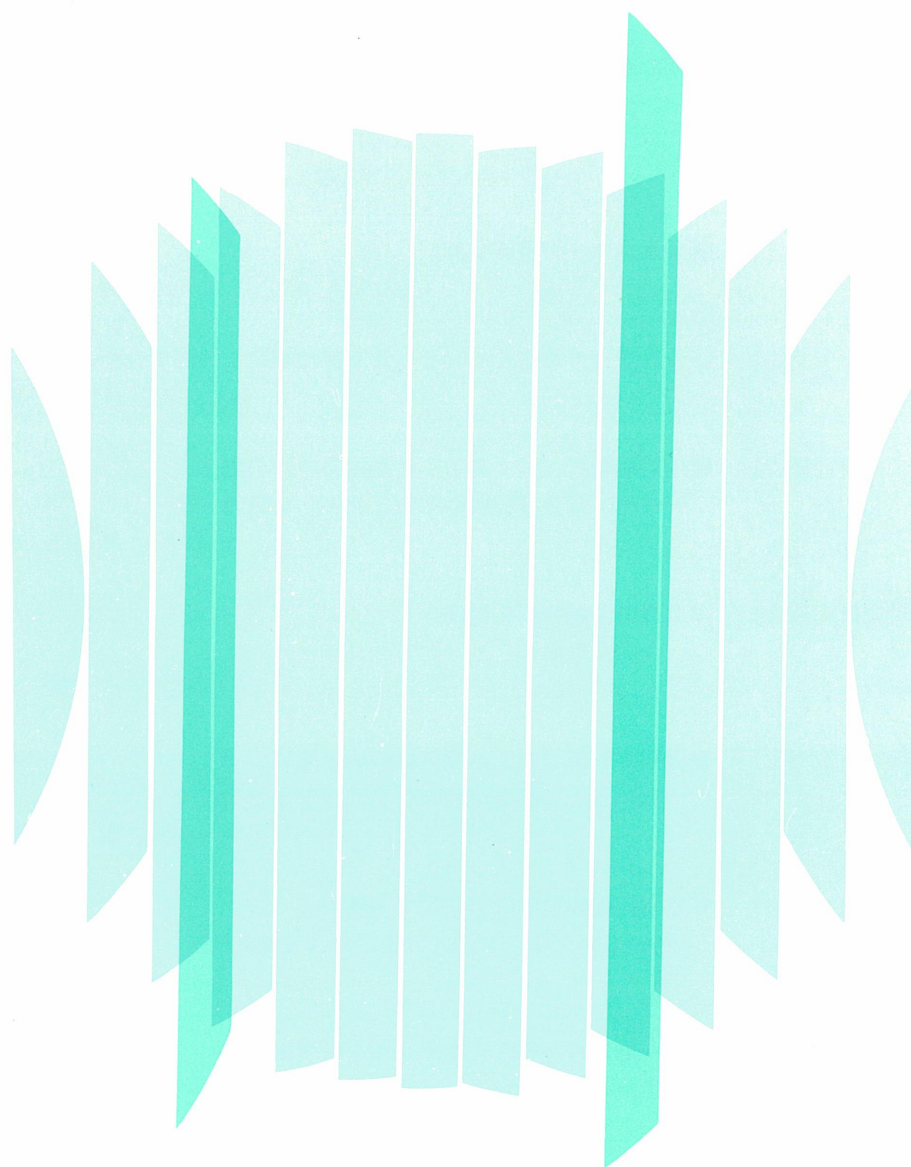


季報 エネルギー総合工学

Vol. 23 No. 2 2000. 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】	再生した米国原子力に注目 東京電力株式会社 フェロー(副社長待遇) 友 野 勝 也… 1
【理事長対談】	作家の眼で見た原子力 —スウェーデン・パキスタンの施設訪問談を幕開けに— ノンフィクション作家, 評論家 上 坂 冬 子 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 3
【内外情勢紹介】	新エネルギーの課題と展望 筑波大学 機能工学系 教授 内 山 洋 司…19
【調査研究報告】	統合評価モデルGRAPEによる排出権取引の影響分析 主任研究員 黒 沢 厚 志…28
【調査研究報告】	原子力発電所に関する工事計画認可申請の電子化 —申請・審査業務の効率化と高度化を目指して— 主任研究員 尾 形 圭 史…37
【調査研究報告】	洋上風力発電の開発動向 —実用化段階に入った北ヨーロッパ— 主管研究員 遠 藤 肇…52
【調査研究報告】	負荷集中制御システム実証試験の成果について —酷暑日の家庭用電力ピークカットを目指して— 主任研究員 田 中 賢 示…67
【調査研究報告】	高効率廃棄物発電技術に関する検討 —500℃級プラントの実用化に向けての考察— 研究員 大 森 伸 二…77
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート(第7報) —燃料電池自動車における燃料選択の問題— 主管研究員 蓮 池 宏…89
【研究所のうごき】	……………100
【編集後記】	……………102

巻頭言

再生した米国原子力に注目

東京電力株式会社

フェロー(副社長待遇) 友 野 勝 也



米国で原子力発電の再活性化の兆しが出てきた。数年前までは、電力市場の自由化が先行する米国では、原子力発電は寿命の来たプラントから順次廃止され消えていく運命にあると見られていた。ところが、運転期間の許認可更新申請ラッシュとなり、1999年の米国原子力発電所の平均稼働率は86%を記録し、3年前から10%以上の上昇である。O&M(運転・保守)コストは平均2セント/kWh、優秀プラントは1.5セント/kWhまで下がり、さらに発電所運営のスケールメリットを得るため原子力発電運転会社の再編成・統合が急速に進んでいる。原子力発電プラントの売買価格が上昇しだしたことは、電力市場において既設原子力に競争力があることの証である。なぜ数年の間にこの様変わりが起こったのだろうか。米国のある電力会社の幹部は「電力自由化という競争の中で、発電所を安全に効率よく運転するため、品質管理の強化等の合理化努力が実りつつある」と言う。米国規制当局も「安全と原子力の競争力は両立する。そのためには規制側と産業界との関係は、対立ではなく互いの良好な信頼関係が重要」と言う。さらに最近では、いわゆる“Tech.Spec.”的規制から“Risk-Based Regulation”へ規制の重点を移す方針を打ち出している。これは規制側が発電所運転者の自主保安体制を信頼し、PSA(確率論的安全性評価)の活用で規制の最適化と運転者側に運転の柔軟性をもたせたいことを狙っている。

かつて、米国の原子力発電が低稼働率に喘いでいる時、米国の原子力発電運転者は日本の1桁低い自動停止率の分析やTQC(総合的品質管理)の導入等を行い、規制当局は日本の規制と産業界の関係を調べていた。米国原子力発電の高稼働率の理由が日本的品質管理と規制当局と産業界との良好な関係だとすると、米国の自

自動車メーカー等製造業が日本の管理手法を採り入れ再生したように、原子力でも従来からの日本のシステムの長所を取り込んだのだろうか。稼働率86%は1年限りのものでなく、今後3年間の平均稼働率として80%台後半から90%台前半を目指していると言う。日本の原子力発電の稼働率が最近80%を少し越えたところに留まっているのに対し、米国で90%台を目指し得るのは、24ヶ月運転サイクルが認められていることや、認可原子炉熱出力に対応する電気出力まで運転できることが大きな要因である。日本の原子力発電は、このままでは90%以上の稼働率を出せる実力を持ちながら稼働率では世界の原子力発電運転国のベスト10にも入れない。

電力自由化とともに原子力以外の発電設備は自主保安、設置者の自己責任により運営の合理化、熾烈な技術開発競争が進み、経済性向上が図られる状況にある。原子力発電が競争力を持つには、規制で確保されなければならない安全に関する項目と自主保安に委ねるべき項目とが峻別され、安全についてはPRA(確率論的リスク評価)手法を使って最適化を図り、非安全項目については徹底した合理化の追求が必要である。

現在、原子力長計が策定中であるが、エネルギーセキュリティ、地球温暖化対策としての原子力発電の果たすべき役割は大きく、国策として国民に受け入れられるためにも、他電源と競合するためにも、安全性を損なうことなく原子力発電の経済性を更に向上させることが必要条件である。米国の状況を見ると、まだ多くの経済性向上の余地が日本の原子力には残っていることが理解できる。今や、電力市場の自由化が先行する米国から学ぶべきことが多々あるように思う。

作家の眼で見た原子力

— スウェーデン・パキスタンの施設訪問談を幕開けに —

上 坂 冬 子 (ノンフィクション作家, 評論家)

秋 山 守 ((財)エネルギー総合工学研究所
理事長)



スウェーデン、スイスの 廃棄物処分研究所を訪問して

博士号をもつ原子力技術者に
会話を楽しませる教養の豊かさ

秋山 早速ですが、ゴールデンウィークの連休にかけてスウェーデン、スイスの放射性廃棄物処分研究施設を訪問されたとのことですが

上坂冬子氏 略歴

1959年、『職場の群像』で思想の科学新人賞を受賞したのを機に執筆活動に専念。

1993年度菊池寛賞、正論大賞を受賞。戦後史の発掘からエネルギー問題まで幅広く活躍。

著書には、『生体解剖—九州大学医学部事件』『慶州ナザレ園—忘れられた日本人妻たち』ほか多数。

1996年の『原発を見に行こう—アジア8ヶ国の現場を訪ねて』でエネルギーフォーラム貢献賞を受賞。近著に『我は苦難の道を行く—汪兆銘の真実』がある。

核燃料サイクル開発機構の非常勤理事。

が、そのあたりのご印象、関連したご意見などからお聞かせいただけますでしょうか。

上坂 久し振りに連休をヨーロッパ巡りで楽しもうと計画していましたら、耳寄りな話が飛び込んできました。電力中央研究所理事長の佐藤太英さんほか専門家の方たちが廃棄物処分の研究施設を視察するため、ヨーロッパに行くというのです。かねてから原子力に関心を持ち、スウェーデン・エスポ島やスイス・グリムゼルの地下研究施設は訪ねてみたいと思っていましたので、早速、視察団に同行させてもらうことをお願いし、現地で合流して参りました。

今回の訪問旅行で一番強く残った印象は、きょうびの技術屋さんはずいぶん幅広い教養をお持ちということです。博士号を持った方々の間に入っていくのですから、素人の私はさぞかしみじめな思いをするかと覚悟しながら行ったのですが、研究所へ着くまでの道中はよもやま話によもやま話が続き、専門以外の脇道の勉強も皆さん本当にたくさんしていらっしゃるのに驚きました。ワインにつ

いても詳しいし、西洋史についても詳しく、何か一言申しますと、それについて蘊蓄を究めている方が必らずいらして話題が尽きず、本当に楽しい思いをしました。

その反面、私はすごいコンプレックスを持ちました。原子力のメカニズムも知らないし、私たちが育つころの戦時中は、西洋史のような敵国の歴史は勉強しなくていいなどと言われていたころでしたから。

私がもう一つ感じましたのは、最近の優秀な方々は外国語もご不自由ないんですね。どこに行っても案内役の通訳の方がついてくださったのですが、専門的なことは英語でほとんど人を介さずに話ができるというのは、やはりすごいものだと思います。

海面下450mにあるエスポ島研究所

触って温かった銅製キャスク

上坂 帰国して改めて考えますと、私のような素人の人間が、使用済み燃料の高レベル廃棄物処分研究施設を、次はこれが問題とばかりいち早く訪問したのは、我ながらよい着眼



エスポ島・廃棄物処分研究所
(降下用エレベーターの地上建屋〈中央右〉)



地下坑道で説明を受ける訪問団一行
(右から2人目上坂氏, 3人目電中研佐藤理事長)

点だったと思いました。帰国して新聞を見ますと、廃棄物の最終処分に関する法案が衆議院を通過しており、この対談が活字になるころには参議院も通ってるでしょう。法案が通るか通らないかの時機に最先端のところをのぞきに行くとは、素人ながら私も大したものだと自分を慰めているところです。先方からは、日本女性の来訪は初めてと言われました。

エスポ島地下研究施設は、海面下450mにあり、オスカーシャム空港から車で40分ほどの地について、それから垂直のエレベーターで降ります。エスポ島と聞きましたが、船に乗らずに行けましたから、島ではなくて陸続きのようですね。450m降りた後、3,600mほどの通路をぐるぐる回って見るのです。私も張り切って興味本位に走り回ったものですから、帰ってきてがっくりと疲れが出て風邪をひいてしまいました。年に似合わぬことをすると、罰もくるもんだと思いました。

研究施設は、しっかりできており、実際に原子炉から抜き取った使用済み燃料を、ステ

ンレスではなく銅製容器のキャスクにそのまま入れて、地下坑道にある穴に捨てる実験をしているようでした。なぜ銅製キャスクを使用するのかを聞いてみますと、バルチック海エランド島の沖合で、1676年、デンマーク／オランダの連合艦隊と戦い沈没したスウェーデン戦艦クローナン号の銅製大砲が海底から出てきて、付いていた緑青を取ったら、その下は全然痛んでいなかったのに注目して銅製にしているのだそうです。穴にいれた後、ペントナイトを周りに詰めて固めるのですが、キャスクの表面には放射能から出る熱の放散面積を少しでも広くするため、ピラピラしたウロコのようなものが一面についていました。許可を得て埋める直前のものに触ってみましたら、表面でも私の体温より熱く、40度ぐらいありましたか。こんな温かいものを納めておくのかと思うくらいでした。

素人にはやはり現場を見て実感するのが大切ですからね。よくわからないながらも、とても面白い訪問でした。

早期に決めてた処分費用の積立て

精力的だった処分場の研究

上坂 今回の訪問で感心したことの1つに、スウェーデンではエスポ島に最初の原子力発電所ができて2、3年後には、法律を定め廃棄物の処分費用を電気料金の中に入れて積立っていたことです。やはりその辺は賢明な国だなと思いましたね。日本のように原発ができて30年もたった今頃になって処分費用を積立金として徴集しようとするのは、いくら少額だからとはいえ、今年の間ぐらいには何か問題が出るのではないかと思います。原発の稼働と同時にはっきりと決めておけば、“トイレなきマンション”などといわれなくても済んだでしょうにね。

スイスのグリムゼル研究所には10年ほど前に行ったことがあるんですが、ずいぶん変わっていましたね。前はグリムセルに水晶の鉱脈が出たというのでガラスの仕切りを通して見ますと、奥の方まで水晶の結晶が一面にあったことしか覚えていません。今度行きましたら、それはもう枝葉末節で、施設の中がずいぶん整備されており、研究もかなり進んでいました。

グリムゼルもエスポ島も、処分場ではなく研究施設だそうです。特にグリムゼルは1年で1ミリ隆起があるのを気にしていました。10年で1センチでしょう。私のような素人からみると、いいじゃないそれくらいと、思わず言いたくなります(笑)。

エスポ島の方も実験だけをやっており、大変な精力を注ぎ込んで処分場の研究をしているのを目の当たりにしますと、廃棄物処分に世界中が真剣に取り組んでいるのがよくわか

りました。

日本に欠ける

社会システムの長期計画性

秋山 物ごとを長期にわたって計画的にやる民族性がありますね。日本でも長い将来まで考えている人はいますが、組織として必ずしもそれが継承されていかなないところがありますね。

これは原子力に限った話ではなく、また昔から哲学者も政策立案者もたくさんいましたが、西洋近代国家に見られるようにシステムとして哲学から範ができて、それが実行計画に進むといった体系が、わが国では少ないようです。

上坂 総理大臣もしょっちゅう代わりますしね。

秋山 廃棄物処分の問題もそうですが、社会のシステムの多くに共通して感じることでして、50年、100年といった長期的なスパンに亘って具体的にイメージして議論するという習慣は、これまであまりなかったですね。

上坂 外国では、ポストにある人が代わっても、一旦決まった体系は受け継がれていくんですか。

秋山 それはやはり、しっかりと保たれていく基礎と、状況に対応して素早く変わっていく部分とがありますね。彼らも人間で、結構生臭いというか、ボスが変われば組織の人達がほとんど入れ代わることもあって、その一番極端な例はアメリカでしょう。

上坂 この間、台湾の総統が代わりましてでしょう。台湾でもそうなんですって。

秋山 その点はむしろ日本のほうが継続性が高いですね。役所の方がしっかりと見ていま

すから。ただ一方で、継承というよりもむしろ視野の長期性という点では、欧米にかなり差をつけられているという実感が強いですね。

それとまた逆に、進取の精神についても海外でなかなかのものがあります。例えばスウェーデンで聞いた話ですが、鶏を飼うのに日光のもとで自由に走らせる自然養鶏でなければいけない、またケージに入れるのは動物愛護の精神にもとるのだ、などという議論があったそうです。

原発廃止を決めた国民投票

裏話が直に聞ける現地訪問

上坂 スウェーデンは国民投票をよくやる国で、右側通行か左側通行か、そんなことまで投票させるのだそうですね。

そのスウェーデンで有名なのが、米国スリー・マイル・アイランド原子力発電所の事故の後、1980年に行われた原子力の存廃に関する国民投票です。結果は、原子力は建設中のものを含めて12基に限定し、25年の耐用年数がきたものから廃止することに決め、最終的に2010年までに全廃するというものでした。

しかし、昨年11月に1基を停止したほかは、今まで全く止まっていないのです。

私は、その辺に関心がありましたので、昨年1基廃止したのは老朽化によるのか、それとも政治的問題ですかと聞きましたら、もう言い終わらないうちに、あれは政治的な問題ですと。建設して25年目の、ピンピンして働いている青年のような設備を廃止する必要は毛頭になかったとね。ここからは私の推測ですけど、政党間の政治公約に世間がうるさいから、あれを1基止めておけば何とか治まるだろうみたいな判断があったのだと思います

す。また、全廃すれば廃止に伴う代りの電源や、環境の国際公約など新たな問題が生じてくるはずで、全体をにらんだ政治的動きとしては、残りの11基を現在のまま残すことになるようです。

秋山 そうですか。関連しまして、これも10年ほど前、ある発電所の見学に参りました折に、実は1基を閉鎖しても、他の発電所が持っている余裕分を少しずつ出し合わせていけば、トータルの発電量はそれほど下がらなくて済むと聞いた記憶があります。ま、おっしゃるように、やはり1基を取り敢えず政策的に止めて、後はかなり議論があるんでしょうね。

上坂 その一言を聞いたときに、やはりこの国にも政治問題にうるさい人がいるのだなと思いました。日本の新聞も、12基全廃という国民投票の結果だけは一斉に書き立てましたでしょう。ですけど、その後、運転期限を延長している報道も全くありませんでしたし、昨年の廃止についても耐用の限界がきたからのような書き方でしたね。

報道を確かめる意味でも、私は現場に行くのが好きなんです。

関心を持たれてる

パキスタンの原発事情

パキスタン外交の

手掛かりになってる中国原子力

秋山 実は、先日、先生ご執筆の『原発を見に行こうーアジア8ヶ国の現状を訪ねてー』を読ませていただきました。私はあまり東南



上坂 冬子氏

(ノンフィクション作家, 評論家)

アジアを回ったことはないのですが、10年くらい前、ふとした縁がありパキスタンに行きました。インドと両方を訪ねておれば、もっと面白かったと思っていますが。そこで、先生の訪問記を読みながら当時のことを思い出しました。

上坂 パキスタンの原発には多くの方が関心をお持ちのようで、グリムゼルでも所長さんから聞かれましたね。一緒に参りました佐藤さんが私を紹介されたとき、私が技術的なことは分らないけれど、原子力問題に関心をもっていることや、これまでにパキスタンにも行ったことがある人ですよなどと言って下さったので、早速、パキスタンについての質問が出されました。

私が訪問した頃パキスタンには原発が1基しかなく、夕方5時からでないで電気がつかない農村もあり、新しくもう1基できるというので人々は大喜びしていました。中国からの輸入原発で、しかも砂漠のど真ん中に建てるというでしょう。びっくりしちゃって、岩盤はどうなのと言いましたら、そんなものは関係ないと。厚さ6mのコンクリートを打っ

てその上に建てればいいんだとか。本当ですか、それではフローティングになると言ったんですけど、相手は自信満々でしたね。

パキスタン人の発言で強烈な印象を受けたのは、中国のような伝統のある古い国がつくってくれるから間違いないと言ったことです。とにかく、発電所を輸出してくれたことで中国を非常に尊敬してるのですね。逆な見方をすると、中国は原子力発電を一つの手掛かりにして外交政策をどんどん進めていると思いましたね。中国といえば、日本に来てまで軍事力についてあれこれ余計なことを言う国だと思ったりしましたが、その反面で、打つべき手は抜きなく打って、国際社会での地位を着々とかためている外交手腕に圧倒されました。パキスタンは中国に頭が上がらないと思いますよ。

秋山 そうだと思います。中国もインドを睨みながらのことなのでしょうね。

上坂 そうでしょうね。原子力発電を外交手段に使える国は、いいなと思いますね。

秋山 私も、パキスタンにあるキャンドゥ炉の原子力発電所へ行きました。本家のカナダからは技術支援が絶えていました。日本では日立製作所さんがタービンを納めたのですが、やはり政治的な事情を背景に、支援もしにくい様子でした。それでも発電所の人達は何とか努力して運転を続けていました。

上坂 私たちが行ったときに、日立もまた巡回に来ていてタービンが回るように手は打ってるって言っていました。

秋山 私がパキスタンを訪れたのは、日本でココム違反の問題が厳しかった頃で、そのこともあって、メーカーの方とは連絡しにくいと言っていました。今ではその辺りの状況は

すっかり変わったのですね。ところで、先生のご本『原発を見に行こう』に廃棄物がえらく少ないと書いてありましたね。

上坂 あれはカラチ原子力発電所でしたか。日本の専門家の方が言ってみえました、廃棄物が少な過ぎるって。水の中に沈めてある燃料棒がえらく少な過ぎる気がするって。

アラーのご託宣「原子力はいいもの」 放射線による綿長改良の実益も

上坂 パキスタンの原子力研究所は立派ですね。

秋山 真ん中にドームがあり、時間になると皆さん、広場の前でお祈りをするのです。原子力研究所は一種の神殿風の建物ですね。

上坂 王宮を型どってあると聞きました。アラールの神様から、「原子力は人類にとって大変にいいものだ」とのお告げがあったとか。あの国はアラールのご託宣があれば、一も二もなく人々はなびくようですからね。コーランの中に「原子力はいい」と書いてるわけではないでしょうけど、読みようによってはそのように取れるような一節を上手に抜き出して、研究所の一隅に示してありました。

アラールの神様が宣って、しかも電気がつくならこんないいことはないというので、原子力への反対運動がないばかりか、実際に実益の面でも放射線を使って植物繊維をのばすことにより、綿の収量が20倍になったとか。この話本当ですかしら。

秋山 私も、当時、収量と同時に綿繊維の長さが伸びるとも聞きました。植物にガンマ線を当てると、突然変異が起きるのです。綿長が長いものだけを選び出して、その種をまた植えて、長いもの、長いものと何回も繰り返

しますと、従来の品種に比べて平均の綿長が1センチ以上も長いものが収穫できるので。それで、繊維が世界で一番長い綿、つまり最高品が輸出できるようになったそうです。経済的にもえらい利益が上がり、担当の部長は賞金を貰ったそうです。

上坂 あの国では原子力様々みたいですね。

秋山 そうですね。あと医療関係やアイソトープ生産など、放射線の民生利用をずいぶんやってましたね。エネルギーだけでなく、原子力のいろんな可能性を多角的にうまく使ってるなと思いました。

世界的に研究が進む

がん医療の放射線ホルミシス

上坂 日本でも当然、身近な例としてレントゲンがあるし、その他にももっと利用されている分野もあるんでしょう。

秋山 ありますね。日本原子力研究所の高崎研究所のガンマフィールドでは、中心にガンマ線源を置いて植物に照射して実験しています。

上坂 原子力のいい面を一般人向けにPAするのと同時に、関係者はもうちょっと宣伝上手になってくださるといいですね。

風聞によりますと、放射能を適度に当てると癌にならないという研究もされてるそうですね。

秋山 放射線ホルミシスの話ですね。近頃では世界的に見て、かなりの数の学者、研究者がその説に——つまり、低い線量の放射線で統計的にプラスの効果が認められるという考え方に——傾いているようですね。アメリカ原子力学会の放射線影響分野の専門家もそうですし、日本ではこのことに早くから注目し

ている方がおられます。なお一方で、放射線を受ける量を限りなくゼロまで下げるほうが安全である、少なくとも危険側ではない、というこれまでの主張に立つ人もいます。

上坂 当てる量加減が難しいのでしょうか。

秋山 最近では国際会議の場などで、放射線ホルミシスの見解の発表や意見交換などが行われるようになってきていますね。

原子力の教え方・見方・考え方

分かりにくくしている

ウラン235にはじまる原子力教育

秋山 原子力に対するパブリック・コミュニケーションの話題に移りますが、先生が外国の一般の方と接してみて、先方のお話の内容あるいは学校教育などの面で、日本にとってどんなことが参考になりますでしょうか。

上坂 私も気になっており、グリムゼルでも学校教育への原子力の取り込みについて聞いてみました。どこの国でも耳新しいいい方法はないようで、学校の先生対象の集合レクチャーとか、小中学生向けの見学会など似たり寄ったりの話でしたね。教科書の中にはまだ本格的には入っていないようです。

ただ、原子力のメカニズムは、いくら易しく説明されても、私のような素人にはわかりにくいですね。ウラン235に、中性子を当てると核分裂するとか、プルトニウムができるとか、何遍聞いても私たちの頭の中でイメージを結ばないんです。この間、女性の専門家に、あなた方の頭の中には何か像が浮かぶのと聞きましたら、当然ながらイメージーションが

働きますというのね。専門家の方にはこれでいいかもしれませんが、私たち素人にはどう考えてもわかりません。技術屋さん向けの説明や技術屋さんによる技術さんのための発想が多すぎませんか？

最終的な一番のポイント

システムや人が信頼できるか、できないか

上坂 フィリピンに行ったとき、フィリピンの科学大臣が言われますには、フィリピンには、原子力発電所は現在のところまだ正式に稼動していませんが、もしやるとしたら、専門家と一般の人たちの知識がドッキングできるような解説を、予め検討してかかるのが一番重要な問題であると。原発をやる以前の問題として、人々を納得させるパブリック・アクセプタンス (PA) の方法をきわめたいという辺り、さすがと思いました。

日本のように現実に51基も稼動済みであれば、今さらウラン235なんて言われてみてもしょうがないわけで、最終的には、この世の中を動かしているシステムが信頼できるか、できないかに尽きるわけですからね。日本の技術を信頼して暮らしているというところに、もっと重点を置いたPAがあってもいいと思いますね。

この間、核燃料サイクル開発機構の方がJCO事故の問題でアメリカに危機管理を調査に行かれたときの話ですが、アメリカでは原子力関係の微妙なポストにつく人は、愛国心があって借金はない人というのが1つの条件とのことでした (笑)。

アメリカらしいですね。事故が起きた場合、原因を探りたい一心のマスコミは、ローンを抱えている人に、ローンは受け持つから真実

を話せと誘惑するかもしれません。そのとき、心を動かしやすいのが、借金を抱えている人という判断なのだそうです。愛国心を取り上げるのは、お国柄として最終的にテロは困るということもあるのでしょうか。広い意味で捉えれば、国家の大事な流れに反抗しない人を選ぶということですね。

アメリカは、こういう即物的な問題に関しては、核心を突いてるなと思いました。

秋山 おっしゃるように、一番の基本は人間ですね。個人、集団それからその組織。組織も結局、人ですからね。

外国に見られる筋の通った合理主義

秋山 これまでお出かけになった国では、イスラム圏も含めていろいろですが、それぞれに宗教が考え方の背景にありますね。欧米と日本との対比で見れば、安全だけでなく個人々々の責任感、忠誠心、あるいはわれわれの生きる上でのバックボーンにまで広げて考えますと、契約という概念が日本にはあまりありませんでしょう。それが日本の社会のある種の混乱した挙動に関係しているのではないのでしょうか。システム、安全も含めた全てにわたって、欧米と異なる日本の精神的な風土、ないしは宗教観というものが、原子力の今後のあり方にも微妙に関係していくのではないのでしょうか。

上坂 考え方の基礎に、一本筋の通ったものを持ってるかどうかだと思います。例えば、フランスは、原子力の電力に占める割合が75%とか80%ですね。

一部の反対はあるにせよ、国策としての原子力の重要性を国民が承知しており、しかもヨーロッパ内の近隣国に余剰電力を売って国



秋山 守氏

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

の利益に結びつけてるわけでしょう。やはり合理的な判断の基礎をふまえて行動している国だと思いますね。

以前、放射性廃棄物の運搬船パシフィック・ティール号の外国船員の方たちにシェールプールの港で会ったとき、放射能漏れの心配について聞きましたら、廃棄物を管理をする人も船の運航を担当する我々も、それぞれが分掌する業務を命がけで果しているから、人間が防げる限りの危険は防止されているはずだと、普通の船員の方から返ってきました。

神とか宗教との関係というより、そういう合理性だけでも一貫していれば、原子力を巡るガタガタした問題はもう少し片づくんじゃないかと思います。反対のための反対のような、反対運動がまるで宗教理念のようになってしまっている集団が育たないためには、もっと合理主義を前面に押し出してもいいんじゃないかと私は思います。

わが国の原子力反対論には、かなり感情的なところがありますね。素人の私がこの問題に関心を持ったのは、賛成と反対が対立する問題には人間集団のいい面、悪い面がさらけ

出されており、その意味で興味をかき立てられるからです。私に対立が続く原子力問題の真ん中に飛びこんでいくのは、好奇心からですね。

秋山 今、先生が話されたように、簡単には黒白の決着がつかない問題は原子力のほかにもいくつもありますね。地球環境問題にしても南北問題にしても、複雑で大きな社会問題は、先生のご関心と呼ぶのではないでしょうか。

哲学体系の中で

考えられてきたエネルギーと環境

秋山 ところで今春、原子力総合シンポジウムが開かれまして、前東大総長で現在は日本学術会議会長の吉川弘之先生と、元東大文学部長で哲学者の今道友信先生が、「人類の直面する大問題を考える」のタイトルで特別講演をされました。地球規模で21世紀、30世紀の時空の中で大問題をどうとらえ、どう対処していくか、という大きなテーマです。

吉川先生からは、科学技術の目から見た「科学と社会」のあり方のお話がありましたが、その中では、組織にしても考え方にしても、フィードバックをかけた、閉じたループで前進しなければいけないということを指摘されました。また、全体にわたって「俯瞰的なとらえ方」が必要であると示唆されました。

一方、今道先生のお話では、哲学者も1700年頃からエネルギーを哲学体系の中で考えてきたそうで、これには驚きました。今道先生には、学術会議の席でも「哲学者の目から見たエネルギー学とは」という内容で講演をして頂きました。ま、このようなことを原子力の集まりでも取り上げる時代になりまして

ね。

上坂 それは面白そうですね。私たちは、そういう話題の方がウラン235に中性子というより取っつきやすいのです。みんなの関心をそそる接近の仕方を大いに期待しています。

主観ごっこになる万年先の議論より

客観性ある30年ごとのチェックを

秋山 放射性廃棄物が持つ放射能の減衰は、長いものでは半減期にして数千年、あるいはそれ以上もかかります。でも、元素や化学物質などの毒性は、例えば鉛毒がそうであるように、これは減衰しませんね。ですから、必ずしも原子力だけが長期にわたる負担を残すわけではありません。いずれにしても、長期的な廃棄物管理の問題を、社会や政治の場で政策として決断していかななくてはなりません。これが実際なかなか難しい問題なのです。

上坂 あまりに長期に、例えば1万年などという、その段階で既に主観ごっこになっちゃいますね。ですから、もっと客観性のある範囲内での論議にしていきたいと思います。主観ごっこみたいなものではトキがその一例で、種の保存は重要ですが、2、3羽のトキを甦らしたところで特に動物愛護になるとは思いませんし、亡びる動物もあれば、新種も出てくるわけですから。保護するのは結構ですが、環境保護、自然保護のみが金科玉条のようにかかげられるのは賛成できません。

放射能についても、1万年、5万年もすれば人間の方に抵抗力ができるかもわからないし、そんな先のことよりも必ず30年ごとにチェックすると言った方が私にはピンときますけど。

賛否の対立ある問題に

まずは現場へ飛び込む方式で

秋山 最初にお伺いすべきことでしたが、先生がそもそも原子力に関心を持たれた発端は何でしょうか。

上坂 私には、とかく議論の対立する問題に関心を持つクセがあります。PKO（国連平和維持活動）、日教組など、これまでも賛成・反対の声が大きく、2つが対立する問題に強い興味を覚えました。冷戦時代が終わり、政治の世界も対立より協調の風潮になり、世論が真っ2つに割れた出来事は段々少なくなりました。でも原子力は相変わらず賛否が対立しており、その真ん中にとび込めば社会を多角的に見られると思ひましてね。

例えば、PKOで、カンボジアに自衛隊の工兵部隊が派遣されて道路建設などの非戦闘任務に加わった時、とにかく現場に行けば何かがわかるだろうと、まだホテルも不十分だったころ、私は現地に4回ほど行きました。現場で中心人物に会うのが一番手取り早いとばかり、今川幸雄大使と明石康さん（国連カンボジア暫定統治機構代表）のところに直行し、一体何がどうなってるのか聞きました。ダイレクトな刺激があり新しい知識が身につきますので、すっかり味をしめて、原子力もこの手でやってみようと、とにかく現場に出掛ける数をふやしています。

素人には残念ながら現場に行って体験するぐらいしかできませんものね。範囲を絞って細かく分析するのが一番大事といくら言われても、それをやるだけの知識がありません。現場で自分が受けた感覚をもとに、論議を聞いてみる方式でやっています。

リスク・ベネフィットを伴う

先端技術の原子力

秋山 難しい問題の本質を見極めようとなさるお気持ちですね。とても素晴らしいことだと思います。

ところで、話は変わりますが、私は、ある研究機関で先端科学技術の調査研究グループに入っているいろいろ議論していますが、ゲノムや、情報の話にしましても、すごい局面があり得るわけです。下手すると人類滅亡につながることも、なきにしもあらずなのですね。

情報混乱が即社会破局というわけでもないでしょうが、この間も若い子供がインターネットで改竄をしてえらい事件がありました、I LOVE YOU ですか。あれなどはまだまだ経済損失の次元ですが、国防省レベルに入ってミサイルのスイッチを誤って押すことのリスクは本当に限りなくゼロなのでしょうか。多重防護の壁が一部、あるいは相当に壊れることも懸念されるのではないですか。情報次元のリスクのほか、金融リスクもありますし、バイオ、ゲノムなどあらゆる社会活動、あらゆる科学技術にはベネフィットと、対するリスクがあります。原子力もある意味で横並びです。繰り返しますが、ほとんどの先端科学技術は、それぞれに光と影をもっているのですね。

上坂 そうでしょうね。クローン人間なんてものも本当にできるんでしょうし。

秋山 ですから、先生が研究される問題の種はまだまだたくさんありますね。

原子力よもやま話

父は満州開拓農民 偉大な先駆者の

土田浩・六ヶ所村前村長

秋山 先生の著書『原発を見に行こう』に六ヶ所村の土田浩・前村長さんのお話があり、強い感銘を受けて読みました。原子力に大きく寄与された方であり、ご披露いただくと有難いです。

上坂 あの方は、よく勉強してらっしゃいます。また、満州開拓農民の子息だそうです。お父さんも優れた発想をお持ちの方で、満州開拓農民の食料で一番重宝されてるのがたくわんなのに気付き、大きなコンクリートの水槽みたいな入れ物をつくって大根を漬け、大儲けしたとか。そのお父さんが早く亡くなられて一家で引き揚げてみえ、六ヶ所村に原子力関連事業のいろいろな基礎をおつくりになったわけです。ダイナミックな発想とトータルな面から国の重要事業と見ての取り組みをなされた、大変立派な先駆者だと思いますね。

とにかく一度見てみようと、六ヶ所村の工事現場に杭が打たれ、建物ができはじめた頃に行ったことがあります。こんな僻地に一体何をつくろうとしているのかと思うぐらい寂しいところでした。数年して参りますと、思いもかけない近代設備ができ上がってしまっていますね。もし、このあと、高レベル廃棄物処分施設を引き受けてもらえますと、ウランに始まる日本の原子燃料サイクルはすべてあそこでやれるそうです。公平に見て、土田さんの発想の賜物ですね。大事業だと思いました。

処分場の受け入れに

地元・実施者相互の信頼感と満足感を

上坂 でも、六ヶ所村での処分施設は最後のツメが思うように進まないのはどういうことかと、私もつくづく考えてしまいました。1つの考え方を申しますと、スウェーデン・エスポ島を訪問しましたとき、ここをそのまま処分場にしていまえばと申しましたら、そうはいきません、ここはあくまで試験場ですから。では、具体的にはどうするのかを尋ねますと、立候補地を求めるのだそうです。すでに6地点から名乗りがあり、その中から2地点を選べばよいのですって。日本も、処分を実施する側から平身低頭して頼み込まなくても、誘致を希望するところを募って実施すればいいと思いますけど。

秋山 受け入れに際して、それぞれの誇りと利益があって、そして皆さんが正しく評価してくださっているという相互の信頼関係、満足感が必要です。

上坂 言い出しっぺは、地元からという方が地元の関心と責任を呼ぶ結果になるでしょう。日本は何かやり方を間違えたような気がします。廃棄物処分地の選定には候補地を募るシステムがいいですね。別問題として、処分地の地質条件が適しているかどうかはありますが。

千年万年の未来予測を議論の上で

原子力100年の設計はきっちりと

秋山 先生には日本原子力学会の創立40周年記念講演会で対談をしていただきましたが、私も木村逸郎先生から「わが国の原子力エネルギーの過去、現在、未来」という大変な演目をいただいて、同じ日に講演をしました。

世界の中でのわが国の原子力に焦点を当て、過去から現在までの活動をレビューして、原子力発電や先端科学技術のことなどをお話しようと、まず考えました。次いで未来のことですが、これについては何をお話しようかと迷いながら、取り敢えず未来の話題を取り上げた本をいくつか読んで見ました。例の「タイムマシン」を書いたハーバート・ジョージ・ウエルズのことですが、人類はユートピアを目指して限りなく明るい、と言ってるうちに第1次大戦が勃発しました。そこで、いやこれはかなり厳しいかなとなり、そして亡くなる前の頃には、どうやら人類の未来には希望はないと言ったそうです。でも、彼の小説の「月世界旅行」や「海底大探検」のような、夢とロマンに満ちた世界は、彼に負うところが実に大きいと思います。ともかく、こんなことを背景に講演の内容を考えたわけですから。

やはり難しいのは未来を語る部分ですが、未来予測については、アメリカの社会学者のロバート・マターの言う自己充足的捉え方、という考え方を一つの軸としてお話ししました。未来を考えるには、単純な未来予測と、もう一つは期待や願望をもって未来を展望する、という二つのスタンスがあるというわけです。後者に立ちますと、実際に、ある程度は期待は実現するものようですね。ルーレットにしても、当たれと思ってエイヤッと回せば確率が1%くらい上がるという事実があるそうです。念力でしょうかね。ま、社会もそんなものだというのです。

それから未来の話に関連して少し話が逸れますが、原子力に反対の方は、安全性、あるいは環境との両立性についても、それが私達

の理解の範囲で長い未来に亘って証明できなければリーズナブルでない、と主張することがあります。でも私達は、それは科学的に説明できると考えているのですが。ともかく、原子力にも長い時間軸に亘る話題があって、それには考え方や判断が伴ってきます。

上坂 まさに主観ごっこですね。

秋山 百年、千年はおろか、地球寿命の40億年先の話もでてきます。

上坂 地球寿命が40億年という計算基礎は確かなのですか。

秋山 太陽のポリウムと、その中にある水素原子の数を推計して、核融合が続くまでの寿命を勘定しますと、これから先、大体数十億年だろうと言われています。太陽はいったんは膨脹して、それから小さくなって冷えていくそうですが。

当誌の前々号で、通産省の藤富正晴審議官と「21世紀のエネルギー戦略」というテーマで対談しましたが、そのとき審議官は、地球がある限りの超々期に亘ってエネルギーのことを考えなければ、と言っていました。

私もエネルギー問題に携わっていると、廃棄物処分もそうですが、世の中の人からは本当に千年も万年も大丈夫ですかと問われます。高レベル廃棄物の放射能は1万年後には十分に影響が下がってくる、ということも言っています。しかし、先生がおっしゃるように、世間ではふつつ5年とか10年ぐらい先のことしか考えませんよね。学術会議ではその中をとって、せめて100年先まで、つまり2100年まで検討しようとしています。

それで、使用するエネルギー源の種類については見解が少々分かれてしましてね。原子力に関係している人は全エネルギー供給の中

で4分の1から3分の1は原子力で、あとは太陽や化石がそれぞれ占めると。ところが、別の見解によれば、原子力はたかだか1割だろうと。結局、省エネで今のエネルギーの半分を賄うというのです。

上坂 そんなことしたら暮らしのレベルは後戻りでしょう、蠟燭時代になるわけですか。

秋山 最近出た本によりますと、自動車の燃料は今の3分の1で走れるようになるという研究もあるようです。

上坂 省エネで今の生活水準が維持できればいいですけど、そうはいかないところが問題です。

秋山 人間社会はそれこそ不可逆でして、今から30年昔の生活に戻れとはいえませんね。

話を戻しますけど、原子力をやってますと、やはり千年万年を議論した上で、100年ぐらい先まではきちんと具体的な姿を設計しようという話になってきておりますね。

上坂 それはありがたいですね、100年ぐらいなら。

秋山 そうですね。ただ、やはりどのエネルギー源に強く期待するかは、大分先のことですからかなり意見が分かれています。太陽エネルギーについてもそうですね。

上坂 太陽光発電は場所もとるし、太陽が出る日も出ない日もあるでしょう？

秋山 ただ、いろいろと一生懸命にやってみるという、つまり可能性を期待して技術開発をやるだけやっていこうというのは重要だと思いますね。

大事故はなく、公平に見て

よくやってきた日本の原子力発電所

上坂 私が日本はえらい国だと思いますの

は、原子力はこれだけ反対を受けながら、その都度頭を低くして説得に努め、今は総発電量の37%を賄うまでにきているのだそうですね。何のかのいいながら必要なことは堅実に、着実に進めている国ですね(笑)。

秋山 国や産業界の方々の長年のご尽力ですね。

上坂 そうでしょうね。それと現実に必要なだったんでしょうね。

原子力は大きな役割を果しながら、今までのところ、原子力発電所自体にはそれこそ大きな事故はありませんでしょう。漏れが多少あっても、人体に害があるほどの量ではなく、漏れた、漏れたの騒ぎが大き過ぎますね。大事故がないだけでも、奇跡に近いと思えるほどにすごいことだと思いますね。

秋山 そうですね。それと、外国の原子力発電所の事故を教訓にしながら安全確保に精出しておられますね。外国と言いますと、スリー・マイル・アイランド原子力発電所の事故の例でも、バルブの開閉ミスや運転員の判断ミスなどが重なっており、その意味では人災に近いのですね。

上坂 忘れもしません。スリー・マイル・アイランドの事故のとき、ある新聞で事故報道のかたわらに現場をバックにした犬の写真をのせて、“心なしか犬も寂しげ”とありました(笑)。

事故があっては困りますが、公平に見て、日本の原子力発電所はよくやってきたと思います。

注目を呼ぶ小型4S原子炉の開発

秋山 フランスはともかく、欧米の原子力全般について見ますと、電力需要自体が伸び悩

んでいることもあって、メーカーにとってとても楽観できない状況ですね。

国内でも原子力のメーカーはやはり似たような状況です。需要家のエネルギーの使い方が上手になり、また景気も芳しくないこともあって、次々に原子力プラントが建設されるというわけにいきませんからね。

それで今、原子力長計の策定の作業の中で議論しているのですが、近隣諸国で簡便に使用して、安心度も高く、そしてメンテナンス性も一層優れた小型原子炉を開発することに強い関心が寄せられています。

上坂 一言でというと、罐詰めみたいな原子炉でしょう。いいですね。

その罐詰めを持っていけば砂漠の真ん中の緑化が進む。夢を語り合うなら、むしろそっちの方がいいですね。廃止時も廃棄物処分場にそのまま捨てればいいのか。魅力ある話ですね。私もちょっとその話を耳に入れて廃棄物処分研究所に行きましたら、ちょうど直径3m、高さ10mほどの処分用の穴があって、原子力発電の缶詰のはこの程度の大きさらしいなァとイメージが描けました。このコンパクトな発電装置は、電力消費地の団地の下などにも埋め込むのも可能だとか。いいアイデアで、説明によりますと、蚊取り線香の原理で、燃え尽きたらそのまま捨てればいいという話でした。

秋山 小型の原子炉で申しますと、日本経済新聞社論説委員の鳥井弘之さんもその一人ですが、これまでに幾人もの識者や専門家グループの人達が、いろんなコンセプトを提案しています。例えばシンプル、セーフといった特徴語の頭文字を集めた4S炉の設計概念は、その代表的なものの一つですね。燃料の

交換をしないで20年でも30年でも運転できるという設計もあるようです。

その関係のシンポジウムを「魅力ある原子力スマートエンジン」と銘打って、鳥井さん中心に6月初めに敦賀で開きました。大変好評だったと思います。

上坂 私も鳥井さんが小型原子炉を推奨された著書『原子力の未来』を見せていただきました。易しくて誰にでも読めるよといわれましたが、結構難しく、頭を抱えながら読みました(笑)。

汪兆銘など数奇な人の著作が本業

余技になっている原子力

秋山 それにしても先生が書かれた『原発を見に行こう。アジア8ヶ国の現場を訪ねて』は、中身もさることながら、本当に易しく、しかもウィットにも富んでいらして。実は、先生がこの本でエネルギーフォーラム貢献賞を受賞された折、私も遠くからご尊顔を拝しておりました。

この本と比べて、先生が最初にお書きになって、そして中央公論社の思想の科学新人賞を受賞された『職場の群像』は、1行読む毎に十分考えさせられる、非常に綿密に設計された文章であって、なかなかついていけないくらい密度の濃い内容ですね。

上坂 最近では『我は苦難の道を行く』で汪兆銘のことを書いたんですよ。「一面抵抗 一面交渉」の信念のもと、抗日の旗頭である蒋介石と対立して、日中戦争の最中に日本と和平交渉を持とうとした人です。

70歳前後かその上の年輩の方から多数の手紙を頂きました。本が出た途端に、よくぞ汪兆銘のことを書いてくれたと最初に手紙を下

さったのが、旧総理の某氏です。

当時の日本は強かったから、汪兆銘としてはこのまま戦争が続けば中国が亡びてしまう。蒋介石が戦うなら戦っていいけど、中国国民の疲弊を救うため、他方で自分は日本との和平ルートをつくろうとの決意を固めたわけです。日本もそれを迎え入れ、天皇陛下に会う機会も設けています。にもかかわらず、太平洋戦争に突入してしまい、汪兆銘を見捨てた結果になりました。

当時の事情を知ってる人にはすごく喜んで読んでいただいたようです。あの年代の方には、汪兆銘には申し訳ないことをしたという詫びの気持ちが心底にあるのですね。私の年代でもかすかに頭に残っていて書いたわけですけど、書くのが10年遅かったですね。もう10年早ければ、思いを寄せる方がもっと多かったでしょうに。

秋山 そのような立派な方のなされたことや考え方は、われわれも記憶を新たにしながら、正しく受け入れ感謝しなければいけませんね。

上坂 こういう言い方は失礼かもしれません

が、原子力は私にとってまったくの余技でして、本業として全身で打ち込むのはやはり汪兆銘のような数奇な運命の方の話ですね。

秋山 そうですか。でも、先生には原子力は十指の1本、あるいはもっと少ない部分かも知れませんが、私達にとっては先生の貴重なご意見やご示唆が本当に有難いのです。

上坂 どんなに頑張っても、今から専門家になれるわけではありません。素人にできる範囲内のことを何かやらせていただくことにしております。

基本的なメカニズムを押さえてなければ、本質的問題は語れませんが、自分で現場を見てきたことなどは感覚で語れますから、なるべく現場主義を貫きたいと思います。

秋山 先生はこれまでに沢山のノンフィクションをお書きになっており、その下準備は本当に大変でしょうね。

本日は長時間にわたって、貴重なご意見をお聞かせいただき、どうも有り難うございました。

(文責編集事務局)



〔内外情勢紹介〕

新エネルギーの課題と展望

筑波大学 機能工学系 教授 内 山 洋 司



1. はじめに

わが国は1次エネルギー総供給の83%を石油、石炭、天然ガスといった化石燃料に依存している。このまま化石燃料に依存し続けることは、酸性雨やCO₂問題といった地球規模の環境問題を深刻にするだけでなく、将来のエネルギーセキュリティの不安を大きくすることにもなる。地球規模の環境保全を図り、かつ脆弱なエネルギー供給構造を改善するために、政府は長期エネルギー需給見通しで、化石燃料への依存度を2010年度には75%にまで下げていく目標を掲げている。

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。その中で新エネルギーは、小規模分散型の利点を生かして普及が期待されている。

新エネルギーには、「再生可能エネルギー」、「リサイクル型エネルギー」、「在来型エネルギーの新利用」がある。リサイクル型エネルギーとは廃棄物や温度差エネルギーであることから、エネルギー源としてみれば再生可能エネルギーの1つとも考えられる。ここでは、太陽光や風力といった自然エネルギーに廃棄

物を含めた再生可能エネルギーについて、その課題と展望を述べる。

2. 再生可能エネルギーの開発状況

再生可能エネルギーには、水力、風力、太陽熱、太陽光、海洋、地熱、温度差エネルギー、バイオマス（廃棄物を含む）などがある。再生可能エネルギーには多くの利点がある。再生可能エネルギーの賦存量は多く、資源枯渇の心配がない。利用に際しては汚染物質や熱汚染などの環境影響がなく、環境にクリーンである。また安全性が高く、政治的な理由によってエネルギーが途絶される心配もない。

わが国における再生可能エネルギー利用は、水力発電が最も多く、その1次エネルギー総供給に占める割合は1996年現在で3.4%である。水力以外の地熱や廃棄物を含めた再生可能エネルギーの供給割合は、現在、4.7%で、政府は2010年までにそれを7.5%にまで高めしていく目標を掲げている（表1）。

(1) 太陽光発電

太陽電池の生産は近年、急速に伸びてきている。世界にある太陽光発電設備は約100万kW、そのうちの4割が個人住宅用の設備で、

表1 再生可能エネルギーの1次エネルギー総供給に占める割合(%)

	実績：1996年度	目標：2010年度
水 力	3.40 (820億kWh)	3.80 (1,050億kWh)
地 熱	0.20 (120万kl)	0.61 (380万kl)
太陽熱利用	0.17 (104万kl)	0.73 (450万kl)
太陽光発電	0.002 (5.7万kW)	0.20 (500万kW)
風力発電	0.001 (1.4万kW)	0.02 (30万kW)
黒液・廃材	0.82 (490万kl)	0.96 (592万kl)
廃棄物熱利用	0.007 (4.4万kl)	0.02 (14万kl)
廃棄物発電	0.14 (82万kl)	1.07 (662万kl)
温度差エネルギー	0.006 (3.3万kl)	0.09 (58万kl)
合 計	4.74	7.51

設置軒数でみると約50万軒になる。導入方法は、独立設備と電力系統への連系設備とに大別できる。独立設備には、離島や僻地などにおける独立電源と、休憩所の電源、屋外時計、交通標識などに使われている出力が500W以下の小規模電源がある。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年頃はピーク出力当たりで20,000円/W以上もしていたが、1980年には5,000円/W、現在では600円/Wにまで下がってきている。将来の目標として、技術進歩と量産化により100~200円/Wにすることが期待されている。太陽電池の発電コストは、太陽電池費用だけで計算すれば現在60円/kWhであるが(年設備利用率を12%、年経費率を10%と仮定して計算)、目標を達成すれば10~20円/kWhにまで低下することになる。しかし、実際に設置する

場合は、この費用にインバータ、保護装置、輸送、据付けなどの費用が追加される。それらの費用は設置条件に依存しており、はっきりした値はわからないが、住宅用で50万円/kW、地上設置用で100万円/kW程度は必要になると考えられている。その結果、全体の発電コストは、現状でみると住宅用が100円/kWh、地上設置用が150円/kWhになり、現在の家庭用電気料金の約20円/kWhに比べるとまだ高い。しかし将来は太陽電池の目標コストが達成できれば、それ以外のコスト削減がなくても50~110円/kWh程度になると期待できる。

(2) 太陽熱利用

太陽エネルギーは、直接電力に変換する太陽光発電の他に熱として利用する方法がある。その利用方法でもっとも普及しているのが太陽熱温水器である。温水器による太陽エネルギーの利用効率は地域やシステムによって異なるが約40%程度で、効率からみると10%にしかならない太陽光発電よりもエネルギー

を有効に利用している。また、装置には複雑な変換システムがないため、設備も比較的安価に製造できる。

総合エネルギー調査会需給部会が1998年に出した中間報告によれば、2010年度における太陽熱利用による石油代替エネルギーの供給見通しは450万klと大きな期待が寄せられている。その寄与量をエネルギーで比較すると太陽光発電の4倍にもなる。太陽熱温水器の設置台数は、石油危機により1980年頃には約80万台／年にまで増加したが、その後は円高や石油価格の安値安定等により減少を続けている。現在は、年間生産台数はピーク時の半分以下の30万台となっている。このままでは、政府の目標達成はほぼ不可能で、経済的、社会的要因を含め、その普及のあり方を再検討する必要がある。

温水器以外の太陽エネルギー利用には、ソーラシステム、太陽熱発電、殺菌などがある。建物用パッシブソーラシステムは、建築物に入射する太陽の熱や光を制御することで、冷暖房や照明のエネルギーの低減を図るものである。それには、建物の庇や窓の二重ガラスといった比較的普及の進んでいるものから、まだ研究段階ではあるが、電気的に着消色するアドバンスドグレーティングと呼ばれる調光ガラス等がある。また、高断熱・高気密のパッシブソーラ建物の除湿動力に太陽光発電を取り入れることで、建物のエネルギー需要を減らしていくこともできる。

アクティブソーラシステムについては、ケミカルヒートポンプ技術を用いた昇温技術や水素吸蔵合金を利用した冷凍技術がある。しかし、間欠的であつ希薄なエネルギーである太陽熱から高い温度レベルを得るには、集熱

と蓄熱の装置が大掛かりとなるため、石油やガスのように簡単な装置で高温熱を発生するものに比べコスト高になるという欠点がある。同じような問題は太陽熱発電についてもいえる。米国のカリフォルニア州のように4月から12月まで雨が一滴も降らない砂漠地帯では、発電に必要な熱源を安定して得ることができる。しかし、日本のように季節で天候が変わり易い地域では、安定したエネルギーを得ることが難しく、それは設備の稼働率を著しく悪くし経済性を低下することになる。

(3) 風力発電

風力発電は、風の持つ運動エネルギーを風車により機械的エネルギーに変換し、これにより発電機を駆動して電気を得る発電方式である。風から取り出せる風力発電の出力は、理論的には空気密度と風車ローターの面積に比例し、かつ風速の3乗に比例する。風車にはプロペラ形の水平軸風車とダリウス形の垂直軸風車とがある。これまでの導入実績を調べると、大きな出力が出せるプロペラ形風車のほうが数多く建設されている。

風力発電は、1970年代の石油危機を契機にして、米国およびヨーロッパを中心に普及が始まった。現在、世界の風力発電の導入規模は、1996年1月現在で、独立発電機(平均出力100kW)として約50,000基、総設備容量で700万kWになり、電力系統に連系しているもので約23,000基、設備容量では584万kWになる。導入が進んでいる主な国は、米国、ドイツ、デンマーク、インドで、その4ヶ国だけで全体の80%以上になる。米国では、カリフォルニア州だけで180万kWの設備が導入されており、その年間発電量3,300GWhで州全体

の電力消費の1.3%を供給している。ヨーロッパではドイツが最も多く、4,500基で2,600 GWhの電力を発電しており、それはドイツの総発電量の0.5%に相当している。わが国における風力発電は、欧米に比べて導入規模はまだ僅かで、1～20kWの小型風車が485kW(86基)、20kW以上の大型風車が合計で約4万kW(約80基)設置されている。

風力発電の発電コストは、その性質から建設コスト以外に風況等に依存する。このため、国内で報告されている発電コストも様々である。発電コストの例として、「新エネルギー便覧」では41～45円/kWh程度の数字を掲げている。しかし、最近の輸入機による商業ベースの発電コストは1996年時点ではほぼ14～18円/kWh程度にまで低下しており、現行の余剰電力購入単価(事業目的とした購入単価:約11円/kWh)にほぼ近づいている。風力発電は、新エネルギーの中では経済的にみて最も商用化に近い技術の1つといえる。将来のコスト見通しについても、集中立地や大型化によるメリットや大量発注による低価格化、工事・周辺設備のコストダウン等が図られ、建設コストはさらに下降傾向をたどると考えられる。

(4) リサイクル型エネルギー

わが国における一般廃棄物の排出量は、経済成長とともに増え続けてきている。1973年の石油危機までは、廃棄物量は年率10%近い割合で増加し、その後は経済成長が鈍化したこともあって一時的に停滞したが、1985年以降、バブル経済により再び増加に転じている。現在、その排出量は、1年間で5,000万トンを超えている。排出したごみの75%は焼却、10%

が堆肥等への再利用、そして15%が埋め立てられている。焼却したエネルギーを電力生産や地域冷暖房に利用している割合はまだ10%程度で、大半は利用されずに捨てられている。

一般廃棄物の焼却施設は、全国で1,900ヶ所程度ある。そのうち発電しているものは約8%の149ヶ所で、発電設備容量は55.7万kW(1995年度末)になり、その焼却処理比率は約3割程度になっている。ごみ焼却炉の8割以上は、1日のゴミ処理量が100トン以下の小規模のもので、それらはダイオキシンなど環境問題の原因となっている。ダイオキシン問題を解決していくには、リサイクル率を高めてごみの焼却量を減らすか、あるいは燃料を固形化(RDF)してガス化溶融炉でダイオキシンを出さない高温で燃焼する方法がある。

ごみを使ってエネルギーとしての価値が高い電気を生産することは、エネルギー有効利用からみても大切である。ごみの収集と焼却にかかる費用は自治体費用で賄われているため、発電に必要な費用はタービンと電気設備、ポンプなどの補機や建屋だけで済み、経済的にも成立しやすい。問題は発電効率である。現在のごみ発電は、ボイラ内のスーパーヒーターが塩素ガス等で腐食するため、発生する蒸気温度を300℃以下に設定している。そのため発電効率は15%程度で、大型火力発電の40%に比べるとかなり低くなっている。

発電効率を向上するには、耐食性に優れたスーパーヒーター材料の開発、腐食の生じ難い炉構造などで高温高圧化を図ること、原子力プラントと同じように湿分分離/再熱サイクル、それにガスタービン発電と複合化するスーパーごみ発電が考えられる。高温高圧化や湿分分離技術の開発で、発電効率は

20～25%まで向上することができる。スーパーごみ発電は、天然ガスを燃料とするガスタービンとごみ焼却熱を複合化して発電する技術で、現在の技術レベルでも効率は45%まで可能である。しかし、天然ガスを利用する最新鋭LNG複合発電の効率が55%にもなっているために、システムに投入する天然ガスの比率が3分の2以上になると、スーパーごみ発電による効率向上のメリットはなくなり、かえって別々に発電したほうがエネルギーの節約になる。

3. 再生可能エネルギー導入の課題と展望

実際の導入になると、再生可能エネルギーには課題が多い。太陽光発電、風力発電、波力発電は、自然任せの発電になることから供給が不安定である。供給の不安定さは、需要家の負荷変化への追従を難しくし、かつ電力系統での電圧や周波数を変動する原因となる。不安定電源の導入が、系統の最低負荷容量に対して10%以下であれば系統側でその変動は吸収できるが、それ以上に導入されると安定装置を設置しなければならない。また、太陽、風、波のエネルギー密度が薄いことから、利用していくためには設備が大掛かりになる。それは設備費を高くする要因となっており、また年間を通して稼働できる時間が短いために、結果として発電量あたりの費用である発電コストを高くすることになる。

再生可能エネルギーでも、水力、地熱、バイオマスは、貯蔵されたエネルギーであることから、供給の不安定さといった心配はない。水力と地熱は、賦存資源量が豊富であることから供給力としての期待は大きい。しかし、

残されている立地可能な地点の多くは国立公園内にあって、環境および立地上の制約や送電線敷設の費用が高いといった問題を抱えている。こういった環境、立地、経済性といった制約を考えると、わが国で火力発電や原子力発電に置き換わる電源として大量に普及していくことはあまり期待できない。

需要地近傍に建設できる黒液・廃材や廃棄物によるエネルギー供給施設は、水力や地熱のような立地制約はないが、ダイオキシンや悪臭などの問題で建設に住民の反対がある。またエネルギー特性でみると、化石燃料に比べて劣っており、資源量も限られているために、供給力としては自ずから限界がある。

(1) 太陽光発電

太陽光発電は、回転機械の発電システムと異なり、数MW以下の低出力領域で、あらゆる出力に対応でき、かつ移動できる電源としての特徴を有している。米国と違い、わが国には砂漠のような広大な遊休地がないため、大規模な太陽光発電施設を建設することは難しい。しかし、消費者の様々な用途に直接応える身近な電源としてマーケットの拡大が期待できる。経済的な導入先として、電卓、非常灯、各種標識、噴水、公園時計など小規模電源から、灯台、通信機器、山小屋、農業などでの灌漑用ポンプ、僻地における動力源などが期待される。大規模に普及を図っていくには、社会インフラ施設を利用していく設置が有望で、建物の屋根や道路の遮音壁といった構築物と一体にして経済性を高める工夫が必要になる。この設置方法は基礎や架台が節約でき、建設費が大幅に削減できる利点がある。わが国だけの市場として、その導入規模

は3,000万kW程度になると見積もられている(文献1)。これは現在の導入規模約6万kW, 政府の2010年導入目標500万kWと比べてもかなり大きな規模である。一体型設置工法の普及促進を図るには, 電源設備の安全性を含めて「設置工法ガイドライン」を早急に整備していく必要がある。

独立電源, 構築物との一体型設置, 地上設置など, わが国に導入できる太陽光発電は, 潜在的にどのくらいの量になるのだろうか。全国を36地点に区分し, それぞれの地域において太陽光発電がどの程度まで導入できるかを推計した(文献1)。推計は, 国土地理院が地域別に定めている需要家の区分データ(約100種類)に対して, どのような設置形態(約20種類)のものが普及できるかを詳細に調査したものである。それによると, 「立地制約はあるが比較的経済的に導入可能」と見做された太陽光発電設備は, 独立型と電力系統連系型を含めて2,470万kWである。さらに「現時点で立地制約と経済性に問題はあがるが導入可能」を加えると4,660万kWとなった。後者の潜在量は, 現在のわが国における総発電容量2億2,700万kWの20%(実際の設備価値を考慮すると $20 \times 0.9 \times 0.35 = 6\%$)になり, 発電電力量1兆kWhと比較すると4.9%に相当している。

もちろん, 太陽光発電の大量導入には, 資金補助が欠かせない。経済モデルを用いた分析によると, 設備費の資金補助がなければ, 導入できる量は僻地の電源や通信用電源といった独立型システムに限られ, その普及量は2000年で1万kW, 2010年で9万kW程度に過ぎない。経済的に導入し易い家庭の屋根に設置する場合, 設備費の50%を15年間(上限

200億円)補助し続けたとすると, 2030年で460万kWになり, 政府の2010年の目標が達成されることになる。それによってCO₂排出量が3百万トン(炭素)/年, 削減できることになる(文献1)。

(2) 風力発電

風力エネルギーは, 風向, 風速の変動により安定したエネルギーを供給する点で難しさがあるものの, 汚染物質を環境に排出しないクリーンなエネルギーとして利用が期待されている。また, これまで強風で利用し難かった土地をエネルギー供給地として有効に活用することになる。

風力エネルギーを利用して発電するには, 5m/秒以上の風速と, 安定した風速と風向が必要である。わが国の風況と立地条件は, 米国のカリフォルニアやデンマーク, ドイツなどと比べて必ずしも良いとはいえない。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といった問題もある。こういった障害とわが国の3~4m/秒といった低い年平均風速を考慮すると, わが国で実際に導入できる規模はカリフォルニアほどにはならないと考えられる。現在, わが国において普及している中大型風力発電の数は, まだ100基足らずである。カリフォルニアでは約18,000基の風力発電が稼動しているが, その年間発電量はわが国の総電力需要の0.25%である。もし世界にある50,000

基の風車がすべてわが国に導入され、その電力がすべて供給されたと仮定すると、そのシェアは現在のわが国の総電力需要の1.2%を賄うに過ぎない。このように、風力発電がわが国の電力需要を賄う主要な電源となることは難しい。

風力発電の年間の稼働率は地域によって大きく異なる。比較的風況のよい甌島の風力発電（出力250kW）を例にみると、1～4月、11月、12月に強い風が吹くため、設備利用率は年平均で20%程度である。沖縄の宮古島になると30%にもなる。離島の場合、一般に1日の発電出力は平均して一定であるが、風向きが変わる夕方に電気が発生しない時間帯があるため、島の電力ピークが削減できないといった問題もある。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である。

風力発電の出力規模については、米国のように土地制約が小さい所では、1地点に1基200～300kW程度の風車を数千基も設置することで、量産効果でコストを削減することができる。日本の場合は、建設時の機器や建設資材の搬入と運転中の保守修理を考えると、1基500～1,000kWの風車を建設していく方が経済的と考えられる。

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、宮城県の金華山附近、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) バイオマス

わが国では、1年間に約21億トンもの資源を消費している。主な資源は、岩石・砂利・石灰石が12.7億トン、化石燃料が5.3億トン、鉄鉱石が1.3億トン、食料が0.7億トンである。それによって1年間に排出されるわが国の一般廃棄物の量は、年間5,069万トン（1995年）になる。一般廃棄物発電施設は、1995年6月現在で建設中を含めて181ヶ所、発電出力は769,642kWである。ゴミ発熱量は紙やプラスチックの消費増加で、その値は石炭が持つ発熱量の3分の1に相当する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た場合、その総エネルギー量は 1.11×10^{14} kcal/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2,500万トン発生しており、この保有エネルギーは 1.0×10^{14} kcal/年（発熱量：4,000kcal/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 2.11×10^{14} kcal/年となる。この値は、わが国の1次エネルギー供給の3.9%に相当する。

わが国の森林をすべてエネルギーに利用すると、どれだけのエネルギーが供給できるのだろうか。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2,510

万haである。森林の蓄積量は温帯林としてみると年間で約240トン/haと推定される。森林が成長するまでにかかる期間は40年と言われており(依田恭二, 1982), これから成長した森林を定常的に伐採できる最大利用量は6トン/haとなる。森林が持つ平均的なエネルギー量は、3,600kcal/kgであることから、毎年、生産できる最大エネルギー生産量は、 5.4×10^{14} kcal/年となる。現在のわが国の1次エネルギー総供給が 5.44×10^{15} 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. 新エネルギーの普及方策

最近、新エネルギーや環境技術の導入に望ましくない規制緩和の波が産業界に押し寄せてきている。これは、経済のグローバリゼーション化によるものであるが、円高などから日本のエネルギーコストが海外に比べ高いことも影響している。規制緩和は、企業にコスト削減を促し、コストの高いエネルギーの利用や環境設備への投資を減退させる恐れがある。エネルギー産業は、安価で比較的環境負荷が小さい石油や天然ガスにエネルギーの依存を高めていくことになる。当然、コスト高な新エネルギーの普及は一層難しくなる。基本的に優れたエネルギー源である石油や天然ガスが安価にかつ豊富に供給されては、企業努力だけで新エネルギーを普及していくことは不可能である。単に既存の市場の経済メカニズムに任せるだけでなく、具体的な導

入に必要な資金補助の政策とその財源確保を検討しない限り、新エネルギーの導入が進まないことは石油危機から今日に至るまでのエネルギー政策で既に経験してきた教訓である。

新エネルギーを普及させるには資金助成が不可欠である。新エネルギーを普及促進するための助成策として、次に示す方法が考えられる。

- ① 共同組合方式：風力発電などの発電設備を地域住民や島民が出資して共有し、発電した電気の販売で投資を回収する仕組み。
- ② ドイツ・アーヘンモデル：高コストの新エネルギーの導入を促進するために、電気料金を値上げし、その資金を新エネルギーの普及に使う。
- ③ グリーン電力料金制度：個人や事業者の自発的な判断で、自然エネルギーで発電される電気をグリーン電力として高く購入する。

5. おわりに

新エネルギーである再生可能エネルギーとリサイクルエネルギーについて国内供給ポテンシャルを調べた結果、わが国の現在のエネルギー供給量と比較して、太陽光発電が約2%(電力量で約5%)、風力発電が1%以下、ゴミが約4%、森林バイオマスが約10%である。これらのエネルギーが最大限に利用できたとしても、その供給可能量は、現在、わが国が消費しているエネルギー量の約17%に過ぎない。国内の再生可能エネルギーやリサイクル型エネルギーで、わが国の膨大なエネル

ギー需要を賄うことは不可能である。

その打開策として、海外で再生可能エネルギーをメタノールや水素に転換して輸入することも考えられるが、その方法は経済的な困難さはもちろん、化石燃料と同じ供給途絶の不安も大きい。このことから、わが国に必要なエネルギーを将来も安定に確保していくには、大量に供給できる化石燃料と原子力の利用は不可欠である。

新エネルギーの普及が望まれる地域は、化石燃料や原子力発電といった大規模エネルギー供給が難しい離島や僻地である。そういった地点のエネルギー供給コストは、通常、燃料輸送や送電線敷設の費用負担が大きい

め高価である。また、広い土地を要する新エネルギーにとって用地の確保も容易である。もちろん、地域特性に大きな影響を受ける新エネルギーの導入に際しては、地域のエネルギー需給を十分に配慮して最適なエネルギー供給計画を検討していくことが必要である。しかし、そのノウハウは、新エネルギーの普及が期待されている南太平洋の島々や開発途上国の農村におけるエネルギー供給計画にも役立つことになる。

(引用文献)

1. 今村栄一, 内山洋司「太陽光発電システムの普及展望」電力経済研究 No.36, 1996



〔調査研究報告〕

統合評価モデルG R A P Eによる 排出権取引の影響分析

黒 沢 厚 志 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員)



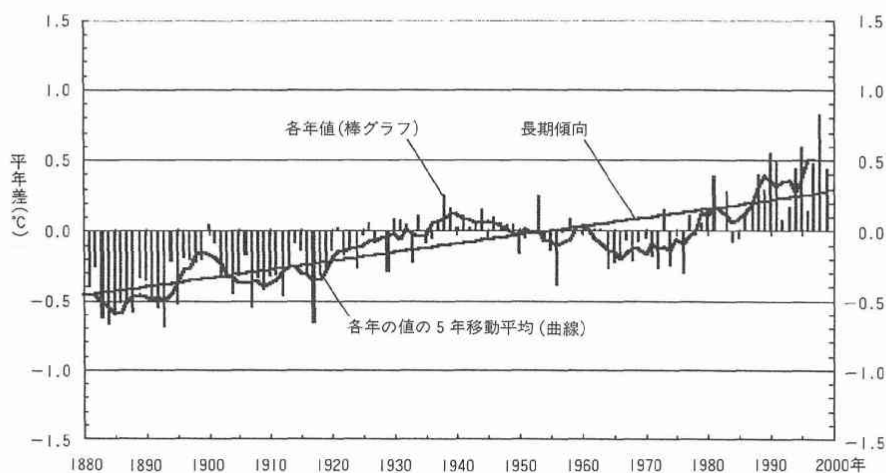
1. はじめに

1999年の世界の地上気温は、観測史上最も高温であった1998年に比べて低くなっているが、北半球中高緯度を中心に依然として高い状況が続いた、と気象庁は報じている。

また、1999年の日本の地上気温も1998年より低かったが、北半球中高緯度が高温であったことに対応して、「平年」に比べて高い状態になった。このように、1999年を含め、世界と日本の年平均地上気温が高温を記録した年

は1990年代に集中しており、1990年代は過去120年間のどの期間と比べても世界的に気温が高くなった(図1)。この要因として、気象庁は、二酸化炭素などの増加に伴う地球温暖化や数十年程度の時間規模で繰り返される自然変動などが考えられると結論づけている。

この場合の「平年」とは、平均的な気候状態を表すときの用語で、気象庁では30年間の平均値を用い、10年ごとに更新している。気温の「平年値」は、1999年の場合、1961～90年の30年間分の気温を平均したものである。



出典：気象庁ホームページ

図1 世界の年平均地上気温の平年差の経年変化 (1880年～1999年)

2000年の平年値は1999年と同一であり、2001年から、1971～2000年の平均値を平年値とすることになっている。気候の長期変動が比較的安定している場合には、平年値は変動平均の意味をもつが、例えば気温が上昇基調にある場合には、平年より高い年が大部分になってしまう。毎年、「今年は暑いですね」というのが夏の挨拶となるわけである。

このニュースは短中期的な気候変動に関する情報の一例に過ぎない。長期から超長期にわたる気候変動の影響は、温暖化のみだけではなく降水量などの他の自然条件変化を通じて、人間の生活環境に対して影響を及ぼす可能性がある。しかも、途上地域は、先進地域と比較して経済的基盤が脆弱なため、その影響が相対的に大きくなるのではないかと危惧されている。このように、来世紀においては、気候変動問題は今後の国際政治経済上の重要な論点のひとつとなるとみられている。

地球規模での自然科学の知見の蓄積は、国際政治にも影響を与えた。1997年に京都で開催された第3回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP3）では、既に生産が原則禁止となっているフロン類以外の温室効果ガスの排出量に制約を加えることを盛り込んだ京都議定書が採択された。その発効には至っていないが、2010年までに、先進国や旧ソ連東欧地域の温室効果ガスの排出量を1990年と比較して一定割合までに抑制する目標が定められ、その後の各国のエネルギー・環境政策に大きな影響を与えている。

2. 京都議定書と京都メカニズム

京都議定書は、2008年から2012年までの約

束期間において、先進国や旧ソ連東欧地域から構成される、1992年に採択された気候変動枠組条約の附属書I締約国からの温室効果ガス排出量許容上限を、1990年水準から少なくとも5%削減することを念頭においている。そして、これら諸国は、個別または共同で、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、ハイドロフルオロカーボン類(HFC_s)、パーフルオロカーボン類(PFC_s)、六フッ化硫黄(SF₆)の6種類の温室効果ガスのCO₂換算合計値が、京都議定書の附属書Bに掲げられている削減割当数量を超えないことを確保することを求めている。

また、同時に、国内措置努力の補完的手段として、その目標を効率的に達成するために、排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズムの3種類の柔軟性措置（いわゆる京都メカニズム）を認めている（表）。その詳細な制度的枠組の決定については、オランダのハーグで開催予定である、第6回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP6）まで待たなければいけない。なお、気候変動枠組条約の附属書I締約国（いわゆるAnnex-I諸国）と、京都議定書の附属書Bに掲げられている削減数量を約束した国・地域（いわゆるAnnex-B諸国）は、トルコ、ベラルーシ両国がAnnex-Bに含まれないことを除いて、ほぼ同一の地域を指している。

2.1 排出権取引

削減目標に関する約束を共同で履行することについて合意したAnnex-B諸国は、2か国の温室効果ガスの人為的排出量を合算した量が割当量の合計を超えない場合には、約束を達成したものとみなされる。取引という用

表 京都メカニズムの概要

特 徴 \ 種 類	排出権取引	共同実施	クリーン開発メカニズム
対 象 地 域	Annex-B 地域内	Annex-I 地域内	Annex-I 国と非 Annex-I 国
対 象 期 間	2008～2012年（約束期間）		2008～2012年（約束期間）を対象とするが、2000年～2007年の削減量も達成目標の一部として利用可能
補完性と追加性	国内措置に 対し補完的	国内措置に 対し補完的	プロジェクト実施による追加的な削減の発生。補完性規定なし
参 加 主 体	政府	政府・民間	政府・民間

語は議定書の当該部分には含まれていないが、このような国家間の共同履行の取り決めは「排出権取引」と慣用的に呼ばれてきた。原則として、国（政府）が取引主体となると解釈されている。

2. 2 共同実施

共同実施の場合の Annex-I 国は、他の Annex-I 国から、温室効果ガスの発生源による人為的な排出の削減または吸収源による人為的な吸収の強化を目的とする事業から生じる排出削減単位を、移転または獲得することができる。このように、定義上は、排出権取引とはほぼ同様であるが、共同実施は、国内措置に対して補完的であること、民間参加可能、などのただし書きがついている。

2. 3 クリーン開発メカニズム

クリーン開発メカニズム（以下、CDM）の目的は、非 Annex-I 諸国の持続可能な開発を達成しながら、Annex-I 諸国における温室効果ガス排出量削減の数量目標達成を支援することである。

Annex-I 国はパートナーである非 Annex

-I 国におけるプロジェクトから発生する削減量クレジットを、自国の達成目標の一部として用いることができる。その他の条件としては、プロジェクト実施により追加的な削減が発生すること、約束期間以前の、2000年から2007年までの排出削減量も、約束期間における目標達成の一部に用いることができること等がある。

CDM が他の 2 手段といちばん大きく異なる点は、数量目標を持たない非 Annex-I 諸国の関与にあり、議論を複雑にしている。つまり、排出権取引や共同実施が、Annex-I 諸国全体での温室効果ガス排出総量抑制について、制度的保証があるのに対し、CDM は Annex-I 諸国と非 Annex-I 諸国の総計、つまり世界全体での排出量総計に量的上限が設定されていないためである。

2. 4 京都メカニズムにおける不確定要素

(a) 実施主体

排出権取引、共同実施、CDM などの京都メカニズムに関する国際的取引の主体は、政府と民間のどちらであるのが望ましいのか。京都議定書が国・地域の間の合意であることを

考慮すると、国は少なくとも関連プロジェクトの監視、認証といった部分について、責任を負うべきであることは明らかである。一方、実際の温室効果ガス発生・削減に関する情報を持っているのは各産業であるため、民間の温室効果ガス国際的取引の促進に関し、国の役割はその事前認証、報告、検証といった活動に限定したほうが効率的であるとの意見も根強い。制度実施のためには、国際的かつ包括的に諸活動を登録、監視、検証する機能を持つ、新規または既存の国際機関が必要である。以上のすべての制度設計に関する決定が、2000年11月にオランダで開催される COP6 でなされることが期待されている。

(b) 補完性と追加性

京都メカニズムに対する批判のひとつは、メカニズムへの過度の依存が、Annex-I 諸国の温室効果ガス排出削減努力を怠らせるのではないかというものである。そのため、排出権取引と共同実施については、国内措置に対して補完的なものであること、という歯止め措置が含まれている。しかし、それらは定性的表現にとどまっているため、京都メカニズムを利用した削減幅上限設定の是非等の解釈に対して論争が起こっている。

CDM についても、プロジェクト実施による追加的削減、という追加性の問題がある。そのひとつはベースラインに関するもので、非 Annex-I 国は、CDM 未実施時における温室効果ガス排出量のベースラインを高めに設定することにより、多くの投資を Annex-I 国から呼び込むことが可能となり、Annex-I 国側も、結果的に大きな排出枠を得ることができるためである。また、CDM を実施しなかつ

た場合においても導入されたであろう、設備寿命を迎えた施設更新時の省エネルギー技術等の、織り込み済みの技術進歩の扱いをベースライン設定上どうするかという問題や、これまで国際援助として実施されてきたプロジェクト群が CDM プロジェクトとして認証された場合には、援助機会の実質的増加につながらないのではないかという途上国側からの批判等がある。

(c) 認証と監視に関する費用負担

京都メカニズムは、国内措置だけでは温室効果ガス削減目標が達成できない場合に、各国間の温室効果ガス削減費用の差を活用して、削減費用をできるだけ抑制しながら、削減余地の大きい途上国への支援を行うことを意図した方策である。その実施には、京都メカニズムに関する国際的活動を、認証、監視、検証する機関が必要であるが、その活動費用を削減枠の譲渡側と移転側のどちらが支払うのかという点に関しても、現在のところ特に取り決めはない。

(d) 国内制度との連続性

温暖化対策に対する政策措置は、直接規制などの規制的措施と、炭素税、補助金、排出権取引、共同実施などの経済的措施とに大別される。排出権取引と共同実施は、総量規制という規制の側面もあわせもっている。そのうち、排出権取引制度を例にとると、温室効果ガスの削減を促進するため、国内を対象とした排出権取引を導入しようとする動向が諸外国で先行しているため、国際制度の確立にあたっては、それら制度との連続性が問題となるものと思われる。

3. エネルギーシステムの対応と排出権取引 の時間的柔軟性

前章までに述べたとおり、京都議定書の温暖化ガス削減目標を達成する手段のひとつとして、京都メカニズムで定義される排出権取引や共同実施があり、制度の明確化のためには、どのようなメカニズムで価格と量を決定するかが必要となってきた。また、短期排出権市場に加えて、将来の排出権購入・売却権利を扱う先物やオプション市場が確立されれば、リスク回避の手段として有効に活用される可能性が高い。

本研究では、エネルギー、土地利用・食糧需給、気候変動、マクロ経済、環境影響のモジュールから構成される統合評価モデル GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect Environment) を用い、排出目標量以上の削減分の将来への繰越(バンキング)を含む排出権取引分析により、スポット方式(即時決済)と長期先物方式の比較、エネルギー部門およびマクロ経済影響評価を実施した。

3. 1 基準年と標準シナリオの変更

GRAPE モデルの基本的構成については、既に「季報エネルギー総合工学」でも報告を行い、これまでに大きな変更点はない⁽¹⁾。しかし、用いられているデータには近年情勢を反映した変更を加えている。

以前の報告では、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第2次評価報告書に示されている IS92a シナリオを標準データとして用いていた。これは、1992年にその基本的性格が決定され、人口、経済成長、基準エネルギー

需要をセットとしたシナリオ群のうち、最も標準的とされているものである。しかし、その後、旧ソ連東欧地域における経済活動およびエネルギー需要の予想以上の低下等があり、特に排出権取引を前提とした分析においては、現状を反映する新たな基準年を設定し、最新情勢を反映することが適当と思われる。そこで、国際機関等による人口、経済成長、エネルギー需要、エネルギー資源、食糧・土地利用バランス等の、最近年および標準シナリオデータを収集し、新たなケーススタディに反映させた。

3. 2 試算結果

(a) ケース設定

今回の試算では、炭素排出に関して以下のケースを想定してケーススタディを行った。

① 炭素排出無制約ケース (BAU ケース)

炭素排出に制約を設けないケースである。ただし、石炭については CO₂ 以外の環境制約から、途上国においても無制限の導入は図られないと考え、導入シェアに一定の制約を加えた。

② 京都議定書制約ケース

京都議定書に示された炭素排出削減目標が、2010年以降2100年まで Annex-I 諸国に課されるとし、排出権取引の有無と方式によって、3つのケースを設定した。前述したとおり、Annex-B 諸国と Annex-I 諸国は定義が異なるが、その差は小さいので、以下では、Annex-I 諸国間で排出権取引が可能であると考え。排出権取引方式は、取引なし (No Trade: NT)、Annex-I 内取引 (Annex-I Trade: AT)、排出目標量以上の削減分の将来への繰越 (Annex-I Trade with Bank-

ing: AB)の3種類とし、削減目標未達分の将来への繰り越し（ボローイング）は認められないとした。繰越の清算年数は、モデルの時間刻みである10年を単位とするが、将来のCO₂排出増に備えるため、過去の繰越分の再繰越も可能と仮定した。

なお、排出権取引の分析に焦点をあてるため、CO₂回収貯留（地中、海洋）、気候変動に伴うマクロ経済活動の市場、非市場影響は評価対象から除外した。土地利用・食糧需給についても試算結果が得られているが、詳細な報告は今後の機会に譲ることとする。

(b) エネルギー需給

世界全体でみた場合、BAU ケースでは、石油、石炭、天然ガス、水力、原子力が主要な供給源として選択される（図2）。以前の分析結果と比較して、石炭のシェアが低下し、天然ガスのシェアが高まっている。その理由は、前述の石炭シェア制約、および資源評価の見直しによるものであり、Annex-I 地域でも同様の傾向が認められる（図3）。

京都議定書ケース群の Annex-I 地域総計でみると、省エネが必要であり、原子力のシェアも高まっている。NT ケースと AT・AB ケース群を比較すると、一般的な傾向は似通っているが、前者は短期的に大幅な省エネが必要であるのに対し、後者では短期的に排出権取引によって国際的調整が行われ、需要削減およびエネルギー源別シェアの変動において比較的スムーズなトレンドを示している（図4～図6）。

(c) 炭素排出権取引量

AT および AB ケースでは、燃料転換、省エ

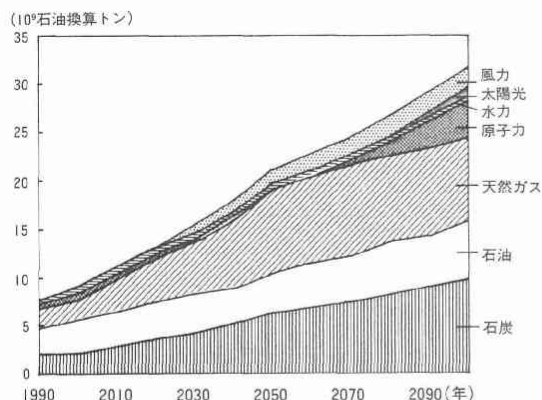


図2 世界エネルギー供給(BAUケース)

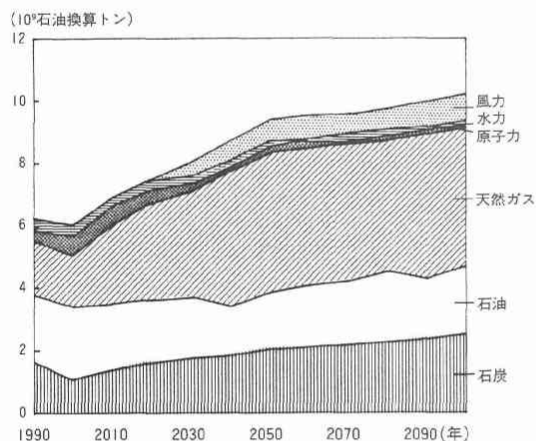


図3 Annex-Iエネルギー供給(BAUケース)

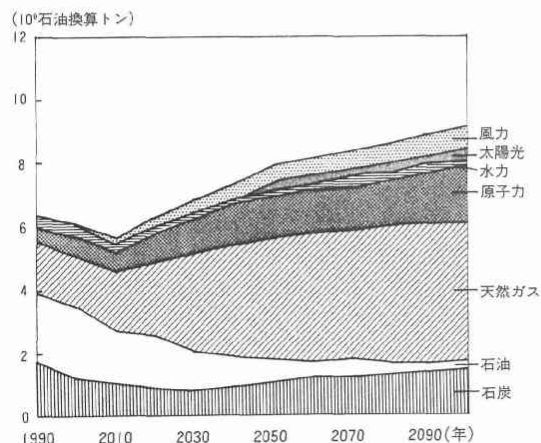


図4 Annex-Iエネルギー供給(NTケース)

エネルギーに加えて、排出権取引によって正味の排出量が抑制される。2010年～2050年までの取引量を図7、図8に示す。いずれのケースにおいても、旧ソ連東欧が排出権を輸出し、残りの Annex-I 地域が排出権を輸入する結果を得た。来世紀前半にバンキングを行うのは旧ソ連等東欧地域のみであり、二酸化炭素排出量が1990年レベルにまで達しないこと（いわゆる「ホットエア」効果）等により、低コストでの輸出裕度が大きいことが最大の理由である。

(d) マクロ経済影響

炭素排出量を抑制した場合、エネルギー・経済のリンクに対して、エネルギー最終需要変化、化石燃料価格低下、燃料転換に伴う設備費上昇、エネルギー産業活動の低下などが、複合してマクロ経済影響として現れる。排出権取引の効果をみるため、2000年から2100年までの10年おきのマクロ経済消費の現在価値換算総和（割引率は年率2%）を地域ごとに集計し、NT ケースと比較した損失がどの程度の比率になるかを示したのが図9である

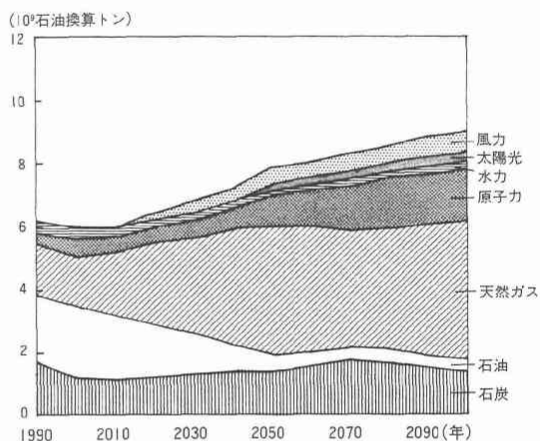


図5 Annex-Iエネルギー供給(ATケース)

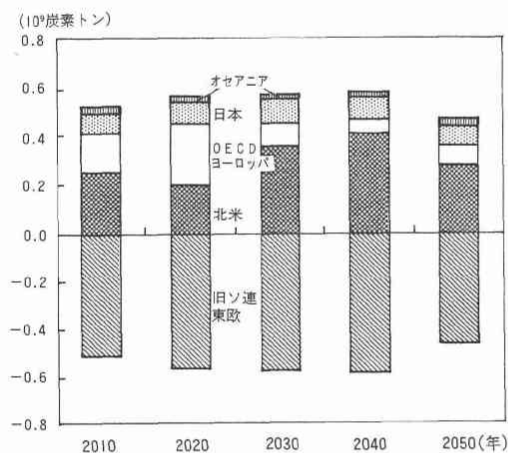


図7 炭素輸入量(ATケース)

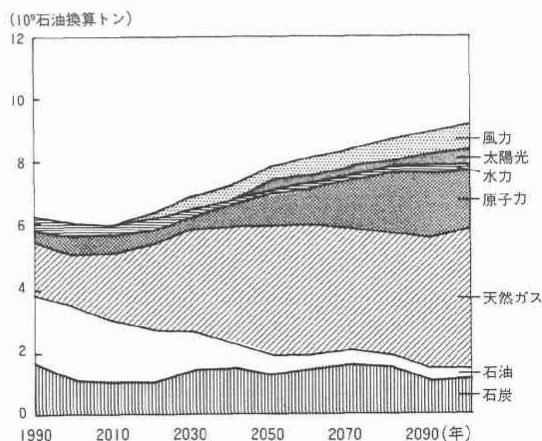


図6 Annex-Iエネルギー供給(ABケース)

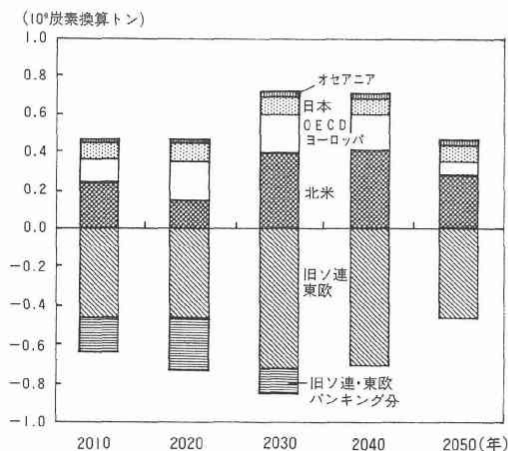


図8 炭素輸入量(ABケース)

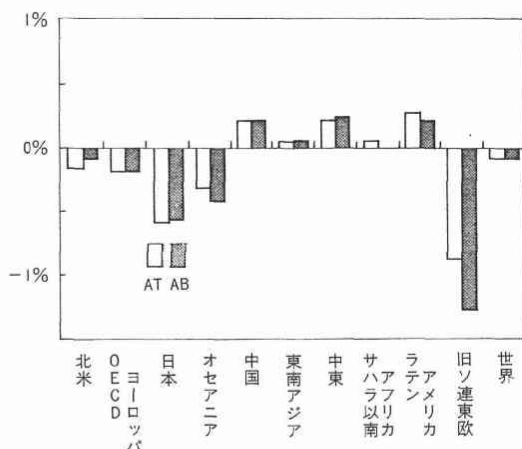


図9 2000年から2100年の割引後消費総和の損失（NTケースとの比較）

（BAU ケースとの比較でないことに注意）。取引参加者は、市場参加によって、利益を得ているが、輸出ポテンシャルの大きい旧ソ連東欧の利益が最大であり、さらにバンキングによって排出権市場価格が短期的に高くなることから、追加的利益を得ている。

また、非 Annex-I 地域では、排出権取引によって、損失を被る試算結果となっている。この原因には Annex-I 地域の化石燃料需要量が相対的に増大するため、資源価格が高くなる効果を含んでいる。ただし、BAU ケースとの比較においては、全ての非 Annex-I 地域で利益側となる結果を得ていることを断っておきたい。

(e) 考 察

京都議定書が2010年から発効した場合、削減目標を有する諸国が、炭素削減をどのような手段によって実現するか、およびその経済影響がどの程度であるのかをモデルによりシミュレーションした結果が比較された。

エネルギーシステムの大規模な組み替えが

なされても、先進国の場合エネルギーシステムコストの GDP 比はそれほど大きくないため、マクロ経済影響は比較的小さくなると推定される。また、排出権取引によってその程度がさらに緩和される可能性がある。世界的に見ても、天然ガスと原子力は有力なオプションであるが、前者は資源評価の不確実性、後者は社会受容性等の課題を合わせもっていることを指摘しておきたい。

京都議定書の第1約束期間は2008年に開始するため、時間的猶予は約10年しかなく、既存設備更新に対するエネルギー部門の現実的な行動を考慮すると、排出権取引の有無はエネルギー政策にとって大きな比重を占めると思われる。

4. ま と め

エネルギー部門を対象とした温暖化対策には、省エネルギー、燃料転換を含めた総合的対策を行うことが不可欠であるが、排出権取引を対象とした分析からは以下の結論が得られた。

- (1) 排出権取引は、取引を行わない場合に求められる、急激なエネルギー資本回転および省エネルギーなどの要請を緩和する効果が非常に大きい。また、旧ソ連東欧地域のホットエアの存在は、コストゼロの輸出裕度であり、分析のフレームワークには特に注意を払う必要がある。
- (2) 排出権繰越型のバンキングにより、排出権輸出側に追加的利益をもたらす可能性が示された。また、地域間スポット取引に加えて、バンキング制度を導入すると、時点間の経済影響の差異を緩和する効果を有し

ていることが確認された。

5. 今後の課題

以上の議論は、化石燃料起源の CO_2 を中心としたものであったが、京都議定書の付属書 I 諸国に対する温暖化ガス削減目標は、二酸化炭素以外の温暖化ガスについても、削減効果を排出時から100年間の放射強制力(温室効果を示す科学的指標の一つ)により CO_2 換算した上で、包括的削減目標としての達成に用いてよいことになっている。しかし、 CO_2 以外の温暖化ガス発生源については、削減費用とそのポテンシャルに関する不確実性が大きい。そこで、温室効果気体別ではなく、多数の気体を対象とした包括的削減目標達成策を

採用する場合における、エネルギー等への個別影響、および経済全体に与える影響を評価することが必要である。

また、森林や土地利用管理により CO_2 吸収量を増加させた場合には、その量を削減量に含めてもよいが、その削減ポテンシャルと費用を含めた定量的評価については、化石燃料起源の CO_2 と比較しても不確実性がかなり大きいため、あわせて評価を行っていくことが求められている。

参考文献

- (1) 黒沢, 地球環境問題の統合評価－炭素排出権取引と原子力フェイズアウトの影響, 季報エネルギー総合工学, 第22巻, 第1号
- (2) 黒沢, 山川, 柳沢, 統合評価モデルによる排出権取引の分析(2), 第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2000年1月



〔調査研究報告〕

原子力発電所に関する 工事計画認可申請の電子化

—申請・審査業務の効率化と高度化を目指して—



尾形 圭史 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員

1. はじめに

情報・通信技術の著しい進展を背景にした情報化の進展は、インターネットの発達に見られるように、産業、民生を含め目を見張るものがある。

例えば、多数の企業が連携し情報の交換と共有を目指すいわゆるCALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) は、米国防省の兵站業務において電子化による効率化を図ったことに端を発するが、21世紀のネットワークを駆使した情報化社会の具体像とそれに至るために必要な様々な活動をシンボリックに表す用語として、今日盛んに用いられている。また、民間各社は電子商取引 (EC) の実現に向けて具体的な活動を開始しているほか、政府においても各種行政サービスの電子化等を目指したスーパー電子政府の構想が持たれているなど、色々な分野で情報化が進んでいる。

電力分野においても、火力発電関係では、図面等の電子化とインターネットを通じての情報交換の検討が進められている。

このような状況の下、原子力分野においても、情報化社会に対応し工事計画認可申請の

電子化が検討されてきた。電子化に当っては、単に文書をイメージ情報として扱うのではなく、将来的に設計情報や保修情報とリンクすることを考慮して、タグ付き言語であるXML (詳細は4.2項参照)も活用することとしている。

当所は、原子力プラントメーカー3社 (東芝、日立製作所、三菱重工業) と協力し、情報処理振興事業協会の委託を受け、平成11年度に工事計画認可申請の電子化のうち基本機能のシステム開発を行ったのでここに報告する。

2. 工事計画認可申請の電子化の意義

2.1 工事計画認可申請

工事計画認可申請 (工認) とは、電気事業法第47条に基づく行為で、一定の内容以上の電気工作物の設置または変更をしようとする者は、その工事の計画について通商産業大臣の認可を受けることとなっている。この認可の申請は、技術基準への適合性や環境影響評価への適応性等の観点から審査される。

工認図書は、設備の仕様が表の形で纏められた計画書本文と、その設備の設計方針書、

強度計算書、耐震計算書、図面等の添付資料から成り立っており、発電所等の電気工作物の構造、機能に関する情報が、多数盛り込まれた膨大な資料（至近例では約18,000頁）であって、普通数回に分けて申請、認可されている。

また、工認申請書の代表例については、(財)原子力発電技術機構において公開されている。

2.2 経緯

工認の電子化の必要性については、平成9年度に資源エネルギー庁が主催した「原子力と情報」懇談会（事務局は当所）において、「原子力分野においては、行政、電気事業者、メーカー等の間の許認可等に関わる種々の情報の流通が一つの主要な軸となっており、これに係わる電子化は、関連業務の標準化、効率化、情報の共通利用等に大きく寄与するとともに、安全規制業務の高度化にも資することが期待される」とされ、当面電子化を検討すべき許認可については、「電子化による業務の高度化・効率化の観点、さらには情報管理・提供の利便性の向上といった観点」から、情報量が膨大で内容が複雑かつ多岐にわたる工事計画認可申請の電子化について、具体的に検討を進めるのが適切とされている。

この結論を受けて、平成10年度より行政、電気事業者、メーカー等の関係者によりシステムのニーズと評価に関する委員会を設置し、電子化へ向けての具体的な検討を開始し、平成11年度に基本処理部分のシステム開発を実施したものである。

3. 開発システムの全体像

工事計画認可申請の電子化の事業は、工事計画認可申請書の作成、申請、審査に関する標準システムの開発が目的である。

本システムは、図1に示すように、原子力プラントメーカー等による工認図書の原案作成と電気事業者によるその内容検討・返却・承認の作業サイクル、並びにその後の電気事業者による認可申請と資源エネルギー庁による審査・返却・認可の作業サイクルの両方で使用することを想定しており、これらの業務がパソコン上で電子的に実施可能とするものである。

3.1 システム導入のメリット

本システムは、原子力産業界の業務の標準化と効率化を図ることにより、原子力発電コストの低減、原子力産業界の高度化に資するものであり、システムの導入によるメリットとして、以下の点が挙げられる。

(a) 情報の質の高度化

許認可情報の一元管理、データ共有が可能となり、特に電気事業者にとっては、データの信頼性向上及び原子力発電所の全運転期間中の情報管理の信頼性向上を図ることが可能となる。

(b) 物量の削減

工認図書の物量が大きいため、電子化により作成、運搬、授受、保管の各段階における製本、印刷、保管等に要する費用を削減できる。

(c) 業務の効率化

行政、電力、メーカー間で受渡す情報の標準化により申請・審査・認可プロセスの効率

化や文書管理、改訂管理、変更管理等の効率化が図れる。また、過去の関連情報との比較、照合が容易となる。

(d) 情報検索・利用の容易化

原子力発電プラント間や関連文書間等の比較を行なう際の検索が容易となると期待される。また、プラントの設計から運転保守、予防保全までを含む工認ライフサイクルに亘っての情報の管理・利用が容易となる。

(e) 情報提供・情報公開の容易化

必要な情報の検索、取出しに掛かる時間の短縮が図れるなど情報提供、情報公開の利便性が向上する。また、マスキング処理等による情報公開要求への迅速な対応が可能となる。

また、将来的には設計情報や運転管理情報とのリンクにより設計から建設・運転まで統

合的に運用する先進的情報システムの構築へつなげることを意図している。

3.2 システム機能の概要

当初計画による全体機能は以下のとおりであるが、全体のシステムを完成するには3年程度掛かる作業と考えている。◎を付けた項目が平成11年度に開発を実施したものであり、工認図書作成から審査、認可までの一通りを一応実施できる基本機能部分である。

① 工認図書作成ツール (◎)

・テンプレートによる工認図書作成

② 授受プロトコルIN/OUT処理機能 (◎)

・審査側・申請側のデータ授受・変換、審査側画面表示と操作部分のインターフェイス処理

③ 電子図書の閲覧 (◎)

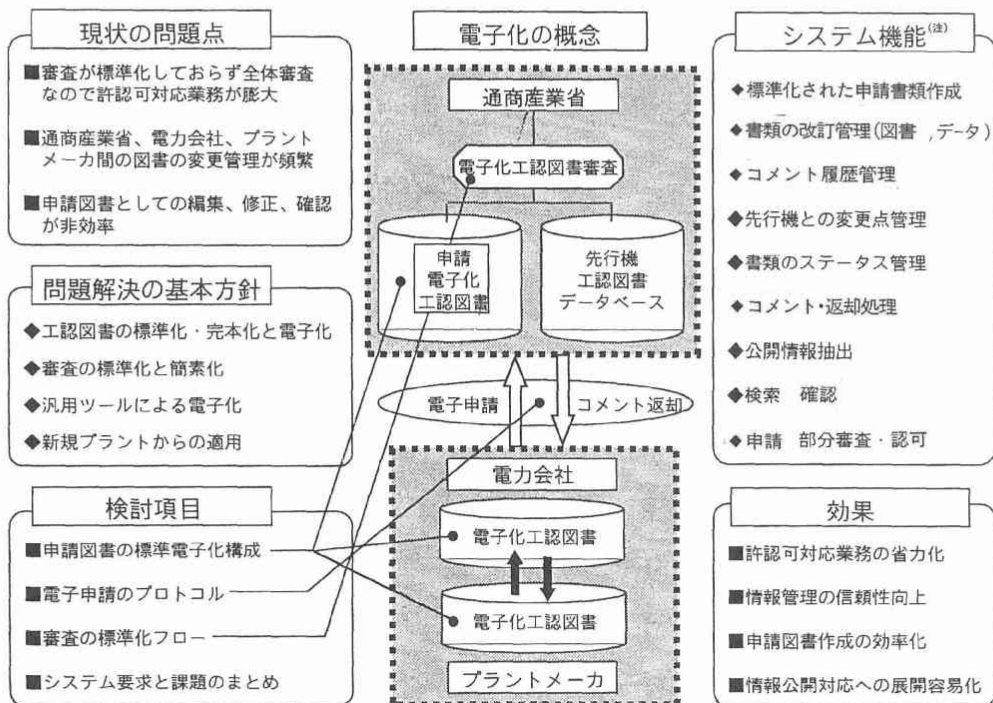


図1 電子化全体構想とシステム機能

- ・作成図書のブラウザ上での表示
- ④ 審査コメントに関する機能
 - ・コメントの書込み，検索，リスト作成等 (◎)
 - ・書込み権限の管理，コメントの統合等
- ⑤ 審査処理機能
 - ・審査履歴管理，審査結果管理，ステータス管理等
- ⑥ 検索機能
 - ・関連図書（添付資料等）の検索 (◎)
 - ・キーワード等による各種検索
- ⑦ 変更点管理機能
 - ・変更点明示，比較，検索，リスト作成等
- ⑧ 他プラント参照比較機能
 - ・同一項目の他プラントとの一括表示
- ⑨ マスキング処理機能
 - ・公開版のマスキング及びマスキング理由
- ⑩ 受発信履歴，改訂版管理機能 (◎)
 - ・受発信履歴データの管理，最新版管理
- ⑪ 設備変更管理機能
 - ・運開後の改造等に対する最新設備仕様管理
- ⑫ 外部図書リンク機能
 - ・安全審査資料，告示等が電子化された場合にその検索，閲覧を可能にする。

4. 工認図書のデータ構造 (XMLの活用)

4.1 データ構造の基本要件

具体的なシステム開発を開始するためには，工事計画書の認可申請・審査に係わる業務の流れを把握する必要がある。

そのため，行政，電気事業者，メーカーにおける工認図書の授受・審査に関する作業分析及び工認申請にかかわる書類・図書の分類

を行い，工認図書授受・審査に関する標準的なワークフローを作成した。

このワークフローの詳細な検討を基に，システムの利用者の観点から要求すべき事項を抽出し，基本要求定義書として纏めた。これを受け，要求事項を実現するために必要とされるシステムの機能（前節に記載した機能のブレイクダウン）及びデータの基本構造の要件について検討した。

この結果，図書のデータ構造に制約を与えるシステム機能は [編集]，[閲覧]，[比較] に関するものとなった。図2はそれらの機能が，どのような図書を表現するデータにより実現されるかを示したものであり，これにより図書を表現するデータとして次の3種類が必要であることが確認された。

- ・閲覧形式
- ・構成データ
- ・図書管理情報

この3種のデータは，図書作成時にシステム的に自動作成されるものとした。

4.2 図書の基本データ構造

工事計画書本文では，機器・設備単位にその仕様が表に纏められている。今回のシステム化に当っては，この仕様表の一つ一つを図書の単位として扱うこととした。また，添付資料に関しては，例えば強度計算書であれば各設備の計算書ごとに一つの図書とした。

システム開発に当っては，システムで授受される電子化された図書の基本データ構造をどのように設定するかが重要な問題となる。

今回基本構造の検討に当って，まず図書の電子化に関する技術動向を整理し，データ構造を決定した。

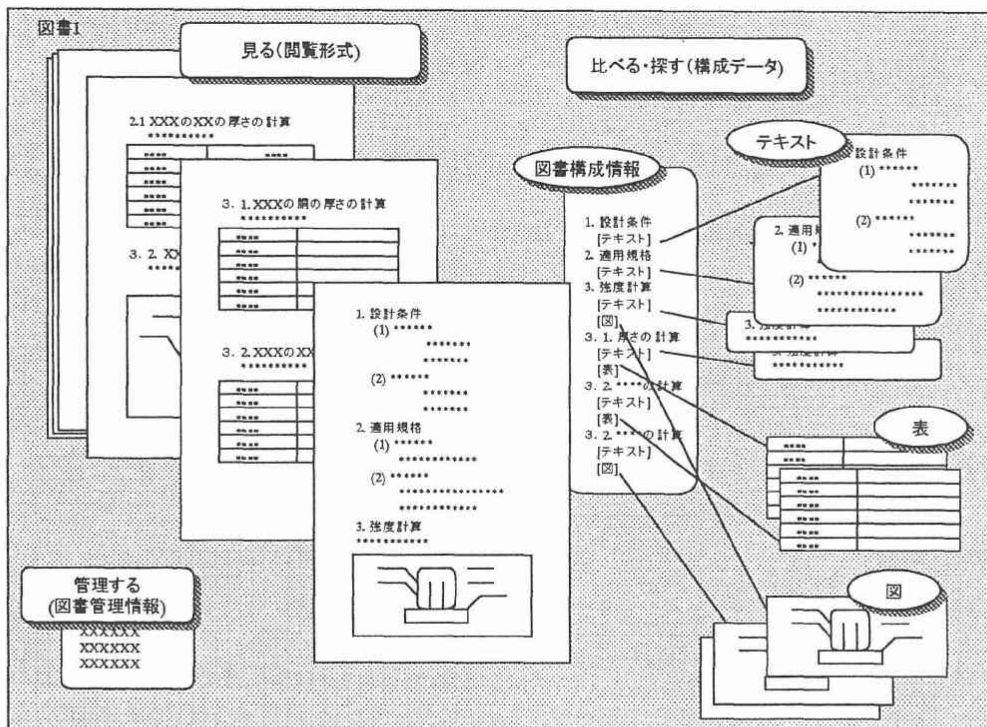


図2 要求機能実現のための図書申請形式

(1) 現状の技術動向

従来からある構造化文書技術であるSGML (Standard Generalized Markup Language) をベースに、インターネット技術を基にした情報共有技術としてXML (eXtensible Markup Language) が開発され注目を集めている。XML/SGML技術では、ドキュメントの内容とその体裁(スタイル)とを分離することにより、スタイル定義言語の変化やスタイル実現手段のベンダーの方針等とは関係なく、ドキュメントの内容を長期にわたって再利用できることが特徴である。

また、ドキュメントの体裁を定義するスタイル技術は、現在開発競争が激しい分野であり、今後、短期間で変化する可能性が高い。

一方、XML/SGMLのような構造化技術とは別のアプローチでペーパーレスを実現する

技術として、紙イメージをコンピュータ上に再現し、かつその紙イメージごとワールド・ワイド・ウェブ (WWW) 等により交換できるPDF (Portable Document Format) が開発されている。PDFは、紙イメージを重視する分野における電子化を中心に利用されているが、テキスト情報そのものよりページイメージに重点が置かれているため、ドキュメントの内容などを他のプログラムで再利用するにはあまり適していない。

(2) 基本データ構造の検討

前述の技術動向を勘案すると、将来にわたり期待できる申請図書の様式としては、XML、もしくはPDFが考えられる。

両者の比較においては、画面上の作業性を考えた図書審査システムを構築する観点から

は、“現状のページイメージの審査”から“表示の体裁にこだわらないデータ中心の審査”への移行が前提となるが、XMLの方が長期利用、データの種々の応用、データ管理の点で断然有利である。

しかし、紙ベースから電子化への移行期には、必然的に「従来の紙のページイメージによる閲覧が可能」という要求が提示される。

一方、現状の構造化文書技術では、工認図書のページイメージの品質を自動的に実現することは非常に困難であり、コスト的にも高いものとなる。また、前述のようにスタイル技術は、開発競争が激しく今後短期間で変化する可能性が高い。従って、この点ではPDFの方がニーズにマッチしている。

以上の検討の結果、図書のデータ構造として、将来的には理想形としてXML/SGML等の構造化文書技術によりドキュメントの内容のみを受け渡すことを目指しつつも、当面は、閲覧形式としてのPDFと構成データとしてのXMLを併せ持つ形を採用することとした。

(3) 申請データの内容

この基本方針を基に、申請側システムから審査側システムに受け渡す申請データについて具体的に検討した。その結果、申請データには後述する全体目次や申請回次ごとの申請データ、工事計画書と添付資料のリンク情報等を含むものとした。

申請回次ごとの申請データは、発信者の情報や申請回に関する情報を含む申請管理情報、当該申請回に含まれる図書のリスト、図書管理情報、工認図書本体等から構成されている。

図書本体のシステム上の取扱いについて検討

表1 図書のシステム上の取扱い

図書の区分	システム的な取扱い
工事計画書の仕様表 (工事計画書本文部分)	・仕様表ごとに図書(ページ)とする。 ・仕様表の項目単位の構造化データとする。
工事計画書の項目名、 前文など	・仕様表単位で図書とするため、形式上項目名等だけで図書とすることが必要。
添付資料の計算書 (強度計算書、耐震 計算書)	・計算書の単位で図書とする。 ・計算書中の段落、表、図単位で構造化データとする。 ・表内容もテキストデータとして扱えるものとする。
工事計画書の図面、 添付資料の図面	・閲覧イメージのみとする。
その他の資料 (工程表、添付資料 の方針書など)	・図面と同様の取扱いとする。
申請管理情報 (表紙、申請内容、 目次など)	・管理情報の項目単位で構造化データとする。

した結果は、表1のとおりである。また、工認図書の構造例を図3に、工事計画書本文の構造例を図4に示す。

4.3 XMLの特徴

(1) XMLの位置付け

ここで補足としてXMLについて解説する。

XMLは、拡張可能なマーク付け言語の意味であり、1996年11月に発表されている。

現在WWWページの作成は、ほとんどがHTML(HyperText Markup Language)で行なわれている。HTMLは、誰にでも使えるお仕着せの基本的なタグが用意されている言語であり、スタイルシートも使え、表示・印刷するための情報をインターネットで配布するためには十分な機能を持ち、この面では今後も発展していくものと思われるが、反面拡

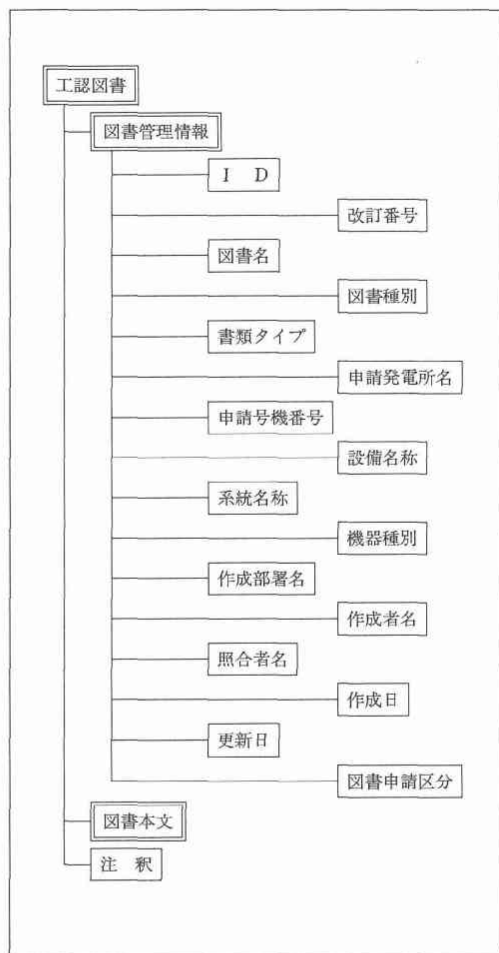


図 3 工認図書の構造例

張性の無い言語となっている。

HTMLもXMLも、SGMLに従っていることは同様である。SGMLは、構造化文書表現のための国際規格で、1986年にISO(国際標準化機構)により制定されている。SGMLは、XMLよりはるかに以前から存在する言語で、文書中にタグを埋め込むことができ、そのタグを自由に定義できるが、非常に複雑で大規模なため使いこなすのが困難なものとなっている。

XMLは、SGMLの言語機構を継承しつつ

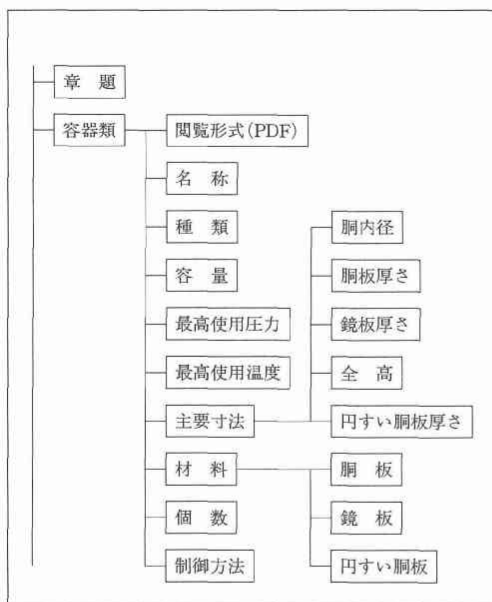


図 4 工事計画書本文のデータ構造例

大幅に簡略化するとともに、WWWの利用などHTMLが持つ長所も取り入れている。また、HTMLが文書の性質だけを持つのに対し、XMLは自由にタグをつけられる体系的な枠組みを持つことにより、文書とデータの2面性を持つことになり、例えば2つのデータベースをWWW上で連携し利用するなどの幅広い活用が可能となった。このような特徴を持つため、XMLは現在非常に注目を浴びる存在となっている。

XMLは、論理構造と文書型定義(DTD)の2つの部分から構成される。論理構造は、文書の本体部分であり、開始タグと終了タグに挟まれた部分が要素となる。このタグは、入れ子細工のように組み合わせることができる。

DTD (Document Type Definition) は、使用するタグや内容の属性を定義するものであり、HTMLにはないがSGMLでは従来から使用されている。図 5、図 6 にXML文書とそ


```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<資料>
  <名称> AAポンプ </名称>
  <ポンプ 型式="渦巻き型" 製造番号="A110">
    <性能>
      <容量> 10m³/h </容量>
      <吐出圧力> 10k </吐出圧力>
    </性能>
    <台数> 1 </台数>
  </ポンプ>
</資料>

```

図5 XML文書の例

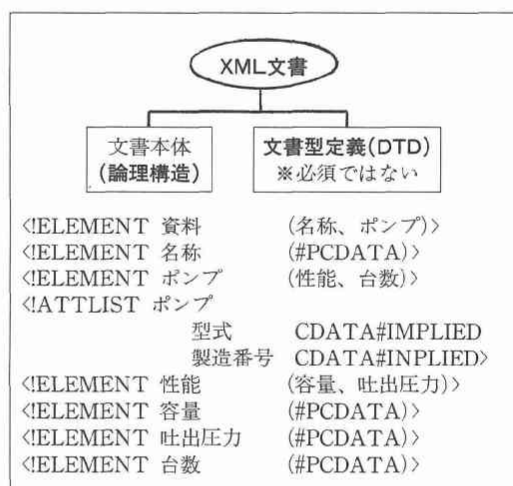


図6 XML文書の構造とDTD

のDTDの例を示す。

(2) 構造化文書の特徴

本システムでは、XMLの構造化文書としての特性を用いている。構造化文書では、文書からレイアウトに関する情報を抜き取り、代わりに文書の論理構造を付加している。論理構造は、文書がどのような単位に分割され構成されるのかを示したものであり、分割の目印としてタグが用いられている。

レイアウトに関する情報が無いために、一定の書式で出力するためには、別途スタイル

シートで定義する必要がある。しかし逆に、レイアウトを変更する場合でも構造化文書自体を変更する需要が無いという利点がある。

また構造化文書では、論理構造があるためにタグに応じた的確な検索が可能である。さらに資料が構造化文書となっていれば、その情報を当初の目的とは別の目的のために一部分を抜き取ったり、加工したりすることが容易となる等の利点を持つ。

5. 工事計画書全体目次の作成

5.1 全体目次の構造

このシステムでは、閲覧したい図書の検索は、図書の目次体系から行なうこととした。目次は、図7に示すように階層構造となっており、階層の一番下の目次項目が各図書に対応している。図書の検索を行なうためには、図書ごとに固有のインデックスが貼られていなければならないが、階層構造化した目次体系の各項目には階層構造に応じた固有のインデックスが付けられること、またその目次項目が図書と1対1に対応していることから、目次のインデックスを以って図書を同定することとした。例えば関連図書の検索や、2つの発電所の同一設備を比較する場合には目次をキーとしての検索を考えており、このシステムにおいて目次は重要な役割を占める。

運用方法として、最大限の設備等を網羅した標準目次を確立し、これを全体目次と称することとした。各発電所の工認申請時には、全体目次から該当しない部分を削除し、申請用の目次とする。

前述のように工認は数回に分割して申請されるが、初回申請時にこの全体目次の体系を

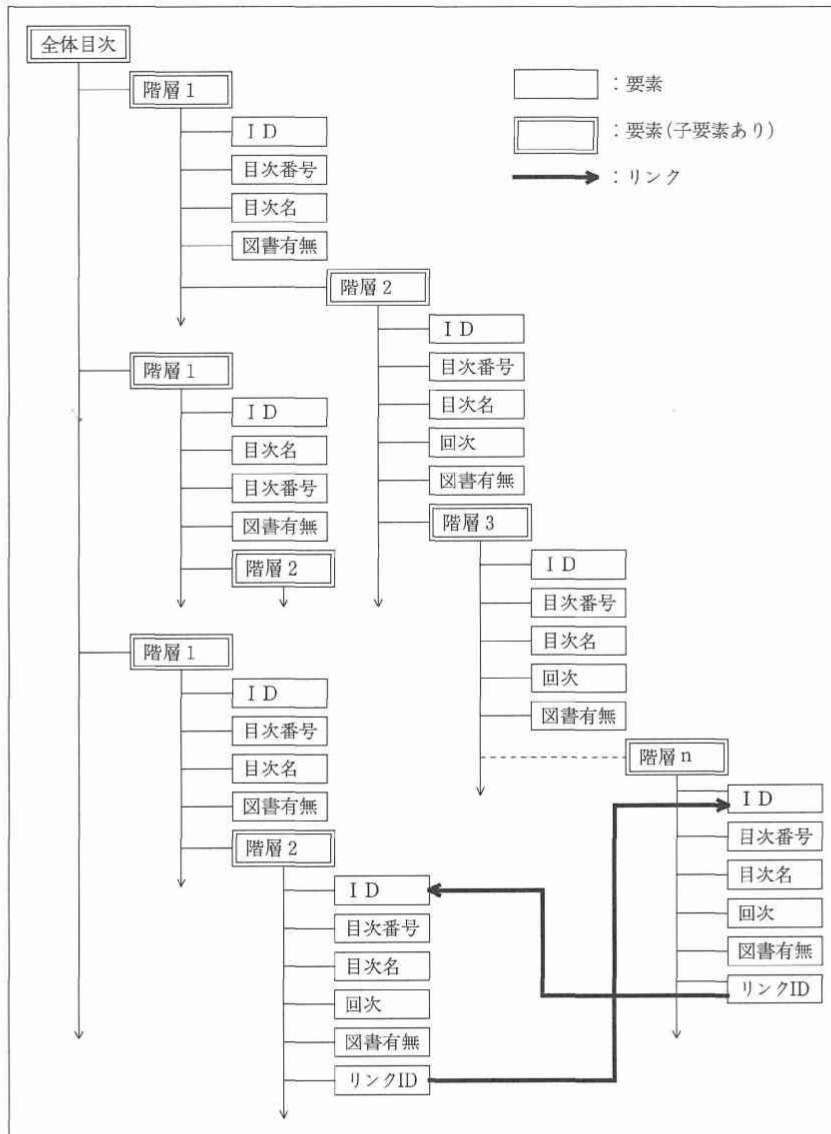


図7 全体目次の構造

審査側に送付する。また、申請回次ごとに、その回次で申請した図書に該当する目次部分を全体目次から抜き取った申請回次目次を作成し図書と併せて送付する。

全体目次の下には最初はほとんど実際の図書が含まれていないが、回次を重ねるごとに図書が増え、最終回次において図書が配置さ

れるべき各目次項目の下には全て図書が配置されることとなる。このように全体目次の下に全ての図書が配置された完本版は、従来の紙ベースの工認では存在しなかったもので、この点にもシステム化の大きなメリットがある。

5.2 全体目次の標準化の考え方

今回のシステム開発において、工認図書の標準化や沸騰水型発電所（BWR）と加圧水型発電所（PWR）の統一はスコープ外である。しかし、日本中の発電所で共有できる工認申請システムであるためには、発電所ごとに工認図書の構成や配列が大きく異なっているのは難しく、ある程度の標準化が前提にある。

全体目次についても、前述のように発電所間を通じて図書検索のキーとなり、各発電所共通の目次体系として標準化が必要である。

工認図書の記載項目の概要は、電気事業法施行規則別表3に規定されており、また工認図書は従来記載の標準化が図られて来ている。従って、BWR、PWRそれぞれの内部では、一部の名称、添付資料等の違いを除き、目次の配列や設備の仕様表の形式等はほぼ同一となっている。しかしBWRとPWRを比較してみると、設備自体の相違に加え過去の経緯もあり目次の配列自体に差異が見られた。

BWRとPWRの差異については、実際問題としてBWRの設備とPWRの設備を比較することはほとんどないことから、無理に統一する必要はないと判断し、システム的には階層化への割振りなどを調整した後に、BWR、PWRごとに目次体系を作成することとした。

6. 平成11年度開発システム(基本処理機能)

前述のように、平成11年度は基本機能部分の開発を行なっている。使い勝手や応用性の面ではまだ不十分な点があるものの、工認図書の申請、受付、審査におけるコメント作成、コメント付き図書の返却、修正と再申請、認可までの一連の作業をパソコン上で実施する

機能を有している。また、工認図書を作成する入力ツールと一部のテンプレートの作成も実施している。開発システムの概要は以下のとおり。

6.1 授受データIN/OUT処理機能

図書の申請、受付に係わる機能であり、電子申請、認可に必要な申請側と審査側の間のデータ授受を行なう機能及び審査側の画面表示と操作部分のインターフェイス処理を行う機能からなる。

申請側と審査側のデータ授受に関しては、申請図書データを審査側で授受可能なデータ形式に変換する機能、審査側で受信した申請データについて整合性を確認する機能及び審査結果を申請側に返信する機能を有する。また、審査側の画面表示と操作部分に関しては、操作者の入力により図書閲覧、検索等の操作に必要な画面表示を行う機能を有する。

6.2 受発信履歴・改訂管理処理機能

審査側と申請側で授受するデータの情報データを選定し処理する機能である。申請側から送付された工認図書情報に関し改訂管理等の確認の後に登録する機能、審査結果に関する情報を抽出し申請側に送付する審査結果データを作成する機能を有する。また受発信履歴、改訂履歴管理も行う。

6.3 電子図書閲覧・検索機能

パソコン上での図書の閲覧及び関連図書の検索に関する機能である。この機能は、工認申請時に登録された図書の電子閲覧用ファイルの作成を行なう。また、電子図書閲覧・検索時に、登録されている全プラントリストか

らのプラント名称の選択、及びそのプラントに対する工認申請回数リストからの申請回次の選択に関する処理を行なう。さらにプラント、申請回次の選択結果より図書目次構成を作成し、関連図書選択、審査状況一覧等に関する処理を行なう。

6.4 コメント処理基本機能

工認図書に対して、審査において書き込まれたコメントのデータベースへの登録、コメントリストの作成、申請元への返信用データの作成及びコメント反映状況の管理を行なう機能である。

6.5 ユーザインターフェイス

以上のシステムとしての機能を、使用者の操作画面として纏めたのが図8である。ユーザー名称、プラント名称等の必要なデータを入力すると、図中央の工認閲覧図書リスト画面になり画面左半分の全体目次のツリーをキーとして閲覧又は審査したい図書を選定する。

画面上部には「閲覧」の他に「関連図書」、「工認審査」、「審査結果一覧」、「コメント一覧」のボタンが設定されている。それぞれの機能は以下のとおり。

「関連図書」では、当該工事計画書に関連する添付資料（設計方針書、強度計算書、図面等）を呼び出すことができる。「工認審査」では、当該図書に既に付けられているコメントの確認や新たにコメントを書込むことができる。「審査結果一覧」では、各図書の審査の進捗状況を確認できる。「コメント一覧」では、当該図書に付けられたコメントの一覧を確認できる。

7. 効果の検証

本システムの導入による効果の把握のために、アンケート評価による実証実験を実施した。

実証実験は、電気事業者の工事計画担当者、メーカーの工認担当者、設計担当者などの工認業務の実務者により、実際にシステムを操作してもらい、その結果をアンケート調査することにより、システムの有効性を確認するものである。

確認項目としては、電子申請の有用性に関するものとして、工認図書作成の簡便性、電子提出の有効性、改訂管理の確実性を検証した。また、電子審査の有用性に関するものとして、閲覧における視認性、関連情報検索の容易性、コメント情報に関する有効性を検証した。

(1) 工認図書電子申請の有用性の検証結果

① 図書作成の簡便性

標準テンプレートを予め作成しておき、これを使用することにより、従来と同等又はより簡便になることが確認された。また、申請形式の作成においても、図書の全体目次データが作成済みであれば、システムの導入により特に紙の梱包作業等に比べ効率化が図れることが確認された。また、工認図書入力支援機能等を充実することで更に効率化に有効と考えられる。

② 電子提出の有効性

操作性の点からは問題ないと考えられるが、実運用でのデータ量を考慮すると、登録処理にかなり時間が掛かる点については、今後のハードウェア処理能力、システ

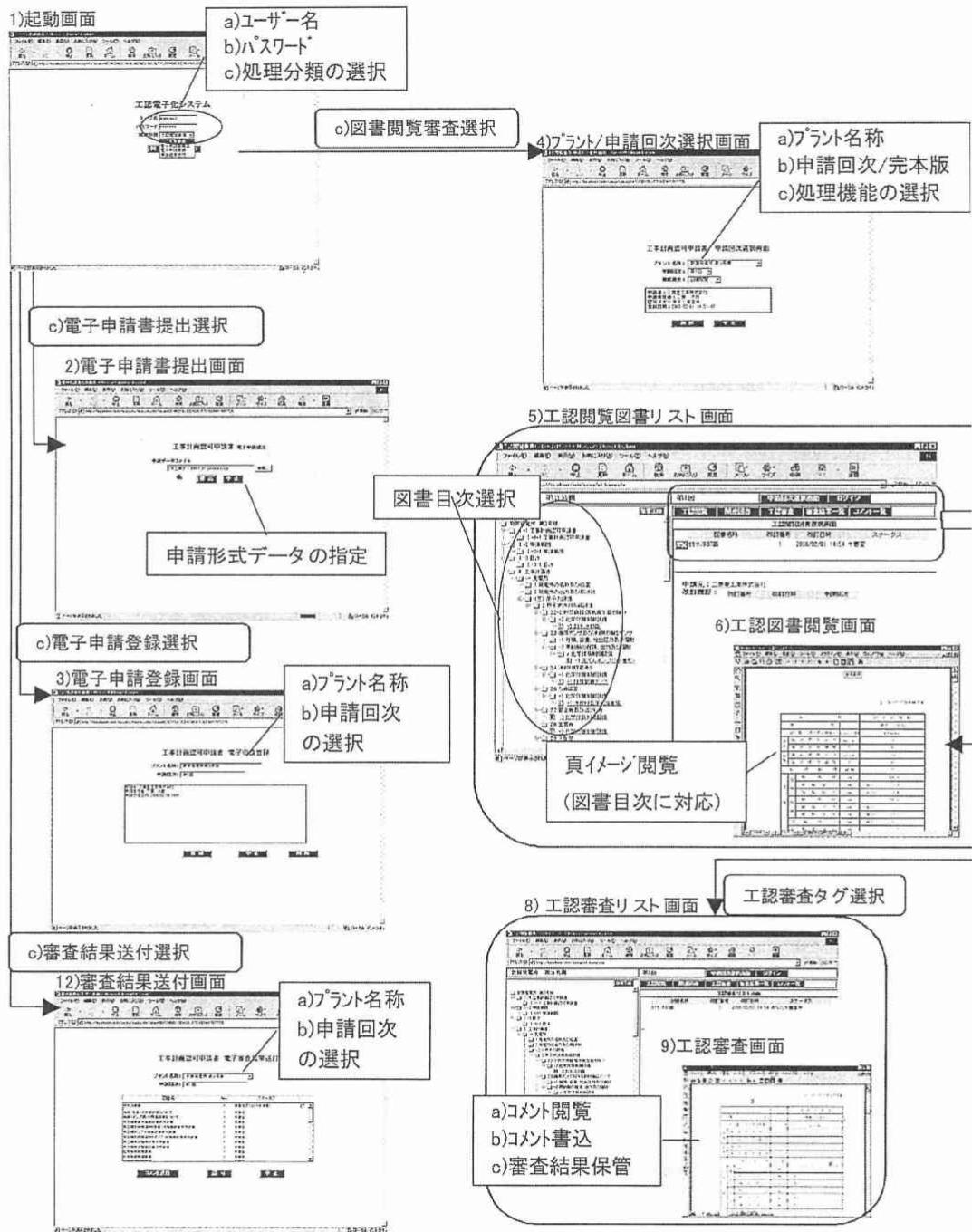
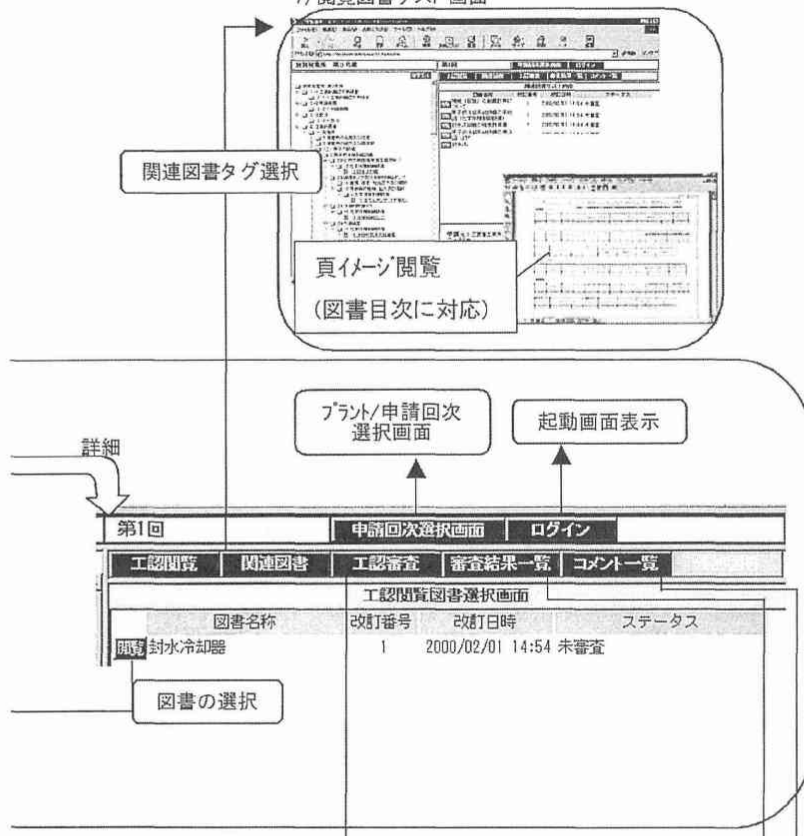


図 8 操作画面遷移図

7) 閲覧図書リスト画面



審査結果一覧タグ選択

コメント一覧タグ選択

11) 審査結果リスト画面



10) 工認コメント一覧表示画面



ム運用要領等について改善する必要が指摘された。

③ 改訂管理の確実性

最新版管理が確実にこなえる点では有効であるとの評価が得られたが、改訂個所の確認については自動化の必要性が指摘された。

(2) 工認審査の電子審査の有用性の検証結果

① 閲覧における視認性

従来の紙ベースでの閲覧に比べ、電子化により図書選択の効率が向上することが確認された。また、キーワード検索等の検索機能を充実させることで、さらに有用であるとの指摘があった。

② 関連図書検索の容易性

従来の紙ベースの検索に対して検索のスピードアップ、検索範囲の抜け漏れの防止等で相当の効率化が図れることが確認できた。一方、添付資料と工事計画書を同時閲覧する場合には、大型モニタの採用あるいはプリント出力等の対応が必要との指摘があった。

③ コメント情報の有効性

効率化が図れ有効であるとの評価が得られたが、電子承認機能等の整備が必要との指摘があった。

8. 今後の開発機能と課題

今回の開発により、工認資料の電子化及びその申請、審査等の電子化が十分に可能であることが確認できた。しかし、今回の開発は基本機能部分であり、このシステムを実運用に供するに当っては、利便性、効率性、管理の確実性等を更に向上させていかなければならない。また、システム開発だけではなく全体目次の管理や審査・ヒヤリング方法など運用面における検討も必要である。

今回のシステム開発を通じて抽出された今後の検討課題と開発が必要な機能は、表2のとおりである。

これらのシステム開発・検討について、現時点で具体的な開発計画はなく、実務への導入スケジュールも明確になっていない。しかし、2～3年後には実運用に入ること为目标に関係各所へ働きかけていきたいと考える。

謝辞

本システムの開発は、当所に設置したシステムニーズ・評価委員会における真摯な議論を踏まえてのものであり、委員及び関係各位に深く感謝いたします。

また、本稿の作成に当っては、東芝、日立製作所、三菱重工業の関係各位にご協力を頂きました。併せて、謝意を表する次第です。

表 2 今後の開発機能と検討事項

検討項目・開発機能		分 担	概 要
電子審査体制の明確化		行政 (電力) (メーカー)	申請時の全体目次の登録方法。工認図書の受付、登録、管理方法の具体化。電子媒体における公印、印紙の代替。変更申請の管理方法。
工認電子データの登録方法		行政	各プラントで共有する全体目次、図書ID、図書DTD等の運用・管理。
将来機能に対応した標準データ構造の高度化		メーカー 電力 (行政)	原本性・セキュリティを考慮したデータ授受。マスキング、変更管理機能への対応。設備管理情報とのリンク。CALS/EC等の標準化動向への対応。
工認図書のフォーマット整備		行政 電力 メーカー	非汎用機器工事計画書のDTD作成。工事計画書フォーマットの簡略化。添付書類DTDの詳細化、フォーマット見直し。
審査側システム 機能の開発	変更点管理機能	行政 (電力) (メーカー)	変更申請時等に改訂箇所自動抽出、表示。
	他プラント参照機能		先行プラントデータとの比較。仕様変更箇所の抽出。
	各種検索機能		キーワード検索、機器区分検索等種々の検索。
	公開マスキング版作成機能		マスキング情報を含む申請データから公開版の作成。
	電子審査処理機能		電子的な審査を効率的に行なうための機能。
	設備変更管理機能		設備仕様変更を管理し、最新版検索。
申請側システム 機能の開発	全体目次作成支援機能	メーカー 電力	関連図書リンク設定の自動化。申請回目次の自動抽出。
	管理情報入力支援機能		図書管理情報の作成の効率化。
	マスキング機能		マスキング図書作成の簡素化。
	変更点情報管理機能		改訂箇所抽出。コメント情報等を含む変更点情報の管理。
	他プラントデータ流用機能		申請データ作成時に同一炉型先行プラント工認図書データの流用。
申請／審査システム統合機能の開発（電力）	審査側DBから申請形式データ作成機能	電力 (メーカー)	メーカーから提出され審査した審査DBのデータを官庁への申請データに転用。
	複数社からの申請、審査管理機能		複数メーカーに対する審査管理機能及びそのデータ（審査DB）の申請データへの転用。
	審査管理情報及び申請管理情報の統合		メーカー提出工認図書の審査管理情報と官庁への申請に関する管理情報の統合。

〔調査研究報告〕

洋上風力発電の開発動向

— 実用化段階に入った北ヨーロッパ —

遠 藤 肇 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員



1. まえがき

わが国は四囲を海に囲まれ長い海岸線をもつため、沿岸地域における再生可能エネルギーの風力賦存量は膨大で、資源として有効利用すべきものと考えられる。わが国には造船技術、石油・天然ガス資源開発に伴って培れた海洋構造物に関する技術の蓄積が十分にあり、これらの技術を活用すれば、洋上風力発電が電力供給面で今後重要な地位を占める可能性は高い。ヨーロッパでも風力発電の陸上立地は限界に達し、洋上風力発電プラントの開発が近年極めて活発化しており、既に、実用機が設置段階にあるものもある。本稿は、欧州の洋上風力発電に関する技術開発動向の紹介を中心にとりまとめたものである。

2. 風力発電の動向

2.1 海外の動向

世界の風力発電容量は、1999年4月、10,000 MWを超え、その後も風力発電市場は急速な成長を続けて、同年末には14,000MWに達した(表1)。最近5カ年の成長速度は年30~35%に及び、急速な市場の成長と技術の進歩はIT産業の成長を上回る感さえあり、風力発電は揺籃期を脱し成長期に入ったと考えられる

(図1)。2010年までにヨーロッパで40,000 MW、米国で5,000MWに達するとの予測もある。また、世界の年間設置容量は5年以内に10,000MW/年に達するという見方もある。風況に影響される風力発電の設備利用率を1/4としても、毎年250万kWの事業用電力

表1 世界主要国の風力発電量

1999年末

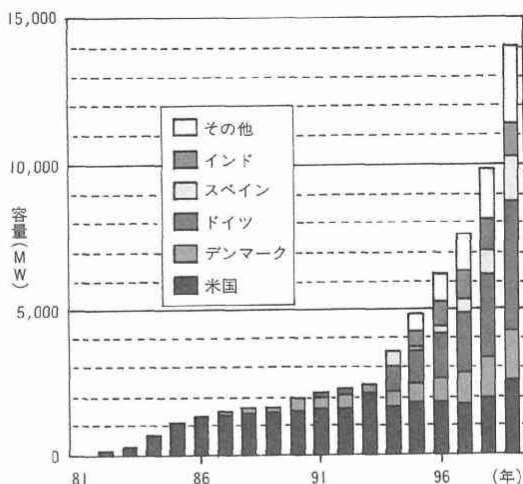
国	風力発電*1 設備容量(MW) 1999	電力比率*2 (%) (1999/1996)
北アメリカ	2,630	0.29
米 国	2,502	0.32
ヨーロッパ	9,456	1.75
NORDEL*3	2,018	2.40
デンマーク	1,744	15.65
スウェーデン	222	0.75
UCPTE*3	7,148	1.56
ドイツ	4,444	3.85
スペイン	1,551	3.39
オランダ	446	2.35
イタリア	224	0.33
ギリシャ	137	1.53
ポルトガル	103	1.10
他のヨーロッパ諸国	553	0.11
イギリス	358	0.49
アイルランド	149	3.38
アジア	1,433	0.20
インド	1,084	1.12
中 国	276	0.13
日 本	68	0.03
その他	249	0.05
合 計	14,301	0.461

(注)

*1 各国の風力協会の公表値より作成

*2 電力比率は各国の総発電容量に対する風力発電設備容量の比率

*3 NORDEL, UCPTEは国際連系系統電力、主要な風力設備保有国のみ記入した



注：I E A の風力統計および各国の風力協会 公表値から作成

図1 世界の風力発電設備容量の推移

設備が設置されることに相当し、見過ごすことのできない状況となってきた。

(1) 風力発電市場の誕生

米国連邦政府は、1973年の石油危機に端を発したエネルギーセキュリティの面から、1978年、特定電源からの電力購入を義務付ける公益事業規制政策法（PURPA=Public Utilities Regulatory Policies Act）を制定し、またカリフォルニア州もエネルギー投資税控除制度（Energy and Investment Tax Credit）を制定した。連邦政府と州政府を合わせると、税控除は50%に及ぶものであった。これらの政策により、カリフォルニア州に風力発電ブームが起り、1980年代に設置された風力発電機は合計でほぼ10,000基、総発電容量は、図1から見られるように、1,700MWに達した。当時の風力タービンはまだ100kWに満たない小型であり、一部の機械は技術的に未熟で故障率が高く性能も低かった。投資減税措置が15%に変更された1985年以降、風力発電へ

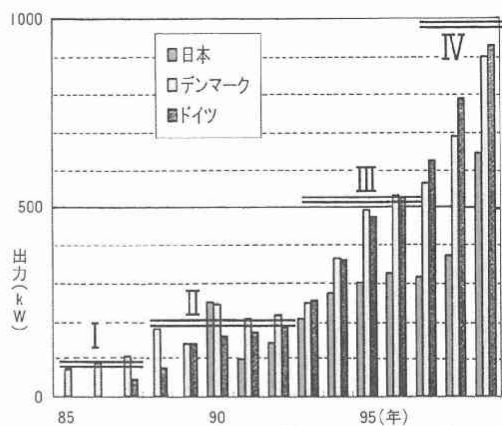
の投資は減退し、カリフォルニアの風力市場は崩壊した。その中で、ヨーロッパ、特にデンマークの風力技術は、水準の高さ、信頼性・経済性の評価を確立した。

米国の風力発電支援措置は、市場初期においては極めて有効であることが認められ、デンマーク、ドイツでも研究開発助成補助金制度と電力会社による風力発電電力の購入制度が採用された。これらの諸政策は本稿の目的ではないので詳述しないが、文献10には要領よく纏めてある。

なお、米国ではPURPAに替わり、電力販売会社に対して年間発電電力のうち一定割合を再生可能エネルギーで供給することを義務付ける再生エネルギー・ポートフォリオ標準（RPS=Renewables Portforio Standard）を制定しようとする動きがある。この法案は、再生エネルギー税控除制度（RECs=Renewable Energy Credits）を中核とし、電力会社に2015年で7.5%の風力発電電力の購入義務付けを提案したものである。米国風力協会によれば、この法案により、風力資源の豊富な米国中西部草原地帯を中心として風力発電が大発展する可能性がある。今後の米国の動きも見逃せない。

(2) 市場の成長と大型化

世界における風力発電市場の発展の歴史は、その後、4期に分けられる（図2）。1985年以後、風力発電市場はヨーロッパに移り、主としてデンマークでエネルギーセキュリティと地球環境の立場から普及が進み、風力タービンの単基出力は倍増して200~250kWとなった（第II世代）。1995年頃から500~750kW級が標準となり（第III世代）、技術的にも



注：I II…はその世代での代表的レベルを示す

図2 風力発電機大型化の推移

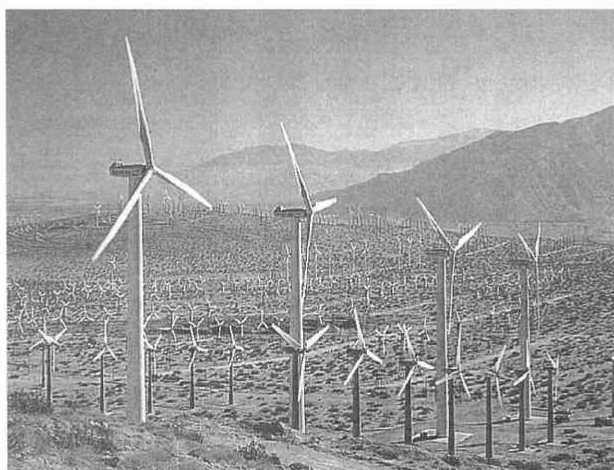
著しい発展があった。このころから、風力発電設備のコストは、大型化により急激に低減し、ヨーロッパでは石油火力並みのレベルになったと言われる。性能および信頼性も向上し、風力発電市場は急速に拡大し始めた。特に、この時期に風力発電事業に参入したドイツは、技術的に完成した第III世代からスタートして爆発的な成長を遂げ、1996年には米国を超越し世界でトップの座に着いた。また、インド、スペインが大規模なウィンドファーム

ムの建設に着手した。現在では、ドイツ、米国、デンマーク、スペイン、インドの5ヶ国が総発電容量1,000MW以上の風力発電設備を保有し、これらの国で世界の80%を占めている。

1990年代末には、MW（メガワット）機と称する単基容量1～1.5MWのものが市場に出現（第IV世代）して現在の主流になっている（図3）。また、2～2.5MW機も登場しはじめており、風力発電機単体価格は8万円/kW（公表値）といった例もある。

2.2 国内の動向

わが国における風力発電の開発は、1973年の石油危機後に通産省工技院のサンシャイン計画により開始された。この後、官民の協力、特に電力会社の主導により長期にわたり研究開発が継続され、普及に向けた努力が払われてきた。図4は建設実績の推移であるが、国内では、ここ数年間の建設実績の伸びが顕著であり、特筆されるべきは、昨年（1999年）には北海道苫前町に20MWのウィンドファ



出典：Nordex社 資料

図3 MW機（手前）と初期の小型風力タービン（後方）

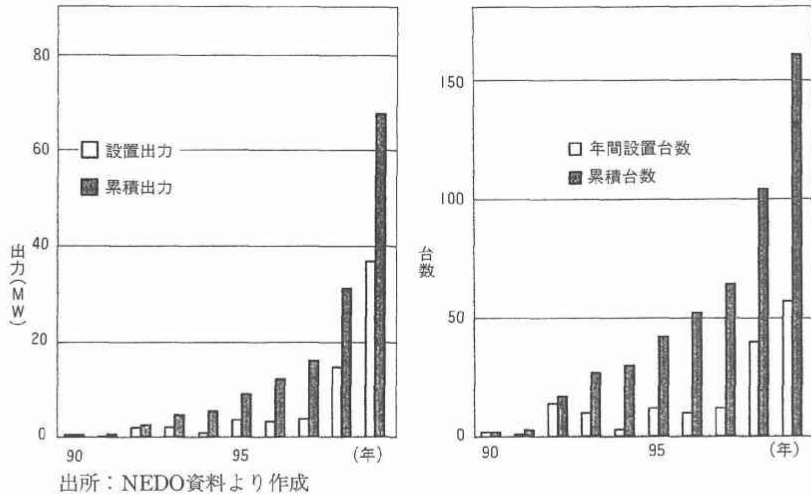


図4 国内風力発電設備の推移

ーム（図5）が建設され、日本の本格的ウィンドパーク第1号となった。引き続き、今年（2000年）末に苫前町で、2001年には青森県東通村、鹿児島県根占町にそれぞれ30MW級のウィンドファームの建設計画があり、ようやく国内にも風力発電の本格的な普及が始まったの感がある。



出所：<http://www.voicenet.co.jp/~tomamae/main.htm>

図5 苫前グリーンヒル・ウィンドパーク

国内の風力発電機は分析するほどの実績がまだなく、機種も偏っている（図6）が、容量ではデンマークのNEGミーコン社製と苫前町1箇所のみのデンマークのボーナス社製とがトップに並び、三菱重工業製、オランダのラガウェイ社製がこれに続く。台数ではNEGミーコン社製、三菱重工業製、ボーナス

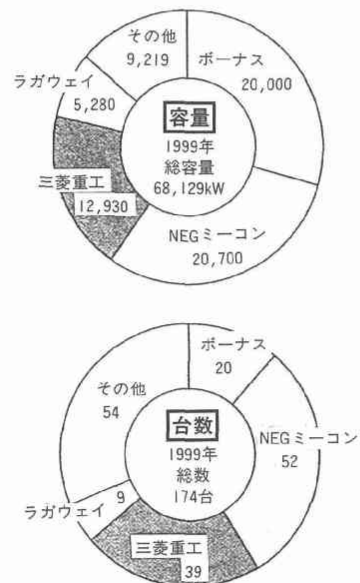


図6 国内風力発電機のシェア

表2 ヨーロッパの風力発電 メガワット機の開発 (WEGAプロジェクト)

国 名	メーカー名	風タービン 機 種	出 力 (kW)	ハブ高さ (翼中心) (m)	羽根車 直 径 (m)	出力制御	羽根車 枚 数	ロータ 回転数	ハブ 形 式	空力 レイ キ 式	運 転 開始年
デンマーク	Bonus A/S	Bonus 1000	1,000	50	54	ストール	3	固定	固定	フルスパン	96
ド イ ツ	Enercon Gmb H	E 66	1,000	60	55	ピッチ	3	可変	固定	フルスパン	95
オ ラ ン ダ	Ned Wind Rhenen bv	NW50	1,000	40	53	アクティブ ストール	2	固定	固定	フルスパン	94
デンマーク	NEG Micon A/S	NTK1500/60	1,500	60	60	ストール	3	固定	固定	チップ	95
スウェーデン	Vattenfall AB	Nordic 1000	1,000	58	53	ストール	2	可変	ティータ	チップ	95
デンマーク	Vestas Wind Systems A/S	V63-1.5MW	1,500	60	60	ピッチ	3	可変	固定	フルスパン	96
イ タ リ ア	WEST Spa	Gamma 60	1,500	66	60	ヨー	2	可変	ティータ	—	94
スウェーデン	Flygtekniska Fors- öksanstalten (FFA)	Näsudden II	3,000	78	80	ピッチ	2	固定	固定	フルスパン	94
ド イ ツ	Deutsches Windenergie- institut (DEWI)	Aeolus II	3,000	92	80	ピッチ	2	可変	固定	フルスパン	93
イ ギ リ ス	Wind Energy Group Ltd	WEB MS4	600	40	41	アクティブ ストール	3	固定	固定	フルスパン	97

出所：http://www.afm.dtu.dk

社製の順となっている。平均出力はボーナス社製が1,000kW、ラガウェイ社製が750kWで新鋭機種で登場したのに対し、その他は平均350kW程度で台数の割には総出力は小さい。

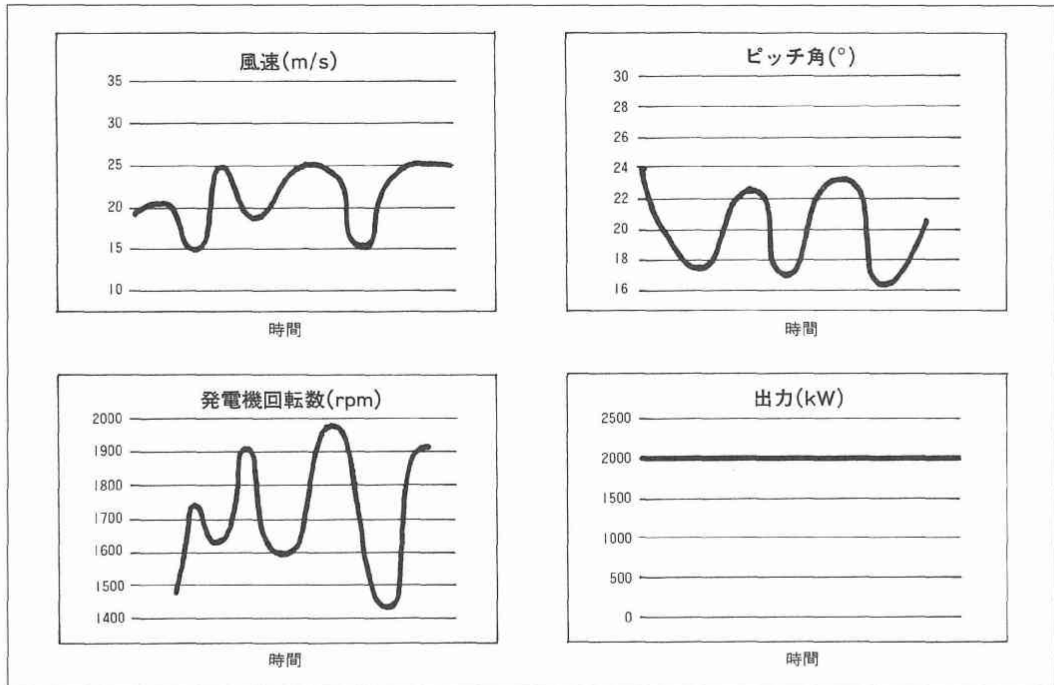
2.3 風力発電技術の動向

ヨーロッパでは1980年代から既にメガワット級風力タービンの構想があり、EU(欧州連合)支援のもとで、WEGA(大型風力タービンの科学的評価研究)プロジェクトが実施された。ここではヨーロッパのタービンメーカ12社(表2)により、プロトタイプ機の設計・品質保証・実測データ等の評価が行われ、種々の新技術が開発された。中でも、直接駆動(ギアレス)風力タービンは、極めて重要な技術革新であった。このうち、最大機種である3MW機は、1983年プロト機の試験の後、1988年第2世代として開発された。直径80mのタービン(NäsuddenII, AeolusII)は3年間運転され、利用率が高くメンテナンスの少ないこ

と等優れた結果が得られた。しかし、開発担当のクベルナー社は商用機としては経済性に問題あり、として実用化していない。これらの研究開発成果が現在の主流を占めるMW機の原点になっており、そのまま商品化されたものも多い。

個々の風力発電技術の比較検討、評価等は別の機会に譲るが、特筆すべきは、1997年、風力タービンが中型500～750kW級から一挙に大型1～1.5MW級に飛躍したことで、このことはヨーロッパ、特にデンマークにおける洋上風力発電の実現スケジュールと一致して、絶妙なタイミングであった。中型500～750kW級タービンは、ほぼ1990年代全体にわたって実績を積み、最も信頼性・経済性の高い機種として熟成したと言われている。そのため、多くのMW機は中型機の技術をほとんどそのまま踏襲している。

前項で、風力タービンの出力が数年ごとに倍増していったことを述べたが、実は、経済



出所：Vestas Wind Systems社 資料

図7 出力制御の実測例（可変速ロータと可変速ピッチ・ブレードの組合せ）

性の観点から、風力発電はMW機であるべきとの考え方が当初からあった。1980年頃、米国、西ドイツでMW級風力タービンの開発が試みられたが、いずれも技術的には失敗で運転時間は短く総発電量もわずかであった。これらの結果から、風力タービンの開発は、十分に経験を積んだ上でステップ・バイ・ステップに進められるべき、との反省の上に立ったものである。同様のことは、タービンの空力設計についても言えることで、当初は航空工学の延長線上で容易に製作できると考えられ、実行された。しかし、航空機では避けられる空気力学上のストール（剥離）の問題が、風力タービンにおいては取組むべき本質的な課題であることが明らかになり、デンマークのリソ研究所等で基礎技術研究プロジェクトが設定された。

近年の風力発電システムにおいては、系統連系性および電力の品質向上に関する技術進歩も著しい。可変速ロータとブレード・ピッチ（またはアクティブ・ストール）制御の組合わせによる出力（変動抑制）制御、同期発電機とインバータ（AC-DC-AC）の導入による周波数（変動抑制）制御により、系統におよぼす影響を極力抑える等、電力の品質に配慮されるようになった。図7は前者による系統連系時の出力変動の抑制例で、メーカーごとに種々の方式が開発され、最近は著しく進歩している。発電機は誘導型が引き続き採用されているものが多いが、二重巻線型誘導機、可変スリップの採用等により可変速範囲が拡大され、従来は定格回転数の10%程度であった調整回転数が40%程度まで拡大されたものもある。直接駆動（ギアレス）型多極発電機

は軽量で低騒音の特徴があるが、制御性の面で、全回転数範囲にわたる可変速が可能であり、この方向に向かうとの予測もある。また、コンピュータ制御により、突入電流・微小電圧変動の防止・抑制、深夜出力の低減等プログラム運転も可能になってきた。ヨーロッパでは電力会社により数百～1,000MWの超大型の洋上ウィンドファームが多数計画されており、系統連系に関する研究は今後ますます重要視され技術進歩するものと考えられるが、日本の環境状況に見合う技術評価が必要である。

3. 洋上風力発電について

洋上風力発電は、従来、海底ケーブル敷設、海底基礎等が必要なため高コストであり、経済的に成立しないとされてきたが、最近のMW機の出現と海底基礎建設費の低減技術の開発により、洋上発電は実用化の段階に達したと言われる。2000年秋、デンマークとイギリスで商用デモプラント第1号機が完成する。

3.1 洋上発電の特徴

洋上風力発電は次の利点がある。

- ① 沿岸域の陸上平地と比べて、風況が強勢である。

デンマークのヴィンデ・ビーでの実証実験では、陸上データを基にした風況予測を超え、出力は陸上の50%増となる場合もあった。

- ② 機材の輸送・設置、インフラ等の寸法制限がなくなり、超大型高性能タービンを採用できる。

陸上では2～2.5MWが限界と言われているが、洋上では5MW機の開発が進められ

ている。更なる大型化の可能性もありうる。

- ③ 乱流強度が低く、高さ方向での風速変化が小さい。

機器の故障が少なく、タービンの寿命を長くできる。また、タワーを低くできるので、建設コストを低減できる。

- ④ 騒音等、環境保護面での制限が陸上より少ない。

これにより、タービンの周速・翼負荷率等の空力設計条件が緩和できるので、高速・高性能タービンを製作できる。

- ⑤ 山岳、僻地等での建設と比較して、道路建設等が不要であり、関連建設コストがかからない。

反面、次の要解決課題がある。

- ① 海洋での耐候性技術、海底基礎設置等の洋上建設に新規技術が必要となる。

- ② 運転管理、保守管理等を全て遠隔で行わなければならない、極めて高い信頼性が必要である。

すなわち、洋上風力発電は期待し得る市場であるが、広汎な技術開発が必要である。

3.2 洋上風力発電の研究開発動向

ヨーロッパでは、1980年代に既に洋上風力発電の研究に着手しており、かなり初期から洋上に進出する意図があったように思われる。洋上風力発電の実証プラントがこれまでに、デンマーク、オランダおよびスウェーデンの各2ヶ所に建設され、洋上建設技術、発電性能等に関する研究・試験が行われた（表3、図8）。

その結果、

- メガワット級大型風車の実用化
- 基礎設置技術の進歩による洋上建設コストの低減

表 3 洋上風力発電における実証プラントと計画プロジェクトの経済性評価

国 名	場 所	容量 MW	タービン形式	設置時期	基礎形式	水深 m	風速 m/s	年出力 GWH	建設コスト 億円	発電コスト 指数*
スウェーデン	Nogersund	0.2	Wind World 1×220kW	1990	モノパイル	—	—	—	—	—
デンマーク	Vindeby	4.95	Bonus 11×450kW	1991	コンクリート ケーソン	2.5~5	7.9	11.73	10.8	3.7
オランダ	Lely	2	Nedwind 4×500kW	1994	モノパイル	5~10	—	3.5	4.71	5.4
デンマーク	Tunoe Knob	5	Vestas 10×500kW	1995	コンクリート ケーソン	3.1~ 4.7	7.4	12.7	10.8	3.4
オランダ	Dronten	17	Nordtank 28×600kW	1997	—	1~2	—	—	—	—
スウェーデン	Bockstigen	2.75	Wind World 5×550kW	1997	モノパイル	5.5~ 6.5	—	—	32.2	—
デンマーク	Middel Grunden	40	20×2MW	2000.8 完成予定	スチール	4~5	—	—	—	—
イギリス	Scroby	3.75	25×1.5MW	計画中	—	10.2	8.2	98	60.6	2.5
オランダ	Ijmuiden	100	100×1MW	計画中	—	—	—	275	234	3.4
デンマーク	Laeso	600	400×1.5MW	計画中	—	—	—	2,028	971	1.9

* 経済性評価の指標として、建設費(円)/設備寿命(25年)×年間出力(kWh)の比率を求めたもので、実証プラントとメガワット機を使用する計画プロジェクトとの発電コストの相対比較を見るための指数である。

出所：EC資料⁵⁾より作成



出所：Vestas Wind Systems A/S 資料

図 8 洋上風力発電実証プラント(デンマーク・Tunoe Knob)

により、水深15mまでの浅水深沿岸域に限れば、洋上風力発電も陸上風力発電に十分競争可能になったと結論している。

(1) 超大型風力タービンの開発

風力タービン出力は過去10年間に急速に増

大したが、陸上では製造コストや機器輸送上の制限等から2~2.5MWくらいが限界と言われている。一方、洋上風力発電用は、後述するように、基礎の強度は氷対策、波力等により構造が限定されるので、大出力のもののほど海底基礎建設コストの割合が小さく、風力

表 4 洋上風力タービン用各種基礎

基礎の形式	サイズ(直径) m	重 量 ton	設置手順
重力基礎	12~15	500~1,000	1. 整地 2. 位置決め 3. バラスト充填
モノパイル	3~3.5	175	1. パイル位置決め 2. 打込み
マルチパイル	0.9	125	1. パイル位置決め 2. 打込み
バケット (ケーソン)	4~5	100	1. 位置決め 2. 注入

タービンは大きいほど有利である。

2000年秋、運転開始予定のデンマークの洋上デモプラントでは、単基容量 2 MW機が設置されるが、ドイツでは2005年を目指して 5 MW級の風力タービンの開発を開始した。

(2) 洋上風力タービン用基礎の建設技術

洋上風力タービン用基礎は、水深、地質等により種々提案されている(表 4)。以下は、デンマーク風力タービン協会ホームページから技術開発状況を紹介する。

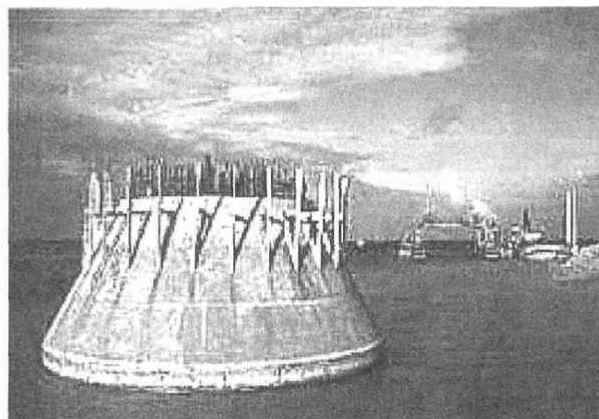
(a) 従来の基礎

① 重量基礎 (Gravity Foundation)=コンクリートケーソン

本工法は、在来の橋梁の建設技術と同様のもので、鉄鋼構造とコンクリートからなり、工場で製作し設置地点まで曳航し、現地で所要重量までケーソンに砂利を満たして沈下させる。デンマークのヴィンデ・ビーおよびチュノ・クノブ洋上ウィンドファームはこの形式で、水深2.5~7.5mの浅海に設置した。ケーソンの中央部に風力タービンのタワーが取り付けられる。図 9 に見られるように、ケーソンの外形は、厳冬期の氷対策のためにアイスブレイカとして機能するよう円錐型になっている。平均重量は1,050ton。

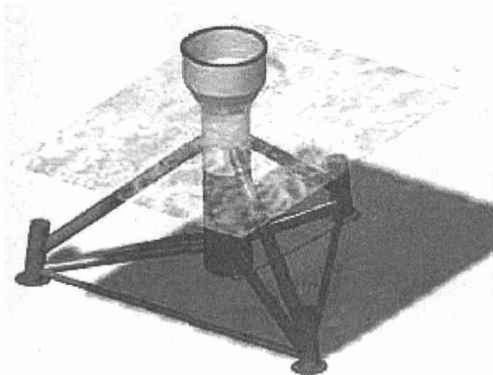
② モノパイル (Monopile Foundation)

スウェーデン・ゴトランド島南部のボック・スティゲン実証ウィンドファーム(総出力2.75MW、5基×550kW)では、直径3.5~4.5mの鋼製パイルを海底地盤下に約10m打込み、パイルの頂部にタービンをボルト固着している。



出所: <http://www.windpower.dk>¹⁾

図 9 洋上風力発電タービン用重力基礎 (コンクリートケーソン)



出所： <http://www.windpower.dk>¹⁾

図10 洋上風力発電タービン用重力基礎（トリポッド型）

モノパイルは、構造が単純で一般に好ましいと考えられているが、実際上は、パイル径の限界から実用範囲は広くなく、浅水深でのみ有効と考える。

(b) 基礎に関する技術開発

洋上風力発電用基礎として、水深10m以上で従来のコンクリート製重量ケーソンを使用すると、重量が致命的に増加し、高コストで経済性が成立たない。このため、デンマークでは以下の研究開発がなされた。

① 重力基礎＝スチール構造

コンクリートケーソンに替え、スチールのみの構造物とする。本工法はオフショア石油掘削リグで採用されており、陰極防蝕装置により通常50年耐用となっている。海底に平らな鋼製箱を設置し円筒状スチールパイプをとりつけるもので、1.5MW風車、水深10mの場合、基礎のサイズは14m×14mである。基礎の完成重量は約1,000ton必要であるが、鋼構造自体は約80～100ton程度である。軽量であるためバージで運び、軽量クレーンで作業することができ、多くの基

礎を短時間で設置することが可能である。

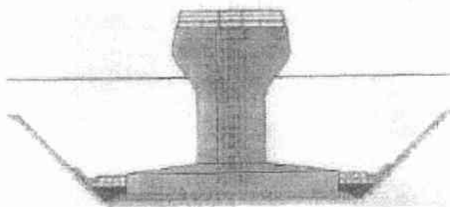
本技術によれば、水深15m以下で経済性があると言われる。

② トリポッド基礎（Tripod Foundation）

トリポッドもオフショア石油生産設備での経験に基づくもので、デンマークで研究・提案された軽量かつ低コストな三脚スチールジャケットである（図10）。タービントワー下のスチールパイルからスチール製フレームが広がり、タワーからくる荷重を3本のスチールパイルに伝える。パイルは、比較的小型で直径が0.9m、深さは地質等によって異なるが10～20m海底に打込まれ固定される。このトリポッドは、水深がやや大きい10～20m以上の場合に適していると言われるが、パイル径が小さくてすむためモノパイルよりかなり有利であり、さらに水深が大きくなっても基本的にはこの方式がベースになると思われる。

③ 洋上実証機用基礎

コペンハーゲン沿岸沖に建設中の実証ウインドファーム用基礎は上記の新コンセプトも検討したが、最終的には図11に示すよ



a) コンセプト図

出所：文献 6



b) ドライドックで製作中の状況

出所：Windpower monthly vol.16-7, July 2000

図11 洋上実証機用基礎のコンセプトおよび製造状況

うなスチール・コンクリート・ハイブリッド構造重力式基礎が採用された。これは水深が3～5mと浅く、波高も3.8m程度しかなく、さらには氷結の心配もないため、上記の方式を考慮するまでもなく、価格的にも有利であったためである。基礎の中央部はスチールパイプで、バラストを詰める。底部はコンクリート17mスラブである。

④ 浮体式

さらに水深が大きい場合、浮体にタービンを設置し、アンカーで係留する方式も提案されているが、現在のところ、実用的なものは見当たらない。

わが国で洋上風力発電を実施する場合、前項までの技術により浅水深での実績を積んだ上で、わが国の沿岸の地形、地質を考慮し、経済性の成立つ工法の研究開発が必要である。日本沿岸は北海等と異なり、海底傾斜が比較的急勾配であり、地質も堆積層が多いので、わが国独自の技術開発が必要であり、早期に浮体式の研究に着手する必要があると考える。

3.3 ヨーロッパにおける洋上風力発電計画

北ヨーロッパ諸国は一斉に洋上風力発電に

着手している。表5にヨーロッパで実施に移しつつある洋上風力発電プロジェクトの計画リストを示す。

(1) デンマーク

1997年、デンマークの電力会社とエネルギー庁がデンマーク周辺の洋上風力エネルギー計画 Action Plan for Energy, Energy 21をとりまとめた。2027年までに4,000MWの洋上風力発電を設置し、陸上に設置される1,500MW風力発電と併せて、計5,500MWの増設を行うもの。デンマークの風力エネルギーは全電力量の50%以上、スウェーデンの風力計画を合わせると、将来、スカンディナビアの電力系の20%以上を占めることになる。

第1号プロジェクトは40MW洋上パークで、場所はコペンハーゲン沖合のミデルグルンデン、2000年9月運転開始の予定である。このほか、2008年までに送電開始のものが7プロジェクト、容量合計で828MWが確定している。

(2) その他のヨーロッパ諸国の洋上風力発電への取り組み

イギリスではNFFO（非化石燃料購入義

表5 洋上風力発電プロジェクトの計画リスト

国	プロジェクト名	容量 (MW)	タービン	開発者名	状 況	送電開始年
デンマーク	Middelgrundten	40	20*2 MW Bonus	共同/電力	2000.9完成予定	2000
	Grena	18	9*2 MW NEG Micon	Jysk Vindkraft	2001完成予定	2001
	Horns Reef demo	150		Elsam	10月契約予定	2002
	Rødsand	150		Elkraft	12月契約予定	2002
	Lasø demo	150		Elsam	計画中	2003
	Omø demo	150		Elkraft	計画中	2005
	Gedser demo	150		Elkraft	計画中	2008
	Samso	15~20		共同	計画中	
イギリス	Blyth	4	2*2 MW Vestas	Shell /Border Wind /Power Gen /Nuon UK	2000.8スタート予定	2000
スウェーデン	Utgrunden demo	10	7*1.5 MW Tacke	Enron/Tacke	2000.6完成予定	2000
	Örestad, Öresund	72	48*1.5 MW Enercon	Eurowind	1999-2001	2001
	Ytre Stengaard	10	5*2 MW NEG Micon	Vinkompaniet /NEG	2000秋完成予定	2000
	Klasården	42	21*21 MW NEG Micon	Vinkompaniet /Sea West	2001完成予定	2001
オランダ	Egmond demo	100	(50*2 MW)	(NUON/ENW, Shell, Siemens)	政府承認済 今夏議会審議	(2003)
ドイツ	Helgoland	200 ~250	(40*5 MW)	Winkra Energie	計画中	2006
	Willamshavn	17	11*1.5 MW Enercon	Winkra Energie	計画中	
	Bay of Lübeck	100			計画中	2002
ベルギー		100 ~400	(50*2 MW)	Electrabel /C-Power/他	計画中	2004

出所：Wind Power Monthly 2000.5 他

務) 制度の下で、2つの洋上風力発電計画が承認されたが、その第1号プロジェクトとしてブライス・オフショア・ウィンド社がノースアンバーランド沖に2MW機2基で容量4MWの建設を進めている。EUの出資によるもので、2000年8月運転開始の予定である。この後、1MW機30基による容量30MWのシステム（ガントフリート、エセックス）と1.5MW機25基からなる37.5MWプラント（スクロピィ・サンズ、ノーフォーク）等の大型プロジェクトが控えているが、ステップ・バイ・ステップとの政府方針により、まずは小容量の実証機からスタートする、としたものである。

スウェーデンの洋上風力発電第1号は、本土とエーランド島の間にあるユトグルンデ

ンに設置予定の9.9MWウィンドファームで、2000年夏には完成の予定であったが、諸事情で1年程度遅れるようである。政府により南西部沿岸10サイトで750MWの洋上プラントが承認されており、2005年頃には達成できると予測している。

ドイツの開発会社ウィンクラ・エナジィ社は、2004年、ヘルゴラント東に500MW洋上ウィンドファームを建設する（当面は200MW）。ドイツのタービンメーカーと単基容量4~5MW超大形風力タービンの共同開発契約を締結済みであり、配電会社プロセイ・エレクトラ・ネット社にブルンスビュテル原子力発電所の高圧系統に連系する申請を提出した段階にある。

オランダ政府も、エグモント・アーン・ゼ

一の小村ノード・ホーランドの沿岸沖 8 Km に第 1 号北海風力発電デモプロジェクト建設計画 (100MW) を承認した。引き続き、 $2 \times 100\text{MW}$ 、 $4 \times 1,000\text{MW}$ の商用プロジェクト計画がある。オランダでは、2005年までに陸上風力1,500MW、2020年までに洋上風力1,300MW、合計2,800MWの風力発電設置計画をたてている。

3.4 洋上風力発電の経済性

デンマーク風力協会は、洋上風力発電の電力平均単価を、割引率 5%，耐用年数25年、運転および保守コスト1.1円/kWhの前提のもとに、4.5円/kWhと見積っている。日本では状況が異なるので、このまま受け入れることはできないが、参考になる数値である。

なお、経済性比較として、EWEC（ヨーロッパ風力協会）が実証プラントでの実績をもとに経済性を比較評価したものを前掲の表 3 に示す。

4. 日本における風力発電開発上の課題

風力発電は、基本的に電力事業として成立するものでなければならない。従って、第 1 に、経済的に成立することが前提である。MW機により、風力発電タービン単体価格は既に 8～10万円/kWになっている。関連設備の合理化が重要であることは明らかであるが、集合化設備、すなわちウィンドファームの建設が風力発電の原則であると考えている。第 2 に、わが国では、風力発電の系統連系に関する技術的知見が不足している。竜飛ウィンドパークを持つ東北電力とNEDOプロジェクトを実施した沖縄電力に研究実績がある程

度であり、従来は 1～数台の風力タービンが系統の末端、しかも低圧系統に接続されてきた。大規模ウィンドファームが建設されるためには、電源システム全体を考慮する必要がある。特に、わが国では電源供給力(kW価値)が問われており、風力発電はこの角度からの技術開発が重要と考える。

4.1 NEDOにおいて実施中の風力発電の研究

① 離島における風力発電システムの開発

国内の中小の離島は、電力供給を高コストの重油ディーゼル発電に依存しているが、潜在的に風力資源に恵まれている。それゆえ、離島への風力発電の導入普及を促進するため、離島特有の立地・自然条件に適合した風力発電システムの技術開発を実施中である。

② 風況予測シミュレーション

風力発電サイトの最適な立地地点選定のため、わが国の複雑な風況に適應できる風況予測モデル（シミュレータ）を開発中である。

③ 系統連携技術に関する研究

風力発電は出力変動が大きいため系統に電圧変動と周波数変動を起こす可能性がある。導入規模には限界があると言われていいる。電圧変化は、配電系統の末端等電氣的に弱い系統に接続する場合に問題となる。周波数変動は系統全体の負荷追従能力に依存する。

また、風力発電は、電源力すなわち夏季電力需要のピーク時に、90%確率で定常的に期待できる発電量が非常に小さく、電源の供給能力として期待できない、すなわちキロワット価値がないとされている。

これらの課題に対し、NEDOでは平成12年度の事業として、

○ 風力発電電力系統安定化等調査

○ 蓄電池併設風力発電導入可能性調査を実施し、風力発電出力の安定化方策を確立するとしている。

「風力発電電力系統安定化等調査」では、風況調査を実施し、複数の風力発電による、電圧および周波数の系統影響をシミュレーションにより検討し、マクロな出力変動解消方策を検討する。また、本調査により風力発電導入量算定の基礎資料が得られる。

「蓄電池併設風力発電導入可能性調査」では、複数地点の風力発電システムに新型電池等を併設したシステムを構築し、このシステムを実際の風況条件下で運転することによって、出力の安定化効果を実証するとともに、コスト評価や運用面での検討を行う。これにより、蓄電池併設風力発電システムの有効性を実証し、出力変動を局所的に解消するための方策を調査する。

当所は、上記プロジェクトのうち、「蓄電池併設風力発電導入可能性調査」の受託研究を実施する。

4.2 洋上風力発電の課題

風力発電は、わが国でようやく定着し始めた段階にあり、洋上風力発電は次世代技術といえる。しかし、ヨーロッパの風力発電は既に洋上で展開し始めており、必然の方向であるとも考えられる。ヨーロッパでは10年以上も前に、既に洋上コンセプトが戦略的に重要な位置付けをされ、技術開発もその線上で実施されてきた。わが国も、現時点で将来を見据えた風力発電の開発計画を設定する必要が

あると考える。

① 日本沿岸地域の風況データの採取

日本の沿岸地域の風況データは、平成11年度NEDOプロジェクトでとりまとめられた。風力エネルギーの賦存量評価等に貴重なデータである。しかし、風力発電用としてエネルギー評価の立場で実測されたデータはないので、実際に立地点に即したタービン設計をする際には未知のファクタが多く、今後、この観点から十分なデータ採取が必要である。

② 日本沿岸地域の風況に適したタービン設計技術の研究

日本沿岸地域の風況は、北ヨーロッパとは大幅に異なっていると予想される。その場合、ヨーロッパで開発された超大形タービンとは空力設計上の最適点がずれることになる。このことは陸上でも言えることではあるが、洋上では超大形であるだけにこの差が重要になると考えられる。この場合、空力性能のみでなく、騒音、ファウリング（汚れ）、台風時・通常時の強度等日本で固有の検討が必要となる。

③ 設置技術

ヨーロッパ（北海）では水深5～10m程度の浅い地域で洋上風力発電の適地が多いが、日本では、さらに水深の大きい地点での技術検討を進めておくべきと考える。筆者は、最終的には沖合での浮体式が適切であると想定しているが、経済性の枠内で成立することが絶対条件であり、そのための新技術、新コンセプトが必要であると考えている。ただし、開発手順としては、当初は浅海に設置し、経験を積んでから沖合にでるべきであろう。

なお、洋上風力発電プロジェクトには海洋設備の技術が不可欠であり、その導入が必要である。国内には海底石油生産設備関連のエンジニアリングに諸々のノウハウが蓄積されており、洋上風力発電への技術移転を望みたい。

5. あとがき

洋上風力発電は、デンマークが実証第1号機を2000年秋に運転開始するのを皮切りに、北ヨーロッパで一斉に実用機の設置が始められる。恐らく、5年後には現在の想像を超える発展を遂げていると思われる。わが国でも風力発電が急速に発展しつつあるが、是非とも、洋上風力発電の研究開発プロジェクトに早期に着手できることを祈る。

欧米の風力発電技術は、過去20年間で地道な経験を積み上げることにより長足の進歩を遂げて、極めて高い技術水準に達している。従って、わが国で風力発電の技術開発を推進する上では、欧米の研究機関等と国際協力するのが最も効率的であり、重要であると考えられる。洋上風力発電技術としては、わが国特有の課題も多く、従って、欧米と情報交換しつつ、国内の研究協力体制を強化し、諸課題を解決する努力を継続する必要がある。その場合、決して、ヨーロッパの研究開発と重複したり、後追いにならないよう、効率的に推進すれば、わが国にも風力発電事業が本格的に育つのではなかろうか。

当所は自主研究として「沿岸地域における再生可能エネルギーの利用技術に関する研究開発」を実施している。東京大学吉識晴夫教授をリーダーとする「研究委員会」を設置し、

風力発電分野のほか、広い技術分野から第一線の研究者の参加を得ており、わが国の再生可能エネルギーに関する技術・市場に貢献することを目標としている。本研究委員会の研究成果は、改めて別の機会に報告する。従って、本稿は当所が単独に調査したものであり、文責は全て筆者にある。

引用文献

1. デンマーク風力タービン協会ホームページ
<http://www.windpower.dk>
2. 英国風力協会ホームページ
<http://www.bwea.com>
3. アメリカ風力協会ホームページ
<http://awea.org>
4. Wind Power monthly, WindStats 等
5. European Commission; Directorate-General for Energy, Wind Energy-The Fact
6. Watson, G.; OWEN workshop on Structure and Foundations Design of Offshore Wind Installations, Final Report, Mar.1, 2000
7. Kuhn, M., Bierbooms, W.; Structural and Economic Optimization of Bottom-Mounted Off-shore Wind Energy Converters (Opti-OWECS)
8. Wizellus, T.; Swedish wind energy goes offshore, CADDET Renewable Energy Newsletter: Oct.1999
9. 関和市: 「風力発電の内外動向と導入上の課題」, エネルギー総合工学研究所 第173回月例研究会
10. 岡澤公夫: 「海外の風力発電現況と展望」 エネルギーレビュー 2000.6p.11~15
11. NEDO; 平成10年度調査報告書「日本における洋上風力発電の導入可能性調査」 NEDO-NP-9801
12. NEDO; 海外レポート 819 [特集I] 洋上風力
13. 第21回風力エネルギー利用シンポジウム 1999.11.19

〔調査研究報告〕

負荷集中制御システム実証試験 の成果について

— 酷暑日の家庭用電力ピークカットを目指して —

田 中 賢 示 ((財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員)



1. はじめに

冷房需要の増加及びサービス産業の拡大等に伴い、夏季における最大電力は年々先鋭化し、設備稼働率（年負荷率）は低下傾向をたどっている。電気は貯蔵することができないため、電力需要のピークに合わせて設備を建設する必要があるが、環境保全及び電源立地長期化等の問題から、発電所の新規建設は困難な状況にある。このため、電力負荷平準化対策の推進が国家的課題となっている。

一方、わが国は70年代の2度にわたる石油危機を契機に、省エネルギー対策を強力に進め、産業部門を中心にエネルギー消費効率の大幅な改善を図った。しかし、近年のエネルギー価格の低位安定を背景として、快適性や利便性を追求するライフスタイルの定着等の影響で、民生用分野におけるエネルギー消費は高い伸びを示しており、電力需要においても年負荷率低下の大きな要因となっている。

このような状況から、通産省・資源エネルギー庁は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を通じて、家庭用需要家のエアコンを制御する「負荷集中制御システム実証試験」に着手、需要家の反応と最大電力の抑制効果を検証するとともに、DSM技術検

討委員会（委員長＝塚本修巳・横浜国立大学工学部教授）を設置して、試験内容の検討及び結果に対する評価を行うこととした。

2. 負荷集中制御システムの開発経緯

(1) DSMとは

電力負荷平準化に関する言葉としてよく目にするのが、「デマンドサイド・マネージメント（Demand-Side Management：DSM）」であろう。DSMとは、電力会社側から需要家側に積極的に働きかけて、電気事業にとっても社会全体にとっても望ましい需要（負荷のパターン及び大きさ、品質等）に誘導する計画を立案、実施することをいう。DSMに含まれる電気事業の活動には、ボトムアップやピークシフトといったロードマネージメントの他に、新規需要の拡大や戦略的省エネルギーを目的とする諸方策の立案、評価及び実行が含まれる。欧米を始めとする先進諸国では、高効率機器に対するリベートやラベリング表示による省エネルギー、オフピーク時間帯料金の設定によるピークシフトが挙げられる。なお、最近の傾向としては、ビルや事務所等の省エネに関するサービスを包括的に提供するESCO（エネルギー・サービス・カンパ

ニ一) 事業の成長や、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーによって発電された「グリーン電力」を、DSMのメニューとして需要家に提供するケースが見られる。

(2) フェーズⅠ

負荷集中制御システム開発の歴史は古く、昭和61年まで遡る。当時はまだ、DSMという言葉自体の意味が理解されることはほとんどなかった。鹿児島市内の住宅及び商工業地域にて実施されたフェーズⅠは、家庭用及び業務用エアコンの制御に対する需要家の反応と最大電力抑制効果を検証することを目的として、平成5年まで行われた。その結果、家庭用に関しては、室温の上昇を招かず、制御キャンセルが少ないという点で、12分ON・3分OFFによるパターンのエアコン制御が最も需要家に受け入れられやすく、同時に1～2%の最大電力抑制につながることが確認された。ただ、試験に参加した需要家からは経済的なメリットを求める声が多く、適切な料金制度下におけるエアコン制御のあり方という課題が残った。

(3) フェーズⅡ

「料金メリットと組み合わせることで、更なる最大電力の抑制を促進できないか」。そんな期待を抱いて、負荷集中制御システムは次のステップへ進むこととなった。一方、それに伴って、需要家への情報提供をどのように行うかという問題が発生した。そこで、エネ庁及びNEDOは、平成2年、フェーズⅠと並行して需要家情報ネットワークシステムに関する要素研究(フェーズⅡ)を電力中央研究所に要請、多機能電力計や需要家宅内表示器

等の開発を行った。かくして、平成6年、双方向通信による負荷集中制御システム実証試験(フェーズⅢ)が実施されることとなった。

3. 負荷集中制御システム実証試験 (フェーズⅢ)

(1) 概 要

負荷集中制御システム実証試験(フェーズⅢ)は、電力負荷平準化と高度情報化社会を指向するための双方向通信方式を採用、制御センター(営業所)に設置する電算機や伝送装置及び需要家宅に設置する需要家端末(HTU)、通信機能付電子メーター(WHM)、宅内表示器、エアコン制御ユニット等により構成される。制御センターと需要家宅を結ぶ伝送路は、光ケーブルと同軸ケーブルを用いたハイブリッドシステムで形成され、64kbsの通信速度により情報通信が行われる(図1参照)。また、エアコン制御については、需要家のエアコンを改造することなく制御できる方法として、リモコンとエアコンの受光部との間にエアコン制御ユニットを設け、制御センターから無線で需要家のエアコンの設定温度を変化させることで室外機の入/切を行い、結果を伝送路の双方向通信を利用して確認することとした。(表1参照)

(2) 試験期間及び試験場所

実証試験は、最大電力が突出している7～9月の平日を対象に、平成6～11年度にかけて行われた。なお、平成6年度はシステム設計と試験設備の構築を手がけ、平成7年度からデータの収集を開始した。また、試験場所は、九州電力前原営業所の供給エリアであ

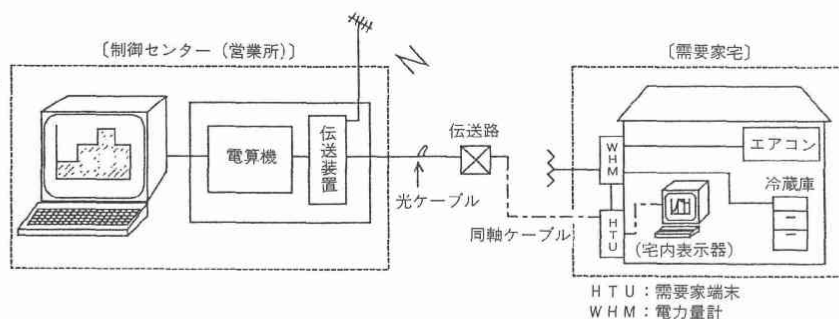


図 1 負荷集中制御システム構成

表 1 負荷集中制御システム実証試験の概要

項 目	内 容
試 験 期 間	平成6年度～平成11年度（6年間）……7月から9月の平日
実 施 場 所	福岡市西区今宿，周船寺地区（九州電力前原営業所管内）
実 施 内 容	低圧電灯契約の需要家を対象 ○間接負荷制御試験 電力会社と需要家間を伝送路で結び，需要家宅に設置した宅内表示器（テレビ）を通して， ・需要家の電気使用状況 ・電気使用工夫アドバイス ・ピーク電力調整に協力した場合の需要家メリット 等の情報を提供することにより，需要家の電気使用がどのように変化するかを検証する。 ○直接負荷制御試験 上記試験と同様に電力会社から情報提供し，需要家自らが電気機器の使い方を工夫するとともに，需要家のエアコンを電力会社から制御し，負荷平準化効果を検証する。 ○ロードサーベイ試験 需要家の電気使用量を毎時間計測する。
実 施 規 模	1,200戸程度 ○間接負荷制御試験…… 400戸程度 ○直接負荷制御試験…… 400戸程度 ○ロードサーベイ試験…… 400戸程度

る福岡市郊外の住宅地域（今宿・周船寺地区）が選定された。

(3) 試験規模及び制御効果の評価

試験場所の低圧電灯契約の需要家の中から約1200戸を抽出して、各々約400戸の3つのグループ（間接負荷制御グループ、直接負荷制御グループ、ロード・サーベイ・グループ）

に分けた。これは同一気象条件下において、負荷制御グループとロード・サーベイ・グループを比較して、制御効果を顕在化するため、ロードカーブの等価性を検証したうえで、1グループの必要戸数を400戸と決定した。さらに、各グループでの比較を行う試験項目については、2つの小グループ（約200戸）に分けて試験を行った。

制御効果は、直接または間接負荷制御グループとロード・サーベイ・グループ間のロードカーブを比較し、需要家1戸当たりの平均電力の差を求めた。なお、需要家の行動形態を把握するために、アンケート調査を実施した（図2参照）。

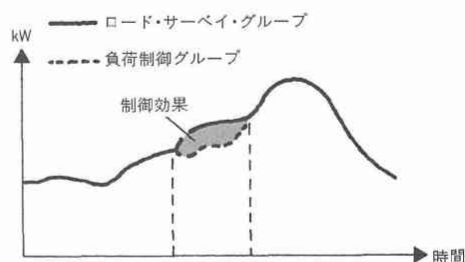


図2 評価手法の概略図

(4) 間接負荷制御及び直接負荷制御

フェーズⅢのポイントは、直接負荷制御の有効性を確認するために、新たに間接負荷制御を導入したことである。間接負荷制御は、「電気の使用方や省エネへの協力等の電力情報を提供したうえで、通常の電気料金よりも高めに設定した試験料金によって、需要家の自主的な電力消費量の低減を促す」もので、それに対して「電力情報及び料金情報の提供に加えて、電力会社から需要家のエアコンを

直接制御して電力消費量を抑制する」のが直接負荷制御である。電力情報及び料金情報は、制御センターから伝送路を経て需要家宅の宅内表示器に送られる。

(5) 試験料金及び協力金

料金による効果を検証するためには、試験料金をどのように設定するかが最大の課題であった。そこで、電力中央研究所の協力を得て限界費用理論を用いたシミュレーションを実施、ピーク時間帯（夏季昼間帯で、電気が最も多く使用される時間）を現行料金の4倍に設定した。なお、これより格差の小さい2倍のグループも設けて、需要家の反応を検証することとした。

また、試験料金の設定に伴い、需要家が電力消費量を抑制した分を還元する方法についてDSM技術検討委員会で検討した結果、「ピーク抑制の度合い」に応じて協力金を支払うこととなった。計算は個々の需要家について、試験期間のピーク時間帯の使用量を前年同月（基礎データ値）と比較し、ピーク抑制量に試験料金（2倍または4倍）と通常料金の差を乗じて算定することとした。図3に需要家へ提供した電力情報内容例を示す。

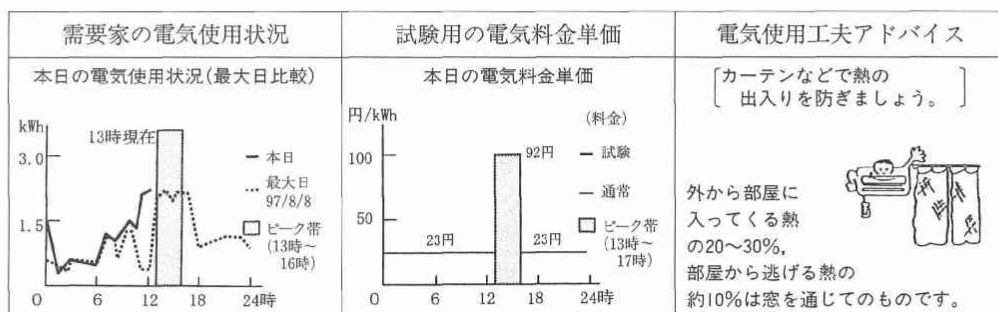


図3 需要家へ提供した電力情報内容例

4. 実証試験の結果

(1) 気象状況及び最大電力への影響

実際に試験データを収集した平成8～11年度では、8年と10年度が猛暑で9年と11年度が冷夏傾向を示した。なお、夏季の最高気温が1℃上昇すると、最大電力は九州全体で50～60万kW程度増加する。

この傾向は、家庭用需要家では、外気温が26～33℃の間で1℃上昇するごとに、1戸当たり平均70Wの電力消費量の増加として現れ、特に30℃以上において負荷制御によるピーク抑制効果が顕著であることがわかった。

(2) 間接負荷制御によるピーク抑制効果

気象状況がピーク抑制効果に及ぼす影響から、ピーク時間帯の最高気温が30℃以上の日を対象として、ロード・サーベイ・グループとのロードカーブを比較、15時断面において1戸当たり平均約80Wのピーク抑制効果が得られた(図4参照)。これを平成8～11年度で比較したところ、各年度とも7年度の基礎データ値よりもピーク時間帯の電力使用量が減

少しており、需要家の間に節電意識が定着していることがうかがえた。

一方、需要家アンケートによると、具体的な節電方法として、「エアコンを使用しなかった」や「エアコンの代わりに扇風機を使用した」「エアコンの設定温度を上げた」等の回答が多く、需要家が自主的に電気使用の工夫を行っていることがわかった(図5参照)。

(3) 直接負荷制御によるピーク抑制効果

間接負荷制御試験と同様に、直接負荷制御グループとロード・サーベイ・グループのロードカーブを比較したところ、1戸当たり平均約30Wのピーク抑制効果が得られた(図6参照)。直接負荷制御の手法として、フェーズIで得られたパターン(12分ON・3分OFF)でエアコンを入/切制御する「ON/OFF制御」と、エアコンの設定温度を一定にして運転する「温度一律制御」の2種類を実施した。その結果、3カ月全体では温度一律制御の方が省エネルギーとなるものの、酷暑日に限ると逆にON/OFF制御の方が優れていることがわかった。

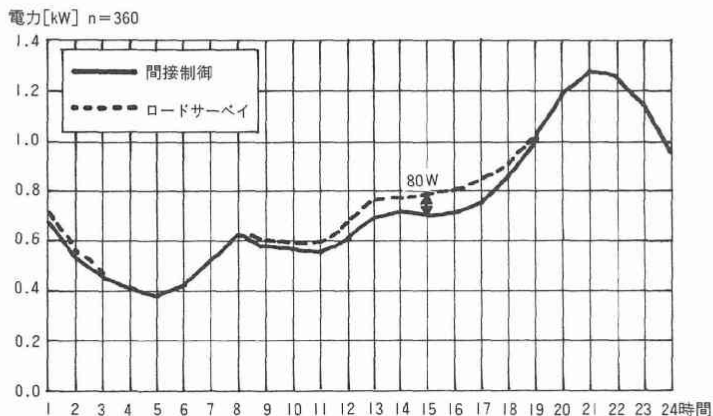


図4 間接負荷制御結果

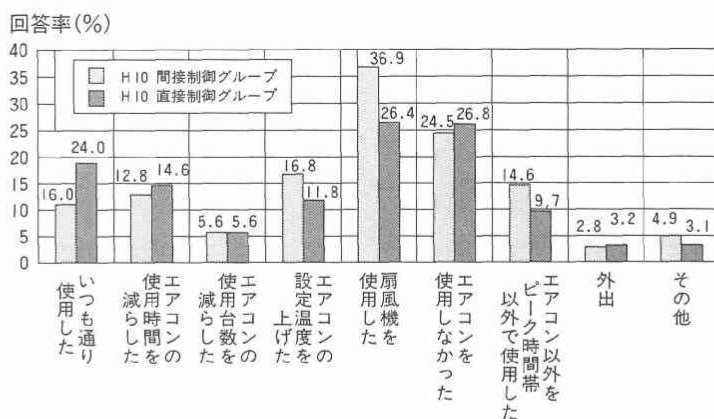


図 5 ピーク時間帯における電気使用の工夫

このことから、酷暑日であるかそうでないかによって、エアコン制御手法を使い分ける方が効果的であることが確認された。

直接負荷制御グループの需要家に対しては、電気使用の工夫状況に加えてエアコン制御の受容性について尋ねた。すると、エアコン制御を「楽に受け入れられた」や「我慢して受け入れられた」と答えた需要家が多数を占め、「我慢できずに制御をキャンセルした」という割合は少数であった（図 7 参照）。

(4) 自主的な電気使用の工夫による影響

間接負荷制御と直接負荷制御の2つの手法の優劣を競うのが実証試験の目的ではないことは前述したとおりである。しかし、当初の予想と異なり、参考とするはずの間接負荷制御の方がピーク抑制効果が大きいという皮肉な結果となった。

この理由を需要家アンケートにて分析したところ、間接負荷制御の需要家は自主的に電気使用の工夫を心がけており、一方、直接負荷制御の需要家はエアコン制御を電力会社に

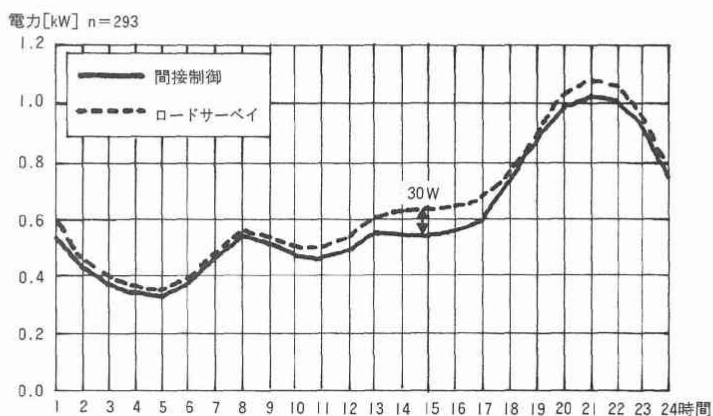


図 6 直接負荷制御結果

回答率(%)

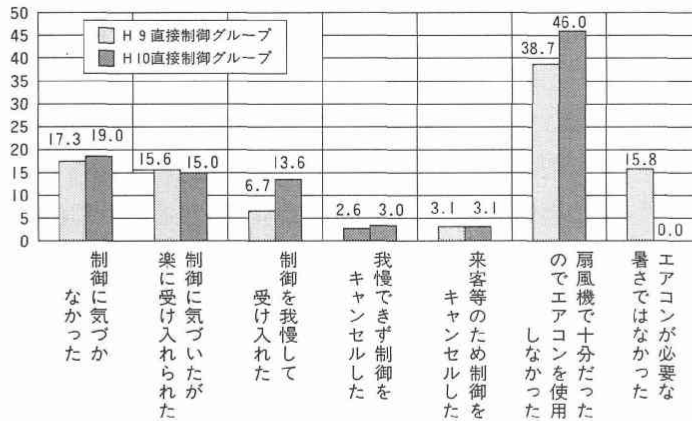


図 7 エアコン制御に対する感想

依存していて、どちらかというと電気使用の工夫に関しては受動的であることがわかった。つまり、稼働していないエアコンと（動いて）制御されているエアコンを比較していたわけで、当然の結果であるといえる。

この対策として、平成11年度に間接負荷制御グループと直接負荷制御グループの需要家の一部を入れ替えて、電気使用の工夫意識が定着していると思われる間接負荷制御グループに対してエアコン制御を実施(新直接)、その代わりに直接負荷制御グループのエアコン制御を中止した(新間接)。すると、間接負荷制御が約50W、直接負荷制御が約80Wという

結果になった。

これは、従来の間接負荷制御グループの需要家が、電力会社からのエアコン制御に依存することなく、継続して自主的に電気使用の工夫に努めたためと思われる（図 8 参照）。

(5) 料金情報の影響

ピーク抑制効果に占める料金情報の影響を調べるため、平成10～11年度の2年間、間接負荷制御グループのうち、一方のグループに対して試験料金の適用を中止したが、顕著なピーク抑制効果の差は見られなかった。

試験開始当初は、試験料金が通常の2倍や

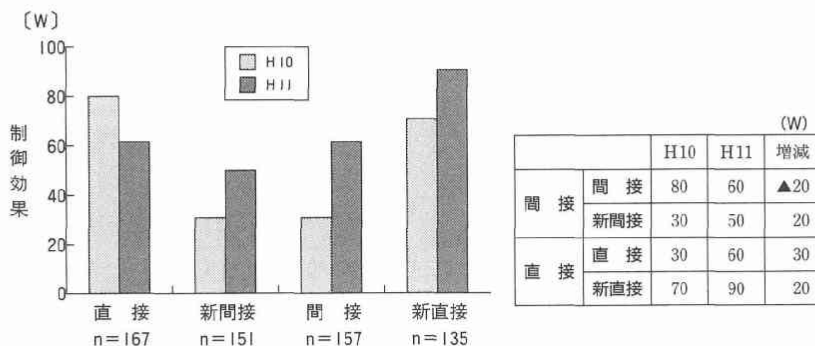


図 8 グループ入替による効果推移

4倍に新しく設定されたことから需要家の注意を集めたが、次第に料金格差を意識しなくなったと思われる。なかには、試験料金が適用されていないことを知っていても、「発電所を新しくつくらなくて済むのなら」と自主的に節電に協力する需要家もあった（図9参照）。

(6) 酷暑日が連続した場合の負荷制御手法

平成10年度は猛暑で、8月6日には九州電

力の最大電力が2年振りに更新した。この前後1週間は気温が30℃を超える酷暑日が連続して発生したため、需要家の電気使用の工夫意識が薄れエアコンの稼働台数が増加、ピーク抑制効果は減少した。

そこで、平成11年度は酷暑日が連続する機会をとらえて、通常とは異なる節電情報の提供を行い、更なる電気使用の工夫を訴えたところ、ピーク抑制効果の減少に歯止めを掛けることができた（図10参照）。

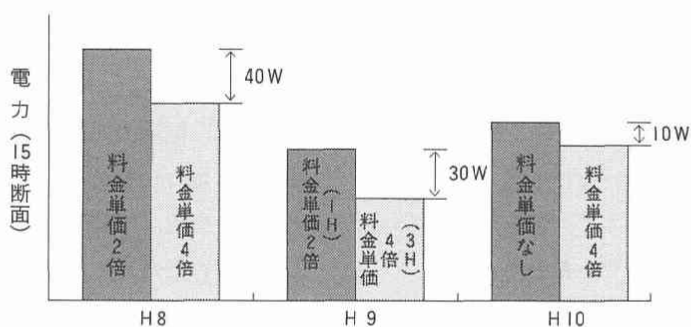


図9 料金情報別使用電力量の推移

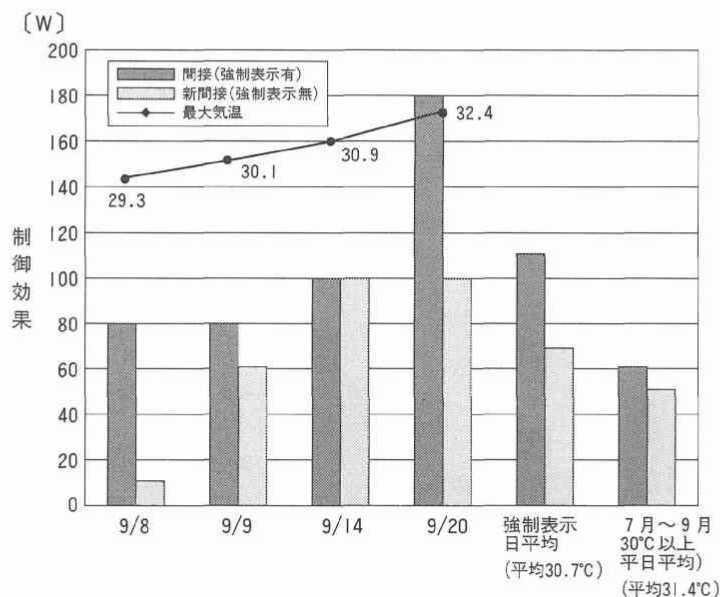


図10 強制表示制御結果

5. 実証試験の評価

(1) 自己評価の仕組み

今回の実証試験の大きな意義は、双方向通信を利用して需要家自身の電気の使い方をリアルタイムに表示しながら、電力消費量の削減を求めたことである。

その結果、自主的な節電意識が外部からのエアコン制御に勝る、という現象を引き起こしたと考えられる。誰でも経験があるだろうが、良くできた時の試験の答案用紙は、早く採点して返してもらうのが待ち遠しく感じたはずである。実際に、宅内表示器に表示される様々の電力情報のなかで、需要家が最も多く見ていたのは「本日の電気使用状況」であることが、アンケートの結果からわかった。つまり、需要家が自分の目で電力使用量を確かめることで、節電の度合いを評価できる『仕組み』を作り、その有効性を示したのである。

(2) 効果的な負荷制御手法

最高気温が30℃を越すような暑い日が続くと、建物の内部に熱が蓄えられるとともに、需要家自身が暑さに負けてエアコンを使用し始めるため、ピーク抑制効果は減少する。日頃は何とか持ちこたえていても、本当に暑くなれば節電意識も何処かへ吹っ飛んでいってしまう。

従って、日頃から需要家に対して電力負荷平準化への理解と自主的な電気使用の工夫意識の定着を図り、最高気温が30℃を越すような酷暑日に、タイムリーに電力情報や料金情報を提供したうえで、エアコン制御を行うのが効果的であると考えられる。

(3) 意識と快適性の感じ方

一般的に、人が温熱環境及び空気環境において快適と感じる要因には、気温や湿度はもちろん、着衣量、作業量の他に空調システムへの期待感や温度制御への参加意識が存在するという。例えば、自分が事務所のエアコンのリモコンを持っていて、「何時でも設定温度を変えられる」と思うだけで、かなり快適性が増すのである。

今回、実証試験の一環として、エアコンメーカーの実験室にて快適性の感じ方に関する実験を行ったが、エアコンの設定温度を28℃に保った室内は、決して快適であるとはいえなかった。このことから、試験に参加した需要家が、多少の我慢はあったにせよ、エアコン制御を受け入れることができたのは、節電意識と実証試験への参加意識があったからと考えられる。

6. おわりに

「電気事業審議会基本政策部会電力負荷平準化対策小委員会」は、平成9年12月に取りまとめた中間報告の中で、1996年から2010年までに1,696万kWの負荷平準化効果を有するピークシフト、ピークカットの増分を目標とする方針を打ち出したが、これを達成するためには、民生部門における電力負荷平準化対策の推進が不可欠であることは言うまでもない。しかし、このことを一般需要家に理解してもらうのは容易ではない。例えば、省エネルギーの必要性を頭の中では何となく理解できても、それを石油タンカー何隻分とか、東京ドーム何杯分とか言われても、いま一つ実感が湧かず、実際の省エネ行動に結びつき

にくい。

従って、国民一人ひとりが自分の問題として電力負荷平準化の重要性を認識し、自主的に取り組むようにするためには、個人の電力使用状況を見せて具体的な節電方法を示すという、手間暇のかかる方法を根気強く続けることが効果的であり、今回の負荷集中制御システム実証試験は、その先鞭をつけたといえよう。

謝 辞

試験期間中の天候不順に悩まされ思うようなデータが取れず苦慮したものの、電力情報及び料金情報に対する需要家の反応を検証するという点では、所期の目的を得ることができたと思われる。

本プロジェクトの委託元である通産省・資源エネルギー庁及び新エネルギー・産業技術

総合開発機構 (NEDO)、塚本委員長をはじめとする委員各位、ならびにプロジェクト関係者各位に対して厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 特集『電力のデマンドサイドマネジメントを考える』「省エネルギー」90年6月
- (2) 特集『電力のデマンドサイドマネジメント』「エネルギー・資源」93年11月
- (3) 特集『省エネルギー』「エネルギーレビュー」97年4月
- (4) 新エネルギーの展望「電力負荷平準化」, エネルギー総合工学研究所, 98年3月
- (5) 電気学会論文誌『負荷集中制御システム実証試験 (中間報告)』97年12月
- (6) 『地球環境時代における「負荷平準化」を考える』「季報 エネルギー総合工学」98年7月
- (7) 第三配電物語, 九州電力配電同友会, 00年1月



〔調査研究報告〕

高効率廃棄物発電技術に関する検討

— 500℃級プラントの実用化に向けての考察 —

大 森 伸 二 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 研究員



1. はじめに

廃棄物発電は、わが国のエネルギー政策上、新エネルギーの中で最大規模の導入目標が掲げられ、2010年で500万kWの導入が期待されている。しかし、発電出力に直接影響する発電効率は、過去の過熱器(SH)管腐食の経験から蒸気温度が300℃程度に抑えられてきたため、全国平均では10%以下と低い値に留まっている。したがって、これからの廃棄物発電においては、昨今重視される環境問題への対応はもちろんのこと、高効率でエネルギー回収の行える技術の開発が望まれている。

当研究所は、平成4年度より新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究「高効率廃棄物発電技術開発/最適トータルシステムの研究」を通して、廃棄物発電の高効率化に向けたシステム最適化の検討を行ってきた。さらに、平成11年度には本研究に関連したNEDOプロジェクト「高効率廃棄物発電技術開発/パイロットプラントによる実証試験」のデータを取り入れ、一連の研究を終了できた。本稿では前述の研究成果から、廃棄物発電の現状、ならびに高効率化技術を導入した場合の性能および経済性について報

告する。

2. 廃棄物発電の現状

冒頭でも触れたが、表1に示すとおり、廃棄物発電はわが国のエネルギー政策上、新エネルギーとして位置づけられ、平成10年改訂の「長期エネルギー需給見通し」において、新エネルギーの中でも最も大きな役割が期待されている。

設備数から言えば、平成10年度における全国の廃棄物処理施設数約1,900施設のうち、廃棄物発電設備を設置しているのは、約1割の180施設である。発電設備付き焼却施設は、平成6年度ごろより年間約10万kWに及ぶ容量増加があったが、平成10年度現在の導入量はなお約93万kWに留まっており、長期エネルギー需給見通しに挙げられた目標値の達成が懸念されている。(図1参照)

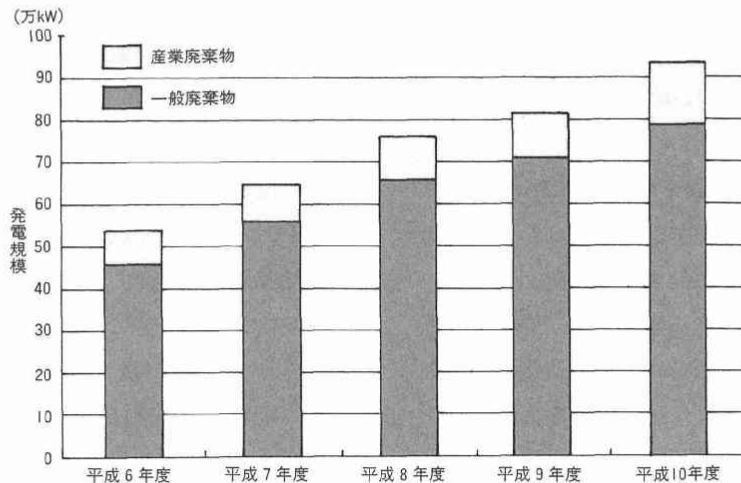
廃棄物発電の効率は、蒸気条件に大きく左右される。わが国での本格的な廃棄物発電プラントは、昭和40年完成の大阪西淀工場(200t/d×2基、出力5,400kW)が最初で、その焼却炉ボイラの蒸気条件には350℃×2.35MPa(24ata)(発電端効率約20%)が採用された。しかし、同施設のボイラ過熱器にチューブの

表 1 新エネルギー供給の見通し

区 分		年 度		2010	
		1990	1996	基準ケース	対策ケース
新エネルギー	太陽光発電 (万kW) (万kl)	0.9 (0.2)	5.7 (1.4)	23 (6)	500 (122)
	太陽熱利用 (万kl)	126	104	109	450
	風 力 発 電 (万kW) (万kl)	0.3 (0.1)	1.4 (0.6)	4 (2)	30 (12)
	廃棄物発電 (万kW) (万kl)	48 (44)	89 (82)	213 (282)	500 (662)
	廃棄物熱利用 (万kl)	3.7	4.4	12	14
	温度差エネルギー等 (万kl)	1.8	3.3	9	58
	黒液・廃材等 (万kl)	503	490	517	592
	合 計 (万kl) (一次エネルギー総供給 に占める割合)	679	685 (1.1%)	940 (1.3%)	1910 (3.1%)
従来型エネルギーの新利用形態 (広義の新エネルギー)	コジェネレーション (万kW) (スチームタービンを除く)	199	385	213	1002
	クリーンエネルギー自動車 (万台)	0.1	1.2	28	365
	燃 料 電 池* (万kW)	0.9	1.6	55	220

* 燃料電池のうちコジェネレーションタイプのものは、コジェネレーションの内数としても計上。

出典：総合エネルギー調査会総合部会基本政策小委員会需給部会資料（平成10年6月11日）



(注) 発電規模には複合発電（スーパーごみ発電）方式による出力を含まない。

出所：資源エネルギー庁資料。

図 1 廃棄物発電導入量の推移

焼損事故が頻発し、そのためそれ以降の焼却炉ボイラの蒸気温度は300℃以下が採用され、発電端効率は10%前後に留まっていた。

近年になって高効率化の必要性が再認識され、350℃以上の蒸気温度を有する廃棄物発電プラントが建設されるようになってきている。その最初の事例が東埼玉資源環境組合第1工場発電所（出力12,000kW、蒸気温度380℃、発電端効率20.8%、1995年完成）であり、わが国ではじめて発電端効率20%を突破した。以降、400℃～450℃級プラントの建設・計画が相次ぐようになった。参考までに、図2にストーカ炉による廃棄物発電システムのフロー例を示す。

近年に至り蒸気条件の高い高効率プラントが建設されてきてはいるものの、わが国の廃棄物発電プラントの発電端効率は全国平均で未だ10%以下であり、通常の化石燃料を主体とした事業用火力発電プラントにおける値が

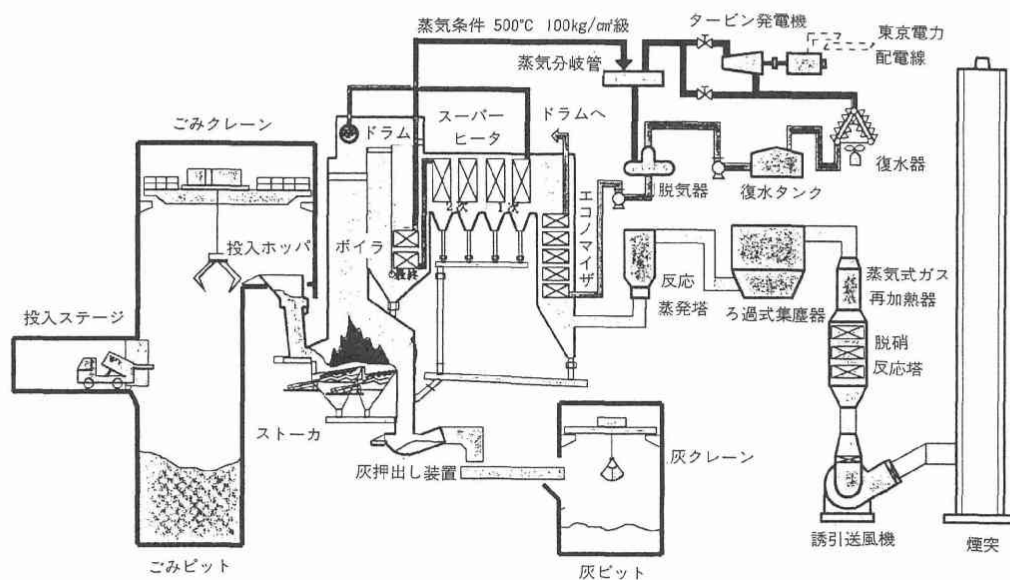
45%以上にも達していることを考えると非常に低い値である。これは、小規模設備が多いことに加え、前述のとおり蒸気温度が制限されてきたこと、排ガス系統の熱回収が不十分であったこと、復水器は空冷式が多いことなどシステム上の理由が挙げられる。

3. 高効率化に関する検討

(1) 検討の対象・手法・範囲

廃棄物発電には、従来型（ストーカ炉など）と次世代型（ガス化溶融炉など）があり、ともに高効率化のための検討が行われているが、本検討では従来型（ストーカ炉）を対象としている。

従来型の廃棄物発電技術における効率向上の基本的方向性としては、システムの最適化にある。例えば、蒸気温度の高温化、タービン出口排気圧力の低下（真空度の上昇）、給水



出所：NEDO 資料

図2 廃棄物発電システムのフロー例

加熱段数の増加など()である。以上の中からどれを採用するかは、要因分析などを行い、経済性も加味して最適と判断される方法を採用することが必要である。

上述した高効率化手法を踏まえ、本検討では蒸気条件の向上による高効率化に注目して、500℃×9.8MPa(100ata)の蒸気条件の実用化を目指し、蒸気条件の変化が効率及び経済性に与える影響を検討した。また、効率および経済性は規模によっても大きく影響を受けるため、100t/dから1800t/dまでの各ごみ処理規模において試算を行った。

(2) 検討条件

表2に、主な検討条件を示す。本検討では蒸気条件の設定について、例えば蒸気温度500℃の場合、蒸気圧力は9.8MPa(100ata)というように蒸気温度と蒸気圧力は対として行った。今後、蒸気温度のみの記述があった場合、対応する蒸気圧力は下表のとおりである。

蒸気温度(℃)	蒸気圧力
300	2.65MPa (27ata)
400	3.92MPa (40ata)
450	5.88MPa (60ata)
500	9.81MPa (100ata)

また、本検討では蒸気条件と効率・経済性の関係をみることを主眼においており、特記のない限り、基本的に復水器は空冷式、灰溶融設備はないものとして検討した。

なお、各要因の効率に及ぼす影響に関しては、本研究で協力頂いたメーカ独自の試算に加え、当所で作成した性能検討プログラム、経済性検討プログラムを用いて検討した。性

表2 主な検討条件

項 目	条 件
ごみ処理規模(t/d)	100, 300, 600, 1200, 1800
蒸 気 条 件	300℃×2.65MPa(27ata) 400℃×3.92MPa(40ata) 450℃×5.88MPa(60ata) 500℃×9.81MPa(100ata)
ボイラ出口ガス温度(℃)	220
ボイラ出口ガスO ₂ (%)	80
減温塔出口温度(℃)	150
排ガス再加热器出口温度(℃)	210
復水器真空(形式)	4.9kPa～24.5kPa (0.05ata～0.25ata)
排ガス処理装置	バグフィルタ・脱硝装置
ごみ発熱量	8.8MJ/kg(2100kcal/kg)

能検討プログラムはボイラと蒸気タービンの熱・物質収支計算を中心としたものであり、経済性検討プログラムは、建設費・必要経費等の経済性検討を可能としたものである。

(3) 性能検討結果

図3に、蒸気条件別に見たごみ処理規模と発電端効率の関係を示す。

ごみ処理規模1800t/dにおいて、蒸気条件500℃×9.8MPa(100ata)で発電端効率27.4%が最高値となった。復水器を水冷式にしてタービン背圧を低下させることにより、ごみ処理規模にもよるが発電端効率は1～3%上昇する。上記の条件で復水器を水冷式にすれば発電端効率は30.6%にも達する。また、図より、大規模プラントになるほど蒸気条件の向上による効率向上の割合が大きくなることが分かる。

蒸気条件のうち、蒸気温度の高温化はごみ処理規模に関係なく確実に効率向上につながるが、蒸気圧力の高圧化は小規模プラントにおいては必ずしも効率向上につながらない。

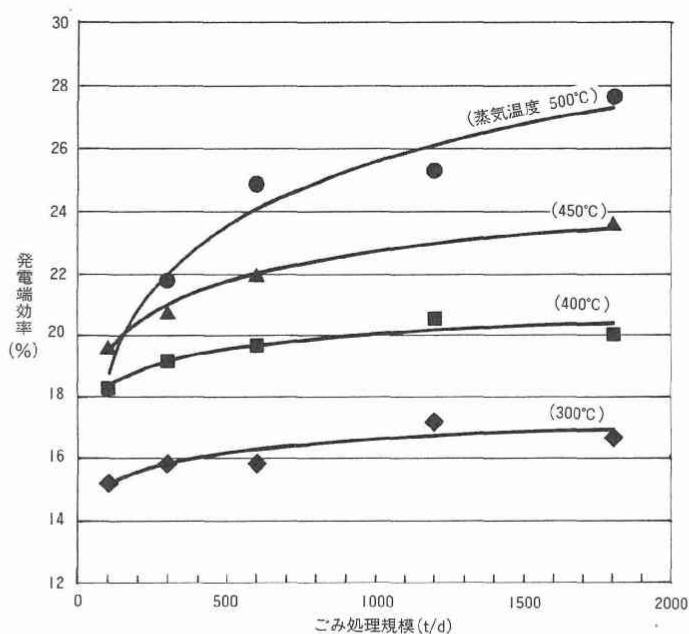


図 3 ごみ処理規模と発電端効率

表 3 蒸気圧力の変化による効率変化

ごみ処理規模300t/d 蒸気温度500℃

蒸 気 圧 力	9.81MPa (100ata)	5.88MPa (60ata)
タービン内部効率 (%)	78.3	80.2
発 電 端 効 率 (%)	25.9	27.4
送 電 端 効 率 (%)	20.3	22.9
発 電 出 力 (kW)	7,910	8,350
所 内 電 力 (kW)	1,701	1,666
所 内 率 (%)	21.6	20.0

例えば図3において、100t/d規模では500℃×9.8MPa(100ata)のほうが450℃×5.88MPa(60ata)よりも効率が低くなっている。これは、小規模プラントに使用される小型タービンでは、タービン翼端からの蒸気漏洩が効率を支配するようになり、蒸気圧力を高めても、漏洩損失の増加によりタービン内部効率が低下するため、効率向上につながらないことがあるからである。例えば、表3に示すとおり、

ごみ処理規模300t/dにおいて500℃×9.8MPa(100ata)の蒸気条件から圧力のみ5.88MPa(60ata)に低下させるとタービン内部効率が向上し、発電端効率が向上するという試算もある。当所が行った過去の検討⁽²⁾には150t/d程度以下の規模では、450℃×6.9MPa(70ata)で効率は最高値をとるという報告がある。各プラントメーカーの設計思想などにも左右されるが、今回の検討結果からも、600t/d程度以下では9.8MPa(100ata)よりむしろ若干低い圧力において最高効率が得られるものと考えられる。

(4) 経済性検討結果

廃棄物発電設備における発電原価は、通常の発電プラントのように全ての設備が対象とされる訳ではなく、ボイラ出口の蒸気過熱器以降蒸気タービン発電設備部分に係る設備を

対象として算出される。そのため、設備費のうち蒸気過熱器の比率が高くなり、本検討のような蒸気温度の高温化に伴い同部の面積増加と高級材料使用が必要となる場合、そのためのコスト上昇度合いが大きくなる。さらに、高効率化のメリットとして考えられる売電収入は、発電原価の定義上、収入として反映されない。したがって本検討の場合、ごみ処理のための設備も含めた全設備を対象とし、また売電による収入も反映できる「ごみ処理単価」を用いて経済性の評価を行った。ごみ処理単価とは年間経費（資本費＋年間ランニングコスト－売電収入）を年間ごみ処理量で割ったものである。なお、本検討におけるごみ処理単価にはごみの搬入、灰の搬出等にかかる費用は含まれていない。

図 4 に、ごみ処理規模ごとの蒸気温度とご

み処理単価の関係を示す。ごみ処理単価はスケールメリットにより規模が大きくなるほど小さくなる。1200t/d以下では400℃から450℃において最も小さな値となり、1800t/dにおいて500℃が最も小さな値となった。また、ごみ処理規模が大きくなるに従って蒸気条件の向上によるメリットが大きくなる。1800t/d以上の規模になればさらに蒸気条件向上の経済的メリットが大きくなっていくものと思われる。

なお、蒸気温度を高温化しても大規模プラントを除いて経済的メリットが出ないのは、500℃程度の温度域になると蒸気過熱器の面積が著しく増大し、そのためにボイラの構造を変更せざるを得ないこと、さらに過熱器の腐食進行度が大きいいため高級材料の使用が不可欠なものと要約される。その他の要因も含め、主なコストアップの理由を挙げると以下

のとおりである。

- ボイラがテールエンド型になることによる建屋構造の変化と大型化（図 5 参照）

（建屋の構造は、蒸気温度が高くなると過熱器面積が増大し、ボイラが高さ方向に伸びるインテグラル型から奥行き方向に伸びるテールエンド型になるため）

- 蒸発管の温度上昇に伴う金属溶射、肉盛り等による加工範囲の増大
- 過熱器の重量・面積の増加および高級材料使用
- 高圧蒸気配管および諸弁の高級材質採用
- 蒸気条件向上に伴う修繕費の増加

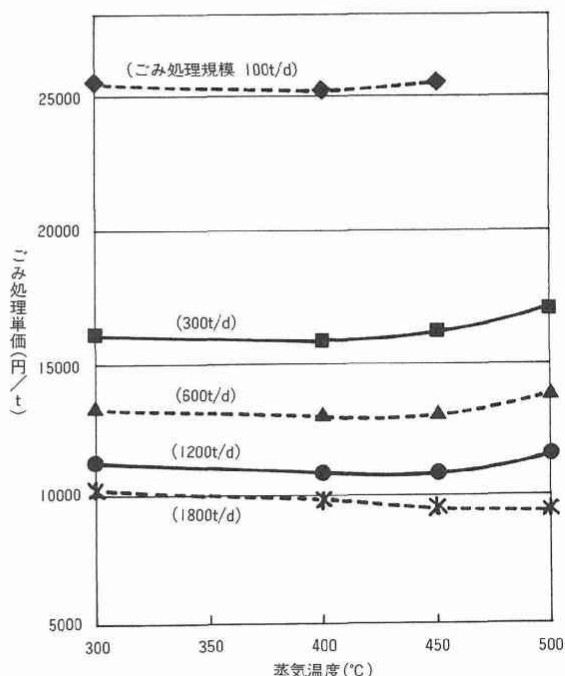


図 4 蒸気温度とごみ処理単価

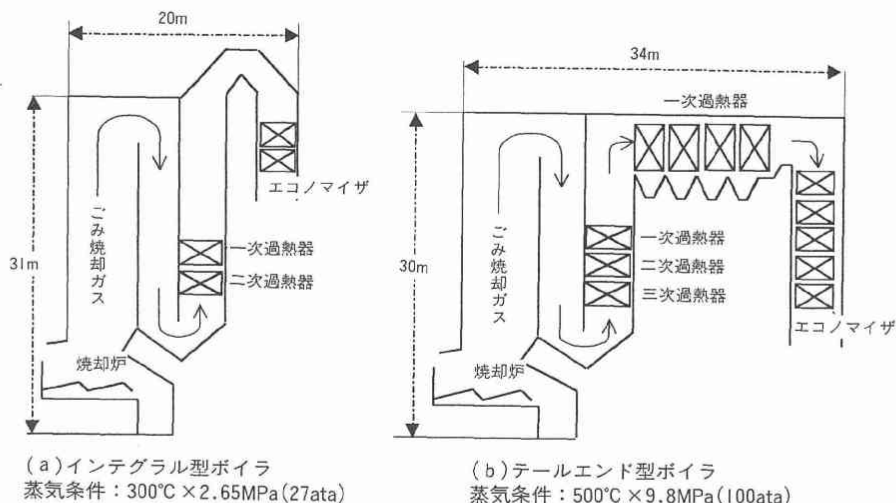


図 5 ボイラ基本構造図例 (600t/d)

(5) 中小規模プラントへの500°C級蒸気導入の方策

中小規模500°C級プラントの経済性を上げるためには、建設費、ランニングコストなどの削減および売電収入の増加が必要である。以下にその方策の具体的検討を行った結果を述べる。

① 建設費、ランニングコストの低減

NEDOでは高効率廃棄物発電技術開発の一環として、500°C級プラント実用化に向けた過熱器、蒸発管の耐腐食性材料開発を行ってきた。今回、その開発材料の一部について経済性検討を行った。検討パターンおよび結果を図6に、検討条件および材料特性を表4、表5に示す。なお、図中のSH設備費・修繕費比率とは、パターン①を1としたときの②～④のSH設備費・修繕費の相対値である。開発材料は性能面で既存材料と比較して優れている上に、2次過熱器および3次過熱器ともに開発材料を使用した組み合わせが最も経済的となった。

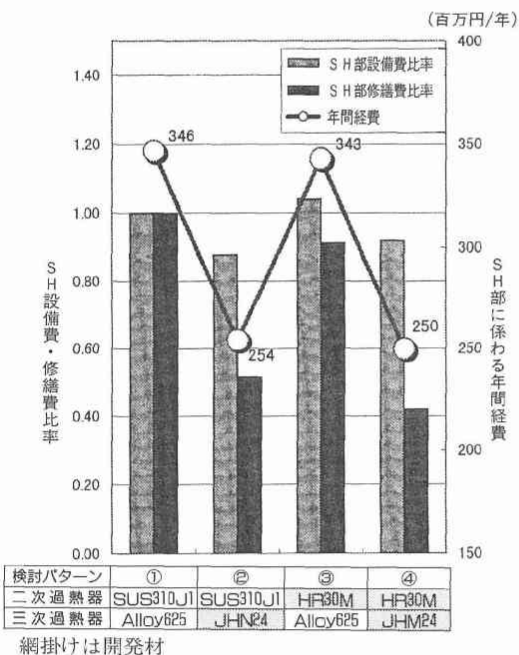


図 6 SH開発材経済性評価

しかし、全設備費に占める過熱器設備費は数パーセントと小さく、過熱器材料開発によるコストダウンだけで蒸気条件向上による全体のコストアップ分を吸収することは難しい。土建費等を含めた全体的な建設費の低減が必要となる。建設単価(ごみ処理量t/dあた

表 4 SH経済性評価条件

ごみ処理規模 (t/d)		120
耐用年数*	二次過熱器	SUS310J1 = 16年 HR30M = 25年
	三次過熱器	Alloy625 = 5年 JHN24 = 9年
蒸気条件		500℃×9.8MPa(100ata)
復水器形式		空冷式
復水器真空		24.5kPa(0.25ata)

※ 腐食度を 5 mm とし、過熱器管耐用年数をパイロットプラント (13800時間) の試験結果より推定

表 5 材料特性

規格名	代表組成	備 考
SUS310J1	25Cr-20Ni-Nb	ボイラチューブ用材料
HR30M	28Cr-30Ni-1Mo	NEDOプロジェクト開発材料
Alloy625	21Cr-62Ni-9Mo-4Nb	高温用チューブ材料, 火炉壁肉盛材で実績多い
JHN24	20Cr-56Ni-18Mo-1Nb	NEDOプロジェクト開発材料

りの建設費)を変化させた場合のごみ処理単価の変化を図 7 に示す。一般に,建設単価は大規模になるほど低くなり,規模と建設単価の関係はある関数で表すこと

ができる。ここではベースとして600t/dー300℃の建設単価を3通り設定した。他の規模の建設単価はこの単価をもとに前記関数より推定し,ごみ処理単価を求めている。建設単価が低いほど蒸気条件の向上によるメリットが大きくなることが分かる。

ランニングコストに関しては,修繕費がそのほとんどを占め,蒸気条件を上げればその割合は増加する。例えば蒸気条件500℃×9.8MPa(100ata)ではランニングコストの約9割を修繕費が占めるという試算結果もある。機器の一層の信頼性向上,長寿命化などによる修繕費の低減が望まれる。

② 効率向上

売電収入を増加させるには効率の向上が有効である。効率向上に際しては,蒸気条件の向上のみに頼らないで,高効率化に寄与しつつ,コストアップを抑制できる技術の開発が

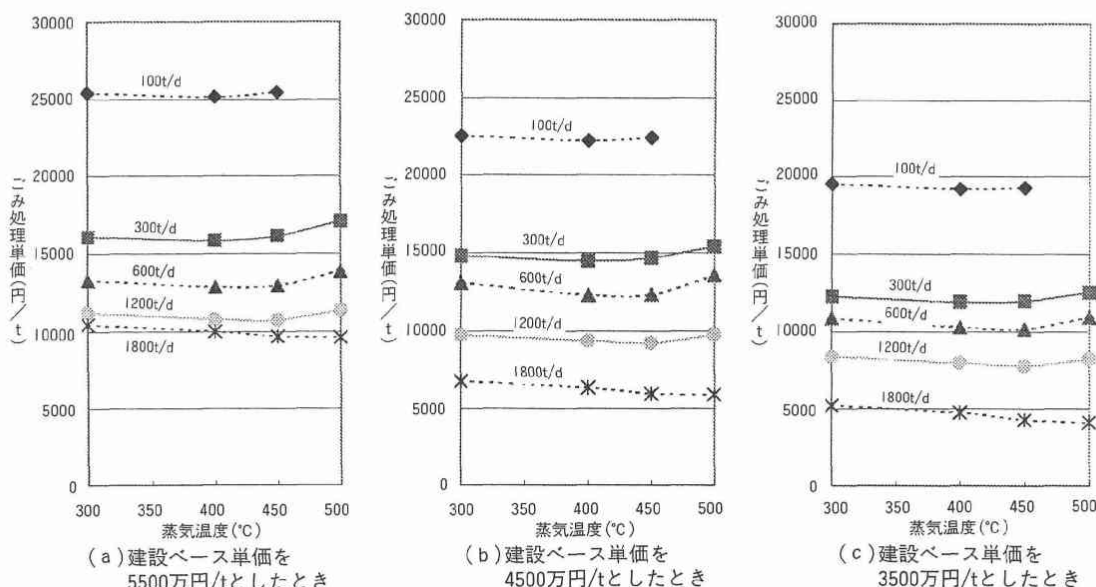


図 7 建設単価によるごみ処理単価

望まれる。

現在の脱硝装置は触媒の性能上、事前に排ガスの再加熱を必要とし、そのためタービン抽気を使用するなど熱エネルギーの損失要因となっている。また、現在のボイラ燃焼用空気は経験上、理論空気量の2倍程度としており、これも熱エネルギーの損失要因となっている。したがって、これらの分野、例えば低温脱硝装置の開発や低O₂運転などにより、排ガス系統での熱エネルギー損失を削減することができれば、効率の向上が見込める。また、先に述べたとおり、水冷復水器の採用によっても大幅な効率向上が可能である。立地

復水器の採用に当たっては立地条件に大きく左右されるが技術的に確立されたものであり、可能であれば是非採用すべきである。

表6に高効率化のために検討条件の一部を変更した場合の高効率化試算例を示す。

③ 売電単価のアップ

廃棄物発電の2010年での500万kW達成のためには、あらゆる検討が必要とされているが、廃棄物発電事業の採算性を向上させ、その導入促進を図るため、売電単価がアップも考えられる。平成10年度全国10電力の平均売電単価は8.11円/kWhであるが、この単価が

表 6 高 効 率 化 試 算 例

項 目 ケース			蒸 気 温 度 ℃	蒸 気 圧 力 MPa	ボ ガ イ ス ラ 出 温 口 度 ℃	排 ガ ス O ₂ %	ター ビン 排 圧 ata	復 水 器 形 式	減 ガ ス 温 塔 出 口 度 ℃	排 器 ガ ス 再 加 熱 度 ℃	発 電 端 効 率 %
ごみ処理規模 100t/d	ベース 1		400	3.92	220	9	0.22	空冷	150	210	18.3
	試 算	①	400	3.92	180	8	0.1	水冷	170	170	22.2
		②	500	3.92	180	8	0.1	水冷	170	170	25.5
ごみ処理規模 300t/d	ベース 2		400	3.92	220	9	0.22	空冷	150	210	19.2
	試 算	④	400	3.92	180	8	0.1	水冷	170	150	22.9
		⑤	500	9.8	200	9	0.22	空冷	210	150	21.8
	試 算	④	500	5.88	180	8	0.22	空冷	170	170	25.6
		⑤	500	9.8	180	8	0.1	水冷	170	170	25.9
		⑥	500	5.88	180	8	0.1	水冷	170	170	27.4
ごみ処理規模 600t/d	ベース 4		500	9.8	220	9	0.22	空冷	150	210	23.6
	試 算	⑦	500	9.8	180	8	0.1	水冷	170	170	27.3
		⑧	500	8.3	180	8	0.1	水冷	170	170	28.0
ごみ処理規模 1,200t/d	ベース 5		500	9.8	220	9	0.22	空冷	150	210	23.6
	試 算 ⑨		500	9.8	190	8	0.1	水冷	170	170	30.0

(注) ⑨はベースと異なる条件を示す

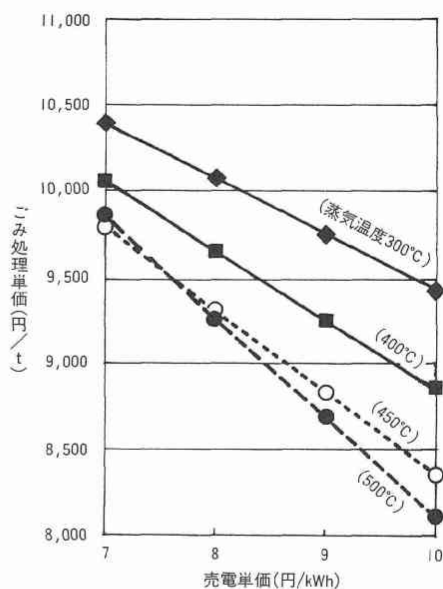


図 8 売電単価によるごみ処理単価
(1800t/d)

変化した場合のごみ処理単価の変化を図 8 に示す。売電単価が上昇するほど高温高压化のメリットが大きくなることがわかる。これは、蒸気条件の高いプラントほど売電収入の支出に対する割合が大きくなるためである。

④ 発電設備補助率の増加

廃棄物発電施設の建設には、廃棄物処理施設に対しては厚生省から、発電設備に関しては通産省から補助金が交付される。

発電設備に対する補助率は、当初設定から改訂され、現在は10%となっているが、今後さらに補助率が変更されたと仮定して補助率のごみ処理単価に与える影響を試算した。その結果を、図 9 に示す。補助率が増加すれば資本費が減少するためごみ処理単価は小さくなり、また蒸気の高温高压化によるメリットが大きくなる。

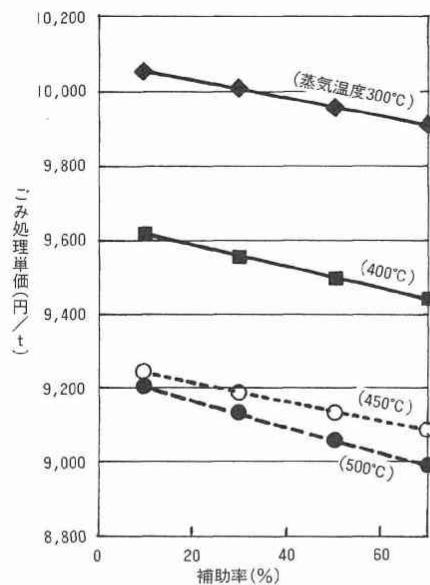


図 9 発電施設部分補助率による
ごみ処理単価 (1800t/d)

⑤ 500℃導入のための条件の提案

1200t/d規模において、前述した条件が高効率化に有利にはたらくと仮定して、検討条件を変更してごみ処理単価を試算した。検討パターンを表 7 に、検討結果を図10に示す。図中のパターン①においては、500℃でごみ処理単価は最も小さな値となり、1200t/d規模でも500℃導入の可能性は充分あることが示された。さらに建設単価の低減や効率向上など

表 7 条件変更に伴うごみ処理単価検討パターン
規模：1200t/d

	ベース	パターン①	パターン②
売電単価 円/kWh	8.11	9.0	9.5
修繕費比率 (%)	3.6	3.0	3.0
復水器形式	空冷式	空冷式	水冷式
発電端効率 (%)	28	28	30
500℃プラントのSH材料	既存材料	開発材料	開発材料
建設単価 万円/t	5000	3200	4100

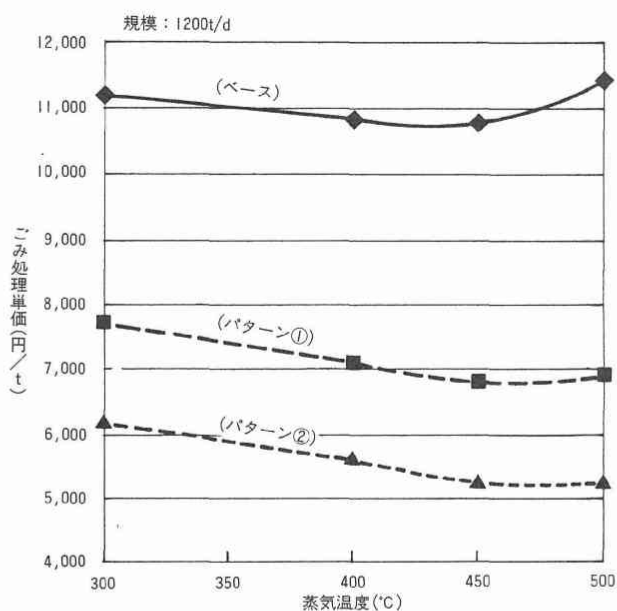


図 10 条件を変更した場合のごみ処理単価

の条件が整えば中小規模プラントにおいても500℃の導入は考えられる。

(6) 高効率化によるCO₂削減効果

廃棄物発電施設では、ごみの焼却によるCO₂が元々発生しているが、発電設備を付加しても排出量の増加はない。一方、廃棄物発電を行えば電力会社による発電電力量はその分少なくなり、それに伴うCO₂排出量が減少する。この観点から、2010年における廃棄物発電の高効率化によるCO₂削減効果について検討した結果を以下に示す。

①前提条件

項 目	条 件 値
設備容量 (2010年)	500 万kW
設 備 稼 働 率	80 %
300t/d以上の高効率 発電設備のシェア	35 %
電力事業CO ₂ 排出 原 単 価 (1998年)	87 g-C/kWh

② CO₂ 排出削減量

- 高効率廃棄物発電設備容量

$$= 500 \text{ 万kW} \times 0.35$$

$$= 175 \text{ 万kW}$$
- 高効率廃棄物発電年間発電電力量

$$= 175 \text{ 万kW} \times 8760 \text{ h/年} \times 0.8$$

$$= 122.6 \text{ 億kWh/年}$$
- 相当するCO₂排出削減量

$$= 122.6 \text{ 億kWh} \times 87 \text{ g-C/kWh}$$

$$= 1,067 \text{ 千t-C/年}$$

これは、わが国のCO₂総排出量(約335,000千t-C, 平成9年度)の0.3%にも相当する量である。

(6) 今後の課題

今回の試算ではごみ処理規模の大きいプラント(例えば、通常ベースでは1800t/d以上、更なる効率向上検討ベースでは1200t/d以上)において500℃という高蒸気条件の経済的メ

リットがあることがわかった。しかし、わが国の廃棄物処理施設のほとんどは600t/d以下の中小規模プラントであり、この規模への500℃級プラントの導入のためには、さらなる高効率化、コストダウンが必要である。また、高効率化を支援する補助、売電単価の設定見直しも望まれる。

4. ま と め

以上、従来型廃棄物発電の蒸気条件の向上による高効率化に関して、その性能および経済性について紹介した。今回の検討条件においては、大規模プラントにおいて500℃の蒸気条件が最も経済的であるという結果になったが、前項で述べたとおり、今後各種条件が整えば中規模プラントへの500℃導入は十分可能であると考ええる。

廃棄物発電の鍵を握るのは、設備導入による経済性、すなわちごみ処理単価の低減である。そのためには本稿で述べたような蒸気条件の向上による高効率化、あるいは広域化による小規模施設の集約・大規模化、さらには

廃棄物発電促進のための政策・制度の一層の見直しが望まれる。また、環境問題に関しては、廃棄物発電の導入によりCO₂排出量の低減がある。環境問題を解決しつつエネルギー問題にも対応し、経済性も兼ね備えた技術として本稿で検討した高効率プラントの早期実用化が待たれるところである。

謝 辞

最後に、本稿作成にあたり、情報提供あるいは資料利用に対するご理解をいただいた通産省、NEDOおよび協力メーカーの関係者各位に誌面をお借りして深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 小川，瀧川：『廃棄物発電システムの高効率化に関する考察』「火力原子力発電」Vol. 50 No.7 (1999年7月)
- (2) エネルギー総合工学研究所：「NEDO委託研究高効率廃棄物発電技術開発／最適トータルシステムの研究（平成6年度）」



〔技術解説〕

クリーンエネルギー自動車レポート（第7報）

—燃料電池自動車における燃料選択の問題—

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



1. はじめに

燃料電池（FC）自動車に対する注目と期待は高まる一方である。昨年（1999年）11月に東京で開かれた第6回ダイムラー・クライスラー・シンポジウム「モビリティの未来・燃料電池最前線」には2,000人以上の聴衆が集まったという。本年度からスタートする首相主導のミレニアム・プロジェクト（新しい千年紀プロジェクト）のテーマの一つとしても「燃料電池の導入」が取り上げられている。

燃料電池自動車の実用化において避けて通れないのが燃料選択の問題であり、この問題に関する議論が各所で高まりを見せている。本レポートの第5、6報では特に水素を取り上げてどのような可能性があるかを示したが、今回は水素、メタノール、ガソリンを並べて比較してみたい。定性的な比較（○×表など）はいくつかの前例があるので、本稿では可能な範囲で数字を用いた比較を行ってみることとする。なお、ここでの議論はすべて日本国内での燃料電池自動車の利用を前提としている。

燃料電池自動車の燃料は何かよいか、さまざまな議論が行われている。本稿に対してもコメントをお寄せいただければ幸いである。

(E-mail: hasuike@iae.or.jp)

2. 現在の各燃料の消費量

まず、水素、メタノール、ガソリンが現在どれくらい使われているかを表1で確認しておく。ガソリンを基準にすると、エネルギー換算でメタノールはその1/44、水素は1/880にしかない。燃料の消費量は膨大であり、それ以外の物質とは桁違いであることがわかる。しかし見方を変えると、水素は10万台規模、メタノールは100万台規模のFC車を走らせるだけの量はすでに使われている、という言い方もできる。水素やメタノールを自動車に使うのは決して夢物語ではない。

表1 水素、メタノール、ガソリンの消費量

	水 素	メタノール	ガソリン
消費量（1997年）	1.9億Nm ³	210万t	5,400万kl
エネルギー換算 (10 ¹² kcal・LHV)	0.49	10	430
比 率 (水素=1)	1	20	880
FC車走行可能量* (万台)	12	170	6,800

*ガソリン消費量1.6kl/年の自動車を代替すると仮定

3. 燃料の製造・供給方法

次に、各燃料の製造・供給方法についてみていこう。

水素は、現在のわが国では食塩電解の副生品としての生産が最も多いが、自動車用には、本レポート第5報で述べたように、天然ガス（都市ガス）を原料としてスタンドで製造するのが最も安価であり現実的であると考えられる。図1は近い将来に考えられる自動車用水素の供給方法についてコストを比較したものである。この図でも、スタンドで天然ガスを改質するのが最も有利であることが示されている。将来は天然ガスの価格が次第に上昇し、海外の水力、太陽光、バイオマス等の再生可能エネルギーから製造した水素を輸入する方法が経済的に有利になっていくと考えられる。

メタノールは、日本国内で年間210万tが主に化学工業用原料として使われている。これは、全て天然ガス（石油随伴ガスを含む）を原料としてガス田の近くで製造されたものを輸入している。世界的にもメタノールの原料は天然ガスがほとんどであり、こうした状況は今後も当分のあいだ続くであろう。将来、天然ガス価格が高くなればバイオマス等への

原料の転換が図られると思われる。

このように、水素もメタノールもエネルギーの元を辿れば当面は天然ガス起源が主流ということになる。

ガソリンは言うまでもなく原油を精製して作る。ただし現行のガソリンは、それに含まれる硫黄分が改質触媒を劣化させるため、そのまま燃料電池自動車に用いられることにはならない。燃料電池自動車向けには、ナフサを主体とした低硫黄の新燃料が登場することになると考えられる。本稿ではこれを仮に「FC用ガソリン」と呼ぶこととする。FC用ガソリンの仕様は現時点では確定しておらず、車載改質装置の開発とともに今後徐々に固められていくであろう。ただし、基本的な成分の製造については、脱硫の程度が異なる以外は現行のガソリンと共通あるいは類似部分が多いであろうと予想される。流通の形態も基本的にガソリンと同じと考えてよいであろう。本稿では検討対象に含めないが、FC用ガソリンも長期的には天然ガスからの液体燃料（GTL）を経てバイオマス等の再生可能

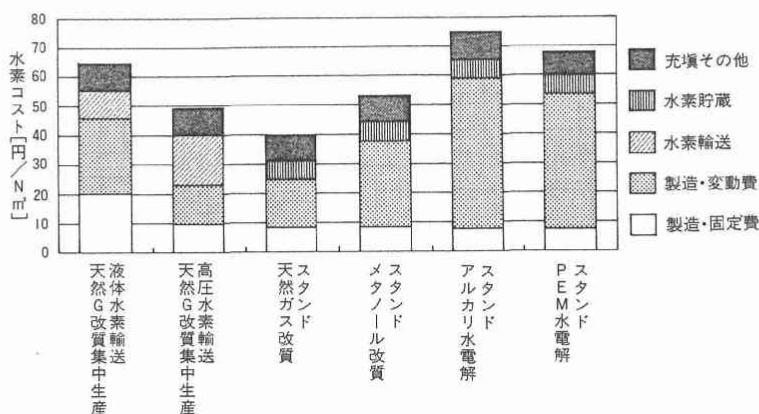


図1 各種水素供給方法のコスト¹⁾

表 2 燃料電池自動車の普及台数に対する各燃料の消費量

F C 車 普及 台数 (万台)	水 素				メタノール		F C 用ガソリン	
	F C 車 消費量 (億Nm ³)	1997年 消費量 との比 (%)	都市ガス		F C 車 消費量 (万 t)	1997年 消費量 との比 (%)	F C 車 消費量 (万kl)	1997年 消費量 との比 (%)
			F C 車 消費量 (億Nm ³)	1997年 消費量 との比 (%)				
1	0.2	10	0.03	0.01	1.3	0.6	0.8	0.02
10	1.6	80	0.3	0.15	13	6.0	8.0	0.2
50	8.2	410	1.5	0.74	62	30	40	0.8
500	82	4,100	15	7.4	620	300	400	7.8

注：都市ガス消費量は水素の1/2を都市ガスから製造するとして算出

エネルギーからの液体燃料へと移り変わっていくことが予想される。

4. インフラの構築

それぞれの燃料インフラの構築について考えてみる。

表 2 では、燃料電池車の普及台数（仮定）に対応した各燃料の所要量を算出し、それを現在の消費量と比較している。燃料電池自動車向けの消費量が現状の数%程度までであれば既存の流通インフラの稼働率向上などにより対応できるが、10%を超える当たりからインフラの増強が必要になると考え、10%を超える部分に網掛けを施した。

水素の場合は、1万台の普及でも現在の消費量の10%に相当する水素が必要になり、500万台の普及では現状の41倍の消費量となる。したがって、水素燃料電池自動車を本格的に普及させるには、現在の水素供給体制とは別の流通インフラの構築が不可欠であると言える。水素の1/2を都市ガスから製造すると仮定した場合、燃料電池自動車用の都市ガス需要は50万台程度までの普及では現状の1%以下

にしか相当しないので大きなインパクトとはならない。

メタノールの場合は、10万台の普及で現在の国内需要の6.0%、50万台の普及では30%に相当する需要が発生する。ガソリンの場合は、500万台の普及でも現在の需要の7.8%にしか相当しない。

図 2 は500万台規模の燃料電池自動車が導入された場合に各燃料のインフラ増強が必要となると考えられる部分を示したものである。

水素はまずスタンドが必要になる。スタンド数を増やしていく際、天然ガスパイプラインのない場所でのスタンド立地が問題となるが、これはパイプラインの増強より石油系燃料を水素の製造原料として使用の方が現実的であろう。水素需要の1/2を天然ガスから製造すると仮定すると、500万台普及でLNGの需要は100万t/年にのぼり、これは小規模なLNG輸入プロジェクトの1つ分に匹敵する。

メタノールの場合も、まずメタノールスタンドの建設が不可欠である。メタノールは、石油の流通設備に使われている一部の材料に対して腐食性や膨潤性があるので、石油製品用の設備をそのまま使用することはできず、

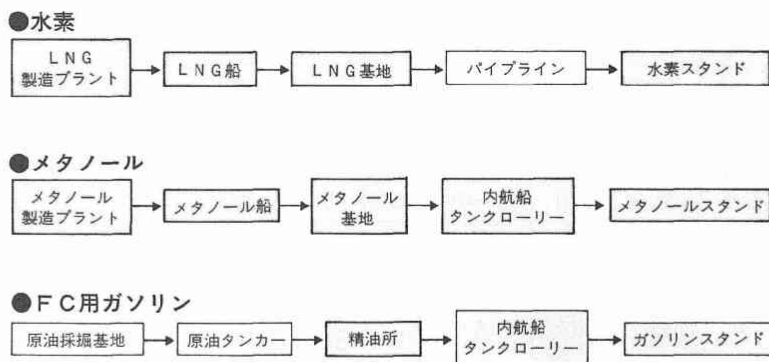


図2 インフラストラクチャーの増強が必要な部分

耐メタノール性を有する素材のものにする必要がある。さらに普及台数が一定以上(10~20万台程度か)になれば、メタノール製造プラントやメタノール輸送船の増強も必要になる。500万台の普及では、標準的なメタノール製造プラントが10基程度必要になる。

FC用ガソリンの場合は、精油所における脱硫装置の増強が必要になる。油槽所、入出荷設備等の輸送インフラも専用の系統が必要になる。他の石油製品用の設備に余裕があればそれを転用することは可能だが、転用できないものがない場合は新たな設備が必要になる。スタンドの地下タンクや給油機も同様である。

以上のような想定で500万台規模の導入を行ったとき、所要スタンドを5,000ヶ所と仮定してインフラ整備に要する費用を大雑把に見積もると、水素は約1兆円程度、メタノールはその1/2、FC用ガソリンはそのまた1/5程度と推測される。

相当な金額になるが、注意すべきは、これは建設費用の総額であって「これだけの補助金が必要とされる」という意味ではない。イ

ンフラ構築費用は基本的には民間企業が商業ベースで投資するもので、燃料価格に転嫁されて回収されることになる。つまり、インフラ建設費を燃料価格に乗せた上で経済性が得られる(次項参照)ならば、補助金は不要である。ただし実際には、全て価格に転嫁できるか、計画どおりの消費量(売り上げ)が得られるか、といった問題があり、特に導入初期においてはそれが困難となる可能性が高い。また、金額が大きいということは、それ自体リスクが大きいことを意味しており、投資を促進するためには一定量の補助金は不可欠であろう。

5. 経済性

スタンド建設費用を含めた末端での燃料価格がどの程度になるか試算し比較してみた。水素は、高圧ガスの形で自動車に充填することを想定しており、天然ガス自動車向けの都市ガス価格に水素製造・貯蔵設備の償却費等を上乗せしている。メタノールは、現状の化学用メタノールのタンクローリー渡し価格に

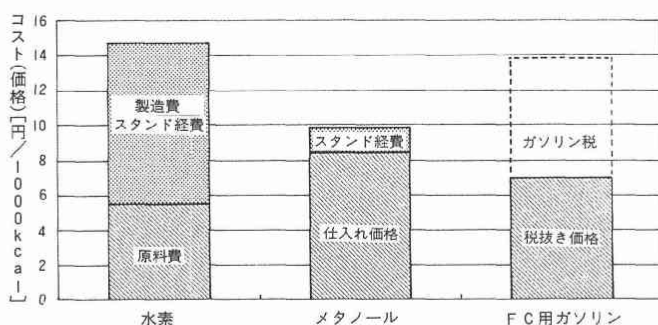


図3 燃料供給コスト（価格）の比較

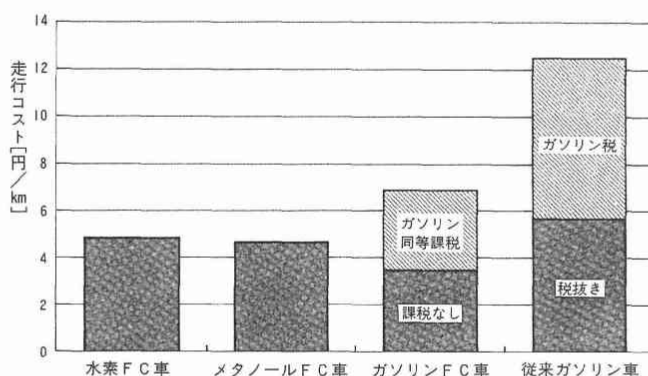


図4 走行コストの比較

スタンド建設費の償却費等を上乘せした。FC用ガソリンは、現状のプレミアムガソリン相当と仮定した。

図3に示すように、末端価格を発熱量ベースで比較してみると、水素が最も高く、課税前のFC用ガソリンが最も安くなる。FC用ガソリンにはどのような課税が行われるかわからないが、現行ガソリンと同等の課税がなされると、水素とメタノールの中間となる。

以上は燃料の発熱量ベースの比較であるが、自動車用燃料としての経済性は、車両効率を含めて評価する必要がある。走行経費（単位走行距離当たりの燃料費）で比較すると図4のようになり、水素とメタノールはほぼ同

等になる。FC用ガソリンは、課税前では最も有利であるが、課税後は高くなる。いずれの燃料の場合も、従来ガソリン車よりも走行コストは大幅に安くなる。この点では、3種類の燃料とも普及のための最低条件はクリアしている。

FC用ガソリンのコストは図3、図4の値から低減の余地はあまり考えられないが、水素はスタンド経費、メタノールは国内流通経費を圧縮することによって走行コストがさらに安くなる可能性が考えられる。

逆に、図4には示されていないが、水素とメタノールに関しては留意すべき要素がある。水素の場合は、供給コスト全体に占める

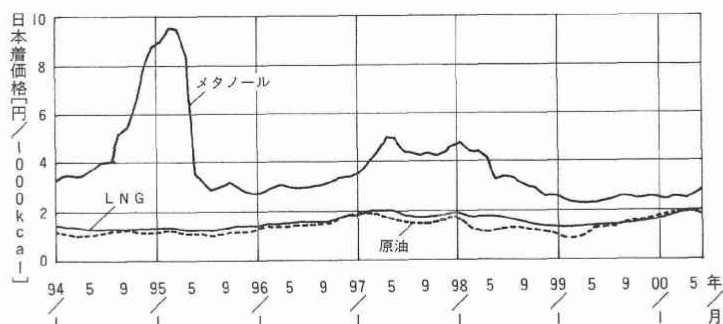


図5 メタノール, LNG, 原油の輸入価格

設備費の比率が高いために、スタンドの稼働率が下がるとコスト高になる、という問題がある。図3の値は、 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ の能力を有する水素製造供給設備がほぼフル稼働して1日平均400台の小型車に水素を供給するという前提となっている。充填する自動車の台数(=水素販売量)が1/2になれば、水素の供給コストは1.5倍に上昇する。

メタノールは輸入価格が大きく変動するという問題がある。図5は、原油, LNG, メタノールの輸入価格の実績であり、メタノールの価格が大きく変動していることがわかる。これは、メタノールの生産・消費量(すなわち市場規模)が小さいこと、メタノール製造業が寡占に近い状況にあること等が原因と考えられ、短期的にはそれらの原因が解消される見込みは小さい。したがって、輸入価格の変動は避けられないという前提で、その変動の末端価格への影響を緩和するような仕組みを用意しておくことが必要になると考えられる。

6. 車両側からみた得失

次に、車両側からみた各燃料の得失を比較してみる。

燃料電池本体からみると水素は理想的な燃料であるが、最大の問題は貯蔵技術である。水素の貯蔵方法には、高圧水素、吸蔵合金、液体水素という3つのオプションがある。それぞれの得失を表3に示す。

表3 水素車載方式の比較

	高圧水素	水素吸蔵合金	液体水素
エネルギー密度	△	◎	○
容器コスト	◎	△	○
燃料コスト	◎	◎	△
製造・充填効率	◎~○	◎~○	△
充填時間	◎	△	◎
起動時間	◎	○	◎
長期保存性	◎	◎	△

高圧水素は技術的なリスクは少ないが、エネルギー密度に難点がある。吸蔵合金は、充填時間と容器コストが問題である。液体水素はエネルギー効率、保存性の面で難点がある。

表4は、水素FC車の航続距離と、それに必要な水素搭載量を試算したものである。

200atmは圧縮天然ガス(CNG)自動車で用いられている圧力であるが、この場合はどの車種でも容器の体積が大きな負担になる。

350atmで貯蔵した場合には、走行距離を200 km程度に抑えることのできるバン、小型トラック、路線バスなどでは十分に対応できる程度に収まる。

表4 水素F C車の航続距離と所要水素搭載量

車 種		乗用車	小型バン	2tトラック	バス
航続距離(km)		400	200	200	200
所要水素搭載量	高压水素(L)	200atm	205	130	270
		340atm	120	75	160
	吸蔵合金(kg)	2wt%	183	115	240
		4wt%	92	57	120
	液体水素(L)		52	33	690
ガソリン/軽油(L)		40	25	33	67

吸蔵合金は重量が問題と言われており、現状の合金の水素貯蔵能力2wt%を3~4wt%へ向上させることが試みられている。しかし表4を見る限り、2wt%でも致命的なほどの重量とはならないように思う。吸蔵合金のより重要な問題は水素の充填時間である。水素を吸収させるためには、吸蔵合金から無視できない量の熱を除去することが必要である。ガソリン車並みに2~3分で充填を終えるためには大量の冷水の供給が必要になり、その冷水と吸蔵合金とが短時間に大量の熱交換を行えるようにするために容器構造も複雑になる。技術的には不可能ではないが、コストやエネルギー効率が犠牲になってしまう。

水素の高密度貯蔵が容易でないことの解決策として考えられたのが、液体燃料であるメタノールやガソリンを車上で改質して水素を製造する、という方法である。液体燃料を用いることで航続距離と給油時間の問題は解決されるが、改質装置にまつわる問題が持ち込

まれることになる。具体的には、起動時間、負荷応答性、コスト、占有スペース、耐久性などが問題となる。メタノールの場合は、改質温度が250~300℃と比較的マイルドであり、1999年の東京モーターショーでの展示を見ると、コンパクト性と起動時間はかなりのレベルまで来ていると推測される。ただし、コストは未知数であり、その他にも、改質ガスに含まれる微量成分がセルの耐久性に及ぼす影響、オフガス燃焼器や熱交換器の信頼性など、クリアすべき課題は多い。

ガソリンの場合は改質温度が700~800℃であり、起動時間、負荷変動時のガス組成の安定性、エネルギー効率など、多くの面でメタノールより技術的に難しくなる。実際、メタノール改質方式の燃料電池自動車は、1997年以降、いくつかのメーカーから試作車が発表されているが、ガソリン改質方式は走行できる実車の形のものは未だ発表されていない。

7. エネルギー・環境面からの評価

いくつかの燃料の選択肢がある場合、資源の採取から利用までのトータルのエネルギー効率がどうなるか、という興味は当然湧いてくる。

この種の試算を行う際に、最も苦勞するのが自動車の効率の仮定である。燃料電池自動車の開発はまだ試作車の段階でしかなく、その試作車の燃費データもほとんど公表されていない。そのため、燃費の代表値を設定することは非常に難しい。そのような不確定要因があることを承知の上で、一定の仮定のもとに現時点で得られるデータに基づいて試算したのが図6である。

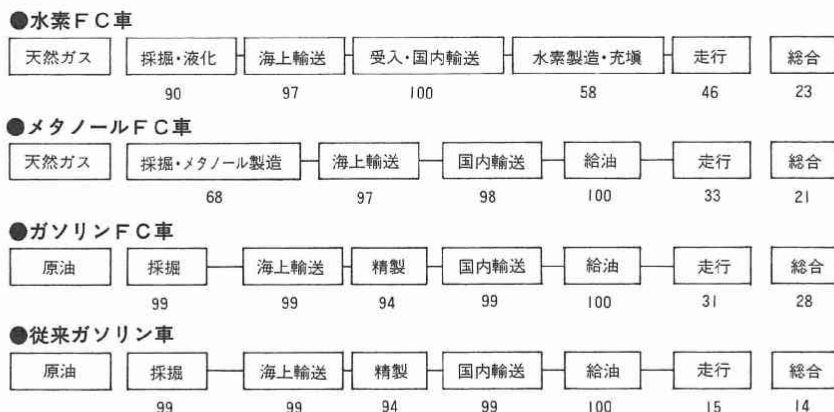


図 6 各種燃料電池自動車の効率比較

図に示すように、総合効率を比較すると、ガソリン>水素>メタノールの順となる。ただし、この総合効率はあまり重要な意味を持たない。より重要なのはCO₂排出量である。これを比較すると、図7のようになる。

国内のCO₂排出は、水素とメタノールがほぼ同等で、ガソリンが若干多い。国外を含めると、水素とガソリンが同等で、メタノールは若干多い。従来のガソリン車と比較すると40~50%に削減されるので、どの燃料の場合もCO₂削減には寄与する。ただし、高速道路のような高負荷一定走行では、従来車との差

は小さくなる。最初に触れたように、ここで用いた車両効率は実績値ではないので注意を要する。今後開発される燃料電池自動車の燃費性能いかににより、上記の各燃料の相対関係は大きく変わる可能性がある。

環境面での評価対象として、従来型の排ガスも見えておく必要がある。ただし、メタノールやガソリンの改質器からはNO_xなどが発生する可能性があるが、その量については公表データがなく現時点では評価できない。

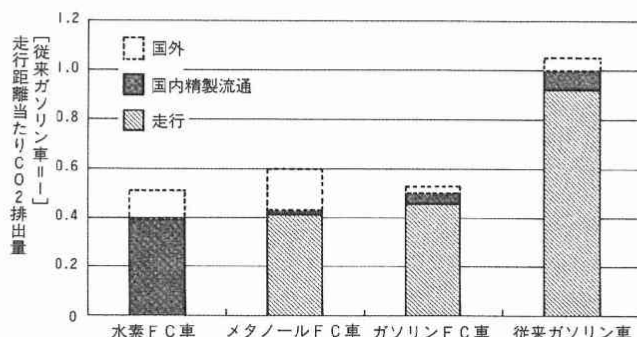


図 7 全燃料サイクルにおけるCO₂排出量の比較

8. 制度的課題

最後に制度的な課題について触れておく。

まず、各燃料に共通する問題として燃料規格がある。FC用ガソリンは、現在のガソリンとは別の規格のものになるであろうことは既に述べた。メタノールや水素は単一物質なので規格の問題はなさそうに思えるが、不純物量については上限値の設定が必要となろう。一方で、現実の燃料には、漏洩時の発見の容易化、他の燃料との区別などの観点から付臭や着色が行われることが多い。付臭剤や着色剤は、改質触媒や燃料電池セルに悪影響を及ぼさないものであるか、容易に除去できるものである必要がある。

ガソリンやメタノールはエンジン車用としての使用実績があり、当然、燃料供給に関して一通りの法規制は整備されている。しかし前述のように、エンジン車用と燃料電池車用とは燃料の規格が異なってくると考えられるため、取扱いに関する法規制も再度検討が必要になろう。

水素は自動車用燃料として実用的に使われた実績がなく、対応する法規制も整備されていない。水素と同じ気体燃料である圧縮天然ガス（CNG）も、1990年代に自動車用燃料として実用化するための法規制整備が行われてきた（表5）という前例があるので、これを参考にすることができる。

新しい燃料を使う自動車が一般の自動車と同様に製造、販売、登録（ナンバープレート交付）ができるようになるには、当該自動車の保安基準を整備する必要がある。CNG車の場合は、基準案が作成されてその妥当性を確認するのに延べ約500台の車両で3年間の路上走行試験が行われた。スタンドでの貯蔵可能量（表6）に関しては、圧縮水素はCNGよりさらに条件が厳しく、この面の規制緩和は重要な課題となろう。

燃料の経済性の優劣は課税によって大きく影響を受けることは「5. 経済性」の項でも示したとおりである。特に、FC用ガソリンへの課税をどのように考えるかが問題である。さらに、石油系燃料は、水素スタンドへ

表5 CNG自動車関係の法規制整備の経緯

年 月	法 律 名	整 備 内 容	主 な 効 果
1991. 12	建築基準法	CNG貯蔵量規制の緩和	ステーションにおける貯蔵量の確保
1994. 3	高圧ガス取締法	CNGスタンド基準の新設	駐車場所制限等の移動基準緩和 LPGスタンドとの併設可能 保安管理体制の緩和
1997. 4		全体整備	車載容器の再検査時に取り外し不要 設備距離、保安距離の緩和
1995. 3	ガス事業法	昇圧供給装置の工作物指定	ガス事業法規制への組み入れにより、 事業者、使用者の責任明確化
1997. 4		CNGスタンド向けガス料金の新設	軽油と競合可能な料金レベルでCNG を販売
1995. 4	消防法	給油取扱所規制の緩和	ガソリンスタンドにCNG併設可能
1995.12	道路運送車両法	CNG自動車の保安基準の整備	一般車両と同様の製造、販売が可能

表 6 建築基準法による各種燃料の貯蔵規制

	第一種 住居専用	第二種 住居専用	近隣商業 商業	準工業	工業 工業専用 指定外
ガソリン (L)	0	500 (50,000)	1,000 (50,000)	5,000 (50,000)	無制限
L P G (kg)	0	3,500	7,000	35,000	無制限
C N G (Nm³)	0	350	700	3,500	無制限
高圧水素 (Nm³)	0	35	70	350	無制限
液体水素 (kg)	0	3,500	7,000	35,000	無制限

注：ガソリンの()内は地下タンクの場合の特例

の水素製造用の原料としても都市ガスの代わりに利用できる。石油系燃料から製造した水素への課税をどのように考えるかも、検討する必要がある。そうした検討は今の時点から開始する必要があるだろう。

9. まとめ（燃料の選択に向けて）

以上、机上検討により燃料の得失を比較してきたわけであるが、総合的にみてどの燃料を選択すべきか、という結論を現時点で出すことはできない。むしろ、机上検討だけで燃料選択を決定することは、すべきではないと考える。

最近、「燃料電池自動車の時代がすぐそこにまで来ている」「最初の実用車に使われた燃料がデファクトスタンダードになる」といった論調の記事を見かけるが、このような記事が燃料の選択をすぐにでも行うべきだと迫っているように感じる。しかし、過去の新型自動車の普及動向を参考にすると、仮に2003～2004年に燃料電池自動車の市販車が登場したとしても、その後の普及がそれほど簡単に進むと

は思えない。普及が進まなければデファクトスタンダードの確立もない。

例えば天然ガス自動車の場合は、ガス会社が自社の車を改造して公道走行を始めたのが1984年のことである。それから16年かかってようやく累積普及台数が5,000台を超えるまでになった。1984年当時の改造型CNG自動車と現在の燃料電池自動車とでどちらが実用レベルに近いかと言えば、前者であろう。燃料電池自動車の完成度は、16年前の天然ガス自動車のレベルにもまだ達していないのではないだろうか。天然ガス自動車よりはるかに普及が容易と思われるガソリンエンジンハイブリッド車も、1997年末の「プリウス」発売から2年半を経過しても普及台数は4万台に達しておらず、エンジンハイブリッド車が主流になる気配は今のところ感じられない。また、プリウスに使われた要素技術やシステム構造などが世界のハイブリッド自動車のデファクトスタンダードになったとは言えない。

これらの例は、新しい駆動システムを用いた自動車が大量に普及するというのは長い年数がかかるものである、ということを示している。水素、メタノール、ガソリンのどれを採用するにせよ、細かい規格を考えればどの場合も「新しい自動車燃料」を導入することになる。したがって、車両の普及は燃料供給体制の整備と歩調を合わせることが必要となる。この点は、上記の例では天然ガス自動車の場合と共通している。こうした例から想像すると、燃料電池自動車が瞬間に自動車の主流の座を奪うようになるとは考えにくく、その普及は新聞や雑誌で言われているより遙かにゆっくりとしたものになるであろう。したがって、今ここで燃料電池自動車の燃料の

選択を焦る必要はない、と筆者は思う。

ただ、焦る必要はないが、燃料選択の問題が燃料電池自動車の普及にとって重要な課題であることは疑いない。さまざまな調査研究やシナリオにもとづく思考実験などは、今後精力的に行うべきであろう。しかし、それだけで結論が導き出せるかというと、それは疑問である。燃料の選択を行うために現在、決定的に欠けているのは燃料供給システムを含めた燃料電池自動車の実用経験である。試作車の実用走行試験（給油システムを含めて）を徹底的に行うことが最も必要とされていることであり、試験のための車両と燃料供給設備を用意することが急務である。実用試験を重ねていけば燃料の優劣の答えは自ずから出てくるのではないだろうか。

現状では、どの燃料も技術的な問題を抱えており、その解決が燃料選択の決め手になると考えられる。技術的課題を個別的に見ていくと、車両側の技術課題に比べれば、燃料供給側の問題は対応が容易である。3つの燃料の中で相対的に燃料供給面の課題が多いのは

水素であるが、これとても技術的に困難な問題は少ない。燃料供給側は基本的にどれでも対応できるのである。燃料を先に決めて、それに向けて車両開発を行うのではなく、車両側で本当に良いもの（普及しそうな車）ができれば、燃料供給は後からついて来るであろう。その意味で、燃料選択の主導権は自動車メーカーが握っていると言える。

文 献

- 1) (財)エンジニアリング振興協会、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) サブタスク7、平成10年度成果報告書、平成11年3月。
- 2) 資源エネルギー庁、総合エネルギー統計。
- 3) 大蔵省、貿易統計月報。

追 記

燃料電池自動車の燃料としては、水素、メタノール、ガソリンの他に、エタノール、ジメチルエーテル (DME)、圧縮天然ガス (CNG) なども検討されている。これらの評価については別の機会に報告することとした。



研究所のうごき

(平成12年4月2日～7月1日)

◇ 第54回理事会

日 時：6月16日(金) 12:00～13:30

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

- 第一号議案 平成11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 評議員の一部交替について
- 第三号議案 その他

◇ 月例研究会

第179回月例研究会

日 時：4月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

- 1. 電力技術開発の今後の進め方について
(通商産業省 資源エネルギー庁 電力技
術課 開発振興室長 伊藤 敏氏)
- 2. 平成12年度供給計画の概要について
(電気事業連合会 電力技術部長 大津谷
正和氏)

第180回月例研究会

日 時：5月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館6階 601会議室

テーマ：

- 1. 電力貯蔵用NAS電池の開発状況につい
て
(東京電力㈱ エネルギー・環境研究所
電力貯蔵グループマネージャー 主管研
究員 田中晃司氏)
- 2. 負荷集中制御システム実証試験の成果に
ついてー酷暑日の家庭用電力ピークカッ
トを目指してー
(プロジェクト試験研究部 主任研究員
田中賢示)

第181回月例研究会

日 時：6月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

- 1. 原子力技術開発のかたち
(プロジェクト試験研究部 専門役 楠野
貞夫)
- 2. 第4世代原子力システム
(プロジェクト試験研究部 部長兼副主席
研究員 松井一秋)

◇ 主なできごと

- 5月15日(月)・第3回原子力発電技術開発の方
向性に関する調査検討委員会
- 17日(水)・第1回WE-NET研究調整会議
- 23日(火)・第1回原子力の外部コストの考
え方に関するWG
- 25日(木)・第1回高温ガス前処理技術調査
委員会
- 26日(金)・第1回廃棄物ガス化熔融発電技
術開発評価委員会
- 6月2日(金)・第1回WE-NET革新的・先導
的技術に関する調査・研究WG
- 8日(木)・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査委員会
- 19日(月)・第2回WE-NET革新的・先導
的技術に関する調査・研究WG
- 21日(水)・第2回WE-NET研究調整会議
- 23日(金)・第1回高温ガス炉プラント研究会
- 28日(水)・第2回ヒューマンファクタ研究
懇談会

◇ 人事異動

○4月30日付

(出向解除)

大野 哲雄 (WE-NETセンター 主管
研究員)

○6月1日付

(出向採用)

緒方 寛 WE-NETセンター 主管
研究員

(嘱託採用)

小野崎正樹 プロジェクト試験研究部 専
門役

○6月29日付
(出向解除)

田宮 久史 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

○6月30日付
(出向解除)

三宅 将允 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

桐村 泰彦 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

田中 賢示 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

伊久美早利 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

○7月1日付
(出向採用)

北田 俊二 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

中村 雅英 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

永野 浩文 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

藤田 光一 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

編集後記

本号の巻頭言は、東京電力フェローの友野勝也氏にご寄稿頂いた。原子力発電所の稼働率が運転サイクル（定検間隔）に大きな影響を受けることを改めて認識された方もおられるのではなかろうか。

理事長対談は、作家の上坂冬子女史にご登場いただいた。先に「原発を見に行こう——アジア八ヶ国の現場を訪ねて——」を出版され、また原子力発電関連の寄稿、講演なども多く同テーマに一家言お持ちであると拝察し、同対談の出席を申し入れて快諾いただいたものである。対談の結果は、同女史が欧州訪問直後で風邪気味の中で実施したにもかかわらず、期待に違わず興味あふれる対談となったと思う。

外部からは、筑波大学教授の内山洋司氏から「新エネルギーの課題と展望」を寄稿いただいた。各種新エネルギーの紹介と特徴、さらにその限界等広い視点から解説いただいた。

特に新エネルギーは、供給量的には主要エネルギーとして期待できないが、それぞれの特徴を生かして取り組むべきとの見解が披露されている。

当所からは年度末研究成果が出たところでもあり、盛り沢山の感があるが原子力、新エネルギー、化石エネルギー、環境関係から話題性等を考慮して各担当より紹介した。

さて、このところ三宅島や式根島など伊豆諸島での火山活動あるいは震度5級の地震が相次ぐなど火山・地震活動が活発化している。同地域の地下マグマ活動の影響だといわれる。いずれ終息するのであろうが、

同地域では観光客、釣り客等が激減している由で島民の方々の物心両面からの欠乏・不安は計り知れないものがある。上記の地震とかねてその発生が予測されている東海地震とは直接の関連はないと発表されているが、後者は最初の警告から早や20年以上が経つようであり、もうその心配はないのだろうか。専門的立場からは、駿河湾の周辺に歪みが溜まり続けていることから、いずれ東海地震がくることは否定できないといわれる（防災科研NEWS2000年7月1日）。また、同地域には体積歪み計や地震計を配備した24時間監視の地震観測網が張られ、もし同観測網から「東海地震」の前兆が捉えられたと判断されたら、気象庁長官が総理大臣に報告し警戒宣言の発令を行う体制が敷かれるともなっている由である。

昔から怖いものとして「地震、雷、火事、おやじ」といわれた。最近「おやじ」の地位が極めて低下し、もはやこわいものの中に入らないのかもしれないが、「地震」は阪神大震災の例を挙げるまでもなく依然怖さのトップであることにはかわりないようだ。

科学技術が発達した今日でも「地震」に関しては、その動向の正確な予測も、ましてや予防もできないというのは自然がそれだけ大きいということか、あるいはこのような地球規模のテーマに対する研究開発の取り組み方に対する警告であり、叱咤激励とみることもできるのかもしれない。

いずれにしても今は地震の速やかな終結と被災者の方々のご健闘を祈るばかりである。

小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第23巻第2号

平成12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

FAX (03) 3501-1735

<http://www.iae.or.jp/>

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社