するのである(図4)。実用化段階に入りつつある定置式のリン酸型燃料電池でも電池本体には水素が必要であり、都市ガスやナフサから水素を製造する方式をとっている。それは、この方式が最も経済的で、燃料供給の確実性が高いからである。米国では、天然ガスまたは軽質油を原料として燃料ステーションで燃料電池自動車向けの水素を製造することが検討されており、わが国においても導入段階ではこのシステムが最も現実的であると筆者は考えている。このような燃料ステーションにしても、これを多数建

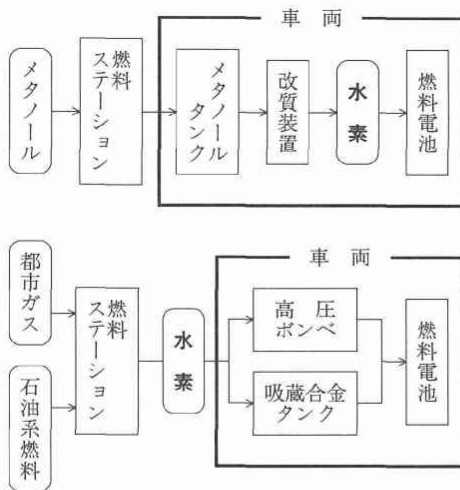


図4 燃料電池自動車への燃料供給方法

設するには時間とコストがかかるが、都市ガスや石油の製造・流通システムは確立しており、価格の安定性という点でも有利である。

燃料ステーションで水素を製造する場合、これを液化までするのは現実的でなく、車両への搭載は高圧ボンベか水素吸蔵合金タンクになる。この場合、高圧ボンベはエネルギー密度がやや小さいこと、水素吸蔵合金タンクはコストが高い、という問題がある。

また、第三の方法として、ガソリン等の軽質油を車両上で改質して水素を製造する研究も始まっている。この技術が開発されれば燃料供給インフラの問題は全くなくなる。ただし、ガソリンの改質はメタノールの場合ほど容易ではなく、コンパクト性、耐久性、短い起動時間、負荷応答性などの特性を兼ね備えた改質装置の開発は簡単ではないと思われる。

こうしてみると、燃料電池自動車に実際にどのような燃料が使われるか、まだ確定したものはない。燃料電池自動車が導入される際にその燃料供給を受け持つチャンスは、ガス

会社にも石油会社にも、またメタノール・メーカーにもあると言える。どこが主導権を握るかは、今後の取り組み方次第と考えられる。

CO₂ 排出量の比較

最初に述べたように、燃料電池自動車はCO₂の排出抑制技術としても期待されている。そこで、前項で説明したような燃料供給システムを前提としたときのCO₂排出量について簡単な試算を行ってみた。

図5に燃料の製造・輸送における各プロセスの効率を示した。これらの値は既存文献を参考に見積もったものである。

次に、車両の効率（燃費）であるが、これは推定の確度の点から最も問題となる。

水素燃料の燃料電池自動車の燃費に関しては、トヨタの試作車におけるシミュレーション計算値が、約36km/ℓ（10モード走行、ガソリン換算）で同等のガソリン車の2.5倍、と報告されている。メタノール燃料やガソリン燃

料のPEFC自動車の燃費は公表されているものはないので、ここでは、設計等に基づく推定結果を参考にして、水素燃料の場合より20%低い（ガソリン車の2.0倍）とした。

試算結果を表2に示す。技術の進歩やシステムの設計によって効率は変わるもの（特に車両の効率）なので、現段階では高い精度を期待するより相対的な位置付けを把握する、というつもりで見えていただきたい。

燃料電池自動車のCO₂排出率は、ガソリン車の41～55%となった。天然ガス水素とメタノールとの比較は、一次エネルギーおよびCO₂とも天然ガス水素の方が少ないという結果となっている。水素を天然ガスから製造するか、石油から製造するかという比較は、一次エネルギー量としては石油の方が少ないが、CO₂排出量は逆に天然ガスの方が少ない。

このように、現在の試作レベルの技術を前提とした場合、燃料電池自動車のCO₂排出量

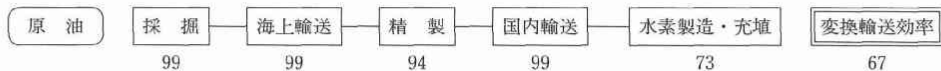
① メタノール・燃料電池自動車



② 天然ガス水素・燃料電池自動車



③ 石油水素・燃料電池自動車



④ ガソリン燃料電池自動車、および⑤ガソリン車

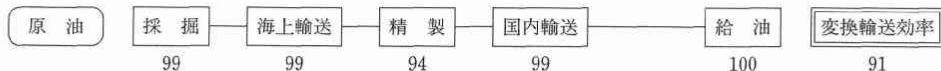


図5 燃料サイクルと燃料変換輸送効率（%）

表2 燃料電池自動車とガソリン車の一次エネルギー消費率とCO₂排出率

車載燃料	燃 料 電 池 自 動 車				ガソリン車
	メタノール	水素	水素	ガソリン	ガソリン
一次エネルギー	天然ガス	天然ガス	原油	原油	原油
燃料製造輸送効率 (%)	65	62	67	91	91
車両燃費 (km/ℓの比)	2.0	2.5	2.5	2.0	1.0
一次エネルギー消費量 (kcal/kmの比)	0.70	0.59	0.55	0.50	1.0
CO ₂ 排出率 (g-C/kmの比)	0.49	0.41	0.55	0.50	1.0

一次エネルギーの単位発熱量当たりのCO₂発生量は、原油：1 (0.802 g-C/kcal) に対して天然ガス：0.704 (0.564 g-C/kcal) とした。

はガソリン車の約半分になると考えられる。

さらにメタノールと水素は、天然ガスや石油以外のエネルギーからも製造することができる。例えば、将来は水力や太陽エネルギーやバイオマスなどの再生可能エネルギーから製造されるようになる可能性もある。そうなれば、それらの燃料で走行する燃料電池自動車は、CO₂発生が実質的にゼロの自動車になる。

(車両製造と再生可能エネルギーの利用設備建設のために必要なエネルギーとそのために発生するCO₂は、別途考慮する必要がある。)

国連の「気候変動に関する政府間パネル」が1995年に作成した第二次評価報告書においても、CO₂排出抑制策の一つとして、バイオマスからのメタノール製造と燃料電池自動車の利用に関する記述にかなりのスペースが割かれており、この技術に対する期待が大きいことがうかがわれる。

まとめ

燃料電池自動車の開発は、そのコンセプトが物理的には成立する(居住空間を損ねることなく車載が可能であり、少なくとも初期性能としては公道走行に必要な動力性能が得ら

れる)ことが実証された段階であり、実用車のレベルにはまだ遠い。

今後、実用化のためには燃料電池の一層のコンパクト化が必要であり、さらに、通常の新技術のように耐久性、信頼性、経済性という課題を解決していく必要がある。メタノールや軽質油を燃料とする場合はコンパクトで耐久性に優れた車載改質装置の開発、水素を車載する場合は安全で安価な水素貯蔵容器の開発も必要である。

将来のエース候補という声も聞かれる燃料電池自動車ではあるが、実用化までには多くの課題が残されている。特に燃料の選択に関して不確定要素が大きいことが、他のクリーンエネルギー自動車と異なっている点である。逆にそのような不確定要素は興味ある研究テーマと言うこともでき、当研究所としても、「燃料電池自動車の燃料には何が最適か」という問題について、さらに掘り下げた検討を行っていきたいと考えている。

訂正：Vol.20, No.1, 本レポート第3報, p.80, 13行目

誤：「車両価格の差額は5年で回収できる」

正：「車両価格の差額は10年で回収できる」

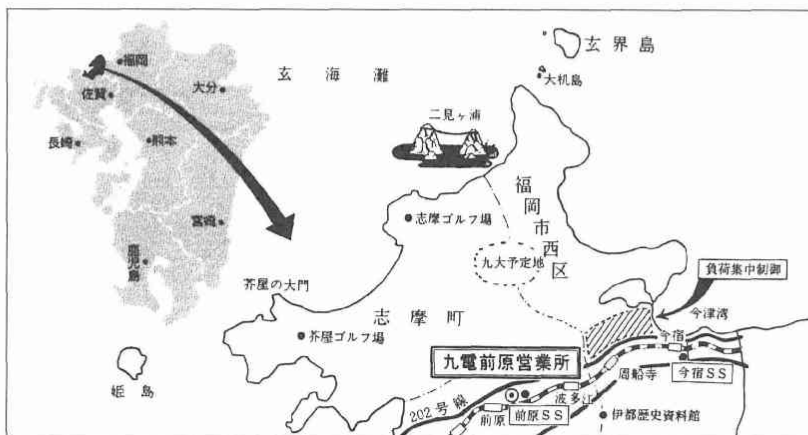
九州電力(株) 前原営業所

私たち IAE 女性研究員取材チーム（姫野，清水）は，この度，負荷集中制御システム実証試験を行っている九州電力㈱前原営業所を訪問しました。

☆涼を求めて☆

とても蒸し暑い日本の夏。日本家屋は古くから、「夏をいかに涼しく過ごすか」に重きをおいて建てられ，工夫されてきました。通気性のある高床や欄間などはまさしくそのためのものですし，庭先の打ち水は生活の知恵でした。

しかし，時の移り変わりとともに人は通気性より機密性の高い家屋を求めるようになり，「夏を快適に過ごしたい」という願いは，スイッチ 1 つで思いのままに室温の調節ができる便利なエアコンを急速に普及させました。全国のエアコン出荷数は，年間 700 万台を超え，今や，エアコンは一家に 2 台の時代なのです。



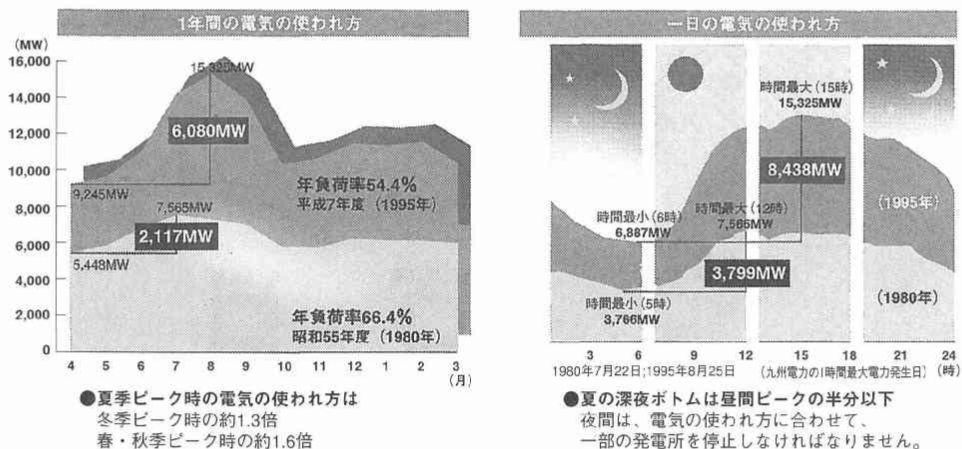
負荷集中制御システム 実証試験

Ⅰ AE女性研究員取材チーム

☆電気の使われ方☆

一方、電力需要の面では、エアコンの普及に伴い、年間では夏に、1日の内では日中にピークになるといった季節間および昼夜間の格差が年々拡大しています。電気はつくって溜めておけない性質のものですから、最大電力需要にあわせた発電設備が必要になりますが、これでは限られた時間帯のためだけに稼働する発電設備をつくらなければならないことになり、コスト面からも大きな問題となっています。

九州電力㈱における電気の使われ方



☆負荷集中制御システム実証試験☆

そこで、需要家サイドからの負荷平準化推進対策の1つとして、将来に向けての技術開発の確立を図ろうと、国（資源エネルギー庁・NEDO）からの委託を受けて九州電力㈱で行われているのが、『負荷集中制御システム実証試験』です。

昭和61年から平成5年までの8年間、鹿児島市の一部で電力供給側から家庭の負荷機器（温水器、エアコンなど）を直接制御する実証試験が実施されたのを受けて、平成6年度から福岡県の前原営業所管内での実証試験が行われています。

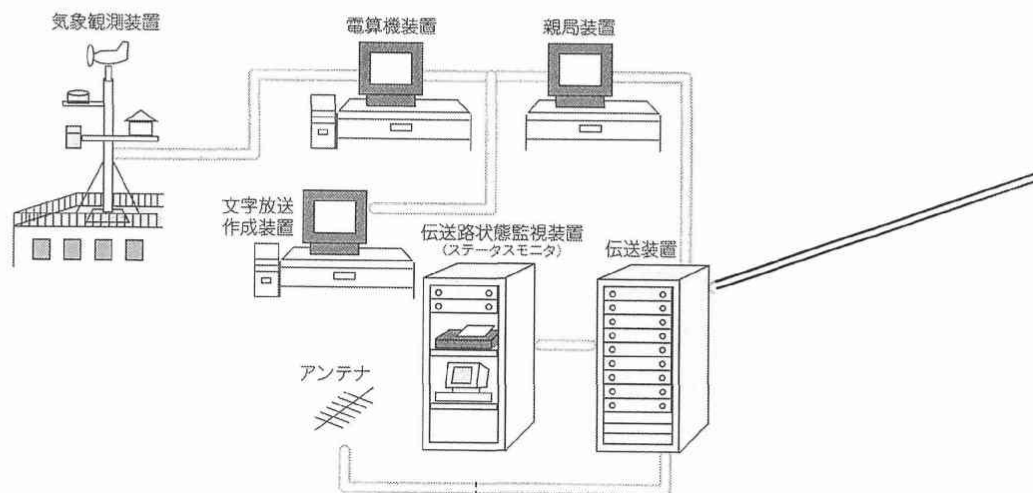
それでは、前原営業所で行われている『負荷集中制御システム実証試験』とは、どんなものなのでしょうか。配電部副長の福井さんに詳しくお話を伺いました。

まず、営業所管内から、一戸一戸個別訪問をして試験に協力してもらう家庭を1200戸程度集めます。これは、視聴率調査のためのサンプリングと似たようなものと考えてよいのではないのでしょうか。個別訪問をしたうち、応じてくれるのは「3割くらいですね」



と福井さんはおっしゃいましたが、大変な労力と根気が必要とされる作業です。営業所ではこうして集めた家庭のデータ（家族構成・年齢・職業・間取りなど）をコンピューターで管理し、たとえば、子供の有無は制御の効果に影響してくるのか、夏休みの影響はどうか、などの多面的な分析に役立てています。

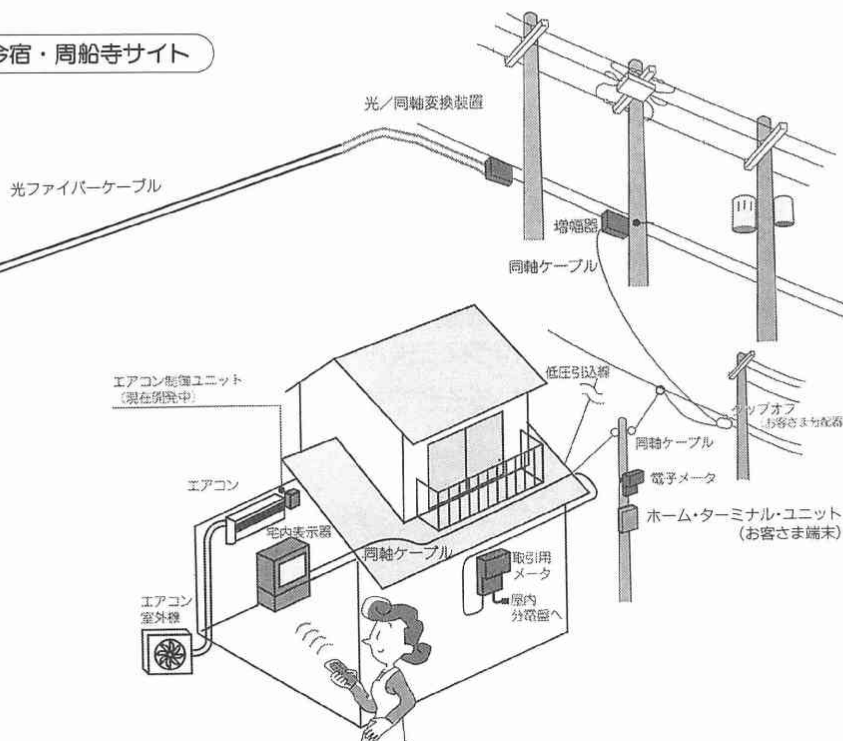
九州電力（株）前原営業所



97年7月から行われる試験では、協力家庭を400戸ずつ「間接負荷制御」「直接負荷制御」「無制御」のグループに分けます。「間接」グループには、①電気使用状況 ②省エネルギーのためのアドバイス ③電気料金の表示等の情報を、専用の宅内表示器（テレビ）を通じて提供し、「直接」グループに対しては、この情報提供の他に営業所がエアコンの温度設定や運転・停止も行います。さらに、情報提供・エアコン制御を行わない「無制御」グループは、制御・無制御の差を把握するために設けられています。

情報提供・エアコン制御のために、営業所からは各家庭に通信ケーブルが引かれています。知識のない私たちは、「大がかりな工事なんでしょうねえ」と感心しましたが、福井さんによると3人がかりで3～4時間で済むそうです。ただし、専用ケーブルや通信装置のためのポールを屋外に立てなければならないので、マンションなど集合住宅への設置は難しく、試験対象は主に一戸建住宅としています。96年度に実施した間接負荷制御の結果は、1家庭平均約80Wの制御効果が出たそうです。これは九州電力管内の電灯契約口数550万口に換算すると40万kW程度になり、発電所の約1基分に相当します。

今宿・周船寺サイト



☆宅内表示器☆



各家庭は、宅内表示器からの情報によって電気の使い方を工夫し、その結果をすぐに画面上で見ることができます。

ここでもおもしろいのが、通常の料金より高い『試験用電気料金単価』を設定しています。各家庭には、通常料金単価と試験用料金単価の差に、ピーク時間帯に節約した電力量をかけた金額が協力金として支払われます。つまり節電すればするほど協力金が増えるということになり、その結果、節電への関心も高められるというわけです。

協力金

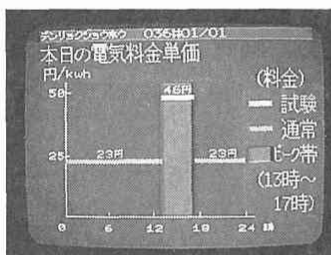
宅内表示器 027H01/01

協力金

協力金はピーク時間帯にお客さまが電気を節約された量に応じてお支払いします。

	ピーク使用量(kWh)	協力金(円)
7月	節約 21kWh	1473円
8月	節約 17kWh	1192円
9月	増加 2kWh	0円

試験用電気料金単価



→実際の料金支払額は契約に基づき算定し請求されています。

この他に、宅内表示器では毎日17時くらいに各家庭に向けてアンケートが実施され、集計結果を負荷制御の分析に活用されます。という、回答率が気になります。毎日アンケートに答えるのは、なかなか面倒な作業だと思いますが、「だいたい8割のお客さまが答えて下さいます」(福井さん)とのこと。協力家庭と営業所の連携プレーがなくでは成り立たない試験であることが実感できました。ちなみに宅内表示器でのこれらの操作はリモコンで誰でも簡単に行えるように工夫されていて、営業所からの情報の他にテレビ番組も選択できるようになっているそうです。

毎日のアンケートの一例

本日、ピーク時間帯(13時～17時)に使用された電気機器を番号で選択してください。

なお、冷蔵庫は常時使用中のため考えないで下さい。

お名前 氏名 住所 電話番号

〈8回答まで複数選択可〉

1 アイコン 1台	6 炊飯器
2 アイコン 2台以上	7 電子レンジ
3 扇風機	8 テレビ
4 衣類乾燥機	9 照明、その他
5 洗濯機	0 外出したため、使用しなかった

お名前 氏名 住所 電話番号

☆将来に向けて☆

前原営業所では、も一つ『配電総合自動化システム』実証試験を九州電力㈱独自に実施しています。このシステムでは、光ファイバーケーブルによって営業所と各家庭を結び、コンピューターで管理することによって、万一事故が起きた場合でも事故箇所を速やかに特定できることから、従来の広範囲に渡った停電を事故箇所のみに抑えることができ、また復旧までの時間を大幅に短縮することができます。全国でもこの前原営業所だけで行われているそうで、「この技術は社外に誇れるものだ」と自信をもっています」と吉村課長はおっしゃってましたが、二つの実証試験を通じて、九州電力㈱の将来に向けたエネルギー効率化に対する熱意を感じ取ることができました。

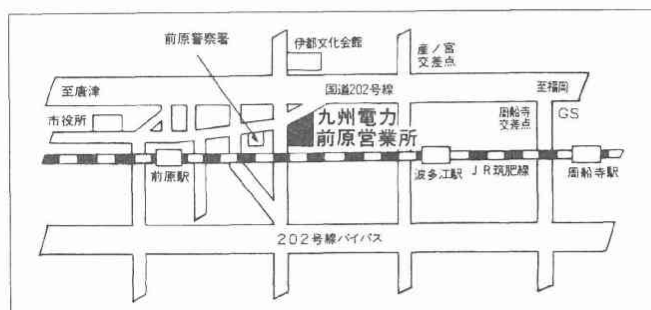
最後になりましたが、今回の訪問を快く迎えて下さった配電部柿本課長をはじめ、前原営業所の吉村課長、一つ一つ丁寧に説明して下さいました福井副長、皆様に心より厚くお礼申し上げます。



吉村課長、福井副長を囲んで

☆ご案内☆

九州電力株式会社 前原営業所
〒819-11 前原市大字前原97の1
電話：(092)322-2666



研究所のうごき

(平成9年4月1日～7月1日)

◇ 第48回理事会

日 時：6月20日(金) 12:00～13:25

場 所：経団連会館(9階) 901号室

議 題：

- 第一号議案 平成8年度事業報告および決算報告書(案)について
- 第二号議案 評議員の委嘱について
- 第三号議案 その他

◇ 月例研究会

第146回月例研究会

日 時：4月25日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題：

- 1. 電気事業審議会需給部会電力基本問題検討小委員会(中間報告)
(通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部 開発課 計画班長 山田知穂氏)
- 2. 平成9年度の電力長期計画について
(中央電力協議会 開発計画部長 松本博之氏)

第147回月例研究会

日 時：5月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 中ホール

議 題：

- 1. 電力負荷平準化について(需要家サイドからのアプローチ)
(横浜国立大学 工学部 電子情報工学科 教授 塚本修巳氏)
- 2. 電力の負荷平準化技術に関する検討状況—負荷集中制御システム実証試験について—
(主任研究員 土器勉)

第148回月例研究会

日 時：6月27日(金) 14:00～16:00

場 所：霞山会館9階 まつ・たけ

議 題：

- 1. 明らかとなった海洋底メタンハイドレートの実態
—国際深海掘削計画(ODP Leg 164)の成果—
(東京大学 大学院理学系研究科 地質学専攻 教授 松本良氏)
- 2. メタンハイドレートの開発可能性と将来性
—新しい技術開発分野としての可能性を探る—
(主管研究員 兼子弘)

◇ 主なできごと

- 5月7日(水)・第1回「原子力と情報」懇談会
- 8日(木)・M. Salbatores 氏セミナー
・第1回高温ガス炉プラント研究会
- 16日(金)・第1回 WE-NET 全体システム概念設計—安全対策・評価技術委員会
- 20日(火)・第10回原子炉安全数値解析高度化委員会
- 21日(水)・第1回 WE-NET 研究リーダー会議
- 28日(水)・第2回「原子力と情報」懇談会
- 6月6日(金)・第3回「原子力と情報」懇談会
- 18日(水)・第2回 WE-NET 研究リーダー会議
- 19日(木)・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査研究会
- 25日(水)・第4回「原子力と情報」懇談会
- 26日(木)・第1回石炭水添ガス化高度化調査分科会
・第1回自動車及び燃料評価委員会
- 30日(木)・第1回 WE-NET 革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会

◇ 人事異動

○6月27日付

(採用)

新 解 雅 也 プロジェクト試験研究部

主任研究員

(出向解除)

菅 敏 昭 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

○7月1日付

(採用)

田 中 賢 示 プロジェクト試験研究部
主任研究員

伊久美早利 プロジェクト試験研究部
主任研究員

川 本 忠 WE-NET センター
主任研究員

宇 野 英 樹 プロジェクト試験研究部
研究員

(出向解除)

土 器 勉 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

平 山 智 之 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

西 川 正 人 (プロジェクト試験研究部兼
WE-NET センター
主任研究員)

山 口 健 一 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

編集後記

本年12月京都で開催される COP3 を控え、デンバーサミット、国連環境特別会議など国際的な話し合いが続々と開催され、あらためて地球環境問題にたいする関心を強くされた方も多いと思われるが、同時に本問題の奥深さおよび各国取組の相違と調整案(議定書)合意迄の道のりの険しさが浮き彫りになってきている感じである。

巻頭言を寄せられた工業技術院佐藤壮郎院長は、前職に地質調査所長を務められ、地質調査の専門でもあられると伺っている。「壊された自然は地球の時間でしか修復されない」という一言は、まさに専門家としての思いが込められているのではなかろうか。

理事長対談は、石井威望慶応義塾大学教授にご登場頂いた。

「原子力と情報」懇談会が、本年5月、資源エネルギー庁の委託を得て当研究所を事務局として設立され、「近年進展の著しい情報関係技術を原子力分野へ応用し、その高度化の可能性と立地地域の長期的な発展基盤を確立する方策を検討する」との目的で開催されている。

同教授は、同懇談会の座長を務められておられ、同会開催を機に先生の普段思っておられるところを存分に語っていただこうと計画したものである。

通産省松永和夫課長の「気候変動問題への我が国の対応について」は、本年3月、当所の月例研究会で講演いただいたものである

が、COP3 を前にしての各国提案の背景と我が国の対応について関係者のみが知りうる裏面、問題点等が解説されており、本テーマの理解を深める意味で非常に参考になると考えられたので、12月を控え超多忙の中、最新状況を加筆していただいたものである。

もう一つの寄稿である機械技術研究所赤井誠研究調査官の「ISOにおけるLCA規格化の最新動向」は、エネルギー・環境関連技術の評価においてLCA分析の重要性が指摘され、ISO規格化が国際的に検討されているが、同検討に日本の委員の一人として参加されている同氏に、その狙い、最新動向を解説いただいたものである。

所内からは、土器勉元当所主任研究員の「電力の負荷平準化と省エネルギーを目指すDSMの国内外の動向」、山口健一元当所主任研究員と筆者との共同執筆による「米国における廃棄物発電の現況」を載せた。いずれも、政府の最近の重点施策「省エネルギーの推進」および「新エネルギーの導入」に対応する話題である。

本号の女性訪問記は、九州電力(株)の前原営業所における「負荷集中制御システム実証試験」関連施設を選んだ。電力供給側、需要側の一体となった本実証試験の要点が女性ならではの感性あふれる表現で判りやすく紹介されている。上述土器氏の報告とあわせて読まれると本テーマの理解を更に深めて頂けるものとする。

小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第20巻第2号

平成9年7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S Y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