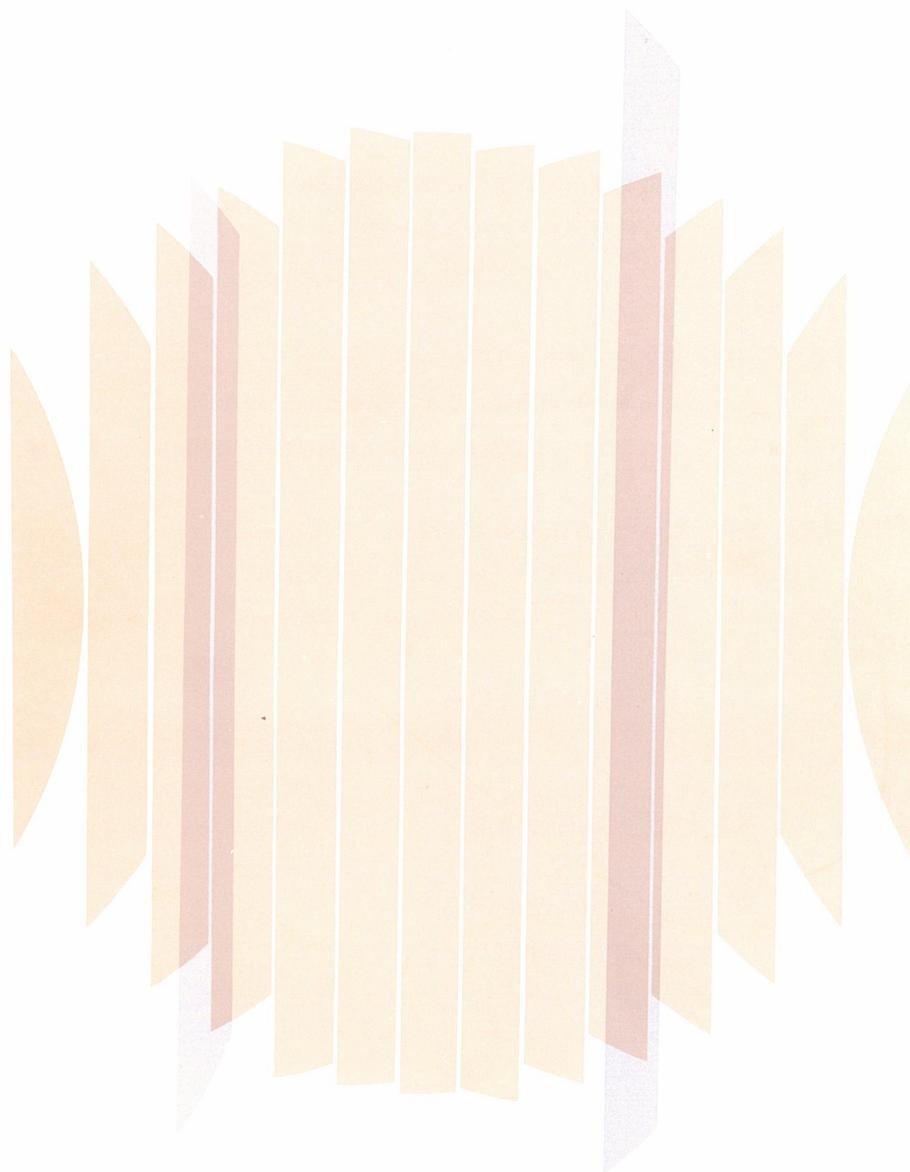


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 21 No. 1 1998. 4.



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】	COP3その後と自動車業界	(社)日本自動車工業界 副会長 富永孝雄… 1
【理事長対談】	これからのエネルギーと地球を考える ——「しなやかな世紀」を求めて——	三菱マテリアル(株) 取締役社長 秋元勇巳 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋山 守… 2
【関連施策紹介】	高レベル放射性廃棄物処分に向けての取り組み —— 処分懇談会の動きを中心に ——	科学技術庁 原子力局 廃棄物政策課長 有本建男…22
【技術解説】	持続可能なシステム実現のための エネルギー技術開発とライフサイクルアセスメント	東京大学 大学院工学系研究科 助教授 松橋隆治…40
【内外技術紹介】	小型モジュール炉を中心とした 世界の高温ガス炉 (HTGR) の開発動向	日本原子力発電(株) 研究開発本部 部長 土江保男…50
【技術解説】	エネルギー需給の現状と将来	プロジェクト試験研究部 部長 片山優久雄…59
【事業計画】	平成10年度事業計画の概要	(財)エネルギー総合工学研究所…75
【行事案内】	(財)エネルギー総合工学研究所 創立20周年記念特別シンポジウム	…79
【研究所のうごき】		…80
【第20巻通巻目次】		…83
【編集後記】		…87

## COP 3 その後と自動車業界

(社)日本自動車工業会

副会長 富永孝雄



昨年末の COP 3 (地球温暖化防止京都会議) において CO<sub>2</sub> の削減目標も漸く合意に達し、本年11月はじめの COP 4 に向けての準備に各国は追われている。COP 3 が各国環境・経済外交の舞台であったように、国の内外で COP 4 対策を競っている感すらある。排出権取引や森林吸収源等の導入によって余裕の出来た米国は、99年度予算に温暖化対策技術開発費27億ドル、低燃費車購入に際しての所得控除を含む36億ドルの税制優遇措置を盛り込んでいる。米自動車業界は依然として CAFE (企業平均燃費規制) の強化には反対である。EU (欧州連合) は2年前にきめた乗用車の燃費を2005年迄にガソリン 5 l/100km, CO<sub>2</sub>120 g/km に引上げる提案の実行を業界に迫っている。因みに現在の CO<sub>2</sub> 排出量/km は欧州車171 g, 日本車175 g, 米車260 g といわれている。欧州業界は従来から155 g/km が2005年の達成可能水準と主張している。

このように地球温暖化問題もいよいよ総論から各論の段階に移ってきた。何をなすべきかから、いかに取り組むべきかが問題となっている。各論としては日本はすでに全体の目標と個別分野の実施目標との関連づけが進んでいる。EU 等の削減目標は全体として上げられたものの、個別に積上げられたものではない。実行の指針という意味ではこれからの仕事である。

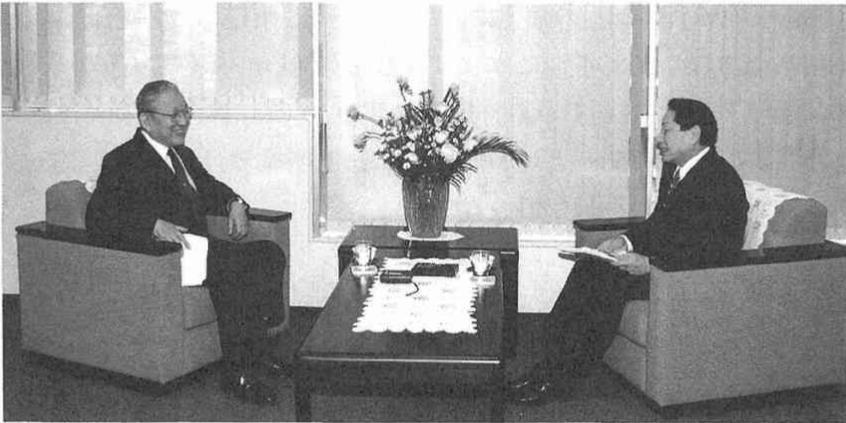
運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出の大宗である自動車産業も、進展するグローバルゼーションの中で、経営的にも技術的にも同質化が進んでいる。ガソリン直噴やハイブリッド、リーンバーン等の低燃費化技術も、対策技術として確立してきている。内燃機関の次の世代の燃料電池の開発も進められている。技術の熟成にどれだけのリードタイムと資源を投じ、市場のニーズに合わせていかに普及を進めるかが問われているのである。あわせて、国際間のマーケットアクセスが阻害されないような配慮も必要となってくる。単体燃費の向上に加えて CO<sub>2</sub> 削減のためにさらに重要なことは、交通流の円滑化や物流の改善等をはじめ、車の使い方を含めた総合的な取り組みである。その実現を確保するための税制上のインセンティブおよびディスインセンティブなどの検討も忘れてはなるまい。

# これからのエネルギーと地球を考える

—「しなやかな世紀」を求めて—

秋元 勇 巳 (三菱マテリアル(株) 取締役社長)

秋 山 守 ((財)エネルギー総合工学研究所  
理事長)



---

## はじめに

---

### 詩のある人生を求めて

秋山 秋元社長は、ご本業の社長としてのお仕事のほかに、総合エネルギー調査会需給部会のほか、国が行っているエネルギー、原子力に関する数多くの審議会委員として、高所からのご指導と多方面にわたるご活躍をなされてみえます。そのように公的にご多忙にも

かかわらず大変幅広いご趣味をお持ちで、園芸を愛好され、また地域のアマチュア楽団のオーボエ演奏者とも伺っております。

今日は、最初に、このように多方面でご活躍される背景としまして、日頃のご関心の広がりや腐心されてます時間のやりくりの秘訣などからお話しいただけたらと思います。

秋元 音楽は大変好きでして、学生の頃には、一時学業そっちのけで音楽家になる勉強を始め、親父にどやされたりしました。最近すばらしい音楽家が続々生れているのを見ますと、な

らなくてよかったとつくづく思います。

ですから、あの頃から何か飢餓感みたいなものを持ってまして、音楽となるとすぐ夢中になる癖があるのです。

反面、私は運動神経が人一倍鈍いらしく、スポーツは何をやらしても駄目。テニスもホームランばかり出し、練習相手が気の毒になってやめてしまいました。

それにゴルフなどは、好きな人が好きな時にやるのが本来の趣味の姿のはずなのに、“1億総ゴルフ”で交際の道具になり下ってしまっています。天気の話でなければゴルフの話をしてあげばいいというのは、たしかに楽なんです。しかし、土曜、日曜まで業界や会社の仲間うちと群れていたのではリフレッシュにならないし、本来の趣味道から外れています。ですから、ゴルフをやめてそろそろ3年ぐらいになりますけれども、土曜、日曜は、なるべくプライベートの趣味に使わせてもらっています。

一時はオーケストラに入り、オーボエを吹いたりしていたこともあるのですが、社長業ともなると、練習のため週末必ず時間を空けることは先ず不可能です。そのうえ年をとると練習してもなかなか上達せず、若い連中の呑み込みの速さについていけません。そろそろ限界かということで、いまはちょっと厚かましいのですが、時間がわりと自由にとれる指揮法や作曲の方に転向しています。

こんなことで、相変わらず好き勝手に楽しんでます。

### 時間をつくるにも苦労した

#### 『しなやかな世紀』の執筆

秋山 このあと伺います話題に関連もあるの

ですが、先般お書きになった『しなやかな世紀』は、地球環境、エネルギー、原子力の問題について、大本からきちんと幅広く書かれておられ、大変素晴らしい本だと感心しております。ご執筆になるのは、たぶん、深夜、ご自宅でと推察いたしますが、時間をつくり出すのは、本当に大変ではないでしょうか。



秋元 あの本も、ちょっと電気新聞記者の久米俊哉さんにだまされたようなところがありましたね。以前に、広島での日本原子力産業会議で、プルトニウムの話をしたことがありました。それを聞かれて、「面白い話ですね。本にしませんか」と言うので、それまでにいろいろ書き散らしたのを見せましたら、「いや。これ、このまま適当につなげば本になりますよ」と担がれ、簡単に「いいよ」と言っちゃったわけです。

ところが、実際にはなかなかそうは間屋がおろさず、3分の2ほど書き足す羽目になりました。始めてみると欲が出て、書くのは、やはり土日、それから夏休み、お正月休みくらいしかまとまった時間はとれないのですが、結構骨を折りました。

引き受けたときはまだ副社長で、いくらか

時間があつたのです。が、その後でね（笑）。  
「これはシマツタ！」ということになり、文字どおりフーフー言つて書きました。

**秋山** 関連の題材をほんとに幅広くシステムティックに取り上げられ、しかも時間軸も未来にわたり相当ロングレンジのお考えで、音楽でいいますと、まさに素晴らしいシンフォニーを聴く感じがいたします。文学、音楽、技術、これらはいろいろな面で共通性があり、ご立派な風格が、この本の中に伺われます。

---

## 21世紀を迎えるに当つて

---

### ホメオスタシスが働く人間社会

**秋山** ところでエネルギー問題に話を進めます前に、まず、時代背景からお伺いしたいと存じます。

いままさに世紀末に来ており、国内を見ると景気は低迷状態で、経済的に大変問題があるようです。また、行政改革の面ではお役所の組織も再編の構想が進んでおり、まさに激動の時代といえます。一方、新しい世紀が明けますと気分も改まって多少は希望のある明るい展望も開けるかという期待感もあります。

このような社会の大きな流れの中で、21世紀を展望しますとき、懸念される大きな問題点は何だとお考えでしょうか。個人個人に必要な意識の変革のことなども含めて、将来展望の基本的なところからお話し願ひたいのですが。

**秋元** やや楽観的かもしれませんが、いまの世の中は、あまりにもマイナスの面とか、後ろ向きの面ばかりを見すぎていますね。いつの世にも心配の種は尽きず、社会を揺り動かす大きな問題がいくつも発生しているのです。中世にはペストで人口の何分の1もが死亡した時もあり、大戦ですべてが破壊された時代もありました。

確かに、いま言われているような問題も大問題ではありますが、人間はそのような危機を常に乗り越えてきており、今度もまた乗り越えられないはずはないと思います。

生きてるシステムには、ホメオスタシス（homeostasis\*）というんですか、何か本筋から外れようとする、それを元へ戻そうとする復元力が働く特性があるのです。例のガイアの理倫がそれをよく言い表わしているのですが。人間の社会も典型的な“生きているシステム”ですからね。

### 新しいパラダイムの上に

#### 新社会秩序の形成を

**秋元** 世紀というのは、人間が勝手につくった区切りですから、世紀末に世の中が落ち込まねばならぬ理由は全くないのですが、現実ほとんど毎世紀、ムード的にも後ろ向きで頹廢的になるようなことが続いてきているようです。今世紀の場合には、人間文明のよつて立っている基盤の変わり目が重なつて、世紀末現象を更に色濃くしていると思いますね。

世の中は大体直線的には進まないものです。われわれが将来予測などするとき、直線で外挿するのが常套手段ですが、あれが間違

---

\*：〔生理〕動的平衡、恒常性。動物が身体内部の体温、化学的成分などが恒常を保つよう精巧に調節されていること。（研究社、新英和大辞典より）

いのもとでして、社会のような生命システムでは、まずそうはいかないのですね。

世の動きは、ある程度進むと成熟期があり停滞期が来て、そこでみんなが考え直すようなことがあって何か新しい要素が生まれると、それを基盤としてまた成長が始まる。その繰り返しの途中で、われわれはいま停滞期のどん底にあると思っています。

ですから、いまその先を全部見通せるかといいますが、人間社会はダイナミックに動く世界ですから、昨今話題の複雑系の見方によるまでもなく、未来は予測できないのです。予測はできませんが、人間は新しいパラダイムの上に新しい社会秩序をつくり上げていくことにより、停滞期を乗り切れるし、またそうしなければいけないと、もう少し前向きにとらえていいと思います。

いまの世の中は、新聞を毎日見てましても、何かスキャンダラスな話だとか、人間の弱い面とか、あえてそういうホラーストーリーを好んで報道するようなムードでして、よくないですね。経済自体もそういう袋小路に入り込んでしまった感があります。

#### ムードに左右されてる景気の低迷

秋山 ところで、アメリカの景気は、情報産業を中心に大変順調だと聞いています。景気循環論によりますと、21世紀の初頭あたりから、この国の景気は回復に向かい始めるか、とも考えられていて、したがって現況はそれほど悲観しなくてもいいといういい方もできるかもしれません。そうはいいますものの、必ずしも過去の景気循環サイクルのパターンが将来も続くかどうかはまだ大変疑問がありますね。

秋元 バブルがはじける以前のいまから10年ほど前は、アメリカと日本で状況がまさに反対だったと思います。アメリカは、経済的に低迷状態にあり、日本に学べということで、『ジャパン・アズ・ナンバーワン』という本なども出ました。日本が、それでいい気になって浮かれ、少々傲慢になった筈めが今日の低迷につながっているのですね。

アメリカは、あの頃、懸命にファンダメンタルを整備し、いまの新しいシステムをつくり上げています。ですから、確かに、昔のアメリカは一回崩壊したのですけれども、その上に新しい秩序が出来上り、それによって景気も持ち直してきました。

日本も、必ず立ち直ると思いますよ。いま、例の55年体制の崩壊が来ているんですが、それで明らかになった内情を見てみると、金融界はかなりひどいですね。大蔵を頂点に、いわゆる護送船団方式という、全く世界に通用しないシステムをつくり上げて、その中でお互いに辻褄を合わせてきました。ですけど、ビックバンで外から波が入って来たら、とてもそんな体制では間に合いません。結局、日本経済全体が自由化の波に引きずり込まれることになります。しかし、それで駄目になるほど、日本経済はひ弱ではありません。製造業は、これまでも、国内の非効率な体制や過剰規制を抱えながら、国際競争を戦って来たのですから。

問題は、いま日本が落ち込もうとしているデフレスパイラルです。ちょうどバブルの頃、多くの人がローンを組んで家を建て、今頃になって高い金利を払わされている。会社のほうも、最近は大会社にも倒産が出ているものですから、下手をすると自分のオトウチャン



秋元 勇巳氏

(三菱マテリアル(株) 取締役社長)

の会社だって将来どうなるか分からないと思えば、当然ながら、家を建て直す気にもならないし、車も買う気にもなりません。こうして需要が減退すれば、経済はますます冷え込み、資産価値の下落にも歯止めがかからなくなってしまいます。

日本は、現実にもものすごい富を稼ぎ出している国でして、そのお金でアメリカの国債を買ったり、インドネシアやタイをはじめとし、世界中にいろいろなサポートをしているわけです。それだけの資力がありながら、国内がおかしいというのは、結局これは半分はムードなんですね。

秋山 確かにムードですね。社会経済に限らず、無数の人間の集団がどのように振舞うか、そして、それが全体的な活動の環境や基盤にどうはね返ってくるかという問題は、ムードに左右されるというのが現実のようです。

### 三度目の黒船到来

生かせ日本が持てる

財力、技術力と行き届いた教育

秋元 自分の商売や生活基盤が危なくなる、

いまより伸びそうもない、景気も見込めないの感じになりますと、誰もが財布の紐を引き締めます。それを変えるのが政治ですが、日本の政治には、スキャンダルや硬直化に悩む官僚機構の支えなしに政策を進める能力が欠けているのです。ですから、いま、アメリカからガンガン叩かれているわけですが、これは私は必要悪だと思っています。

いまの状況は、明治維新のときと似てるかもしれないですね。江戸時代の徳川幕府、あれはすごい官僚組織でした。それが硬直化してどうしようもなくなったところに——最近テレビでやってる『徳川慶喜』ですか——黒船が来て古い秩序を一回ブツ壊してくれた。戦後にマッカーサーが来てもう一回やってくれ、今度で3回目の黒船の到来ということでしょうか。情ない話ですが。

秋山 そんな感じがしますね。確かに、規制緩和なども、いま抱えている問題を解決することで次の活力を生み出し、さらに次の展望が開けるといっていいでしょうね。ただ、外圧に押されて一切切をオープンにしていけるか、という点については慎重に考えていく必要があります。この国の固有な環境や条件は、十分念頭に置きながら賢明に国際化を進めていくべきでしょう。

秋元 日本ほど財力、技術力を持ち、これだけ教育が行き届いている国はありません。言葉が過ぎるかもしれませんが、東南アジアの国には、バブルがはじけてみたら、成長と見られてた経済も中身は張り子で、何もなかったというところが幾つかあるわけです。ですけど、日本には、実質があるわけです。対応さえ誤らなければ、私はそんなにおかしくなる筈がないと思います。

秋山 そうですか。多少安心いたしました。

秋元 いや。現実には足元は苦しいのですし、舵取りは一筋縄ではいかないのですが。

---

## 地球環境と

### ラブロック博士のガイアの理論

---

#### 含蓄のある東洋的な言葉

——「しなやか」——

秋山 環境の話題に入ります前に先ほど話に出ましたご執筆の『しなやかな世紀』について、もう少しお聞かせ願えませんでしょうか。

書名にも入っており、キーワードでもあります「しなやか」は、格調が高く、また次の時代をリードする大変にいい言葉ですね。どのようなきっかけから、この言葉が選ばれましたのでしょうか……。

秋元 もともとは、ジェームズ・ラブロック博士のガイア概念に触発されて、生命システムの持つたたかき、いろいろな悪条件を吸収して一つの方向へ突き進んで行く、やみくもではなく正しくコントロールされたダイナミズム、何かそういうニュアンスを持つ言葉を探していました。ダイナミズムでは機械的な感じがするし、とって、エラスティシティー（弾力的）でもないし、それで「どういう表現をしたらいいかね」と女房と話していましたところ、「しなやか」にしてはと言われ、「それはいただき」ということで決めたわけです。

例えば竹が雪でしなう、だけど、その雪を跳ね返してまたボンと元へ戻っていく、そういうイメージですね。しかも、竹そのものは

成長しているのです。東洋には、なかなか含蓄のあるいい言葉があるものですね。

#### 卓説に魅せられた

#### ラブロック博士との交友

秋山 奥様との合作とは初めて伺いましたが実に良いお話ですね。その『しなやかな世紀』のなかで地球温暖化問題に関連してラブロック博士のガイア理論を紹介されていますが、博士とのこれまでのご交友のいきさつをご紹介かたがた、ガイア理論の考え方をお聞かせ願えますか。

秋元 ラブロックさんに初めてお目にかかったのは、数年前の日本の原子力産業会議のときでした。この会議では、いつもお昼に、原子力とは直接関係のない著名人に講演していただくのが慣例で、そこへラブロックさんが招聘されたのです。

その前に彼のガイア論は読んで感銘を受けていたのですが、その著書に出会ったのも、これもまたシャクの種ですが、女房が鎌倉でやってる読書会で取り上げたのがキッカケなのです。

初めは何だかニセ科学臭い感じがして、唸わず嫌いを決め込んでいたのですが、家に置いてあった本をチラチラと読んでみますと、いやいや、これはなかなか違うなという感じになって、のめり込んでいきました。

そんなわけで、ラブロックさんとは初対面からえらく意気投合して、翌日には鎌倉の自宅にお招きして家族ぐるみのお付き合いになりました。そのあと、彼の主宰するオックスフォードの会議にはわざわざお知らせがあり、出かけて行って向こうの学生寮に3日、4日も泊まり込み、関係の学者の方々とそれこそ

ガイア漬けの日々を送ったこともあります。

### 目からウロコが落ちた感じ

ラ博士が唱える

#### 生物がつくる地球上のフリー酸素説

秋山 ラブロックさんは、NASA（米国航空宇宙局）の火星探査のプロジェクトにも関係されてたそうですね。

秋元 私がいちばん面白かったのは、いまでも火星にロケットを飛ばし、生物がいるかないかなどを探っています。彼は「ロケットなど飛ばす必要ない」というのです。

生物がいるかないかは、大気の組成を見れば一目瞭然なんだと。火星の大気は、熱力学的に見て殆ど平衡状態の組成になっています。それに対し、地球の大気にはフリーの酸素が大量にあって、しかもその濃度が何億年と変わらずにいるなどということは、われわれがいままで教わってきた化学的常識からはあり得ない状況なのです。ということは、地球上に住む生物が酸素のある環境を自分で作り上げて、それをコンスタントに保っていく力があるということです。ですから、酸素があるかないかを見れば、星に生物がいるかないかは一目瞭然で、なにもわざわざ出かけて行って土を掘り起す必要などないというのです。

その話を聞いて、私もショックを受けました。われわれは化学を何年も勉強してきましたが、考えてみますと、大気の組成には、一度も疑問を抱かなかったのですからね。

秋山 そうですね。確かに、平衡熱力学でいきますと、フリー酸素はあるはずないんですね。

しかも、そういう状況が何億年と続いてい

るといことは、これはもうそれだけでちょっと目からウロコが落ちたような感じですね。

#### ガイアの理論——

##### 環境・生物間に働く自己調整システム

秋山 ガイア理論の内容を、もう少しご説明願えませんでしょうか。ガイアの説は、『しなやかな世紀』を拝見しますと、生命体は、生命体そのものとその生きる環境とを一体化した、いわば自己調整的なシステムを構成していくということがありました。気候や大気組成は、生態系の生存に有効なように維持されているということですが、このような認識でよろしいのでしょうか。

秋元 いま地球上の酸素濃度は約20%です。もし、これが10%に下がったら、多くの動物の活動度が低下し、中には生きていけないものも出てくるでしょうし、30%だったら、しょっちゅう山火事など起きて森林相を保ってゆくことが出来なくなるでしょう。結局、現在の酸素濃度は地球の上にいるいろいろな植物、動物のバランスが保たれる最適の状況なのです。

環境があるからそれに合った動物、植物が生棲することもあるわけですが、逆に、そういう動物、植物が存在することによってそのときの環境がつけられるのです。そういう相互作用があり、それがどっちかへ揺れようとすると、逆の力が働く。例えば、人間は体が熱くなり過ぎると汗をかいて冷やそうとし、体温が下がると自然に身体がふるえて温度を上げようとする、そういう自己調整能力がありますね。地球そのものは生物ではありませんが、あたかも生き物のように自己調整して

環境を保とうとする。地上に住む生物が無生物の世界まで巻き込んで、このようなホメオスタシス現象を起こすのです。

このガイア説の「あたかも」というところに、科学者は、初め抵抗を感じたのです。地球に命があるなんていうのはこれはアニマ論だ、科学に目的論を持ち込むのではないかということで、だいふ批判されました。しかし、ラブロックさんは、決して地球が生き物だと言ってるわけではありません。生物が存在することにより無生物の世界にも、自己制御システムがビルト・インされると言っているのです。

#### 環境とは対峙的でなく

#### 内包されてる人間社会

**秋山** 確かに、生物と環境とが相互に影響し合うのだという認識は重要ですね。

ところで、秋元社長は「いわゆる資源や環境は、自然と文明との関わりりの市場である」と書いておられます。主観的尺度、例えば有用性とか、快適性とか、経済性とか、そうした面で見たと自然の形態が資源であったり環境であったりするとおっしゃっている、私も全くそのとおりの思います。確かに、資源、環境というものは、自然と文明との関わりりの中で全体的に見ていかなければいけません。秋元社長のご示唆の中身について、もう少し敷衍してご説明願いたいのですが。

**秋元** いま私が心配しているのは、例のデカルト的なものの考え方が基礎となって、われわれは観察する側の自分と、その相手を切り離して見ることに慣れてるものですから、環境を扱うときにも、まず人類社会があって、それに対峙する環境があるというふうに理解



秋山 守氏

(財)エネルギー総合工学研究所  
理事長

しちゃうんですね。

今度の地球温暖化問題の対応ぶりにもそのようなところがあって、人間社会の立場から見ると、環境をいかにコントロールするかというように話にすぐなってしまう。しかし、実はわれわれ自身がその環境の中の一部なので、われわれは、周辺の環境と対峙的に存在するのではなく、環境の中に包摂されているというか、内包されているのだとの立場に立たないと、この問題は解けないのです。

#### 自制が求められてる人間の文明

#### 傲慢とも思われる自然のコントロール

**秋元** どうも、そこらの視点に狂いがあるようです。いまの地球温暖化問題にしましても、われわれがこれだけ炭酸ガスを出してきた。そのために、2100年には海面が50cm上がるとか、温度が2℃上昇して、人類社会に由々しき被害が及ぶ。これを、止めるためにやるのだという話になっているのです。

ところが、いままでの地球の歴史を見ても、海面は結構短期間のうちに上がったりと下がったりしています。青森市の三内丸山

遺跡は、あそこで縄文文化がものすごく栄えたというので有名ですが、当時の海面は現在よりは6mぐらい高いんです。あの遺跡の丘のところまで海がひたひたときいて、そこに文化が栄えて、人々は魚撈、狩猟の生活をしていました。あれは数千年昔のことで、当時の温度も、おそらくいまより2~3℃高かったはずですよ。

温暖化は、必ずしも悪い面だけではありません。山背の風が起す冷害から住民を救うために、農業技術者でもあった宮沢賢治が、炭酸ガスによる温暖化を活用する夢を童話に託したのは\*、わずか数十年前の話です。2℃温度が上がれば、カナダもシベリアも、いまの永久凍土地帯がどれだけ生き返り、植物が繁茂するのか。

もちろん不都合な現象も多々起ります。しかし、最近では、温暖化現象の悪い面ばかりをホラーストーリー仕立てで誇張する傾向があります。もっとバランスの取れた議論をすべきでしょう。

それよりももっと問題だと思うのは、変化する環境に合わせて営みを変えてきた人類の歴史を忘れて、文明社会の都合だけに合わせて、環境を現状に固定しようという傲慢な考えが見られることです。

確かに、いま一方向文明が進み過ぎ、多量の炭酸ガスを出しています。これがただちに地球のバランスに大きな影響を与え、ガイアの仕組みが崩れるとは思えませんが、将来の文明社会維持に困難をもたらす可能性は充分にあります。ここで人間に自制を求めライフスタイルの反省を促すところまではいいのですが、それが「地球に優しい」行為だなどと

\*：グスコブドリの伝記（宮沢賢治）

いうのはおこがましい。人類が自分の都合のために自損行為を止めようというだけの話なのであります。

更にこれによって海面や温度の上昇（もしあるとして）を止め、文明社会の現状維持が凶れると考えているとすれば、自然に対する傲慢以外の何物でもありません。地球の過去の歴史を一寸見れば、地球の温度や海面の変化が、温度効果のみで説明出来るほど単純でないことは一目瞭然です。われわれの努力にもかかわらず、温度や海面は変化があります。それに適応してゆくのが文明社会の知恵であるべきで、不確かな海面上昇論で南太平洋諸国をパニックに追い込むのが、果して正しい環境運動なのか疑問に思っているのです。

#### 問題になるのは地球全体の炭素サイクル

秋山 私も人間が地球を救うという考え方自身が極めて傲慢であると思うんです。いまのお話には概して同感でして、いろいろな人の意見を調べてみますと、太陽の黒点の影響だとか、温暖化ガス以外の環境影響要因なども確かにありそうな気がします。この先、温暖化ガスの排出を抑制していくことと併せて、温暖化を巡る自然界の要素とかメカニズムについても研究を進めていく必要がありますね。まあしかし、化石系の燃料をこれだけ大量に燃やして、二酸化炭素を制限なくたくさん放出しているという現状は、資源論に照らしても、そしてさらに文明論的な次元で考えても、いかにも問題があるといえますね

秋元 私もまさに同感でしてね。このおかしな状況は、温暖化というよりは、地球全体の炭素サイクルの問題として捕えるべきだと思います。

地球上の炭素は、シンクとして貯め込まれている部分と循環している部分があってバランスしているのですが、現在の状況は、人間が一方的に地球の中に溜め込まれていた炭素を引っ張りだして燃やし、空中へ放出しているわけです。これをあまりにも派手にやれば、全体のバランスが崩れ、人間にもいろいろな影響が出てくる可能性があるわけです。それを自制しなきゃいけないというのは、まさにそのとおりだと思いますね。

**秋山** 国際的にも、昨年のCOP3（地球温暖化防止京都会議）で決めましたように、炭酸ガスなど、地球温暖化の原因と見られるガスの排出の抑制には全力で努めなければいけないと思いますね。

**秋元** そのとおりですね。

ただ、温室効果ガスの問題は、局所公害とは本質的に違うのだとの認識が必要ですね。例えば、かつて問題になったNOx、SOxなどは、排出されればただちに喘息患者の発生とか、健康被害とかが起きました。ですから、まず第一に、ローカルな抑え込みが必要でした。

ところが、炭酸ガスそのものは有毒ガスではありません。いま程度のレベルで増えたからといって、ただちに人間に害があるものではなく、植物の生育にはむしろプラスに働きます。結局、地球全体として、温暖化が起るのかどうか問題となるわけですね。

ですから、地球全体の炭酸ガスサイクルとの絡みでどうなるかという話であって、いわゆる局所公害として、局地的に処理してすむ話じゃないのです。

その二つは対策、手段も全く異なるわけですから、混同されないようにすべきですね。

---

## COP3を振り返って

---

### 筋が一本欠けてた

#### 日本の環境問題対応の姿勢

**秋山** 昨年末にCOP3が終了し、日本の二酸化炭素ガス排出の目標低減率が6%で決着しました。この6%はほぼ妥当な線であるとの受け止めがある中で、現実には相当に厳しい数字であるとの認識も伝わってきます。その具体的な対応策については、省エネ、新エネ、原子力などを積極的に、またきめ細かく進めていくことになるわけですが、原子力については2010年までに20基程度の増設が必要とされています。そのあたりのご意見をお聞かせいただきたいのですが。

**秋元** 会議が終わった後で、アメリカの知人と話す機会があって感想を聞かれ、「あれは、要するにヨーロッパ・コンスピラシー（謀略）だ」と言ったんですよ。そうしたら、向こうがニヤッと笑って「いや、そうだ、そうだ」という話になりましたね。

もっと純粋に取り組むべき環境問題が、国際政治にうまく利用されたという感じですね。この側面から見ると、国として日本の環境に対する基本姿勢に筋が一本通ってなかったことから、ヨーロッパが8%で日本が6%という一見公平そうな数字で押し切られたという気がします。

ヨーロッパにしてみれば、8%という数字は別に何でもありません。というのは、ドイツは、起点になった1990年のあと、東ドイツを統合しました。そこで大量に褐炭を燃やしていた非効率な工場がほとんどつぶれるな

ど産業構造の変革があり、現在すでに10%を超える削減値の貯金があるわけです。イギリスは、いままでの石炭を天然ガスに切り換えましたので、それだけで十分余裕があります。

そんなわけで、彼らが当初主張していた15%という数字の中に、彼らはすでに10%という貯金を持っていたのです。

日本は、1970年代の石油ショックを契機に、すべての産業が工場に省エネ対策を取り入れました。ヨーロッパがこれから実施しようとしている対策は、もうすでに取り込み済みなのです。

例えば、日本のセメント工場は、熱効率向上のための高性能熱交換器を100パーセント付けています。ところが、アメリカは30パーセントに満たないし、ヨーロッパは70%ぐらいの設置率。それをドイツあたりが、2003年ぐらいまでに100パーセント付けるなんて言っているんです。最初のスタートラインからして、もう全然違っているのですね。

1990年を起点にしなければならない必然的理由は、何もないのです。それを、ブラジルの環境サミットで深く考えもせず1990年起点案を飲まされたあたりから、ヨーロッパ・コンスピラシーが始まっているわけです。もちろん国益を守ろうとする外交努力がなされたことも事実なのですが、日本の高い国際競争力に手かせ足かせをはめる一方、国内のグリーン市民の票を頂こうというヨーロッパ諸国の巧妙な作戦に、うまく日本は乗せられてしまったのですね。

しかも、アメリカのほうは、7%の削減であっても、一筋縄ではゆかない開発途上国参加の問題が解決しない限り議会は批准しないとやっているわけで、あれも次の大統領選挙

を狙った環境重視PRの一環なのです。

欧米双方がしたたかにこの問題を使おうという下心があるなかで、真面目に取り組んだ日本がその中に取り込まれ、6%という数字が押し付けられました。これは、基本的には、日本の環境に対する腰の据え方が弱かったことによると思っています。

### 先ずは何とか達成すべき

#### 国内コンセンサスの削減2.5%

秋山 そうですね。その背景とか経緯はおっしゃるとおりで、国際政治の力が働いているあの数字が、本当にどれだけ合理性と説得力を持っているかは議論の余地があるとの見方はあります。

秋元 とは言いながら、反面、国際的な約束がやっとできたという感じもします。

ただ、あの中では植林による炭酸ガス吸収の効果や、排出権取引の問題が具体的に決まっていなまま、6%の削減に合意してますからね。

そのあたりを国際間でどう取り決めていくかで、6%の実質的意味が決まってきます。COP3前に通産省が出した2.5%という数字が、炭酸ガス排出量に関する日本としてのもとの値であって、これにしても、私はかなり無理算段をして出した数字だと思いますね。それを超えた部分は、削減対象となるガスの種類の増加とか、その他変更のあった条件も含めていかなる形で対処していくか、これからの検討課題ではないかと思っています。

秋山 温暖化防止は、国、産業界、研究サイドのそれぞれが総力を挙げて取り組むべき問題ですが、やはり全体の基盤は、国民一人ひ

りの考え方とライフスタイルでしょうか、それが重要なファクターと思いますね。

---

## リサイクル文化の考え方

---

### 廃棄物を資源と考える

#### 意識の転換を

秋山 廃棄物の処理では、リサイクルの重要性が、最近ますます強く指摘されております。私どもも、実はグローバル・フロンティア・カルチャーというキラキラしたキーワードで京都で講演しました折、やはり未来を見透したカルチャー——原子力ですとリサイクルとセーフティと、それからエンクロージャーと、この3つで次の時代をリードするようなカルチャーを社会に大きく打ち出していくスタンスが重要だということを申しました。その中の重要なコンセプトの一つが、廃棄物の処理を含めたリサイクルです。これについてはいかにお考えでしょうか。

秋元 ここ数年来、社会の閉塞感が急激に高まっています。その大きな原因の一つがこの廃棄物問題で、これはいままでの社会が資源的にも一方向社会だったことによると思います。とにかく、天然から気ままに資源を採掘してきて適当に使い、最後はポイということで、いままでの時代はすんでいました。それを循環型の社会に切り換えていく必要があると思うのです。

そもそも資源、廃棄物とは何かと考え直してみますと、要するに、人間が有用だと思えば資源であるし、使う気がなければ廃棄物なのです。人間が一度使えば即廃棄物という考

え方自体を反省しなければいけません。

資源は鉱山から掘り出す天然物であるとのいままでの考えから、都市からの廃棄物も基本的には資源なのだ、これを都市資源として使ってゆこうとの考えに変えてゆくことが重要でして、これは意識の転換次第といえます。そのような文化をつくり上げる点で、理事長のおっしゃることに全面的に賛成です。

### 総合した視野がほしい

#### ゼロ・エミッションと省エネルギー

秋山 それで、リサイクルに関係しますが、最近非常に響きのいい「ゼロ・エミッション」という言葉があります。たしか秋元社長のご本にも、そのゼロ・エミッションというのは、気持ちとしては大変結構だけれども、熱力学的にといいますか、サイエンティフィックには問題のある言葉だというふうなご指摘がありました。私も熱力学を専門の一つとする立場から申して、ゼロ・エミッションというのは理論的にはおかしいと思います。ただし、強調をするための気持ちとしては分かります。そのあたりのご感想はいかがでしょうか。

秋元 これはさきほどの地球温暖化の問題と絡んでくると思います。

リサイクルは確かに進めなければいけないのですが、リサイクルするにもエネルギーは要ります。しかも、リサイクルの程度を上げれば上げるだけ、それに伴うエネルギーも鰻登りに上がっていきます。

いまのエネルギー構造ですと、リサイクルのためであっても、エネルギーを使えば当然炭酸ガスも発生し、地球の温暖化にもつながります。一方で省エネルギーといい、片方ではゼロ・エミッションといっている。これ



は互に矛盾する要求なのですね。

その中で、社会的にどういうバランスが最適かを探ってゆかねばなりません。結局、リサイクルを費用対効果が悪くなるまで押し進めるよりは、世の中にはまだリサイクルがやられていない分野が沢山あるのですから、こういうところを拾い出して進める方が効果的だと思いますね。要は、リサイクルを絶対目標にせずエネルギー効率との兼ね合いで、温暖化問題も考慮しながらやっていく。

逆にいいますと、地球温暖化防止の立場から省エネばかりをやり過ぎて、リサイクルに必要なエネルギーまでも抑え込むのは、ある意味では社会の自殺行為になるわけなのです。リサイクルにエネルギーが必要なことを忘れて、一方的な省エネルギーの追求ではいけないということなのです。

温暖化問題の対応に携われる先生方は、もう温暖化ばかりですし、リサイクルの方々は何でもゼロ・エミッションを唱えられてますが、これでは世の中は成り立ちません。もっと総合的な視野がほしいという感じがいたします。

**秋山** リサイクルの関連で申しますと、原子力発電における現在の軽水炉主体の燃料の使

いは、資源利用の面でまだまだ部分的ですね……。

**秋元** いちばんリサイクルができてないのが、原子力なんですよ。(笑)

**秋山** これはぜひ、リサイクルによって、燃料の効率のよい利用の姿を目指さなければいけないと思います。

---

## 原子力発電の推進に向けて

---

### COP3 いちばんの問題点——

#### 原子力への及び腰

**秋山** ところで、COP3の結果、原子力に対する国民の皆様の受け止め方やご認識も少しずつ変わりつつあると期待されていますが、依然として厳しさに大きな変りはありません。そのような状況の原因とか背景、さらにどうすれば改善できるかについてのご見解をお聞かせいただけますか。

**秋元** 私も、COP3に非常に失望した一人です。会議前にわれわれが国内的に合意していた、炭酸ガス放出2.5%の削減でさえ、2010年頃までに原子力発電所を20基ぐらい造らないと達成できません。これが削減達成の基本となるシナリオなのです。

ですから、日本の削減値を各国と話すとき、原子力の推進が当然ベースにあるわけで、その立場の表明を期待していたのですが、京都会議では、結局、そこいらは殆ど議論はされませんでしたし、議定書の中にも原子力のゲの字も現れていません。ですけど、あそこで出している目標を達成するには、原子力を中心にせざるをえないことは分かっているはず

ですね。

ヨーロッパを見ますと、フランスは80%に近い電気を原子力に頼ることにより国の経済が成り立っています。一方、スウェーデンのように、原子力50%、水力50%の電気を使いながら、原子炉はこれから廃止とか全く矛盾した政策をいっている国もありますが、これはその帳尻を他国からのエネルギー輸入などでごまかせる小国だから出来る芸当なんですね。自己完結したエネルギー政策も立てられないような国々の声が大きく、エネルギー問題にまともに取り組み、地球温暖化防止のキーポジションにある国の発言が出てない点が、今回のCOP3の問題点の一つだったと思っています。

今度のCOP3においても、国だけではないのですが、われわれも含めて、原子力に対する及び腰の姿勢がいちばん大きな問題点という気がしています。

#### 後手後手に回ってる

##### 放射線・原子力の国民教育

**秋元** われわれは、そもそもいちばん最初のところから方針を間違えてた気がします。例えば、「原子力は心配だ」という民衆の問いにまともに答えずに、「そんなに心配なら、いまの被ばく線量基準をもう一桁下げましょうか」とか、「排水基準もここまでやります」とか、技術で逃げてしまったところがないでしょうか。

極低レベルになりますと、これらの基準を下げれば当然余分のコストがかかりますが、それに見合うメリットはまずないのですね。むしろ、われわれの周りにある自然界の放射線レベルのほうが、高いわけですから。

自然界の放射線はどこにも存在しているわけですし、多くの人が放射線を使った診断や医療を平気で受けておられます。そういうなかで、原子力発電による放射線が一体どれだけの意味を持つのか、正しく教育し啓蒙しておくべきだったという気がしています。

学校では放射線教育も原子力教育も全くやってないし、国民へのPRも後手に回っています。国の政策でも、例えばクリアランス・レベルの問題など、社会に原子力が組み込まれてゆくために必要な基準をつくらず、すべて、後送りにしています。それらが、いま歪みとして出てきているという気がするんですね。

#### 行政改革への期待――

##### 原子力委員会に原子力全体の指南役を

**秋山** 原子力エネルギーの利用推進には、いまのお話のように、これまで何十年にもわたり、当事者としてこうしておけばよかったという問題点も幾つもあると思いますし、公衆といえますか、原子力エネルギーの利用者の側でも、時代の進歩を受けてもっと勉強していくことも必要かと思います。そのなかで、速効的で当座具体的に、そしてまた併せて長期的に、さまざまな角度や方法で相互により良くコミュニケーションしていくことが必要だと思います。

ところで、最近の行政改革を巡る動きと、それをどのように受け取っておられるかなどについてお話し頂けますか。

**秋元** 今度の行政改革で一つ期待してますのは、原子力委員会の位置づけです。

本来、原子力委員会は、日本の原子力行政全体に対するスポークスマンといえますか、

省庁の枠を越えた指南役のはずだったので、いままでは、科学技術庁が事務局であったこともあり、結局、その所管枠を超えてあまり口が出せませんでした。

先ほどの被ばく線量の問題でも、例えば、原子力施設から出てくる廃棄物が科学技術庁の管轄下である間はまだいいのですが、それを一般の廃棄物として処理しようとする厚生省の管理になって、とたんに話が進まなくなるのです。

いままでは省庁間の壁をめぐって内部摩擦的なエネルギーの浪費があったと思います。

今度の行政改革で、原子力委員会は内閣府の所属ということですから、原子力推進のためすべてを基本から見直して、教育の場ではこう、厚生ではこう、国全体としてこうという、整合性ある原子力行政に立ち戻った原子力長期計画を出していただけると、いままでとはかなり違った取り組みになると思います。このためには、内閣総理大臣が原子力委員長ぐらいになっていただけるといいんですがね。

秋山 おっしゃるとおり、いちばんの根本はそこですね。原子力への取り組みについては、今度の行政改革の推進の中で整合性の高いグランドビューと、それに適合した体制が是非とも実現して行って欲しいですね。

学術会議でも、最近の省庁再編成の動き等も見ながら、研究教育サイドでどのような考え方の整理統一ができるかという議論をやっています。いまご示唆いただきましたような全体の体系的な枠組みの議論があり、研究教育も含めて、ここ1、2年で大きな姿が出てくればいいなど、私もかなり期待しております。

秋元 いいですね。環境省が今度できましたら、ぜひそこも巻き込んで、「国としてこれはやるんだ」というガイドラインが出てくれば、ずいぶん違うと思います。

---

## 原子力に期待される新技術

---

### 初心に戻って新コンセプトの発掘を

秋山 話を交えて、原子力技術の中から、次の時代をリードするような科学技術の種類、設計の考え方、あるいは評価の手法でもよろしいのですが、次の学術研究なり産業界へ提供していくものなどに、どのようなものがあり得そうかお話し願えませんか。

秋元 われわれが、昔、原子力を始めた頃には夢がいっぱいありました。ところが、いま原子力をやっている人たちがかわいそうなのは、軽水炉が実用域に入り、また何をやるうにも規制も多く、一寸した実験もなかなかやれない状況にあることです。そういう意味で、もう少し夢を持るといいのですが。

例えば、途方もない話ですけど、いまの原子力の技術は、原子力エネルギーを引き出すところだけがアドバンスド・テクノロジーで、それからあとの、ボイラーで熱エネルギーに変え、蒸気にしてタービンを回すところは、まさに旧来の技術で、全く変わりばえしません。

本当は、核分裂で出てくる中性子は、もっとも質の高いエネルギーなのです。それをいちばん質の悪い熱エネルギーに変換したあと、また質の高い電気にするプロセスの中で、ずいぶんロスをしています。ですから、中性

子のエネルギーを電気エネルギーに直接切り換えていく技術ができれば、これは中性子を発生させる技術とともに、革新的な技術になりうるはずですけど。

**秋山** そうですね。実は、先だって大学の図書資料館に行きましたら、もう30年、40年以上も昔のものから始まって最近までの原子力関係の資料が並んでいるのですが、その中に、IAEA（国際原子力機関）から出版された『原子炉の設計概念集』がありました。あの頃は、原子炉の関連では、本当にありとあらゆる種類のコンセプトが出てまいりましたね。いまおっしゃったような、直接発電の方法なども含めまして、当時の初心に戻って、もう一度いろいろな概念を巾広く考えていくのも非常にいいと思います。

#### 次世代高速炉に取り入れたい

##### 長寿命廃棄物ゼロなどのコンセプト

**秋元** 私もそう思います。例えば、高速炉も実用化が2030年以降になるということでしたら、その間には単に熱エネルギーを経由するのではなく、もっといろいろなコンセプトを入れていく時間的余裕があるはずですよ。第一世代に間に合わなくても、その次もありうるわけですから。

発電のメカニズムそのものから変えられないかと思えますし、燃料についてもいままではウランとプルトニウムだけしか燃やしていませんからね。

いままでは初めに原子炉ありきで、バックエンドはその尻ぬぐいという位置づけでしたが、発想を転換して廃棄物の方から燃料サイクルを見直してゆく。そうすると、後世代にまで負担のかかる、いわゆる長寿命の廃棄物

はなるべくゼロにしていくのが望まれます。そのためには、高速炉の特性をフルに活用して、ある程度燃えにくいものも積極的に燃やしてゆく。それで高速炉のエネルギー出力は低下しても、燃料サイクル全体としてみますと、私はその方が結局得になると思っています。代表的長寿命核種である超ウラン元素は、高速炉では大部分が燃えますからね。

そういう方法で高レベル廃棄物に含まれる長寿命廃棄物をゼロに近づけて、貯蔵して300年程度経ったら、低レベルなみに扱えるようにするのが理想ですね。

#### 再処理にも開発が残る分離技術

**秋元** いまの再処理の方法は、使用済燃料からウランやプルトニウムを分離するために溶剤のTBPを入れたり、イオン交換樹脂が使われたりするなど、いろいろな化学物質が入り、結局、廃棄物の量や種類を増やしています。例えば晶析とか、いろいろな物理的な分離技術を駆使して、再処理プロセスに化学物質をなるべく持ち込まないようにするよう、プロセス設計を見直す必要があります。そうすれば、再処理工程から出る廃棄物の量も大巾に減らすことが出来ます。一方で、再処理ウランやプルトニウムに多少 $\beta$ 、 $\gamma$ 核種が残ってもいいように、遠隔操作技術の進歩を取り入れて、燃料加工プロセスや燃料設計そのものを変えてゆく。そのあたりに、まだまだ将来の開発分野が残っている気がします。いまのコンセプトに固執しているかぎり、夢は縮まる一方ですが、考えを拡げれば、まだまだ夢がもっと膨らむはずですよ。

やはり民間ではそこまでやれません。学界が中心となって、そういうところをプロモ-

トしていただければと思っています。

**秋山** おっしゃるとおりでして、学界もこれまで以上に役割を果たしていく必要があると思います。それから国の動きとしましては、先進的核燃料リサイクル専門部会などがありますが、これは東大の近藤駿介先生や鈴木篤之先生を中心に内容をまとめていただいています。私も勉強をしております。いまご示唆いただきましたような多様な可能性を取り入れて、必ずしも従来のシステムにとらわれることなく幅広にやったほうがいいんじゃないかと考えているところです。

**秋元** いまの再処理技術は、基本的にはアメリカの原爆用プルトニウムの製造技術を民間の発電用に手直したもので、基本的コンセプトにまで溯って考えてないんです。そこをもう一回振り返ってみると、多くの夢が湧いてきます。あまりそれを言うと、下北の再処理施設に影響があるのかもしれませんが（笑）

---

## 21世紀を動かす情報技術

---

### 人間文明の形成に大きく寄与した 情報、エネルギーとマテリアル

**秋山** 長期的な観点ですと、これからは情報化がますます進んでいく時代ですので、情報文化を、原子力の分野に、そしてもちろん他のエネルギーや環境の分野に取り入れていくことが考えられます。そのあたりについてはいかがでしょうか。

ご執筆の『しなやかな世紀』の中で、21世紀文明に必要な画期的なポテンシャルを有す

る技術として、原子力とともに、情報技術を大きくクローズアップされております。そのお考えの背景を少しお聞かせいただけませんか。

**秋元** 人間の文明社会は、生態系のほかの動物がつくっている社会を上回る推進力を具えた自己創出的なシステムであると思います。このような社会をつくりえたのは、人間が他の動物にない幾つかの優れた能力を持ち、それを社会の基礎に組み入れたからだだと思います。

その一つが、やはり情報です。人間は言葉を発明して、動物にできない細かな情報の交換ができるようになり、それをベースに、思想をまとめ論理を組み立てられるようになりました。論理構造までつくり上げたのが非常に大きかったと思います。

二つ目は、文明社会をサポートする活力源として、動物たちが利用出来なかった石油、ガス、石炭とか、それに原子力のような形態のエネルギーを使えるようになったことです。

三つ目は、マテリアルでして、いままでは生態系の中に取り込まれることのなかった多様な材料を地下から採り出し、使用できるようになったことです。

この三つが、人間の文明社会形成に大きく寄与したと思います。

### 高速交通の使用より

#### サイバースペースで仕事する時代に

**秋元** 20世紀文明伸展のドライビング・フォースは、まずは自動車、それから飛行機ですね。石油という使いやすいエネルギー源が出て、それをフルに利用した高速交通システムが発達し、むかしは1ヵ月もかかったヨーロッパ

ッパも、いまは8時間で行けるようになりました。それが今日の文明、産業構造の大きな基礎条件になっています。

しかし、さらにスピードを上げて、いまの8時間が4時間、2時間になっても、人間の生活様式は、19世紀から今世紀に入ってガラッと変わったようなことにはなりません。例えば、大久保利通が半年かけてヨーロッパ視察をした時代と、週末に外交交渉をすませて帰って来られる現代とでは、政治や行政のあり方も大きく変わっていますが、橋本さんが日帰りでも外国を訪問し、外交交渉して帰ってこれるようになったとしても、お役所の仕事ぶりがそんなに変わとは思えません。そういう意味では、空間を狭めて時間を短縮する高速交通時代は、いまやパラダイムの終りに近づきつつあるといえるのではないのでしょうか。

一方で、インターネットとか、情報網が急速に発達してきています。そうしますと、今度はわざわざ出向くことはないのですね。最近ではクリントンさんもすぐに橋本さんに電話を掛けてくるようですが、時代はもっと進んで、高速の情報が電子網の上につくられたサイバースペースという新しい空間の上で処理されるようになってきました。情報の遣り取りや取り引きに高速交通が果たす役割が、相対的に小さくなってきているということですね。

#### 目前にきている電子取引の時代

秋山 産業界も、活動全般にわたってサイバースペース的な将来像の設計をされているとか、あるいはコンセプトを開発しておられるのではないかと推察していますが、それはかなり速いテンポなんでしょうね。

秋元 わが社も、ここ3年ぐらいでコンピュータをかなり強引に入れまして、社内とグループ各社の全部署をインターネットで結ぶようになりました。実際に、電子取引みたいなものが、もう目前に来ている感じですね。

現在の商売は、全世界を相手にしていますから、例えば東南アジアで営業担当者が客先から超硬金属のバイトについて商談を受けたとしますと、いままでは手紙のやりとりなどで時間がかかりましたが、いまはインターネットを使用して国内の会社の担当部署へ照会すれば、どこにどういう在庫があるとか、ないときでも、この工場のこういうラインに乗せればいつまでの納期で納められるとか、そういう情報が世界中どこにいても、直ちに分かるようになってきています。

それにお金の決済を入れれば、もう電子取引になるわけです。いずれはインターネットの上で、注文やお金の決済など日常の殆んどことができ、残るは品物の納入だけという世の中になるはずで、これはもう目前に来ている気がします。

#### 情報化社会、世の中の変わり目こそ

##### 若い人たちの働き場

秋山 最後に、これからの若い方々がエネルギー、環境、とりわけ原子力の方面に関心を持ち、希望を抱いて前向きに新しい仕事に取り組んでいくことが重要と考えます。このことに関して、先輩のわれわれとして、どのような心構えを持てばいいのか、また具体的に何をすればいいかのお話を伺えればと思います。

秋元 これからは情報化が進み、みんなの働きがいのある世の中になると思っています。

いままでは、ヒエラルキーが巾をきかす構造でした。情報の流れは、いちばん下の係長が発信しますと、課長代理から課長へと順にハンコが捺され、決裁までに15も20もハンコが並ぶような階層構造になっており、情報が途中で全部スクリーニングされ分断されるのですね。

ですから、下の連中は殆ど上のことは分からないし、上の連中も逆に下でやっていることは分からなかったのです。これからは情報が共有化されますので、インターネットのページを開けば、極端なことをいいますと、全社員が同じ情報を共有している形になるわけです。

同じ情報をもとに、どれだけいいアイデアを出し、どれだけ成果をあげられるかで、社員の評価が決るようになります。いままでのように、階層構造の途中で情報を一人占めして「俺のところを通さなければ」式の仕事振りが不可能な世の中になっていくんですね。

そういうフラットな社会では、年配者も若い人たちが平等に同じチャンスが与えられることになり、それだけ若い人に働き甲斐が出てきますね。

このような世の中の変わり目には、われわれ年寄りがいちばんつらいのです。例えば、いまコンピュータをいじれと言われても、若い人達は子供の頃からテレビゲームなどやっていますから、われわれがメンコをやるのと同じぐらい、自分の手足のようにやれますが、年寄りには悪戦苦闘ですよ。Eメール一つを書くにしても、抵抗なしには書けません。

こういう情報社会では、若い人たちが圧倒的に有利な立場にあるわけです。世の中の変わり目こそ、若い人たちの働き場と思いま

すね。

いま顧みますと、われわれが、いちばん最初に原子力をやらせていただいたのは、非常に幸運だったと思います。あの時代には、先輩も原子力を何も知らないわけで、年輩者と若い人が「ヨーイ、ドン」で一緒に始めたわけです。そうしますと、やはり若いほうが覚えるのが速いものですから、「原子力とはこんなものです」なんて主張しますと、上のほうは「そうなのか」と、やむなく納得するのですね。ヒエラルキーと知識経験量が比例する既成の職場から比べますと、ずいぶん自由にやらせてもらえました。

いまはその頃に似た状況が再現されているのですから、若い人たちはもっと元気を出してほしいという感じです。

**秋山** おっしゃるとおり、情報の分野は若い人がどんどん動いてますけれども、ぜひエネルギー、原子力の分野にも入って来てほしいと思いますね。

**秋元** 情報が動くには、やはりエネルギーが必要。自動車はガソリンで動くわけですが、パソコンは石炭や石油では動かず、やはり電気が要ります。その電気エネルギーをいちばん効率的に出せるのは、これからは原子力だと思えますよ。

ですから、情報と原子力がペアにならないと、ほんとの意味のいい世紀にならないのですね。

**秋山** そうなんですよね。この前、石井威望先生にお伺いしたら、情報もエネルギーマインドがないといけな。情報化すればするほどエネルギーも要るんだとおっしゃってました。

**秋元** ハイテク機器は、ものすごくエネルギ

一を使うんですよ。

---

## おわりに

---

**秋山** 情報化もエネルギーが支えていく、という話題になったところで時間も参りました。

本日は秋元社長のお書きなされた『しなやかな世紀』の内容を中心に、ご本人から直接に真髓ともいべき貴重なお話の数々をお聞かせいただき、本当に勉強になりました。

当研究所といたしましても、今日の話題となりました分野での調査研究の事業を、関係

の各方面のご指導とご支援のもとに精一杯力を出して進めていきたいと願っておりますので、今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。

**秋元** エネルギーは、文明社会のベースになるものなのに、それに関する認識がいまほど混乱している時代はないと思います。このような状況下なればこそ、研究所の一層のご活躍を期待しております。

**秋山** 私どもも秋元社長さまをはじめとする皆さまのご事業のますますのご発展を願っております。

それでは、本日はほんとうに長時間ありがとうございました。



〔関連施策紹介〕

## 高レベル放射性廃棄物処分 に向けての取組み\*

— 処分懇談会の動きを中心に —



有本 建男 (科学技術庁 原子力局  
廃棄物政策課長)

### 原子力委員会処分懇談会を巡る動き

#### 処分懇談会による初めての試み

##### 意見交換会と意見募集

原子力委員会は、高レベル放射性廃棄物処分の審議体制を強化するため、最終処分について技術的観点からの調査・審議を行っている「原子力バックエンド対策専門部会」(以下、バックエンド対策専門部会という)と、最終処分の円滑な実施に向けて、国民の理解と納得を得るよう社会的・経済的側面を含めて幅広い検討を進めている「高レベル放射性廃棄物処分懇談会」(以下、処分懇談会という)を設置して審議を進めており、私どもは、その事務局を担当しています。きょうは、そのうち処分懇談会の動きを中心にお話します。

この懇談会は、平成7年9月に設置され、平成8年5月の第1回会合以来、元日本学術会議会長で、中央環境審議会会長もなされている近藤次郎先生を座長に、2年余に亘る議論を重ねてまいりました。その結果、平成9年

7月、「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」(案)がまとめられました。

新しい試みとして、この案について国民の方々に広く意見を求めることになり、本年1月まで半年ほどかけ、大阪、札幌、仙台、名古屋、福岡の全国5カ所で意見交換会を開催し、また、意見募集も行い、あわせて400人以上の方々から貴重なお考えを頂戴しました。

原子力委員会は、「もんじゅ」の事故の後、専門家と一般市民との対話を目指す「原子力政策円卓会議」を開きました。その中で、高レベル放射性廃棄物処分などの政策は、決定前の案の段階で、国民からのコメントを求める場を設けることになりました。

その最初は、バックエンド対策専門部会が、平成9年4月、大阪大学元学長の熊谷信昭先生を座長として、「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について」という技術面のガイドラインをまとめられたときでした。

高レベル放射性廃棄物の処分に向けての体制や制度づくりにつきましても、報告書案に

\* 本稿は、昨年10月31日、当所の第151回月例研究会でなされたご講演のテープ起こしに、本年2月末の時点で、その後の進展に伴う修正を加筆いただいたものです。

ありますよう、国民の方々に、この問題を知ってもらい理解してもらうことが第一歩として、いまそこから着手しているわけです。

もう一つの新しい試みは、処分懇談会報告書だけですと一般の方々には取り付きにくからうという近藤座長のご配慮から、「国民の皆様方へ」という先生直筆のメッセージをいただき、報告書案と合わせて、いま多方面へお配りしております。

できるだけ多くの機会を捕え、この問題へ

の国民の方々の関心と理解の輪を広げていくことが大切と思っています。

### 多分野の方々に参加いただいている

#### 処分懇談会

処分懇談会の構成メンバーは、この問題を多角的に審議していただくため、表1のとおり、哲学、法律、経済、環境、生活、労働など、原子力やエネルギー以外にも多数の分野の方々にご参加いただいております。

表1 高レベル放射性廃棄物処分懇談会構成員名簿

座長	近藤 次郎	元日本学術会議会長
	荒木 浩	電気事業連合会会長
	栗屋 容子	武蔵野美術大学教授（一般教育研究室）・理化学研究所名誉研究員
	石橋 忠雄	弁護士
	加藤 尚武	京都大学教授（文学部）
	茅 陽一	慶応義塾大学教授（大学院・政策メディア研究科）
	川上 幸一	神奈川大学名誉教授
	木村尚三郎	東京大学名誉教授
	木元 教子	評論家
	熊谷 信昭	大阪大学名誉教授（原子力バックエンド対策専門部会長）
	小林庄一郎	関西電力（株）相談役
	近藤 俊幸	動力炉・核燃料開発事業団理事長
	佐和 隆光	京都大学経済学研究所所長
	塩野 宏	成蹊大学教授（法学部）
	下邨 昭三	高レベル事業推進準備会会長
	須賀 龍郎	原子力発電関係団体協議会会長（鹿児島県知事）
	鈴木 篤之	東京大学教授（工学部）
	竹本 成徳	日本生活協同組合連合会会長理事
	中村 政雄	前読売新聞論説委員
	野口 敏也	日本労働組合総連合会副事務局長
	深海 博明	慶応義塾大学教授（経済学部）
	松田美夜子	生活環境評論家（廃棄物問題とりサイクル）
	南 和子	評論家
	森 一久	（社）日本原子力産業会議副会長
座長代理	森 昭夫	上智大学教授（法学部）

（平成10年1月現在）

特に、近藤次郎先生は中央環境審議会で会長を、また、森島昭夫先生はその企画部会長をなされており、このお2人は、昨年末の地球温暖化防止京都会議（COP3）でも大変活躍されました。

また、近藤先生は、常々、「この問題は、原子力反対とか推進とかいった、対立する議論を乗り越えたところで進めなければだめだ」と繰り返し強調されています。

### 地域参加者多数を集めた意見交換会

ここで、今年1月14日、福岡で開催しました意見交換会の模様をご紹介します。

司会は、木元教子さんで、4時間ほど行いました。

出席者の顔触れは、原子力委員会から遠藤哲也委員、藤家洋一委員長代理と依田直委員、処分懇談会からは石橋忠雄さん、深海博明教授、松田美夜子さんと森島昭夫教授、バックエンド対策専門部会から東京大学の小島圭二教授（地質学）と鈴木篤之教授でありました。

地域からの意見発表者には、14人ほど出ていただきました。その方々の顔触れは、広島で原発反対運動の代表をなされている方とか、社会や理学分野の大学の先生方、九州電力の副社長、生活者や消費者の代表の方々であります。

ちなみに、会場参加者は一般募集しましたところ、関心を持たれる方が大変に多く、傍聴希望者は214人ほどありました。会場の収容人数の都合により、抽選で150人の方にご案内を差し上げ、132人が出られました。

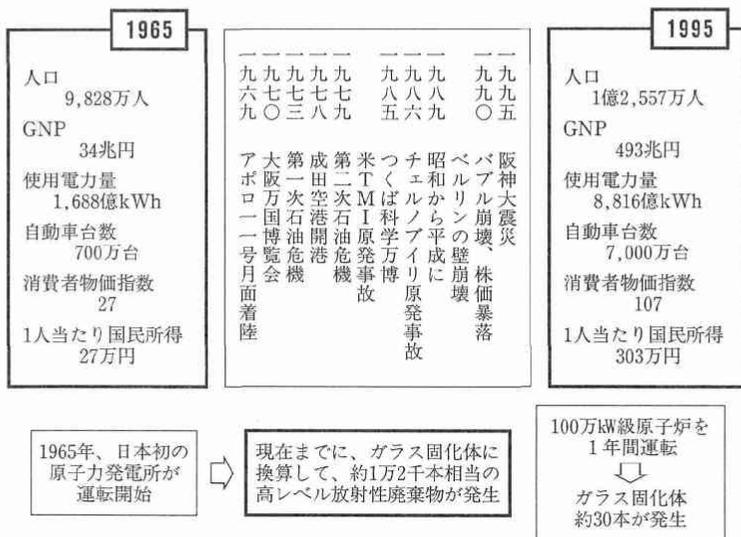
### 高レベル放射性廃棄物について

次に、高レベル放射性廃棄物とその処分の進め方からお話します。

### ここ30余年の社会の変遷

わが国では、1965年の日本原電東海発電所の運転開始以来、はや30余年になります。そ

### OHP1 社会の移り変わり ～わが国初の原子力発電所から現在まで～



の間の経済成長は著しく、社会は、OHP 1 のとおり、大きく変遷しました。およその数字で、人口は1.3倍、消費者物価指数は4倍ですが、GNPは14倍、国民所得は11倍、自動車台数は10倍、そして電力使用量は5倍になっています。

大きな出来事では、大阪万博から始まって、バブルの崩壊等々ありますが、発電電力量の構成比をみますと、OHP 2 に示すよう、かつて主力であった水力が42%から現在およそ10%に低落したのに対し、原子力は33%に増加しています。これに伴い、発生した高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体に換算して1万2,000本に及んでいます。

### 高レベル放射性廃棄物とはなにか

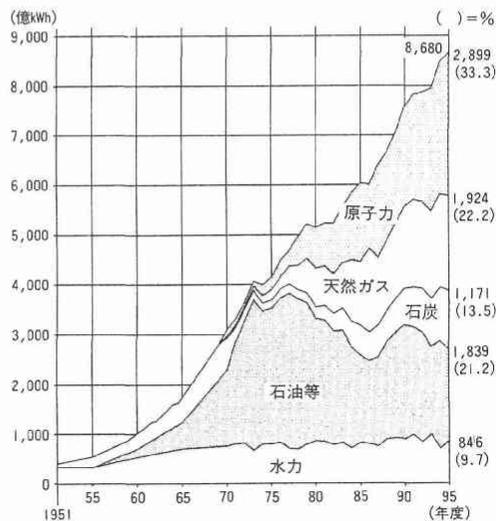
ご存知の方は多いと思いますが、本日の話の中心ですので、ここで「高レベル放射性廃棄物」「ガラス固化体」についてお話しします。原子力発電所で使用するウラン燃料には、核

分裂を起こすウラン235が約3%含まれています。使用済燃料には、このウラン235の燃え残りが約1%、燃えないウラン238が変化してできたプルトニウムが約1%、燃えかすの核分裂生成物が約3%含まれています。

わが国が行っている原子燃料サイクルは、OHP 3 にありますよう、再処理工場で使用済燃料からウラン235とプルトニウムを回収して再び燃料として利用しますので、「高レベル放射性廃棄物」として処分するのは、廃液中にある使用済燃料中の核分裂生成物となります。一方、アメリカが採っている、再処理をしない「ワンスルー」と呼ばれる直接処分では、使用済燃料をそのまま高レベル放射性廃棄物として処分しています。

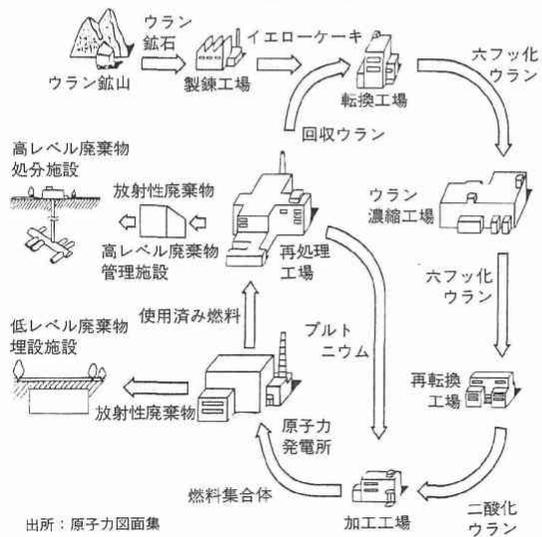
この高レベル放射性廃棄物は、原子力発電所定期検査などから出てくる低レベル放射性廃棄物に比べて、発生量自体は少ないのですが、放射能濃度が高く、また、半減期の長い核種も含まれていますので、その放射能が減

OHP 2 電源別発電電力量の実績



出典：「電源開発の概要(平成8年度)」

OHP 3 原子燃料サイクル



衰するまで、長期間にわたり人間環境から隔離する必要があります。

このため、高レベル放射性廃棄物は、まずタンクに貯蔵したあと、ガラス素材と混ぜて固化し、ステンレス製の特別の容器に封入します。これをガラス固化体と呼んでいます。

(後掲のOHP 8 参照)

### 現在量はガラス固化体換算で約12,000本

わが国の高レベル放射性廃棄物の数量内訳は、平成9年3月末現在、OHP 4 のとおりです。再処理前のは、発電所のプールに入っている使用済燃料が5,900トン、炉内で燃焼中のものが全炉内装荷燃料の2分の1として2,200トン、海外の再処理委託先工場のプール中のものが3,300トン。それから、再処理工程中のものが、国内、海外を合わせて4,300トンあります。

ガラス固化体として貯蔵中のものは、海外再処理工場から返還され、現在、青森県六ヶ所村に保管されているのが68本、動力炉・核燃料事業団（以下、動燃事業団という）東海工場の製造分が62本あります。これらを合計

しますと、前に述べましたとおり、ガラス固化体換算で約12,000本になります。

## 地層処分のコンセプト

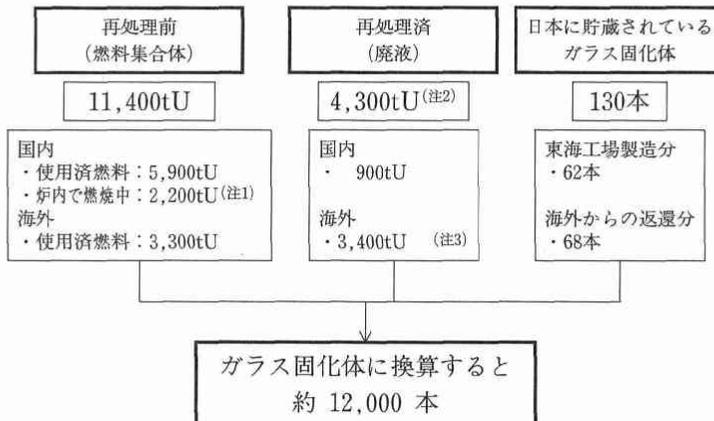
### なぜ地層処分なのか

高レベル放射性廃棄物の処分については、1970年代より国際的に議論が続けられ、数多くの報告書が出されました。

有名なものに、OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）の放射性廃棄物管理委員会が1995年に集約した「長寿命放射性廃棄物の地層処分の環境的及び倫理的基礎」があり、その要旨はOHP 5 のとおりです。

そこでの考えは、一つが「世代間と現世代内の公平」ということ、もう一つが、期限を定めない貯蔵は後世代に保全の負荷を残し、戦争や社会制度に大きな変動が発生したときの信頼性に欠けることから、「最終処分となる地層処分が現在最も好ましい方策」としてい

### OHP4 高レベル放射性廃棄物の現状



(注1) 燃焼途中のため、全炉内装荷燃料の1/2。

(注2) 使用済燃料換算。高レベル放射性廃棄物の重量はこの3%程度。

(注3) 割り当て前のガラス固化体を含む。

(平成9年3月末現在)

## OHP5

### 長寿命放射性廃棄物の地層処分の環境的及び倫理的基礎

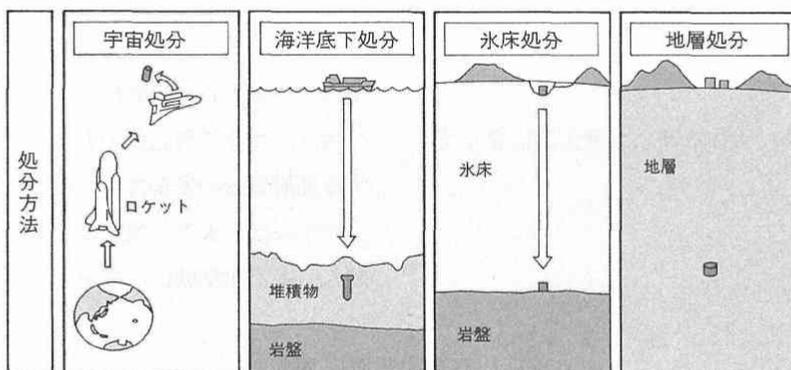
OECD/NEA 放射性廃棄物管理委員会の集約意見 (1995)

「世代間及び現世代内の公平という倫理的原則は、放射性廃棄物の長期的管理の方策の受容可能性を評価する際に、考慮されなければならない」

「監視を必要とし、保全の長期的責任を残し、体制の安定性を想定することのできない将来社会によりやがて無視されるかも知れない貯蔵への信頼によるよりも、最終処分の方策による方が我々の将来世代に対する責任をよりよく果たすことになる」

「生物圏から廃棄物を隔離するのに要する水準を満たす選択肢を考察すれば、地層処分が現在最も好ましい方策」

## OHP6 なぜ、地層処分なのか？



ることです。

処分の方法には、OHP6にありますが、地層処分の他に、歴史的には、宇宙に放り出す、海洋底の堆積物中に埋め込む、氷床の下に沈ませるなどの方法が考えられてきましたが、それぞれにデメリットがあって、地層処分が一番いいという国際的コンセンサスになっております。

### 高レベル放射能を

#### ウラン鉱石の自然レベルに

ここで、地層処分に至るシナリオを要約し

ますと、原子力発電所はウラン燃料を燃やして発電します。使用済燃料は再処理工程に入れ、再利用するウラン、プルトニウムを回収した後、廃液をガラス固化体にします。これは、包蔵する放射能からかなりの発熱がありますので、地表の中間貯蔵施設で30年から50年安全に貯蔵冷却した後、深地層岩盤に埋め込むというものです。一方、アメリカなどは、先ほど述べましたように、使用済燃料を再処理せずそのまま地下に埋め込むシナリオを考えております。

処分懇談会とバックエンド専門部会は、合

同して、昨年3月、すでに地下研究施設の建設に着手し、地層処分の研究でわが国より先行しているカナダとスウェーデンの原子力政策担当の局長さんを招聘し、両国の動向を聞きました。

そのとき、カナダの方が言われるには、地層処分した高レベル放射性廃棄物の放射能レベルは、含有する核種の半減期に従って低下し、1万年くらい経過しますと、最終的には天然のウラン鉱山と同レベルになります。そこまでの安全確保を見通した上で自然に戻します。要するに、鉱山から掘り出したウランを燃料として使用し、また元の自然に戻してウラン鉱石と同レベルの放射能にする、というのがカナダの大きなコンセプトということでした。

国際的にも、大体こういう考え方になっています。

## 深部地質の優れた環境特性

### 多重に組み込まれた安全障壁

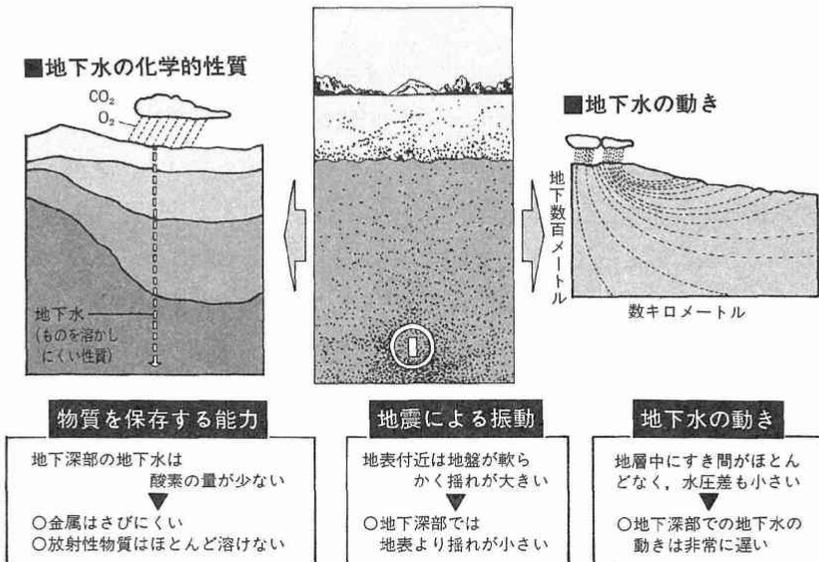
ここで、深部地質環境の特性についてお話します。

深部地層の地質には、OHP7にありますように、地下水に酸素が含まれず、物理的・化学的に物質を保存する能力に優れ、また地震の震動が地表に比べて数分の1ぐらいであり、さらに地下数百mの岩盤中では地下水の動きが非常に遅い、という優れた特徴があります。現在、動燃事業団の東濃地科学センターは、古いウラン鉱山を使って地下深部の科学的研究を行っており、そこでは地上に降った雨水がわずかに125mの地下水まで達するのに、約1万年かかっているという研究データも出ています。

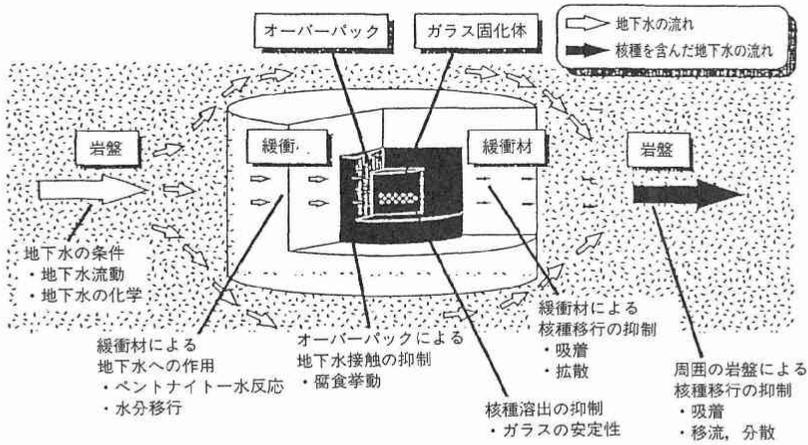
次に、ガラス固化体の形で地下深部に埋設する地層処分の安全性についてお話します。

ガラスは、大きな塊りにすれば岩石ほどに硬く、また化学的には安定で熱に強い性質が

OHP7 深部地質環境の特徴



### OHP 8 地下水シナリオで考慮される現象



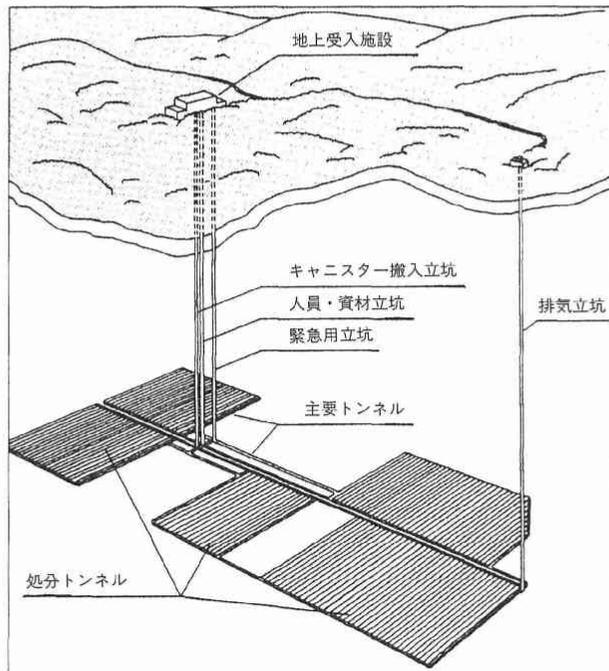
あります。この特徴を利用して、まず高レベル放射性廃棄物をガラス固化体に封じ込めます。

これを、キャニスタと呼ばれる、腐食に強いステンレス製の容器に封入し、その外側をオーバーバックと呼ぶ厚い金属製の容器で囲みます。これだけで、地下水による腐食から

ガラス固化体を千年以上守ることができるのです。さらに、OHP 8 にありますよう、水が浸透しにくいペントナイトと呼ばれる粘土を緩衝材としてそのまわりに詰めます。

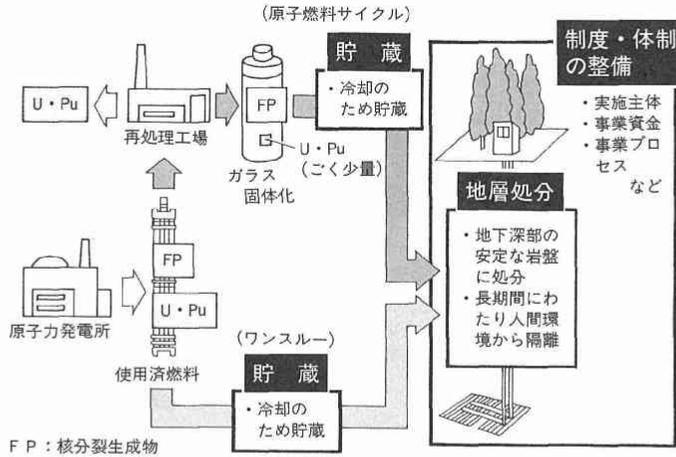
このようにしたガラス固化体を地下水の流れにくい地下数百mのしっかりした岩盤中に

### OHP 9 地層処分場の概念図



出所：原子力図面集

## OHP10 高レベル放射性廃棄物の発生から地層処分まで



処分します。場所は、もちろん、火山の活動や隆起・侵食のないところを慎重に選出することになります。

このように、人工的な、また天然の安全障壁を設けることにより、ガラス固化体中の放射性物質は、減衰するまで長期にわたり人間環境から隔離されることになるのです。

最終処分場の概念図はOHP 9 に示すようなもので、地下数百mのところガラス固化体を処分するトンネルが設けられます。

ガラス固化体の現在量は、1万2,000本ほどですが、2030年になりますと、今後建設される原子力発電所の規模にもよりますが、4万本から7万本ぐらいと想定され、最終処分場の大きさは2 kmから3 km四方程度と見込まれます。

以上に述べました高レベル放射性廃棄物の発生から地層処分までを図示しますと、OHP10のとおりです。

### 世界各国の地層処分の動向

海外における最終処分の動向は、OHP11の

とおりです。

アメリカでは、1982年、連邦エネルギー省（DOE）が実施主体に決まりました。事業資金は、電力会社が国の管理する基金への掛け金として積み立てるよう法律により制定されています。1993年には、処分子定地ユッカマウンテンの適性調査をするため地下探査施設の建設が始まり、現在そこでの研究が進められており、2010年に処分開始の予定になっています。廃棄体は、今はワンスルーですので使用済燃料ですが、ガラス固化体にしたものも多数あり、これをも含めて2つの形態になっています。

カナダでは、公営企業である電力会社のオンタリオ・ハイドロ社を中心に、実施主体の設立が進められています。処分開始時期は未定ですが、1983年に地下研究施設の建設が始まり、現在も研究が進められており、それぞれの電力会社が事業資金を引当金として確保しています。

スイスでは、処分場設置の準備とプロジェクトの策定を行うため、1972年、スイス放射

## OHP11 高レベル放射性廃棄物処分に係る内外の動向

国名	実施主体	事業資金 確保開始時期	地下研究施設 建設開始時期	処分開始	廃棄体形態
アメリカ	連邦エネルギー省 (DOE)	1983	1993	2010	使用済燃料 ガラス固化体
カナダ	未定 (オンタリオ・ハイ ドロ社を中心に検討中)	1982	1983	未定	使用済燃料
スイス	スイス放射性廃棄物管理 協同組合 (NAGRA)	1978	1983	2020 早期ケース 2050 遅延ケース	使用済燃料 ガラス固化体
スウェーデン	スウェーデン核燃料廃棄 物管理会社 (SKB)	1981	1990	2008 実証処分 2020 フルスケール	使用済燃料
ドイツ	連邦放射線防護庁 (BfS)	1979	1986	2012	使用済燃料 ガラス固化体
フランス	放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)	1975	1996 建設申請	未定	ガラス固化体
日本	2000年目安に設立	98年度に制度 確立の費用算 定に取組み	早期実現	2030年代から遅くとも 2040年代半ば目途	ガラス固化体

性廃棄物管理協同組合 (NAGRA) が設立され、1983年に地下研究施設の建設が始まり、現在研究が進められています。事業資金は電力会社が分担金として拠出し、将来の処分の資金は電力会社が引当金として確保しており、早ければ2020年に処分を開始する予定になっています。

ドイツでは、実施主体として、1989年、連邦放射線防護庁 (BfS) が創設されました。事業資金は、電力会社が引当金として確保しています。1986年には処分予定地の調査のための地下探査施設の建設が始まり、現在研究が進行中であり、2012年ころには処分開始となる予定です。

フランスでは、1992年、放射線廃棄物管理機関 (ANDRA) が実施主体として原子力庁から独立しました。事業資金は、主に公営企業である電力公社が引当金として確保しています。1996年、3ヶ所での地下研究施設の建設が申請されており、処分開始時期は未定ですが、2006年までに最終的な処分の方式が決定されることになっています。

### わが国における地層処分の動向

わが国における高レベル放射性廃棄物処分に係る事業と研究開発、安全規制の展開を示すのがOHP12です。

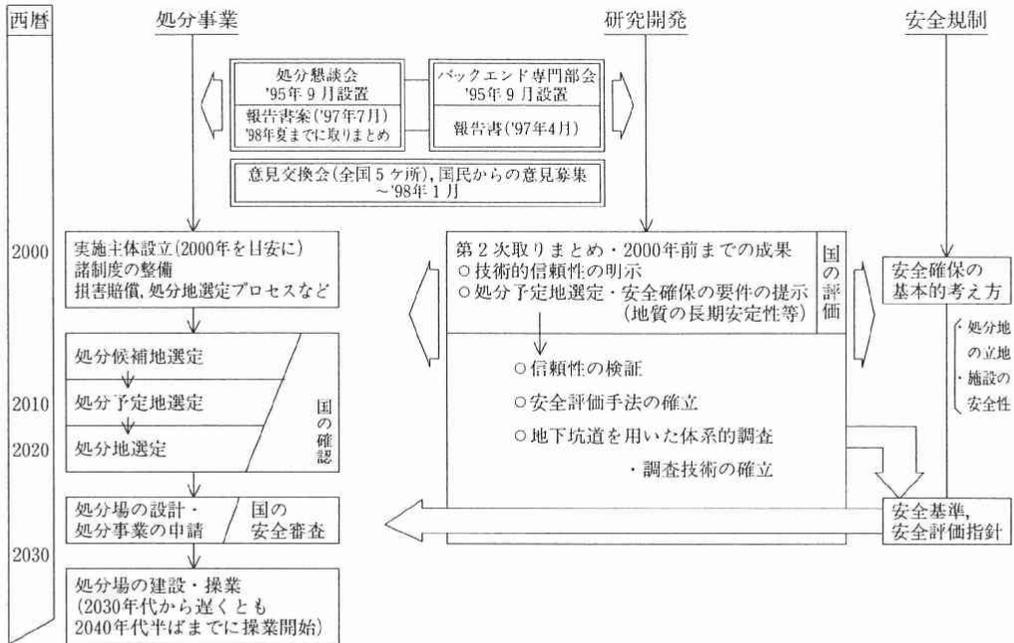
高レベル放射性廃棄物の処分問題は、これまで原子力委員会でもいろいろ議論がありましたが、今回、いつ、どこで、誰が、なにを、どうするといいういわゆる5W1Hが、包括的に明確にされました。

「処分懇談会」の関係では、昨年7月に出された報告書案に、意見交換会、意見募集の結果を織り込んだ報告書が、本年夏までに取りまとめられる予定になっております。

「バックエンド対策専門部会」からは、研究開発に関して、動燃事業団が中核の推進機関となり、2000年前までにまとめることになっている、「2000年レポート」あるいは「第2取りまとめ」と呼ばれている技術報告に対して、詳細なガイドラインがまとめられております。

処分事業に関しては、現在、実施主体の設

## OHP12 高レベル放射性廃棄物処分に係る事業と研究開発，安全規制の展開



立，さらに事業資金確保の制度確立，損害賠償，地下利用制限，地域との共生方式，あるいは候補地の選出から予定地の絞り込み，最終的な処分地決定という一連のサイト選定プロセスなどに係わる諸制度の整備を，2000年を目途に取り組んでおります。

実施主体が設立された後，一番重要なサイト選定の作業を電力会社と国も協力して，地域，あるいは国民の方々の納得を得ながら，段階的に進めることになると考えています。

### サイト選定プロセスの要となる

#### 安全性確保の明示

先に述べました「2000年レポート」に求められる重要事項は，OHP12の中央の枠にありますよう，その第一が技術的信頼性の明示，第二が，バックエンド専門部会が処分予定地選定のために強く指摘している技術的要件，

第三が，安全規制面の指針類の策定のための技術的基盤であります。

OHP12の右側にある安全規制は，現在，原子力安全委員会の放射性廃棄物安全規制専門部会等で審議されています。

処分場の設計，処分事業の申請に対する国の安全審査は2025年頃から始まる見込みです。細かい安全基準や指針類は，時間をかけ，2000年以降も継続して実施される研究開発の結果を取り込んで出されますが，処分地選定に至る一連のプロセスの前には，安全規制側から基本的な安全確保の考え方が明示されなければ，地域との話し合いの難行も予想されます。

処分事業，研究開発と安全規制，これらが三位一体となって着実に動いていくことが，2035年頃の最終処分開始に道を拓く基本となります。

**OHP13 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の  
今後の進め方について**

平成9年4月15日 原子力バックエンド対策専門部会  
(部会長：熊谷 信昭 大阪大学名誉教授)

- 地質環境の長期安定性
- 処分場予定地の選定と安全基準の策定に資する  
技術的拠り所
- 第2次取りまとめに対する透明性の確保
- 研究推進体制
- その他

---

**バックエンド対策専門部会報告書の要点**

---

**地質環境の長期安定性の確保と**

**研究推進体制の拡充などを**

バックエンド対策専門部会の報告書「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方」に取り上げられた主要事項は、OHP13のとおりです。

そのうち、今回最もしっかりした議論がなされたのは、処分地の地下深部における地質環境の長期安全性であります。火山活動や地震が非常に多い日本の国内に、地層処分の適地が見つかるのかという問題です。

ガラス固化体の放射能は、先ほど述べましたように、1万年ほどしますと天然ウラン鈾のレベルまで低下しますから、10万年ぐらいの期間に亘って地質的に安定な、2 kmから、3 km四方ぐらいの土地を見つけることが求められます。この部会は、これは可能であろうとしており、今後、2000年に向けて多くのデータを集積し、地質環境の長期安定性の見通

しを示すよう提言しております。

もう一つ重要なのは、研究開発の進め方です。これには、国民の理解と信頼を得つつ推進することが必要であり、また、関連する広汎な諸分野の人材を活用しつつ、研究成果を有機的に総合することが重要です。これまで動燃事業団が中心になって推進してきましたが、今後は、OHP14にあります研究機関に、本日の研究会の主催者であるエネルギー総合工学研究所なども加え、一体となって展開したいと考えております。また昨年9月には、「地層処分研究開発協議会」という組織を発足させ、研究の連絡調整や成果の共有など体

**OHP14 研究開発の進め方**

**○関係研究機関の協力**

- ・動燃事業団
- ・日本原子力研究所
- ・地質調査所
- ・防災科学技術研究所
- ・財電力中央研究所
- ・大学
- ・民間企業
- ・電気事業者  
等

**○欧米、アジア諸国との協力**

- 成果のわかりやすい、積極的な公表
- 国際的なレビュー

## OHP15 高レベル放射性廃棄物処分に向けての 基本的考え方（案）

平成9年7月18日 高レベル放射性廃棄物処分懇談会  
(座長：近藤 次郎 元日本学術会議会長)

- なぜ、いま、高レベル放射性廃棄物問題を議論するのか
- 廃棄物処分について社会的な理解を得るために
- 処分技術への理解と信頼
- 事業資金の確保
- 実施主体のあり方
- 諸制度の整備
- 立地地域との共生
- 処分地選定プロセス
- いま、何をしなければならないか

制の強化を図りました。

欧米諸国には、研究施設が充実し、研究が進展している国もかなりありますので、研究の国際レビューを受けるなど、客観性のある成果のとりまとめを目指したいと考えています。また、国際協力を積極的に進め、アジア諸国の研究者に対してはわが国の研究施設の活用などによる協力の拡充も考えております。

### 処分懇談会報告書（案）の骨格

#### 国民への訴えかけを使命に

処分懇談会の報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方（案）」は、原子力委員会の従来の報告書とは構成が大分変わっており、OHP15にありますよう、「なぜ、いま議論するのか」「社会的な理解を得るには、どうするのか」から始まり、その上で、施策の提言という構成です。

この報告書の位置づけは、単に関係行政官庁や電気事業者への施策の提言ではなく、国

民の方々にこういう問題の存在を訴えかけることがこの報告書の使命であると、強調されております。

#### 「なぜ、いま、議論をするのか」

報告書の書き出しには、OHP16のとおり、先ほどのOECDの考えと同じものが掲げられております。

わが国が原子力発電を開始してすでに30数

#### OHP16 なぜ、いま、 高レベル放射性廃棄物 処分問題を議論するのか

「われわれが発生させた廃棄物については、われわれの世代がその処分に関する制度を確立する必要がある。

後世代に影響を及ぼす可能性のある廃棄物の処分について、後世代に負担を残さないことがわれわれの責務である。

原子力発電により社会生活を維持している現世代が廃棄物処分について先送りするならば、そのツケは後世代に残されることになる。われわれは今できることについて、早急に着手しなければならない」

年、人生になぞらえば一世代になります。いまやわれわれの世代がその処分に関する制度と体制を確立する必要があること、後世代に負担を残さないこと、さらに、いまできることから直に着手する必要を訴えています。

### 青少年教育が社会的受容の大前提

社会の理解を得るには、OHP17にありますような、広範な議論、透明性の確保と情報公開、さらに教育と学習が重要としています。

これまで全国各地で開催しました意見交換会では、皆さんから教育に関し熱心なご意見が出されました。特に女性の方からは、自分の子供たちにこのような問題があることを教えたいが、それに適した書物や施設がないとの苦言もいただきました。

大阪の意見交換会では、この問題に深い関心をお持ちの大学の先生が参加され、興味深い研究の紹介がありました。アメリカ、フランス、ドイツ、イギリスの4カ国と日本の小中学校教育におけるエネルギー、環境、原子力分野のテキスト、カリキュラムの比較です。日本のものは理科、家庭科などに断片的に書いてあるだけなのに対して、外国のものは、体系的であって、バイアスをかけて推進とか反対を説くものではなく、客観的なデータがきっちり書かれてあるとのことでした。

いずれにしましても、原子力や高レベル放射性廃棄物処分の問題の解決には、遠回りではあっても、次世代を担う青少年層の教育が大前提ということでもあります。

### 事業資金は受益者負担の考えで

事業資金の負担は、OHP18にありますよう、受益者負担の考えに立ち、電気利用者が負担

### OHP17 社会的な理解を得るために

#### ◇広範な議論

#### ◇透明性確保と情報公開

- 制度・組織の透明性の確保
  - ・法律などによる明確化
  - ・透明性の高い決定プロセス
  - ・公正な第三者によるチェック
- 情報公開の徹底
  - ・誠実な対応
  - ・多様性と双方向性
  - ・わかりやすい情報の継続的な提供

#### ◇教育・学習の重要性

- ・教育や学習の機会の提供
- ・研究施設の公開・現場訪問による体験

### OHP18 事業資金の確保・負担

『処分に直接要する費用は、受益者負担の考え方から電気料金の原価に算入し電気利用者が負担することが適当』

するのが適当としています。通産省では、今年から、事業資金の合理的な算定を行い電気料金に算入する方向で、審議会などで議論することになっております。

### 国は法制定、監督と安全規制を

#### 事業実施は民間主体で

実施主体のあり方は、OHP19に示すものとしています。

実施主体が備えるべき要件を、技術的能力、経済的基礎、運営・管理能力等とした上で、事業は国が直接行うのではなく、民間を主体に行うとしております。純民間の株式会社なのか、それとも公益法人なのか認可法人なのかなどは、処分懇談会の議論というよりも、

### OHP19 実施主体のあり方

- 実施主体の要件
  - ・技術的能力，経理的基盤，運営・管理能力，長期安定性，柔軟性，信頼と安全確保
  - ・国が直接事業を行うのではなく民間を主体とした事業
- 国は，
  - ・事業に対して法律と行政による監督と安全規制
  - ・立法措置などにより制度と体制を整備
  - ・実施主体を明確に位置づけ，サイト選定のプロセスの中で適切な役割
- 電気事業者は，国民の理解を得るための活動を進め資金の確保と処分地選定について実施主体と一体となった取り組み
- 処分地の選定にあたり国，電気事業者，実施主体が協力して進めるべき

極めて法技術的な問題になりますので，処分懇談会の報告書のとりまとめを踏まえて，関係者間で，2000年の設立に向けて調整していくことになろうと思われま

す。国は，法律を作り安全規制を厳正に行い，実施主体を監督するということであり，電気事業者は，資金の確保と処分地選定について，事業主体と一体となった取り組みをすることが述べられております。

#### 地域の主体性を尊重する立地共生を

立地地域との共生の要点は，OHP20に示すものです。

共生の考え方は，処分事業が，地域における住民，自然環境，産業との調和ある持続可能な共生関係を築き，あわせて地域が自立的に発展し，住民の生活水準の向上や地域の活性化につながるものでなければならないとしています。

このような共生関係を考えるにあたっては，立地地域の主体性を尊重しなければならず，地域の特性を活かした方策を地域が主体

### OHP20 立地地域との共生

- 持続可能な共生関係  
(住民，自然環境，産業との調和)
- 立地地域の主体性の尊重
- その他の地域との連帯

となって企画・選択する仕組みをつくる必要であるとしています。

処分懇談会の議論の中からも，今までの電源三法に基づく地域振興策，もちろん漸次変わりつつありますけれども，これには箱もの中心であったり，あるいは押しつけスタイルというような批判も聞かれました。このほか，地域の主体的な取り組み，さらに大電力消費地域との連携や連帯が重要，との指摘も受けております。

#### 明確化が必要な処分地選定プロセス

処分事業の中で処分地の選定は特に重要であり，選定プロセスの基本的考え方は，OHP21

### OHP21 処分地選定プロセス

- ◇法律などによる明確化
- ◇国レベル
  - 事業計画や選定過程の妥当性について確認
  - 公平な第三者によるレビュー
- ◇地域レベル
  - 当事者が参加した検討の場
  - 住民の意見の反映
- ◇電気事業者
  - 理解を得るための活動
  - 実施主体と一体となって処分地の選定を行う

のとおりとしています。

繰り返しになりますが、まず実施主体の設立から始まり、処分地選定に続いて100年にわたると見込まれる処分事業において、実施主体、国、電気事業者が果たす役割を、法律などにより明確にしておく必要があるわけです。

国は、実施主体による処分地の選定過程や活動を監督するとともに、処分の安全性の観点からの規制、各段階で必要となる制度と体制の整備をすることになります。さらに、これらについて、公正な第三者によるレビューの実施が考えられます。

地域レベルでは、実施主体と地域住民など関係者間で生じる様々な課題について、当事者が参加して検討する場を設けることが重要としています。

電気事業者は、廃棄物の発生者として、国民の理解を得るための活動を進め、立地について多くの経験を有する立場から、実施主体と一体となって処分地の選定を行うべきとしています。

また、この問題の検討にあたっては、フランスで、実施主体と地域住民の間で情報の仲

立ちや討議を行っている地域情報監視委員会（CL I）や、政府と地元自治体・住民間の協議を行っている放射性廃棄物交渉官、さらにはカナダで事業者・自治体・地域住民で構成されているコミュニティ対応委員会（CLC）などの活動の事例があり、これらを参考にして、わが国の国情に合ったプロセス・体制を選ぶべきとしています。

### 新規計上された処分事業化調査費

高レベル放射性廃棄物処分に関わる通産省、科技庁を合わせた政府予算の推移は、OHP22のとおりです。厳しい予算事情にありますが、動燃事業団を中心とした地層処分の研究開発、また深部地質環境の科学的研究とも大きく伸びております。

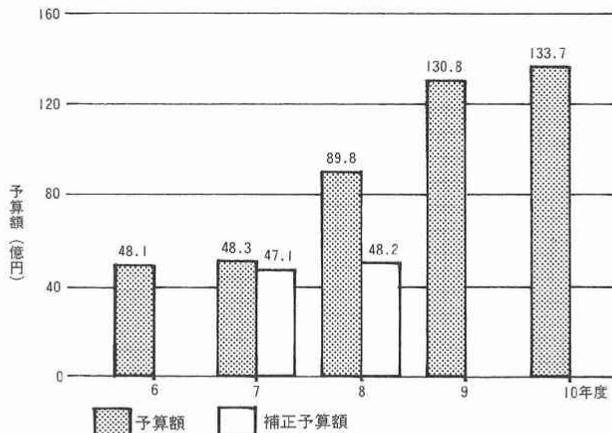
特にご注目いただきたいのは、新規に通産省、科技庁が計上しております処分事業化調査費の8億円です。その内容は、技術的な項目ではなく、行政側として制度と体制の整備のために準備しておく必要があるとした調査事項です。

その一つは、処分場管理の問題でして、特に処分坑の閉鎖前後、あるいは閉鎖後に、いかなる管理をとるのか、モニタリングはいつまでやるのか、記録の保存はソフト、システム、ハードおよび技術の面でいかなることができるのか、あるいは各国でやっている方法などの調査研究です。

第二は、原子力安全委員会事務局が計上している安全基準整備のための調査費用です。これを活用して、地層処分のための安全確保の基本的考えが時宜を得てまとめられることが大切です。

もう一つ重要なのは、通産省に計上されて

### OHP22 高レベル放射性廃棄物処分に係る政府予算の推移



#### 【平成10年度予算の主な項目】

- 地層処分研究開発 61億円 (65億円)  
(性能評価研究, 処分技術開発等)
- 深部地質環境の科学的研究 64億円 (66億円)  
(地質環境調査, 地質の長期安全性に関する研究等)
- 処分事業化調査 8億円 (0億円)  
(処分事業管理システム, 処分基準整備, 費用算定システム等)

おります費用算定システムの開発費。最終処分事業資金の合理的な算定とその制度化にとって必須のものです。

これらは、バックエンド対策専門部会、処分懇談会の議論を踏まえて、行政として新規に要求することになった予算項目であります。

されることであり、処分事業に対する国民および地域住民の理解を得ることあります。

それには、この問題について国民各層の間で議論が行われ、一人一人が自らの身に迫った問題という認識を持つことが望まれます。

## ま と め

### さいごに

—いま、何をしなければならないか—

まとめとして、OHP23により、処分懇談会報告書案の最後のくだりをご紹介します。

高レベル放射性廃棄物処分の推進に必要なことは、廃棄物処分の安全性が確保され、透明性ある制度が作られ、責任体制が明らかに

### OHP23

#### さいごに

—いま、何をしなければならないか—

#### ○国民各層における十分な議論

一人一人が自らの身に迫った問題と認識

#### ○情勢の変化に柔軟に対応

#### ○事業資金：

1998年度には処分費用の算定に着手

#### ○実施主体：

2000年目途に設立

#### ○深地層の研究施設：

早期実現と施設の公開

#### ○政治の場：

現世代の意思を立法の形で明確化

国、電気事業者、実施主体などの関係機関は、それぞれの役割を果たすと同時に、国民各層における議論が高まるよう努めるとともに、長期的な課題ゆえ、情勢変化にも柔軟な対応が可能にしておくことが必要です。

事業資金の確保については、制度確立に向けて1998年度には処分費用の算定に取り組み、実施主体については、2000年目途の設立に向けて早急に着手すべきとしています。

また、諸外国では深地層の研究施設やその研究成果を公開して、一般の人々の理解を得るように努めています。わが国においても、まずはこのような施設の早期実現を図り、この面からも国民の理解と信頼を得ていく努力が必要です。

他方、原子力発電に伴う高レベル放射性廃棄物処分の問題については、政治の場においても、現世代の意思を立法の形により明確化

する必要があります。繰り返しますが、そのためにも、国民の各層における議論が十分に行われ、国民の理解と信頼を得るための努力がなされなければなりません。

そういうことで、処分懇談会は、冒頭申しましたように、全国各地で意見交換会をやり、国民の意見を求め、ここに述べられておりますとおり、できるだけ広く皆さんにこの問題を知っていただくよう努めてまいりました。こうして集った国民の方々の意見を踏まえて、最終的に報告書を取りまとめる段階にきています。

きょうご出席の方々にも、お帰りになったらそれぞれの職場で、あるいは地域のコミュニティの方々にお話をさせていただき、この問題に関する輪をどんどん広げていただきたいと思います。

どうぞよろしくお願いいたします。



〔技術解説〕

# 持続可能なシステム実現のための エネルギー技術開発と ライフサイクルアセスメント



松橋隆治 (東京大学 助教授  
大学院工学系研究科)

## 1. 持続可能な発展について

エネルギー資源の超長期にわたる利用形態を考える上で、最も重要な概念は「持続可能性」ということである。これは、資源の有限性と環境問題を考慮に入れた上で、将来の人類の厚生を妨げることなく、現在の人類の厚生を保証する資源の利用をおこなうというものである。エネルギー経済の分野で持続可能な発展を論ずる場合、通常再生不能資源から再生可能資源への長期的移行という形で論じられる。

しかし、工学的観点からは上のような再生可能資源と再生不能資源の区別には問題点がある。それは、現状の再生可能資源利用技術の設備製造には、再生不能資源の投入が不可欠であるという点である。<sup>(1)</sup> 著者等は、エネルギー収支分析の概念に基づいて様々な技術の評価をおこなった。<sup>(2)</sup> この中には、太陽光発電、風力発電などの典型的な再生可能資源利用技術も含まれるが、分析の結果、設備建設時に相当量の化石燃料が投入されていることを定量的に確認した。

そこで、再生不能資源との比較のため、設備建設のために要するエネルギーと燃料とし

てのエネルギーの双方を加味した統合エネルギー収支の概念を導入した。<sup>(2)</sup> この指標によると、再生可能資源と再生不能資源の利用技術の間には本質的な相違はない。ただし、再生不能資源の利用技術では、(ヒートポンプ等を除いて) 統合エネルギー収支が1を越えることはないが、再生可能資源利用技術では、1を越える可能性がある。すなわち、再生可能資源は、見方を変えると化石燃料の有効利用を図るための技術であるといえる。

そこで、この持続可能性を判定する新たな定義付けが必要である。以下では、この定義をおこなうために、まず統合収支の概念とそのトータルシステム内での算定につき、具体例でみていくこととする。

## 2. 資源、エネルギーのシステムとその持続可能性

### 2.1 持続可能な発展の動学的考察

本節では、動学的側面から持続可能な資源利用についての示唆を得る。

このため、資源利用による便益を定量化するが、ここでの便益とは、資源の提供するサービス(照明による明るさ、乗用車による人の移動、冷暖房による快適さ)によるもので

あり、一次資源の消費そのものによるのではない。すなわち、効用を表す関数  $\pi$  は、ライフサイクル効率を用いて、一次資源消費ではなく、最終消費に基づく関数で表現する必要がある。すなわち、エネルギーシステムのライフサイクル統合収支  $\mu$  を用いて、以下の導出をおこなう。

$R$  を (単一の) 資源の残存量、その時間微分  $\times (-1)$  を生産量として定式化する。 $u$  は最終エネルギーとしての消費量を表し、 $\alpha$  はライフサイクル効率の改善率を表す。

$$\dot{R} = -\frac{u}{\mu} = -\frac{u}{\mu_0 \exp(\alpha t)}$$

$$I = \int_0^\infty \left[ \pi \left\{ u(t) \right\} \exp(-\gamma t) \right] dt \rightarrow \max. \quad (1)$$

$$R_0 \geq R(t) \geq 0 \quad (0 \leq t \leq \infty)$$

ここで、 $\gamma$  は割引率を示し、関数  $\pi$  はエネルギーの消費によって得られる便益を示す。ここでは、限界効用が低減することを考慮して以下のように表現する。

$$\pi \left\{ u(t) \right\} = \left\{ u(t) \right\}^\omega = \left\{ (-\dot{R}) \mu_0 \exp(\alpha t) \right\}^\omega$$

$$0 < \omega < 1$$

(1), (2)式より変分法におけるオイラー方程式を用いて(3)式が導かれる。

$$\frac{\ddot{R}}{\dot{R}} = \frac{\alpha\omega - \gamma}{1 - \omega} \quad (3)$$

ゆえに、(4)式が成り立つ。

$$R = A \exp \left( -\frac{\gamma - \alpha\omega}{1 - \omega} t \right) \quad (4)$$

(4)式から、ある時点での時刻  $t$  における資源の耐用年数  $R/P$  を算定してみると、(5)式のように  $\gamma, \alpha, \omega$  一定の条件下で定数を取ることが分かる。

$$\frac{R}{P} = \frac{R}{(-\dot{R})} = \frac{1 - \omega}{\gamma - \alpha\omega} = \text{constant} \quad (5)$$

また(2), (4)式より、(6), (7)式が導かれる。

$$u(t) = A \mu_0 \left( \frac{\gamma - \alpha\omega}{1 - \omega} \right) \exp \left\{ \left( \frac{\alpha - \gamma}{1 - \omega} \right) t \right\} \quad (6)$$

$$\pi \left\{ u(t) \right\} = A^\omega \mu_0^\omega \left( \frac{\gamma - \alpha\omega}{1 - \omega} \right)^\omega \exp \left\{ \omega \left( \frac{\alpha - \gamma}{1 - \omega} \right) t \right\} \quad (7)$$

これより、以下の点が示唆される。

- 有限の資源の最適消費パターンは、 $\gamma, \alpha, \omega$  一定の条件下で一定の耐用年数を持つ。
- ただし、どの耐用年数 ( $R/P$ ) で消費をおこなうかは、割引率  $\gamma$ 、ライフサイクル効率の改善率  $\alpha$ 、効用のパラメータ  $\omega$  によって決定される。特に  $\gamma$  が大きいほど  $R/P$  の小さい (初期の最終消費量の大きい) 地点で消費を開始し、急速に消費量を減少させるものとなる。
- 有限の資源に基づく最終消費エネルギーおよび効用の減少は、技術開発によるライフサイクル効率の改善 (年率  $\alpha$ ) により抑えることができる。 $\alpha > \gamma$  の場合には、エネルギー最終需要  $u$  および便益  $\pi$  は時間とともに増加する。

ここでの分析により、動学的に最適な資源利用の性質が明らかになった。しかし、重要なことは実際の資源が、上の最適な消費パターンとどの程度乖離しているかを明らかにし、これを持続可能な利用に近づけるための技術開発への指標を得ることである。そこで、次節では、実資源のデータと技術開発の位置づけについて考察する。

## 2.2 エネルギー技術のライフサイクル統合収支

エネルギー資源は、その採掘から利用に至るまでに図1のような一連のプロセスを経る。これを、エネルギー資源のライフサイク

ルと呼ぶ。いま、最終需要部門のエネルギー需要から、エネルギー資源の必要量を算定するには、これらの効率の積によるライフサイクル効率 ( $\mu = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4$ ) を求める必要がある。

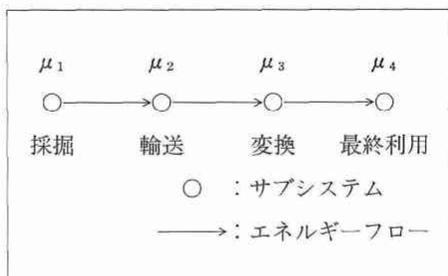


図1 エネルギー資源のライフサイクル

また、各々の効率  $\mu_i$  については、各プロセスに必要な設備建設のための投入エネルギーと、燃料として消費されるエネルギーを加味した統合エネルギー収支の概念により算定されている。

### 2.3 資源、環境の持続可能限界の定量的考察

本節では、前節までで定義したライフサイクル「統合収支」 $\mu$  を用いてエネルギーを含む主要な資源およびCO<sub>2</sub>などの環境排出物に関する持続可能性を定義する。具体的には、2.1節で定義したように、最適な資源利用パスの指標として、資源、環境の耐用年数(R/P)を評価し、現在の技術や需要の変化率により耐用年数が低下しないこと、すなわち、(8)式を持続可能な条件とする。

$R_0$  : 初期時点での当該資源の埋蔵量

$\gamma$  : 探査、採掘技術の向上による  $R_0$  の増加率

$\mu_0$  : 初期時点での当該資源のライフサイクル統合収支

$\alpha$  :  $\mu$  の年上昇率

$s$  : 当該資源の他の資源による年代替率

$C_0$  : 初期時点での当該資源のリサイクル率。(ただし、エネルギー資源の場合はリサイクルは不可能であり、カスケーディング率を示す)

$c$  :  $C_0$  の上昇率

$P_0$  : 初期時点での当該資源の生産量

$D_0$  : 初期時点での当該資源の最終需要

$b$  :  $D_0$  の年増加率

資源の耐用年数、 $f(R, P) = R/P$  として関数  $f$  の変化率より以下のように持続可能条件が算定される。

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\mu_0 R_0}{D_0} \left\{ \frac{\alpha + r + s - b}{1 - C_0} + \frac{C_0 c}{(1 - C_0)^2} \right\} - 1 \geq 0 \quad (8)$$

$$\alpha + r + s - b + \frac{C_0 c}{(1 - C_0)} \geq \frac{D_0}{\mu_0 R_0} (1 - C_0) = \frac{P_0}{R_0} \quad (9)$$

$$\alpha + r + s + \frac{C_0 c}{(1 - C_0)} = a \text{ とおくと}$$

$$a - b \geq \frac{P_0}{R_0} \quad (10)$$

(9)式の条件は再生不能資源を念頭においているが、再生可能資源でも本質的には同じ条件となる。(ただし、ここではバイオマスのようなストック系の再生可能資源を念頭におく。太陽光発電システム、風力発電システムなどのフロー系の再生可能エネルギーは枯渇を考慮する必要がないので、これらのシステムについては、再生不能資源の投入のみを考慮する)。再生可能資源の持続可能条件は、(9)式における  $\gamma$  を再生可能資源のストック総量に対する再生率と解釈し直す必要がある。環境排出物もこれを特殊な「負の資源」と解釈し、最大許容蓄積量を資源量  $R_0$  とし、環境による吸収率  $C$  の分だけ、大気中蓄積量が減少したと解釈すれば、資源の持続可能性条件と等しい。

ここまで、再生不能資源、再生可能資源、環境排出物の各々について、その持続可能条件を見てきた。これらを見ると三者が本質的に類似した条件であることが分かる。すなわち、再生可能資源における資源の再生率と再生不能資源における（探査、採掘技術の進歩による）埋蔵量の増加率が対応しており、そこで、さまざまな資源および環境排出物の持続可能条件を統一された枠組みで取り扱うことができる。すなわち、埋蔵量の増加率あるいは資源の再生率( $\gamma$ )、技術による統合収支の改善率( $a$ )、他の資源による代替率( $s$ )、リサイクル（カスケード）率とその改善率で決定される左辺第5項( $C_0c/(1-C_0)$ )の和から、最終需要の増加率 $b$ を減じた値が、当該資源の可採年数の逆数以上であれば、その需給システムは持続可能である。これにより、資源の有効利用技術や有効採掘技術、カスケード率の向上などをおこなった場合に、持続可能性の向上にどの程度貢献するかを算定できる。

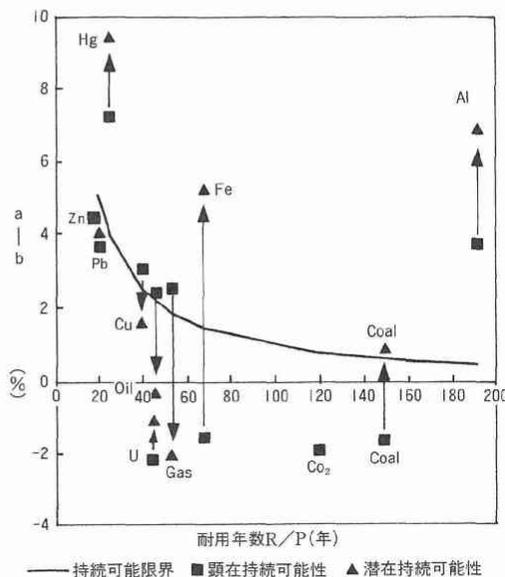


図2 各資源の顕在持続可能性および潜在持続可能性

この概念に従い、さまざまな資源の持続可能性条件を以下に図示する。図2は(10)式で計算された持続可能限界を実線で記し、それに対する各資源利用状況をプロットしたものである。算定のための前提条件を以下に示す。

- 各資源の確認埋蔵量と現在の生産量の比より可採年数 ( $R/P$ ) を求め、各資源の  $R/P$  に対する持続可能限界 (10式右辺の値) を算定する。
- なお、各資源の(10式左辺の値の算定には、各々'70~'90 (鉱物資源), '80~'90 (エネルギー資源) の世界全体の平均値を採用した。
- 前二項の差より、各資源の現状と持続可能限界の乖離の度合を算定することができる。これを顕在乖離度とよぶ。
- 各資源の埋蔵量については、今後の資源探査、採掘技術の向上に伴い、増加すると考えられる。この確認埋蔵量の増加を考慮するため、各資源の確認埋蔵量と究極埋蔵量(ただし、鉱物資源の究極埋蔵量は、地殻存在度に比例定数を乗じた算定結果である)を評価し、今後50年間で確認埋蔵量が究極埋蔵量に一致するとした。これにより、(10式における $\gamma$ を算定した。
- 前項から求められた式の左辺の値と右辺の値との乖離は各資源の潜在的な枯渇の危険性を表している。そこで、この値を潜在乖離度とよぶことにする。
- 図中の $CO_2$ とは、 $CO_2$ 放出量を大気中残留率に応じて補正し、負の資源としての持続可能限界と現状値を求めたものである。資源量に相当する大気中の許容濃度については、産業革命以前の280ppmの2倍とし算定している。

以上の前提条件のもとに算定された図2をみると、いくつかの鉱物資源の確認埋蔵量による評価ではプロットされた評価値が実線より上にくる、すなわち持続可能な状態にあることが分かる。例えば、銅については、ヒーブリーチングなど新採鉱技術の実用化などもあり確認埋蔵量が増加したため、顕在乖離度の指標では持続可能と判定されているが、潜在乖離度では持続不可能と判定されている。これは銅の地殻存在度が低く、究極埋蔵量が小さいためである。これとは逆に鉄の場合、近年の生産量の増加を反映して顕在乖離度では持続不可能と判定されるが、地殻存在度が高いため潜在乖離度では持続可能となっている。このように、リサイクルや採鉱技術の進展などにより、鉱物資源の顕在持続可能性が維持されているが、超長期的な資源リスクを評価するためには、潜在持続可能性も考慮する必要がある。

エネルギー資源の顕在持続可能性に関しては、特に石油、天然ガスが最近10年間の確認埋蔵量の増加もあり持続可能と判定されているが、潜在持続可能性では石炭を除き持続不可能と判定され、全体的に乖離度が高くなっている。ただし、ウランは軽水炉の利用のみを前提とした場合は持続不可能と判定されるが、高速増殖炉などの技術的、社会的問題が解決され、その世界的普及が進めば持続可能性が大幅に改善される。

CO<sub>2</sub>は上述したように負の資源と考え、その大気中残留率を考慮して補正している。CO<sub>2</sub>の乖離度は、許容濃度増加分の設定に依存するため不確実性が高いものの、天然ガスの潜在乖離度と同程度であり、石炭の潜在乖離度より高い。このことから、CO<sub>2</sub>の回収、処

分のような資源の消費を加速しCO<sub>2</sub>の大気放出を抑える技術は、乖離度がCO<sub>2</sub>より明確に小さいといえる資源、すなわち、石炭に対して有効であると考えられる。

本章の結果をまとめると、現在の資源利用システムを持続可能限界上に引き上げるため、ライフサイクル効率の改善度合いが大きい技術を開発する必要がある。また、3章で述べるように効率改善を促す経済方策も場合によっては必要であり、経済と技術の両面からのアプローチが持続可能なエネルギー利用の必須条件である。

### 3. 持続可能な発展のための技術選択とライフサイクルアセスメント

#### 3.1 太陽光発電システムのライフサイクルアセスメント

これまでの分析により、再生可能資源利用技術は、再生不能資源利用技術を効率良く利用するための技術であるということが確認された。その中でも太陽光発電システムは、技術開発の進捗と供給ポテンシャルからみて、最も期待されている技術の一つである。したがって、他の再生可能資源利用技術である風力発電やバイオマス・エネルギー・システムについては今後の課題として、本論文では太陽光発電システムに焦点を当て、その統合エネルギー収支と建設費用の関係を評価する。

この分析に関して以下の仮定をおく。

- 多結晶シリコンとアモルファス太陽電池を利用した発電システムについて、統合エネルギー収支と建設費用の関係を積み上げ法により定量的に評価した。
- 屋根置き型太陽光発電システム（以下R-PVシステムとする）と低緯度砂漠

地域における大規模集中型太陽光発電システム（以下L-PVシステムとする）は、建設費用、統合エネルギー収支、供給ポテンシャルの点において大きく異なる。そのため、これら二つのシステムについて評価をおこなった。

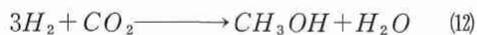
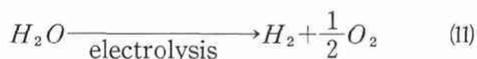
- 評価に際しては、太陽電池およびその周辺装置（Ballance of the System, いわゆるBOS）について、その製造プロセスを評価した。太陽電池の生産工場の製造規模は、年産10MW、1GWおよび100GWの3ケースを想定する。<sup>(1)</sup>
- 太陽電池の寿命は20年とし、その年経費率を運転補修費を含み14.8%とした。

次に、R-PVシステムとL-PVシステムの特徴を述べる。

R-PVシステムは屋根に直接搭載するため、重い支持架台を必要としないが、太陽電池の搭載に適した屋根の面積には限界があるため、その供給ポテンシャルは極めて限られている。発電された電力は第一に太陽電池を搭載した住居に供給され、余剰分は電力会社によって購入される。太陽光発電システムの稼働率は日本の気候条件を考慮して年平均で14%とする。

L-PVシステムは低緯度地域の砂漠を利用するため、その供給ポテンシャルは莫大である。他方、L-PVシステムでは生産されたエネルギーを砂漠地域からエネルギー大消費地域まで輸送しなければならない。したがって、L-PVシステムのエネルギー統合収支を算定する際には、エネルギーの貯蔵と変換に伴う損失を考慮しなければならない。例えば、メタノールをエネルギー輸送媒体に用いた以下のようなシステムが提案されてい

る。<sup>(3)</sup>このシステムでは、太陽光発電システムによる電力は、まず水の電気分解によって水素に変換される（反応式(11)）。一方、火力発電所等の排ガス中からCO<sub>2</sub>を分離、回収し、CO<sub>2</sub>タンカーによって砂漠地域まで輸送する。<sup>(3)</sup>このCO<sub>2</sub>と水素からメタノールを生成し（反応式(12)）、再びタンカーによって需要地まで輸送するのである。なお、このシステムにおける太陽光発電システムの稼働率は、低緯度砂漠地域の気候条件を考慮して30%とする。



次に上の前提条件のもとに、評価された結果を示す。評価に際しては、次のような順序で改善方策を取り入れ、統合エネルギー収支の向上と建設費用の低下を算定した。

R-PVシステムに関しては以下の順序である。

- 年産10MW規模のR-PVシステムについて、積上げ法によりエネルギー統合収支と建設費用の評価をおこなう。
- 生産規模を年産10MWから1GWにし、量産効果による統合エネルギー収支向上と建設費低減分を算定する。<sup>(1)</sup>
- 支持架台の鉄鋼、およびアルミ枠のリサイクルによる統合エネルギー収支の向上を算定する。
- 太陽光発電システムのIEB（統合エネルギー収支）を改善するためのソーラー・ブリーディング・システムを考慮した。<sup>(2)</sup>このシステムにおいては、太陽光発電システムによって生産された電力が、太陽光発電システム自体（例えば支持架台や太陽光発電セル）を製造するために

利用される。ここでは、システムの中、このような内部利用が可能と考えられる部分のみに、ソーラーブリーディングの概念が適用された。

L-PVシステムに関しては以下の順序である。

- 年産10MW規模のR-PVシステムについて、積み上げ法により、そのエネルギー統合収支と建設費用の評価をおこなう。ただし、支持架台については、現在のものより軽量化されたものを前提としている。<sup>(9)</sup>
- 生産規模を年産10MWから1GWにし、量産効果による統合エネルギー収支向上と建設費低減分を算定する。<sup>(1)</sup>
- 支持架台の鉄鋼、およびアルミ枠のリサイクルによる統合エネルギー収支の向上を算定する。
- 生産規模を年産1GWから100GWにし、量産効果による統合エネルギー収支向上と建設費低減分を算定する。<sup>(1)</sup>
- 前述した部分的ソーラー・ブリーディング・システムの効果を算定する。

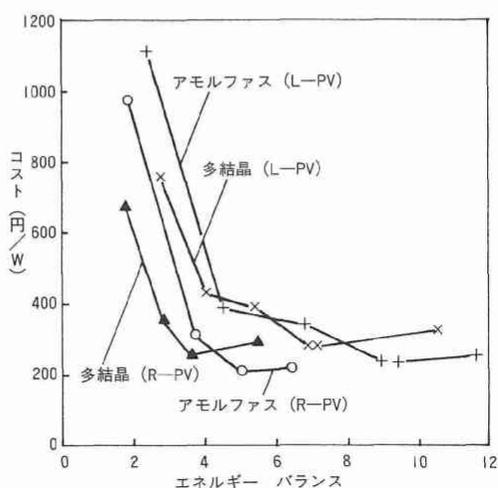


図3 評価システムのエネルギー統合収支と建設費用の関係

図3はシステムの統合エネルギー収支と建設費用の関係を評価した結果を示す。L-PVシステムにおけるエネルギー貯蔵と輸送の損失はこのグラフには含まれていない。その結果、L-PVシステムの統合収支は、主に気候条件が良いことから、R-PVシステムより全体的に大きくなっている。

### 3.2 太陽光発電システムの経済性評価

2章で分析したように、エネルギー資源とCO<sub>2</sub>の潜在乖離度が特に高く、これらの資源が枯渇に近づくにつれて、その資源価格は長期的に上昇する可能性がある。負の資源としてのCO<sub>2</sub>の場合も、これを抑制するための炭素課税などの形で「負の価格」が上昇する可能性がある。こうした資源価格の上昇や環境排出物の負の価格の上昇により、新技術の導入は大きな影響を受ける。そこで、本節では、持続可能なエネルギー利用を実現するための方策の例として太陽光発電システムを取り上げ、市場導入可能性と資源、環境排出物の価格の関係を分析する。この際、前節で評価した技術改善の有無が市場導入可能性に与える影響についても分析する。

- 具体例として、太陽光発電所と石油火力発電所を比較する。石油火力発電所の容量は1GWに規格化し、太陽光発電所の場合には、当該地域の日射条件に応じて生産される電力量が同じとなるように規模を設定する。
- 石油火力発電所の日本におけるピーク型電源としての機能を考慮し、稼働率を20%とする。他方、太陽光発電システムについては、前節で述べた値を用いる。
- 石油火力発電システムと太陽光発電シス

テムの固定費，可変費を算定し，石油火力発電から太陽光発電に代替したときの総費用増加 $\Delta C$ を算定する。

- 石油火力発電にかえて，太陽光発電システムを導入した場合の再生不能エネルギーの消費量およびCO<sub>2</sub>放出量の削減分を前節のライフサイクルアセスメントの結果から求める。
- 石油価格および炭素税の上昇が， $\Delta C$ を打ち消す条件を求める。これが，太陽光発電システムの市場導入の条件である。

上の前提条件により評価された，太陽光発電システムと既存の石油火力発電システムの経済領域を以下に示す。図4は，石油火力発電システムに三種類の太陽光発電システムが代替するためのエネルギー価格と炭素税の領

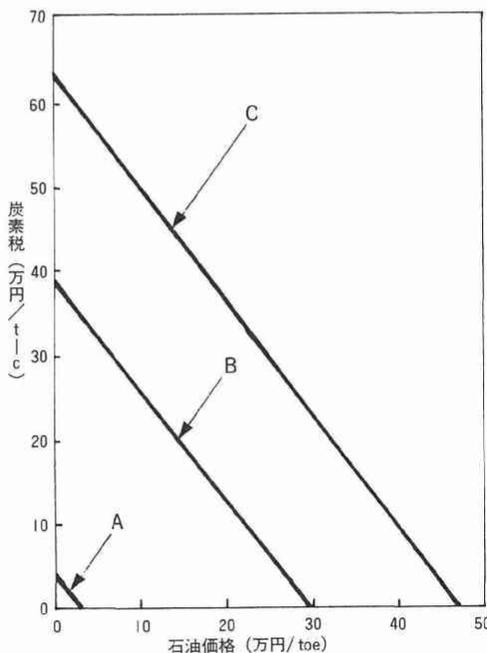
域を示したものである。すなわち，図中のA，B，Cの三本の実線は，これより右側の領域で上述した代替が起こることを示している。

図4より，システムA，B，Cが市場に導入されるための条件は大きく異なることが分かる。

すなわち，領域Aにおいては，太陽光発電システムの経済的有効領域が大きく左方に伸びているが，領域Cでは，太陽光発電システムの統合エネルギー収支及び経済性が低いために，石油価格および炭素税の驚異の上昇がない限り，市場導入は困難である。これより，再生可能資源利用技術がいわゆるバックストップ技術的な役割を担うためには，統合エネルギー収支と経済性の向上が重要であり，太陽光発電システムの場合には，3.1節で挙げたような技術改善が鍵となる。

次に，システムBはシステムAと同じ年産1GWの太陽光発電であるが，屋根置き型でなく，砂漠の基地において集中的に電力を生産し，これをメタノールに変換して日本に輸送した場合（3.1節参照）を想定している。砂漠は日射量が日本より大きい，輸送された日本においてさらに電力に変換されているので統合エネルギー収支と経済性が悪化している。<sup>(3)</sup>このため，図から分かるように経済的有効領域がかなり狭くなる。一方，屋根置き型の太陽光発電システムは前述したように，その導入量に限界がある。したがって，グローバルに大幅な太陽光発電システムの導入を図るためには，砂漠/メタノール（水素）方策の利用が重要である。この場合，図示したような有効領域の狭まりを最低限に食い止めるために3.1で述べた以上の技術開発が必要と考えられる。

本論文の主たるコンセプトは，一定の効率



- A：石油火力→R-PV（中規模生産＋ブリーディング）
- B：石油火力→L-PV（中規模生産＋ブリーディング＋メタノール変換）
- C：石油火力→R-PV（小規模生産）

図4 新技術の市場導入に必要な経済条件

改善（再生可能資源利用技術の導入による統合収支の向上を含む）が、一定期間の持続可能性維持に相当する、ということである。したがって、図4の三種類のシステム導入は各々、一定期間の持続可能性維持に寄与するはずである。そこで、以下の前提条件の下に、A, B, C導入による持続可能性維持相当年数を評価した結果を表1に示す。

- 人口予測としては、国連の中位推計を基に2100年迄の先進地域と発展途上地域の人口を推定した。
- 先進地域と発展途上地域における一人当たりの最終エネルギー需要の増加率に関しては、先進地域は1.0%/年とし、発展途上地域は2.0%/年とする。
- 人口増加と一人当たりの最終エネルギー需要の増加率より、世界全体の最終エネルギー消費の各時点における増加率が算定される。
- 算定された一人当たり最終エネルギー需要増加率と、(3)式より持続可能な発展のために必要な各年の技術開発率が算定される。
- 上記の技術開発率とA, B, Cの導入による統合エネルギー収支の改善率を比較することにより、各々の技術導入が何年分の

持続可能性維持に相当するかを評価する。表1をみると、統合エネルギー収支の改善率の大きいシステムの導入は、経済的に有利であるのみならず、より長い期間の持続可能性維持に相当することがわかる。他方、図4をみると、持続可能性維持を目的として各システムを導入するためには、場合によってはエネルギー税や炭素税を課す必要があることがわかる。

一般に、エネルギーシステムの関連設備（大規模発電所など）は耐用年数が30～40年程度と長く、設備更新には時間がかかる。たとえば、システムCの持続可能性維持相当年数は上の耐用年数と同程度しかなく、このシステムの導入により持続可能性を維持するには、すぐにも炭素税などの措置が必要である。ところが、図4を見ると、システムCの導入には過大な炭素税またはエネルギー税が必要である。このような技術を経済的措置により無理に導入すると、エネルギー価格の急騰による需要の低下、経済活動の停滞を招きかねず、社会の持続可能性を損なうことになるのである。したがって、エネルギー、環境面と同時に社会の持続可能性を維持するためには、技術導入のための経済的インセンティブが必要であると共に、このインセンティブが適度な範囲に収まるような、総合収支改善率の大きい技術（システムAなど）を開発することが重要である。この意味で、人類の持続可能な発展には、工学と経済学の両面からのアプローチが必須であると考えられる。

#### 4. まとめ

本稿においては、動学的に最適な資源利用について論じた後、資源利用システムの耐用

表1 システムA, B, C導入によって維持された持続可能期間

	統合収支改善率	持続可能性維持年数
システムA導入	12.2	78年
システムB導入	6.7	56年
システムC導入	4.3	42年

年数の変化率より持続可能限界の概念を提案した。さらに、実際のエネルギー資源、鉱物資源、環境排出物について、持続可能性を定量的に評価した。これによると、特にエネルギー資源およびCO<sub>2</sub>などの環境排出物が持続不可能な状態にあると判定された。

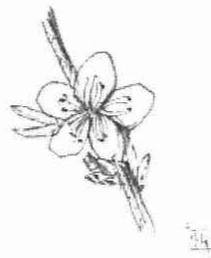
次に、資源、環境の持続可能性を維持するための技術の例として、太陽光発電システムを取り上げ、ライフサイクルアセスメント手法により、統合エネルギー収支と経済性の評価をおこなった。さらに、在来型の火力発電システムに太陽光発電システムが代替するための経済的条件を導き、資源、環境の持続可能性との関連性を分析した。この結果、長期的な持続可能性を維持するための技術開発の

方向性と経済的インセンティブの必要性が明らかにされた。

今後は他のエネルギー、環境関連技術にも同様のライフサイクルアセスメント手法を適用し、持続可能なエネルギー利用のための包括的方策を提示したい。

#### 参考文献

- (1) 小宮山, 山田他, 「太陽光発電技術の評価「II」, CO<sub>2</sub>と地球環境問題研究会, (1995),
- (2) 松橋隆治, 「持続可能なエネルギーシステムのための技術開発と経済方策」, 平成9年度東京大学工学講座「21世紀の工学像を求めて」講演論文集, pp31-48(1997).
- (3) 前澤彰二他, 「化学的CO<sub>2</sub>固定化太陽エネルギー基地」, 第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス, (1996).



## 〔内外情勢紹介〕

小型モジュール炉を中心とした

# 世界の高温ガス炉 (HTGR) の開発動向

土 江 保 男 (日本原子力発電(株)  
研究開発本部 部長)



## 1. ま え が き

世界的に原子力開発が低迷している中、小型モジュールによる高温ガス炉 (HTGR, High Temperature Gas Cooled Reactor) プラントの実用化に向けた開発動向が際立っている。

すなわち、ドイツやアメリカ等の既存の技術をベースにして、南アフリカ (南ア) 並びにアメリカ/ロシアが、それぞれユニット (モジュール) 当たりの電気出力が10~30万 kW という、小型の HTGR の開発プロジェクトを立ち上げて、現在、概念設計から詳細設計に移ろうという段階にきており、さらに先進国のみならずアジア・アフリカ諸国も大きな関心と期待を寄せている、という動きである。

(財) エネルギー総合工学研究所 (エネ総研) に事務局を置く「高温ガス炉プラント研究会」(以下、「研究会」)、(会長: 安成弘東大名誉教授, 代表幹事: 筆者, メンバー構成: 学識経験者, 電力会社 (日本原子力発電 <原電>, 東京電力他), 炉・燃料メーカー, オプザーバー (日本原子力研究所 <原研> 他) では、約10年前から、HTGR の開発動向の調査並びに、わが国として望ましいプラントの概念や開発シナリオの検討を継続的に行っている。

その一環として行った最近の内外動向調査の結果から、特に下記について取りまとめたので報告する。

- ① HTGR 開発に関する各国の状況
- ② 南アのペブル・ベッド・モジュール炉 (PBMR, Pebble Bed Modular Reactor) 計画関連の各国動向
- ③ アメリカ/ロシアのガス・タービン・モジュール・ヘリウム冷却炉 (GT-MHR, Gas Turbine Modular Helium Reactor) 計画関連の各国動向

なお、HTGR の導入意義、特徴、課題、熱利用を含む将来展望、並びに「研究会」の活動概況等については、文献①~③を参照されたい。

## 2. HTGR 開発に関する各国の状況

### 2.1 ヨーロッパ諸国と南アフリカ

ドイツでの実証済みの技術をベースにして、南アが極めて意欲的な HTGR 発電の実用化計画を打ち出し、それに対しドイツやオランダが全面的に協力している。

#### (1) ドイツ

ドイツは、電気出力1万5千kW、濃縮ウラン燃料を用いた HTGR の試験炉 AVR、並び

に電気出力30万kW、トリウム燃料を用いた THTR の設計、建設、運転の経験がある。また、電気出力20万kWのモジュール型コジェネ実用炉 HTR-M の予備的安全審査を行った実績もある。

これらの炉心は、いずれも被覆粒子燃料(直径約1mm)を黒鉛でペブル型(タドン型)形状に固めた燃料による構成であり、その技術はシーメンス社と ABB 社の合弁会社である HTR-GmbH に集約されている。

86年に起きたチェルノビル原子炉事故以降、ドイツでは原子力開発は全般的にモラトリアム中であるが、重大事故時でも周辺住民の緊急避難を不要とする超安全炉(固有安全またはキャタストロフイー・フリーの炉:制御棒が作動しなくても、また強制冷却系がなくても、炉心の発生熱は冷却材の対流や輻射という自然の原理により炉壁等を通じて除去され、事故は収束する)の研究開発は、現在、教育省により認められており、ユーリッヒ研究所ではその有力な候補の一つとして小型モジュールによる HTGR の研究開発を行っている。

ユーリッヒ研究所は、同炉開発のイニシアティブはヨーロッパが取りたいが、技術の今後の発展と開発の効率を考えて、国際協力によりこれを進めたいとしている。また、後述のように、南ア、中国、インドネシアでの開発や検討を全面的に支援したり、或いは国際原子力機関 (IAEA) を通じ実用化に向けて、HTGR 関連のデータベースの構築、並びにその国際的保存・利用の活動に積極的である。

AVR は、66年から21年間運転した後に炉を停止し、現在廃止措置(デコミ)中であり、97年夏の時点での燃料取り出し率は81%で

ある。一方、THTR はホット・ガス・ダクトのボルト破損により88年に炉を停止したが、運悪くチェルノビル事故やハナウの燃料工場スキャンダル等の影響が重なって、89年にはデコミが決定された。使用済燃料は94年には取り出しを終了し、現在はアーハウス地区で CASTOR と呼ばれるキャスクにより貯蔵中である。これらは、将来、深地層の岩塩ドーム内に直接処分する予定である。

なお、実施中の研究開発テーマは、過酷事故対応、燃料の高燃焼度化、使用済み燃料の直接処分等である。

## (2) オランダ

欧州原子力委員会 (ECN) のペッテン研究所が、93年から経済省の資金により、デルフト大学他と連携しながら超安全炉としての HTGR を検討している。

狙いは熱・電併給(以下、「コジェネ」)であり、ドイツ技術ベースの熱出力4万kWの小型モジュール炉 (INCOGEN, Inherent Safety Co-Generation Reactor) のプラント設計を進めている。ただし、現段階のコスト評価では、北海の天然ガスを燃やす火力に比べ、まだ3~4倍高いとしている。

## (3) イギリス

マグノックス被覆燃料・黒鉛減速・炭酸ガス冷却によるマグノックス炉、ステンレス被覆・炭酸ガス冷却による改良型ガス冷却炉 (AGR) 等、ガス冷却炉 (GCR, Gas Cooled Reactor) の経験が多く、黒鉛材料等 HTGR につながる技術的知見も豊富である。

ウィンズケールにある黒鉛減速原型炉ウィンズケール・パイルの使用済み燃料は、まだ

炉内で貯蔵中であり、一方、同じくウィンズケールにあったAGR原型炉WAGRのデコミは終了しているものの、解体で出て来る黒鉛構造材については現在は箱に入れて貯蔵中である。それらの処分法は将来考えるとしている。

その間、AEAテクノロジー社が中心となって、IAEAを通じた黒鉛材料のデータベースの整備と国際保存、並びに処理・処分技術の検討を行おうとしている。

HTGRについては、熱出力3万KWの原型炉であるドラゴン炉は現在も静かに安全に保管中で、上記の黒鉛関連を別にすれば目立った活動はないが、関心度は極めて高い。

#### (4) フランス

イギリス同様、GCRの経験が豊富である。HTGRについては、フラマトム社がこれまでの約10年間、継続的に検討して来ている。同社は、ドイツのシーメンス社と技術交流を続けながら、一方でHTGRの将来の市場性を見据え、1～2年前から原子力委員会(CEA)のサクレー研究所とともに、後述のアメリカ/ロシアのガス・タービン・モジュール・ヘリウム冷却炉(GT-MHR)開発計画に参画している。

従って、フラマトム社は、ドイツ型(タドン型)とアメリカ型(ブロック型)の両方のHTGR設計に詳しいことになる。

#### (5) 南アフリカ

##### (a) 電力事情

国営電力ESKOM社は、前身が国家電力供給委員会(ESCOM)で、発電設備容量で現在世界第4位の大電力会社であるが、ここが多

数の小型モジュールHTGRの建設による発電計画を大々的に進めている。

南アは、石炭、ウラン、ダイヤモンド、シリコン等、石油以外なら何でも採れる世界一の鉱業国である。それらの産業への電力供給も、北方内陸部の産炭地での石炭火力を中心にしっかり行われて来ている。またかつては、原子力公社(AEC)がヘリコン法という独特の遠心分離によるウラン濃縮技術を極秘裏に開発し、原子爆弾を数発製造した核兵器国でもあった。その後、IAEAの立ち会いの下で全て解体・破棄したとされている。また、大型軽水炉(LWR)プラント2基をフランスから導入しており、現在、アフリカ大陸唯一の原子力発電国でもある。

一方、人口約4000万人の大半は低所得の黒人又は有色人種(カラード)から成っている。

これらから、ESKOMは「南アは技術的には先進国、経済的には発展途上国」とみている。

同国の電力設備はこれまで過剰供給気味であったが、91年に人種隔離(アパルトヘイト)政策を撤廃して以来、マンデラ大統領の統率の下で、無灯生活からの脱却を目指して急速な電化普及政策を進めており、また沿岸部や南部での産業がその後伸びて来たことから、2003年頃には需給バランスが崩れ始める。そのため、それまでに新しい大規模な電源供給手段を開発する必要に迫られている。

すなわち、同国では、石炭が豊富に採れるものの、石炭火力では産炭地から需要増加地区への長距離送電のコストが無視できない上に、炭酸ガス発生による環境汚染の問題がある。

LWRは、前述のとおり、同国に既にあり、

現在も順調かつ安全に運転されているが、今後の大規模な電力供給を考えると、在来型のLWRでは超安全性は確保できず、大型炉（例えば電気出力60～150万kW）では分散型需要に対して大き過ぎ、当然工期が長く、資本費も大きくなる。また、小型のLWRでは割高になってしまう。

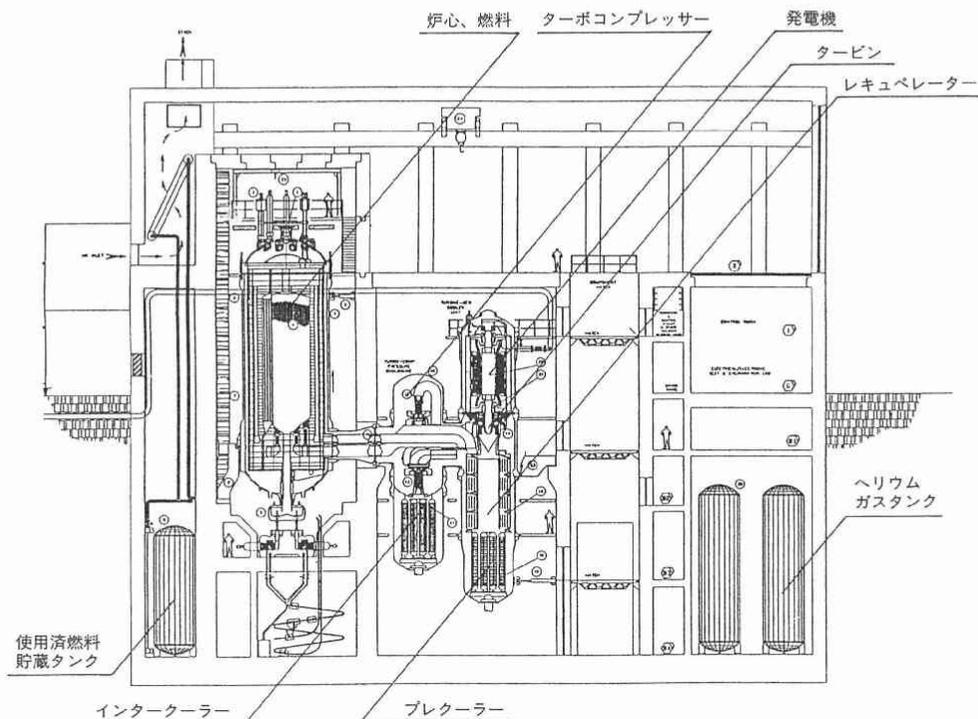
(b) PBMRの建設計画および経済性

これに対し、HTGR、特に出力密度を抑制し徹底的に設計を合理化した小型のモジュール炉を需要に合わせて計画的に生産していけば、前記のような超安全性があり、環境に優しく、分散型電源に適し、かつ、機器の現地据え付けと簡単な組み立てが可能で建設工期が短縮し、安価な発電プラントが得られ、電力供給計画に柔軟に対応できるとしている。

HTGRについては、ESKOMが93年以降、前記のAECやエンジニアリング会社（IST）での予備的検討を受け継ぐ形で、ドイツ技術ベースのモジュール炉（PBMR）の構想を固め、95～97年には図1のような、モジュール当たり電気出力10万kW、濃縮ウラン燃料を使用するプラントの概念設計を行った。

一方、経済性については、今後の詳細設計等の研究開発費と第1モジュールの建設費を合わせて約2億ドル、n番目のモジュール当たりの建設費は約9000万ドル（kW当たり900ドル）、また発電費はkW時当たり2セント以下と見積もっており、比較のために行った南アベースのLWR（60～150万kW）のkW当たり1300～1500ドルに比べ低い値を示している。

PBMRが安くできる理由は以下のとおり。



(出典：南アフリカ ESKOM 社)

図 1 PBMRの配置図

- ① 固有の安全性があり(超安全性)、工学安全系は不要。冷却材であるヘリウム・ガスの喪失事故時でも被覆粒子燃料が健全で粒子内に核分裂生成物 (FP) を格納できるよう、出力密度を抑制している (LWR の数10分の1)。
- ② 高温でガス・タービン直接サイクルを採用するのでプラント熱効率が約45%と極めて高い (LWR は約33%)。
- ③ 機器は可能な範囲で標準的市販品を国際競争入札で入手する。
- ④ 運転中に燃料交換 (オンロード交換) ができ、定期検査の頻度が少なく (6年に1回)、プラント利用率が高い (約95%)。
- ⑤ システムが簡素で、エンジニアリング・コストが抑制できる (LWR プラントの約10分の1)。
- ⑥ 使用済み燃料は再処理しないで直接処分する (ワンス・スルー・サイクル)。
- ⑦ 南アではエンジニアリング単価が安く、生産性も高い。
- ⑧ ユニットが小さく建設期間が短い (2年)。

今後は、今年中に詳細設計を行い、99年～2001年に前記LWRに隣接したサイト(ケープタウン市近郊クーバーク地区)にPBMRの第1モジュール・プラントを建設し、2002～04年に試運転を行い当局からの許認可を取得する計画である。すなわち、この第1モジュールは、原型炉、実証炉、更に実用第1号炉を兼ねており、開発ステップそのものも圧縮している。

ESKOM は、2004年以降、10モジュール単位で改良を加え次々と生産するとしており、

南ア周辺諸国への輸出も既に想定している。

ESKOM は、現在、同開発計画の国際的な信用度と技術協力を得るために、外国の有力電力会社やメーカーに国際コンソーシアムへの参加を呼び掛けている。また同国政府との間で、今後の詳細設計やプラント建設に向けて国として公式に「ゴーサイン」を出すべく、最終的詰めを行っている (98年3月現在)。

## 2.2 アメリカとロシア

アメリカとロシアも共同で小型モジュール型のHTGRを開発している。

### (1) アメリカ

ゼネラル・アトミックス (GA) 社が電気出力33kWのフォート・セント・ブレイン炉を建設、運転した経験をベースに、現在図2のような、ガスタービン・モジュール・ヘリウム冷却炉、ブロック型燃料使用、電気出力モジュール当たり30万kWのGT-MHRの開発に鋭意取り組んでいる。

93年にロシアの原子力省 (MINATOM) がアメリカを訪問して以来、エネルギー省 (DOE) がロシア支援を目的にその開発を支援していたが、95年には予算削減等を理由に中止となった。しかし、GA社は、その後もロシアの核兵器解体に伴うプルトニウムの焼却研究を名目に、ロシアとの共同開発を継続している。

### (2) ロシア

ロシアは、以前はペブル型燃料ベースのHTGRを開発していたが、上記のように、93年以降GAとの間で、前出のGT-MHR (ブロック型) の共同開発を始めた。

ロシア側からは、MINATOMが同国内のハイクラス原子力技術者の散逸防止・維持の立場で参加している。トムスク地区にあるプルトニウム生産炉を解体し、出てくるプルトニウムを、その代替炉として建設するGT-MHRで焼却するというものであるが、実際には同地区への電力（+熱？）の供給も狙っている。

なお、同共同研究には、その後フランスのフラマトム社（並びにCEA）と日本の富士電機も加わっている。

それぞれ、モジュール型HTGRの将来の市場性を睨んでのことと思われる。

現在は、プラントの概念設計を一通り終え、設計と経済性をレビューしている段階である。開発費は、ロシアの場合は直接的には

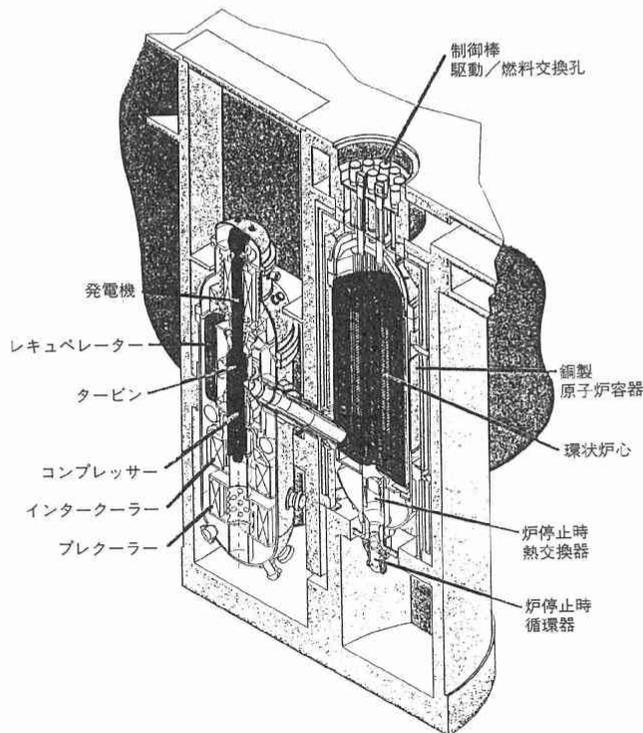
MINATOMからだだが、国際科学技術センター（ISTC）経由の支援も受けている。

なお、本年以降、第1モジュールの詳細設計に入ろうとしているが、実際には解体金属プルトニウムから酸化物への転換、混合酸化物（MOX）被覆粒子燃料の製造も必要であり、これらを合わせると今後約2億5000万ドルが必要で、その資金確保に向けた国際コンソーシアム作りにチャレンジしたいとしている。

この動きは、南アでの進め方やタイミングと類似していて興味深い。

### 2.3 ア ジ ア

日本では、原研で熱出力3万kWの高温工学試験研究炉（HTTR, High Temperature



(出典：米国GA社)

図2 GT-MHRの配置図

Engineering Test Reactor) が臨界真近かであり、国際的な HTGR 研究開発の拠点になろうとしている。

産業界は、HTTR の次の段階がどうなるのか、またどうすべきなのかについて関心を持っており、同時に、前出の南アやロシアでの具体的な実用化計画に熱い視線を送っている。

一方、中国も発電と熱の多目的利用開発を目指して熱出力 1 万 kW の HTGR 試験炉 (HTR-10) を建設しており、またインドネシアも同様の利用を狙った検討を行っている。

#### (1) 日 本

原研は、HTGR の技術基盤の確立と核熱利用研究の立場から HTTR を建設して来ており、本年 6 月頃に初臨界を迎える。同炉による主な研究内容は、炉性能と熱利用の実証、燃料・材料の照射等である。また、「高温発電システム」並びに「熱利用 (水素製造等)」について科学技術庁からの受託研究を実施中である。

(社)原子力産業会議は、以前から一貫して、熱利用の立場から HTGR を検討している。

また、「研究会」では主として産業の立場から、HTGR 開発の内外動向調査、プラント概念、開発シナリオ、国際共同・分担開発の可能性の検討、並びに官界や産業界への理解向上活動を展開している。

なお、「研究会」では、HTGR が将来世界各地で多数導入された場合を想定して、種々の目的や条件に合わせた燃料の燃やし方や再処理実施の有無等の燃料サイクルのシナリオについて検討を開始した。

#### (2) 中 国

政府の方針により、重油の回収、需要地への安価な輸送を可能とする石炭の液化・ガス化、並びに人口分散地帯への電力供給等の多目的から HTGR 開発に取り組んでいる。

現状は、コジェネとともに、当面は蒸気タービン、最終的にはガスタービンによる HTGR の技術実証を目的として、清華大学の核能研究所 (INET) が北京近郊に HTR-10 の建設を進めている。燃料(タドン型)も、実験室規模ではあるがドイツより譲り受けた施設により製造を開始した。初臨界と運転開始は、来年 (99年) の予定である。

#### (3) インドネシア

HTGR を発電と熱利用に安く適用できないか検討している。特に世界最大の天然ガス田ナツナについて、その産出ガス中に多量に含まれている炭酸ガスをメタノールに転換し、それを液化して輸出するのに必要な熱と動力の供給用に導入を検討しており、ドイツのユーリッヒ研究所他が IAEA 経由でその経済性評価等につき協力している。

なお、インドネシアでは、電力用に大型 LWR の建設計画があるとされているが、現在極めて深刻化している同国の経済情勢から特に初期投資がネックとなっており、資本費の安い小型モジュール HTGR も視野に入れ始めた。IAEA に対し HTGR 国際会議を地元で開催したいと申し出る程である。

### 3. 南アフリカのペブル・ベッド・モジュール炉 (PBMR) 計画関連の各国動向

南アの意欲的かつ斬新な HTGR 発電計画の推進と国際的アピールに、多くの国や機関

が、その技術的な成立性と経済性に半ば疑念を抱きながらも、それらが低迷している原子力開発を一挙にブレイク・スルーする可能性もあるとして、大きな関心と期待を示している。

#### (1) 日本

電力会社、原研、プラント・燃料・材料関連のメーカー、並びに商社等が、PBMR 計画に少なからず興味を持っている。南アと接触をとりながら、グループとして或いは個別に、その技術的成立性、安全性、経済性、国際的市場性等の調査、分析を試み、或いは南アとの今後の技術協力の可能性等を探っている。

#### (2) 中国

清華大学は、PBMR 計画がうまく進むならこれを支持したいとし、また HTR-10 の燃料取り扱いシステムの経験情報を南アに提供することにつき合意している。政府間レベルでも関連の書簡を交換中である。

#### (3) ドイツ

ユーリッヒ研究所他は、PBMR 計画がドイツ技術をベースにしていることもあり、同国内で炉心や燃料の試験研究を展開しながら、南アに多数のコンサルタントを派遣する等、全面的な協力・支援体制を敷いている。

また、HTR-GmbH も、前述した関係から、当然何らかの形で同計画に参加するものと見られている。

#### (4) オランダ

ペッテン研究所を中心にドイツ型燃料炉心を指向しており、炉心解析評価の面で南アを

サポートしている。

#### (5) IAEA

PBMR 計画を支持する方向で動き始めており、経済性調査と同計画への IAEA の関与の仕方について、南アと意見交換中である。

南アは、前述のように元核兵器国でもあり、国際機関による監視の意味合いを含めた動きと見られる。

#### 4. 米国/ロシアのガス・タービン・モジュール炉 (GT-MHR) 計画関連の各国動向

フランスからは、フラマトム社が前述のとおり GT-MHR 計画に参画中であるが、同計画が公式論では解体プルトニウムの焼却が目的になっていることもあって、同社は詳細設計等今後のプロジェクトの推進については、国際間それも政府ベースの資金による協力と支援が必要と主張している。

なお、同社は、米国/ロシアの GT-MHR 計画、南アの PBMR 計画、いずれも、実証済みの機器を組み合わせてプラントを構成するものであり、今後実寸大の機器による性能実証試験は必要・不可欠ではあるものの、基本的な技術開発課題は現状特に見当たらないとしている。

フラマトム社はまた、南アが提示している PBMR コストについても、低過ぎるとも見えるが設計の考え方等はリーズナブル、との認識を示している。

#### 5. まとめと所感

HTGR、特にその小型モジュール炉が、先進国と発展途上国の双方で注目を浴びている。

主眼点は、超安全性、需要地近接立地、低コスト、コジェネ、地球環境、更にはプルトニウムの焼却等である。

現在、HTGR については、試験研究炉の建設が日本と中国で順調に進捗し、安全性や熱利用の実証試験等が計画されている。それらと並行して、2000年代初頭の実用化を目指した小型モジュール炉開発が、南アフリカ（PBMR 計画）と米国／ロシア（GT-MHR 計画）で、商業的或いは国際共研的に鋭意進められている。

これらの開発計画は、楽観視すべきではないが、実証済みの技術をベースにしており、それぞれ第1モジュールの建設や運転が進み、安全性や経済性が実証され始めると、停滞している世界の原子力開発を一挙にブレイク・スルーする可能性を含んでいる。

これらは、LWR から FBR（高速増殖炉）へ、また大型炉、使用済燃料再処理…という従来の開発路線とは異なるオプションやアプローチを具現化しようとするものであり、わが国としても、HTGR のみでなく原子力開発

全体の立場からも注目したい。

今後、それらが国際的に発展する可能性やわが国で導入する可能性等について分析・評価し、また積極的に協力・支援していく価値があると考ええる。

#### 謝 辞

本件の調査とまとめに当たってご協力いただいたエネ総研、「研究会」、電力会社、メーカー、原研、並びに原電の関係各位に深く感謝したい。

#### 【参考文献】

- ① 安 成弘；「高温ガス炉と原子力エネルギー利用の拡大」；季報「エネルギー総合工学」，vol. 19, No.4, pp.18-34, 1997.1, エネ総研
- ② 田中利幸；「高温ガス炉の現状と将来展望」，ENERGY, 1998. 1, pp. 36-39
- ③ S.An, Y. Tsuchie；“Review of Activities of Research Association of High Temperature Gas Cooled Reactor Plant (RAHP)”，IAEA-TCM on “HTGR Applications and Future Prospects”，Nov. 10-12, 1997, ECN, Petten, Netherlands



## エネルギー需給の現状と将来

片山 優久雄 (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 部長



### 1. はじめに

一般にエネルギーは、エネルギー源としての一次エネルギーと、ある種の一次エネルギーを電力等の利用し易い形態に変換後の二次エネルギーとに分類されている。エネルギー源としての一次エネルギーは、石油、石炭、天然ガス、オイルシェールやオイルサンド等の化石エネルギー系、濃縮ウラン等の核エネルギー系、太陽熱、太陽光、水力、地熱、潮汐、潮流、薪炭類、都市ごみ等の自然・再生エネルギー系とに分類されている。変換エネルギーとしての二次エネルギーの代表は、電力であるが、他に石油製品のガソリン、灯油、軽油、ジェット燃料やLPG等の他に、都市ガス、コークス等が含まれている。

現在、一次エネルギーの大部分が化石エネルギーで占められており、エネルギー密度の低い自然・再生エネルギーの一次エネルギーに占める割合は、非常に少ないものとなっている。

### 2. エネルギー資源の賦存量

科学技術の進歩した現在でも、地球上、主として地中に賦存するエネルギー資源量を正確に把握することは、難しいことである。しかし、長期にわたる国際エネルギー需給を考

えるうえで、石油、石炭、天然ガス、ウランの埋蔵量を評価することが必要不可欠なために、埋蔵量の評価は、これまでの採鉱開発実績をもとに統計的な方法を用いて行われているのが現状である。世界のエネルギー資源の埋蔵量を表1に示した。

また、図1は表1をグラフ化したもので、全エネルギー資源量の66%を石炭資源が占めている。しかし、現在開発中の核燃料サイクルが完成すると、使用可能なエネルギー資源量は倍増し、図2に示されたように、原子力の占める割合が増えエネルギー資源量の55%を占めるようになる。

核燃料サイクルが確立されればエネルギーの可採年数(埋蔵量を1993年の供給量で割った値)は、115年から247年と倍増する。エネルギー資源に乏しいわが国において、核燃料サイクルの開発が急がれているのはこのためである。

#### 2.1 石油

##### ① 石油資源量

資源探査衛星を用いた探査技術の進歩によって、石油が賦存すると考えられている堆積盆地の大きさ等から、地殻内に包含される全油量(究極埋蔵量)の推定値は、 $12 \times 10^{21}$  joule (2兆バーレル前後)と推定されている。

石油の確認可採埋蔵量（既に発見された埋蔵量のうち、現在の技術および経済条件下で、採取可能と考えられる量）は、第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy

Resources”をベースに算定すると $6 \times 10^{21}$  joule（約1兆バレル、表1参照）で、現在（1993年）の採取量を基準とした可採年数は、45年強といわれている。過去30年以上も前か

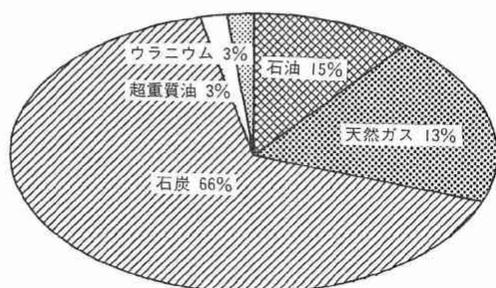
表 1 世界のエネルギー資源の埋蔵量

	① 究極埋蔵量	② 確認可採埋蔵量	③ 年生産量(1993年)	④ 可採年数(②÷③) (1193年)
石油 (含 NGL)	$12 \times 10^{21}$ joule 2兆バレル (内NGL 2,250億バレル)	$6 \times 10^{21}$ joule 1兆バレル (内NGL 176億バレル)	$13 \times 10^{19}$ joule 310億バレル (内NGL 13億バレル)	46年
天然ガス	$9 \times 10^{21}$ joule 240兆 $m^3$ (8,500兆 cf)	$5 \times 10^{21}$ joule 141兆 $m^3$ (4,990兆 cf)	$8 \times 10^{19}$ joule 2.2兆 $m^3$ (77兆 cf)	56年
石炭	$285 \times 10^{21}$ joule 11兆トン (内高品位炭 8兆トン)	$26 \times 10^{21}$ joule 1兆トン (内高品位炭 0.7兆トン)	$12 \times 10^{19}$ joule 45億トン (内高品位炭 36億トン)	216年
超重質油 & オイルシェール	原始埋蔵量 $59 \times 10^{21}$ joule 超重質油 4.7兆バレル オイルシェール 5.6兆バレル	$1 \times 10^{21}$ joule 超重質油 265億バレル オイルシェール 1,050億バレル	$0.1 \times 10^{19}$ joule 超重質油 2.3億バレル オイルシェール 3.3百万バレル	大
ウランウム	推定確認埋蔵量 $2 \times 10^{21}$ joule 4.4百万トン	$1 \times 10^{21}$ joule US\$ 80/kgU以下 1.5百万トン US\$130/kgU以下 0.7百万トン	$1 \times 10^{19}$ joule 32,527トン	68年
エネルギー計	$367 \times 10^{21}$ joule 石油換算 $9 \times 10^{12}$ トン	$39 \times 10^{21}$ joule 石油換算 $1 \times 10^{12}$ トン	$34 \times 10^{19}$ joule 石油換算 $8 \times 10^9$ トン	115年

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

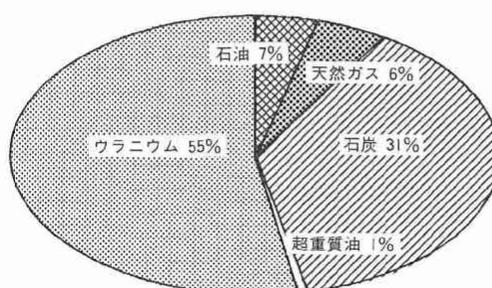
1 bbl (oil) = 0.136トン, 石油発熱量 (トン当り, LHV) =  $42 \times 10^9$  joule, NGL 発熱量 (トン当り, LHV) =  $46 \times 10^9$  joule, 天然ガス発熱量 (1000 $m^3$ , LHV) =  $36 \times 10^9$  joule, 高品位炭 (トン当り, LHV) =  $29.3 \times 10^9$  joule, 低品位炭 (トン当り, LHV) =  $16.7 \times 10^9$  joule, ウランウム (トン当り) =  $21 \times 10^{15}$  joule,

尚, NGL = Natural Gas Liquid, cf = 立方フィート, 高品位炭 = 瀝青炭 + 無煙炭, LHV = 低位発熱量



総エネルギー量 =  $39 \times 10^{21}$  joule

図1 地球上の採掘可能なエネルギー資源賦存量



総エネルギー量 =  $85 \times 10^{21}$  joule

図2 地球上の採掘可能なエネルギー資源賦存量  
(核燃料サイクルが確立された場合)

らこの可採年数は、30年前後で推移している。その訳は、採鉱技術の進歩に伴って新たな油田の発見が行われ続けていることによるものである。

表2に示されているよう、1993年末における世界の原油（ナチュラル・ガス・リキッドを含む）の確認可採埋蔵量は、 $6 \times 10^{21}$  joule（1,406億トン=約1兆バレル）あり、その内の64%がサウジアラビア(356億トン)、イラク(134億トン)、クウェート(134億トン)、アラブ首長国連邦(123億トン)等の中東アジアの特定の国々に偏在している（石油1バレルは約0.136トン）。このような状況のために、今後の石油供給における中東地域の重要性はますます増すものと考えられており、IEA(国際エネルギー機関)の世界石油需給見通しによれば、2010年における石油の中東依存度は、45%にまで上昇するといわれている。

他の主要石油資源国として、ペネズエラ(98億トン)、メキシコ(69億トン)、ロシア連邦(67億トン)、リビア(59億トン)、アメリカ(39億トン)、中国(33億トン)の順となっている。比較的新しい欧州の北海油田は、中国に続く規模(約20億トン)である。

新たな油田としては、中国のタリム盆地にある油田が挙げられるが、輸送設備の完備が必要なことから、本格的な採掘開始は、2000年以降と考えられている。

## ② 石油生産量

世界の石油生産量は、1970年以降200～235億バレル/年(約27～32億トン)の間を推移している。国別生産量では、1952年まで総石油生産量の50%以上を占めていたアメリカが、1965年に中東に首位を奪われ1974年に旧ソ連(現在のロシア連邦、カザフスタン、アゼルバイジャン、アルメニア、ウクライナ、エストニア、ラトビア、リトアニア、ベラルーシが加わった国家)にも追い抜かれたが、旧ソ連の崩壊によって、2位に返り咲いた。しかし、アメリカは、確認埋蔵量では世界第9位である。

1965年から1973年の第1次オイルショックまで、原油増産の原動力となってきた中東地域の生産量が、オイルショックを契機に横這いとなり、1979年の第2次オイルショック後は、北海油田やアラスカの油田、メキシコ等の非OPEC(OPEC=石油輸出国機構)地域からの供給増、石炭、天然ガス等の石油代替エ

表2 地域別石油の可採埋蔵量と生産量('93年)

単位：百万トン

	可採埋蔵量			生産量		
	原油	ナチュラルガスリキッド	合計	原油	ナチュラルガスリキッド	合計
アフリカ	10,210	284	10,494	306	30	336
北米	9,778	1,786	11,564	560	95	655
中南米	11,750	12	11,762	249	2	251
アジア	6,730	39	6,769	339	1	340
中東	90,271	—	90,271	915	38	953
ロシア連邦	6,670	—	6,670	354	—	354
欧州	2,712	187	2,899	246	13	259
大洋州	166	82	248	28	3	31
世界計	138,287	2,390	140,677	2,997	182	3,179

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

エネルギーの積極的導入利用，省エネルギーの推進等によって，一時40%から20%までに落ち込んだ。しかし，1983年3月の原油価格下げという逆オイルショック以降，中東地域は生産量を伸ばし，1992年には全世界の30%を越えるに至ったが，過去の40%に到達するのは2000年以降になると考えられている。

1993年の世界の石油生産量は，表2に示されているように，約32億トン(234億バレル， $13 \times 10^{19}$  joule)で，サウジアラビア(13%強)，アメリカ(13%弱)，ロシア連邦(11%)，イラク(5%強)の順となっている。

## 2.2 天然ガス

### ① 天然ガス資源量

表1より，天然ガス(メタンが主成分のガス)の究極埋蔵量は， $9 \times 10^{21}$  joule(240兆 $m^3$ )と推定されている。

また，天然ガスの確認可採埋蔵量は，石油の確認可採埋蔵量よりやや少ない $5 \times 10^{21}$  joule(141兆 $m^3$ )と評価されている(表1，表3参照)。可採年数は56年となっているが，今

表3 天然ガスの確認可採埋蔵量および生産量('93年)

単位：億 $m^3$

	確認可採埋蔵量	生産量
アフリカ	101,160	798
北米	87,820	6,969
中南米	56,650	721
アジア	87,290	2,870
中東	448,430	1,207
ロシア連邦	560,060	6,037
欧州	61,290	2,856
大洋州	10,650	302
合計	1,413,350	21,760

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

まで天然ガスは，石油探査の過程で発見されたものが殆どで，石油ほど探査が進んでいないこともあり，未発見埋蔵量は相当膨大なものであると考えられている。天然資源開発が進んだ旧ソ連における天然ガスの発見量は著しく大きく，ほぼ全世界の40%(56兆 $m^3$ )の資源量を占めており，2位のイラン(14.6%)と2カ国で50%を越えている。

### ② 天然ガス生産量

1993年における天然ガスの生産量は約2.2兆 $m^3$ で，主な生産国は，ロシア連邦(0.6兆 $m^3$ ，27%)とアメリカ(0.5兆 $m^3$ ，24%)で，世界の生産量の50%強を占めている。しかし，化石エネルギー資源の中で単位発熱量当たりの二酸化炭素( $CO_2$ )発生量が少ないため，今後さらに天然ガスの需要の伸びが考えられるために，新たなガス田の発見が急がれている。

## 2.3 石炭

### ① 石炭資源量

表1から石炭の確認可採埋蔵量は，無煙炭および瀝青炭の高品位炭だけでも約7,000億トンが見込まれており，褐炭や亜炭を加えた可採年数は，200年を越え216年となっている。また，高品位炭の究極埋蔵量は，8兆トン，褐炭や亜炭を加えた究極埋蔵量は，11兆トンと予測されており，石炭については近未来における量的な制約はあまりないと考えられている。

表4に示されているように石炭資源は，石油や天然ガス等の他のエネルギー資源と異なり偏在性があまり無く，世界各国に分布しているのが特徴である。しかし，ロシア連邦とアメリカが約2,400億トン(約23%)とほぼ同じ確認可採埋蔵量を持っており，3位中国の

表 4-1 石炭の可採埋蔵量 (1993年)

単位：百万トン

	瀝青炭+無煙炭	亜瀝青炭	褐炭	合計
アフリカ	60,405	1,263	4	61,672
北米	111,864	104,102	34,426	250,392
中南米	5,649	4,607	124	10,380
アジア	133,173	42,132	52,467	227,772
ロシア連邦	104,000	37,000	100,000	241,000
欧州	58,898	4,211	86,226	149,335
大洋州	45,369	3,781	41,909	91,059
合計	519,358	197,096	315,156	1,031,610

表 4-2 石炭の生産量 (1993年)

単位：百万トン

	瀝青炭+無煙炭	亜瀝青炭	褐炭	合計
アフリカ	18,900	36	—	18,936
北米	56,636	27,805	9,128	93,569
中南米	2,664	595	—	3,259
アジア	161,946	4,600	9,800	176,346
ロシア連邦	19,056	—	11,355	30,411
欧州	41,729	2,388	57,934	102,051
大洋州	15,969	1,976	4,783	22,728
合計	316,900	37,400	93,000	447,300

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

1,145億トン(11%)の倍以上の埋蔵量を占めている。

## ② 石炭生産量

表4に示された1993年における世界の石炭生産量は、44.7億トンあり、生産国のトップは中国で、11.5億トン(25%強)を生産している。2位はアメリカで8.6億トン(19%)の生産量で、3位ロシア連邦は、3億トンと1、2位と大きくかけ離れている。

## 2.4 オイルシェールと超重質油

### ① オイルシェールと超重質油の資源量

化石エネルギー資源として、一般に天然アスファルトと呼ばれる超重質油(オイルサンドを含む)とオイルシェール(油母けつ岩)がある。これらの原始埋蔵量(可採率を掛け

る前の値)は、データの欠落している国があるために全体量を把握することは出来ないが、ミニマム量として超重質油が6,358億トン(4.7兆バーレル)、オイルシェールが7,625億トン(5.6兆バーレル)あるといえ、その合計は石油の究極埋蔵量の5倍強と膨大な量である。表5より確認埋蔵量も同様に、ミニマム量として超重質油が279億トン(2,050億バーレル)、オイルシェールが4,472億トン(3.3兆バーレル)となっている。この量も石油の確認可採埋蔵量の約3倍強の値となっているが、現在の原油価格での可採埋蔵量のミニマム量は、超重質油が36億トン(265億バーレル)、オイルシェールが142億トン(1,046億バーレル)である。オイルシェールの資源の大半はアメリカにあり、確認埋蔵量(ミニマム量)

表 5 オイルシェール・超重質油の埋蔵量および生産量（'93年）

		原始埋蔵量 (百万トン)	確認埋蔵量 (百万トン)	確認可採埋蔵量 (百万トン)	含油率 (kg-oil/t)	生産量 (百万トン)
オイル シェール	オーストラリア	101,574	69,200	3,651	53	0.00
	ブラジル	18,522	9,646	352	70	0.20
	中国(推定値)	—	—	(200)	75~80	0.18
	ドイ ツ	—	251	—	50	—
	イスラエル	12,000	12,000	700	62	0.00
	ヨルダン	60,000	40,000	4,000	100	0.00
	モロ ッ コ	—	—	1,600	70	—
	南アフリカ	—	73	—	10	0.00
	タ イ	20,300	18,600	1,700	43	—
	ト ル コ	1,535	842	227	40~50	—
ア メ リ カ	507,000	290,000	—	57	—	
ロ シ ア 連 邦	41,546	6,546	2,000	100~260	0.15	
合 計		762,477	447,158	14,230	—	0.53
超 重 質 油	アルバニア	—	59	9	—	—
	カナダ	408,000	6,520	410	68	22.20
	中 国	—	1,675	251	—	—
	ナイジェリア	—	19,495	2,924	—	—
	ア メ リ カ	28,800	—	—	—	—
	ロ シ ア 連 邦	19,000	13	—	80~110	—
	ベネズエラ	180,000	10	2	—	9.20
	そ の 他 諸 国	—	105	11	—	0.02
合 計		635,800	27,877	3,607	—	31.42

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

の65%を占めており、2位のオーストラリアは15%を占めている。また、超重質油の確認埋蔵量(ミニマム量)の70%をナイジェリアが占めており、2位カナダが23%を占めている。

## ② オイルシェールと超重質油の生産量

オイルシェールを乾留して得られる原油の生産量は、1993年時点では53万トン(3.8百万バレル)と小さく実証試験規模の域を脱していない。しかし、超重質油においては、カナダのオイルサンドが商業運転されており、1993年時点で22百万トン(163百万バレル)生産されている。また、ベネズエラにおいては、超重質油と水のエマルジョン燃料(商品名:オリマルジョン)として、9.2百万トンの超重質油が生産された。

## 2.5 ウ ラ ン

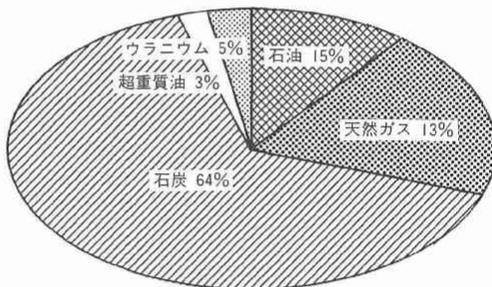
### ① ウランの資源量

表1および表6に示されたように、世界のウランの推定可採埋蔵量は、約440万トンとなっている。他のエネルギー資源と異なり推定可採埋蔵量で表示されていることから、ここに示された量はウラン資源として利用可能といえる。そこで推定可採埋蔵量をベースとして、図1、図2を作成し直したのが図3、図4である。ウランの全エネルギー資源量に占める割合は、3% (図1) から5% (図3) に上昇し、核燃料サイクルが確立されると55% (図2) から70% (図4) に上昇し、可採年数は115年 (図1ベース) から382年と3倍以上も増加する。

表 6 ウランの埋蔵量 ('93年)

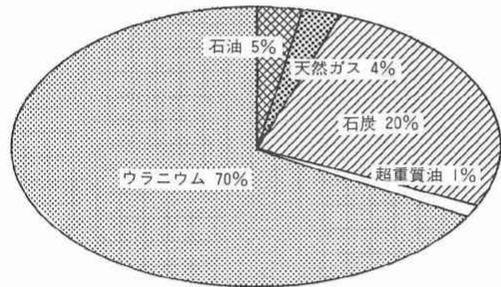
	推定可採埋蔵量 (×1000t)			確認可採埋蔵量 (×1000t)			生産量 (t・ウラン)
	US\$80/kg以下	US\$80~130/kg	合計	US\$80/kg以下	US\$80~130/kg	合計	
オーストラリア	734.00	177.00	911.00	462.00	55.00	517.00	2,256.00
カザフスタン	417.50	94.80	512.30	—	—	—	—
カナダ	313.00	162.00	475.00	278.00	119.00	397.00	9,155.00
ニジェール	454.94	16.65	471.59	159.17	6.65	165.82	2,914.00
アメリカ	112.00	254.00	366.00	112.00	254.00	366.00	1,178.00
ロシア連邦	219.60	80.10	299.70	—	—	—	2,399.00
南アフリカ	179.12	116.14	295.26	144.40	96.44	240.84	1,700.00
ブラジル	256.00	0.00	256.00	162.00	—	162.00	0.00
ナミビア	110.62	39.00	149.62	80.60	16.00	96.60	1,665.00
ウクライナ	62.20	86.70	148.90	—	—	—	—
モンゴル	19.00	61.00	80.00	—	—	—	—
大韓民国	0.00	52.70	52.70	0.00	31.00	31.00	0.00
スペイン	22.20	23.30	45.50	18.00	23.30	41.30	183.00
チェコスロバキア	17.20	26.40	43.60	15.85	6.40	22.25	950.00
フランス	19.21	13.80	33.01	17.08	13.80	30.88	1,708.00
グリーンランド	0.00	29.90	29.90	0.00	27.00	27.00	0.00
アルジェリア	28.30	0.30	28.60	26.00	—	26.00	0.00
ガボン	11.08	12.95	24.03	9.78	4.65	14.43	556.00
ハンガリー	1.94	15.85	17.79	—	—	—	—
アルゼンチン	4.60	2.70	7.30	4.60	2.70	7.30	121.00
その他諸国	59.45	72.61	132.06	37.82	37.00	74.82	7,742.00
合計	3,041.96	1,337.90	4,379.86	1,527.30	692.94	2,220.24	32,527.00

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成



総エネルギー量=40×10<sup>21</sup> joule

図3 地球上の採掘可能なエネルギー資源賦存量 (ウランの推定可採埋蔵量を用いた場合)



総エネルギー量=130×10<sup>21</sup> joule

図4 地球上の採掘可能なエネルギー資源賦存量 (ウランの推定可採埋蔵量を用い且つ核燃料サイクルが確立された場合)

原子力発電所の軽水炉で使用される濃縮ウランは、天然ウランに含まれる0.7%のウラン235を2~4%までに濃縮したものである。発電に使用された使用済みウランは、ウラン235を1%程度、プルトニウムを0.5%程度含んで

いる。これを濃縮処理してウラン235とプルトニウムを再び燃料として使用できる状態にすることができる。このように、核燃料は、一つの輪のように循環する。この循環は約50回程繰り返すことができる。この一連の流れを

“核燃料サイクル”と呼ぶ。

世界のウラン資源の20%強（91万トン）をオーストラリアが占め、2位カザフスタン（51万トン）、3位カナダ（47.5万トン）、4位ニジェール（47万トン）は、ほぼ同じ約10%強、5位アメリカが36.6万トン（8%）となっている。

## ② ウランの生産量

表6に示された1993年のウラン生産は、資源保有量1位のオーストラリアを抜いてカナダが1位の9,155トン（28%）を生産し、2位のニジェールは2,914トン（9%）、3位ロシア連邦2,399トン（7%）、4位オーストラリア2,256トン（7%）、5位フランス1,708トン（5%）の順になっている。

## 3. その他のエネルギー資源

### 3.1 水 力

水力は自然再生エネルギーと呼ばれ、化石エネルギー資源のように枯渇の心配の全くないクリーンなエネルギー源で、かつて水力は、水車を廻し製粉や揚水用の動力源として用いられてきた。しかし、電力に変換できるタービンと発電機が発明されてからは、大規模な

貯水ダムが造られ、規模の大きな水力発電設備が作られるようになった。

図5は、世界の地域別利用可能水力量の実態を示したものである。平成7年度版の「総合エネルギー統計」によると、1993年の世界の水力利用による発電量は、2,376 TWh/年（ $8.5 \times 10^{18}$  joule、図5は若干少なめの2,183 TWh/年である）と全発電量12,261 TWh/年（ $44.1 \times 10^{18}$  joule）の19.4%を占め、1位の火力発電の7,670 TWh/年（ $27.6 \times 10^{18}$  joule）62.6%に続いて2位で、3位は原子力発電で2,167 TWh/年（ $7.8 \times 10^{18}$  joule）17.7%の順番となっている。

表7に示されているように、地域別では、1位アジア、2位南アメリカ、3位欧州、4位北アメリカ、5位アフリカの順序となっている。また、全世界の経済的に開発可能水力量は、8,830 TWh/年（ $31.8 \times 10^{18}$  joule）と現状の水力発電量のほぼ4倍もあり、開発が完成すると総水力発電量は、11,414 TWh/年（ $41.1 \times 10^{18}$  joule）とほぼ1993年の総発電量に匹敵する発電量となる。そのため、炭酸ガスによる地球温暖化対策の1つとして、積極的な水力開発が推し進められようとしている。

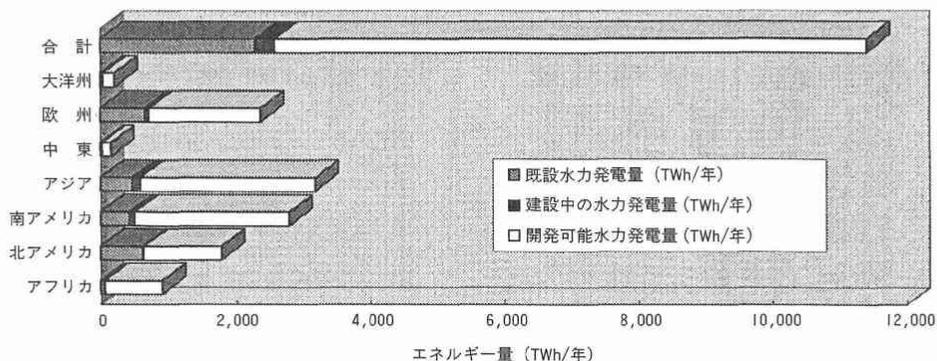


図5 地域別開発可能水力量の実態図（1993年）

表 7 包蔵水力量, 経済的開発可能水力量および発電電力量 (GWh/年)

	包蔵水力量	経済的開発可能水力量 (10GWh以上)	発電電力量 (1993実績)
アフリカ	4,000,000	847,633	55,250
北米	2,252,320	1,037,300	609,311
中南米	8,847,680	2,395,233	441,044
アジア	12,841,122	2,478,076	482,580
中東	(最低値) 559,000	248,420	44,339
ロシア連邦	2,896,000	852,000	160,630
欧州	2,687,346	799,009	659,577
大洋州	592,345	172,828	38,198
合計	(最低値) 34,675,813	8,830,499	2,490,929

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

国別の経済的開発可能水力量では、1位中国1,261 TWh/年、2位ブラジル1,091 TWh/年、3位ロシア連邦852 TWh/年、4位インド600 TWh/年、5位カナダ581 TWh/年の順序となっている。しかし、1993年の発電電力量では、カナダが315 TWh/年で1位、2位アメリカが267 TWh/年、3位ブラジル253 TWh/年である。

### 3.2 地 熱

地熱も水力同様、自然再生エネルギーと呼ばれ、化石エネルギー資源のように枯渇の心配の全くないクリーンなエネルギー源である。地熱と人類の関連は古くからあり、わが国のような火山国では温泉として古くから利用されている。しかし、1978年末の第二次石油危機を契機に、わが国においても積極的な導入利用が開始された。

表 8 各国の地熱利用状況 (1993年)

	発電利用		直接利用		合計 (GWh/年)
	設備容量 (MWe)	発電量 (GWh/年)	設備容量 (MWe)	熱量 (GWh/年)	
アメリカ	2,817	16,491	1,874	3,859	20,350
アイスランド	49	265	1,443	5,878	6,143
ニュージーランド	259	2,193	—	3,834	6,027
メキシコ	740	5,877	28	74	5,951
中国	28	98	2,143	5,527	5,625
フィリピン	1,051	5,470	—	—	5,470
イタリア	626	3,417	308	1,008	4,425
日本	299	1,722	319	1,928	3,650
ハンガリー	—	—	638	2,795	2,795
フランス	5	24	456	2,300	2,324
ジョージア	—	—	245	2,136	2,136
インドネシア	140	1,084	—	—	1,084
その他諸国	442	1,335	1,329	6,468	7,803
合計(最低値)	6,456	37,976	8,783	35,807	73,783

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

地熱を利用した最初の発電は、石油危機以前の1904年にラルデレッコ (Larderello, イタリア) で行われ、1913年に商業化規模の発電が同所で開始された。しかし、1993年における地熱発電量は、アメリカがトップで16 TWh/年、2位メキシコ5.9 TWh/年、3位フィリピン5.5 TWh/年、4位イタリア3.4 TWh/年、5位ニュージーランド2.2 TWh/年、6位日本1.1 TWh/年の順序である(表8参照)。

また、熱の直接利用ではアイスランドが5.9 TWh/年と一番多く、中国5.5 TWh/年、アメリカ、ニュージーランドが3.8 TWh/年、ハンガリー2.8 TWh/年となっている。両方の合計では、アメリカが他を引き離してトップで、20 TWh/年(全体の27.6%)の地熱を利用している。

### 3.3 風 力

風力の利用は、オランダの風車に見られるように、水車同様古くから製粉や揚水用の動

力源として用いられてきた。風力も水力、地熱同様クリーンで再生可能な自然エネルギーであることから、アメリカでは1973年の第1次石油危機の時に連邦風力発電計画を策定し、積極的に開発を進めてきた。

一方、炭酸ガスによる温暖化対策の1つとして、1990年代初頭から先進工業国においては国家による融資や税制優遇処置等によって導入が促進され、また、開発途上国では灌漑用等の動力源としての導入が盛んに行われてきた。

表9に示されたように、1993年における風力発電量では、アメリカが他を引き離してトップで、 $11 \times 10^{15}$  joule/年(62.9%, 3 TWh/年)、2位デンマークの $4.1 \times 10^{15}$  joule/年(23.5%, 1.1 TWh/年)であり、両国共に目標を達成している。

風力発電機は、2～3枚のブレード(羽根)を持ち、一般的には全長(高さ)50m以上、ブレードの長さが25m以上、通常回転数25～50回転/分、発電出力1～3MW(最大)である。

表9 各国の風力発電量及び将来目標(1993年)

	発 電 利 用		将来の目標値
	設備容量 (MWe)	発 電 量 (GWh/年)	設備容量 (MWe)
アフリカ	1,814	3,042	3,000
インド	40	45	3,000
ロシア連邦	—	—	2,400
エジプト	2	—	1,250
デンマーク	534	1,137	1,000
ドイツ	650	—	1,000
イギリス	130	211	740
オランダ	130	131	450
スペイン	52	117	168
その他諸国	167	154	3,074
合 計	3,519	4,837	16,082 (最低値)

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

### 3.4 薪 炭 類

18世紀の産業革命以前は、人々はエネルギー源として主に薪炭を用いてきた。しかし、産業革命以後の急速な科学技術の進歩によって電気、ガス、石油が用いられるようになり、20世紀における先進工業国のエネルギー消費における薪炭の占める割合はどんどん低くなり、1993年では0.8% ( $2 \times 10^{18}$  joule) となっている。開発途上国においても、薪炭の占める割合は低くなってきており、1987年には35% ( $48 \times 10^{18}$  joule) であったのが、1993年には14% ( $20 \times 10^{18}$  joule) と減少している。

現在、森林面積、薪炭生産森林面積ともに

ロシア連邦が1位で、世界の森林面積の19% (9.4億ヘクタール)、薪炭生産森林面積では23% (7.6億ヘクタール)、2位がブラジルで森林面積13.5% (6.7億ヘクタール)、薪炭生産森林面積17.4% (5.7億ヘクタール)、3位カナダ、4位アメリカの順序である。

1993年における薪炭生産は、1位インド1.9億トン、2位中国1.45億トン、3位ブラジル1.4億トン、4位インドネシア1.1億トンである。このように、薪炭生産量で見ると開発途上国の薪炭生産量が多い。

開発途上国における著しい人口増加によって、エネルギー確保のための木材伐採、食糧確保のために行われる焼畑、外貨獲得のための木材採取による森林の破壊等での森林消滅が1980年代に入って著しく、毎年九州の面積に匹敵する森林が消滅し砂漠化している。地球温暖化防止のためにも森林の保護育成が必要で、先進工業国は森林保護(=砂漠化防止)のために、現在数々の援助を行っている。

### 3.5 太陽エネルギー

太陽のエネルギーは、地上の植物を育て薪炭を作り、風を起こし風力エネルギーの源となり、雨を降らせ水力エネルギーの源となっている。この太陽の持つエネルギーは、晴れた日の地上で約1kW/m<sup>2</sup>である。このエネルギーを熱エネルギーとして、あるいは電気エネルギーとしての利用が現在進められている。

太陽光を直接電気(直流)に変換する太陽電池は、1960年代末にカメラの照度計等に使用され始めた。最初の太陽電池のエネルギー変換効率は、10%以下で且つ高価なために発電に用いることが不可能であった。これを改良し変換効率を上げる研究が、先進工業国で行われ、わが国もNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の開発研究として行われた。現在NEDOの成果として変換効率が15%を越える太陽電池が開発されている。太陽光を用いる発電設備は、高価なために送電が困難な場所での電力確保の利用が殆どで、先進工業国では、融資や税制優遇処置等で一

表 10 各国の太陽エネルギーの利用状況 (1993年)

	太陽光発電		太陽熱発電		太陽熱利用	
	発電設備容量 (MWp)	推定発電量 (GWh/年)	発電設備容量 (kW)	推定発電量 (MWh/年)	アクティブ利用 (Tjoule)	パッシブ利用 (Tjoule)
アメリカ	63	41	360,000	897,000	63,300	—
オーストラリア	24	12	25	—	—	3,060
メキシコ	20	10	—	—	691	—
イタリア	13	10	—	—	7,500	—
タイ	12	6	—	—	54,860	N
スペイン	9	5	—	—	1,802	—
フランス	4	3	—	—	600	8,000
カナダ	3	3	—	—	650	—
スウェーデン	2	3	—	—	108	—
イスラエル	3	2	—	—	18,000	—
その他諸国	168	109	5,655	9,117	2,070	1,509
合計(最低値)	321	204	365,680	906,117	149,581	12,569

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

般家庭への導入促進を図っているのが現状である。

太陽熱の利用は、温室のような受動的な利用（パッシブ利用）から、集熱セルを用いて温水を製造し利用したり、集熱のために鏡を用いて得られた高温度を利用し金属の溶融（太陽炉）や高温の蒸気の製造など能動的な利用（アクティブ利用）とがある。アメリカでは、イスラエルで開発された350MWの太陽熱発電システムが、カリフォルニアで1985年より稼働している。

表10に示すとおり、1993年における太陽光発電、太陽熱発電共にアメリカが1位である。太陽熱のアクティブ利用でもアメリカが1位である。太陽エネルギーの発電利用は、設備費用が高額で且つ広い施設面積が必要なために、風力や地熱利用よりも進展していないのが現状である。

### 3.6 その他のエネルギー資源

#### (1) トリウム

天然トリウム ( $^{232}\text{Th}$ ) には核分裂性はないが、原子炉内で中性子を吸収すると核分裂性

核種のウラン ( $^{233}\text{U}$ ) となる。この核種  $^{233}\text{U}$  を使用済み燃料から回収し、天然トリウムを加えれば核燃料として再利用できる。これがトリウム燃料サイクルと呼ばれるものである。しかし、天然トリウムが中性子を吸収して生じる  $^{233}\text{U}$  と、 $^{233}\text{U}$  が核分裂して生じる  $^{228}\text{Th}$  は、連鎖的放射線壊変性を持っており、回収において  $\alpha$  線、 $\gamma$  線対策が要求される。使用済み燃料中のこれらの核種の濃度が、通常の  $^{235}\text{U}-^{239}\text{Pu}$  核燃料サイクルと比べて高濃度であるために、トリウム燃料サイクルの開発が困難となっている。

また、トリウム資源に関しての情報は、ウラン資源情報と比べて極めて乏しく、現在軽金属、耐熱合金原料としての市場規模も小さいために、トリウム鉱床調査活動は小規模であり、新しい情報が入手し難い状況下にある。OECD-NEA/IAE（経済協力開発機構原子力機関／国際原子力機関）の1986年の報告書によると、1985年1月1日現在のトリウムの確認埋蔵量は657,770トン、推定追加可採埋蔵量は904,420トン、推定追加資源量として862,490

表 11 世界のトリウム資源量 (US \$80/kg 以下, 1985年)

単位：トン

	確認可採埋蔵量	推定追加可採埋蔵量	推定追加埋蔵量
アメリカ	122,000	278,000	—
トルコ	334,000	—	400,000
ベネズエラ	—	300,000	—
ブラジル	171,100	50,490	329,420
ノルウェー	—	131,800	131,800
エジプト	—	100,000	—
カナダ	—	44,000	—
南アフリカ	17,570	—	—
オーストラリア	12,780	130	—
タイ	320	—	—
アルゼンチン	—	—	1,270
合計	657,770	904,420	862,490

注) インドの海浜砂中に含まれるとされている約400,000トンは上表には含まれていない。

表 12 世界の廃棄物排出量 (1993年)

単位: Mt

	動植物性残渣	木 屑	動物の糞	黒 液*	都市ごみ	そ の 他
ボ リ ビ ア	2,950.0	—	0.4	—	—	—
イ ン ド	94.0	—	240.0	—	246.0	—
セ ネ ガ ル	550.0	—	—	—	—	—
中 国	237.0	—	13.0	—	—	—
ア メ リ カ	3.3	87.0	0.7	—	106.0	—
ブ ラ ジ ル	160.0	—	—	4.6	—	—
ロ シ ア 連 邦	60.0	10.0	20.0	—	56.0	—
コ ス タ リ カ	145.0	—	—	—	—	—
インドネシア	8.6	17.0	31.0	—	80.0	—
ベ ネ ズ エ ラ	86.7	—	—	—	11.0	—
日 本	2.1	31.0	36.0	—	23.0	—
韓 国	58.0	—	0.3	—	10.0	10.0
タ イ	71.5	—	—	—	—	—
フ ラ ン ス	30.4	7.8	—	—	20.0	—
ド イ ツ	29.0	—	—	—	25.0	—
デンマーク	3.2	1.0	38.0	—	2.6	—
イ タ リ ア	3.0	1.1	25.0	—	9.0	—
カ ナ ダ	—	18.0	—	—	19.0	—
イ ギ リ ス	7.0	—	—	—	30.0	—
ネ パ ール	11.0	7.4	4.4	—	—	—
スウェーデン	3.5	16.0	—	—	3.0	—
フィリピン	—	1.3	19.0	—	—	—
バングラディシュ	15.0	—	5.2	—	—	—
ポルトガル	—	—	13.0	—	2.0	—
トルコ	15.0	—	—	—	—	—
オーストラリア	8.2	6.7	—	—	—	—
ペ ル ー	6.3	—	7.1	—	—	—
メ キ シ コ	13.0	—	—	—	—	—
ス ペ イ ン	—	—	—	—	13.0	—
イスラエル	—	—	—	—	8.0	—
ノルウェー	3.5	—	0.5	—	1.0	—
南アフリカ	3.0	—	—	—	—	—
シンガポール	—	—	—	—	2.2	—
ニュージーランド	—	1.6	—	—	—	—
スワジランド	1.1	—	—	—	—	—
パラグアイ	0.4	—	—	—	—	—
スリランカ	0.4	—	—	—	—	—
合 計 (最低値)	4,579.2	205.9	453.6	4.6	666.8	10.0

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

\* 黒液とはパルプ廃液のことで水分を蒸発させると燃料となる物質

トンとなっている。1985年時点でトリウム資源としての利用可能量は1,562,190トンである。世界のトリウム資源量を表11に示す。

1985年1月におけるトリウム資源保有国（確認可採埋蔵量と推定可採埋蔵量を加えた時の資源量）の1位はアメリカで40万トン、2位トルコ約33万トン、3位ベネズエラ30万トン、4位ブラジル22万トン、5位ノルウェー13万トンの順である。もしインドの海浜砂に含まれるとされている40万トンのトリウムが、1985年時点での採取価格がUS\$80/kgU以下であれば、アメリカと並び世界1のトリウム資源国である。

## (2) 廃棄物

人類の生存のための生産活動や消費等の諸活動によって、多くの廃棄物が排出されている。廃棄物の中には燃焼可能なものも多く含まれている。表12は1993年の世界37ヶ国の可燃性廃棄物の排出量を纏めたものである。地球温暖化防止の観点から、可燃性廃棄物の持つエネルギーを積極的に有効利用することが各国で検討されており、その代表としてごみ発電施設の建設が進められている。

表12の可燃性廃棄物の総量は約6Gトン、可燃性廃棄物1kg当たりの発熱量を $4.2 \times 10^6$  joule (=1000 kcal/kg)とすると $25 \times 10^{18}$  jouleのエネルギーを持っているといえる。これは1993年の世界の薪炭エネルギー量とほぼ同等である。世界の国家の数は130を越えているので、廃棄物の量は10Gトンを越えるものと推定され、そのエネルギー量は $42 \times 10^{18}$  jouleとなる。

## (3) コールベッドメタン

(=石炭層メタンガス)

コールベッドメタン (Coalbed Methane) とは、石炭の生成・熟成（石炭化と呼ぶ）に伴って発生したメタンを主成分とする炭化水素ガスが炭層中の石炭に保持されているものの総称である。メタンガスの一部は石炭中の微細な孔隙や亀裂等に存在するが、大部分は石炭に吸着した状態で存在するといわれている。メタンの石炭に対する吸着量は、圧力が高い（=深度が深い）ほど、また石炭化度が高いほど多くなる傾向を持っている。

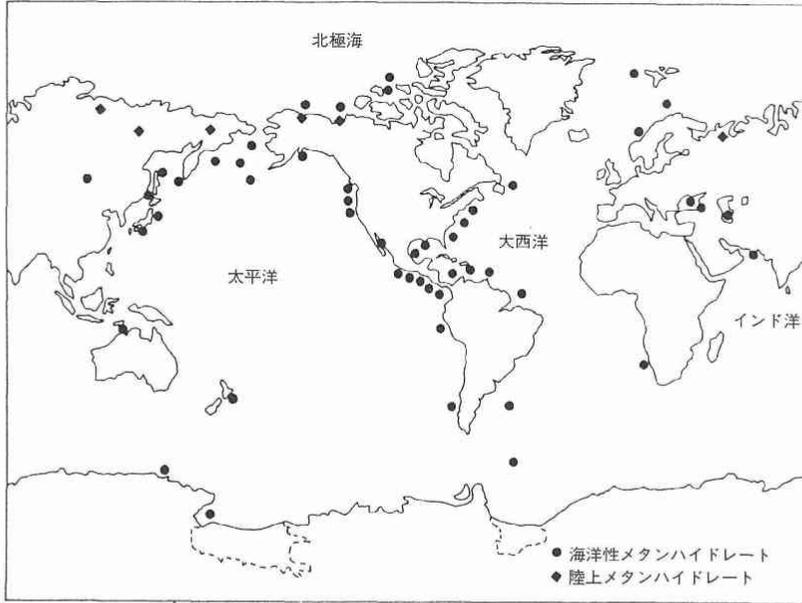
表 13 コールベッドメタンの推定資源量

単位： $10^{12} \text{m}^3$

国 名	メ タ ン 量
ロ シ ア 連 邦	17~110
中 国	30~35
ア メ リ カ	11
カ ナ ダ	6~76
オーストラリア	8~14
ド イ ツ	3
イ ギ リ ス	2
ポ ー ラ ン ド	3
ウ ク ラ イ ナ	2
日 本	0.25
そ の 他 諸 国	(最低値) 2
世 界 総 計	(最低値) 84

注) 非在来型天然ガスに関する調査報告書  
(財団法人エネルギー総合工学研究所編、  
平成4年~平成7年度版)を用いて作成

コールベッドメタン資源量は、石炭資源量とリンクしており、産炭国がコールベッドメタン資源国である。しかし、資源量に関する地質学的な調査はアメリカ以外あまり行われていないのが現状であるが、資源量は84兆 $\text{m}^3$ 程度と天然ガスの確認可採埋蔵量の6割と見積もられている。表13にコールベッドメタン



(出典) クベンヴォルデン, ガスハイドレート第1回専門家会議(1996, ベルギー)資料より作成

図 6 世界のメタンハイドレート分布

表 14 メタンハイドレートの資源量(推算値)

[単位: m<sup>3</sup>]

推 算 者	陸 域	海 域	全 域
トロフィマックら (Trofimuk A. A., et al.) (1977)	$5.7 \times 10^{13}$	$(5 \sim 25) \times 10^{15}$	
マクルバーら (McIver R. D., et al.) (1981)	$3.1 \times 10^{13}$	$3.1 \times 10^{15}$	
メイヤーら (Meyer I. F., et al.) (1981)	$1.4 \times 10^{13}$		
ドブリーニンら (Dobrynin V. M., et al.) (1981)	$3.4 \times 10^{16}$	$7.6 \times 10^{18}$	
クベンヴォルデン (Kvenvolden K. A.) (1988)			$2.01 \times 10^{15}$
クベンヴォルデン, クレイプール (Kvenvolden K. A., Claypool G. E.) (1988)		$2.91 \times 10^{16}$	
クラソン (Krason J.) (1992)		$(2.2 \sim 16.5) \times 10^{16}$	
ギンズバーグ (Ginsburg G. D.) (1995)		$1 \times 10^{15}$	
地質調査所/エネルギー総合工学研究所 (1992)		全世界の海域 $(2.5 \sim 5) \times 10^{14}$ 日本周辺海域 $(6 \sim 9) \times 10^{12}$	

注) 非在来型天然ガスに関する調査報告書(財団法人エネルギー総合工学研究所編, 平成4年~平成7年度版)を用いて作成

の推定資源量を示した。現在積極的な開発を行っているのはアメリカで、1993年の生産量は207億m<sup>3</sup>に達している。

#### (4) メタンハイドレート

水分子は温度、圧力がある条件になると、

ガスの分子を取り込むことができる籠型のマクロ分子構造を形成する。メタンハイドレートは、メタンがこのような水の籠型のマクロ分子構造内に取り込まれてできた氷状の固体物質で、 $\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$ と表される。低温・高圧下で安定であり、純粋なメタンハイドレ-

トは、 $1\text{ m}^3$  当たり標準状態のメタンを約170  $\text{m}^3$  含んでいる。

天然には、図6に示すように永久凍土のある極地域や大陸・島弧の縁辺海域に分布している。資源量については、表14に示すようにこれまで様々な評価が行われてきたが、わが国の通商産業省工業技術院地質調査所とエネルギー総合工学研究所の推算によれば、全世界の海域で250~500兆 $\text{m}^3$  とほぼ天然ガスの究極埋蔵量に匹敵する資源量である。日本周辺海域にも6~9兆 $\text{m}^3$  と1993年の世界の天然ガス生産量の約3倍強のメタン資源があると推定されている。

#### 4. 終わりに

2015年以降には石油資源の枯渇が始まるであろうとの予測がされている現在、地球上に賦存するエネルギー資源量を正確に把握する

ことは、資源の温存や再生可能エネルギー資源の開発利用、メタンハイドレートやコールベッドメタンに代表される非在来型天然ガスの開発利用や核燃料の有効利用を計る技術開発のタイムリミットを知る上で必要との見地から、1995年にわが国で開催された第16回世界エネルギー会議資料を元に各種エネルギー資源量についてまとめたものである。

#### 参考文献

- 1) World Energy Conference, "1995 Survey of Energy Resources", p.17~276 (1995).
- 2) "新版 原子力ハンドブック", オーム社, (1989).
- 3) "非在来型天然ガスに関する調査報告書", 財団法人エネルギー総合工学研究所, (1992).
- 4) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課編, "総合エネルギー統計 (昭和52年度~平成8年度版)", 通商産業研究社, (1977~1997).





- (3) 先端技術の技術的評価と電気事業への適合性評価
- (4) エネルギー技術シーズに関する調査研究
- (5) 長期的なエネルギーシステムのベストミックスに関する調査研究

#### 〔原子力関係〕

- (6) 放射性廃棄物の処理・処分に関する調査研究
  - ・地下水流動に関するデータの収集・整備
  - ・地層処分クライテリアの調査研究
- (7) 次世代原子力システムに関する調査研究
  - ・高温ガス炉プラントに関する調査研究
- (8) 将来型軽水炉に関する調査研究
  - ・将来型軽水炉の設計のあり方に関する調査
  - ・将来型軽水炉の要素技術調査
- (9) 発電用原子炉の廃止措置技術等に関する調査研究
  - ・原子力施設解体における環境・安全性評価
- (10) 原子力分野における数値シミュレーションに関する調査研究
  - ・原子炉シミュレーション手法高度化に関する調査研究
- (11) ヒューマンファクター研究のあり方に関する調査研究
- (12) 原子力分野における情報技術の応用に関する調査研究
  - ・原子力発電における情報高度化に関する調査研究
- (13) 原子力安全の社会科学的研究

- ・放射性廃棄物処分の社会的合意形成に関する調査研究
- ・原子力発電に対する公衆の意識構造の分析

#### 〔化石燃料関係〕

- (14) 石油系エネルギーに関する調査研究
  - ・自動車排気ガス中の未規制物質に関する調査研究
  - ・重質油・超重質油の利用技術に関する調査研究
  - ・超重質油燃料の環境安全性に関する調査研究
  - ・石油製品の合理的利用に関する調査研究
- (15) 天然ガスに関する調査研究
  - ・非在来型天然ガスに関する調査

#### 〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

- (16) 発電技術に関する調査研究
  - ・高効率火力発電技術に関する調査研究
- (17) 自然・再生可能エネルギーに関する調査研究
- (18) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)に関する調査研究, 評価
- (19) 新水素エネルギーに関する実証研究
- (20) 将来の電力需要に関する分析調査
  - ・産業構造変化が電力需要に及ぼす影響に関する調査研究
  - ・夜間電力需要の実態と動向に関する調査研究
  - ・電力多消費型業務用電力の需要家ロードカーブに関する分析調査

#### 〔地球環境関係〕

- (21) グローバルエネルギーシステムの評価に関する調査研究
- (22) エネルギー消費効率化と地球環境問題に関する調査研究
- (23) 廃棄物のリサイクルに関する調査研究

#### 4. エネルギーの開発、供給、利用に係る技術上の応用的事項に関する専門的、総合的な研究について

刻々と変化する社会的、経済的、技術的な多種多様な制約のもとで、エネルギーの開発、供給、利用に関して、安全性の確保を前提として、地球環境問題への対応を考慮しつつ、現実性のある最適なシステムを設計する。

さらに、これらの最適システムの設計研究の成果を具体的なプロジェクトに応用する研究を行い、プラント設備や機器の開発に資する等専門的、総合的見地からの研究を行う。

#### 〔原子力関係〕

- (1) 核燃料サイクルに関する調査研究
  - ・プルトニウム等の利用方策に関する調査研究
  - ・使用済核燃料管理システムに関する調査研究
- (2) 放射性廃棄物の処理・処分にに関する調査研究
  - ・地層処分コンセプトの背景に係わる評価研究
  - ・放射性廃棄物処分場の管理システムに関する調査研究
- (3) 次世代原子力システムに関する調査研究

- ・高速増殖炉の実用化に関する調査研究
- (4) 発電用原子炉の廃止措置技術等に関する調査研究
    - ・原子炉廃止措置実施の環境整備に関する調査研究
  - (5) 原子力分野における数値シミュレーションに関する調査研究
    - ・BWRサブチャンネル解析手法に関する研究
  - (6) 原子力分野における情報技術の応用に関する調査研究
    - ・原子力立地地域の情報化に関する調査研究
  - (7) 原子力開発利用政策に関する調査研究
    - ・原子力開発政策に関する調査研究
    - ・国際協力のあり方に関する調査研究
    - ・軽水炉長期化に係わる課題の整理・見直し

#### 〔化石燃料関係〕

- (8) 石油系エネルギーに関する調査研究
  - ・自動車及び燃料に関するプログラムの評価
  - ・低公害型自動車燃料の開発・利用等に関する調査研究
  - ・石油活用型スーパーごみ発電システムの普及促進に係るモデル調査
- (9) 石炭の利用技術に関する調査研究
  - ・石炭水添ガス化プロセス高度化に関する調査研究
  - ・低品位炭の改質技術に関する調査研究
- (10) 次世代型高効率エンジンに関する調査研究
  - ・セラミックガスタービンの応用に関する調査

- ・セラミックガスエンジンの技術評価

#### 〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

- (11) 発電技術に関する調査研究
  - ・高効率廃棄物発電技術の最適システムに関する調査研究
  - ・次世代型高効率廃棄物発電技術に関する調査研究
  - ・燃料電池の開発・利用に関する調査研究
- (12) 新エネルギー導入・普及に対する地方自治体の取り組みに関する調査
- (13) 電力負荷集中制御システムに関する調査研究
- (14) エネルギー貯蔵技術に関する調査研究
  - ・電気二重層キャパシタによる電力貯蔵技術に関する実証調査
- (15) 電気自動車等クリーンエネルギー自動車に関する調査研究

#### 5. 前三号の研究に係る試験について

前三号の研究に伴う材料、要素、機器等の試験を随時行う。

#### 6. 前各号の調査、研究、試験の成果に係る資料の作成、整備、提供について

前各号の事業で得られた成果のうちから、技術情報として有用度の高いものを目的に応

じて速やかに編集し、利用者に提供する。さらに、これらの研究成果は出版、寄稿・投稿、講演会、学会発表等により公表し、広く利用に供することとする。

また、それぞれの目的に応じたエネルギーの開発、供給、利用に係る技術指導を行い、人材を養成するなどエネルギー技術に関する指導、普及、啓発に努めることとする。

- (1) 技術情報の編集、整備、提供
- (2) 定期刊行物の出版
- (3) エネルギー技術普及講演会（エネルギー総合工学シンポジウム、月例研究会等）の開催

#### 7. その他

エネルギーの開発、供給、利用の円滑な展開を図るためには官・学・民一体となった協力体制を整え、効率的に機能させることが重要である。本研究所は、このような観点に立って、エネルギー技術上の諸問題について、各所の専門家による討論と情報交流を行う場を提供し、責任ある、しかも時宜に適した新しいエネルギー技術政策について提言を行うこととする。

また、海外の研究機関との交流・連携を深めるとともに、国際プロジェクトへの参画等により、国際協力事業の一端を担う。

- (1) 内外の関係研究機関との研究協力
- (2) 日タイ間のテクノロジー・トランスファー

## ● 行 事 案 内 ●

---

### (財)エネルギー総合工学研究所 創立20周年記念特別シンポジウム

---

テーマ：「21世紀のエネルギー・地球環境と技術戦略」

〈基 調 講 演〉「持続可能な発展と科学技術の役割」

慶応義塾大学 教授 茅 陽一

〈特別講演1〉「エネルギーと新しいライフスタイル」

評論家 五代利矢子

〈特別講演2〉「21世紀初頭のエネルギー需給展望と日本の課題」

(財)日本エネルギー経済研究所 理事 十市 勉

〈特別講演3〉「グローバル・エネルギー・システムの設計」

東京大学 教授 鈴木 篤之

〈パネル討論〉「21世紀のエネルギー・地球環境と技術を考える」

〈司 会〉 近藤 駿介 (東京大学 教授)

〈パネリスト〉 柏木 孝夫 (東京農工大学 教授)

五代利矢子 (評論家)

(五十音順) 谷口 富裕 (資源エネルギー庁 長官官房審議官)

月尾 嘉男 (東京大学 教授)

前田 肇 (関西電力㈱ 専務取締役)

---

日 時：平成10年7月10日(金) 10:00~17:00

会 場：東商ホール 東京商工会議所ビル4F 千代田区丸の内3-2-2

参加費：無料

問合先：(財)エネルギー総合工学研究所 企画部 金子裕子

電話：03-3508-8894/E-mail:ykaneko@iae.or.jp/FAX：03-3501-1735

(なお、プログラムは若干変わる可能性があります)

## 研究所のうごき

(平成10年1月1日～4月1日)

### ◇ 第5回評議員会

日時：3月12日(木) 12:00～13:20

場所：経団連会館(9階) 906号室

議題：

第一号議案 理事および監事の選任について

第二号議案 評議員の一部交替について

第三号議案 平成10年度事業計画および収支  
予算(案)について

第四号議案 その他

### ◇ 第49回理事会

日時：3月20日(金) 12:00～13:20

場所：経団連会館(9階) 906号室

議題：

第一号議案 平成10年度事業計画および収支  
予算(案)について

第二号議案 理事4役の互選について

第三号議案 評議員の一部交替について

第四号議案 顧問の委嘱について

第五号議案 事務局長の委嘱について

第六号議案 その他

### ◇ 第42回企画委員会

日時：2月27日(金) 10:00～13:00

場所：新橋SYビル 7階会議室

議題：

1. 最近の事業概要について
2. 新・中長期ビジョンの作成について
3. その他

### ◇ 月例研究会

#### 第154回月例研究会

日時：1月30日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 601会議室

テーマ：

1. 地球環境問題とNEDOの対応  
(新エネルギー・産業技術総合開発機構  
環境技術開発室長 久留島守広氏)

2. COP3の結論と課題および我が国の今後の対応について

(国立環境研究所 社会システム環境部  
環境経済研究室長 森田恒幸氏)

#### 第155回月例研究会

日時：2月27日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. ISO14000シリーズの概要と我が国への導入状況  
(通商産業省 工業技術院 標準部 管理システム規格課 環境管理システム班長 矢野友三郎氏)
2. ISO14000シリーズに係るLCA規格化の動向  
(通商産業省 工業技術院 機械技術研究所 研究調査官 赤井誠氏)

#### 第156回月例研究会

日時：3月27日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 601会議室

テーマ：

1. 負荷平準化のための電池電力貯蔵技術の概要  
(通商産業省 工業技術院 電子技術総合研究所 エネルギー部 主任研究官 野崎健氏)
2. 超電導エネルギー貯蔵装置(SMES)研究の概要  
(九州電力(株) 総合研究所 主幹研究員 林秀美氏)

### ◇ 主なできごと

1月7日(水)・第1回先進型高効率エンジンの応用調査WG

8日(木)・第2回地層処分研究委員会

13日(火)・第4回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会

・第1回発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査委員会

14日(水)・第1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

16日(金)・第3回石炭水添ガス化高度化調査分科会

- 1月27日(火)・第4回高温ガス炉プラント研究会  
 28日(水)・第1回エネルギー・環境技術研究開発の事前評価に関する調査委員会  
 30日(金)・第3回エネルギー環境予測検討委員会
- 2月2日(月)・第2回石炭灰有効利用拡大技術調査委員会  
 4日(水)・第3回地層処分背景情報委員会  
 ・第3回廃棄物ガス化熔融発電技術評価委員会  
 5日(木)・第3回地層処分研究委員会  
 ・第2回エネルギー・環境技術研究開発の事前評価に関する調査委員会  
 6日(金)・第3回地球環境対策技術調査研究委員会  
 10日(火)・第2回自動車及び燃料評価委員会  
 ・第3回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査研究(II)委員会  
 16日(月)・第3回石油活用型スーパーごみ発電導入に向けた課題に対するアクションプログラムに関する調査委員会  
 ・第3回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会  
 18日(水)・第2回WE-NET総合評価と開発計画のための調査・研究委員会  
 23日(月)・第1回海外における原子力発電研究開発の推進動向調査委員会  
 24日(火)・第5回高温ガス炉プラント研究会  
 ・第3回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会  
 25日(水)・第3回WE-NET全体システム概念設計-安全対策・評価技術委員会  
 26日(木)・第4回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会  
 27日(金)・第3回負荷集中制御専門委員会
- 3月2日(月)・第3回エネルギー・環境技術研究開発の事前評価に関する調査委員会  
 ・第3回先端技術調査分析検討会  
 6日(金)・第3回産業構造変化の電力需要への影響分析調査委員会  
 ・第1回ガス技術評価委員会
- 10日(火)・第2回DSM技術検討委員会  
 12日(木)・第1回21世紀ガス技術ビジョン委員会  
 13日(金)・第2回先進型高效率エンジンの応用調査WG  
 ・第4回低品位炭改質技術に関する調査委員会  
 ・第5回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会  
 16日(月)・第5回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会  
 ・第2回非在来型天然ガス基礎調査委員会  
 17日(火)・第3回夜間電力需要動向分析調査委員会  
 18日(水)・第4回廃棄物ガス化熔融発電技術評価委員会  
 ・第3回分散型電源動向分析調査委員会  
 19日(木)・第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会  
 ・第4回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査研究(II)委員会  
 20日(金)・第11回新水素エネルギー基礎研究推進委員会  
 23日(月)・第3回石炭灰有効利用拡大技術調査委員会  
 ・第1回海外における原子力発電研究開発の推進動向調査委員会  
 24日(火)・第2回海外における原子力発電研究開発の推進動向調査委員会  
 26日(木)・第2回含酸素軽油の開発可能性に関する調査WG  
 ・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  
 ・燃料電池に関する実用化のためのシステム調査検討会  
 ・第2回発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査委員会  
 ・第5回「原子力と情報」懇談会  
 27日(金)・第3回IPCC第三次評価報告書に関する国内委員会  
 30日(月)・第4回エネルギー・環境技術研究開発の事前評価に関する調査委員会

◇ 人事異動

○2月28日付

(出向解除)

小谷哲哉 (プロジェクト試験研究部兼新水素  
エネルギー実証研究センター 主  
任研究員)

○3月1日付

(採用)

鈴木昭男 プロジェクト試験研究部兼新水素  
エネルギー実証研究センター 主  
任研究員

○3月20日付

(出向解除)

藤原鉄也 (プロジェクト試験研究部 主管研  
究員)

○3月21日付

(採用)

千葉勝司 プロジェクト試験研究部 主任研  
究員

○3月31日付

(出向解除)

角 正夫 (新水素エネルギー実証研究セン  
ター新水素エネルギー実証ラボ  
ラトリー 主管研究員)

島田 僚一 (同上 主管研究員)

上村 博 (同上 主管研究員)

千住 年男 (同上 主管研究員)

久保田章彦 (同上 主任研究員)

宮下 茂 (同上 研究員)

西川 裕次 (WE-NETセンター 主管研究  
員)

○4月1日付

(採用)

丸山文夫 WE-NETセンター 主管研究員

# 第 20 卷 通 卷 目 次

VOL. 20, NO. 1 (1997. 4)

【巻頭言】	環境問題とエネルギー技術	
		東京ガス(株) 専務取締役 山本洋平… 1
【座談会】	本格的プルサーマル時代の展開へ	
	— 総合エネ調原子力部会中間報告をめぐって —	2
		東京大学 大学院工学系研究科 教授 近藤駿介
		通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部
		原子力発電課 新型炉開発企画官 中富泰三
		電気事業連合会 原子力部長 早瀬佑一
		司会 (財) エネルギー総合工学研究所 専務理事 稲葉裕俊
【特別講演】	グローバルエネルギー戦略	
		東京大学 大学院工学系研究科 教授 山地憲治… 23
【事業計画】	平成 9 年度事業計画の概要	(財) エネルギー総合工学研究所… 41
【寄稿】	低品位炭の転換技術	
	— 新クリーン燃料ジメチルエーテルの合成 —	
		NKK 技術開発本部 技術企画部 主幹 大野陽太郎… 45
【調査研究報告】	メタンハイドレートとその将来性	
	— 日本周辺海域に眠る新しい天然ガス資源 —	
		主管研究員 兼子弘… 55
【技術解説】	放射性汚染除去の基礎知識	専門役 和達嘉樹… 66
【随想】	クリーンエネルギー自動車レポート (第 3 報)	
	— 活発化するハイブリッド自動車の開発 —	
		プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮池宏… 74
【行事案内】		82
【研究所のうごき】		83
【第 19 巻通巻目次】		86
【編集後記】		90

VOL. 20, NO. 2 (1997. 7)

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

VOL. 20, NO. 3 (1997. 10)

特集：第15回エネルギー総合工学シンポジウム

天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術

—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—

平成9年7月14日(月) 東商ホール(東京商工会議所ビル4階)

総合司会……プロジェクト試験研究部 部長 高倉 毅

- 【開会挨拶】 理事長 秋山 守… 1
- 【来賓挨拶】 通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 谷口 富裕… 3
- 【基調講演1】 天然ガス需給の将来展望 —特にアジアに関して—  
東京ガス(株) 最高顧問 片岡 宏文… 7
- 【基調講演2】 今なぜメタノールか  
—メタノールのエネルギー利用の意義—  
東京大学 大学院工学系研究科 教授 吉田 邦夫…18
- 【特別講演】 エコノミストの目から見たエネルギー問題  
(株)長銀総合研究所 主席研究員 竹内 佐和子…30
- 【講演1】 中小ガス田・油田の利用を拓くメタノール洋上生産システム  
三菱商事(株) LNG第一部 部長代行 桑原 徹郎…37
- 【講演2】 メタノールの製造と研究開発の現状  
三菱ガス化学(株) 研究技術本部 技術部長 上松 正次…44
- 【講演3】 メタノールの発電利用技術とその経済性  
プロジェクト試験研究部 部長 高倉 毅…58
- 【講演4】 期待されるメタノール燃料電池自動車  
トヨタ自動車(株) 第1FP部 主担当員 河津 成之…69
- 【講演5】 我が国の長期エネルギー需給見通しとメタノール燃料の位置づけ  
(株)テクノリサーチ研究所 代表取締役 内田 二郎…78
- 【総括とりまとめ・閉会挨拶】 ……専務理事 稲葉 裕俊…87
- 
- 【研究所のうごき】……………89
- 【編集後記】……………90

VOL. 20, NO. 4 (1998. 1)

【巻頭言】	エネルギー・セキュリティ 関西電力(株) 取締役副社長	鷲見 禎彦… 1
【座談会】	これからの廃棄物発電を考える	
	京都大学 名誉教授 地球環境システム工学研究所 所長	平岡 正勝
	資源エネルギー庁 公益事業部 電力技術課 開発振興室長	細川 政弘
	新エネルギー・産業技術総合開発機構 水素・アルコール・バイオマス技術開発室長	新井 晴美
	東京都 清掃局 工場管理部 発電計画担当副参事	永島 公明
	司会 (財)エネルギー総合工学研究所 エネルギー技術情報センター長	小川 紀一郎… 2
【特別講演】	平成10年度予算要求における資源エネルギー政策	
	資源エネルギー庁 長官官房総務課 計画需給班長	高倉 秀和…20
【寄稿】	生物による二酸化炭素の固定と バイオマス・エネルギー	
	(財)電力中央研究所 我孫子研究所 生物科学部 部長	齋木 博…34
【調査研究報告】	地球温暖化問題とその対応についての概要	
	プロジェクト試験研究部 部長	吉江 照一…47
【調査研究報告】	火力発電ボイラから 沸騰水型原子炉の熱水力学解析へ……………	副主席研究員 楠野 貞夫…58
【海外出張報告】	WE-NET関連技術調査に欧州を訪れて	
	主管研究員	大野 哲雄…72
【訪問記】	電源開発(株) 奥清津第二発電所 訪問記	
	IAE女性研究員取材チーム	…82
【研究所のうごき】……………		88
【編集後記】……………		90

## 編集後記

巻頭言は、最近地球環境面からも注目されている輸送用エネルギーの消費量低減に関し日本自動車工業会の富永孝雄副会長から「COP3その後と自動車業界」として寄稿いただいた。

理事長対談は、三菱マテリアル(株)の秋元勇巳社長にご登場いただいた。同氏の著書である「しなやかな世紀」にまつわる話を糸口として、エネルギー、環境、経済、情報、教育問題へと発展し予定した時間を超えて話がはずんだ。昨今のエネルギーを巡る情勢を踏まえて、是非語りたいとの両氏の思いが表れた結果であったと思う。

その他、外部からの寄稿として科学技術庁の有本建男課長から「高レベル放射性廃棄物処分に向けての取り組み」について特に処分懇談会の動きを中心に紹介いただいた。昨年の当所月例研究会でのご講演をテープ起こししたものに、今般さらに同氏の協力を得て、加筆修正していただいたものである。次いで、東京大学の松橋隆治助教授から「持続可能なシステム実現のためのエネルギー技術開発とライフサイクルアセスメント」の題で寄稿いただいた。数式

を縦横に駆使しての理論展開に、事務局レベルの理解力では太刀打ちできない壁の大きさを感じながらも、持続可能な発展には、新システム採用に際して工学と経済学の両面のアプローチが必須であることを理論的に展開されている点を敢えて紹介したい。また、日本原子力発電(株)土江保男部長からは「世界の高温ガス炉の開発動向」として同技術に関する内外の状況を紹介いただいた。いずれも、年度末で多忙な中からご協力いただき事務局を代表して心から感謝申し上げます。

毎年の風情ではあるが、本年も春の訪れとともに、例えば桜の場合でみると蕾が開き、満開となって散り、そして新緑へと変わっていく鮮やかな季節の変化が見られた。厳しい冬を耐えて、時がくれば花を咲かせ、そして緑の葉へと移っていく樹木の様子に自然のもつ息吹きと“しなやかさ”を垣間見る思いがした。今、わが国が置かれた多くの困難を乗り切るヒントは意外と自然の中に隠されているのではなからうかと本号の編集に際して思った次第である。

編集責任者 小川紀一郎

---

### 季報 エネルギー総合工学 第21巻第1号

---

平成10年4月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

---

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社