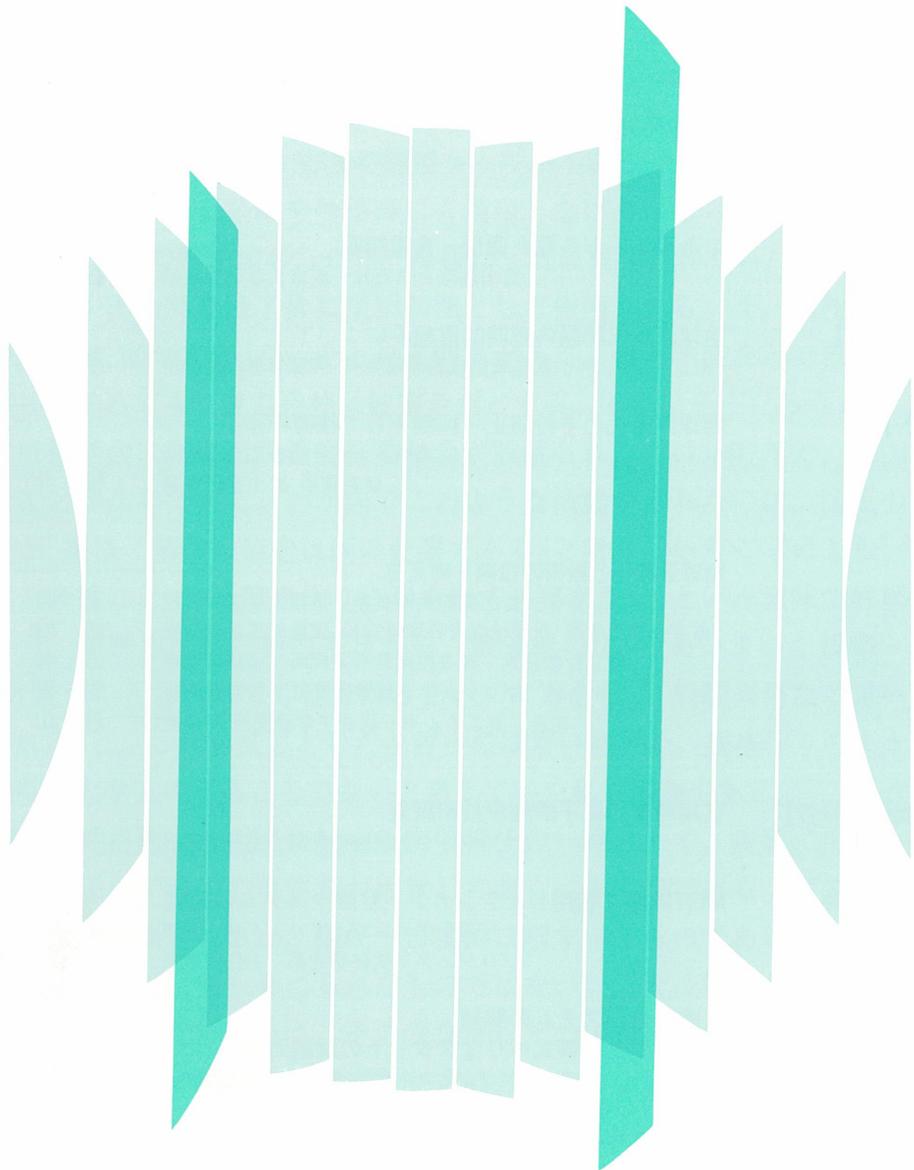


# 季報 エネルギー総合工学

Vol. 26 No. 2 2003. 7.



財団法人 エネルギー総合工学研究所  
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY



# 目 次

|       |                                   |            |
|-------|-----------------------------------|------------|
| 【巻頭言】 | 説明責任としての規格・基準<br>東京大学大学院 工学系研究科教授 | 班 目 春 樹 …1 |
|-------|-----------------------------------|------------|

----- [日本工学アカデミー／エネルギー総合工学研究所合同シンポジウム] -----

|        |                 |            |
|--------|-----------------|------------|
| 【開会挨拶】 | (社)日本工学アカデミー副会長 | 山 路 敬 三 …2 |
|--------|-----------------|------------|

|        |                                       |            |
|--------|---------------------------------------|------------|
| 【特別講演】 | エネルギーから見た環境・食糧問題<br>富山国際大学教授 東京大学名誉教授 | 石 井 吉 徳 …4 |
|--------|---------------------------------------|------------|

|        |   |            |
|--------|---|------------|
| 【特別講演】 | 地球温暖化問題の戦略的取組みについて<br>東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻助教授 | 松 橋 隆 治…14 |
|--------|---|------------|

|      |  |            |
|------|--|------------|
| 【報告】 | 地球温暖化とその防止・抑制そして技術の役割<br>(財)エネルギー総合工学研究所<br>研究理事 兼 主席研究員 | 松 井 一 秋…24 |
|------|--|------------|

|               |  |   |
|---------------|--|---|
| 【パネルディスカッション】 | 地球温暖化と技術の役割を考える<br>富山国際大学教授 東京大学名誉教授<br>東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻助教授<br>独立行政法人 産業技術総合研究所 主任研究員<br>プロジェクト試験研究部 主管研究員<br>司会 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 | 石 井 吉 徳<br>松 橋 隆 治<br>赤 井 誠 志<br>黒 沢 厚 志<br>秋 山 守<br>..... 30 |
|---------------|--|---|

|          |                                     |             |
|----------|-------------------------------------|-------------|
| 【調査研究報告】 | 実用発電用原子炉廃炉技術調査<br>プロジェクト試験研究部 主任研究員 | 中 村 雅 英 …40 |
|----------|-------------------------------------|-------------|

|          |   |                        |
|----------|---|------------------------|
| 【調査研究報告】 | MGT排熱を利用したデシカント空調システムの開発<br>三菱化学エンジニアリング(株) 理事<br>プロジェクト試験研究部 主任研究員 | 床 井 一 郎<br>中 西 健 二 …51 |
|----------|---|------------------------|

|          |   |             |
|----------|---|-------------|
| 【調査研究報告】 | 太陽集光システムの開発<br>—センサー制御式ヘリオスタットの試験運転—<br>プロジェクト試験研究部 嘱託研究員 | 愛 内 孝 介 …64 |
|----------|---|-------------|

|       |                       |              |
|-------|-----------------------|--------------|
| 【訪問記】 | 日本原燃(株) 六ヶ所原子燃料サイクル施設 | IAE女性研究員 …72 |
|-------|-----------------------|--------------|

|          |       |    |
|----------|-------|----|
| 【研究所の動き】 | ..... | 80 |
|----------|-------|----|

|        |       |    |
|--------|-------|----|
| 【編集後記】 | ..... | 82 |
|--------|-------|----|

# 巻頭言

## 説明責任としての規格・基準

東京大学大学院 工学系研究科教授

班 目 春 樹



発電用原子力設備の維持基準の不備が大きな話題になってから、まもなく1年になる。維持基準は、「基準の適用ルールが不明確であったため、設計・建設時のみに適用される基準を使用時にも適用しなければならないという判断を招いた」として整備が求められた。今後は、既に策定されていた日本機械学会維持規格が国の評価終了後に規制基準として採用される。今、維持基準の不備の原因は「国の怠慢」だったと見る向きがある。機械学会などで自主的に規格作りを進めてきた電力会社は被害者だとする。本当にそうだろうか。

日本機械学会に発電用設備規格委員会が設置されたのは1997年で、米国に遅れること80余年である。わが国でこのような活動が遅れたのは、国民のほとんどが「規格・基準の策定は国の仕事である」と考えていたことによる。これは電力会社にとって「規格作りに金を出す必要がない」という意味で好都合であった。規制当局は技術力不足から、裁量幅の広い「あいまいな規格・基準」を放置したと言われても仕方あるまい。電力会社は「規制当局など言いくるめられる」と、これも良しとしたと言っては言い過ぎか。規格作りのような「雑用」など大学人のすることでないと考えていた私も同罪である。

そもそも規格類は、国民に対する説明責任の一環として、規制に用いられるか否かに係らず原子力事業者が用意しておくべきものである。どのようにすれば安全は確保されるか、国民へ自主的に示すべきものである。それを長いこと怠っていた民間も誉められたものではない。巨大技術においては、単に「良い物」を作るだけでなく、その安全等はどのように確保されているかを「規格・基準」の形で同時に示すことが求められる社会になっている。規格作りは製品そのものの品質と同様に重要なことと経営トップが十分理解し、これに人も金も出すことを強く期待する。規格・基準は技術水準を表すものであり、技術立国していく上で必要な知的財産であることも忘れてはならない。

## 開 会 挨拶\*

山 路 敬 三 (社)日本工学アカデミー  
副会長



本シンポジウムは、日本工学アカデミー (EAJ, The Engineering Academy of Japan) のECC (Energy and Climate Change) 作業部会での作業が最終段階に近づきましたので、皆様にご報告申し上げてご意見を伺い、同作業のまとめに反映させたいと考えて開催いたしました。このECC作業部会が始まったいきさつを申し上げてご挨拶にかえさせていただきたいと思います。

CAETS (Council of Academies of Engineering and Technological Sciences) という30カ国以上の工学アカデミーの連合体がございます。そのCAETSで2000年の終わり頃、カナダのメンバーから「エネルギーの確保と気候変動抑制に関する調査分析活動」をCAETSの調査研究プロジェクトとして取組まないかという提案がありました。その目的は、結果を分かり易くまとめて、各国の政策決定者に読んでもらい、それを大いに政策、政治に反映していただくということでした。

CAETSでは、その提案を本格的に取り上げるかどうかを決めるに際し、まずどんな目標に向かって、どう対応すべきかという、いわゆる範囲 (scope) について討議しようということとなり、賛成国のメンバーで構成するコミティを作りました。

これに日本も参加しました。CAETSからの連絡を受けて日本工学アカデミーでは、当時私が部会長をやっていた地球環境部会と国際委員会が相談しました結果、「こういった世界的な動きというものにはいつも目を置いておいた方がいい。この動きには日本として大いに意見を述べるべきである。」という方針が出され、コミティに参加することにいたしました。

コミティの活動は全部Eメールで行われましたが、大変活発な討論でした。私共は日本の意見として、「工学アカデミーが行う仕事なのだから、工学的・技術的な側面を大いに打ち出して、同じようなエネルギー問題、気候変動の問題を扱っている他の組織の報告内容と明確に差別化すべきである。」ということ強く打ち出し、一貫

\* 本稿は、本年2月28日の日本工学アカデミーECC作業部会/エネルギー総合工学研究所月例研究会合同シンポジウム「地球温暖化と技術の役割」におけるご挨拶を、本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

して主張してまいりました。

こうした我々の意見も入れてコミティの結論がまとまりましたが、CAETSとしては、当初提案されたようなプロジェクト活動はしない、その代り、2004年の総会で、「エネルギー」をテーマにシンポジウムをやり、それに替えようという結論が出されました。

我々は、そのシンポジウムに積極的に参加するというを非公式に表明しております。そうなりますと、そのための準備をしておかなくてはいけないということで、工学アカデミーの中に早速冒頭申し上げましたECC作業部会を編成しましてこれに当たることにいたしました。三井恒夫会員のご指導のもと、秋山守エネルギー総合工学研究所理事長にECC作業部会の共同部長になって頂き、同研究所が持っておられる膨大な資料と人材を使わせて頂いて作業が進んでまいりました。それがまとめの段階に入ったので、本日のようなシンポジウムを開かせていただいたわけでございます。

最後に、ここまでまとめることのできたのは、三井先生のご指導と、エネルギー総合工学研究所からのすべてにわたっての大変なご援助、むしろ中心になって活躍していただいたことによるものであり、ここに厚く感謝申し上げて私の挨拶にかえたいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

〔特別講演〕

## エネルギーから見た環境・食糧問題\*



石井 吉 徳 (富山国際大学教授, 東京大学名誉教授)

### はじめに

#### 地球温暖化問題はエネルギー問題そのもの

今日の私の講演タイトルは「エネルギーから見た環境・食糧問題」ですが、合同シンポジウムのタイトルは「地球温暖化と技術の役割」とあります。地球温暖化はエネルギー問題そのものですから、エネルギーを主題にするこれからの話は、そのまま温暖化について語ることになると思っています。

現代文明を支えるエネルギーの主演は石油ですが、これが生産ピークを迎えつつあるという見解があります。人類は石油資源をもうほぼ半分使ってしまった、安く豊かな石油時代がもう終わるというものです。まだ一般的な見解ではありませんが、世界の石油の需給を見るとそう考えざるを得なくなります。

この石油生産量の減退は、地球温暖化対策にとって望ましいことですが、社会は大きな影響を受けます。石油に依存する現代農業もそうです。北朝鮮の食糧危機は、旧ソ連からの石油供給が途絶えた結果と見られますが、

#### 〔略歴〕

1955年東京大学理学部物理学科（地球物理学）卒業。1978年東京大学工学部資源開発工学科教授、1996年環境庁国立環境研究所所長、1988年日本学術会議会員、日本リモートセンシング学会会長などを歴任。

現在、富山国際大学教授、東京大学名誉教授、日本工学アカデミー会員、アジア環境技術推進機構理事長、地球子どもクラブ会長などを務めている。

専門分野は環境学、資源・エネルギー論、リモートセンシング、物理探査学。

同じように石油が止まったキューバでは、そのようなことは起こりませんでした。伝統的な自然と共に生きる農業に戻ったからです。

2002年、ヨハネスブルグで開かれた「持続可能な開発に関する世界首脳会議」（環境サミット）で、アナン国連事務総長はこれからの人類の重要課題はWEHABであると述べました。Water（水）、Energy（エネルギー）、Health（健康）、Agriculture（農業）、Biodiversity（生物多様性）のこと、これにPoverty（貧困）問題が加わるといいました。この中で特にエネルギーと農業の重要性については、日本にもかなり当てはまります。日本の農業は、石油から作る肥料、農薬、殺虫剤を大量に使い、石油で農耕機械を動かし、広

\*本稿は、本年2月28日の日本工学アカデミー-ECC作業部会/エネルギー総合工学研究所月例研究会合同シンポジウム「地球温暖化と技術の役割」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。

域に環境汚染しているからです。このように、農業は石油と関連が深い産業なのです。

---

## 終わりつつある「集中の時代」

---

### 再生可能、自然エネルギーへの移行

20世紀は石油を大量に消費し、工業化、大量生産に邁進した世紀でした。これは都市が巨大化する中で人口と情報が集中する「集中の時代」と言えますが、この集中化を石油が支えました。この石油生産量がピークを迎えようとしています。英語では“Oil Depletion”, “Peak Oil” などとされています。これは決してもう石油が枯渇するという意味ではありません。しかし今までの集中化ではなく、分散化の時代、脱石油文明が来ると言っても良いでしょう。当然温暖化対策にも大きな影響がある筈です。自然、再生エネルギーを使う、自然と共に生きるよう努力しなければならないでしょう。

自然と共に生きるには、人類が地球上、できるだけ広く分散して資源を利用する必要が

あります。これは最近話題の「地方分権」にも沿うことで、これが新しい21世紀型文明のように思えます。これは化石燃料の大幅減につながることで、単なる省エネルギーではない新文明の創造の話です。

### 半分になった地球の森

かつてレバノン一帯には、鬱蒼たる森があったようですが、現在は図1のような残骸が2, 3ヶ所あるだけです。エジプトの王が死後、天国に行くための船もレバノン杉で作られましたが、その古代の船は今も残っています。古代から文明は森が支えました。そして次々と無くなりました。それでもレバノンの杉が一部でも残っているのは、ユネスコ（国際連合教育科学文化機関）が世界自然遺産に指定したからと見られます。

写真のように、レバノン杉の森は羊などが荒らさないよう石の柵で囲まれています。一回りするのにもいくらか時間はかかりそうにありません。ところが、この杉に心ない観光客が名前を彫るそうです。これが人間なのでしょうが。「文明はその欲望において、留まることを知らない」と言う言葉を思い浮かべ

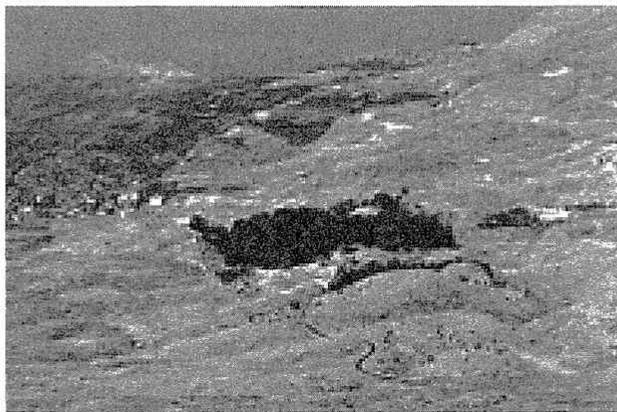


図1 僅かに残ったレバノン杉の森

ます。このようにして、地球の森は半分になりました。

## 不便なエネルギー資源への移行

### 半分になった地球の石油

森林は地上にあるので目で見えます。しかし地下資源である石油は見えません。そのためか、石油はまだまだあると思う人が多いようです。しかし、人類はもう石油の半分を使い切ったようです。地球は有限、資源は有限なのです。私が今日最も申し上げたいのは、このことですが、一般の方にはなかなか理解されません。

地球環境問題も猶予できません。巨大化した人類の営みはもう限界にきています。今のままでは、現代文明は持続できないのです。地球温暖化はそれを人類に教えているのでしょう。資源に乏しい日本は、もう持続というレベルでなく、生存を考えるべきです。日本はエネルギーも食糧も自給できないからです。

石油は背斜構造、断層などのトラップに集まります。それが油ガス層、油田ですが、そこに穴を開けると石油、天然ガスは強烈に自噴します。同じエネルギー資源でも、石炭にこのような性質はありません。この「二重の濃縮メカニズム」が、石油資源の際だった特徴で、しかも多目的な非常に優れた流体資源なのです。余談になりますが、メタンハイドレートはそうは行きません。濃縮メカニズムを全く持っていないからで、これを石油の延長線上で考えると基本戦略を誤ります。

石炭はかつて産業革命を支えましたが、20世紀に入り「より便利な流体エネルギー資源」である石油に移ったわけですから、これに限界が来ると言うのですが、今度は石油ではない何かより不便なものに移るのですから、相当な覚悟が要ります。

表1 世界のエネルギー資源量

|                         |                | 石油                                | 天然ガス                               | 石炭                  | ウラン                         |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 全世界の<br>確認可採埋蔵量 (R) 注1) |                | ('98年1月1日現在)<br>10,195.46億バレル     | ('98年1月1日現在)<br>143兆m <sup>3</sup> | ('93年末)<br>10,316億t | ('95年1月)<br>451万t           |
| 地域別<br>賦状<br>状況         | 北米             | 2.6%                              | 4.6%                               | 24.2%               | 17.0%                       |
|                         | 中南米            | 12.4                              | 5.6                                | 1.1                 | 5.8                         |
|                         | 西欧             | 1.8                               | 3.3                                | 7.3                 | 3.1                         |
|                         | 中東             | 66.4                              | 33.9                               | 0                   | 0                           |
|                         | アジア・太平洋        | 4.1                               | 6.3                                | 30.9                | 24.0                        |
|                         | アフリカ<br>CIS・東欧 | 6.9<br>5.8                        | 6.9<br>39.4                        | 6.0<br>30.6         | 16.6<br>33.5                |
| 年生産量 (P) 注2)            |                | ('97年)<br>64,940千バレル/日            | ('96年)<br>233百億m <sup>3</sup>      | ('93年)<br>44.7億t    | ('94年)<br>3.1万t             |
| 全世界の<br>可採年数 (R/P)      |                | ('97年)<br>43.0年                   | ('95年)<br>61.6年                    | 231年                | ('94年)<br>73年注3)            |
| 出所                      | 注1)            | Oil & Gas Journal<br>('97年12月29日) | Oil & Gas Journal<br>('97年12月29日)  | 世界エネルギー会議           | OECD / NEA / IAEA<br>('95年) |
|                         | 注2)            | Oil & Gas Journal<br>('97年12月29日) | Oil & Gas Journal<br>('97年12月29日)  |                     |                             |

注3) ウランについては、十分な在庫があることから年生産量が年需要量(6.1万t)を下回っている。このため可採年数については、確認可採埋蔵量を年需要量で除した値とした。



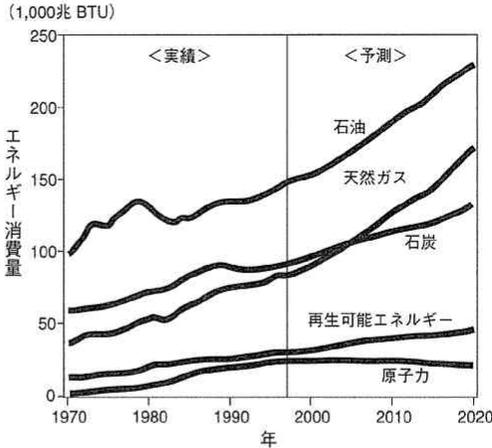


図3 エネルギー需要予測

世界の石油生産量は

2010年までにピークを打つ

図3は米エネルギー省による、「エネルギー未来」ですが、これでは石油はまだ増えると見ています。そして環境に優しい天然ガスは更に増えるとしています。石炭も増えてますが、原子力は横這いです。再生可能エネルギーは、少しずつ増えるだけで、結局、石油はまだ大丈夫ということになります。

実際にはそうはいかないようです。

図4は世界の石油生産量予測で、このようなカーブのピークのことを「ハバートピーク」と言います。それはアメリカの石油地質学者、キング・ハバートの名前から来たものですが、1956年の「アメリカの石油生産量は1970年にピークを打つ」という予測通りに、アメリカの石油生産量はピークを打ちました。その後このカーブを「ハバートカーブ」、ピークを「ハバートピーク」呼ぶようになりました。

この考えを、全世界の石油生産量に拡張したのが一番上です。これはダンカンという研究者によるもので、カーブのピークは2006年です。2006年には、世界の石油生産量がピークを打つというのですが、カーブは緩やかですから2006年という数字に大きな意味があるわけではありませんが、2010年よりも前に世界の石油生産量が頭打ちになる、ということが重要です。

この分析には、2種類の膨大な統計データが使われています。1つは過去の生産量でこれは既知、もう1つが石油の推定埋蔵量でこ

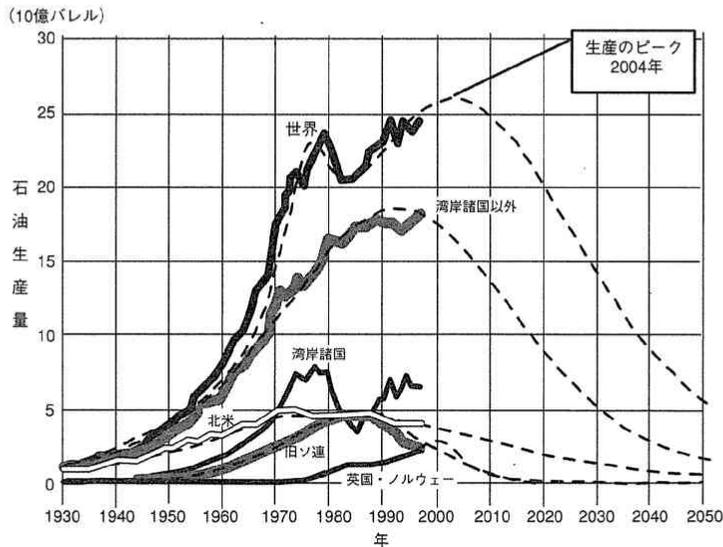


図4 世界の石油生産量：過去と未来

これはカーブの下の面積に相当します。これから言えること、それは人類が石油埋蔵量の半分を使ったと言うことです。

表2は世界の42カ国のハバートピークで、これによると殆どの国で生産のピークが過ぎしており、余力のあるのは中東だけであることが分かります。図5に「OPEC優位」と示され

ているのは、最後に頼りになるのは中近東OPEC（石油輸出国機構）諸国だけという意味です。最近カスピ海周辺で埋蔵量300億バレルの油田が発見されたと報道されていますが、これは人類の1年分の消費量でしかないのです。人類はそのくらい大量の石油を、がぶ飲みしています。

表2 世界の42カ国のハバートピーク

| 国        | ピーク年 | 石油生産量 (10億バレル/年) |       |       | 国            | ピーク年 | 石油生産量 (10億バレル/年) |       |       |
|----------|------|------------------|-------|-------|--------------|------|------------------|-------|-------|
|          |      | ピーク年             | 1997年 | 2040年 |              |      | ピーク年             | 1997年 | 2040年 |
| 1 カナダ    | 2008 | 1.07             | 0.93  | 0.41  | 21 カタール      | 2009 | 0.38             | 0.25  | 0.07  |
| 2 メキシコ   | 2001 | 1.32             | 1.24  | 0.11  | 22 サウジアラビア   | 2011 | 3.92             | 3.42  | 2.04  |
| 3 米国     | 1970 | 4.12             | 3.01  | 0.42  | 23 シリア       | 1995 | 0.22             | 0.21  | 0.04  |
| 4 アルゼンチン | 2001 | 0.33             | 0.31  | 0.05  | 24 ア首連       | 2017 | 1.77             | 0.99  | 0.62  |
| 5 ブラジル   | 2007 | 0.39             | 0.31  | 0.14  | 25 イエメン      | 2004 | 0.17             | 0.14  | 0.05  |
| 6 コロンビア  | 2009 | 0.29             | 0.24  | 0.11  | 26 アルジェリア    | 2002 | 0.58             | 0.53  | 0.10  |
| 7 エクアドル  | 2002 | 0.15             | 0.14  | 0.05  | 27 アンゴラ      | 2003 | 0.30             | 0.27  | 0.05  |
| 8 ベルー    | 1982 | 0.07             | 0.04  | 0.02  | 28 カメルーン     | 1985 | 0.07             | 0.05  | 0.01  |
| 9 トリニダード | 1977 | 0.08             | 0.05  | 0.02  | 29 コンゴ       | 2003 | 0.11             | 0.09  | 0.01  |
| 10 ベネズエラ | 2005 | 1.47             | 1.23  | 0.79  | 30 エジプト      | 1993 | 0.35             | 0.32  | 0.06  |
| 11 デンマーク | 2002 | 0.10             | 0.08  | 0.02  | 31 ガボン       | 2000 | 0.14             | 0.14  | 0.03  |
| 12 イタリア  | 2003 | 0.05             | 0.04  | 0.01  | 32 リビア       | 1970 | 1.21             | 0.54  | 0.27  |
| 13 ノルウェー | 2000 | 1.27             | 1.23  | 0.18  | 33 ナイジェリア    | 2004 | 0.96             | 0.83  | 0.30  |
| 14 ルーマニア | 1976 | 0.11             | 0.05  | 0.01  | 34 チュニジア     | 2008 | 0.04             | 0.03  | 0.02  |
| 15 英国    | 1995 | 1.01             | 0.98  | 0.23  | 35 オーストラリア   | 2002 | 0.28             | 0.25  | 0.06  |
| 16 旧ソ連   | 1987 | 4.62             | 2.70  | 1.40  | 36 ブルネイ      | 1979 | 0.09             | 0.06  | 0.02  |
| 17 イラン   | 1974 | 2.21             | 1.36  | 0.85  | 37 中国        | 2002 | 1.23             | 1.17  | 0.46  |
| 18 イラク   | 2010 | 1.95             | 0.44  | 1.08  | 38 インド       | 2003 | 0.31             | 0.29  | 0.08  |
| 19 クウェート | 2018 | 1.71             | 0.76  | 0.95  | 39 インドネシア    | 1977 | 0.62             | 0.57  | 0.18  |
| 20 オマーン  | 2002 | 0.36             | 0.33  | 0.07  | 40 マレーシア     | 2001 | 0.27             | 0.27  | 0.06  |
|          |      |                  |       |       | 41 パプアニューギニア | 1993 | 0.05             | 0.03  | 0.01  |
|          |      |                  |       |       | 42 ベトナム      | 2005 | 0.09             | 0.07  | 0.02  |
| 42カ国     |      | 2006             | 31.00 | 26.00 | 11.50        |      |                  |       |       |
| 世界       |      | 2006             | 31.60 | 26.50 | 11.70        |      |                  |       |       |

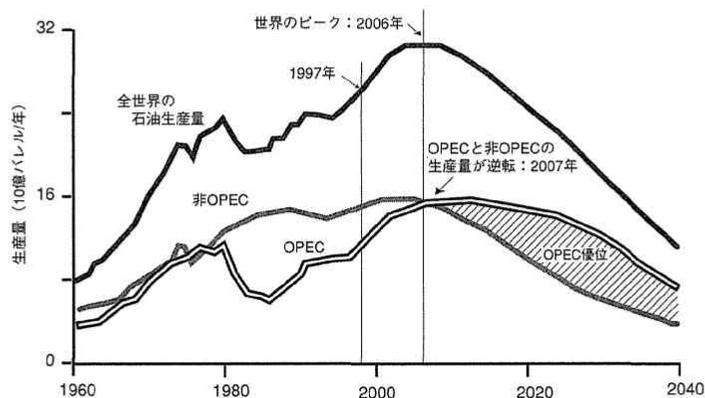


図5 2007年以降に来る「OPEC優位」の時代

表3 世界の石油発見量の推移と消費量

| 時期        | 年間平均石油発見量 (10億バレル) | 特記事項       |
|-----------|--------------------|------------|
| 1945～1960 | 35                 | 主に中東地域     |
| 1970～1990 | 23                 | 石油危機の影響    |
| 1990～1999 | 6                  | 年消費量の25%以下 |
| 1990～1999 | 25：平均年消費量          |            |
| 2000      | 28：推定年消費量          |            |

石油発見量は減り続ける

表3は、1945年から1999年までの石油発見量です。第二次大戦直後の1945年から60年では、平均年350億バレルもの石油が発見されました。それが70年～90年には230億バレルとなり、1990年～99年は60億バレルへと急減しました。世界の石油消費量は年250億バレルです。つまり発見量は消費の4分の1しかないのです。最近の消費量は年280億バレルです。

中東の世界最大のガワール油田は、サウジアラビアにあります。これは1940年代に発見されたものです。湾岸戦争で、イラクが火をつけた世界第2位のブルガン油田は1937年に発見されました。世界の巨大油田は多くは40～50歳の年寄りなのです。石油探査技術は、その後も大変進歩していますが、発見量は減っている。「石油が減ってもマーケット原理が働くので、技術は進歩し油田はいくらでも発見される」と人は言いますが、事実はその逆です。石油は発見されてから生産されるもの、世界的な石油発見のピークは1964年頃で、これに対して生産ピークは2006年と、40年ものずれがあります。言い換えますと、過去のストックを今使っているのです。それこそ石油が無尽蔵にあるかのようです。

石油、農業、食糧

農業は石油依存

現代農業は図6で示すように、石油化学工業からの大量の肥料、殺虫剤などに依存しています。農耕機械は石油なしには動きません。その石油時代が終わりつつあるというのです。現代農業は本気で、今からこれに備える必要があります。自然と共存する有機農業に移行するのです。そうすれば、農業起源の広域環

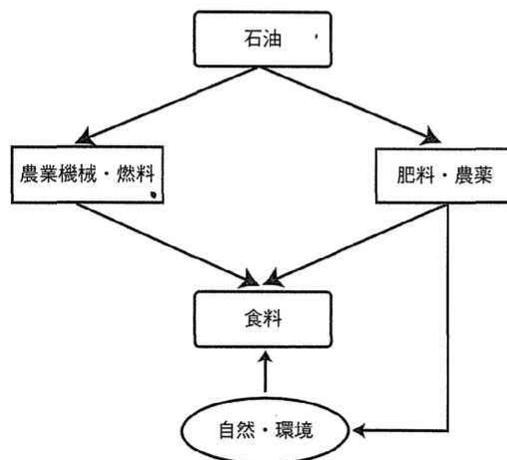


図6 石油に依存する現代農業

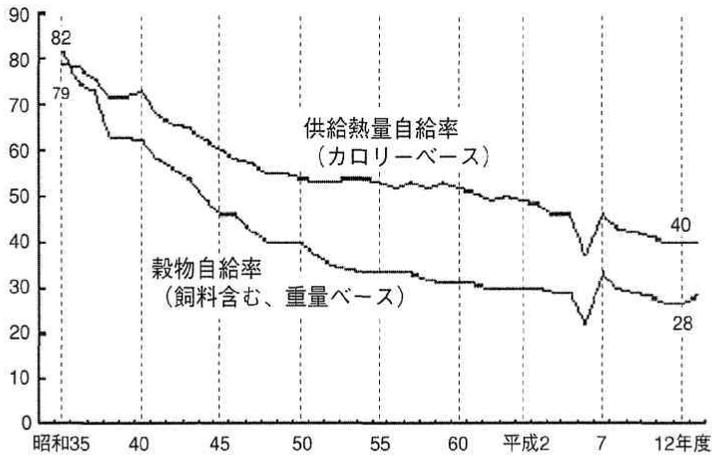


図7 わが国の食料自給率の推移 (%)

境汚染もかなり軽減されます。

私は今富山にいますが、富山の農耕地は96%が水田です。これには大量に農薬が使われています。秋にはあたりが白く曇るくらい、農薬が散布されます。ミミズ、虫などは、あまりいないのだそうです。昔は富山には夏は螢、秋は赤トンボと、虫が沢山いました。しかし今の富山の田園はとても静かです。レイチェル・カーソンの『沈黙の春』が現実となったようです。虫がいない、だから小鳥もいない。音のない田園の舗装道路を猛スピードで車が走るのを見るのは侘びしいものです。

### 低い日本の食糧自給率

図7は日本の食糧自給率の推移です。もうカロリーベースで40%しかないのです。日本はエネルギーだけでなく、食糧でも自立できない国となったようです。図8のように同じ工業国のイギリス、ドイツと比べても、食糧自給率は異状に低く昭和40年頃の60%から減り続けています。イギリスも、かつて46%だったようですが、今では71%です。ドイツも高く、フランスはもともと農業輸出国で、食糧は豊富です。

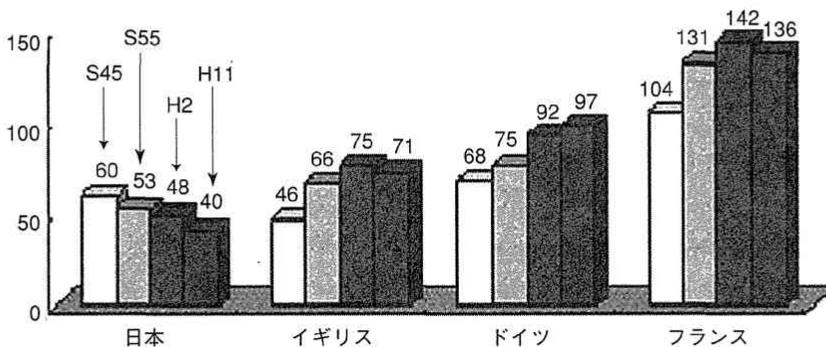


図8 食料自給率の国際比較

表4 農業従事者の年齢層別構成と国際比較

| 年齢層   | 国 | 日本   | フランス | イギリス |
|-------|---|------|------|------|
| 35歳未満 |   | 2.9  | 28.2 | 31.7 |
| 35～44 |   | 7.1  | 28.3 | 22.2 |
| 45～54 |   | 14.6 | 26.8 | 22.0 |
| 55～64 |   | 24.2 | 12.7 | 16.3 |
| 65歳以上 |   | 51.2 | 3.9  | 7.8  |

日本の異状さはこれだけではありません。農業従事者の年齢が異常に高いのです。表4のように日本では35歳未満が2.9%しかなく、65歳以上が51.2%です。人数も少ないようです。これに対しイギリス、フランスでは35～40歳代の壮年が食糧を作っています。

もう1つの問題は石油浸け農業が、食糧としてエネルギーを生産していないことです。表5のように、稲作の産出エネルギー（食糧）と投入エネルギーの比、産出/投入エネルギー比は1950年当時1.27%であったものが、1974年には0.30に低下しています。これは日本に限ったことではないのですが、日本で広く行われる先端的なハウス、水耕農業では、この傾向は特に激しく、いわゆる季節はずれの食糧生産は極端なエネルギー浪費型です。

---

### これから考えるべき事柄

---

#### 資源の有限性を取り入れた経済学

今主流の資本主義経済学は「新古典派」と呼ばれています。これはアメリカ発で、この経済学は地球を無限と思うようです。しかしこれを疑問視する人は次第に増えてきました。「第3の経済学」, 「もう1つの経済学」という言葉が

表5 稲作における投入エネルギー

|                         | 1950年 | 1974年  | 1974年/1950年 |
|-------------------------|-------|--------|-------------|
| 投入エネルギー<br>(肥料、燃料、農薬など) | 38.39 | 197.44 | 5.14        |
| 産出エネルギー<br>(玄米収量換算)     | 48.72 | 74.34  | 1.53        |
| 産出/投入比                  | 1.27  | 0.38   | 0.30        |

聞かれるようになりました。「第3」とは、主流の2つの経済学、マルクス経済学、資本主義経済学でない、と言う意味です。まだまだ亜流ですが、これからの経済学でしょう。

実は19世紀後半には、このような経済学が芽生えていました。イギリスの産業革命の頃で、当時、石炭が大量に使われ深刻な大気汚染が起きると同時に、石炭の枯渇が心配されるようになりました。公害と資源枯渇です。この時に限界を意識する経済学が現れたのです。有限資源観の芽生えと言っても良いでしょうが、この先駆的な思想も、石炭に代わり石油が表れるに従って、忘れ去られました。

この「もう1つの経済学」は、その後1973年、第1次石油ショックで再び日の目を見たのです。ニコラス・ジョージエスク=レーゲンのエントロピーに立脚した経済学です。石油ショックが地球の有限性を人々に教えました。レーゲンは、「経済のプロセスはエントロピー的である、それは物質、エネルギーの生産も消費もしない（熱力学の第一法則）、ただ低エントロピーを高エントロピーに変換するのみ（熱力学の第二法則）」と述べています。この哲学的な経済学は、自然現象ではエントロピーは増大する（分散する）方向にしか進まない。その逆（集中）はないという原理に立つものです。

## 自然系と循環型社会

自然の生態系は太陽エネルギーで維持されています。植物は大気中の二酸化炭素と水を原料に光合成で、炭素を固定し有機物を作ります。これを原点として、有機物は食物連鎖で次々と消費され、微生物などに分解され、最終的に元の二酸化炭素に戻ります。ここで重要なのは太陽エネルギーの存在です。循環には必ずエネルギーが必要なのです。この巧妙なシステムは、何億年もかけて自然が作り上げたものです。

これに習って、ゴミを資源として循環させようというのが、最近の循環型社会論ですが、これにも必ずエネルギーが必要です。例えばゼロエミッションですが、これを文字通り実行すれば膨大なエネルギーが要ることを改めて指摘させていただきます。

日本の物流は「見えない物流」まで入れると57億トンですが、これを全部循環して始めてゼロエミッションということになります。これには前にも述べましたように天文学的な量のエネルギーが必要でしょう。とても実現不可能です。

「循環資源」と言う言葉もありますが、「資源とは何か」をよく考える必要があります。資源とは「濃縮されている」もののことです。この観点から、「質の良いゴミ」と「質の悪いゴミ」を区別して考えるべきです。

---

## おわりに

---

もう時間が来たようです。エネルギーから、環境そして食糧へと話が多岐にわたりました。それは私の頭の中で、これらが皆つながっているからですが、一般にはそうではないでし

よう。今までの話が、十分ご理解頂けたかが心配です。石油生産量ピークの話は、特に受け入れ難いかも知れません。ピークというのは、石油生産量が最も多い、最も豊富な時ということですから、この話は原理的に分かりにくいものです。バブルが弾けて始めて「あの時がバブルだった。ピークだった」と分かるように、その最中には分からないものなのです。

しかし、エネルギーは国家の安全保障の要であると同時に、人類の最も大きな問題でもあります。これからは全ての先入観、あらゆる予断を捨てて21世紀型の持続可能な文明作りに取り組む必要があります。多様な価値観を受け入れるのです。異質、異端、独創を避けたがる日本人は、特に心すべきです。繰り返しますが、21世紀は20世紀の延長線上にありません。エネルギーの観点から考えて、必然的にそうなります。

私は個人でホームページ「国民のための環境学」(<http://www.ietepa.org>)を開いております。ぜひご覧頂ければと思います。これで私のお話を終わります。(拍手)

〔特別講演〕

## 地球温暖化問題の戦略的取組みについて\*



松橋 隆治 ( 東京大学大学院 新領域創成  
科学研究科 環境学専攻助教授 )

### はじめに

2003年度中に京都議定書が発効する可能性が高くなっていますが、私の講演では、第1約束期間（2008年～2012年）だけでなく、気候変動への長期的な総合戦略を考え、その中の技術及びプロジェクト開発の役割を検討していくことが目的です。

まず京都議定書批准を巡る動向を一瞥して、遵守のための制度である京都メカニズム、国内の温暖化対策について説明します。

次に、京都メカニズムの中で、数値目標を持つ先進国同士でプロジェクトを実施する共同実施（JI: Joint Implementation）と数値目標を持たない途上国と先進国とでプロジェクトを実施するクリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）がありますが、このプロジェクトの経済性とリスクを若干分析した活性化方策を紹介します。

最後に、国内の温暖化対策と京都メカニズムとの共通点、相違点を確認し、持続可能な発展のためにわが国がどのように温暖化対策を活性化して、持続可能な文明につなげていけるか意見を述べたいと思っています。

### 〔略歴〕

1985年東京大学工学部卒業。1990年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。1999年から東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境学専攻助教授。

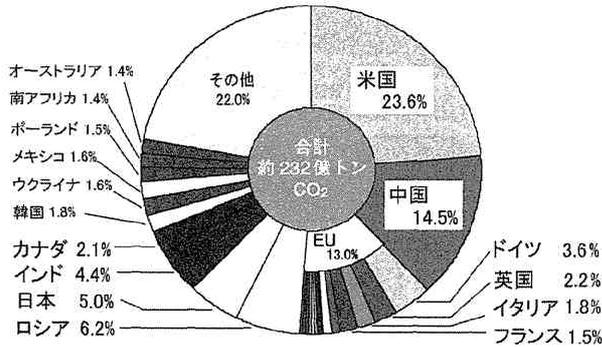
専門は地球環境システム、社会システム工学、エネルギーシステム論。

### 京都議定書を巡る動向

#### 米国抜き発効へ向けて動く世界

2002年11月、モロッコのマラケシュで第7回国連機構変動枠組条約締約国会議（COP7）があり、京都議定書の包括的な運用ルール、「マラケシュ合意」が採択されました。これによって、97年の京都会議（COP3）から続いてきた議定書の交渉は米国抜きで2003年度中の発効に向け、各国が準備を進めることになりました。現在、批准している国は100ヶ国を超えます。もう1つの発効条件として、数値目標を持っている国の55%以上の国による批准がありますが、そのためにはロシアが批准すればよいという状況になっています。そのロシアでは、現在会期中の国会に、議定書へ

\*本稿は、本年2月28日の日本工学会アカデミー-ECC作業部会/エネルギー総合工学研究所月例研究会合同シンポジウム「地球温暖化と技術の役割」における講演を、本誌掲載のためにテープ起こしたものです。



※図1は、オランダ政府のホームページより提供された。

図1 世界各国の二酸化炭素排出量

の批准を承認する法案が提出されています。恐らく承認されるだろうと言われています。承認されてロシアが批准しますと、その90日後に京都議定書が発効します。

日本は「地球温暖化対策推進大綱」を見直して、「新大綱」を出し、色々な対策を取りつつありますが、具体的な制度という面ではEU等と比べて大きく出遅れています。

これから第2ステージといわれる2005年までに、環境と経済の両立に資する国内制度の整備構築を目指すことが確認されておりますが、このことは非常に重要なことだと考えています。

図1は、1997年の世界各国の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量です。米国は、第一期の議定書からはどうも離脱しそうな状況です。一方、わが国はもとより、ドイツ、英国、イタリア、フランスなどのEU諸国はほぼ批准を済ませています。

中国も昨年8月に京都議定書を承認するというを正式に出しました。数値目標は持っていませんが、CDMのような、途上国と先進国の共同プロジェクトは受け入れることになっています。オランダ政府の借款プロジェクトとして内モンゴルで行われている風力の

プロジェクトがありますが、これを中国国内のCDM第1号として承認すると発表しています。それから、インドなども京都議定書のカンパニーの中に入っています。

---

### 京都メカニズムの概要

---

#### 余る排出権が

実質的な温室効果ガス削減を妨げる

図2に京都メカニズムの概要を示しましたが、この中で一番簡単なのは排出量取引、あるいは排出権取引です。ロシアが批准しますと彼らの持っている枠と実際に出している量に大きな差がありますので、余る排出権(ホットエア)が市場にいっぱい出てきます。それを反映してか、現在の排出権価格はCO<sub>2</sub>1トン当たり3ドル~5ドルと非常に低迷しています。アメリカが抜けたまま議定書が発効しますと、恐らく需要と供給の関係から、排出権価格はあまり上がらないのではないかとというのが多くの専門家の見方です。

したがって、議定書を遵守する立場だけか

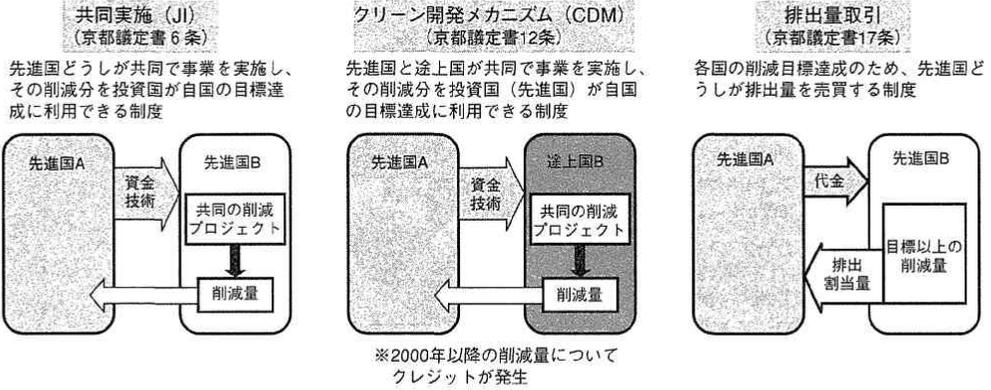


図2 京都メカニズムの概要

らは、4ドル程度の排出権をロシアから買ってくるというのが1つのローコストオプションになるわけです。しかし、排出権を買って議定書を遵守しても実質的には地球環境の改善にはなりませんので、まず、実際に減らすプロジェクトをやらなければいけません。最終的にどうしても議定書を遵守できそうにない場合、足りない分を排出権取引で賄う必要があると思います。

削減目標達成のためのわが国の国内政策

効果が出始めたトップランナー基準

日本は議定書を遵守するだけでなく、さらに第2期以降を見越して色々な長期的な手打っていかねばいけない状況にあるわけですが、目標の達成は簡単ではなさそうです。

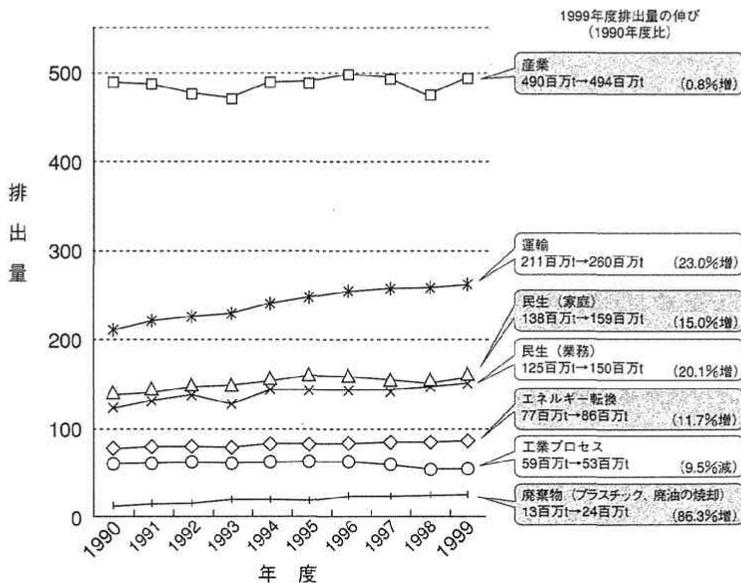


図3 二酸化炭素の部門別排出量の推移

図3は、部門別のCO<sub>2</sub>排出量の推移です。産業は90年以降CO<sub>2</sub>はあまり伸びておりませんが、運輸と民生の家庭と業務が非常に大きく伸びているということで、この部門でいかに有効な手立てを講じるかが非常に重要になってきています。

わが国の国内政策を表1にまとめました。民生運輸部門におけるトップランナー基準は、改

正省エネルギー法の中の省エネ基準で、ある程度効果を出し始めています。他の施策はまだ効果が見えてきていないということです。

表2は「新大綱」における温室効果ガス削減策の内訳です。わが国は6%削減を約束していますが、①～⑤による削減分との差が1.6%あります。これが京都メカニズムによる削減分というのが政府の見通しです。

表1 京都議定書遵守のための政策

|   |
|---|
| 1. エネルギー利用効率の向上や新エネルギー開発  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギー利用</li> <li>● 産業部門における効率向上（経団連自主行動計画）</li> <li>● 天然ガスの利用拡大</li> <li>● 民生・運輸部門におけるトップランナー基準や革新的技術の導入<br/>→CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの3ガスで2.5%削減（代替フロン3ガスは2.0%増加）</li> </ul> |
| 2. 柔軟性措置（京都メカニズム）などの社会制度の設計   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 先進国間排出権取引</li> <li>● 先進国間共同実施（先進国間共同による温室効果ガス削減プロジェクト）</li> <li>● クリーン開発メカニズム</li> <li>● 民生・運輸部門におけるトップランナー基準や革新的技術の導入<br/>→CO<sub>2</sub>等削減で1.6%削減</li> </ul>  |
| 3. 森林などのCO <sub>2</sub> 吸収源の保護・拡大   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 自国におけるCO<sub>2</sub>吸収源の保護</li> <li>● 京都メカニズムを利用した他国におけるCO<sub>2</sub>吸収源の保護・拡大<br/>→CO<sub>2</sub>等削減で3.9%削減</li> </ul>   |

表2 新しい地球温暖化対策推進大綱における温室効果ガス削減策

| 区 分                              | 目 標   |
|----------------------------------|-------|
| ① エネルギー起源の二酸化炭素                  | ±0.0% |
| ② 非エネルギー起源の二酸化炭素、メタン、一酸化炭素       | ▲0.5% |
| ③ 代替フロン等3ガス                      | +2.0% |
| ④ 革新的技術開発、国民各界各層の更なる地球温暖化防止活動の推進 | ▲2.0% |
| ⑤ 森林経営等による吸収量の確保                 | ▲3.9% |
| （京都メカニズムによる削減分）                  | ▲1.6% |
| 合 計                              | ▲6.0% |

※ 6%削減約束については、当面、上記の①～⑤の目標により達成していく。その際、①～⑤の目標のうち、第1約束期間において、目標の達成が十分に見込まれる場合については、こうした見込みに甘んじることなく、引き続き着実に対策を推進するとともに、今後一層の排出削減を進めるものとする。

※ 京都メカニズムの活用については、国内対策に対して補足的であるとする原則を踏まえ国際的動向を考慮しつつ検討する。

## 国内政策を補完する京都メカニズム

国内政策の不足への対策として、京都メカニズムのJIプロジェクトを実施して温室効果ガスを削減し排出権を得るとか、先進国と途上国の間でCDMプロジェクトを実施して排出権を得る方策があります。さらに、マラケシュで合意された森林などCO<sub>2</sub>吸収源の拡大についても森林管理等によって日本の場合、最大3.9%の削減が認められましたが、これも大きな可能性があります。最後に認証制度(CER:Certified Emission Reduction)等、色々な制度を作っていかなければいけません。

## 動き始めたJI, CDMプロジェクト

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)がカザフスタン共和国とコージェネレーションのプロジェクトで契約した例が既にあります。あまり大きな量ではありませんが、NEDOが年間10万トンくらいのCO<sub>2</sub>排出権を取得することになっています。

CDMでは、トヨタ通商がブラジルとの間でバイオマスで還元する製鉄所のプロジェクトで、日本政府に承認を申請しています。これは聞くとところによりますと排出権が100万トン以上得られるという結構大規模なプロジェクトです。私自身は国内外のプロジェクトをいかに活性化するかが日本が議定書を守り、地球環境を改善しながら盤石な経済基盤を作っていくための1つの鍵であると考えています。

## 京都メカニズム関連プロジェクトの分析

### 予測困難なCERからの収入

京都メカニズム関連プロジェクトの場合、収入が一般のプロジェクトとどう異なるかお話しします。例えば、発電所のプロジェクトを海外で行ったとしますと、収入は主産物である電気の料金です。セメント工場であれば、セメントの売却収入です。しかし、JI, CDM

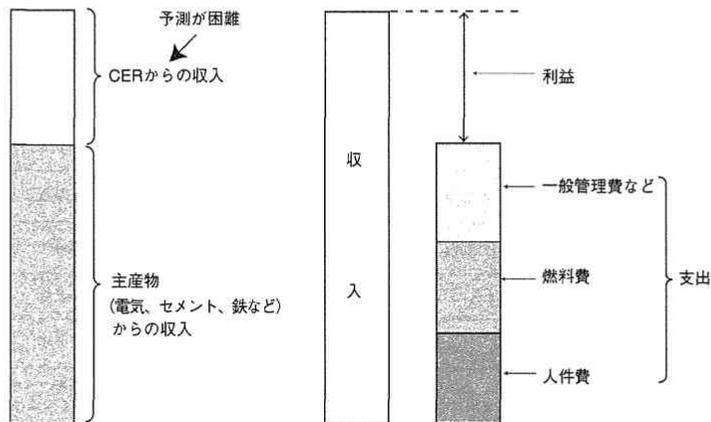


図4 京都メカニズム関連プロジェクトの収入と収益性

として行った場合は、排出権が認証されて付きます。CDMの場合、排出権はCERと呼ばれていますが、図4にあるように排出権を収入として追加的に得るということになります。しかし、排出権の収入は非常に見えにくいというえに、その価格がどう推移していくか予測困難です。

そうしたプロジェクトの収益性を見る場合、主産物の収入に排出権の収入を加え、そこから支出を差し引いた分が単年度で見た利益ということになります。当然、年ごとの変動も考慮し、税金なども差し引いた利益を初年度に現在価値換算して、それが初期投資に見合

うかどうかでプロジェクトの実行、あるいは却下を判断するわけです。

### NEDO関連プロジェクトの収益性とリスク

NEDOが後援したJI、CDMのFS調査は既に100件以上あります。私たちはそれらプロジェクトの収益性とリスクを評価しましたが、表3に示したのはそのうちの一部です。ロシア、アゼルバイジャンあたりは数値目標を持っているので、JIプロジェクトとなり、中国やインドネシアの場合は数値目標を持っていないのでCDMプロジェクトとなります。

表3 収益性とリスクを評価したプロジェクトの例

| 番号 | プロジェクト名   | 対象地域     |
|----|---|----------|
| 1  | 中国における炭鉱メタンガス回収利用プロジェクト                           | 中国       |
| 2  | 中国におけるセメント排熱発電                                    | 中国       |
| 3  | 中国の製油所における残渣発電によるCO <sub>2</sub> 削減プロジェクトに関するFS調査 | 中国       |
| 4  | 中国製鉄会社向高炉ガス専焼コンバインドサイクル発電設備                       | 中国       |
| 5  | 中国における300MW石炭火力発電所リハビリ                            | 中国       |
| 6  | 中国におけるセメントキルン普及調査                                 | 中国       |
| 7  | 遼寧省瀋陽鋼鉄総廠省エネプロジェクト                                | 中国       |
| 8  | 中国既設火力発電所効率向上調査                                   | 中国       |
| 9  | 中国鉄鋼業におけるエネルギー使用合理化                               | 中国       |
| 10 | CO <sub>2</sub> 削減のための中国重慶直轄市の低品位石灰質の改善           | 中国       |
| 11 | アゼルバイジャン・バク/ノボバク製油所省エネプロジェクト                      | アゼルバイジャン |
| 12 | ロシア・ハバロフスク製油所省エネプロジェクト                            | ロシア      |
| 13 | タピオカ澱粉加工工場の廃棄物処理の改善効果                             | インドネシア   |
| 14 | インドネシアにおけるビルの省エネルギー化プロジェクト調査                      | インドネシア   |
| 15 | リャザンスカヤ火力発電所改修計画                                  | ロシア      |
| 16 | ミャンマー国電力損失低減プロジェクト                                | ミャンマー    |
| 17 | ポーランド石炭火力発電所コンバインドサイクルへの転換                        | ポーランド    |
| 18 | クイビシエフ、シズラニ、ノヴォクイビシエフ3製油所加熱炉改造プロジェクト              | ロシア      |
| 19 | サハリン州向け、既設石炭発電の天然ガス転換                             | ロシア      |
| 20 | ハバロフスク火力発電所改修計画                                   | ロシア      |
| 21 | チェキンスカヤ火力発電所改修計画                                  | ロシア      |
| 22 | ロシア連邦イルクーツク州第1号及び第9号イルクーツク熱併給発電所燃料転換計画            | ロシア      |
| 23 | ロシア連邦KONAKOVO発電所コンバインドサイクル化計画                     | ロシア      |
| 24 | ロシア連邦AMURSUK石炭焼き発電所天然ガス燃料転換計画                     | ロシア      |
| 25 | イグムノヴァスカヤ発電所燃料転換                                  | ロシア      |
| 26 | ガスベース火力発電所のパワーリング(3プラント)                          | ロシア      |
| 27 | ロシア沿海州における火力発電所総合改修計画                             | ロシア      |

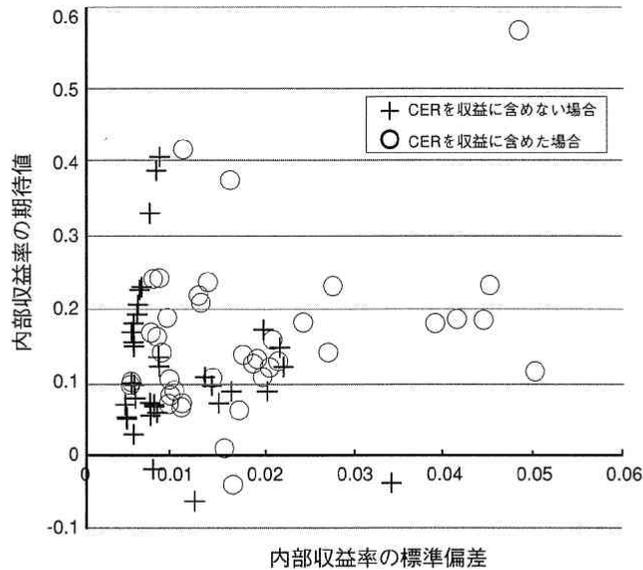


図5 CDMのFS調査における内部収益率の期待値と標準偏差

これらのプロジェクトの収益性とリスクを検討するにあたり、私たちはモンテカルロシミュレーションという確率的な手法を使用しました。その前提条件として、特に重視したのは不確実性が大きい排出権の変動分を考慮することでした。その結果が図5です。縦軸の上に行くほど収益性が高く、横軸の右へ行くほどバラツキが大きくて非常にリスクなプロジェクトということになります。

排出権の収入を入れることによって、左下から右上へ移動している。つまりローリスク・ローリターンから、ハイリスク・ハイリターンに向けてプロジェクトの収益構造が変化しているということです。ちなみに、内部収益率0.5といえますと、その逆数の2年で、0.2だと5年で元が取れるプロジェクトとお考えいただければ結構だと思います。

ブラジルで案件をやったトヨタ通商の方などの話を聞きますと、排出権の収入は当てにならないので、それをカウントしないで、IRR

が15%か20%なければプロジェクトはやれないそうです。海外でのプロジェクトは非常にリスクです。カントリーリスク、為替リスク、その他いろいろリスクがあるからです。

ただ、そうしますと、排出権取引の制度ができた意味はあまりないわけで、CDMなんかできなくても市場原理に任せておけばエネルギーのプロジェクトは進んでいくわけです。何とかこの排出権の収入を入れてはじめて経済性が成り立つものを市場に入れるような制度を構築していかなければいけないわけです。

---

#### 京都議定書順守に向けた外国の取組み

---

#### 排出権取引制度を導入済みのEU諸国

議定書の実施のために各国がどのような制度を打ち出しているか簡単に見てみます。欧

州連合（EU）諸国では、既に炭素税の導入、あるいはイギリス、デンマークなど、いくつかの国で排出権取引の導入が開始されています。それから、EU全域で2005年からCO<sub>2</sub>の排出権取引を開始するというので、現在、盛んに議論が行われているところです。

[イギリス]

国内排出量取引制度（ETS）を2002年4月に開始しました。政府と気候変動協定を締結した企業、自主的な排出削減への参加企業、JI、CDM等によるクレジットの獲得者が参加しました。直接参加企業が三十数社ありますが、そういった企業が国内で排出削減プロジェクトをやりますと、その削減量を政府がオークションで買い取るという制度です。第1回オークションでは、CO<sub>2</sub>1トンにつき3800円ぐらいの値段がついています。

[オランダ]

JI、CDMを支援するERUPT（Emission Reduction Unit Procurement Tender）とCERUPT（Certified Emission Reduction Unit Procurement Tender）という制度を世界に先駆けて開始しています。

ERUPTは、JIによって得られた排出権を政府関係機関が1t単位で買い取る制度です。

CERUPTはCDMで得られた排出権を政府機関が買い取る仕組みです。この場合、京都議

定書に批准した二国間のプロジェクトの排出権を政府機関が入札によって買い取るのですが、1回の入札で10万t以上の排出権が出るものという条件が付いています。さらに、プロジェクトの種類によって入札額の上限が決められています。例えば、再生可能エネルギーの場合、上限は5.5ユーロ/t-CO<sub>2</sub>です。中国で第1号のCDMとして承認された内モンゴルでの風力プロジェクトは、多分、オランダのCERUPTで応札したんだと思います。

---

JI、CDMプロジェクト活性化へ向けて

---

下限価格付きの日本版CERUPTを

私たちは、排出権価格の下限を設けた日本版CERUPTが非常に有効であると思っています。例えば、中国で炭鉱のメタンガス回収利用CDMプロジェクトを行っても、排出権の価格が非常に低いのです。買う側にとっては非常にいいことですが、CDMプロジェクトを行う側にとっては悪いニュースです。排出権の価格が4ドルぐらいでは取引コストも出ないという状況です。

そこで、下限を4ドルにしてオークションを始めたら、それだけでもプロジェクトのダウンサイドリスクが大幅に減るので、プロジ

表4 下限価格の有無によるROEの変化

|            | D/E=9:1 | D/E=7:3 | D/E=5:5 |
|------------|---------|---------|---------|
| CER下限を設定せず | 26%     | 12%     | 8%      |
| CER下限を設定   | 54%     | 24%     | 16%     |

プロジェクトを実行する側は非常に勇気づけられるのではないかと考えています。表4はシミュレーションの結果ですが、それぞれ債務(D)と自己資本(E)の比率を変えても、下限を設定することで、自己資本利益率(ROE:Return On Equity)がかなり上昇し、プロジェクト実行にとって有利になります。

#### プロジェクトのリスク回避の方策

CDMプロジェクトはリスクが大きいので、そのリスクをどうやって避けていくか、そのための政府の役割が求められます。

#### [政府系金融機関による低利融資]

最近では、政府金融機関もJI、CDMをにらんでいますので、そういったところが案件を承認して低利で融資するとすれば、JI、CDM実行側は非常に勇気づけられます。

#### [CDMプロジェクトの証券化]

私自身は、資本を細かく分けて分散投資することが大事だと思います。そのためにCDMプロジェクトの証券化を提案して、既にマーケット調査を行っています。

一般事業会社がCDMの排出権に投資するときに分散投資することが可能な仕組みを作りたい、それによってリスクをヘッジするということです。

#### [その他]

これ以外にも政府の役割としては、かつて通商産業省がやっていた保険ですとか、CDMの交渉窓口の効率化とか、お金以外でやれることもかなりあると思います。私たちとして

はそのあたりを政策として大いに期待しており、また訴えているところです。

---

### 国内の温暖化対策の活性化

---

#### 国内プロジェクトは

海外プロジェクトより高コスト、低リスク

国内の温暖化対策プロジェクトは、一般に、海外のプロジェクトよりもコストが高くなります。つまり、収益性が低くなる傾向があることです。他方、海外のプロジェクトよりもリスクが低くなります。先程紹介した商社の方々の話ですと、海外での収益率20%は国内の10%ぐらいに相当するそうです。私自身、国内のプロジェクトで、例えば、エナジーサービスカンパニー(ESCO)のような企業を訪問して「内部収益率がどれぐらいより高ければプロジェクトをやりますか」と聞いたことがあります。4~5%という答が返ってきました。もちろん、これはESCOの親会社の資金調達コストの関係で変化します。そのリスクを見越しても「10%あれば絶対にやる」と彼らは言っていました。ですから、プロジェクトを発掘すれば国内でやれることはかなりあるのではないかと考えています。

#### 特定業種の損得が自明な制度は望ましくない

それからもう1つ大事なことは、特定の業種の損得が初めから自明であるような制度は望ましくないと考えています。やはり自分の業種がかなりの損害を被ることが初めから明

らかな場合、おいそれと賛成できないのは当然です。これは制度設計によるわけですが、頑張って技術を開発し、プロジェクトをやったところに恩恵がいく制度が望ましいのではないかと思います。

また、業種ごとに枠をはめるような、例えばキャップ&トレードを強制的にやるような形というのはあまり望ましくないと私は考えています。やるとしても非常に緩やかなものである必要があるという気がいたします。

### プロジェクト毎の承認制度

基本的には活性化の制度としてはプロジェクト毎に認証そして支援するような制度がいいだろうと思います。プロジェクト毎に申請をして、温暖化対策としてそれがどの程度の温室効果ガスの削減になっているか評価して、認証していく制度を確立する。そして、認証が得られたプロジェクトについては何らかの制度的支援策を講じることによって活性化をしていけばいいのではないのでしょうか。

#### 具体的な制度的支援策—

##### 日本版ETS、投資減税、資金調達の工夫

イギリスがETSという制度でやっているように、国内で日本企業が排出削減のプロジェクトをやった場合に認証して、その排出削減量をやはり政府機関が買い上げる日本版ETSのような制度も検討に値するのではないかとということで、基礎的な検討を始めています。

それから、一定の認証を得たプロジェクトについて投資額の一定比率を減税する制度を設けるという方策があります。石油ショックの後に、始まった省エネ優遇税制が今でも続

いています。これを少し衣替えさせて、温室効果ガス削減の優遇税制のような制度を比較的抵抗が少ない形で導入できるのではないかと思います。その際に減税率を少し大きくする、あるいは現在は最大30%という加速償却率を調節することで、温暖化防止プロジェクトを活性化できるのではないかと思います。

こうした制度の成否は、まず企業や大学等がこうした温暖化対策として有効なプロジェクトを開発できるか否かにかかっています。対象としては、エネルギーから、シンク、植林、森林管理に関するものまで、非常に多様なものがありますので、いいプロジェクトを開発することが重要です。

もう1つは、プロジェクトのファイナンスにも工夫をする必要があります。いわゆるプロジェクトの証券化といったようなことで、ファイナンスを工夫する。そういう意味で、技術とファイナンスの両方を組み合わせていくことで初めて京都議定書を契機として、より地球環境に調和型で、持続的な社会に移行していくことができるのではないかと。そのために長期的な総合戦略を策定して、早急に制度を提案していく必要があるのではないかと思います。

議定書の問題は色々な国家の利害のもつれの果てに出てきたようなところがありますが、1972年の国連人間環境会議から30年という歴史を振り返ってみますと、地球環境問題は、歴史的に普遍的な流れがあり、その1つとして温暖化問題が出てきたんだと解釈しています。したがって、これに抗うというより、これを1つの機会として長期的な総合戦略を考えるということが重要ではないかと考えています。

以上で終わらせていただきます。(拍手)

〔報告〕

## 地球温暖化とその防止・抑制 そして技術の役割\*



松 井 一 秋 (財エネルギー総合工学研究所  
研究理事兼主席研究員)

### はじめに

温暖化について、どんなことが言われているかというところから話をさせていただきます。図1は、過去1000年間の北半球における気温変化を示しています。特に、過去1万年で一番温度の上昇速度が急なところは20世紀に入ってからです。しかし、温度の上昇幅だけを見れば、10万年、100万年という尺度では、そんなに不思議なことではないのかも知れません。ただ、上昇速度がかなり急であるとい

### 〔略歴〕

1969年東京大学工学部原子力工学科卒業。1971年東京大学大学院工学修士，1971年呉羽化学工業株式会社入社。1975年米国ペンシルバニア州立大学大学院化学工学修士。1980年エネルギー総合工学研究所入所。現在プロジェクト試験研究部研究理事兼主席研究員。国内では原子力委員会の専門委員，国際的には第4世代国際フォーラムのメンバー，OECD/NEAの原子力開発委員会メンバー。

うこと、それがどうも人為起源であるということから問題になっていると思います。

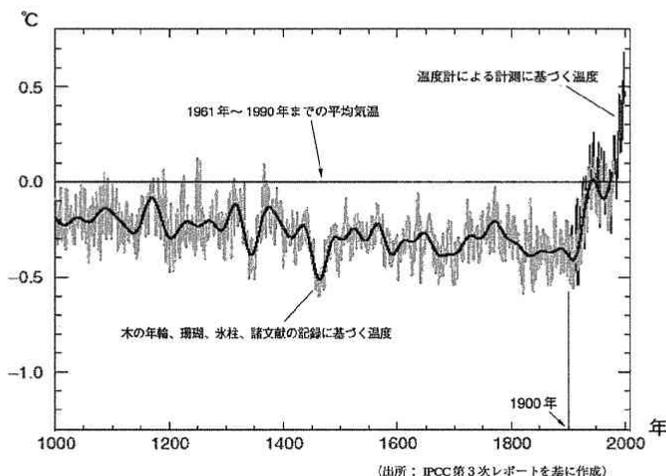


図1 過去1000年間の北半球の気温変化

\*本稿は、本年2月28日の日本工学アカデミーECC作業部会／エネルギー総合工学研究所月例研究会合同シンポジウム「地球温暖化と技術の役割」における報告を、本誌掲載のためにテープ起こしたものです。

## IPCCによる将来予測

### 様々なシナリオに基づく未来の世界

将来どうするかという時の色々な議論のベースになっているのは、将来をどう見るか、考えるかということがまずあります。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）のSRES（排出シナリオに関する特別報告書、2000年）では図2のように将来の世界を大きく4つに分けました。左がグローバル、右がリージョナル、要するに国際協調か地域主義かという分け方、上が経済成長重視、下が環境重視という分類です。その中に化石燃料依存（FI）、非化石燃料重視（T）、両エネルギーバランス（B）というシナリオがあります。

図3が6つのシナリオに沿った世界人口の増加予測です。現在の人口60億から2100年は70億人～150億人と幅が大きいです。

これは我々が将来をどうもっていったらいいか、どう協力していったらいいか、どういう新しいものを作っていかなければいけないかを考える際のインプットを得るための思考実験だと思います。ですから、後で、すなわち将来、どのシナリオが予測として正しかったとか、間違っていたとかいう議論はまったく無意味です。

そのようなシナリオで、2100年までの1人当たり1次エネルギー消費量は図4のようになります。21世紀も現在の5倍ぐらいに伸びると見るグループ、せいぜい2倍程度と見ているグループに分類できます。

ちなみに、現在、世界人口は60億人で、うち50億人は途上国の人間です。さらに、その50億人のうち16億人は電気やガスを使ってな

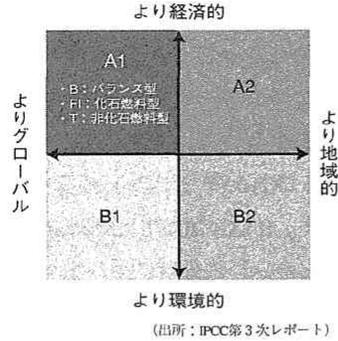


図2 IPCCによる社会経済シナリオの4類型

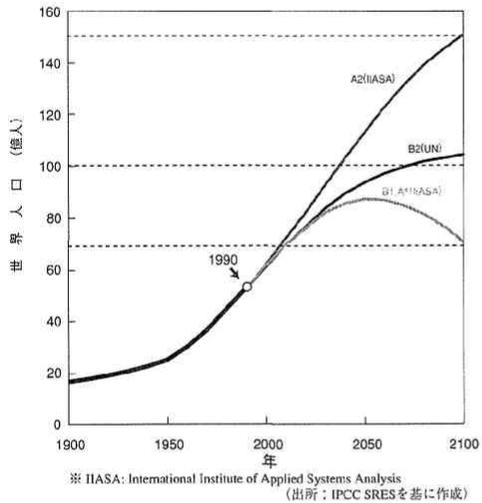


図3 世界人口の増加予測

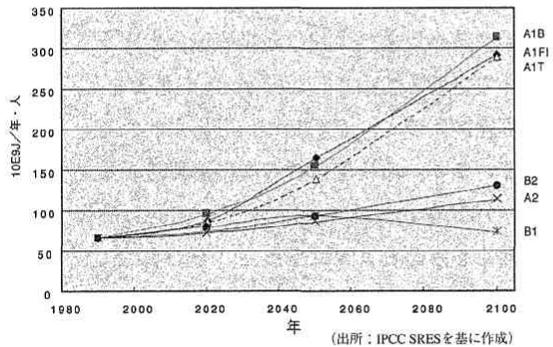


図4 1人当たり1次エネルギー消費量の予測

い、商用エネルギーとは無縁の方々ということです。そういう方々か、あるいは彼らの子孫が今後100年間に何らかの形でエネルギーの恩恵を被るようにすることも、我々先進国に住む人間の責務の1つではないかと思ひます。

そういう時に1人当たりエネルギー消費量をどこまで増やせるかは分かりませんが、世界全体としてエネルギーの需要が増えることは間違いありません。

他方、図5は2100年までの1人当たりCO<sub>2</sub>排出量の予測です。IPCCのSRES (Special Report on Emissions Scenarios) の分類によりますと、1人当たりの温室効果ガス排出量がやたらと大きくなってしまふシナリオがA1です。これは、国際的にどんどん交流し、経済も高成長という中の化石エネルギー依存のシナリオです。このシナリオだと、2100年で非炭素エネルギーの比率が3割弱ぐらいに増えていても、温室効果ガス排出量は相当伸びているだろうということです。

そういうシナリオの中で生活水準はどうなっているかというのが図6の1人当たり国内総生産(GDP)です。どのシナリオにおいても生活水準は相当向上するという見方をしています。

こういうシナリオに基づいて、色々な分析をするわけですが、エネルギーのところだけ見たのが図7の三角図です。1次エネルギーを石炭、石油・ガス、再生可能エネルギーおよび原子力、要するに非化石エネルギーに3分割しています。産業革命以前、人類は薪炭や風、太陽エネルギーで生活していました。1850年を見ますと、再生可能エネルギーが約80%、石炭が約20%となっています。産業革命で石炭の消費量が急増して、1920年には1次エネルギー供給の実に80%近くを占めるようになった。その次に、石油の時代になり、割合がどんどん上がってゆき、1990年には60%近くまで増えています。

図7では、SRESのA1B、A2、B1、B2というシナリオで2100年にはどういうエネルギー構成になっているか示しています。経済成長があっても再生可能エネルギーや原子力エネルギーを一所懸命導入することによって、「2100A1B」の構成になっているかも知れま

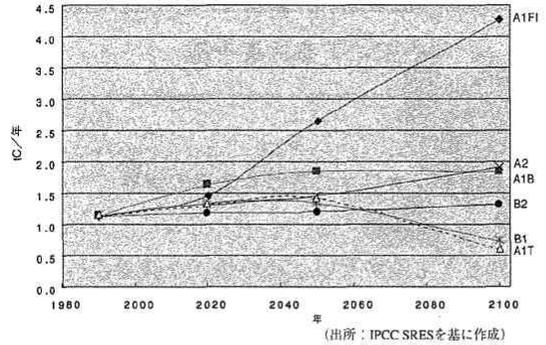


図5 1人当たりCO<sub>2</sub>排出量

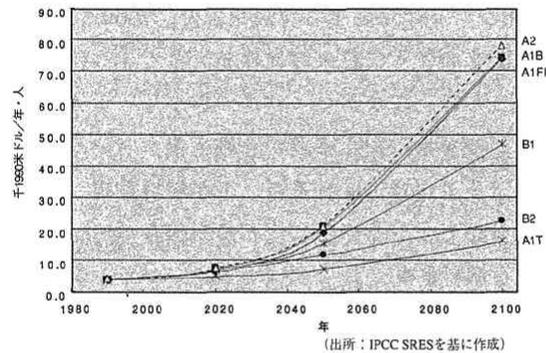


図6 1人当たりGDP

せん。もう一度石炭を使う、石炭中心の道を選ぶと「2100A2」の構成となるかも知れないということです。石炭・ガス中心だと三角形の上方へ、石炭中心だと左下へ、再生可能・原子力中心だと右下へポイントが移動します。

そういうシナリオに基づいたCO<sub>2</sub>排出量、CO<sub>2</sub>濃度、SO<sub>2</sub>排出量、気温変化、海面水位上昇の予測が図8です。

---

### 温室効果ガス削減へ向けて

---

省エネを中心に相当量ある削減ポテンシャル

表1は温室効果ガス削減のポテンシャルがあるかということの評価例です。ただし、ここは

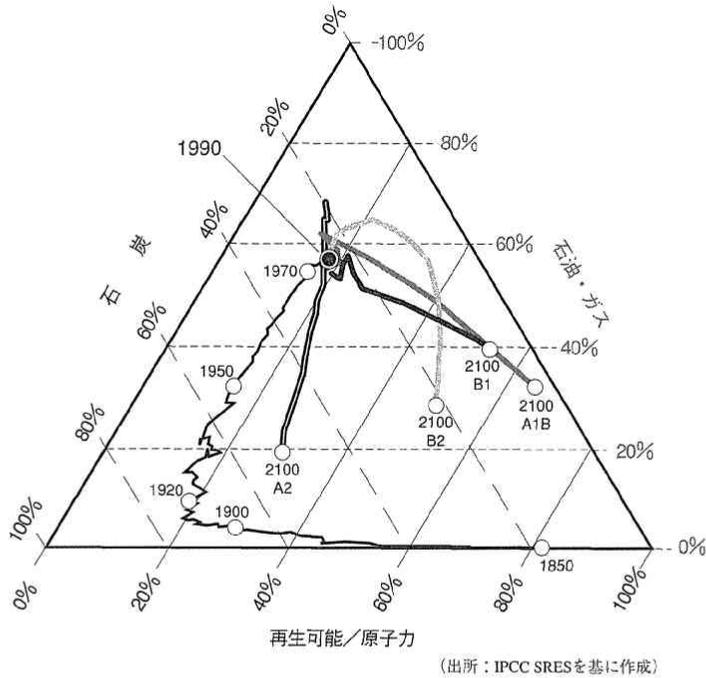


図7 1次エネルギー供給構成の変遷と将来予測

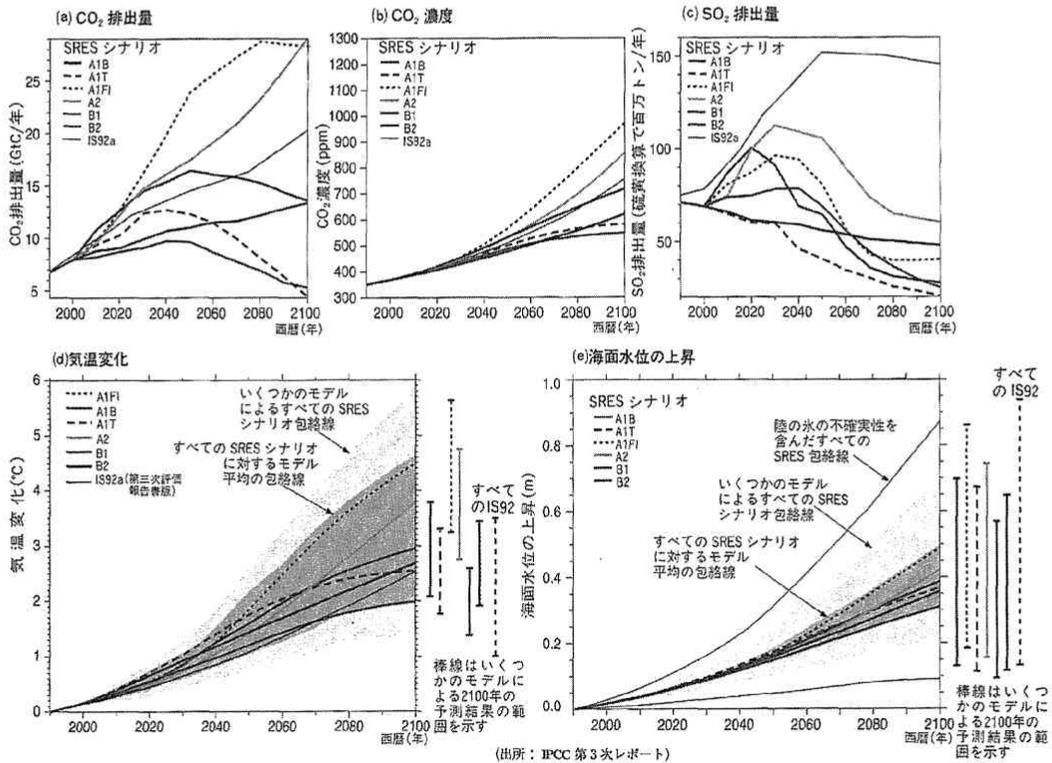


図8 21世紀の気候変動

2100年とか長期の話ではなく2010年と2020年で  
す。大きいのが省エネによる削減です。建物と  
書いてあるのは、例えば暖房とか冷房の設定温  
度を下げたり、上げたり、材料を変えるとか  
いうことです。運輸部門ではもっと効率のいい  
エンジンに切り替えるとか、産業部門でもエネ  
ルギー効率を上げるとかで、結構な量の削減が  
可能だという評価になっています。

もう1つ、エネルギー供給の転換があります。  
例えば再生可能エネルギーに換える、原子力に  
換えることによる削減です。その削減量の割合  
は省エネによるものよりも小さいです。これは  
ある意味で当然なことです。エネルギー供給と  
転換の方は、インフラ、設備、技術の転換を意  
味するので、相当時間がかかると思われるから  
です。従って、削減のポテンシャルは省エネ中  
心に相当あるということです。

図9は基本的に図8(b)と同じですが、  
2100年に450ppmぐらまで抑えなければなら  
ないとすると、エネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出は一番  
下の線のようにでなければならない、SRESシナ  
リオではだめだということです。SRESシナリ  
オはもともと対策をとらない場合のシナリオ  
ですので当然なのですが、要するに、対策を  
取らない限り大気中のCO<sub>2</sub>濃度は安定しませ  
ん。その対策ですが、『IPCC地球温暖化第3  
次レポート』(2001年)は、次の6項目を挙げ  
ています。

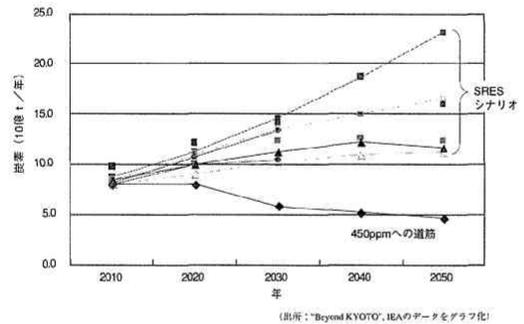
- ①エネルギー需要の削減と効率向上(省エネ)、
- ②化石燃料間での代替、
- ③原子力への転換、
- ④バイオマスへの転換、
- ⑤他の再生可能エネルギーへの転換、
- ⑥温室効果ガス回収・固定化

この中で不確定要素が大きいのは③と⑥で  
す。原子力は人々にどれだけ受け入れられるか、  
あるいは世界中に原子力発電所を何基建設でき

|                         | 1990年<br>(MtCeq/年) | 炭素排出量<br>成長率(%)<br>1990-1995 | 排出削減<br>可能量/2010年<br>(MtCeq/年) | 排出削減<br>可能量/2020年<br>(MtCeq/年) |
|-------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 建物(家電製品<br>を含む)         | 1,650              | 1.0                          | 700~750                        | 1,000~1,100                    |
| 運輸                      | 1,080              | 2.4                          | 100~300                        | 300~700                        |
| 産業<br>-エネルギー効率<br>-材料効率 | 2,300              | 0.4                          | 300~500<br>~200                | 700~900<br>~600                |
| エネルギー供給<br>と転換          | (1,620)            | 1.5                          | 50~150                         | 350~700                        |
| その他                     | 1,870~3,420        | n.a.                         | 550~700                        | 650~1,050                      |
| 合計                      | 6,900~8,400        |                              | 1,900~2,600                    | 3,600~5,050                    |

(出所: IPCC 第3次レポート)

表1 CO<sub>2</sub>削減のポテンシャル評価例



(出所: "Beyond KYOTO", IEAのデータをグラフ化)

図9 CO<sub>2</sub>濃度安定のための道筋

るかという問題、あるいは放射性廃棄物処理の  
問題があると思われます。また、温室効果ガス  
の回収・固定化は、まだ技術的に相当問題があ  
って、今のところ不確実だと思えます。他の方  
策もどの程度実現できるかという問題がある  
と思えますが、この2つは不確定要素が大きい  
という分析結果になっています。

原子力サークルの「2050年原子力ビジョン」  
(2003年)では、原子力を重要なエネルギー源  
として社会が認識し選択しているということを  
前提に、1次エネルギーの4割強を原子力が担  
うことは可能だと言っています。そうすると温  
室効果ガスの排出量は1990年レベルの約半分  
に落とすことが可能になります。こうしると言  
っているわけではなく、原子力サークルからこ  
ういうメッセージを発したということです。要  
するに、政策やイニシアティブを出して、色々  
な議論をして今後のことを考えていく必要が  
あるのではないかと例です。

温室効果ガスの少なくなる社会に向けて色々なイニシアティブが考えられています。図10はそのうちの1つで水素社会です。水素エネルギー社会も古くから言われていまして、相当長い間、「絵に描いた餅」だと思われていました。ところが、最近またこの話が持ち出されています。米国においてもごく最近、「ハイドロジェン・イニシアティブ」という政策で、水素エネルギー社会の導入を強く打ち出しています。

おわりに

技術による温室効果ガス削減に必要なこと

技術的にCO<sub>2</sub>の削減が可能であることは間違いありません。しかし、技術による対応には、相当時間がかかるだろうと思います。1つにはインフラを転換しなければならないこと、さらにもし新しい技術があっても、技術開発するのに相当の時間を要するという事です。

従って、CO<sub>2</sub>を技術によって削減するためには、色々な環境を整えなければならないと思います。

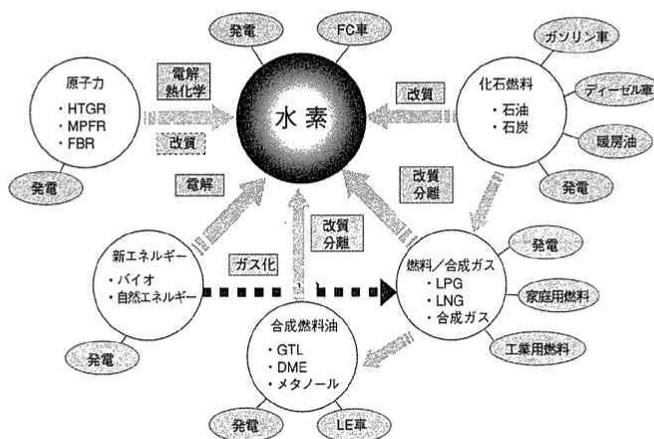
まず、長期的な観点からの技術開発、それに対応する社会経済制度の整備や規制緩和、国際協力などがが必要です。

次に、エネルギー・環境に加えて、技術のリスクや負担についての人々の理解とそれを得るための努力が必要です。

国民的議論によって形成された社会的合意に基づくエネルギー総合戦略も必要です。例えば、イギリスの新しいエネルギー政策は、それを作るのに6500人ぐらいの方々と協議して決めたそうです。

最後に、エネルギー戦略の目的は、単に環境保全だけではなく、わが国の産業の活性化、再生、国際競争力の増強という国益確保が最初にこななければいけないと思います。その中で、さらに、東アジアや世界との協調、そこにおけるリーダーシップの発揮が求められるのではないかと思います。

以上です。ありがとうございました（拍手）



出所：岩井龍太郎氏（日揮株式会社）プレゼンテーション資料より  
クリーン&グリーン「水素エネルギー社会と原子力」シンポジウム（平成14年12月16日）

図10 来るべき水素社会

\*\*\* パネルディスカッション \*\*\*

## 地球温暖化と技術の役割を考える\*

|             |  |
|-------------|--|
| 石 井 吉 徳     | ( 富山国際大学教授<br>東京大学名誉教授 )               |
| 赤 井 誠       | ( 独立行政法人 産業技術総合研究所<br>主任研究員 )          |
| 松 橋 隆 治     | ( 東京大学大学院 新領域創成<br>科学研究科 環境学専攻助教授 )    |
| 黒 沢 厚 志     | ( 助エネルギー総合工学研究所<br>プロジェクト試験研究部 主管研究員 ) |
| 司会<br>秋 山 守 | ( 助エネルギー総合工学研究所<br>理事長 )               |




---

はじめに

---

司会 「地球温暖化と技術の役割を考える」  
という主題の下でこれから、討論を進めさせ

て頂くわけですが、本テーマに関しては私が  
常々考えております次のような4つの切り口  
をまず紹介し、それを参考にして頂きながら  
パネリストの方々のご意見を頂きたいと思っ  
ます。

①期待ないしは展望される技術は何か。

---

\*本稿は、本年2月28日の日本工学アカデミーECC作業部会/エネルギー総合工学研究所月例研究会合同シンポジウム  
「地球温暖化と技術の役割」におけるパネルディスカッションを、本誌掲載のためにテープ起こしたものです。

- ②温暖化防止への全体的な取り組みの中で  
の技術の役割は何か。
- ③重要技術ないしその技術基盤を今後育成  
していくためどう取り組むべきか。
- ④人材、政策、資金、具体的な計画といっ  
たリソースを今後どう確保していくか。

そこで、討論の進め方としまして、本シン  
ポジウムの中で講演をされていない赤井先生  
と黒沢さんにまずお話を頂戴した後、パネリ  
ストの先生方のご意見をお伺いできればと思  
います。では、赤井先生、黒沢さん、よろし  
くお願いいたします。

りまとめている組織がありますが、そこで2010  
年以降の長期的な温室効果ガスの大幅削減に向  
け、IEAの閣僚レベルの会合に提言していく作  
業が進められてきています。そこで約100ペー  
ジのレポートを作ります。今頃、IEA閣僚級会  
議でレビューしているところです。最終的には、  
「長期的かつ大規模な温室効果ガス削減が達成  
できるようなテクノロジーオプション」という  
タイトルの本として、IEAあるいはOECDから  
今年中に発行される予定になっております。

### IPCCもCO<sub>2</sub>回収隔離に関する

特別報告書作成開始

---

## 地球温暖化と技術に係る国際動向

---

### IEA/CERTが2010年以降の長期技術予測作成

赤井 経済協力開発機構／国際エネルギー機関  
(OECD/IEA) の エネルギー研究技術委員会  
(CERT) という科学技術関係の国際協力を取

### [CO<sub>2</sub>回収隔離議論の背景]

二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の回収・隔離、あるい  
は貯蔵といった技術は、図1に示しましたが、  
CO<sub>2</sub>隔離というのは、大量の排出源からCO<sub>2</sub>を  
回収し大気以外の場所に隔離しようというも  
のですが、技術には様々な不確定要素を含み、  
また社会的受容性の問題も抱え、実現に向け  
ては様々な議論が引き起こされることが予想  
されます。

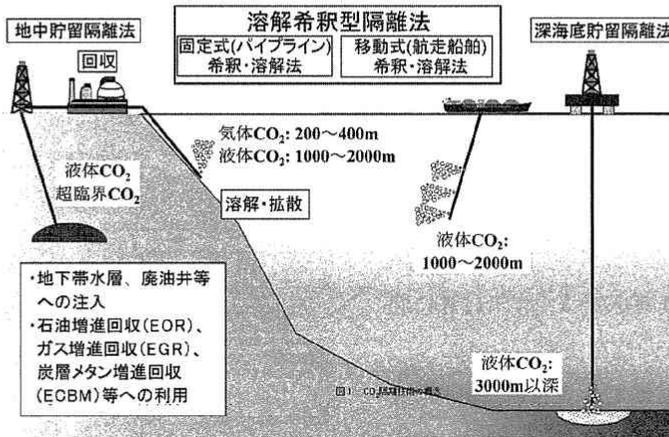


図1 CO<sub>2</sub>隔離技術の概念

このたび、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」においてCO<sub>2</sub>回収隔離に関する特別報告書の作成が開始されました。

この特別報告書に至る背景として、特に産油国などを中心として回収・隔離を政策課題として検討すべきだという圧力があつたことは否めません。なお、回収・隔離技術自体はそれとは別に、2001年に出たIPCCの第3次評価報告書で数ページながら初めて取り扱われました。それをほぼ並行して欧米で、特に地中隔離を中心に関係機関の国際的ネットワークの設立、あるいはパブリックコミュニケーションなどの活動が盛んになってきて、国によっては2010年の削減目標達成のためのオプションとして真剣に考え始められてきています。

#### [COP 7, COP8からIPCCへの要請]

一方、気候変動枠組条約第7回締約国会議 (COP 7, 2001年10月29日～11月10日、於マラケシュ) でできた「マラケシュ合意」の中で、IPCCに対してCO<sub>2</sub>の回収と地中隔離に関する報告書を作るようにという指示がありました。それを受けて昨年4月、IPCC19回総会で報告書を作る方向で検討を進めることで合意がなされました。ここでは海洋隔離も含めることが決定され、さらに、気候変動枠組条約第8回締約国会議 (COP 8, 2002年10月23日～11月1日、於ニューデリー) の補助会合の場でも、CO<sub>2</sub>回収・隔離も検討する必要があるという議論がなされました。

IPCC19回総会の議論を受け、昨年11月に特別報告書の作成の方向性を決めるためのワークショップが開かれました。IPCC20回総会 (2003年2月19日～21日、於パリ) では、特別報告書原案が全会一致で承認されました。発

行は2005年で、これがIPCC第4次評価報告書に反映されることになっています。

また、COP 8 の勧告によれば、国別の排出量をどうカウントするかというIPCCのインベントリーガイドライン (1996年発行) の改訂版を2006年までに作ることになっております。それに対応してIPCCが動き始めており、前述のIPCC特別報告書の完成を待ってCO<sub>2</sub>の回収・隔離についても取り扱うことが決まっています。

図2、図3は、排出削減量をどうカウントするかに関する国際ルールを作る必要があるという認識で、現在我々が取り組んでいるプロジェクトの概要紹介です。

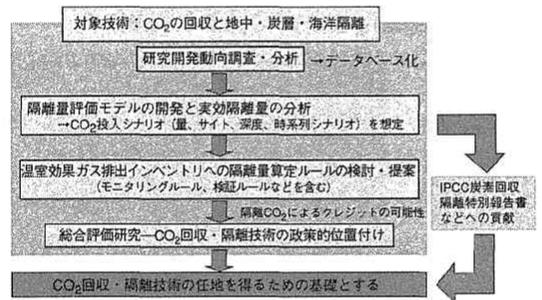


図2 排出削減のカウント法に対する国際的合意

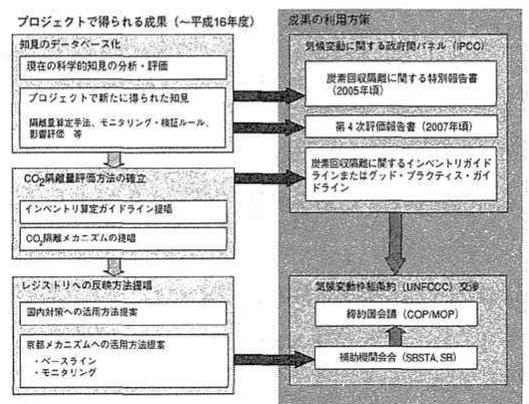


図3 研究開発目標と成果の活用

[CO<sub>2</sub>隔離技術に向けたアメリカの動き]

今朝、米エネルギー省（DOE）の化石エネルギーのホームページを見ましたところ、DOEが10億ドル（約1000億円）をかけ、CO<sub>2</sub>隔離技術を組み合わせ、石炭からCO<sub>2</sub>フリーの電力と水素を製造する実証プロジェクトを開始するというニュースがありました。

同時に、CO<sub>2</sub>の隔離に関する閣僚レベルのフォーラム開催もホームページで呼びかけています。

アメリカの技術開発は政権交替と共に変わってしまいますので、これが本当にどれぐらい続くのか判断しにくいのですが、アメリカも京都議定書とは別にこういうことに対して本気でお金を投入するという意思を示したということです。

地球環境問題というのは非常に総合的な問題であるということにお気づきかと思います。

地球環境問題の歴史を振り返ってみますと、最初はIPCC等、いわゆる科学コミュニティから警告が出されました。それを受けて、気候変動対策という政治的要請があって、科学と政策が密接に結びついて現在の動きになっているということです。

不確実性のある状況の中で、そのような問題にどう対処していくか。将来シナリオというのは、非常に不確実で、人間の行動や技術、経済、国際制度の状況などで大きく変わってくるのが予想されます。そういう中で、色々な要素をどう組み合わせ、どう考えていくのかを決めるためのツールとして、モデルによる評価が必要となってきます。

地球環境問題における統合評価の必要性

統合評価モデルGRAPE

地球環境問題は総合的な問題

私が現在行っている統合評価モデルGRAPE（Global Relationship Assessment to Protect the Environment）のフレームワークが図4です。地球環境を保護するために色々な要素、世界、

黒沢 今まで、色々ご講演を聞かれまして、

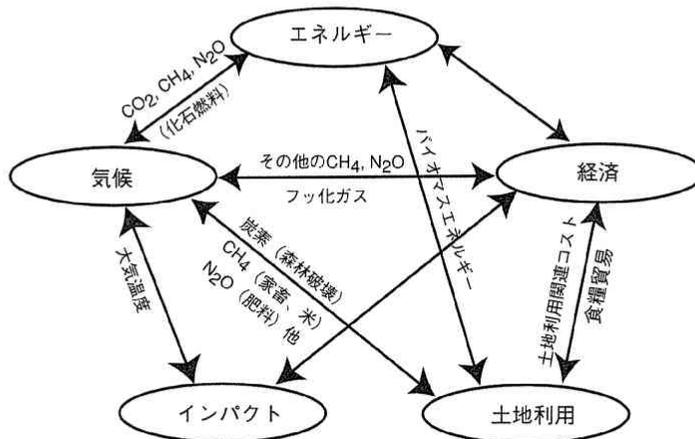


図4 GRAPEのフレームワーク

地域の全部を考えながら超長期的に評価を行っていく必要があるというフレームワークです。エネルギーについては細かい評価を行っています。先ほど石井先生のお話にありました食糧や農業といった要素を超長期的にどう扱っていくか。また、それらが経済活動とどうリンクしていくか。結果として現れる気候変動が地球環境及び人類の環境にどれくらいのインパクトを与えていくかという関係が示されています。

### CO<sub>2</sub>だけではない温暖化原因

図5は気候変動の中身ですが、気候変動の主要原因の1つに、温室効果ガスの排出があります。日本では「温暖化問題イコール化石燃料からのCO<sub>2</sub>」という受け止め方だと思うのですが、世界的に見るとそうではありません。例えば、途上国の中には、CO<sub>2</sub>等価換算でメタンおよび亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）の排出が5割近いという国もあります。そのように、

色々な温室効果ガスの排出を総合的に扱う必要があります。かつその排出源としても、化石燃料の消費や生産、森林の伐採、埋立地、水田、家畜、土壌、化学産業など色々な領域があるわけです。

これらの排出されたガスは、大気中に滞留しますが、様々な要因で分離・減衰します。濃度のところで寿命はガスによってかなり違います。例えば、メタンは10年程度で、その他のガスは数百年にわたるものもあります。

フッ化ガスも、現在は排出量が非常に少ないので影響は小さいといわれていますが、寿命が長いものは将来わたって減衰しないという特徴があります。化石燃料の利用については、燃焼時のCO<sub>2</sub>発生が大部分です。石油、天然ガスの輸送などでメタンがかなりの割合で出ているので、それによる影響も考慮する必要があります。また、燃焼時にはN<sub>2</sub>Oも出ているので、化石燃料の利用に際しては、温室効果ガスにはCO<sub>2</sub>以外の寄与があるということにご注意いただきたいと思います。

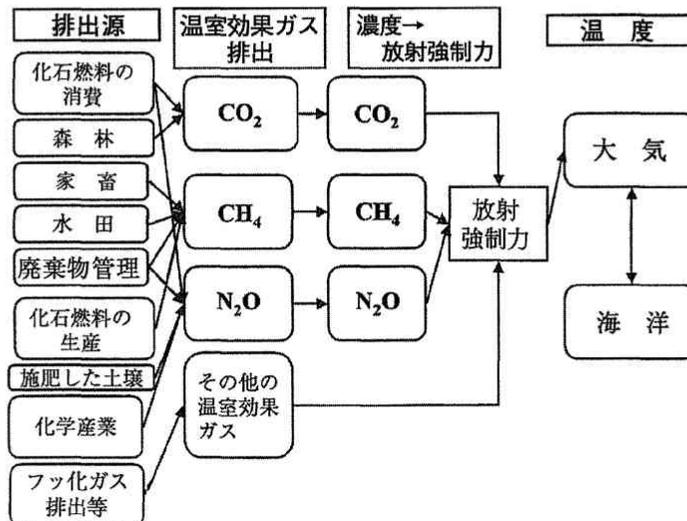


図5 気候変動に寄与する温室効果ガス

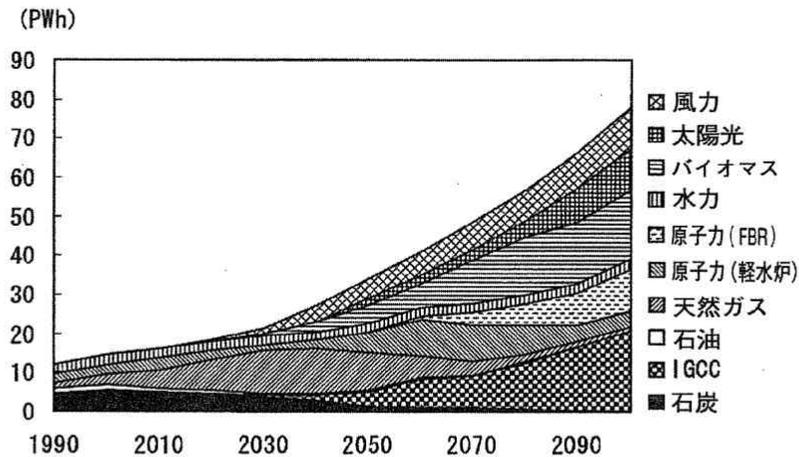


図6 気候変動対策時（CO<sub>2</sub>濃度550ppm目標）時の世界の発電量

発電用では非化石燃料のシェアが拡大

図6は、化石燃料を使いながら、大気中のCO<sub>2</sub>濃度を産業革命時の約2倍の550ppmに抑えた時にどのような電力の構成になるかの一試算結果を示しています。発電以外では化石燃料がかなりの割合で使い続けられるわけですが、化石燃料以外のエネルギーのシェアが拡大してくる。まず強調したいのは、かなりの割合で省エネが必要であるということ。次に、無炭素エネルギーのシェアとオプションが増加すると見えています。

IPCCが低減するCO<sub>2</sub>の地中および海洋への隔離を仮定すると、炭素回収付きのIGCCが大幅に入ってくる可能性があります。

温暖化対策は「適応策」と「緩和策」

ここでIPCCの報告書について触れますと、第1章「気候変動の過去と将来予測」、第2章「アダプテーション」（適応策）、第3章「ミティゲーション」（緩和策）の三部構成になっています。

①「適応策」は短期的に重要ですが、本質的な対策はやはり温室効果ガスの発生量そのものを抑制していく「緩和策」のほうです。一般的には、緩和策を長期的に追求していくということが重要であると思います。

②「緩和策」の重要なオプションの1つであるエネルギー起源の温室効果ガスの削減というのは、世界的にエネルギー消費量が伸びていく中で、やはり非常に重要です。特に、日本のようにエネルギー起源のCO<sub>2</sub>が温室効果ガス排出量の9割以上となっている国にとっては非常に重要なことです。

③科学コミュニティから政策目標として要請を受けてどう対処していくかが重要です。その第一歩は、先進国へ割り当てられた削減に向け、国内でも地球温暖化対策推進大綱によって政策的なイニシアティブを図ることが重要です。

④工学技術が政策的要請（短期的）、科学コミ

ユニティからの警告（長期的）に応えるために、各種対策のバランスを考慮した温暖化対策の技術ポートフォリオを具体的に検討することが必要です。

検討にあたっては、それら技術の費用対効果、技術革新の可能性、社会受容性、規制や税制などの制度的問題、資源利用性（資金、人材、エネルギーを含む天然資源等）地政学的要因（セキュリティ等）を勘案すべきです。

---

## 地球温暖化と技術の役割

---

司会 赤井先生、黒沢さん、どうもありがとうございました。次に、今日の全体のプレゼンテーションに関連し、お話しいただくことがありましたらお願いいたします。

### COPは「政治の場」

技術の考え方、見方のプライオリティが必要

石井 恐らく、本日の参加者の中で京都議定書が採択されたCOP3に参加した人間は私だけだと思います。国立環境研究所の所長をしていた関係上、京都会議の会場におりました。そこでの第一印象は、「あれは政治の会議である。サイエンスの会議ではない」ということでした。ですから、地球温暖化絡みの国際的な動きが科学に基づいていると考えると大きく間違うと思います。それから、技術についての見方、考え方が、それぞれの持ち場によって大変交錯しています。私は、希望ですけれども、「総合」という名前を持つエネルギー総合工学研究所にその辺りのプライオリティを国民に分かり易いよ

うに整理していただきたいと思っています。

色々な環境技術の開発は原理原則的にやるべきであり、そうすればどんなに間違っても損はしません。例えば、人間が半分を切ってしまった森を元に戻す植林は人類の務めだと思いません。間違いなくCO<sub>2</sub>の固定化につながります。

### エネルギーアウトプットの分析ツールの開発

そこで提案は、いろんなエネルギー関連の技術がありますが、それをドルとか円で評価するとほとんど分かりません。エネルギー関連技術をインプットのエネルギーとアウトプットのエネルギーの比率、あるいはエネルギーによるプロフィット、EPR（Energy Profit Relation）というような数字を見積る分析ツール、仕組みをエネルギー総合工学研究所で用意してはどうかということです。それで初めてエネルギー技術が本当にエネルギーをアウトプットしているか分かるという気がします。

例えば、石油は間違いなくエネルギーを出している1次エネルギーです。しかし、しばしば見かけ上エネルギー技術に見えても、インプットのエネルギーとアウトプットのエネルギー比率が1以下になっているものがあります。円やドルで評価するとそのところが見えてきません。

司会 ただいまの石井先生のお話を踏まえて、関連して何かございますか。

黒沢 石井先生から「COPは政治の場」というお言葉がありました。まさにそのとおりです。私もCOP8に政府代表団の一員として参加したのですが、まさに「政治の場」でし

た。先進国グループ、途上国グループ、色々なグループが交渉しています。そういう交渉の場でのゲームが、回り回って各国の政策のもとになって生活に影響を及ぼす。そういう基本的な構造があるということは理解しておいた方がいいと思います。

#### 技術開発の人材を浪費しない制度が必要

司会 ありがとうございます。さて、私見として冒頭で提示しました4つの切り口に照らしながらご意見をいただければと思います。赤井先生、どうぞ。

赤井 私の経験で申し上げさせていただきたいと思います。

1つは、現在の技術あるいは技術開発について。私、最大の財産というのはやっぱり人だと思っています。今、大学も独立行政法人化とか色々な背景がある中で、若い、本来、研究あるいは技術開発に一番取り組める世代、あるいは、もう少し年取って大所高所でのを考えられる人たちが、いろんな制度の犠牲になって疲弊しているのを最近よく目にします。極端な例は、秋山先生が最後におっしゃったプロジェクト評価とか、研究開発評価制度において、評価そのものが目的になっているように感じられることが多く、国の評価制度自体のあり方に疑問を持っています。

もう1つは、日本の研究開発に短期的成果至上主義の弊害が出てきているのではないかとことです。日本は、特に国の研究投資でも、かつては20年、30年後というかなり長期を考えた投資を行っていたと思います。海外の研究者、研究開発担当部署の方々はその

いう日本の研究開発の環境を羨ましがっていました。それが最近、「何で日本のいいところを捨てて、研究開発面では非常に良くないアメリカを見習ったような制度にするのか」と海外の方々からよく言われます。私もこのことを最近少し危惧しております。

司会 ありがとうございます。それでは松橋先生、いかがでしょうか。

#### 環境関連技術の市場導入は制度的整備が前提

松橋 最近の大学も疲弊の傾向が見られます。我々40代ぐらいの人間が講義の一新であるとか、非常に忙しくて研究どころではないという状況です。

また、東大には、特許取得を支援して一緒に技術を市場に還元していこうという(株)キャストという組織があります。東大の先生などが株主の組織です。我々がやっている色々な環境関連技術についてもキャストと相談する機会がありますが、私たちの環境関連技術は、すぐにビジネスになりません。制度ができていることが前提であって、普通のマーケットで競争したらどうしても勝てません。

例えば、本質的には穴を掘って自噴してくる石油と大きな資本設備で製造していく太陽や風力とを比べますと、どうしても後者はコスト高になります。そこにRPS、排出権取引など、何らかの地球環境のインセンティブがなければ市場では勝てないのです。それで、キャストの人とは色々な技術について相談したんですけども、結局、手ぶらで帰っていかれました。

ですから、我々の技術、リソース、技術開

発は非常に大切なんですが、やはり制度と一体になって進めていかなければ導入されることは難しいと考えています。

司会 もう少し具体的に改善策のお話をいただくことは可能でしょうか。

松橋 技術を開発する、それが市場に入っていくに当たって、例えば、3～4段階ぐらいの評価ステップが必要です。

#### ①ライフサイクル評価での優秀性

まず、石井先生がおっしゃられた、エネルギーのInput Output Ratioということがあります。言い方を変えますと、ライフサイクル評価を行うということですが、そこでの評価では、エネルギーの面あるいはCO<sub>2</sub>の面から見て優れているということが第1の必要条件と思います。

#### ②コスト評価は本質的な投入も対象に

次はコストの評価だと思います。直接、間接のエネルギーの投入だけでなく、資本、労働の投入がどうしても入ってきます。ですから、エネルギー的に優れていてもコスト的に高くなる場合があります。

例えば、太陽光、風力はどうしても直接、間接の資本の投入が大きく、コスト高になるわけです。バイオマスエネルギーであれば、その育成とかで投入される労働がコストを押し上げる要因になるかと思います。

そこで本質的なライフサイクルのエネルギーの評価、ライフサイクルのコストの評価を表面的な指標だけでなく、本質的な資本、労働、土地も含めた投入の評価という面から見直す必要があるのではないかと思います。

#### ③需要側のマーケティング評価

今度はそれがアクセプトされるかどうかの評価も必要です。例えば、太陽光がコスト高なのは事実ですが、住宅を建てる時に一般の人々がそういう技術にどれぐらい支払ってもいいと思っているか。こういう需要側のマーケティング評価をやる必要があります。高くてもある程度なら払ってもいいと思っている人がいるものです。それがどのぐらいの人数なのか。そういうことを調査していく必要があると思います。

#### ④普及に向けた支援策

最後にシステム全体にそういう技術を放り込み、普及したあかつきにどれぐらい入ってくるか。また、初期には導入費用が高くて、普及してくれば量産効果で安くなるわけですから、その量産効果まで含めた動学的な普及シナリオを作っていく必要があります。場合によっては初期のバリアを取り除くために政策的な支援を入れていくことが制度化される、あるいは、このぐらいの支援をすることが適切であるというような解が出てくる可能性もあるでしょう。支援としては、補助金もあるし、CO<sub>2</sub>削減プロジェクトに関して認証制度を設け、認証に受かったものに対して投資減税を与えていく、あるいは削減された温室効果ガスを排出権としてしかるべく政府機関が買い取るという策があると思われます。もちろん既存の太陽電池に対する補助金、あるいはRPSも1つの形であると考えております。

司会 ありがとうございます。それでは関連していかがでしょうか。

石井 今、松橋さんが言われたことにいくつかの感想があります。若い研究者、大学の先生方がものすごく忙しい。私すら忙しいです。私は実はお金を使う立場におりませんで評価の方にまわっていますが、それでも忙しい。その時に、評価の仕方、システムそのものは相当に工夫が要ると思います。それから、太陽電池や色々な自然エネルギーがどうしてもコスト的に化石エネルギーと対抗できないので、補助金を出すという話が出ております。そのとおりでありますが、私はもう少し別の方法があると思うのです。補助金を出すことが本当に正しいか。本当にエネルギーが節約できて、トータルとしてCO<sub>2</sub>の排出量が減るのだろうか。これは非常に重要なポイントだと思います。

もう1つ。自然エネルギーは必ず面積で自然を利用するという視点があります。地方から中央を見ますと、中央で考えることは集中的なものだけのようです。中央がいくら「地方を考える」と言っても、そうなっておりません。

やはり地方と中央と一緒に、よく相談して運営しないといけない。結局、自然エネルギーの利用とは日本列島を面積で活用すること

になりますから、広く活用するにはどうすべきかが問題です。それを解決するには自然科学、地政学的な視点が絶対必要です。例えば、今私は富山に住んでいますが、富山でどうすればそのようなプロジェクトが根づくかという視点が必要なのです。富山で根づけば他のところでも必ず根づきます。そういうタイプのプロジェクトは必ず雇用促進にもなります。つまり、地方の雇用促進策は橋や高速道路を作るだけではないわけです。公共事業投資ではありませんが、国民の税金の使い方を、そのようなインセンティブでやる、これはほとんど中央からは出てこない主張です。

司会 どうもありがとうございました。今日は、以上のような話題につきまして皆様方にまずは問題意識、また、ご理解を共有していただくという会であったと思います。時間も十分ございませんでしたので、また次回以降、焦点を絞りながら、より具体的なところに踏み込んだ会にしたいと思います。

パネリストの皆様方、どうもありがとうございました。また会場の皆様方、ありがとうございました。(拍手)

## 実用発電用原子炉廃炉技術調査\*



中村 雅 英 (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

現在、わが国の原子力発電は商業用原子炉52基、総発電設備容量約4,600万kWeを有し、国内総発電電力量の3分の1を超える電力を供給する基幹電源に位置づけられる重要なエネルギー源である。

今後とも基幹電源としての活用が期待される原子力発電ではあるが、1966年(昭和41年)の商業用原子力発電所の運転開始から既に30数年が経過しており、経済性の低下や寿命の到来など、様々な理由から近い将来運転を終了する原子力発電所が徐々に増えていくと予想されている。この運転を終了した原子力発電施設を解体撤去するなどの方法により安全な状態へ移行するための活動が廃止措置である。

運転を終了した原子力発電施設には、運転期間中に蓄積した放射能を帯びた機器が存在し、また、放射線遮へいや耐震性などの機能を満足するために堅牢な構造物、建屋が多い。廃止措置を進めるにあたっては安全の確保に対する考慮が重要であるとともに、多額の費用を要すると考えられる。1982年原子力委員会廃炉対策専門部会は、報告書「原子炉の廃止措置について」

の中で、推進されるべき対策として①解体と関連技術の向上、②安全性の確保、③資金面の対応策の確立、④廃棄物対策、⑤制度の整備の5項目が必要であると指摘している。

エネルギー総合工学研究所では、1983年から旧通商産業省(MITI、現経済産業省)の委託を受け、商業用原子炉の廃止措置に関して必要な技術、廃棄物の処理処分方法、法的規制、経済性などの事項について調査・検討を行い、廃止措置についての長期的な方針の策定や技術基準の確立などに必要な基礎資料とすることを目的として「実用発電用原子炉廃炉技術調査」(以下「廃炉技術調査」)を実施してきた。

この廃炉技術調査の検討内容、成果は国の総合エネルギー調査会などにおける検討へ反映され、廃止措置標準工程の策定や諸制度の制定などが行われた。

わが国では、日本原子力発電株式会社の東海発電所が1998年3月に営業運転を終了し、2001年12月には廃止措置に着手しており、商業用原子力発電所の運転終了、廃止措置は現実のものとなってきている。このような中、廃炉技術調査は、所期の目的を達成し、2003年3月に終了した。

\*本稿は2003年3月にまとめた実用発電用原子炉廃炉技術調査報告書から、廃炉技術調査の総括について内容を整理・加筆したものである。

本稿では、調査の実施内容とその成果について概要を紹介する。

## 2. 技術調査の検討項目

過去20年に及び実施してきた廃炉技術調査の検討項目は、その時々々の国における検討の進捗状況などに応じて多岐にわたっているが、実施内容によって以下の4項目に大別できる。

### ①シナリオに関する検討：

廃止措置方式、廃棄物量評価や経済性評価

などに関する検討

### ②手続きに関する検討：

廃止措置にともなう法的手続きに関する検討

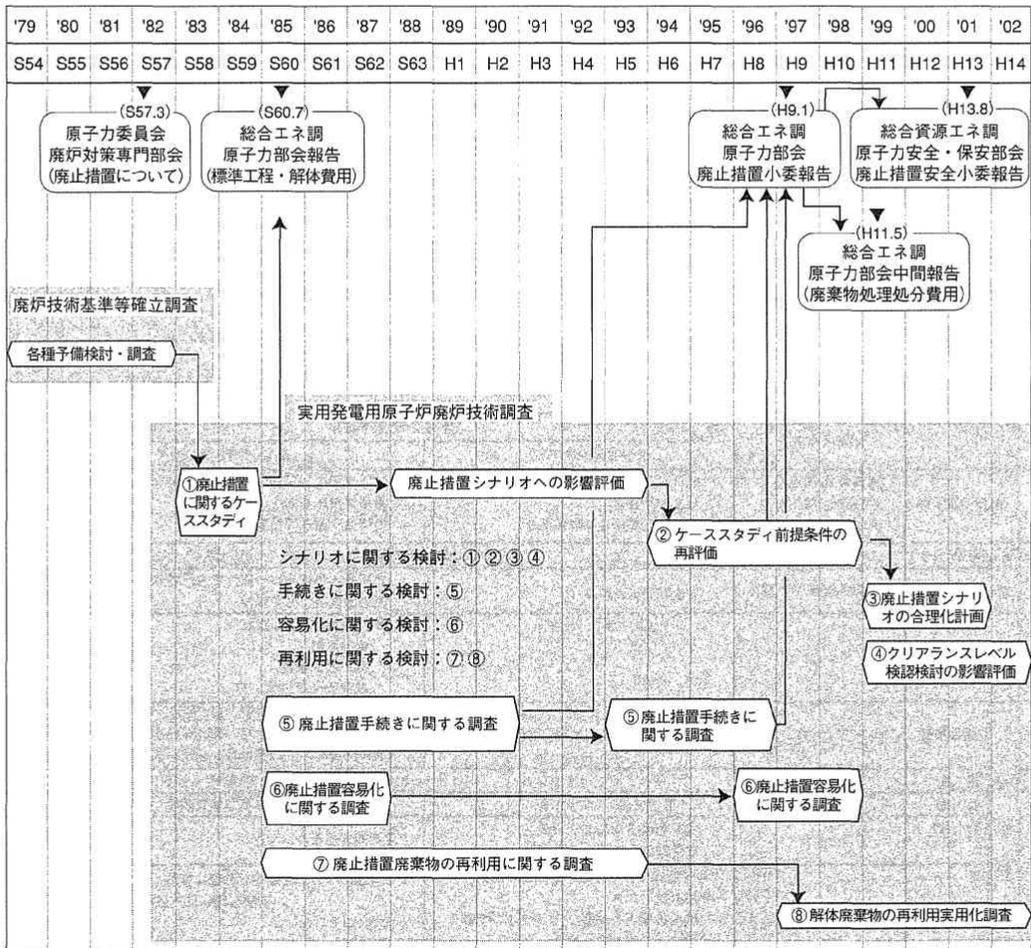
### ③容易化に関する検討：

廃止措置を容易に実施するための施設設計への考慮事項に関する検討

### ④再利用に関する検討：

廃止措置にともなう解体廃棄物の再利用（リサイクル）に関する検討

各検討について実施時期を図1に示す。



(出所：「実用発電用原子炉廃炉技術調査」平成14年度報告書を修正)

図1 「廃炉技術調査」の経緯



「安全貯蔵 - 解体撤去方式」は、「即時解体撤去方式」に比べ、安全貯蔵期間中に放射能が減衰すると期待でき、解体撤去時の作業員被ばく線量や放射性廃棄物量などの低減が図れるという利点があり、「即時解体撤去方式」は跡地の有効利用が早期に可能となる利点がある。

一方、廃止措置費用は、安全貯蔵期間の長短によって変動する。各方式で採られる様々な廃止措置シナリオによって、作業員被ばく線量、放射性廃棄物量、費用などが異なることが予想された。

## ② 実施したケーススタディ

「即時解体撤去方式」、「密閉管理 - 解体撤去方式」、「遮へい隔離-解体撤去方式」を対象に、わが国の標準的な原子力発電施設について廃止措置シナリオを評価するケーススタディを実施した。

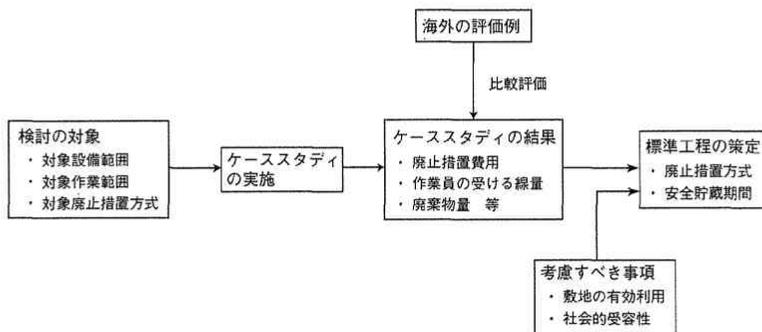
ケーススタディでは、標準的な原子力発電施設として110万kWe級軽水炉（BWR, PWR）および16.6万kWe級ガス冷却炉（GCR）を想定し、解体に多額の費用を要する原子炉建屋、補助建屋、放射性廃棄物処理建屋などを検討対象範囲とした。また、使用済燃料の搬出後の除染作業から安全貯蔵、機器・建屋の解体、

放射性廃棄物の処理までを廃止措置作業の範囲として、施設内に残存する放射能量、除染工法、解体工法と工数評価方法、廃棄物処理などを代表項目として評価を実施し、各廃止措置シナリオのわが国への適用性を比較している。

この成果は、MITIケーススタディとして総合エネルギー調査会原子力部会の検討に反映され、1985年7月、「密閉管理 - 解体撤去方式」をわが国における廃止措置の標準工程とし、密閉管理による安全貯蔵期間は5～10年とするのが適当であるとする報告書がまとめられた。

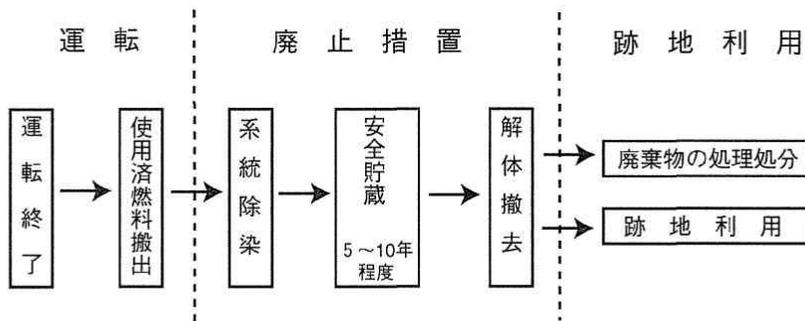
同報告書では、ケーススタディの結果として110万kWe級原子力発電施設の廃止措置に要する費用は約300億円と例示され、費用についての電気料金、企業会計および税制面での対策検討の必要性が提言されることとなった。また、約50～55万トンの廃棄物が発生することも示された。この多量の廃棄物の大部分は放射能を帯びていない放射性廃棄物として扱う必要のないものであり、合理的な区分値によって分別し通常の産業廃棄物と同様に取り扱い、再利用し得る方策の検討を図っていくことが必要であるとされた。

標準工程検討の流れを図2に、また、商業



(出所：「商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方について」総合エネルギー資源調査会原子力部会報告書（1985年7月）)

図2 標準工程検討の流れ図



出所：総合エネルギー調査会原子力部会報告書（平成9年1月）

図3 商業用原子炉発電施設の廃止措置の標準工程

用原子力発電施設の廃止措置標準工程を図3に示す。

なお、解体費用に関しては、1987年3月の電気事業審議会料金制度部会の答申内容を受けて1989年5月に原子力発電解体準備金制度が創設されるに至っている。

## (2) ケーススタディ前提条件の再評価 (1994~98年)

ケーススタディの実施後、放射能量や濃度区分値などが廃止措置シナリオへ及ぼす影響の検討を行っている。またこの期間は、国内において解体技術に関する研究開発が精力的に進められた時期でもあった。

(財)原子力発電技術機構（NUPEC）においては、廃止措置技術の向上を図り、安全性および信頼性を確証することを目的とした「実用発電用原子炉廃炉設備確証試験」が進められ、原子炉圧力容器など厚肉ステンレス構造物の切断技術や大径鉄筋を有する遮へいコンクリート切断・表層剥離技術などが開発された。

また、日本原子力研究所においても、炉内構造物の遠隔解体技術や解体システムエンジニアリングなどの解体技術開発が進められ、開発さ

れた技術を適用して動力試験炉（JPDR）の解体実地試験（1996年3月完了）が実施された。

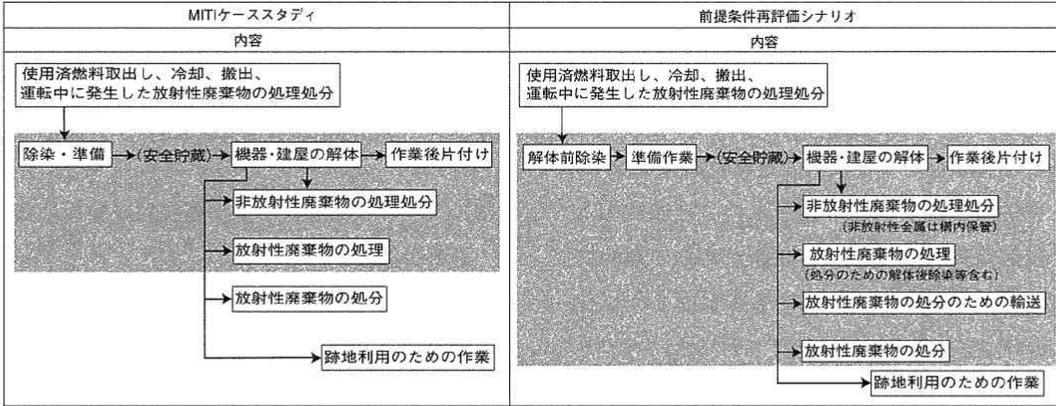
このような廃止措置技術の向上とともに、放射性廃棄物処分の検討・制度整備が進み、青森県六ヶ所村で低レベル放射性廃棄物の埋設事業が開始され一定の知見、見通しが得られたことから、廃炉技術調査では、これらの知見を廃止措置シナリオへ反映することを目的に1994年からケーススタディ前提条件の再評価に着手した。

まず、評価対象範囲に放射性廃棄物の処分を考慮した作業を追加した。具体的には、埋設処分時の放射能量低減のために行う解体後除染とセメント充てんなどの固型化処理、処分場への海上輸送を前提として施設構内岸壁までの輸送などである。評価対象範囲を表2に示す。

また、適用工法の検討、工数の算出にあたっては、JPDR解体実地試験の実績値やNUPEC廃炉設備確証試験で得られた除染技術や圧力容器切断技術などを採用して廃止措置シナリオを見直している。廃止措置シナリオ見直し整理の内容を表3に示す。

再評価の成果は、総合エネルギー調査会原子力部会の検討に反映され、「1985年に検討さ

表2 標準シナリオの評価対象範囲



■ : 作業の評価対象範囲

(出所: 「実用発電用原子炉廃炉技術調査」平成14年度報告書を修正)

表3 標準シナリオの整理

|            | MITIケーススタディ   | 前提条件再評価シナリオ  |
|------------|---|--|
| 廃止措置方式の考え方 | ①密閉管理方式、②遠へ隔離方式、③即時解体撤去方式及びそれらの組合せ(標準シナリオは「密閉管理-解体撤去方式」と設定)   | 安全貯蔵-解体撤去方式(密閉管理を安全貯蔵と呼称変更)  |
| 規模区分の考え方   | BWR,PWRについては、大規模、中規模、小規模に分類され、各々について評価するが、大規模を標準として標準シナリオを設定  |  |
| 経済性評価の前提条件 | 昭和59年当時に設定しうる、合理的前提条件   | 処理・処分に関する検討及びNUPEC等の検討状況を反映  |
| 代表的項目      | 放射能蓄積評価   | 残存放射能としては、原子炉停止時にプラント運転40年間、稼働率75%の蓄積放射能の平衡状態として評価<br>解体廃棄物の埋設処分時の安全評価を考慮に評価対象核種を追加  |
|            | 除染工法  | 広範囲な機器系統を対象に、主に化学除染法を用い、機械除染法を補助的除染法を補助的除染法として使用<br>(評価上の除染効果はDF=30を設定)<br>JPDR解体実地試験、NUPEC確認試験などの成果より、除染方法を選定<br>評価上の除染効果はDF=30と設定  |
|            | 解体工法及び工数評価方法  | 解体工法: 使用する技術は既に実証済あるいは近い将来開発され実用化させることが期待される技術<br>工数評価: 特殊機器については個別評価<br>一般機器については基準解体工数(人日/台)を設定して評価<br>解体工法: 左記に加え、特殊機器等については、NUPEC確認試験等での確認技術を適用<br>工数評価: 特殊機器については、NUPEC確認試験等の成果を踏まえ個別評価<br>一般機器についてはJPDR及び国内火力発電所実績を踏まえ基準解体工数評価式を策定 |
|            | 解体後除染   | 考慮せず<br>NUPEC確認試験成果を基に追加   |
|            | 廃棄物処理   | 解体廃棄物を貯蔵容器に収納するまでの作業を設定<br>解体廃棄物を、容器等に収納し、処分可能な状態までの処理作業を設定  |
| 解体廃棄物量評価結果 | 廃棄物レベル区分を、英国Harwell研究所の区分に応じ、A,B,C,Dレベル区分に分類、10 <sup>-4</sup> Ci以下を一般物と区分<br>廃棄物処分動向を踏まえ、廃棄物処分区分を設定し(区分値は核種毎に設定)物量を集計 |  |

(出所: 「実用発電用原子炉廃炉技術調査」平成14年度報告書を修正)

れた標準工程に沿って廃止措置を実施することは十分可能で、標準工程の妥当性は損なわれておらず特段の変更は要しない」とした廃止措置対策小委員会の報告書が1997年1月にまとめられた。

その後、原子力部会での検討が進められ、1999年5月放射性廃棄物の処理、輸送、処分などの費用を110万kWe級軽水炉で約180~190億

円とする報告書がまとめられるに至っている。

(3) 廃止措置シナリオの合理化評価  
(1999~01年)

原子力部会報告書に放射性廃棄物処分費用が示されて以降、NUPECなどで進められた合理化検討の成果を廃止措置シナリオへ反映した場合の影響評価を行った。

NUPECなどで検討された合理化項目である原子炉压力容器の機械的切断方法の検討など15項目を対象に、廃棄物発生量、作業員被ばく線量、工数、費用を評価した。また、複数の合理化項目が同時に適用されることを考え、各合理化項目をその技術の達成時期によって、比較的短期間に実現可能なもの、技術的あるいは制度的に解決すべき課題があり中期的に実現可能なもの、長期的なものにグループ化し、グループ毎に廃止措置シナリオに対する合理化の影響の程度を評価した。

#### (4) クリアランスレベル検認検討の影響評価 (1999～02年)

ケーススタディ前提条件の再評価の実施後、放射性廃棄物と放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物を区分する「クリアランスレベル」や測定や計算によってクリアランスレベル以下であることを確認する「クリアランスレベル検認」に関する検討が原子力安全委員会などで進められた。

この間、廃炉技術調査では原子力安全委員会における検討の動向などを廃止措置シナリオへ反映した場合の影響評価を実施した。

##### (a) クリアランスレベルを反映した解体廃棄物量などの整理

ケーススタディ前提条件の再評価では、放射性廃棄物と放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物の区分値として、国際原子力機関(IAEA)の技術文書「TECDOC-855:固体状物質に含まれる放射性核種のクリアランスレベル」の記載を参考として主要核種ごとに設定した値(Co-60で0.3Bq/g)を用いて、放射能レベルごとの廃棄物量を評価した。

また、1999年3月原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会から、主な原子炉施設におけるクリアランスレベルが示され、これに基づき主要核種ごとの値(Co-60で0.4Bq/g)を用いて廃棄物量を再評価した。

##### (b) クリアランスレベル検認検討成果などの影響評価

1999年から原子力安全委員会の原子力安全基準専門部会クリアランス分科会(旧「放射性廃棄物安全基準専門部会クリアランスレベル検認WG」)で「主な原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方」の検討が進められ、検討内容から、検認方法、手順の如何が廃止措置シナリオに大きな影響を与えることが懸念された。このため、専門部会で検討が進められていた検認の考え方に基づき13の「個別影響項目」を抽出し、項目ごとに工数、工期、費用などへの影響を評価した。

さらに、2002年3月(財)原子力環境整備促進・資金管理センターで「クリアランスレベル区分マニュアル(案)」がまとめられ、同マニュアルを踏まえ、具体的な検認方法、手順などの作業を仮定した「検認ケース」を設定し工数、工期、費用などへの影響を評価した。

これらの影響評価の主な結果を表4に示す。個別影響項目評価では最大で約30%の費用増加が見込まれる結果となったが、「検認ケース」を設定した場合には費用増加が約3～8%となった。これは検認作業をどう具体化するかによって廃止措置の工数、費用などが大きく異なることを示唆するものであり、今後、合理的なクリアランス検認方法・運用方法の具体化を検討することが重要であるとしている。

表4 クリアランス検認検討成果の影響評価結果（抜粋）

| 評価ケース                           |  | BWR        |                   |         | PWR        |                   |         |
|---------------------------------|--|------------|-------------------|---------|------------|-------------------|---------|
|                                 |  | 放射線下<br>工数 | 工期                | 費用      | 放射線下<br>工数 | 工期                | 費用      |
| 個別<br>影響<br>項目<br>の<br>評価<br>結果 | 機器・配管の半割<br>特徴：検認のために、機器・配管を半割し内面を露出させる作業を見込んだケース                    | 46.5%増加    | 標準工程と同等<br>(影響なし) | 22.4%増加 | 23.0%増加    | 標準工程と同等<br>(影響なし) | 10.7%増加 |
|                                 | 測定単位の変更<br>特徴：検認のために機器・配管の切断サイズを小さくする作業を見込んだケース                      | 67.8%増加    | 標準工程と同等<br>(影響なし) | 32.8%増加 | 25.4%増加    | 標準工程と同等<br>(影響なし) | 12.1%増加 |
|                                 | 検認ケース設定の場合<br>特徴：クリアランス区分マニュアル(案)で示されている区分分類を参考に検認方法・手順などの作業を仮定したケース | 14.1%増加    | 9.0%増加            | 7.7%増加  | 6.7%増加     | 10.6%増加           | 2.8%増加  |

(出所：「実用発電用原子炉廃炉技術調査」平成14年度報告書を修正)

#### 4. 手続きに関する検討

「廃止措置手続きに関する調査」(1985～96年)については、廃炉技術調査の開始当初から、欧米における法規制の動向調査を行い、さらに、その後に提出された日本原子力研究所のJPDRや原子力船「むつ」の解体届などの国内法手続きの状況調査を行って、国内外の法規制を比較対照することにより、商業用原子炉廃止措置の法手続きについて、その課題と方向性を検討した。

この成果は、原子炉廃止措置対策小委員会の検討に反映され、1997年1月の報告書で、廃止措置における安全確保の手順の明確化が謳われている。

#### 5. 容易化に関する検討

「廃止措置容易化に関する調査」(1985～87年)を行った。国内外の文献調査により容易化項目を抽出し、国内でのプラント対応状況を調査するとともに、抽出した項目の具体的

な仕様検討、メリット/デメリットについて比較検討した。また、費用、被ばく量、廃棄物量について評価を行うとともに、新規施設への反映推奨項目をまとめた。

さらに、1996～98年に、IAEA Technical Report (1995年:ドラフト版)に基づいて、容易化項目の施設設計への反映状況について調査するとともに、未反映項目については、反映の要否や費用、被ばく量、廃棄物量などについて概略評価などを行い、容易化効果の有無を示した。

検討結果については、今後の原子力発電施設の設計・建設や既存施設へ反映の一助となると考えられているが、反映にあたっては、施設ごとにより詳細な容易化効果の評価検討が必要であるとしている。

#### 6. 再利用に関する検討

##### (1) 廃止措置により発生する廃棄物の再利用に関する調査 (1985～93年)

廃棄物の再利用について、1985年7月の原

子力部会報告書は再利用方策の検討が必要であると指摘している。

廃炉技術調査では、1985～93年に通常の産業廃棄物における再利用の現状調査と廃止措置によって発生する廃棄物の再利用システムの検討、再利用の経済性評価、課題の抽出を行った。

再利用対象の廃棄物は、除染などによって非放射性廃棄物となることが期待できる汚染金属廃棄物、非放射性廃棄物として多量に発生するコンクリート廃棄物とした。当時はクリアランスレベルの考え方が確立されていなかったため、放射性廃棄物と非放射性廃棄物の区分値を $10^4\text{Ci/ton}$ に設定し検討を行った。

汚染金属廃棄物については、除染した後、溶融によって加工素材として再利用製品化し、市場へ供給するプロセスを検討した。コンクリート廃棄物は、破碎の後、路盤材や埋立材を製造するプロセスを検討した。

廃止措置にともなう廃棄物は、大量に発生することが特徴ではあるが、一時期に発生するものであり、スクラップとして溶融・再利用製品化プロセスの経済的成立性の観点からは発生量が少なく、むしろ複数プラントから排出される廃棄物の処理施設の集約化が必要であることが示された。

## (2) 解体廃棄物の再利用実用化調査

(1997～02年)

1997年1月の原子力部会報告書では、原子炉の廃止措置にともない発生する解体廃棄物について、適切な処分の実施を大原則としながらも、環境負荷の低減、資源の有効利用の観点から再利用が技術的に可能で、かつ合理的なものについては有効利用を図っていくことが重要である

ことが示された。このため、わが国においてもその具体的推進方法を検討するとともに、原子炉設置者自ら実績を積み重ねるなどにより、国民の理解を得つつ廃棄物の有効利用を進めていくことが重要であるとしている。

これを踏まえ、「解体廃棄物等の再利用実用化調査」を実施して、廃止措置にともない発生する解体廃棄物などの有効利用を進めていくための基礎的検討を行い、再利用の実施に必要な施策などを明らかにした。さらに、施策の実効性を高めるために、再利用実用化に向けて段階的に再利用を進める経過措置を経ることにより再利用環境を整えるための施策を立案した。

### (a) 産業界におけるリサイクル動向調査

廃炉技術調査では、通常の産業廃棄物の再利用事業化の取り組みの進展とそれに対応する新たな法規制、技術基準などの施行・運用といった近年の動向を踏まえ、クリアランスレベル以下の廃棄物の再利用方策の具体化検討に資するため、産業廃棄物を中心とした再利用に係る規制動向、再利用事業動向などについて調査を行った。

2000年の「循環型社会形成推進基本法」「建設リサイクル法」などの整備により、建物などの解体工事で発生する建設副産物や廃家電など産業廃棄物の再利用を図る上での制度的前提条件はほとんど明らかになってきたこと。さらに、輸入鉄スクラップへのRI線源混入事故の発生などにもない、社会的な監視が強化されることはあっても緩和されることはない状況であり、廃棄物の排出・再生・利用の各事業者は法の遵守に加え、より積極的な自主的取り組みが求められていること。産業廃棄

物の不法投棄防止を目的に運用されているマニフェストなどと同等の物品移動管理が鉄スクラップを対象にして日本鉄リサイクル工業会を中心に自主的に運用されるなどの例があることが判明した。

廃止措置にともなう廃棄物に対しても、産業廃棄物、スクラップに準じた自主的な取り組みを積極的に進めることが必要であることを示している。

#### (b) クリアランスレベル以下の廃棄物を対象とした再利用具体化方策検討

クリアランスレベル以下と判断された廃棄物は、スクラップの流通経路を経て再利用あるいは廃棄物として処分して問題のないものである。しかし、廃止措置によって排出される廃棄物は、発生源が原子力発電施設であるために社会的には容易に受け入れられないと予想される。

一方、前項の動向調査で明らかな通り、スクラップ流通において発生源管理的な制度導入の動きや、有害廃棄物の処分規制強化の動きなどがある。また、原子力安全委員会原子力安全基準専門部会がまとめた「主な原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方」（2001年7月）では、検認の終了した対象物について、検認結果の記録とともに搬出先の把握などが必要であると述べられている。

このような状況を踏まえて、クリアランスレベル以下の廃棄物を無条件に既存の流通経路に送り出さず、一定の発生源管理を課して再利用を実証し、産業界における規制の状況などを見ながら徐々に合理的な発生源管理へ移行する経過措置を成立させるための条件、事業者のとるべき施策などについて検討した。

排出者である電気事業者は、発生者責任の一端を担う事業者として、施設内における管理などを確実に実施し、事業者内関連施設での再利用を積極的に推進するなどの実績を通して広報活動を展開し、クリアランスレベル以下の廃棄物の再利用についての理解を得ていく必要性が示されている。また、発生源管理の方法などについては、事業者関連施設外においても確実に実行でき、かつ合理的管理へ移行できるよう、社会的情勢を反映させたものとしていくことが求められている。

再利用処理業者は、既存の溶融・再利用製品化プロセスの工程管理、取扱方法などを参考にしつつ、発生源を確実に特定でき、かつ合理的管理へ移行でき得る工程内管理方法などを確立することが必要であると考えられている。

また、クリアランスレベル検認後の物品を対象としているため、基本的には原子炉等規制法の範囲外であるが、国などにおいても、再利用推進およびクリアランス制度の実効性補助のために、再利用製品使用に対する広報活動の実施を図ることが求められている。

なお、コンクリート解体物の再利用にあたっては、発生量が大量であり、輸送費が高むことなどから、金属スクラップと異なり、再利用製品の需給に配慮した施策の必要性が示されている。

#### (c) 放射性廃棄物を対象とした再利用具体化方策検討

放射性廃棄物の再利用製品として、放射性廃棄物を収納する処分容器や廃棄体充てん材としての利用、遮へい材としての利用を想定した。これらについては、再利用製品化プロセスから製品の使用まで一貫して通常の流通

経路との接点はないと考えられることから、製品化プロセスおよび制度面から実施上の課題と必要な施策案を検討した。

処分容器、充てん材としての再利用においては、収納する放射性廃棄物と一体となった処分体の放射能組成や放射能レベルが埋設処分のための一定の条件を満たすこと、また、遮へい材としての再利用では機能確保の観点から内蔵放射エネルギーの制限条件を満たすことが、それぞれ必要であり、再利用対象物の放射能組成や放射エネルギーを事前評価し、収納廃棄物とのバランスが最適になるように選定する製品化プロセスを確立することが重要であるとしている。

このため再利用対象物の種類、成分、量、形態などのデータに基づき、適正管理下で計画的に製品化されていることを示すプロセスが必要である。また、同時に、適切な分別基準、混入防止方策を整備し、これらによって再利用製品の品質管理が確実におこなわれる再利用製品化プロセスとすることが求められている。

さらに、放射性廃棄物の再利用では、法規制上の整備を進めることが必要であり、特に原子炉等規制法上における放射性廃棄物再利用に係る放射性廃棄物の定義や処分関連用品以外の遮へい材などの再利用製品化について事業の位置付けなどを明確にすることが重要である。また、放射性廃棄物再利用製品の用途は限定されることから、需要を広範に求めることも必要であり、各種の原子力施設やRI施設間相互の再利用が合理的に行えるよう法規制・技術基準の整備を進めることを求めている。

## 7. 謝辞

20年間に及んだ廃炉技術調査は、学識経験者をはじめ各界の専門家を委員とする委員会を研究所内に設置し検討を進めた。長年にわたる経済産業省のご指導と、ご協力を頂いた歴代委員各位に対し、ここに深く感謝の意を表する。

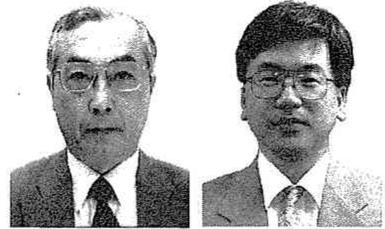
### 参考文献

- (1) 原子力委員会廃炉対策専門部会報告書「原子炉の廃止措置について」昭和57年3月16日
- (2) 総合エネルギー調査会原子力部会報告書「商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方について」昭和60年7月15日
- (3) 総合エネルギー調査会原子力部会原子炉廃止措置対策小委員会報告書（平成9年1月）
- (4) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会「主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて」平成11年3月17日
- (5) 総合エネルギー調査会原子力部会中間報告「商業用原子力発電施設解体廃棄物の処理処分に向けて」平成11年5月18日
- (6) 電気事業審議会料金制度部会中間報告「解体放射性廃棄物処理処分費用の料金原価上の取扱いについて」平成11年8月31日
- (7) 原子力安全委員会原子力安全基準専門部会「原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について」平成13年3月14日
- (8) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃止措置安全小委員会「実用発電用原子炉施設の廃止措置に係る安全確保及び安全規制の考え方について」平成13年8月2日

## MGT排熱を利用した デシカント空調システムの開発

床 井 一 郎 (三菱化学エンジニアリング(株) 理事)

中 西 健 二 ( (財)エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 主任研究員 )



### 1. はじめに

近年、マイクロガスタービン (MGT)、燃料電池 (FC) 等、比較的容量の小さい分散電源に関する研究開発が行われ、実用化も進んでいる。これらは電気と熱が供給できるマイクロコージェネレーションシステム (MCGS) として民生分野に広く普及・導入されることが期待されている。しかし、これらMCGSから供給される熱は給湯レベルの温熱に限られ、実際には高いエネルギー効率を得られているとは言えない。わが国では冷熱需要が大きいことから、夏期の空調負荷にMCGSの排熱を利用できるシンプルな省エネルギー装置を開発し、夏期を含めた通年の利用効率上げることが望まれていた。そこで我々は、小型分散電源の排熱を回収し、冷房、暖房、給湯など広い需要範囲へ対応可能な高い省エネルギー性を持つコンパクトなシステムを開発することを目指した。

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「エネルギー使用合理化技術実用化開発」(平成12年度～14年度まで) の共同研究テーマとして、NEDO、(財)エネルギー総合工学研究所、三菱化学エンジニアリング(株)がMGT等の高温排熱(約250～280℃)をそのまま回収し除湿空調や冷房等に利用できる新しい

タイプのデシカント空調技術を開発し、実用化の目処をつけた。ここではその実用化研究について報告する。

### 2. デシカント空調とは

本研究においては、利用面で制約の多いMGT等、分散電源の排熱を冷熱に変換し利用するシステムの開発が重点課題である。

デシカント (desiccant) とは乾燥剤のことである。このデシカント材を使用して空気中の水分を吸着除去して乾燥空気を作り、その吸着熱で温度の上った乾燥空気の顕熱を冷却した後、水噴霧すればその気化熱で温度が下がり、冷気が得られる。

#### [従来方式のデシカント空調システム]

従来方式はロータリー (回転) 式で、除湿・再生・冷却の3ゾーンにデシカント材が組み込まれたローターが一定速度で回転する。回転に応じてゾーンが順次移っていき、あたかも連続的に乾燥空気 (水噴霧後冷気となる) が得られる仕組みになっている。そこでは清浄でない排ガスによる汚染の問題、水分吸着量の限界という問題のため、乾燥度にも制限があるという難点がある。

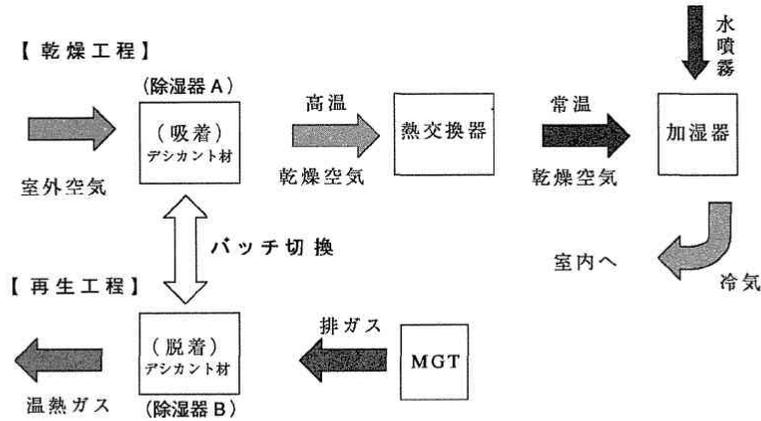


図1 新方式のデシカント空調システムの原理

[新方式のデシカント空調システム]

本研究で開発した新方式では、一方でデシカント材によって空気中の水分の吸着除去を行い、他方で吸着したデシカント材をMGTからの排熱利用で脱着（再生）し吸着性能を回復させる。これをバッチ的に繰り返して連続的に冷気を得ようというわけである。新方式システムの特徴は、排ガス間接触型、バッチ切換、除熱吸着方式であり、特に除熱吸着方式の採用によって水分吸着能力が大きくできる点が長所である。この原理を図1に示す。

[冷却コイル方式]

一般的な冷気発生は、吸収冷凍機等を使用して冷水を作り、冷却コイル方式で冷気を得る方式である。しかし、過冷却による冷気発生であるため、省エネルギーの面では必ずしも得策ではない。

この3つのシステムの冷気発生プロセスを図2に示す。新方式では、冷却コイル方式と違って、温度、湿度が独立して調整でき、ロータリー方式よりも乾燥度の高い空気が得られ効率的に冷気を得ることができる。

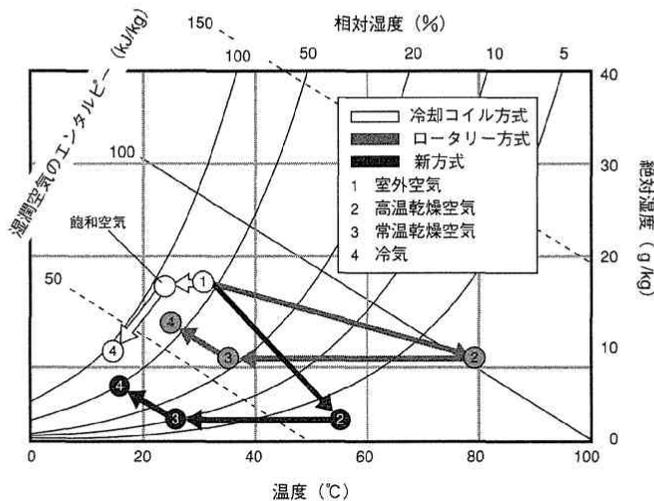


図2 3つのシステムの冷気発生プロセス比較

効率面で優れていても、コストパフォーマンスおよび性能が確保維持されなければ意味はない。そのためには、高い除湿性能を有する実用的なデシカント材の開発が第1のポイントであり、その材料を使用した新方式のデシカント空調システムの開発が第2のポイントである。さらに、MGTを含めたトータルの空調システムとしてコスト、性能が既存システムと競合できることが第3のポイントである。この3点について、開発の経緯と共に以下に述べる。

### 3. 研究開発の概要

#### (1) デシカント空調材料の開発

1サイクル間で水分吸着量をいかに大きく取れるか、つまりデシカント材の再生後と吸着後の吸着幅を大きく取れるかということが重要である。吸着後の吸着量が大きくても再生後の残存水分量が大きくては互いに相殺してしまい意味がない。できるだけ低温で再生でき、吸着能力(吸・脱着幅)の大きいことがデシカント材の性能として要求される。次に、吸・脱着のヒートサイクルに耐える耐久

性(デシカント材の長寿命化)が必要である。最後がコストパフォーマンスつまり実用化のための大量製法の確立と低コスト化である。

これらの点を考慮して、デシカント材の有すべき目標を設定した。その目標は次のとおりである。

- ①低湿度領域でゼオライト並(相対湿度20%で0.2kg/kg-デシカント材)、高湿度領域でシリカゲル並(相対湿度60%で0.3kg/kg-デシカント材)の水分吸着量を有する。
- ②脱着温度はできるだけ低温とする。
- ③コストは従来材料並、また寿命はMGTと同等以上とする。

これらの内、①を重視して開発に取り組んだ。デシカント材の合成に当たっては70種以上の合成試験を行い、粉体レベルの吸着試験を経て、粉体・バインダーの成型加工後のデシカント材(以後、「MEC-1」)が当初目標を上回る水分吸着性能を有することを確認できた。その吸着性能を図3に示す。

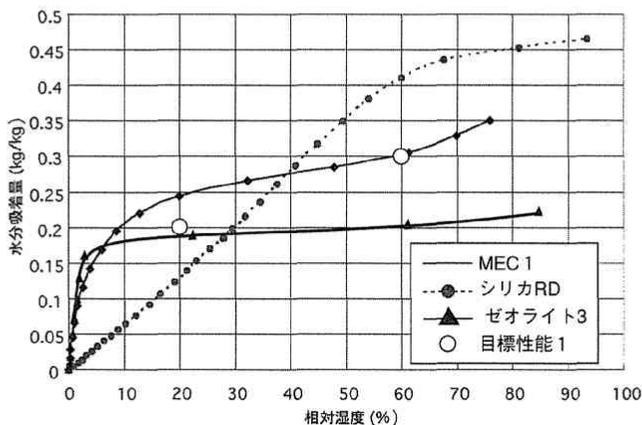


図3 MEC1と既存吸着材の吸着等温線

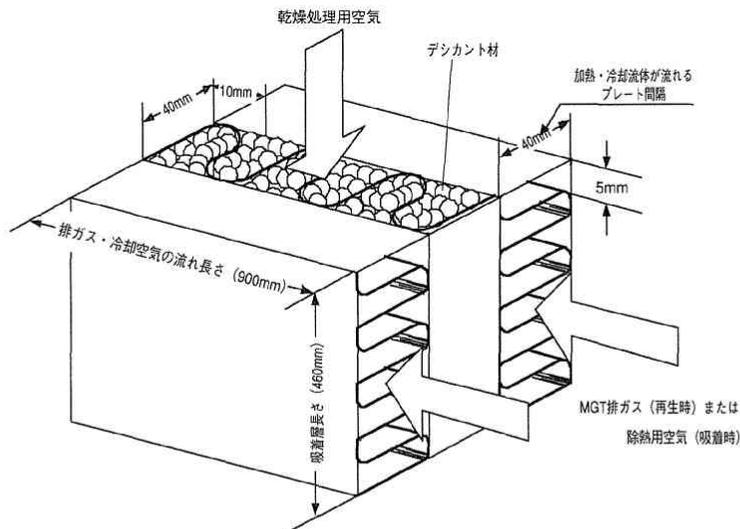


図4 除湿器内部の構造の模式図

「MEC-1」を使用して、30kW級MGTの排ガスに対応したデシカントユニットの性能試験を行い、冷房COP（成績係数）等の性能が当初目標を満たしていることも確認できた。

②は①と並行して取り組んだ。低い排熱を利用し低温再生可能（冷房COPを高める）で、既存の材料より水分吸着量が多い（冷房能力を高める）デシカント空調材料の開発を目指した。ラボスケールの粉体レベルでは有効なデシカント材の目処はついたが、実用化するには更なる検討が必要であると考えた。

また、③の内、寿命については、排ガス温度300℃以下を前提に従来材料と比較した加速劣化試験を行い、初期劣化後は20%程度の性能低下範囲で収まる見通しが得られた。コストについては、大量製法の検討で従来材料とほぼ同等で製造できる目処もついた。

## （2）新方式デシカント空調システムの開発

「MEC-1」を使用し新方式のデシカント空調システムの開発を行った。新方式では排ガ

ス間接触と除熱吸着を目指して、アルミ製プレートフィン熱交換器を使用する2塔切換のバッチ式システムとしている。簡単な構造を図4に示す。

新方式システムでは、吸着性能を高めた除熱吸着方式で低湿度空気が得られるため、20℃以下の冷気供給が容易になると期待できる。また、プレートフィン熱交換器を使用した除湿器はコンパクト化のため、構造的には複雑になるがクロスフロー方式とした。さらに、MGT排ガスがデシカント材に直接接触しないため、排ガスの圧力損失をかなり低く抑えることができる。あわせて、デシカント材は排ガス組成の影響を受けないので、従来方式よりも広い範囲の排ガスに適用できる。

上述の点を踏まえ、本システム開発の目標を次の通りに設定した。

- ①冷房機能を備え、
  - ・冷房COP\* > 0.6
  - ・ユニット通風抵抗：100mmAq以下
- ②給湯が可能

\* 冷熱量をデシカントユニットに伝達された有効排熱量で除したもの。

冷房性能は、デシカント材の性能とそれを活かすプレートフィン熱交換器の伝熱特性で決まる。図4のデシカント材が充填されている乾燥処理用空気層とMGT排ガス・冷却用空気（除熱空気）層間の伝熱特性を向上させること、クロスフロー構造で生じる熱偏流を極力緩和させ温度不均一分布を減らすことが構造面で重要になる。そのため、プレートフィン熱交単段の試験を経て、30kW級MGTの排ガス量に対応した実機サイズ試験装置による実機テストを行い性能向上に努めた。

実機サイズ試験の状況を図5に示す。この試験により、バッチサイクル時間と除熱空気量の最適値を求め、実用機の除湿器の設計を行った。その結果を表1に示す。この表に示すように、実機サイズ試験で冷房COPは0.73を達成し、排ガス通風抵抗は10mmAq程度を確認でき、共に当初目標を達成することができた。また、再生時にデシカント材から脱着

したパージスチームの熱回収で給湯が可能で、後述の給湯COPの性能向上に寄与することも確認できた。

### (3) MCGSトータルシステムの構築

プレートフィン熱交換器を使用した除湿器と30kW級MGTと組み合わせたデシカント空調システム実用機の試設計を行い、発電、冷・

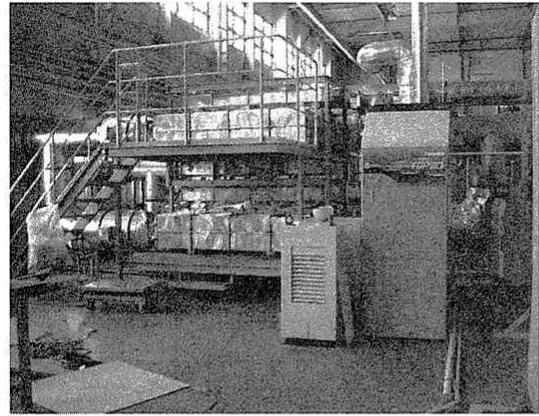


図5 実機サイズ試験装置

表1 実機サイズ試験結果と試設計値

| 機器       | 項目      | -                    | 基本設計値                | 実機サイズテスト |        | 実用機(設計値) | 参考値(※3) |      |
|----------|---------|----------------------|----------------------|----------|--------|----------|---------|------|
| サイクル時間   |         | [min]                | 60                   | 60       | 45     | 45       | -       |      |
| 除湿器      | デシカント仕様 | -                    | 除熱型熱交換器              |          |        |          | ロータリー式  |      |
|          | 除湿材タイプ  | -                    | MEC-1                |          |        |          | ゼオライト系  |      |
|          | 除湿材量    | -                    | 290                  | 195      | 195    | 195      | -       |      |
|          | 処理空気    | 空気流量                 | [kg/h]               | 3700     | 3380   | 3420     | 3400    | 5470 |
|          |         | 温度                   | [°C]                 | 33       | 34     | 34       | 33      | 33   |
|          |         | 入口                   | 相対湿度 [%RH]           | 60       | 54     | 55       | 60      | 60   |
|          | 出口      | 絶対湿度                 | [g/kgDA]             | 19.1     | 18.7   | 18.7     | 19.1    | 19.1 |
|          |         | 温度                   | [°C]                 | 55       | 63     | 60       | 55      | 80   |
|          |         | 相対湿度                 | [%RH]                | 7.0      | 2.6    | 1.2      | 1.8     | -    |
|          | MGT排ガス  | 絶対湿度                 | [g/kgDA]             | 6.8      | 3.6    | 1.4      | 1.7     | 9.0  |
|          |         | 吸着量(※1)              | [kg/kg]              | 0.20     | 0.25   | 0.21     | 0.21    | -    |
|          | 除熱空気    | 空気流量                 | [Nm <sup>3</sup> /h] | 10000    | 9500   | 9400     | 3000    | -    |
| 入口温度     |         | [°C]                 | 33                   | 34       | 34     | 33       | -       |      |
| 出口温度     |         | [°C]                 | -                    | 45       | 44     | -        | -       |      |
| 冷房能力(※2) | 排ガス流量   | [Nm <sup>3</sup> /h] | 800                  | 800      | 800    | 800      | 800     |      |
|          | 温度(平均)  | [°C]                 | 280/82               | 280/89   | 280/76 | 280/76   | 281/52  |      |
| 冷房COP    | []      | 0.60                 | 0.73                 | 0.74     | 0.73   | 0.61     |         |      |

※1 吸着量は湿度計により算出  
 ※2 冷却時間を一律5分と設定  
 ※3 平成13年度 NEDO 研究開発成果報告書(8.3.1項)より抜粋

暖房，給湯機能を有するマイクロコージェネレーション・トータルシステムを構築した。ここで当初設定した開発目標は以下のとおり。

- ①デシカントCOP>1  
(デシカントCOP=冷房COP+給湯COP)
- ②コンパクト性(ユニット重量制限を含む)
  - ・ユニット据付面積：30kW級MGTで駐車スペース1台分(10m<sup>2</sup>)以下
  - ・ユニット重量：2トン以下

実機サイズ試験とデシカントユニット部の試設計結果を基にMCGSトータルシステムを構築し，性能見通しを得た。その結果を実用機システム仕様として表2に，また全体のエネルギー収支状況を図6に示す。デシカントCOP>1という目標は達成できた。

次に，MCGSトータルシステムの装置全体のイメージを図7に示す。この実用機システムは，縦5m，横2m，高さ2.3m，ユニット重量約2トンで，目標とする駐車スペース1台分に相当し，共に②のコンパクト性の目標

表2 実用機システムの仕様

|                   | 夏期             |            | 冬期           |            |
|-------------------|----------------|------------|--------------|------------|
|                   | 冷房             | 給湯         | 暖房           | 給湯         |
| インプット(外気/上水)      | 33°C、60%RH     | 25°C       | 0°C          | 25°C       |
| アウトプット<br>(空気/温水) | 温度             | 16°C、47%RH | 70°C         | 30°C、30%RH |
|                   | 流量             | 3400 kg/h  | 760 kg/h     | 3400 kg/h  |
| 能力                | 44.2 kW        | 39.7 kW    | 39.9 kW      | 25.7 kW    |
| COP               | 0.73           | 0.65       | -            | -          |
| デシカントCOP          | 1.38           |            | -            |            |
| 補機動力              | 1.2 kW [ 3.4 ] |            | 0 kW [ 2.2 ] |            |
| 利用エネルギー/燃料        | 1.07           |            | 0.91         |            |

(注) []内は処理空気ブロー動力を加算した値  
利用エネルギー=発電量+冷暖房能力+給湯能力-補機動力

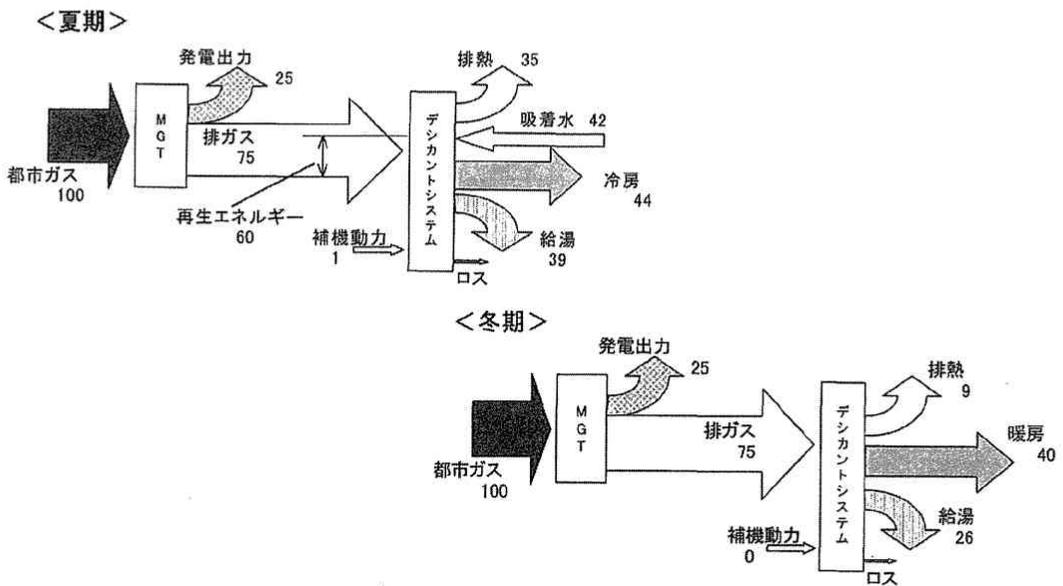


図6 実用機システムのエネルギー収支

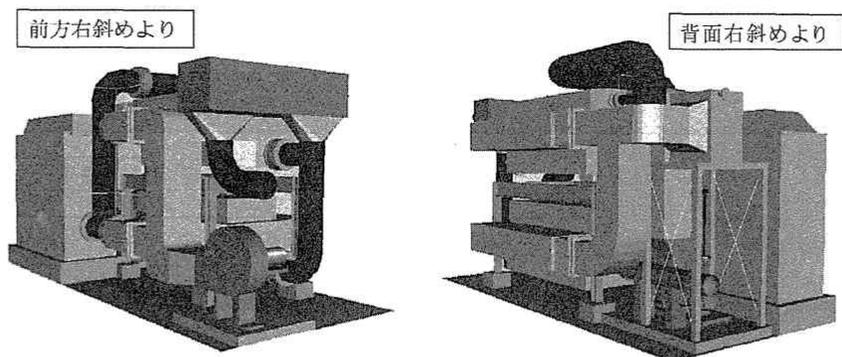


図7 デシカント空調システムの概観（実用機システムのイメージ）

をクリアした。最後に当初設定した目標が達成できて性能が発揮されても市場性、経済性がなければ意味がない。この実用機システムのコスト試算を行い、数量効果を考慮すると経済的に成り立ちうる事が確認できた。なお市場性、導入効果等は次項で述べる。

#### 4. マイクロコージェネレーションの導入可能性、導入効果等の調査

エネルギー総合工学研究所では、デシカント空調MCGSについて、その市場性を評価し、同技術が開発・導入された場合の導入効果を調査した。実施した主な内容は、①小型分散型電源の排熱特性を調査し、デシカント空調への適用可能性を評価すること、②デシカント空調MCGSの導入が有望な分野を検討すること、また、モデル需要家へのMCGS導入シミュレーションを行い、経済性、省エネ性を試算することで、有望業種の潜在需要規模、導入効果を定量的に推定すること、の2つである。以下に調査結果を紹介する。

##### (1) 分散電源排熱の適用性調査

小型分散電源の排熱特性を調査し、デシカ

ント空調への適用性について評価を行った。対象の分散型電源は、MGTの他、ガスを燃料としたガスエンジン（GE）、りん酸形燃料電池（PAFC）、固体高分子形燃料電池（PEFC）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）について調査した。

ガスを燃料とした分散型電源排ガスのデシカント空調機への適用条件は、主としてアルミ製熱交換器の耐熱特性（250～270℃）の制限による温度条件であり、300℃程度以下であることが条件となる。

適用性の調査結果として、MGTが排ガス温度が適温であり、デシカント再生に利用可能な排熱量が多く、デシカント空調との組合せに、最も適しているものと評価した。

GEについては、直接の排ガスは温度が高いため、そのまま使えないが、外気と混合もしくは、コージェネとして熱回収した後の排ガスを使うことで適応は可能であると考えられる。

低温型の燃料電池PAFC、PEFCでは、デシカント再生に使える排熱の温度が低く、排熱量が少ないこと、また現状では、コストが高いため、市場性のあるデシカント空調MCGSの開発は難しい。

表3 デシカント空調MCGSの用途・分野

| デシカント空調MCGSの特徴【長所】  | 導入が予想される用途・分野                                   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>従来の空調機より、高乾燥度が得られる。</li> <li>湿度のコントロールが可能</li> <li>除湿の熱源として、低級な排熱の利用が可能</li> </ul> | 工業用空調機（低湿）、減湿装置                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>潜熱処理が効率的に行える。外気交換に有利（潜熱負荷を従来空調システムより少ないエネルギーで処理できる。）</li> </ul>                    | <b>外調機：</b><br>一般空調、工業用空調に幅広く適用、特に換気量を多く要するところ。 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>電力・冷房と同時に給湯利用が可能</li> </ul>  | 年間を通して、給湯需要のある需要家                               |

高温型の燃料電池SOFCは、発電効率が最も高くまた、排ガス温度（空気予熱による排熱回収の後）が、適応条件に合っており、コストの見通しが不明確であるものの、将来的には、有望な組み合わせであると考えられる。

(2) デシカント空調導入可能性調査

[デシカント空調MCGSの特徴と用途・分野]

デシカント空調システムの特徴と、それを活かして、どのような用途・分野に導入されるかを推測した。結果を表3に示す。

用途としては、従来の冷却コイル方式の空調機と比較し高乾燥度が得られることから、低湿の工業用空調あるいは減湿装置として使用されることが考えられる。

また、潜熱処理を効率的に行えることから、外気の潜熱処理を行う外気処理空調機（外調機）として、一般空調、工業用空調に幅広く適用できるものと考えられる。

導入分野としては、デシカント冷房と同時に、排熱を給湯へ利用できるため、年間を通じ、給湯需要があるところへの導入が省エネ性、経済性からも有望と考えられる。

[デシカント空調MCGSの導入ターゲット]

どのような需要家が、導入ターゲットにな

るかを図8に示す。電力需要、冷房需要（または乾燥・除湿需要）、熱需要の3つの需要を持つ需要家が経済性、省エネ性の面から導入ターゲットになると考えられる。

●電力需要

MCGSは、分散型電源の排熱を利用するため、電力需要があり、そのピーク対応等で、分散電源が導入されるところが前提となる。

●給湯または暖房需要

デシカントの吸着熱あるいは、再生余剰熱を温熱需要として有効活用できるところ。

●冷房需要または乾燥・除湿需要

デシカント空調の特性を活かせる潜熱負

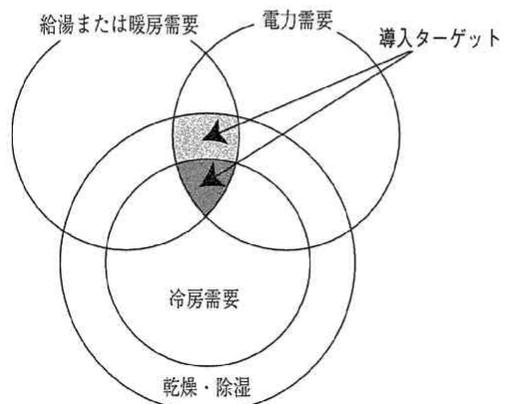


図8 導入ターゲット

荷の多い冷房需要または、乾燥空気が必要とされるところ。

そのような需要家には、次のようなものが考えられる。

### ① 民生用

- (a) 空気品質維持のため、外気導入量が多いところ。(劇場、映画館、病院、老人ホーム、パチンコ店など)
- (b) 室内の潜熱除去が必要なところ。(体育館、スポーツジム、レストラン、屋内プール、浴場、スーパーなど)

### ② 工業用

- (a) 生産の品質確保のため低湿度管理を要するもの。(電気・電子、半導体、電池、薬品、印刷、合板、金属、検査室など)
- (b) 常温乾燥 (フィルム、化学薬品、木材、たばこ、食品など)
- (c) 保管 (薬品、紙、鉄鋼、穀物、毛皮など)
- (d) 作業者の労働環境維持 (塗装、樹脂、実験室など)
- (e) 室内の潜熱除去 (食品など)

図9は、あるメーカーの従来方式のデシカント空調 (乾燥空気を供給する「ロータ除湿器」) の導入実績を、建物用途別に分類したものである。導入事例としては、食品店舗において、ショーケースの冷氣漏れによる寒さ対策 (コールドアイルの解消) や冷凍機の霜取り運転の頻度削減の効果があることから、導入事例が多くなっている。

### (3) デシカント空調MCGSの導入イメージ

外調機として一般空調に導入する場合の、導入例を図10に示す。デシカント空調は、熱の輸送媒体が空気であるため、空調ダクトへ

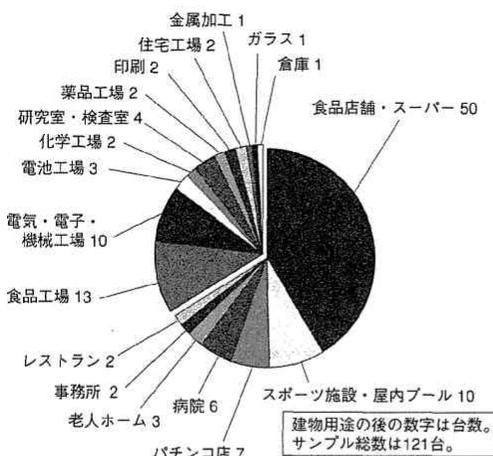


図9 ロータ除湿器の導入実績

の接続が必要となる。左図は、導入前の既存空調システムを示しており、ビル屋上の外調機を右図のように置き換えることで、導入を行えるものと考えた。既存空調システムへ付加的に導入することで、分散型電源の排熱を空調に利用でき、既存空調システムの熱源を節約できる。また、冷房負荷のピークをデシカント空調で賄うため、既存冷凍機の容量不足が懸念される場合の対策になるものと考えられる。

### (4) 市場性および省エネ性等導入効果の評価

民生分野の代表業種への導入シミュレーションを行い、市場性および導入効果を試算した。

工業分野への導入は、経済性、導入効果の定量的な評価が困難なため算定対象にしていない。

### ① シミュレーションの前提条件

当初、30kW級MGTと組合せたMCGSを想定し検討していたが、系統連系費、発電効率等の面から、より経済性が見込まれる100kW級MGTをベースに検討することとした。

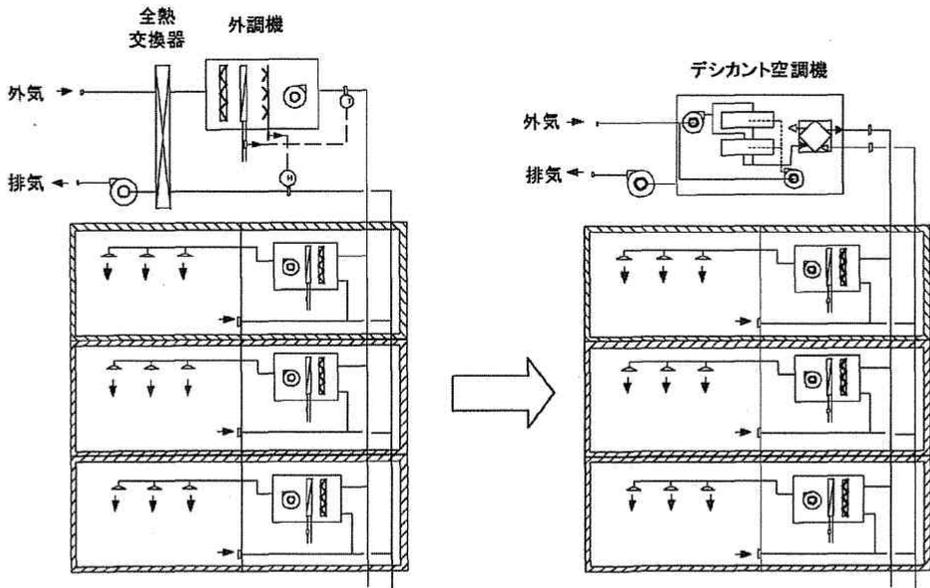


図10 一般空調への導入イメージ

燃料については、MCGSの導入効果として、省エネルギー性ととも、SO<sub>x</sub>やCO<sub>2</sub>の削減など環境改善性が重視されることから、都市ガスを中心に検討した。

評価手法として、モデル需要家（業種）毎に、MCGS導入前と導入後のランニングコストと1次エネルギー使用量を計算し、MCGS導入による年間のランニングコストメリットと1次エネルギー削減量をシミュレートした。導入可能分野（有望業種）は、ランニングコストメリットと導入コストから単純投資回収年数を算定し、経済性により評価した。有望業種については、併せて、その潜在需要規模・導入効果を算出した。

●デシカント空調MCGSの設定

表4にMCGSのスペックを示す。設備費は、本体（MGTおよび工事費含む）が2,000万円と系統連系費500万円の合計で2,500万円と設定した。

デシカント空調の出力は、夏期・中間期は冷房、給湯、冬期は暖房、給湯を行うものとした。デシカント空調の冷房出力は、外気条件にあわせ計算しており、MGTの余剰排熱は給湯に利用する。

●運転形態

1台構成、昼間定格運転、系統連系（逆流は無し）とした。

表4 デシカント空調MCGSの設定

|            |                      |     |              |                     |               |
|------------|----------------------|-----|--------------|---------------------|---------------|
| 発電出力       | 100kW<br>(夏期:85.7kW) | 熱出力 | 夏期<br>(6~9月) | 中間期<br>(4,5,10,11月) | 冬期<br>(12~3月) |
| 発電効率 (LHV) | 30%<br>(夏期:27.6%)    | 冷房  | 79.3kW       | 7.4kW               | —             |
| 設備費        | 2,500万円              | 暖房  | —            | —                   | 129.5kW       |
|            |                      | 給湯  | 122.6kW      | 182.0kW             | 88.4 kW       |

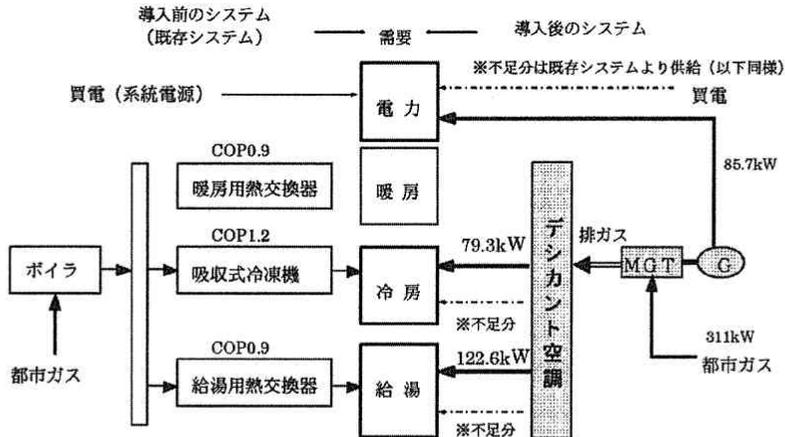


図11 デシカント空調MCGSの設定

●業種毎の電力・熱需要量

延床面積当りの建物用途別の需要原単位（空気調和・衛生工学会；年間負荷，月別・時間別負荷パターン）と想定延べ床面積を乗じた計算値を用いた。

●導入前後のシステム設定

MCGS導入シミュレーションに用いた，システムの設定を図11に示す。導入前のシステム（既存設備）を，電力を系統電力から買電，冷房は吸収式冷凍機，給湯は給湯用熱交換器で供給しているものと設定。導入後は，デシカント空調MCGSで，電力，冷房，給湯各出力を供給し，各需要の供給不足分は，既存システムより供給す

るものと設定した。

②経済性の試算結果

代表業種について，投資回収年数を算定した結果を表5に示す。想定導入規模を変えて，経済性が向上するものについては導入規模をパラメータとして計算した。想定規模を拡大させ，すなわち各需要を引き上げることで，排熱の有効利用率が増し，経済性向上が見込めるためである。

●導入有望業種は，投資回収年数が5年程度となる，ホテル，病院等の給湯需要があり，設備稼働率の高い業種，およびスポーツ施設等の給湯需要の非常に多い業種である。

表5 代表業種における単純投資回収年数

| 代表業種   | 延べ床面積               |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|        | 3,000m <sup>2</sup> | 4,000m <sup>2</sup> | 5,000m <sup>2</sup> | 6,000m <sup>2</sup> | 7,000m <sup>2</sup> | 8,000m <sup>2</sup> | 9,000m <sup>2</sup> |
| スポーツ施設 | —                   | 6.7年                | 6.3年                | 6.0年                | 5.7年                | 5.4年                | 5.2年                |
| ホテル    | —                   | —                   | —                   | 7.5年                | 6.5年                | 5.8年                | 5.2年                |
| 病院     | —                   | —                   | —                   | 6.8年                | 6.0年                | 5.4年                | 4.9年                |
| 小売り    | 26.3年               | 20.2年               | 15.7年               | 13.5年               | 12.0年               | 10.9年               | 10.1年               |
| 事務所    | —                   | —                   | 74.5年               | —                   | —                   | —                   | —                   |

●事務所、小売り業種では、給湯需要が少なく、排熱が有効利用されないこと、また設備利用率が低いことなどから、投資回収年数による評価では、早期普及は難しい結果となった。

●経済性を向上させるには、設備コストの低減と排熱を冷房へ一層活用することが必要となる。

### ③潜在需要、導入効果の試算結果

有望業種のホテル、病院（9,000m<sup>2</sup>規模）に、100kW MCGSを1台導入した場合、1年間に原油換算1次エネルギー、CO<sub>2</sub>がどれくらい削減できるか表6の通り算出した。

有望業種（9,000m<sup>2</sup>以上の規模）の潜在的な需要規模については、統計資料等を参考に、建物用途別・規模別の建物ストック量の推計を行い表7の通り評価した。

以上の2つから、ホテル、病院の潜在需要の全部を満たしたとして、年間、原油換算約57万klの省エネ効果と約157万tのCO<sub>2</sub>削減効果があると予測した。

#### （4）導入可能性調査のまとめ

導入有望分野の特定、導入形態、経済性を向上させるためのシステム構成・機能など、デシカント空調MCGSを市場導入するための調査研究を行った。

●導入初期における有望業種は、電力・冷暖房需要とともに、給湯需要があるホテル、病院などが経済性、省エネ性から有望であり、それらへ導入するための導入形態としては、既存空調システムに外調機の代替として補助的に付加して、既存空調負荷を分担し軽減させる形態が良いと考えた。

表6 省エネ、CO<sub>2</sub>削減量（1台当り）

|       | 1次エネルギー削減量 (kl) | CO <sub>2</sub> 削減量 (t) |
|-------|-----------------|-------------------------|
| ホテル業種 | 51              | 145                     |
| 病院業種  | 57              | 155                     |

表7 潜在的需要の予想規模

|       | 潜在需要（100kWベースの台数） |
|-------|-------------------|
| ホテル業種 | 19万kW（1,900台）     |
| 病院業種  | 84万kW（8,400台）     |

●導入シミュレーションにより、ホテル、病院などの有望分野においては、単純投資回収年数が5年程度の経済性を有し、かつ省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減効に寄与することを確認した。

## 5. おわりに

デシカント空調MCGSは、民生分野の室内空気環境への関心の高まりから、空気の品質向上のための外気導入量の増加が予想されること、また、省エネ法の改正により、民生業務部門の省エネルギー機器のニーズが増すと考えられることから、快適性と省エネ性を兼ね備えた空調機として有望導入分野を中心に導入され、普及していくものと期待できる。

さらに、今回の試算で有望分野とならなかった、給湯需要の少ない需要家や規模の小さい需要家についても、今後、分散電源の発電効率向上、系統連系費の低減が見込まれること、また、それぞれの需要家の需要特性に応じた仕様にMCGSを最適化していくことで、経済性が向上し、導入が拡大するものと考えられる。

本研究開発が一段落し、事業化に向けて準

備中である。なお、本システムの通年の性能と運転性の確認、またライフ等長時間運転実績把握のために、実証機による適切な期間のロングランテストが必要であり、これも合わせて準備中である。

民生分野といえども、冷房には冷却コイル方式が広く利用されている。これは冷気をハンドリングするダクト等が不要でその設備費と空間スペースがデシカント空調システムに比べかなり少なく済むことが大きく効いている。過冷却による結露、カビ発生等の住環境問題、換気率の向上の必要性等から、このデシカント空調システムが省エネルギーの観点と相まって見直されて来るものと期待している。

最後に、本内容は新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託した「分散型電源装置等におけるマイクロコージェネレーションの研究開発」の研究成果であり、また本研究開発を進めるあたり、学識経験者、専門家の方々に構成する「マイクロコージェネレーション検討委員会」を設置し、調査内容およびデシカント空調MCGS研究開発全体の方向性について助言・指導をお願いした。ご協力頂いた関係者各位に深く感謝の意を表します。

〔調査研究報告〕

## 太陽集光システムの開発 —センサー制御式ヘリオスタットの試験運転—



愛内 孝介 ( 財エネルギー総合工学研究所  
プロジェクト試験研究部 嘱託研究員 )

### 1. はじめに

地球温暖化問題が叫ばれる昨今、わが国でもRPS (Renewables Portfolio Standard) 法によって電気事業者の新エネルギー利用を義務付けるなど、いっそうの新エネルギー市場の拡大が求められている。平成13年に作成された政府の長期エネルギー需給見通しによれば、太陽光発電、風力発電等の新エネルギー全体で、1999年度の693万kl (原油換算量) に対し、2010年度の目標値が1910万klとなっている。太陽熱利用についても1999年度の98万klに対して2010年度の目標値が439万kl (新エネルギー全体の23%) というように、かなり大きな期待がなされている。わが国における太陽熱利用は、太陽熱温水器やこれに冷暖房設備を加えたソーラーシステムといった、家庭用分散型設備が主流である。しかしながらこれらはむしろ第2次オイルショック後をピークに減少傾向にあり、現行の対策を維持した場合の太陽熱利用は2010年度に72万klという予測がされているように、439万klの目標値は厳しいものであるとみられている。

また、太陽熱利用にはもう1つ、反射鏡で太陽光を集光して高温の熱を得る方法があり、太陽熱発電等に利用することができる。わが

国でもサンシャイン計画のもと、香川県仁尾町にタワー型パイロットプラントが建設され、1MWの発電に成功した実績があるが、残念ながら実用化には至っていない。日本は日照条件が悪く、大規模な太陽熱発電所の立地には不向きであるという見方が強いのが現状だ。これに対し、海外ではアメリカ、ヨーロッパを中心に高度な太陽熱技術の開発が進んでおり、商業プラントも一部稼働中である。Solar PACES (Solar Thermal Power and Chemical Energy Systems) を中心とした国際的技術協力や、地球環境ファシリティ (GEF: Global Environmental Facility) 等による資金援助も太陽熱利用の普及促進に大きく貢献している。

このような背景のもと、砂漠で太陽の熱エネルギーを環境負荷の少ない燃料に変換し、日本に輸送して使用するという構想 (グリーンフューエル製造プロセス) がまとめられ、当研究所で開発を進めている。これは石炭および天然ガスから二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を排出することなく、メタノールやDME (ジメチルエーテル) を製造するプロセスであるが、太陽集光技術は本プロセスの要素技術の1つである。本稿では三鷹光器(株)と共同で開発を進めているセンサー制御式ヘリオスタットを中心に紹介する。

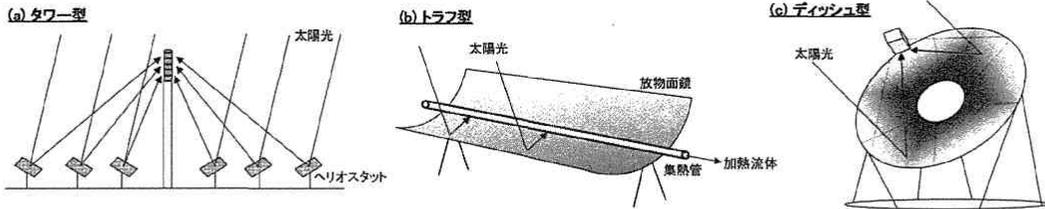


図1 各種太陽集光システム

表1 世界の主要な太陽熱発電施設

| 場所              | 名前                  | 規模                   | 方式  | 備考              |
|-----------------|---------------------|----------------------|-----|-----------------|
| アメリカ、California | SEGS1~9             | 約400MW               | トラフ | 稼動中             |
| ギリシャ、Crete      | THESEUS             | 50MW                 | トラフ | プロジェクト進行中       |
| エジプト、Kuraymat   |                     | 135MW (うち太陽熱30MW)    | トラフ | ISCCS、プロジェクト進行中 |
| モロッコ            |                     | 150MW (うち太陽熱30-50MW) | トラフ | ISCCS、プロジェクト進行中 |
| インド、Mathania    |                     | 140MW (うち太陽熱35MW)    | トラフ | ISCCS、プロジェクト進行中 |
| メキシコ            |                     | 310MW (うち太陽熱40MW)    | トラフ | ISCCS、プロジェクト進行中 |
| スペイン            | AndaSol             | 30-50MW              | トラフ | プロジェクト進行中       |
| スペイン、Seville    | Planta Solar (PS10) | 10MW                 | タワー | プロジェクト進行中       |
| スペイン、Cordoba    | Solar Tres          | 15MW                 | タワー | プロジェクト進行中       |

## 2. 太陽集光技術の動向

太陽集光システムには大きく分けて3つの方式がある(図1)。タワー型はフィールドに配置したヘリオスタット(鏡を太陽の動きに合わせて駆動する装置)により太陽光をタワー上部に集中させる方式である。トラフ型は直線状に連なった放物面鏡の焦線部に集熱管を置き、流体を加熱する。タワー型およびトラフ型は大規模施設に適したシステムであるのに対し、ディッシュ型は小規模分散型システムであり、閑村地の小電力供給に適している。ディッシュ型は回転放物面によって光を一点に集光する方式で、発電として利用する場合、焦点にスターリングエンジンを設置する。

表1は世界の主要な大型太陽熱発電施設である。現在のところ商業プラントとして稼動中なのはアメリカのSEGSプラントのみであるが、数多くのプロジェクトが進行中であり、今後の需要拡大が見込まれる。SEGSプラント

の成功により、トラフ型のプロジェクトが先行しているが、1999年に試験運転を終了したタワー型プラント、Solar Two(アメリカ、California、10MW)の成功により、タワー型についても今後の期待が寄せられている。表2に、スペインで開発中のPS10プラントのコスト試算<sup>(1)</sup>を示した。ヘリオスタットのコストが集光システムの大部分を占めており、このコストを削減することが重要な課題と言える。また、太陽熱のみによる発電方式とは別に、天然ガス等の燃料によりガスタービンで発電し、その排熱と太陽熱により蒸気ター

表2 PS10プラントのコスト試算

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
|                                 | 1,000\$ |
| 総務費                             | 178     |
| 土木費                             | 657     |
| ヘリオスタット(91m <sup>2</sup> ×981台) | 9,678   |
| タワー                             | 1,876   |
| 集熱器・蓄熱器・蒸気発生器                   | 9,581   |
| 発電                              | 4,803   |
| 制御                              | 781     |
| 合計                              | 27,553  |

ビンで発電を行う複合システム（ISCCS：Integrated Solar Combined Cycle System）が最近注目されている。この他、イスラエルのWeizmann研究所におけるビームダウン集光システム開発等、多くのR&Dプロジェクトが進行中である。

### 3. グリーンフューエル製造プロセスと集光システム

#### (1) 全体プロセス

本プロセスの詳細については前号等、各所に記載があるので<sup>(2)</sup><sup>(3)</sup>、ここでは簡潔に記す。プロセス全体の構成は図2（右側）に示したが、主に次の3つの開発すべき要素技術から構成される。

- 太陽光を効率よく集め、熱に変換する技術
- 石炭をガス化するのに、太陽からの熱を取り込む技術
- 二酸化炭素を排出せずに天然ガスを水蒸気で改質する技術

この他に、太陽光で発電する太陽電池、電

力で水を電気分解し酸素と水素を製造する技術、あるいは、石炭ガス化と天然ガス水蒸気改質から製造した水素と一酸化炭素からメタノールを合成する技術があり、これらにはすでに商業化されている技術を利用する。これらの技術を集大成して、グリーンフューエル製造が可能となる。ここで、太陽熱は熔融塩を熱媒体として、石炭をガス化炉に導く際、および天然ガスを水蒸気改質器に導く際の予熱に利用される。本プロセスでは自然エネルギーを取り込むことにより、原料の石炭およびメタンの総発熱量を6～10%上回るメタノール製造が可能であり、メタノール製造工程における二酸化炭素の排出も削減できる。

#### (2) ビームダウン式集光システム

図2（左側）に本プロセスにおける集光システムの概念図を示した。これはタワー型を改良した、ビームダウン式集光システムと呼ばれるもので、地上に配列したヘリオスタットの反射光をタワー上部に集光し、これをさらに鏡で反射して地上に導く方式である。タワー上部に置かれる反射鏡は、イスラエル

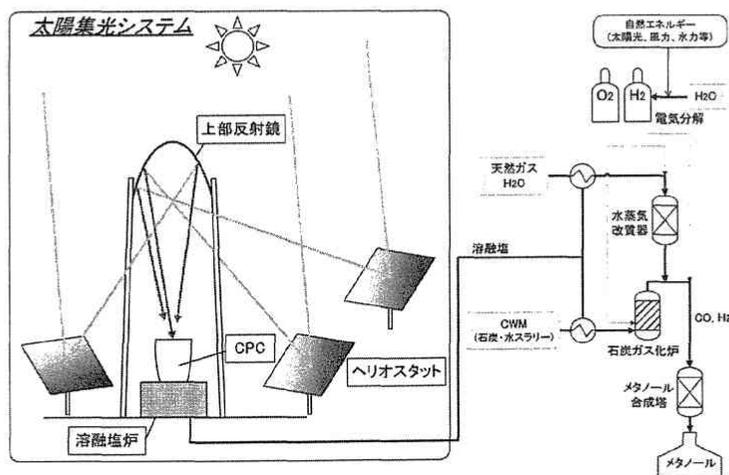


図2 グリーンフューエル製造プロセス

Weizmann研究所が開発を行っている凸面鏡（双曲面鏡）を用いる方式と、東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター・三鷹光器が開発を行っている凹面鏡（楕円鏡）を用いる方式があるが、いずれの方式も利用可能である。これにより熔融塩等の熱媒体をタワー上部に循環させる必要がなくなり、太陽熱を吸収するためのレシーバもタワー上部に設置しなくて良いという利点がある。地上に導かれた太陽光はCPC（Compound Parabolic Concentrator）と呼ばれる二次集光器によりさらに集光され、熔融塩を加熱するのに用いられる。熔融塩で蓄熱することにより、プラントを24時間稼働させることが可能となる。

#### 4. センサー制御式ヘリオスタットの製作

##### (1) 開発目的

ヘリオスタットはタワー型太陽集光システムのコストの大半を占めており、これを低コスト化することが重要な課題である。ヘリオスタットは反射光が常時タワー上部方向に向くよう、太陽の動きにあわせて反射鏡の角度を制御する装置であるが、これにはコンピュータで制御する方法と、センサーで制御する方法がある。コンピュータ制御は、雲の影響がなく、安定した追尾精度が得られることから、現在海外で主流の方法となっているが、個々のヘリオスタットを制御するための集中管理システム、無線通信システム等の付帯設備が必要であり、センサー制御より高コストになる。本研究開発は、センサー制御式であり、高い追尾性能を有するヘリオスタットの開発を目的としている。

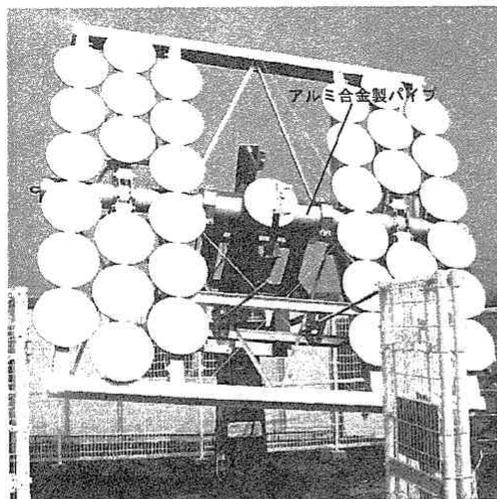


図3 ヘリオスタット全体写真（八王子）

##### (2) 反射鏡および取り付けフレーム

製作したヘリオスタットの全体写真を図3に示す。鏡取り付けフレームは、赤緯軸に平行したアルミ合金製パイプを中心に、それに直角にチャンネル材とアングル材とを組み合わせたトラス構造を6組取り付けられた構造となっている。鏡体取り付けフレームは、細部の構造を容易に変更できるように、全てアルミ合金製型材を使用した。

反射鏡は、センサー用として中心部分に一枚と、他に左右18枚ずつが前面チャンネル上に取付けられ、合計37枚である。それぞれの鏡は反射光がターゲットに対して一点に集光するよう、角度調整を行う。鏡はそれぞれ直径50cmの円形であり、ガラスの裏面鏡と金属鏡（ステンレス製）の2種類を使用して実験を行ったが、最終的にはガラスの裏面鏡を採用した。金属鏡は、鏡中心部に力を加えることにより鏡面が僅かに凹面になるよう調整し、全体の集光度をさらに上げるのが狙いであったが、調整が容易でなかったため、実用には向かないと判断した。

### (3) センサーの構造

センサーは三鷹光器(株)が特許を有する、光電素子を応用したものである。図4にセンサーの外観、図5に構造と動作原理を示す。構造は光が入射するスリットと光が照射されるセンサー底部にある2枚の光電素子からなっており、光電素子は光が当たる面積に比例した起電力を生じる。センサー底部にある2枚の光電素子の起電力が等しくなるように反射鏡の角度を制御すれば、光がセンサーの方向に正確に向くという仕組みである。図のようにセンサーに入射する太陽光線がセンサーの中心軸に対して傾き、光が2枚の光電素子A、Bにあたる面積が異なると、A、Bの起電力に差異が生じる。センサーはこの起電力の差を

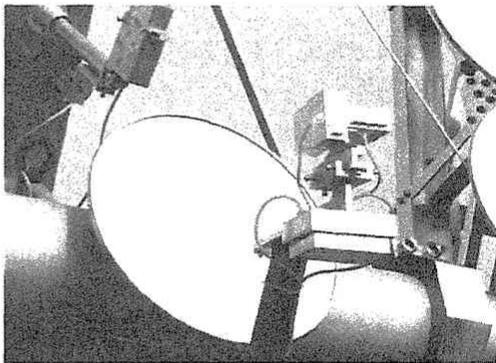


図4 センサー

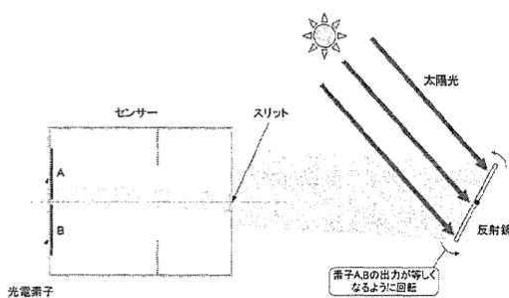


図5 センサーの構造と動作原理

読み取り、差がなくなるように装置を回転させる。これにより、ヘリオスタットは太陽を追尾することになる。

### (4) 支持、駆動方式

ヘリオスタットを駆動するには、鏡面を2つの軸周りにモーターで回転させる。これにはいくつかの方式があるが、代表的な2つを図6に示した。経緯台式は垂直に立てられた軸と水平軸で構成されており、力学的には最も安定な支持方式である。赤道儀式は天体望遠鏡を支持する方式として良く知られており、地軸に平行な赤経軸とそれに垂直に交わる赤緯軸とで構成されている。これらの特徴は表3に示す通りであり、それぞれ一長一短があるが、次のような理由により赤道儀式を採用した。

●ヘリオスタットをセンサーで駆動する場合は、曇り時の暴走を防ぐ必要があり、これに対する策としては、曇り時に大まかな等速運転に

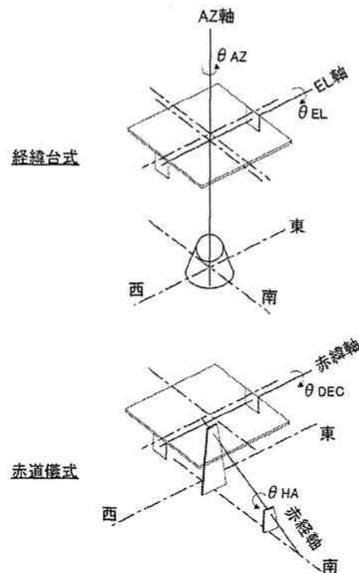


図6 代表的なヘリオスタットの支持方式

表3 ヘリオスタット支持方式の特徴

|   |
|---|
| <p><b>経緯台式</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 構造が単純で、力学的に安定</li> <li>● 駆動時の角度変化が複雑で、消費電力が大きい</li> </ul> <p><b>赤道儀式</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● プラント設置点ごとに赤経軸の角度を変更する必要がある</li> <li>● 駆動時の角度変化が単純で、消費電力が小さい</li> <li>● センサー式ヘリオスタットの支持方式に適している</li> </ul> |
|---|

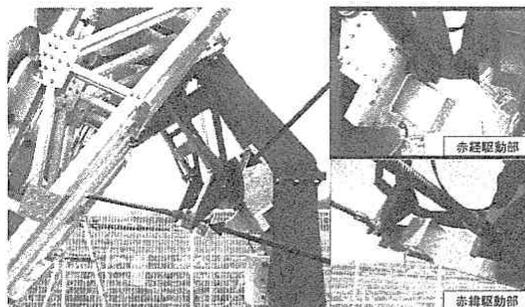


図7 支柱および駆動部分

切り替える方法を用いる。これには複雑な角度変化を示す経緯台式は不向きであり、角度変化が等速に近い赤道儀式が適している。

●赤道儀式は構造の安定性が経緯台式には劣るものの、センサーで駆動する場合は不動点（赤経軸，赤緯軸の交点）の位置さえ安定していれば、鏡面の角度変化をセンサーで修正する仕組みになっているため、この弱点を克服できる。

支柱および駆動部分の外観を図7に示した。緯度の角度分だけ傾けられた支柱の上に赤経軸が固定された構造である。赤経軸の駆動にラック・ピニオンを、赤緯軸の駆動には直動送りねじを用いた。

### (5) 精度

太陽は視直径32分（1分は100m離れた位置で約3cmの誤差に相当する）の大きさを持つことから、装置の精度を限界まで上げたとしても、反射光線が32分の広がりを持つことは避けられない。したがって、ヘリオスタットの追尾精度としては10分程度を目安とし、それより先は低コスト化を目指すのが妥当である。海外で開発されているヘリオスタットも10分程度の追尾精度を持つものが標準的である。

ヘリオスタット駆動時に生じる誤差要因は

表4 ヘリオスタット駆動時の誤差要因

|   |
|---|
| <p>(a) センサーの性能から生じる誤差</p> <p>(b) ヘリオスタット(支持部分)の歪みにより生じる誤差</p> <p>(c) 初期設置時の誤差</p> <p>(d) 鏡の歪みにより生じる誤差</p> <p>(e) 鏡を分割する場合にはそれらの角度調整を行う際に生じる誤差</p> <p>(f) センサー位置の変動による誤差</p> |
|---|

表4のように分類され、これらを総合して考える必要がある。比較的小面積の鏡を用いた今回のモデルでは、重要となる誤差要因は(a)センサーの性能から生じる誤差，(b)ヘリオスタット(支持部分)の歪みにより生じる誤差，(e)鏡を分割する場合にはそれらの角度調整を行う際に生じる誤差，である。(b)については有限要素法による構造解析を行った結果、風速10m/s時において3～5分以内であり、十分な高剛性設計であることを確認している。したがって、フィールドでの追尾実験は誤差要因(a)，(e)の確認が主目的となる。

## 5. ヘリオスタットの試験運転

### (1) 八王子実験施設

製作したヘリオスタットの試験運転は、東京都八王子市大谷町にある東京都住宅供給公社の敷地を借り受けて行った。北側に中央高

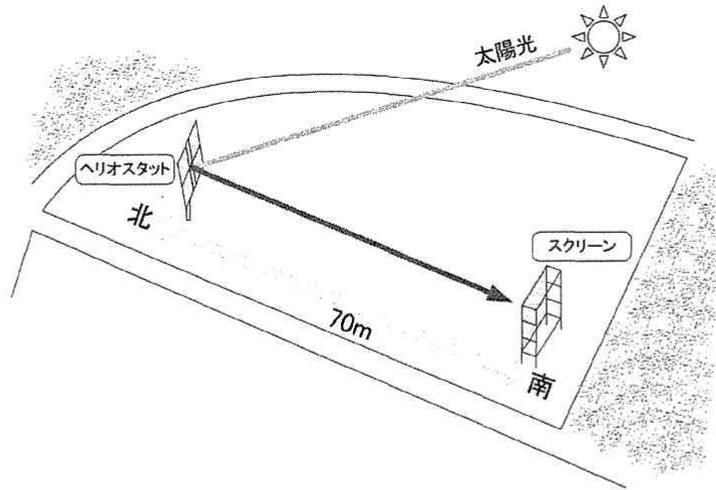


図8 八王子太陽集光システム実験施設

距離は70mである。スクリーン前面は白く焼付き塗装を施した鉄板を張っており、その上にヘリオスタットからの反射光を照射する。

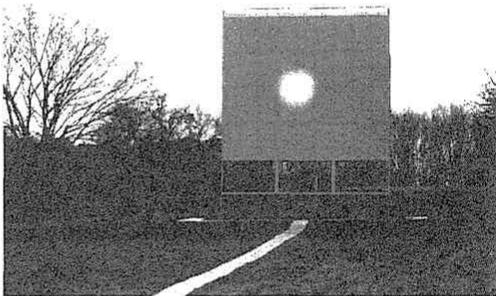


図9 スクリーンと反射光像

速道が隣接し、八王子インターの南東方向に位置する。実験施設は図8に示すような南側に広がりを持つ三角形の土地であるが、周囲より小高くなっており高い建物が存在しないことから、日照を妨げる障害物がなく、ヘリオスタットの運転試験場として好条件である。

実験設備は、ヘリオスタットとその反射光を映し出すスクリーンとで構成されている。スクリーンの外観を図9に示した。ヘリオスタットとスクリーンは南北線上に位置し、スクリーンがヘリオスタットに対して真南に位置している。ヘリオスタットとスクリーンの

## (2) 追尾試験

追尾試験は、スクリーン上の反射光像の時間変化を解析し、ヘリオスタットの追尾性能を読み取ることにより行った。反射光像はデジタルビデオカメラを用いて、30秒ごとに1秒のインターバル撮影で行った。撮影においては、RGB値がオーバーフローしないように露出を調整する。

図10は反射光像の解析例である。撮影した動画ファイルをビットマップ形式の画像ファイルに変換し、各ピクセルのデータから、輝度値を算出する。これより照射された光のフラックス分布の相対値が得られ、像の中心位置と広がり进行评估することができる。

解析の結果、赤経方向の誤差が約5分、赤緯方向の誤差が約1分であり、ヘリオスタットの追尾性能として十分に満足のいく精度が得られた。また、像の大きさも太陽の視直径の

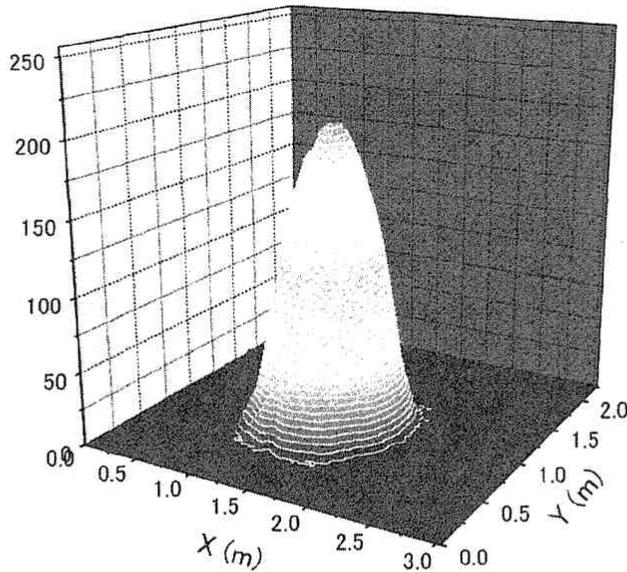


図10 スクリーンに投影した反射光像のフラックス分布

大きさから予想される広がりとは大差なく、各鏡の角度調整による誤差が十分小さいことが確認された。以上の結果から、センサー制御式ヘリオスタットの性能を実装置規模において実証することができた。

## 6. おわりに

製作したヘリオスタットはセンサーの性能試験用装置であるため、必要以上の剛性を持つよう設計したが、今後は部材および構造の最適化検討をすることにより、商業装置として組み込める水準までコストを削減することが目標となる。ヘリオスタットの軽量化は本体コストだけでなく、基礎の低コスト化にも繋がる重要な課題であり、現在当研究所において低コスト軽量モデルの開発を進めている。本稿は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）および経済産業省から受託した

「石炭・天然ガス活用型二酸化炭素回収・利用技術の開発」の研究成果の一部をまとめたものである。また本研究の実施に当たっては、三鷹光器(株)、東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター、東京都住宅供給公社に協力を頂いている。関係各位のご支援・ご協力に感謝します。

## 参考文献

- (1) R. Osuna et al, in Proceedings of the 10th SolarPACES International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies, Sydney, Australia, Mar8-10, 2000
- (2) 片山優久雄「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」季報エネルギー総合工学, Vol.24, No.4, 27-45, 2001
- (3) 北田俊二「太陽熱利用石炭ガス化炉の開発—小型実験炉の運転実績—」季報エネルギー総合工学, Vol.26, No.1, 53-60, 2003

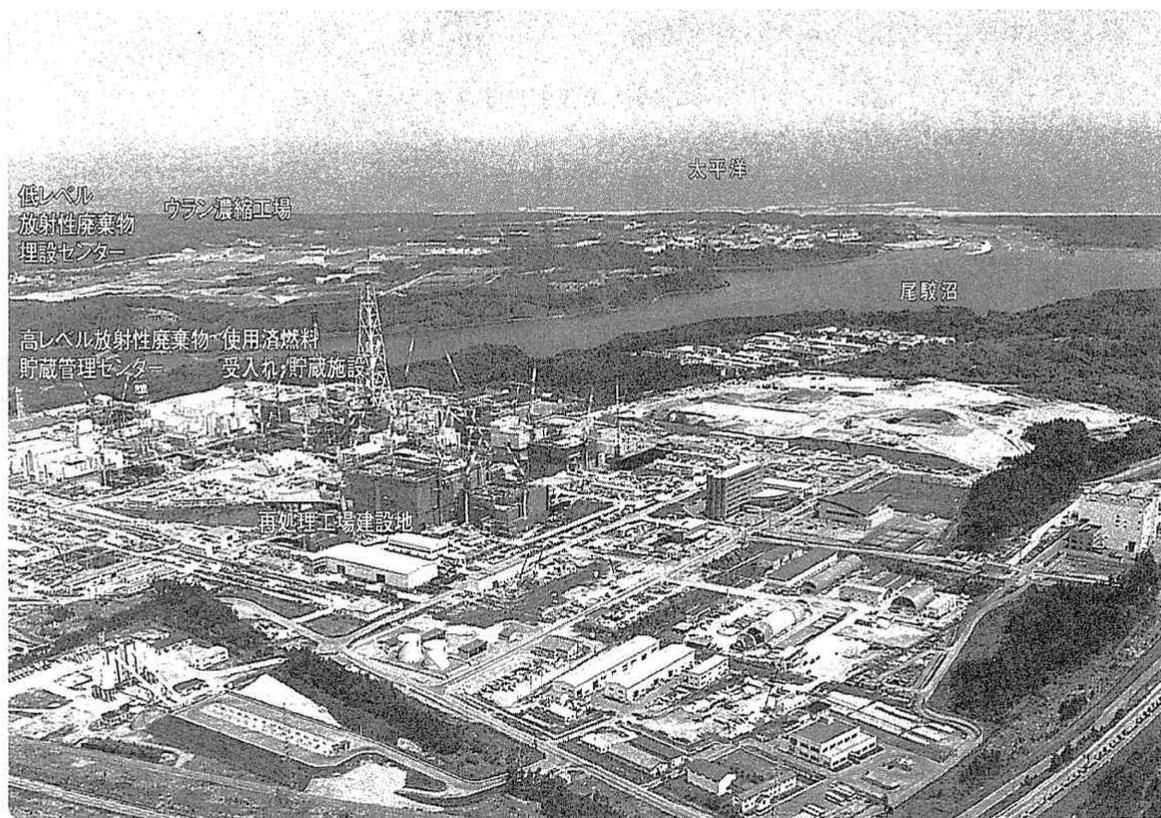
日本原燃（株）

# 六ヶ所原子燃料サイクル施設

## はじめに

青森県の六ヶ所村と聞いて、原子燃料サイクル施設を思い出さない方はいらっしゃらないと思います。そのくらい今や有名となった六ヶ所村を訪問させていただきました。

IAE女性研究員（木村）は6月5日、三沢から六ヶ所原燃PRセンターまで車で約50分、国家石油備蓄基地や風力発電施設なども配置されている「むつ小川原工業地帯」の原子燃料サイクル施設にいよいよやってきました。



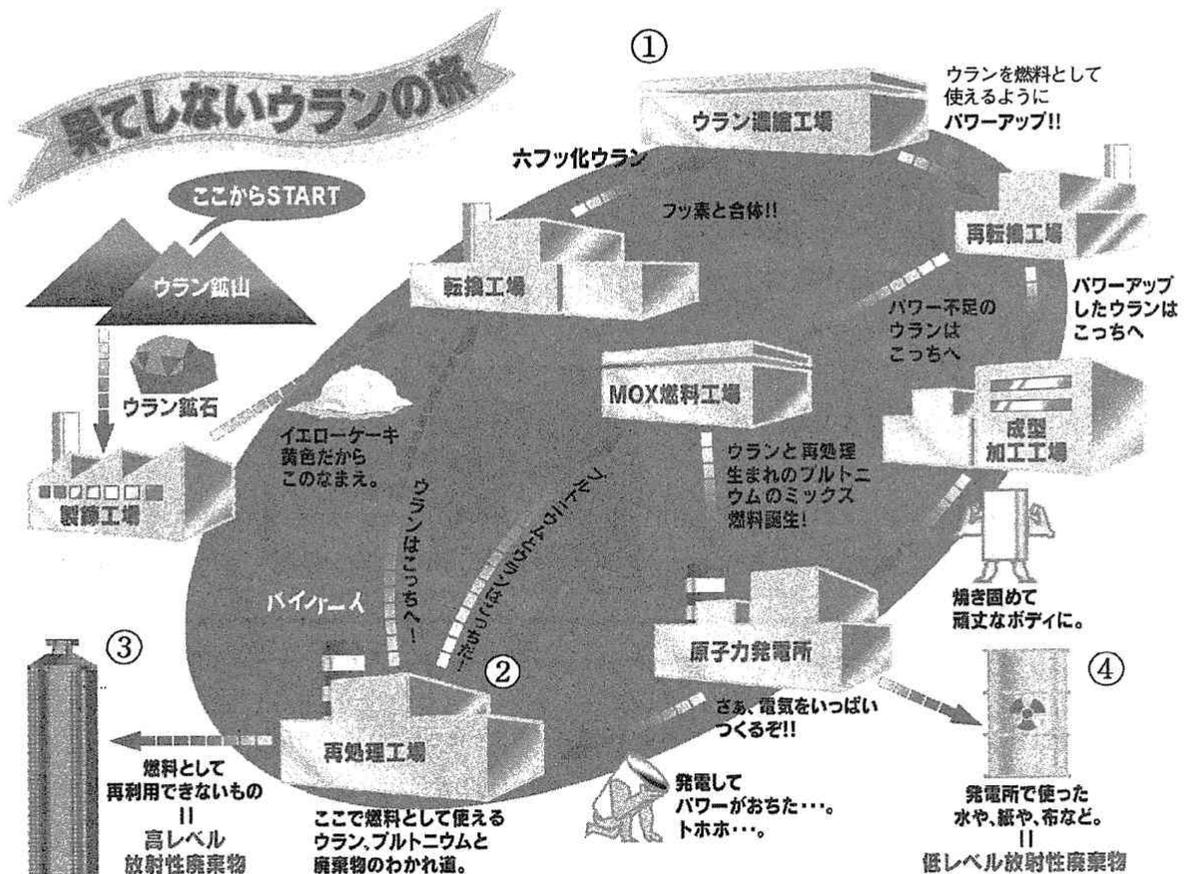
施設の全景

- ウラン濃縮工場
- 再処理工場
- 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
- 低レベル放射性廃棄物埋設センター

## 【原子燃料サイクル】

原子力発電の燃料であるウランは、3～4年も使われると新しい燃料と交換されますが、使い終えた燃料（使用済燃料）の中には燃え残りのウランや新たに生成したプルトニウムがまだ残っています。これを再処理工場で取り出し、下図のような工程を経て、また燃料として使用します。今回訪問させて頂いた個所は下図の①～④です。

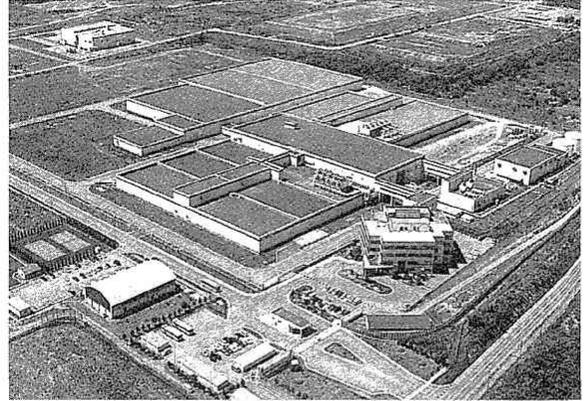
ぐるぐると循環しているところから、こうした流れを「原子燃料サイクル」といいます。



原子燃料サイクルのフロー図

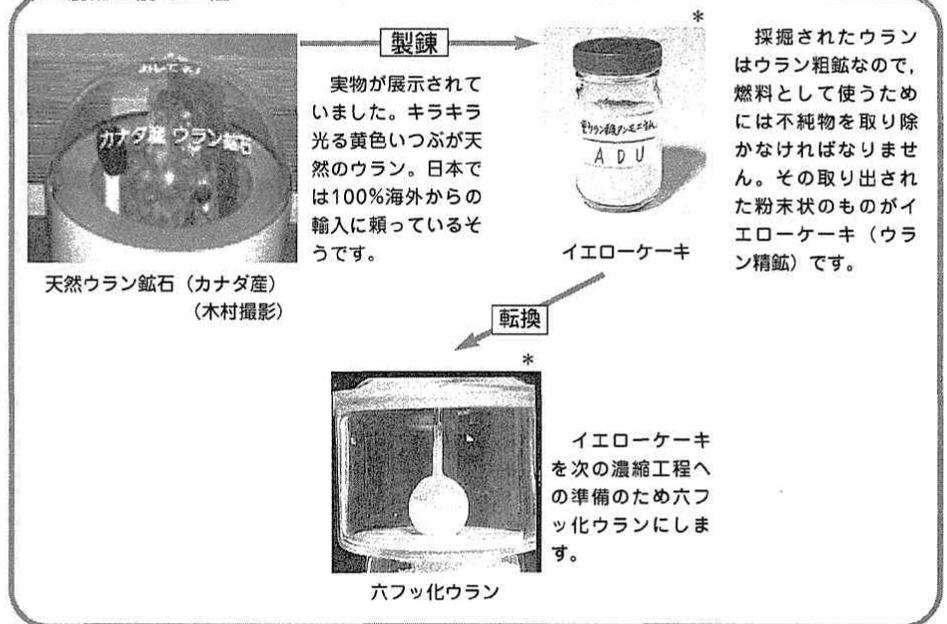
## ウラン濃縮工場（フロー図①）

天然ウランには核分裂して大量の熱エネルギーを放出する（燃える）ウラン235と、核分裂しない（燃えない）ウラン238があります。ウラン235が核分裂した時の熱を利用して、原子力発電所で電気をつくります。しかし、天然ウラン鉱石にはウラン235は0.7%しか含まれていないため、ウラン濃縮工場では、原子力発電所の燃料として使えるようにこれを3～5%に濃縮します。



ウラン濃縮工場

### 濃縮の前の工程



## ウラン濃縮工場で行われる工程

原料シリンダ

原料のウランは濃縮しやすいように「六フッ化ウラン」という形で海外から運ばれてきます。

発生槽

天然六フッ化ウランを温めて固体から気体にし、遠心分離機のあるカスケード室へ送ります。

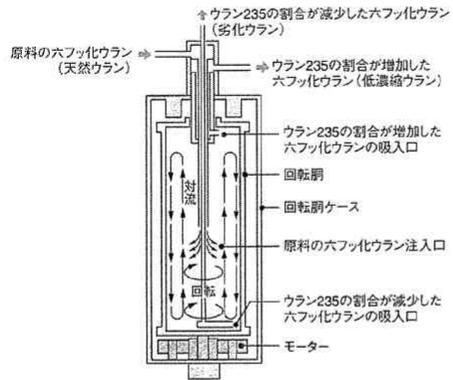
\* 出所：日本原燃(株)ホームページ ([http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/1\\_nousyuku/nousyuku\\_03/nousyuku\\_04/nousyuku\\_04\\_01.html](http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/1_nousyuku/nousyuku_03/nousyuku_04/nousyuku_04_01.html))

カスケード

遠心力により重いウラン238は外側に、軽いウラン235は内側に集まります。内側のウラン235を回収して、複数の遠心分離機により繰り返し濃縮して、濃度を3~5%まで高めていきます。



カスケード室



廃品回収槽

劣化六フッ化ウランを冷却し、気体から固体にして回収します。

製品コールドトラップ

濃縮六フッ化ウランを冷却（約-60℃）し、固体にして回収します。不純物を取り除き、製品回収槽に送るため再度気体にします。

製品回収槽

濃縮六フッ化ウランを冷却し、固体にして回収します。

均質槽

濃縮六フッ化ウランを温めて液体にし、ムラのないようウランの濃度を均一にした後、気体にして製品シリンダに移送します。

製品シリンダ

冷却し固体にして製品とし、出荷まで安全に貯蔵します。

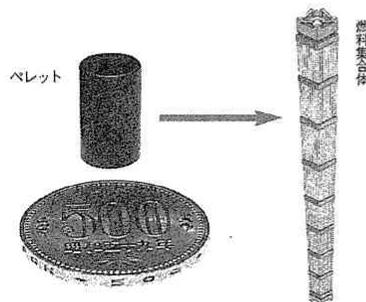
濃縮の後の工程

再転換

濃縮されたウランを原子炉内で使用できるように成型加工します。まずウランを加工しやすくするため、再び化学処理して粉末状のウラン（二酸化ウラン）にします。

成形・加工

粉末状のウラン（二酸化ウラン）を焼き固めて長さ1cmほどのペレットを作ります。このペレットを被覆管という金属の管に詰め、さらにそれらを束にし燃料集合体に組み立てます。



## 再処理工場（フロー図②）

現在、六ヶ所村では日本初の商業用再処理工場の建設が進んでいます。（2005年竣工予定）



再処理工場（建設中）

### 再処理工程

#### 受入れ・貯蔵

原子力発電所から運ばれた使用済燃料をプールで貯蔵します。発電所と再処理工場のプールで合計4年以上貯蔵し放射能を弱めます。

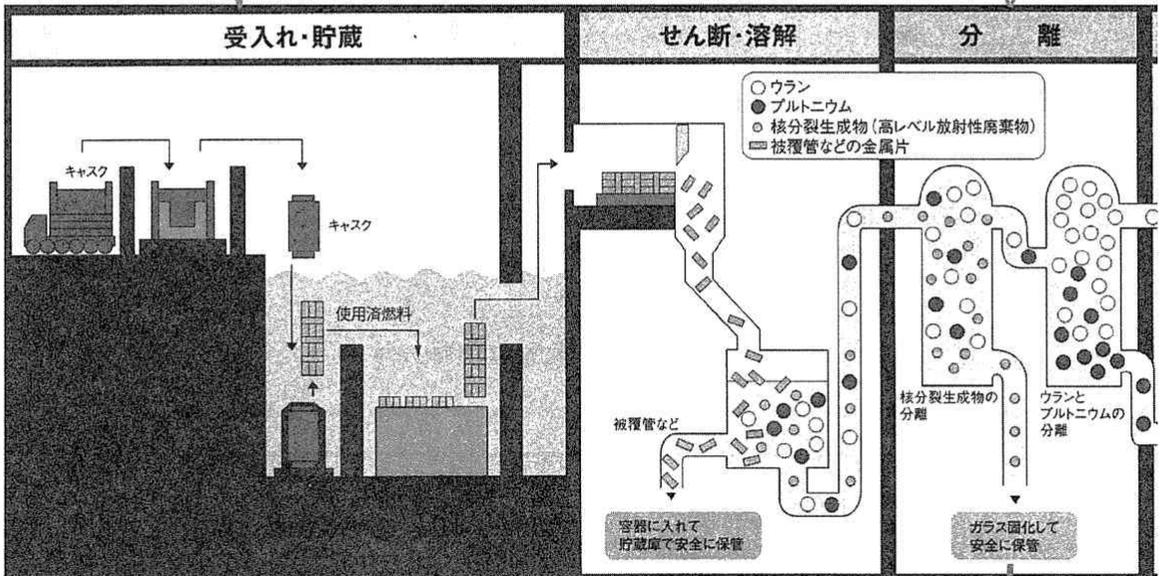
こちらは現在完成しており、すでに使用済燃料が貯蔵されているそうです。



燃料貯蔵プール

#### 分離

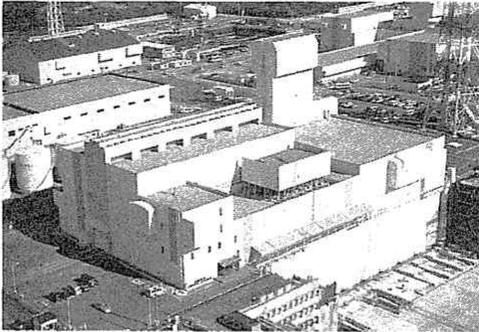
燃料として再利用できるウラン溶液、プルトニウム溶液と、再利用できない核分裂生成物（高レベル放射性廃棄物）に分けます。



#### せん断・溶解

使用済燃料を3～4センチの長さに切断し、それを溶解槽で硝酸に溶かします。

## 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター（フロー図③）

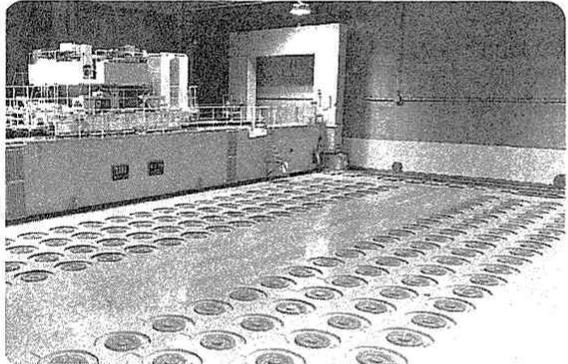


高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター

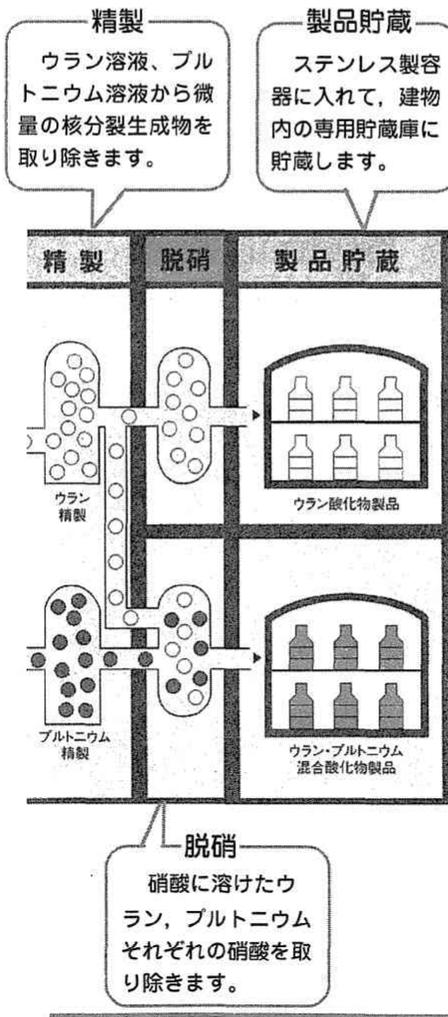
原子力発電所から発生する使用済燃料の一部をフランス・イギリスの再処理工場に委託して再処理しています。

返還されたガラス固化体は高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターで30～50年間冷却貯蔵されます。その後、人間の生活圏から隔離するため、300mを超える地下の深い安定した地層中に最終処分されます。（平成40年代後半頃、操業開始予定）

最終処分場はまだ決まっておらず、昨年12月に全国の自治体に公募という形で募集しているそうです。



貯蔵ビット



### ガラス固化体



キャニスター  
固化ガラス

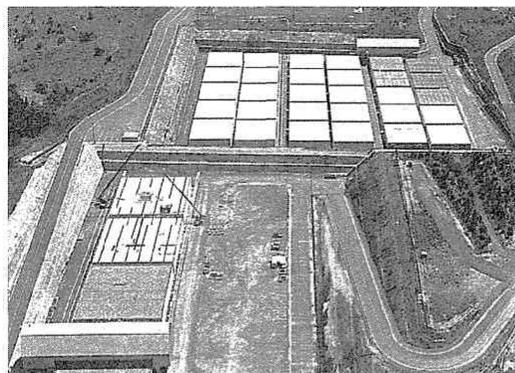
核分裂生成物は溶かしたガラスと混ぜ、キャニスター（ステンレス製容器）に流し込み、冷やし固めます。これをガラス固化体と呼びます。

ガラスと混ぜ合わせるのは、熱・放射線に強く、また紀元前のガラス工芸品が今も美しい原型をとどめていることから分かるように、長期間にわたり安定した物質だからです。

## 低レベル放射性廃棄物埋設センター（フロー図④）

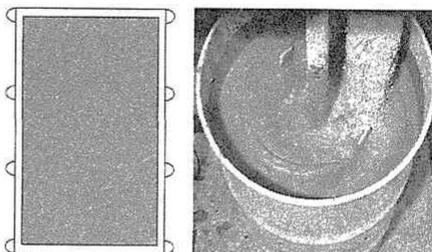
原子力発電所で使用した水や、作業服、金属、プラスチックなどの、放射性レベルの低い廃棄物を「低レベル放射性廃棄物」といいます。

各発電所では、必要に応じて焼却、切断、圧縮、溶融処理などを行い量を少なくし、セメント系充てん材（モルタル）などと混ぜてドラム缶に収納します。

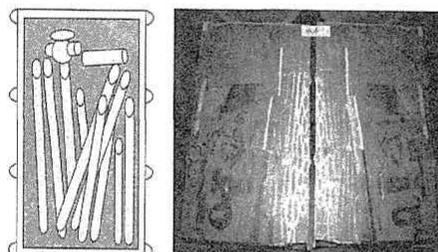


低レベル放射性廃棄物埋設センター

### 固形化方法例



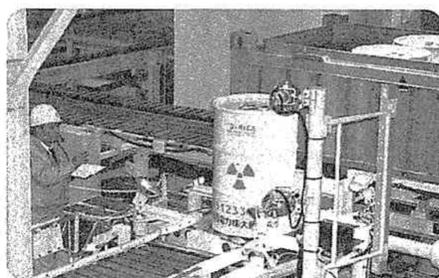
濃縮された廃液をセメントで固形化



金属類などを収納し、充てん剤で一体となるよう固形化

これらの廃棄体は、発電所内でいくつもの検査を行った後、低レベル放射性廃棄物埋設センターへ輸送されます。

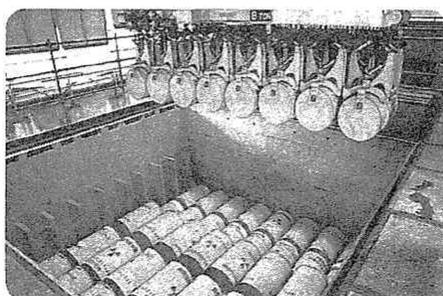
ちょうど見学の日には、関西電力(株)美浜発電所から低レベル放射性廃棄物が搬入されているというお話でした。



外観検査

原子力発電所から運ばれた低レベル放射性廃棄物は、そのドラム缶の外観検査を行います。液ダレ・腐食等が認められたものは、原子力発電所に返却します。

その後、24m四方の鉄筋コンクリート製のピットに俵積みし、すき間のないよう充てん材で固め、ふたをして、ひとつの大きな岩のようにします。その上に粘土質の土をかぶせ、さらに覆土します。基礎の岩盤は鷹架層という、強固な岩盤です。



埋設設備に廃棄体を定置しています



# 研究所のうごき

(平成15年4月2日～7月1日)

ついて ー水島コンビナート省エネルギー  
調査を踏まえてー  
(プロジェクト試験研究部 主管研究員  
塙 雅一)

## ◇ 第60回理事会

日時：6月13日(金) 11:00～12:05

場所：経団連会館(9階) 901号室

議題：

第一号議案 平成14年度事業報告書および決算  
報告書(案)について

第二号議案 評議員の委嘱について

第三号議案 その他

## ◇ 月例研究会

### 第212回月例研究会

日時：4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. 平成15年度供給計画の概要について  
(電気事業連合会 電力技術部部長  
西 亨氏)
2. 最近の電力自由化動向について  
(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213回月例研究会

日時：5月30日(金) 13:30～15:30

場所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 再生可能エネルギーの課題と展望  
(筑波大学 機能工学系 教授  
内山洋司氏)
2. 地球温暖化対策を巡る国内外の動向と今後の見通し  
(経済産業省 産業技術環境局  
環境政策課 課長補佐 菊川人吾氏)

### 第214回月例研究会

日時：6月27日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館2階 201会議室

テーマ：

1. エネルギー・環境政策に係わる海外動向  
(プロジェクト試験研究部 主管研究員  
当麻 潔)
2. コンビナートにおける省エネルギー余地に

## ◇ 主なできごと

- 4月24日(木) ・第1回原子力水素研究会
- 25日(金) ・第5回品質別電力供給WG
- 5月7日(水) ・第1回多様なニーズに対応する  
フレキシブルタービンシステムの  
研究開発委員会
- 9日(金) ・第6回電力系統制御WG
- 19日(月) ・第1回高効率廃棄物ガス変換発  
電技術評価委員会  
・第1回高効率廃棄物ガス変換発  
電技術開発導入調査委員会  
・第3回新システム基盤技術分科  
会
- 21日(水) ・第6回分散型電源の統合制御  
WG
- 27日(火) ・第3回新システム社会・経済性  
分科会
- 29日(木) ・第5回新システム技術評価分科  
会
- 6月2日(月) ・第1回高温ガス炉プラント研究  
会
- 3日(火) ・第1回木質系バイオマスによる  
小規模分散型高効率ガス化発電  
システムの開発推進委員会
- 6日(金) ・「平成15年度原子力システム研  
究開発シーズ調査事業」公募説  
明会
- 10日(火) ・第7回分散型電源の統合制御  
WG
- 11日(水) ・第1回天然ガスハイドレート技  
術の産業システム適用のための  
研究開発委員会
- 12日(木) ・第6回品質別電力供給WG  
・第7回電力系統制御WG
- 18日(水) ・第6回新システム技術評価分科  
会
- 19日(木) ・第4回新システム社会・経済性  
分科会
- 23日(月) ・第4回新システム基盤技術分科  
会
- 24日(火) ・第2回原子力水素研究会
- 26日(木) ・第4回新電力ネットワークシ  
ステム研究会

◇ 人事異動

○6月30日付

(出向解除)

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 永野浩文 | プロジェクト試験研究部 主任<br>研究員 |
| 藤田光一 | プロジェクト試験研究部 主任<br>研究員 |
| 稲垣浩伸 | プロジェクト試験研究部 主任<br>研究員 |

(嘱託期間満了)

|      |                     |
|------|---------------------|
| 仁科恒彦 | プロジェクト試験研究部 専門<br>役 |
|------|---------------------|

○7月1日付

(出向採用)

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 壁村克樹 | プロジェクト試験研究部 主任<br>研究員 |
| 水谷栄吾 | プロジェクト試験研究部 主任<br>研究員 |

(嘱託採用)

|      |                     |
|------|---------------------|
| 鳥飼誠之 | プロジェクト試験研究部 専門<br>役 |
|------|---------------------|

## 編集後記

地球環境問題に対する子供たちの関心は大人が思っているよりも強く、また何がしかの考えや不安も抱いている向きが多いようである。去る5月5日「子供の日」の特集番組『未来への航海』では、スタジオにいる中学生くらいの日本の子供たちと衛星中継で参加した東南アジアの子供たちが、同テーマについて意見を交わした。子供たちは、それぞれの国の事情を背景とする環境問題を紹介しながら、また自分の意見をしっかりと持って発言していたことが印象的であった。例えば、マレーシアでは如何に「熱帯雨林」を守るか、韓国では如何に「ごみ問題」を克服するか、インドでは如何に「水資源」を確保するか等々である。

また、最近お会いした横浜市の中学教諭のお話では、中学生は石油や天然ガスが数十年後に無くなるといわれていることを知っており、そのためのエネルギー源の確保を真剣に心配している生徒が多いと伺った。しかし、同時に環境問題とエネルギー問題とのリンク、さらに将来のエネルギーとして有望視されている水素エネルギーが2次エネルギーであり、実はその基になる1次エネルギーが必要である等の理解に関しては不完全であり、複雑な因果関係を持ったエネルギー問題を早い時期から正確に理解させる必要があるという意見も伺った。そのように現在の子供たちおよび未来を担う孫たちに、日本の置かれた立場を踏

まえてエネルギーと環境問題の知識を正しく伝達するためには、先ず現在の私たちがどれだけ正確に同問題を理解し、また向き合っているかを問われている様に思う。

そのような意味で、本号の特集記事に取り上げた(社)日本工学アカデミーと当所との合同シンポジウム関連記事は、特にエネルギーと地球温暖化問題を把握する際の参考にしていただけるものと考え。同シンポジウムは開会挨拶の山路敬三副会長も紹介されているように、同アカデミーがその作業部会（ECC\*作業部会；\* Energy and Climate Change）において2001年度より約2年にわたり行ってきた調査研究が、今般まとまった機会を利用して開催されたものである。なお、同成果報告書は、エネルギーと地球温暖化問題を特に科学と技術の融合という視点を重視してとりまとめられたもので、巻末にまとめと提言も収められているので必要に応じ同アカデミー事務局（電話：03-5442-0481，メール：academy@caj.or.jp）にお問い合わせの上ご参照されたい。

なお、蛇足ながら当所でも特に中高生を対象とした「エネルギー講座」(<http://www.iae.or.jp/energyinfo/index.html>)を設けているので、あわせてご参照ありたい。

編集責任者 小川紀一郎

季報 エネルギー総合工学 第26巻第 2 号

---

平成15年 7月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2

新橋SYビル (6F)

電話 (03) 3 5 0 8-8 8 9 4

FAX (03) 3 5 0 1-1 7 3 5

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

---

(印刷) 和光堂印刷株式会社

無断転載を禁じます。