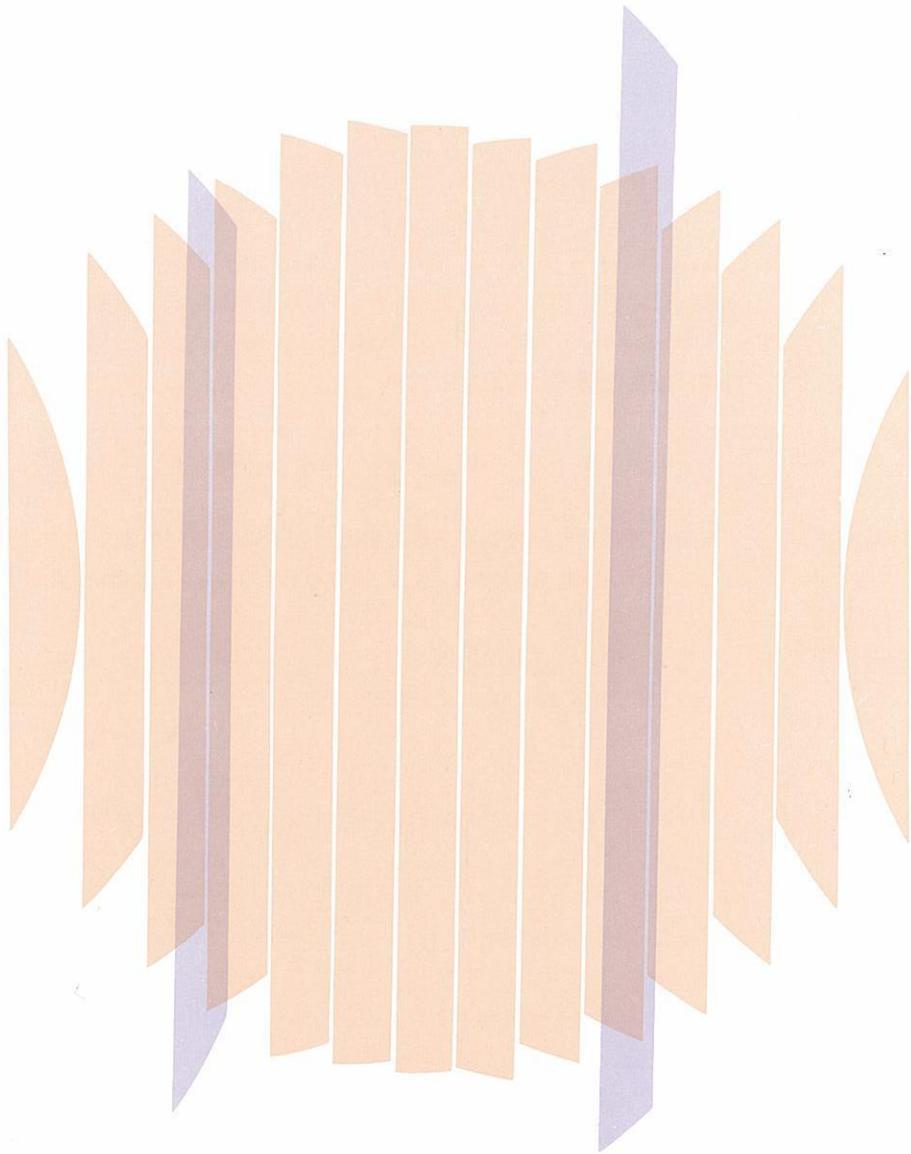


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 24 No. 1 2001. 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】	原子力安全・保安院の今後の取り組みについて 経済産業省 原子力安全・保安院院長 佐々木 宜 彦… 1
【理事長対談】	21世紀 科学技術の行方 —エネルギー問題は幅広い人間学で解決へ— (株)三菱総合研究所 特別顧問 牧 野 昇 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守… 3
【内外情勢紹介】	地球温暖化問題と国際的取組み —京都メカニズムでウィン・ウィン・プロジェクトを— (財)電力中央研究所 企画部 上席研究員 (研究参事) 新 田 義 孝… 26
【内外情勢紹介】	革新型炉としての高温ガス炉の特長、開発現状及び展望 日本原子力研究所 大洗研究所核熱利用研究部長 塩 沢 周 策… 40
【調査研究報告】	発電システムの外部性評価 —社会全体に対するコスト意識— 主任研究員 尾 形 圭 史… 54
【内外情勢紹介】	第6回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP6) に参加して 主任研究員 黒 沢 厚 志… 66
【事業計画】	平成13年度 事業計画の概要 (財) エネルギー総合工学研究所… 76
【行事案内】	第18回エネルギー総合工学シンポジウム …………… 80
【研究所の動き】	…………… 81
【第23巻通巻目次】	…………… 83
【編集後記】	…………… 87

# 巻頭言

## 原子力安全・保安院の今後の取り組みについて

経済産業省 原子力安全・保安院院長  
佐々木 宜彦



省庁再編に伴い2001年1月6日に経済産業省に原子力安全・保安院が設立されました。この組織におきましては、エネルギー利用としての原子力利用について製錬，燃料加工，発電炉，再処理，放射性廃棄物処理という上流から下流まで一貫した安全規制と電力施設，ガス事業施設，高圧ガス，火薬，鉱山などの保安規制とを担うことになり，経済産業省における安全保安規制行政をほぼ一元的に行う組織が誕生しました。

原子力安全・保安院の任務は，規制対象事業のリスクに応じた的確な規制を実施することにより，事故の未然防止を図るとともに，万が一事故の発生の際の被害の発生拡大の防止，さらには再発防止策を講じることにより国民の生命，財産の維持，エネルギー資源の安定供給，産業活動の安定的発展を安全保安規制の立場から支えるという点にあります。

当院の社会的責務の重さを認識しつつ，社会から信頼される組織となりますよう，その基礎をしっかりと固めていく必要があると考えています。

このためには，規制行政に携わる者一人一人がこうした任務を十分にわきまえ，組織全体として危機管理能力を維持向上し，規制行政の専門家集団として国民の目線から評価されるものでなければなりません。

私は当院の発足にあたって、我々の行動規範として、

- ① 強い使命感をもち、同時に緊張感をもって業務遂行にあたること
- ② 科学的合理的判断による規制行政を行うこと。このためには、最先端の知見や国際スタンダードにも配慮するとともに、現場を良く知る努力や、常に事実謙虚であることが必要であること
- ③ 業務遂行の透明性を確保する上で、行政判断の説明責任を果たすとともに情報公開に積極的に対応していくこと
- ④ 当然のことながら公務における倫理保持として中立性、公正性を旨とすること

の4つを提示させて頂きました。

先日発表された原子力安全白書においても「原点からの原子力安全確保への取組み」がテーマとなっています。私も当院の運営理念はこの点にあると考えています。

このような中、当院は核燃料サイクル関連施設、放射性廃棄物の処理・処分等のフロンティア部門の規制の整備、緊急時対応体制強化のための各種の訓練の積み上げ、原子力安全に対する国際協力、あるいは産業保安、鉱山保安の分野における様々な課題に対応していく必要があります。

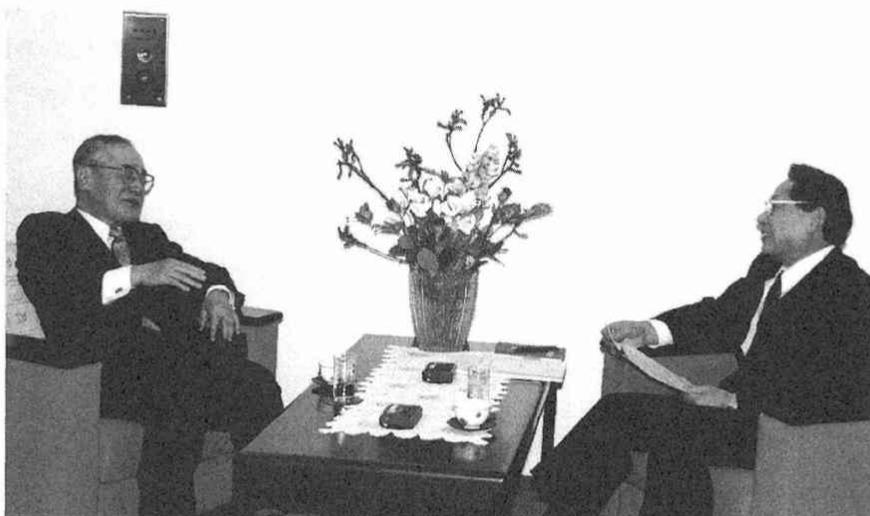
規制が一貫化・一元化されたことを生かして、規制の合理性、整合性の確保を図っていくためには、十分な議論を尽くしていくことが必要であり、中には時間を要するものも多々ありましようが、国民の皆さまからの信頼を一步一步高めていくよう努力してまいりたいと考えております。

## 21世紀 科学技術の行方

—エネルギー問題は幅広い人間学で解決へ—

牧野 昇 (株)三菱総合研究所特別顧問

秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所  
理事長



### はじめに

秋山 わが国は「技術立国日本」ということでこれから世界に向けてさらに頑張らなければいけない時代ですが、牧野先生から、しっかりした技術論に立った、そして広く社会全体のことを含めたご意見をいろいろいただきます。どうぞよろしく願いいたします。本日は特に、環境やエネルギー、そし

### 牧野昇氏 略歴

1921年(大正10年)栃木県生まれ。1944年(昭和19年)東京帝国大学工学部卒業。1949年同大学工学部大学院修了。東京大学講師、三菱製鋼取締役、三菱総合研究所代表取締役会長を経て、現在同社特別顧問。NSネット理事長。戦後対米技術輸出の第1号となったMTマグネットを発明。工学博士。

『逆説 日本のこれから100年』、『悲観主義が国を滅ぼす』、『アウトソーシング』、『オープンリソース経営』など著書多数。

多数の政府審議会の委員などを歴任し、わが国の科学技術政策に長年にわたり貢献。

て科学技術のあたりを軸にお話をいただきたいと存じます。

まずイントロとしまして、最近HIIロケットの失敗、地下鉄の脱線事故、新幹線トンネル内のコンクリート壁落下など、いろいろと技術的なトラブル、事故が起きました。原子力関連では燃料関連施設でショッキングな事故があり、大きな社会問題となりました。

こうして見ますと、戦後日本が営々と築いてきた技術について、その基盤を支える人に対する信頼感が、技術レベルにしても組織管理の面でも、いささか社会的に揺らいでいるのではないかと思います。このあたりの現況、あるいは背景等につきまして日頃お感じになっていること、さらに今後考えていかなければならないことについて、どうかご意見を頂戴できればと思います。

---

## わが国技術の強さ・弱さ

---

### 大型プロジェクトに弱い日本の労働力特性

牧野 ジェー・シー・オー (JCO)、HIIロケット、新幹線トンネル、あるいは鉄道の脱線等々、かなり安全性に問題があるということが懸念された。私も原子力産業界全体の安全文化の共有化を目指したNSネット（ニュークリアセーフティーネットワーク）理事長になりました。ピアレビュー（会員相互の評価）に参加し、視察結果をホームページで公開しましたところ、外部から数千のアクセスがあり、非常に関心が高まっています。

基本的に、日本の技術とアメリカの技術を

比べますと、日本の技術というのは部品点数で数十万点の自動車までは、かなりいいわけです。例えば、アメリカの自動車会社の輸出1位、2位はアメリカ・トヨタとホンダというのですから。部品点数でいうと数万点、言い換えますと、目で見える範囲の物づくりについては非常に安全性もいいし、性能もいい物をつくります。大体ハイテク製品ですと、例外もありますけど、日本は大変な輸出超過です。アメリカは大変な輸入超過だとOECD（経済協力開発機構）見通しは警告しています。輸出超過と国際的に認められているわけで、そういう点でいうと製造業が強いわけです。

私も工場長として工場に長くいたのでわかりますが、日本人の場合には能力的にあまりハイレベルもないし、ローレベルもいなくて、中間層が非常に優れている。工場で言えば、工場の現場の人、あるいは係長とか、技能者の頭の人あたりは進んでいます。そして、一番上と一番下がないんですね。上がないというのはちょっと弱いんですけど、下がないというのは非常に強い日本の特徴です。日本はどちらかというと中間層が非常に豊富だし優れている。

アメリカの場合には逆に一番上と一番下がない真ん中が少ない。上がマニュアルを作って、下にそのマニュアルどおりにやれとなります。ところが日本の場合には、みんなが頑張ってくれるというところがありますね。それが今度の事故でも出たわけですし、日本の場合には中間層が良くて、中間層のアイデア提案だとか、改善とかやって、どんどん良くなる。目に見える、部品点数で数十万点の車だとか、家電などの場合にはすぐわかるので、非常にうまくいく。ところが、この改善をす



## 牧野 昇氏

(株)三菱総合研究所 特別顧問

るとか、いろんな意味で自分の工夫を入れて仕事がよくなるという日本のやり方は大きなプロジェクトではまずいわけなんですわね。

小手先の改良、改善と言っては悪いんだけど、それが個々人のやりがいを高める面もあるんですよ。NUMMI（ニューユニテッドモーターマニュファクチャリングインク）というトヨタとGM（ゼネラル・モーターズ）が作った会社での調査チームの報告によると、日米の現場の違いが判る。おまえに任すから全部やってくれと言うと、働きがよいとか、生きがよいというのは創造ですから、俺たちがやっていい品物をつくれますからとなって、生産効率が2倍になったということがあります。そういう自動車まではいいけれども、大きなプロジェクト、例えば、NASAは大体、数百万点ぐらいの部品を分散させてロケットに組立てるわけですから作業員はマニュアル通りにしなければできないということになります。日本はこれが下手ですよわね。

僕は「ものづくり懇談会」のときに小淵さんに言ったんです。「これからも日本は中型ま

ではうまい。だけど大型になると失敗する。国としては大型プロジェクトの開発に力を注いで下さい。」

秋山 今お話いただいた問題の背景や原因、そして日本的なやり方などにも、それなりの理屈や長所はあったわけですね。例えば優れて均質なものを早くみごとに作るということについては、いったんラインに乗ってしまうと余計な知恵を加える必要がないので、その意味できっちりした物をきっちりした方法で作るというのはよかったです。ですが、新しい物を創っていくとか、あるいは今おっしゃったように、非常に巨大な未知のシステムを実現し、あるいは運用していくとなると、これは従来の経験や手持ちのシステムだけではうまくいきませんわね。そこで何か冒険をしなければなりません。だが、それを意図的にしなかった、あるいは、できなかったという背景、原因は何でしょうか。

牧野 日本は、俺に任せておけ、頼むぜという形で、あとは一杯飲むという感じでね。日本では同質の国民の中で、あうんの呼吸、暗黙知とか、互いにわかったか、わかったぜ、という腹の中での判り合いであり、よう頼むで大体のものはできてしまう。アメリカは、何と言ったって間もなく黒人社会になるぐらい雑種社会ですから、氏素性が全部違ってきます。だからマニュアル通りにやらなければいけないというところがある。隣はちょっと怪しいぞという感じの下で形式知を進めていくアメリカとその辺のところが違う。

## 先行者追隨指向で

### 異なるコンセプト創造に弱い体質

秋山 おっしゃったように、確かに大きな要素として、日本では人間の多様性とか考え方の多様性が非常に乏しかった。というのはモノクロ的なんですね。省みますと、新しい考えの間の衝突だとか、かみ合いなどによる次のステップへの飛躍が、残念ながらできなかったんですね。

牧野 もう1つ、僕も10年ぐらい東京大学で講義をやっていたんですけど、その間ほとんど質問がないんですよ。例えば、学会なんかになると、アメリカでもどこでも質問ばかりで、静かにしろというぐらいにあるんですけど。大学で教えていてどうですか。

秋山 基本的にはあまり変わっていないです。習慣と言ってしまえばそうですが、欧米との違いの根は深いと思います。

牧野 なぜかという、日本の学生は先生から言われたことに疑問を持たず、過去のトレンドを正しいと思う。違ったコンセプトに入っていく傾向があるんですね。だから、過去のトレンドの延長でやるのは非常にいいけれども、コンセプトの違った考え方は生まれていない。例えば日本の小学生の机は先生の方を向いていて、言われたとおりにやる。私の高校の先輩で東京大学教授や組織工学研究所長を勤めた糸川英夫さんに、「何でイスラエルにはノーベル賞受賞者が多いか」と聞いたら、「イスラエルの学校に行ったら、小学校ぐらいから机がばらばらで、全部独自なものを学ぶからだ」と言っていました。日本は「よい、どん」で、一列で決まったように成長していく。学習塾に行くと、決まったような

勉強をやって、東大を出て大蔵省に行くのが一番いいなんてことになっている。

秋山 スタンダードなカリキュラム、スタンダードなシステムの中でないと、仲間からも社会からもはじき飛ばされるという感じですね。

牧野 企業の寿命は30年くらいだという。最近はずっと短くなった。何かトレンドとして、成績の一番いい者が順番にいい所に行く。僕と同級生なんか成績のいい者ほど早く落ちぶれちゃってね。なぜかという、僕が大学を出た頃は、成績がいい者は石炭だとか、綿紡だとか、鉄鋼だとか、みんなそういうところに行った。ホンダやソニーとかは四畳半だと、いうふうに見てた。

僕は東京大学の機械工学科で年に1回講義しているんだけど、「俺の経験で言うと、大学時代成績のよかったものはあんまり出世してねえぞ。かといって、あんまり悪いのはだめだ。例えば、30人いると、10番から15番あたりがいいんで、あんまりいいのはだめだ」と言う、「その辺ならいけそうだ」とみんなうれしそう顔をする。

### 失敗を咎め

#### 発展の芽を摘む姿勢を改めるべし

秋山 ところで今回のJCOの事故ですが、これを振り返ってみますと、当事者の責任はもちろん非常に大きいのですが、関連する組織全体の問題も問われています。ともかくJCO事故は極めて残念で、多くの反省点を印象づけました。ですから、これを機に大いに改善を進めていかねばなりません。また同時に、こうした失敗について徹底的に学んで、そし

て社会に広く伝えていくことが必要ですね。その点、欧米のやり方はとても参考になります。

ところで話は全く変わりますが、事故も含めて広い意味での失敗について、私が日頃から感じていることなのですが、概して失敗を極めて厳しく咎める。先行者の失敗も容認しない。ですから失敗をしないようにする。そうすると保守的になる。失敗すれば隠す。などという日本のカルチャーの問題もあると思うのです。

牧野 ありますよ。僕は小淵さんの「ものづくり懇談会」のメンバーでね、小淵さんに言った。日本は大型プロジェクトに対して国の資金を出して下さい。その際、失敗すると非難を浴びせられる。例えば高速増殖炉（FBR）のナトリウム漏えい事故の時だって、原子力安全委員会原子炉安全専門審査会の須田信英研究開発用炉部会長（当時）がテレビでこてんこてんに叩かれた。あれではだめだ。アメリカでは、大きな事故を起こした人を免責する免責事項というのがあつた。そうすれば何でも喋るといふわけですよ。免責しなければ全部隠してしまう。次の発展はない。だから、僕は大型プロジェクトの事故においては、免責するといふのをやってくれと言つたわけですよ。

免責しないで、あれだけ責任を迫及して、子供まで学校に行つていじめられるようになったんでは、隠しますよ。どうしたつてね。

秋山 そうですね。新しいアイデアが出にくいですね。下からどんどんと勢いが上に昇つて行つて欲しいのに中間層が非常に強い。逆に言えばトップが弱い。失敗を恐れる……。

牧野 「出る杭は打たれる」。

秋山 それがありますね。やはり先行的なリスクをある程度容認しながら進歩につなげていく、というサイクルを作らなければなりませんね。

牧野 先生のおっしゃるとおりですね。日本的な「出る杭は打たれる」とか、「この野郎、ばかに出世しやがつて」といふジェラシーね。日本人は嫉妬社会ですから。

秋山 それは徐々に変わつていくのでしょうか。

牧野 当分変わらないでしょう。しかしグローバル化で少しずつ変わつていく。

---

## 地球温暖化問題

---

### CO<sub>2</sub>中心の議論は慎重に

#### 太陽黒点活動と気温変動の相関性

秋山 COPの会議の動きに見られるように、地球温暖化の問題が極めて大きく取り上げられています。例の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第3次報告書もそろそろまとめられる頃かと思うのですが、温暖化の原因が二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）等の温暖化ガスだといふことで、その排出を減らすにはどうしたらいいか、役所も、産業界も、こぞつて力を入れています。温暖化が本当に現実になるかといふことについては若干異説もあるようですが、現に大気中のCO<sub>2</sub>濃度は増えており、海面のレベルが上昇しかかっているとのことで相当深刻な問題といふことは言えると思つた。

こうした温暖化の防止に向けまして、わが国は技術面で将来とも世界に並び、さらにリ

ードしていく、と同時に、経済の活力も維持しなければいけません。温暖化の問題、技術、経済などを含めて今後どうしていけばいいか、ぜひご意見を頂戴したいと思います。

牧野 まず温暖化防止対策として炭酸ガスの抑制を強化するのは賛成だが、2、3の雑誌にも書いたことがあるんですけども、慎重に考えてくれという意見なんです。例えば、温暖化現象を見ると時間軸に対して波を打っているわけです。確かに今から20年前から40年前の間の約20年間は温度が下がっているんです。この温度のばらつきに対して非常に相関性があるのは太陽の黒点なんです。もちろん、僕は炭酸ガスが温暖化に影響してないとは言っていないですよ。ただ、それだけかという、かつて1960年代だったと思うんですが、気温の低下が進んだ時期が認められ、地球が寒冷期に入ったと騒いだことがあった。あの原因は何だったんだと思うが、解答はないようです。太陽の黒点の数と温度の変動との間できれいな相関性が出る。それは当然です。黒点が多いというのは太陽が非常に活動している時ですから。要因は複雑である点を述べたい。

#### 表面的読み方で終わっているIPCC報告書

牧野 もう1つは、大体IPCCの第1次レポートが2,000ページ以上あるんですよ。だけど、丸々読んだ人は極めて僅かです。最後の結論だけ見て大変だ、大変だと言うんだけど、中を見て、どのぐらい仮定を入れているかとか、それを計算する過程の中において、どのぐらいの省略があるか。科学者としては言いにくい点があるけれども、しかし、当面、我々と



秋山 守氏

(財) エネルギー総合工学研究所  
理事長

しては国連のコンセンサスで世界が認めているものを、なるほどそうだとせざるを得ません。影響についてはある程度限定的に受け止めるにしても、CO<sub>2</sub>排出量を減らすということは必要だ。しかし、そこばかりを攻めることには納得できない僅かの点が残る。さらに、アメリカのように経済的にどうかという問題があるわけですね。

#### 自動車メーカーの努力を評価

牧野 それからもう1つは、産業的に言うと、CO<sub>2</sub>排出は自動車が多いということなんです。じゃあ、自動車をとめて大丈夫かねということになる。その点では、僕はみんな努力していると思うんです。例えば、最近の自動車技術の動向を見ていると、例えば2003年からカリフォルニア州で販売する自動車の10%は無公害車でなきゃだめだという厳しい排ガス規制が予想されます。そういうことがあって、最近燃料電池自動車だとか、ハイブリッドカーだとか、天然ガス自動車とか、電気自

動車と言い出した。やはりそれなりに効果があると思うんです。

自動車の無公害車をつくるために今みんな大変な研究投資をしている。その投資をする金がないので合併を始めているという状況です。この間聞いたら、トヨタのハイブリッドカーが、カリフォルニアでタクシーとして走っている。来年には燃料電池自動車が日本の街を走るようになるとか。このところ急に研究成果が出て来たんですね。

### うまくいきそうな環境税

秋山 お話のように、温暖化防止や省エネにつながる新型車の話題が盛んです。その温暖化防止のことですが、COP3の合意で日本も温室効果ガスを90年比6%削減するという事になりましたね。その後長期エネルギー需給見通しの新しいバージョンの策定が進められ、省エネ、新エネ、原子力も含めて全力投球の態勢に入っているわけですが、何と申しましても、なかなか見通しどおりには進みにくいというのが現状だと思います。

そこで、技術面だけでなく、いわゆる排出権取引、共同実施、クリーン・ディベロップメント・メカニズム、さらには税金をかけるといったような、社会経済的な新しい仕掛けを作ろうという話もありますね。そうした技術以外の制度的、仕組み的な対応として、具体的にどのあたりが現実的かお考えをお聞かせ願います。

牧野 排出権問題その他はCO<sub>2</sub>排出量の対価の計算が非常に難しくてうまくいきそうにないと思う。一番易しいのは税金という、日常的にやっている方法を採用した仕組みだと思

う。もし経済的な仕組みを作るのだったら、やはり僕は環境税を入れた方がいいだろうなと思うんです。

CO<sub>2</sub>が大量に排出されて、これは大変だとなると、日本人というのは足並みそろえてやるからね。実施プロセスを検討すると、税金を取る仕組みというのが日本の場合に適切だ。非常にベテランの人がいて、消費税があんなに簡単に取れるようになるんだから、僕は環境税か、燃料税か、どちらかで割合困難なしに取れると思うんですね。それを自動車の排ガス対策や環境関連の開発に回すというのは現実的と思う。道路予算もガソリン税で、建設予算を膨らませていたのですから。最初のスタートのところをしっかりとコンセンサスを得ていれば、税金を取れます。僕は環境税についてはわりに賛成なんです。

### 環境問題の焦点はリサイクル

秋山 今、環境というキーワードが出てまいりましたが、温暖化ガス以外の環境影響排出物質として、ダイオキシンや環境ホルモンなどを含んだ大量のゴミの処理が非常に問題になっておりますよね。廃棄物の処分場のため場所がないという問題もあります。そうしたことが非常に深刻になってきているということで、2000年には循環型社会形成推進基本法という立派な法律もできて、関連の重要法案も幾つか制定、あるいは改定されたという状況で誠に記念すべき年でありました。

今挙げました関連の法律は、具体的な名前には、「建設リサイクル法」「食品リサイクル法」などですが、実際問題として、エネルギー、環境、経済という3つのEを適切にバランス

させながら、循環型社会を実現していくのはなかなか困難な課題です。その解決に向けてどういった努力が望ましいか、特に技術的、あるいは社会的な仕組みも含めまして、ご高見を賜われれば有り難く存じます。

牧野 僕も日本環境アセスメント協会というのをつくりまして名誉会長をしていますし、環境技術会議のメンバーで今の天皇陛下の御前講義もしたし、環境についての本も書いている。ある意味で専門に近いところであるんですが、注目すべきは環境に対するターゲットが、年とともに変わってきていることだ。30年か40年前は水俣病で、水俣病の原因である水銀を出した工場と倒れた病人とが識別できて、責任の所在もはっきりしていた。工場長が土下座して謝ったというパターンが最初の環境問題だった。

それがなくなりまして、その次の環境問題というのは、大気汚染の問題になった。京都議定書でCO<sub>2</sub>の排出量を決めたが、最近熱気がやや冷めたようだ。

今、環境問題の最大のターゲットはリサイクルになった。なぜかという捨て場がなくなってしまったからだ。僕も経済企画庁のリサイクル社会研究会座長をやったけど、日本は全然効果がないんですよ。というのは、日本の場合には、公共意識がなくてパッパと捨てるということに抵抗感がないんですね。

#### 循環型社会構築には

大衆のやる気と仕組みが必要

牧野 何が一番望ましいかという2つある。1つは大衆が自分たちでやるという意識。例えば、私の娘がドイツに6年ぐらい行ってい

て、よく私も行くんですけども、大体、ほとんどの廃棄物というのは地域のコミュニティ内で自主的に処理します。ガラス瓶は何々さんと牧野さんの当番だとかで、みんな協力するわけですよ。私はスウェーデンにもドイツにも行ったけど、回収を行なう民間企業はみんなゴミの収集で利益を出してるんです。

秋山 廃棄物にかかる経済的な個人負担は、広い意味では環境税、社会経済税の対象なのかもしれませんね。

牧野 そうそう。民間の仕組みに組み込んで利益を出していくといいですよ。例えば、アメリカでも刑務所を民間にやらせるようにね。

もう1つ望ましいこととして設計の問題がある。全体を廃棄しやすいような、リサイクルしやすいような設計原理でやるようにしないと駄目でしょう。効率やコストダウンを中心に考えるとだめですね。原点から、最大の優先順位を廃棄しやすいリサイクル型ということに置かないと、廃棄しにくくなると思う。いろんな素材やデザインを多様にして、解体後分けてくれるでは非常に難しい。「社会意識の問題」と「設計におけるトータルなリサイクルシステム」。この2つです。

どうやったら設計上リサイクルがうまく回るかを設計の原点に入れていかないとまずいという感じがしますね。

#### リサイクルしやすい製品づくりと

最初から使わない発想が大切

秋山 おっしゃる通りですね。廃棄物の問題だけではないのですが、あらゆる物をリサイクルしていこうという考え方は工学技術分野で元々提唱されてきたものです。関連してイ

ンバース・テクノロジーという考え方がありますね。言葉はテクノロジーですが、例えば自動車なども使えるパーツはもう一度リサイクルするということも含まれているのだと思いますが……。

牧野 しかし、僕は基本的に言う、「エントロピーの法則」というのがあることです。例えば紅茶の中に砂糖を入れて、砂糖がずっと溶けていく過程は非常にスムーズに進むが、溶け込んだ砂糖をもう1回集めるとなると大変だということ。ここにお米を持ってね、パッと撒くのは一瞬だけど、散らばったのを集めるのは大変だ。「エントロピーの法則」で言えば、リサイクルという考え方そのものが難しいと言う人もいますね。それをしているから非常に無理がある。使って分散したものは捨てろと。そして、なるべく分散する前に簡単に処理できるように設計するとか、なるべく長持ちするような発想にしていかないと。よくリサイクルして、あちこちからまとめて、それを処理していくプロセスでは、それはうまくいかないと思う。

秋山 できるだけリサイクルしようという心掛けはよろしいのですが、「完全にリサイクルできる」とか、「究極までリサイクルすべし」などということになると疑問や反論も出てきますね。最近、芝浦工業大学の武田邦彦教授が『リサイクルしてはいけない』という本を青春出版社から出して、良く読まれているという話ですが、これも今おっしゃったことに近い内容です。

牧野 よく言うんだけど、時計だって修理して使えっていうことがあってね、作家の有吉佐和子さんと一緒にテレビに出ただけど、有吉さんは「時計だって修理して使えばいい」

と言うんです。僕は「それはだめだ。長く使った古い時計を直すくらいなら、時計なんて今はすごく安いだから新しく買った方が得だ」と言ったんです。それで議論になったんだけどね。修理に依存し過ぎるのは問題だと思うんです。しかし、リサイクルも有用なことはある。そのプロセスにカネと人手を投入していく複雑さをわからせることが、リサイクル社会の問題点を基本的に議論していく上で大切だと思うんですね。

秋山 教育効果ですね。

牧野 そういうことですね。そういう感じがしますけどね。

秋山 技術の進歩とか、社会システムの進歩に伴ってリサイクルの効率も上がる方向を目指すということは重要なかもしれませんが。

牧野 ドイツのストットガルト市に行ったのですが、あちらではペットボトルは使いませんが、スーパーでは「ヴェイテル」というガラス瓶入りの水だけしか売ってないですよ。ガラス瓶を集めて、それをもう1回リサイクルする。ところが、フランスの「エビアン」はペットボトル入りなので売っていませんでした。

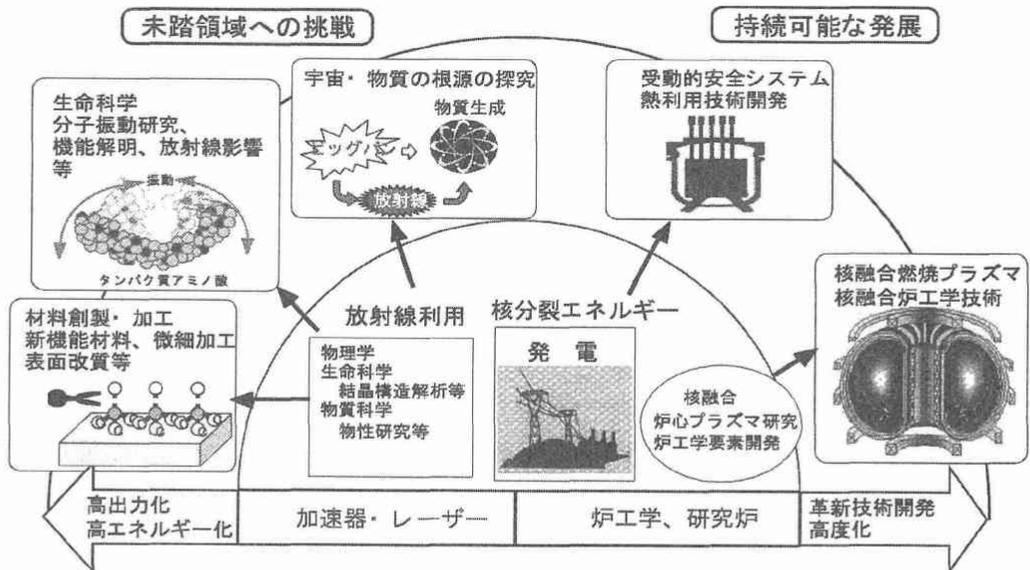
それから、スーパーに行っても、日本の場合には買い物を入れるプラスチック袋をくれる。ところが、ドイツでは全部自分のかごを持ってきて、そこにに入れて持って帰る。

秋山 ドイツ合理主義ですね。

牧野 その辺、日本はちょっと甘いところがありますね。

秋山 最近ではスーパーに買物に行く時に、自分用のビニール袋を持参する奥様方も出てきたようですが、まだまだ数は少ないですね。

## 原子力科学技術の展開



出所：原子力委員会ホームページ ([http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/nc\\_tyokif.htm](http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/nc_tyokif.htm))

## 原子力発電

### 高速増殖炉開発の推進で 化石資源枯渇に対処

秋山 ところで、次は当研究所の看板のエネルギーに目を移しまして、原子力、省エネ、新エネと幅広く話題の中に入れていただきながらご高説を賜りたいと思います。

まずは、原子力ですが、先般から私も参加させていただき、新しい長期計画がまとまりました。今、それにのっとなって原子力委員会が、「社会に開かれた原子力」をポイントとして具体的にアクションを広げていこうという状況かと思っています。その柱となる原子力発電

は国内で現在、発電電力量で約37%まで伸びています。そうした実状を背景にしながら、技術に関しては今後こういった面に優先的に力を入れていけばいいとお考えでしょうか。エネルギー政策的なことも含めてお聞かせいただくと有り難いです。

牧野 原子力問題は大体方向として2つあるかなと思います。1つは、これは賛成しない人が多いかもしれないけど、可採年数で現在、石油があと45年、天然ガスが68年、ウランウムは72年とされていますので、どうしても高速増殖炉（FBR）の開発をやらなければならないというのが僕の考え方なんですよ。

東京大学名誉教授の大山彰さんが動力炉・核燃料開発事業団（現核燃料サイクル開発機構）のFBR担当理事をやめたばかりの時、「大山さん、どうです。高速増殖炉でやったらエネルギーはどのぐらいもちますかね」と僕が

聞くと、「牧野さん、うまく使うと5,000年もつよ」と言うんでびっくりしたんですけどね。他の人ならともかく、大山さんという人はすぐまじめではったりのない人ですから。技術というのはチャレンジしてできないことはない。月へ人間も行くことを可能にした。FBRを運転して、更に、その次の3000年から5000年の間に核融合をやる。この路線でいくと、地球がなくなるまでエネルギーの確保ができるわけですね。

今は反対されているように見える。しかし、反対だと言ったって40年ぐらい後には化石燃料はないですからね。だから僕も何かに書いたんだけど、皆さんのお孫さんのころ、大体40年ぐらい後になると、もう灯りをつけて新聞を読もうたって、石油はないぞ。石油は45年間もつけれども、その後半の20年間は産油国が自国分を次の年代のために取り置いて国外に出さないから、輸入国では大体その半分の25年しかない。新聞を読むんだったら「蛍の光、窓の雪」だぞと言って脅かしたことがあるんですけどね。

だけど、今べらぼうに使っていながら、後の世の人に窓の雪で新聞を読めなんてわけにはいかない。ですから責任を持って後の世代の新しいエネルギー開発を何とかしなければならぬ。特に技術開発を進めれば必ずなんとかなる。確かに「もんじゅ」の事故があったけど、FBRの本質に係るところが問題になったわけではなく、技術開発の必要性和技術力への期待は損なわれていないと思う。今原発の運転期間だって日本が非常にいい成績を収めてやっている。それらのことを頭に置いたら、今、FBR→核融合の路線というのは非常にクリアに出るんですね。

## 「もんじゅ」運転再開には説得が必要

秋山 原子力のことでもう1つ、2つお伺いしたいと思います。私も実は「もんじゅ」の安全審査の頃からいろいろ勉強させていただきまして、ナトリウム漏れの事故につきましても詳しいことを存じ上げているわけですが、今度の長計でも「『もんじゅ』はぜひ運転再開してほしい。再開するのが適切である」としています。原子力長計の分科会で詳しい検討が行なわれ、これを受けて長計全体としても今申し上げたようなポジションが表明されました。岩手県立大学の西澤潤一学長も「運転をして安全を確認することが次の世代に向けたメッセージである」と言っておられたと思います。

牧野 みんなを説得しないと行き詰まってしまうですね。だから、大学の原子力工学部の中に説得工学という講座を入れてないといけないね。

秋山 説得工学とは良い着想ですね。それで、先生の今進めておられるNSネットは、これはセイフティの問題ですが、やはり社会とのコミュニケーションも重視しているということですね。

牧野 ホームページを作って最大限のオープンさでやっていますよ。

秋山 私どもの研究所も、国の意向も受けながら全力を挙げていますが、やはり原子力発電、あるいは広く原子力の科学技術について若い方にもっと関心を持っていただきたい、また併せて原子力産業界が将来に明るい展望を広げていかれることを念頭に、1つの興味深い事業として提案公募型の研究開発のお手伝いをしています。小型の原子炉や、連続運

転期間が10年、15年といった新設計など、さまざまなアイデアを募り、新しい技術のデザインとその実現に向かって行こうとしています。こんなことで原子力につきましてもぜひ、牧野先生が只今おっしゃったようになればと思います。

牧野 いろんな選択肢を並べてみると、技術屋としてはもうその線しか残らないですね。

秋山 そうですね。いろいろと難しい点もありますが、面白いし、また社会に非常に大きな利益をもたらすことですからね。

---

## 新エネルギー

---

### 住民の理解と協力が鍵—風力発電

秋山 新エネルギーの話題に移らせていただきたいと思います。新エネにはいろいろメニューがありますが、中でも太陽エネルギー、廃棄物発電、分散型電源、バイオマスなどにかなり関心が集まっております。分散型電源につきましては、実は昨年7月に私どものエネルギー総合工学シンポジウムで「小型分散電源の時代は来るか」と題して企画をいたしました。固体高分子型燃料電池や、マイクロガスタービンなどの話題を備えましたところ非常に盛況で、会場に入りきれないぐらい多くの方々のご参加をいただきました。

新エネルギー全般につきまして、いろいろご意見を頂戴できればと思います。

牧野 新エネルギーについては僕も資源エネルギー庁の総合エネルギー調査会石油代替エネルギー部会（現総合資源エネルギー調査会

新エネルギー部会）長を2期やってるだけに悲観的なんですよ。データを持っているので、難しいのがよくわかるからです。

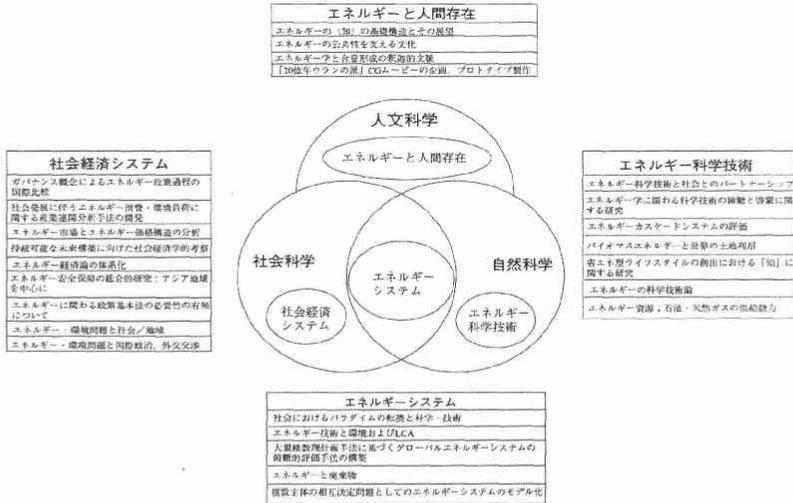
最近急にクローズアップされたのが風力発電ですね。以前これを建てる話があったけど、1カ月ほど見ていると、反対する住民が多いんですよ。「カタコトカタコト音がするし、形がよくない」と言うんだ。最近2つの風力発電の拠点が住民投票で廃止になっちゃったんですから、これは難しいなと思いますね。それに特に風の具合も山のないドイツに比べて安定しない。僕はよく金沢へ行くんだけど、日本海のところに大きな風車が置いてあるんですよ、デモンストレーションで。風がないのに回っているから「どうしたんだ」と聞いたたら、「あれは電気で回してるんです」という返事。そういう印象があるんです。

### 宇宙太陽光発電は将来有望

#### バイオマスは未知数

牧野 それから太陽光発電。慶応大学の茅陽一教授に「千年スパンのエネルギーを眺めた場合に何がいいか」と聞いたたら、「宇宙太陽光発電がいい」と言うんです。僕はピーター・グレーザーというアメリカの研究者にも会いましたけど、太陽電池パネルは無重力で鋳でとまるわけです。シンプルな構造で大丈夫だ。4キロ四方の宇宙太陽電池衛星でニューヨークの電気は賄えると言っていた。宇宙はいつも天気が晴れている。彼らはその電力をマイクロウェーブで宇宙からアラスカへ持っていくと言うんだけど、僕は「大丈夫かね」と聞いたんです。「途中で鳥が飛んだときに焼き鳥ができないか」と聞いたたら、「それは大丈夫だ」

## エネルギーに関する俯瞰的「知」の創出



出所：「エネルギーに関する俯瞰的「知」の創出」研究会資料

と言うんだけどね。

秋山 グレーザー氏の提案は私も以前に当時東京大学の宇宙研究所におられた長友信人教授と一緒に勉強したことがあります。最近また話題が浮上したのは結構なことですよ。

牧野 ところで、もう1つはバイオマス。スウェーデンは国民投票で原子力発電所廃止を決めたときに、スウェーデン政府はバイオマスで代替すると言ってたんですよ。スウェーデンに行ってみると、あそこは日本と同じ面積で住民の数が800万人だからね、広大な森林があっていっぱい灌木があるわけ。それを次々と切って加工や炭化して、それを使って発電をやろうと本気になって言ってるんですね。

もう1つはロサンゼルス下水道に行ったときに見たんですけど、いわゆるバイオを使って廃棄物からメタンガスを作る「ダイジェスタ」の大きな工場があった。メタンガスは電力会社へ売って、廃棄物は肥料として袋に

詰めて売るといふ。

最後に1つ。最近では水素エネルギーがクローズアップされて、燃料電池が注目されています。期待してもよいでしょう。

秋山 肥料は問題が残っていますかね。エネルギーということでは、日本では長期エネルギー技術戦略の中でバイオも適切に続けていこうというポジションですから、今後ともよろしくご助言をお願いいたします。

---

### 物事を俯瞰的に見る「エネルギー学」

---

#### エネルギー問題の解決は

#### 学際的アプローチで

秋山 私どもは、日本学術会議での活動も含めて、三井恒夫先生に大変お世話になっております。三井先生は東京電力株式会社で最高

顧問までお勤めになり、エネルギー分野の大先輩として学術会議でもいろいろとご指導をいただきました。

その三井先生が中心となって研究連絡委員会（研連）活動を進めてきましたので、その調査研究の内容を少しご紹介させていただきたいと思います。その前に、近頃学術会議では会長の吉川弘之先生が事物を俯瞰的に見ることを提唱しておられまして、こうした視点はエネルギーについても重要だと考えています。研連活動の成果の1つは「エネルギー学」と名付けられたものです。これは、東京大学の山地憲治教授が中心となってまとめたものです。それともう1つは「エネルギー戦略」でして、これもレポートが出ました。

まず「エネルギー学」に焦点を絞りますと、これの趣旨は、これまでどちらかと言うとエネルギーは技術屋、工学者、そして自然科学者の人が中心となって取り組んできた分野ですが、今後はエネルギーの価値について、人文社会科学、政策論、哲学の方々も含めて、いわゆる第2モード論的な新しい学術パラダイムの次元で発展的に取り組んでいこうということになりました。当研究所もそのスタディをもう2年ぐらい進めてきています。日本エネルギー学会でも「エネルギー学」というキーワードで最近活発に企画を実施しています。それから、つい最近の日経新聞を見ますと、「千年持続学」という提案も出ています。このように、私どもはエネルギーを横断的・俯瞰的に見ていくことが時代の1つの流行になっていくと感じています。次にエネルギー戦略の件ですが、すでに資源エネルギー庁の「長期エネルギー戦略に関する調査研究」が始まっています。その基盤としまして、私ども

の研究所も「エネルギー・環境の技術研究開発に係る政策決定支援手法」の調査研究を担当しています。ま、このように、エネルギーや環境を、俯瞰的ないしは戦略的に見ていくということにつきましてご意見、ご批判をいただければと思います。

牧野 僕自身、エンジニアであるとともにエコノミストでして、商売柄、シンクタンクはインターディシプリナリー（学際的）でないといけないとよく言うんですね。いろんな角度から見ないと本体がつかめないというのがシンクタンクの設立ポリシーの1つなわけです。物事をつかむときにエネルギー屋さんだけでやっても解決できないケースが多い。現場を回ると、原子力問題は人の心をいかにうまくつかむかとか、いかにヒューマンエラーを減らすかとか、そういうヒューマン的なものがむしろもっと大事になってくる。僕は人間学を含めた、いわゆる「エネルギー学」というものを検討することはいいと思いますね。

僕はよく「どんぶり勘定のすすめ」というんです。さっき言った「鳥の目」ですが、「大きな目でものを見ていないとだめになる」と言うんです。例えば豆の農場で、豆をサヤから採り出すのにずいぶん時間がかかる作業なので、サヤから豆を採る最新鋭の機械を作ったとします。しかし、考えてみれば、豆自身が簡単にサヤから採れるような豆を作った方がいいわけですね。機械工学ではなくて、種の改良も入れたりして、全体を見て問題に取り組むことが大事だということです。

さっき話が出た、廃棄物リサイクルのテクノロジーだったら、設計段階から全体を見て、いかにすべきかというのが大事であって、個々のものを見ても正解が得られないという

感じがするんですね。だから僕は1つの解を求めるときに、「上から見ろ」とか「横の連絡をよくしろ」とか言うんです。穴を掘っているような狭い専門学的なもので解決できる問題もあるが、エネルギーというものはまさにそうではない学問でしょう。

人間の価値観や倫理観が深くかかわってくる。例えば新潟県巻町の原子力発電所建設についての住民投票まで含むんですね。エネルギーというのは、そういう全体を含めながら、まさにそういう大きな目でアプローチする学問だと思いませんか。だから、いろんな人が入ってきてディスカッションするのがいいんです。機械技術では、技術者が計算式で求める解というものがあるかもしれないけど、エネルギー技術は、まさに多様なアプローチを使い、多様な専門家がいろんな分野から入ってこないと解決できない学問だという感じがしますけどね。

秋山 まさにそうですね。それに関連してもう1つ。今の「エネルギー学」の話題を採り上げて、学術学議で公開講演会を開きました。吉川先生を始め、社会、経済、人文、哲学の先生が名を連ねた企画です。哲学では東京大学文学部長をなさった今道友信先生が講演されました。私どもの研究所の「エネルギー学」の勉強でもご支援をいただいています。当日も非常に興味深いお話でした。

このようなことで、「エネルギー学」を俯瞰的なく知として探っていこうという気運が高まっています。

牧野 いまだにエネルギーというのは電力会社や政府の担当部局がやるものだと思っている人が多いけど、そうではないんですね。非常に広い見方をしないと成り立たない学問に

なってきました。

---

## 科学技術への期待

---

### 過大評価されているIT

秋山 ところで牧野先生は、科学技術全体について実に幅広く、また将来をリードする素晴らしいご本をお書きになっておられます。そこで今日はぜひ、その真髓を直接に教えていただきたく思います。科学技術と社会という観点で見ますと、一方において社会的背景として環境問題、人口問題、食料問題、資源の枯渇といった難しい課題がありますね。それともう一方では、情報化という前向きな大きな変化があります。あわせて国際的なコミュニケーションもどんどん激しくなっています。そうした諸情勢の中で、わが国個有の事情としては、2100年には人口が半分になるかも知れないという少子化の問題、当面は高齢化の問題、それから教育の画一性だとか、いろいろと問題があるわけです。

まず、IT（情報技術）の動きに目を向けますと、実は私この間、豊島格理事長の財団法人アジアクラブの会合で、インドの学界と財界の有力者の方から、インドのITがどんなにすごいかという、半分宣伝の話を聞いてきました。2008年頃にはアメリカとインドのIT産業の経済規模は日本に比べて桁が1つ違うぐらい格差がつくというようなことを言っていました。「あなた方、インドと手を結びませんか」というお誘いも含まれていました。それはともかく、ITの現状の問題、そして、こ

れからどうしたらいいかというあたり、科学技術、あるいはエネルギーもITと相当関係があると思いますので、ITを基軸にご高見をお聞かせ下さい。

牧野 アメリカのシリコンバレーは確かに“IC産業”だ。シリコンバレーを支えているエンジニアの半分はインド人（Indians）と中国人（Chinese）だと言われていますから。ソフト作成のような退屈な仕事はアメリカ人はやらないんですよ。インドの人がそう言うのはわかります。

僕は、ITが過大に評価されてると思う。ITは道具であって産業としてくくと小さい。マーケットの大きさではIT産業はハードウェアを入れても大体GDP（国内総生産）の7%ぐらいです。製造業は建築業と中間財を入れるとGDPの50%に近い。日本経済の規模が約500兆円ですから、IT産業の7%というと35兆円と小さい。ただ、どこまでを情報産業に含めるかというのは難しい。

以前からあったIT成功例：

セブン-イレブンとクロネコヤマト

牧野 例えば、日本のセブン-イレブンはアメリカの本家サウスランド社まで買ってしまた。どうしてそれだけ強くなったかという、昭和57年に日本電気の関本忠弘さんのバックアップを得てPOS（販売時点情報管理）システムを作った。それ以来、セブン-イレブンは個品管理が非常にうまくいったからなんです。それから、クロネコヤマトの創業者小倉昌男氏が言うには、クロネコヤマトは、荷物をすべて1個1個個品管理してネットワークに乗せているから成功したんだそうです。だ

から、「どこにありますか」と聞きに行くと、「どこそこにある。いつ、何時に着きます」と15秒で答える。全部個品管理していますから。セブン-イレブンの場合もネットワークの勝利ですね。

流通産業の規模は恐らく200兆円ぐらいでしょうけど、たかだか35兆円のIT産業のPOSとか、情報ネットワークとかの道具で支えられて成長した。ただ、セブン-イレブンのPOSが始まったのは昭和58年ですから当時インターネットはないわけです。情報通信のデジタル技術が活躍した。

この間もホンダの宗国旨英会長に「インターネットをどう思いますか」と聞いたら、「うちは使いませんよ」と答えていました。もう十何年前から専用データ通信で世界中全部ネットワークを作っているんです。ところが今はITはインターネットであるとして、インターネットに興奮してフィーバー状況です。

秋山 今先生がおっしゃったのは、イントラネットのことでしょうか。

牧野 いや、イントラネットではなくて、普通の電話線の専用回線ですよ、昭和58年ですから。

インターネットというのは、それぞれのところのパソコンをベースに、アーパネットをベースとしたネットワークで交信することから始まった。その前に昔から専用回線でネットワークというのはできていたわけです。僕の言おうとしているのは、インターネットで急に騒ぐなどということです。ITというのは昭和50年代から使っていて、成功している。インターネットが出たから急にITに興奮しない方がいいよ。ネットビジネスは崩壊の危機です。

秋山 なるほど、良くわかりました。専用の通信網が便利に活用されてきたんですね。

「IT=インターネット=巨大産業」  
という図式は誤り

牧野 情報社会というのは、1970年代に大型コンピュータ、1980年代にパソコンと通信。そして現在がインターネットという進歩をしていますけれども、その前段階の「コンピュータ」こそがITの原点なんです。

インターネットに関連した産業をネット産業と言うんだけど、ほとんど赤字です。今アメリカで心配しているのは、アマゾン・ドット・コムですら創業時から赤字で、今や債務超過。倒産の危機にあるとのことですよ。

だから、僕はIT=インターネット=巨大産業という図式は間違っていると思うんです。ITは単なる道具なんだから、うまく使うことによって、その会社が伸びていくんだ。それは運送屋でも小売業でも何でもいいんだと。そういう発想でITをやらないことです。何かITという就職がいいとかでね。

ネットビジネスの産業規模は、誤って考えられている。例えば、僕はよく例を引くが、天井をやっているそば屋がいた。歩いて行って、天井を買って持っていくと天井産業の売上げだけ、ネットで頼むと天井まで一緒にしてネット産業の売上げに入れてしまうからずるいとね。それだったら、歩いて行って買ってくる分は「フットワーク産業」の売上げと言わなきゃまずい。

だから、ごっちゃになってるんですよ。ITは確かにステップ・バイ・ステップで進歩してきて素晴らしく、非常に有用だけでも、

全体を構成する道具であって、ITだけ取り出してどうのというような大それたものではないと考えなければいけない。

だから僕は、この間、「IT産業よりは製造業が大切だ」と産経新聞にも書いたんです。製造業はGDPの30%ぐらいを占める。中間財と建設業を入れれば50%に近い。IT産業は7%だ。やはり製造業という日本の強いところに頑張ってもらおう。製造業の発達のためにITを使うのはいいけど、やはり「製造業は衰退産業だ」と言っただけだと思わなければいけないと思うわけです。

秋山 製造業のことは大企業も中小企業も含めて、とても大切ですね。ITと並んでモノも絶対必要ですから。

今後取組むべき有望分野は

機械産業、デバイス、バイオ

秋山 ITからさらにはゲノム、バイオ、ナノテック、マイクロマシーン……。いろいろキーワードがあります。このような、いわゆる先端科学技術全般につきまして、わが国としてどの辺りに特段力を入れたらよいでしょうか。あるいは、世界をリードできる有力な分野、テーマはどんなものでしょうか。ご示唆をお願いします。

牧野 産業でいうと、まず日本は光産業が優秀なんです。光ケーブルも世界一だし、カリフォルニア大学の中村修二教授の青色発光ダイオード発明もノーベル賞クラスといわれています。それからディスプレイは、カラーディスプレイから始まって、ほとんどの分野で世界を押さえているわけです。光関係は研究が非常に進んでいる。

もう1つはデバイスですね。日本の輸出を

見てみると今、自動車とか家電は停滞状態ですが、90年代初めにデバイスと生産機械の生産財が追い越した。世界のデファクト・スタンダードを取っているところは村田製作所だとか、京セラだとか、TDKだとか、ロームだとかで、デバイス屋というのは非常に多いんですね。日本人というのは「幕の内弁当の美学」といって、幕の内のようにいろんなものをうまく詰めて、おいしい弁当を作る。それがもともと日本の技術だから、小型精密機械、デバイスは非常にいい。逆に、先に述べたように大型のものは問題があるんです。

日本の場合に、これから頑張ってくれというようなものがあるとすれば、それはやはりバイオになりますね。バイオはそんなに急に成果が出るものではないんだけど、話を聞いていると魅力的なんですよ。例えば、未来学会のミレニアム・シンポジウムで東京大学国際・産学共同研究センターの軽部征夫教授が「これからは180歳まで生きる。悪い臓器を取り換えればいいんです」と言っていたんです。中古の自動車の寿命が部品の取り換えで伸びるのと同じで、胃袋が悪かったらヒトゲノムが明らかにされて、特定個人用の胃袋ができる。入れ換えれば胃は治っちゃうとかね。頭だけはまだ問題のようですが、頭もそのうちうまく適応しうようになると軽部教授は言っている。バイオ創薬の話聞いても、魅力を感じますね。

昔、EC（欧州共同体）、今のEU（欧州連合）の本部に行って、未来研究レポートをもらったんですよ。感心したのは、「情報化社会の次に来るのはバイオ・ソサエティーだ」と言っていたんです。ほとんどバイオで解決できるんです。例えば、エネルギーも食料もバイオ

で圧倒的な効用がみられる。僕はもとは冶金屋さんだけど、金属の精練でもバイオ・リーチングでやれるとか。バイオというのはクローン化とか細胞融合、バイオメデレーションなどほとんどの事象に関係してくるんですね。これからは、不足する食糧とか、エネルギーや生殖などの数々の難問をバイオが解決してくれるということですね。

### バイオ社会の次は宇宙社会

牧野 今後、どういう技術が進むかという、情報産業が間もなく頭打ちになって、その次が今述べたバイオソサエティー。さらにその次がスペースソサエティー（宇宙社会）だと思えます。22世紀に入ってくるかもしれないが、人間が地球に住みづらくなってしまふ。僕は科学技術庁（現文部科学省）の技術予測委員会で、最初から数えると30数年間委員長をやっている。5年置きに技術予測調査をやっていて現在7回目が終わったところです。その委員会がアンケートで「自分の21世紀の未来像を書いてくれ」と委員に聞いたんですよ。1,600人ぐらいが書いたコメントの中で、宇宙技術が非常にクローズアップされていた。大きな未来への夢という、1つは宇宙へ住むとか、宇宙をいかに利用していくかということですね。21世紀にしばらく、もう1つは環境問題ですね。それから、ナノテクノロジー。これも日本は得意ですからいいと思えます。それから、当然のことながら情報通信関係はもっと展開していくが、これは2010年には重要性は低くなると予測している。

宇宙に関する夢というのは、バイオの次のターゲットになる。だからスペースソサエ

イーがバイオ・ソサエティーの次に来ると思うんです。もう、宇宙どこでも住みなさいと。極端になると、地球から月まで真空のエスカレーターを作って、ざーっと行けるような、いろんな夢が数多く出ていました。地球がダメなら宇宙に出て行けという未来の夢です。

### 倫理問題を採り込むべき科学技術

#### 人間学としての「エネルギー学」の大切さ

秋山 お話がハイテクからバイオへ、そしてさらに宇宙へと進んできました、牧野先生の鋭い分析と未来への夢が私どもにもはっきり伝わってきたような気がいたします。その話題の1つのゲノムですが、ゲノムは人間や他の生物の本性、生物学的な仕組み、遺伝子のメカニズムなどを知る上での基礎だと思えますが、それらが結局、人間という1つの高度なパーソナリティまでつながっていく。いわゆる生物学的なアクションと人間の精神、喜怒哀楽だとか、最近はやりの「感性」という言葉がありますが、アメニティのよってきたる根源など、広く精神世界を科学する方向につながっていくのでしょうか。私、最近新聞で見てびっくりしたのですが、多重人格の問題がありますね。幼児期に人間の個性教育に失敗すると、とんでもない多重性というか、異常性のある人間になる危険があるそうですね。これから21世紀はまさに科学技術が人格や人間性を含めて広く<こころ>の世界へと踏み込んで、哲学や心理学などと重なり、融合して行くと思うのですが、そのあたりはどのようにお考えでしょうか。

牧野 おっしゃるとおりです。人間学、「エネルギー学」が今なぜ必要かということ、どうし

ても倫理の問題が科学技術に入ってくるからですよ。人間の精神とか、人間の頭脳は、どういう働きがあるか。そういう問題を解くにはクローズされた技術の枠を超えて外と交わらないといけないのですね。最近、いろんな講演をすると、心の問題について聴衆から質問がかなり出るようになったんです。その理由は、やはり先生がおっしゃるとおりなんです。ただ、心の問題に対する回答は「何年に何ができる」というのではなくて、どちらかというと哲学的な、わかるような、わからないようなことを即答で、しかもありがたいのあることを言わなきゃならないので難しいですね。

だけど、科学技術と人間のわたり合いの問題というのは非常に難しい。北里大学の養老孟司教授に僕が座長をやっている内閣の経済研究会に出てもらったんだけど、本物の脳を切ってプラスチック板にとめて、ここはどうだ、こうだと説明してくれたが難解ですね。そのメカニズムは難しい。日本の場合には、一番の欠点として宗教という根源がないですから、心の議論が乏しいのは残念です。

おっしゃるように今一番関心があってやらなければならないのは、この技術と倫理の問題です。さっきの「エネルギー学」でも同じです。弱者や少数の人々にもその成果を受けさせるべきです。技術の進歩が暴走を招くことは防がねばならない。科学技術に関する哲学、倫理を取り入れて構築していかなければならない。日本の場合にはその辺が非常に弱いんですよ。

秋山 弱いですね。私も「エネルギー学」や<こころ>について真面目に研究して、そして社会に活用していくことに、ぜひ皆さん

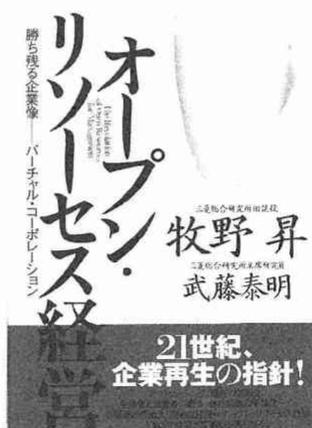
も全力を尽くしていただきたいと願っています。しかし、反面、何千年にわたる人類の歴史を振り返り悲惨な面を眺めると、戦争あり、暴君の独裁あり、また先程の多重人格の問題などもあります。人間の心というのは概して非常にもろくて弱い、と考えていくと、未来に対してあまり明るい展望が持てないとしてもおかしくない気がします。

牧野 おっしゃるとおりです。最近、17歳の殺人とかが新聞に出るでしょう。同一事件が3日も4日も掲載されるというのは日本がいい国だという証拠なんですよ。だって、珍しい事件だから。アメリカなんかそんなの当たり前でね、新聞記事になる方が珍しいぐらいです。社会面で考えますと、僕はアメリカより日本のほうが未来が明るいという意見でいるんですよ。

---

### 『オープン・リソース経営』とは？

---



秋山 最近のご著書『オープン・リソース経営』を何度も読ませていただきまして、大変感銘を受けました。オープン・リソース経営、アウトソーシング経営、コア・コンピタ

ンスなど、いろいろと新しい用語が出ておりました。そこで、この本で一番核心のところをぜひ詳しくお聞かせ下さい。

### パロキュアリズムで失敗したIBM

牧野 現在芝浦工業大学学長の江崎玲於奈氏が今から10年ほど前、IBMから戻ってきて、僕が総合コーディネーターをやった生産性本部・軽井沢トップセミナーに講師として出席してもらった時です。当時IBMが2、3年続けて大赤字だったんで、江崎氏になぜIBMがそんなことになったかとフロアから質問があったんですね。80年代末頃ですよ。そしたら、即座に彼が、「それはアメリカIBMがパロキュアリズムに陥っているんだ」と答えた。パロキュアリズムとは何かというと、宗教の教区の意味で、ちょうどオウム真理教の上九一色村の施設と同じ。外側に壁を作って中で全部やってしまうということです。大型汎用コンピュータで強いIBMは当時、設計も部品もソフトも全部、日本IBM社でさえ100%自分のところで対応した。そういう囲い込みでやって、「俺が世界のIBMだ」とうぬぼれていたところへ、大型汎用コンピュータから小型コンピュータへの転換が起こったときに、外への対応が遅れた。「巨大で何でもかんでも自分でやるのはだめだという、典型的な例だよ」と彼が言っていた。

パロキュアリズムの対極：

オープン・リソース経営

牧野 パロキュアリズムの対極にある言葉が、バーチャルとか、オープン・リソース経営

(資源的に開いた経営)。いわゆる自分がコア・コンピタンス（中核的能力）という大事なものを持っていたら、あとは外に頼みなさいということです。例えばインターネット関連メーカーのシスコシステムズみたいに、世界で一番儲かっている製造会社ですと、コア以外は完全に外へ頼んで、中核のコアだけやっているとこの形になってきたわけですね。この外部に頼むという意味の「アウトソーシング」という言葉は、4、5年前に僕がそれについて単行本を出したときにはあまり関心を集めなかったけれども、最近はアウトソーシング学会ができるほどになった。オープン・リソース経営とは、自分の得意なコアのところだけを持ちなさい。しかし、例えばセンサーが欲しいとか、ソフトウェアが欲しいとか、設計の手が足りないというときは外に頼めということです。

ダイエーとイトーヨーカドーの損益を比べると違いがわかるんですよ。ダイエーがなぜ赤字になったかという、建物をほとんど自分で所有したからです。ところがイトーヨーカドーはほとんど賃借です。バブルがはじけたら、ダイエーはニッチもサッチもいなくなりました。だから企業もなるべく軽くして、いろんなもの、例えば昔は「下請け」、今は「横請け」といっているんですが、警備はセコムに頼んで全部やらせようとか、人の採用はリクルートに頼めとなってきました。機械設計分野のメイテックは6,800人ぐらい設計の専門家がいますから、設計会社で手が足りなくなったら貸し出して、終わったら戻る。企業は中核のところだけはいつも持っていて、あとは時代に応じて伸び縮みしていくという考え方が非常に重要になってきた。

ソニーの場合はもっと大胆で、工場ごと頼んじゃうんですね。丸請けですね。アメリカのソレクトロン・コーポレーションに、宮城県と台湾にある自分の工場を売りました。ソニーはその工場に製造を委託するという形にしている。EMS戦略では、変化に対応してなるべく手持ちは少なめに、その全体の真ん中に知恵とか、知識とかを置いている。力仕事で製造する分は外注する。警備も外部に頼めとなります。警備のセコムはこのやり方で、企業や家庭に警備サービスを提供して今すごくいい会社になった。

何でもかんでも自分でやろうという金も要るし時間もかかるし、撤退も非常に難しい。なるべくコア・コンピタンスだけを置いて、あとはいろんな形で外と手を組めというフレキシブルな経営の方向が今重要になってきたんです。

#### アウトソーシングで

##### バーチャル・コーポレーションへ

秋山 牧野先生のご本の中に、今のお話のようにコア・コンピタンスだけを残してアウトソーシングでいくというところから、それを組織に固定しないジャズバンド型でいけという表現もありました。B2C（企業・消費者間取引）ではなくB2B（企業間取引）でいけというのも非常に重要な視点ですね。それらはバーチャル・コーポレーションにある程度似た視点だと理解してよろしいでしょうか。

それがどんどん広がっていきますと、企業の中の職員の方と外部の委託の方と、そしてお客さんも、境界をかなり自由にくぐり抜けて、お互いにバーチャルに入っていく。

牧野 そう、お客さんが中に入ってくる。例えば、コンピュータ化した編み機メーカーの鳥精機みたいになると、外国のお客が工場に泊まり込んで、一緒に設計するわけですね。そういう境のない、バーチャル・コーポレーションというのがアメリカ企業のコンセプトにある。国家レベルでも同じで、アメリカは研究とか頭を使うところは自分でやって、大事でないものはみんな途上国に出す。それと同じで、お客さんとの境、隣の会社との境、あるいは一般社会との境がほとんどなくなるような会社にだんだんなっていく。それをバーチャル・コーポレーションとって、7、8年前だったか、僕がアメリカの本を訳しましてね。ずいぶん長い間売れておりました。

秋山 私、大学にも関係しているのですが、アメリカなどでは大学が、いわゆる組織としての専従の先生方をパーマネントに抱えるのではなくて、ほとんどの先生がインターネット上で講義するような、いわゆるバーチャル・ユニバーシティの形態が現れてきています。今おっしゃったようなバーチャル・コーポレーションとも相通じる動きだと思います。そうすると先生方も所属にせよ居場所にせよ実に流動的になってきますね。

牧野 大学の先生も任期になると移動したり、企業の役員を兼務したりね。

秋山 その中でも、それぞれの大学、研究所、あるいは会社などのアイデンティティーといえますか、特色というのはやはり残るわけですよ。

牧野 やはりリーダーシップですね。

秋山 やはりリーダーですか。必要なのは。

牧野 僕はね、やはり金属屋ですからねえ、東北大学の象徴として本多光太郎を挙げます

よ。物理は京都大学の湯川秀樹とか、何か輝いた象徴的な人物がいて、「俺も行きたい」ということで、ある組織に人材が集まるということがあるんじゃないかと思いますね。

## 21世紀のシンクタンクのあり方

インディペンデント、インターディシプリナリー、ポリシー・オリエンテッドの3本柱

秋山 最後にシンクタンクのことで、ご教示をいただきたいと思います。先程ご紹介しました対外報告の、もう1つは「エネルギー戦略」ですが、概して戦略が日本の泣きどころです。シンクタンクでもそのあたりを正に中心に据えて、「俯瞰的」に、全体をうまくとらえていくことが肝要だと考えています。そのあたりを含めて、三菱総研さんや当研究所のようなシンクタンクが21世紀にどのようなスタンスで事業を展開すればよいのか。昨今の行革、学術のパラダイムシフト、産業構造の再編、全般的なグローバル化などという流動的、発展的な世の中で、シンクタンクの在り方についてご意見を頂戴できればと思います。

牧野 三菱総研の場合、まず非常にはっきりしている条件は、インディペンデント・リサーチ・インスティテュートということです。アメリカのシンクタンクはインディペンデント・リサーチ・インスティテュートですね。それをシンクタンクの条件にしているわけで、日本でも「日本シンクタンク協議会」は英語名を「ジャパン・アソシエーション・オブ・インディペンデント・リサーチ・インスティテュート」としています。簡単に言いますと、私を含めた4、5人で三菱総研を創業したときに考え

た性格の第1がこのコンセプトでした。当時は三菱グループからもらう注文が全体の70%だったんだけど、「三菱」という名前だからといってシンクタンクはこれではだめだぞ、というので、いわゆる独立自営型、どこにも影響されないインディペンデント・リサーチ・インスティテュートを基本に据えました。今、うちで三菱の仕事は全体の5%です。研究所は全部で1,000名ぐらいで、総売上げは280億円に達します。昔は僕が回って注文を取ってきたんですが、今は全部、個々の研究室の責任で取っているからですよ。注文は人間と人間の、いわゆるヒューマン・コネクションというか、ヒューマン・ネットワークでもらえるわけですから。

インディペンデント・リサーチ・インスティテュートであって、それぞれ個々のディビジョン、セクションが組織を支えていく。上の人からまとめて注文をもらう形はだめだぞということだったんです。

2番目は、さっきも話が出たんですけど、うちは科学者、哲学者、坊主、システム・エンジニア、あらゆる分野の人が集まっている、インターディシプリナリー（学際的）な研究所です。境を超えているんな分野の人が研究するから、よそに無いものを持っている。1つの学問だけだったらよそとの優位性がなくなるんだから、インターディシプリナリーというのが1つの柱です。

3番目は、ポリシー・オリエンテッド（政策指向）。うちの大きな特徴は売上げの3分の2が官庁、地方公共体、第三セクターからだということです。アメリカのシンクタンクはもともと軍を中心としたポリシー・オリエンテッドでやっている。もちろん我々は民間の仕事

もやりますけれど、日本の国がどうなるかという、公的指向のものが主です。それで公的なお金が、今、売上げの恐らく60%を超えている。ポリシー・オリエンテッドです。

そういう3つがうちのポリシーみたいなものです。

秋山 当研究所もちろんポリシー・オリエンテッドが基本となっています。それを踏まえながら、こういう世の中ですので、シンクタンク同士がお互いの持ち場を生かしている幅広く連携する、そして緩やかにネットワークを組んでいくという方向が望まれます。

牧野 そうですね。

秋山 大同団結するのがいいのかどうかはわかりませんが……。

牧野 いや、大同団結はあんまりよくない。量産効果ないですから。

秋山 三菱総研さんは規模も実力もアメリカ以上ですけど、当研究所は60人～70人というところでして、エネルギーとその関連のテーマに集中して研究を行なっています。

牧野 いや、絞ったところがいいですね。エネルギーというのは永遠の課題で、これがないとどうにもならないから、テーマとして非常に重要ですよ。うちもずいぶんお世話になっていますよ。代替エネルギーのお仕事とか。

秋山 長時間どうもありがとうございました。また、これからもよろしく願いいたします。

## 地球温暖化問題と国際的取組み\*

—京都メカニズムでウィン・ウィン・プロジェクトを—

新田 義孝 ( (財)電力中央研究所  
企画部 上席研究員 (研究参事) 四日市大学教授兼務 )



本日の研究会では、電力中央研究所（電中研）がCOP6（第6回国連気候変動枠組条約締結国会議）のワークショップ用にいろいろ準備したものも含めてご紹介します。

最初に京都議定書の背景として、石油枯渇の危険性、今後途上国で増加する二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量、海面上昇で国土消滅の危機に瀕している島嶼国の事情に触れます。その後、COP6の争点となった点を4点。つまり、国外でのCO<sub>2</sub>排出量削減をどこまで認めるか、森林をどう定義するか、途上国による自主的なCO<sub>2</sub>排出量目標抑制値をどう期待するか、原子力をCDMに含められるか、について対立点を明らかにします。

その後、京都議定書に盛り込まれたクリーン開発メカニズム（CDM）の使い方として成功しそうな、「ウィン・ウィン・プロジェクト」という考え方、つまり困った者同士が協力して環境とエネルギーの問題を同時に解決していこうという考え方を提案させていただきたいと思います。その具体例として、これはまだ国内での実験段階なのですが、石炭火力発電からの廃棄物である灰を利用した酸性土壌改良、そして同じく石炭火力発電からの廃棄物を原料とする石膏を利用したアルカリ土壌

改良の事例として、中国、インド、オーストラリアでの実験、プロジェクトをご紹介したいと思います。

最後に、昨年、改正廃棄物処理法を始め、環境関連法が6本成立したことを受けまして、日本国内でNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が行なっている廃棄物によるメタン発酵で発電を行なうプロジェクトをご紹介します。

---

### 京都議定書の背景

---

#### 枯渇へ向かう石油資源

#### 急増する途上国のCO<sub>2</sub>排出量

最初に、京都議定書でクリーン開発メカニズム（CDM）、共同実施（JI）、排出権取引、植林による炭素固定など、いろいろなことが決まりました。この背景として、1つは石油が21世紀中頃に枯渇してしまうだろうという予測があります。これを真っ向から否定する勢力ももちろんあります。つまり、石油そのものはたくさんあるので、掘り残しの石油を

\*本稿は、昨年10月の当所 第184回月例研究会におけるご講演を、本誌掲載のためにテープ起こしたものです。

掘れば2100年頃まで大丈夫だという説です。どちらが正しいかわかりませんが、あぶない方を取っていた方が無難だろうと思います。

枯渇論によれば、石油がどんどん値上がりして、2050年を越えますと、タールサンドとか、オイルシェールなどの非在来型化石燃料に頼るようになるだろうということです。電中研もそういうことを見越してタールサンドなどのガス化の技術開発をしています。これは1つの保険だと思っています。

他方、CO<sub>2</sub>排出量は途上国でどんどん増えていますので、「2010年頃には先進国の排出量と途上国の排出量が同じ程度になってしまうのではないかと、途上国にも何らかのシーリングを設けないと温暖化を防止できないんだ」という声があります。その背後には、特に中国のエネルギー消費量がどんどん増えているということがあります。

### 低海拔の島嶼諸国に深刻な海面上昇

もう1つ、相当あぶないと思うことがあります。海拔5mとか6mぐらしかない南の島のことです。海水面が40cm、50cm上がるには時間があるからまだ大丈夫と思いがちです。しかし実は、海水面があと20cm上がると飲み水がだめになって人が住めなくなるのです。したがって、40cmまで待てない。20cm上がるともうだめだという島がかなりあります。そこで、キリバスなどの南の島々で何とか嵩上げをしてくれというニーズが強くなりました。例えば、石炭灰や建設残土などを持って埋立てしたらいいだろうか、いろいろなアイデアはあるのですが、それをどう仕組んでいくか。これは大きな、しかも結構大変な

問題ではないかと思っています。実際、キリバス共和国の海岸に行きますと海面上昇の影響が相当ひどい状況です。そういう所に人が住んでいるわけですから、本当に飲み水がなくなるのがよくわかります。キリバス共和国に限らず、インド洋にあるモルジブ共和国の首都マレでも海水面が20cm上がるだけでも大変だと言われています。

---

## COP6の争点

---

### 国外でのCO<sub>2</sub>排出量削減を

#### どこまで認めるか

COP6の争点として、まず、京都メカニズムで取り上げた自国外でのCO<sub>2</sub>排出量削減をどの程度許容するか、があります。つまり、日本は排出権取引などによって1990年レベルを基準にして2008年から2012年の平均で温室効果ガスを6%削減すると言っています。この6%削減をまるまる国外で行なってもいいというのが日本、アメリカ、オーストラリアの立場です。しかし、欧州側は基本的には国内で削減すべきだという立場です。

#### 植林をどう定義するのか

植林の定義も争点です。日本は京都会議のとき、削減分の3.7%を国内の森林で吸収すると言っていますが、国内の森林がこれから育て吸収する分を勘定しますと、例えばアメリカ、カナダは膨大な森林を持っていますから、これでは不公平になるというので日本の

言い分は通らないだろうというのが専らの見方です。したがって、この辺はかなり厳しいのではないかと思います。

## CDMと結びつけどう引き出すか

### 途上国CO<sub>2</sub>排出量の自主的抑制値

途上国の自主的な排出量目標抑制値をどう期待するかという争点があります。将来、中国、インドも大量のCO<sub>2</sub>排出国になりますから、アメリカの上院は今のところ、この2大国が何らかの自主的な排出量抑制値を示さない限り条約を批准しないという立場を変えていません。

COP3の直前に、電中研とアメリカのリソース・フォー・ザ・フューチャーという財団とが合同で、北京でワークショップを開きました。CDMに対して中国が何とか興味を持つようにしようと思ったわけです。その時、中国人民大学経済研究所の馬中所長に中国側のホストをやっていただき、ワークショップの後に、北京のお役人たちを300人ぐらい呼び、我々の成果報告会を開いてくださいました。その時に比べ現在、「中国は、大分CDMによって得するんだ。外資の導入ができ、しかも技術をもたらえるのだから、これはかなりいいのではないか」と思い始めていると何人かの中国の研究者から聞いています。

CDMとCO<sub>2</sub>排出量のシーリングを設けるといことはまだ別ものなのですが、それをいかにくっつけてみるかという争点があります。例えば、長江で毎年起こるような大洪水を防ぐには、上流の四川省で大規模な植林をやらなければいけない。その植林が例えばCDMの対象になるといかに中国が得をするか。ある

いは1年のうち数カ月、渤海湾に黄河からの水が流れなくなったという報道がありました。その水利をどうするか。あるいは、どこで有効な植林をするか。工業上の効率向上をやるというようなことに対して日本なり、先進国がテコ入れをするとその問題が解決するということを提示する。かつ、それがシーリングを設けることとリンクするようにもっていかなければならないのです。外交の場で言っていることと、中国国内で本音で討論されていることとの間に少し時間差があるようですが、必ずしも暗い話題ばかりではなさそうな気がします。

### CDMに含められるか 原子力

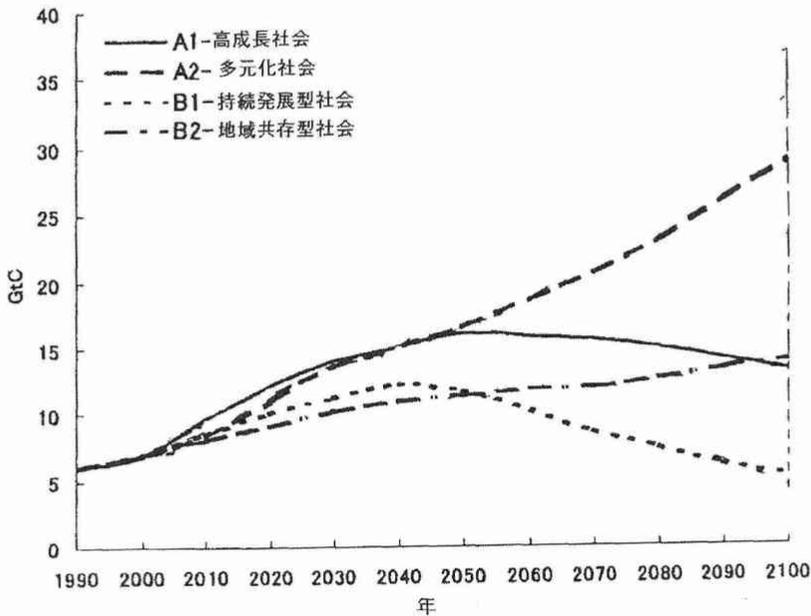
CDMから原子力を除外しようとする動きも争点のひとつです。原子力をCDMから外せというのは、ヨーロッパの勢力と小島嶼国連合(AOSIS)の勢力です。彼らは気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の委員やCOPの外交官、特にCOPの外交官として、イギリスの環境保護運動家に近い立場の法律家を雇って、強烈なアンチ原子力なのだそうです。万一、放射能漏れによる海洋汚染が発生すれば、南の島は住めなくなるんだから、高レベル廃棄物の返還船に対してそこを通るなど旗を振ってグリーンピースが反対したということがありました。ある方から伺ったのですが、実は反対しているのはグリーンピースの女性1人で、地元の人はそのようなプルトニウム返還船が通ることに対して何も感じていないのだということです。私はそれを知っていたものですから、ひょっとしたら、その島を嵩上げすることと引き換えに、原子力発電をCDMの

対象に含めることを賛成する方に回ってもらえないかと思い、AOSISに詳しい所に伺いました。すると、「いや、それは絶対に無理だ」という返事でした。つまり、南の島のあの辺は、原爆の実験場に近かったので、広島、長崎のことを他人事とは思えないということです。それと原子力発電が結びついてしまって、彼らの頭の中から平和利用と戦争を離すわけにはいかない。いくら頑張っても、島を守ってあげるということと、原子力をCDMに含めることに賛成しなさいということリンクするのはこの期に及んで無理だと言われ、困ったなと思いました。

## 最先端技術による途上国援助

### CO<sub>2</sub>排出量下降のシナリオも

それから少し明るい話題です。最近、IPCC特別報告書排出量シナリオというのが地球環境研究センターのニュースとして出ています。その中に、大小たくさんのCO<sub>2</sub>排出量シナリオがあります。その1つに、A1というのがあります(図1)。経済がかなり発展し、しかも先進国が技術援助、資金援助をかなり行なって最先端のエネルギー技術を世界中で使えるようにしていくと意外に振り切れないで、2050年頃からCO<sub>2</sub>排出量が下向きになってく



出所：地球環境研究センターニュース Vol.11 No.3

図1 明るいシナリオ

るというのです。これは、これからのCDM, JI, 特にCDMを活発に行わせるインセンティブを与えることになるのではないかと思ひ注目した報告書です。

---

## 京都メカニズムCDMの使い方

---

### 途上国とのウィン・ウィンの仕組みを

電力会社がオーストラリアを中心に植林会社を設立しているというのはお聞き及びのとおりです。

また、NEDOやJICA（国際協力事業団）のプロジェクトで、タイやインドネシアの火力発電所に運転員を送り込み運転の仕方を教えると発電効率が少し上がるとか、水に凝縮させる蒸気と海水との熱交換の板が錆びていたり、古い材料であったりするのを新しいもの



出所：『ナショナル・ジオグラフィックス』2000年7月号

図2 西オーストラリアの塩害

に換えると、冷却効率が上がって発電効率が上がるなどのノウハウを伝授してCO<sub>2</sub>排出量を減らすという事例はいくつか出てきています。

わが国の途上国に対する、あるいは先進国同士での国際的な取組みというものは、一方的にエネルギー効率を上げるとか、CO<sub>2</sub>の排出量を減らすとかいうことだけです。目的を1つだけにするような単発のプロジェクトを掲げているのでは努力するためのお金が何かの生産物に還元されません。つまり、省エネルギーにはとてもお金がかかるのだから、結果的に電気代が高くなるとかいうことにもつながりかねない。そこで、私はそうではない仕組み、もっと国際的にお互いに困っている者同士が助け合い、そこから何かのプロジェクトを行うことによって日本側も助かるし、相手国も助かるというウィン・ウィンの仕組みができそうだと思います、いくつかのプロジェクトに関与しています。つまり、1つのことをやって複数のいい事が起こってくれば、そのうちの1つとしてCO<sub>2</sub>問題が片づくという仕組みができないだろうかということです。

---

## 事例紹介

---

### 石炭火力副産物の

#### 灰・石膏利用を選んだ理由

図2は、2000年7月号の『ナショナル・ジオグラフィックス』に載っていた、塩害でダメになった西オーストラリアの土地の図です。ここは農耕地なのですが、塩が吹き出してい

るので、未だ被害の出ていない農地を守るため、隣接の塩害地の表層土をブルドーザーなどで寄せているようです。これは非常に顕著な例です。オーストラリア全域でいいますと、農地の3割ぐらいが塩害化というよりむしろアルカリ化しています。ここでは土壤が劣化しているということと、木を植えるということが補い合うわけです。そこで私は、そこに参画した者同士が得をするような仕組みでプロジェクトを考えていく、その例をこれから土壤改良と石炭火力副産物の石膏をセットにしてお話しようと思います。

### ポテンシャルが大きい石炭火力発電所の灰を使ったアジアの酸性土壤改良

まず、酸性土壤の話をしていきます。アジアには酸性、特に硫酸酸性の土壤が全部で約500万haぐらいあります。例えば昔、マングローブ林が次第に陸地化していった場所、もともと泥炭地であった場所、あるいは熱帯雨林を開発しようとした場所などです。1つの例はタイ。



図3 南カリマンタンの泥炭湿地の稲

バンコックの西側にある泥炭地です。そういう場所に木を植えたり、畑にしたりしたいと思うのですが、排水をよくするために排水路を作りますと、泥の中の硫化鉄が硫酸菌の力によって硫酸鉄に変わり、pHが3ぐらいになります。

南カリマンタンのpH3.5ぐらいの泥炭地で、農水省の方々が長年にわたり、水田開発を行っていますが、実際に稲を植えてみますと、いくら稲が酸性に強いといっても立ち枯れてしまうのです(図3)。これを救うのが流動床発電から得られる石炭灰の利用です。流動床炉の灰は強アルカリ性ですからこれを散布すれば救えるわけです。

そこで、そのモデル実験をやろうと思いきまして、電源開発の流動床炉試験の灰をいただきました。九州大学で石炭を掘った後のリハビリテーションを専門にしている先生とお話をしたら、「じゃあボタ山を見せてやるよ」ということになりました。小さなボタ山の頂上でpHを測ってみると4とかなり酸性がきついです。2つのボタ山の表層土に流動床炉の

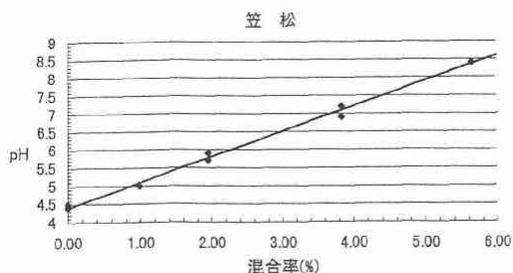
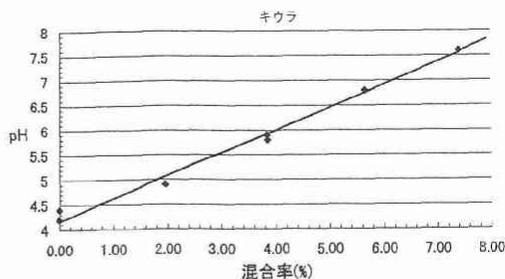


図4 石炭灰の混合率とpHとの関係

灰を5%、6%入れてやりますと、どちらの場合も大体pH7ぐらいいなりました。そこで実際に栽培の実験をやってみました。酸性に弱い代表的な植物としてアルファルファを選びました。四日市大学で実験をやりました。図4に書いてある0や3は入れている量です。中和をしない強酸性のままのボタ山の土では芽が出ないのですが、これを中和してやるとちゃんと育ってきます。実際に乾物の量を見てもpH7ぐらいいのところで一番多くなりました。したがって、流動床炉の灰がこういう酸性土壌の改良に非常に適していることがわかりました。まだアジアの他の国で実験していませんが大きなポテンシャルをもっているのではないかと考えています。

#### カーボンシンクに結びつく油椰子の植樹

エルニーニョ現象があったときに、インドネシアで山火事がありました。インドネシア大学の先生から聞いたのですが、国が農民に熱帯雨林に火を放って焼いた部分を貸し付けていました。しかし、かなりいい加減で、計画より2割ぐらい多く燃え広がってしまったので、「じゃあ2割ぐらい広く貸してやるよ」と

いう具合らしいのです。ところが、たまたまその年はエルニーニョ現象でなかなか雨が降らず、雨期が遅かったので、インドネシア中が大火事になり、今でも地下の泥炭が燃えているところもあるらしいです。ちょうどこの頃、私はシンガポールに行きましたが、そこもかなり曇っていました。

なぜ、彼らがこんなことをやるかという、パームオイルを作って生計を立てるためです。それで熱帯雨林に火をつけて換金性のある油椰子のプランテーションをやろうというわけです。それなら流動床炉の灰を使って不毛の土地を油椰子でカバーすればどうか。油椰子そのものは植えて5年目ぐらいから油が採れるようになりますが、木そのものが育ちますから当然そこでカーボンシンクができるという仕組みです。例えば日本の電力会社や商社が、向こうに流動床の発電所を建て電気を売る。流動床の発電を行うインセンティブがこういう緑化であり、また換金作物を植えさせて向こうの農民も喜ぶような仕組みを作っていきますと、カーボンシンクそのものが商業的な意味を持つてくるというので、ぜひやってみたいと思っているわけです。日本にもボタ

山以外に酸性土壌がありますので、まず日本国内の硫酸酸性土壌の改良に流動床炉の灰を使ってみようと思っていますが、途上国にも十分通用するアイデアだと自負しています。

## 石炭火力副産物の石膏

### —アルカリ土壌改良の特効薬

今度はアルカリ性の話です。アルカリ土壌は世界中にもっと広く分布してしまっていて、580万km<sup>2</sup>という広い面積がアルカリ化しています。強酸性の土壌はどちらかというと雨の多い場所に多いのですが、アルカリ性土壌は雨の少ない場所に多いです。私は、6年前から東京大学の定方正毅教授、松本聰教授、慶応義塾大学の吉岡完治教授、そして、電中研OBの石川晴雄氏等と一緒に中国でアルカリ土壌の改良実験をしてきました。

アルカリ土壌を改良する特効薬は石膏です。アルカリ土壌を少し説明します。何らかの原因で炭酸ナトリウム、あるいは炭酸水素ナトリウムが泥の中や表層土に残ります。もとは地下水に含まれているものです。ご存じのように黄河の水は濁っていますが、黄河の中流域に行きますと、ちょうどグランドキャニオンができるのではないかというぐらい、あちこちで陥没したり、山の中に大小の谷がたくさんできています。炭酸水素ナトリウムが原因だと考えています。もともと粘土の結晶は顕微鏡でないと見えないぐらいの大きさらしいのですが、それらが何重にも固まって大きな粒子を形成しており、触ってみると団粒構造です。粘土がいい状態だと、乾いている状態でも畑の中に指を突っ込めばスポッと入ります。それくらい軟らかいのです。ところが、

そこに炭酸ナトリウム、あるいは炭酸水素ナトリウムが入ってきますと、粘土の一次結晶のところまで入っていきましてバラバラにしてしまいます。微粒構造になります。ナトリウムがひとつひとつ単結晶のところまでひっぱがして水で分散する土にしてしまうのです。濡れると分散し、もっと雨が降るとこれが流れてしまいます。逆に乾くときは、その細かい土が今度は沈殿して乾きますから、最密充填になりコンクリートのような堅さになります。そういう状態ですと、種を播いても芽が出ない、根も出ない。もちろん微生物も棲めない、ミミズなども全然棲めない、そういう世界です。そこに硫酸カルシウム、つまり石膏が入りますと、カルシウムがナトリウムを追い出します。なぜ石膏かというと、塩化カルシウムでは少し溶解度が大き過ぎるところを、石膏だとカルシウムをほどほどに溶かし出していくのに最適だからです。天然の石膏を使ってアルカリ土壌を改良した例もあります。しかし、天然の石膏は石ころ状で堅いし、採れる場所が限られているうえ、土壌改良に用いるには微粒粒子化しないとイケませんから高くついて、いいことがわかっているけど、農業になかなか適用されなかったのです。

## 中国での実験と脱硫装置の普及促進

### 酸性雨防止も狙う

他方、中国から季節風に乗って日本に降ってくる酸性雨を防ぐために、何とか中国に脱硫装置の普及を動機づけたいと思ひまして、脱硫装置から出る石膏を使ったアルカリ土壌改良実験を始めました。今、吉岡完治教授の未来開拓学術研究プロジェクトと、定方正毅



図5 石膏の効果

教授のプロジェクトとが一緒になり、私が幹事役となって中国瀋陽で実験を進めています。瀋陽のフィールドに1996年、電源開発からいただいた脱硫石膏を入れました。最初の試験はわりと丁寧にやりました、深さ20cmまで掘り泥を全部1カ所に集め、よくかき混ぜて戻し、そこへ石膏を入れてきました。図5の右奥が石膏を重量パーセント1%、図5の右手前が0.5%入れたものです。図6は5年目にも石膏の効果が維持されていることを示す写真です。最初の年だけ石膏を入れて、あとは何にもしないでただ耕して種を播いてもらっています。この瀋陽のフィールドの下を掘ってみますと黒土で結構栄養があります。それで肥料をやらなくても立派にトウモロコシの実が1haあたり4t近く採れています。今5年目ですが、7年から10年もってこれればいいなと思っています。こういう実験をまた1ha広げてやりました。炭酸ナトリウムが非常にたくさん分布している場所には石膏をかなり入れないと使えないのですが、結構いい線いっています。



図6 5年目も続く効果

次は脱硫装置を作ろうというので、定方教授の尽力で2000年3月に完成しました。図7がそのプラントです。中国で脱硫装置を普及させるためには、中国で作った方が安いに決まっていますので、清華大学の徐旭常先生と定方正毅教授とが設計して作ったものです。そこから少し灰が混じった脱硫石膏がやっと出始めました。これを使って土壤改良の実験をやっていますが、トウモロコシはちゃんと育っています。

#### インドで試みた石膏散布実験

##### 3倍増になった落花生の収量

インドにもやはりかなり困っているところがあります。四日市大学の倉克巳教授がイ

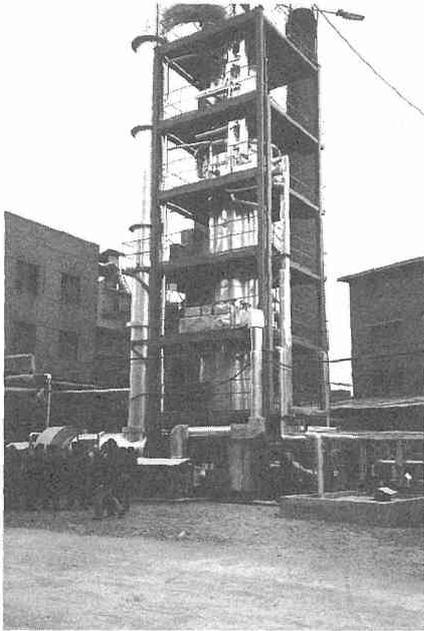


図 7 定方プラント

ンドの国際半乾燥地農業研究所に13年おられたのですが、そのとき電源開発から石膏をいただきまして、向こうに1t送りました。その後、彼の後継者が実験してくれました。換金作物が落花生なのですが、落花生の収量が石膏のおかげで何と3倍になったと言うのです。落花生は硫黄をたくさん取り込む植物だそうで単に土を軟らかくするというアルカリ土壌の物理的な性能ばかりでなくて、落花生に硫黄を供給するという面でも二重に効いたというので、収量が3倍になったということです。

ゆえに、この石膏の施用はかなり面白い分野です。

### 余剰が進む世界の硫黄

#### 理想的な使い道—アルカリ土壌の改良

今世界中で硫黄が相当余っています。硫黄

の形というのは単体硫黄か、石膏か、硫酸です。特にヨーロッパで天然ガスをたくさん掘るようになりました。天然ガスの中に硫黄分として硫化水素が入っていますが、この硫化水素から単体硫黄を作ってヨーロッパの大きな港、ハンブルグとかに大量に野積みにしてあるのだそうです。単体硫黄にして現在1,000万t余っているそうです。もともと硫黄分が足りないのは中国だけです。ところが、中国に脱硫装置をつけ始めると、中国でも硫黄を採り始めますので、ますます硫黄の持って行き場がなくなる。3年から5年しますと、硫黄の持って行き場に困るようになると思っています。余剰硫黄に関する研究会が既にありまして、私が中国のアルカリ土壌改良の仕事をしていることを知っておられた方が紹介してくださいました。世界中で硫黄が余っているということを調査している委員会に入れていただいてそこで知ったことです。

硫黄はどこから出てくるか。もちろん、石炭からも出てきますが、例えば硫化銅を原料とする銅の精錬でも、硫黄がたくさん出てきます。本当に困ったことを救うような石膏の使い方という、恐らくこの土壌改良しかないのではないかと思います。これがオーストラリアですと、うまい具合に共同実施にもっていけます。

### 豪州「コアラ・プロジェクト」

#### わが国石炭火力の稼働率向上に寄与大

中国での経験を今度は本命のオーストラリアでやろうというので、プロジェクトを始めたのです。なぜオーストラリアかというと、「CO<sub>2</sub>排出量削減のために石炭火力の稼働率を

減らすのはけしからん」と、私は言いたいからです。図8のように、オーストラリアのアルカリ化は、ひどい場所ではこんな状態ですし、トンネル状に劣化しているところがあって、農地は相当ダメージを受けている。木が生えているところのすぐ近くでアルカリ化現象が起こっているわけです。そこで、石膏が必要なのです。わが国の石炭火力発電所で使っている石炭の6割がオーストラリアから来ています。オーストラリアの輸出総額の10%が石炭で、その半分を日本に輸出しています。それを鉄鋼と電力で半々使っているわけです。石炭、石油、天然ガスの単位カロリー当たりのCO<sub>2</sub>排出量は5対4対3ですから、おおよばに言うと、石炭火力発電所から出ているCO<sub>2</sub>を4割減らしてやれば天然ガス並みになるわけです。もっと詳しく言うと、天然ガスの方が発電効率の高いプラントを使っていますからもう少し違う数値かもしれない。おおよ



図8 オーストラリアのアルカリ化の惨状

ざっぱに言うと4割程度CO<sub>2</sub>吸収源をオーストラリアで作ればいいわけです。

どれぐらいの面積が必要なのか計算してみますと、四国と同じ約2万km<sup>2</sup>の面積が必要となります。そこを脱硫石膏を使って緑化してやれば、日本の石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>排出量は天然ガス並みだといえるわけです。オーストラリアは日本にとって非常に大事な国です。2010年頃から、下手をすると中国も穀物輸入国になるかもしれないと言われてきますので、オーストラリアの食糧生産は日本にとって生命線でもあるわけです。植林ばかりでなく農地の改良にも役立ちます。

まず、オーストラリアのアルカリ土壌の状況をお話しします。図9の部分で土壌がアルカリ化しています。あちこちでアルカリ化が進んでいます。もちろん、西オーストラリアでは塩類集積土壌というのがありますが、アルカリ化した面積の方が大きいわけです。これが農業も脅かしています。したがって、まずだめになったところは多分重量パーセントで脱硫石膏を0.5%ぐらい入れたら直ると思います。まず、CO<sub>2</sub>の吸収固定をやってみようということで、先ほど2万km<sup>2</sup>、四国ほどの面積が必要だと言いましたが、オーストラリアの広さと比べると、四国の面積なんて僅かなものです。たったこれだけの面積を植林してやればよいのです。豪州炭に限定せず、仮に日本の石炭火力発電所から排出されるCO<sub>2</sub>を40%削減するために必要な面積を計算しますと、九州ほどの面積でいいわけです。4万km<sup>2</sup>も植林すれば、日本の石炭火力から出ているCO<sub>2</sub>の40%はそこで吸ってくれます。九州ほどの面積はオーストラリアの面積と比べると僅かなものです。



図 9 オーストラリアのアルカリ土壌分布

日本から石膏を運ぶのと、日本に石炭を運んでくるのとどちらが安上がりか。ほとんどオーストラリア全土でアルカリ化が進んでいるわけですから、当然、石炭が採れる場所もその中に含まれています。図10に黒で書いたところが炭田です。日本で使用される石炭はこういうところから来ているわけです。アルカリ化している場所と接していますので、帰りの船で脱硫酸石膏を向こうに持って行って撒けばいい。

それでは、南オーストラリアにある天然石膏を使えばどうか。しかし、仮にこれを東海

岸のブリスベンに持って行って売ると、1tあたり100豪州ドルぐらいになるのだそうです。日本から脱硫酸石膏を運んだ方がコスト面で安く上がりそうです。

そこで、中国での経験がオーストラリアでも通用するのかどうかということで、豪州東部にあるクィーンズランド大学の農場で植林実験することにしました。

北陸電力のプロジェクトとして2000年4月にスタートし、コアラ・プロジェクトと呼んでいます。2000年春に現地視察をし、クィーンズランド大学P.F.グリーンフィールド副学



図 10 オーストラリアの炭田分布

長と北陸電力の中田惇取締役役にサインをしていただき、このプロジェクトが始まりました。私はコーディネーターをやらせていただいております。図11がクィーンズランド大学の農場ですけれども、アルカリ化してかちかちです。生えていた木も枯れ始めています。ここで実験をやろうというので、2000年9月から木を植え始めました。木を植えて森林にしているのですが、道路の脇でもアルカリ化が進んでいます。アルカリ化が森林といわずあちこちで起きていますので、アルカリ化対策の特効薬が石膏だとなりますと、結構、面白いプロジェクトになるのではないかと期待しています。

何が面白そうかと言いますと、豪州に植林のための会社を作るとします。土地を買ったり借りたりしなければいけません。ところが実際にアルカリ化で困っているところと組んで直していこうとなりますと、植林のフィー

ルドを確保する手間が省けるのです。あるいはこれから先困っていくであろう、手当てしなければならない農場のフィールドが植林フィールドとしてあるわけです。困った者同士で、向こうの土壌を直す、農業、林業ができるようにするということです。

### 牛の糞尿からのメタン発酵技術

#### エネルギー・環境の国際協力テーマにも

日本国内でも改正廃棄物処理法を含む環境関連の法律が2000年5月に6本成立しています。これから先は廃棄物を勝手に捨てることはできません。例えば、今まで海に捨てていた、魚の餌になるようなものを捨てていた、それを捨てるはいけなとか、酪農から出てくる糞尿もちゃんと処理をしなければいけない。例えばメタン発酵の技術は、10年か15年置きに出ては消え、出ては消えています、



図 11 コアラ・プロジェクトのフィールド

今度はどうも本物になりそうです。そのメタン発酵をして、メタンガスから燃料電池、あるいは最近ではマイクロガスタービンとあわせて、電気、熱を取り出すという仕組みがあります。今、日本で先端をいっているのがNEDOのプロジェクトです。京都の八木町で、牛500頭の糞尿を貯蔵し、メタン発酵するプラントが動いています。そこでは乳牛と肉牛500頭ずつ飼ってしまして、500頭分で堆肥を、残り500頭分でメタン発酵を行なっています。そのメタンガスでガスエンジンを回しています。近い将来、隣接地に下水処理場を造るとおっしゃってましたが、そこで使う電気は十分賅えるのではないかと思います。こういうものも、廃棄物を処理しなければならない所から今後出てくる。もちろんメタンはCO<sub>2</sub>の21倍の温室効果を持っています。また糞尿をそのまま流しますと、特に尿からの硝酸態チッ素が地下水を汚し、ハートショックの原因になったり、いろいろな問題を起こしてきます。エネルギーを取り出すということと、いい肥料をつくるということとを組み合わせると付加価値が出てくるようなものが温暖化防止に絡み、これからのわが国の国際協力として、テーマの中に入ってくるでしょう。

これも単独でやるのではなく、肉の生産が非常に多い、かつ河川や地下水が汚れて仕方がないと困っているところと組んで行こう。だから、海外でどんな困っていることがあるか調査して、向こうの困っていること、こちら

がCO<sub>2</sub>を何とかしなければいけないこと、それを組み合わせたプロジェクトがとても大事ではないかと思います。

---

## まとめ

---

### 海外向けに大事な発信 「持続的発展に重要となるCDM」の情報

1999年暮れに通産省（現経済産業省）から、海外環境協力のあり方を考えてみないかというので、三菱総合研究所に協力する形でやりました。その時にこういった事例をいくつもNEDOの報告書に書かせていただきました。

一番大事なのは、日本が単独でCO<sub>2</sub>を減らすにはどうするということに日本の中だけで考えているのではなく、海外の相手国が困っていることをどう見つけ出すかということです。すると、意外とエネルギーと結びつくものがたくさんありますので、食料問題とエネルギー、さっき言いましたパームオイルという産業を起こすことと日本のエネルギー問題であるとかを組合せることができそうです。そういう切り口でいく、またそういうことができるということに日本からどんどん外国に情報発信して、「CDMというのはサステナブル・ディベロップメントに重要なのだ」と言うことが、大事だと私は思っています。

## 革新型炉としての高温ガス炉の 特長，開発現状及び展望

塩 沢 周 策 (日本原子力研究所  
大洗研究所核熱利用研究部長)



### (要旨)

高温ガス炉は，高温の熱が取り出せる，固有の安全性が高い，多様な燃料サイクルに対応可能等，既存炉にない特長を有している。このため，エネルギー供給の多様化，エネルギー利用分野の拡大に貢献する革新型炉として期待されている。このため，南アフリカ PBMR (Pebble Bed Modular Reactor, ペブルベッド・モジュラー原子炉) 計画，アメリカ/ロシア GTMHR (Gas Turbine Modular Helium Reactor, ガスタービン・モジュラー・ヘリウム原子炉) 計画に代表される実用化計画並びにアメリカ NERI (Nuclear Energy Research Initiative, 原子力研究イニシアティブ) 計画に代表される革新的次世代炉開発研究等が進められている。

一方，わが国では，高温工学試験研究炉 (HTTR, High Temperature engineering Test Reactor) 計画の下に，わが国最初の高温ガス炉である HTTR の建設が終了し，現在出力上昇試験が行われている。HTTR 計画では今後，全出力運転，原子炉特性試験，安全性実証試験等を進めるとともに，水素製造等高温熱利用に関する研究を並行して行い，わが国の高温ガス炉技術の確立と高度化を目指すことに

なっている。

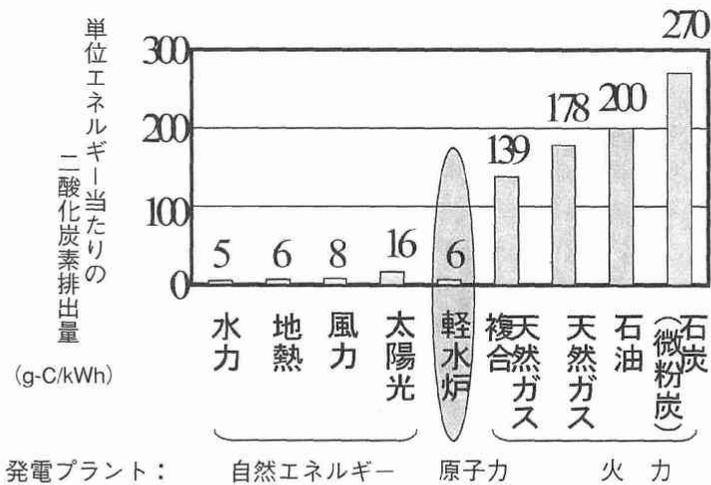
本稿は，革新型炉としての高温ガス炉の特長と開発の現状について紹介するとともに，わが国の役割，展望について筆者の考えを述べたものである。

### 1. はじめに

地球環境問題のなかで最近，特に温暖化問題が深刻な問題としてクローズアップされてきている。そのため，地球温暖化の原因とされる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量を地球規模で減らすことは緊急の課題であり，国際公約ともなっている。しかし，わが国の CO<sub>2</sub> 削減技術はかなり進んでいるため，これ以上の削減は決して容易でない。

図1は，各種電源別に見た CO<sub>2</sub> 排出原単位を比較したものである。電力 1kWh を作りだすのにどれだけの CO<sub>2</sub> を排出しているかを炭素グラム量 (CO<sub>2</sub> 排出原単位) で示したものである。数値が大きいほど CO<sub>2</sub> を多量に排出していることになる。図1から明らかなように，石炭，石油，天然ガス火力発電は燃料が化石資源であるため，当然多量の CO<sub>2</sub> を排出している。

ここで注目すべきは，太陽光，風力，地熱



出所：内山，わが国における新エネルギーの役割。  
第9回東京大学原子力研究総合センターシンポジウム（2001）より。

図1 各種電源別CO<sub>2</sub>排出原単位の比較

といったいわゆる自然エネルギーと呼ばれる発電システムにおいても、運用・設備建設のため比較的多量のCO<sub>2</sub>を排出しているということである。これらの発電システムは、今後技術の改良によりCO<sub>2</sub>排出原単位が下がると期待されるものの、供給が不安定であること、電力製造の絶対量が少ないことを考えると、今すぐ温暖化問題の決定的な解を与えてくれるとは考え難い。

また、水力発電もCO<sub>2</sub>排出の観点から環境に優しいシステムと言えるが、森林破壊等を伴うこと、水力発電に適した場所は、もう日本にはほとんどないことを考えると、水力発電が温暖化問題の切り札になることはない。

以上のことから、原子力発電が、CO<sub>2</sub>排出の観点から如何に環境に優しい発電システムであるか理解できるであろう。

では、従来の軽水炉に代表される原子力発電を増やせば問題解決になるかという点、必ずしもそうはいかないのである。

図2は、日本の電力・非電力分野における一次エネルギー供給割合を示したものである。電力利用される一次エネルギーの割合は現在40%程度であるが、全ての発電を原子力としたいわけにもいかないため、原子力発電のみで環境問題を解決しようとしても、自ずと限界があるということになる。問題は、60%を占める非電力分野のエネルギー供給がほとんど化石燃料で占められていることである。そこで、化石燃料の割合を減らすために、非電力分野で原子力エネルギーを有効利用するシステムとして、高温ガス炉が考えられている。

高温ガス炉は1,000℃近い高温のガスを取り出せる原子炉であるため、その熱を直接水素製造等の化学工業に利用できるのである。

図3は、核熱利用が可能な分野を簡単に示したもので、軽水炉や高速炉では不可能な水素製造等が直接可能になる。以上のように、原子力エネルギーを水素製造等のプロセス熱利用の分野に利用することにより、緊急課題で

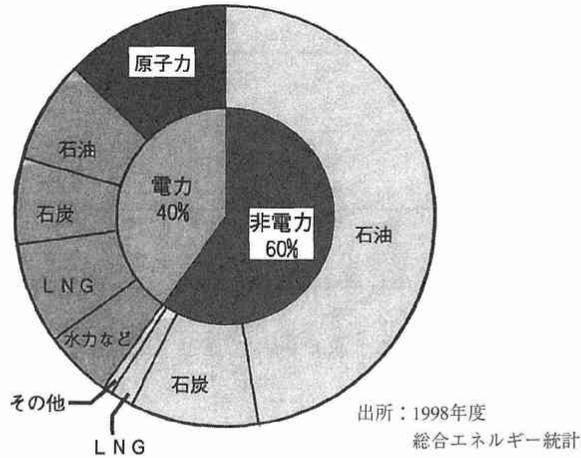


図2 日本の電力・非電力分野における1次エネルギー供給割合

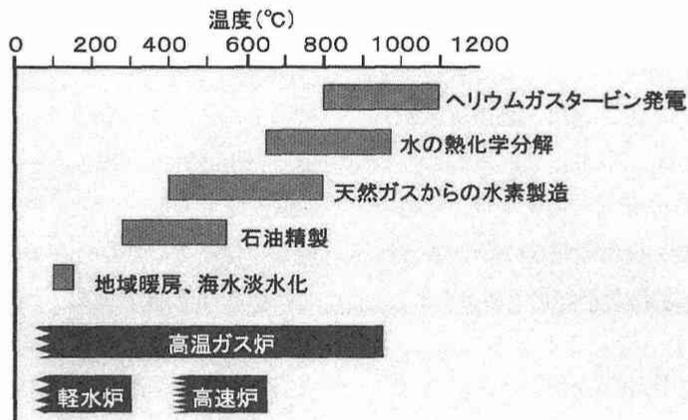


図3 核熱利用が可能な分野

ある地球温暖化防止への貢献が可能になると期待できる。

また、高温ガス炉は、軽水炉では到達し難い高温の利用が可能であるため、ヘリウムガスタービン発電に利用することにより、軽水炉よりも高い熱効率が実現できる。さらに、わが国の原子力利用は軽水炉を大型化しつつ発電用に供して進められてきたが、他のエネルギー供給技術と競争するには、供給技術を

多様化し、立地の自由度を増大させて需要を開拓しなければならない。その特性から判断して、中小出力規模で固有の安全性に優れた高温ガス炉は、市場開拓能力の点で軽水炉よりも優れているとされている。

このため、21世紀を展望して、地球温暖化防止の観点のみならず、エネルギーの安定供給の観点からも、高温ガス炉を高い経済性と安全性を持つ、熱利用等多様なエネルギー供

給や原子炉利用の普及に適した革新的な原子炉と位置付け、研究開発を進めることは重要である。

本稿は、以上の認識に立って、革新型炉としての高温ガス炉の特長と開発の現状について紹介するとともに、わが国の役割、開発の展望について筆者の考えを述べるものである。

## 2. 高温ガス炉の構造と特長

### 2.1 構造上の特長

高温ガス炉は、燃料に被覆燃料粒子、冷却材にヘリウムガス、減速材および主要な炉内構造物に黒鉛を使用し、1,000℃近い高温を取り出せる原子炉である。以下に詳細を示す。

#### (1) 燃料

被覆燃料粒子と呼ばれる直径1 mm以下の球状の粒が燃料として使用される。これは、二酸化ウラン等の燃料核の周囲を、各々数十 $\mu$ m程度の熱分解炭素や炭化けい素の被覆層と呼ばれる薄い被膜で3重から4重に包んだもの

である。被覆層は、核分裂放射性物質閉じ込めの機能を有している。燃料体は、その形状により、ブロック型とペブル型の2つに分けられる。ブロック型は、被覆燃料粒子を黒鉛マトリックス中に分散し、焼結成形した燃料コンパクトを黒鉛スリーブに挿入し燃料棒とし、燃料棒を黒鉛ブロック内に装荷したものである。ペブル型は、被覆燃料粒子を黒鉛マトリックス中に分散し、焼結成形し、約6cmの球状に仕上げたものである。燃料の構造図をHTTR燃料（ブロック型）の場合を例として図4に示す。

#### (2) 冷却材

冷却材にはヘリウムガスが用いられる。ヘリウムガスは高温でも安定な不活性ガスで、相変化がなく、燃料や構造物と反応を起こすことがない。また、原子炉内での放射化の問題も少なく、極めて高い安定性を有している。しかし、水や液体金属に比べ冷却効果が小さいため、燃料の出力密度が小さく、炉心は相対的に大きくなる。

#### (3) 減速材、炉内構造物

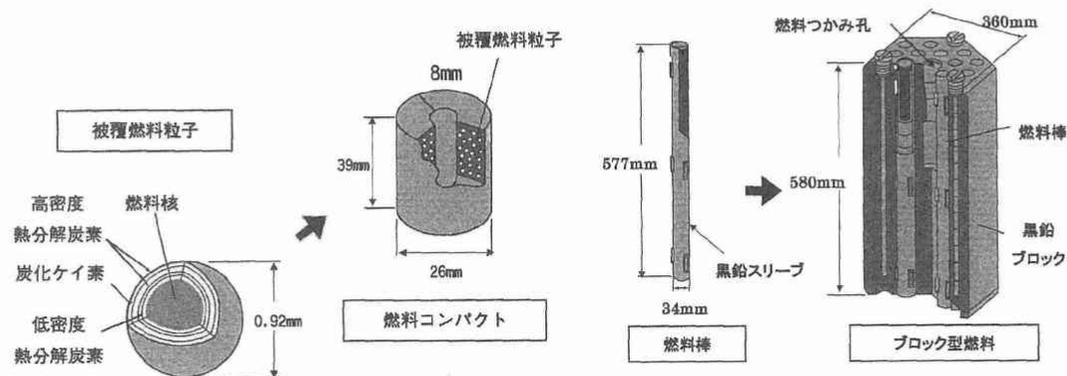


図4 高温ガス炉燃料構造の例

1,000℃近い高温に耐えるため、減速材、反射体、その他の構造物には黒鉛が使用される。黒鉛は中性子の吸収が少なく、耐熱、耐放射線性に優れ、かつ熱伝導が良いという特長を有している。一方、金属材料に比べて、延性、加工性等の点で劣っている。炉内構造物の構造図をHTTRの場合を例として図5に示す。

## 2.2 性能上の特長

### (1) 高温の熱

高温ガス炉の最大の特長は、1,000℃近い高温の熱が取り出せることにある。このため、水素製造等の発電以外のプロセス熱利用が可能となり、原子力の利用拡大に貢献できる。また、発電においても、ガスタービン発電が可能であり、高い熱効率の達成や経済性の向上が期待できる。

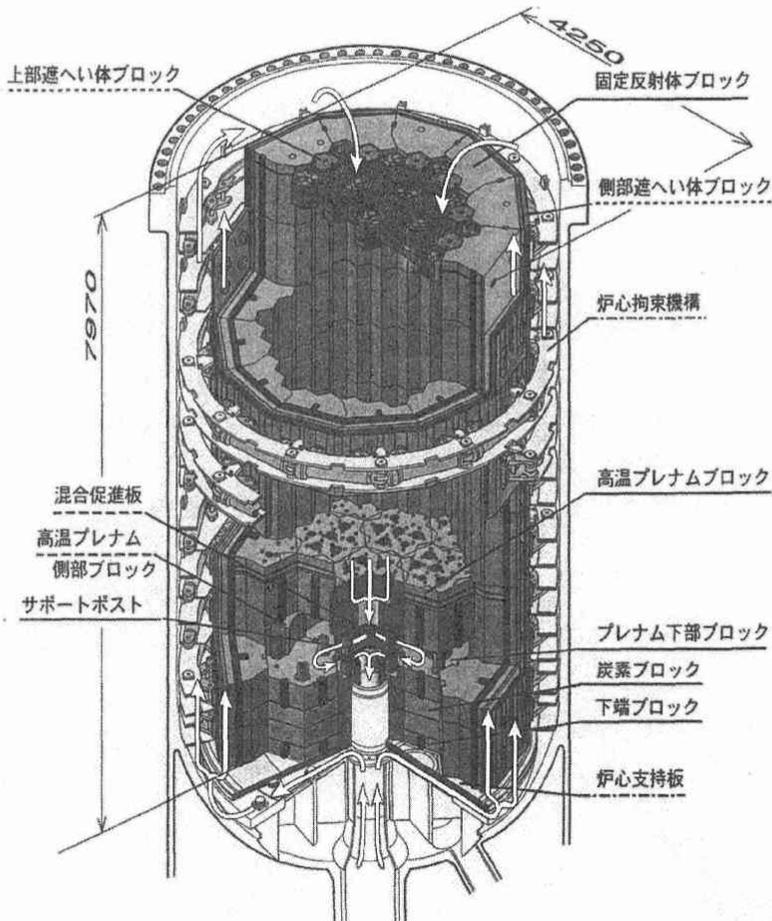


図5 高温ガス炉炉内構造の例

## (2) 高い固有の安全性

燃料や炉心構造物にセラミックスや黒鉛を用いているため、万一冷却能力が低下するような事故が発生しても、炉心が溶融することはない。さらに、燃料の出力密度が低いため、設計によっては自然放熱により、炉心を受動的に冷却することが可能である。また、炉心は熱容量が大きいため、異常な出力上昇や冷却能力の低下が生じて、炉心の温度変化は緩慢で、運転員が必要な処置を取るための時間として、数日以上という十分な余裕がある。さらに、大きな負の反応度フィードバック特性を有するため、仮に制御棒の飛び出しといった極端で急激な出力上昇が生じたとしても、原子炉出力は抑制され、原子炉が暴走することはない。高温ガス炉の固有の安全性あるいは受動的安全性は極めて高く、強制冷却能力の完全喪失と原子炉スクラム失敗が同時に生じた場合においても、設計によっては、運転

員の対応あるいは動的機器の作動を一切期待しなくとも、原子炉は臨界未満になり、自然放熱により、燃料、その他の温度を許容値以下に保つことが可能である。解析例を図6に示す。

## (3) 高い燃料燃焼度

燃料の被覆層、燃料体を構成するセラミックスや黒鉛は、耐熱、耐放射線性に優れ、ヘリウムガス冷却材中で腐食することもないため、高温ガス炉燃料は100GWd/t以上の燃焼度を容易に達成することができる。さらに、燃料の乾式長期保管が容易となる。このため、燃料を再処理しないワンスルー利用やプルトニウム燃料の長期間燃焼による有効利用といった多様な燃料サイクルが可能となる。燃焼度が高くなれば、当然高放射性廃棄物の発生量は相対的に少なくなる。

—減圧事故時の原子炉挙動—  
(スクラム無し)

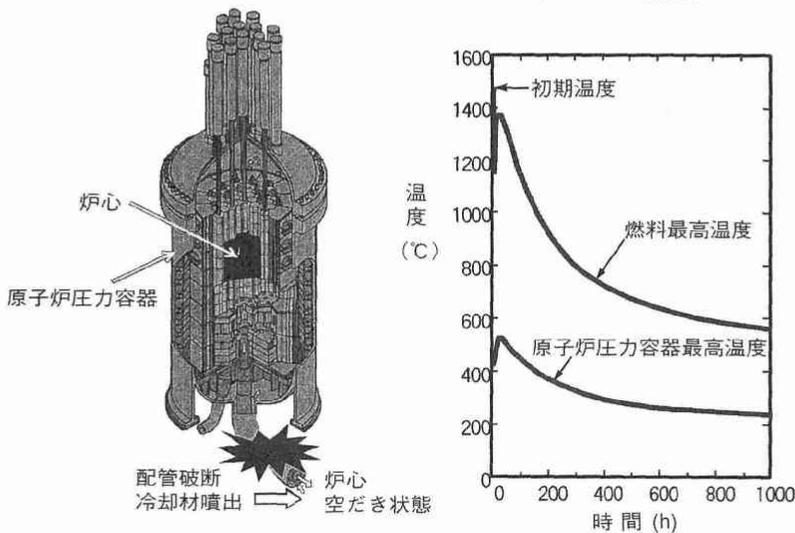


図6 高温ガス炉の優れた安全性 (解析例)

### 3. 高温ガス炉開発の現状

#### 3.1 HTTR計画

HTTRは、日本原子力研究所（原研）で建設され、現在出力上昇試験を実施している、わが国最初の高温ガス炉試験炉である。また、HTTR計画とは、主にHTTRを利用して、高温ガス炉技術の確立・高度化を目指す研究計画の総称であり、原子炉の開発のみならずその利用系の開発も含む国家プロジェクトの1つである。以下にその詳細を示す。

##### (1) 経緯と現状

HTTRの開発の歴史は今から約30年前にさかのぼる。高温ガス炉からの熱を直接製鉄に利用する可能性の追求を目的として、1969年に原研において多目的高温ガス炉計画が発足した。そして、同炉の設計、建設に必要な燃料、黒鉛、耐熱金属材料、高温機器、高温ヘリウムガス技術、炉物理、熱流動、計測計装備等のあらゆる分野にわたる広範な研究開発が開始された。しかし、その後、高温ガス炉の将来の有用性は認識されつつも、差当って産業界からのニーズはなく、多目的高温ガス炉の建設は先送りされてきた。

1987年、原子力委員会の「原子力研究開発利用長期計画」の見直しにおいて、高温ガス炉に関して、実用化のニーズは当面ないものの、他炉型にはない優れた特長を有しており、原子力熱利用の多様化および地球環境負荷低減の観点から高温ガス炉の研究開発は極めて重要であるとの認識が示された。そして、高温ガス炉の研究開発を進める中核施設として、HTTRを建設することが勧告された。その勧

告に基づき、HTTRの建設が決定され、1991年着工の運びとなり、1996年燃料装荷を除き建設が完了した。その後、冷却系統の性能等を確認するための機能試験が終了し、1998年7月に燃料装荷を開始、同年11月に初臨界を達成した。次いで1999年、全燃料装荷炉心が完成した。その間、有益な炉物理データ等、わが国初の高温ガス炉に関する運転データが取得された。現在出力上昇試験を実施中で、2001年原子炉出口温度850℃の全出力運転を達成、2002年原子炉出口温度950℃の全出力運転を達成する予定である。HTTRの設計・建設の経緯を図7に示す。

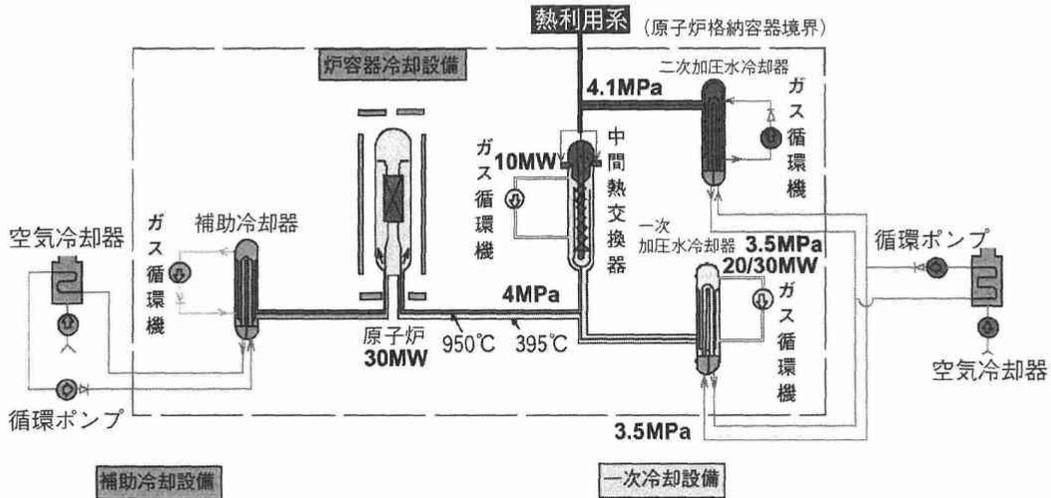
##### (2) HTTR設計の概要

HTTRは、燃料に低濃縮二酸化ウラン、冷却材にヘリウムガス、主要炉心構造物に黒鉛を用いた、原子炉出力30MW、原子炉出口温度最高950℃の高温ガス炉である。主要仕様を表1に示す。HTTR施設は原子炉建屋、機械棟等からなり、原子炉建屋は地上2階、地下3階の48m × 50mの大きさである。主要な設備である原子炉圧力容器、冷却系等は鋼製の格納容器内に収められており、最終熱の空気冷却器は原子炉建屋の屋上に配置されている。

原子炉本体は、ブロック型の低濃縮二酸化ウラン燃料炉心、黒鉛ブロックの積層構造からなる反射体、炉心を支える炉心支持黒鉛構造物、黒鉛ブロック構造を緊縛する炉心拘束機構等から構成される。燃料は、図4に示すように、いわゆるピンインブロック型の燃料が採用されている。ドイツで開発されたペブル型燃料を採用しなかった最大の理由は、HTTRでは高温工学に関する先端的基礎研究等の照射試験を行う計画があり、照射試験の

17	・水素製造装置接続 ・照射試験 ・安全性実証試験	2005
12	原子炉出口温度950℃達成 定常運転 出力上昇試験(30MW達成)	2001
11	出力上昇試験	1999
10	初臨界	1998
9	HTTRの建設	1997
3		1991
2		11月 設置許可
平成元年	2月 設置許可申請	1989
63	・熱出力 30MW ・出口温度 850/950℃ ・照射試験、安全性実証試験	1988
60	高温工学試験研究炉	1985
59	基本設計 ・熱出力 50MW ・出口温度 950℃	1984
56		1981
55	システム総合設計 ・系統構成の詳細化 ・システムの安全評価	1980
49		1974
48	概念設計 ・熱出力 50MW ・出口温度 1000℃	1973
44		1969
昭和	多目的高温ガス炉	西暦

図7 HTTRの設計・建設の経緯と計画



(図中の数字は原子炉出口冷却材温度950℃運転時の熱出力、温度、圧力を示す。)

図8 HTTR冷却系統

ためにはブロック型燃料炉心の方が有利なためである。また、ドイツと同型の燃料を開発するのではなく、わが国独自の燃料を開発することもHTTR計画の目的の1つであったためである。燃料被覆層の製造時の破損率は、設計上の許容破損率0.2%の約1/100と極めて良好な燃料製造実績が達成でき、ひとまず目的を達成した。

原子炉冷却系は、図8に示すように、通常運転時の熱を除去する中間熱交換器および加圧水冷却器からなる一次冷却設備、原子炉スクラム時に作動して原子炉崩壊熱、残留熱を除去する補助冷却設備、全ての強制冷却系が作動しない場合に原子炉崩壊熱、残留熱を除去し、燃料、原子炉圧力容器等の温度を許容値以下に保つための炉容器冷却設備からなる。なお、将来の水素製造試験等のHTTRを用い

た熱利用試験に備えて、中間熱交換器二次側から原子炉格納容器外に原子炉の熱を取り出す予定である。

### (3) 将来計画

HTTRにおいては、原子炉出口温度950℃での全出力運転達成後、

- ① 原子炉特性試験を含む運転データの取得および
- ② 安全性実証試験等を通じた、高温ガス炉に特有の安全論理の構築を図る。
- ③ 原子炉技術の高度化研究として、高燃焼耐酸化燃料の開発、高温用制御棒被覆管の開発等を行う。さらに、
- ④ ガスタービン発電実用高温ガス炉の設計研究、ガスタービン発電関連要素技術の開発を、産業界の協力を得て、今後7年間に涉

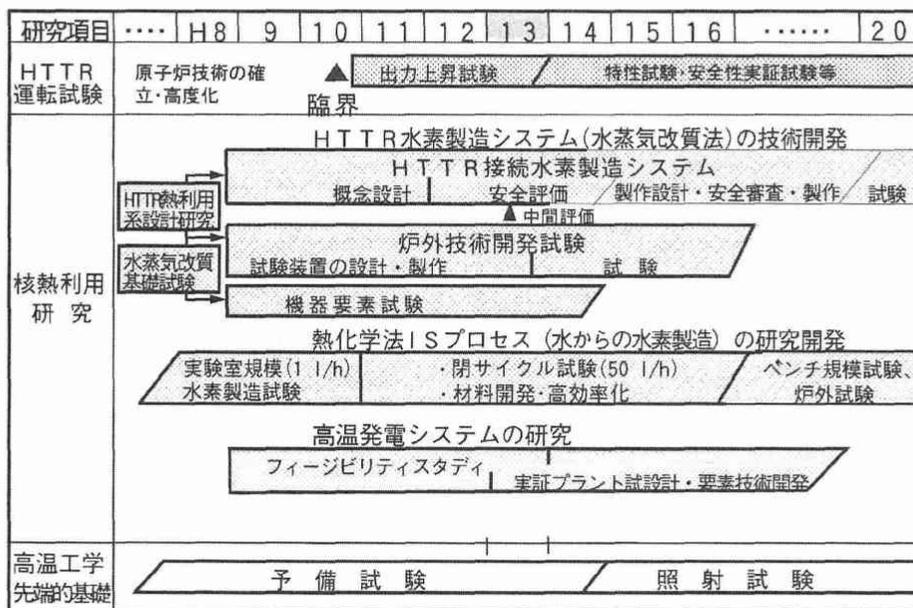


図9 HTTR計画の全体スケジュール

って行う。成果は、産業界に技術移転し、産業界が進める実用化に役立てる。

⑤ 要素技術開発を含むHTTR水素製造システム研究開発等の熱利用技術の開発を並行して進めており、将来的には、HTTRに水素製造システムを接続し、核熱から水素を製造する試験研究を行うことになっている。さらに

⑥ HTTR照射試験を中心に高温工学に関する先端的基礎研究を国内外の産業界、研究機関と協力して行う計画であり、現在その準備を進めている。

図9にHTTR計画の全体スケジュールを示す。

## 3.2 海外の状況

### (1) ガスタービン発電実用炉開発（短期的視野）

PBMR計画（南アフリカ）、GTMHR計画（アメリカ/ロシア）に代表される、実用1号機の建設目標を2005年～2010年に置いた短期的視野に立った実用炉開発計画がある。ガスタービン発電モジュラー型高温ガス炉を対象とし、既存技術の利用を図り、研究開発（R&D）要素を極力少なくして、できる限り早く建設することを目標にしている。また、経済性に関しては、既存の軽水炉はもとより、化石燃料発電システムを超える経済性を達成すること、安全性に関しては、高い固有の安全性に基づく受動的安全性を達成することを前面に押し出している。

欧米の産業界を含むほとんどの高温ガス炉関連の研究機関が何らかの形でこれらの計画

に参加している。わが国からは、富士電機がGTMHR計画に参加している他、要素技術化に関し原研が協力を行っている。

PBMRおよびHTR-10の概要図をそれぞれ図10および図11に示す。

### (2) 次世代炉開発（長期的視野）

アメリカNERI計画、第4世代原子炉（Generation IV）開発計画、EU（欧州連合）第5次EURATOM（欧州原子力共同体）研究開発計画の内HTRTN（HTR Technology Network）計画等に代表される長期的視野に立った先進的次世代原子炉の開発計画がある。将来的なエネルギー事情を展望して、より普及し易い革新的な原子炉の開発を必要としている先進諸国の事情を反映した開発計画である。わが国の事情もこれに近い。高温ガス炉の開発は、しばしば、炉型を特定しない革新的中小型炉の開発の枠内で論じられるが、その中で高温ガス炉が最も実用化に近いとの見方が一般的である。開発の理念は、経済性、高い固有の安全性・受動的安全性等の高い安全性、高い熱効率、需要地近接立地、水素製造等のプロセス熱利用システム等原子力エネルギー利用分野の拡大、高い核不拡散性等に置いている。将来の実用化を考えているため、革新技術を駆使した、より高度な技術に基づく原子炉システムの開発を目標にしているのが特長である。わが国のHTTR計画や中国のHTR-10計画は、実用炉開発的色彩があるものの、国の方針、開発研究内容から判断すると、本節の長期的視野にたった次世代炉開発の範疇に入る。さらに、フランスでは、高速炉、加速器消滅炉の開発を高温ガス炉の概念を利用して行うことを検討している。

目的	商用ガスタービン発電
熱出力	265MW
電気出力 (発電効率)	116.3MW (45.3%)
原子炉入口 ／出口温度	536℃ ／900℃
炉型	ペブルベット型環状炉心
燃料	約8%濃縮UO <sub>2</sub>
1次系圧力	7MPa
状況	詳細設計中 2005年商用運転開始 (予定)

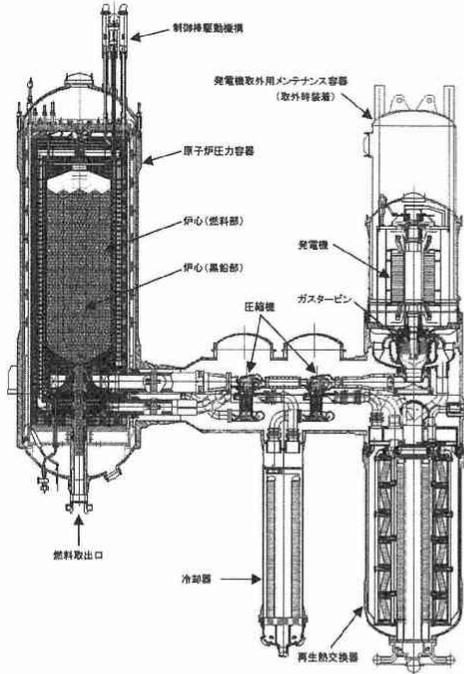


図10 PBMRの概要図

目的	試験研究 〔将来:蒸気タービン発電 プロセス熱利用〕
熱出力	10MW
原子炉入口 ／出口温度	250℃ ／700℃ (将来900℃)
炉型	ペブルベット型炉心
燃料	17%E UO <sub>2</sub>
1次系圧力	3MPa
状況	建設中 2000年末臨界〔予定〕 2001年全出力〔予定〕

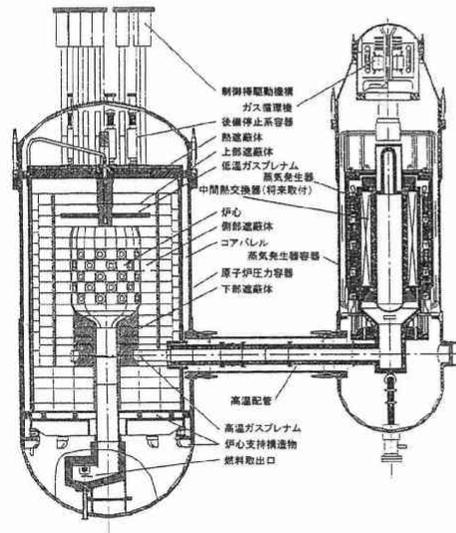


図11 HTR-10の概要図

#### 4. わが国の役割と今後の展望

HTTR計画を実施しているわが国に対して、高温ガス炉開発に関する海外の期待は大きい。欧米においては、高温ガス炉の重要性は一部で認識されていたものの、90年代は高温ガス炉の開発が一時停滞した。この間、緊急なニーズがないにも拘わらず、時代を先取りして将来のニーズに応えるべくHTTR計画を推進してきたわが国の先見性に対し、尊敬ともいえる高い評価が得られている。海外でも、遅まきながら高温ガス炉の必要性を再認識して、“Come back to HTGR”の動きが活発化している。従って、HTTRを建設し、着実に高温ガス炉開発を進めているわが国が先頭に立って、世界をリードすることが世界から期待されている。

発電利用以外の熱利用システムの開発では、全ての面でHTTR計画への期待が大きい。すなわち、高温ガス炉の究極の利用価値として、水素製造等のプロセス熱利用がある点で認識は一致していると思われる。現在は、ガスタービン発電高温ガス炉が最も有力かつ早期実現可能であるため、ガスタービン発電高温ガス炉システムの開発に世界の目が向いているが、本来の高温ガス炉の役割を忘れたわけではない。

PBMR計画は着実に進行しており、1号機建設は確かな情勢になってきているが、計画は遅れ気味で、技術的に見て同計画が簡単に成功するとは考え難い。また、PBMR炉をわが国が容易に輸入できるとは思えない。このため、国の役割として、HTTR計画の下、わが国独自の高温ガス炉開発のための技術的情報を自らの手で蓄積する義務があると考えられる。一方、熱利用システムの開発研究に関しては、わが

国は世界で唯一の実用炉計画を有しており、その存在感は世界でも大きく、確実な成果を後世に残すためにも、HTTR水素製造システムの開発はわが国の役割であろう。

HTTR計画の役割とは、簡単にいえば、潜在的ニーズを実際のニーズにすることである。そのために、原子炉技術に関しては、簡単な運転・保守性、放射性廃棄物の低発生、受動的安全性等、高温ガス炉の特長をHTTRで実証すること、ヘリウムリーク等予想されるトラブルの解決策を開発するという課題がある。熱利用技術に関しては、魅力あるシステムの構築、ガスタービン技術の開発、熱利用要素技術の開発、熱利用接続技術の開発が課題である。これらの点が克服されれば実際のニーズが出てくると考える。なお、経済性については、建設費に関しては海外の例等により、現在の軽水炉はもとより、将来炉の目標値をほぼ満たしているといえる。残る課題は、稼働率、目標性能の達成である。この確証あるいは実証がHTTR計画の目的、目標の1つである。

具体的には、以下のように研究開発を進めるのが、適切と考える。

##### (1) ガスタービン発電高温ガス炉システムの開発

- ① 実証1号機建設を2010年代に行ない、実用化開発目標を2020年代に置き、当面5～10年間はHTTRの運転、試験を通じて、データの蓄積等、実力を養う。
- ② 並行して、わが国に適した実用高温ガス炉の設計研究、関連要素技術を継続して進める。
- ③ 5～10年後に産業界に技術移転し、新た

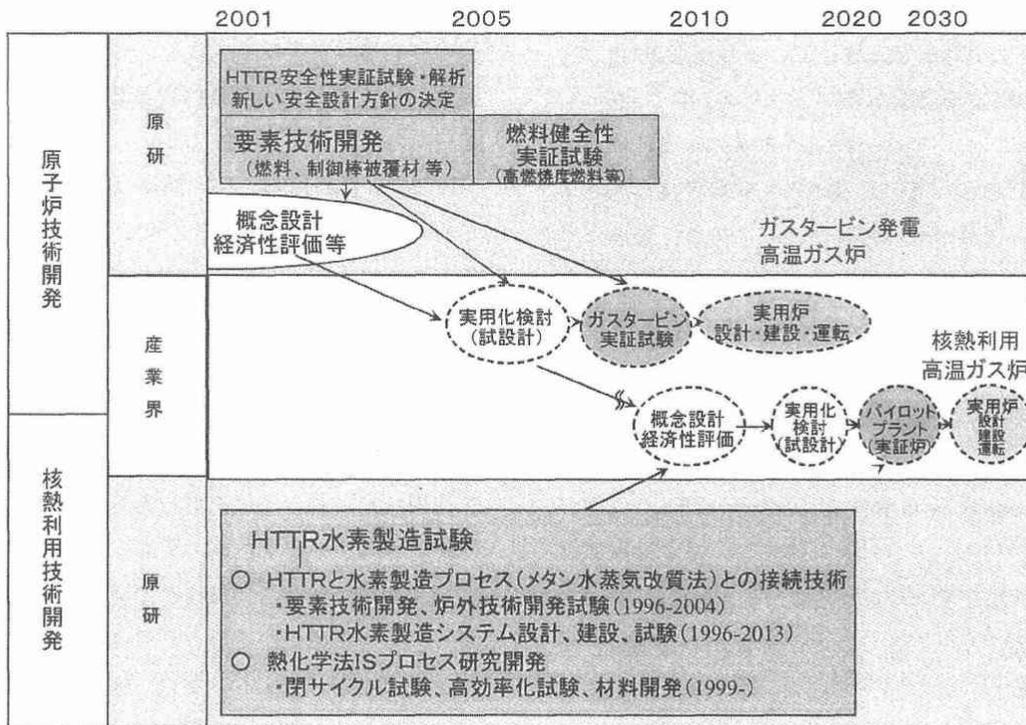


図12 予想される高温ガス炉開発スケジュール

な体制で実用化を進める。

- ④ HTTR計画を真に意義あるものとするため、国際協力を積極的に推進する。この場合、特に、PBMR計画およびGTMHR計画とは技術協力を結び、双方の計画の進展に役立てる。

(2) 高温熱利用高温ガス炉システムの開発

- ① 原子力エネルギー利用分野拡大の必要性から、長期的に見た世界からの支持は熱いと認識する。これまで世界を圧倒的にリードしてきた実績を捨てることなく、現計画を着実に遂行する。特に、HTTR水素製造システムの開発・水素製造の実証は、世界の原子力開発のエポックとして、HTTR計画の最重要課題とする。

- ② 高温熱利用高温ガス炉システムの経済性に関しては、ガスタービン発電高温ガス炉システムの開発を通じて安価な原子炉が供給できれば、十分化石燃料に競合できる。すなわち、良い原子炉ができ、熱の値段が化石燃料並みかそれ以下になれば、核熱利用の番は自然に出てくると考える。その時に備えて、必要な技術開発を行なう。
- ③ 10年後の産業界への技術移転に備え、産業界との連携を密にし、究極のクリーンエネルギーである電力-水素社会の実現に努める。

高温ガス炉開発の予想される今後のスケジュールを図12に示す。

## 5. 結言

世界の原子力エネルギー利用は、現在軽水炉を中心とした発電利用に限られている。しかし、原子力エネルギーを発電分野で利用するのみならず、水素製造等、他のエネルギー生産分野への活用を図ることはエネルギー供給の多様化および地球環境負荷低減の観点から重要であると考えられる。高温ガス炉は、1,000℃近い高温の熱を供給でき、極めて高い固有の安全性という特長を有しているため、高温熱供給により発電のみならず、幅広い分野でのエネルギー利用の可能性を有している。このため、現在国内外で進められている高温ガス炉の開発計画に目を向け、必要な理解と協力を与えて下さるよう、読者に期待して結言とする。

## 参考文献

本稿を作成するに際して参考にした文献、およびさらに詳細を知りたい読者のための参考文献は以下のとおりである。

1. 「高温工学試験研究の現状」1998年版。日本原子力研究所
2. 「高温ガス炉の展望と実用化に向けて」日本原子力産業会議、「原子力熱利用懇談会」報告書。2000年3月
3. "Present Status of HTGR Research & Development," JAERI, March 2000.
4. "Current Status and Future Development of Modular High Temperature Gas Cooled Reactor Technology", IAEA-TECDOC-TBD, IAEA, May 2000.
5. "Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)", JAERI-1332, JAERI, 1994.
6. 「高温ガス炉技術の実証の意義とHTTRの役割」1992年。日本原子力研究所
7. S. Shiozawa et al., "The HTTR Program in Japan and the HTTR Project", Proc. IAEA TCM, (1994), Petten, the Netherlands.
8. T. Nishihara, S. Shiozawa, et al., "Japanese HTTR Program for demonstration of high temperature applications of nuclear energy", IAEA-TECDOC-923, (1995).
9. S. Shiozawa, et al., "Current HTTR Design And Future Plan", Proc. IAEA 2nd Seminar on HTR Technology and Applications, (1995), Jakarta, Indonesia.
10. M. Ishihara, S. Shiozawa, et al., "Experimental study on structural integrity of oxidized support post for HTTR", IAEA-TECDOC-784, (1995)
11. "Commercializing the HTGR", Proceedings of IAEA Technical Committee Meeting on High Temperature Gas Cooled Reactor Technology Development, Johannesburg, South Africa, (1996).
12. S. Maruyama, S. Shiozawa, et al., "Results of assembly test of HTTR reactor internals", IAEA-TECDOC-901, (1996).
13. T. Tanaka, S. Shiozawa, et al., "Construction of the HTTR and its test program for advanced HTGR development", IAEA-TECDOC-899, (1996).
14. M. Ishihara, S. Shiozawa, et al., "Evaluation of Structural Integrity of Core Support Post and Seat Component Under Air or Water Ingress Accident in the HTTR", Nuclear Safety, 38, (1997).
15. Y. Miyamoto, S. Shiozawa, et al., "Overview of HTGR utilization system developments at JAERI", IAEA-TECDOC-988 (1997).
16. K. Sawa, S. Shiozawa, et al., "Study on storage disposal without processing", IAEA-TECDOC-1043, (1998).
17. S. Shiozawa et al., "Prospect of HTGR Process Heat Application and Role of HTTR, IAEA TCM, April 1999, Beijing, China, IAEA TECDOC to be published.
18. Y. Tachibana, S. Shiozawa, et al., "Material and fabrication of the HTTR reactor pressure vessel", ibid.
19. N. Kitamura, S. Shiozawa, et al., "Present status of initial core fuel fabrication for the HTTR", ibid.
20. K. Kunitomi, S. Shiozawa, et al., "Test programmes of HTTR for future generation HTGRs", ibid

## 発電システムの外部性評価

—社会全体に対するコスト意識—

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



### 1. はじめに

2000年3月から電力の一部小売自由化が実施され、電源開発においてもさらにコスト意識が強く求められる時代となった。一方、地球温暖化問題に代表されるように、ローカル、グローバルを問わず、環境問題はエネルギー問題を検討する上で重要な要素の1つとなっている。しかし今なお発電に伴うコストという点で発電原価のみを考えがちである。

発電及びその燃料サイクルが、社会全体に与える影響を総合的に評価し、発電に伴うすべてのコストを明らかにすることが重要であるが、そのために、外部経済性評価は極めて有力な手法である。しかし実際にいろいろな発電オプションに関し整合性のある外部経済性評価を実施することは、多方面の専門家の協力を必用とするとともに、多くの時間、費用も必要とする作業であり、国内ではまだ本格的な調査が実施されたことはない。

本稿では原子力発電を中心に欧米の先行評価事例等をもとに、外部経済性評価の手法、利用方法等について解説する。

### 2. 外部性とは

#### (1) 定義

経済学でいう外部性 (externalities) とは、ある消費者や生産者の経済活動が他の消費者や生産者に与える影響をいう。他方、市場メカニズムとは需要と供給によって価格が決定される原理のことを言うが、外部性は生産者や消費者による考慮の対象とならないため、供給条件や需要条件として勘案されず、外部性に対する価格は決定されない。つまり、外部性に関して市場メカニズムは働かない。

完全競争市場においては、市場メカニズムの働きによって各種財貨・資源・サービス等の最適分配が達成されるのであるが、市場メカニズムが働かない外部性があるとそれだけ資源の最適分配が妨げられることになる。

ある経済行為が、市場価格の変化を伴わない自然環境の破壊や周辺住民の健康被害、あるいはその経済活動とは直接関係のない第三者の私有財に対して悪影響を及ぼすことがあるが、この影響を外部不経済と称している。逆に便益を与える場合には外部経済と称する。外部不経済のことを、一般に費用に着目して「外部コスト」と表現することも多い。私的コ

スト（内部コスト）と外部コストを足したものが社会的コストである。

例えば、上流で水質汚染物質を排出しながらある製品を作っている企業とその汚染物質のために健康被害を受けている下流住民がいた場合、下流住民の健康被害が外部不経済となる。上流の企業は健康被害についてコストを負わないため、この企業の製品は図1の私的供給曲線（私的限界コスト\*曲線）に沿って市場に提供され、需要曲線との交点で製品の市場価格と供給量が決定される。しかし、外部コストも加味した真の供給曲線は社会的供給曲線である。つまり、当該製品は供給過剰となっており、資源の最適配分がなされていない。

また、外部コストを支払うために、それを私的コストに組み入れることを外部コストの「内部化」という。

## （2）発電分野における外部コスト

発電分野においても同様に、外部コストは、その生産者、消費者が考慮しない社会や環境に負わせたコストであり、発電価格に反映されないコストと言える。エネルギーや電力の生産、流通に関する一部のコストが発電価格に反映されずに、消費者、生産者を巻き込むことなく第三者に転嫁されれば、最適な資源配分は達成されず、社会全体としては損失が生じることとなる。

第三者に転嫁される典型的なコストは、例えば人々の健康を保護するコストや酸性雨等による森林被害を防ぐコストなどである。大気、海洋といった自然環境など私有されるこ

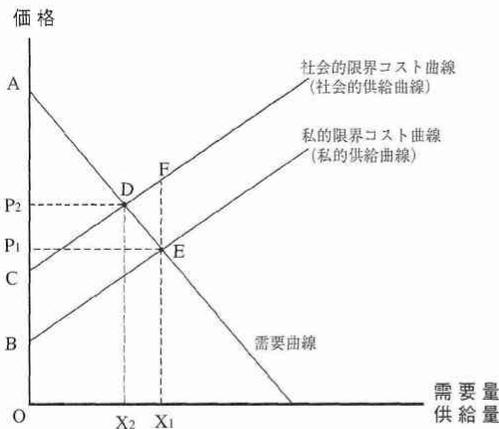


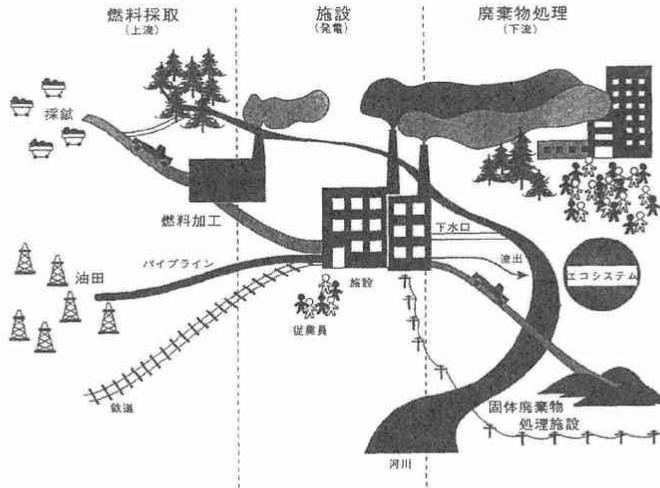
図1 外部不経済

とのない社会的に共通な資源に対するこれらの影響は、従来経済的には無視されてきたものである。また外部コストを分類するならば、自然環境やそれを通じての人体健康、生態系、アメニティ、農業生産等に与える影響を指す環境外部コストと、それ以外の非環境外部コストに分類されることが多い。非環境外部コストには、従業員への健康影響、雇用機会創出、エネルギーセキュリティ等々があるが、従業員健康影響等を除き評価方法の確立を始めとして評価上の不確実性が大きく、現段階では客観的な定量評価が難しいとされている。以下の説明においても、外部コストとは従業員健康影響を含めた環境外部コストを指している。(図2参照)

## 3. 環境外部コストの評価方法

外部コストの評価方法として、初期の研究では、汚染物質による全国単位等の総被害量と総放出実績などの集約的なデータ、推定値

\* 限界コストとは、生産物を1単位追加する際のコストをいう。図1でEFは外部限界コストであり、私的限界コスト (X1E) + 外部限界コスト (EF) = 社会的限界コスト (X1F) の関係が成り立つ。



出所：ニューヨーク州環境外部コスト研究

図2 発電燃料サイクルの外部効果

から平均的な被害を推定する方法や被害を防止する対策費用を被害額とみなす方法などが用いられた。

しかし最近の大型調査では、影響経路手法、ダメージ関数手法と呼ばれる手法等により、個々の汚染物質による物理的影響を推定してボトムアップ式に被害を積み上げていく方法が採られている。このような手法は一般的には次の4つのステップに分けられる。以下に

ステップに沿って、評価方法を概観する。(図3参照)

- ① 評価対象の特定
- ② 環境質の変化の推定 (汚染物質放出量, 環境中の移動及び被ばく量の把握)
- ③ 環境, 健康等への物理的影響の推定
- ④ 影響の貨幣価値への換算

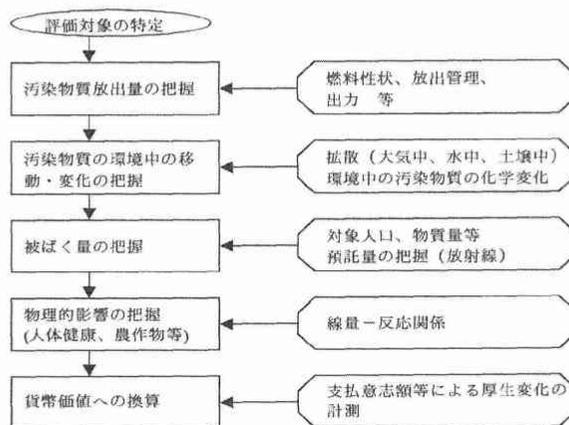


図3 外部コスト算出の枠組み

(1) 評価対象外部コスト要因の選定

評価の対象範囲としては、理想的には、フロントエンド、バックエンドを含めた燃料サイクル全体について、また燃料サイクル上の主要なステップに関しては、建設から廃棄までの全ライフサイクルを対象とすることが望ましいが、データの欠如等により実施されていない例もある。

これらの各ステップで外部コスト要因は多数存在するため、実際の評価では主要な要因をスクリーニングする必要がある。スクリーニングに当たっては、想定する燃料サイクルの潜在的な環境影響をリストアップし（表1参照）、その調査において、影響を算定する、定性的には検討する、評価上は無視するなど個々の影響をどのように扱うのか、次のような観点から検討する。

- ① 被害が既に内部化されていないか。（外部コストに該当するか）
- ② 外部コスト評価上の主要な被害であるか。
- ③ 被害の定量化に利用できる十分なデータがあるか。
- ④ 汚染物質の環境中の移動状況や汚染物質濃度と影響の関係等について利用できる十分な文献・資料があるか。

(2) 環境質の変化の推定

施設から放出された環境汚染物質による影響の程度を知るためには、環境中の汚染物質濃度の変化を把握する必要がある。そのためには放出された汚染物質の環境中の移動形態を推定し、拡散、沈着等のプロセスを適切にモデル化する必要がある。この手法自体は通常の環境アセスメントや放射線の被ばく評価

表1 外部性要因のリストアップ例

環境影響の要因	燃料サイクル放出分類			外部性分類			
	採掘	燃料	原子力	発電	致死	疾病	傷害
大気							
粒子状物質	×	×	×		×	×	
SO2	×	×	×		×	×	
NOx、硝酸塩、NO2	×	×	×			×	
毒物及び重金属	×	×			×	×	
CO	×	×	×		×	×	
温室効果ガス/CO2	×	×	×		×	×	
CFC					×	×	
蒸気				×			
放射性物質	×	×		×	×	×	
2次的大気							
酸性エアロゾル	×	×	×		×	×	
酸性沈着物	×	×	×				
オゾン (HC, VOC)	×	×	×				×
室内空気					×	×	
表面水							
化学物質	×	×	×	×	×	×	
熱				×			
衝突/運行				×			
放射性物質	×	×		×	×	×	
貯水							
消費	×	×		×			
固体廃棄物							
輸送				×			×
土地利用/騒音/植生	×			×			
有害物質/PCB					×	×	
灰中の毒物					×	×	
高レベル放射性廃棄物				×	×	×	
低レベル放射性廃棄物	×	×		×	×	×	
建設/運転							
建設				×			×
土地利用/騒音/植生	×	×		×			
送電(土地利用)				×			
送電(EMF)				×	×	×	
爆発/事故	×	×	×		×	×	×
原子力事故					×	×	×
流出					×	×	×
廃止措置				×			×
公共施設の利用			×				
社会経済	×	×	×	×	-	-	-
燃料取得							
採掘	-	-	-	-	×	×	×
製造	-	-	-	-	×	×	×
輸送/貯蔵	-	-	-	-	×	×	×
セキュリティ/資源枯渇	-	-	-	-			

出所：ニューヨーク州環境外部コスト研究（1995）からの一部抜粋  
注：×印が該当項目

等に用いられる手法と同じである。なお、大気汚染等では二次的な生成物の影響や、反応性に富む物質の大気中の化学反応による濃度変化、オゾン生成のような複雑な化学反応なども考慮する必要がある。また、放射性物質の場合は、放射性崩壊による減衰や長半減期物質の長期間に及ぶ環境への拡散も考慮しなければならない。

拡散のモデル化に当たっては、空間的あるいは時間的な算定範囲をどの程度にするかという点も重要な要素であり、特に閾値を設けない場合には算定範囲が足切りラインとなる。例えば原子力においては、長半減期の核種を

対象に何万年レベルという非常に長いオーダーを範囲として評価することがある。この場合は一人ひとりには極く微量であっても、長期間であるために非常に多数の人々に対する影響を算入することから、結果として大きな値となる場合がある。

### (3) 物理的影響の大きさの推定

被ばく量から評価対象が受ける被害量の推定は、一般的には個々の環境汚染物質に関して当該汚染物質の量とその影響を受け反応を示す固体数の割合、すなわち量－反応関数(Dose-Response-Function)から推定する。量－反応関数は、疫学調査や実験室における動物実験データ等から推定されるものであるが、これらの研究の制約から、実際には汚染物質と人間等の被害対象との間の関係が広範囲に確立されているとはいえない。従って、使用に当ってはその前提条件等を十分考慮する必要がある。

また外部コスト評価上の量－反応関数の適用に当っては、閾値を想定すべきかどうか、汚染物質間等の相互作用をどう扱うか等難しい問題がある。なお被害については、空間的、時間的に幾つかの範囲に分割しておく、対策を講じるなど将来的な利用がしやすくなる。

### (4) 貨幣価値への換算

物理的な影響は、最終的には統一的尺度である貨幣価値に換算する。自然環境等の公共財に関しては市場が存在しないが、これらの財についても人々の合理的な判断である選好を基にして貨幣価値を評価する代表的な方法として次のものがある。

・ 仮想市場法 (contingent valuation method)

仮想的な特定の状況設定の下で、対象となる財の価値をアンケート形式で被調査者に直接尋ねるもの。

・ ヘドニック価格法 (hedonic pricing method)

周辺環境条件による土地・住宅価格の差異、危険な職業における賃金プレミアム等から対象となる自然環境や生命リスクの価値を推定するもの。

・ トラベルコスト法 (travel cost method)

レクリエーション施設の利用等において、そこに行くために必要とする移動費用と利用回数からその施設の価値を推定するもの。

発電分野の外部コスト評価では人の健康影響が大きな割合を占めるが、人の生命の価値についても、仮想市場法やヘドニック法等により微小な死亡リスク変化に対する貨幣価値から評価することができ、これを「統計的生命の価値」と呼んでいる。

また長期的な影響の貨幣価値換算では割引率が大きな影響を与えるので、長半減期放射性核種の影響や温室効果ガスの影響などの長期にわたる影響の評価結果を比較する場合には注意を要する。

## 4. 環境外部コスト評価の利用方法

発電分野において外部コストを評価することは、電源オプションの選択やエネルギー政策の決定等の意思決定の段階において、経済的最適性の面から見た1つの指標を提供するという面で大きな意義がある。また現在のようにグローバルな意味での環境のあり方が問題となっている時代には、環境の価値というものを改めて確認するという点に対する意義

も指摘されている。さらに、外部コスト評価では、自然環境や社会に与える影響を最終的に貨幣価値に換算し評価している。このように比較的理解しやすい尺度である貨幣価値で一律に評価すること自体に、多面的要素が複雑に絡み合う事象を総合的に判断できるという利点がある。

### (1) 経済手段を通じての政策への活用

前述のように電力の市場価格に正当に反映されていない費用が存在している場合には、市場を通じた効率的な資源配分ができないこととなる。従って、この費用を内部化することにより、市場メカニズムを補完し最適な資源配分を追求することができる。しかし、例えば企業が自発的に汚染物質の放出量を減らすために除去装置等を設置し外部コストを内部化することはなかなか実現しにくい。そこで、政策によりその発電システムが持つ外部コストに見合ったコストを強制的に内部化することがしばしば行なわれる。また内部化により、企業が経済的により効率的な電源を選択したり、新しい技術を生み出すインセンティブを与えることができる。

外部コストを内部化する、つまり私人的コスト化し関係する生産者や消費者に外部コストを支払わせる方法としては、一般的に次のようなものがある。

- ・課税
- ・補助金
- ・直接規制
- ・排出権取引

このような手法によっても、現状では外部コスト評価値に多くの不確実性が含まれているため、外部コストを完全に内部化することは困難である。しかし外部コスト評価は、適切な政策を実施する上での重要な指標の1つ

として利用可能である。

### (2) エネルギー政策、電源選択の決定への活用

外部コスト評価の主要な役割として、エネルギー政策や電源選択の決定を助ける働きが期待できる。

社会的コストは、私人的コストである市場コストと外部コストを合計したものであり、社会的コストが最も小さいものが社会全体としてみれば経済的に最適と考えられる。外部コストを評価することにより、どのような電源を選択するか、エネルギー政策を立案するか等の局面において、多数の技術的な選択肢を社会全体のコストという観点から総合的に判断することができる。発電の場合は、電源の多様性、エネルギーセキュリティ等の問題もあるため、ここでいう外部コストは最終的には環境外部コストのみではなく非環境外部コストも包括したものであることが望ましいが、当面環境影響だけでも社会全体としてより経済効率の高い電源を選択しようとする方向性を見出す上で有用である。

また、外部コスト評価は、経済的な要素に加えて、物理化学、生物学、社会科学など非常に幅広い知見の上に成り立っている。これらの情報は、多方面で活用を図ることが可能である。まずエネルギー政策を考える上では、どこにどの程度の外部コストが発生しているのかを確認できることが重要である。この場合、集計値としての外部コストだけではなく、サイクルの各段階、空間的な距離の程度、時間的な長さ、また汚染原因の種類等によって分割したデータが非常に有用であり、こうした情報によりリスク分布が把握され、特定の

分野を対象とした規制や、空間的な影響の広がり配慮した政策、世代間の利害配慮した政策等が可能になる。

さらに外部コスト評価手法が確立され、ツール等が充実すれば次のような技術評価、立地点評価の指標としての活用が考えられる。

- ・ 1つの地点において想定する複数の発電技術の相対的なコスト比較
- ・ 一部の設備変更による効果の外部コスト面からの評価
- ・ 複数の立地候補地点がある場合の環境影響の面からの総合的な比較

### (3) 発電技術に関する情報提供への活用

エネルギー政策や電源の選択に対し公衆の理解を得るためには、公衆に種々の電源に関して正しい情報が豊富に提供される必要があるが、外部コスト評価が包含する幅広い情報が公衆の理解を促すと期待できる。

外部コスト評価は、発電単価に加えて環境に与える影響も含めた社会コストに関する情報を提供することができる。また、外部コストはその発電技術が持つ貨幣価値換算された環境リスクの合計値であるという性質を持つことから、リスクを比較的馴染みやすい貨幣尺度に統一した情報として活用できる。その意味では、外部コストが空間的に区分された情報となっていれば、施設が立地している地域に対する負担を貨幣尺度で示すことができ、雇用や経済効果等の情報と併せて評価することにより、地元の理解等を得ることに役立つ可能性がある。これらの情報は、原子力パブリック・アクセプタンス (PA) でも有効に活用できると思われる。

その他、将来的には環境会計等と連動して

活用される可能性もある。

## 5. 発電分野における外部コスト評価実施例

各種電源オプションに関する外部コストの評価については、1970年代末に初期的な研究が開始され、1980年代後半からは多数の研究報告が公表されている。この分野の研究本格化の先駆としてホーマイヤー(1988)の研究が有名である。その後これまでに欧州委員会 (European Commission) と米エネルギー省 (DOE) の共同研究など、比較的大規模に実施された調査が何件かあるが、特に上述の共同研究を欧州側で継続したExternEプロジェクト (1995,98) が、現在のところ最も壮大で豊富な内容を含んだ研究と言える。以下ではニューヨーク州環境外部コスト研究 (1995) の調査結果と併せて、ExternEプロジェクトを簡単に紹介する。

### (1) ExternEプロジェクト評価結果

ExternEでは、各電源オプションの燃料サイクルの各段階からの環境汚染物質等による従業員を含む人体健康影響、環境被害等を評価している。

その結果の概要は表2のとおりである。評価値に大きな幅があるのは、主に温室効果ガスの影響評価の幅によるものである。また、ボトムアップ式に各施設の汚染物質のソースタームを推定し、拡散計算等により被害を推定しているため、評価値にはその地点の周辺人口密度や気象条件などサイト特有の条件に非常に大きく左右される要素もある。同じ燃料を使うシステムであっても各発電所の使用

表2 ExternEによる発電用燃料サイクルの外部コスト (mECU\*/kWh)

	石炭	石油	ガス	原子力	水力	風力	太陽光	バイオマス
オーストリア			4-73		0.6-9 (便宜)			24-25
ベルギー	23-157 109-240		5-60	3.9-4.6 4.0-4.7				
ドイツ	17-138	38-166	6-50	4.4-7.0		0.37-1.3	0.6-7.6 1.1-8.1	27-32
デンマーク			7-30			0.6-2.5 0.6-3.6		3.2-15
スペイン	33-172		5-90			1.7-2.7		17-127
フィンランド	8-124							7-18
フランス	53-200	72-189	13-71	2.5	6			5.6-8.1
ギリシャ		15-120	4.1-31		5.1	2.2-3.3		1-9
アイルランド	45-172							
イタリア		23-128	9-69		3.4			
オランダ	12-175		3-59	7.3				3.6-9.1
ノルウェー			2-58		2.3	0.5-2.5		2.4
ポルトガル	26-161		2-62		0.2-0.5			11-29
スウェーデン	6-121				0.04-7.2			2.5-4.3
イギリス	29-151	20-108	5.2-60			1.2-2.4		5.1-7.2
韓国	6-240	15-189	2-30	2.5-7.3	0.04-7.2	0.37-3.9	0.6-8.1	2.4-127

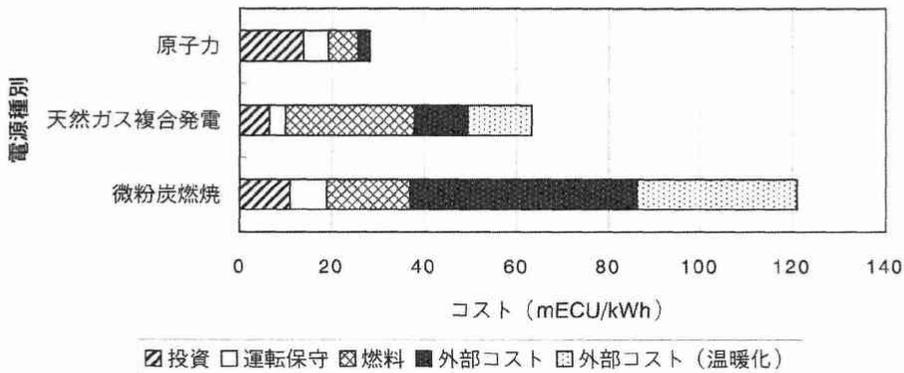
説明: ExternE, Base Page を基に作成。なお、バイオマスは複数のサイトがある場合の最低値の値を示した。  
\*千円のLECU

している技術、工程等の違いによって、評価値の大小が生じることもある。

ExternEによると、温室効果ガスの影響も加えるならば、石炭火力、石油火力の外部コストが同程度で最も高く、次いで天然ガス、バイオマス、原子力が続き、バイオマスを除く再生可能エネルギーの外部コストは比較的安く評価されている。評価において温室効果ガスの影響が外部コストに占める割合が大きく、平均で石炭火力の外部コストの20%~80数%、石油火力の10%強~80%、天然ガスの40%弱~90数%程度を占めている。温室効果ガスの

影響を除けば、天然ガスの外部コストは原子力のそれと同程度である。図4はイメージとしてフランスを例にOECD(経済協力開発機構)の発電コスト予測(1998)に、ExternEの外部コストを加えたものである。化石燃料では発電原価と同程度ないしはそれ以上の外部コストがあり、原子力では発電原価の1~2割程度となっている。

ExternEで主要な外部コスト発生項目として検討しているのは表3の項目である。発電方式により評価項目の違いがあり、化石燃料では大気汚染物質による健康影響だけではなく、



※OECD発電コスト予測(1998)とExternE評価値を組み合わせて作成。

1 ECU=1.25 \$ で換算した。

図4 電源オプションの比較例 (フランス)

表3 ExternEにおける評価優先度の高い項目

外部性の項目		石炭火力	石油火力	微粉炭	天然ガス	原子力	水力	太陽光	風力
大気汚染	健康影響(公衆)	●	●	●	●			●	
	建築素材	●	●	●	●			●	
	酸物	●	●	●	●			●	
	森林	●	●	●	●				
	淡水魚類	●	●	●	●				
	野生生態系	●	●	●	●				
	視界影響								●
温室効果ガス	地球温暖化	●	●	●	●	●		●	●
化学物質	健康影響(職業人)							●	
	生態系	●	●	●	●				
水	生態系		●		●				
	野生生態系		●		●		●		
土地利用	農業, 森林, 水資源				●		●		
	健康影響(職業人, 公衆)					●			
放射線	健康影響(職業人, 公衆)			●		●			
	健康影響	●	●	●	●		●		●
探掘処理輸送	個別特有の影響	● 探掘	●	●	●				

出所：西山（エネルギー・環境 Vol21-266）のまとめによる

農作物や建材等幅広い対象物への影響を評価しているが、原子力では殆んどが事故も含む放射性物質による影響である。

## (2) ニューヨーク州の評価結果

ニューヨーク州の研究においても個々の発電所ごとのデータを用いて評価が実施されているが、このプロジェクトで開発されたプログラムを用いることにより、同一サイトに各種電源オプションを設置した場合の比較評価ができる。そのようにして得られた結果が表4であり、風力に次いで原子力が低くなって

いる。天然ガスは、原子力の2倍程度であり、石油は10倍、微粉炭は20倍となっている。なお、温室効果ガスについては算定していない。

ニューヨーク州では、化石燃料について大気質、水質、土地利用、産業廃棄物の4項目について損害評価を実施しており、このうち大気質で最も大きな外部コストを有している。

原子力に関しては、通常運転時の放射線放出の影響、事故の影響及び燃料サイクルとして採鉱・精錬過程と燃料製造過程が評価されており、ワンスルーの政策をとるため、再処理等の過程は評価されていない。

表4 ニューヨーク州調査における電源比較（スターリング地点）

（単位；mills/kWh）

電源	天然ガス CC	石油燃焼 タービン	石炭常圧 流動床	微粉炭 燃焼	原子力	風力
大気質	0.198	1.330	0.831	2.600	0	0
粒子状物質	0.125	0.538	0.198	0.403	0	0
窒素酸化物	0.072	0.483	0.493	2.040	0	0
硫黄酸化物	0	0.017	0.078	0.099	0	0
鉛	0	0.282	0.060	0.057	0	0
水銀	0	0	0	0	0	0
毒物	0	0.009	0	0	0	0
水質	0.001	0.000	0.020	0.015	0	0
土地/廃棄物	0.010	0.071	0.016	0.015	0.012	0.010
その他	0	0	0	0	0.099	0
合計	0.209	1.400	0.869	2.630	0.112	0.010
地域配分 (%)						
局地	13	8	6	2	86	100
残りの地域	15	13	10	8	8	0
残りの州	23	29	48	37	1	0
州外	49	50	36	53	5	0

表5 ExternEによる原子力発電の外部コスト (mECU/kWh)

国名	サイト、出力	技術	燃料 原産地	発電段階			その他の燃料サイクルの段階			小計
				健康影響	事故	その他	健康影響	温暖化	その他	
ベルギー	Doel	加圧水型炉 (open)	EU外	0.4	0.001 -0.35	-	3.5	0.02-0.7	0.12	4.0-4.7
ベルギー	Doel	加圧水型炉 (closed)	EU外	0.4	0.001 -0.35	-	3.5	0.02-0.6	0.1	3.9-4.6
ドイツ	南西ドイツ、 1375MW	加圧水型炉	カナダ	0.18	0.003	-	4.2	0.1-2.7	-	4.4-7.0
フランス	1300MW	加圧水型炉	フランス							2.5
オランダ	Borssele、 449MW	加圧水型炉	フランス	0.11	-	-	7.2	-	-	7.3
イギリス	Sizewell B 1258MW	加圧水型炉	EU外	0.11	-	-	2.07	0.04 -1.59	-	2.2-3.8

出所： ExternE Home Page (<http://externe.jrc.es>) 及びNational Implementation より

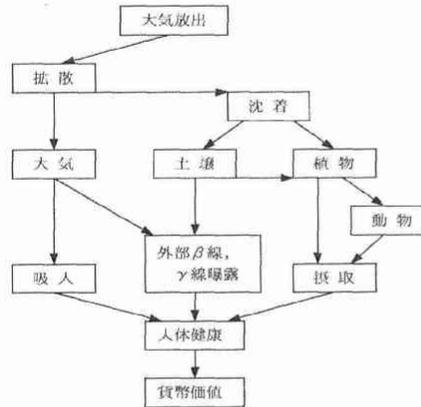
### (3) 原子力発電の外部コスト評価結果

#### ① ExternE及びニューヨーク州調査の概要

ExternEにおいて外部コストを評価された原子力発電所は表5のとおりである。フランスはフェイズIIで代表例として評価されており、各国の評価が実施されたフェイズIIIでは改めて評価されていない。そのフランスの場合は、燃料サイクルの全段階を自国内で処理しており、評価も実施しているが、その他の国では自国内にない処理段階は評価に含まないし、ワンスルーで評価している場合もある。

放射線の放出による影響経路の考え方の例として大気放出の場合を図5に示す。前述のように化石燃料等では、大気汚染物質の放出による幅広い項目への影響が評価されている。しかし、原子力では放射性物質の通常放出量が微量であることもあり、農作物や魚介類への影響は、生態系としては問題になるものではないとして、最終的に人体健康影響に集約されると考えているため、環境への影響は小さなものとなっている。

サイクルのステージ別では、発電段階よ



出典： ExternE Vol.5 Nuclear

図5 放射性物質の大気放出による影響経路

りも発電以外の段階の健康影響が大きくなっているが、これは例えばフランスの評価では再処理段階から放出される長半減期のカーボン14の影響によるものである。原子力では、1万年に及ぶ長期のタイムスパンで評価を実施しており、1人当たりの被ばくは極く微量でも、低線量被ばくの影響に閾値を設けない直線仮説の下では非常に多数の人々に対する影響を算入するため、大きな被害として評価される。

なお、ニューヨーク州の調査では、米国の燃料サイクルがワンスルーであるため、再処理や高レベル廃棄物処分は評価対象外となっている。またExternEのような非常な長期にわたる影響も除外しており、結

果として発電段階では従業員被ばくが外部コストの主要な要因となっている。

## ② シビアアクシデントの外部コスト

原子力においては、シビアアクシデントに対する関心が非常に高い。ドイツ・フレンツブルク大学のホーメイヤー教授やニューヨークのペース大学等による初期の外部コスト評価では、チェルノブイリ事故の影響を外挿する形で評価しており、ペース大学による評価では23 mills/kWhという高い値を得ている。

しかし、その後シビアアクシデントについては確率論的安全評価（PSA）を基礎にした評価が中心となっている。ExternEでも個別の発電所についてフルスコープのPSAこそ実施していないが、例えばフランスの評価では、ソースタームの設定や、原子炉格納機能の破損については文献等から4つのパターンを設定し、環境への放出後については実際に試算を行なっている。これらの評価では、チェルノブイリ事故の影響を外挿したペース大学による評価と比較して数桁程度低い値（ExternEではフランス0.0023～0.104, ドイツ0.003 mECU/kWh, ニューヨーク0.00515～0.0343 mills/kWh）となっており、外部コスト全体に占める割合は小さい。ただし、この評価には、事故による心理的ストレス等のコストは含まれていない。また、PSAによる客観的リスクと公衆のリスク認知のギャップや、事故に対する公衆の嫌悪感を評価に取り込もうとする動きもある。

## 6. まとめと今後の方向性

上述のように、外部コスト評価は環境影響等を含めた総合的な意味での経済評価である。欧米においては、ExternEを筆頭に多くの発電サイクルの外部コスト研究が実施されてきたが、わが国で総合的な評価が実施された例はない。

外部コストは、使用されている技術、サイト周辺的环境、国情等に対し特有のものであるから、過去の評価値を単純に比較するならば、評価手法の差異と相まって1つの使用燃料に対してもその値に変動が見られる。

従って、海外の先行事例の比較検討自体は、外部コストの概要を把握し、傾向をつかむためには有用であるが、外部コスト評価値を有効に活用するためにはわが国の地域、経済状況等を反映した評価を実施する必要がある。またそのためには、まだ確立されていないわが国独自の関連データ、関数等を調査・検討し確立していくことが必要である。わが国で外部コスト評価を実施するに当たって、開発すべき事項、検討しなければならない事項は数多いが、例えば次の2点を挙げることができる。また全てのデータを自前で揃えることが研究資源的に無理であれば、先行事例等におけるデータを転用する必要があり、転用に当たっての問題点、条件等を整理する必要がある。

### ① わが国の疫学データを基礎とした量－反応関係の把握

量と反応の関係には、人種、体格、衛生状況、栄養状況等のいろいろな要因が絡んでいるものと推測される。放射線影響のようにICRP（国際放射線防護委員会）等の国

際機関により検討されている例もあるが、自国における疫学研究等を基に固有の量一反応関数が確立されていることが望ましい。また、それが困難であっても、先行事例による現在の知見からわが国の評価にどのような関数を選定すべきか検討する必要がある。

## ② 貨幣価値換算係数の把握

健康影響等を最終的に貨幣価値へ換算するが、そのためには「統計的生命の価値」、疾病による費用単価や穀物、森林被害単価等の把握が必要となる。これらの価値については社会状況、経済状況等が影響するので、これについてもできるだけわが国固有

のデータを基に評価する必要がある。また特に原子力に関しては、大事故に対する嫌悪感もしくは、リスク認知のバイアスを反映した「統計的生命の価値」の推定など、原子力発電に関する選好を示すデータを積み重ねておく必要がある。

## 7. 謝辞

本稿の内容は、エネルギー総合工学研究所内に設置した「わが国の原子力発電の外部コストの調査委員会」の検討を基にしたものです。赤井誠主査を始めとする委員の皆様のご指導に改めて感謝いたします。



## 第6回国連気候変動枠組条約 締約国会議（COP6）に参加して

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



### 1. はじめに

20世紀は政治、経済、人間生活が世界規模で激変した時代であった。この背景として、石油と電力など「エネルギー」の大量利用により、運輸、通信が「人」、「モノ」、「情報」の世界規模での流通を可能としたことが欠かせない要因であったことはいうまでもない。そして、21世紀のキーワードのひとつは、「環境」であると言われている。この用語は、漠然としていながらも、家庭ゴミから気候変動まで、空間的、時間的に幅広い、人間生活の周囲で生ずる諸課題をひとことで表現できる便利な用語である。



図1 オランダ国際会議場

地球規模での気候変動に対する1980年代後半からの関心は、国際政治にも影響を与えた。1997年に京都で開催された第3回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP3, The 3rd Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change）では、既に生産が原則禁止となっているフロン類以外の温室効果ガスの排出量に制約を加えることを盛り込んだ京都議定書が採択された。2008年から2012年の5年間（第1約束期間）で、先進国や旧ソ連東欧地域の温室効果ガスの排出量を、1990年比で一定数値削減、または抑制する目標が定められ、その後の各国のエネルギー・環境政策に大きな影響を与えている。COP3以降、関連の国際交渉が継続して行われており、1998年のCOP4（ブエノスアイレス会議）で、COP6における作業完了を目的として、枠組を決めたのみである京都議定書の詳細を決定する行動計画が採択され、京都議定書の詳細決定は、COP6に持ち越された。

このような重要会議であるCOP6は、オランダ第3の都市であり、政治の中心となっているハーグにおいて、2000年11月13日～25日に開催された。会場は街の中心部からやや離れた場所にある、オランダ国際会議場（図1）である。京都会議（COP3）やブエノスアイレス会議（COP4）で提示された、京都メカニズ

ム、シンク（吸収源）、遵守制度、途上国問題等についての国際的合意を目指して議論が行われたが、地球環境問題における利害対立の構図は根深く、会議は中断延期とされた。再開会合は、2001年7月16日～27日にドイツのボンで開催される予定である。

以下では、COP6本会議および参加したサイドイベントの概要紹介を通じて、地球環境問題の方向を探ることとする。

## 2. COP6本会議<sup>(1)</sup>

会議中に配布された参加者リストによると、参加者数は事務局を含めて約7,000名であり、内訳は、182か国、323の国際機関・NGO、および443のメディアとなっている。日本政府からは、環境、外務、農林水産、通産などの省庁等から約70名の参加者があった。

会議は、オランダの環境大臣プロンク氏（図2）を議長として、2週間にわたり開催された。各国は、大筋で利害を共有する多国間グループを構成し、会議に臨んだ。それらは、日米等のアンブレラグループ、欧州連合（EU）グループ、途上国グループなどに大別される。第1週の事務レベル会合では、閣僚級交渉に備え、複数案併記を含む合意文書パッケージ素案が作成された。第2週は、「途上国問題」、「京都メカニズム」、「吸収源」、「政策措置・遵守等」の4グループに分かれて閣僚級を交えた交渉が行われた。筆者は、本会議動向をフォローするとともに、特別イベントに出席し情報収集に努めた。

11月23日夜には、交渉の進展を図るため、プロンク議長が、公式文書ではない議長ノートを公開した。内容は、途上国問題、京都メ



（Leila Mead/IISD提供）

図2 プロンク議長

カニズム、吸収源、政策措置・遵守等の4つの課題に関する議論を反映していると思われる。決定すべき事項がコンパクトにまとまっている点は評価できる。会議終了後、この文書は今後の交渉において注意すべき文書であるという、国連気候変動枠組条約事務局側の公式見解が示され、公式文書扱いとなった。今後の交渉において、京都議定書を具体化した場合の詳細内容に踏み込んだ多数案併記型の大量の事務レベル会合文書と、プロンク議長ノートのどちらを出発点とすべきかは、本原稿執筆時点ではまだ決定されていない。

本来ならば会議最終日である11月24日は、COP3のときのような徹夜を覚悟し、全体会合傍聴、会議動向フォローに努めたが、合意が帰国時間までに得られる見込みが非常に少ないため、深夜宿泊先に戻り、現地のテレビ、インターネット等で可能な限りメディア情報収集に努め、会議の動向を見守った。

以下では、内容が途上国の主張に偏っており具体性に欠けるといった批判もあるものの、議長ノートの内容について紹介する。表1に議長ノートの主な内容を示すが、主観的な解釈を加えると各項目は以下の通りと読みとれる。

表1 プロンク議長ノートの主な内容

討論テーマ	テーマ内項目	主な内容
途上国問題	①地球環境 ファンシリティ 資金供給	・適応基金（森林破壊・土壌劣化・砂漠化防止等）、条約基金（技術支援、能力形成、国内削減支援等）設立 ・先進国（OECD先進国中心）拠出、先進国排出権取引仲介料、ODA等により資金供給を強化
	②能力形成	・先進国以外の国の支援のため、気候変動枠組条約実施および京都議定書への効率的参加に関連する能力形成枠組を作成
	③技術移転	・情報交換、科学技術的助言、技術移転課題解決支援を実施する、地域間公平性に配慮した政府間コンサルティンググループ設立
	④気候変動 適応支援	・適応策の持続可能な国内対策反映のため、パイロット・実証プロジェクトを支援（水資源管理、土地管理、農業、健康、インフラ開発、生態系、沿岸地域管理、疾病対策、森林破壊・土壌劣化防止、気象災害等）
	⑤気候変動対策 の影響評価	・市場改善（石炭補助金廃止等）、温室効果ガス排出が多いエネルギーの段階的削減・廃止方策による社会・環境・経済影響の報告 ・技術移転、能力形成、経済多様化、化石燃料生産時エネルギー効率向上、先進化石燃料技術（炭素回収貯蔵含む）等支援 ・途上国は国別報告ガイドライン策定等を効率的に実施しつつ、特定ニーズおよび対策によって生じる問題を報告
	⑥最貧国支援	・脆弱性と適応策評価、適応策作成、災害救助・森林破壊防止・土壌劣化防止、人材育成等の特別支援
京都 メカニズム	①議定書発効直後 締約国会議対応 理事会設置	・システムの統合性、信頼性、効率性を高める理事会設置。メンバーは地域性を考慮して選び、島嶼国代表参加 ・CDMの早期実施のための理事会立ち上げ
	②CDM プロジェクトの 適格性	・CDMプロジェクトが持続可能な成長と合致しているかどうかの判断はホスト国の裁量による ・プロジェクト対象に原子力発電を含めることを控える ・再生可能（特に小規模水力）、エネルギー効率向上に高い優先度を設定 ・議定書発効直後締約国会議の助言に基づき、実行会議は規則、実施方式を詳細検討
	③補足性	・附属書I国は削減目標達成にあたり国内対策優先。国別報告書に基づき、定性的、定量的に遵守状況確認 ・2005年予定の第4回国別報告書で初回評価
	④排出権取引の 方式と責任	・排出権の売りすぎが環境悪化につながることに留意 ・排出権取引量は、約束割当排出量の30%、または予想・近年排出量から算出される一定量を超えない ・締約国の排出量データのレビュー後、国内排出割当量は再計算され必要であれば再調整
	⑤代替可能性	・締約国は、現世代および将来世代のために、公平性、共通だが差異ある責任、責任負担能力の観点から、気候システムを保護。そのため、京都議定書にある大気中温室効果ガス濃度安定化目標、諸原則に従う ・共同実施、排出権取引、CDM認証分による量は、割当排出量に加減可能。議定書発効直後締約国会議で、これらの交換性に対する規則と手順を制定
	⑥CDM プロジェクトの 地理的分布促進	・CDM参加機会が公平であり、ベースライン設定においては、附属書I平均値を使用 ・最貧国支援においては、インフラ支援、適応策からの除外、公的資金CDMの現ODAへの追加性に配慮
	⑦共同実施の手順	・共同実施は附属書I国間で行われ、報告義務を満たせば厳重検証必要なし。満たさない場合、CDM手順を厳格適用
土地利用、 土地利用変化 および森林 (吸収源)	①植林、再植林、 森林破壊の定義	・京都議定書における森林定義は、国連農業機関定義に従うが、各国状況に応じ柔軟性を残す ・将来の約束期間における森林定義について、検討開始 ・植林、再植林、森林破壊の定義は、森林と大気炭素交換が実際に近いIPCC定義に従う
	②人為的活動 による吸収源 の拡大	草地、耕地、森林の管理（以上土地管理）、植生再生を含めることができる。その計算方法は、 ・活動が削減目標を大きく変えることになることを認識し、追加的な位置づけ。その量は第1約束期間の割当量の3%を上限 ・第1区分 森林管理の炭素ストック増加（炭素削減）算定量は、1990年以降森林面積変化による増加量以下、かつ30MtCO <sub>2</sub> 以下 ・第2区分（間接的人間活動と不確実性に関して割り引く） 管理活動から、窒素固定・CO <sub>2</sub> 濃度増加効果等の間接効果、および1990年以前の活動による樹齢構成変化を除外 森林炭素ストック変化、および耕地・草地の管理活動による量をそれぞれ30%割引。追加的森林管理活動量を85%割引

	③第2約束期間以降の追加的活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・議定書発効直後締約国会議以前に、第2約束期間以降の追加的活動のリスト、規則、方法、算定ガイドラインをレビュー</li> <li>・炭素ストック変化と正味温室効果ガス排出算定は人為的Direct活動に限定、割引方法についてはIPCCでの手法採用</li> </ul>
	④基準年特例	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地利用変化と森林が1990年において正味排出源である国は、その排出分を1990年の基準年排出に含めることが可能</li> </ul>
	⑤LULUCF (土地利用、土地利用変化、森林)とCDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LULUCF活動はCDMの目的に合致するので、CDMに植林、再植林を含める</li> <li>・森林破壊・土壌劣化防止は、CDMとしての適格性に欠けるが、適応基金において優先的に扱う</li> <li>・1990年以降の人為的植林、再植林、森林減少の算定法と定義を修正。非持続性、社会経済影響、リーケージ、追加性、および不確実性を適切に扱う</li> <li>・IPCCの方法論を考慮に入れ、規則と方法を作成</li> </ul>
政策措置・遵守等	①政策と手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>・政策と手段に関する情報交換を継続</li> <li>・附属書I国は、政策と手段に関する進捗状況を、次回実務者レベル会議に提出。COP7で再度検討</li> </ul>
	②削減割当違反	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第1約束期間における削減割当を遵守しなかった場合の扱いは前もって定め、執行理事会の裁量対象外とする</li> <li>・削減割当量からの超過排出には環境を保全する率でペナルティを課す</li> <li>・ペナルティ率は遵守システムの本質的要素。排出削減達成遅延の利子との考え方もあるが、遵守インセンティブの側面があるので比較的高率とする</li> <li>・第2約束期間の排出目標は、第1約束期間開始以前に決定する</li> <li>・排出目標を遵守していない場合には、執行理事会が次の措置をとる <ul style="list-style-type: none"> <li>次の約束期間の排出割当量から、超過分を差し引く</li> <li>ペナルティ率は1.5、以降の約束期間からは0.25ずつ増加</li> <li>不遵守国は、次期約束期間の遵守行動計画を提出</li> </ul> </li> </ul>
	③締約国間の差異 (特に附属書I国と非附属書I国)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・執行理事会の任務は附属書I国の義務に関するものに限定</li> <li>・非附属書I国のCDM参加適格性に制限を設けない。締約国のCDM参加には、京都議定書批准、資金条件適合を要件とする</li> <li>・附属書I国と非附属書I国の促進理事会への申請に対しては差を設けない</li> </ul>
	④議定書発効直後締約国会議と遵守委員会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・議定書発効直後締約国会議の役割は遵守委員会への一般的政策助言に限定、特定事例に非介入</li> <li>・訴追手段については定めない</li> </ul>
	⑤執行理事会と促進理事会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・執行理事会は定量的排出目標、適格性要件のみを扱う</li> <li>・促進理事会は、附属書I国と非附属書I国の責務に関する不遵守事項を扱う</li> <li>・促進理事会は、京都議定書実施と遵守に関して助言と促進を行う</li> </ul>
	⑥遵守委員会の構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遵守委員会を設置、促進理事会と執行理事会が実際の活動を行う</li> <li>○促進理事会 <ul style="list-style-type: none"> <li>・促進理事会の11人のメンバーは地域公平性を考慮して定め、国連の5地域から同数、島嶼国から1名の代表から構成</li> <li>・促進理事会の決定はコンセンサスを原則、やむを得ない場合は4分の3以上の多数決で決定</li> </ul> </li> <li>○執行理事会 <ul style="list-style-type: none"> <li>・執行理事会の11人のメンバーは地域公平性を考慮して定め、国連の5地域から同数、島嶼国から1名の代表から構成</li> <li>・執行理事会の決定はコンセンサスを原則、やむを得ない場合は4分の3以上の多数決、かつ、附属書I地域と非附属書I地域の両地域で多数意見となっていることをもって決定</li> </ul> </li> </ul>
	⑦遵守状況最終結果判断の法的基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・拘束力のある結果を含めた遵守システムの法的基準は、京都議定書の附属合意に基づき、議定書発効以前に定める</li> </ul>

(注) 今後の交渉が、ブロンク議長ノートを出発点として実施されるかは不明である。

### (a) 途上国問題

途上国グループは各種基金を通じた先進国からの支援という点を、今回の交渉の焦点に絞ってきたと言われている。そこで、地球環境ファシリティ (GEF, Global Environment Facility) のもとに、適応基金、条約基金という2つの新たな枠が記されており、森林破

壊・土壌劣化・砂漠化防止、技術支援、キャパシティ・ビルディング (能力育成)、途上国内温室効果ガス削減支援等が文中に盛り込まれている。さらに、気候変動に適応するために、水資源管理、土地管理、農業、健康、インフラ開発、生態系、沿岸地域管理、疾病、森林破壊・土壌劣化防止、気象災害などの支

援に加え、エネルギー関連では、化石燃料生産時のエネルギー効率向上、炭素回収貯蔵を含む先進化石燃料技術等の支援が含まれている。

これらの対策の実施においては、途上地域間のバランスをとった上で、経済規模から見てその影響が相対的に大きい最貧国に対して、特別の配慮がなされるべきだとしている。また、対策影響評価として、石炭補助金廃止等の市場改善、温室効果ガス排出の大きいエネルギーの段階的削減・廃止方策の環境・経済影響評価の必要性が指摘されている。

#### (b) 京都メカニズム

京都メカニズムには、排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズム（CDM, Clean Development Mechanism）の3種類があるが、その中でも途上国との関連が深いCDMに議論が集中した模様である。

先進国と途上国の協力関係に基づいて実施される、CDMプロジェクトの適格性の基本的条件として「持続可能な成長と合致すること」とあるのは京都議定書にも含まれている。しかし、CDMを実際に実施するには、この基本原則だけではプロジェクトを認定することが困難であり、よって具体的なCDMの適格性の定義が求められている。プロジェクトの種類については、ホスト国の意向を尊重すべきであり、適格、除外のリストを作成すべきではないという意見も根強い。エネルギー関連プロジェクトはCO<sub>2</sub>削減の有力な候補であるが、原子力発電を含めることを控える、再生可能（特に小規模水力）エネルギーおよびエネルギー効率向上に高い優先度を設定する等の記述

があり、注目される。

話題の少ない排出権取引、共同実施といったその他の京都メカニズムについては、ホットエア\*の売りすぎ防止が目的であると思われる、排出権取引の売り手責任が盛り込まれた。

#### (c) 土地利用、土地利用変化および森林（吸収源）

最終段階で調整がつかず、交渉延期の大きな原因となったとされている部分である。結果的に炭素削減と同視される、森林管理による炭素蓄積量増加や、草地、耕地、森林の管理といった人為的活動による吸収量増加を含む、吸収源の範囲や算定法について議論が交わされたが、先進国間においても合意が得られなかった。決裂回避のため、今後の事務レベル国際交渉で、素案を十分に詰めておくべきであろう。

#### (d) 政策措置・遵守等

京都議定書にある2008年～2012年の間の削減目標を守れなかった場合、どのような措置をとるかという、いわゆる遵守問題は、議定書具体化のために避けて通れない項目である。日本などは議定書運用による解決を主張したが、多くの国は罰則を科すべきとする意見であり、その意向が議長ノートに「削減割当量からの超過排出にはペナルティを課す」として反映されている。遵守委員会を設置し、促進理事会と執行理事会が実際の活動を行うとする提案もなされたが、遵守委員会メンバーのバランスが途上地域に偏りすぎという批判も先進国側にあるようである。

\*用語解説参照

### 3. サイドイベント

本会議と並行して、多数のイベントが開催された。交渉がなかなか進まないで、周辺情報を効率的に収集できるこれらのイベントへの参加は有益であった。エネルギー関係で興味を引くと思われる、イベントの例を以下に紹介する。

#### (1) 世界エネルギー評価

国連開発計画 (UNDP)、国連経済社会問題局 (UNDESA) および世界エネルギー会議 (WEC) は共同で、「世界エネルギー評価－エネルギーと持続可能性への挑戦－」という報告書をまとめ、途上国の経済発展 とエネルギーの関係を指摘した。

途上国エネルギーの基本的な問題は、室内汚染・地域汚染・地球環境を含む環境、セキュリティ、社会問題の3点に集約されるとした。途上国ではエネルギー消費の伸び率も高い。現在バイオマスが1次エネルギーの2割程度を占めているが、将来このバイオマス分が化石燃料になるか、あるいは再生可能エネルギーになるかで、世界全体のCO<sub>2</sub>排出シナリオが大きく異なってる。現在のエネルギーシステムは持続可能となっておらず、高エネルギー効率、再生可能エネルギー、化石燃料と炭素回収の組み合わせや核不拡散と安全性を確保した原子力などの先進エネルギー技術の3つが重要であるが、これらは市場メカニズムだけでは解決されないとまとめた。

エネルギーは人間活動と密接に関連しており、健康水準、教育水準などの確保のために必須の要素であるが、途上地域と先進地域の格差は解消していない。世界全体でみると、

もっとも豊かな20%の国々が55%のエネルギーを消費しているのに対し、もっとも貧しい20%の国々は5%しか消費していないことが示された。このような先進地域と途上地域間のエネルギー不平等分配を、情報リテラシーについての「デジタルデバイド」の考えを借りて、「エネルギーデバイド」の状態にあるとしたのが印象的であった。

#### (2) 世界エネルギー見通し2000

国際エネルギー機関 (IEA) による2020年までのエネルギー需給予測の最新版である「世界エネルギー見通し2000」が、COP6の場で初めて公表された。

標準シナリオの概要を含むプレゼンテーションが中心であった。図3に、今後20年の世界の燃料別1次エネルギー供給を示す。石油依存度が高いまま石炭、原子力のシェアが徐々に低下している。図4には、世界全体での発電量推移と燃料別内訳が示されている。化石燃料中心の構成が続いていることがわかる。電力の1人あたり消費は世界的に増加傾向にあり、特に非OECD (経済開発協力機構) 諸国の伸びが大きい。世界の石油生産は増加し、OPEC (石油輸出国機構) への依存度も高まるだろう。天然ガス生産もアフリカや中東で大きく拡大する。石炭はガスとの競合に勝てないが、中国やインドでは増加し続ける。原子力プラント閉鎖の影響などにより、CO<sub>2</sub>排出は増加する。全体として、石炭からガスへのシフト傾向が認められ、再生可能エネルギーは量的に期待できない。

以上標準シナリオの結論をまとめると、

・エネルギー消費とCO<sub>2</sub>排出は伸び続け、化石燃料依存は続く。世界エネルギー消費に

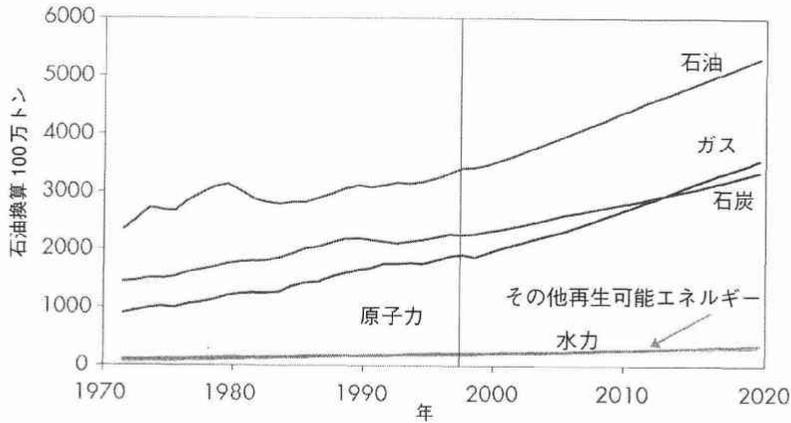


図3 世界の1次エネルギー供給（燃料別）

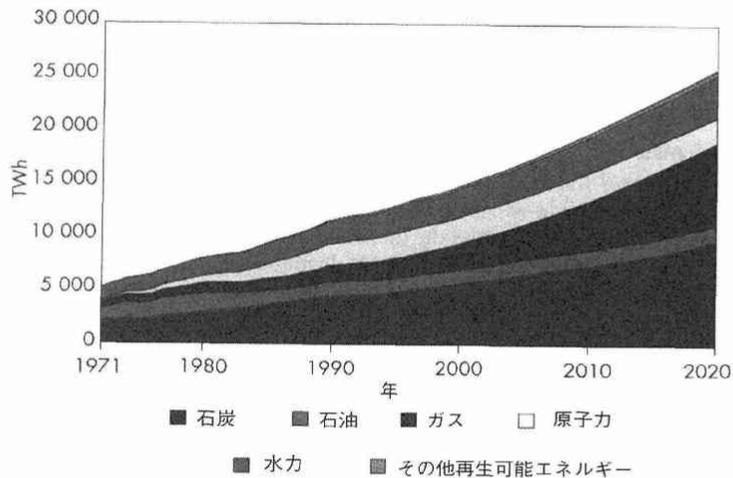


図4 世界の発電量（燃料別）

おける途上国比率は増加する。

- ・エネルギー貿易は増加。OECDのCO<sub>2</sub>排出増加は京都議定書目標を上回る。
- ・世界CO<sub>2</sub>排出増加の要因の約3分の1は、途上国の電力需要増加である。

その他にも、OECD地域を対象にした、運輸、電力のシナリオ分析の結果が報告された。運輸分析では、燃費、環境基準、代替燃料、税制のCO<sub>2</sub>削減効果が示された。

また、電力分析では、化石、原子力、再生可能エネルギー、コージェネレーションを推進した場合のCO<sub>2</sub>排出量の違いが示された。

### (3) CDMと原子力

筆者は以前から気候変動問題における原子力発電の重要性を指摘していた。<sup>(2) (3)</sup>

今回のCOP6でも関連動向を注目していたが、ブロンク議長ノートでは、CDMに原子力発電プロジェクトを含めることを控えるとす

る一文が挿入された。国際原子力機関（IAEA）では、1997年以降、原子力CDMのケーススタディを実施している。すべての技術はリスクとベネフィットを比較して選択されるべきであるとし、インド、韓国、中国、ベトナム、パキスタン（発表順）の5カ国のケーススタディ結果が各国の専門家により紹介された。

各国のケーススタディ結果の概要は次の通りである。

#### ・インド

電力需要は伸びており、1997年に395TWhだった発電量は、2012年には1,058TWhに、同時期の原子力容量は1,840MWeから7,600MWeに達すると予測している。核燃料資源としてはトリウムが豊富であり、ウランもかなりの埋蔵量がある。再生可能エネルギーは量的に期待できない。電源選択に関して考慮すべき要素は、電力需要、燃料資源、国産か輸入かという技術選定、人材、環境影響、必要資金および発電コストである。

電気出力500MWeのプラントを2基建設すると仮定して、石炭と原子力のオプションを比較した。原子力発電所建設によって硫酸化物、窒素酸化物の環境負荷が軽減でき、既に深刻化している大気汚染などの環境問題の解決に役立つ。経済性の優劣については、燃料輸送等の要因により、建設地点によって結果が異なるため、石炭と原子力のどちらが優れているか一律に言えない。

#### ・韓国

国内資源が少なく、発電における原子力比率は27%に達している。温室効果ガス削減は省エネ、燃料転換、技術進歩、DSM（需要側管理）などの対策によって達成される。2年おきに見直しを行っている、2000年1月に決

定した第5次長期電源計画では、電力安定供給、コスト最小化、資源の最適な組み合わせを目標としている。ただし、原子力1つを含む計6つの発電会社が誕生することになる電力民営化が進行中であるので、計画の結果は保証されない。

石炭新規容量をガスコンバインドサイクルまたは原子力で代替する場合の比較を行った。割引率、負荷率に関する感度分析によれば、概してそれぞれの値が大きいほど原子力が有利といえるが、割引率が10%を下回るとガスのほうが有利となる。標準ケースの結果では、原子力がガスより有利であり、エネルギーセキュリティの面からも原子力が優れている。

#### ・中国

経済とエネルギーはともに高成長している。高い石炭依存度、石油・ガスの国内資源枯渇、電力供給不足、石炭による硫酸化物などの汚染、石炭輸送負担、石炭利用に伴う大量のCO<sub>2</sub>排出などの、持続可能性に対する課題を解決するオプションのひとつが原子力発電である。2010年、2020年における設備容量はそれぞれ20 GWe（電力比率4%）、40GWe（同5%）程度と計画している。

ある原子力発電所と隣立地石炭発電所の比較を行った。持続可能性ベースラインと追加性のチェックを行ったが、原子力はCDMの適格性を有している。追加性について、原子力は、環境ベネフィットが大きい、輸入技術に依存しなければならない、外資依存という資金追加性がある等の条件を満たしている。

#### ・ベトナム

1980年代後半の経済改革以来、高い経済成長が続いている。1997年のエネルギー消費は1990年の約2倍であったが、1998年、1999年は

減少傾向にある。国家エネルギー計画には原子力が含まれているが、不足分の電力輸入も予定している。技術導入を行うためには、資金不足等の問題を解決する必要がある。原子力と石炭の導入を比較したところ、石炭には石炭インフラと技術、温室効果ガス排出、セキュリティなどの課題があることがわかった。各種電源を対象にしたCDMの比較ケーススタディでは、原子力CDMが最小コストとなった。発表者は最後に、途上国の原子力は国内問題として扱って欲しいと主張した。

#### ・パキスタン

現在137MWe程度の原子力容量がある。将来の電源として、水力、石炭、ガス、原子力が想定されている。時間不足のため、残りの情報の詳細は発表されなかった。

## 4. まとめ

会議の論点は、途上国問題、京都メカニズム、吸収源、遵守・政策措置の4点に集約される。そのうち、「途上国問題」では、GEFへの追加資金や新規基金制度の設置といった提案がなされた。「京都メカニズム」については、排出権取引の上限は比較のおだやかなものとなり、共同実施については特に議論とならなかった模様であるが、CDMについては、原子力利用を控える、再生可能エネルギー、エネルギー効率向上を優先するといった原則が示された。最後まで交渉を続けていたと思われるのが「吸収源」であり、日米加等によるアンブレラグループとEUの対立が激しかった部分のひとつである。国内削減分として認める森林面積変化による吸収量と土地管理等の人為的活動の算定方法は今後交渉の焦点の1つと

なるだろう。さらに、「遵守と政策措置」に関しては、削減割当量不遵守に対するペナルティ賦課、遵守委員会と執行理事会、促進理事会といった制度の提案が注目される。

## 5. 今後の展望

オランダは平らな国である。干拓して居住地域を拡大してきたこの国では、気候温暖化による海面上昇の直接的な影響を受ける可能性が危惧されている。「神が世界をつくり、オランダ人がオランダをつくった」という言葉があるそうである。人類の叡智と意志をもって、気候変動対策に実務的決断を下すことを目的とした、COP6という重要会議が、オランダで開催されたことも感慨深い。

京都議定書でうたわれた第1約束期間に向けて各締約国が国内合意をとりつけ、同議定書が発効するための早期国際合意が望まれる。COP6再開会合は2001年7月16日～27日にボン（ドイツ）で開催される予定であり、COP7はマラケッシュ（モロッコ）で2001年10月29日～11月9日に開催される予定である。

### <用語解説 — 50音順>

#### \*アンブレラグループ

欧州連合（EU）以外の西側先進国と旧ソ連を中心とするグループ

#### \*気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）により、1988年に設置された気候変動関連問題に携わる専門家の集まり。地球温暖化に関する自然科学・社会科学の知見の収集と整理を行い報告する。

#### \*共同実施

削減目標のある先進国や旧ソ連東欧地域国の間で、排出削減または吸収源のプロジェクトを実施し、

投資国が自国の数値目標達成のために削減量をクレジットとして獲得できる仕組み。

**\* 京都議定書**

1997年の第3回気候変動枠組条約締約国会議で採択された議定書。温室効果ガスの削減目標、柔軟性措置等に関する基本方針が示されている。

**\* 京都メカニズム**

京都議定書で示された先進国や旧ソ連東欧地域国に対する温室効果ガス削減目標を達成するための柔軟性措置の総称。排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズム(CDM)を指す。

**\* クリーン開発メカニズム(CDM)**

削減目標のある先進国や旧ソ連東欧地域国が投資国となり、それ以外の途上国の間で、排出削減または吸収源のプロジェクトを実施し、投資国が自国の数値目標達成のために削減量をクレジットとして獲得できる仕組み。世界全体として温室効果ガス排出量の総量を拘束するものではないという批判もある。

**\* シンク(吸収源)**

森林等、二酸化炭素などの温室効果ガスを吸収するもの。吸収量推定は、化石燃料燃焼に伴うCO<sub>2</sub>発生量推定と比較して、不確実性が高い。

**\* 政府開発援助(ODA)**

先進国から途上国への公的援助。CDMの追加性との関連が注目されている。

**\* 地球環境ファシリティ(GEF)**

世界銀行、国連環境計画、国連開発計画によって設立された基金。気候変動枠組条約の資金メカニズムとして、開発途上国の地球温暖化対策を支援している。

**\* 追加性**

途上国への資金、技術移転で既存の枠組みに追加的であり、かつ、対策によって温室効果ガスの削減が追加的に生じること。

**\* 島嶼国**

小さな島々で国土が構成される国。低海拔の島嶼国では温暖化による海面上昇で国土消滅の恐れがある。

**\* 排出権取引**

京都議定書で示された各国の温室効果ガス削減目標達成のため、その排出割合量の一部を取引する制度。京都メカニズムのひとつ。

**\* 附属書I国**

気候変動枠組条約附属書Iにおいて、温室効果ガスの削減目標が課せられた諸国。OECD加盟先進国および旧ソ連東欧諸国。

**\* 非附属書I国**

附属書I国以外の国。削減努力を免除または遅れて義務化するとされている。

**\* 補完性**

京都議定書の削減目標達成に対し、国内対策を主とし、海外での対策や炭素クレジットの購入は従とすべきであるとする概念。排出権取引と共同実施については補完的であるべきことが京都議定書に明記されている。

**\* ホットエア**

移行期経済圏諸国などで、第1約束期間(2008年～2012年)での年平均予想温室効果ガス排出量が、1990年を基準とした割当量を下回る場合は、無対策で京都議定書の温室効果ガス削減目標が達成可能である。この余剰分は「ホットエア」と呼ばれており、排出権取引で売却可能である。

**参考文献**

(1)COP6公式ホームページ 各種文書

(<http://www.unfccc.int/>)

(2)黒沢, 統合評価モデルGRAPEによる排出権取引の影響分析, 季報エネルギー総合工学, 第23巻, 第2号

(3)黒沢, 地球環境問題の統合評価—炭素排出権取引と原子力フェイズアウトの影響, 季報エネルギー総合工学, 第22巻, 第1号

## 平成13年度 事業計画の概要

(財) エネルギー総合工学研究所

本研究所は、エネルギーに関連する情報の収集、加工、提供およびプロジェクト調査研究を推進し、併せてエネルギー技術の普及啓発活動を進めることを基本方針とし、その事業活動の効率化を一層推進しつつ、平成13年度においては、次の各号の事業を行う。

### 1. エネルギーに係る科学技術に関する調査について

エネルギーに関連する各種情報を、国内および海外の諸機関との情報交流等を通じて広く収集し、技術的見地から区分、整理する。

- (1) エネルギー・環境技術データベース基礎資料の情報収集、分析、検索、処理
- (2) エネルギー・環境技術の実用化状況に関する情報の収集分析
- (3) 原子力開発国際情報の収集分析

### 2. エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報の分析法、評価法、体系化法の開発および応用に関する研究について

エネルギーの開発、供給、利用に係る科学技術資料・情報に関して、それらの分析、評

価、体系化を行うための手法の開発研究を実施し、また、これら資料・情報の分析・評価、動的な変動予測、相関性の評価、目的に応じた体系化などを行い、その利用価値の向上を図ることとする。

- (1) 各種エネルギー・システムの総合的評価手法の開発研究
- (2) 環境、経済等への影響を考慮した総合的エネルギー需給システム評価手法の開発研究
- (3) インターネットを用いたエネルギー情報収集・提供手法の開発研究

### 3. エネルギーの開発、供給、利用に係る技術上の基礎的事項に関する部門的、総合的な研究について

エネルギー新技術の萌芽の発見と将来展望、エネルギー技術要素の特性向上、安全性・信頼性の評価、エネルギー開発・供給・利用のための各種システムの評価研究など、部門的、総合的な技術的見地からの研究を行う。

- (1) エネルギー技術シーズに関する調査研究
- (2) エネルギー関係技術開発動向およびその将来性評価に関する調査研究

- ・循環型社会の構築に向けて
- ・コージェネレーション技術

(3) 電力技術開発の戦略的展開に関する調査研究

(4) 革新的実用原子力技術開発（提案公募事業）

(5) 長期エネルギー技術戦略に関する調査研究

(6) エネルギー研究開発についての総合的な戦略に関する調査研究

(7) 「エネルギー学」の展開に関する調査研究

#### 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部門的、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部門的、総合的見地からの研究を行う。

##### 〔原子力関係〕

(1) 次世代原子炉等に関する調査研究

- ・高速増殖炉の大幅な安全性、経済性向上等の革新技術に関する調査研究
- ・高温ガス炉プラントの位置づけ、可能性に関する調査研究
- ・第4世代原子力システム開発に関する調査研究

(2) 高レベル放射性廃棄物の処理・処分に  
関する調査研究

- ・地層処分に係る基礎情報整備に関する調査研究

- ・社会合意形成に基づく地層処分方策の調査研究

- ・地層処分研究開発成果の効果的提供に関する調査研究

(3) 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

(4) 次世代型軽水炉の開発戦略に関する調査研究

- ・次世代炉に関する技術評価手法の調査研究

(5) 原子力発電施設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

(6) 原子力安全に関する調査研究

- ・原子炉内現象シミュレーションの高度化に関する調査研究

- ・BWRサブチャンネル解析手法に関する調査研究

(7) 原子力の社会的受容性に関する調査研究

- ・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に関する調査研究

(8) 原子力開発利用政策に関する調査研究

- ・原子力技術開発政策に関する調査研究

## 〔化石燃料関係〕

- (1) 石油系エネルギーに関する調査研究
  - ・大気改善に向けた自動車および燃料技術開発プログラムの評価に関する調査研究
  - ・新燃料油に関する調査研究
- (2) 石炭の利用技術に関する調査研究
  - ・石炭液化導入可能性に関する調査研究
  - ・石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術の開発研究
  - ・製鉄プロセス顕熱利用高効率水素製造技術の開発研究
- (3) 天然ガスに関する調査研究
  - ・サハリンパイプラインの設計基準検討評価に関する調査研究
  - ・ガスハイドレート技術の産業利用・社会システムに関する調査研究

## 〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

- (1) 再生可能エネルギー・革新エネルギーに関する調査研究
  - ・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
  - ・蓄電池併設風力発電導入可能性に関する調査研究
  - ・沿岸地域における再生可能エネルギー（風力）発電システムに関する調査研究
- (2) 新発電技術に関する調査研究
  - ・廃棄物ガス変換発電技術に関する調査研究
  - ・加圧型固体電解質型燃料電池の開発動向、評価に関する調査研究
  - ・固体高分子型燃料電池に関する調査研究

- ・コージェネレーションの普及実態に関する調査研究
- (3) 将来の電力需要等に関する調査研究
    - ・電力需要に関する想定手法等の調査研究
  - (4) 省エネルギーに関する調査研究
    - ・次世代パワー半導体デバイスの導入可能性等の調査研究
    - ・高性能蓄熱材による熱輸送に関する調査研究
  - (5) 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

## 〔地球環境関係〕

- (1) 地球温暖化対策技術等に関する調査研究
  - ・地球温暖化問題に対する国際的な対応策・政策に関する調査研究
  - ・火力発電二酸化炭素低減システムに関する調査研究

## 5. 前三号の研究に係る試験について

石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術および製鉄プロセス顕熱利用高効率水素製造技術の開発試験を行うとともに、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（新エネルギーの展望シリーズ等）
- (2) 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）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
- (4) 研究活動などのホームページによる紹介

## 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産・学・官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。



## ● 行 事 案 内 ●

---

### 第18回 エネルギー総合工学シンポジウム

---

テーマ：『21世紀における  
環境共生型エネルギーシステムの構築』（仮題）  
—化石燃料は人類を救えるか—

開催日時：平成13年7月11日（水）10：00～17：30

会場：東商ホール  
東京商工会議所ビル4F  
東京都千代田区丸の内3-2-2

参加費：無料

★ プログラムは6月上旬に発送の予定です。

問合せ先：（財）エネルギー総合工学研究所 シンポジウム事務局  
電話：03-3508-8894/FAX：03-3501-1735  
E-mail：ykaneko@iae.or.jp

# 研究所のうごき

(平成13年1月1日～4月1日)

## ◇ 第45回企画委員会

- 日時：2月8日(木) 10:00～13:00  
場所：新橋S Yビル 7階会議室  
議題：  
(1) 開会挨拶  
(2) 委員及びその他出席者の紹介  
(3) 委員長挨拶  
(4) 前回議事録の確認  
(5) 最近の事業概要について  
(6) 最近の調査研究の状況と今後の展開について  
(7) 質疑応答  
(8) 閉会挨拶

## ◇ 第11回評議員会

- 日時：3月9日(金) 11:30～12:30  
場所：経団連会館(9階) 901号室  
議題：  
第一号議案 理事および監事の一部改選について  
第二号議案 評議員の一部交替について  
第三号議案 平成13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55回理事会

- 日時：3月16日(金) 11:30～12:20  
場所：経団連会館(9階) 902号室  
議題：  
第一号議案 平成13年度事業計画および収支予算(案)について  
第二号議案 理事および監事の一部改選について  
第三号議案 評議員の一部交替について  
第四号議案 その他

## ◇ 月例研究会

### 第187回月例研究会

- 日時：1月25日(金) 14:00～16:00  
場所：航空会館7階702・703会議室  
テーマ：  
1. 有機性廃棄物のエネルギー化に関する技術動向と課題

(鹿島建設(株) 環境本部 次長 Ph.D. 今井貫爾氏)

2. 再生可能エネルギー電力に関するEU事例および日本の動向について  
( (財) 電力中央研究所 経済社会研究所 主任研究員 田頭直人氏)

### 第188回月例研究会

- 日時：2月23日(金) 14:00～16:00  
場所：航空会館7階702・703会議室  
テーマ：  
1. 米国における電力自由化の現状について  
—加州の電力危機問題を中心として—  
( (社) 海外電力調査会 調査部 主管研究員 飯沼芳樹氏)  
2. 内外における電力市場自由化の動向と課題  
( (財) 電力中央研究所 経済社会研究所 研究参事 矢島正之氏)

### 第189回月例研究会

- 日時：3月23日(金) 14:00～16:00  
場所：航空会館7階702・703会議室  
テーマ：  
1. 高効率ガスジェネレーションの技術開発について—リーンバーンミラーサイクルエンジンの開発状況を中心として—  
(大阪ガス(株) 営業技術部 T E S 技術チーム課長 合田泰規氏)  
2. 省エネルギー型自動車エンジン、電気動力システムの開発状況—高効率ハイブリッドバス用CNGミラーサイクルエンジンおよびキャパシタ蓄電装置搭載「CNGハイブリッドバスについて」—  
(日産ディーゼル工業(株) 研究部 部長 佐々木正和氏)

## ◇ 主なできごと

- 1月9日(火) ・第2回蓄電池併設風力発電導入可能性調査実行委員会  
10日(水) ・第2回民生用電力需要動向分析調査委員会  
15日(月) ・第2回電力需要の想定と実績に関する分析調査委員会  
19日(金) ・第2回超重質燃料油利用技術調査委員会  
・第3回WE-NET安全WG  
1月24日(水) ・第3回沿岸地域再生エネルギー研究委員会  
25日(木) ・第1回革新的実用原子力技術開発提案公募審査委員会  
26日(金) ・第3回原子力の外部コストの考え方に関するWG

- ・第3回ガスハイドレート技術の産業利用・社会システム化に関する研究開発委員会
- 30日(火)・第6回原子力発電技術開発の方向性に関する調査検討委員会
- 2月1日(木)・第4回電力技術懇談会
- ・第2回マイクロコージェネレーション検討委員会
- 5日(月)・第2回バイオマスエネルギー技術調査委員会
- 7日(火)・第1回長期エネルギー技術戦略調査委員会
- 9日(金)・第2回WE-NET革新委員会
- 14日(水)・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
- 15日(木)・第1回ソーラーフューエル研究推進委員会
- 16日(金)・第4回高温ガス炉プラント研究会
- 21日(水)・第3回民生用電力需要動向分析調査委員会
- 23日(金)・第3回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- ・第4回エネルギー経済環境予測検討委員会
- 28日(月)・第2回WE-NETシステム評価委員会およびWG合同会議
- 3月2日(金)・第4回WE-NET革新WG調査委員会
- 5日(月)・第3回電力需要の想定と実績に関する分析調査委員会
- ・第5回高温ガス前処理技術
- ・第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
- 6日(火)・第3回廃棄物ガス化熔融発電技術開発評価委員会
- ・第3回アルコール系燃料に関する調査委員会
- 8日(木)・第2回WE-NET安全委員会
- 9日(金)・第3回WE-NET革新委員会
- 12日(月)・第4回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- ・第7回原子力発電技術開発の方向性に関する調査検討委員会
- 13日(火)・「加圧型SOFCの評価研究」報告会
- 19日(月)・第3回バイオマスエネルギー技術調査委員会
- ・第2回長期エネルギー技術戦略調査委員会
- ・第3回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会
- ・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
- 21日(水)・第2回大気改善のための自動車及び燃料技術開発に関する調査委員会
- ・第2回マイクロコージェネレーション検討委員会
- 3月21日(水)・第4回WE-NET安全WG
- 26日(月)・第5回電力技術懇談会
- ・第4回ガスハイドレート技術の産業利用・社会システム化に関する研究開発委員会
- 28日(水)・第2回IPCC等における地球温暖化対策技術に関する調査検討委員会
- ・第4回原子力の外部コストの考え方に関するWG

◇ 人事異動

○2月1日付  
(出向採用)

寺岡 謙治 プロジェクト試験研究部  
主任研究員

○2月28日付  
(出向解除)

鈴木 昭男 (プロジェクト試験研究部  
主任研究員)

○3月1日付  
(出向採用)

中西 健二 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)

遠藤 肇 (プロジェクト試験研究部  
主管研究員)  
長谷川 清 (プロジェクト試験研究部  
主管研究員)  
井上 岳史 (プロジェクト試験研究部  
主任研究員)

○4月1日付  
(出向採用)

小沢 武志 プロジェクト試験研究部  
主管研究員

(異動)

小野崎 正樹 プロジェクト試験研究部  
副部長(化石担当)・主管研究員

蛭沢 重信 プロジェクト試験研究部  
副部長(原子力担当)兼エネルギー技術情報センター副センター長

蓮池 宏 プロジェクト試験研究部  
副部長

# 第23巻通巻目次

VOL. 23, NO. 1 (2000. 4)

【巻頭言】	エネルギー市場の自由化に思う (財)日本エネルギー経済研究所 理事長 坂本吉弘… 1
【座談会】	水素エネルギー時代への展望を語る 東京工業大学 工学部 教授 岡崎 健 通商産業省 工業技術院 研究開発官 増田 勝彦 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 徳下 善孝 (財)エンジニアリング振興協会 研究理事 WE-NET推進室長 岡野 一清 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 WE-NETセンター プロジェクトマネージャー 福田 健三… 2
【内外技術紹介】	日本における廃棄物処理新技術とエネルギー利用の方向 東京都立大学 名誉教授 平山直道…22
【内外情勢紹介】	高レベル放射性廃棄物処分を巡る最近の国際動向 副主席研究員 河本治巳…34
【調査研究報告】	産業用MFCシステムの影響評価 —CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> 排出量のライフサイクルアセスメント的分析— 主任研究員 鈴木昭男…52
【技術解説】	プロセス開発とシミュレーター プロジェクト試験研究部 部長 片山優久雄…63
【事業計画】	平成12年度 事業計画の概要 (財)エネルギー総合工学研究所…74
【行事案内】	第17回エネルギー総合工学シンポジウム……………78
【研究所のうごき】	……………79
【第22巻通巻目次】	……………81
【編集後記】	……………85

VOL. 23, NO. 2 (2000. 7)

【巻頭言】	再生した米国原子力に注目 東京電力株式会社 フェロー(副社長待遇) 友野 勝也… 1
【理事長対談】	作家の眼で見た原子力 —スウェーデン・パキスタンの施設訪問談を幕開けに— ノンフィクション作家, 評論家 上坂 冬子 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋山 守… 3
【内外情勢紹介】	新エネルギーの課題と展望 筑波大学 機能工学系 教授 内山 洋司…19
【調査研究報告】	統合評価モデルGRAPEによる排出権取引の影響分析 主任研究員 黒沢 厚志…28
【調査研究報告】	原子力発電所に関する工事計画認可申請の電子化 —申請・審査業務の効率化と高度化を目指して— 主任研究員 尾形 圭史…37
【調査研究報告】	洋上風力発電の開発動向 —実用化段階に入った北ヨーロッパ— 主管研究員 遠藤 肇…52
【調査研究報告】	負荷集中制御システム実証試験の成果について —酷暑日の家庭用電力ピークカットを目指して— 主任研究員 田中 賢示…67
【調査研究報告】	高効率廃棄物発電技術に関する検討 —500℃級プラントの実用化に向けての考察— 研究員 大森 伸二…77
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート (第7報) —燃料電池自動車における燃料選択の問題— 主管研究員 蓮池 宏…89
【研究所のうごき】	……………100
【編集後記】	……………102

VOL. 23, NO. 3 (2000. 10)

【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 藤 富 正 晴…	4
【基調講演】	21世紀のエネルギーシステムと分散電源の役割 東京大学 名誉教授 茅 陽 一…	7
【講 演】	電力自由化と分散型電源 （勸電力中央研究所 研究参事 矢 島 正 之…	21
【講 演】	固体高分子形燃料電池の開発動向と実用化の見通し 燃料電池開発情報センター 常任理事 本 間 琢 也…	30
【講 演】	マイクロガスタービンの開発動向と実用化の見通し 東海大学 工学部 副工学部長 教授 伊 藤 高 根…	42
【パネルディスカッション】	テーマ：小型分散電源への期待と普及の課題……………	54
	司 会 栗 原 史 郎 一橋大学 大学院商学研究科 教授	
	パネリスト 伊 東 弘 一 大阪府立大学 大学院工学研究科 教授	
	(五十音順) 白 土 良 一 東京電力(株) 取締役 副社長	
	松 村 幾 敏 日石三菱(株) 取締役 技術開発部長	
	山 口 靖 之 東京ガス(株) 取締役 副社長	
【総括と閉会挨拶】	専務理事 稲 葉 裕 俊…	91
【研究所のうごき】	……………	93
【編集後記】	……………	94

【巻頭言】	21世紀に想うこと	電気事業連合会 副会長 児島 伊佐美… 1	
【座談会】	資源循環型社会とエネルギーの将来を語る		
	立命館大学 エコ・テクノロジー研究センター長	平岡 正勝	
	京都大学 名誉教授	山地 憲治	
	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授	山本 哲也	
	通商産業省 環境立地局 環境政策課	環境調和産業推進室長	横山 伸也
	通商産業省 工業技術院 資源環境技術総合研究所	温暖化物質循環制御部長	中條 寛
	通商産業省 工業技術院 資源環境技術総合研究所	資源・循環研究部長	稲葉 裕俊… 3
	通商産業省 工業技術院 資源環境技術総合研究所	専務理事	
【調査研究報告】	電解酸素を用いた石炭ガス化による 水素・メタノール製造プロセスの経済性検討	プロジェクト試験研究部 部長 片山 優久雄…27	
【調査研究報告】	磁気冷凍法による水素液化技術の基礎研究開発 —革新的な液化技術の実現を目指して—	主任研究員 上岡 英之…46	
【内外情勢紹介】	わが国の高レベル放射性廃棄物処分を巡る新展開	副主席研究員 河本 治巳…57	
【調査研究報告】	原子力発電に対する 公衆の意識構造の分析と情報提供の考察	エネルギー技術情報センター センター長補佐 下岡 浩…74	
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート (第8報) —ハイブリッド自動車の新展開—	主管研究員 蓮池 宏…90	
【研究所のうごき】	.....	99	
【編集後記】	.....	101	

## 編集後記

今年の桜前線は、当初は順調で例年より早めに開花するかと思われましたが、首都圏などは開花を前にして冷え込み、それに名残雪も重なって色鮮やかな満開の桜を楽しむ風情とは程遠いといった21世紀最初の春となりました。政治も、経済も、社会も元気がない現状で、「花よおまえもか」といいたくなるような一コマでした。しかし、スポーツの世界では、大リーグに行ったイチロー、新庄、佐々木、野茂選手等の活躍が連日やや過熱気味で報道されております。彼らの活躍によって日本人もまんざらではない、いやその気になれば結構やれるのだと自信を与えられている方も少なくないと思われまます。丁度戦後の荒廃した社会の中で、水泳の古橋選手らが世界新記録を続出させ人々に喜びと自信をもたらした時代を髣髴させながら眺めておられる方もおられることでしょう。

スポーツ論議はさておき、本号は科学技術面で元気の出る情報提供をとの願いを込めて企画いたしました。先ず巻頭言は、本年1月に発足した経済産業省、原子力安全・保安院の初代院長であられる佐々木宜彦氏に執筆いただきました。同院発足の狙いと概要が同氏の力強く且つ真摯な取り組み姿勢とともに簡潔に紹介されております。

理事長対談は三菱総合研究所特別顧問の牧野昇氏にご登場いただきました。日本の技術面の特質と有り様について、豊富な経験と洞察のもとに力強いお話を頂きました。例えば「ITはあくまで手段であり製造産業が重要」、「日本では原子力、とりわけ将来的にはFBRは不可欠」、「コアコンピタンス以外は外部の力を活用」等々明確且つ示唆に富んだ内容であり興味を持って読んでいただけたものと思えます。その他の寄稿に関しても、できるだけ夢（ビジョン）のある話題をとという視点から、例えば電力中央研究所上席研究員の新田義孝氏より環境問題の国際的取り組みを、日本原子力研究所核熱利用研究部長の塩沢周策氏より原子力発電の技術開発動向を紹介して頂きました。

古いことばに「ビジョンなき民は“ほしいままに振舞う”（別訳“滅びる”）」（旧約聖書）とありますが、昨今の日本は正にリーダーの立場において、また個々人の立場において確かなビジョンを持ち、主体性をもって果敢に行動することが問われている時代のように思えます。

イチローたちの活躍に一喜一憂するだけでは、やはり何とも寂しい気がするのです。

編集責任者 小川紀一郎

### 季報 エネルギー総合工学 第24巻第1号

平成13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

FAX (03) 3501-1735

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

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社