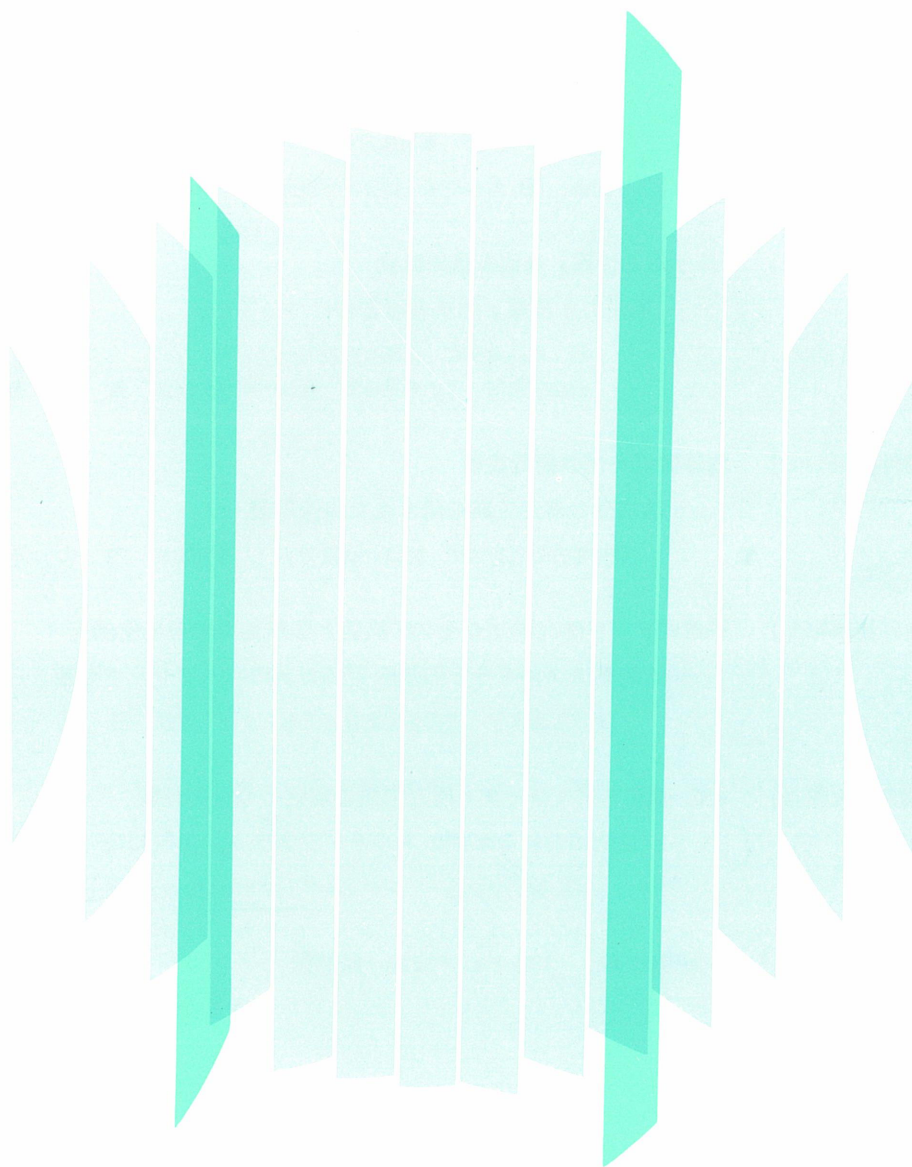


季報 エネルギー総合工学

Vol. 21 No. 2 1998. 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】	管見，日本のエネルギー (財)日本産業技術振興協会 副会長 等々力 達… 1
【座談会】	地球環境時代における「負荷平準化」を考える 通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部 電力技術課長 薦 田 康 久 横浜国立大学 工学部 教授 塚 本 修 巳 前 東京電力(株) 理事 営業部長 原 口 一 幸 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 稲 葉 裕 俊… 2
【関連施策紹介】	「原子力と情報」を巡る最新動向 ——「原子力と情報」懇談会報告書について—— 前 通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部 原子力発電課 新型炉開発企画官 荒 木 由季子…23
【内外技術紹介】	地球環境時代の発電技術 ——環境性と安定供給を踏まえた将来展望—— (財)電力中央研究所 経済社会研究所 上席研究員 内 山 洋 司…34
【内外技術紹介】	革新的ソーラ熱化学プロセスの概要と国際協力の可能性調査 ——太陽熱エネルギーと石炭・天然ガスのハイブリッド利用—— 東京工業大学 炭素循環素材研究センター 教授 玉 浦 裕…48
【調査研究報告】	WE-NETプロジェクト研究開発の現況と今後の展望 ——21世紀における水素エネルギーシステムの実現に向けて—— WE-NETセンター プロジェクトマネージャー 福 田 健 三…66
【訪問記】	沖縄電力(株) エネトピア宮古 訪問記 I A E女性研究員取材チーム…80
【研究所のうごき】	……………86
【編集後記】	……………88

巻頭言

管見, 日本のエネルギー

勸日本産業技術振興協会

副会長 等々力 達



1973年と1979年の2回の石油危機に見舞われて以来、幸いにも、世界のエネルギー需給に突発的な大変動は起らずに今日まで経過している。今後も暫く、このような状況が続くものとして、今後のわが国におけるエネルギーの供給について私見を述べる。

通産省のエネルギー統計(1996年)によると、日本の1次エネルギー総供給量は、原油換算で約6億klに達し第1次石油危機前(1972年)の1.6倍になった。この中、国内供給分(原子力を含む)18%を除く大量のエネルギーが輸入されている。今後も輸入を続けていくには、新産業を興し、国力を維持していかなねばならぬ。従って、エネルギー関連の研究開発を進めるとともに、民間産業における技術開発の育成を強力に進めることが重要である。

石炭・石油・天然ガスなどの化石エネルギーは総供給量の83%を占めており、技術開発により一層の利用効率の向上を図る必要がある。天然ガスの供給量は11%で過去24年間に15倍以上に増加したが、クリーンなエネルギーとして今後も供給を増すことが必要である。

原子力は総供給量の12.3%、総電力量の31%である。石油危機前には総供給量の1%にも達していなかったから、この間、わが国が如何にその開発に注力してきたかが分る。地球温暖化問題からCO₂排出がきびしく規制されるので、今後も原子力発電の開発は重要である。安全性の研究、放射性廃棄物の処理・管理などの技術開発は、原子力の利用技術以上に力を尽くさねばならぬ。国民の理解を得、社会的に原子力が受け入れてもらえるよう、最大の努力を傾けて行ふべきである。高速増殖炉の開発は急ぐ必要はない。

新エネルギーの供給量は石油危機前の2倍、総供給量の1.3%になった。太陽光発電も漸く実用化の段階に達したと思われるが、これを大規模に利用するには常温超電導の出現が前提となる。自然エネルギーは密度が薄いので、小規模・分散型で利用するのが効率的である。

地球環境の観点から、省資源・省エネルギーの啓蒙活動を一層推進し国民の意識を高めることが重要である。このため、不用不急と思われる消費に対しては規制を行うことが必要である。

地球環境時代における 「負荷平準化」を考える

薦 田 康 久 (通商産業省 資源エネルギー庁
公益事業部 電力技術課長)

塚 本 修 巳 (横浜国立大学 工学部 教授)

原 口 一 幸 (前 東京電力(株) 理事 営業部長*)

司 会 稲 葉 裕 俊 ((財)エネルギー総合工学研究所
専務理事)



はじめに—いまなぜ負荷平準化なのか

負荷率低下をもたらした

冷房需要と産業構造の変化

司 会 わが国の電気事業における年負荷率は、夏季冷房需要の増加や電力需要構造の変

化などから、年々低下傾向を辿っております。

このようななかで、電力負荷平準化に向けての取り組みが、このところにわかに強化されてきております。まず、その背景、意義、また、最近の政府、国の審議会の動きなどから紹介いただきたいと思います。

薦 田 年負荷率の状況からお話します。

年負荷率とは、一年間の最大需要電力に対

*：現職は、東京電力(株)常任監査役。

する平均電力需要の比率であり、電力需要の平準度を示す指標として用いられます。電力会社は、最大需要電力に備えて設備を設けますので、年負荷率は設備の稼働率になります。わが国の電力需要のピークは、図1にありますように、昭和43年（1968年）に冬から夏に移り、その後需要の季節間格差の拡大が進みました。また、当時70％ぐらいでした年負荷率は、以後いろいろの要因があって低下し、図2のように最近では約55％となっております。

その要因の一つは、冷房需要の急増です。エアコンの年間出荷台数は、最近、業務用パッケージエアコンが約80万台、家庭用ルーム

エアコンが約800万台に達し、夏季電力需要の尖鋭化を進めました。

もう一つは、サービス経済化の進展に伴い、事務所ビルや商店・百貨店などの業務用需要が増大したことです。業務部門は、一般に空調需要の占めるウエイトが高く、負荷率が低いのですが、総需要に対する割合が、昭和40年頃の5％程度が平成7年には20％まで増加したことも大きな要因になりました。

また、産業部門も、産業構造が昼夜間連続操業の素材型産業から、昼間操業の多い加工組立型産業へと移行が進み、こうした大口産業の構造変化が全体の電力負荷率の低下につながりました。

このような結果、現在の日負荷曲線を過去と比べますと、図3にありますように、需要の伸びが夜間に比べ昼間が大きくなっており、需要の昼夜間格差が拡大しております。

高コスト構造の中核的是正策

となった電力負荷率の改善

薦田 世界経済は、近年、グローバル化が進んで国際的大競争の時代を迎えており、日本

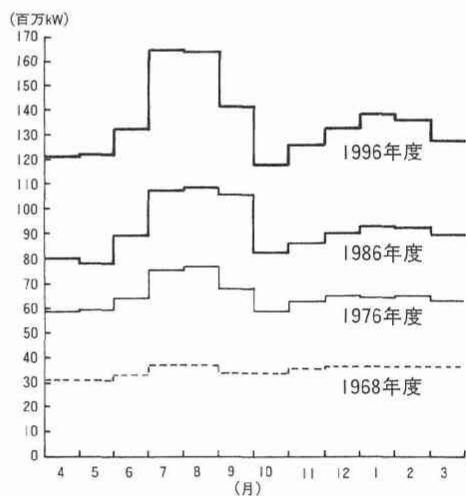


図1 月別最大電力の比較
(発受電端、最大3日平均)

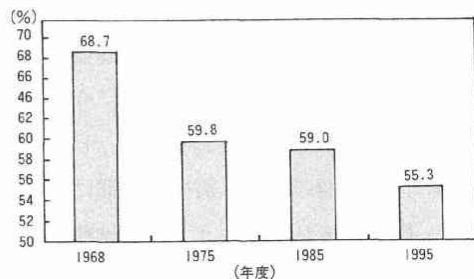


図2 年負荷率の推移

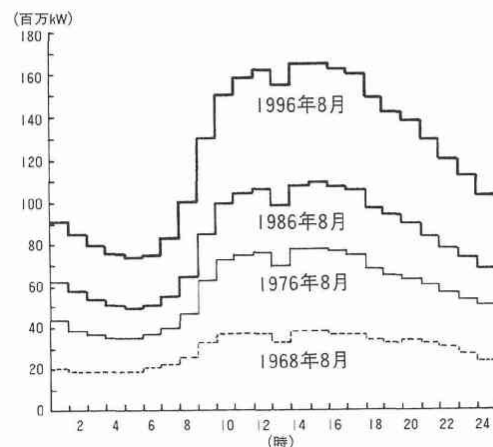


図3 日負荷曲線の比較
(発受電端、最大3日平均)

経済の高コスト構造の是正が叫ばれています。

そのような状況のなかで、平成9年5月、『経済構造の変革と創造のための行動計画』が閣議決定され、電気事業については平成13年（2001年）までに国際的に遜色のないコスト水準を目指すことになりました。負荷平準化はその中核的方策に位置づけられ、国家的課題として取り上げられました。

通産省は、このため電気事業審議会の中に基本政策部会を設置し、その下に電力負荷平準化対策検討小委員会（以下「負荷平準化小委」）を設けて、平成9年末まで、この問題の検討を行ってまいりました。

負荷平準化の方策

負荷率改善がもたらす3つの効果

供給コストの低減、安定供給の確保と

CO₂ 排出削減への寄与

薦田 負荷率改善、すなわち負荷平準化は、幾つかの方法があります。効果が大きいのは、図4にありますよう、一つは、電力負荷を夏季平日昼間などの需給のタイトな時期から、夜間、休日などの緩やかな時期に移行させる

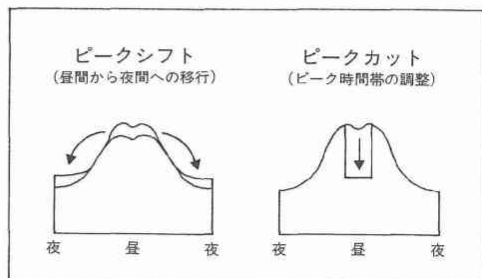


図4 電力負荷平準化の概念図

「電力ピークシフト」と呼ばれる方法です。

電気エネルギーは、現在の技術では貯蔵が困難ですが、例えば熱エネルギーにしますと貯蔵が容易です。需要の少ない夜間電力を利用して冷熱として蓄え、昼間の空調熱源として取り出せば、昼間電力の夜間移行が可能になります。

もう一つ大きいのが、需要のタイトな時期における電力負荷を削減する「電力ピークカット」と呼ばれている方法です。例えば夏季の冷房をガスクーラーに切り替える、あるいは太陽光発電の利用を拡大するなどの方法です。

このようにして電力負荷の平準化を進めると、その効果はピーク時供給のために建設される、利用率の低い発電所が不要となり、設備投資の低減が供給コストを引下げる効果を生みます。当方の試算によりますと、負荷率が1%改善されますと、電力10社の合計で約290万kWの供給設備の増設が不要となり、中長期的にはおよそその数字で供給コストの1%引き下げ、1,400億円の年経費、5,800億円の設備投資の削減をもたらします。

また、電力安定供給の面では、現在、電源立地に要する期間が長期化するなどの制約が顕在化しており、ピーク需要の低下に伴い新規の電源開発が不要となれば、そのまま電力安定供給への寄与になります。

さらに環境面では、昨年末の地球温暖化防止京都会議(COP3)の合意もあり、今後地球環境への対応が迫られております。ピークシフトにより昼間のピーク需要を夜間に移しますと、図5にありますよう、化石燃料による発電比率の低い夜間電力を使用するため、CO₂排出量が抑制できます。負荷率1%の改

善で、炭素換算で20万トンから30万トンのCO₂排出を抑制する効果があると試算されております。

これらより、負荷率改善は、わが国のエネルギー政策に欠かせぬ重要な課題であり、通産省の大きな施策の一つになっております。

負荷平準化の新しい一つの動き

——DSM

司会 ただいま負荷平準化方策の概要について紹介がありました。ここで、最近注目されているDSMの概要を塚本先生からお話いたします。

塚本 近年、電力負荷率の低下がある一方、最大需要電力が著しく増大してきました。負荷率や最大負荷の問題については、いままで供給責任を持つ電力会社が対応してきましたが、今後とも電力会社の方策のみに依存するのは困難と思われます。いま薦田課長が言われましたように環境問題その他の制約があり、新たな取り組みが必要と思うわけです。

そのなかで、電力会社側から需要家側に働きかけ、社会・需要家にも電力会社にも望ま



薦田 康久氏

(通商産業省 資源エネルギー庁)
(公益事業部 電力技術課長)

しいパターン・大きさ・品質の需要に誘導していく、デマンドサイド・マネージメント(DSM, Demand-side Management)と呼ばれる技術があります。これは、非常にポテンシャルがあり、ますます発展する可能性があると思っています。

需要家の電力需要をコントロールし、電力会社の好ましい負荷曲線に近づけるDSMは、広い意味で、環境保全とか発電所の立地問題に対する制約を緩和し、しかもピークカットを可能ならしめる点で、非常に興味ある技術です。

もう一つ、従来からの料金制度を用いた負荷管理に加えて、近年、技術進歩が著しい通信システムを使用して、一般需要家の負荷を直接あるいは間接に制御する新しい動きがあり、アメリカでは様々な試みがなされています。これが近年の特徴ある動向です。

まだある負荷平準化の方策——

ボトムアップと省エネルギー

司会 電力負荷平準化のパターンや方策につきまして、補足がありましたらお願いします。

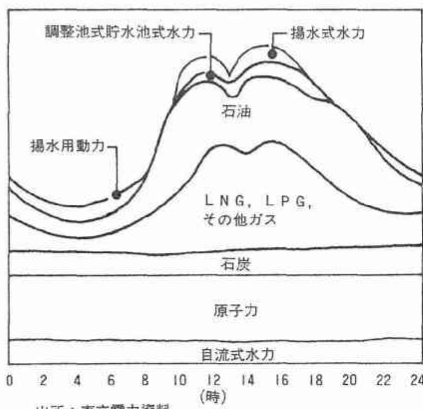


図5 1日の時間帯別発電構成

塚本 薦田課長から平準化方策について、「ピークシフト」「ピークカット」のお話がありましたが、このほかに「ボトムアップ」と「省エネルギー」があります。

図6に示しますが、「ボトムアップ」は需要がボトムになる夜間電力の使用を拡大するもので、後で述べますが、具体的には電気温水器、電気自動車を始めとする深夜稼働機器による電力の利用です。「ピークシフト」との相違は、日中のピーク時に限らず、需要者が必要とするときにいつでも貯えたエネルギーを利用できる点です。

もう一つの「省エネルギー」は、負荷を直接平準化するものではありませんが、使用機器の効率向上、ビル・住宅の省エネ性改善などにより、電力の消費を昼夜にかかわらず平均的に下げます。ピーク時需要電力の絶対値を低下させる点から、省エネが重要といえます。

供給側ピークシフトの中心策——

揚水発電

塚本 ピークシフトの方策には、供給側による対応策と需要家が行うものに二分されます。供給側によるピークシフトの中心は、揚水発電です。

揚水発電は、図7にありますよう、深夜の余剰電力を昼間の電力需要ピーク時に移して

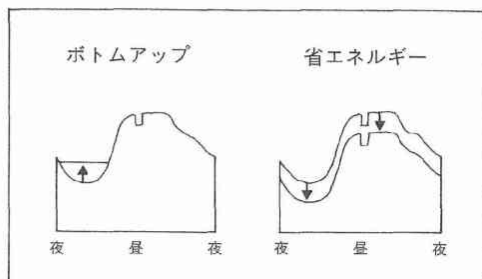


図6 電力負荷平準化の概念図(その2)

利用する発電方式で、主に地下につくられる発電所と、これをはさむ上下の2つの調整池からなります。昼間の電気需要の多いときには上部調整池から下部調整池に水を落として発電し、発電に使った水は下部調整池にためておきます。一方、電気の需要の少ない夜間に下部調整池から上部調整池に水をくみ上げ、ふたたび昼間の発電に使うというように、一定量の水を繰り返して使用するものです。技術的完成度、信頼性、経済性に優れ、現在、わが国の発電設備容量のうち、約11%を占めています。

このほかのエネルギー貯蔵技術には、ナトリウム・硫黄電池(NaS電池)、圧縮空気、フライホイール、超伝導マグネットなどが話題に上がっていますが、これらの新技術のほとんどは、すぐ大きな力を発揮するとは思えません。

やはり揚水発電が中心なのですが、建設適

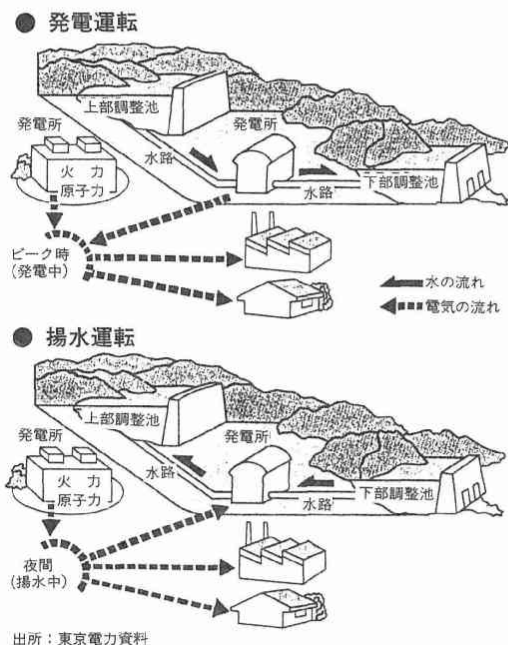


図7 揚水発電の原理

地確保の困難性、ダムや大型貯水池による環境破壊等の問題を抱えております。供給側からピークシフトを進めるのは厳しい制約があるのです。

選択枝の多い需要家側の平準化策

塚本 需要家によるピークシフト策には、最近「エコ・アイス」の名称で電力会社が売出している氷蓄熱式空調システムがあります。このシステムは、夜間電力を使って冷房時には氷、暖房時には温水を貯えて、空調に利用するものです。従来からの氷蓄熱式に比べて、水から氷への相変化（潜熱）を利用するので、同じ量の水でも蓄熱量が大きく、その分蓄熱槽の容量が小さくなり、設置されやすくなっています。詳細は後程話に出ると思いますが、平準化と環境対策の双方に優れた特性を持つものです。

次に、各家庭に置く分散型の電池が考えられます。太陽電池はもともと化石燃料の代替に開発が進められたものですが、ピークカットの働きもあり、モニター制度により1万戸に導入する計画になっています。建築会社では、これに電池を付けて無停電電源（UPS）の機能を兼ねることにより付加価値を付けることを考えています。そうしますと、これはピークシフトの役目も果たします。

それから、先ほど申しましたボトム需要の創出。既に電気温水器が非常に広く使用されています。将来のことですが、電気自動車が出てきますと、電池を夜間充電することによりボトムアップになります。電気自動車は別の面で興味があるのは、一般家庭に電池を持ち込む一つの大きなキーになりうることです。これは、一般家庭自身が電気の蓄積能力



塚本 修 巳 氏

（横浜国立大学 工学部 教授）

を持つことを意味しますので、多数台が入り、これをうまくマネージしますと、ピークシフト、さらには、太陽電池と組み合わせた新しい活用の可能性もありうるわけです。

前にも申しましたように、「省エネ」に関しましては、冷房や家の建て方の工夫などで、まだまだ改善の余地は相当あると思われます。例えば、オフィスの冷房の仕方も、パーテーションを置いて足元などの適当なところに吹き出し口を設けますと、大幅に消費電力が節減できて、相当の省エネが可能になります。

そういう意味で、需要家側からの平準化策は、将来的にはいろいろな選択枝があるということです。

これまでの需要調整のあゆみ

客先に操短依頼した水主火従時代

省エネに傾倒した石油危機以降

夏季ピーク対策が緊急課題の現在

司会 それでは、電力会社による負荷平準化

の取り組みに移りたいと思います。

電力会社の立場から、需要家との関係などからお話いただければと思います。

原口 需給の安定とともに料金の安定は、電気事業経営の最重点課題であります。負荷平準化は、需要と供給の間に存在するミスマッチを解消して、望ましい負荷曲線に向けて一歩前進することになりますので、電力会社には永遠の命題であり、積極的に進めております。

歴史的に見ますと、昭和20年代後半から料金制度に時間帯別契約が取り入れられました。当時は水主火従といいますが、水力主体の時代でした。豊水期には水が余り、渇水期には水が不足して、電力の供給は非常に不安定でした。そのため、渇水期には大口需要家には操業短縮をお願いして供給制限をし、豊水期にはフル操業していただくというように、毎日あるいは月ごとに連絡して、電力使用量の調整をしていただく、需給調整契約という制度がありました。

そのあと、大容量の火力発電を主体にして電源開発が進み、火主水従時代を迎えて供給力は安定してきました。

その後、石油危機の頃まで、私ども電力会社は、需要家の協力をいただき、ピーク時需要の抑制・平準化を中心にした需要調整を進めてまいりました。石油危機以降は、これに加えて、燃料消費量に直結する総発電電力量の低減も重要事項となり、「省エネルギー」とか、「エネルギーの効率使用」という考え方が重視されてきました。

一方、経済の成長に伴う需要増加のなかで、業務用、民生用の需要が急増しました。特に負荷率の悪い空調需要が増えて、昼夜間格差、

平日休日間格差、季節間格差が拡大し、いまは夏季ピーク時の需給調整が最大課題になったのです。

追風になった負荷平準化の推進

原口 最近では、昨年末の地球温暖化防止京都会議が契機となり、CO₂ 排出量削減、省エネルギー推進の必要性が従前にも増して叫ばれるようになりました。また、昨年末には、ほぼ時を同じくして、負荷平準化小委の中間報告が取りまとめられました。

電力会社は、これまでもお客様の協力をいただき負荷平準化を進めてまいりましたが、何せ一般の方々の考えは電力事業の固有問題という受け止められ方から出ませんでした。負荷平準化小委のあと、負荷平準化は、国民的な課題として認知されるようになりました。

あとでお話ししますが、蓄熱式空調システム一つにしましても、「蓄熱ってなに？」という水準から蓄熱システムに市民権が与えられたともいいうる状況になり、DSMや負荷平準化にも関心が向けられ、私ども供給側にとって大変な追風になったと思っています。

負荷平準化のための

料金制度・技術開発

負荷平準化に向けた

これまでの料金メニュー

司会 次に、負荷平準化に向けて電力会社、例えば東京電力が採られています料金制度、あるいは新しく出来上がりましたその他の制

度、さらには技術開発に触れていただきたいのですが。

原口 電力会社では、これまで、時間帯別の電気料金の差を設けたり、負荷調整に対する割引きを行うなど、価格インセンティブによる負荷平準化策を行ってまいりました。主なものが4つあり、私どもは4大DSMと名付けています。

1つは、鉄鋼業、化学工業などの大口の素材型産業向けの「時間帯別調整契約」。主としてピークとなる昼間時間帯における負荷の抑制や夜間への負荷移行の促進を目的とした契約で、夜間割引きした料金を時間帯別にきめ細く定めるとともに、年間に構成すべき夜間率、深夜夜率をあらかじめ契約しています。昼間のピークになる時間帯に、平均電力を5%か10%凹ませていただくもので、図8にありますイメージから俗にバンザイ型の負荷曲線といっています。夜間労働力確保の問題がありますが、昭和20年代後半から実施され、効果が挙げられている日本独特の制度といえます。

2つ目は、負荷調整の難しい加工組立型産業の大口需要家を対象にした「計画調整契約」。計画的に夏季の重負荷日に操業を休み、あるいは調整して、日曜日・盆休み等の軽負

荷日に操業を振り替えていただくものです。歴史的に申しますと、ある自動車会社さんと当社が協議し、需要が落ち込むお盆に工場を稼働していただく夏休み振り替え制度を昭和40年代前半につくりました。他の労働者の方と休日が違うことで、組合の問題にはなりましたが、平準化面ではかなり効果を挙げております。

3つ目が業務用ビルを中心にした「蓄熱調整契約」。従来進めてきたものは、セントラル空調方式向けのものでして、空調、給湯、冷水等の熱需要を対象とした契約です。蓄熱槽とヒートポンプまたは冷凍機等を組み合わせ、昼間に使用する冷温熱を夜間に移行してつくり、負荷率の改善を図る目的としたものです。この料金制度は昭和37年にできましたが、冷暖房両用で動き出したのは、昭和40年代半ばであります。

4つ目がボトムアップの制度でして、家庭用の電気温水器が中心ですが、北の地方では蓄熱暖房にも使用されます。「深夜電力制度」といい、電力負荷が低下する夜間時間の23時から翌朝7時までに蓄熱して昼間に使う利用者に、比較的低廉な料金で電気を供給する制度です。

これらが、伝統的に行われてきた、負荷平準化を目指す4つの料金制度です。

国家的課題になっている

氷蓄熱式空調システムの普及拡大

原口 技術開発に話を進めますと、負荷平準化小委の中間報告において国家的課題として取り組むことになりました蓄熱式空調システムとその蓄熱運転のイメージは、それぞれ図9、図10のとおりです。また、方式は適用建

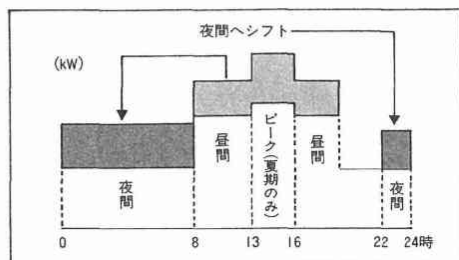


図8 時間帯別調整契約による電力シフト

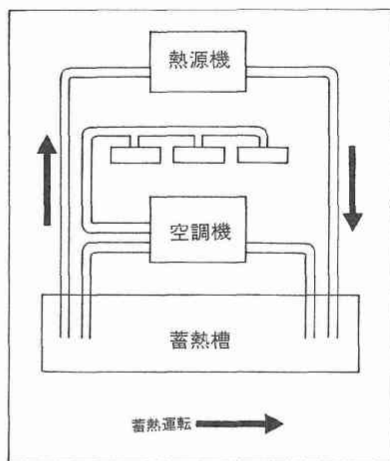
物の規模により、表1のようにセントラル空調方式と個別分散空調方式に二分されます。

設置されてる割合を冷凍機容量の合計で見ますと、全体の9割近くが個別分散型のパッケージ空調になります。

ということで、私どもがこの過半を占める分散型空調にメーカーとの共同開発を進め、出来上がったのが「エコ・アイス」と呼んでいる「氷蓄熱式空調システム」なのです。この方式の優れた点は、1つは氷を使用する蓄

● 夜 間

夜間は熱源機を運転して蓄熱槽に熱エネルギーを蓄えます。(冷房時は冷水・氷、暖房時は温水)



出所：東京電力資料

● 昼 間

昼間は蓄熱槽に蓄えられた熱エネルギーを放熱して空調します。また、必要に応じて熱源機の追いかけ運転をします。

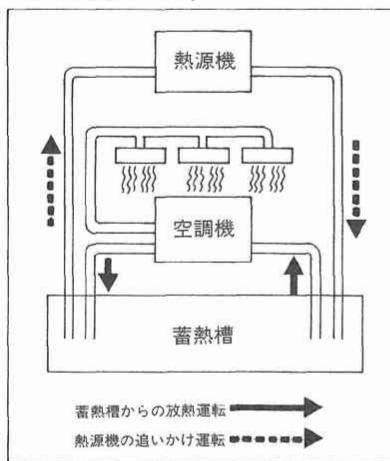
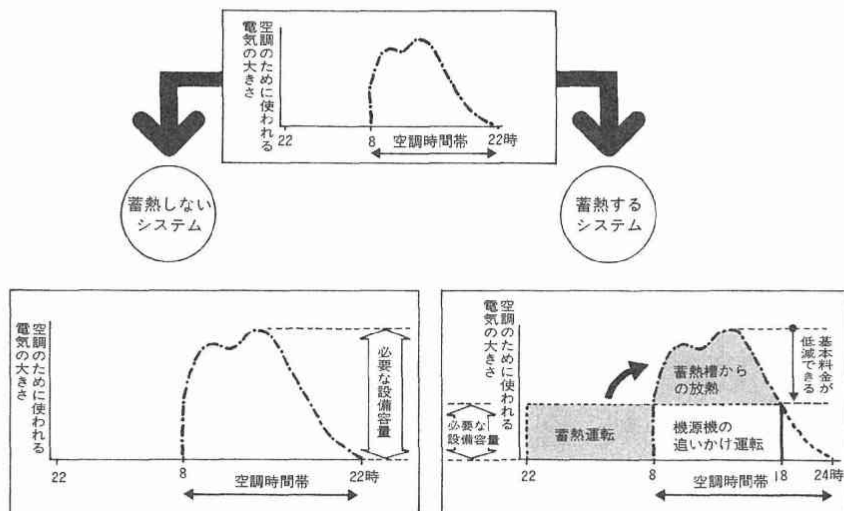


図9 蓄熱式空調システムのイメージ



出所：東京電力資料

図10 蓄熱式空調システムの蓄熱運転イメージ

熱槽がコンパクトになり、大きな設置スペースを要せず、機器の種類が豊富でどのような建物にも対応できることです。

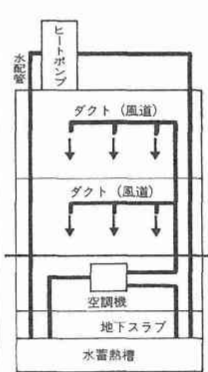
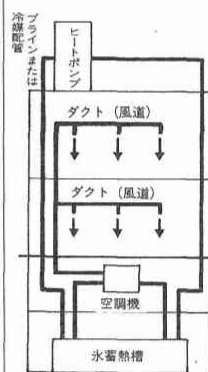
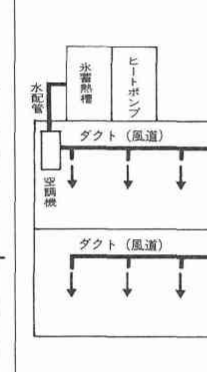
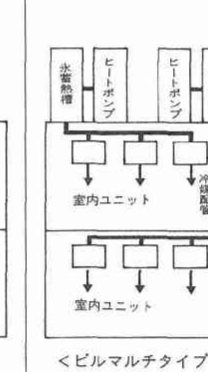
2つ目は、蓄熱運転が割安な夜間料金になりますので、ランニングコストが安くなります。ただ、現在の普及状況は、中規模建物に向けた10馬力以上のパッケージタイプでして、個別分散型空調のパッケージ容量では、3分の1というところなんです。今秋には、店舗・

事務所など小規模用途向けの5～10馬力の空調機が、「エコ・アイス・mini」という名称で市場投入される予定でして、これが出ますと、パッケージタイプの3分の2の分野で氷蓄熱空調システムが揃うことになります。

氷蓄熱式空調システムの普及促進のため、国、電力会社の双方が立ち上がりの支援を行っています。

国による補助金制度は、設置する氷蓄熱式

表1 蓄熱式空調システムの種類

分類	氷蓄熱システム	エコ・アイス（氷蓄熱）		
		現場築造タイプ	ユニットタイプ	ビルマルチタイプ パッケージタイプ
	セントラル空調			個別分散空調
システムイメージ				
適用建物規模	大 中 規 模			中小規模
特 長	1. 地下の二重スラブ空間を氷蓄熱槽として利用。 2. 蓄熱槽の水は火災時の消防用水、災害時の生活用水に活用可能。	1. 地下の二重スラブ空間を氷蓄熱槽として利用。 2. 氷蓄熱に比べて槽容積の縮小が可能。	1. 熱源機・氷蓄熱槽をユニット化。 2. 地下の二重スラブが無くても設置可能。	1. ビルマルチエアコン・パッケージエアコンと氷蓄熱槽をユニット化。 2. 空調設備のリニューアルにも容易に対応。 3. 小規模用途向けにエコ・アイスminiも登場（平成10年10月発売予定）

出所：東京電力資料



原 口 一 幸 氏

(前 東京電力(株) 理事 営業部長)

空調システムと同等の空調能力を有する非蓄熱式空調システムとの設置費差額の2分の1相当をユーザへ補助金として助成するというものです。

氷蓄熱式の小型のものは、従来の非蓄熱式に比べ価格が割高です。それは、蓄熱装置を余分に備える必要があることにもよりますが、やはり市場に出ている数が少いことにもよります。普及を拡大してコストダウンにつなげるという趣旨により、10馬力未満の「エコ・アイス・mini」および10馬力以上の「エコ・アイス」でピークシフト率40%以上のものは、国による補助金制度の対象に挙げられています。また、低利融資を受けられる制度として、国による利子補給制度があります。

電力会社からの支援には、機器の製造・販売メーカーに対する普及奨励金制度があり、会社によって違いますが、ピークシフトのキロワット当たりの補助金は、3万円ないし5万円、期間は5年ということでスタートしております。

普及が進む蓄熱式自動販売機

原口 一般の方々によく知られているのが

「エコ・ベンダー」と呼ばれている蓄熱式自動販売機です。

自動販売機には屋外設置のものが多く、夏のピーク時需要を押し上げる一因となっています。何とか1時から4時までの時間帯に電力カットできないものかということで、メーカーと共同開発したものでして、これが「エコ・ベンダー」の標準タイプになっています。

メーカー側が自販機の断熱材強化を、私どもは温度制御の研究開発を分担しました。保冷温度を確かめるため、メーカーの方がお腹が膨れるほどの試飲をされた末、どうやら合格になり、現在、全国200万台ある自販機のうち、30万台ほど普及しています。

建物の床コンクリートを利用する

躯体蓄熱空調システム

原口 これは、建設会社が開発を進めているシステムです。図11がシステムの概要でして、夜間は、空気を通す中空部分を設けた建物の床コンクリートの中に、空調機より冷気を送ってコンクリートの躯体を冷やします。昼はその冷却熱を利用して効率のよい空調を実現するシステムでして、「躯体蓄熱システム」と呼んでいます。

既に、このシステムを採用したビルが建てられており、水・氷蓄熱の空調システムと併用すれば、ピークカット、ピークシフト率に数10%の効果が期待できるとの報告も出ています。建築会社からは料金制度上の優遇策が求められています。

設計から運転管理まで

一貫して支援する蓄熱受託制度

原口 この蓄熱受託制度というのは、セント

ラル方式の蓄熱式空調システムの普及を電力会社が支援するものでして、一部の会社ではすでにスタートしており、ほかの会社でも実施される見通しになっています。

「蓄熱式空調システムは高級一眼レフじゃないか。もう少し簡単にできないか」とお客からも、また委員会の席でもよく言われます。それではと、この空調システムのノウハウを持つ私ども電力会社が利用者に最適なシステムを提案し、利用者に代って熱源側設備の設計・施行から運転・メンテナンスまですべてやりましょうということでスタートした制度でして、ここには私どもがいままで蓄積した経験が生かされています。また、この制度では電力会社が初期投資を負担し、利用者には運転経費と合わせて月賦で支払っていただく方式です。

今後、かなり普及するものと期待されています。

蓄熱式空調システムがもたらす 社会的メリット

優れた省エネルギー性に都市防災機能も

原口 蓄熱式空調システムは、これまでの話に出ましたように、利用者に経費の節減、電力会社に負荷率の向上をもたらしますが、社会的にも大きなメリットがあり、われわれは一言で「三方一両得」と申しております。

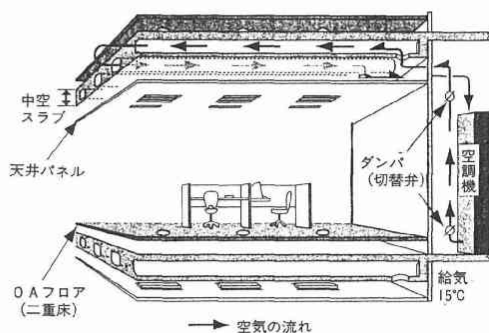
社会的メリットの1つは、熱源機の定格運転による省エネルギーです。

蓄熱式空調システムは、以前は、蓄熱することによるロスがあり、エネルギー損失につながると言われていましたが、よくよく測ってみますと、蓄熱によりかなりのメリットが出るわかりました。

空調システムの負荷率とは、1時間の最大負荷に対する年平均負荷の比率ですが、幕張とか箱崎の地域冷暖房システムでの熱供給データをみますと、空調の負荷率は20%から30

<蓄熱運転(夜間)>

中空スラブの中空部分に空調機より冷気を送り、コンクリート躯体を冷やす。



出所：大成建設資料

<放熱運転(昼間)>

室内より回収された空気(レタン空気)を、中空スラブ内を経由させ、冷やして空調機へ還す。

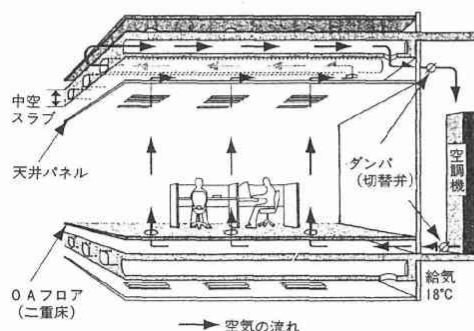


図11 躯体蓄熱空調システムの概要(床吹出方式)

%というところですが。これを熱源機器の側から見ますと、部分負荷の状態での運転が多いことになります。自動車にしますと、定格走行といいますが、60キロ走行に対して、町中の渋滞走行で燃費が低下するのと同じ状況です。

蓄熱式の場合には、熱源機器を100%の負荷率で必要な時間だけ運転すればよいことになります。蓄熱式でいちばん省エネルギー性が出るのは、熱源機器の100%負荷時における高効率の運転でして、図12にありますよう、約30%の効率向上になります。さらに、外気の温度が低い夜間に蓄熱しますから、昼間と比べてヒートポンプの冷却能力は図13のように、約10%も向上します。

また、電力会社側にしますと、夜間電力を使用した蓄熱ですので、その電力は同じ火力発電を使うにしても昼間のピークロード向け発電所より効率が高いベースロードの発電所が発電したものになります。さらには、夜間

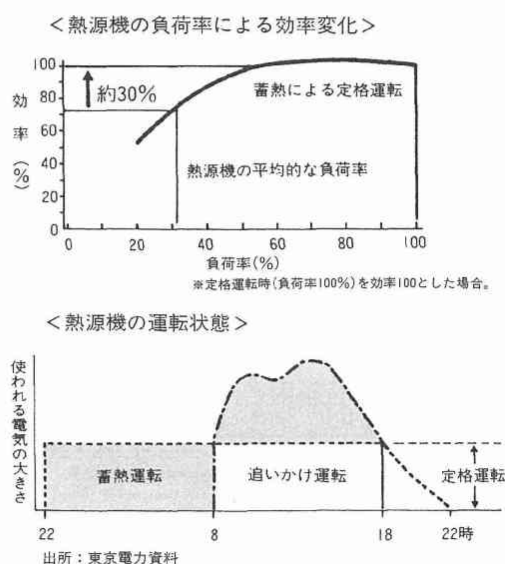


図12 蓄熱により熱源機に可能な高効率運転

のほうが負荷が小さいことから、送電損失も減少しますし、なおかつ、蓄熱システムは需要地にあります。これらより、「蓄熱システムは省エネルギーな都市型の揚水発電所」ともいわれております。

さらに、水蓄熱槽は都市防災機能があり、災害発生時の消火用水や生活用水に利用が可能です。神戸・淡路の大震災の経験より、コミュニティタンクとしての活用を関西電力から提案し、神戸市や兵庫県の復興計画に採用されました。消防庁からも、全国都道府県に対し積極的使用の通達が出されております。

負荷平準化・省エネが進むその他機器

こちらも普及拡大が望まれるガス冷房

司会 これまで、負荷平準化に対する電力会社の取り組みについて伺いました。ここで電力会社以外の取り組みについて、例えばガス事業の係わり、あるいは高効率の省エネ機器の開発についてお願いいたします。

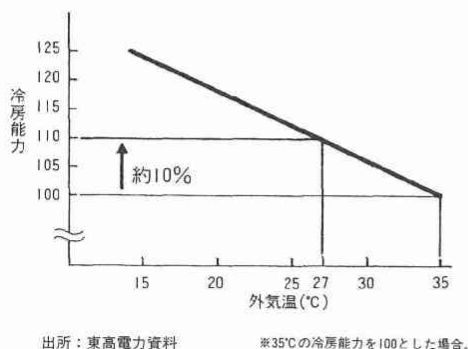


図13 空気熱源ヒートポンプの冷房能力変化例

薦田 都市ガスの需要にも季節格差があり、大まかに言って夏がボトム、冬がピークになります。ガスを用いて冷房を行うガス冷房は、夏季の電力ピーク需要の増大・尖鋭化の要因となっている冷房需要をガスに移行させる効果があり、図14のように、電力負荷平準化に役立ちます。負荷平準化小委の中間報告においても、蓄熱式空調システムとともに、その普及拡大に向けた取り組みの強化が謳われているゆえんです。

ガス冷房システムは、図15のように用途・規模に応じていろいろの型があります。大規模向けの吸収型は、CO₂ 排出量が少く環境面で優れており、今後に期待が持てます。中小規模向けのガス・ヒートポンプ型は、電気冷房に比べ運転費は安いのですが、コンパクトさと設置のフレキシビリティとの面でやや劣ります。

ガス・電気の競争面での実態を申しますと、ビルや地域冷暖房のような大型のケースでは、両者はほぼ互格といわれています。ところが、小型になりますと、構成機器、特にコンプレッサーの開発力に差が出てきます。何しろ電気空調は年間800万台の市場があるのに対して、ガス冷房は目標が1万台とか2万台というレベルですから、一生懸命やっているのは事実ですが、この差を詰めるのは大変です。

先ほど原口さんから蓄熱式空調システムの優れた点を言われましたが、全ての建物に設置できるわけでもありません。国としましては、イーブンの戦いをしている大型システムでは、両方が競争下でそれぞれの適したところに普及が伸びるよう環境整備を進めたいと考えています。

後から話をしますが、蓄熱式空調にもガス冷房にも同じような補助や税制上の恩典を与えております。ただし、技術開発については、市場の伸びが遅れているガス冷房の小型化に、国から補助金の形による援助を行っているところです。

省エネ開発が進む家庭用・業務用機器

司会 続いて、高効率の省エネ機器の開発についてお願いします。

原口 まず家庭用から始めます。

一つがジャーボット。これまでのものは、沸かしたお湯を100度に保つのが一般で、なおかつ、断熱材は殆ど入っていません。ですから、沸かした後も電熱を続けているも同然です。そこで、メーカーとの共同開発を行いました。断熱材を強化し、なおかつ、お茶を入れるには70度ぐらいでいいはずですので、保温温度を80度に下げました。そんなことで、電力消費が30%節減になるものをいまつくっています。

次に冷蔵ショーケース。庫内温度を1度上げる、あるいは照明を少々下げることにより、電力消費を12%落としたケースもあります。

最近出ましたのが、温水便器。ウォシュレットの使用は非常に快適なのですが、あれもメーカーとの共同開発により温水タンクの保温材を増し、設定温度を少し下げて、電力消費を40数%セーブしました。

家庭用のクーラーにも、「電気代が半分になります」と言って売っている、大変効率のいいのが出てきています。数量的にはまだ全数800万台の2割程度ですが、外国製品にはそういうものは見当たりません。

ですから、今度の省エネ法で定められたト

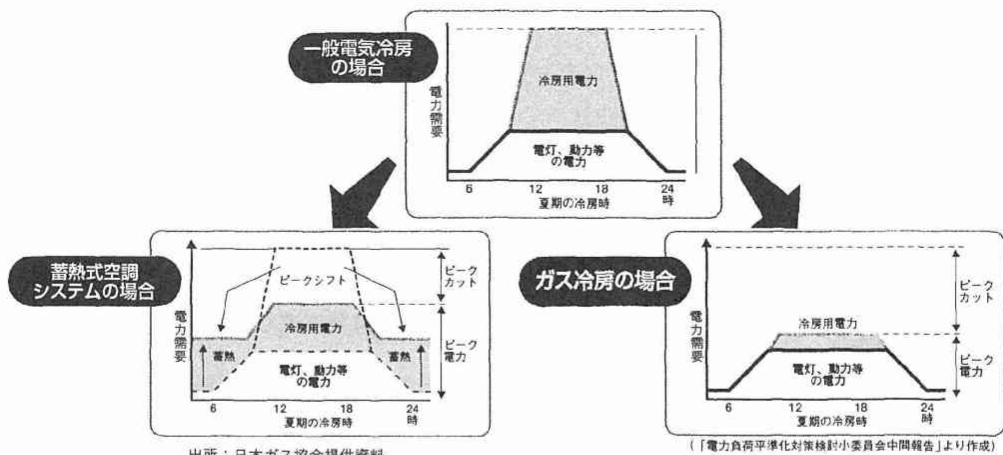


図14 ガス冷房の電力負荷平準化への寄与（イメージ図）

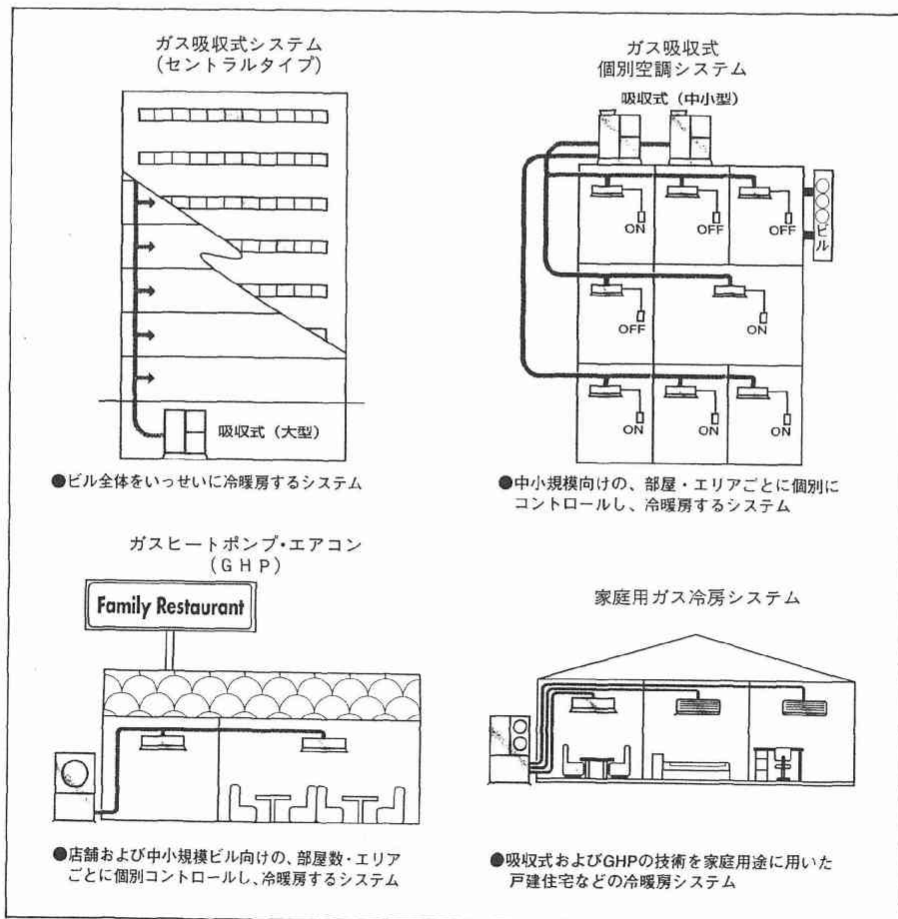


図15 ガス冷房システムのバリエーション

ップランナー方式の適用によっては、かなり消費電力が落ちると思われます。家庭用のクーラーが増加しても、電力消費量は低減する可能性を秘めており、ここらはぜひ実現していただきたいと思っています。

業務用のパッケージ・クーラーも、5馬力、4馬力程度のところは、一部の会社の製品ですけれども、最近電気料金が4割から6割削減、冷房効率を示す成績係数（COP）ではおよそ倍ぐらいのものになっております。

以前のクーラーは、部分負荷の状態での効率が悪く、それが使用時全体の効率を落としていたところに着目してインバータを入れ、部分負荷時の効率がいい空調システムにしております。

省エネ法の適用により、これらの普及拡大が進めば、電力会社としては大変ありがたいと思っています。

産業用モータには、「高効率型モータ」というものがあります。

これは、銅損、鉄損、材料損などの損失を設計や材質の改良により低減し、標準モータに比べて1～6％程度の効率向上を行っております。モータに使われる電力は、平均的な工場で消費される電力量の約70％を占めていますので、この高効率型モータの省エネルギー効果は大きなものになります。

すでに高効率型モータは、工場やビルで長時間連続運転されるファン、ポンプ、コンプレッサなどで使用されています。

普及率は、米国では生産販売されているモータの約50％に達していますが、日本の場合はわずか1、2％の程度にすぎません。普及を妨げる要因は設置コストが標準型に比べて約30％高いことで、このため、私どもは運転

経費節約によるコスト差の回収年数を導入手順書の中で示しております。例えば、5.5kWのモータを1日8時間、年間300日稼働させた場合、3年間でコスト増分の回収が可能になります。

高効率モータの採用による日本全体の省エネ可能量は約120万kW、年間約40億kWhとの試算もあります。普及のカギは、省エネ意識の問題ですが、その環境づくりには民間企業の取り組みに加えて、米国のように政府からの支援もお願いしたいところです。

負荷平準化へ向けた国の施策

4 本柱からなる負荷平準化の施策

司会 次に、電力負荷平準化への国の施策について紹介いただきたいと思います

薦田 先般の負荷平準化小委の中間報告には、電力負荷平準化対策の強化として、4つの基本的方向を打ち出しております。

電力会社での取り組みについては、先ほど原口さんから話があり重複する部分も出ますが、以下に内容を説明します。

1つが、「蓄熱式空調システム・ガス冷房の一層の普及・拡大」であります。

具体的には電力会社・ガス会社が進めていきます支援に加えて、新たな政府補助金制度の導入です。

また、蓄熱式空調システムは、冷媒に高压フロンガスを使用するため、高压ガス保安法の規制を受け、これが普及阻害の一因でありました。これについては、既に行われた合理化・緩和措置に続いて、同規制の見直しの継



稲葉 裕俊 氏

(財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

続が重要であるとしています。

このほか、蓄熱式空調システムの官公庁建築物への卒先の導入を図るため、基準類改訂の検討、法制度の見直しを進めることにしています。

2つ目は、「負荷移行促進のための電気料金制度の充実」です。今後一層の負荷平準化を進めていくため、現在の料金制度拡充の見直しを進めることにしています。

一例を挙げますと、ピークシフトのインセンティブとして現行の深夜料金の格差とその適用の対象をさらに拡大するなどの方策による、料金制度の活用です。

3つ目が「国民的な理解を得るための活動の強化」です。中間報告の中では、負荷平準化は、経済の高コスト構造の是正、国際競争力の向上、国民生活の向上に資するものであり、国民的理解の下に強力に進めなければならないものであること、国民一人一人の取り組みにより大きな効果が期待できることから、その意義について広く国民にわかりやすい形で訴えかけることが必要であるとしています。

これに対して、これまでの(財)ヒートポンプ技術開発センターを、平成9年7月、(財)ヒートポンプ・蓄熱センターと改組し、従来からのヒートポンプに関する技術開発に加え、蓄熱技術の発展、蓄熱システムの社会への啓蒙、普及促進を図るためのナショナルセンターとしての機能を持たせることにしております。

4つ目が「技術開発への取組み強化」です。これは塚本先生から紹介されると思っておりますが、今後の中長期的課題として、直接・間接の負荷制御技術、蓄電池の開発などがあります。この面でも、国としてやるべきものは、今後さらにその拡大をしていきたいと考えております。

料金格差の効果を把握できた

間接負荷制御の実証試験

司会 いま最後にふれられた4番目の技術開発に関しては、国のプロジェクトとして、負荷集中制御システム確立実証試験が実施されており、私どもの研究所も新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)から委託を受け、これに関与させていただいております。塚本先生にはプロジェクトの推進に当たりいろいろご指導いただいておりますが、プロジェクトの意義、成果について紹介いただきたいと思います。

塚本 若干繰り返しますが、近年、日本では夏季ピーク時の電力需要は尖鋭化し、これに必要な電力を供給するため、電力会社は年間数日しか稼働しない設備をつくっています。立地はますます厳しく、供給側だけによる対応は困難度を増しているのが実情です。

このような状況にあり、需要家側にも電気の使い方を調整して協力してもらおうというのがDSMです。司会者からお話のありました実証試験では、電力会社から電力の使用状況、料金等の情報を需要家宅に提供し、需要家自ら電力の使い方を工夫してもらう間接負荷制御の試験と、需要家の空調器、温水器などを電力会社から遠隔操作で制御する直接負荷制御の試験を実施しました。

DSMを進める上では、料金問題は欠かせぬ要素であり、負荷の多寡の状況に応じて料金格差を設けるのが一策です。一例ですと、フランスでは料金制度による負荷制御にいち早く取り組んでおり、ピーク時の料金を一番安いときの約10倍に設定しています。

今回の間接負荷制御試験では、項目の一つとして料金格差に対する一般家庭の感度を把握するため、ピーク時料金を平常時の2倍と4倍にした2ケースで電力使用量の変化を調べました。その結果、4倍の場合にはかなりの節減が見られ、やはり消費者の行動に料金インセンティブが働くことが実証され、定量的に把握できたのは意義あることと思います。

一方、今後に残る課題としては、一般家庭への普及を考えた場合、このようなインセンティブが長続きするかの問題があります。

もう一つの不安は、ほんとに暑い日がきたとき、料金制度では抑えられず、値段にはもう関係ないとみんなが使いだし始め、ピークをますます先鋭化させる可能性がなきにしも非ずという点があります。この2点に課題は残りましたが、料金インセンティブが定量的に把握はできたのは、間接制御の今後の展開に役立つものと思います。

興味ある結果が得られた

クーラーのオン・オフ直接制御試験

塚本 次に、直接負荷制御試験で行ったクーラー電力のピーク制御について紹介します。

クーラーの制御方法は、給電地域をグループに分割し、電力会社の制御センターから稼働中のクーラーを間欠的にオン・オフする方法です。グループごとのオン・オフを図16のようにずらすことで、全体の最大負荷の抑制を行うものです。

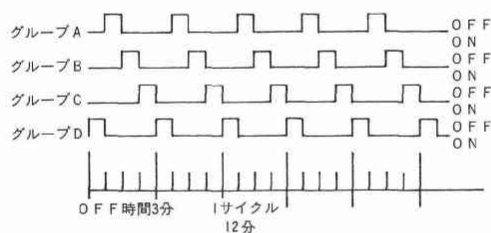


図16 オン・オフ制御の考え方

試験の結果から、一般需要家は、給電の停止で、ちょっと暑くなったなと思って、0.5℃程度の室温上昇で再び通電されれば、このような直接制御をキャンセルする率は、あまり多くないということが出ました。ピークが厳しい状態になってきたとき、輪番制でクーラー給電を切る直接制御に対してある程度の見通しが得られ、面白い結果が出たと思っています。

欧米におけるDSMの動向

市場競争のなか停滞模様のアメリカ

司会 次に、欧米の負荷平準化について紹介

いただければと思います。

薦田 海外における電力負荷率の状況をみますと、ヨーロッパは70%前後、アメリカが60%ぐらい、日本が55%でして、ヨーロッパはいまでも極めて高い水準にあります。

これは気候に相違があり、冬季に寒さが厳しく暖房用負荷が高いことが負荷率の数字に大きく影響している面があると思いますが、ただ、日本と気候の近いアメリカでも日本より高い水準にあります。

これは、先ほど塚本先生からお話がありましたように、アメリカでは、電力コストの低減には設備投資費の削減が非常に大きなウエイトを占めることから、電力会社はいろいろなバリエーションのDSMをやってきたことにもよると思います。

ただ、最近では、一つは設備自体に余裕が見られ、電力会社は電源設備新設の緊急性が遠のくなかで、DSMに対する意欲も減退気味といえます。

もう一つは、いまアメリカの電気事業者は激しい市場競争の真っ只中にあり、利潤の追求に懸命です。短期的には利潤に直結しないDSMへの熱意が冷めてきているのも実情と思っています。

一部地域では輪番停電の実施も

塚本 アメリカは、DSMでは世界に先行した面があります。電力会社の進め方が一方的なところがあり驚いたのですが、電力不足が深刻化しているアメリカの一部地域では、需給逼迫時にすべての消費者への給電を、できる限り同じ時間と回数で遮断する輪番停電も実施していることです。遮断料金は月間数ドルから10ドル足らずのインセンティブです

が、夏のピーク時に、午後1時から4時とか5時の間で3、4時間バツサリ切っちゃうんですね。そうすると暑さにならず、みんなそれに合わせてどこかへ出掛けるというんです。

彼らは結構裕福な生活をしているのですが、5ドルとか10ドル電気代を節約できるなら受入れるという、電気に対する日本人と違ったコスト感覚があって、面白いと思いました。

それが直ちにアメリカの60%の負荷率というわけではないんでしょうが。

まとめ――

21世紀に向けての負荷平準化の進め方

何より大切な

負荷平準化への国民的理解

司会 負荷平準化小委の中間報告では、2010年までに約1,700万kWの電力負荷改善目標を挙げています。そこで最後に、21世紀に向けての負荷平準化のあり方とか将来像を、幅広く、感想なども含めてコメントいただければと思います。

薦田 負荷平準化小委が挙げている2010年までの改善目標は、表2のとおりです。

原口さんから紹介された蓄熱式自販機の100万kW、省電力エアコンの350万kW、その他の積み重ねで約1,700万kW、改善効果にして約4.2%ということです。これをやりますとアメリカ並みの負荷率60%になりますが、内訳は、どの項目を取っても極めて厳しい目標値です。わが国の実状としては、負荷率低下

の食い止めだけでも容易でないことをまず認識する必要があります。

負荷率を4%押し上げるのは、国、電力会社とも相当の努力が必要ですが、それに加えて国民の皆様がわが国のエネルギー事情、そのなかにおける負荷平準化の意義を理解していただくことが何より大切と思っています。

表2 負荷率改善目標（潜在量）

単位：万kW

項 目	目標値
蓄熱調整契約	742
計画調整契約	176
蓄熱式自販機	100
蓄熱式冷凍冷蔵ショーケース	86
省電力エアコン	350
ガス冷房	242
合 計	1,696

料金制度と新技術の組み合わせで

司会 塚本先生から将来の技術の話も含めていかがでしょうか。

塚本 技術といっても即効性のあるものはなかなかありません。先ほど一寸申しましたが、ピークセービングに、無線を使った負荷直接制御と料金制度とをうまく組み合わせれば将来性があるかと思っています。

例えば、ポケベルに使われているFMのサイドバンドはまだ結構余裕があるようです。それをうまく使って、地域別にクーラーを輪番的に止める。小さなFM受信機は数千円です。それをうまく取りつけて、信号が来たらエアコンを休止することにしますと、何十万kWかの節減が可能となります。そのよ

うな新しい試みをトライしてはと思います。

原口 ほんとにエネルギー不足になれば、輪番的に止めるのも一つの考えだと思います。

この方法は、クーラーによる冷房の効用は給電を止めても変わらないと考えるのか、若干の低下があっても許容されるという前提で考えるのかで、ちょっと違うと思います。いずれにせよ、効用の低下があっても蓄熱槽があれば給電をストップしても大丈夫ですので、これらをセットにした負荷制御にすればよいかと思っています。

私ども、配電線を使った制御を昭和40年代にかなり実験しました。実のところ、当時の実験ではノイズなども入り、また自動検針、負荷制御、電圧測定、負荷管理など、いろいろ絡めてもコスト的にも成り立ちませんでした。

ただ、電源立地が厳しくなるなど条件が変われば、給電線とか通信システムを使った制御の制度を、今後は考えるべきかもしれません。

直接制御ですと、現在のところ大口の産業用、業務用から始めるのかなと思っています。

家庭用の場合には、オートメーション装置を取り付けたシステムのほうが、むしろコスト的には割安ですし、実現性があるかと考えてます。

塚本 一つだけじゃなくて組み合わせていくということですね。

今後に期待される電力負荷制御のイメージは、図17になります。

蓄電池技術への取り組みも

原口 もう一つ申しますと、私どもも、従来からナトリウム・硫黄（NAS）電池のような電力貯蔵用電池の技術開発を進めてまいりま

したが、ここへきて、条件が大きく変化してきたと見ています。

と申しますのは、電気自動車一つを取り上げても、昔は鉛電池を使用しましたので、コスト、耐用年数、メンテナンスのいずれにも問題がありましたが、カリフォルニア州の環境規制に対応するため、自動車会社が本気で開発を進めている電気自動車は、過去のものとは格段に違います。

これを見ましても、蓄電池の技術を使った機器が空調の分野にも入ってくると思います。

現実には、先ほど開発が遅れていると申しました5馬力以下の小型のものを対象に開発を始めている会社があります。氷蓄熱方式よりも小さくて、蓄電池の効率が8割ぐらいでできますと、小型の分野は蓄電エアコンもいいかもしれません。

電池のコストが下り耐用年数がある程度も

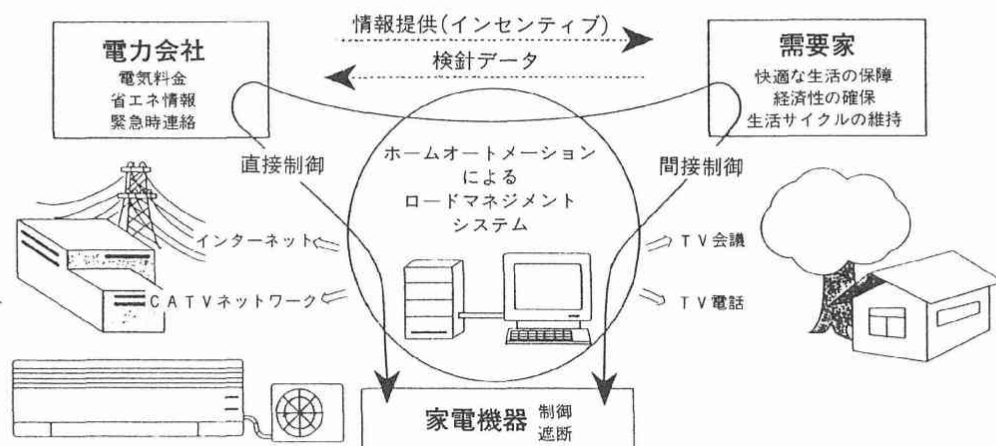
ちますと、小規模の空調では氷蓄熱方式と蓄電池方式の住み分けが出てくる可能性があるとの見方をしているメーカーもあります。

そうしますと、電気の空調システムではラインアップが全部揃うことになります。また、太陽光発電との組み合わせを含めると、家庭用電池の可能性がかなり膨らむ気がします。

司会 最後に、技術開発が電力負荷平準化の推進に一つの大きなファクターというお話になりました。

先ほど薦田課長がおっしゃったように、電力負荷平準化問題は、電力会社を始めとし、ガス会社、メーカーに加えて、国民一人ひとりが積極的に取り組むことが解決に向けての最大のポイントとの思いを強めました。

きょうは、分かりやすい話を存分にさせていただき、長時間にわたりどうもありがとうございました。



出所：N E D O、「BEST MIX」Vol. 28

図17 電力負荷制御実用化のイメージ図

〔関連施策紹介〕

「原子力と情報」を巡る最新動向

—「原子力と情報」懇談会報告書について—

荒木 由季子 (前 通商産業省 資源エネルギー庁
公益事業部 原子力発電課 新型炉開発企画官)



はじめに

原子力発電は、これまで、常に新たな先端技術を積極的に取り込みつつ発展してきた。しかし、近年は、発展著しい情報通信技術を十分活用できないまま、相対的に保守化しつつあるように思われる。

一方、国民の原子力に対する不安感や不信感の増大、原子力発電の新規立地の停滞等の閉塞感を打破し、原子力発電の将来を切り開いていくためには、急激な技術革新をとげつつある情報通信技術の積極的な活用は、大きな可能性を秘めている。

原子力発電については、安全性・信頼性の一層の向上、安全規制体制の高度化や情報公開による国民の信頼回復を図るとともに、電力コスト低減の一環としてさらなる経済性の向上が不可欠となっている。

他方、原子力発電所が、立地地域を始めとする社会全体と真に共生していくためには、原子力発電所と立地地域・国民とのより緊密なコミュニケーションを確立するとともに、原子力発電所の立地が、地域社会の長期的・自立的発展に大きく寄与することが求められている。

このような観点から、原子力発電に関する種々の課題解決に、情報通信技術をいかに戦略的に活用していくべきかを検討するため、慶應義塾大学石井威望教授を座長とする「原子力と情報」懇談会を設置し、平成9年5月から平成10年3月まで5回にわたる検討を行い、具体的な提言をとりまとめていただいた。以下にその概要を紹介する。

1. 原子力と情報を巡る環境変化

原子力発電所が立地地域を始めとする社会と共生するためには、情報通信技術を活用した原子力発電の透明性確保による信頼性、安心感の向上が不可欠である。また、原子力立地地域が、原子力発電所と共生しながら、長期的・自立的な発展を図るためには、情報化による地域特性を生かした地域振興策が必要である。

一方、原子力発電そのものについても、常に最先端の情報通信技術の活用により安全性や信頼性、経済性の向上とともに、原子力安全行政の合理化・高度化を図ることが期待される。それに加えて、今や発展著しい情報通信技術の活用いかんが、原子力産業の競争力

* 現職：通産省 機械情報産業局 医療・福祉機器産業室長

を大きく左右すると言っても過言ではない。

さらに、近年、急激に普及しつつある携帯情報端末(モバイル)は、新たなコミュニケーション手段として、原子力分野においてもその活用が期待される。

2. 「原子力と情報」についての基本的考え方

(1) 情報化による原子力立地地域の長期的発展基盤の整備

(a) 地域の長期的・自立的発展につながる情報化

情報化は、地域特性を活かした個性的で魅力ある地域づくりに貢献する。特に、地域がグローバルな競争の中で生き残り、長期的な発展を遂げるためには、情報化に戦略的に取り組み地域の独自性を高め、地域産業を活性化することが肝要である。

(b) 情報化を通じた人材育成と文化の醸成

地域づくりの主体は「人」であり、地域の情報化も、住民参加の、草の根的なアプローチが求められる。また、情報化プロセスの中に、住民が情報リテラシーを高め、地域外でも通用する人材の育成を組み込むことは、地域に根ざした新たな文化の醸成にもつながる。

(c) 情報化を通じた生活環境のアメニティー向上

家庭、医療・福祉、教育等の生活分野への情報通信技術の活用は、生活環境のアメニティー向上に寄与する。それは長期的には、その地域の魅力の一つとなり、長期的・自立的な地域産業の発展基盤ともなり得る。

(d) 情報通信技術を活用した原子力発電所と地域とのコミュニケーション

原子力発電所と地域との間で、ヒューマンな、緊密なコミュニケーションを図ることで、原子力発電所の安全性に対する信頼向上が図られる。その際、例えば、インターネット等の情報技術の利用は、原子力発電所と家庭、あるいは地域社会との双方向に開かれた情報提供を可能とする。

(e) コミュニティ情報ネットワークの整備

上述のような情報化のためには、地域内の住民、行政、公的施設、企業等をつなぐようなコミュニティ情報ネットワークの整備が必要となる。

ハード面での情報インフラは、ニーズに応じた適切な技術により構築し、発展性を組み込んだ柔軟なものにする。さらに、このようなネットワーク整備は個別市町村を越えて広域的に進めることが望ましい。

(2) 原子力発電の情報化による高度化

(a) 原子力産業界における情報の電子化と情報の共通利用

設計から運転までのライフサイクル全体にわたる情報管理の高度化は、原子力発電の一層の信頼性、経済性の向上に寄与する。

具体的には、設計から運転・保守までの各段階における図面、データ等の電子化により、業務の効率化を通じたコストダウンと関係者間の情報の共通利用による信頼性の向上が大きく期待される。

(b) 原子力安全行政の情報化

原子力安全行政においても、許認可申請等

に係る文書の電子化や運転管理情報等の電子データベース化を促進することにより、安全規制の高度化、合理化を図ることが可能となる。

(c) 情報提供・情報公開の高度化

情報通信技術を活用し、受手側の関心を考慮した情報提供のあり方を追求することは、原子力発電の透明性を高める。

また、情報提供・情報公開に関しては、原子力立地地域と電力消費地の共生関係をいかに築くかが課題であり、情報通信技術を利用して原子力発電に対する両者の認識や情報の落差を埋めていくことが重要である。

(d) 原子力分野における国際的展開における情報化

今後益々活発になる原子力安全に関わる諸外国との円滑な情報交換のためにも、情報通信技術の積極的な活用が望ましい。

また、電気事業者の調達の国際化、我が国のメーカーの海外受注機会の増大に対応するためにも、国際標準に見合った情報システムの構築が必要となる。

3. 原子力立地地域の情報化の具体的方策

(1) 原子力立地地域の情報化がもたらすもの

原子力立地地域は、国からの交付金等により財政的には恵まれていること、また、原子力発電所の人的・技術的貢献が期待される等の資源を有しており、これらの資源を、多くの地域が共通に抱えている産業振興、若者の定着、地域の独自性を生かした地域振興、原子力発電所と地域との共生にどのように活用

するかが問われている。

地域情報化は、原子力立地地域の活性化に新たな方向性を切り開き、次のような変革をもたらし得る。

- ① 産業振興・雇用創出を通じた長期的・自立的な発展
- ② 家庭、医療・福祉、教育等の生活環境のアメニティー向上、情報化に適応した生活スタイルの創出
- ③ 原子力発電所と地域との新しいコミュニケーションの創出
- ④ 地域の情報蓄積の増大、人材育成と地域文化の醸成

(2) 原子力立地地域の情報化の基本的方策

地域情報化の基本戦略として、次のような事項があげられる。

- ① 地域づくりの基本コンセプトの明確化・共有化
住民がどのような地域づくりをしたいのか、基本コンセプトを明確にし、共有する。
- ② 成長原理を組み込んだ情報化
情報化計画は、最初から大規模なものとするより、情報化のプロセスの中で得た経験をフィードバックできるように柔軟かつ発展性のあるものにする。
- ③ 産業振興・雇用創出の仕組みを組み込んだ情報化

家庭、医療・福祉、教育等の情報化プロセスの中で、情報化に適応した生活スタイルや新たな事業機会が生まれ、それを担う新規産業や魅力ある雇用の創出が期待され、このような効果が十分発揮されるような仕組みを組み込む。

④ 地域内外に開かれた情報化

ネットワーク技術の活用により、地域内外の文化・産業・人材等の資源を有機的に結びつけ、それを地域発展の基盤とする。特に、地域内外に開かれた情報化ネットワークは、原子力発電所と地域住民も含めた地域内の新しいコミュニケーションのあり方をもたらす。

⑤ 地域住民の学習プロセス及び人材育成を組み込んだ情報化

地域の情報化プロセスの中で、地域住民が学習し、地域の情報蓄積の増大や情報リテラシーを向上させる仕組みを組み込む。例えば、イベントやシンポジウムによる動機付けが考えられる。このような学習プロセスを通じて、地域産業を担う人材育成と文化の醸成が期待される。

上記の地域情報化戦略の展開のためには、地域の産官学が連携し、さらに、市町村の行政単位にとらわれない広域的なとりくみを念頭に推進体制を確立することが望ましい。

また、自治体は、国からの交付金等を有効に活用しつつ、情報化を推進することが期待される。電気事業者も、原子力発電所の人的・技術的資源を活用しつつ、積極的な役割を果たすことが期待される。

さらに、情報システム構築に当たっては、技術的な面でのセキュリティ対策のみならず、情報倫理といった教育面からの対応も必要である。

(3) 原子力立地地域の情報化計画

原子力発電所と地域住民も含めた地域内のコミュニケーションの促進、地域住民の生活環境のアメニティー向上等を通じて、住民参

加による快適で活力ある地域づくりに貢献し、ひいては新規産業や雇用創出にもつながる「コミュニティ情報ネットワーク」の構築を提案する。

「コミュニティ情報ネットワーク」は、次のような要素から構成される。

① 基本的なハード

住民、公共施設、企業等を結ぶ情報通信基盤を整備する。

現在、国内で利用可能なネットワーク技術には様々な種類があり、ニーズに応じた適切な技術を組み合わせる。(図1及び表1)例えば、モバイルを利用した無線ネットワークは、場所、時間にとらわれない自由な情報アクセスやコミュニケーションを可能にする。

② ソフトと運用

①のハードを原子力発電所や行政からの情報提供、地域住民間のコミュニケーション活動等多目的に利用できるようにソフトと運用の機能を整備する。

③ 情報リテラシー

行政、企業、原子力発電所等の職員、地域住民が、①、②のハード・ソフトを使いこなせるような情報リテラシーを身につける。

④ 組織

上記ハード・ソフトを活用し、地域づくりを進めるための住民、行政、企業等による横断的組織を作る。

(4) 具体的情報化分野

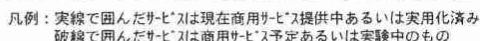
具体的な情報化分野は、地域の特性により多様であるが、次のような例が考えられる。

情報提供・情報交流の方法としては、インターネット上に設けたホーム・ページによる受動的な情報提供にとどまらず、プッシュ型配信技術を活用した能動的・リアルタイムな情報提供、さらに原子力発電所と地域住民の双方向の情報交流を構築することも考えられる。

行政も、行政関連情報の住民への直接・迅速な提供、各種行政手続きの電子化を行うことにより、住民の負担を軽減できる。また、

統計情報、地図情報、交通情報、防犯情報等の幅広い情報が容易に利用できるようになれば、住民の生活、地域産業へも大きな波及効果が期待される。

住民の健康情報管理や遠隔医療・健康相談の実施により、保健・医療・福祉サービスの質、住民にとっての利便性の向上を図ることができる。特に、外出が困難な高齢者にとって、毎日の健康管理、健康相談サービスへのアクセスや緊急時の関係機関への連絡が容易となる他、サービスに携わる人々にとっても、サービスの質の向上、業務の効率化を図ることができる。



*1 下り方向の速度で表示。(上り速度は16~640Kbit/s)
 *2 最高速度が64Kbps,128Kbpsのサービス品目は、メタリックケーブルを使用。
 *3 双方向CATVによりデータ通信を行った場合の速度。
 *4 現在提供されている商用広帯域無線専用サービスの速度。
 *5 下り方向の速度で表示。(上り速度はインターネット等経由で下りより低速)

図1 ネットワークサービスの通信速度

表1 主なネットワークサービスの用途等

サービス名称	媒体	主な用途	主な利用端末	基本的な料金体系
電話網	メタリックケーブル	通話, FAX, パソコン通信, インターネットダイヤルアップアクセス, 小容量のデータ通信等	電話機, FAX (G3), パソコン+モデム等	基本料金+距離, 通信時間に応じた従量制料金
ISDN	メタリックケーブル	インターネットダイヤルアップアクセス, 高速FAX, LAN間接続, テレビ会議(デスクトップカンファレンス・テレビ電話を含む), ファイル転送, 画像伝送(例: 遠隔映像モニタリング), 通話等	パソコン+TA (*1)・ISDN ボード・DTC ボード, FAX (G4), LAN+ルータ・ブリッジ, テレビ会議装置, PBX, 遠隔監視装置等	基本料金+距離, 通信時間に応じた従量制料金
OCN	(ダイヤルアップ, エコノミー) メタリックケーブル (上記以外) 光ファイバケーブル	インターネット, イントラネット(エコノミー) 中小事業所からのインターネットアクセス(スタンダード・エンタープライズ)企業, 大学からのインターネットアクセス, 企業内イントラネットの基幹回線, ISP等の上位回線	TA+ルータ+LAN等	定額制料金(但しダイヤルアップサービスの場合, 一定時間以上の利用部分については従量制料金)
パケット交換網	メタリックケーブル	ビジネスユースにおける低密度(*2)のデータ通信	パケット通信インタフェースを有するコンピュータ	基本料金+通信データ量に応じた従量制料金
高速デジタル専用線	光ファイバケーブル (64, 128kb/sはメタリックケーブル)	企業, 大学等における音声・データ・静止画・動画等様々なメディアによる通信の統合回線(但し, 64~128kbit/sの回線は, ISDNと同様な用途も多い)	TDM (*3), ATM交換機(*4)等の通信ノードを介して多種多様な端末を接続可能	定額制料金
フレームリレー網	光ファイバケーブル (64, 128kb/sはメタリックケーブル)	主に企業内におけるLAN間通信, 多地点間的高速データ通信等	ルータ+LAN・ワークステーション・ホストコンピュータ等	サービス会社により2通り。1) 基本料金+通信データ量に応じた従量制料金
移動通信サービス(携帯電話)	無線波	通話, 小容量のデータ通信(デジタル機種のみ)等	携帯電話(パソコン接続の場合はデータカード要)	基本料金+距離, 通信時間に応じた従量制料金
PHS	無線波	通話, 小容量データ通信(LAN等へのリモートアクセス)等	PHS(パソコン接続の場合はデータカード要)	基本料金+距離, 通信時間に応じた従量制料金
衛星通信	衛星波	音声・データ・静止画・動画等様々なメディアの複合通信, 映像中継, 災害時のバックアップ回線等	衛星地球局+TDM, ATM等の通信ノードを介して多種多様な端末を接続可能	サービスにより2通り。 1) 通信時間に応じた従量制料金 2) 定額制料金
デジタル無線	無線波	音声・データ・静止画・動画等様々なメディアの複合通信, 映像中継, 災害時のバックアップ回線等	無線アンテナ+多重化装置等の通信ノードを介して多種多様な端末を接続可能	定額制料金(通信事業者の無線専用サービス利用の場合)
データ放送	放送波	WWWブラウザ等による番組受信, データ配信(例: ソフトウェアのダウンロード)等	テレビ受信機+専用アダプタ, パソコン+受信用ボード	ネットワークに係る料金は無料
衛星データ放送	放送波	インターネットを経由した高速データ配信等	パソコン+受信用ボード+CSアンテナ	基本料金+一定データ量以上の部分についてデータ量に応じた従量制料金(*5)
CATV	同軸ケーブル, 光ファイバケーブル	TV番組の配信(地上波・BS・CS・自主放送他), インターネットアクセス, 高速データ通信, VOD, 通話等	テレビ受信機+受信用ターミナル, パソコン+ケーブルモデム等	定額制料金(但しインターネットアクセスサービスの一部は, 一定時間以上の利用部分について従量制料金)
xDSL	メタリックケーブル	通信, インターネットダイヤルアップアクセス等	パソコン+xDSLモデム, 電話機(同時利用にはスプリッタ(*6)要)	現在実験中(サービス時期, 料金ともに未定)

(*1) TA=ターミナルアダプタ(Terminal Adapter)

(*2) 低密度=回線接続時間に比べて実際の通信時間が少ない状態

(*3) TDM=時分割多重化装置(Time Division Multiplexer)

(*4) ATM=非同期転送モード(Asynchronous Transfer Mode)

(*5) ダイレクトインターネット社「DirecPC」サービスの場合

(*6) スプリッタ=xDSLモデムと電話機の間岐装置

(c) 文化・教育

誰でも手軽に使える情報ツールは、地域内の住民、企業等のコミュニケーションを活性化し、既存の蓄積をベースとした新たな地域文化の創造と地域外に向けた情報発信に寄与する。このような文化・情報発信機能の増大は、地域の独自性と誇りを高め、地域の魅力の一層の向上につながると考えられる。

また、教育分野における情報化は、学校における情報教育だけでなく、適切な情報ツールを活用した授業の質的向上や課外活動、さらに生涯学習や職業訓練等も含む広範なものである。

(d) 産業振興・雇用創出

「コミュニティ情報ネットワーク」の構築・利用は、新規産業や雇用創出につながることが期待される。これには、情報関連産業だけでなく、情報通信技術の利用による付加価値の高い製造業、サービス業等も考えられる。

また、地域外の情報ネットワークにつながることにより、距離や時間を越えて活動する地域産業が育つことも期待される。ただし、このような可能性が新規産業や雇用創出につながるためには、情報化の初期段階において、行政や原子力発電所を中心とした情報関連業務の積極的なアウトソーシングを図ることが重要である。

さらに、「コミュニティ情報ネットワーク」は、地域内外の企業間・産学交流、既存企業・産業の競争力向上にも寄与し、地域産業の有機的な連携を通じた地域経済の活性につながるものと考えられる。

4. 原子力発電情報高度化の具体的方策

(1) 許認可申請等の電子化を通じた情報高度化

原子力分野の情報流通においては、行政、電気事業者、メーカー等の間の許認可申請等に関する情報流通が一つの主要な軸となっている。したがって、これに係わる情報の電子化は、関連業務の標準化・効率化、情報の共通利用に寄与するとともに、行政にとっては、安全規制業務の高度化にも資することが期待される。

また、行政、電気事業者、メーカーが共通に利用できる形態で、トラブル情報、設備利用率、放射線管理データ等の運転管理情報等の蓄積・活用を図ることは、原子力安全確保の一層の向上に大きく貢献する。

許認可申請等の電子化は、行政、電気事業者、メーカー等にとって情報の質の高度化、物量の削減、業務の効率化、情報検索・利用の容易化、情報提供・情報公開の容易化というメリットがあり、原子力行政・原子力産業の情報高度化の先駆となり得る。具体的には、電子化による業務の高度化・効率化、情報管理・提供の利便性の向上等の観点から、許認可申請等のうち工事計画認可申請の電子化について、先行的に検討する。平成10年度に基本構想の検討、11年度にシステムの開発、12年度に試運用開始、13年度中に本格運用を目標とする。

また、トラブル報告については、データ管理、情報提供の便宜等の観点から、平成11年度の試運用、12年度の本格運用を目標に、10年度中に工事計画認可申請と並行して検討する。

検討に当たっては、行政、電気事業者、メー

カー等の中で緊密に連絡を取りつつ実施する。

許認可申請等の電子化については、次の課題があげられる。

① 法制度上の課題

紙媒体の許認可申請文書では、公印により原本性を証明しているが、電子媒体による文書では、この公印に代わるものが必要となる。文書の電子化に当たっては、原本性の証明方法や手数料等の印紙の貼付に代わる納付方法をどうするか等の課題がある。

なお、政府においては、「行政情報化推進基本計画」に基づき、法令上紙面による保存を義務づけている行政文書について、法令を改正し、平成8年度から「電子データ」による保存も容認している。

② 標準化の課題

工事計画認可申請書は量的にも膨大であり、このような文書を効率的に扱うためには、文書を構成要素に分解し、データベースで管理することが適切である。したがって、工事計画認可申請書を電子化し、一つのデータベースで統一的に管理するためには、まず、文書の構成要素とその関係（文書構造）を具体化し、さらに標準化することが不可欠である。

③ セキュリティ確保対策

許認可申請文書は、その性格上、「原本性確保」「ノウハウ保護」および「ネットワークセキュリティ」の三つのセキュリティ確保について考慮する必要がある。

原本性確保については、許認可申請文書が公的文書であることから、システム上当事者間の合意以上の厳正な管理が要

求される。

ノウハウ保護は、許認可申請文書に含まれる企業のノウハウに関わる情報の権利保護であり、情報公開を念頭におくと、文書の細分化された範囲ごとに、公開要否やアクセス権制限を制御できるような機能をシステムに組み込む必要がある。

ネットワークセキュリティは、盗聴、なりすまし、改竄、不正侵入、否認等のネットワーク上の不正行為に対応するための対策である。

これらセキュリティを確保するための要素技術は暗号技術と認証技術であり、現時点でも十分実用可能な技術レベルに達している。しかし、それらの要素技術を組み合わせてセキュリティをシステム上でどのように実現するかについては、画一的な方法は定まっていない。ネットワークセキュリティについては、最近のCALS/EC（電子商取引）の進展によって、方法論が定まりつつあるが、原本性確保とノウハウ保護については実証例も少なく、今後解決すべき技術課題である。

(2) 高度情報通信技術を活用した原子力発電の透明性確保、情報公開の推進

各種世論調査等によると、行政や事業者による「原子力政策の決定過程に関する情報」や「トラブルに関する情報」についての国民に対する情報提供が不十分という回答が多くなっている。また、一般的に「原子力発電所の安全対策」「放射線の人や環境に与える影響」「放射性廃棄物の処理や処分の仕方」等、安全性や放射線に関する情報への関心が高

い。

したがって、これらの情報をわかりやすく表現することも含めて、国民の関心の高い情報を迅速かつ的確に提供していく仕組みを作り上げていくことが重要である。

特に、誰もがいつでもアクセス可能な方法により、最新の情報を提供することは、原子力行政・原子力産業の透明性を高める上で極めて重要なことである。また、原子力立地地域と電力消費地が原子力発電所の現場情報をできる限りリアルタイムで共有できるようなシステム構築することは、原子力発電に対する両者の認識や落差を埋め、共生関係を構築していく上で重要であると考えられる。

① ホームページを活用した情報提供の強化

利用者が求める情報に容易にアクセスできるようにホームページ等の活用を図るとともに、利用者がどのような情報を必要としているかを把握し、情報内容を充実させる。さらに、原子力関係機関のネットワーク化により、関係機関が提供している情報を総合的に検索・利用可能な「原子力総合ホームページ」を設置する。

② インターネットを活用した双方向の情報交流

インターネットの双方向性を活用し、立地地域の住民や消費者に対する情報提供サービスを推進する。また、プッシュ型配信技術を活用した能動的な情報提供も検討する。

③ 情報公開の電子化の推進

許認可申請等の電子化に併せて、(財)原子力発電技術機構に設置している「原子

力発電ライブラリ」における文書公開の電子化も推進する。

また、定期安全レビュー報告書等の原子力安全に関する種々の文書の情報公開についても検討する。

④ 原子力関連情報の電子データベース化・ネットワーク化

原子力関係機関が作成・保有している各種情報の共通利用による業務の合理化を図るため、各機関毎に電子データベース化・ネットワーク化を検討する。

上記の情報提供機能強化のため、行政、電気事業者、メーカー等の関係者による連絡会の設置を提案する。

(3) 共通利用可能なシステムを構築するための課題と方策

情報システム技術は飛躍的な進歩を遂げており、最新技術をベースとしたシステム化の方向は、トータルシステム開発へとシフトしている。

一方、原子力分野は、厳しい安全確保が要求され、その関連情報は公共性が高いことから、行政・公的機関・原子力産業の協力の下に、情報の共有化・透明性向上を推進し、その効用を社会に還元することが望まれる。したがって、原子力分野における共通利用可能な情報システムの構築が必要となっている。

許認可申請等の電子化のトータルシステムとして、行政、電気事業者、メーカーそれぞれの業務を有機的に連携させ、情報公開への対応を含めたシステムイメージを図2に示す。

システム化の基本的方針として、次の事項があげられる。

- ① 行政，電気事業者，メーカーがメリットを享受できるシステム

情報化投資に見合った効果を上げるため，各者の現状の業務を分析し，標準化した上で，情報技術を適用する。

- ② 国際標準，デファクト標準の採用

許認可申請書等は，原子力発電所のライフサイクルにわたって保存・管理する必要があるため，情報の永続性を確保するためにも，プロトコルは国際標準，デ

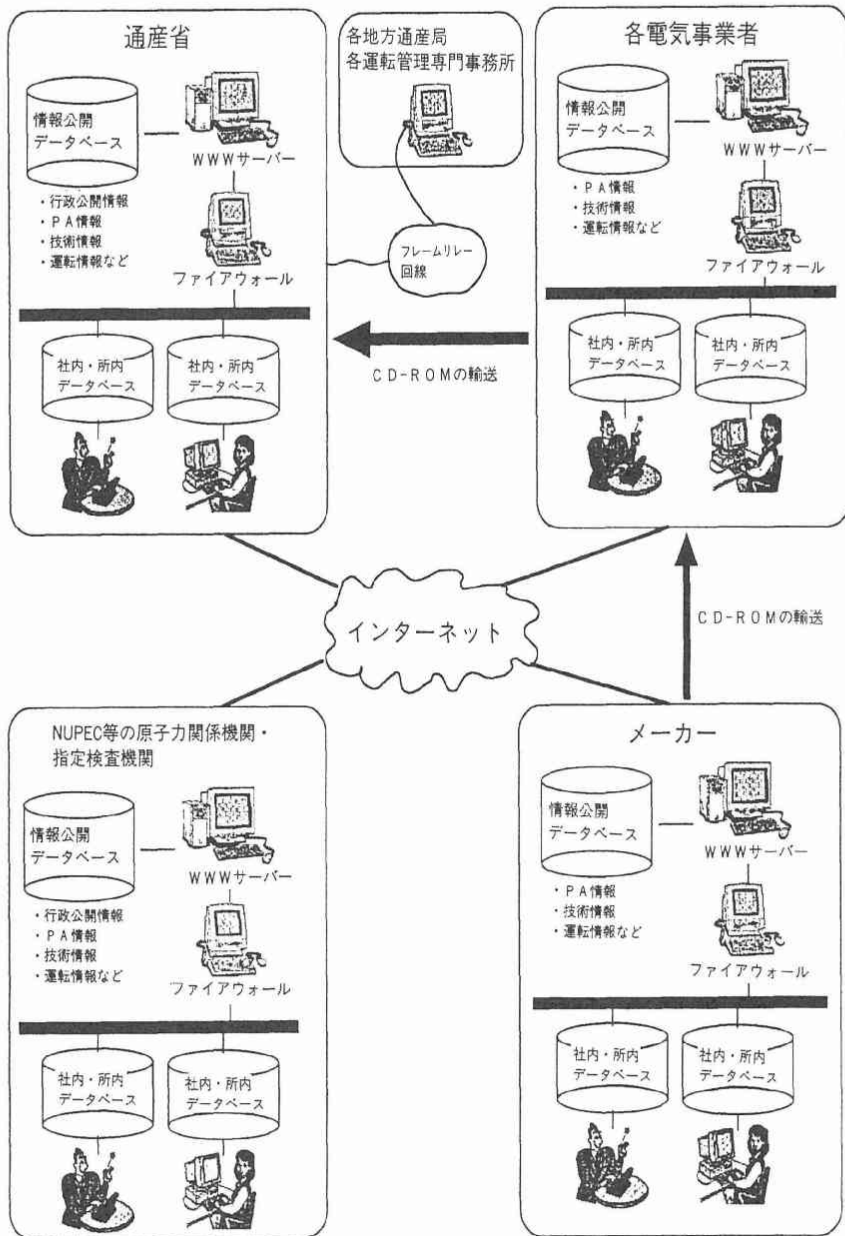


図 2 情報高度化システムイメージ

ファクト標準を採用する。

③ 既存システム、汎用技術の活用

システム化費用を削減するためにも、各者の既存システムを最大限活用できるような標準技術及び汎用技術を最大限活用する。

④ ネットワーク技術を利用した電子化

当面はオフラインによる電子申請とし、将来のオンライン化も視野に入つつ検討する。

また、システム構築に当たっては、次のような解決すべき課題がある。

① 電子的ワークフローの確立

ワークフローをシステム化するため、申請の授受等において流通する情報や手順を具体化する。その際、行政、電気事業者、メーカー内部のワークフローを互いにシームレスに連携させることが重要である。

② データベースの共有化

情報システムツールを共通化するだけでなく、情報自体も標準化し、データベースの共有化も課題である。

③ セキュリティ対策

セキュリティ技術に関しては、システム上における実証が必要である。

5. おわりに

以上が報告書の概要であるが、原子力立地地域の長期的・自立的発展基盤の整備のため

の情報技術の活用については、『地域づくりの基本コンセプトの明確化、共有化』『成長原理を組み込んだ情報化』『産業インフラと生活・文化インフラの統合をもたらす情報化』等が地域情報化の基本戦略である。これを踏まえ当庁としても、原子力立地地域による具体的な取り組みについては、適切な支援を講じていきたいと考えている。

また、原子力行政・原子力産業全体の情報化については、その第一歩として『許認可申請等の電子化を通じた情報高度化』『高度情報技術を活用した原子力発電の透明性確保、情報公開の推進』を実施すべく、具体的な取り組みを開始すべきとの提言をいただいた。

今後は、本報告書の提言に沿うべく、許認可申請等の電子化、高度情報技術を活用した情報提供機能の強化について関係者間でその具体化を図っていきたいと考えている。

なお、「原子力と情報」というテーマについては、原子力立地地域と電力消費地のコミュニケーションギャップをどのように埋めるか等、より広範な論点を含んでおり、懇談会で議論を尽くせなかった点については、今後の検討課題として残されていることを付記したい。

(参考)

「原子力と情報」懇談会報告書については、資源エネルギー庁のホームページに掲載。

『<http://www.enecho.go.jp/>』



地球環境時代の発電技術

— 環境性と安定供給を踏まえた将来展望 —

内 山 洋 司 (勸電力中央研究所 経済社会研究所
上席研究員)



1. はじめに

エネルギーは、産業の原動力であり、私たちの生活に不可欠なものとなっている。その供給は、社会のインフラストラクチャーとして長期的な視点から考えた最適な設備を構築していく必要がある。将来も社会を持続的に発展し続けていくには、安定したエネルギー源の確保が不可欠である。それには、長期のエネルギー需給の中で、化石燃料、原子力、および再生可能エネルギーについて、それぞれの位置づけを明らかにしていくことが望まれる。

ここでは、世界の長期のエネルギー需要を調べ、それに必要なエネルギー資源として、化石燃料とウランの賦存量と供給について述べている。また、ポスト化石燃料として期待される再生可能エネルギーについて、わが国における供給ポテンシャルを調べ、将来の位置づけを明らかにしている。さらに、各種発電システムについての特徴を発電施設だけでなく燃料供給施設や廃棄物処理施設を含めたプロセスを建設、運転、廃棄のライフサイクルにわたる段階で、エネルギー消費量と炭酸ガス(CO₂)排出量を分析し、それぞれのシステムのエネルギー特性と環境負荷を明らか

にし、環境性から見た今後の発電技術の開発のあり方について述べている。

2. 長期エネルギー需給とエネルギー資源

2.1 長期エネルギー需給と化石資源の供給限界

エネルギーは目に見えないため、私たちは世界の膨大なエネルギー消費に気がつかないでいる。世界のエネルギー消費は、過去100年で25倍、戦後の50年間でみると4.6倍にまで急増している。現在、総消費量は石油換算で81億トンにもなり、それは石油40%、石炭27%、天然ガス23%と全体の9割が化石燃料で賄われている。膨大な化石燃料の燃焼によって大気が汚染されつつある。排出される汚染物質も目に見えないが、毎年の放出量は、炭酸ガス220億トン、硫黄酸化物1.3億トン、窒素酸化物0.9億トンにもなる。

エネルギーの消費には地域間の不公平さがある。膨大なエネルギーは主に先進国で消費されている。世界人口57億人の24%に相当する先進国と旧ソ連・東欧諸国の消費量は全体の75%になる。それに対し途上国の一人当りのエネルギー消費量は先進国のわずか9分の1である。世界には南アジアと中央アフリカ

を中心に10億人の人々が農作物や家畜の廃棄物などの非商業エネルギーだけで生活しており、まだ20億人もの人々が電気なしの生活を送っている。

しかし、途上国のエネルギー消費も徐々に増加しつつある。一人当りのエネルギー消費量は、20年前までは先進国の20分の1であったのが今は2倍にまでなっている。先進国の物質的な豊かさや生活の快適さを求めて経済も発展しており、それに伴ってエネルギー需要も高まっている。

そして、人口増加がそれを加速している。人口の増加率は今から1万年前の採集狩猟時代には0.01%を超えることはなかった。人間が定着し自らの手で食料を造りだすようになった農耕社会の人口増加率は0.1%程度であった。300年前の産業革命で人力や家畜による労働が機械に置き換わり、同時に食料を大量に増産できるようになったことで、人口は急激に増加し始めた。1800年初期10億人であった人口は、年率0.5%の割合で増え始め、1900年には17億人に、その後も増加の勢いは衰えず、1950年までは年率0.8%、その後はさらに1.75%の率で増加し続けている。その結果、1950年の人口は25億人に、現在は57億人に、そして2050年には100億人にまで増え続けると予測されている。増大していく人口の9割以上は途上国の人口である。

爆発する世界人口に対して、エネルギー資源は充分なのだろうか。その前に世界のエネルギー需要は今後、どこまで増えていくのだろうか。その予測は将来の不確実性を考えると並大抵なことでない。今、仮に今後のエネルギー需要が人口の増加に比例して増えたと仮定しよう。この仮定はIIASA（国際応用シ

ステム分析研究所）やIPCC（気候変動に関する政府間パネル）などの長期エネルギー需要の予測値と比べてみると、最も低い見通しになる。将来の世界人口は、国連の人口予測によると120億人で飽和するといわれていることから、将来のエネルギー需要は今のほぼ2倍になる。この需要を現在と同様に、その9割を化石燃料で供給すると仮定する。

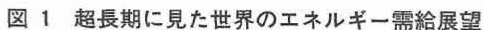
化石燃料の資源量は、確認埋蔵量で石油換算にして石油が1.08兆バレル、天然ガスが1.02兆バレル、石炭が4.36兆バレルで、合わせて6.46兆バレルになる。これらは現在の技術とコストで掘ることができると比較的良質な資源である。しかし、質の悪い資源を含めて地球上で採掘可能な量は、IPCCの推計によると、石油換算で石油系資源が5.9兆バレル、天然ガス系が6.3兆バレル、石炭など固形資源が24兆バレルと、全体で36兆バレルにもなるといわれている。それは現在の確認埋蔵量の約6倍にもなる膨大な量である。

もし現在と同様に将来のエネルギー供給も化石燃料に依存し続けるとすると、石油に換算して36兆バレルになる化石資源は何時頃からそのピークを迎えることになるのだろうか。上で仮定したエネルギー需要の低成長の場合で分析してみると、確認埋蔵量の石油燃料は2015年頃をピークに減産し、石油系と天然ガス系の資源は、2050年頃から減産することになる。来世紀の中葉には液体系と気体系の化石燃料には頼れなく、それ以降は石炭などの固体系燃料に頼らなければならなくなる。石炭は資源量が豊富にあるため、石油やガスの不足分を補填するだけでなく増大する世界のエネルギー需要を賄う能力がある。しかしその能力にも限界があり、22世紀の中葉

また資源枯渇とは別に、良質の石油や天然ガスが枯渇すると、質の悪い重質油、オイルシェール、タールサンド、あるいはピートや泥炭などへの依存が高まり、環境問題も深刻になる。このままでは、子孫には質の悪い化石燃料や原子力を残すことになってしまう。良質の化石燃料が使えない子孫は、自分達が生き延びるためには環境影響が大きい低質の

2.2 ウラン資源

ここでは、現在、推定されているウランの埋蔵量が、軽水炉によるウラン235の利用と高



速増殖炉の開発によるウラン238の利用で、どの程度のエネルギー供給源になるかについて調べてみよう。ウラン資源量の評価は、経済協力開発機構／原子力機関 (OECD/NEA) と国際原子力機関 (IAEA) の協力で出版されている、通称レッドブックと呼ばれる「URANIUM 1993- Resources, Production and Demand」に取りまとめられている。それによると西側世界における確認資源量 (RAR) は、208.3万トン-ウラン (金属) である。確認資源量とは、その大きさ、品位および形状が明らかになった既知の鉱床中に存在するウランで、現在の実証された採掘・精錬技術により一定の生産コスト範囲内 (山元での回収コスト: \$ 130/kgU 以下) で生産されうる量である。それに対して推定追加資源 (EAR-I) とは、信頼度が確認資源に準ずるもので、「主に直接の地質学的事実に基づいて、よく探鉱された鉱床の延長部か、あるいは地質学的な延長性は明らかになっているが、鉱床の広がりや特性に関する知見などの特定データが確認資源と分類するには不十分な鉱床に存在すると推測されるもの」と定義されている。RAR と EAR-I を合せた資源量は、\$130/

kgU 以下のもので304.9万トン-ウランになる。ウラン資源には、さらに未発見の推定量である EAR-II と推測資源量 (SR) とがある。それらをすべて足し合わせたウランの総資源量は、現状では1,580万トン-ウラン (海水からの採集ウランを除く) に達する。

もし世界の原子力発電所 (3.56億 kW: 1994年現在) が天然ウランに0.71%だけ含まれるウラン235を消費する軽水炉として発電を続けたとき、ウラン資源の可採年数はどの程度になるだろうか。計算を簡単にするため、世界の原子力発電所をすべて加圧水型軽水炉と仮定することにする。発電出力100万kWの在来型軽水炉の場合、ウランの年間平衡装荷量は、燃焼度31.9GWD/t で計算すると25.4トンである (燃焼度が51.2GWD/t にまで改良された加圧水型軽水炉の場合は17.2トンになる)。それから可採年数を求めた結果が表1で、その値は資源量により、36.0年 (RAR), 53.7年 (RAR と EAR-I), 278年 (RAR, EAR, SR) になる。

表1には軽水炉のワンス・スルー方式で利用できるウラン資源量 (U235) を石油に換算

表1 プルトニウムをリサイクルしないワンススルー方式の可採年数
(すべてを PWR と仮定)

資 源 量	可採年数 (年)	エネルギー量 (石油換算) (億トン)
RAR	36.0	182
RAR+EAR-I	53.7	271
RAR, EAR, SR	278	1,405

出所: 文献1

した値を示している。現在、石油の確認可採埋蔵量は1,383億トン（1996年BP統計）であることから、ウランの確認埋蔵量（RAR）はウラン235だけでみると、石油の確認埋蔵量の13%にしか過ぎないことがわかる。

高速増殖炉は、天然ウランの99.3%を占めるウラン238を親物質としてプルトニウムを生産し、それを燃料に発電するものである。高速増殖炉での反応条件でプルトニウム242までの連鎖反応を考慮すると、理論的にみてウラン238の約98%がエネルギーの生産に寄与できることになる。このように高速増殖炉はウラン資源の可採年数を飛躍的に伸ばすことができる。

現在、世界にある原子力発電と同容量の高速増殖炉を運転し発電すると、ウラン238の年間消費量は427トン（ $=1.2 \times 356$ ）になる。これから可採年数を計算すると、資源量により4,028年（RAR）、5,900年（RARとEAR-I）、30,000年（RAR, EAR, SR）の値が得られる。このように世界にある原子力発電所を高速増殖炉に置き換えて可採年数を計算すると、その値は軽水炉の112倍にまで増えることになる。

高速増殖炉で利用できるウラン資源量（U238）を軽水炉と同様に石油に換算してみる

と、その値は24,400億トン（RAR）、35,800億トン（RARとEAR-I）、18兆トン（RAR, EAR, SR）になる（表2）。このうちウランの確認埋蔵量であるRARの資源量を石油の確認埋蔵量と比較してみると、その値（24,400億トン）は石油の17.6倍にもなる。また石油換算18兆トン（RAR, EAR, SR）のウラン資源量は、石油の確認埋蔵量の130倍、地球上で採掘可能といわれている化石燃料資源量5.1兆トン（メタンハイドレイドを除いた石油系、天然ガス系、石炭系の在来型および非在来型の総資源量）の3.5倍に相当する膨大な量である。もし高速増殖炉の技術が確立できれば、化石燃料より遙かに多くの資源が確保でき世界のエネルギー資源の枯渇不安は解消することになる。

3. 新エネルギーの導入可能性

わが国は一次エネルギーの85%を化石燃料に依存している。化石燃料への大量依存は、酸性雨やCO₂問題など地球環境問題を深刻にするだけでなく、エネルギーセキュリティにおいても将来の不安を大きくすることにもなる。政府は、“長期エネルギー需給見通し”

表2 高速増殖炉によるウラン資源の可採年数

資 源 量	可 採 年 数 (年)	エネルギー量(石油換算) (トン)	対石油確認埋蔵量比 (倍)
RAR	4,028	2兆4,400億	17.6
RAR+EAR-I	5,900	3兆5,800億	25.9
RAR, EAR, SR	30,000	18兆	130

出所：文献1

で供給構造に脆弱なわが国が持続的な経済発展を確保しながら地球規模の環境保全を図っていくためには、化石燃料への依存を2010年には75%にまで削減するという目標を掲げている。化石燃料への依存度を下げるために期待されているのが新エネルギーと原子力発電である。それらはわが国がエネルギー供給において自立する上で重要なエネルギー源である。中でも新エネルギーは、賦存量が多く化石燃料の節約と環境保全に優れており、小規模分散型の特徴を生かして普及していくことが期待されている。

新エネルギーについては、1994年12月に総合エネルギー対策推進閣僚会議で“新エネルギー導入大綱”が策定され、将来の導入目標が設定された。同大綱は新エネルギーの導入を促進するための国の基本方針となるもので、次に示す重点分野について具体的な開発計画を打出している。

- ① 太陽光発電など再生可能エネルギー
- ② 廃棄物発電などリサイクル型エネルギー
- ③ コージェネレーションなど従来型エネルギーの新利用形態

政府は、新エネルギーの導入目標を二次エネルギーベースで2000年には5.7%、2010年には7.6%としている。新エネルギーの中で将来のポテンシャルが最も大きいのは、“従来型エネルギーの新利用”である。そのエネルギー源は、石油や天然ガスといった化石燃料である。それを除くと、国内で供給できる新エネルギーのシェアは、2010年で3.0%になる。

ここでは非化石燃料の評価に焦点を絞り、“従来型エネルギーの新利用”を除く“再生可能エネルギー”と“リサイクル型エネルギー”について供給ポテンシャルを検討してみ

ることにする。再生可能エネルギーとリサイクル型エネルギーは、基本的にはローカルエネルギーである。再生可能エネルギーには太陽光発電、風力発電、森林バイオマスがあり、リサイクル型エネルギーには一般廃棄物と産業廃棄物がある。それらについて国内の供給ポテンシャルを調べてみることにする。

(1) 太陽光発電のポテンシャル

太陽電池の生産が近年、急速に伸びてきている。1991年度のわが国の太陽電池の生産量は16,883kWpで、52%が電卓、時計などの民生用、43%が家庭電源や街灯などの電力用、4%が発電試験用に生産されている。電力用の太陽電池の導入先は、独立設備と系統連系設備とに大きく分けられる。独立設備は、さらに離島や僻地などの発電設備と、出力が500Wp以下で使われる公園休憩所の電源、屋外時計、交通標識などがある。系統連系設備は、一般住宅や工場など電気を通じている地域に電力系統と連系して設置するもので、個人住宅用の小規模システム(3kW程度)から電気事業用の大規模発電設備(1MW以上)まで様々である。

太陽電池の製造コストは、1974年頃は20,000円/Wp以上もしていたが、1980年には5,000円/Wp、現在では600円/Wpにまで下がっている。さらに将来は技術進歩と量産化により、電池コストを100~200円/Wpにまで下げていく目標がある。目標が達成できれば、太陽電池の発電コストは、設備利用率を12%と仮定して計算すると16~31円/kWhになり、そのコストは昼間の電気代程度になる。しかし、このコストはセルの製造コストだけで計算した値で、それにはインバータ、保護

装置、輸送、据付けなどの費用は含まれていない。それらの費用は設置条件に大きく依存し正確な値を出すことは難しいが、現状で見ると住宅用で約50万円/kW、地上設置で約100万円/kWであり、発電コストにして50～100円/kWhの増加となる。

政府の導入目標は、2010年に460万kWであるが、その発電電力量は年間で48億kWh程度のもので、わが国の現在の総発電電力量1兆kWhの0.5%を賄う量である。太陽光発電は住宅などに屋根材と兼用して導入する方法が最も経済的で普及も早くなると考えられており、政府は住宅用太陽光発電の普及を促進するために、1997年度に111億円の資金補助を与えている。それによる設置者は、約9,000件で、1年間に約3万kWの太陽光発電設備が導入されたことになる。しかし、この導入ペースでは2010年の政府目標の達成は150年もかかることになり、太陽光発電が国の主要な電源になることは夢であることは間違いない。普及促進には、補助金を大幅に増額していくことが必要になる。

(2) 風力発電のポテンシャル

風力発電は、1970年代の石油危機を契機に、米国およびヨーロッパを中心にして導入が飛躍的に進んでいる。世界の風力発電は、独立発電機（平均出力100W）として約50,000基、系統連系しているもので約23,000基、その出力は220万kWになる。カリフォルニアは風力発電が最も多く導入されている地域で、1991年の実績では、約1万8,000基、発電出力で150万kW以上、年間電力量で約25億kWhにもなる。米国のカリフォルニア州では、州の電力量の42%が再生可能エネルギーで供給されて

いる。その内訳は、水力23%、地熱13%、バイオマス4%、風力1.3%、太陽熱0.3%、太陽光0.1%である。

わが国における風力発電は、欧米に比べその導入量はまだ僅かである。発電出力が比較的大きい250kWの風車の他に、出力が3kW程度の風車も数多く普及している。日本の風況は、米国に比べて良くない。年平均の風速は小さく、山岳地や丘が多いため風も不安定で、ウィンドファームに適した広い面積の土地が少ない。また立地制約として、搬入道路の敷設、自然公園法の規制、送配電線の敷設、騒音、景観、ラジオ・テレビなどへの電波障害、さらに離島においては資材の搬入用の港湾施設を新たに建設するなどといった問題点もある。こういった様々な障害を考慮すると、わが国で実際に導入できる風力発電はカリフォルニアに設置されている数より少ないものと考えられる（カリフォルニアに設置されている18,000基の風車による年間発電量は、わが国の総発電量の0.25%に相当する）。

日本に導入されている風力発電設備はまだ65基（1996年現在）で、運用実績は豊富とは言えない。比較的風況のよい飯島の風力発電（出力250kW）を例にみると、1～4月、11月、12月に強い風が吹き、設備利用率は年平均で20%程度である。一日の発電出力は平均して一定であるが、夕方になると風向きが変わるため、島の電力ピーク時に電気が発生せず設備としての価値を得ることが難しいといった問題がある。また風車が駆動を始めるカットインの風速を5m/秒としているが、年間の風速分布を表す出現頻度は5m/秒以下が約半分もあり、風速の小さいエネルギーをいかに利用していくか、その技術開発もこれからの大

きな課題となっている。

わが国における風力発電の導入を土地利用と風況から判断してみると、半島や岬、海岸、離島といった地点が最も有望である。日本の風況は冬季の季節風に最も大きく左右されている。強風地点として、北海道や東北地方の海岸が期待されるが、それ以外に、本州日本海側の海岸沿い、濃尾平野から遠州灘、房総半島の先端、宮城県の花巻山附近、久慈海岸などがあげられる。また半島や岬では、北海道の北部と南部の襟裳岬、秋田県と青森県の半島、佐渡島の北側、犬吠埼、石廊崎、潮岬、室戸岬、足摺岬などが比較的強い風に恵まれている。

(3) 森林のエネルギー生産量

わが国の森林面積は国連食料農業機構の統計データ(1990年)によると25.1Mhaである。年平均の森林蓄積量は温帯林としてみると約240t/haと推定される。その蓄積に要する期間は時定数で表すと40年といわれており(依田恭二, 1982年), 年間平均の蓄積量は6t/ha/年になる。これから全森林面積を利用したエネルギー生産可能量を概算すると, $25.1\text{Mha} \times 6\text{t/ha/年} \times 3.6\text{Gcal/t} = 5.4 \times 10^{14}\text{kcal/年}$ となる。現在のわが国の一次エネルギー総供給が $5.44 \times 10^{15}\text{kcal/年}$ であることから, 森林によるエネルギー供給ポテンシャルはその10%に相当する。もちろん日本の森林は険峻地が多いため, 実際にエネルギー生産に利用できる面積は限られており, すべてが利用できるわけではない。

(4) ゴミのエネルギー生産量

わが国の一般廃棄物の量は年間5,060万ト

ン(1991年)になり, 国民一人当たりにして1.12kgである。ごみ発電施設は, 1995年6月現在で建設中を含めると181ヶ所になり, 発電出力は769,642kWに達している。ゴミ発熱量は紙やプラスチックの消費に伴って増大しており, その値は石炭の3分の1の2,200kcal/kg(低位)である。一般廃棄物をすべて焼却してエネルギーとして利用した場合, そのポテンシャルはボイラ熱回収率を74%として82,300 Tcal/年になる。

一般廃棄物とは別に, 産業廃棄物である廃木材などの可燃性ゴミが年間約2,500万トンだけ発生しており, この保有エネルギーは74,000 Tcal/年(発熱量: 4,000 kcal/kg)となる。これからわが国で利用できるリサイクル型エネルギーの供給ポテンシャルは156,000 Tcal/年で, それはわが国の一次エネルギー供給の2.9%に相当する。

4. 発電技術のライフサイクル評価

4.1 敷地面積当りのエネルギー密度

都市への社会機能と人口の集中で, 都市のエネルギーの消費が年々増え続けている。都市を中心とした民生部門のエネルギー需要は, 過去10年間の平均伸び率でみると年率3.0%の高い値で推移している。都市におけるエネルギーの消費密度を敷地面積当りの電力消費量で調べてみると, 家庭で35kWh/m²・年, 事務所ビルで400kWh/m²・年になる。電力需要は, 都市の民生部門を中心に, 今後も高齢化, 冷房機器や情報化機器の普及, 大型住宅や建物の高層化など流れのなかで高まっていくことは間違いない。

高まるエネルギー消費密度に対して, 供給

側のエネルギー技術の密度はどのようになっているのだろうか。太陽光発電、風力発電、木材バイオマス発電、石炭火力、原子力発電について敷地面積当りのエネルギー密度を調べてみることにする。太陽光発電や風力発電は、エネルギー密度が $20\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 程度で、それは家庭の消費密度の3分の2である。バイオマス発電になると最も成長の早いポプラで、それも南米のような成育の早い地域に植林する条件で計算しても、そのエネルギー密度は $2\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ である。それに対して、石炭火力と原子力発電は、貯炭場や構内の緑地帯を含めて計算しても、敷地面積当りの密度はそれぞれ $9,560\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ と $12,400\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ にもなっている。その密度は、太陽光発電の400倍と500倍、バイオマス発電の4,700倍と6,000倍にも相当している。

もし土地の所要面積で比較するなら、同じ電力量を得るに必要な面積の比はエネルギー密度の逆数の比になる。石炭火力や原子力の発電所に要する面積は太陽光発電の400分の1と500分の1であり、それらがわずかな土地で大量のエネルギーを発生する電源であることがわかる。この結果は、優れたエネルギー密度を持つ火力発電や原子力発電が国土の狭いわが国で今日の大量にエネルギーを消費する社会を支えている理由にもなっている。

4.2 発電システムのライフサイクル分析

ライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）とは現代の複雑な工業社会が生みだした諸問題を取り扱うシステム分析法の一つである。それは、製品や技術について“ゆりかごから墓場まで”のライフサイクルにおける諸問題、特に環境問題を中

心に社会に与えている影響を総合的に分析する方法である。

発電システムのような社会インフラ施設のライフサイクル分析は、一般の製品と違い検討範囲が複雑である。その対象は、発電設備だけでなく、燃料の採掘、変換、輸送、そして発電、さらには送変配電といった電力輸送設備も含まれる。そしてこの発電に必要な一連の設備である「水平システム」について、“ゆりかごから墓場まで”の「垂直システム」を検討することになる。すなわちそれぞれの設備について、建設、運転・保守、廃棄に係わる投入エネルギーや環境負荷を調べなければならない。

(1) 在来発電のCO₂排出原単位

温室効果ガスには、単にエネルギー（石炭、石油、天然ガス、電力）の消費によって発生するCO₂だけでなく、天然ガスの採掘時に粗ガス中に含まれるCO₂、セメント製造時の化学反応で発生するCO₂、それに石炭や天然ガスの採掘時に大気中に漏洩するメタンなどがある。メタン洩れは採掘地点で大きく異なるが、わが国に輸入しているガス田と炭鉱について調べると、天然ガスで生産ガス量の1%、坑内掘りで石炭1トンあたり約7.3kgのメタン洩れがあるといわれている。漏洩メタンの温暖化影響はCO₂に比べて大きい。それは、メタンが時間とともに分解していくため積算年数によって異なる。今回の検討では積算年数を100年とし、温暖化ポテンシャル(Global Warming Potential)をIPCC報告書のデータからCO₂の21倍として計算している。

電気事業用の実用プラントを中心に火力、原子力、自然エネルギー発電についてCO₂排

出原単位を求めてみる。表3は発電システムのCO₂排出量を1 kWhの電気を生産するのに排出する量で推計した結果を設備製造、運転保守、燃焼、メタン漏れに分けて示したものである。表の値はプラントの寿命30年間に発生する全CO₂量を、その間の発電電力量（送電端）で割ったものである。

発電システムの温暖化影響はCO₂排出原単位の大きさに比例する。表の結果をみると、水力が最も小さく、原子力、地熱、その他の自然エネルギー、そして火力発電の順に大きくなっている。特に火力発電の温暖化影響は、原子力や自然エネルギーに比べてかなり大きい。それは発電時に燃料の燃焼によって直接に排出するCO₂量が、設備や運用、あるいは

メタン洩れといった間接的な排出量に比べ圧倒的に多いためである。

火力発電だけを比較すると、石炭、石油、LNGの順にCO₂排出原単位は小さくなっている。その比率は発電用燃料だけで比べると100：76：56であるが、設備と運用、それにメタン洩れを含めて比較すると100：74：66と、石油火力はやや優位になり、逆にLNG火力の優位性が小さくなっている。これは天然ガスの採集と液化に消費するエネルギーが大きく、かつ粗天然ガスに含まれるCO₂が多いためである。液化時と粗天然ガス成分中のCO₂量は、発電時の燃料から発生する値の約25%に相当している。

表 3 各発電システムのCO₂排出原単位

単位：g-C/kWh

発電システム	設備製造	維持保守	燃 焼	メタン漏れ	合 計
石 炭 火 力	1.09	9.78	246.33	12.69	269.89
石 油 火 力	0.62	7.21	188.41	3.10	200.06
L N G 火 力	0.55	24.10	137.27	16.05	177.67
原 子 力 発 電	1.00	4.46	—	0.24	5.70
水 力 発 電	4.63	0.07	—	0.11	4.81
地 熱 発 電	1.39	4.63	—	0.27	6.29
風 力 発 電	6.73	2.41	—	0.37	9.51
太陽光（家庭）	11.91	3.57	—	0.53	16.01
太陽光（地上）	26.24	6.82	—	1.25	34.31

注）メタン漏れは温暖化ポテンシャルによりCO₂量に換算。

太陽光発電は、家庭の屋根材として設置する小規模電源（3 kW）と、電気事業が地上に設置する大規模設置（1,000kW）について検討した。

原子力発電は燃料からCO₂を排出しない分、温暖化影響が小さく、その値はLNG火力の1/30である。原子力発電は、燃料サイクルが複雑で、そのプラント建設に多くの資材とエネルギーを必要としている。しかし、それを耐用期間で均等化し、かつ発電所1基分相当の値にしてみると、それほど大きくはない。建設から排出するCO₂に比べれば、燃料サイクルの運用エネルギーによって排出する量の方が大きく、特にウラン濃縮時の多量の電力消費によるCO₂量は極めて大きい。

自然エネルギーも温暖化を抑制する発電システムである。太陽光発電の排出原単位は、原子力と水力よりは大きな値であるが、火力の値に比べるとかなり小さい。特に家庭の屋根に設置すれば、架台や基礎工事を必要とする電気事業用の導入に比べ原単位は半分以下にまで改善することになる。

(2) 技術進歩による改善効果

発電技術でCO₂を抑制していくには、CO₂排出原単位が小さい原子力発電や自然エネルギー発電を積極的に導入しなければならない。しかし、水力や地熱、原子力発電は、実際には立地上の制約が大きく大量に導入することは難しい。わが国の電源構成は、総発電量の61%が火力発電によって賄われており、将来の見通しをみてもその比率は2000年で57%、2010年で50%となっており、将来とも火力発電が電力供給の中心であることに変りはない。発電のCO₂を抑制していくためには、火力発電に対してもCO₂を削減する技術開発努力が必要である。

火力発電のCO₂排出量の大半は、発電時の燃料から排出している。CO₂を削減するに

は、燃料を節約していくことが最も大切であり、それには高効率発電やコージェネレーションといった技術開発が必要になる。発電効率を向上する技術には、LNGを燃料とするLNG複合発電、石炭を燃料とする超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電、それに石炭ガス化溶融炭酸塩型燃料電池などがある。

原子力発電はライフサイクルからみたCO₂排出量が最も小さく、温暖化抑制効果が最も大きい発電システムである。現在、わが国では軽水炉の使用済み燃料を再処理してプルトニウムを取り出し、それを燃料として再利用するプルサーマル路線の開発が進んでいる。濃縮ウランにしても、これまでの海外のガス拡散プラントで製造されたものから、わが国の独自技術である遠心分離法による生産が計画されている。また、準国産資源であるプルトニウムを高速増殖炉で利用していけば、ウラン資源の有効活用が図れる。

自然エネルギーを利用する発電もCO₂の排出を抑制することができる。その抑制効果は技術進歩と設置方法の工夫によって高まっていく。具体的な対策として、①年設備利用率が高まる地点の選定、②設備の長寿命化、③設備の簡素化、④建物や構築物との併設、⑤発電効率の向上、⑥エネルギー消費原単位が小さい新材料の使用、などが考えられる。この対策の中で、太陽光発電のように家庭の屋根や道路の防音壁のような建物や構築物と一体にして設置する方法は、単にCO₂の抑制だけでなく早期の経済性を高める方法として有望である。

図2は、発電技術の進歩によってCO₂排出量がどのように改善されるかを示したものである(文献1, 2)。火力新技術の中で、LN

G複合発電（発電効率50％）は在来火力であるLNG火力に比べCO₂原単位を22％も低減している。その値139 g-C/kWhは、現時点（1992年）の電源構成の平均値128 g-C/kWhにほぼ近い値である。石炭火力の場合、新技術による排出原単位の低減効果は、超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電、熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC）複合発電で、それぞれ10％、13％、30％である。原単位の低減率は、主に発電効率の上昇率にほぼ比例している。

原子力技術で遠心分離法、高燃焼度技術、高速増殖炉といった新技術は、CO₂排出量を改善する。中でも高速増殖炉は、改善効果において最も優れている。その理由は、高燃焼度と設備利用率の大きさである。高速増殖炉の燃焼度は61GWd/tと軽水炉の45GWd/tに比べて大きく、年間の設備利用率も90％にも

なる。すなわち、高速増殖炉はわずかな燃料で長時間、大きな出力を発生する能力を持ったプラントである。

図には、自然エネルギーとして太陽光発電の技術進歩によるCO₂排出量の改善効果を示す。電気事業用の太陽光発電は、セル効率が17％から20％にまで向上すればCO₂排出量が35％も低減する。アモルファスシリコンはセル厚が数ミクロンであり、シリコン量が少ない分、セルの製造エネルギーを大幅に削減できる。もし、目標とするセル効率（12.6％）が達成されれば、太陽光発電のCO₂排出量は家庭の屋根設置の場合で約半分にまで低減することになる。

(3) ライフサイクル分析のまとめ

ライフサイクル分析で得られた結果を参考

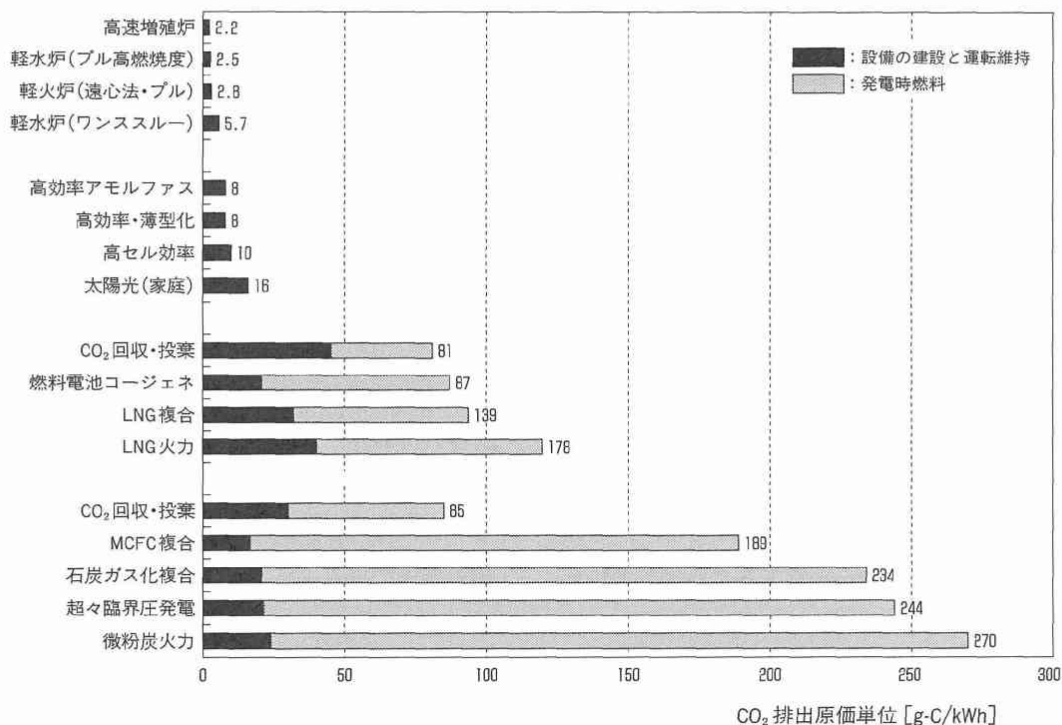


図 2 新技術による CO₂ 排出原単位の改善

に発電プラントのCO₂対策を考えてみよう。

早期に考えられる対策は、火力発電の燃料を石炭や石油からLNGに転換し、高効率のLNG複合発電を導入していくことである。もし既存の火力電源がすべてLNG火力に置き換えれば、わが国の電力部門のCO₂排出量は1990年度レベル以下にすることができる。しかし、発電燃料をLNGだけに大量に依存することは、将来、天然ガスの供給不安を招く恐れがある。特に世界の多くの国々が天然ガスにシフトしている最近の状況を考えると、天然ガスの需給逼迫の懸念が来世紀初頭に心配される。もしメタンハイドレートのような膨大な天然ガスが利用できなければ、天然ガスへの燃料シフトは、所詮一時凌ぎであって、子孫へのCO₂対策の先送りである。石炭は資源が豊富で、長期にわたり安価で安定な供給が期待できる。社会は、将来も石炭に依存せざるを得ないことは確かであることから、できるだけ効率の良い石炭技術の導入が望まれる。

CO₂の回収技術は、火力発電のCO₂抑制に大きな効果がある。排ガス中のCO₂を90%近くも削減するため（実際には電気の自家消費が多いためkWh当たりの削減量は90%より少なくなる）、高効率技術に比べCO₂の抑制効果は大きい。CO₂削減から見るとCO₂回収技術の導入は効果的であるが、問題は技術の信頼性、経済性、それに新たに発生する外部性問題である。新たな外部性とは、CO₂回収時に大量の電力を消費するため化石燃料を無駄にすること、回収したCO₂を海洋などに投棄したときの環境影響等である。化石燃料の無駄や海洋への環境問題等を考えると、CO₂回収技術は、石油の二次回収としての利

用以外はできるだけ導入を避けたい。

発電時にCO₂を発生しない再生可能エネルギーと原子力は、CO₂抑制に最も大きな役割がある。それらはライフサイクルから見た化石燃料消費もkWh当たりの値が小さく、化石燃料を節約する技術でエネルギーセキュリティとしても優れている。太陽光発電や風力発電もCO₂を抑制する技術として期待されるが、問題はコスト高と供給の不安定さである。対策技術として当面、大きな寄与は期待できない。それに対して、原子力、水力、地熱は最も安価に、かつ大量にCO₂を削減する技術である。問題は、立地の制約である。原子力には安全性への不安、放射性廃棄物、核拡散、水力と地熱には国立公園の環境問題など、CO₂分析では判断できない社会問題が技術の導入に大きく影響している。わが国のCO₂問題の解決に原子力、水力、地熱の導入は不可欠であるが、それには国民レベルあるいは地域住民レベルで建設の理解を得る必要がある。

5. おわりに

太平洋沿岸のアジア諸国のエネルギー需要が拡大しつつある。

この成長傾向は今後も続いていくことが予想されており、2000年までのGNPの伸びは年率5%以上とわが国の2%を大きく上回るといわれている。問題は、将来のエネルギー源の確保である。日本、オーストラリア、中国、インドを含めたアジア地域は、人口が多いため一人当たりの化石資源の埋蔵量は、地域別に見て最も少ない。そしてアジアのエネルギー安定供給の脆弱性は、将来、人口増加

とともに高まっていく。

また化石燃料の大量消費は、酸性雨や温暖化といった地球規模の環境問題の原因となっている。昨年12月に開かれた地球温暖化防止京都会議（COP 3）において先進国は、温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までに1990年レベルよりも平均で5.2%削減する目標が設定された。化石燃料の代替エネルギーとして期待されるのが新エネルギーと原子力発電である。新エネルギーは、温暖化問題の解決だけでなくエネルギーセキュリティにおいても貢献できる可能性がある。しかし、新エネルギーである太陽光発電や風力発電、それにゴミなどのリサイクル型エネルギーの供給ポテンシャルは、わが国ではせいぜい5%が限度で、その利用可能量には限界があるということも理解すべきである。

高い経済成長とエネルギー需要の急増が予想されるアジア諸国にとって、原子力は将来の重要な発電源になることは間違いない。しかし、その巨大技術を安全に駆使していくに

は、発電だけでなく濃縮や再処理、廃棄物処分といった燃料サイクルを含めて、しっかりしたインフラの整備を図る必要がある。わが国はアジアでも最も進んだ技術力をもつ国であり、アジア地域において原子力技術の基盤整備に果たす役割は大きい。原子力のインフラ整備には、技術力の他に巨額な資金と核拡散防止などの核管理が必要になる。将来のアジアにおけるエネルギーの安定供給を確保するには、原子力平和利用の管理体制をわが国が率先して今から準備しても遅くはない。

[引用文献]

- ① 内山洋司「原子力なくして未来はあるのか」エネルギーレビュー、第17巻、第1号（1996年8月）
- ② 内山洋司「発電プラントのライフサイクル分析」電力中央研究所研究報告Y94009（1995年）
- ③ 内山洋司、横山速一「原子力発電新技術のライフサイクル分析」電力経済研究 No. 37（1996年）



革新的ソーラ熱化学プロセスの概要と 国際協力の可能性調査

—太陽熱エネルギーと石炭・天然ガスのハイブリッド利用—

玉 浦 裕 (東京工業大学
炭素循環素材研究センター 教授)



1. はじめに

地球温暖化防止のための温室効果ガス排出削減は、特定の国だけが実施しても効果はなく、国際的取組みが不可欠である。このような背景から、1997年12月のCOP3(地球温暖化防止京都会議)において、先進各国は、国際協力による革新的技術の開発・普及と途上国への環境技術移転を、CTI(Climate Technology Initiative, 気候変動技術イニシアティブ)の拡充・強化により促進することに合意した。わが国も、IEA/OECD(国際エネルギー機関/経済協力開発機構)を中心としたCTIメンバー国に対し、国際協力による革新的技術開発の課題とその枠組みについて提言することが望まれている。

本調査は、上述の提言に資するものであり、CTIメンバー国に対し魅力ある技術開発内容を提案するため、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託事業として、平成9年度よりエネルギー総合工学研究所により行われてきた。温室効果ガス削減への重要な鍵を握ると考えられる太陽エネルギーのグ

ローバルな利用に向けての「太陽熱化学プロセスによる二酸化炭素(CO₂)リサイクルシステム」および「CTIの下、国際協力による技術開発の可能性」に関する調査とともに、「在来エネルギーの現状と将来への見通し」「新エネルギーの開発状況と見通し」等に関する調査が行われ、筆者はこれらの調査に主査として関与した。

本稿では、この調査による太陽熱化学プロセスによる「ソーラハイブリッド燃料」生産システムの概要と国際協力の可能性について概説する。

2. わが国の「21世紀エコ・エネルギー」 としてのソーラハイブリッド燃料

風力発電、ごみ発電等のような再生可能エネルギーやリサイクル系エネルギーは、21世紀の地球環境時代の申し子ともいうべきもので、「21世紀エコ・エネルギー」として、新しいエネルギー産業として育成していく必要がある。

本提案システムは、日本国内で利用される

事務局注：本稿は、当研究所が開催した「第158回月例研究会」(平成10年5月)における講演資料を、本誌掲載のため一部補筆していただいたものです。

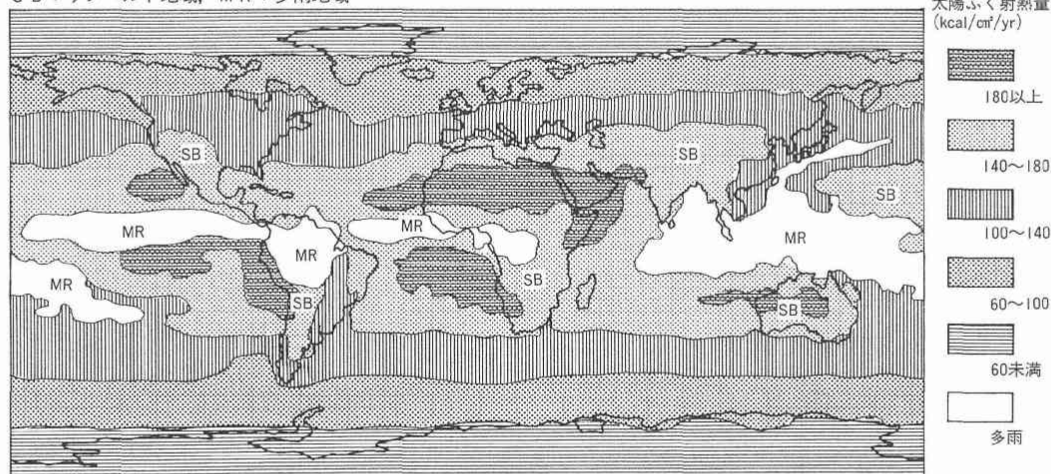
エネルギー供給という観点において、化石燃料を使用しながら環境負荷を低減し、海外のサンベルト地域（図1の太陽輻射熱量140 kcal/cm²/yr以上の地帯）からの太陽エネルギー導入を促進するという、新しい「21世紀型エコ・エネルギー」の側面を持っている。

本提案システムによる「ソーラハイブリッ

一の観点で、石炭依存度をキープする上での重要なテクノロジーを提供するものであり、世界的にも同様といえる。

後掲の第4章で述べるように、石炭と天然ガスとの比率が1:1で生産される「ソーラメタノール」を日本に運んできて火力発電所、自動車、化学工場等で原・燃料として利用す

SB：サンベルト地域，MR：多雨地域



出所：西上・柳沢共著，第12回エネルギーシステム経済会議資料 P.325，1996より作成

図1 世界のサンベルト地域

ド燃料」は、サンベルト地域において、石炭・天然ガスを太陽エネルギーとミックスして生産されるもので、大気汚染のないクリーンな石油代替エネルギーとして利用できる。自然エネルギーである、海外のサンベルト地域の太陽エネルギー資源を、わが国内において燃料として利用することにより、太陽エネルギー分だけのCO₂削減を可能にする。

天然ガスに対しては、液化天然ガス(LNG)輸送に代わる技術として提供できる。また、石炭に対しては、燃焼熱に太陽エネルギーが含まれる石炭代替燃料としての新しい利用方法を提供するもので、CO₂削減もできる。したがって、日本のエネルギーセキュリティ

と、太陽エネルギーが導入されている分、CO₂が約14%削減できる。メタノール(CH₃OH)は、LNG同様にコンバインドサイクル発電に利用でき、自動車用メタノール燃料として直接噴霧燃焼と燃料電池の両方に利用可能である。ソーラ・ジメチル・エーテル(CH₃OCH₃)としたときには、ディーゼルエンジンに直接利用できる。クリーンな燃料であり、石炭や天然ガスの直接利用に伴う大気汚染問題や環境汚染問題(ベンゼン、NO_x等)を大巾に改善できる。多くの産業分野、民生部門でクリーンな燃料として使用が可能である。CO₂を回収しない場合でも、これらの部門のすべてで一律約14%のCO₂が削減可能となる。

この削減は、サンベルト地域からの太陽エネルギーの導入によって行われる。つまり、日本国内に海外から新エネルギーを約14%導入したのと等しいことになる。

また、現在輸入している石炭と天然ガスを、このソーラメタノールやソーラ・ジメチル・エーテルの形に変えて輸入でき、言い換えれば、天然ガスと石炭の全く新しい輸送手段ともなる。石炭のCO₂排出分を天然ガスのみで削減しようとする、石炭の輸入を抑え、天然ガスを増やさなければならない。しかし、この新しい輸送手段では、石炭と天然ガスの輸入率を1:1にキープしておくことができる。石炭の輸入を減らす必要もなく、かといって天然ガスに強く依存する必要もない。エネルギーセキュリティの観点からはバランスをうまく保つことが可能となる。

メタノールはLNG同様クリーンであり、ガスタービンに適用できる。本提案システムでは、原料として石炭・天然ガスを用いて、「ソーラハイブリッド燃料」であるソーラメタノールやソーラ・ジメチル・エーテルを生産することができるので、これらの生産技術により、「ソーラメタノール発電」に必要な燃料の供給が可能となる。本提案の研究開発プロジェクトでは、これらのソーラハイブリッド燃料の生産技術の開発、およびソーラメタノール発電の高効率システムの開発を重点項目として進める。

次世代の発電システムは、発電所にCO₂分離回収設備を付帯し、発電所から出るCO₂はサンベルト地域との間でリサイクルされ、このCO₂と太陽エネルギー利用の水電解によりつくられるソーラ水素とから生産されるソーラメタノールやソーラ・ジメチル・エーテ

ルを燃料として利用するシステムの採用が考えられる。これを「グローバル炭素循環エネルギーシステム」と呼んでいる。このシステムのもとでは、CO₂による地球温暖化を引き起こすことなく、化石燃料の代替燃料として、ソーラハイブリッド燃料を利用することができる。

本提案システムは、このシステムを構築する方向での第一歩を踏み出すものであり、その目標は、

- ① 石炭・天然ガスと太陽エネルギーとをミックスした市場性のある「ソーラハイブリッド燃料」の生産の開始
- ② CO₂回収型の高効率「ソーラメタノール発電」システムの稼働の開始

である。これらは、早期の実用化が可能であり、地球温暖化を回避する上での実効性のある、現実的なCO₂削減技術システムである。

わが国は、本提案システムをCTIの国際プロジェクトとして早急に立ちあげ、ソーラハイブリッド燃料生産技術とソーラメタノール発電システムの確立について先進国の技術トップクラスを目指す。実際の導入に当たっては、わが国の新しい「21世紀エコ・エネルギー」技術の一つとして位置づけ、産業界が導入努力するとともに、経済性、制度的環境等の導入制約要因の打開を重視した政府の取組みも重要となる。海外のサンベルト地域の国際太陽エネルギー産業を巻き込んだ、新規エネルギー産業分野としての成長が期待される。

3. 太陽熱化学プロセスによるソーラハイブリッド燃料の生産

3.1 太陽熱化学プロセス

太陽熱化学プロセスは、集光した高温太陽

熱を用いて吸熱化学反応により化学エネルギー（燃焼により発生するエネルギー）に変換するもので、理論変換効率は1000倍集光で約75%である。集光に用いるヘリオスタットは、現在、膜成形（stretched membrane）型が最新であり、コストは8000～4000円/m²となっている。化学エネルギー変換効率を50%、太陽エネルギー密度を1.0kW/m²とすると、70 MWの化学エネルギーを生産するソーラファームの面積は17万m²で、半径230mの円形ファーム、ヘリオスタット被覆率が0.84のとき、約12億円（8600円/m²）の建設費となる。大面積の開発にはヘリオスタットは有効である。このように太陽熱化学プロセスに用いるソーラ集光設備費は、化学プラントの設備費に比べるとかなり低く、太陽熱化学プロセスの建設コストは、むしろ化学プラントのコストによって決定される。集光系はSCOT（Solar Concentration Off Tower、タワー型集光）型が優れる。イスラエルのワイズマン科学研究所（WIS）では、米国のボーイング系のロックダイン社と共同で太陽熱化学利用目的のSCOT型のパイロットプラントを建設中で、平成10年12月に完成予定である。SCOT型のソーラ設備に関する建設コストについては、すでにフィージビリティスタディが終了している。

太陽熱化学プロセスと太陽熱発電は、いずれも集光高温太陽熱を利用する点では同じであるが、一方が化学エネルギーに変換し、片方が電気に変換する点で大きな相違がある。太陽熱発電は、集光して得られる高温太陽熱をガスタービンやスチームタービンに用いて電気に変換するが、太陽熱化学プロセスでは、高温太陽熱を吸熱化学反応として用いて、化

学エネルギーに変換する。両者の変換効率の差異は、太陽熱発電による電気エネルギーへの変換効率が実効で15～25%、太陽熱化学プロセスでの化学エネルギーへの変換効率は実効で30～45%が得られる。

日本は、図1に見られるように、太陽エネルギーの豊富なサンベルト地域から遠く離れており、太陽エネルギーを電気に変換して輸送することは困難で、化学エネルギーに変換して輸送する以外に方法はない。また、日本の一次エネルギーとしての太陽エネルギーを考えると、太陽熱発電の実現性は低い。

化学エネルギーにしてソーラハイブリッド燃料に変換すると、この燃料は火力発電の他、運輸部門や化学工業用の燃料として従来のインフラを利用して太陽エネルギーが導入できる利点がある。

3.2 太陽エネルギーと化石燃料とのハイブリッド利用

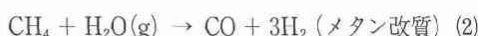
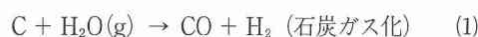
本提案技術は市場性のあるソーラハイブリッド燃料を製造することにより、太陽エネルギーの開発を経済的に進めることを第一のねらいとしている。

化石燃料と太陽エネルギーとのハイブリッド化は、天然ガス（メタン）の改質反応か石炭（主に炭素）のガス化反応により合成ガスをつくり、これをメタノールかジメチルエーテルに転換する。このうち、天然ガスの改質反応と石炭のガス化反応は吸熱反応であり、この吸熱反応に必要なエネルギーとして集光した太陽熱を供給する。この熱は、生成物のメタノールやジメチルエーテルの化学結合エネルギーとして蓄えられる。これを利用するには、メタノールかジメチルエーテルの燃焼

熱として取り出すか、燃料電池に用いて電気エネルギーとして取り出す。取り出されるエネルギーは、もとの天然ガスあるいは石炭を単独で燃焼して燃焼エネルギーとして利用する場合に比べると、太陽エネルギーをハイブリッド化したものの方が単位炭素あたり多くのエネルギーが取り出せる。石炭と天然ガスの比率が1:1のとき、およそ14%の太陽エネルギーをハイブリッド化させて利用できる。

経済性を考えると、太陽エネルギーを100%利用した水電解によるソーラ水素は、仮に化石燃料に10%の太陽エネルギーをハイブリッドしたソーラ燃料に比べると、ソーラ設備が10倍になり、それだけコストは高く、広大な設備面積を必要とする。結局そのような燃料は大変高価格になり、化石燃料とは太刀打ちできない。このことは、100%の太陽エネルギーによりソーラ燃料（水素）を生産しても経済性がないことを意味する。本報告書の提案システムは、14%程度の太陽エネルギーの入ったソーラハイブリッド燃料を生産するものであり、経済性のある太陽エネルギー開発が可能となる。

3.3 太陽熱化学プロセスによる石炭・天然ガスからのメタノール・ジメチルエーテルの合成
太陽熱を利用して、石炭（C）1モルまたは天然ガス（メタン、CH₄）1モルと水蒸気（H₂O〔g〕）1モルとにより、吸熱反応である以下の反応



を起こさせる。次に、これらの反応で得られる一酸化炭素（CO）2モルと水素（H₂）4モ

ルガスを原料として下記反応により



メタノール2モルまたはジメチルエーテル1モルが生産できる。

石炭および天然ガスを燃焼させて得られるエネルギーは、高位発熱量（HHV、燃焼で生じた水蒸気（H₂O）が液体〔水〕に戻るときの凝縮熱も含めたもの）基準で、それぞれ393.5kJ/mol、890.4kJ/molである。これに対し、本提案のプロセスで得られたメタノールおよびジメチルエーテルを燃焼させて得られるエネルギーは、高位発熱量でそれぞれ726.6kJ/mol、1460.5kJ/molとなる。反応プロセス前の石炭（C）1モルと天然ガス（メタン、CH₄）1モルが持っている総エネルギーは1283.9kJである。一方、反応後の総エネルギーはメタノール（2モル）の場合は1453.2kJ、ジメチルエーテル（1モル）の場合は1460.5kJとなる。したがって、メタノール2モルを合成した場合、エネルギー量が169.3kJ（約13%）、また、ジメチルエーテル（1モルを）合成した場合、176.6kJ（約14%）増大したことになる。このエネルギー増大分が燃料の持つ化学エネルギーとして固定された太陽エネルギーである。

このように、石炭と天然ガスを1:1モル比率で合成したソーラメタノールでは、燃焼後のCO₂を回収しなくても、約14%の太陽エネルギーの導入が可能であり、その分CO₂を削減できる。

3.4 CO₂削減効率

石炭（C）の燃焼反応は

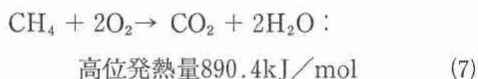


で、石炭(C) 1 モルを燃やすと 393.5 kJ の熱と 1 モル (0.044 kg) の CO₂ が発生する。石炭を微粉炭火力で燃やして電気に変えたとすると、その発電効率(燃料のエネルギーが電気に変換される割合)を 40% (高位発熱量基準) とすると、発生する単位発電量当たりの CO₂ 量は

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ 発生量} / \text{発生電力量} \\ &= \text{CO}_2 \text{ 発生量} / (\text{発熱量} \times \text{発電効率}) \\ &= 0.044 \text{ kg} / (393.5 \text{ kJ} \times (1/3600) \\ & \quad (\text{kWh/kJ}) \times 0.4) \\ &= 1.01 \text{ kg/kWh} \quad (\text{石炭のケース}) \quad (6) \end{aligned}$$

となる。

天然ガス(メタン, CH₄)の燃焼反応は



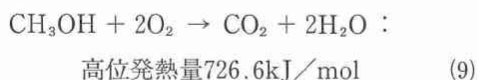
であるから、天然ガス(メタン, CH₄)を燃やすと 890.4 kJ の熱と 1 モル (0.044 kg) の CO₂ が発生する。日本で天然ガスを用いる場合、LNG に液化して東南アジア、アラスカ等の海外から輸入されている。この液化にエネルギーを消費するので、CO₂ 排出量を求める上では、その液化効率(投入された天然ガスの内、液化された割合)も含める。いま、この液化効率を 86% とする。また、LNG をガスタービン・コンバインド・サイクルで燃やして電気に変えたとし、その発電効率を 50% とすると、発生する単位発電量当たりの CO₂ 量は

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ 発生量} / \text{発生電力量} \\ &= \text{CO}_2 \text{ 発生量} / (\text{発熱量} \times \text{液化効率} \times \text{発電効率}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0.044 \text{ kg} / (890.4 \text{ kJ} \times (1/3600) \\ & \quad (\text{kWh/kJ}) \times 0.86 \times 0.5) \\ &= 0.41 \text{ kg/kWh} \quad (\text{天然ガスのケース}) \quad (8) \end{aligned}$$

となる。

一方、メタノール(ソーラハイブリッド燃料)の燃焼反応は

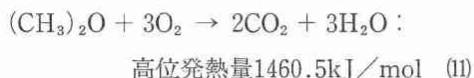


で、メタノール(ソーラハイブリッド燃料) 1 モルを燃やすと 726.6 kJ の熱と 1 モル (0.044 kg) の CO₂ が発生する。メタノール(ソーラハイブリッド燃料)をガスタービン・コンバインド・サイクルで燃やして電気に変えたとし、その発電効率を 50% (HHV 基準) とすると、発生する単位発電量当たりの CO₂ 量は

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{ 発生量} / \text{発生電力量} \\ &= \text{CO}_2 \text{ 発生量} / (\text{発熱量} \times \text{発電効率}) \\ &= 0.044 \text{ kg} / (726.6 \text{ kJ} \times (1/3600) \\ & \quad (\text{kWh/kJ}) \times 0.5) \\ &= 0.44 \text{ kg/kWh} \quad (\text{メタノールのケース}) \quad (10) \end{aligned}$$

となる。

また、ジメチルエーテル(ソーラハイブリッド燃料)の燃焼反応は



である。ジメチルエーテル 1 モルを燃やすと 1460.5 kJ の熱と 2 モル (0.088 kg) の CO₂ が発生する。ガスタービン・コンバインド・サイクルで燃やして電気に変えたとし、その発電効率を 50% (HHV 基準) とすると、発生す

る単位発電量当たりのCO₂量は

$$\begin{aligned}
 & \text{CO}_2 \text{ 発生量} / \text{発生電力量} \\
 & = \text{CO}_2 \text{ 発生量} / (\text{発熱量} \times \text{発電効率}) \\
 & = 0.088 \text{ kg} / (1460.5 \text{ kJ} \times (1/3600) \\
 & \quad (\text{kWh/kJ}) \times 0.5) \\
 & = 0.43 \text{ kg/kWh} \quad (\text{ジメチルエーテルの} \\
 & \quad \text{ケース}) \quad (12)
 \end{aligned}$$

となる。

以上の計算より、ソーラハイブリッド燃料をメタノールやジメチルエーテルとして生産した場合、単位発電量当たりのCO₂排出量は0.44または0.43kg/kWhであり、LNG単独利用のときの0.41kg/kWhと同等まで低減できることがわかる。

さらに、これらのソーラハイブリッド燃料(メタノール、ジメチルエーテル)は、式(1)~(4)により、石炭(C) 1モルと天然ガス(メタン, CH₄) 1モルとから合成した場合には、石炭と天然ガスを単独で1:1で使用した場合のCO₂発生量である0.71kg/kWh(式(6)と(8)の単純平均)よりも約40%程度低くなる。つまり、石炭:天然ガス=1:1で生産したソーラハイブリッド燃料では、火力発電用燃料として利用した場合(現在使用中、もしくは今後使用する予定の石炭、天然ガスを1:1の比率でソーラハイブリッド燃料に転換する場合)には、太陽エネルギーの導入分も含めて約40%のCO₂削減が理論上可能となる。

3.5 コ ス ト

天然ガスの改質反応については改質器や合成器に関するコストデータがある程度利用できたので、コストの試算は、以下のように天然ガス100%使用の場合について行った。しか

し、太陽反応炉による石炭のガス化は従来のガス化炉と設計や規模が抜本的に異なるため、従来のものに対するコストデータが利用できなかったので、今回は石炭使用の場合のコスト試算は行わなかった。

太陽熱利用熱化学メタノール(ソーラーメタノール)の炉前コストについて、プラント規模をメタノール製造量2万t/日、稼働時間を24時間/日、構成設備を表1の仮定で概算した。なお、改質ガス貯蔵タンクに昼間に改質したガスを貯蔵し、夜間に合成反応器へ供給するとした。

試算の結果、ソーラーメタノール合成施設の設備費は3600億円となり、これは同規模のメタン改質メタノールプラントの1.2倍となる。一方、東南アジア立地でのメタノール炉前コストが2.20円/kWh(原料費:0.56円/kWh, 製造費:1.24円/kWh, 輸送コスト:0.16円/kWh, 受け入れ基地コスト:0.24円/kWh)と試算されているので、製造費が設備費に比例すると仮定すると、太陽熱化学

表 1 ソーラーメタノール製造設備費概算

設 備 名 稼働時間/日	メタノール製造量・設備数・ 設備費等
プラント規模 (24時間)	2万t/日
構成設備	
●太陽集光設備 (8時間)	500t/日・基×40基 20億円/基×40基= 800億円
●ソーラー改質器 (8時間)	500t/日×40台 30億円/台×40台= 1,200億円
●改質ガス貯蔵タンク	内径10m・貯蔵圧力10気圧 の球形タンク×1基 100億円
●合成反応器 (24時間)	2万t/日のメタノールプラ ントが3000億円なので、 その1/2とする 1,500億円
	プラント設備費総額=3,600億円

(ソーラ) メタノールのコストは2.45円/kWhと推算された。

この結果をLNG(東南アジア)、メタン改質メタノール(東南アジア)、石炭併用メタノール(WE-NET、水素利用国際クリーンエネルギー技術プロジェクト)、液体水素(WE-NET)の試算結果と比較したのが図2である。従来自然エネルギー利用によるメタノール、液体水素に比べてその炉前コストは約2/5、1/5に低減されている。また、LNG、メタン改質メタノールに比べてその炉前コストは約1.3倍、約1.1倍であり、その価格差はほとんどないといえる。

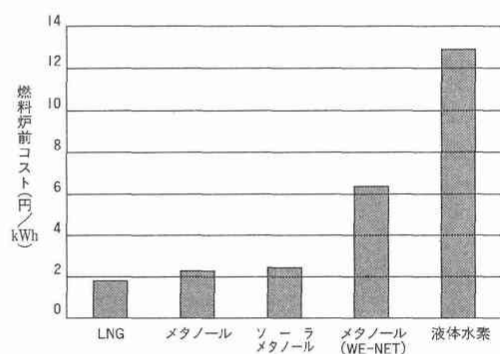


図2 各種メタノールのコスト比較

3.6 太陽熱化学プロセスの開発見通し

太陽熱化学プロセスによる太陽熱利用技術については、日本は世界から立ち遅れた状況にある。太陽光を集光するヘリオスタット群(SCOT型)の実用化段階での最適サイズは、経済性を考慮すると、400m×400mである。変換効率40～50%のとき、この規模で約60～70MWの化学エネルギーが生産できる。この大きさに要する反応器は、現在、開発が進められている石炭・天然ガス利用のプラントのものの大きさに比べると約1/10で、1桁

小さい。従って、プロセスに必要な太陽熱反応器は、これまでのような石炭・天然ガス利用の開発プロジェクトに比べるとかなり小型である。太陽エネルギーが希薄なためであるが、逆に、この程度の規模のものを開発すれば済むものである。太陽エネルギー利用の開発は、希薄な太陽エネルギーをいかに経済的に効率よく集めて利用可能にするかにあり、大量の一次エネルギーガスを生成するために大量の化石燃料を燃焼するこれまでの石炭ガス化装置の開発感覚とはかなり異なった面をもっている。

実用化に至るまでには、何段階かのスケールアップの実験を重ねる必要があり、100m×100m規模の実験からスタートすることになると思われる。この規模の実験場を日本国内に造ることは不可能ではないが、土地の確保、日照条件等の問題があり、パイロット運転ができる試験研究場は、オーストラリアの研究機関との共同でオーストラリアに設置するのが一案かと思われる。

オーストラリアは、日本と地理的に近く、サンベルト地域の太陽エネルギー(図1)とともに石炭も豊富である。エネルギー資源に恵まれない日本としては、できるだけ早い時期にオーストラリアとの共同で、これらの最も安定したエネルギー資源の開発を進めることが好ましいと思われる。

本提案のシステムに必要な要素技術は、今後の開発に依存するところが大きい。しかし、大規模な装置を開発するものではないので、開発上のリスクはかなり小さい。日本ではこれまで取り組みがなかった分野ではあるが、日本の技術力からすれば、なんら問題はないと思われる。太陽熱化学プロセスに適した集

光系は SCOT 系といわれている。この集光系はビームダウン方式となるので、重量のある化学反応装置を地面に置くことができる。集光はヘリオスタット群で行ない、タワー上部に取り付けた反射鏡に集める。

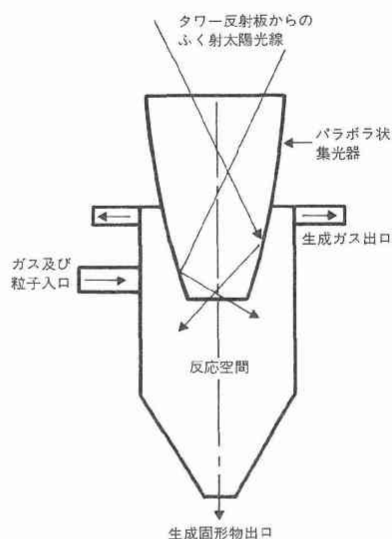


図3 パラボラ状集光器を装備したサイクロン粒子型ソーラーリアクター

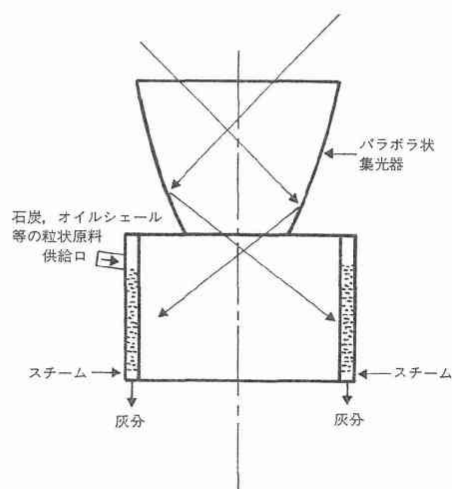


図4 太陽熱を利用する環状流動床ソーラーリアクター

天然ガスの改質反応を行わせるには、60～70MWの化学エネルギー生産ソーラファームの場合、3～4万 m^3/h の流速で流動床型反応器を設計する必要がある。触媒量は2～3t程度であり、1基のリアクターであれば径3～4m高さ6～8m程度の大きさとなる。ただし、集光倍率、反応温度との関係で集光ビームの大きさが変わるので、それらとの関係でさらに詳細に炉の設計をする必要がある。石炭のガス化反応を太陽熱化学プロセスで行わせる反応炉としては、イスラエルのWISにおいて図3、4のようなものが設計され、検討されている。また、熔融塩を用いる方法なども検討が始まっている。

これらの反応炉を開発するには、ウインドウの材質などさまざまな高温素材の研究が重要である。また、熔融塩を用いる反応制御技術なども課題となる。

4. 太陽熱化学プロセスによるグローバル CO_2 リサイクルシステム

4.1 導入シナリオ

本提案の太陽熱化学プロセスを用いることにより、以下のようなグローバル CO_2 リサイクルシステムの構築に向けた3段階のソフト・ランディング・シナリオが描ける。

第1段階は、図5に示すように、石炭、天然ガスから太陽熱利用熱化学プロセスにより合成したソーラーメタノールまたはソーラー・ジメチル・エーテルを、タンカーで消費地に運び、発電燃料、工業原料、自動車燃料として用いる。太陽エネルギーを含む燃料であるため、石炭・天然ガスをそのまま用いる場合よりも CO_2 排出量は削減できる。さらに

メタノールは、メタノール分解ガスエンジン車(分解反応式： $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$)で用いることにより、ガソリン車に比べ燃料経済性を30%以上向上できる。これは排気ガスの排熱でメタノールを分解することにより、ガソリン車ではそのまま排出されている排気ガス

の熱エネルギーを回収・再利用できるためである。また、ジメチルエーテルはディーゼルエンジン燃料として用いることができ、軽油に比べ煤煙が発生しない等の利点がある。また、発電所ではメタノールを燃料としたメタノール発電ができる。

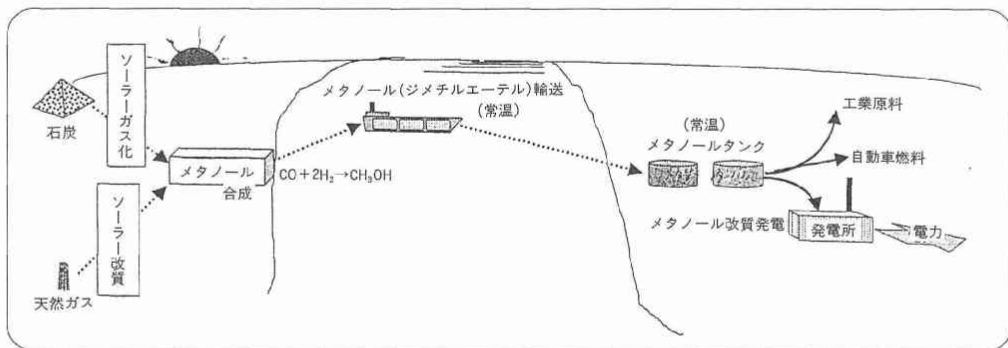


図5 太陽熱化学プロセスによる二酸化炭素リサイクルシステム(第一段階)

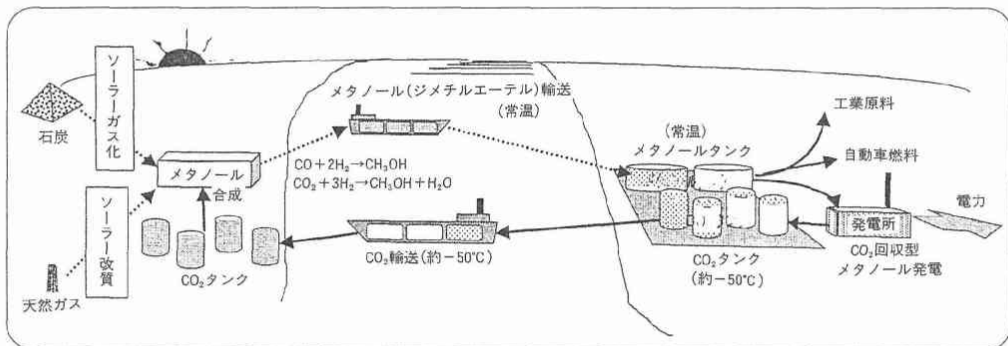


図6 太陽熱化学プロセスによる二酸化炭素リサイクルシステム(第二段階)

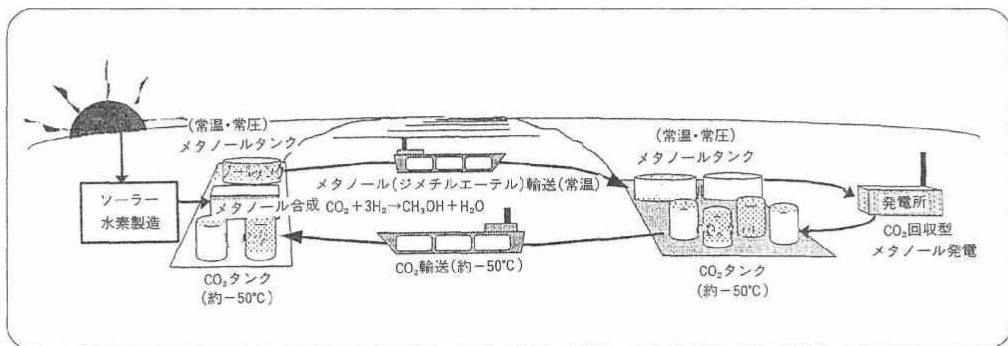


図7 太陽熱化学プロセスによる二酸化炭素リサイクルシステム(最終段階)

第2段階では、図6に示すように、石炭、天然ガスから太陽熱利用化学プロセスにより、ソーラーメタノールまたはソーラー・ジメチル・エーテルを合成するとともに、発電所から回収したCO₂と太陽熱利用化学プロセスにより製造したソーラー水素からメタノールあるいはジメチルエーテルの合成を併せて行い、循環CO₂量を増やしていく。

最終段階では、図7に示すように、ソーラー水素製造による水素と、発電所から回収したCO₂とからメタノールあるいはジメチルエーテルを合成して、発電所燃料として用いるCO₂リサイクルシステムが確立している。また、この時期になると、自動車は発電所からの電気で充電する電気自動車に替り、自動車からのCO₂放出はなくなる。

4.2 CO₂回収型メタノール発電

太陽熱利用熱化学プロセスによるCO₂リサイクルシステムを構築するには、上記第2段階のメタノール発電では発電所からのCO₂回収が重要である。

図8は、ガスタービン主体の発電システムである。図に示すように、排出ガスからのCO₂の分離・回収を容易にするため、酸素燃焼を用いて燃焼排ガスをCO₂と水蒸気(H₂O)だけにして凝縮させ、気水分離によりCO₂を分離・回収するものである。なお、メタノールを排熱で改質して水素含有ガスに変換し、理論燃焼比に近い酸素供給により不完全燃焼が生じるのを防止している。この発電システムの発電端効率は、60%以上(HHV基準)と推定されている。

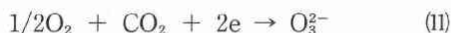
図9は溶融炭酸塩燃料電池(MCFC)を主体とする発電システムである。大部分のメタ

ノールはMCFC燃料極(ニッケル系金属多孔質体)室内で改質(CH₃OH+H₂O→CO₂+3H₂)されて水素含有ガスになり、水素H₂が後述するMCFC酸化剤極で生成した炭酸イオンCO₃²⁻と反応して水蒸気H₂OとCO₂に変化する。



この反応で水素H₂が消費されてMCFC燃料極室内でCO₂が濃縮される。このときに電子eが放出される。

MCFC燃料極室から排出されたガスは、酸素燃焼されて水蒸気とCO₂になる。水を凝縮した後、気液分離してCO₂が回収される。回収されたCO₂の一部はガスタービン圧縮機で圧縮され、メタノール(CH₃OH)、酸素(O₂)と混合して燃焼される。その後、酸素・CO₂混合ガスとしてガスタービンを駆動し、MCFC酸化剤室に供給される。下記反応により



酸素・CO₂が消費されて炭酸イオンCO₃²⁻を生成した後、ガスタービン圧縮機へ供給される。反応(10)で電子eを放出し、反応(11)で電子eが捕獲される。燃料極と酸化剤極を電氣的に接続することにより外部回路を電子が移動して電流が流れ、MCFCから直流出力が得られる。このシステムは図8のガスタービン主体のシステムより発電端効率が高く、70%以上(HHV基準)と推定されている。

5. 石炭液化技術・石炭ガス化・天然ガス改質の融合システム

石炭液化で得られるコークスを太陽熱を利

用してガス化することにより、ソーラハイブリッド水素を生産することが可能である。また、天然ガスの改質反応により、ソーラハイブリッド水素を生産することも可能である。いずれの太陽反応器も、比較的容易に開発できる可能性があり、石炭と天然ガスからソーラハイブリッド水素を生産するシステムの開発はかなり現実的である。このような石炭液

化技術と天然ガスの改質技術とを組み合わせたシステムは、天然ガスと石炭のバランスのとれた利用を可能とする。

石炭液化にはソーラハイブリッド水素を用いることができ、これまでの液化技術で問題となっている水素を造るための余分な石炭消費が押さえられ、 CO_2 の発生量もかなり低減される。また、ソーラ・ジメチル・エーテル

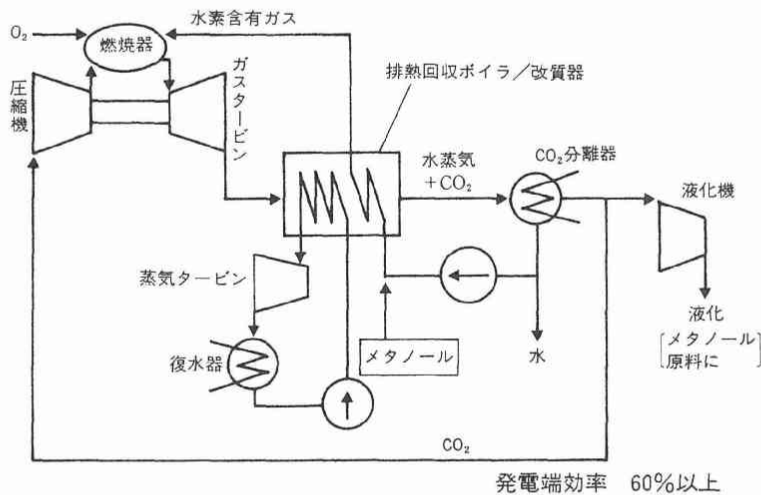


図8 ガスタービンを主体とするメタノール発電システム

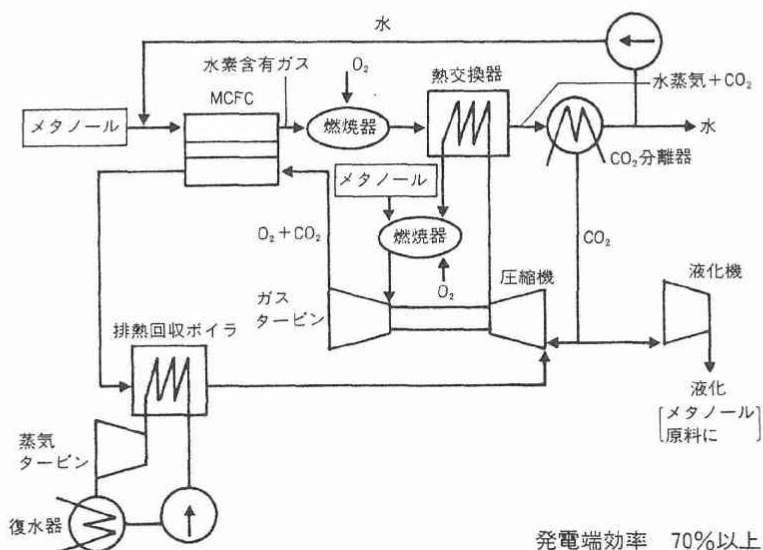


図9 MCFCを主体とするメタノール発電システム

の製造も同時にできるので、ジメチルエーテルを液化油に混合した、セタン価の高い、商品価値のある液化油を生産することが可能である。品質の劣る液化油が商品コストで競争ができないという問題があったがこれを解消することができ、経済性のある液化油を生産できる可能性がある。

石炭のガス化技術と液化技術は、いずれも太陽熱化学プロセスのシステムとして融合することが可能であり、経済性も成立する可能性がある。石炭を利用するシステムは、石油依存からの脱却を可能とするので、エネルギーセキュリティの面での効果が非常に大きい。

以上のように、石炭の液化技術、ガス化技術、天然ガスの改質技術を太陽熱化学プロセスとして融合することにより、ソーラメタノール、ソーラ・ジメチル・エーテルと合わせて、それらより重質なソーラ液化油を生産することは、一つの開発目標として意味がある。

石炭のガス化を太陽熱化学プロセスと組み合わせる技術の開発は、イスラエル、ドイツなどで進められている。しかし、500 t (メタノール)/日となるような規模の開発に対しては今のところ計画はない。この提案システムがCTIの国際プロジェクトとして立ち上げられるときには、これらの国々の積極的な参加が期待される。石炭と太陽熱とのハイブリッド利用は、各国のかなり重要な関心事であり、日本がCTIにより、主体的にこの開発に取り組むことの意義は大きい。

石炭液化技術・石炭ガス化技術・天然ガス改質技術の3つの技術が太陽熱化学プロセスと融合したシステムにより、ソーラ液化油とソーラメタノールやソーラ・ジメチル・エー

テルが生産されることが、化石燃料と太陽エネルギーとのハイブリッド燃料を生産するシステムとして最も好ましい形と考えられる。これらの技術により、太陽エネルギーが豊かで、化石燃料資源の豊富な途上国は、ソーラハイブリッド燃料の生産国となり得る。その意味で、途上国への技術移転としての位置づけもできる。

6. わが国の一次エネルギー供給からみたソーラハイブリッド燃料の役割

6.1 石 油

石油依存度を低減するには、これまで、原子力、天然ガス等への代替や省エネルギーを中心に進展されてきたが、石油は輸送用燃料、石油化学用原料等の用途が依然として大きいため、今後は、需要が増大し続けている輸送用燃料について、省エネルギーの推進、代替エネルギーの導入等の政策へ移行させていくことが必要である。

本提案システムは、海外の豊富な太陽エネルギーと石炭・天然ガスからソーラハイブリッド燃料（ソーラメタノール、ソーラ・ジメチル・エーテル、ソーラ液化油）を製造するもので、これらの液体燃料はそのまま輸送燃料として利用できる。つまり、現在輸送燃料として使われている石油を、上記のようなソーラハイブリッド燃料に変形した石炭や天然ガスで置き換えることになり、代替エネルギーの導入が促進できることになる。しかも、太陽エネルギーが混入されているので、輸送燃料に新エネルギーが導入できることになる。

特にジメチルエーテルは、ディーゼルエンジンに直接噴霧できる燃料であり、トラック

等のディーゼル車にそのまま利用でき、運輸部門への普及に新たなインフラを必要としないという点で導入が容易である。また、単に石油依存度の低減ができるというだけでなく、ガソリン中に含まれるベンゼンなどの有害化学物質による大気汚染問題がなくなるという点で、大きな波及効果が期待される。

6.2 天然ガス

天然ガスの安定供給の観点から、天然ガスのLNG輸送に変えてメタノールに転換して輸送する手段が実用化されつつある。この輸送手段では、LNGの製造に向かない中小規模ガス田の利用、海上輸送コストの低減、LNGタンクに代る格安な貯蔵設備の使用などの利点がある。当面、今後ともLNGが主体であることに変わりはないが、エネルギー安定供給の確保と経済性の維持の点でLNGを補完する形でこの技術導入は促進されると考えられる。

本提案システムは、天然ガスと太陽エネルギーをミックスしてソーラメタノールやソーラ・ジメチル・エーテルを製造するもので、天然ガスのメタノール転換による輸送と同様に、天然ガスのLNG輸送に代わる輸送手段を提供することにもなる。CO₂排出抑制の観点からみると、本提案システムによるソーラ燃料ではCO₂削減技術となり得る。従来のメタノール転換輸送技術では、LNGをそのまま利用する場合に比べると、むしろCO₂が多く発生する。

6.3 石炭

本システムによるソーラハイブリッド燃料は、石炭・天然ガス・太陽エネルギーの3者

(今のところ、技術の経済性見通しが立っているのは天然ガス・太陽エネルギーの2者)がミックスされているので、天然ガスが導入されている分、石炭の代替燃料となる。特に、石炭火力が主力とならざるを得ない今後の見通しの中で、第一段階として天然ガス・太陽エネルギー2者のソーラハイブリッド燃料の導入により天然ガスを代替燃料とし利用しつつ、CO₂の大幅な削減効果を推進する。

次に第二段階として天然ガス・石炭・太陽エネルギー3者のソーラハイブリッド燃料の導入を促進する。この3者によるソーラハイブリッド燃料は、エネルギーセキュリティの観点から、わが国の一次エネルギー供給の石炭依存度のある程度キープする上に重要である。天然ガスと石炭とを共に利用するので、天然ガスの枯渇期間の延命効果も期待できる。石炭の液化技術と太陽熱化学プロセスとによるソーラ液化油の生産も現実的な方策と考えられる。

天然ガスが枯渇するような長期的展望では、太陽熱化学プロセスによる水の二段階分解反応でのソーラ水素1モルと、太陽熱化学プロセスによる石炭のガス化反応によるCO2モルからソーラハイブリッド燃料を製造する($\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$)ことにより、石炭・太陽エネルギー2者(前出の天然ガス・太陽エネルギー2者とは異なる)のソーラハイブリッド燃料を石炭代替燃料として利用することが可能であり、長期にわたる技術的連続性での石炭利用に対する長期CO₂減対策シナリオにつなぐことができる。

6.4 新エネルギー

国内の一次エネルギー供給としての新エネ

ルギー（一般的な意味）のうち、国内新エネルギー導入としては、今後、積極的な導入促進策を講ずることにより、2000年度に一次エネルギー供給の約2%、2010年度には3%に至るものと期待されている。これ以上の新エネルギーを国内の一次エネルギーとして供給するには、海外からの新エネルギー（一般的な意味）導入の促進を図らなければならない。本提案システムは、海外のサンベルト地帯での豊富な太陽エネルギーを用いて、天然ガスや石炭とミックスしてソーラハイブリッド燃料を生産し、日本国内で利用しようというものである。もちろん、本システムは、海外のサンベルト地域の太陽エネルギーをソーラハイブリッド燃料としてグローバルに搬送することができるので、化石燃料使用にともなうCO₂削減を地球規模で可能にする。この点で、CTIの国際プロジェクトとして開発する意味がある。

石炭や天然ガスをそのまま利用する場合に比べると、太陽エネルギーが14%程度ハイブリッドされているので、ソーラハイブリッド燃料がわが国の一次エネルギー供給の10%普及したとすると、海外からの太陽エネルギー（新エネルギー）がわが国の一次エネルギー供給として1.5%増大できる。

7. CTI 下の国際協力による技術開発の可能性

図1は、世界の太陽輻射エネルギーの大きさの分布を示したものである。年間通じて輻射エネルギーが強く、太陽エネルギー資源として利用しやすい、サンベルト地域と呼ばれている場所は、オーストラリアのほぼ全域、

モンゴル地域、インド、サウジアラビア、北アフリカ、南アフリカ、アルゼンチン、チリ、カリフォルニアから中部のアメリカなどである。ヨーロッパは、スペイン南部が利用できる他、スペイン南端のジブラルタル海峡を挟んで北アフリカの太陽熱発電による電気を利用することが可能な地理的条件に恵まれている。

こうして見ると、先進国では日本とカナダがサンベルト地域から遠く離れており、太陽エネルギー資源が利用しにくい地理的位置となっている。また、開発途上国の多くがサンベルト地域にあり、これらの国々ではエネルギー資源が天からさんさんと降りそそいでおり、将来の太陽エネルギー資源国として位置づけられる。カナダは水資源が豊富であり、また、アメリカのサンベルト地域とは陸地でつながっており、グリッドを通じた太陽エネルギーの利用も可能である。日本は、カナダとは置かれている状況がかなり異なっており、結局、先進国でみると日本のみが、脱化石エネルギー時代に必要な太陽エネルギーや水力資源からかなり不利な立場に置かれていることになる。

CO₂ 排出削減のためにわが国は海外から一次エネルギーとして太陽エネルギーを導入する方策があるが、この考え方の前提として、太陽エネルギーをサンベルト地域から世界に供給するグローバルな太陽エネルギー搬送システムの構築を考えることが重要である。世界中で利用できるエネルギーであるためには、今の化石燃料のコストと競争できる必要がある。太陽熱発電はサンベルト地域では経済性が成立するので、前記のようなサンベルト地域にある国々では太陽熱発電が当面の開

発対象になると考えられる。しかし、電気のみでは、運輸部門のエネルギーが供給できない、エネルギーの貯蔵ができない、長距離輸送が困難であるなどの理由により、太陽エネルギーからソーラ燃料を製造することの意義は大きい。

このような観点から、IEAのSolar PACES（太陽熱化学エネルギーシステム）プログラムではタスクIIにおいて、太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する開発研究が精力的に進められている。問題は、一次エネルギーの化石燃料代替となるようなソーラ燃料が経済的に生産できるかどうかであり、100%太陽エネルギーによる水電解によるソーラ水素は、経済的に化石燃料とは大きな開きがでてしまい、実用化は困難である。この問題を解決できる方策は、化石燃料と太陽エネルギーとをハイブリッドしたソーラハイブリッド燃料の生産である。

このようなソーラハイブリッド燃料を生産できる地域は、天然ガスか石炭の産出地とサンベルト地域が重なっているところに限られる。このような国としては、オーストラリア、インド、サウジアラビア、アメリカなどがある。オーストラリアは、広大な土地を有しており、ほぼ全域で太陽輻射エネルギーが高いので世界の太陽エネルギーの宝庫でもある。しかも、先進国として政情が安定しており、ソーラハイブリッド燃料を生産する場所としては最適候補地である。

オーストラリアは、わが国を石炭や天然ガスの主な輸出相手国としており、ソーラ熱化学プロセスの技術により、この化石燃料に自国の太陽エネルギーを付加して輸出することが可能となる。石炭や天然ガスをそのまま輸

出したのでは、結果的に、世界中にCO₂排出源をばらまくことになり、オーストラリアとしても、貿易上とはいえ国際的な地球温暖化防止に向け、先進国としての何らかの取り組みもこれからは求められてこよう。また、これらを輸入しているわが国にしてみると、輸出入に豊富な太陽エネルギーがあり、しかもそれらを化石燃料とハイブリッドして利用できる可能性があるのであれば、工業先進国、経済大国としてのわが国がオーストラリアの太陽エネルギー資源の利用に何らかのアクションを起こすことは、世界的にも期待されよう。

以上のような背景を踏まえると、わが国とオーストラリアとによる二国間での国際共同実施は双方にメリットがあり、CTIプロジェクトとして骨格を形成する国になり得る。COP3議定書の第6条に基づき、共同実施プロジェクトによる排出権削減クレジットの移転を、オーストラリアで開発した太陽エネルギーの量を基に二国間で取り引きすることもできる。また、かつてオーストラリアと日本とで褐炭の液化プロジェクトをオーストラリアで実施した経緯があり、共同研究の推進に当たってはこのときの経験を効果的に生かすことができる。さらに、わが国は、液化技術に関してはオーストラリアの褐炭の他に歴青炭でのパイロットプラントの運転実績があり、この経験を基に、太陽熱化学プロセスとオーストラリア炭を用いた液化プロセスとを融合させる研究にも取り組みやすい。

天然ガスをメタノールに転換して利用する国際的動向に対するこの技術の波及効果は大きい。わが国とオーストラリアとの関係では、化石燃料のCO₂削減のための太陽エネルギー

一導入が重要であるが、天然ガスをメタノールに転換して使用する理由は、LNG よりもメタノールのほうが利便性に優れることがポイントとなっている。反応に要する熱を太陽エネルギーに求めるソーラハイブリッド方式と天然ガスの燃焼による既存技術の自己燃焼式の両者は、天然ガスをメタノールにすることで同じことではあるが、CO₂ 排出量に30% 近くの差がある。わが国とオーストラリアとが骨格となり、CO₂ 排出量が少ない技術でメタノールを生産し、かつ CO₂ 排出削減を太陽エネルギー導入で推進するソーラ熱化学のプロジェクトは、天然ガスの自己燃焼式のメタノール転換技術に大きなインパクトを与えると考えられる。本提案プロセスによる CTI プロジェクトの参加を先進各国に呼びかけたときには、かなり参加国があるものと期待できる。

実際に太陽エネルギーを集光して太陽熱化学プロセスの研究を推進するに当たっては、集光技術に必要なヘリオスタット技術やその他のソーラ設備に関わる技術については、ドイツ、イスラエル、米国、スイス、スペインなど、技術開発に精力的に取り組んできた国を CTI プロジェクトのメンバーに組み入れる必要がある。このような国際プロジェクトに日本が参加することにより、将来のサンベルト地域での太陽エネルギービジネスに必要なソーラエンジニアリング技術を日本が各国と共に学ぶことができる。日本が技術立国として生きて行くためにも、太陽エネルギーのエンジニアリングは21世紀の大きな環境ビジネスになる可能性があり、この機会にこのような CTI プロジェクトを日本が先導し立ち上げる意義は大変に大きい。

インドは、オーストラリアと同じように、石炭と太陽エネルギーの豊富な国であり、インドでも本提案システムによりソーラハイブリッド燃料が生産可能である。インドにこの技術を移転することにより、インドに石炭、太陽エネルギーからソーラハイブリッド燃料を生産する、真の意味でのエネルギー輸出国としての安定した国内産業を興すことができる。CTI は先進国間の国際共同実施であるが、途上国との共同実施の面も持たせて、このプロジェクトを推進することが、トータルとしては有効である。その意味で、CTI で各国に呼びかけるときに、何らかの形でインドが参加できることが好ましい。

CTI のこのプロジェクトでは、日本は太陽反応炉の開発を主体とするのがよい。オーストラリアでテストプラントを建設し、実際の集光太陽エネルギーでの実験を行う。日本の日照条件下ではこのようなソーラ実験や集光太陽エネルギーを用いた太陽反応炉の開発は困難であるが、比較的小型の太陽炉の開発の初期段階では、高電圧のキセノンランプによるソーラシミュレータを用いた実験は可能である。炉の構造の基本設計や材料の選択は、日本が得意とする技術の分野であり、日本がプロジェクトで分担する役割として十分な作業はある。もちろん諸外国で太陽反応炉の開発に取り組んできているところも多くあるので、これらの国々との共同研究として進めることが重要である。しかし、直径3mクラスの太陽反応炉の開発はどこの国にも実績がなく、太陽エネルギーを開発して CO₂ 削減のための CTI プロジェクトとしての意義は大変大きい。他のソーラ設備の開発は、イスラエル、ドイツ、スペイン、スイス、アメリカなど、

この分野での技術先進国が主導で進めることがよい。

8. む す び

21世紀の太陽エネルギー時代に向け、諸外国はサンベルト地域での太陽エネルギービジネスの展開を着々と進めている。しかし、わが国は、サンベルト地域から遠く海を隔てたところに位置し、サンベルト地域の太陽エネルギー資源を利用するにはかなり不利な条件にあるため、わが国ではサンベルト地域の太陽エネルギー利用の開発を行うことは意味がないように考えられている。確かに、サンベルト地域の太陽エネルギーを日本向けの電力として開発することは、見通しが立たないのが現状である。

しかし、本稿で述べたように、石炭と天然ガスが豊富で、しかもサンベルト地域の太陽エネルギーに恵まれている場所では、これらをソーラハイブリッド燃料にして、石油代替燃料を生産できる。この技術では、化石燃料と太陽エネルギーとを併用してCO₂削減を図ることができる。また、市場性のあるソーラ燃料を生産できる可能性があり、太陽エネルギー開発を国際エネルギービジネスとして進めることもできる。さらに、先進国間の共同実施やサンベルト地域の途上国への技術移転としての国際プロジェクトも可能である。

わが国としては、将来のエネルギーセキュリティとサンベルト地域の太陽エネルギー利用とを考え、経済性の成り立つソーラハイブリッド燃料の生産を真剣に考えてみる必要があろう。



〔調査研究報告〕

WE-NET プロジェクト研究開発の 現況と今後の展望

—21世紀における水素エネルギー システムの実現に向けて—

福田 健三 (勸エネルギー総合工学研究所
WE-NETセンター プロジェクトマネージャー)



1. はじめに

当所は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受け、水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術 (World Energy Network System, WE-NET) プロジェクトのサブタスク1, 「全体調整」を担当している。

本年度は、同プロジェクトの第Ⅰ期計画最終年度に当たり、第Ⅰ期研究開発成果のとりまとめと評価を行うとともに、第Ⅱ期研究開発計画の素案を作成する計画になっている。

本稿では、プロジェクトの現況と昨年度作成し、NEDO に提出した「第Ⅱ期研究開発の進め方(案)」にもとづき今後の展望を述べる。

2. WE-NET プロジェクトの概要

2.1 全体構想

(1) 水素エネルギーへの期待

地球温暖化を始めとする地球環境問題の顕在化により、環境負荷の少ないエネルギーの世界的な規模による導入が期待されている。一方、世界のエネルギー消費は増大しつつあり、化石燃料の枯渇ないし価格上昇が危惧されるなか、これに替わる新たなエネルギー源

が求められている。

このような期待に応えるには、世界に広くかつ豊富に賦存する、クリーンな再生可能エネルギーの地球規模での導入を図ることが重要である。しかし、再生可能エネルギーは地域的に偏在しており、そのままでは長距離輸送、貯蔵が出来ないことなどにより、限定的な利用に止まっている。これを地球規模で効率的に利用するには、世界各地に存在する様々な種類・形態の再生可能エネルギーを、生産から流通、消費段階まで一貫して取り扱える二次エネルギー体系として確立する必要がある。その媒体には、環境負荷が最少といわれる水素エネルギーに対する期待が大きい。

水素は、再生可能エネルギーの輸送・貯蔵を可能とすることにより、化石燃料と同様の国際市場における取り引きを可能とし、国際エネルギー供給の多様化・安定化に資するとともに、クリーンエネルギーの大規模導入を促進するものと考えられる。また、豊かな再生可能エネルギーが賦存する国にとっては、水素は、輸出エネルギーとして当該国の産業振興にも貢献し得るものと考えられる。

(2) WE-NET プロジェクトの目的

本プロジェクトは、このため、発展途上国

等に未利用の形で豊富に存在する水力、太陽光、風力等の再生可能エネルギーを水素等の輸送可能な形に転換し、世界の需要地に輸送し、発電、輸送用燃料、都市ガス等の広範な分野で利用するネットワークの導入を可能とすることを目的とするものであり、中核的な要素技術の開発及びシステム設計等を総合的に推進する。これにより、世界的規模での温室効果ガスの排出削減、国際エネルギー需給の緩和等エネルギー・環境問題の同時解決に資する。

(3) プロジェクトのタイムスケジュール

以上の構想を実現するために表1のようなタイムスケジュールにより研究開発を進める計画である。ただし、このうち第Ⅰ期計画のみが「第Ⅰ期研究開発基本計画」として決定されており、第Ⅱ期以降の計画は、先行期の成果の評価を踏まえて、新たに基本計画が決定される。

2.2 第Ⅰ期研究開発基本計画

基本計画は

① 研究開発期間：1993～1998年度

表1 WE-NET プロジェクトの
タイムスケジュール

	期 間	研 究 開 発
第Ⅰ期	93～98年	概念設計・要素研究
第Ⅱ期	99～03年	システム要素技術開発
第Ⅲ期	04～08年	中核的サブシステム検証
第Ⅳ期以降		システム検証

(6年間)

② 研究開発費総額：約100億円

③ 研究開発項目および目標：表2のとおりとなっている。

3. WE-NET プロジェクトの

第Ⅰ期研究開発の主な成果

3.1 全体システムの概念設計

(1) 開発システムの構成

エネルギー輸送媒体として液体水素（図1）、メタノール（図2）、アンモニアを用いるシステムについて概念設計を行い、エネルギーバランスおよび需要地での水素燃焼タービンによる発電コストを評価した。その結果を表3、表4に、また液体水素システムの場合のエネルギーフローを図3に示す。いずれの場合も、一次エネルギー源には水力を想定している。

未利用水力資源の豊富な地域、例えばカナダや南米などを想定し、水力発電によって得られた電力をシステムに投入し、これを水電解を介して水素エネルギーに変換し、さらに輸送に適した形態（液体水素、メタノール、アンモニア）に変換して需要地に輸送する。需要地においては、液体水素の場合は気化して、またメタノール、アンモニアの場合は改質して水素ガスに変換し、水素燃焼タービンにより発電するというスキームである。

アンモニアシステムの場合、アンモニア合成用の原料窒素は、水素製造サイトにおいて液体空気の分溜により製造する。

メタノールシステムの場合、必要な炭素源は石炭を想定し、水素製造サイトにおいて石炭部分酸化により製造した一酸化炭素と水電

解で製造した水素とからメタノールを合成する。表3に示したとおり、システム投入エネルギーの52.7%は水力発電電力、47.3%は石炭からのエネルギーより成る。また、需要地で発生するCO₂を回収する場合と未回収の場合について、発電コストを評価した。

(2) 開発システムの効率

システム効率、すなわち最終的に需要地で再生・供給できる電力は、表3に示すとおり、液体水素システムの場合、エネルギー供給地でのシステム受け入れ電力の37%である。こ

れに対し、メタノールシステムの効率は、CO₂回収なしとして24.8%、アンモニアシステムでは22.9%である。一方、発電コストは表4のとおり、メタノールシステム(CO₂回収なし)が最も安く、液体水素システムとアンモニアシステムがほぼ同等である。システム効率が悪く、かつ発電コストの高いアンモニアシステムはあまり有利ではない。システム効率の高い液体水素システムはコスト負担も大きい、という結果となった。

本経済性評価で用いた設備費は、すべて現時点での価格とした。ただし、現存しない設

表 2 第 I 期 研究開発項目および目標

項 目	目 標
1. 会体システム ・概念設計	・各種水素輸送媒体について全体システム概念設計、経済性評価 ・水素導入予測評価
・安全対策	・水素の安全性調査、安全確保のための技術開発課題抽出
2. 水素製造技術 (PEM水電解法)	電極面積：2500m ² 電流密度：1A/cm ² エネルギー効率：～90%
3. 水素液化技術	300t/dayプラントの概念設計
4. 水素大量貯蔵技術	5万m ³ 液体水素貯蔵タンクの概念設計
5. 水素大量輸送技術	20万m ³ 液体水素タンカーの概念設計
6. 水素分散貯蔵輸送技術	有効水素吸蔵量3重量%以上、水素放出温度100℃以下、5000サイクル後、初期の90%以上の性能を有するMH(水素吸蔵合金)
7. 水素燃焼タービン	タービン入口温度 1700℃ 発電端効率 60%以上
8. その他利用技術	有望利用技術の抽出・要素技術開発
9. 革新的・先導的技術	有望技術の抽出・概念設計・要素研究

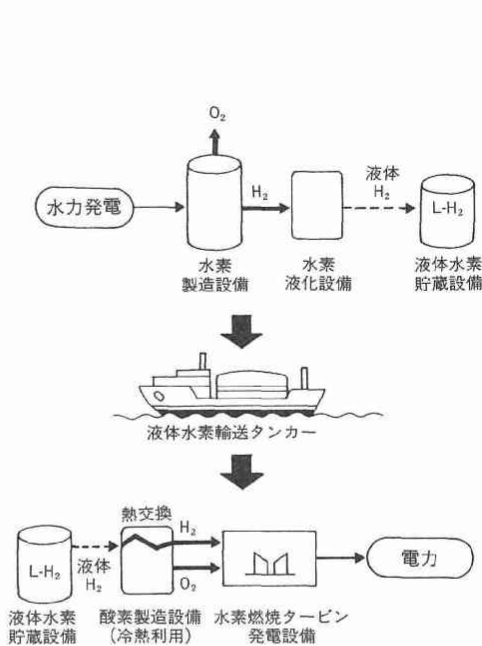


図1 液体水素システム概念図

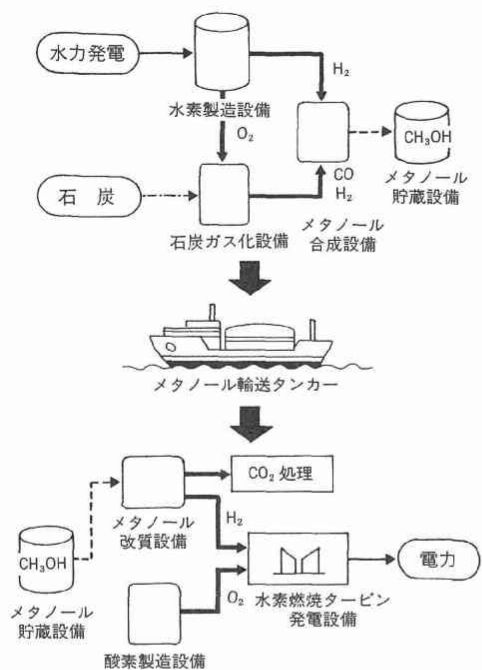


図2 メタノールシステム概念図

表3 エネルギー収支の比較

単位: 10⁹kcal/年, (%)

項 目		液体水素システム	メタノールシステム	アンモニアシステム
条 体	タービン出力 (MW)	1,000	1,000	1,000
	輸 送 距 離 (km)	5,000	5,000	5,000
	水 電 解 効 率 (%)	90	86	86
入 力	水力発電エネルギー	12,477 (100)	9,041 (52.7)	16,256 (98.3)
	石炭エネルギー	—	8,123 (47.3)	—
	タンカー燃料(C重油)	—	—	275 (1.7)
	入 力 計	12,477 (100)	17,163 (100.0)	16,531 (10.0)
損 失	水 素 製 造 損 失	986 (7.9)	1,258 (7.3)	2,110 (12.8)
	石炭ガス化損失	—	1,044 (6.1)	—
	窒素製造損失	—	—	334 (2.0)
	液 化 損 失	2,465 (19.8)	—	—
	合 成 損 失	—	4,019 (23.4)	2,457 (14.9)
	輸 送 中 損 失	87 (0.7)	271 (1.6)	275 (1.7)
	そ の 他 損 失	150 (1.2)	—	—
	小 計	3,688 (29.6)	6,593 (38.4)	5,176 (31.3)
到 着 エ ネ ル ギ ー		8,789 (70.4)	10,570 (61.6)	11,355 (68.7)
改質(分解)・精製損失		—	1,781 (10.4)	2,566 (15.5)
水 素 エ ネ ル ギ ー		8,789 (70.4)	8,789 (51.2)	8,789 (53.2)
タービン熱損失		3,515 (28.2)	3,516 (20.5)	3,515 (21.3)
発電エネルギー(発電端)		5,274 (42.3)	5,274 (30.7)	5,274 (31.9)
所 内 電 力 損 失		570 (4.5)	1,012 (5.9)	1,487 (9.0)
発電エネルギー(送電端)		4,704 (37.7)	4,262 (24.8)	3,787 (22.9)

表 4 WE-NET システムの発電コスト比較

	液体水素	メタノール	アンモニア
前提条件	・水素燃焼タービン 100MW ・水力発電電力価格 ¥2/kWh ・輸送距離 5000km		
コスト (円/kWh)	32.6	30.8 (CO ₂ 回収) 24.7 (CO ₂ 回収なし)	32.9

備の見積もりについては、かなり粗い推算のものが含まれる。また、需要地における水素燃焼タービンの発電コストは、将来導入される時点での化石燃料ベースの発電コストに、何らかの形の CO₂ 排出抑制にかかわるコスト負担を加えたものとの競合性等の観点から評価するのが合理的と思われる。

(3) 概念設計研究とりまとめ

以上の概念設計研究の結果から導かれた知見は、以下のとおりである。

- ① 液体水素システム、CO₂ 回収メタノールシステム、アンモニアシステムの間には、発電コストに大差はない。
- ② メタノールシステムにおいて、CO₂ を回収処理しない場合であっても、メタノール合成に必要な水素は再生可能エネルギーを用いて製造するので、この分（エネルギーバランス上、石炭からのエネルギー47.3%、再生可能エネルギー52.7%）は、CO₂ 排出削減に寄与する。CO₂ 回収なしのメタノールシステムは、最も経済性が良い。
- ③ いずれのシステムにおいても、要素技術の効率向上や設備費の最適化により、コスト低減の可能性があるため、今後の研究開発により経済性の向上が期待できる。
- ④ 大電力の受け入れ、水素の大量輸送、大

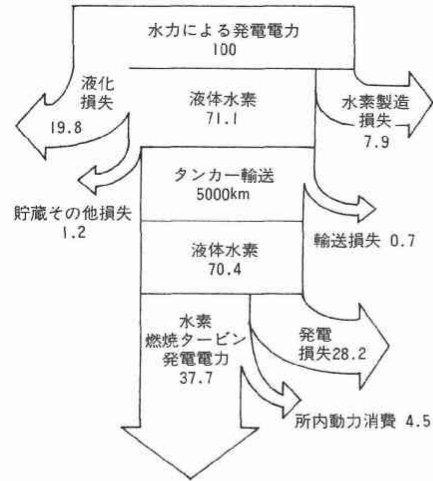


図 3 液体水素システムのエネルギーフロー
(タービン出力：1000MW，輸送距離：5000km)

規模発電というスキームだけでは、必ずしも効率的なエネルギー利用の方法ではない。水素燃料の特性にベストフィットする多様な利用技術の開発も、同時に促進すべきである。

3.2 水素製造技術

高分子電解質膜を用いる水電解技術（PEM電解技術）に関する第Ⅰ期計画の主要な研究課題は、要素研究として、電解質膜／触媒電極／給電体間の接触抵抗を下げ、電解セル内でのエネルギー損失を小さくする界面接合をつくり出す技術開発である。このために、4つのセル製作技術について競争開発方式で研究を進めてきた。

50cm²の研究室スケールの電解セルでの研究結果では、概ね電流密度 1A/cm² でエネルギー効率約90%の値が得られており、一部96%という驚異的高効率のデータも得られている。

50cm² スケールでの結果をもとに、4種のセ

ル製作技術を評価し、性能および将来の大型化の観点からポテンシャルの高い無電解メッキ法（化学メッキ法）およびホットプレス法の2種を選定し、現在この技術を用いてセル面積を2500cm²にスケールアップして、単セルについての性能評価を行なっている。現在までに、無電解メッキ法では厚さ125μmの固体高分子電解質膜を用い、80℃、1A/cm²でエネルギー変換効率89.5%を、またホットプレス法では100μmの膜を用い、同条件でエネルギー変換効率91.6%の値を得ており、第Ⅰ期目標は確実に達成できる見通しである（図4参照）。

3.3 水素／酸素燃焼タービン

(1) 基本仕様と研究開発課題

水素を燃料とする発電技術は、図5に示す

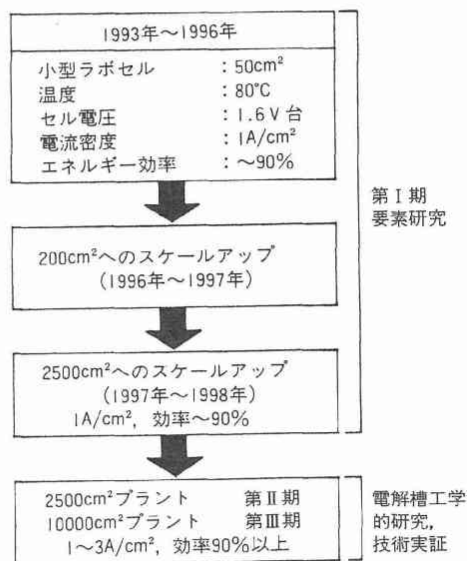


図4 PEM電解法による水素製造技術の研究開発の現状と将来展望

とおり、高効率・無環境負荷発電技術と特徴づけることができ、内容的には燃料電池発電と水素／酸素燃焼タービンに大別できる。

第Ⅰ期においては、このうち水素／酸素燃焼タービンの研究開発に重点を置き、次の性能を有する水素燃焼タービンの開発を目標とし、5つの課題・要素技術について研究開発を推進している。

○基本仕様

- ・プラント規模 500MW
- ・タービン入口温度 1,700℃
- ・タービン入口圧力 50ata
- ・発電端効率 > 60%

○課題・要素技術

- ・最適システムの評価・選定
- ・燃焼制御技術の開発
- ・主要構成機器の開発（動・静翼）
- ・主要補機類の開発（高温熱交換器、蒸気圧縮機、冷熱利用）
- ・超高温材料の開発

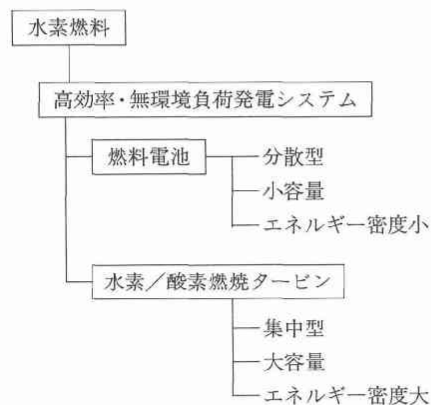


図5 水素燃料発電システムの特徴

(2) 研究開発の現状

① 最適システムの評価・選定

1996年度にそれまでの3方式から図6のトッピング再生サイクル1方式に絞り込み、研究開発を終了した。

② 燃焼制御技術

小型モデルバーナーによる保炎技術等の基礎検討を経て、現在、大型燃焼試験装置を用いる、実機(500MW)の10分の1スケールの1缶分相当バーナーの性能評価試験段階に入っている。第I期末までに最適燃焼器を選定する計画である。

③ 主要構成機器の開発

タービン翼冷却構造の設計・評価研究の結果、既存の単結晶合金材料により設計可能であるとの見通しが得られている。

また、タービン入口温度1700℃、発電端効率(高位発熱量基準)60%以上を達成する上で、可能性ある次の4種類の翼冷却構

造：

- ・フィルム冷却(動・静翼)、冷却媒：スチーム
- ・回収式内部(対流)冷却(動・静翼)、冷却媒：スチーム
- ・ハイブリッド冷却(フィルム冷却+回収式内部冷却)(動・静翼)、冷却媒：スチーム
- ・水冷却(静翼)/回収式内部冷却(動翼)、冷却媒：水(静翼)、スチーム(動翼)

を設計・評価した結果、2番め以下の3方式を選定した。現在、試作した翼(翼高さ約40mmで実機(500MW)用の約2分の1サイズ)について、翼列試験を実施中である。最終的に最適冷却構造を決定するのは第II期の前半になる予定である。

④ 超高温材料の開発

タービン入口温度が1700℃を越えるレベルのタービンの場合は新規材料の開発が必

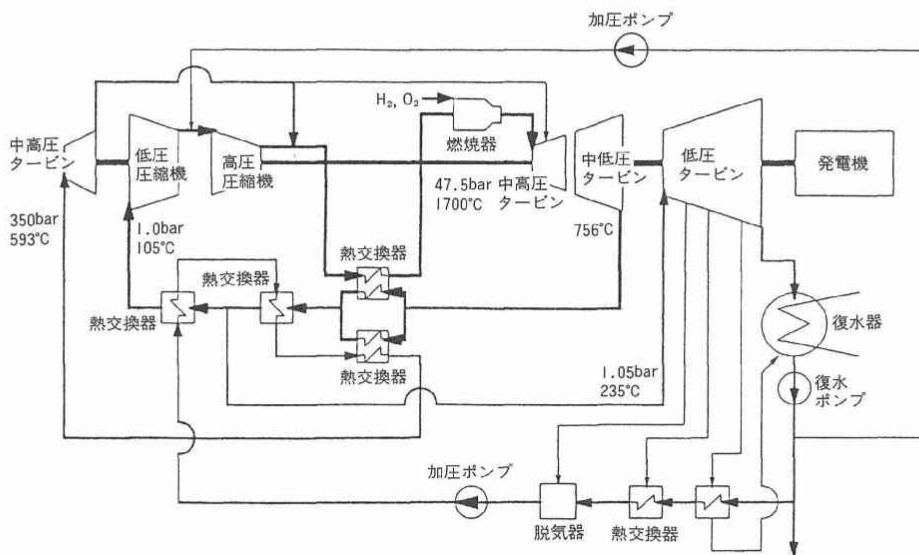


図6 トッピング再生サイクルシステム

(タービン入口温度1700℃、タービン入口圧力47.5気圧、発電端効率61.8%)

要となるので、「超高温材料の開発」のテーマのもとでC/C コンポジット等3種類の材料につき基礎研究を推進しており、1,700℃に次ぐ次世代水素燃焼タービンの開発の基礎固めを行なっている。

3.4 その他の研究開発の現況

(1) 水素液化技術・水素大量貯蔵技術

水素液化技術については、プロセス効率40%以上を目標に水素クロードサイクルとヘリウム・ブレイトン・サイクルの2方式につき、300トン/日プラントの概念設計を行い、評価の結果、水素クロードサイクルを選定した。

液体水素貯蔵タンク（5万m³）および液体水素タンカー（20万m³）については概念設計を終了し、現在貯蔵タンク、タンカーに共通の要素課題として断熱構造の実験的検討に入っている。

(2) 水素利用技術

第Ⅰ期においては、水素利用技術については、大規模・集中型利用技術の一つとして水素燃焼タービンに重点を置いて研究開発を進めた。また、分散型利用技術については、プロジェクトで取り組むべき課題を明らかにするための調査研究を行なった。その結果、次の4つの課題が抽出された。

- ・水素ディーゼル・コジェネレーションシステム
- ・水素自動車（燃料電池車）
- ・純水素供給固体高分子型燃料電池
- ・水素供給システム（水素供給ステーション）

(a) 水素ディーゼルエンジンを用いるコジェネレーションシステム

1997年度より水素噴射システム及びレーザ一着火を含めた水素着火システムの実験に入っている。第Ⅱ期において、100kW級の単筒エンジンの設計・試作・運転試験を行なう計画である。

(b) 水素自動車、純水素供給固体高分子型燃料電池及び水素供給ステーション

第Ⅱ期から研究開発をスタートさせることを前提に、研究開発課題の抽出、開発すべき設備等の仕様の検討を行なっている。ここでは、

- ① 水素自動車は、水素吸蔵合金タンク搭載の燃料電池車を対象とするが、自動車本体については、自動車メーカーが国の資金援助なしに開発を進める段階にあるため、自動車本体の開発はWE-NETプロジェクトでは行なわない。
- ② 水素吸蔵合金タンクには、可能な限り本プロジェクトで開発中の新規高性能水素吸蔵合金を用いる。
- ③ 水素供給ステーションには、メタン（都市ガス）水蒸気改質型、水電解型、メタノール改質型などを検討対象とするが、このうち水電解型水素供給ステーションには、WE-NETプロジェクトで開発中の固体高分子電解質水電解法を適用する。
- ④ 水素供給ステーションと自動車とのインターフェースに係わる技術、例えば燃料タンク、燃料タンクへの水素急速充填法や安全評価などは、自動車メーカーの協力を得てプロジェクトで推進する。などの考え方が出されている。

4. WE-NET 第Ⅱ期研究開発の進め方(案)

当所は、1997年度に、NEDO からの委託にもとづき、「WE-NET 第Ⅱ期研究開発の進め方(案)」を作成し提出した。現在同案を基に、工業技術院および NEDO で第Ⅱ期研究開発計画の検討が進められている。「第Ⅱ期研究開発基本計画」は、産業技術審議会等の審議を経て、1999年3月末までに策定される予定になっている。ここでは、当所が WE-NET 関係委託機関や国立研究所の協力を得て作成した標記(案)の概要を紹介する。なお、誌面の制約があり、一部は省略することとし、また一部は項目・概要のみの記載にとどめさせていただいた。

4.1 WE-NET を巡る情勢の変化

WE-NET を巡る情勢は、「第Ⅰ期研究開発基本計画」が策定された1992年度末(1996年3月改訂)とは、以下の変化を見せている。

(1) 地球温暖化問題の進展

WE-NET 研究開発の発足時点では、地球温暖化問題、とりわけ CO₂ 排出抑制については、締結された「気候変動枠組み条約」に見られるように、先進諸国は CO₂ 排出削減に向けての努力は合意したが、具体的かつ定量的目標の設定には至っていなかった。また、CO₂ 排出削減の必要性を裏付けする地球温暖化の見通し等についても、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の努力は第1次評価報告書(1990)に結実したものの、本格的な科学的アプローチは更に第2次評価報告書(1995)に向けて継続されつつあった。

1997年12月にわが国で開催された COP3

(気候変動枠組み条約第3回締約国会議)においては、先進国全体で温室効果ガス排出を、1990年比で2008年から2012年までに少なくとも5%削減することを定めた議定書が採決された。また、地球温暖化問題の詳細な科学的分析を行った IPCC 第2次評価報告書(1995)においては、CO₂ 排出による様々の影響が検討され、いずれも何らかの CO₂ 排出抑制を行わなければ、地球温暖化により地球上の広範な地域で種々の負の影響が現れるであろうことが報告された。

このように、地球温暖化問題を巡る状況はこの4年間で益々厳しくなっており、CO₂ 等の排出削減の方策として、将来的には何らかの拘束力のある措置の導入も予想され得る状況となっている。本プロジェクトは、CO₂ 排出抑制手段の一つとして期待される再生可能エネルギーのグローバルな利用に向けた技術開発であり、その必要性は一層増大している。

(2) 水素導入の可能性に関する検討状況

水素エネルギー技術の研究開発においては、従来、水素製造や水素利用に係る中核的要素技術の開発が中心となっており、水素エネルギーの導入可能性に関して、市場性や温室効果ガス排出抑制効果等を考慮に入れた検討は必ずしも十分展開されていなかった。

しかし、最近、将来のエネルギー需給構造との関連において、水素エネルギー導入の可能性を検討したいくつかの研究成果が公表される一方、政策レベルで水素エネルギー導入の方向づけがあり、導入の現実的可能性を示す状況も生まれてきた。

(a) IPCC 第二次評価報告書における水素導

入の検討

IPCCは、第2次評価報告書(1995)において、2100年に大気中のCO₂濃度を500ppm以下に安定させるためには、全世界のCO₂排出量を、1990年の約6 Gt-C/年(炭素換算で年間6ギガトン)から2100年までに2 Gt-C/年まで減少させる必要があるとし、その可能性を探ることを目的として5種類の二酸化炭素低排出エネルギー供給システム(Low CO₂ Emission Energy Supply System, LESS)について、実現可能な将来のエネルギー供給のあり方を検討した。いずれのケースにおいても、2050年及び2100年において、再生可能エネルギー(太陽エネルギーとバイオマス)から作られる水素を10%程度導入することが前提となっている。

(b) WE-NET 研究開発における検討

GREEN や MARKAL 等 コンピュータ・モデルを用いる将来のエネルギー需給構造の解析に関しては、これらのモデルが水素エネルギーを取り扱える形になっていなかったため、水素エネルギー導入の可能性について確たるモデル解析の研究は行われていなかった。

本プロジェクトにおいては、第I期研究開発課題の一つとして、水素エネルギーを取り扱えるように改造したGREEN モデルを用いて水素導入予測の研究を行った。それより、水力を一次エネルギー源とし、液体水素を輸送媒体とする WE-NET システムにおいて、2020年を起点として需要地での水素コストが年率2%で低減し、かつ、231ドル/トン炭素の追加コストを想定した場合、2030年頃から2040年頃にかけて水素の導入が始まり、2040

年で全世界のエネルギー供給のうち約3%、わが国では約3.5%程度を水素が占めるであろうとの結果を得た。

これらの結果は、研究の手法が全く異なるため同じ尺度で評価は出来ず、かつ、本プロジェクトにおける研究結果については条件設定等に不確定要素があることを考慮に入れなければならないにしても、傾向としては、2050年までに、あるいは導入助走期を含めればこれより早い時期に、再生可能エネルギーにより作られる水素が社会に導入される一つの可能性を示しているといえる。

(c) 米国における水素エネルギーの導入目標

米国エネルギー省(DOE)は、社会的に受容可能で、安全かつ経済的に競争力のある水素エネルギー技術の研究開発を、産業界との協力のもとで実施するための水素エネルギー開発計画(Hydrogen Program)を推進しており、プログラムとして表5の水素導入目標を掲げている。

表5は技術開発プログラムの目標であることを考慮する必要があるが、水素導入の一つの道筋を示した点では画期的である。

(d) 化石燃料からの水素エネルギー導入の検討

水素エネルギー導入の可能性を巡る以上の状況を踏まえると、再生可能エネルギーから作られる水素の導入時期は、長期的将来になると考えられる。ただし、再生可能エネルギー以外(化石燃料等)を水素源とした場合は、コストを勘案するとさらに早い時期からの導入が始まる可能性がある。したがって、水素エネルギーの円滑な導入を図るためには、必

ずしも再生可能エネルギーから作られる水素だけでなく、化石燃料等から作られる水素も前提にした、短・中期的な水素利用分野の可能性を検討する必要がある。

4.2 第Ⅱ期研究開発の進め方の検討に当たったの基本的考え方

(1) 水素優位な分野への早期導入の意義

本プロジェクトの研究開発の目的である再生可能エネルギーの大規模・有効利用の実現時期は、先に述べた各種検討の結果を踏まえると、かなり先の将来になるものと予想される。したがって、本プロジェクトを、超長期的視点に立った研究開発戦略の一つとして位置づけることが妥当である。

しかしながら、先に述べた地球環境問題の進展、エネルギー・環境技術開発に関する動

向、第Ⅰ期研究開発の中間評価等を踏まえると、2020年まで当初のテーマについて営々と研究開発を継続し、2020年以降に成果を社会に反映させればよいとする考えは、適当ではない。さらに、全体の研究開発期間についても、現時点で固定すべきものではない。

第Ⅰ期研究開発においては、海外で再生可能エネルギーから製造される水素を念頭に置く長期的な視点に立った技術開発を進めてきたが、WE-NET 研究開発を巡る情勢の変化及び研究開発の現状、並びに諸外国における技術開発の動向、さらに WE-NET の中間評価の結果を踏まえると、第Ⅱ期研究開発においては、水素が優位性を発揮できる可能性のある分野（ニッチマーケット）への早期導入も視野に入れることが重要であると考えられる。

(2) 第Ⅱ期研究開発における基本的考え方

これらの考え方を基にして、第Ⅱ期研究開発の進め方の検討に当たったの基本的考え方を、以下の4項目とした。

(a) 研究開発期間の設定と全体構想との関係の整理

ニューサンシャイン計画における制度改革（1997年1月）に基づき、第Ⅱ期研究開発の研究開発期間を1999年度～2003年度の5年間とする。ただし、本プロジェクトは超長期的視点に立った「全体構想」に基づくものであることから、第Ⅲ期以降（2004年度～）の研究開発（後継プロジェクト）の存在を想定した上で、研究開発の内容を決定する。第Ⅲ期以降の実施は、工業技術院によるプレ最終評価の結果を踏まえて決定されるものとする。

表 5 米国の水素エネルギー開発計画

	目標期限	水素エネルギー導入目標
短期	2005年	- 産業用・輸送用に0.3～0.6 Quad*/年 - 水素源はバイオマス及び化石燃料
中期	2010年	- 産業用、輸送用、ユーティリティー用にバイオマス及び都市ゴミガス化水素を0.2 Quad/率 - 米国販売新車の25%を水素燃料ハイブリッド車又は燃料電池自動車とする
長期	2025年	- すべての用途に10 Quad/年 - 水素源は太陽光等の再生可能エネルギー - 全エネルギー供給の10%

* 1 Quad=10¹⁵ Btu=1.055エクサジュール

なお、当初の「全体構想」では、研究開発期間を28年間、研究開発のステップを第Ⅰ期、第Ⅱ期及び第Ⅲ期としていたが、今後は、これらにこだわらずに研究開発の進め方を検討していくこととする。

(b) 実用化時期による研究開発項目の区分
(「短期」及び「中期」の概念の導入)

水を媒介とした再生可能エネルギーの地球規模での利用システム（いわゆる WE-NET）の導入に必要な要素技術を長期の研究開発項目とするが、新たに短期及び中期の研究開発項目を追加し、WE-NET の実現までの間の過渡的な水素の導入を促進する。

具体的には、水素エネルギーに関する研究開発項目について技術開発の見通し、経済性等の評価を行い、成果の実用化時期を予測した上で表 6 に分類し、それぞれに応じた研究開発の目的、課題及び目標を設定する。

表 6 研究開発項目の分類

研究項目分類	実用化期待時期
短 期	2003年～2010年
中 期	2010年～2020年
長 期	2020年～2030年

(3) 水素分散利用技術の開発促進

第Ⅰ期研究開発基本計画においては、水素利用技術を水素燃焼タービンとその他の利用技術に分類しており、再生可能エネルギーの大規模利用としての水素燃焼タービンの研究開発に重点が置かれたものとなっていた。

第Ⅱ期においては、優れた特性を有する水

素エネルギーの社会への導入を加速するため、分散利用技術にも重点を置く。

具体的には、二酸化炭素発生量の約 2 割を占める運輸部門における水素エネルギーの導入を図るため、水素自動車及び水素供給システムに係る技術開発を開始する。また、分散利用において重要な役割を果たすと見られる水素吸蔵合金については、高有効水素吸蔵量、低放出温度及び長寿命を達成するため、重点的に資金を配分し研究開発を加速する。水素製造についても、分散利用に適した形での実用化に必要な技術開発も行うこととする。

(4) 水素調達手段の多様化

短期及び中期の研究開発項目は、ある程度の経済性を有する水素の調達手段を前提としたものである。再生可能エネルギーの水素による国際的な大量輸送は、例えば、第Ⅰ期研究開発の成果であるグローバルネットワーク研究の結果に基づくと、2030年頃から2040年頃にかけて実現すると見込まれる。

したがって、短期及び中期については、原則として国内での調達を検討せざるを得ない。水素の国内での調達に当たっては、都市ガス（天然ガス）の改質、コークス炉副生水素やソーダ電解副生水素等のオフガス、オフピーク電力を利用する水電解、石炭のガス化等様々な方法が想定される。

本プロジェクトの究極の目標は、「全体構想」で示されたとおり、水素エネルギーを介しての地球規模での再生可能エネルギーの利用であるが、短期及び中期における水素の調達手段については、水素を社会に早期に導入していくことを念頭において、経済性を加味した分析を行いつつ、できるだけフレキシブ

ルに検討することとする。

期研究開発項目および開発目標の案は、表7のとおりである。

4.3 第Ⅱ期研究開発の内容と目標

前記の考え方にに基づき当所が作成した第Ⅱ

表7 WE-NET 第Ⅱ期研究開発項目および目標（案）

項 目	開 発 目 標
1. 水素利用技術	
(1) 水素燃焼タービン	タービン入口温度 1700℃ 発電端効率（高位発熱量基準）60%以上
(2) 動力発生技術	総合効率85～90%，発電端効率（高位発熱量基準）40～45%の水素ディーゼル・コジェネレーションシステム
(3) 水素自動車システム	・水素供給ステーションと整合された燃焼系システム ・熱量換算燃料消費が既存燃料エンジン車以下
(4) 純水素供給固体高分子型燃料電池	水素利用率99.5%以上，発電端効率（低位発熱量基準）60%以上
(5) 水素供給ステーション	実用規模 300Nm ³ /時前提のシステム実証
2. 水素製造技術	
(1) 固体高分子電解質型水電解技術	・電流密度 1 A/cm ² 以上，エネルギー効率90%以上の2500cm ² セルスタック
3. 水素輸送・貯蔵技術	
(1) 液体水素輸送・貯蔵技術	断熱構造等要素技術
(2) 低温材料	材料特性把握，最適溶接材料・溶接方法
4. 水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金	有効水素吸蔵量 3 重量%以上，水素放出温度100℃以下，5000サイクル後，初期の90%以上の性能を有する水素吸蔵合金
5. 革新的・先導的技術	有望技術の調査・抽出・要素研究
6. システム研究	
(1) システム評価	水素利用システムの設計・経済性評価・実用条件の明確化
(2) 安全対策	・システム安全設計基準検討 ・リスク評価手法確立

5. ま と め

WE-NET プロジェクトの第Ⅰ期研究開発は本年度が最終年度に当たり、いよいよ1999年度より5年計画の第Ⅱ期研究開発が開始される。当所はNEDO委託により、「第Ⅱ期研究開発の進め方(案)」を作成するなど、プロジェクトの展開に当たって中核的役割を果たしつつある。しかし、本稿で紹介したこの案は、水素エネルギーシステム実現へ向けてのマイルストーンを置くために必要な要素を、十分に視野に入れ切れていない心配もある。第Ⅱ期以降は、水素の大量製造／大規模輸送／大規模・集中利用というスキームにこだわらずに、技術の実用化も念頭に置いて、とりわけ

水素利用技術を中心とした多様なシステムの可能性を一つ一つシステム評価研究での検討対象とし、可能性あるものを研究開発計画にとり入れてゆくなどして、WE-NET プロジェクトを充実させてゆく努力が不可欠であると考えている。

(付記)

4.3で紹介した研究開発項目の具体的研究開発内容および目標については長文になるので省略した。ただし、「第Ⅱ期研究開発の進め方(案)」は、NEDOの1997年度報告書に全文収録され、印刷物として公開されているので、関心をお持ちの各位はNEDOもしくは当所WE-NETセンターにて閲覧可能である



白い砂浜に続くエメラルドグリーンの海、そして青い空・・・
あふれるばかりの豊かな自然に恵まれた宮古島で、風と太陽を利用した
クリーン・エネルギー・システムの開発が進められています。

今回、私たち IAE 女性研究員取材チーム（木村、清水）は、その沖縄電力（株）エネ
トピア宮古の風力発電システム、太陽光発電システムを訪問しました。



美しいエメラルドグリーンの海、宮古島の東平安名崎（ひがしへんなざき）

☀ 国内屈指のクリーン・エネルギー・システム ☀

宮古島では、夏季には特に多くの日射量が、冬季は強い季節風が得られます。この無償・無尽蔵なエネルギーを離島の電力供給に活かしたいものです。

沖縄電力（株）は、平成 2 年より、ニューサンシャイン計画の一環として、NEDO から「太陽光発電システムの実証研究」および「集合型風力発電システムの制御技術の開発」を受託し、国内でも屈指のクリーン・エネルギー・システムをつくりました。現在、本格的な実用を目指して、さまざまな視点から研究が行われています。

ア宮古 訪問記



Ⅰ A E 女性研究員取材チーム

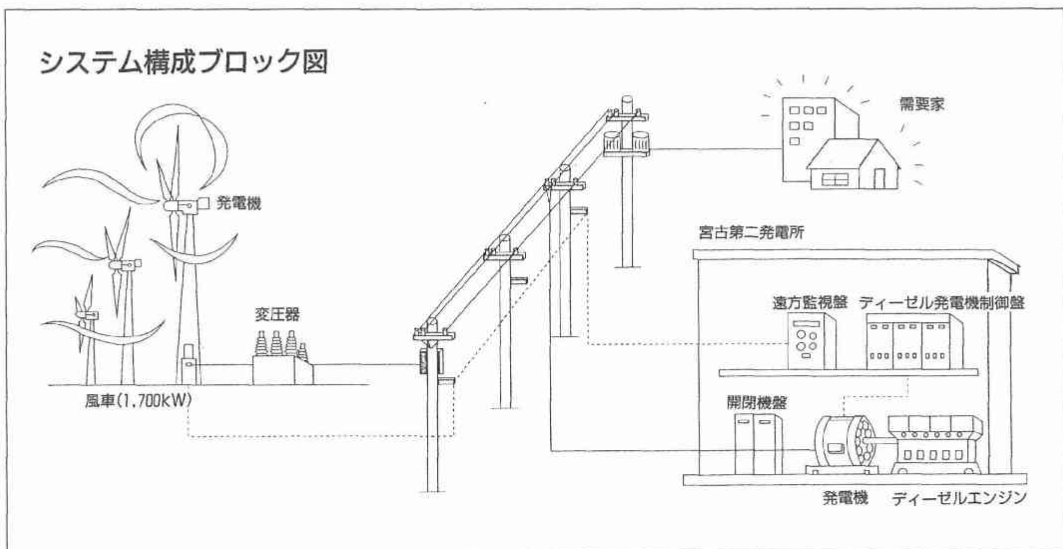
☀ 風力発電システム ☀

エネトピア宮古の風力発電システムは、系統状態（風車併入比率及び周波数）を監視して風車の自動台数制御を行えます。これは、離島系統において電力の品質を維持しながら風力エネルギーを最大限に利用しようとするもので、世界的にもその制御技術の開発・確立が注目されています。

風車には現在、国産250kW×2基、デンマーク製400/100kW×3基が導入されています。西平安名崎（にしへんなざき）の岬に沿って、最多風向（北東）にほぼ垂直になるように設置することにより、風のエネルギーを有効に利用できるように配置されています。また、隣接する風車の相互干渉の影響を避けるため、ブレードの直径の3倍の間隔で据え付けられています。

西平安名崎の風況は年平均約8m/sと大変恵まれており、風車の年間設備利用率は世界的にも良好と判断される約30%と大変優れた運転実績をこれまでに達成しています。また、平成9年1月から12月までの1年間の発電実績は約400万kWhで、これは宮古島の年間電力需要の約2%になるとのことです。

風力発電のしくみ



また、宮古島の風力発電は、東平安名崎にある太陽光発電設備の隣りに、平成10年7月にドイツ製500kW×1基、デンマーク製600kW×1基、計2基が導入され、合計出力2,800kWになりました。これにより4タイプの世界の風車が揃い、性能比較・評価が効率的に実施できます。また、将来的にはあと4基導入の構想もあるそうです。



西平安名崎の風車群



風力発電の仕様

	1・2号機	3～5号機
①風車型式	水平軸プロペラ式可変翼型風車	水平軸プロペラ式固定翼型風車
②定格出力	250kW(12.4 m/s)	100kW(10.0 m/s)/400kW(15.0 m/s)二重定格
③起動風速	5.5 m/s	3.0 m/s
④停止風速	24.0 m/s	25.0 m/s
⑤ローター直径	28m	31m
⑥タワー高さ	30m	36m
⑦ローター回転数	43rpm	36rpm
⑧発電機型式	誘導発電機、交流480V、3相、60Hz	誘導発電機、交流600V、3相、60Hz
⑨製造国	国産	デンマーク製

研究スケジュール

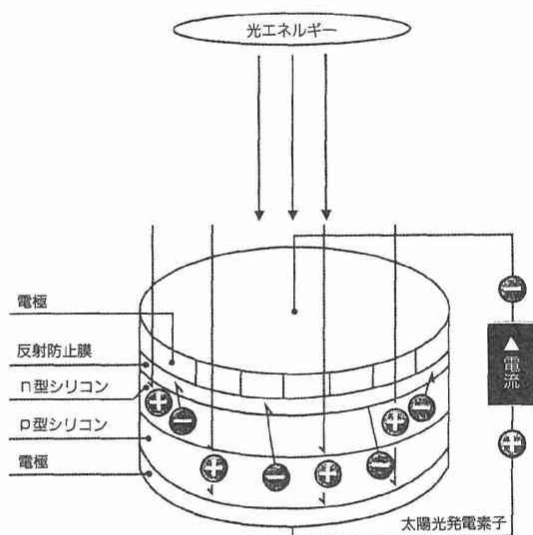
年度	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
システムの設計・建設	■	■	■	■	■	■		
運転研究			■	■	■	■	■	■

☀ 太陽光発電システム ☀

太陽光発電システムは宮古島の東端に突き出した東平安名崎（ひがしへんなざき）に続く海岸線沿いにあります。18,000㎡の広大な敷地に、12,000枚ものパネルが横たわるように設置されていました。



太陽光発電パネルの鳥瞰図



● 太陽光発電素子の原理 ●

太陽光発電素子は、一般にp型とn型のシリコンを接合した半導体から作られており、これに太陽光があたると正の電気と負の電気が発生します。正の電気はp型へ、負の電気はn型へ分離され電極に電圧が生じ、電極間に負荷を接続すると電気が流れます。

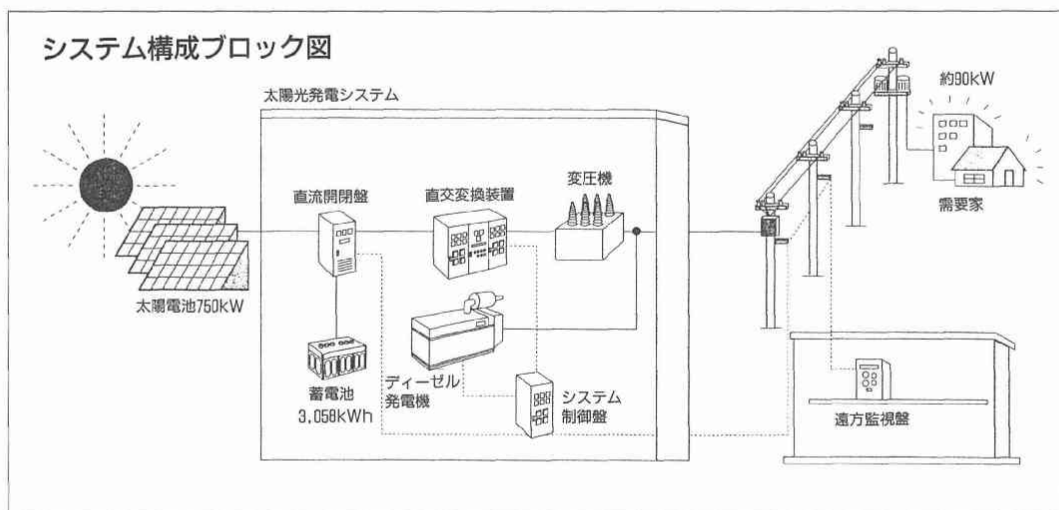
太陽光発電の仕様

①規 模	太陽電池総量 750kW 敷地面積 約18,000㎡ アレイ用地面積 約11,000㎡
②年間発電電力量	682,596kWh
③交 流 出 力	3相 6.6kV 60Hz
④直 流 電 圧	430V
⑤直交変換装置	トランジスタPWM制御 250kVA×3
⑥制 御 方 式	独立運転時…定周波数の出力電圧一定制御 連系運転時…無効電力0制御及び最大出力制御
⑦蓄電池容量	3,058kWh(10HR)
⑧補助ディーゼル発電機容量	300kW
⑨全 体 構 成	太陽電池→蓄電池→直交変換装置→需要家 (ディーゼル発電機とは高圧側にて並列接続)

宮古島で行われている研究は、太陽光発電を主電源、ディーゼル発電機を補助電源としたハイブリッドシステムでした。

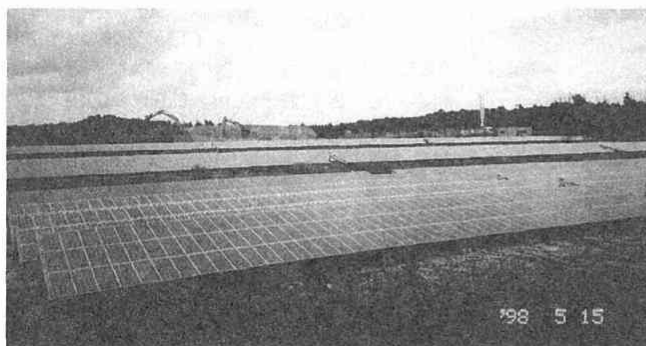
日照時、太陽光発電で電力を供給し、余剰になった分を蓄電池に充電しておきます。梅雨時など日射量の少ない日が続き、蓄電池の残存容量が20%まで低下すると、ディーゼル発電機から供給します。このとき蓄電池にも充電を行い、残存容量が30%に回復したらまた太陽光発電に切り替えます。つまり、天気が悪くても安定した電力を供給でき、そのうえ無駄なく太陽光を活用できる、大変効率的なシステムといえます。

太陽光発電のしくみ



約2年半にわたり、既存の配電系統から分離した需要家約250戸に、このシステムを用いて電力を供給したところ、太陽光エネルギーで総需要電力の約80%もまかなえたとのことでした。現在は、ディーゼル発電機を停止して、蓄電池の有効性を把握する研究が行われています。

海のそばに設置されていて、塩害対策など保守点検は大変なのは、と思いましたが、案内して下さった砂川さんによると、パネルについた砂や塩は雨が洗い流してくれるので、メンテナンスフリーということです。



壮観な太陽光発電パネル

♥ 取材を終えて ♥

今回案内してくださったエネトピア
宮古の砂川さんをはじめ、行くところ
行くところで宮古島のみなさんには
本当に親切に頂きました。

空も海も自然がとてもきれいな島で、
心のきれいな人々がのんびり暮らして
いて……島に着いてからずっと
感動の連続で、大变得るものの多い
訪問になりました。



エネトピア宮古 砂川部副長を囲んで
「とても親切に案内して頂き、
大変お世話になりました」

♥ Information ♥



■ 交通案内

風力発電システム……35分(約16km)

太陽光発電システム……35分(約15km)

* 宮古空港から車での所要時間。

沖縄電力株式会社

■ 研究開発部

沖縄県浦添市牧港5丁目2番1号
TEL 098-877-2341

■ エネトピア管理事務所

沖縄県平良市西里1275-15番地
大和電工ビル3F
TEL 09807-3-0097

エネトピア宮古 案内図

研究所のうごき

(平成10年4月2日～7月1日)

◇ 第50回理事会

日 時：6月19日(金) 12:00～13:20

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

- 第一号議案 平成9年度事業報告書および決算報告書(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 事務局長の委嘱について
- 第四号議案 その他

◇ 組織変更

6月30日付

新水素エネルギー実証研究センターおよび同
実証ラボラトリーを閉鎖

◇ 月例研究会

第157回月例研究会

日 時：4月24日(金) 13:30～15:30

場 所：航空会館6階 601会議室

議 題：

- 1. 平成10年度電力長期計画について
(電気事業連合会 電力計画部長
浜本和夫氏)
- 2. 米国および欧州における電気事業を巡る最近の動向について
(〔社〕海外電力調査会 調査部 主任研究員
飯沼芳樹氏)

第158回月例研究会

日 時：5月29日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

議 題：

- 1. 革新的ソーラ熱化学プロセスの概要と国際協力について
(東京工業大学 炭素循環素材研究センター
理学部 化学科 化学専攻 教授
玉浦裕氏)

2. WE-NETプロジェクトの現況と今後の展開

(WE-NETセンター プロジェクトマネージャー・副主席研究員 福田健三)

第159回月例研究会

日 時：6月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階 501・502会議室

議 題：

- 1. ダイオキシシン対策の最近の技術動向とその評価
(神奈川県環境科学センター 環境工学部
専門研究員 安田憲二氏)
- 2. 最近の廃棄物発電技術について
(エネルギー技術情報センター長・副主席
研究員 小川紀一郎)

◇ 主なできごと

4月2日(木)・第2回ガス技術評価委員会

7日(火)・第1回21世紀ガス技術ビジョン委員会

22日(水)・第1回PLM技術開発検討委員会

24日(金)・第3回ガス技術評価委員会

5月12日(火)・第2回21世紀ガス技術ビジョン委員会

18日(月)・第2回PLM技術開発検討委員会

19日(火)・第4回ガス技術評価委員会

25日(月)・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
・第1回BWRサブチャネル解析コード(NASCA)のポスト沸騰遷移への適用性の研究委員会

28日(木)・第3回21世紀ガス技術ビジョン委員会

6月2日(火)・第3回PLM技術開発検討委員会

5日(金)・第1回DSM技術検討委員会

9日(火)・第1回高温ガス炉プラント研究会
・第1回ヒューマンファクタ研究懇談会

15日(金)・第1回低品位炭改質技術に関する調査委員会

29日(月)・第1回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会

◇ 人事異動

○6月26日付

(出向解除)

田中良昌 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

(採用)

田宮久史 プロジェクト試験研究部
主任研究員

(委嘱)

杉井 喬 事務局長

○6月30日付

(出向解除)

浅見直人 (新水素エネルギー実証研究セ
ンター プロジェクトマネー
ジャー・副主席研究員)

久保田晴仁 (プロジェクト試験研究部
主任研究員)

(退職)

竹端賢二郎 (プロジェクト試験研究部付
研究参事)

○7月1日付

(採用)

井上岳史 プロジェクト試験研究部
主任研究員

(委嘱)

浅見直人 プロジェクト試験研究部
専門役

(昇任)

田中敏英 プロジェクト試験研究部
主任研究員

編集後記

気象庁のホームページによる「エルニーニョ」の説明によれば、「エルニーニョ現象は、太平洋赤道域の南米沿岸から中央部の赤道変更線付近にかけての広い海域の海面水温が平年に比べて数℃も高くなり、それが半年、一年半程度継続する現象で、数年に一度発生する。…またその発生にともなって、貿易風が弱まり、熱帯のみならず中・高緯度を含めた世界各地で通常とは異なった気候が発生しやすくなり、熱帯域を中心に気温が高まり、東南アジア、オーストラリア東部、パプアニューギニアなどでは雨が少なく干ばつになる傾向がある。一方南米のエクアドルやペルー沿岸部では大雨による災害が起りやすくなる。台風、サイクロンの発生も減少する。わが国においても同現象発生中は暖冬・冷夏になり易く、梅雨明けが平年より遅れる傾向にある」とある。

その説明で、最近の世界の異常気象的な現象をみると、例えば昨年のパプアニューギニアの大干ばつ（今年の天津波も？）、今夏の米国中西部の熱波等各地の猛暑、中国長江の大洪水また日本においても判然としなかった梅雨明け等大部分は理解できそうである。しかし、何故エルニーニョ現象が発生するのかは定説がないといわれる。特に地球温暖化との関係は明確ではない由であるが、地球温暖化現象の顕在化が議論されてきている今日、やはりここは疑ってかかるのが妥当と思われる。

その地球温暖化現象は、エネルギー需給形態と不可分といわれる。去る6月通産大臣の諮問機関である総合エネルギー調査会

需給部会が纏めた中間報告によれば、先のCOP3（地球温暖化防止京都会議）でわが国に課せられた2008年から2012年時点の二酸化炭素排出量を1990年レベルより6%削減する目標は、「原子力発電」、「省エネルギー」、「新エネルギー」を目一杯実行してはじめて達成可能であり、そのためには「環境調和型エネルギー需給構造」への変革あるいは転換が必要とされている。

さて、本号ではその「環境調和型エネルギー需給構造」検討に際して現在注目されているテーマを重点的に掲載した。それらの位置づけは次の通りである（執筆者は、省略させていただいた）。

需要構造関連：

・座談会—電力負荷平準化について

供給構造関連：

発電技術全般：

・地球環境時代の発電技術

原子力：

・「原子力と情報」を巡る最新動向
自然エネルギー：

・革新的ソーラ熱化学プロセスの概要と国際協力の可能性調査

・WE-NETプロジェクト研究開発の現況と今後の展望

・沖縄電力(株)エネトピア宮古訪問記

不順な天候の多いこの頃、自然と環境そしてエネルギー問題等について思いを巡らされるような機会があればご参考にしていただければ幸いである。

小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第21巻第2号

平成10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

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社