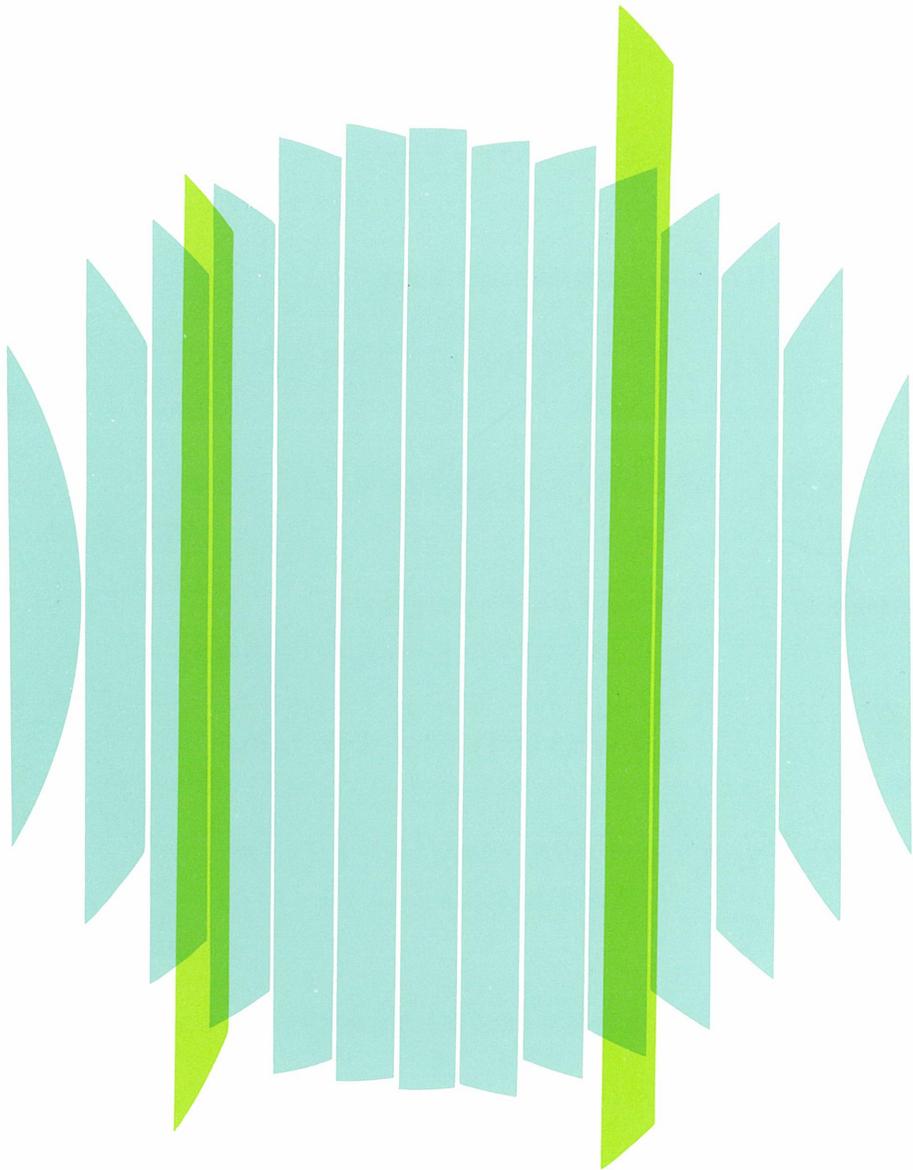


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 22 No. 4 2000. 1.



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】	年頭所感	通商産業省 資源エネルギー庁 長官 河野博文… 1
【理事長対談】	21世紀とエネルギー戦略	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 藤 富 正 晴 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 4
【内外情報紹介】	分散型電源としてのマイクロガスタービンの開発状況について	東海大学 工学部 教授 伊 藤 高 根…19
【調査研究報告】	低品位炭改質技術に関する調査 — 豪州ビクトリア褐炭の 発電用燃料としての利用に向けて —	主任研究員 井 上 岳 史…35
【調査研究報告】	原子力発電プラント高経年化対策の新しい取り組み	主管研究員 津 田 潤…55
【調査研究報告】	バイオマスエネルギー資源量の評価 — バイオマスプランテーションを含めた推算 —	主任研究員 上 西 勝 彦 (財)地球環境産業技術研究機構 化学的CO <sub>2</sub> 固定化研究室 主席研究員 丹 羽 宣 治…66
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート (第6報) — 水素燃料電池自動車の導入シナリオ (2) —	主任研究員 蓮 池 宏…76
【訪問記】	でんぱつ 沖縄やんばる海水揚水発電所	IAE女性研究員取材チーム…86
【研究所のうごき】	.....	.....94
【編集後記】	.....	.....96

# 巻頭言

## 年 頭 所 感

通商産業省 資源エネルギー庁長官

河 野 博 文



新春を迎えるに当たり、謹んでお慶び申し上げますとともに、所感の一端を述べ、新年の御挨拶とさせていただきます。まず始めに、いわゆるY2K問題による影響が懸念されておりました新千年紀の幕開けを、エネルギー分野も含め大きな混乱無く迎えることができましたことに、改めて関係者の御努力に対し敬意を表す次第であります。

ただ、エネルギーの安全・安定供給には影響のない軽微なものばかりでしたが、未然防止に最大限の対策を講じてきたにもかかわらずごく一部に不具合が発生したことは残念であります。不具合発生後迅速な対応がとられたことは、未然防止策と併せ予め危機管理対策を準備してきたことに一定の成果が見られたものと感じるところであり、今回の経験を教訓とし今後活かしてまいりたいと考えております。

私が資源エネルギー庁長官を拝命した昨年9月末に、茨城県東海村でウラン加工施設臨界事故が発生いたしました。この事故は誠に遺憾であり、この事故により原子力に対する国民皆様の不安感・不信感が高まることとなりました。このような事故が二度と発生しないよう、当庁といたしましても各省庁と連携のもと、原子力安全・防災対策に取り組んでまいりました。本年は、原子力に対する国民皆様の信頼を回復すべく、昨年を引き続いて原子力の安全確保に向けて全力で取り組んでまいる所存であります。

エネルギーを巡る環境につきましては、今後期待される国内景気回復の本格化を前提に想定されるエネルギー需要の再度の増大、近時の国際原油価格の上昇傾向、さらに、アジア地域を中心とする将来的なエネルギー需要の増大等の変化がみられ、従来にも増してエネルギーの安定供給確保が極めて重大な課題となってきております。

また、地球温暖化問題はエネルギーと密接不可分の関係にあり、COP3の合意を踏まえエネルギー起源の二酸化炭素削減に相当な努力が求められています。

加えて、エネルギー分野でのコスト削減の要請が高まる中、実質的かつ適正な競争の確保による効率的なエネルギー供給システムの構築が求められています。

こうした状況を踏まえつつ、資源エネルギー庁と致しましては、①エネルギーの安定供給確保、②環境保全、③市場効率化、という3つの基本目標に対応すべく、エネルギー需給両面にわたる対策を総合的に講じ、国民一人一人が安心して、安定的かつ効率的に、持続可能な形で資源エネルギーを享受できるようなシステムを実現してまいりたいと考えております。

まず需要面での取組につきましては、昨年4月の改正省エネ法の施行に伴うトップランナー方式による自動車・電気機器等のエネルギー消費効率の更なる改善と工場・事業場におけるエネルギー使用合理化の徹底を引き続き図るほか、省エネルギーに係る技術開発・導入の促進、国民のライフスタイルの変革を促すための広報活動等、最大限の省エネルギー政策を強力に推進してまいります。

供給面での取組につきましては、まず石油資源の輸入依存度が高い我が国において、安全確保に万全を期すことを前提に原子力の開発・利用の一層の推進が環境保全の観点も含めて引き続き重要であります。

安全確保に関しましては、関係省庁と共同で今年の臨時国会に原子力災害対策特別措置法案及び原子炉等規制法改正案を提出しその成立を見るとともに、平成11年度第二次補正予算においてもオフサイトセンターの整備等を図るなど所要の予算措置を講じ、また安全規制のための所要の人員を確保するなど、原子力の安全確保に向けて万全の措置を執ってまいります。

また、このような安全確保を大前提としつつ、立地地域振興施策の抜本的な拡充や的確な情報提供・情報公開を通じて、原子力の円滑な立地を推進していくとともに、高レベル放射性廃棄物処分の実施に向けた体制整備のための法案を今通常国会に提出すること等により、バックエンド対策を充実し、核燃料サイクルの早期確立を図るなど、原子力の開発・利用の一層の推進を図ります。

また、CO<sub>2</sub>を排出しない等の特性を有する新エネルギーの開発・導入促進のため

の新エネルギー対策が引き続き重要であり、特にミレニアムプロジェクトの一環である燃料電池の実用化開発等を一層推進してまいります。

さらに、様々なエネルギー分野においてコスト削減が求められております。

電力・ガス事業においては、国際的に遜色のないコスト水準を目指すため、昨年5月に改正電気・ガス事業法が成立し、ガス事業においては昨年11月に大口供給の自由化が図られ、電気事業分野につきましては本年3月に電力小売部門が部分自由化されることとなっております。今後とも一層効率的な電気・ガス供給体制に向けた構造改革に取り組んでまいりますとともに、電力及びガスの個別事業法と独占禁止法との整合性のとれた取引の在り方を整備・運用していく等、各事業での実質的な競争確保に向けて適正な取引環境の整備等を行ってまいります。

石油対策としましては、石油の安定供給に向けた産油国との関係強化を多角的・戦略的に推し進めつつ、上流部門の石油・天然ガス開発において着実な運営改善を図ります。また、依然厳しい競争環境下にある下流部門の石油精製・流通業につきましても体質強化・構造改善への取組を支援してまいります。

国内石炭政策につきましては、昨年8月に石炭鉱業審議会及び産炭地域振興審議会において取りまとめられました答申に基づき、一定の経過措置を実施しつつ、昭和30年代以来長きにわたり続けてきた石炭政策を、平成13年度末の政策期限をもって完了するべく、十全の措置を講じてまいります。

鉱物資源につきましても、海外での非鉄メジャーの合併など更なる寡占が進展する中、我が国としましては、国内探鉱から海外での自主開発へ重点化を図ってまいります。

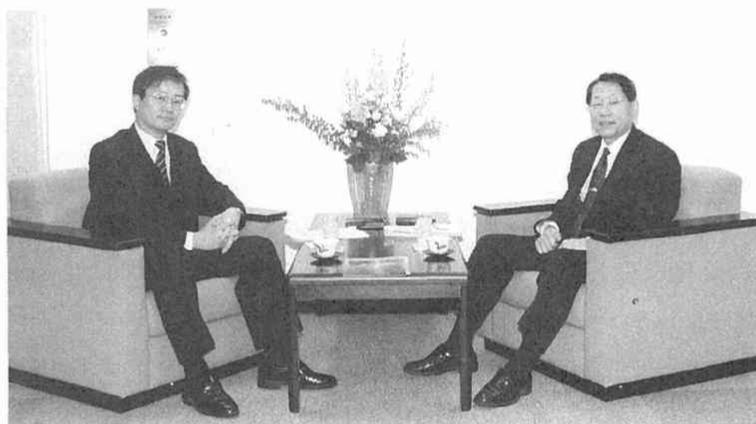
最後となりましたが、我が国において安定的な経済成長とゆとりある豊かな国民生活をこれからも維持していくためには、資源エネルギー行政が果たす役割は極めて重要であります。当庁といたしましては、国民皆様方が安心して安定的かつ効率的に資源エネルギーを享受できますよう、様々な施策を講じて全力で取り組んでまいります。

つきましては、常日頃から資源エネルギー行政に御理解・御協力いただいている皆様におかれましては、本年も例年以上の御理解・御協力を賜りますよう心からお願い申し上げます、私の新年の挨拶とさせていただきます。

## 21世紀とエネルギー戦略

藤 富 正 晴 (通商産業省 資源エネルギー庁)  
長官官房審議官

秋 山 守 (財)エネルギー総合工学研究所  
理事長



---

### はじめに

---

#### 身近な経験 米国留学時のTMI事故

秋山 藤富審議官は通産省に入省後、工業技術院、科学技術庁に勤務され、米国ペンシルバニア大学に留学された後は、通産省資源エネルギー庁、同環境立地局、原子力発電技術機構を経て、昨年より資源エネルギー庁長官官房審議官に就任されました。特にペンシルバニア大学に留学時には、例のTMI(スリー

マイルアイランド原子力発電所)の事故がありました。その時の体験なども含めて、これまで印象の深い思い出などを1つ2つお聞かせ願います。

藤富 アメリカのフィラデルフィアに留学中の1979年3月、TMI 2号機の事故がありました。事故の発生を知ったとき、私は同じペンシルバニア州の中でもTMIから100マイルほど離れたところでビジネススクールに行っており、2日ほどしてテレビや新聞に大々的に出た避難開始の報道に、これはまずいな、我々はどうしたらいいのかをクラスメートと

話し合いました。テレビで避難映像を見て、不安になりましたが、TMIの事故よりも、実はビジネススクールの学生には、次の日に提出する研究課題のペーパー作成に追われていたのを思い出しました。

当時、通産省からはすぐ近くのペンシルバニア州立大学に同期の内田二郎君（現（株）テクノロジーサーチ研究所代表取締役）が来ていて、その後、日本から調査にみえた内田秀雄先生（当時原子力安全委員）のアテンドと実質的な情報収集は彼がやってくれました。

後日、ペンシルバニア州の州都ハリスバーグにいた知人に聞きましたところ、事故の発生自身はショッキングでしたが、放射線被曝して病院治療を受けたとのニュースはなく、その後に巨大タンポポとか、牛の奇形の話の程度で、被害が小さくほっとしました。

1986年のチェルノブイリ事故はパリにあるOECD（経済協力開発機構）勤務時の出来事で、このときも世界の重大事故が身近なところで発生し、大変でした。

**秋山** 身近なところの事故で、しかも沢山の情報がリアルタイムで入ってきて、本当に貴重な体験でしたね。

ところで、審議官は、昨年9月、現職にご就任の直後に、わが国にとっては大きな事故である東海村のJCO臨界事故が発生し、電力産業を所管されるお立場からの対応に、それこそ東奔西走の毎日ではなかったかと拝察いたしております。この問題につきましては、後ほど伺わせていただきます。

---

## 環境・エネルギー問題について

---

### 経済格差、利害調整絡みで

#### 進みが遅い温暖化防止締約国会議

**秋山** 最近、ますますエネルギー、環境の話しが複雑になり、また厳しくなっています。97年12月には地球温暖化防止に向けた京都会議のCOP3が開かれ、そこで日本は、1990年比で二酸化炭素排出量6%削減の目標が取り決められました。これを踏まえてお役所では、98年6月に総合エネルギー調査会需給部会の議を経て、同年9月に政府の閣僚会議で「長期エネルギー需給見通し」が改訂されました。

COP3から2年が経過し、昨秋COP5が開かれましたが、温暖化防止への努力なり計画が、全体として期待どおりに進んでいると理解してよろしいのでしょうか。

**藤富** COP5では制度面での目立った決定などはなく、期待はずれであったと見る向きもあるかも知れません。しかしながら、この会議は、98年のCOP4で共同実施、クリーン開発メカニズム、排出権取引といったいわゆる「京都メカニズム」や、目標達成に致らなかった場合にどうするかといういわゆる「遵守」の問題などの主要事項について、COP6での決定を目指すこととしていた中で、中間時点となる会議であり、所期の結果であったといえます。そもそも「京都議定書」自体が、途上国を含む170ヶ国以上の締約国のギリギリの合意によるものであり、この詳細を更に合意していく作業は容易ではないものです。とはいえ、わが国としては、この議定



藤 富 正 晴 氏

(通商産業省 資源エネルギー庁)  
長官官房審議官

書の早期発効のための条件整備に最大限の努力を傾注していく以外にありません。同時に国内対策の面でも、将来に向けての取組を着実に進めておくことが必要です。

日本のCO<sub>2</sub>排出量は、引き続き不況の影響もありますが、予想よりも減少傾向にあるとの印象を持っています。

秋山 国によって考え方やポジションが大分違うのが、問題を複雑にしている原因だと思います。例えばスウェーデンは、環境税を強化するなどして、それぞれの国が責任をもって目標を達成すべきだと主張し、一方アメリカなどは、むしろ排出権取引による市場メカニズムを重視していけばよい、というようなことで、いろいろと議論があるやに伺っています。

その中で、今度のCOP5では排出権取引の基本的考え方やルールなりが見えてきているのでしょうか？あるいは、目標達成に至らない場合にどうするか、などについての話しは、ある程度は進んだというふうに理解してよろしいのでしょうか？

藤富 削減目標の未達に対する罰則の議論は

出ましたが、これについての本格的な議論はまだ始まったばかりの段階です。一方、排出権取引などのルールについては、今回決定しようということではなく、COP6での決定に向けての議論のたたき台を作ることが主眼でした。

会議が始まってみると、これまで同じテーブルに着くことさえ拒否していた途上国グループがとりあえず議論することに前向きになったという明るい面もあります。いずれにしても現時点でルールが決まったわけではなく、これは難題と思います。特に先進国と発展途上国間に経済格差の問題が根底にありますので、利害調整がますます難航すると思います。

#### 経済に無知な

#### 国際環境会議の多数国代表

秋山 そのように国際的にいろいろと議論がある中で、日本の役割はどのようなものでしょうか。それぞれの業界も具体的な削減目標を置いて鋭意取り組んでおられ、全体としてCOP3に照して良い動きをしていると伺っていますが。

藤富 そう思います。リオ地球サミットの5年後のフォローアップとして、COP3の前に、ニューヨークで開催された国連環境特別総会に出席したときのことで。この会議では地球温暖化は20ほどの全体テーマのうちの1つでしたが、このような地球環境全体の会議で、日米加の代表団と他の先進国との違いは、日米加は環境関係者だけでなく、エネルギー全体がわかる人が出ていました。日本からは、通産省と環境庁が出席です。ところが、ヨーロッパや発展途上国は環境省の人だけ

で、地球環境の議論はされても、持続的経済発展や産業構造絡みの議論になりますと、国を代表する正式の議論はなくて、環境面からの一面的な主張になるわけです。これは日本、アメリカ、カナダの代表団とかなり違うという印象でした。

**秋山** 確かに、そういった状況の中では日本の役割が国際的にも大変期待されるわけですね。後ほどキーワードの一つとして「戦略」という言葉を取り上げたいと思いますが、今後は国際社会の中で、包括的な意味での戦略的ポジションを確保していく努力が必要ですね。

**藤富** お話のとおりです。

#### 循環型経済社会の構築に設計・生産・消費・廃棄を含めた対策の推進を

**秋山** 近頃では環境保全と経済活性化の両面を考慮に入れながらの、いわゆる循環型経済社会の構築が必要との話しが出ております。これに関しては、通産省、厚生省、環境庁などが、それぞれのお立場を踏まえながら、審議会などを通じて活発な検討を進めており、例えば通産省では産業構造審議会が平成11年7月に報告書を取りまとめたと同っています。

そこで、通産省で目指しておられる循環型の経済システムについて、構想の基本コンセプトと特徴、また関連した取り組みのことも含めて、お話いただけますでしょうか。

**藤富** 一言で申しますと、通産省の循環型経済政策の骨子は、産業に密着した新しい取り組みをしようの一語につきます。ベースの考え方は、環境庁、厚生省、通産省とも同じです。

従来の環境対策、例えば生産工場の排ガス対策、自動車の排ガス規制などは、かつての四日市喘息に見られるように、汚染源の除去ということで、硫黄酸化物対策、窒素酸化物対策を徹底してやったわけです。

ですけど、最近問題になっている汚染物質は、そのように高濃度で短期間に健康への影響が出るものではなく、濃度は薄いけれども、例えば人間が一生吸えば発がん性が出るような物質も規制しなければなりません。例えば、ベンゼンは70年で10万人に1人が発がんするレベルまで大気中濃度を下げようとしています。

ダイオキシンは極めて薄い濃度のものですが、最近では、測ってみますとかなりのところから検出されています。このような極めて低濃度の有害物質を抑制するには、生産、使用の段階だけでは困難で、設計、生産、使用から最終的な廃棄に至るまで含めた抑制策をとるのが、循環型経済システムにおける基本的な考え方です。そういう意味では、厚生省、環境庁、通産省の考え方は同じです。

あとは、数多い所管産業と連携し、企業努力も併せて、発生を制御していくというのが通産省の考え方です。

#### 日本に不足な生物学的基礎実験データ

**秋山** 環境や健康に影響するかも知れない物質については、それらのリスクに関して、役所間で問題の捉え方や評価に温度差がないことが望まれます。そこでお尋ねしたいのですが、とりわけ低レベルの汚染源によるリスクが気になるとして、これについて明確な科学的データなり裏付なりがあるのですか？

**藤富** まさにそれが無いのです。例えばベン

ゼンの発がん性のデータは、世界中でアメリカと西ヨーロッパの論文が圧倒的に多いのです。3省庁それぞれが人間の発がん性に影響する濃度をデータベースで調べましたところ、データがあるのは海外だけで、日本では厚生省、環境庁の衛生環境の研究所の人たちにそういう基礎データを取る熱意が不足なのでしょうか、ほとんどありません。

要は、ネズミとか、ウサギなどに対する低濃度の長期曝露の生物実験は大変な手間ひまがかかります。放射性影響にしきい値があるかないかとよく似ていて、ベンゼンの濃度を薄くすればするほど、ネズミもウサギも何も変化しないわけです。ある程度の数、対象実験とともに曝露させているグループを比べなければならぬわけです。

この手間ひまのかかる生物実験は、本来、国立研究所などでやるべきと思っていますが、日本では残念ながらそういうデータがなく、最初の判断をするときに欧米のデータに頼らざるを得ないのです。

今は、多分、環境庁もそういう生物実験をやり始めていると思います。

もう1つ、日本の大気中にどの程度の有害物質が存在しているかの基礎的調査資料もなく、こちらも非常に困ってしまったわけです。

秋山 そうですか。これからは是非その辺りの情報を整備していかなければいけませんね。究極的には、できるだけ言葉どおりに近い循環型の社会システムを目指すとしても、現実に残留したり拡散したりする汚染源のことは、慎重かつ十分に念頭に置いていく必要があると思います。

---

## 2000年度の通産省予算について

---

情報化・環境・高齢化・バイオ

### 4 市場の創造を中心柱に

秋山 今度は2000年度予算をお伺いいたします。まずは、新しいテーマ、重点項目、そして、その考え方や背景についてもお話いただけますか？ なお、原子力に関係するところは後ほど改めて紹介いただいても結構ですが。

藤富 来年度予算は、21世紀のシーズとニーズを展望した市場の創造ということで、4分野に特定して力を入れています。1つは情報化関連市場。2つ目は、環境関連市場、例えば先ほど話のありましたゼロエミッションを目指す循環型社会システムの構築。3つ目は高齢化の関連市場。4つ目がバイオテクノロジー関係市場。その他、中小企業対策もありますが、ニーズについては、この4つです。

### 提案公募型研究の採択も巾広に

秋山 4つの分野は、それぞれ最先端の科学技術をベースにしており、大学や研究機関の第一線の研究者の提案や研究内容と極めて密接に関係していると思われます。そうした研究の資源、つまり知識や人や設備などを、国全体として適切にオーガナイズしていくことが是非とも必要ですが、その点について何か特段のお考えや計画がありますか？

藤富 産官学が協議した戦略づくり、あるいは提案公募型研究への予算増額を考えています。ただ、提案公募型は提案テーマが不明のマイナス面もある反面、意外と大蔵省には好

評で、この中から発想の優れた新しいものを発掘したいと考えています。

**秋山** 海外の研究者が、共同研究に加わりたいと希望してくる場合はどうなりますか？

**藤富** 海外との共同研究も可能です。かなり以前から、工業技術院の大型プロジェクトでは、在外・在日大使館で英語による説明をしています。実際にドイツから単独に、また日本の大学との共同研究の形で提案されてきたことがあります。内容が全体スキームにうまく適合すれば、また少しモディファイしてもらえれば、採択になります。

**秋山** そうですか。これは一般論ですが、海外も含めた研究公募は、慎重かつ前向きに考えていかねばならず、時には難しい問題もあります。でも、今のお話でお考えがよく分かりました。

#### 環境対応が中心の

#### ミレニアムプロジェクト

**秋山** 昨年8月には「ミレニアム・プロジェクト」の計画が、関係省庁からの要求案として発表されました。これは、国際競争力のある次世代産業の育成を目指して、2000年度から官民共同でスタートする計画だと伺っていますが、その狙いと内容について、ご紹介願います。

**藤富** 通産省はミレニアムプロジェクトの中で、特に環境分野に力を入れています。

3つテーマがあり、1つはゼロエミッションを目指す循環型社会の構築。細かくなりますけど、建材やガラスのリサイクル技術など、いくつかそういうものが集まったものがあります。2つ目は、燃料電池などの導入・普及を核にした脱CO<sub>2</sub>社会の構築。3つ目は、化学



秋山 守氏

(財)エネルギー総合工学研究所  
理事長

物質の有害性を踏まえて、その完全管理体制の構築。先ほど議論がありました有害性物質のデータ整備とか適正管理を、遅ればせながら予算をつけてやっていこうというのが環境関連のミレニアムプロジェクトです。

この他、情報通信とか、高齢化対応がありますが、通産省での直接テーマはこの環境対応が中心になります。

---

### 資源・エネルギー総合技術

#### に関する戦略的展開

---

#### 現状技術の延長で描けぬ2030年

#### まずは基本理念の確立から

**秋山** ありがとうございます。ところで、先ほどのお話に出てきたキーワードの「戦略」ですが、資源エネルギー総合技術に関する戦略的展開ということが最近の大きな話題になっており、省エネ、新エネ分野への技術的ブレイクスルーに大きな期待がかかっています。

す。ただ一方では、それらが従来はいわば個々別々に技術開発の対象だったのに対して、これからはもっと総合的に、そして長期的に取り組んでいくと。まさにそれらは戦略的な取り組みとして理解できると思います。これらについて、通産省では産業技術審議会の総合部会で、産業技術戦略のフレームづくりを昨年6月から検討し、資源エネルギー庁関係では資源エネルギー総合技術戦略研究会が11月からスタートしました。

そこで、これらの基本的な考え方、具体的内容、スケジュールなどをお聞きしたいと思います。

**藤富** 政府全体として産業技術戦略の作成を昨年末目標に考えていました。各論として資源エネルギー分野は、ロングレンジで2030年を見越した技術戦略を立てようと議論しております。

2030年の社会に対応するには、現状技術の延長線上では不可能との意見が出ております。現在は、3Eと呼ばれている、経済成長、エネルギーセキュリティ、環境保全という3つの制約の中で、技術をいかに進めるかが問題ですけれども、2030年になりますと、日本の人口も減少に転ずるでしょうし、一方、エネルギー資源の可採年数も、石油が40年、天然ガスが60年というのもかなり見えてくると思います。卒直に言って、どう考えていいのか、まさに悩んでいるところです。

それで、単純に考えますと、規制緩和が進行し、エネルギー間の競争は激化している。一方で、環境制約が厳しくなれば、技術の中に自然淘汰が発生する。そして、残ったエネルギー源だけで日本のエネルギーセキュリティが確保できるか、特に原子力問題の絡みで、

エネルギーセキュリティをいかに勘案しつつ戦略を立てていくかは、極めて難しい問題だと思っています。そういうことで、委員会の先生方には春まで一緒に思考を巡らしていただき、何らかの基本理念を立てていきたいと考えています。まさしく先が見えてやっているわけではありません。

## 日本学術会議も進めるエネルギー戦略

### 流行語にもなっている「エネルギー学」

**秋山** 今のお話に関係すると思いますが、日本学術会議でもエネルギー戦略の検討が進められています。ご案内のように、日本学術会議には沢山の研究連絡委員会があり、その中の1つに、東京電力顧問で日本学術会議会員の三井恒夫先生が委員長をしておられる「社会・産業・エネルギー研究連絡委員会」があります。この研連は、わけでも重視されている研連の1つだと認識していますが、そこではまさにエネルギー戦略について、全体的なビジョンと骨格を見定めていこうと、現在鋭意努力が続いているところです。私もそれに参加させていただき、勉強している最中です。

私どもの研究所でも、日本学術会議の活動に連動しながら、「エネルギー戦略検討会」を進めています。東京大学の鈴木達治郎先生を中心に、通産省、大学、研究所、産業界などの識者の方々の幅広い参画をいただいています。

関連して「エネルギー学」という言葉も最近流行りになっています。これについても三井先生の肝いりで関係者の関心が繋がりを見せるようになり、2000年3月には日本学術会議で公開講演会が開かれます。人文・社会、理学、工学など、さまざまな分野のリーダーが、

エネルギー学についてのお考えを述べられるということで、私も大変期待しております。

エネルギー戦略やエネルギー学については、実は三井委員長を中心に1999年2月に取りまとめた日本学術会議対外報告「21世紀を展望したエネルギーに係る研究開発・教育について」の中で、その重要性が指摘され、今後の取り組みについての提言が示されています。

先ほどのお話の「国の戦略的取り組み」に関係することなので、日本学術会議関係の動きに触れさせていただいたわけですが、全体としていろいろご指導・ご支援を頂戴できれば幸いです。

#### アメリカ政府のPCAST報告と

#### DOEの包括的国家戦略

秋山 海外に目を広げてアメリカの状況を見ますと、大統領の科学技術諮問委員会(PCAST)のレポートが97年に出ました。エネルギー関係では、エネルギー省(DOE)が包括的国家エネルギー戦略(CNES)を、ほぼ同じ頃に出しています。その中身を見ますと、1つが世界を視野に入れながらエネルギー供給源をどのように多様化していくかということ。2つ目が技術知識基盤を強化すること。それからエネルギー環境の安全保障にも及んで、かなり精力的に議論を纏めています。

エネルギー省では、もう1つ、包括的電力競争プランがあります。これはアメリカの小売電力の競争を促進しようとするもので、環境保全に向けての再生可能エネルギーのポートフォリオ・スタンダードを導入するといったことを言っています。

わが国でも関連した動きや計画があると思いますし、先ほどお話しました日本学術会議

のエネルギー戦略の議論もその一環でしょう。エネルギー戦略を確立するという目標を見定め、エネルギー研究開発を策定していく枠組みを提示し、そして戦略を進めていく体制などを議論しようという、いわば3段階構えです。

#### アメリカのNERI計画が目指す

#### 原子力技術の世界的リーダーシップ

秋山 ところで、エネルギーの中で重要な位置を占める「原子力」のことですが、私、昨秋アメリカの原子力学会の冬季大会に出席し、そこで前会長のテッド・クイン氏に会ってきました。彼は、昨年5月、日本原子力学会の創立40周年記念式典に出席し、講演をしてくれたのですが、その内容の柱はアメリカのNERI(原子力研究イニシアティブ)計画についてでした。NERI計画を記載した資料の冒頭に書いてある「ミッション・ステートメント」を見ますと、目的が極めてハッキリと分かります。何のためにNERI計画を進めるのか、然り、原子力に関してアメリカは他のいかなる国に対してもリーダーシップを渡さない、ということです。

藤富 確かに、アメリカでは、もう長い間原子力発電所の新設がありません。しかし、アメリカが国として原子力技術を維持、発展することがいかに重要と認識しているかが、この計画をみるとよくわかるような気がします。

秋山 それに基づく計画内容のことですが、PCASTのリコメンデーションに対応した原子力版となっています。その進め方について言えば、研究者からのボトムアップの提案をうまく調整して、しかも競争的に進めて、ベストミックスになるような選択をしてい



く、ということのようです。計画が出てくる母体は、アメリカでいえば国立研究所であり、そして大学・産業界であるわけですが、これらの提案をDOEが諮問委員会の意見も聞いて戦略的視点に基づいて評価し、調整を行っています。

**藤富** これはNRC（原子力規制委員会）も一緒にやるのですか。

**秋山** ええ、実施される研究テーマの中にはNRCが参加しているものもあります。またこの計画は、国際協力も含まれており、全体の金額は今のところ大きくはありませんが、日本からメーカーや大学が、先方と相乗りで参加しているテーマもあります。テーマ分野としては、核不拡散性の高い原子炉の設計だとか、廃棄物の新しい処理法だとか、いろいろあります。基礎研究としては、新しいものを積極的に目指そうとしているようです。わが国でも産官学の協力で、こうした形の活動が広がっていけばいいと思うのですが……。

**藤富** イニシアチブをとって強烈ですね。あと、参考までに申し上げますと、当方もNERI計画のまねをしたわけではありませんが、先ほど申しましたように通産省も来年度

から原子力分野について提案公募型の技術開発制度を創設すべく、現在予算要求を行ったところでは。

---

## JCO事故の対応について

---

### 原子力防災新法と

#### 原子炉等規制法改正の緊急立法

**秋山** ところで、例のJCOでは、国内だけでなく国際的にも随分大きな波紋を起しました。事故の原因と対策については、原子力安全委員会に設けられた事故調査委員会により、昨年12月に報告書がまとめられ、100項目余に及ぶ提言がなされています。大変難しいと思いますが、主な点について今後どうすればいいのか、コメントを頂ければ幸いです。

**藤富** 行政としての緊急措置を3つほど考えました。1つはこの際原子力災害に対する確とした防災措置法をつくりました。2つ目は、核燃料加工施設についての安全規制を、原子力発電所並みに安全のレベルを引き上げるための原子炉等規制法の改正。3つ目は、今回の東海村事故での反省から、地元の県、市、国、事業者の4者が密に連絡をとりながら迅速に現場の対応をとれる対策拠点（オフサイトセンター）をつくることです。これは、全国の原子力発電所の立地点、それに六ヶ所村のような核燃料サイトのあるところを含めて、全部で20カ所ほど今年度の補正予算で整備することにしました。

今回の事故が発生した直接の原因は、裏マニュアルといわれるものをつくって、なおかつそれに逸脱した作業をしていたことが判明

しており、今申し上げました法体制の整備、オフサイトセンターを含む補正予算の実行により、1日も早く立地点の方々に安心いただける状態にしたいと思っています。技術的には、安全委員会の事故調査委員会報告書にある提言を検討し、速やかに具体化していくことと思います。

**秋山** 今のお話に関係がありますが、電気事業連合会を中心に、最近「ニュークリア・セイフティ・ネットワーク」が設立されたと伺っており、原子力学会も適切にその役割を果たしていくことが期待されています。このような動きについては、どのようにお考えでしょうか。

**藤富** 簡単に申しますと、「ニュークリア・セイフティ・ネットワーク」は電気事業者、燃料加工メーカ、プラントメーカ、研究機関等の参加により、昨年12月9日に設立されたものです。

活動内容として、安全文化の普及、会員間の相互評価、原子力安全に関する情報交換や発信の3つを主要業務としています。原子力学会の中では、社会と原子力の関係とか、何か分科会もあるんでしょう。なかなか難しいと思います。

#### 啓発活動も開始している原子力学会

**秋山** 日本原子力学会も、これまでは原子炉の物理、安全設計、熱流体、材料などといった科学技術が基盤であり、ほとんどは理学と工学の分野の会員で構成してきたのですが、この節、今おっしゃったような、社会的な面が重要だということで、東京大学の鈴木篤之先生などが中心となって「社会・環境部会」が発足し、活発に活動を始めているところです。

学会活動が社会に随分と開かれたものになってきていること他の例では、青少年などを対象としたオープン・スクールが開かれています。専門家が分かりやすくデモンストレーションをしたり、具体的な実験装置を使っての体験学習をしてもらったりしています。学会の会員を増やしていくことも大切で、現在は約7,000人のレベルですが、これをできれば1万人にまで増強したいと、目下、会員増強キャンペーンを進めているところです。

それから、学会の年会や研究集会も、近頃では地元で開かれるようになってきています。福井に次いでこの間は柏崎で開きました。

**藤富** いいことですね。通産省でもエネルギー全般や原子力について、一般の方々に分かりやすく説明し、理解していただくために「一日資源エネルギー庁」とか電源立地県、市町村での説明会に、積極的に出てゆくよう努力しています。

---

## 原子力の将来政策

---

### JCO事故影響を見定め策定したい

#### 「原子力開発利用長期計画」

**秋山** さて、原子力政策について見ますと、新しい原子力長期計画の策定の作業が始まり、私も及ばずながら先端科学技術を主な対象とする第四分科会のお手伝いをするようになりました。原子力発電、燃料サイクル、放射線利用など、どの分科会をとっても、今回の策定作業はこれまで以上に大変ではないかと想像しております。そこで、主なポイントや課題などについて、審議官がどうお考えに

なっておられるか、お聞かせ願います。

**藤富** JCO事故の発生後、私どもの関心はただ1つ、事故の影響がどこまで日本の社会に広がっていくのか、どこまでまた元へ戻ってくるのかが、今日の最大関心事でして、政府審議会のそれぞれの分科会、それから原子力長計の策定会議などでもいろいろ厳しい意見が出ています。それをそのままエネルギー政策の中で原子力をどういうふうにかという議論もありますし、そこまでは戻らなくても、もう一度原子力の意義を考えるべきだという議論もあります。

また一方に、原子力委員会に原子力政策円卓会議があり、その場を通して、専門家も一般の方々も含めての世人から見たJCO事故と、そして今後のエネルギーに占める原子力の位置付けへの評価を、なるべく片寄りのないままの意見で聞いておきたいと思っています。その上で分析して、今後の中核エネルギーと見込まれる原子力の進め方と、一般の方々懐かれる不安を十分把握しておきたいと思っています。幸いに、長計の議論は2000年末までの取りまとめですから、JCO臨界事故の影響をよく見定めていきたいということです。

#### 若い人に魅力あるメニューの織り込みも

**秋山** 第四分科会でもJCO事故に鑑みてどのような問題意識を広げていけばいいのか、といった議論があり、それも重要なことだと思います。第四分科会では、21世紀にも原子力が先端科学技術を大いに引張っていったり貰いたいと願っていますし、併せて若い人達を原子力の分野に惹きつけるだけの魅力あるメニューを整えていきたいと、強く願っている

次第です。未踏分野への挑戦、持続可能な発展、そして横断的事項といった括りで、具体的には加速器、レーザー、放射光、核融合、それから核分裂の関係では中小炉の研究が、それぞれ対象に挙っています。

#### 法案提出段階に来ている

##### 高レベル放射性廃棄物と廃炉材の処分

**秋山** 核燃料サイクルには、改めて申し上げるまでもなく、再処理、プルトニウム利用、バックエンド対策などと、いくつもの重要な課題分野があります。それぞれ関係者の大変なご尽力により、着実に事業が進んでいると理解していますが、これらについて取り組みの概要、課題、現在の進捗状況などについて伺いたいと存じます。

**藤富** 唯一の明るい話は、今まで“トイレなきマンション”といわれていた高レベル放射性廃棄物処分に關する法律案が本年の国会に提出される予定です。もう1つは、廃炉解体の処分の手当てに対応がとれると思います。

廃炉の方から話しますと、電力会社は、現在のところ、廃炉後の解体までは引当金を積立っていますが、最終的に地下処分する費用は積んでいません。税制改革により、廃炉して、切り刻んだ廃材を最終的に地下処分する費用まで含めて引当金として積立てるのを可能にするのが1つ。

それから、再処理施設から出てくる高レベル放射性廃棄物のガラス固化体は、今、六ヶ所村で中間貯蔵して保管管理していますけれども、それを最終的に地下埋設処分するための法律、高レベル放射性廃棄物の処分事業に關する法規を今春の国会に提出する予定にしておき、それが通りますと法律上の手当てが

完了します。

秋山 高レベル放射性廃棄物の問題に手続きの準備ができたということですね。具体的な実施には、なお努力が必要かと思いますが、重要なことが逐次進んでいくことは大変有難いことです。

---

## 21世紀を迎えるに当たって

---

### 未来の展望に重要な

#### ロバート・マーターの“自己充足予言”

秋山 さて、いよいよ21世紀の開始も目の前になりました。21世紀の100年、さらには新たなミレニアムを展望して、世界的に議論が活発になっていると感じます。大きな話題としては人口問題、エネルギー・環境問題、高齢化問題などがあり、また情報化も一層激しく進んでいこうと予想されています。そこで、私が最近2、3の会合で、未来論について識者の見解や展望を引用した例がありますので、その中の1つをご紹介します。

未来を一体どのように見ていくのか、あるいは臨んでいけばよいのか、ということについて、ロバート・マーターというアメリカの社会学者は「自己充足的予測」と称するスタンスを述べており、英語では“Self-fulfilling Prophecy”といわれています。

つまり、未来を淡々と予測するのではなく、自らを満たしていく姿勢で未来を眺めていく。未来はこうなればよいという願望を含めて、積極的、意欲的、挑戦的に未来を目指していく。そのことがまさに大切だという訳です。

そこで彼が例として挙げているのは株価です。人間が関与することだから、いわば当然なことではありますが、持ち株の値段が上がれどか、他人の株は下がれどか、いろいろな思惑なり願望があって、その挙げ句、株の値段にある種の影響が出てくる、ということのようです。

他のことでも、単に客観的な物事の流れだけでなく、相当に主観的な人間の努力なり願望が結果としてそこに生きてくる、という局面があります。人口、エネルギー、環境、情報化、高齢化など、すべてを含めてのことですが、「われわれは、こうするんだ」という問題の捉え方が大事です。「なせば成る」といった前向きな姿勢でありたい、と感じるこの頃です。

前置が長くなって恐縮ですが、そのようなことも含めて、21世紀以降をどのように展望すればいいか、ということについてお話を頂ければと思います。

### 人類50億年の存続に

#### 地球的余裕が少ないエネルギーの選択

藤富 エネルギー源の賦存状況とか、地球大の環境保全とかの問題になりますと、自ら技術間、エネルギー間の競争が激化し、巨大技術を要する原子力エネルギーは、短期の競争には厳しい状況に陥るおそれがあります。

地球は、あと50億年ぐらい少なくとも星として存在します。最後は、太陽が惑星化して、白色惑星として大きく爆発するとか、飲み込まれるともいわれていますが、いずれにせよ、数10億人なり100億の人が、あと50億年、地球に住むのであれば、何らかのエネルギーと食糧は50億年もたせなければなりません。その

とき、現在の石油、天然ガス、原子力、風力、光などのうち、どんなエネルギーでもいいのですが、いずれにせよ50億年もたせるのは結構大変なことです。そういう意味では、エネルギーを安全なものからどういう順番に使っていくかの議論が必要と思います。

安全に使えるエネルギーとやや安全でない技術とが時代とともに変遷すると思いますが、すべてのオプションを捨てることなく、人間に悪さをしない方法で、どのように使っていくかの追求はやはり重要と思います。

このように考えますと、原子力は当初考えたよりも結構難しいという議論があり、核融合はさらに難しい気がしますが、いずれにせよ、人間社会をあと何億年も生かしていくとき、なかなかそういうオプションを放棄するだけの地球的余裕はないのではないのでしょうか。余裕がないのであれば、今あるオプションをいかにうまく使っていくかにつきると思います。

そのとき、今の科学技術を有効に使っていかねばいけないし、それは別に日本の技術である必要はなく、欧米の技術にもすぐ使えるものもあるでしょう。技術に国境はなく、日本も発信しなければいけないし、欧米からももらいます。理事長は日本の原子力技術には海外への発信が少ないと言われていましたが、海外と共同してやっていくとき、日本も何か貢献しないといけないと思います。20世紀はキャッチアップの時代でしたが、21世紀は日本からも発信する元気のある人が出てほしいという気がします。

#### 世界に向けた標準化に

#### 日本の顔が見える取り組みを

秋山 審議官のおっしゃった、日本からの発信を強化しなければいけない、ということに関連して、これは大分以前から審議官にご指導・ご支援いただいている標準活動がまさにそれでして、最近では電気技術標準の分野で見ますと、日本電気協会を中心に電気学会、日本機械学会など、関連の学協会が積極的に取り組むようになってきました。ISO（国際標準化機構）とASME（米国機械学会）の両睨みの中で、わが国の貢献と主体性を増していこうと、関係者は努力しているところです。標準を含めた「スタイル」を制するものが勝つ、と深く認識して、戦略的に事を進めていくことが肝要です。これらの面も含めて、21世紀には日本の顔がもっと見えるように取り組んでいかねばなりません。

藤富 そうですね。国際的な学会において討論に早い時期から参加して、より多くの国々の賛同を勝ち得てゆくことが肝要だと思います。

#### エネルギー・環境派が憂える

#### 地球寿命が尽きるまでの人類生存

秋山 エネルギー・環境の問題に関して、審議官は先ほど地球の寿命まで視野を伸ばしたお話をされましたが、人類と地球の運命をそのような超々々々長期の軸上で憂えていくことは、原子力も含めてエネルギー・環境のことに必死で取り組んでいる者にしか、多分想像できないでしょうね。ふつうには、せいぜい考えても21世紀までくらいではないでしょうか。30世紀、1億年先、ましてや50億年などと考えていくのは、エネルギー・環境問題の根源と人類の生存・発展の意義を考える人の、言ってみれば後ろ姿かも知れません。

## 1 億年の時間スケールで考えたい

### 2030年の行動原点

秋山 日本学術会議では政策科学研究所の伊東慶四郎先生にもお世話になっていますが、この方は西暦3000年までの世界の総人口、環境、食料問題などを考えられます。人口は現在は約60億人ですか、これが21世紀末には100億人前後かなと。途上国の人口抑制の動きを見れば80億人止まりとの予測もあります。多く見積もれば100億人強でしょうか。それが西暦3000年になりますと、エネルギー制約だけに照しても60億人どまり。もし原子力無かりせば高々40億人と見通しています。いずれにしても、今日のお話にもありましたように、1億年という時間スケールでものを考え、それからフィードバックして、2030年にはわれわれの行動原点はどうあるべきか、などと考えていくことは非常に重要なことですね。

藤富 そうですね。西暦3000年の世界を考えるとというのは、まさにミレニアムプロジェクトですね。

#### 透明性ある技術基準の作成に

##### 活用したい第三者的中立機関

秋山 それからもう1つ、私も以前、「原子力と情報」という委員会に参加させていただきました。これは原子力発電所が設置されている各地域で、情報のインフラを活用していこうという趣旨であったと思います。非常に重要な着想であって、心底敬服したのを覚えています。それと併せて、やはり原子力も含めたエネルギーのサイドから、情報システムに刺激を与え、また情報学術をリードしていく

優れたコンテンツを注入していくことが大事であって、若い人達を惹きつけていくには、その視点が絶対に欠かせないと思っています。

藤富 特に原子力関係の現場の安全情報については、これまで役所が出していたところも、原子力学会、機械学会、電気学会のようところで発信していただく方が、これからは透明性の面でも信頼性の面でも、わが国ではいいのではないかと思います。

また、原子力の場合には、いま指針類を原子力安全委員会が決めており、それを受けて技術基準が決まっています。その技術基準について、ごく基本的性能に関する基準は国で決めるにしても、より細部で、より実務に近いところは、むしろ技術の発展を阻害しない意味でも、第三者的な中立機関である原子力学会や、機械学会などで作成していただき、その過程で国民に対してコメントを求め、反対の人は反対の人で結論がわかるように改めて、透明性ある基準の作成を目指して情報を出していただくことが、非常に重要と思います。

#### 学会に胚胎する

##### Engineering Ethics明文化の動き

秋山 そうですね。それぞれの学会で、まさにいま審議官がおっしゃったような問題意識が高まっています。そもそも社会における学会の在り方はいかに、などという基本のところから話しが始まっていますが、関連して、本来の英語のソサエティに対応して、近頃は学協会と総称する傾向も広がってきています。そして、技術系学協会の構成員が備えるべき倫理——エンジニアリング・エシックス——を明文化しようとする動きも盛んです。

**藤富** 日本ではそういうことは耳新しい話です。しかし、20年前、米国のビジネススクールでは、国内で守るべき企業倫理は、海外に企業が進出しても、国内同様に守るべきだと盛んに議論されていました。

**秋山** 日本原子力学会でも、倫理について検討が進められているところです。その背景ですが、中立性や学術的信頼性などの面から、社会の中で学協会の役割は今後ますます高まっていく状況です。それに伴って、学協会としての責任も増していきます。なお因みに、学協会は個人や法人の会員の集団ですから、責任は帰するところ個々の会員の責任ということになります。個人の集団ないしは組織としての権利と責任も当然ありますが、個々の構成員が責任を自覚し、責任を負う決意を所有することが基本ですね。

---

## お わ り に

---

**秋山** 今日の話題にもありましたように、中立的で長期的な視点に立った戦略立案が今後さらに重要になってまいります。関連して、当研究所の役割も当然重要であるという自覚と自負があります。ただ何分にも小さな組織でして、ご期待に沿うべくさらに努力を重ねていかなければならないことが多々ありま

す。そのことも含めまして、審議官から当研究所へのご期待やご注意をお聞かせいただければと思います。

**藤富** エネ総工研には、設立以来エネルギー全般にわたり、各種の調査研究をしていただきました。

私も、かつて、このエネ総工研が実施するコジェネレーションの委員会に参加したことがあります。当時、コジェネレーションは、電力業界からけっこう白眼視された記憶があります。それでも技術系、事務系の人が集った勉強会もあり、今にして思えば、コジェネが社会に導入、普及されるきっかけでした。

エネ総工研自身がそういう意味でいろいろ勉強をし、また通産省も多くのエネルギー分野で先端的な調査をしていただきました。特に、原子力分野では技術的問題だけでなく、社会との関係まで含めて、大変な助力をしていただいています。

今後ますますこのような第三者機関、一種のシンクタンクとして期待するところは大きく、ときには役所に辛口のコメントあるいは提言もしていただければと思っています。

**秋山** 大変温かいお言葉をいただき、本当に有難うございました。私どもとしましても、さらに一層お役所ならびに産業界のご期待に沿えますよう、そして社会の情勢に適切に対応できますよう、精一杯努力してまいります。今後ともよろしくご指導、ご支援をお願いいたします。

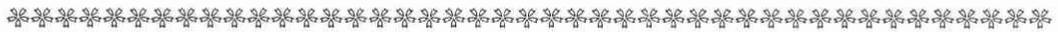


〔内外情勢紹介〕

## 分散型電源としての マイクロガスタービンの開発状況について\*



伊藤 高根 (東海大学 工学部 教授)



---

### はじめに

---

本日は、注目を集めつつあるMGT、マイクロガスタービン、あるいはマイクロタービンとっていますが、その開発状況について、脚光を浴びるに至った経緯を中心にお話しさせていただきます。

最初に、お話しする予定の手順を述べますと、

- ① MGTの出現——開発経緯
- ② MGTの構造上の特徴——いわゆるガスタービンとの相違点
- ③ 開発の現状——代表的開発機種
- ④ 性能向上と技術的課題
  - ・発電効率、エネルギー利用効率向上
  - ・耐久性、信頼性
  - ・排気特性
  - ・コスト
- ⑤ 市場参入の背景と用途

であります。

---

### マイクロガスタービンの出現

---

#### ガスタービン開発の歴史

ガスタービン開発の経緯から述べますと、そもそもの特許は、アメリカで100年ほど前に取られています。発電用ガスタービンとしての実用化は、1936年、スイスのヌーシャテル市に設置されたブラウンボベリ社製作の4,000kW機が最初でした。

いま空を飛んでいる航空機はほとんどがガスタービンになりましたが、その初飛行は、1939年、試験飛行に成功したドイツのハインケル機です。よく知られているのは、イギリスのホイットル卿が1941年に開発したターボジェット・エンジン装着の実験機でした。

その後、ガスタービンはいろいろな方面に応用されています。まず、艦艇用は、イギリスが1947年、砲艦にガスタービンを用いたのが最初です。その後高速艇に搭載したものの好成績から、1967年、艦艇への全面採用を決定しています。航空機用は戦闘機が主でしたが、ジェット旅客機には1952年に就航したイギリスのコメット号が最初で、それが今日の

---

\*本稿は昨年6月、当所の第170回月例研究会におけるご講演を、本誌掲載のため文章化したものです。

ジャンボ機に繋がっているわけです。発電用へも、航空機用のものの転用があり、現在に至っています。

ガスタービンは、レシプロエンジンと異なり、作動ガスを高温にしないと熱効率、比出力とも良くならないという宿命があり、耐熱合金などの材料開発や高度な冷却技術の開発とリンクして、性能が次第に向上してきました。

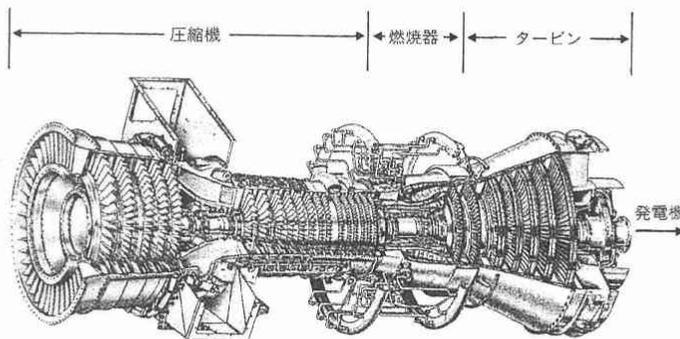
現在、発電用としてよく使われている代表例に、ゼネラル・エレクトリック社（GE）のLM6000というエンジンがあります。図1のような形状をしており、圧縮機で圧縮された空気は燃焼器で加えられた燃料の燃焼により高温の燃焼ガスとなり、タービンで膨張して回転力を生み、シャフトに結合された発電機を駆動します。出力は4万3千kW程度。圧縮機では30気圧ぐらゐまで昇圧しています。産業用としてはこのクラスのエンジンが一番性能が良いようで、効率は40%強というところですが、もっとも戦闘機など軍事用の最先端に行くものには、さらによい効率のものもあります。

## ガスタービンの冷却技術

マイクロガスタービンは、ガスタービンと普通いわれているものをそのまま何分の一かに小形化しても、成り立つものではありません。燃焼器とその後に続くタービン部などは極めて高温になりますので、材料はほとんどのものが超耐熱合金を使用していますが、それでも冷却しなければ溶融してしまいます。

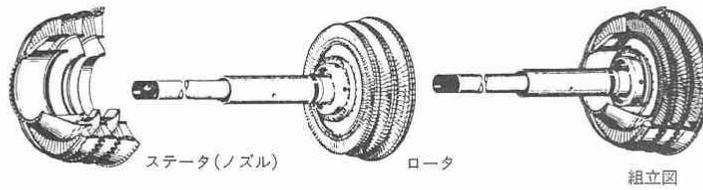
溶融を防止しているのが冷却技術です。実際にはタービン部の中身は、図2のように、静止部分のステータと回転部分のロータとの組合せからなっており、ステータにはノズルと呼ばれる翼形断面をした静翼が環状に並べられ、燃焼器から送られた作動ガスがロータのディスクに取り付けられた動翼に対し最適の角度で流入するよう、流れの方向を整える働きをしています。

この2つの翼は外観はきれいな翼型ですが、中は複雑な構造になっています。静翼は、図3のように中空となっており、その中に穴の開いたカゴのような構造のコアプラグが、この例では2つですが、設置されています。



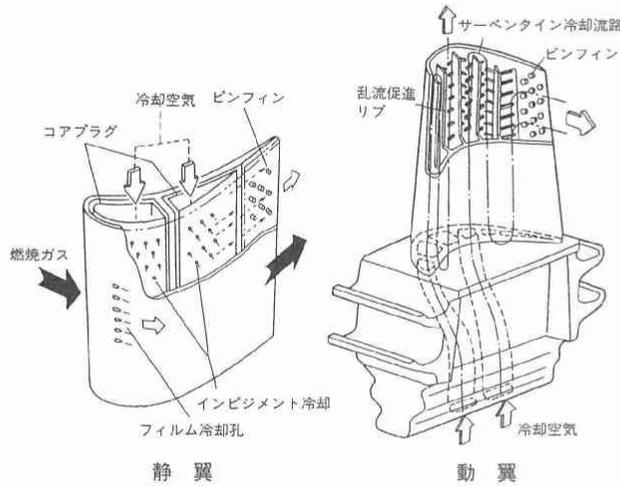
出典：GE社パンフレット

図1 GE社, LM6000ガスタービン



出典：松岡増二，「ジェット・エンジン（構造編）」  
（社）日本航空技術協会，1991

図 2 タービンのステータ・ロータ組立模式図



出典：日本ガスタービン学会誌，20—80，1993

図 3 最近のタービン冷却翼の構造例

インピジメント冷却と呼ばれていますが，このカゴの中に外から空気を送りますと，そこにある小さな孔から吹き出て，翼の内側に冷たい空気が当たり，内面から翼全体を冷却し温度を下げます。また，翼表面の小孔から空気を外にとり出し翼表面にそってフィルム状に流し，高温ガスとの間に冷たい空気の膜をつくるフィルム冷却の方式も取られています。このような方法で，1,300℃以上という高温ガスが当たっても，翼が融けない構造になっています。動翼も静翼と同じように内部に冷却構造がありますが，さらに複雑でして，

回転するディスクから空気を取り入れられ，翼の中に設けられたサーペンタイン冷却流路といわれる曲りくねった通路を通りながら翼を内面から冷却し，最後に外部に放出されます。今日のガスタービンの性能は，このような超耐熱合金技術と高度な冷却技術により維持されているのです。

#### 自動車用ガスタービンの開発経緯

小型ガスタービン，マイクロガスタービンという呼び方はどの程度の大きさの容量に対して適用されるのかははっきりしていません

ん。一般に、1,000kW以下を小型とっており、マイクロは大体500kWとか300kW以下をさします。ただ、いま脚光を浴びているものはさらに小さく、100kW以下のものがほとんどです。300kWとか、500kW以下になりますと、翼の大きさもきわめて小さく、いま申しましたような複雑な冷却構造はとれません。したがって、高効率のエンジンにはなり得ず、今まで小型ガスタービンは、レシプロエンジンに太刀打ちできませんでしたが、最近の技術進歩により、競争しうるものが出てきたということです。

500kWクラス以下ですと、自動車用としての開発がほとんどですので、そこでのマイクロガスタービン開発の経緯から話します。一番最初に研究を始めたのはイギリスのローバー社で、1950年より少し前。少々遅れてビッグスリーのゼネラルモーターズ（GM）社、フォード社、クライスラー社が始めており、日本では10年ほど遅れてスタートしていません。

もちろん、最初はメタルのガスタービンです。冷却技術が使えない状態で熱効率を上げるには、排熱の回収以外に術はなく、ガスタービンに熱交換器を組み込む技術を中心にエンジンの高効率化が進められてきました。

開発が進み、GM、フォードなどでは工場が建設されて、生産一步手前まで体制整備がなされた1970年、アメリカではいわゆるマスキー法と呼ばれる大気浄化法の改正があり、自動車の排気ガスに含まれる汚染物質の排出削減が厳しく規制されるようになりました。続いて1973年には、第1次石油ショックによる燃料価格の高騰。このような事情が重なって、発売寸前にあった自動車用ガスタービン

は、さらなる排気対策と燃費向上のため、発売延期を余儀なくされたわけです。

その後、ガスタービンが熱効率の面でディーゼルエンジンなどと対等の競争力を持つには、熱交換器の取付けに加えて、高温ガスの使用による効率向上が不可欠であり、そのため材料として、耐熱性にすぐれ冷却不要なセラミックス使用の発想が出てきました。それが1970年代で、その後は研究の中心がほとんどセラミックガスタービンに移りました。

### ハイブリッド車用ガスタービンの開発

自動車を取り巻く課題として、その後も、環境面からの排気規制の強化、資源面からの石油系燃料の将来的枯渇への対応などが出てきました。

アメリカでは、特にカリフォルニア州が非常に厳しい排気規制をつくりました。販売車の10%以上を排気ゼロの車にしないと売らせない。売るにしても高額の税金をかけるというものです。排気ゼロの車は、電気自動車なのですが、考えてみますと、使用する電気は発電所でつくりますので、そこでの排気はゼロではありません。

電気自動車用の開発は、もともと自動車からの排気ゼロの発想から進めたものですが、実際にはコスト、走行距離、メンテナンス、電池の充電時間などの問題があり、実用化という点では思ったほどうまくいきませんでした。カリフォルニア州当局は改正法を1990年頃から施行の計画でしたが、開発が間に合わず、結局、現在は発電所から出る排気を1台1台の自動車に換算して、それと同程度であればいいという線に落着きました。

その結果、完全な電気自動車ではなくて、

内燃機関と組み合わせたハイブリッド車の方が現実性があるということで、電気自動車の研究がにわかにハイブリッド車にシフトしてきました。使用する内燃機関は、ハイブリッドの系が複雑なことから軽量・小型なことがもちろん必要ですが、もともと排気対策から出発した問題であり、クリーンな排気が条件になります。それゆえ、小型ガスタービンが有力候補に上がってきました。

自動車用ガスタービンの開発は、本来は単独駆動のエンジンとして進められてきました。ハイブリッドは電池とエンジンの両方をもちますので、さほど大きなエンジンは要らず、単独のとき100kWだったとすれば、電池に50kW、エンジンに50kWと半分ほどでよく、使用エンジンの小型化が進み、それが今日のマイクロガスタービンにつながっていくわけです。

一方では、マイクロガスタービンに使われている圧縮機、タービンなどの高速回転部には、大量生産され、低コストな今の自動車用ターボチャージャで使われているコンプレッサ、タービンと、ほとんど同じ技術が使えるということもありました。

これとはまたまったく別の経路ですが、1980年代に、APU (Auxiliary Power Unit) と呼んでいますが、航空機用補助動力装置として、主エンジンの始動、主エンジン停止時の機内電源、空調などに現在も使用されている小型ガスタービンの研究開発もなされました。

このような歩みが合流して、さほど低効率・高コストにならず、比較的小型のガスタービンが生まれるバックグラウンドになりました。

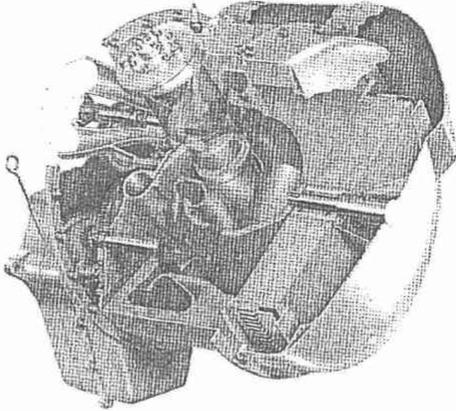
セラミックス化は、自動車メーカーが懸命に取り組んできた技術ですが、現在のマイクロガスタービンには必ずしも使われていません。将来、現在の効率30%から、さらに向上が求められたとき、再検討されるものと思います。

#### マイクロガスタービンの構造上の特徴

図4は、アメリカのGMが開発していた自動車用100HPのガスタービンのコンセプトです。自動車メーカーのガスタービンの基本構造は各社とも類似しています。熱交換器は、自動車にはコンパクトで効率のいいものが要求されますので、普通の伝熱式レキュペレータといわれているものとは少々異なった回転蓄熱式のものが開発されてきました。回転数は20rpmぐらいで、タービンから出た排気ガスで蓄熱体を温めます。圧縮機で圧縮した空気を温まった蓄熱体に通して、予熱してから燃焼器に入れる構造になっています。

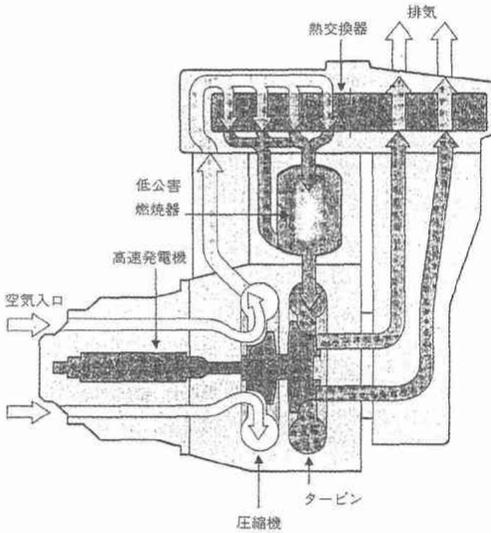
圧縮機は1段のラジアル式、タービンは1段と2段の場合がありますが、この例では2段でして、普通のターボチャージャと同じようなラジアル式のタービンが使われています。

図5はボルボのグループが開発した、あるいは開発中といった方が適切なのかもしれません。ハイブリッドエンジン用40kWガスタービンの模式図で、発電機など現在のいわゆるマイクロガスタービンにきわめて近い構造となっており、圧縮機、タービンに同軸の発電機が直結されています。吸込まれた空気は発電機を冷却し、コンプレッサで圧縮、熱交換器で予熱、燃焼器で加熱された後、タービンで仕事をして、また排熱を取り出すとい



出典：AGT Project AGT 100 パンフレット

図 4 自動車用ガスタービンの1例



出典：HSG Development パンフレット

図 5 ハイブリッド用ガスタービンの模式図

う構造です。

ここで、マイクロガスタービンの構造上の特徴を図にまとめますと図6です。1つは、先ほどのGE社LM6000のような大型ガスタービンの構造とは異なり、圧縮機はラジアル式1段のもの、タービンも最近ではラジアル式

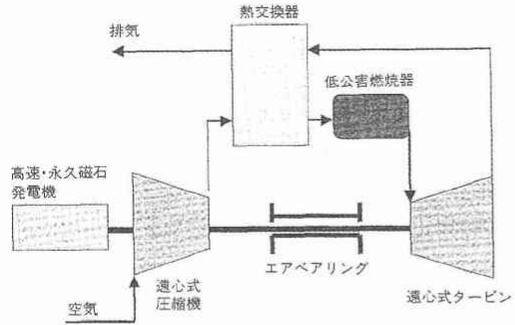


図 6 マイクロGTの構造上の特徴

1段のものが多くなっています。

これらはターボチャージャとまったく同じ形式のものです。熱交換器は自動車用のものは、小型化を重視して回転蓄熱式になっていますが、定置式ではそれほど小型化する必要はなく、空気もれ、耐久性、信頼性などを重視し、現在はレキュペレータと呼ばれる伝熱式のものが使われています。ここではタービン排出ガスの排熱を圧縮空気に回収して燃焼室に入れます。発電機は、シャフトをタービンシャフトに直結し、タービンとまったく同じ回転で回る高速発電機とする形が一般的です。

シャフトのベアリングは、今までの自動車用はほとんどオイルベアリングでしたが、小さいガスタービンではエンジン効率に大きく効いてくるベアリングのロスを減らすことと、メンテナンス上取扱いが厄介な潤滑油をなくすことを目的に、エアベアリングを使うケースが多くなっています。

燃焼器は、希薄燃焼、あるいは触媒燃焼が取り入れられ、排気がきれいな燃焼方式になっており、強化されたNO<sub>x</sub>の排出基準に対応しています。

回転数は10万rpm弱が一般的で、せいぜい数千回転の普通のレシプロエンジンとは1桁

違う回転数です。発生した電気は、超高周波になりますので、電気的には一旦すべて直流に変え、さらにインバータで必要な周波数に変換して供給します。したがって、電気の質がきわめて高いことも歌い文句の1つです。

1例として、アライドシグナル社の75kWマイクロガスタービンの模式図を図7に示します。このうち、圧縮機、タービン、発電機だけが動くものでして、これらが一体の軸で回ります。

特徴をキーワードで整理してみますと、表1のとおりです。若干の補足をしますと、燃

表1 マイクロGTの特徴

- ❖運動部分は一体ロータのみ
- ❖潤滑、冷却系統が不要
- ❖低公害性
- ❖多種燃料性
- ❖軽量小型、低振動、低騒音
- ❖高品質電力供給
- ❖保守、メンテナンス容易

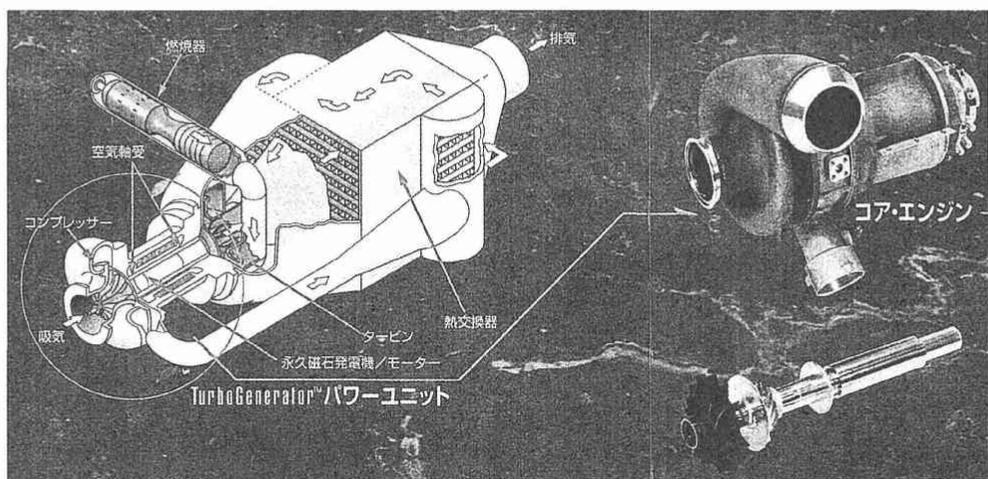
料は非常に多様で、液体燃料、ガス燃料ともに使用できます。レシプロエンジンのように、ガタガタと音を出し低周波で振れるものは一切ありません。

注目すべき点は、保守、メンテナンスが非常に容易なことです。ガスタービンは、燃焼器などの高温部分に保守が必要なところが多いわけです。マイクロガスタービンの場合には、例えば燃焼器を一体で引き出せば、良しあしは直ちにわかります。レシプロエンジンですと、エンジン全部の分解が要ります。ですから、30分もあればメンテナンスは済みます。これらが、マイクロガスタービンの大きな特徴です。

## マイクロガスタービン開発の現状

### 各社開発中のマイクロガスタービン

表2は、各社の開発仕様の大略です。表中



出典：アライドシグナル社パンフレット

図7 アライドシグナル社MGT

表 2 各社のマイクロガスタービン発電装置の仕様概略

	川崎重工	日産自動車	キャプストーン	エリオット	ボルボ	アライドシグナル			トヨタ・タービン アンドシステム
						(ハイブリッド用)	(MG T)	(MG T)	
出力 kW	12	2.6	30 (28)	45	38	50	37 (35)	75	58.8
型式	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生	1軸再生
回転数 rpm	96,000	100,000	96,000	116,000	90,000	75,000	78,000	65,000	80,000
熱効率 %	25	8.0 (10.0)	30 (28) (26)	30	28.2	26.2	23 (21~24)	30 (<28.5)	15 (12)
NO <sub>x</sub> (15% O <sub>2</sub> ) ppm	40	NA	<9	15	60	6	80	25 (<9)	—
騒音 dbA	80(5m)	55(7m)	65(10m)	60(3m)	—	—	65(10m)	65(10m)	—
重量 kg	400	65	395	145	—	—	—	900	80
パッケージ寸法 WxDxHm	1.4×0.7×0.81	0.84×0.42×0.44	0.65×1.13×2.11	0.76×1.63×0.86	—	—	—	1.1×2.4×1.8	—
排ガス温度℃	630	250	271	235	245	303	—	260	650
特記事項	灯油使用	95年市販	空気軸受	油潤滑	—	空気軸受	空気軸受	空気軸受	—

注：熱効率のカッコ内数値は、文献により数値が異なるため追記したものである。

の数値は、文献によって多少のちがいが、時間的なズレがあり、また実験値、カタログ値などが混在しておりますので同年代のものとして横並びの比較はできませんが、およその傾向は把握できます。

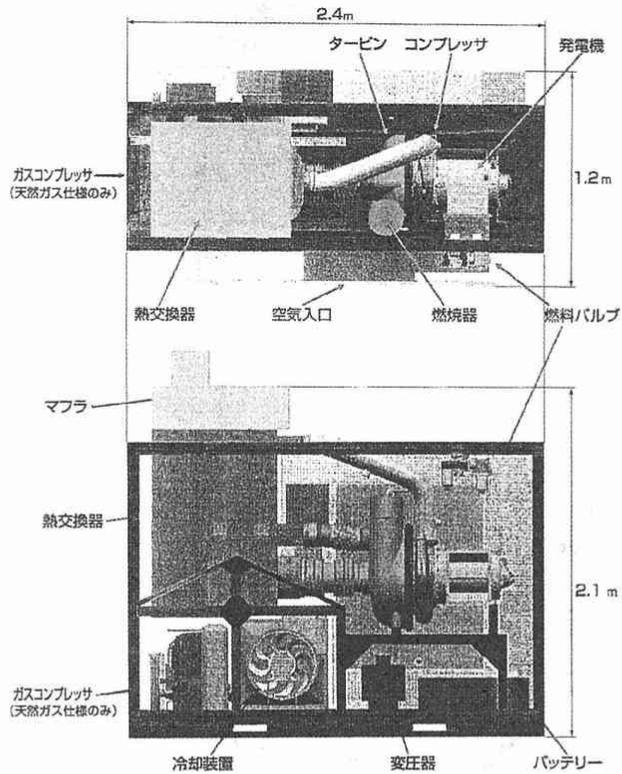
- 形式は、ほとんど熱交換器のある1軸再生式で、回転数は、10万rpm前後。
- 熱効率は30%前後が相場です。
- 排気ガスのNO<sub>x</sub>値は、酸素15%換算で9ppm以下とか6ppmのものがありますが、これらは大体触媒燃焼を使ったものです。普通のものですと25ppm程度が今の常識的水準です。自動車用に開発中のガスを使った触媒燃焼にしますと、きわめて低いものになります。
- 騒音も一般に非常に低く、機側10mで大体60数デシベルという値です。
- 重量は、75kWものがパッケージで900kg

という程度です。

図8は、アライドシグナル社の75kWのものユニット構成です。単段遠心圧縮機及び単段ラジアルタービンに高周波発電機が直結されています。タービン入口温度は比較的低い930℃で、そのため高級材料、空冷翼などは一切使われていません。再生サイクルの最適値として圧力比3.7が選ばれています。最近、日本でも売り出しており、カスタマーセットが600万円余です。

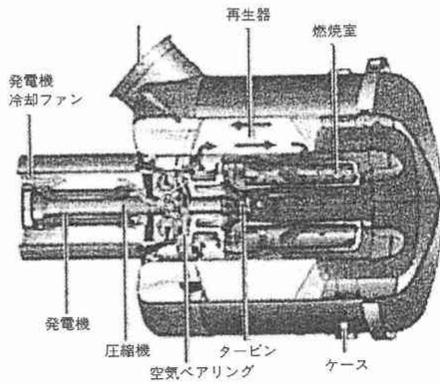
図9はキャプストーン社が開発中の30kWのもので、形が少々変わっており、熱交換器が外付け伝熱式の箱型のものでなく、エンジンを取り巻く環状の構造でコンパクトにできています。効率は28%。

図10は、日産自動車の出力2.6kWという世界最小の発電装置の構造です。パッケージの重さが65kg、販売価格は120~130万円程度と



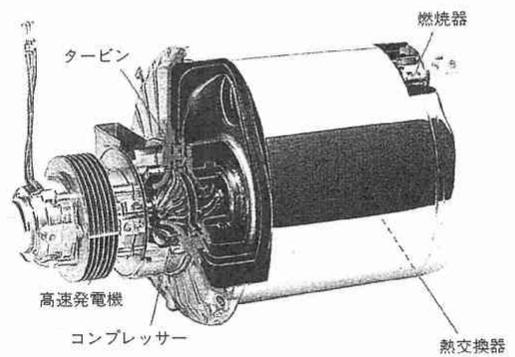
出典：アライドシグナル社パンフレット

図 8 アライドシグナル社MGTのユニット構成



出典：キャプストン社パンフレット

図 9 キャプストン社MGTの模式図



出典：日産自動車パンフレット

図10 日産自動車の携帯用ガスタービン発電機

いうことです。

### マイクロタービン・テクノロジー・サミット

マイクロタービン・テクノロジー・サミットが、1998年12月、DOE（米国エネルギー省）の主催により開催されております。参加メンバーは不明ですが、その会議の様様を伝えた記事を紹介しますと、次のような確認がなされています。

- マイクロガスタービンの潜在マーケットはきわめて大きい。
- 競合するエンジンにガスエンジンなどのレシプロ系のものであるが、現在のマイクロガスタービン技術のままでは対抗は困難。
- マイクロガスタービンの有用性をアピールするには、効率を40%以上にすることが重要。
- より低コスト、より高効率で、公表された性能が実証され、信頼性を備えたマイクロタービンの開発が必要。

これに関して若干補足しますと、表2の一覧表にはカタログ的な数値は載ってはいませんが、実験データを示す論文類はつけられておらず、その点不明確なところが多数あります。また、信頼性についても、耐久性をきっちり実証したデータが実験値として公表されてはおらず、改めて確めますと、大丈夫という返事のみがあるのが実情です。

- マイクロガスタービンシステムの熱効率、環境性能の改善には、より高温状態において、低コスト、長寿命、高効率な運転が可能な材料開発が、重要な鍵となる。

DOEによるサミット開催の目的は、現状技術を把握して、国の施策立案への情報入手に

あったと思われます。報告書として正式に公表されていませんが、噂によればマイクロタービンのセラミック化プロジェクトの新計画があります。

### GTの性能をきめるパラメータ

マイクロガスタービンを巡る情勢は以上のとおりであり、今後も継続して性能向上を推進する必要があります。

ガスタービンの性能を決めるパラメータには、表3に示すように、サイクルパラメータと、その中に入っているコンポーネントの効率に関連するものとに2分されます。

表3 GTの性能をきめるパラメータ

❖ サイクルパラメータ
—タービン入口温度 (TIT)
—圧縮機圧力比
❖ コンポーネント効率
—圧縮機断熱効率
—タービン断熱効率
—熱交換器温度効率
—圧力損失、漏れ損失
❖ 機械効率 (補機、ベアリング損失)

従来の大型ガスタービンは、効率の向上に入口温度を高め、圧力上昇を図るという方法をとってきました。しかし、マイクロガスタービンの場合、熱交換器の取り付けが前提ですので、圧縮機の圧力比を上げることは必ずしも必須ではなく、圧力比は低い方がいいこととなります。一方、タービン入口温度の高温化は、マイクロガスタービンの場合も効率向上に大きく響きますので、いかにして上げるかが1つのポイントです。

コンポーネントの効率は、小型ガスタービ

ンの場合、機械効率が意外と敏感に効きますので、表3の項目について発電機も含めた損失として、洗い直してみる必要があります。

図11は、横軸に発電用ガスタービンの出力を、縦軸に発電効率をとりプロットしたものです。右半分にある“●”印の点の一郡は現在のメタルガスタービンのもので、ガスタービンには、小型になるほど同じ技術でつくっても効率が下がる宿命があります。最小二乗法により求めたラインが図中の太線です。10kWから100kWの間にある“■”印はマイクロガスタービンで、一般のガスタービンの効率から外挿しますと20%以下になるのですが、熱交換器をつけたマイクロガスタービンはその延長線を上回った30%近くの効率になっています。

また、図中央の上部で40%近辺にある3つの点は、セラミックガスタービンの開発例です。自動車用100kWのものとはNEDO(新エネ

ルギー・産業技術総合開発機構)で行われたコジェネレーション用300kWのもので、後者のCGT 302では熱効率42%という実験値が確認されています。自動車用の方は、目標値40%に対して、プロジェクトの期間を限定されたこともあり、最終結果は36%に留まりましたが、このような差異が発生した原因も分析されており、実力として熱効率40%を出せる可能性はあるとみています。

したがって、現在の日本のセラミックス技術を適用しますと、耐久性などの確認は残りますが、およそ計画どおりの効率が得られると思われれます。マイクロガスタービン・サミットでは40%を超える効率が重要という話がありました。研究開発プロジェクトの対象エンジンよりさらに小型になりますと、図11から熱効率は低下しますので、40%ラインへの到達は難しいかもしれませんが、セラミックス技術の適用により37、38%ぐらいは可能か

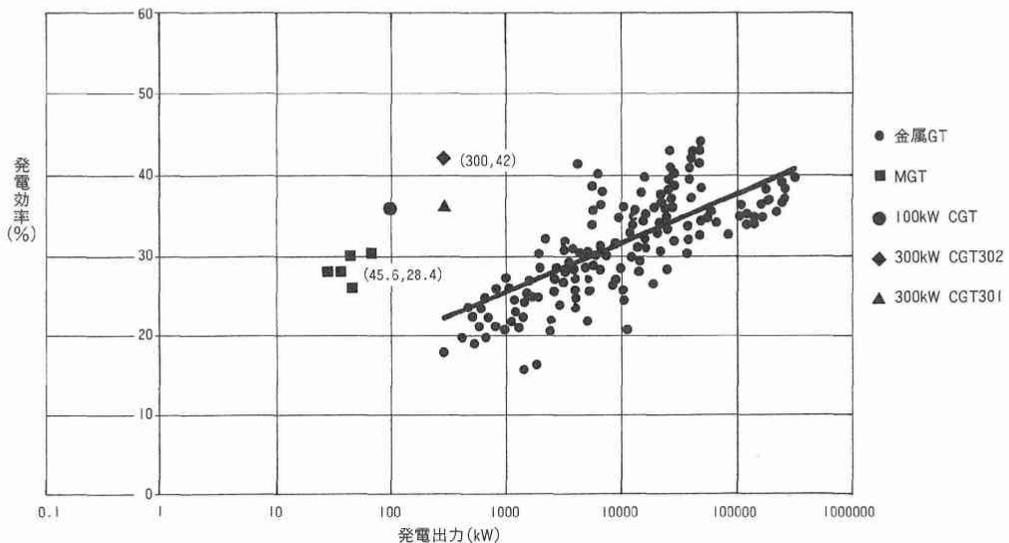


図 11 ガスタービン発電機の出力と効率

という感触です。

---

## マイクロガスタービンの技術的課題

---

### エンジン熱効率の向上

以上に関連して、技術的課題がどこにあるかを最後に述べます。

表4は、エンジン熱効率の向上策をまとめたものです。第1がタービン入口温度の高温

表4 技術的課題

❖エンジン熱効率向上
一タービン入口温度の高温化
・セラミックス化 (1200°C)
一熱交換器温度効率向上
・ $\varepsilon > 90\%$
・高温化への対応 (セラミックス化)
一圧縮機・タービン断熱効率向上
・空力設計
・チップクリアランス管理 (Abradable Seal)

化でして、熱効率の向上には不可欠です。セラミックスの使用により、1,200°Cが目標になります。これ以上の温度にしますと、セラミックスが非常に厳しい状況になるからです。

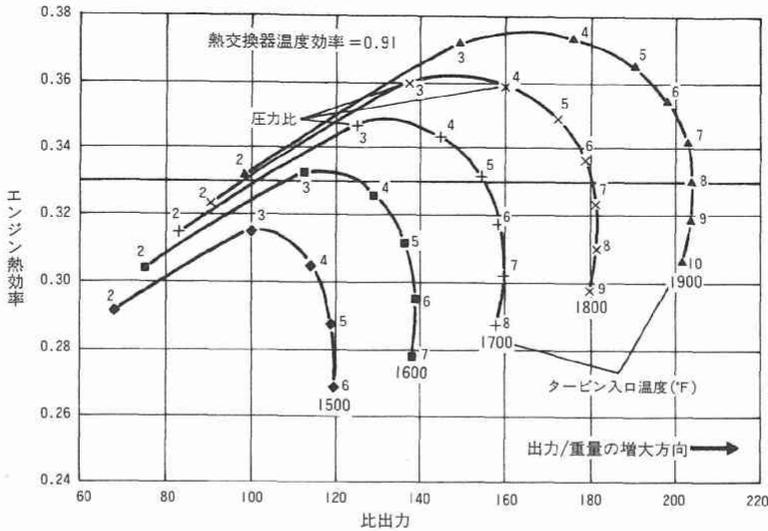
第2に熱交換器の温度効率向上ですが、嵩の要素が大きく、伝熱面積を増やせば効率は上がるのですが、コンパクトでかつ90%以上の効率が望まれます。図12にありますように、タービン入口温度を高める効果は大きく、そのとき最適圧力比も低くてもよく、熱交換器に入る温度が高くなり、現在のメタル製レキユペレータでは温度的に苦しく、熱交換器のセラミックス化が重要になります。

第3に、コンポーネントとして圧縮機、タービンの断熱効率の向上が必要になります。小型のものはレイノルズ数との関係で、同じ技術でつくっても大型のものほど効率は出ません。特にマイクロガスタービンの場合には、コスト面の制約があり、コストを無視して作動ガスの流路を滑らかに磨くような仕上げにすれば効率は上がりますが、ターボチャージャーと同様な技術で粗さのある面を前提と考えますと、空力性能を上げるのはそれほど容易ではありません。

また、遠心式小型ガスタービンは、大型のものに比べて相対的にブレード先端のチップクリアランスが大きく、そこでの漏れ損失が結構大きくなり、チップのクリアランスを詰める技術が必要になります。これは“Abradable Seal”というチップクリアランス管理の技術で、回転中にこすってもブレードにはダメージを生じないが、すき間を常に最小に保ちながら、洩れを少なくするような特殊材料をここに使用することにより、小型ガスタービンの熱効率を上げると見えています。

次に、排気清浄化もまた重要な問題です。仮に、マイクロガスタービンが各家庭に普及したとしますと、現在の自動車と同様に、いたるところで小さなタービンが動くことになるからです。これには開発中で、現在一部のものに使われている触媒燃焼の技術を取り込めば、排気の浄化は可能と考えます。

耐久性、信頼性については、空気軸受は特許の問題があるようですが、基本的にはやはり空気軸受の採用に向うと思います。また、マイクロガスタービンの耐久性を決めているのは高温部分でして、点火栓、燃焼器のライナなどが最初に痛みます。それらをセラミッ



出典：Global Gas Turbine News, Vol. 39, 1999, No. 1

図 12 再生式ガスタービンの熱効率と比出力

クス化すれば、耐久性は著しく向上します。圧力比を高くしますとタービン、コンプレッサその他の各部の応力も高くなり、その意味では圧力を低く設計することが最終的には耐久性、信頼性の向上につながります。

最後に、直結型発電機の効率です。現在、93%から96%ぐらいのものが既にてきておりますが、なお若干上げうる可能性はあります。

これらを全部組み合わせて40%近い効率ものできるか否かが、小型ガスエンジンに対抗して、将来マイクロガスタービンが大々的に市場参入しうるか否かの分岐点かと考えます。

#### マイクロガスタービンのメンテナンス

マイクロガスタービンの売り物の1つにメンテナンスの容易性があります。表5はアライドシグナル社が売り出し中のものに必要としているメンテナンスです。

1つは、5,000時間ごとに行う燃焼器の点火

器ケーブルのチェックと吸気用・燃料用フィルタ類の交換です。

表 5 マイクロGTのメンテナンス例

✦5,000時間毎のサービス：	
—燃焼器点火器ケーブル……………	チェック
—吸気フィルタ, 燃料フィルタエレメント…	交換
✦10,000時間毎のサービス：	
—エンジンコア, 燃焼器アッシー…	リビルト交換
—点火器, 同ケーブル……………	リビルト交換
✦20,000時間毎のサービス：	
—点火器エキサイタ……………	交換

2つ目が1万時間ごとに行うエンジンコア、燃焼器のアッセンブリーの交換です。これはマイクロガスタービンの特徴でして、航空機の整備と同じ方法を採用しており、不良のものは燃焼器をアッセンブリーごとそっくり取り外し、点検整備済みの新しいものと取り替えます。取り外したものは工場に持ち帰って整備し、次に備えます。このような整備方法

によりアッセンブリー交換は30分ほどで済み、そのための停止時間はほとんどありません。

3つ目が2万時間ごとに行う点火器のエキサイタの交換です。点火器のエキサイタというのは最初に点火するとき火花を飛ばすものになるものです。

また、別のメーカーでは、いま申しました5,000時間ごとのサービスは8,000時間大丈夫としており、また、全体の寿命は8万時間ぐらいはもつとしています。およそこのレベルのメンテナンスですむと認識していただければよろしいかと思えます。

### マイクロガスタービン発電セットのコスト

代表例のコストは、表6になります。

アライドシグナル社が売り出し中の75kWのものは、セット価格が2万2,500ドルから3万ドル、kW単価でおよそ300~400ドルです。日本での今回の売り出し価格は600万円ですから、大体5万ドルです。エリオット社の45kWものは、熱交換器なしの裸の値段が表の欄内上側の数字で、熱交換器の値段が下側にあります。セットの合計額にしますと、kW当たりおよそ400ドルです。キャプストーン社は30kWもので500ドル/kWで、小さいものほど割高の傾向が見られます。

各種発電装置との価格比較が図13です。ア

表6 マイクロGT発電セットのコスト

メーカー名	出力 (kW)	価 格	
		( \$ )	( \$/kW )
アライドシグナル	75	22,500 ~30,000	300 ~400
エリオット	45	14,000 +4,000	400
キャプストーン	30	15,000	500

ライドシグナル社の言によりますと、従来の5kWのディーゼル発電機の納入価格はケース・バイ・ケースですが、最高がkW当たり600ドル、210ドルから500ドルぐらいで振れているとしています。そして、600kWのディーゼル発電機の単価はおおよそ図中のもので、それに対し、今回発表のマイクロガスタービンの価格は、大量生産時になる2003年には400~450ドル/kWとしています。

その他の特徴を示したのが表7です。補修費がディーゼル、ガスエンジンの5円/kWhに対して、半分以下の2.2円~1.7円/kWhと見込んでおり、重量はおおよそ5分の1、NO<sub>x</sub>が圧倒的に少なくなっています。

## マイクロタービンの市場と用途

### 市場参入の背景

いろいろの背景があり、列挙しますと次のとおりです。

- 電気、ガスなどのエネルギー分野の規制緩和が進み、需要家がより安いエネルギー確保への志向を強めていること。
- 環境対応コストが上昇する中、優れた環境特性、特に低NO<sub>x</sub>特性を有すること。
- 排気ガスのコジェネレーション利用により、エネルギー使用の節減と炭酸ガス排出削減という、国家的、地球的要請に有効なシステムとなりうること。
- また、液体燃料、ガス燃料が使用可能であり、エネルギー源の多様化に繋がること。
- 新規の電源設備、特に原子力発電所の新設に立地の困難化が進む今日、消費地に近

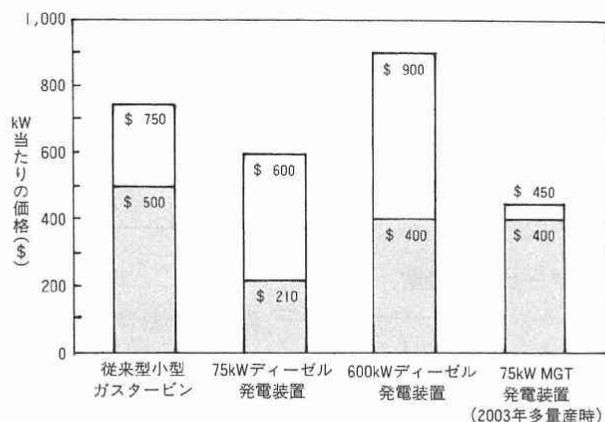


図13 各種発電装置の設置価格の比較

い分散型電源として、将来の需要増、さらにピーク負荷に対応し得ること。

- 例えば、燃料電池コジェネレーションなど、他の分散型電源の候補に比べて実用化の程度が進み、また運転の信頼性も高いと考えられること。
- マイクロガスタービン関連技術の進歩により、他種の発電装置に対し、コスト、環境、メンテナンスなど多くの面で優位性が

見込まれること。

- 送配電インフラの整備に遅れのある発展途上国においては、特に分散型電源として良質な電力の供給に有用であること。などが挙げられます。

以上のような長所が期待される一方で、わが国での運用事例は未だ少なく、また海外の運転経験も日が浅いこともあり、期待どおりに導入が進むか否かは、今後の開発の進展と

表7 各種エンジン発電装置の比較(75kWクラス)

	ディーゼル	ガスエンジン	従来のガスタービン	アライドシグナル MGT
発電端熱効率 %	32	30.5	20	29
イニシャル価格 (含据付) 千円/kW	75	85	120	65(1999年) →40(2003年)
保守費 円/kWh	5	5	3.5	2.2→1.7
重量 kg/m <sup>2</sup>	2,000	2,500	700	500→400
振動	大	大	小	小
NOx規制 環境庁 東京 ppm(O <sub>2</sub> =0%に換算)	2,500 300	600 200	300 150	88 (オプシオン30) 80
電気の質	△	△	○	◎

\* 従来のガスタービンは500kWクラス

技術の検証によると考えます。

### マイクロガスタービンの用途

マイクロガスタービンは、これまでに述べたとおり、優れた特性を備えています。これを生かした用途として、表8にあるようなものが挙げられます。

表8 マイクロガスタービンの用途

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| ❖ | 分散電源<br>・店舗、事務所、ホテル、病院、アパートなど |
| ❖ | 予備電源、可搬電源<br>・自然災害、暫時電源       |
| ❖ | 電力網未開地<br>・離島、過疎地、発展途上国       |
| ❖ | コジェネレーション                     |

先年の阪神大震災では、エンジン冷却水の供給が断たれ、非常用発電機が役立たなかった事例がありました。冷却水不要のマイクロガスタービンは、この点を解決しており、非常時に強い装置といえます。また、移動電源車としての利用も可能です。

コジェネレーション利用の面では、集合住宅などでは温熱や冷熱に使える90℃程度の温水が得られればよいとため、数10kWクラスのマイクロガスタービンの排気ガス温度が300℃程度であることから、システム構成は極めてシンプルになります。病院など蒸気の需要がある場合には、タービン出口の高温ガスの一部を抽ガスしての利用も考えられます。

また、懸念される騒音については、機側10

mで60dbという計測値も得られており、特別に低騒音を要求されない限り、市街地でも十分受け入れられるレベルと考えられます。

---

## おわりに

---

時間があれば、小型セラミックガスタービンを用いた家庭用コジェネレーションシステムの簡単なシミュレーション結果もご紹介したいと思ったのですが、時間配分が悪く、終りの時間がきてしまいました。

わが国のエネルギー構造はきわめて脆弱で、1次エネルギーのほとんどすべてを輸入にたよっています。それにもかかわらず、実際のエネルギー使用で有効に使われているのはわずか1/3で、2/3は無駄に棄てられているのが実情です。そのうち40%近くが発電所からという現実をなんとかしなければ、CO<sub>2</sub>問題など片づかないと思います。

その意味で、小型分散型発電の導入はきわめて意味があると思っています。家庭用のような低温の熱は、排気の熱で十分です。各家庭できわめて小さいガスタービンが元気よく回っている姿を想像するだけでも楽しくなります。本当に役に立つ日が早くくるように、微力ながら応援したいと思っています。

本日はご静聴ありがとうございました。



とが出来れば、未利用資源の有効活用が可能になるとともに、環境特性に優れた「高品位炭」とすることが出来る。

低品位炭改質技術については、これまで国内外で各種方式が開発されてきており、一部実用化されているものもあるが、主に経済的な理由から本格的な導入には至っていない。しかし、技術的のみならず、経済的にも成立しうる低品位炭改質技術の確立は、わが国のエネルギーセキュリティの確保に役立ち、ひいては世界のエネルギー源の確保に資すること大である。

そこで当研究所では、ビクトリア褐炭をはじめとした低品位炭を「経済的に改質して発電用燃料として利用する技術」の開発を目的とし、各種調査を実施してきた。以下にその概要を紹介する。

## 1. 低品位炭の利用

### (1) 低品位炭利用の必要性

石炭はその用途先から、主に鉄鋼向けの原料炭と、主に電力向けの一般炭とに分類することが出来る。一般炭の最大需要先である電力用炭の消費量は近年着実に増加傾向を示しており、一般炭全体で見ても、この電力用炭を中心に今後も増加基調で推移するものと見込まれる。

これら一般炭（電力用炭）を中心とした石炭の需要増加に対処するべく、近年、海外炭の輸入量は着実に増加している（図2参照）。その結果、世界の石炭貿易量（1997年）から見ると、わが国は約1.3億トン（世界市場の26%）と抜きん出て大量の石炭を輸入するようになっており、世界第一の石炭輸入国になっ

ている（図3参照）。今後も一般炭を中心に需要は着実に増加する見通しであるが、国内炭の生産は縮減の方向にあり、需要の増加分は海外炭に頼らざるを得ない。

一方、今後、わが国のみならず、エネルギー源の多様化を指向するヨーロッパ、現在は経済危機に直面して経済成長が低迷しているが長期的に見ればエネルギー需要の増大が見込まれるアジア諸国を中心として、諸外国の石炭需要も着実に高まる見通しである。

そこで、世界的にも特に需要の増加が見込まれる一般炭については、今後、世界的規模で需給の逼迫化が懸念されることから、わが国としては、供給不安への対応、中長期的観点に立った低廉な石炭の確保を考えていかななくてはならない。

その際、現在はあまり利用されていない低品位の石炭、すなわち「低品位炭」の利用を考えていくことは、エネルギーの安定供給確保対策として非常に有効である。また、この低品位炭は、一般炭の需要の大半を占める石炭火力発電における利用を考えていくのが効果的であろう。

### (2) 低品位炭とはどのような石炭か

いわゆる石炭は、瀝青炭、無煙炭のように高い発熱量を有する高品位の石炭（高品位炭）と、亜瀝青炭、褐炭のように比較的低い発熱量を有する低品位の石炭（低品位炭）とに大別することが出来る（表1参照）。

一般に石炭は、太古の植物が地殻変動等によって地中に埋もれ、長時間地圧と地熱を受けて生成したものと考えられているが、高品位炭と低品位炭の性状の差はその生成過程に起因するものと考えられる。



表 1 石炭の分類

石炭化度による分類		揮 発 分 (無水・無灰基準) (wt%)	全 水 分 (wt%)	発 熱 量 (kcal/kg)
—*	泥 (草 亜 炭 炭)	約62以上	約72以上	約3,000以下
低 品 位 炭	褐 炭	約54～62	約30～72	約3,000～4,600
	亜 瀝 青 炭	約41～54	約 8～10	約4,600～約7,500
高 品 位 炭	瀝 青 炭	約13～41	約 8 以下	約7,500以上
	無 煙 炭	約13以上	約 8 以下	—

\* 泥炭・亜炭は本書では低品位炭より除外した。

出所：(財)エネルギー総合工学研究所「新エネルギーの展望  
低品位炭の改質技術」より作成。

### (3) 発電用燃料としての低品位炭

低品位炭，中でも褐炭の消費量の大きいドイツ，アメリカ，オーストラリアにおいては発電用が主な用途となっているが，これらはいずれも炭田近隣での限られた利用に留まっており，エネルギー源，特に発電用燃料として国際市場に出回ることとはごく稀である。

これは低品位炭の有する以下の特性による。

- 水分含有量が30～65%程度，酸素分が20～25%程度とともに高く，湿炭重量当たりの発熱量が1,800～3,500kcal/kgと低い  
ため，発熱量当たりの輸送効率が低い。
- 揮発分が50～60%と高く，燃料比（固定炭素／揮発分）が1程度である。また，高炭化度炭（一般には高品位炭）に比べて自然発火し易く，ハンドリング，貯蔵においての対策が必要となる。
- 高炭化度炭（一般には高品位炭）に比べて崩壊し易く，炭じんを発生し易いため，前項と同様にハンドリング，貯蔵においての対策が必要となる。

一方，これらのマイナス面とは別に，以下のプラス面を有する低品位炭も，オーストラ

リアのビクトリア褐炭を初めとして多数存在し，その有効利用が期待される場所である。

- 揮発分が50～60%と高く燃料比が1程度であり，水分さえ除去すれば燃焼性は良い。
- 灰分，硫黄分がともに低く（オーストラリアのビクトリア褐炭で灰分が2%程度，硫黄分が0.2～0.3%），良好な環境特性を有する。

また，低品位炭は，エネルギー源としての石炭一般の持つ特質に加え，以下のとおり非常に優れた特性を有する。

- 埋蔵量が4兆トン程度と，豊富なエネルギー資源である。
- 比較的若い資源であり，地中浅い位置に存在する。また，圧密をそれ程受けておらず，炭層は非常に厚い。加えて，地殻変動の影響も少なく，炭層中の断層が少ない。
- 低灰分，低硫黄分の低品位炭が多く，クリーンなエネルギー資源である。

つまり，低品位炭の利用に際して，まず水分を除き，同時に粉化，発熱・発火が起ころ

ないように性状を変化，すなわち「改質」させることが出来れば，高品位炭並み，あるいはそれ以上の燃料特性と経済性を有する発電用燃料とすることが出来る（図4参照）。

従来より，ヨーロッパ，アメリカ，オーストラリア等の褐炭資源国を中心として，低品位炭の利用上の問題点を克服するべく，最大の欠点である発熱量の低さ（含水量の多さ）を改善する各種脱水技術の開発が行われてきた。加えて，脱水後の自然発火性の抑制も含めた，効率良くかつ安価に低品位炭を改質する技術の開発も進み，幾つか実用化されているものもある。

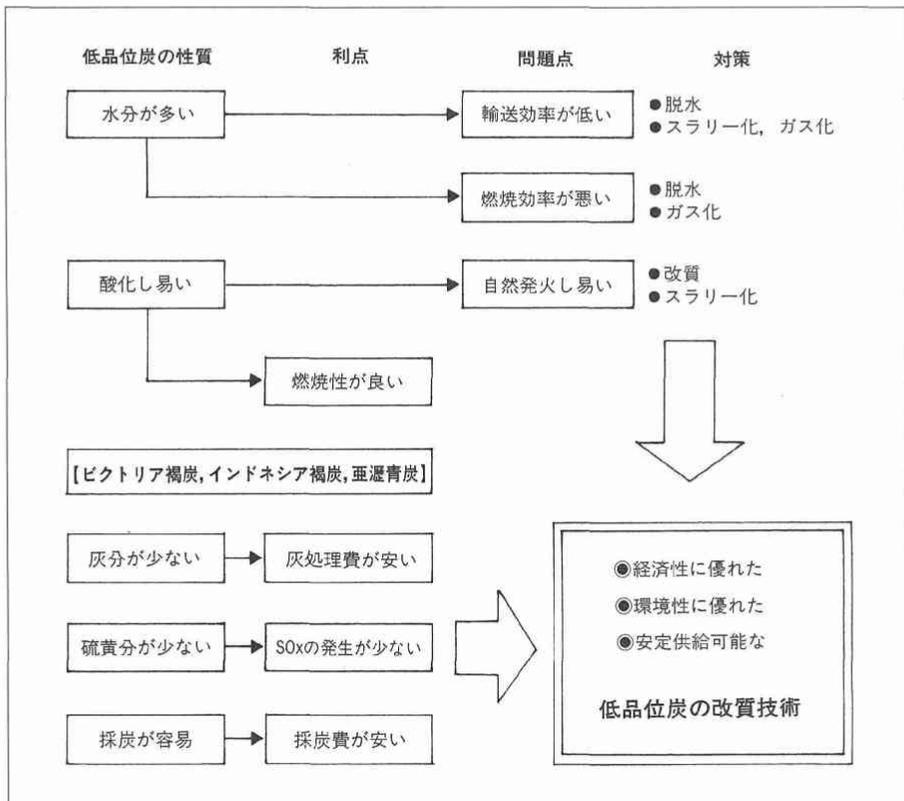
しかしその多くは，主に経済的な理由から

本格的な導入には至っていない。

## 2. 低品位炭の改質

数ある低品位炭改質技術の中に，「油中改質プロセス」というものがある。

この方式は，低品位炭と軽質油及び少量の重質油を混合してスラリーとし，マイルドな条件で水分を蒸発させるもので，重質油の添加により自然発火性を抑えている。この技術は，低灰分・低硫黄分である豪州のビクトリア褐炭を火力発電用燃料として利用するべく，(株)神戸製鋼所により平成5年度から技術調査が開始されたものであり，現在開発が行



出所：(財)エネルギー総合工学研究所「新エネルギーの展望 低品位炭の改質技術」より作成。

図4 低品位炭の特性及び利用上の問題点

われている各種低品位炭改質技術の中でも、技術的、経済的に最も有望であると考えられ、平成7年度から10年度にかけて通商産業省資源エネルギー庁の委託を受けた当研究所が同社の協力を得て技術調査及び各種評価を行った。

また、技術の確立に向けた研究と同時に、低品位炭の中でもその環境特性、資源量の面から特に有望な豪州のビクトリア褐炭を対象として、改質褐炭製造プラントの試設計を行い、コストを試算した。

以下に、本低品位炭改質技術（油中改質プロセス）の概要及び同技術を用いた改質褐炭製造プラントにおけるコスト試算の結果について紹介する。

#### (1) 油中改質プロセスとは

通常、蒸発による脱水操作は単純な物理変化にすぎず、有機物等の環境汚染物質の発生がない反面、石炭の多孔質な性質は変化しないため、乾燥後の石炭は活性で酸化し易く、ストックヤードにおいて空気中の水分や酸素をたやすく吸着して蓄熱、自然発火に至るといった欠点がある。

油中改質プロセスでは、少量の重質油分を含む軽質油中で蒸発操作を行うことにより、蒸発と同時進行で重質油分を石炭の細孔内に侵入・吸着させ、活性を減少させることにより、石炭を安定にすることが出来る。なお、スラリー媒体となる軽質油は、大部分が回収可能である。

#### (2) プロセスの概要

低品位炭を効率的に脱水し、かつ、自然発火性を抑制するため、以下のプロセスを考案

し、実際に各工程を模擬した各種実験を行い、プロセスの最適化を目指した（図5参照）。

##### ① スラリー調製工程

粉碎及び異物除去を行った褐炭と、少量の重質油を添加した軽質油（循環油）を混合してスラリー化する。ここで、改質褐炭に付着して失われた重質油と軽質油の補給を行う。褐炭をスラリー化して処理することで、プロセスを合理化することが出来る。

##### ② スラリー脱水工程

調整されたスラリーを予熱後、3 atg 以下、200℃以下の条件で加圧・加熱し、水分を蒸発させる。他の低品位炭の改質プロセスがこの脱水操作をかなりの高温・高圧下で行っているのに対し、かなりマイルドな操作条件となっている。この際、脱水と同時に重質油分が多孔質な褐炭の細孔内に侵入して吸着される。この重質油分の吸着により、褐炭の自然発火性が抑制される。蒸発した水分は蒸気圧縮機で加圧した後、脱水の熱源として有効利用する。

##### ③ 固液分離工程

脱水した後、褐炭に付着した循環油分は回収して再利用する必要があるため、先ず、固液分離を行って油分を粗回収する。分離方法としては、循環油である軽質油の蒸発潜熱が水の10分の1程度と小さいことから、蒸発分離の一種であるフラッシュ法を採用することとした。

##### ④ 油分回収工程

固液分離後も褐炭の細孔内に油分（軽質油）が残っているため、これを出来るだけ回収する必要がある。一般的には石炭の細孔内の油分の回収は機械的な方法では難しいため、加熱による蒸発分離が必要となる。それには、

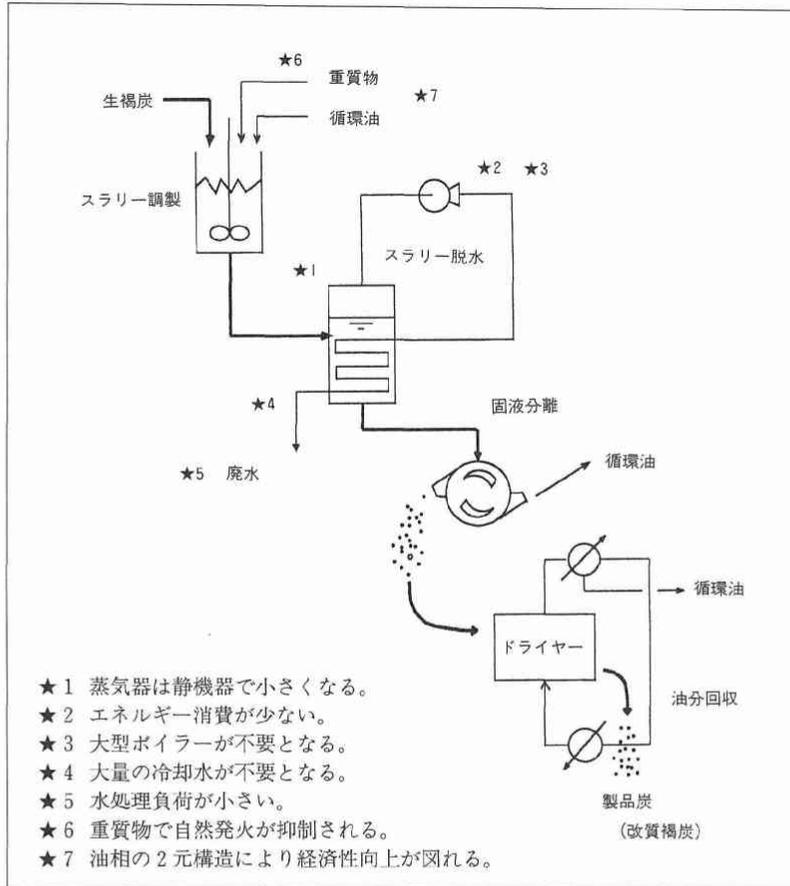


図 5 油中改質プロセスとその特徴

スチームチューブドライヤや流動層型ドライヤが利用可能であるが、前段の固液分離工程の処理容量によっては、この油分回収工程そのものを省略することも可能である。

#### ⑤ 成型工程

脱水した改質褐炭は粉炭状態であり、このままでは輸送、貯蔵等のハンドリングが難しい。そこで圧縮造粒法を用い、バイングなしでブリケット化し、通常の石炭と同じようにハンドリング出来るようにしてある。

以上のプロセスを経て改質された褐炭の性状を表 2 に示す。

### (3) 改質褐炭製造プラントの試設計及びコストの試算

褐炭の改質プロセスに関する知見を得たところで、実際に褐炭の山元、豪州ビクトリア地方の炭田に隣接して改質褐炭製造プラントを建設し、得られる改質褐炭を日本の火力発電所に輸入することを想定し、プラントの試設計及びコストの試算を行った。

#### ① 改質褐炭の製造

改質褐炭製造のコスト試算の前提条件は表 3 のとおりとした。なお、改質プロセスで必要な蒸気については、ボイラを新たに設置する場合と、炭田近隣に既にある火力発電所から余剰

表2 改質褐炭の性状

炭種		瀝青炭 (モーラ炭)	改質褐炭
性状			
発熱量(気乾)(kca/kg)		7,165	6,020*3
全水分(到着)(wt%)		9.9	7.8
工業分析 (気乾) (wt%)	固有水分	3.6	7.8
	固定炭素	56.5	43.7
	揮発分	30.3	47.7
	灰分	9.6	0.8
全硫黄(気乾)(wt%)		0.44	0.31*4
燃料比*1		1.86	0.92
元素分析 (無水) (wt%)	C	76.1	70.41*5
	H	5.1	5.17*5
	N	1.7	0.58*5
	O	6.9	23.61*5
	S	0.5	0.23*5
ハードグロブ指数*2		50	136
灰溶融温度 (°C)	軟化点	—(酸化) 1,140(還元)	1,330(酸化) 1,260(還元)
	溶融点	—(酸化) 1,350(還元)	>1,500(酸化) >1,500(還元)
	流動点	—(酸化) 1,400(還元)	>1,500(酸化) >1,500(還元)
灰の組成 (%)	SiO <sub>2</sub>	48.5	8.98
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.1	8.23
	TiO <sub>2</sub>	1.2	0.52
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.4	18.62
	CaO	3.0	10.98
	MgO	0.5	12.00
	Na <sub>2</sub> O	0.7	12.72
	K <sub>2</sub> O	1.9	0.49
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5	0.07
	MnO	—	0.11
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0.10
	SO <sub>3</sub>	1.8	27.70

\*1: 固定炭素/揮発分    \*2: 石炭の粉碎性を示す数値  
\*3: 計算値    \*4: 無水    \*5: 無灰

の蒸気を購入する場合の双方を検討した。

試算の結果、プラントの建設費は、ボイラを新たに設置する場合で192~199億円程度、ボイラを設置せずに他から蒸気を購入する場合で144~153億円となった。この建設費及び原材料費、用役費等から、製造される改質褐炭の販売価格(工場出荷価格)は、ボイラを新たに設置する場合で33.2米ドル/トン、ボイラを設置せずに他から蒸気を購入する場合で30.4米ドル/トンと想定される。

## ② 改質褐炭の輸送

豪州ビクトリア地方の褐炭田及び日本への輸出港の位置関係を図6に示す。幾つかの輸出港の内、検討の結果、ジーロング港から輸出することとした。

上記プラントで製造された改質褐炭を鉄道により輸出港まで陸上輸送し、パナマックス級輸送船により日本の火力発電所の専用埠頭まで海上輸送した場合のコストの試算結果を図7に示す。陸上輸送が5.6米ドル/トン、港湾荷役

表 3 コスト試算の前提条件

プラント規模		原料(乾燥炭ベース)で5000トン/日、年間330日稼働(灰分、油分を含有した無水ベースの製品で年産169万トン)
プラント立地		豪州ビクトリア州、ラトローブバレー地区の炭田に隣接
固定費	労務費	年間3.02M\$とする。
	減価償却 保全費 金利率 為替レート	15年の定額償却とする。 年間の保全費を設備投資額の3%とする。 年7% (借入残高は設備投資額の1/2) 1US\$=105円, 1US\$=1.33A\$とする。
原材料単価*1	褐炭	生褐炭の価格は3.4~4.0\$/褐炭・トン程度の幅とし、本検討では平均値の3.7\$/褐炭・トンと設定する。(乾燥炭トンあたりに換算して9.7\$/トン)
	軽質油	灯油留分相分油を充当するものとして、142\$/軽質油・トンと想定する。
	重質油	精油所の蒸留残(アスファルト)を使用するものとして、57\$/重質油・トンと想定する。
	スチーム	余剰スチームを購入するケースにおいては、その価格を2.3\$/蒸気・トンとする。
	工水	ラトローブバレー地区は比較的水の供給は容易で、かつ安価である。8¢/工水・トンとする。
	電気	近隣は発電地帯であり電力は豊富である。4.76¢/kWhとする。
環境保全費*2	廃水処理	0.81\$/廃水・トンとする。

\*1: 原価計算に用いる原材料, 用役単価の設定はビクトリア州の地元機関からのヒアリング等により入手した情報を用いた。

\*2: 本プラントからはガス及び固体の廃棄物はない。廃水は重量比で乾燥炭の約160%が出るが、COD(化学的酸素要求量), BOD(生物化学的酸素要求量)値は低く、一般の活性汚泥処理で近隣地区の廃水基準をクリアできるとの結果を得ている。廃水処理プラントの建設費は検討結果に含めているが、運搬費は日本の廃水処理メーカーにヒアリングした表中の値を変動費に加えるものとした。

費が3.4米ドル/トン, 海上輸送費が10.9米ドル/トンで, 合計19.9米ドル/トンとなっている。

以上, コスト試算の結果, 日本の火力発電所の専用埠頭での改質褐炭の価格は, 50.3~53.1米ドル/トンとなった。この価格を高いとみるか, 安いとみるかは判断の分かれるところではあるが, 次項で紹介する, 発電所における改質褐炭利用のメリットを考えると, 諸々の可能性を秘めた検討結果となった。

### 3. 火力発電所における改質褐炭の利用

前項では, 豪州のビクトリア褐炭を改質し

て日本の火力発電所に持ってくる方法及びその経済性について紹介したが, 本項では, 現在稼働している火力発電所における改質褐炭利用の可能性及び問題点について紹介したい。

わが国の標準的な石炭火力発電所においては, 石炭は専用船で運ばれ, 岸壁に設置された揚炭機で陸揚げされ, コンベアにより貯炭場に一時蓄えられる。この石炭は, 発電所の需要に合わせ, 貯炭場からボイラ建屋内に設置されたコールバンカに送られる。現在の石炭燃焼ボイラの主流は微粉炭燃焼方式であり, 石炭は先ず, 微粉炭機により乾燥と同時

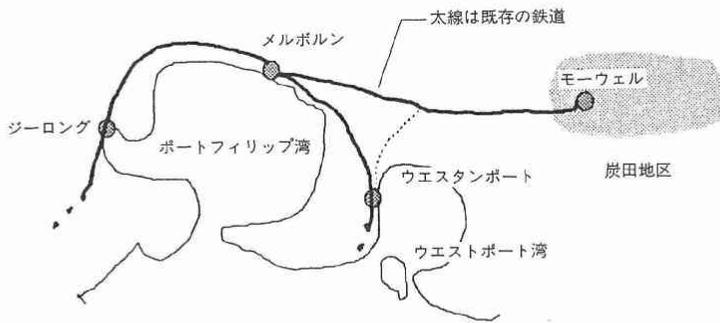


図 6 豪州ビクトリア地方の主要港湾

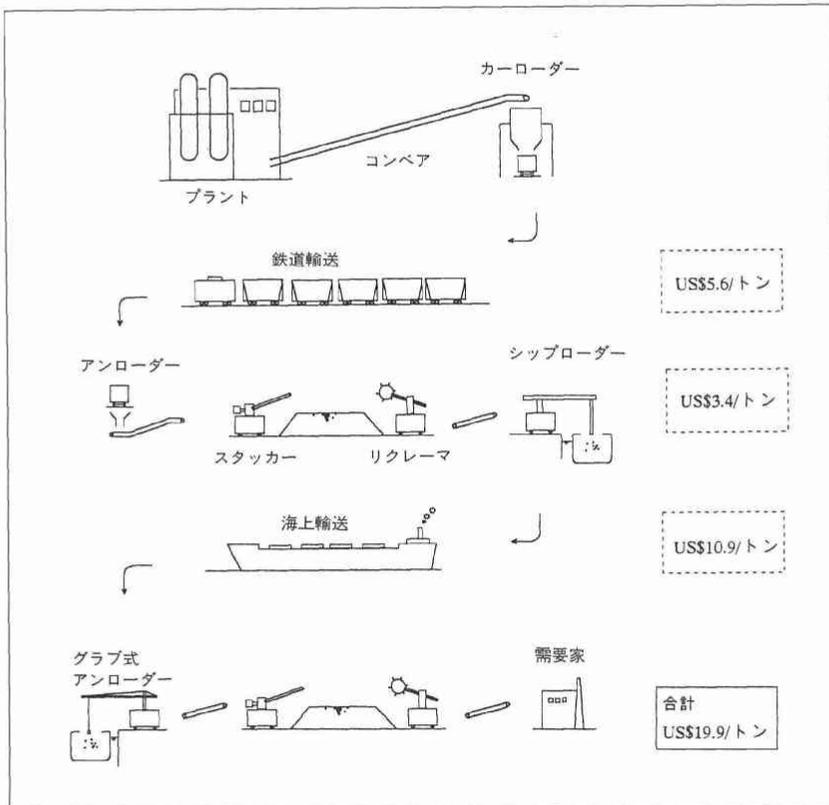
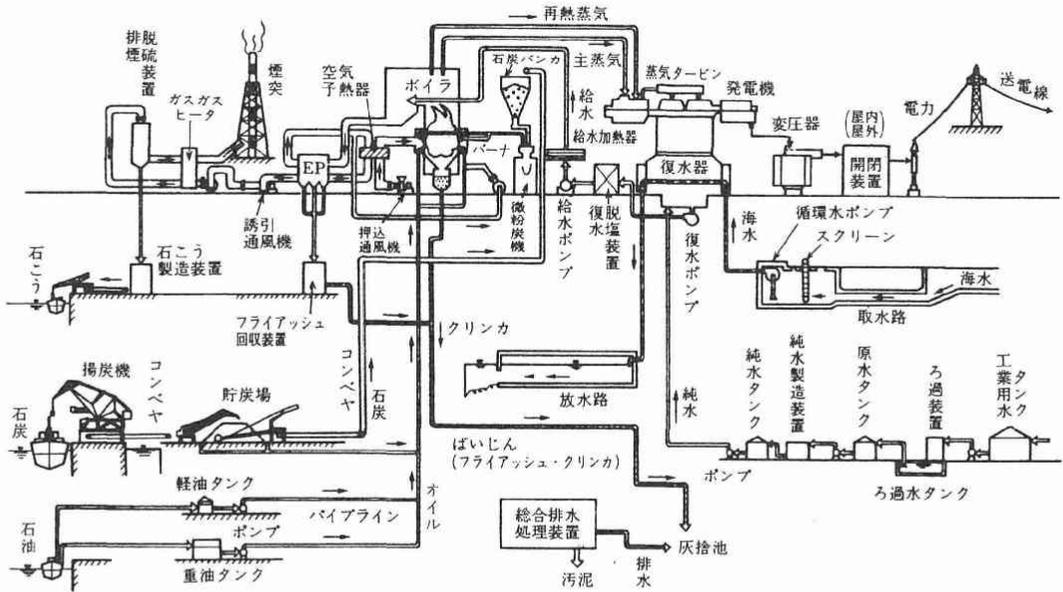


図 7 改質褐炭の輸送

に微粉碎される。この微粉炭は乾燥用空気と共に伴われてバーナに送られ、燃焼用空気と混合されて燃焼し、タービンを駆動するための蒸気を発生する。ボイラ内で熱回収された燃

焼排ガスは、排煙処理装置により、煤塵、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) が除去され、煙突から大気中に放散される。燃焼に伴って発生する石炭灰は、ボイラ下部及び集



出所：福田 務・相原良典共著，「電力技術」オーム社

図 8 石炭火力発電所

塵機で捕集され、系外に取り出された後、埋立て処分またはセメント原料等として有効利用される (図 8 参照)。

以上のような火力発電所における改質褐炭の使用を想定し、試験的に製造した改質褐炭を用いて燃焼性、ハンドリング性の評価を行った。

### (1) 燃焼性の評価

図 9 に示すような燃焼実験炉において改質褐炭の燃焼試験を行い、実機 (ボイラー) における改質褐炭の燃焼性について推察した。燃焼試験においては、改質褐炭のみの燃焼 (専焼) に加え、瀝青炭との混合燃焼 (混焼) の試験も実施し、評価を行っている。

その結果、改質褐炭の以下の特性が判明した。

#### ① 燃焼性

改質褐炭の燃焼性は非常に良好である。瀝青炭との混焼においては、燃焼性はほぼその混焼比率に比例するが、比率が多い炭に影響される傾向が見られる。

#### ② NOx 特性

NOx の発生は非常に少なく、瀝青炭のほぼ半分である。ただし、改質褐炭専焼の場合、瀝青炭では NOx 発生抑制に効果のある 2 段燃焼を行っても効果が殆ど現れない傾向が見られる。

#### ③ スラッキング性

元々この褐炭の灰は融点が低く、スラッキング (ボイラチューブへの溶融灰の付着) が懸念されていた。試験の結果、改質褐炭においても同様な傾向が見られ、スラッキング性には注意を要すると言える。また、瀝青炭と

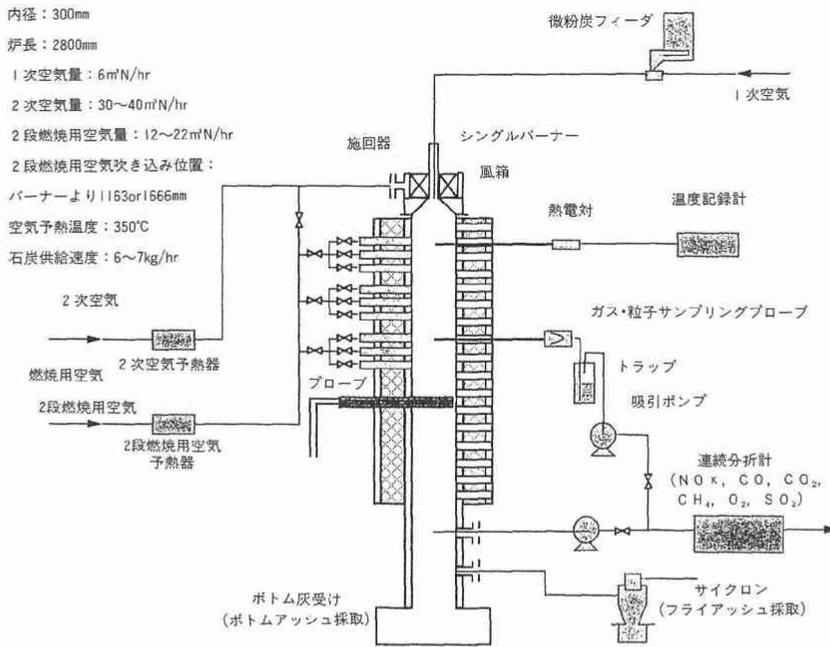


図 9 乱流燃焼実験炉

の混焼においては、改質褐炭の灰分が非常に少ないため、改質褐炭専焼の場合よりはその割合が軽減される。

#### ④ ファウリング性

元々この褐炭の灰にはナトリウム分が多く、ファウリング(ボイラチューブへの堆積灰の付着)が懸念されていた。試験の結果、改質褐炭においても同様な傾向が見られ、スラッキング性と同様、ファウリング性についても注意を要すると言える。瀝青炭との混焼の場合もスラッキング性と同じ傾向を示した。

#### ⑤ 集塵性

この褐炭の灰の電気抵抗値は通常の瀝青炭に比べて2桁も低く、電気集塵器における集塵性は瀝青炭に比べて良好と推定される。なお、改質褐炭の灰分は瀝青炭の1/10以下と非常に少ない。

#### (2) ハンドリング性の評価

発電所での搬送、貯炭管理、廃棄物(燃焼灰)処理に関する改質褐炭の特性について把握するため各種試験を実施し、そのハンドリング性(自然発火性、炭じん飛散性等)について評価した。

##### ① 自然発火性

改質褐炭を密閉した試験容器に入れ、容器内のガス濃度の変化からその発熱量を求めることにより、自然発火性についての評価を行った。その結果から、改質により、元々の褐炭に見られる自然発火性は問題ないレベルになっていると考えられる。

##### ② 炭じん飛散性

試験風洞内に改質褐炭を積み上げ、通風して飛散する微粒子の量を測定することにより、炭じん飛散性についての評価を行った。

その結果から、ブリケット化により、元々の褐炭に見られる粉化・炭じん飛散は問題ないレベルになっていると考えられる。また、瀝青炭などと同様、加湿により炭じん飛散を抑制可能であることが判明した。

### ③ 貯炭管理に関する特性

屋外に改質褐炭のパイル（石炭を積み上げた山）を設置し、改質褐炭の性状の経時変化と雨水による流出水の成分を測定した。その結果、改質褐炭の浸出水については排出基準を超えるものはなく、問題はないと思われる。

### ④ 廃棄物（燃焼灰）処理に関する特性

燃焼試験後の灰について溶出操作を行い、産業廃棄物に係る判定基準項目等を測定した。その結果、燃焼灰の溶出水についても基準を超えるものはなく、問題はないと思われる。

### ⑤ 燃焼灰の有効利用の可能性

石炭灰の使用実績の多いセメント分野における有効利用の可能性について検討を行ったが、褐炭の燃焼灰はその成分（シリカ・アルミナ成分が少ないなど）から多くの制約を受けると予測される。

## (3) 火力発電所における改質褐炭利用の可能性

改質褐炭の燃焼性及びハンドリング性に関する評価の結果から、既存の火力発電所における改質褐炭の利用の可能性について検討を行った。その結果は以下のとおりであり、場合によっては経済的にもメリットがあるなど、その可能性が示唆されている。

### ① 改質褐炭の専焼は困難と考えられる

改質褐炭はスラッキング性、ファウリング性が高く、燃焼灰のボイラチューブへの付着

が懸念される。また、湿分が極端に低く、粉碎性も良すぎるため、ミル（石炭を微粉炭状に粉碎する機器）の運転にも支障が出てくる可能性がある。更に、燃焼灰の有効利用に関しては多くの制約を受けることが想定される。

### ② 瀝青炭との混焼は可能性がある

スラッキング性、ファウリング性が低減されるなど、改質褐炭専焼の場合に想定される各種不具合は問題のないレベルとなるであろう。ただし、実機導入に際しては、ある程度の規模での燃焼試験等を実施し、混焼可能な混炭比率等について確認する必要がある。また、ハンドリング性についても、確認試験を行う必要がある。

### ③ 経済性

瀝青炭と改質褐炭を混焼して用いる場合の経済性について検討を行った。その結果、改質褐炭の灰分が極端に少ないことにより、発生する燃焼灰が大幅に減少し、灰処理にかかる費用が大幅に軽減されるなど、改質褐炭の販売価格によっては経済メリットが出てくる可能性が示唆された。

## 4. 石炭ガス化複合発電への適用性

現在、石炭を燃料とする火力発電技術として、従来型微粉炭焼き火力発電の他に、一層の発電効率の向上と環境負荷の低減を目指し、新たな技術が幾つか開発されている。中でも、固体燃料である石炭を可燃性ガスに転換（一般に「石炭ガス化」と称す）し、この可燃性ガスを用いて複合発電を行う「石炭ガス化複合発電」(Integrated Coal Gasification Combined Cycle, IGCC) は、高い発電

効率、優れた環境特性、燃料ソースの拡大が可能であるなど、その優位性が認められており、積極的に技術開発が推進されているところである。

そこで、より効率的な改質褐炭利用の可能性及び実用化への技術課題について検討するため、この石炭ガス化複合発電への改質褐炭の適用性を調査した。調査に当たっては、改質褐炭を燃料とする石炭ガス化複合発電設備の概念設計を実施し、同様に概念設計を行った瀝青炭を燃料とする同設備の場合とその発電性能等を比較することにより、その適用性を評価している。

#### (1) IGCCとは

「石炭ガス化」とは、空気、酸素等により石炭を部分的に燃焼させて石炭の熱分解に供する熱源とし、乾留・還元反応により一酸化炭素や水素を含む可燃性ガスに転換するもので、古くから化学工業や都市ガス製造用に行われているものである。

IGCCでは、先ず石炭ガス化炉において石炭を可燃性ガスに転換した後、ガス精製工程でこの石炭ガス中の灰分、硫黄分等を除去する。これは後流のガスタービンの保護及び環境対策から必要となるものであり、ガス体の燃料の段階でガス精製を行った方が燃焼後に排煙処理を行うよりも処理ガス量が少なく効率的であり、機器のコンパクト化を図ることが出来る。

複合発電部分では、精製後のクリーンなガスをガスタービンに導いて燃焼、その排熱を排熱回収ボイラで蒸気として回収し、蒸気タービンも駆動させる。

こうしたガスタービン、蒸気タービンの組

み合わせにより、発電端効率は既存の1,300℃級ガスタービンを用いた場合でも48%以上、1,500℃級ガスタービンを用いた場合は52%以上が期待され、従来型の微粉炭焼き火力発電に比べて著しい効率改善となる。また、噴流床ガス化炉を用いたIGCCから排出される石炭灰は硝子状のスラグであり、微粉炭焼き火力発電から発生するフライアッシュに比べて嵩密度が高く、発電効率の向上も考慮すると灰処理量は約50%軽減される見込みである。

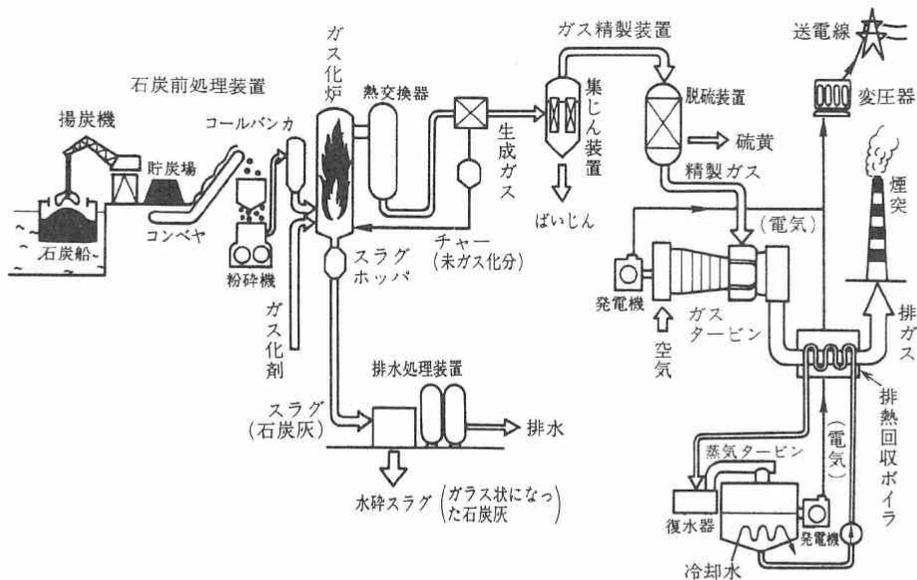
一般的なIGCCのシステム系統図を図10に示すが、IGCCの方式にはガス化炉の型式、ガス精製の方式等により多くの種類があり、その組み合わせにも多くのバリエーションが考えられる。今回の概念設計では、石炭ガス化の際のガス化剤として空気、酸素を用いた2つの場合を検討対象とした。設計条件は表4のとおりである（燃料性状は前述の表3のとおりとした）。

#### (2) 適用性

概念設計を行ったIGCCプラントの概略仕様を表5に、プロセス構成を図11、図12に示す。

検討の結果、瀝青炭、改質褐炭を夫々燃料とするIGCCにおいて、双方の間にシステム構成上、大きな変更点はない。また、一部を除いて環境性能（表7参照）等にも大きな違いはなく、改質褐炭をIGCCに適用するに当たっての大きな問題点はないと考えられる。

更に、瀝青炭を燃料とするIGCCに対し、改質褐炭を燃料とするIGCCは以下のような特質を有しており、改質褐炭の価格によっては、瀝青炭に比べてIGCCへの適用性は高くなる



出所：福田 務・相原良典共著，「電力技術」オーム社

図10 IGCCのシステム系統図

表 4 プラントの設計条件

1) プラント条件		
・設備容量	：	約1,000MW (約500MW×2系統)
・周波数	：	50Hz
・ガスタービン (燃焼温度)	：	1,300℃級 (1,350℃級)
・燃料供給方式	：	乾式
・ガス化剤	：	空気あるいは酸素
・脱硫方式 (硫黄分回収方式)	：	湿式 (石灰石石膏法)
2) 計画燃料		
・改質褐炭及び瀝青炭	：	ビクトリア改質褐炭及びモーラ炭
3) 大気条件		
・大気温度	：	15℃
・大気圧力	：	760mmHg
・相対湿度	：	60%
4) 海水条件		
・復水器真空度	：	722mmHg
・復水器出入口海水温度差	：	7℃以下
5) 環境規制値		
・SO <sub>x</sub>	：	50ppm (O <sub>2</sub> 6%換算)
・NO <sub>x</sub>	：	45ppm (O <sub>2</sub> 6%換算)
・ばいじん	：	10mg/m <sup>3</sup> N (O <sub>2</sub> 6%換算)
その他関係法令を満足するものとする。		

表 5 プラントの概略仕様

設 備 項 目		空 気 吹 き	酸 素 吹 き
ガ ス 化 設 備	ガ ス 化 炉	加圧 2 室 2 段噴流床ガス化炉	加圧 1 室 2 段噴流床ガス化炉
	ガ ス 化 剤	酸素富化空気 (25% O <sub>2</sub> )	酸素 (95% O <sub>2</sub> )
	燃 料 供 給 方 式	ロックホッパ加工・乾式窒素搬送	同 左
	ガ ス 化 炉 構 造	フィンウェルデッド水冷壁構造	水冷壁セルフコーティング方式
	チ ャ ー 回 収 方 式	サイクロン+ポーラスフィルタ	サイクロン+ダストフィルタ
	チ ャ ー リ サ イ ク ル	ロックホッパ加圧・窒素ガス搬送	同 左
ガ ス 精 製 設 備	脱 じ ん 方 式	ポーラスフィルタ	サイクロン+ダストフィルタ+水洗塔
	脱 硫 方 式	湿式化学吸収方式 (MDEA)	同 左
	硫 黄 分 回 収 方 式	石灰石石膏法	同 左
複 合 発 電 設 備	ガ ス タ ー ビ ン	開放単純サイクル 1 軸式	同 左
	燃 焼 温 度	1,350℃級 (第 1 段静翼入口)	1,300℃級 (第 1 段動翼入口)
	排 熱 回 収 ボ イ ラ	堅型再熱複圧式	横型再熱複圧式
	蒸 気 タ ー ビ ン	再熱復水・2 車室複流排気式	同 左
	蒸 気 条 件	169kg/cm <sup>2</sup> ×512℃/512℃	169kg/cm <sup>2</sup> ×538℃/538℃
空 気 分 離 設 備	空 気 分 離 方 式	深冷分離方式	同 左
	原 料 空 気 供 給 方 式	別置き空気圧縮機	別置き空気圧縮機(+ガスタービン抽気)

可能性があると考えられる。

① 発電効率 (発電端効率) が高い (表 6 参照)

- 燃料比が低く、ガス化し易い石炭であり、ガス化に要する熱量が少ない。
- 灰分が非常に少なく、灰の溶融スラグ化に要する熱量が少ない。

② 所内動力が低い (送電端効率が高い) (表 6 参照)

- ガス化し易く、酸素含有量が多いため、ガス化剤 (酸素富化空気或いは酸素) の製造 (空気分離) に要する所内動力が少ない。
- ガス化し易く、チャーの発生量が少いため、チャーのリサイクル用の窒素の製造 (空気分離) に要する所内動力が少ない。

- 灰分が非常に少なく、発生するスラグの量が少なくなるため、スラグの処理に関する所内動力が少ない。

③ シンプルかつコンパクトになる設備が多く、建設費が若干安価である (表 8 参照)

- ガス化し易く、チャーの発生量が少いため、チャーのリサイクルシステムをシンプル・コンパクトに出来る。
- プラントで必要な酸素、窒素ともに少なくすむため、空気分離設備の設備容量を小さく出来る。
- ガスタービン空気圧縮機からの抽気系統が不要となる (酸素吹きの場合)。

(3) 適用における考慮点

一方、改質褐炭は、その特性ゆえ IGCC へ適用するに当たり、以下の点に留意する必要がある。

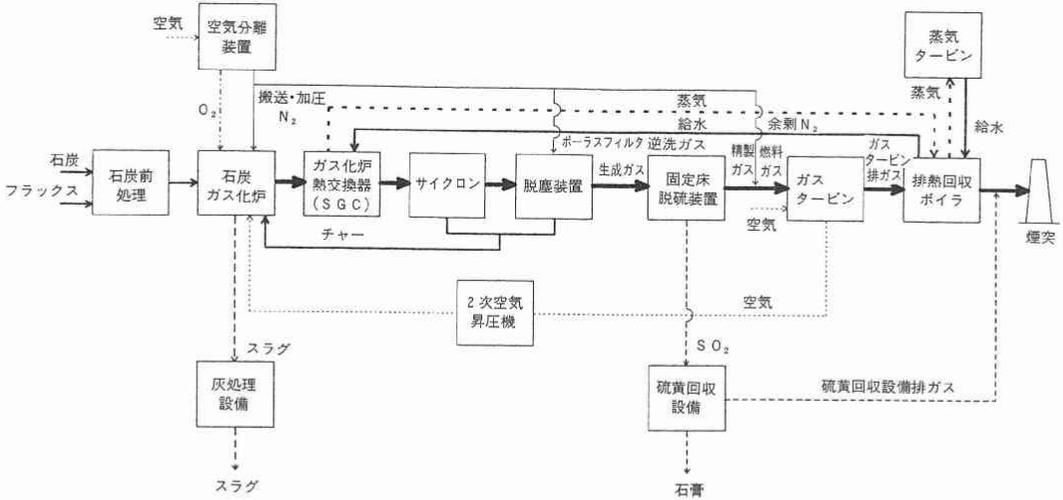


図 11 空気吹きIGCCプラントのプロセス構成

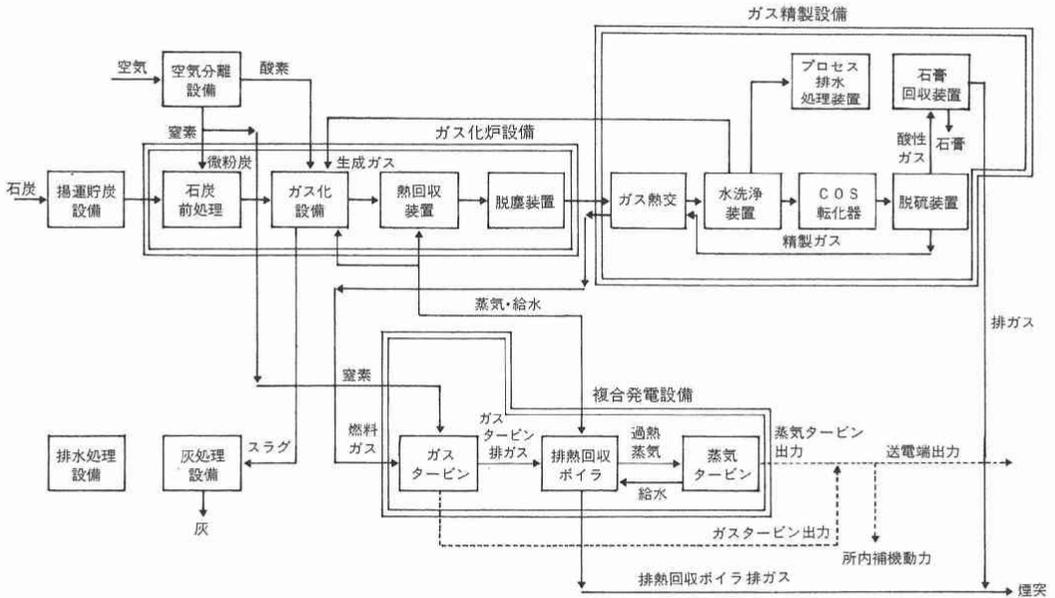


図 12 酸素吹きIGCCプラントのプロセス構成 (改質褐炭の場合)

あると考えられる。

① フラックスの添加

- 改質褐炭の灰の熔融温度は高く、そのままでは熔融スラグ化に支障を来すため、灰の流動・熔融点を下げるためにフラックスの添加が必要になると考えられる。

- 改質褐炭の灰は $Fe_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $Na_2O$ 等を多く含むアルカリ性であるため、フラックスとしては酸性フラックス( $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 等を多く含む珪砂、アルミナ、或いは酸性成分の多い瀝青炭のフライアッシュ等)が考えられる。
- その外に、灰中に酸性の $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$

表 6 プラントの出力及び効率（1系列当たり）

項 目		空 気 吹 き		酸 素 吹 き	
		瀝 青 炭	改質褐炭	瀝 青 炭	改質褐炭
出 力	石 炭 処 理 量 (t/日)	2,820	3,330	2,800	3,060
	発 電 端 出 力 (MW)	476	477	504	491
	ガスタービン出力 (MW)	257	257	300	291
	蒸気タービン出力 (MW)	219	220	204	200
	送 電 端 出 力 (MW)	424	428	426	425
	所 内 動 力 (MW)	51	48	78	66
効 率	発 電 端 効 率 (% , HHV)	48.8	49.1	51.8	55.0
	送 電 端 効 率 (% , HHV)	43.5	44.1	43.8	47.7
	所 用 率 (%)	10.8	10.2	15.5	13.3

表 7 プラントの環境性能（1系列当たり）

項 目		空 気 吹 き		酸 素 吹 き	
		瀝 青 炭	改質褐炭	瀝 青 炭	改質褐炭
排 ガ ス 流 量 (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> N/時間)		1,988	1,975	2,035	2,001
排ガス 性 状	温 度 (°C)	110	110	110	110
	SO <sub>x</sub> *1 (ppmV)	<24	<24	15	13
	NO <sub>x</sub> *1 (ppmV)	<15	<15	18	<42
	ばいじん*1 (mg/m <sup>3</sup> N)	< 6	< 6	< 2	< 2
灰 (ス ラ グ) 量 (t/日)		283	48	270	27

\*1 O<sub>2</sub> 6%換算値

\*2 瀝青炭仕様のガスタービン燃焼器そのまま転用

表 8 プラント建設費相対比較 (%)

	瀝 青 炭	改質褐炭
空 気 吹 き	100	96
酸 素 吹 き	100	95

等を多く含み、灰の溶融温度が高い瀝青炭と混炭することにより、両者の欠点(ともに灰の溶融温度が高く、一般的にはIGCCに不向き)を補える可能性がある。

② ミルの調整

- 改質褐炭のハードグロブ指数（石炭

の粉碎性を示す数値、HGI)は非常に高く、粉碎性が良すぎるため、石炭供給設備におけるミルの型式の選定、運用方法の工夫が必要と考えられる。

- ミルとしては振動の発生が少なく、長時間の連続運転に耐えうる型式の選定が重要であり、ローラーミルが適切と考えられる。
- 運用方法としては通常よりもミルの負荷を上げ、かつ、粉碎荷重を下げる運転を行うことによって振動の低減、長時間

の連続運転が可能であろうと推測される。

#### (4) 技術的課題

以上、述べてきた改質褐炭のIGCCへの適用性及び留意点は、瀝青炭を燃料とするIGCCにおける実績・知見に改質褐炭の性状等を照らし合わせて推測したものである。

実際に改質褐炭を燃料とするIGCCを計画する際には、以下のような点を要素試験等により検証し、予測される性能、経済性等、更に詳細な検討を行う必要がある。

##### ① ガス化特性

改質褐炭は燃料比が低く、ガス化し易い石炭であると考えられ、この点がIGCCに適用した場合に発電端効率・送電端効率を押し上げる要因となっているが、この改質褐炭の「ガス化し易い」という特性は、現在までに得られている各種瀝青炭のガス化特性等のデータと、改質褐炭の性状を基に推測されたものである。

今後は、改質褐炭のガス化特性を実際に確認し、そのデータを基にガス化設備、ガス化剤（酸素富化空気あるいは酸素）の製造に必要な空気分離設備等について詳細な検討を行う必要がある。

また、次項にもあるように、改質褐炭の灰の溶融温度を下げる一方策として瀝青炭との混炭があるが、その場合のガス化特性も確認する必要がある。

##### ② フラックスの添加等による灰の溶融温度の低下

今回は灰が酸性の石炭に対してはアルカリ性フラックスを、同じくアルカリ性の石炭に対しては酸性フラックスを添加することによ

って灰の溶融温度を下げる事が出来るとの前提の下に検討を行っているが、改質褐炭の灰が実際にどのような挙動を示すのかについて確認する必要がある。

また、瀝青炭と改質褐炭を混炭した場合の灰の挙動（溶融温度等）も未確認である。

##### ③ ミルによる高HGI炭の粉碎性

改質褐炭のような高HGI炭の粉碎実績は殆どない。

今回はミルの型式の選定、運用方法の工夫等で対応可能との前提の下に検討を行っているが、改質褐炭を実際にミルで粉碎してみても、ミルの挙動等を確認する必要がある。

## おわりに

二酸化炭素の排出量が多いということと、かく敬遠されがちな石炭ではあるが、セキュリティ確保の観点からは依然重要なエネルギー源である。中でも、埋蔵量の約半分を占める低品位炭の存在は無視出来ず、その有効利用に向けての技術開発が期待されるころである。

以上の考えのもと、低品位炭ではあるが環境特性に優れる等、数々の優れた特質を有する豪州ビクトリア褐炭に着目。その経済的な改質技術及び発電用燃料としての利用技術の開発を目的とし、各種調査を実施してきた。その結果、改質については、(株)神戸製鋼所が開発した油中改質技術を適用することで技術的に十分可能であることが判明。改質コストもそれ程高くなく、瀝青炭等の高品位炭の価格によっては現実味を帯びた検討結果となった。

発電用燃料としての利用については、以下

の2つのケースについて検討を行った。

先ず、現在主流である微粉炭燃焼方式の石炭火力発電における利用を想定した場合、改質褐炭の専焼は困難だが、瀝青炭との混焼は可能性がある。また、灰処理費用が軽減される等、改質褐炭の価格によっては経済的なメリットも期待出来る。ただし、混焼可能比率、ハンドリング性等、現時点では不透明な部分も多く、実機導入にあたっては各種確認試験を行う必要がある。

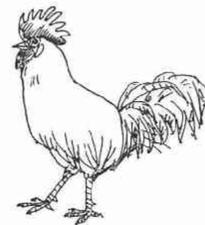
次に、現在開発が進められている石炭ガス化複合発電への適用を検討した結果、発電効率が高くなる、建設コストが若干安くなる等、改質褐炭の価格によっては瀝青炭に比べて適

用性が高くなる可能性がある。ただし、これはあくまで机上検討の結果であり、実際にはガス化特性、灰の熔融温度等、改質褐炭の各種特性を要素試験等により把握することが重要であり、今後の研究が期待されるところである。

#### 謝 辞

終わりに、本原稿作成にご協力頂いた通商産業省 資源エネルギー庁 電力技術課 開発振興室及び(株)神戸製鋼所並びに電源開発(株)、その他の関係各位の皆様には厚くお礼申し上げます。

以 上



〔調査研究報告〕

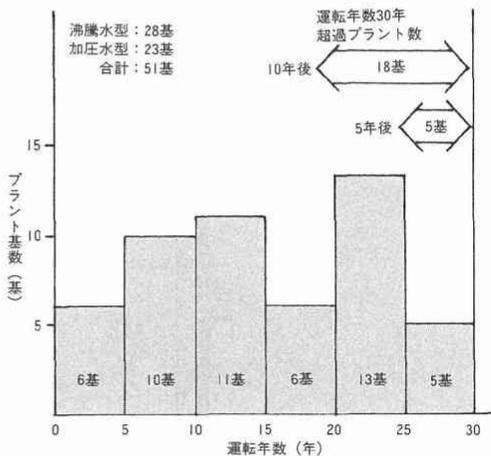
# 原子力発電プラント 高経年化対策の新しい取組み



津 田 潤 (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

原子力発電は、供給安定性・経済性に優れ、また炭酸ガスを排出しないなど環境負荷の少ない電源として、今後の発電電力量増加に対する大きな寄与が期待されている。わが国の商業用原子力発電プラントは、図1に示すように、平成11年4月時点で51基が稼働している。<sup>1)</sup> これら発電プラントは、技術の改良と徹底した運転管理・品質管理により、図2に示すように高い設備利用率が維持されてきて

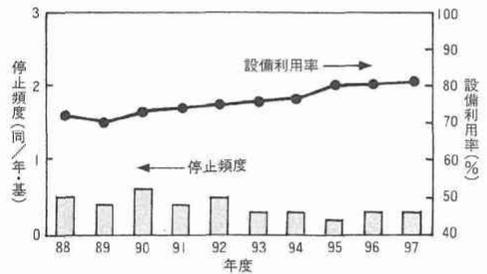


出所：東京電力、関西電力、日本原子力発電、「軽水炉プラントの高経年化対策活動」、『エネルギー』、Vol.32, No.6, 1999

図1 日本の軽水炉プラント運転年数の分布  
(1999年4月)

いる。<sup>2)</sup>

一方、図1にもあるように、今後10年後に運転年数30年を超えるプラントは18基に及ぶ。海外においても30年以上運転している発電プラントはまだ少なく、将来的に進展していく高経年化について関心が高まっている。このため、高経年化に対応した定期検査の高度化、技術基準の充実及び関連する技術開発を積極的に推進することなどが必要と考えられている。



出所：通産省 資源エネルギー庁、「高経年化に関する基本的考え方」、『原子力eye』Vol.45, No.5, 1999

図2 わが国における原子力発電所の設備  
利用率とトラブルによる停止頻度

本稿は、原子力発電プラントの高経年化対策に関して、国及び電気事業者・メーカーなど民間により実施されている新たな取組みを中心にまとめたものである。

## 2. なぜ高経年化対策か

近年、国際的にも高い関心を集めている地球環境問題、とりわけ地球温暖化については、エネルギーの分野においても適切に対応することが重要とされている。この地球温暖化対策においては、エネルギー供給面から二酸化炭素削減対策の1つとして、「エネルギーの安定供給」「エネルギーコストの低減等を通じた経済成長」及び「地球環境保全」という3つの課題の同時達成に不可欠な原子力立地の促進が挙げられている。<sup>3)</sup>

図3は平成10年6月総合エネルギー調査会需給部会中間報告の中の「長期エネルギー需給見通し」にある原子力供給の見通しを示す。これによれば、現在運転されている原子力発電プラントに加えて2010年までに更に約16~20基の新・増設を必要としている。上記した対応を実現させるためには、これら立地

の促進と同時に既存の原子力発電プラントの高経年化対応は必須となる。

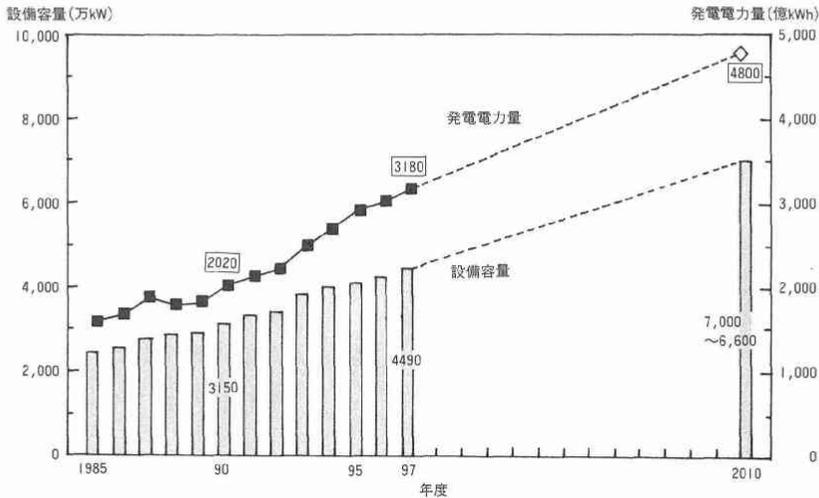
原子力発電プラントにおいては、建設時の計画及び運転経験に基づき、設備の定期的点検並びに補修・取替が実施されている。今後、海外を含めて経験の少ない30年という運転年数を超える発電プラントを対象とする際、上記の対応に加えて関連技術に関する最新の知見を反映しつつ、長期的な保全活動としての高経年化対策を実施することが必要である。

## 3. 高経年化対策として何をすべきか

高経年化対策を進めるに際し、国の基本方針として以下に示す検討が必要であるとされている。<sup>2)</sup>

### ○ 機器設備の技術評価

運転の長期化に対応し、目標運転年数における健全性に関する技術評価。



注：1997年度は推定実績値

出所：電源開発の概要，資源エネルギー庁

図3 電力供給目標・原子力供給の見通し

○ 長期保全計画の策定

従来より実施されている国の定期検査などの安全規制や電気事業者による自主点検などによる健全性の確認に加え、運転の長期化という観点から、定期検査を含む設備管理方策の見直し策定。

○ 技術基準の整備

運転の長期化に対応し、海外を含む関連技術に関する新しい知見を取入れた、機器設備の健全性評価に係る技術基準の整備。

○ 技術開発の推進

最新の技術を高経年化対策に反映する観点から、「検査・モニタリング技術」「予防保全技術」「経年変化評価技術」に係る必要な技術開発の推進。

#### 4. 海外での取組み

前項に述べた状況は、海外諸国においてもわが国とほぼ同様であり、それぞれ高経年化対策への取組みが行われている。各国の高経年化対策活動の現状は、表1に示すとおり、それぞれの国の原子力発電所の置かれた環境条件に応じた取組みが行われている。<sup>4)</sup>

##### 4.1 米 国

米国の原子力発電所の運転認可期間は、原子力法により最大40年と定められている。一方、運転認可更新については、1990年代初めに具体的な更新規則が提示され、その後現実的な内容に見直されてきている。最長20年ごととされている運転認可更新申請に際しては、総合プラント評価による経年劣化管理及び時間限定経年劣化解析による健全性評価から成る技術的評価に加えて、周囲環境に対す

る環境評価が要求されている。

これまでの具体的な運転認可更新としては、1998年4月にカルバート・クリフス原子力発電所（メリーランド州）1・2号機（PWR<加圧水型原子炉>）が、また7月にオコニー原子力発電所（サウスカロライナ州）1～3号機（PWR）が申請を行っている例がある。

##### 4.2 フランス

フランスの原子力発電所は1970年代後半から建設されたため、プラントの経年化は差し迫った問題とはなっていない。フランスにはプラントの運転期間に対する法的規制はないが、標準型PWRが時期的に集中して建設されたことから、プラントの運転期間延長により、廃炉措置に係る事業を平坦化することも考慮した高経年化対策（ライフタイム・プロジェクト）が1985年より実施されている。

##### 4.3 ドイツ

ドイツにおいて最初に原子力発電所が運転開始されたのは1969年であるが、1998年の政権交代による政治的環境の変化もあり、高経年化に対する具体的取組みは実施されていない。ただし、最新の安全水準に照らしたバックフィットが行われており、これらの対応が事実上の高経年化対策の役割を果たしていると考えられる。

##### 4.4 スウェーデン

スウェーデンの原子力発電所12基に対しては、1980年の議会決議により2010年までに段階的に閉鎖する方針が示されている。1999年11月30日にバーセベック原子力発電所1号機（BWR<沸騰水型原子炉>1975年5月運開）

表 1 諸外国の高経年化対策活動の現状について

(1998年末現在)

	米 国	フ ラ ン ス	ド イ ツ	スウェーデン	英 国
商業用原子炉基数	●運転中：104基 ●閉鎖：10基 ●建設中：3基 ●初期運開年：1969年	●運転中：54基(PWR) ●建設中：4基 ●初期運開年：1977年	●運転中：21基 ●閉鎖 BWR：2基, HWGCR：1基 HTGR：1基, VVER：5基 ●初期運開年：1969年	●運転中：12基 BWR：9基 PWR：3基 ●初期運開年：1972年	●運転中：GCR(20基), AGR(14基), PWR(1基) ●30年以上：GCR(10基) ●40年以上：GCR(2基) ●初期運開年：1956年
法定寿命	原子力法で運転認可は最大40年と定められている。一方で、認可更新も認められている。	法的な規定はない。	法的な規定はない。(92年に法定寿命を定める法案が作られたが廃案)	法的な規定はない。	法的な規定はない。
寿命延長に関する規制要件	●認可更新規制：10CFR Part54 (95年改正版施行) ●更新期間(最長20年) ●申請時期(運転認可取得後20～35年)	規制要件はない	規制要件はない	規制要件はない	規制要件はない
認可更新(寿命延長)の考え方	経済性評価し、廃炉か寿命延長の判断	●短期間に集中的に建設された ●一部プラントを寿命延長し、廃炉の平坦化を図る必要がある	最新の安全水準に照らし、必要あればバックフィットが行われている。バックフィットが事実上の寿命延長の役割を果たしている。	1980年議会で2010年までの段階的に全廃することを決定	経済性評価し、廃炉か寿命延長の判断
認可更新/寿命延長の評価体系	NRCが規定した認可更新規制(10CFR Part54)に則った評価(評価範囲、経年変化事象、評価手法等について規定、環境評価も含む)	包括的な経年劣化評価プロジェクト「Life Time Project」を1985年から実施	バックフィット措置を体系的に実施するための安全再評価システムが、88年に導入され、各プラントの安全水準を10年ごとに再評価	●原子力を取り巻く状況から、国レベルでの長寿命化検討は実施されていない ●ABB-Atomと電力とで、経年劣化を管理する長寿命化プログラムに取り組んでいる	●LTSR：運開20～25年時点での安全評価(GCR) ●LER：運開30年時点での安全評価(経年劣化の観点)(GCR) ●PSR：プラントが現行の安全基準を満足していることを確認するための10年ごとの評価(GCR, AGR, PWR)
認可更新/寿命延長の実績(計画)	●申請実績：2件 —カルバート・クリフス(98年4月) —オコニー(98年7月)	●実績：なし	●実績：なし (旧東ドイツのVVER 5基は安全基準を満足できず閉鎖)	●実績：なし	●40年以上の運転承認8基(GCR)

(注) HWGCR：重水減速/ガス冷却炉, HTGR：高温ガス炉, VVER：ロシア製加圧水型炉, CFR：連邦規制基準, NRC：原子力規制委員会, ABB-Atom：ABBアトム社  
出所：東京電力、「海外における原子力発電所の高経年化対策について」、『原子力eye』, Vol.45, No.5, 1999

は、早期閉鎖のための運転停止操作が行われた。<sup>5)</sup>このような状況から、国レベルで原子力プラントの高経年化に係る検討は実施されていないが、民間レベルにおいて設備の高経年化対策プログラムが取組まれている。

#### 4.5 英 国

英国において初期に運転開始した原子力発電所(GCR<ガス冷却炉>)は、既に運転年数40年を超えている。運転期間に関する法的規制はないが、GCRについては約20～25年間

運転したプラントに対して、安全性を総合的に再評価する「長期的安全レビュー(LTSR)」<sup>6)</sup>、また運転期間が30年を超えるプラントに対して経年変化に着目した評価を行う「継続運転安全レビュー(LER)」<sup>7)</sup>が実施されている。AGR(改良型ガス冷却炉)及びPWRに対しては、現行の安全基準を満足していることを確認するための10年ごとの評価「定期安全レビュー(PSR)」<sup>8)</sup>が高経年化対策として実施されている。

## 5. わが国の取組み

わが国においては、BWRプラントにおける炉心シュラウドの取替、あるいはPWRプラントにおける蒸気発生器の取替など大型機器・構造物を対象とする予防保全に係る技術開発など、既に国と民間の協力により実現されているものがある。本項では、国内原子力発電プラントの高経年化対策に係る取組みに関して、国と民間の協力により進められてきた内容を以下に述べる。

### 5.1 高経年化対策パート1の検討<sup>1),2)</sup>

わが国の原子力発電プラントに対する高経年化対策検討は、表2に示すように、2つのフェーズ(パート)に分けて実施されている。

パート1の検討では、運転年数の最も長い

プラントとして敦賀発電所1号機(BWR, 日本原子力発電)、美浜発電所1号機(PWR, 関西電力)及び福島第一原子力発電所1号機(BWR, 東京電力)の3プラントが評価プラントに選定された。検討内容としては、プラントの運転期間を60年と仮定した場合の健全性確保の見通しに関する技術評価、並びに具体策として「高経年化に関する基本的考え方」「安全確保のあり方」「技術開発課題」などが検討された。これらの検討結果は、通産省顧問会による審議を踏まえ、平成8年4月に通産省資源エネルギー庁から「高経年化に関する基本的考え方」として公表されるとともに、平成10年11月原子力安全委員会において「現時点の知見に照らして妥当」と評価されている。

上記の技術評価においては、安全上重要で

表2 高経年化対策検討パート1, 2の概要

	パート1 検討	パート2 検討
検討目的	運転期間60年における主要機器の健全性の確認を行うこと	運転期間60年におけるプラント全体の健全性の確認および保全計画を策定すること
通産省審議期間	平成6年7月～平成8年3月	平成9年3月～平成10年11月
評価プラント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敦賀1号機 (昭和45年3月運開：日本原電)</li> <li>・美浜1号機 (昭和45年11月運開：関西電力)</li> <li>・福島第一・1号機 (昭和46年3月運開：東京電力)</li> </ul>	同 左
評価対象機器	(安全上重要で補修、取り替えが容易でない機器) BWR：7機種 ・原子炉圧力容器 ・原子炉格納容器 ・炉内構造物 ・一次冷却材配管 ・原子炉再循環ポンプ ・ケーブル ・コンクリート構造物 PWR：9機種 ・原子炉容器 ・原子炉格納容器 ・炉内構造物 ・1次冷却材管 ・1次冷却材ポンプ ・ケーブル ・コンクリート構造物 ・加圧器 ・蒸気発生器	(安全上重要および運転継続上重要な機器等) (数千の系統・建築物・機器) ・安全上重要な機器 (パート1検討の7～9機種を含む) 例：主蒸気隔離弁、非常用炉心冷却系機器等 ・運転継続上重要な機器 例：タービン、復水器、給水加熱器、発電機等 ・その他設備 例：消火設備、廃棄物処理設備等

出所：東京電力、関西電力、日本原子力発電、「軽水炉プラントの高経年化対策活動」、『エネルギー』、Vol.32, No.6, 1999

かつ補修・取替が容易でない機器・構造物が、評価の対象として選定された。その結果、60年間の運転に対して、炭素鋼配管のエロージョン・コロージョンによる減肉に対する管理のように、一部の機器については今後の運転・保守における適切な対応を必要とするが、基本的には現状の保守を継続することにより、プラントの健全性が確保されるとの見通しが得られた。<sup>1)</sup>

また高経年化に関する具体策として、「長期保全計画の策定」「定期検査等の充実」「基準等の整備」「高経年化に対応した技術開発の推進」に取組むことの必要性が明確にされた。

## 5.2 高経年化対策パート2の検討<sup>1)</sup>

パート2の検討においては、パート1で評価対象とした3プラント（福島第一・1号機、敦賀1号機、美浜1号機）について、電気事業者が安全性だけでなく運転継続性の観点を考慮するとともに、補修・取替が容易な機器も含めて評価対象範囲をより広く拡大し、数千の系統・構築物・機器を対象として技術評価が実施され、さらに長期保全計画が検討された。これらの評価・検討結果を踏まえ、通産省資源エネルギー庁は、今後の高経年化に関する具体的な取組みとして、「総合的な設備管理方策（技術評価を含む）」「経年変化に対応した技術基準の整備」「技術開発の実施」の内容を具体的に検討し、平成11年2月にその結果を公表した。

このうち技術評価については、上述した観点から膨大な機器・構築物を対象とした検討が実施され、評価対象機器のグループ化と代表機器の選定、経年変化事象の抽出とスクリーニングなどを通して、60年間使用を仮定し

た場合の健全性評価が実施された。その結果、現状の保全に基づき適切な対応を取れば、60年間の運転を仮定しても技術的に運転は可能との結論が得られた。<sup>1)</sup>

また、高経年化に関する具体的な取組みとして、以下の内容が具体的に示された。なお、これら高経年化対応に当たっては、長期にわたる技術開発、基準規格の整備、関連データの蓄積などが必要であることから、電気事業者など民間をはじめ、大学、研究機関、国などの関係者が適切な役割分担と連携を図りつつ、継続的な活動を行っていくべきとしている。<sup>6)</sup>

### (1) 総合的な設備管理方策の確立<sup>6)</sup>

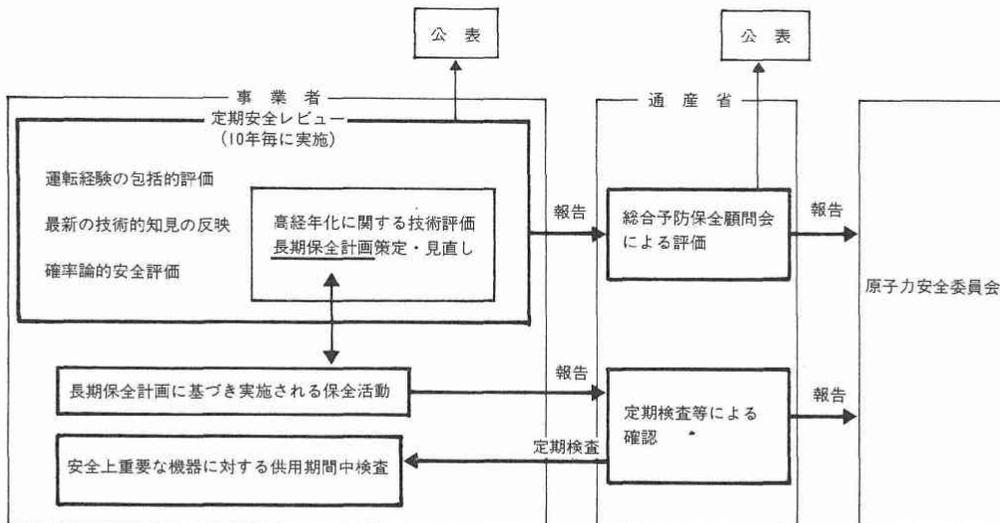
平成4年6月以降、相当年数が経過する原子力発電所に対して、電気事業者による定期安全レビュー（PSR）が行われ、その成果は国による評価を受けてきている。今後は、図4に示すように、営業運転開始後の経過年数が30年を超える前に、高経年化に関する技術評価及び長期保全計画の策定・見直しを行い、これらを10年ごと定期的に実施する。さらに、原子炉冷却材バウンダリを構成する機器の供用期間中の検査間隔短縮、原子炉格納容器及びBWR炉心シェラウド検査の充実並びに経年変化事象の顕在化が懸念される部位に対する定点サンプリング方式の導入など、定期検査の充実を図る。

### (2) 経年変化に対応した技術基準の整備

破壊力学に関する研究並びに高精度の欠陥検出技術の進展など、国内外の技術開発成果を反映した技術基準の整備を行う。

### (3) 技術開発の実施

国の取組みとして、



1. 各プラントについては、定期安全レビュー（PSR）を10年に1回程度の頻度で実施。
  2. 今後、PSRの対象となるプラントについて、30年目を迎えることをめどとして、技術評価および長期保全計画の策定をPSRの中で実施するとともに、その後10年ごとに、かかる技術評価および長期保全計画の見直しを実施。
  3. 技術評価および長期保全計画については、通産省による評価を行った上で、原子力安全委員会に報告。
  4. 併せて定期検査等において、長期保全計画の進捗状況をフォロー。
- 出所：平岡、「原子力発電所の高経年化に関する具体的取り組み」、『エネルギー』、Vol.32、No.6、1999

図 4 総合的な設備管理方策

- 検査・モニタリング技術  
(監視試験片の再生技術など)
  - 予防保全・補修技術  
(炉内構造物の取替・補修技術など)
  - 経年変化評価技術  
(中性子脆化・熱脆化評価, 疲労評価技術など)
- に係る必要な技術開発を推進していく。

## 6. 技術開発に関する新たな取組み

従来より前項に示された方針に基づき、産官学の協力により進められてきた技術開発の状況を、表 3 に経年変化事象ごとに整理して示す。多くの分野において、既に対応されてきているが、今後新たに必要となる取組みを検討・評価するため、平成10年度に組織され

た、学識経験者・国及び民間の委員からなる検討委員会（当研究所が事務局担当）において、以下の3項目に関する技術開発が新たに取組む必要があると評価され、平成11年度より、これらの技術開発が進められることとなった。

### (1) 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術の開発

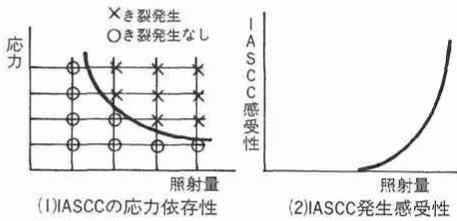
照射誘起応力腐食割れは、従来の応力腐食割れ (SCC) が発生する条件である材料・腐食環境・応力の3つの条件に照射条件が影響因子として加わった事象であり、炉内構造物を対象に運転の長期化により顕在化する可能性がある。本技術開発内容は、図 5 に示すように、割れの発生特性、進展特性及び基礎特性に係るデータを収集し、寿命評価技術の確立に関するものである。本技

表 3 主な経年変化事象と技術開発状況

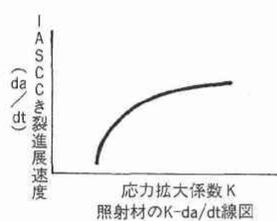
◎：実施済，○実施中，△：計画

事象	内容	対象設備	技術開発状況			特記事項
			経年変化評価技術	検査・モニタリング技術	予防保全・補修・取替技術	
SCC	・ステンレス鋼の溶接熱影響部に割れ ・ニッケル基合金に割れ	原子炉(圧力)容器/炉内構造物/配管/加圧器(PWR)/蒸気発生器(PWR)	◎(ステンレス鋼) △(ニッケル基合金)	○(高度化)	◎(補修・取替) ○(予防保全)	・材料/環境/応力面からの対策済 ・ニッケル基合金のSCC進展評価技術要
IASCC	・中性子照射量が大きくなるとステンレス鋼に割れ	炉内構造物	△	○(高度化)	◎/○(取替) ○(予防保全)	・IASCC評価技術要
疲労	・起動・停止等の過渡や振動により疲労が蓄積 ・熱疲労により割れ	原子炉(圧力)容器/炉内構造物/配管/加圧器(PWR)/蒸気発生器(PWR)	◎(疲労) ○(環境疲労)	○(高度化)	◎(取替)	・環境疲労評価技術を開発中
熱時効	・高温長時間使用で二相ステンレス鋼の靱性が低下	ポンプ/配管	○(配管)	◎	◎(補修)	・配管評価技術を開発中
照射脆化	・中性子照射により低合金鋼の靱性が低下	原子炉(圧力)容器	○	○	○(補修)	・監視試験片の再生技術を開発中
絶縁劣化	・高温・放射線下での長時間使用で高分子材料が劣化	ケーブル	△(長期健全性)	△(長期健全性)	◎(取替)	・経年変化評価技術要

●発生特性



●進展特性



●基礎特性

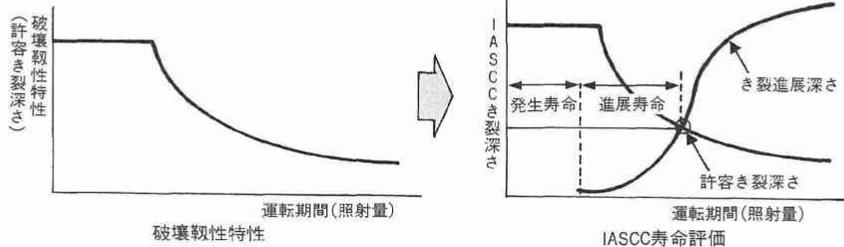


図 5 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術開発 (成果の反映)

術開発は、図6に示すように、平成12年度より3年間ごとにフェーズを分けて進められる計画である。

(2) ニッケル基合金の応力腐食割れ進展評価技術の開発

ニッケル基合金が用いられているBWR再循環ノズル溶接部、炉内構造物及びPWR

原子炉容器 (RPV) 管台及び蒸気発生器 (SG) 伝熱管にSCCの発生事例が報告されており、その対策としてSCC進展評価技術の開発が必要とされている。本技術開発は、図7に示すように、SCC進展特性を評価する際に必要となるき裂進展特性データを収集することを目的とした試験研究である。

項目	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
成果目標	試験計画 課題抽出	フェーズⅠ IASCC寿命評価方法の 検討			フェーズⅡ 技術基準策定 検査対象部位の絞り込み 検査開始時期評価			フェーズⅢ 技術基準案レビュー 検査対象部位レビュー 検査開始時期レビュー 維持基準案策定 検査間隔評価		
実施内容	詳細計画 立案	T P 製作			照射試験 (低照射, 中照射, 高照射)					
	試験片他 中性子 照射 データ 蓄積評価	照射計画	照射試験方法の検討		IASCC発生照射量依存性試験			IASCC発生応力・水質・温度依存性試験		
メカニズム 検討	評価検討 課題抽出	非照射材進展 特性試験		IASCC進展特性試験			破壊靱性試験			
		IASCC発生メカニズムの評価・発生進展寿命評価			照射による影響評価					

図6 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術開発 (開発工程)

- 軽水炉 (BWR, PWR) 環境下の SCC 進展特性
  - ・ 進展速度に及ぼす材料・環境・応力依存性の把握

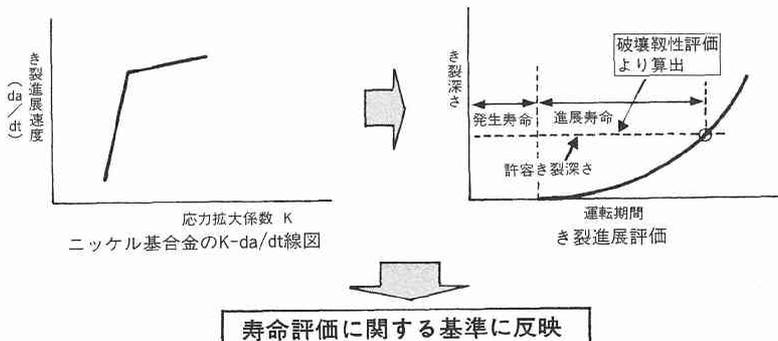


図7 ニッケル基合金のSCC進展評価手法開発 (成果の反映)

図 8 にニッケル基合金のSCC進展評価手法に関する開発計画を示す。本計画では、BWR原子炉構造物、PWR原子炉容器管台及びPWR蒸気発生器伝熱管を対象とした試験が計画されている。

(3) ケーブルの経年変化評価技術の開発

本技術開発は、原子力発電プラントに用いられている安全系ケーブルの長期健全性の評価技術に関して、最新の知見を反映した加速試験及び評価方法について検討するものである。図 9 に本技術開発計画を示す。

## 7. 今後の課題

これまで高経年化対策に関する国内外の活動状況並びに関連技術開発に関する新たな取り組みを述べてきたが、今後更に検討すべきと考えられる課題を以下にまとめて示す。

(1) 新たな経年変化事象の監視

運転の長期化により種々の経年変化が顕在化する可能性があり、原子力発電プラントの状態監視を継続して行い、新たな経年変化発生の有無を確認し、適切な対応を行うことが必要である。

項目	H12	H13	H14	H15	H16	H17
BWR環境下のSCC試験	試験装置及び試験片設計・製作			き裂進展試験		
				SCC進展評価手法の検討		
PWR環境下のSCC試験 (RPV)	試験装置及び試験片設計・製作			き裂進展試験		
				SCC進展評価手法の検討		
PWR環境下のSCC試験 (蒸気発生器)	試験装置及び試験片設計・製作			き裂進展試験		
				SCC進展評価手法の検討		
総合評価						総合評価

図 8 ニッケル基合金のSCC進展評価手法開発 (開発工程)

項目	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
調査・検討	調査・検討						
試験計画		試験計画					
試験 ・試験装置/ 試験片製作 ・加速試験/ 評価試験		試験装置/ 試験片製作					
			加速試験/ 評価試験				
評価						評価	

図 9 ケーブル経年変化評価技術開発 (開発工程)

## (2) 経済性に関する検討

原子力発電所の高経年化に関しては、安全性と健全性の確保はいうまでもないが、プラントの経済性追求も重要な因子である。経済性評価システムの研究は、電力中央研究所において既に研究が進められている例<sup>7)</sup>があるが、今後プラント高経年化対策を、経済性の観点からも評価可能な支援システムの開発が必要と考えられる。

## (3) その他

原子力発電所の経年化は、規制に影響を与え得る技術的問題としてOECD（経済協力開発機構）報告書<sup>8)</sup>にまとめられており、この中で以下の点が今後の課題であるとされている。

- 機器及び構造の物理的経年化
- 解析技術と関連書類の経年化
- 規則及び基準の経年化
- 技術の経年化

特に規則及び基準の経年化に関しては、リスクと確率論的評価を組合わせたリスクベースの保守管理技術などの研究も最近進められており、今後、合理的な経年対策管理を実施するという観点で取組むべき課題であると考えられる。

## 8. ま と め

原子力発電所の高経年化対策の取組みとして、その必要性、国内外の状況をまとめると

ともに、産官学の協力のもと平成11年度から新たに着手された技術開発計画を中心にまとめた。今後は、安全性確保に係る技術的な対応はもちろんであるが、経済性をも考慮したプラントの高経年化対策並びにリスクベース評価を取入れたプラント保守管理技術などの検討も併せて進めていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 東京電力、関西電力、日本原子力発電、「軽水炉プラントの高経年化対策活動」、『エネルギー』、Vol.32, No.6, 1999
- 2) 通産省 資源エネルギー庁、「高経年化に関する基本的考え方」、『原子力eye』 Vol.45, No.5, 1999
- 3) 資源エネルギー庁、「エネルギー供給における原子力発電」、『電気協会雑誌』、No.912, 1999
- 4) 東京電力、「海外における原子力発電所の高経年化対策について」、『原子力eye』、Vol.45, No.5, 1999
- 5) 「ニュークレオニクス・ウィーク」日本語版, 1999.12.2
- 6) 平岡、「原子力発電所の高経年化に関する具体的取り組み」、『エネルギー』、Vol. 32, No. 6, 1999
- 7) 草薙、「電中研における高経年化対策の研究」、『原子力eye』、Vol.45, No.5
- 8) Future Nuclear Regulatory Challenges, A Report by the NEA Committee on Nuclear Regulatory Activities, OECD NEA, 1998

〔調査研究報告〕

# バイオマスエネルギー 資源量の評価

—バイオマスプラントーション  
を含めた推算—

上西勝彦\* (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

丹羽宣治\*\* (財)地球環境産業技術研究機構  
化学的CO<sub>2</sub>固定化研究室 主席研究員



## 1. はじめに

地球環境問題の高まりとともに、太陽・風力・地熱といった再生可能エネルギーの導入が加速化されている。今回取り上げるバイオマスも、大気中のCO<sub>2</sub>を光合成により植物に変換して生み出される再生可能エネルギーであり、欧米各国でエネルギー技術研究開発戦略の1つとして明確に位置づけられている。

本稿では、バイオマスの資源量を、林産業、農業から付随して発生する廃棄物系のものと人工的生産となるプラントーション系のものとに分けて試算を行った結果と、21世紀にバイオマスエネルギーが世界の1次エネルギー供給に占める位置付けについて報告する。

なお、本稿は、平成10年度に(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から研究委託を受けた「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」の一環として、(財)エネルギー総合工学研究所がRITEより受託した「バイオマス利用によるCO<sub>2</sub>リサイクルメタノールシステムの評価に関する調査」の調査研究結果の一部をま

とめたものである。

## 2. 本評価におけるバイオマスの区分

バイオマスは、「再生可能」にしてかつ「カーボンニュートラル」という2つの大きな特徴を有することから、地球環境問題解決のオプションとなり得る新たなエネルギー源として注目されている。現在、地球上には森林や海洋をはじめとする広範な地域にわたって膨大な量のバイオマスがストックとして存在し、同時に光合成によって常に新たなバイオマスがフローとして生産されている。

しかし、この光合成により生産された1次バイオマスは、既に人類をはじめ多くの生物の食料となっており、さらに人類が営む社会活動において、食料以外の用途として様々な形で利用されている。従って、エネルギー資源として評価するに際しては、これら既存のバイオマス利用との競合を考慮する必要がある。

このような競合を避けるため、エネルギー利用を目的に植林や草本類の栽培により新たにバイオマスを生産するエネルギープラント

ーションの導入が、多くのシナリオの形で提案されている。しかし、この場合には、用地の確保に際して他の土地利用との競合を考慮する必要がある。

従って、再生可能エネルギー源としてのバイオマスの資源量を評価するに当たっては、その対象を大きく2つに区分する。1つは、現在生産に付随して発生しているながら十分に利用されていない「廃棄物系バイオマス」であり、もう1つは未利用地・低利用地を有効利用して新たに生産する「プランテーション系バイオマス」である。

### 3. 廃棄物系バイオマス資源量の推算

#### (1) 対象とした廃棄物

廃棄物系バイオマスには様々なものがあり、ゴミ、糞などの廃棄物系、木材残余、くず、黒液などの林産系、穀物などの残余の農業系などに分類できる。廃棄物系に関しては処理システムの確立やリサイクルが進みつつあるため、ここでは、林産系および農業系のバイオマスを資源量算定の対象とした。その内訳を表1に示す。

#### (2) 資源量の推算方法

廃棄物系バイオマスは林業や農業の生産活動に伴い発生するが、その発生量をデータとして直接数値的に得るのは困難である。そのため、各種林産物・農産物の生産量などから表1に示す算定式を用い推算を行った。ここで、残さ率・廃棄物発生率については、文献<sup>1)2)</sup>より、表2に示す値を用いた。

#### (3) 資源量の推算結果

林産物・農産物の生産量はFAO（国連食糧農業機関）の統計値<sup>3)</sup>を用いた。結果を表3に示す。

資源量の推算値は、林産廃棄物系が15.6億t、農業廃棄物系が27.4億t、合計で43億tであった。地域別に見ると、林産廃棄物系では北米地域が33%、アジア地域が25%であり、この2地域で過半数の58%を占め、農業廃棄物系ではアジア地域のみで46%となった。

内訳は、林産廃棄物系については、アジア地域では燃料木材残余が42%、丸太残余が33%、北米では丸太残余が55%となっている。農業廃棄物系では、中国とインドおよび北米では、大部分が穀物残余であるが、ブラジルではサトウキビ残余とバガスで70%を占めている。

表1 資源量推定の対象とした廃棄物系バイオマスと発生量の推定方法

バイオマス種類		発生量の求め方
林産系	丸太残余	丸太生産量×残さ率
	燃料木材残余	燃料木材生産量×残さ率
	黒液	パルプ生産量×発生率
	用材くず (製材, 枕木, 合板, 化粧板)	用材生産量×発生率
農業系	穀物残余 (米, 小麦, とうもろこしなど)	穀物生産量×残さ率
	サトウキビ残余 (穂および葉)	サトウキビ生産量×残さ率
	バガス	サトウキビ生産量×発生率

表2 推定に用いた残さ率・廃棄物発生率

バイオマス種類		残さ率・発生率 (t/t)		残さ率・発生率の考え方
林産系 *1	丸太残余	丸太生産量 あたり発生量	0.639	1 t の伐採に対し、61%が生産、39%が残余
	燃料木材 残余	燃料木材生産量 あたり発生量	0.250	1 t の伐採に対し、80%が生産、20%が残余
	黒液	木材パルプ生産量 あたり発生量	1.180	・丸太の43%が木材パルプ、45%が黒液として排出（エネルギー換算） ・丸太：15GJ/t、木材パルプ：14.1 GJ/t、黒液：12.5GJ/t
	用材くず	用材生産量 あたり発生量	0.818	1 t の丸太投入に対し、44%が生産、45%がくず
農業系 *2	穀物残余	穀物生産量 あたり発生量	1.30	1 t の収穫（生産）に対し、1.3 t の残余が発生
	サトウキビ 残余	サトウキビ生産量 あたり発生量	0.28	1 t の収穫（生産）に対し、0.28 t の残余が発生
	バガス	サトウキビ生産量 あたり発生量	0.15	1 t の収穫（生産）を用いた精糖に対し、0.15 t のバガスが発生

出典 \*1：(財)電力中央研究所文献1)より作成。\*2：“Renewable Energy,” Johansson et al

表3 廃棄物系バイオマス資源量の推定結果（1995年）

(10<sup>6</sup>t)

		合計	林産系	農業系
アジア	中国	603	110	493
	インド	421	75	345
	タイ	55	9	47
	マレーシア	30	27	3
	インドネシア	128	60	67
	フィリピン	35	9	26
	日本	55	42	13
	その他	311	59	252
	(小計)	1,638	391	1,247
オセアニア	オーストラリア	64	13	51
	その他	18	15	3
	(小計)	83	29	54
ヨーロッパ	スウェーデン	57	51	6
	ノルウェー	10	9	2
	フィンランド	45	41	4
	オーストリア	19	13	6
	フランス	97	28	70
	ドイツ	81	29	52
	ロシア	149	69	80
	その他	362	94	268
(小計)	821	333	488	
北米	アメリカ合衆国	728	359	369
	カナダ	221	157	64
	(小計)	949	517	433
南米	ブラジル	276	86	190
	その他	129	44	85
	(小計)	405	130	275
アフリカ		289	136	154
その他地域		110	19	90
合計		4,295	1,555	2,740

#### 4. エネルギープランテーション系バイオマス資源量の推算

##### (1) 定義と対象作物

エネルギープランテーションの定義は、エネルギー用としての木材や作物の生産を目的として土地を利用し、生産することである。従って、生産量自体が資源量となる。作物として一般に提案されているものは、「木本類あるいは草本類で成長が早い作物を栽培し、成長が鈍る前に短いサイクルで伐採する」ものである。これに適する作物は、気候帯により異なるが、例えば、乾燥地帯ではユーカリ、寒冷地帯ではヤナギ、熱帯ではサトウキビなどがある。このほか、水中で繁殖する微細藻類が候補として挙げられる<sup>4)</sup>。

##### (2) プランテーション用土地面積の算出

エネルギープランテーションを実施する用地と面積の算定には、様々な制約条件がある。例えば、生物多様性に配慮して、天然林と既に別用途に利用されている住宅地・農地・人工林などを除外する必要がある。そのため、未利用地・低利用地などがプランテーションの候補地となるが、土壌や気象条件が植物の生育に適切ではなかったり、エネルギーの利用地まで長距離輸送を必要とするなど経済性に乏しいケースもあり得る。

このような事情から、プランテーションに適した条件を満足する土地面積を的確に把握するのは極めて困難であるため、ここではラーソン (E.D.Larson) の考え方<sup>5)</sup>を引用し、現状の土地利用区分における「牧草地+その他」の10%がプランテーション用地に転用可能と仮定した。この理由は、対象地とその比

表4 ラーソン<sup>5)</sup>による単位面積あたりバイオマス資源生産量の例

地域	国	単位面積あたり生産量 (t/ha・年)
アジア	中国	12.1
	インド	30.0
	タイ	22.3
	マレーシア	30.0
	インドネシア	30.0
	フィリピン	30.0
	日本	22.8
	(平均)	12.0
南米	ブラジル	23.4
	(平均)	15.7
アフリカ	(平均)	8.3

(注) 一部地域を抜粋

率の設定が、土地利用の競合立地条件の制約を考慮しても、それほど過大評価にはならないとの判断によるものである。

##### (3) 単位面積あたりのバイオマス資源量

プランテーションにより生育される樹木の成長速度や生産量は、気候帯や植栽する樹木の種類により異なる。従って厳密に算出するにはプランテーション用地の土壌、その地域の日照量や降水量などを反映することが望ましいが、ここではラーソンの文献<sup>5)</sup>にある単位面積あたりの年間収量(単収)を参考に仮定した。

ラーソンは、商業的プランテーションの経験のあるブラジルにおけるユーカリのエネルギープランテーションに基づく年間降水量と単収の相関から、各国における単収を仮定しており、その値の例を表4に示す。ただし、この値は、商業プランテーションとしての良好な条件下の数値であることに注意が必要である。

今回の推算では、アジアおよびブラジルは表4の値を、アジア、南米およびアフリカの

表5 FAOによる土地利用データ(1994年)

(10<sup>3</sup>ha)

		陸地計	耕地	牧草地	森林	その他
アジア	中国	933	133	400	130	269
	インド	297	170	11	69	48
	タイ	51	20	1	15	15
	マレーシア	33	8	*0	22	3
	インドネシア	181	30	12	112	27
	フィリピン	30	9	1	14	6
	日本	38	4	1	25	8
	その他	1,523	183	621	171	549
	(小計)	3,085	558	1,047	557	923
オセアニア	オーストラリア	768	47	415	145	154
	その他	81	4	14	55	7
	(小計)	849	51	429	200	161
ヨーロッパ	スウェーデン	41	3	1	28	10
	ノルウェー	31	1	*0	8	21
	フィンランド	30	3	*0	23	5
	オーストリア	8	2	2	3	2
	フランス	55	19	11	15	10
	ドイツ	35	12	5	11	7
	ロシア	1,689	132	87	766	703
	その他	371	145	73	92	60
	(小計)	2,260	317	179	947	818
北米	アメリカ合衆国	916	181	239	296	200
	カナダ	922	46	28	453	395
	(小計)	1,838	227	267	749	595
南米	ブラジル	846	60	185	555	46
	その他	907	53	310	377	168
	(小計)	1,753	113	495	932	214
アフリカ		2,964	193	884	713	1,173
その他地域		299	41	98	75	85
合計		13,048	1,500	3,399	4,172	3,969

出典) FAO statistical database (<http://apps.fao.org>)<sup>3)</sup>

\*) 零ではない(表では他の数値を含め小数点以下を四捨五入して表示)

表4にない諸国の値は、同表に示す当該地域の平均値を用いた。表4にない、ヨーロッパ、北米、オセアニアなどは、一律15t/ha・年<sup>2)</sup>と仮定して算出した。

算出に必要な土地利用データは、表5のFAOの統計<sup>3)</sup>を用いた。

#### (4) プランテーションによるバイオマス資源量

以上の仮定により求めたエネルギープラン

テーションによるバイオマス資源量の推算結果を表6に示す。

想定したプランテーション面積7.37億haから生産されるバイオマス資源量は、95.4億t/yとなった。この値は、前述の廃棄物系バイオマス量の約2.2倍に相当する。地域別に資源量を表した結果を図1に示す。プランテーション面積はアジア地域が27%を占め、国別ではロシアが最も多く中国がそれに次いでいる。また、資源量についてもアジア地域が最

表6 エネルギープランテーションによる資源量（年間生産量）

		プランテーション面積 (10 <sup>3</sup> ha)	単位面積 あたり収量 (t/ha)	年間生産量 (10 <sup>4</sup> t/y)
アジア	中国	66,867	12.1	809
	インド	5,907	30.0	177
	タイ	1,584	22.3	35
	マレーシア	300	30.0	9
	インドネシア	3,921	30.0	118
	フィリピン	685	30.0	21
	日本	823	22.8	19
	その他アジア	116,938	12.0	1,403
	(小計)	197,026	—	2,591
オセアニア	オーストラリア	56,868	15.0	853
	その他オセアニア	2,123	15.0	32
	(小計)	58,991	—	885
ヨーロッパ	スウェーデン	1,036	15.0	16
	ノルウェー	2,145	15.0	32
	フィンランド	468	15.0	7
	オーストリア	352	15.0	5
	フランス	2,058	15.0	31
	ドイツ	1,219	15.0	18
	ロシア	79,064	15.0	1,186
	その他ヨーロッパ	13,343	15.0	200
	(小計)	99,685	—	1,495
	北米	アメリカ合衆国	43,892	15.0
カナダ		42,330	15.0	635
(小計)		86,222	—	1,293
南米	ブラジル	23,065	23.4	540
	その他南米	47,772	15.7	750
	(小計)	70,837	—	1,290
アフリカ		205,742	8.3	1,708
その他地域		18,325	15.0	275
合計		736,827	—	9,537

も多く27%を占める。国別では、ロシア、オーストラリア、中国の順となっている。

## 5. バイオマスによるエネルギー資源量

### (1) 資源量の推算結果

廃棄物系およびプランテーションに分けて求めたバイオマス資源量の推算結果を表7に示す。

合計値は約138億 t/年であり、エネルギープランテーションによる資源量が約7割を占

めていることがわかった。

地域別ではアジアが大きく、国別では中国、ロシア、アメリカ合衆国の順となった。ただし、途上国における資源量は統計的な数字の信頼性が先進国と比較して低いため、換算数値の想定により大きく影響を受ける可能性がある点に留意が必要である。

### (2) エネルギー量としてのバイオマス資源量

求めたバイオマス資源量をエネルギー量への換算を試みる。バイオマス資源の単位重量

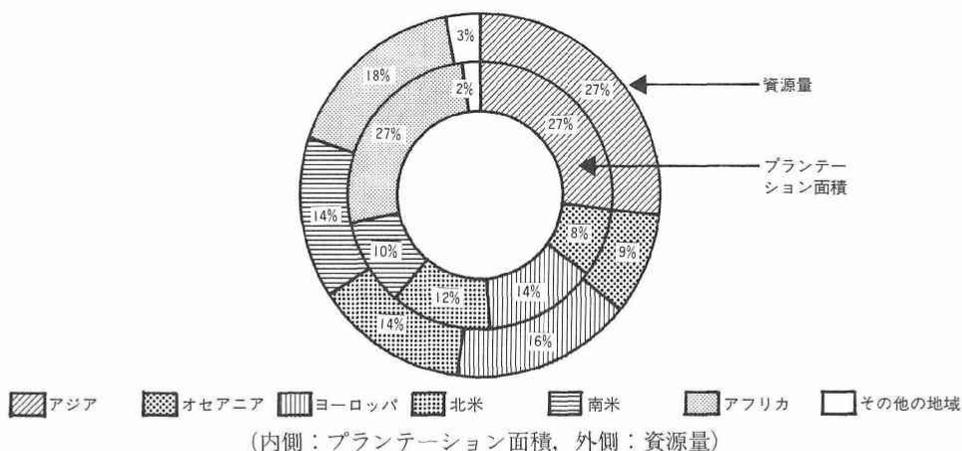


図1 エネルギープランテーション面積および資源量の地域別比率

表7 バイオマス資源量の推定結果

(単位：10<sup>6</sup>t/y)

		合計	林産系 廃棄物	農業系 廃棄物	プランテ ーション
アジア	中国	1,412	110	493	809
	インド	598	75	345	177
	タイ	91	9	47	35
	マレーシア	39	27	3	9
	インドネシア	245	60	67	118
	フィリピン	56	9	26	21
	日本	74	42	13	19
	その他アジア	1,714	59	252	1,403
	(小計)	4,229	391	1,247	2,591
オセアニア	オーストラリア	917	13	51	853
	その他オセアニア	50	15	3	32
	(小計)	968	29	54	885
ヨーロッパ	スウェーデン	73	51	6	16
	ノルウェー	42	9	2	32
	フィンランド	53	41	4	7
	オーストリア	24	13	6	5
	フランス	128	28	70	31
	ドイツ	99	29	52	18
	ロシア	1,335	69	80	1,186
	その他ヨーロッパ	562	94	268	200
	(小計)	2,317	333	488	1,495
北米	アメリカ合衆国	1,386	359	369	658
	カナダ	856	157	64	635
	(小計)	2,243	517	433	1,293
南米	ブラジル	816	86	190	540
	その他南米	879	44	85	750
	(小計)	1,695	130	275	1,290
アフリカ		1,997	136	154	1,708
その他地域		385	19	90	275
合 計		13,832	1,555	2,740	9,537

あたりのエネルギー量は、種類により様々であるが、ここでは林産系廃棄物を $15 \times 10^9 \text{J/t}$ 、農業系廃棄物を $12 \times 10^9 \text{J/t}$ 、エネルギープランテーション生産物を $20 \times 10^9 \text{J/t}$ とした。

エネルギー量への換算結果を表8に示す。世界全体で約 $247 \times 10^{18} \text{J/y}$ 、うちプランテーションによるものが約 $191 \times 10^{18} \text{J/y}$ という結果になった。地域別には、アジア地域が29%と最も多く、次いでヨーロッパ、北米、アフリカが16%前後と同程度で並ぶ。国別には、ロシア、中国、アメリカ合衆国の順に多くそ

れぞれ10%前後を占める。

## 6. 1次エネルギーに占める バイオマスエネルギーの資源量

表9にIEA(国際エネルギー機関)<sup>6)</sup>による1995年の消費実績並びに2020年の消費見通しを示す。

IEA報告(表9)と今回の推算結果(表8)をまとめると、表10のとおりとなる。これより世界のエネルギー資源に占めるバイオ

表8 推定結果に基づくバイオマス資源のエネルギー量

(単位:  $10^{18} \text{J/y}$ )

		合計	林産系 廃棄物	農業系 廃棄物	プランテ ーション
アジア	中国	23,752	1,648	5,921	16,182
	インド	8,818	1,129	4,145	3,544
	タイ	1,396	131	559	707
	マレーシア	623	412	31	180
	インドネシア	4,068	907	808	2,353
	フィリピン	863	135	316	411
	日本	1,160	625	159	375
	その他アジア (小計)	31,969 72,649	884 5,871	3,021 14,961	28,065 51,817
オセアニア	オーストラリア	17,874	202	612	17,060
	その他オセアニア (小計)	901 18,775	229 431	35 647	637 17,697
	ヨーロッパ	スウェーデン	1,152	765	76
ノルウェー		791	128	19	644
フィンランド		810	617	52	140
オーストリア		367	192	69	106
フランス		1,869	417	835	617
ドイツ		1,424	436	622	366
ロシア		25,717	1,034	963	23,719
その他ヨーロッパ (小計)		8,632 40,761	1,410 5,001	3,218 5,854	4,003 29,905
北米		アメリカ合衆国	22,982	5,391	4,423
	カナダ	15,825	2,357	769	12,699
	(小計)	38,808	7,748	5,193	25,867
南米	ブラジル	14,364	1,287	2,282	10,794
	その他南米 (小計)	16,678 31,042	659 1,946	1,019 3,301	15,001 25,795
	アフリカ	38,033	2,035	1,844	34,153
その他地域	6,873	292	1,083	5,497	
合 計		246,940	23,326	32,883	190,732

表9 IEAによるバイオマスエネルギーの消費実績と見通し

1995年の消費実績

(10<sup>15</sup>J/y)

	バイオマス	その他	計	バイオマスの占める割合
中国	8,631	36,202	44,833	19%
東アジア	4,902	19,442	24,344	20%
南アジア	10,224	11,900	22,123	46%
南米	3,478	18,939	22,417	16%
アフリカ	9,428	9,469	18,897	50%
発展途上國小計	(36,704)	(95,993)	(132,655)	28%
他の非OECD諸国	1,173	60,713	61,886	1%
非OECD諸國小計	(37,878)	(156,664)	(194,542)	19%
OECD加盟国	5,950	181,427	187,419	3%
世界全体	43,827	343,538	387,366	11%

2020年の消費見通し

	バイオマス	その他	計	バイオマスの占める割合
中国	9,386	88,032	97,418	10%
東アジア	5,698	53,423	59,121	10%
南アジア	12,905	33,981	46,886	28%
南米	3,981	41,313	45,294	9%
アフリカ	18,981	18,101	37,123	51%
発展途上國小計	(50,950)	(238,662)	(260,660)	16%
他の非OECD諸国	1,257	93,353	94,610	0%
非OECD諸國小計	(52,207)	(328,203)	(380,452)	14%
OECD加盟国	7,207	231,917	239,123	3%
世界全体	59,414	568,876	628,291	9%

出典) IEA: "World Energy Outlook 1998 edition", 1998<sup>9)</sup>

表10 推算値と消費実績・消費見通しとの比較

	項目	エネルギー (10 <sup>18</sup> J/y)	備考
1995年の エネルギー 消費実績 (IEA)	バイオマス	44	A
	その他	343	—
	合計	387	B
2020年の エネルギー 消費見通し (IEA)	バイオマス	59	C
	その他	569	—
	合計	628	D
今回の 推算値	バイオマス プランテーション	191	—
	廃棄物系	56	—
	合計	247	E

マスの位置づけについて、次のことが言える。

- 世界のバイオマスエネルギー資源量（今回の推算値）は、1995年における消費量の5.6倍になる。（表10のE/A）
- 1995年の1次エネルギー供給に対し、今回のバイオマスエネルギーの推算値のみで64%に相当する。（表10のE/B）
- 2020年では、IEAのバイオマスエネルギーの消費見通しに対し資源量は4倍強となる。（表10のE/C）
- 2020年の、世界の1次エネルギーの40%弱がバイオマスにより供給できる可能性がある。（表10のE/D）

## 7. おわりに

本稿では、バイオマスを廃棄物系（農産・林産）とエネルギープランテーション系に分けてその資源量の推算を行った。その結果、2020年の世界1次エネルギー供給の40%弱という推算結果が得られた。そのため、推算値算出の過程は、手順を明確にする意味でやや詳しく述べたつもりである。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）を始め地球環境を論ずる会議では、世界の多くの参加者からバイオマスエネルギーの有用性の主張があった。バイオマス資源量の乏しいわが国から見れば、なかなか理解し難い面もあったが、今回の推算値を見れば、彼らの論拠も首肯される。

エネルギー資源として評価を行った今回の試算は、推定方法や元データの信頼性（特に途上国）により左右されるため注意が必要で

ある。また、バイオマスを化石燃料等の代替の再生可能エネルギーとして利用する場合は、そのままでは輸送効率が良くない等の理由により、熱化学的・生物化学的にガス・熱・液体燃料・電力等の2次エネルギーに転換利用されると考えられる。そのため、実際にエネルギーとして有効利用できる量の割合についても考慮しておく必要がある。

いずれにせよ、バイオマスエネルギーの利用は、地球温暖化問題解決のための手段として有用であり、今後ますます資源利用開発と転換技術が進むと考えられる。今回の資源量推算が、読者のバイオマスエネルギーご理解の一助となれば幸いである。

## 謝 辞

本稿は、(財)エネルギー総合工学研究所内に組織された「バイオマス利用によるCO<sub>2</sub>リサイクルメタノールシステムの評価に関する調査委員会」のもとで実施された調査研究によるものであり、ご指導、ご協力いただいた赤井委員長をはじめとする各委員、関係者の方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) (財)電力中央研究所：「バイオマス・フローを考慮した世界土地利用エネルギーモデル(GLUE)の開発」, 電力中央研究所報告 Y96001,1996.10
- 2) T.B.Johansson et al.: "Renewable Energy", Island Press, 1993
- 3) FAO statistical database (<http://apps.fao.org>)
- 4) 坂井正康：「バイオマスが拓く21世紀エネルギー」, 森北出版, 1998
- 5) Larson: "CO<sub>2</sub> Mitigation Potential of Biomass Energy Plantation in Developing Regions", 平成6年度「地球再生計画」に関する調査報告書参考資料集
- 6) IEA: "World Energy Outlook 1998 edition", 1998

〔技術解説〕

## クリーンエネルギー自動車レポート (第6報)\*

— 水素燃料電池自動車の導入シナリオ (2) —

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



第5報に引き続いて「水素燃料電池自動車の導入シナリオの研究」の概要を紹介する。

### 5. 水素燃料電池自動車の導入シナリオ

本研究では、短期、中期、長期の三つの視点からのシナリオ(表6)を作成した。これは、想定するタイムスパンによって期待される情報の種類が変わってくる、というニーズ側の要因と、シナリオといえども長期になるほど記述できる事象の精度が低下する、という作成側の要因を勘案した結果である。

3つのシナリオの設定期間と概要は表6のとおりである。

シナリオの作成に当たっては、次の3点を目標とした。

- 水素燃料電池自動車の実用化のイメージを示す
- 可能な限り定量的な見積もりを行う
- 円滑な導入を図る上で何が重要かを見いだす

このようなニーズから、各シナリオは「研究開発や実用化支援が積極的に行われ、導入普及が順調に進む」との前提に立って作成している。「導入がゆっくりと進むケース」も作成は可能であるが、それによって今回の検討目的に対して新たな知見が得られるとは考えられないので、ここでは「導入普及が順調に進むケース」のみを検討した。

ここで示すシナリオは「将来を仮に想定したもの」であり「将来予測」や「導入計画」ではない。本検討の目標の一つが「定量化」

表6 シナリオの概要<sup>1)</sup>

シナリオ	期間	概要
短期	2000~2010年	実証から実用化、本格導入に至る過程でのクリアすべき事柄を、相互関係を考慮しながら年表形式に整理した。
中期	2005~2030年	導入車種、導入台数、水素需要量など、定量的な見積りを行った。
長期	2005~特定しない	水素燃料電池自動車の基幹技術の移り変わりを展望した。

脚注：本稿の項・図表の番号は、第5報(本誌Vol.22, No. 2, 1999年7月に掲載)に続けての付番になっています。

であるので、導入時期や導入量に関して可能な範囲で数字を使って示しているが、それらの数字のうちのかなりの部分は、WGにおける検討に基づいて、換言すれば専門家の直感により設定したものである。その意味で、以下に示す各シナリオは「議論の出発点」と位置づけられる。

### 5.1 短期シナリオ

2000年～2010年の導入初期の期間について、図6に示すシナリオを作成した。ここでは、実証から本格導入に至る過程においてクリアすべき事柄を、相互関係を考慮しながら年表形式に整理した。このシナリオのポイントは次のとおりである。

- ① わが国において燃料電池自動車一般向けに実用化されるには、関連法規制の整備が不可欠である。法規制を整備するためには、一定量の実証データが必要となる。したがって、全体の導入の流れとしては、試作車や注文生産車による実証データの蓄積、法規制の整備、一般向け実用化、量産・本格的普及、という順序になる。
- ② 車両の開発・生産は、「研究開発モデルの製作」から「注文生産」の段階を経て「量産」となる。一般向けの生産開始は2005年、量産開始は2007年とした。
- ③ 2002～2003年に、WE-NET(水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術)プロジェクトにおいて自動車と水素ステーションの実証試験を行う。また、2005年の愛知国際博覧会や各地の自治体においても、水素燃料電池自動車の試験的導入が実施される。
- ④ 水素ステーションは、最初は試験的導入

の一環として建設され、車両数が増えるに従って一般向け施設も建設されるようになる。

- ⑤ 法規制上、水素燃料電池自動車は、最初は試験自動車(大臣認定による公道走行)として扱われ、各種技術基準の整備が行われて一般の自動車と同様の扱いに移行する。技術基準の制定は2005年後半とした。
- ⑥ 水素供給方式がオンサイト型の天然ガス改質や電解の場合、車両への水素搭載方法は高圧水素が吸蔵合金に限られる。車載容器の標準化は、早い段階から開始することができる。
- ⑦ 導入車種は、少数の燃料ステーションでの運用が可能なバス、塵芥車、業務用バンが主であり、公用車としての乗用車にも導入される。
- ⑧ 生産台数が増えるに従って車両価格が低減し、ステーション建設費の低減や車両性能の向上に伴って燃料コストも低減される。
- ⑨ 導入の初期においては、既存車と比較して経済性が劣るため、各種の助成策が期待される。

これらのなかで、技術基準が整備され一般の自動車と同様の扱いになる(大臣認定が不要になる)までに、どれだけの実証・検討期間を要するかが普及時期を決める大きな要因となる。

### 5.2 中期シナリオ

#### (1) シナリオの概要

30年程度の中期的視点からの導入シナリオ

として、水素燃料電池自動車の台数、水素消費量等の試算を行った。ここでは、量産が始まった後の車種別の新規登録車両に占める水素自動車のシェアをシナリオとして与え、普及台数、水素消費量等を試算している。この試算を、車種別に、2005年～2030年の各年ごとに行った。

(2) 試算に用いたデータ

車種ごとの新規登録車両に占める水素燃料

電池自動車のシェアは、図7の考え方に基づいて設定した。

水素燃料電池自動車が導入される車種として9車種を選定し、公共的な車やステーションが少なくても使用可能な車から導入されていくと想定した。乗用車は、公用車等の限られた用途には早い時期から使われるが、一般向け乗用車の普及が始まるのは、水素ステーション数がLPGスタンド並に達した後の2020年からとした。

年		2000	2001	2002	2003	2004
		←----- 実証データの蓄積 ----->		←----- 法規則・規格の整備 ----->		
WE-NET計画		←----- 第II期 ----->				
車両開発・生産		研究開発モデル製作				特定ユーザー
試験走行					WE-NET公道試験	自治体等に
ステーション		WE-NET設計・製作		運転実証		小型低コスト
				実証研究プロジェクトでの設置		
法規制・規格	車両	試験自動車扱い（大臣認定により公道走行許可）				
	ステーション	車載高压容器・吸蔵合金容器の標準化			技術基準の検討	
		安全研究			技術基準の検討	
補助政策 導入政策						
経済性		燃料費Gと同等 車両価格3倍				
ステーション数		0	0	2	5	10
登録台数	バス	0				5~10
	塵芥車	0				5~10
	バン	0				40~80
	乗用車	0				0
	計	0	1~3	2~5	10~20	50~100

図6 水素燃料電池自動車の

次に、導入台数や水素消費量の試算においては、1997年時点のわが国の既存自動車の保有台数と車種構成、平均使用年数、平均年間走行距離等<sup>2)</sup>をベースとして用い、水素燃料電池の使用年数や年間走行距離も既存自動車のそれと同じと仮定した(表7)。これらの値はシナリオの対象期間(2005~2030年)にわたって一定としている。

水素燃料電池自動車の燃費については、技術進歩とともに徐々に向上していく可能性が

高いが、ここでは簡単化のため一定の値を用いた。燃費の値は、既存車と燃料電池自動車の効率の推定値<sup>3)</sup>に基づいて水素燃料電池自動車の効率向上率を算定し(ガソリン車に対しては3.125倍、ディーゼル車に対しては2.19倍)、燃費も効率向上率に比例して向上とした。

2005	2006	2007	2008	2009	2010
<p>一般向け実用化 → 量産化・本格普及 →</p>					
<p>第Ⅲ期 →</p>					
向け注文生産	一般向け注文生産	量産			
<p>量産車(型式指定車)の開発</p>					
愛知万博					
よる試験導入					
システムの開発					
<p>都市ガス・LPG・工業ガス業者・自動車メーカーによる設置</p>					
<p>フリートオーナーによる設置</p>					
改造車・試作車扱い			型式指定自動車		
制定					
<p>車両購入への補助金</p>					
<p>ステーション建設への補助金</p>					
<p>税制優遇</p>					
<p>公用庫・路線バスへの集中導入</p>					
燃料費Gの0.7 車両価格2倍	燃料費Gの0.5 車両価格1.5倍				燃料費Gの0.4 車両価格1.3倍
20	30	60	100	150	200
40~80	80~160	150~300	400~800	700~1,400	1,000~2,000
20~40	50~100	100~200	200~400	300~600	500~1,000
70~140	150~300	300~600	1,100~2,200	2,500~5,000	6,000~12,000
20~40	70~140	150~300	300~600	500~1,000	1,000~2,000
150~300	350~700	700~1,400	2,000~4,000	4,000~8,000	9,000~18,000

導入シナリオ(導入初期)<sup>1)</sup>

	西 暦						2030年の シェア
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
バス	路線バス						50%
貨物車	ゴミ収集車						50%
			4 tトラック				10%
		2 tトラック					30%
		小型バン					30%
			軽バン				10%
乗用車	(公用車)			タクシー			50%
				小型・普通			10%
				軽			10%

図7 水素燃料電池自動車の導入車種と本格的導入開始時期の想定<sup>1)</sup>

表7 水素燃料電池自動車の導入車種とシナリオ検討用データ<sup>1)</sup>

車 種	既存車保有台数 (万台)	平均使用年数 (年)	年間走行距離 (km)	水素自動車の 燃費 (km/Nm <sup>3</sup> )	既存車比 効率向上(倍)
路線バス	6	12	50,000	1.94	2.19
ゴミ収集車	5	10	10,000	3.23	2.19
小型バン	350	10	15,000	8.11	3.125
軽バン	1,100	8	10,000	11.16	3.125
2 tトラック	400	10	20,000	3.88	2.19
4 tトラック	80	10	40,000	2.59	2.19
タクシー	25	5	70,000	9.13	3.125
小型・普通乗用車	3,600	10	10,000	10.14	3.125
軽乗用車	700	8	7,000	12.17	3.125

### (3) 試算結果

#### (a) 普及台数

2030年における普及台数の合計は約500万台となった(図8)。台数の点では、母集団が大きい乗用車、バン(軽・小型)が大半を占めることになる。500万台という数字は非常に大きいようにも感じるが、1997年におけるわが国の全自動車保有台数と比較すると7%にしか相当しない。水素燃料電池自動車がストックベースで“主流”となるには、ここに示したペースでの普及拡大をさらに10~20年続けることが必要である。

#### (b) 水素消費量

2030年における水素消費量は、約108億Nm<sup>3</sup>と見積もられた(図9)。これは1997年におけるわが国の自動車用燃料消費量の9%を代替できる量である。

2030年時点で上記の水素需要があったとして、水素供給源が何になっているかを予想することは難しい(後述のように、長期的な傾向としては、天然ガス主体から海外の再生可能エネルギーへと移行していくと考えられる)。参考のため、108億Nm<sup>3</sup>の水素を製造す

るのに必要な、都市ガスの量を計算してみると38.7億Nm<sup>3</sup>となる。これは、1997年の都市ガス消費量の19%に相当し、現在の供給能力を徐々に増強すれば対応できるレベルであると考えられる。一方、これだけの量の水素を海外から液体水素の形で輸入すると仮定すると、10万kl積みのタンカで約140隻分に相当し、ほぼ2日に1隻のペースで液体水素タンカを受け入れることになる。

(c) ステーション数と1ヶ所当たり水素消費量  
 車両の導入とステーションの建設は同時並行的に行うことになるが、円滑な導入を図る

にはステーションの整備を（相対的に）先行させるのが適当と考えられる。特に一般乗用車の普及のためには、相当数のステーションを整備することが不可欠である。本検討では、水素ステーション数の推移をシナリオとして与えており、2017年にLPGスタンド並み（1,900ヶ所）、2030年にガソリンスタンドの10%（5,800ヶ所）の水素ステーションを整備するとした。図10、図11は水素ステーション数とステーション1ヶ所当たりの車両数および水素消費量を示したものである。

ステーション数は一定の割合で増加していくとしたのに対し、車両数の増加が指数関数

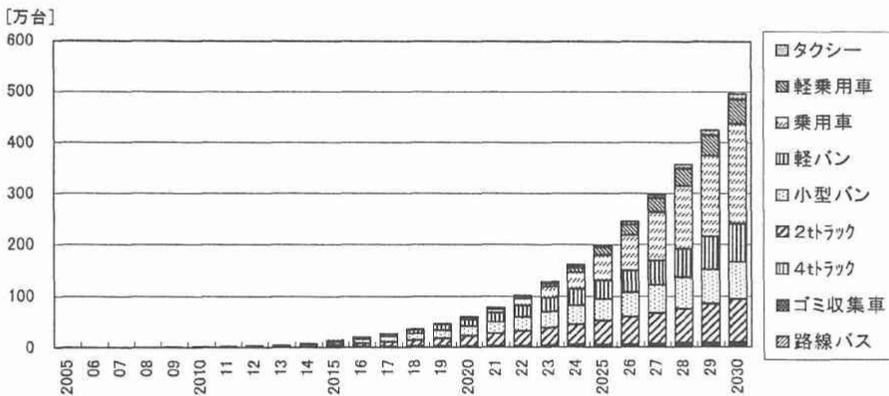


図8 水素燃料電池自動車の保有台数

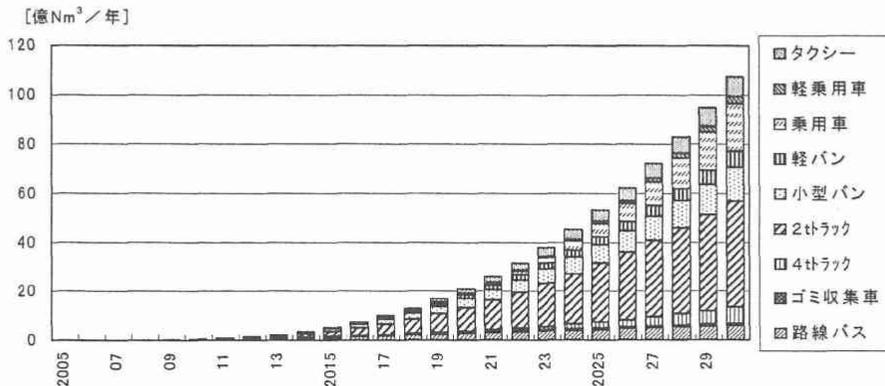


図9 水素燃料電池自動車による水素消費量

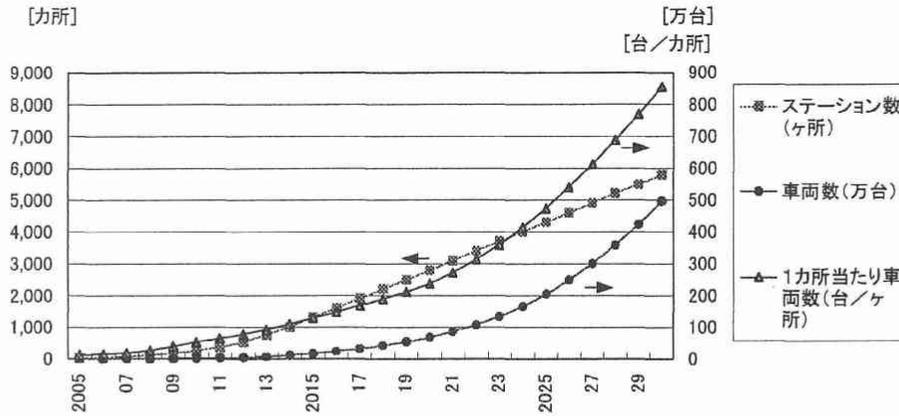


図10 水素ステーション数と1ヶ所当たりの車両数

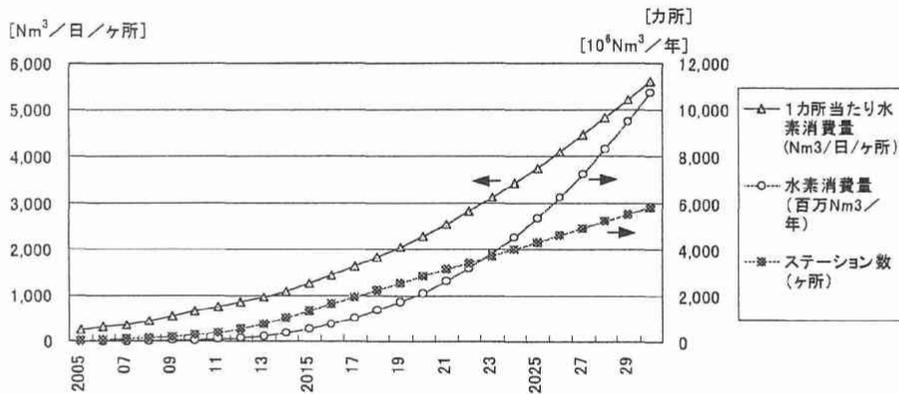


図11 水素ステーション数と1ヶ所当たりの水素消費量

的であるので、導入開始後、当分の期間は燃料ステーション1ヶ所当たりの車両数が少なく、したがって燃料処理量（販売量）も少ない状態が続くことになる。このため、燃料供給に要するコスト（単位燃料販売量当たりの設備費負担）が高くなる恐れがある。

実際には車両への燃料供給価格を一定に抑えることになると考えられるので、燃料ステーションの採算性が悪化することになる（＝赤字を余儀なくされる）。このような状況は、新しい燃料の導入初期段階においては避け難いものであり、燃料ステーションの経営が自立できるようになるまでは、ステーショ

ンの建設や運営の段階で補助金等の投入が不可欠であると考えられる。一方で、ステーションを計画する際には、過大な設備とならないよう注意する必要がある、小容量（50Nm<sup>3</sup>/h以下）で低コストの水素供給装置を需要に合わせて増設していく、という方法を考えるべきである。

(d) CO<sub>2</sub>排出削減量

水素燃料電池自動車は、水素を天然ガス改質方式で供給した場合、走行に伴うCO<sub>2</sub>排出量（資源の採取、転換、輸送等を含む。車両の製造、廃棄は含まない）は、ガソリン車の

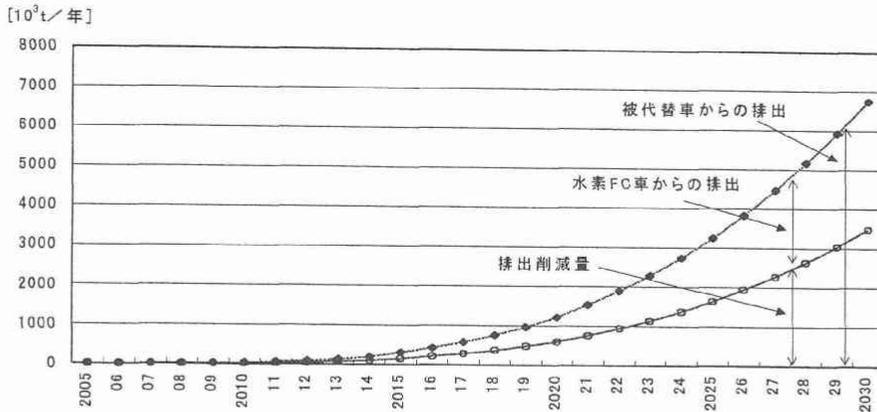


図12 水素燃料電池自動車の普及によるCO<sub>2</sub>排出削減量(天然ガス原料の場合)

約41%，ディーゼル車の約57%に減少すると見込まれる。この比率を用いて，水素燃料電池自動車の普及によるCO<sub>2</sub>排出削減量を試算した結果が図12である。

2010年におけるCO<sub>2</sub>排出削減量は1.5万t-Cで，1990年のわが国のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量2億8,700万t-Cの0.01%以下とごく僅かなものであるが，2020年の排出削減

量は63万t-C(1990年排出量の0.2%)，2030年の排出削減量は350万t-C(同1.2%)となり，将来のわが国のCO<sub>2</sub>排出削減に相当に大きな寄与が期待できる。

### 5.3 長期シナリオ

前項のような数量的な側面とは別に，長期的にみると水素燃料電池自動車の導入形態の

表8 水素燃料電池自動車の導入形態の移り変わり<sup>1)</sup>

	初期(～2010)	中期(～2020)	長期(2030～)
主な導入車種	バス ゴミ収集車 業務用バン	バス，ゴミ収集車， 小型トラック， 業務用バン，タクシー	二輪車を除く全ての車種
車載容器	高圧ボンベ 吸蔵合金タンク	高圧ボンベ 吸蔵合金タンク	吸蔵合金タンク 液体水素タンク
想定水素消費量	約0.5億Nm <sup>3</sup> (自動車用エネルギーの 0.04%)	約21億Nm <sup>3</sup> (自動車用エネルギーの 1.7%)	約100億Nm <sup>3</sup> 以上 (自動車用エネルギーの9%) (液水として14百万kl)
主な水素源	天然ガス(都市ガス)	天然ガス(都市ガス)	海外の再生可能エネルギー
国内輸送	パイプライン(都市ガス)	パイプライン(都市ガス)	液体水素タンカ 液体水素トレーラ
経済性	補助・助成を含めて競合 自動車より有利	補助・助成なしで競合自 動車より有利	水素にも課税した上で経 済的に成立
推進要因	技術開発競争 大気汚染防止 CO <sub>2</sub> 排出削減	大気汚染防止 CO <sub>2</sub> 排出削減	CO <sub>2</sub> 排出削減 エネルギーセキュリティ

中身が変化していくと考えられる。その様子を表 8 に示した。

主な水素源としては、当分のあいだ天然ガス（都市ガス）が使われると想定したが、一部ではLPGからの製造や電解水素・副生水素の利用も行われるであろう。ステーションで水素を製造した場合、これを液化するのは非現実的であるので、車載方法は高压ボンベか吸蔵合金タンクとなる。

将来、化石燃料の価格上昇や温室効果ガス抑制の一層の強化などが現実のものとなれば、海外の再生可能エネルギーから液体水素を製造し輸入するようになるであろう。その時には、国内輸送は液体水素が中心となり、車載容器としても液体水素タンクが登場する。液体水素の利用により航続距離不足の問題は解決され、大型トラックを含む全ての四輪車に水素燃料電池を適用することができるようになる。移行期間には、さまざまな形態のステーションと車載容器が混在することになるが、予め規格等を整備しておくことで混乱を避けることは可能であろう。

## 6. 導入のための課題

### 6.1 技術的課題

#### (a) 車両

水素燃料電池自動車の最大の弱点は、車載容器の体積・重量に起因する航続距離の問題である。高压容器は重量より体積が問題であり、コンパクト化（＝高压化）の可能性を検討する必要がある。より高度な安全性、コンパクト性などの観点からは、水素吸蔵合金の性能向上に期待がかかる。

燃料電池本体も現在は開発途上であり、高

効率化、コンパクト化、水の凍結対策、低温起動、システム全体の信頼性、耐久性、コスト低減など多くの課題がある。

#### (b) ステーション

天然ガス改質方式の場合、基本的には既存技術の組み合わせで対応できる。実用化に向けては、水素の供給コストをできるだけ下げることが重要であり、そのため、建設コストの低減、効率向上、ユーティリティ使用量削減、信頼性確保、メンテナンス低減、運転自動化、コンパクト化などの開発が求められる。

安全性の確保は必須条件であるが、この点は技術基準や規格の整備が行われる中で解決されていくものと考えられる。

### 6.2 政策的課題

水素は自動車用としては新しい燃料であり、現在の法体系の中では規定されていないことから、法律条項、基準、規格等を整備する必要がある。その際、CNG（圧縮天然ガス）自動車のような先行事例が参考になると考えられる。

導入初期においては、水素燃料電池自動車が経済性の点で量産車と競合するのは困難であると予想されることから、普及促進のためには助成策が必要とされる。また、車両の普及とステーションの整備を同時並行的に行う必要があり、少ないステーション数でも利便性が確保できるよう、特定用途や特定地域等へ集中的して導入することも検討すべきである。

こうした導入普及のための社会環境整備を行っていくに当たって、各種情報の集約と提供、法規制整備の検討組織の運営、助成策の

実務運用などの活動を行う、水素自動車のナショナルセンター的な組織が必要になると考えられる。

## 7. 今後の研究課題

水素燃料電池自動車の本格的実用化を図るには、法規制整備と助成策が不可欠である。そのためには水素燃料電池自動車の政策的な位置づけを明確にする必要がある。既存自動車および他のクリーンエネルギー自動車との比較のなかで、短期的および中長期的に水素燃料電池自動車をどのように位置づけるか、検討を深める必要がある。

本シナリオは1998年時点の諸状況に基づいて作成したものである。今後、シナリオの前提条件が大きく変わる要因として、技術開発の進展、エネルギー情勢、環境問題の動向、自動車の利用形態の変化、税制の変更等が考

えられる。したがって水素自動車の導入シナリオも、諸状況の変化に合わせて見直していくことが望まれる。

## 謝 辞

本研究（水素燃料電池自動車の導入シナリオの研究）の実施に当たっては、（財）エンジニアリング振興協会内に設置されたWGにおいて議論・検討を重ねた。主査の工業技術院機械技術研究所・清水健一氏を始めとするWGメンバーの方々に、紙面を借りてお礼申し上げます。次第である。

## 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) 運輸省運輸政策局情報管理部，自動車輸送統計年報（平成9年度分），平成10年9月





# 《でんぱつ》 沖縄やんばる海水



沖縄やんばる海水揚水発電所全景

今回私たち（姫野，丸山）は，沖縄本島の北部に位置する「沖縄やんばる海水揚水発電所（電源開発㈱沖縄海水揚水実証試験所）」を訪問しました。

「海水揚水発電」？という耳慣れない言葉でしたが，それもそのはず，この「沖縄やんばる海水揚水発電所」は，世界ではじめての海水を利用した揚水発電の実証プラントなのです。

第18回

# 訪問記

IAE女性研究員取材チーム!

# 揚水発電所

## 生い立ち

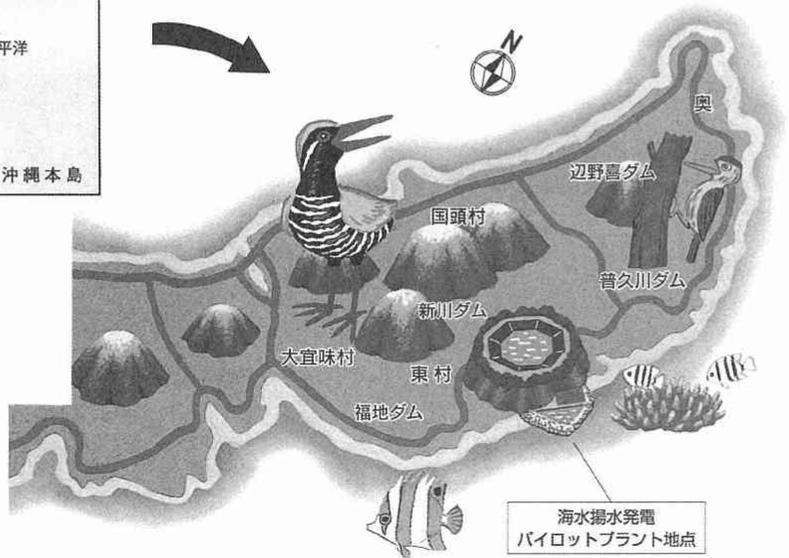
海水揚水発電については、通商産業省が1981年から6年間にわたって、技術面、環境面に関する調査・研究を進め、その可能性について検討を行いました。その結果、電源開発は、通商産業省からの委託を受けて1991年に実証プラントの建設工事に着工し、1999年3月16日、使用前検査に合格して試験運転を開始しました。

いわばできたての発電所です。

こちらで今後2004年までの5年間でさまざまなデータを取り、海水揚水発電の実用化へ向けて実証試験を行っていくことになっています。



パイロットプラント位置図

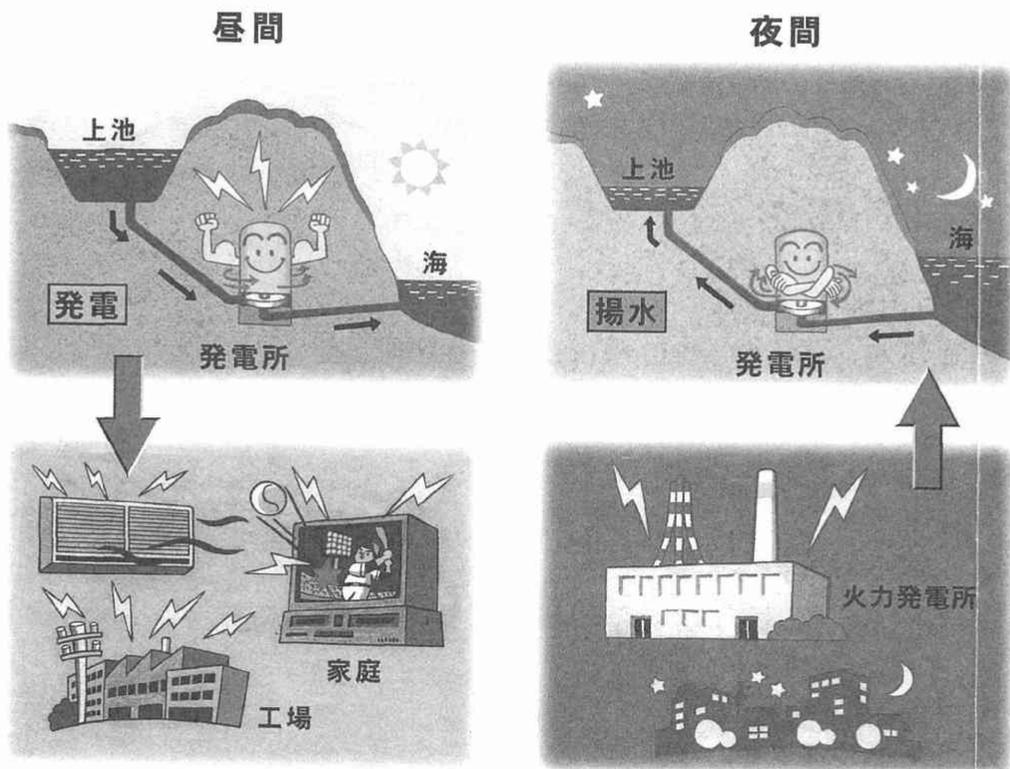


## なぜ海水揚水発電？

わが国の電力需要は年々増加し、ピーク時の需要対応は大きな問題となっ  
ています。火力発電所では、発電するまでに2時間ほどかかりますが、水力  
発電所ではわずか3分で発電することができるため、ピーク時対応に河川  
を利用した揚水発電所が設けられてきました。

しかし、揚水発電には汲み上げた水を貯めておく上部調整池と発電に使  
った水を放出するための下部調整池の、2つの高低差のある調整池が必  
要です。狭い国土のわが国では、その立地条件も年々厳しくなってい  
ます。

そこで、四方が海に囲まれ急峻な海岸の多いわが国では、海を下部  
調整池とすれば新たな下部調整池の築造が必要ないこと、電力需要地  
域の近くに立地することも可能という特長を持つ海水揚水発電所に、  
今後の発電所として大きな期待が寄せられています。



海水揚水発電所のはたらき

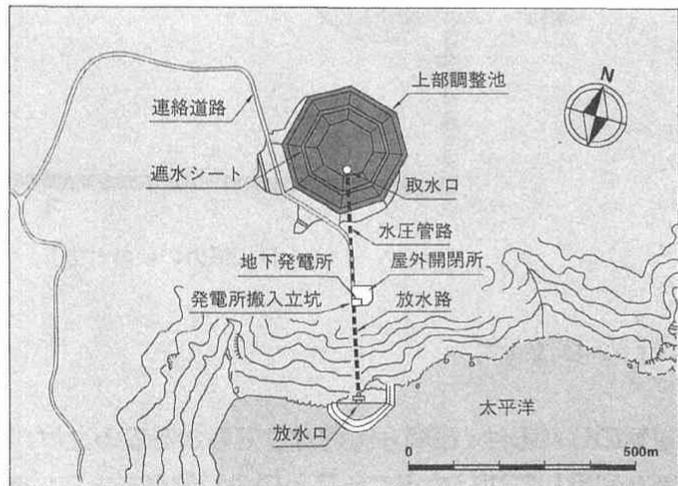
## どのような設備？

沖縄やんばる海水揚水発電所では、総務グループリーダーの神宮さんに案内していただきました。

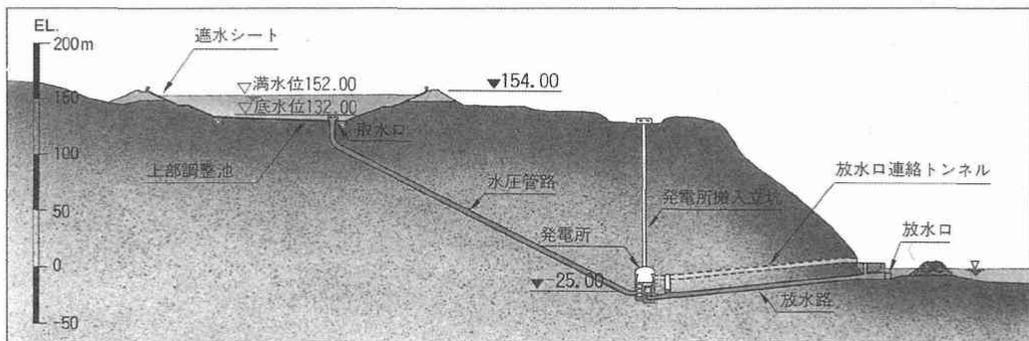
まず、発電所は地下約150mのところにあり、地上からエレベーターで1分半ほどかかります。エレベーターを降りると、ムツとした空気です。これは、海水が入らないよう外部と遮断されているためです。地下発電所構内の発電所搬入立坑は地上と空洞のまま繋がっていて、見上げると上の方に小さく蓋が見えて、深い井戸の底にいるような感じがします。試しに手を叩くと、しばらくしてから音が反響してきて、まさに「鳴龍のよう」です。ここでは150mの深さを音で実感できます。

地下発電所からは、ゆるやかな傾斜の放水口連絡トンネルを通過して、放水口の上に出ることができます。

放水口のある場所は珊瑚礁の広がる海岸ですが、付近では最も珊瑚礁の未発達な場所が選ばれ、周辺環境への影響が最少となるよう、細心の注意が払われています。ここに発電所の放水口があるとは思えないほど、珊瑚礁の海は穏やかでした。

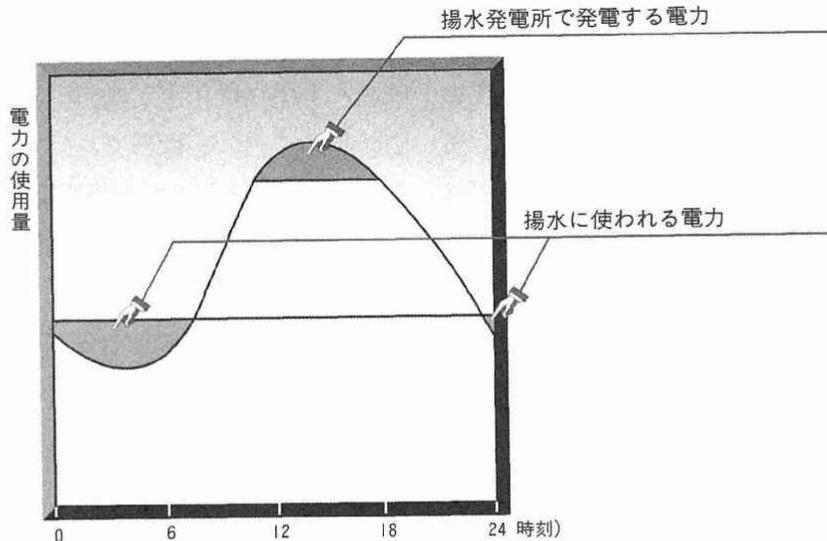


発電所一般平面図



発電所断面図

上部調整池は、標高約150m、海岸から約600mの位置に設けられています。池の深さ（有効水深）は20m、幅252mの八角形で、有効貯水容量は564,000m<sup>3</sup>になります。屋根をつければ東京ドームがちょうど入るくらいの大きさです。上部調整池が八角形というのは、底部全面を遮水ゴムシートで覆う必要があることなどから採用されました。



【1日の電力の使われ方】

## 運転のしくみ

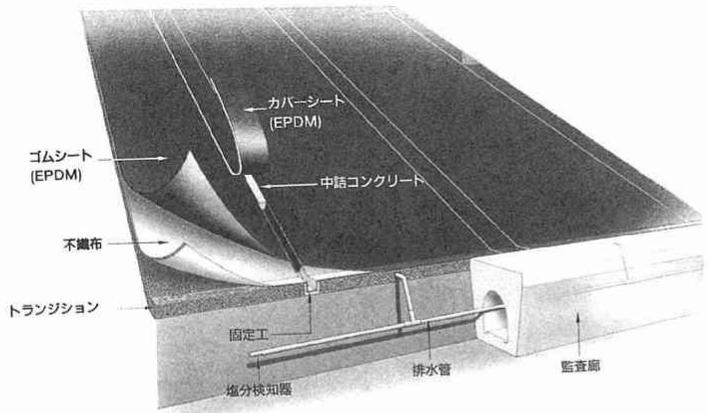
運転のしくみは、夜間8時間かけて海水を汲み上げ、貯めておいた海水を150mの落差を利用して海に放出することにより電気をおこします。昼間6時間発電することが可能です。電気を使う量の少ない夜のうちに充電し、昼間必要な時にすぐ電気が使えるいわば天然の蓄電池のようなものです。

また、発電所の特徴として、ここにも運転制御室がありますが、通常の運転は約80km離れた石川石炭火力発電所の中央制御室で遠隔制御されており、発電する時はこのやんばる発電所は無人なので不思議な感じがします。現在は、実際に3万kW、1万軒分の電気を賄っています。



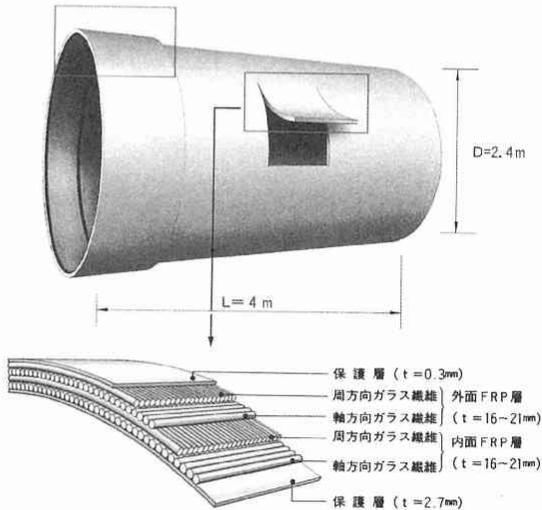
## 最新の技術

海水揚水発電は海水を利用するため、海水の地盤浸透や塩分による設備の劣化などの問題が起きてきます。そこで設備に用いている材料には最も気を使っています。上部調整池の遮水シートは、さまざまな試験を実施して材料の耐久性や機械的構造、水密構造、施工性などの検討を行った結果、EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomers)というエチレン系合成ゴムを採用しています。さらに、万一ゴムシートが損傷したときのために、塩分検知器および圧力計を設置して海水の周辺地盤への漏洩を防止する設備を整えています。



ゴムシートによる遮水構造

また、ポンプ水車には耐食性にすぐれた改良型のオーステナイト系ステンレス鋼



FRP管の構造

を採用していますし、水圧管路の大部分には、海水に対する耐食性、海生物の付着問題などから、FRP管(強化プラスチック管)を用いています。

発電所というと煙突や大きな発電設備を想像しますが、このような最新の技術を駆使した沖縄やんばる海水揚水発電所は、上部調整池以外すべて地下にあるので、見えるのは上部調整池の大きなプールだけです。

自然の景観を損なわない見事な技術とレイアウトとに感心しました。

## やんばるの自然とともに

沖縄やんばる海水揚水発電所があるのは、沖縄本島北部ヤンバル（山原）と呼ばれる自然豊かな地域です。辺りはイタジイという亜熱帯性の樹木に覆われ、ヤンバルクイナ、ノグチゲラ、アカヒゲ、リュウキュウヤマガメなど天然記念物に指定されている16種もの貴重な生物が生息し、一方海岸には、美しい珊瑚礁が広がっています。このヤンバル地域の環境保全対策が、やはり沖縄やんばる海水揚水発電所の最大課題になっています。



ヤンバルクイナ

そこで、ここでは、建設工事によって発生した残土を集める土捨場を「ビオトープ (biotope)」として位置付け、自然を復元させるためのさまざまな努力がなされています。

ヤンバルの土地は独特の赤土です。開発工事のために赤土が海に流出し、珊瑚を死滅させているというニュースもありました。そのため、ここでは、工事によってできた赤土の表面をヤシ殻や木の皮、チップ等で覆って赤土の流出を防ぎ、そこにイタジイなどの在来種の樹木を植栽して、生育環境を整えています。

また、小動物が発電所構内に入らないように防止柵を設置したり、万一迷い込んでもまた森に帰れるよう、道路脇の溝にゆるやかな傾斜をつけるなどの気配りがなされています。神宮さんも脇溝に迷い込んだリュウキュウヤマガメが無事森に帰るのを目撃されたそうです。伺ったときには、数羽の大きな美しい蝶が、ハイビスカスの蜜を求めてゆっくり飛んでいるのを見かけました。まるで楽園のなかにいるようなひと時でした。

やさしい心遣いで豊かな自然との共存共生をめざす沖縄やんばる海水揚水発電所の今後の活躍を期待したいものです。



### ビオトープとは？

ドイツ語で生物を意味する「ビオ」と場所を示す「トープ」の合成語で、安定した生活環境をもった「動植物の生息空間」のこと。ある限られた地域に、元来そこにあった自然風景を復元することを指します。





## 研究所のうごき

(平成11年10月2日～12月31日)

### ◇ 第5回賛助会員会議

日時：11月5日(金) 15:00～18:00

場所：経団連会館(9階) 901・902号室

議事次第：

1. 平成10年度事業報告および収支決算
2. 平成11年度事業計画および収支予算
3. 講演

「ニューサンシャイン計画について」

(通商産業省 工業技術院 ニューサン  
シャイン計画推進本部 エネルギー技  
術研究開発課長 石川明彦氏)

### ◇ 月例研究会

#### 第173回月例研究会

日時：10月29日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. コージェネレーションの普及動向につ  
いて  
(日本コージェネレーションセンター 普  
及促進部長 小山典幸氏)
2. 風力発電の内外動向と導入上の課題  
(東海大学 総合科学技術研究所 教授  
関 和司氏)

#### 第174回月例研究会

日時：11月26日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. エネルギー・環境問題における産学連携に  
ついて  
(東京農工大学 工学部 教授 久留島  
守広氏)
2. 最近の地球温暖化対策研究  
(国立環境研究所 環境経済研究室長  
東京工業大学大学院 教授  
森田恒幸 氏)

#### 第175回月例研究会

日時：12月24日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. 原子力発電プラント高経年化対策に関す  
る最近の動向  
(主管研究員 津田 潤)
2. 放射性廃棄物地層処分への進歩  
—われわれはどこにいるのだ?—  
(プロジェクト試験研究部 部長・副主席  
研究員 松井一秋)

### ◇ 主なできごと

- 10月4日(月)・第1回WE-NETシステム評価  
委員会
- 7日(木)・第4回エネルギー研究開発戦略  
検討会
- 8日(金)・第5回エネルギー学に関する検  
討会
- ・第1回高温ガス前処理技術調査  
委員会
- 21日(木)・第2回エネルギー・経済・環境  
予測委員会
- 22日(金)・第1回WE-NET安全対策委員  
会
- 25日(月)・第3回原子力関連研究総合調査  
WG
- 27日(水)・第1回民生用電力需要動向分析  
調査委員会
- 28日(木)・第5回エネルギー研究開発戦略  
検討会
- ・第2回廃棄物ガス化熔融発電技  
術評価委員会
- 11月1日(月)・第10回原子力社会科学に関する  
検討会
- 7日(水)・第1回共通基盤的技術調査委員  
会
- 8日(月)・第6回エネルギー学に関する検  
討会
- 9日(火)・第2回温室効果ガス実測調査委  
員会
- ・第3回高温ガス炉プラント研究  
会
- 10日(水)・第6回エネルギー研究開発戦略  
検討会

11月16日(火)・第7回システムニーズ・評価委員会  
・第1回産業構造変化が電力需要に及ぼす影響分析調査委員会  
19日(金)・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会  
22日(月)・第7回エネルギー学に関する検討会  
24日(水)・第2回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会  
26日(金)・第2回電力技術戦略策定委員会  
29日(月)・第7回BWRサブチャネル解析コード(NASCA)のポスト沸騰遷移への適用性の研究委員会  
30日(火)・第1回PLM検討委員会  
12月3日(金)・第7回エネルギー研究開発戦略検討会  
6日(月)・第11回原子力社会科学に関する検討会  
9日(木)・第4回原子力関連研究総合調査WG  
13日(月)・第1回沿岸地域再生エネルギー研究委員会

14日(火)・第3回共通基盤的技術調査委員会  
16日(木)・第2回高温ガス前処理技術調査委員会  
17日(金)・第3回エネルギー・経済・環境予測委員会  
20日(月)・第12回原子力社会科学に関する検討会  
21日(火)・第2回電力負荷平準化用キャパシタシステム実証調査作業会  
22日(水)・第2回超重質燃料油利用技術調査委員会

◇ 人事異動

○11月30日付  
(出向解除)

新解 雅也 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

○12月1日付  
(出向採用)

井上 和茂 プロジェクト試験研究部 主管研究員

## 編集後記

2000年初頭を飾る本号の巻頭言は、河野博文・資源エネルギー庁長官にお話し、「年頭所感」をいただきました。また、理事長対談は、昨年9月就任された藤富正晴・資源エネルギー庁長官官房審議官に登場いただきました。「21世紀とエネルギー戦略」と題し、多くの問題が山積する2000年代を迎える日本のエネルギー・環境政策について語っていただく企画であります。話は、21世紀、ミレニアムを越えて人類生存50億年の問題にまで及び、ご二人の超々々々長期の展望に驚歎された方も多いと思います。次に、伊藤高根・東海大学教授による「分散型電源としてのマイクロガスタービンの開発状況について」は、昨年6月に当所月例研究会で講演いただいたもので、昨今の話題テーマでもあります。本来ならば昨秋発行の前号に掲載したいところでしたが、同号が7月に開催した当所シンポジウムの特集号と定められており、止むなく本号に繰り越したものです。その間、マイクロガスタービンの実用化はますます加速しており、関心を持たれる読者のご理解に役立てばと念ずる次第です。

所内からの調査研究報告には、昨年取りまとめを終えた3件を掲載しました。化石燃料枯渇への打開策となる豪州産褐炭の利用、わが国になじみの深いバイオマス・エネルギーの知られざる資源量、原子力発電プラントの高経年化対策の新しい取り組みに関するものです。21世紀を見据え、エネルギー問題の解決に一石を投じる有意義な報告と確信しています。

さて、2000年という大きな区切りを迎えたこの時期は、農業革命、産業革命に次ぐ、情報革命の時代（ピータ・ドラッカ氏）と

もいわれるほど、大変な技術革新の時期に遭遇していることは間違いなさそうです。そして、その技術革新においては、例えばパソコンのハードの進歩や、過去約5年間で世界的に普及したインターネットの革新的情報インフラの開発に見られますように、その変化の範囲の広さと速さは、従来経験からは予想できないほどであります。当所でも昨年ようやく全員に対しパソコン一人一台の配備がなされ、また所内のコンピュータネットワークにしても、従来方法の部分的な運用から、(市販の)グループウェアを採用したより統括的な事務処理が可能な状態へと整備されつつあります。

また、外部への発信にしても、インターネットを利用したホームページも開設しました。

これで、研究所の研究調査機能の向上が期待されるところでありますが、確かに情報・データの入手・利用において、その範囲、量、速さ、および報告書仕上げの体裁は向上しました。ところが、研究の主体的業務、報告書本文の作成などにおいては、依然自分で考え、文章を書き、評価するという泥臭い人間の仕事が残っています。今後の研究開発においては、その泥臭さと電子化のスマートさを如何に融合させるかが常に問われる時代になってきたようです。

研究者は、電子化の技術革新を受け入れると同時に、自分の手で加工・融合して独自の成果を出す能力・資質の向上が要求されることになるのでしょうか、いささかそのような電子化の技術革新の波を自由には乗りきれない筆者は、一抹の不安にも駆られながらこの時を見つめている次第であります。

小川 紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第22巻第4号

---

平成12年1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