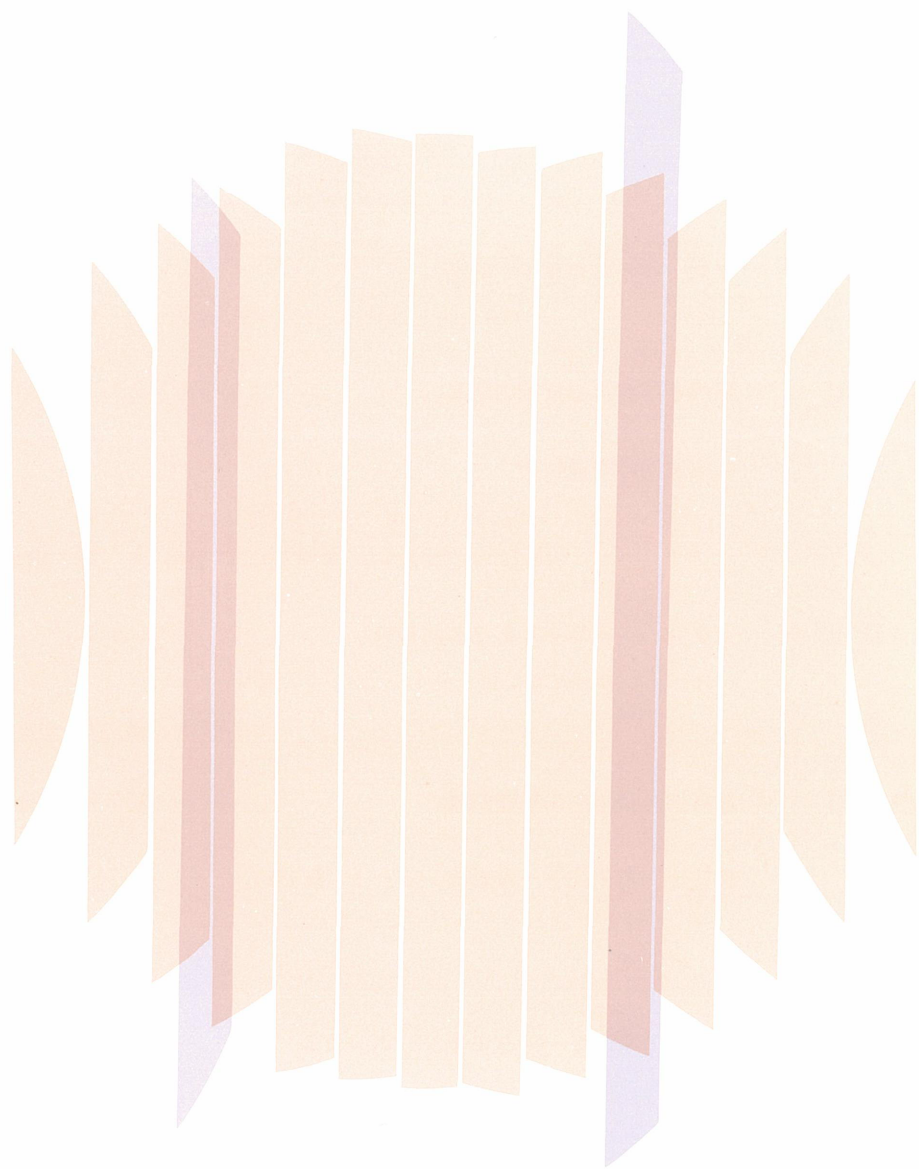


季報 エネルギー総合工学

Vol. 20 No. 1 1997. 4.



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

目 次

【巻頭言】	環境問題とエネルギー技術 東京ガス㈱ 専務取締役 山 本 洋 平… 1
【座談会】	本格的ブルサーマル時代の展開へ ——総合エネ調原子力部会中間報告をめぐって—— …… 2 東京大学 大学院工学系研究科 教授 近 藤 駿 介 通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部 原子力発電課 新型炉開発企画官 中 富 泰 三 電気事業連合会 原子力部長 早 瀬 佑 一 司会 (財) エネルギー総合工学研究所 専務理事 稲 葉 裕 俊
【特別講演】	グローバルエネルギー戦略 東京大学 大学院工学系研究科 教授 山 地 憲 治…23
【事業計画】	平成9年度事業計画の概要 (財) エネルギー総合工学研究所…41
【寄 稿】	低品位炭の転換技術 ——新クリーン燃料ジメチルエーテルの合成—— NKK 技術開発本部 技術企画部 主幹 大 野 陽太郎…45
【調査研究報告】	メタンハイドレートとその将来性 ——日本周辺海域に眠る新しい天然ガス資源—— 主管研究員 兼 子 弘…55
【技術解説】	放射性汚染除去の基礎知識 専門役 和 達 嘉 樹…66
【随 想】	クリーンエネルギー自動車レポート(第3報) ——活発化するハイブリッド自動車の開発—— プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏…74
【行事案内】	第15回エネルギー総合工学シンポジウム 天然ガスの将来展望と輸送・利用技術 ——メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—— ……82
【研究所のうごき】	……83
【第19巻通巻目次】	……86
【編集後記】	……90

環境問題とエネルギー技術

東京ガス株式会社

専務取締役 山本 洋平



今年は1992年のリオデジャネイロでの地球サミットから5年という節目の年であり、環境に関わる国内外での会議が目白押しである。12月には第3回の気候変動枠組み条約締約国会議(COP3)が京都で開催される。とりわけ我が国は主催国としてこの重要な会議において、地球温暖化防止に向けてリーダーシップを発揮しなければならない立場にある。

18世紀末、森林資源の乱用による薪炭不足という深刻なエネルギー危機をイギリスは石炭への代替によって切りぬけた。蒸気機関などの発明やさまざまな技術革新を介して産業革命と称される大規模な工業化への道を辿り、人類は化石燃料の多用により豊かさを享受してきた。そしてやがて、その排出するCO₂によって地球温暖化という環境問題が懸念されるに至ったのである。

東南アジアを中心とする環太平洋地域のめざましい経済発展により、エネルギー需要の急速な増大が見込まれる。人々の豊かさに対する欲求は極めて強いものがある。そして、また経済発展なくして、森林の保護や生物多様性の維持はおぼつかないであろうことも理解できる。

未来の人類は太陽エネルギーや核融合をうまく使いこなすことが出来るようになるかも知れない。しかし、今現在そこに至るシナリオを読み切っているわけではない。もしうまくできなければ人類はパニックに陥ることになる。そこで未来技術に果敢にチャレンジするとともに、今出来ることと今読めている技術を駆使してエネルギー資源を効率よく余す処なく使い切る努力が必要である。デマンドサイドにおいては、例えば建物の断熱性能の向上やエネルギー変換効率の高い機器を用いたコジェネレーションをはじめとする省エネルギー技術を積極的に取り入れ、供給側においては、石炭液化やガス化の技術は将来の技術としてではなく、例えば中国で今必要な技術として早急に実用化すべきではないだろうか。太陽エネルギーをポータブルな液体水素にして利用するシステムについての研究も盛んである。石炭の水添にこの水素を利用する組み合わせも考えられる。

それぞれの国の経済成長、雇用、生産性、貿易収支及び環境問題などを総合して施策を講ずるためには知恵が必要である。まさにエネルギー総合工学の出番である。

本格的プルサーマル時代の展開へ

—総合エネ調原子力部会中間報告をめぐって—

近 藤 駿 介 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

中 富 泰 三 (通商産業省 資源エネルギー庁 公益事業部
原子力発電課 新型炉開発企画官)

早 瀬 佑 一 (電気事業連合会 原子力部長)

司会 稲 葉 裕 俊 ((財)エネルギー総合工学研究所 専務理事)



司会 本日は、通商産業大臣の諮問機関である「総合エネルギー調査会原子力部会」(以下「原子力部会」)が本年1月20日にとりまとめられた中間報告書の策定作業に深く関わられた、原子力部会の部会長である東京大学近藤駿介教授、通産省資源エネルギー庁原子力発電課の中富泰三新型炉開発企画官、そして電気事業連合会の早瀬佑一原子力部長のお三方にお集まり願ひ、報告書のとりまとめの背景や苦心談、報告書の要点、またその後の対応等について語っていただき、今後の原子力政策について伺いたいと存じます。

司会は、(財)エネルギー総合工学研究所専

務理事の稲葉がつとめさせていただきます。

原子力をめぐる動き

原子力部会再開の背景

司会 さて、原子力開発をめぐりましては、ここ一年あまりの間に大きな動きがありました。発端は、平成7年12月の高速増殖炉「もんじゅ」における2次系ナトリウム漏洩事故であります。この事故を契機に平成8年1月、原子力発電所立地地域として重要な地位を占

める3県、福島、新潟および福井の3知事から、商業用軽水炉でのプルトニウム利用（プルサーマル）など核燃料サイクル政策の推進に当たっては、今後、国民的合意を形成するよう国に対し提言がなされました。

このようななかで原子力部会は、昨年6月、部会を再開し、本年1月、中間報告書が取りまとめられたわけですが、この部会再開に至った理由は何なのでしょう。

中富 日本を取り巻くエネルギー事情から、省エネルギー、新エネルギーとあわせ、原子力が、今後とも、わが国の長期エネルギー供給上重要な位置づけを有するのは変わらないと思います。そのなかで、原子力発電の推進にはプルサーマルの開始とか、使用済燃料貯蔵能力の拡充など、緊急解決を要する課題があります。

ところが、立地地域には、プルトニウム利用関連事業の進め方にこれまで不透明な形での変更がなされてきたという批判があり、平成7年の「もんじゅ」事故を契機として、核燃料サイクル政策全体に対する不信感の顕在化につながりました。

もう一つの背景は、大競争時代になった現在、わが国経済の高コスト構造の是正が命題となり、エネルギー供給にも一層の効率化が望まれております。そういうなかで、民間事業化された核燃料サイクル事業につきましても、経営環境の変化に合わせた事業計画の柔軟な変更もなすべきとのご意見がありました。このようないわば相反する2つの要請を受け、今回、原子力部会に核燃料サイクルをめぐる課題への取り組みについてご検討いただいたわけです。

公開された審議会

司会 ところで、今回の原子力部会の審議は、傍聴も含め公開で進められたと伺っております。公開など、審議方法の変更について、コメント願います。

中富 今回の原子力部会再開の背景の一つに、「もんじゅ」事故における情報公開面での不適切な対応がきっかけとなり、国民の皆さんに、原子力開発そのものが情報隠しを行っているかのような不安と不信感を与えたのは否めないと思います。それを契機とし、情報公開を求める声が高まりました。そのなかには、政策決定過程の透明化、安全規制等行政の情報公開、さらに事業者が日常行なう施設運転情報の公開、事故情報の速やかな通報などと、非常に多岐にわたる論点があります。これらが全体となって透明性を求める大きな流れになりました。

特に原子力政策の決定過程では、過去にも、例えば新型転換炉実証炉の建設計画中止など、「原子力開発利用長期計画」（以下「長期計画」）に位置づけられていた事業や研究開発の進め方の変更に際して、検討過程の透明性の確保が十分でなかったという批判が、関係自治体を中心に提起されました。このようなご批判に応えるべく、原子力委員会は、平成8年9月25日、政策決定過程への国民参加、原子力に関する情報公開の充実に関する委員会決定を行っております。

実は、原子力部会も、この原子力委員会の決定に先立ち、今回の審議を当初から傍聴も含めて公開して進めてまいりました。さらに、審議を進めるなかで、例えば全国主要都市で「一日総合エネルギー調査会」を開催して地

域の人々との意見交換をするとか、また原子力部会ワーキンググループも数度にわたって各地で開かれ、特に原子力政策に大きな関心を寄せる地元自治体の方々との間で意見交換が行なわれました。

留意した透明性、公平性、わかりやすさ

司会 原子力部会は、半年に亘る審議の末、立派な報告書をまとめられました。部会長としてとりまとめの中心的役割を果たされた近藤先生から、苦労された点、留意された点についての感想をお願いします。

近藤 苦労したのは、一つは公開の場での審議会の進め方です。

会議を運営するには規則が必要です。国際会議では、パラメンタリールールあるいはコミッティールールでといえ、それでどんな運営が共通理解が成立するのですが、日本では、そういう共通理解がないところもってきて、従来の審議会では、座長が「まだまだ議論もありかと思いますが、この案で細かな修正は事務局一任ということではいかがでしょうか」ということもありえたわけです。しかし、会議を公開しますとこれではできません。何がどう論理で決まったかが見えるように審議が進まねばいけませんから。そこで、従来の慣習の良い面は生かしつつ、しかしなるべく外から見て議論の流れが見えるように議事を運営するべく努力しました。うまくいったとはとても言えませんし、宿題も多いと思っていますがね。

もう一つは、先ほどのお話にもありましたが、関心がある国民や利害関係のある地元市町村の方々のご意見を伺う、あるいは、こちらの考えを披露してご批判をいただく、そう

いうプロセスをもったことです。円卓会議の結論もそうですが、公平性とか、公正さという観点から、政策決定にあたってその影響を受ける方々のご意見を事前に伺うことの重要性が指摘されております。この部会ではこの仲介役をワーキンググループにやっていただきました。これもどこまでやればよいのか迷うところで、今後とも工夫が必要と思っています。

第3に注意したのは、わかりやすい報告書にまとめることです。多様な意見をどのように政策提言に絞り込んでいったか見えるようにすることが重要なのですが、実際にはなかなか難しい。例えば環境問題についての中央環境審議会の報告書などを見ますと、これこれの意見もあり、しかしかの意見もある、だけど本会としてはかく考えるというように、意思決定上のプロセスを報告書に明示しているものもあります。政策決定過程の透明化に関しては、公開された議事録を見ればその経緯がわかるという意見もありますが、実際は議事録を一々見る人はいないでしょうから、報告書を読むだけで何がどう決まったかわかる方がよいわけです。今回の報告書は、大きな括りではそうしたものの多様な意見の刻明な記載にまでは手が廻っていません。この点では少なからず宿題があると思っています。

また、用語法につきましても、国民のわかる言葉でという原則にしました。一歩前進したつもりですが、過去の報告書との整合性などから硬い表現が入り混った文章になっていて、マスコミからはなお分かりにくいところのご批判をいただいております、今後も努力が必要と思っています。

エネルギー供給に果たす原子力の役割

司会 さて、わが国最初の商業用原子力発電所が1966年に稼動して30年以上がたち、現在、日本の原子力発電は総発電電力量の約3割、またエネルギー供給の12%を占めるに至っております。今後、ますますその重要性を増すものと思いますが、エネルギー供給のあり方と原子力の意義、原子力の今後の開発量などについて、各論に入ります前にお話を伺いたいと思います。

中富 今回の原子力部会と並行しまして、「総合エネルギー調査会基本政策小委員会」(以下「基本政策小委」)で、原子力の役割を含めた今後のエネルギー供給のあり方についてご議論をお願いしました。平成8年12月に出された中間報告の中で、原子力の重要性を2点から位置づけています。一つがエネルギー・セキュリティであり、他の一つが、地球環境問題への対応です。

エネルギー・セキュリティについて申しますと、原子力は、燃料費の割合がコストの中で比較的安く、燃料費の変化が発電原価へ及ぼす影響が小さいこと、燃料となるウランが先進国からも多く産出されて供給安定性に優れていること、またエネルギー密度が高く輸送や貯蔵が比較的容易であるという利点を持っており、これらが、エネルギー・セキュリティ上、原子力の持つ大きな利点となっていることです。

もう一つは、地球環境問題への対応です。わが国は、1992年の「気候変動枠組条約」にコミットしており、「地球温暖化防止行動計画」に基づいて「1人当たりのCO₂発生量を2000年以降は概ね1990年レベルで安定化を図



近藤 駿介氏

(東京大学 教授)

る」ことを目標としています。この達成には、省エネルギーの推進、新エネルギーと併せて、CO₂発生量が極めて低い原子力の積極的な導入が必要という位置づけが再確認されております。

司会 開発目標量ではどうなりますか。

中富 目標量については、今回の基本政策小委の検討で特に新しく設定されたわけではありませんが、そこでのシミュレーション結果を紹介しますと、2030年の時点においてCO₂の排出総量を1990年レベルに抑えたとした場合に必要な数字を出しております。これは、省エネルギー、新エネルギーの促進に最大限の努力を払うのに加えて、今の「長期計画」が2030年に想定している原子力1億kWの設備容量を実現して初めてCO₂の発生量の抑制が可能というものです。

早瀬 電力業界としましては、過去2度、3度とあったオイルショックや湾岸戦争の経験から、エネルギー安定供給には、エネルギー源、供給元の多様化により選択肢を広く持つておくことが最重要という認識を持っており、いわゆるエネルギー源のベストミックス

を目指し、原子力、火力、その他の開発をしてまいりました。

その中で、先ほど司会の方が話されたように、原子力発電は、今や全発電電力量の約3割を占める重要な電源としてようやく定着をしてきており、年間稼働率を見ましても、平成7年度に80.2%と初めてわが国で80%の多台に乗り、平成8年度も80.8%とこれを更新しました。このように供給信頼度が大幅に向上し、私どもは、将来とも原子力を電源の中軸として位置づけ、着実に開発していくことが重要と考えております。

省エネ、新エネにつきましても、電力業界として最大限の努力をしており、特に新エネで、太陽光発電、風力発電、燃料電池を3本柱にして研究開発を行っております。しかし、私どもの今までの評価結果では、将来の需要増加に対応していくためには、エネルギー密度の低い新エネ導入だけでは不十分なことに、ぜひ冷静に判断していかなければいけないと考えております。

環境問題は、電力業界も21世紀における重要課題と見ており、この点からもCO₂発生量が極めて少ない原子力を着実に進めたいと考えております。2030年に1億kWという設備開発は、私どもとしても容易ならざる目標と十分認識しています。しかし、基本政策小委、また今回の原子力部会中間報告の議論が契機となって、エネルギー問題について国民の幅広い層での理解が深まり活発な議論が展開されて、少しでもエネルギー問題の解決に結びつくことを期待したいと思います。

国民の視点に立った原子力政策

積極的に進めたい情報の公開

司会 次に報告書の各論に入りたいと思います。報告書は、第一に「国民の視点に立った原子力政策」として、情報公開を取り上げています。情報公開は、すでに先にもお話に出ましたが、世の基本的潮流となっております。特に「もんじゅ」の事故を契機として強める声が高まり、情報公開による透明性の確保は、原子力政策に対する信頼の確保の基本であると考えられます。情報公開に関する今後の進め方につき、まず行政の立場から、お話ししたいと思います。

中富 行政情報の公開は、原子力に限らず、現在、政府部内で「情報公開法」の整備が検討されております。既に平成8年11月、「行政改革委員会行政情報公開部会」において、政府が国民に対する説明責任、「アカウンタビリティ」と呼んでいますが、説明責任を果たす制度の整備が必要という趣旨の報告書がまとめられました。

したがって、情報公開法が制定されれば、原子力に関する行政情報も、公開範囲、手続きなど、当然ながら法律に基づいて進められることとなりますが、原子力の場合、国民の信頼回復が当面の急務ですので、情報公開法の制定を待つことなく、積極的な行政情報の公開を推進することが必要ではないかと、今回の原子力部会でも指摘がありました。

行政情報で、実は原子炉設置許可申請書などの許認可関係の書類は、これまでも一般の閲覧に供されております。また、原子力発電

所のトラブル時の情報についても、例えばプレス発表などを行い、報道機関やパソコン通信などを通じて提供されております。

しかし、国民の皆さんに必ずしも直接に情報が届いてないこともあり、情報公開がなされていないのではないかという批判が依然として強いのも事実です。そのため、今回の原子力部会においても、既に公開されている情報について、公開の事実、情報の種類とか、また入手方法を周知することが重要とのご指摘を受けております。

また、行政の情報は、特に原子力の場合、単に公開するだけではなく、アクセスを容易にすること、さらに、専門的な技術用語や単位が多い原子力を、よりわかりやすくする配慮が必要とのご指摘も受けております。

司会 引き続きまして電気事業者の立場で早瀬さんからお願いします。

早瀬 情報公開も行政側と私ども事業者とで若干異なる部分がありますが、私どもも、今まで必要な情報は必要に応じて公開をしてきたと思っております。具体的に申しますと、電力会社の本社、原子力発電所のPR施設などでは、設置許可申請書、保安規定、事故報告書、これらを一般の方がいつでもご覧になれるよう用意しております。これを「情報公開コーナー」と呼び、各社それぞれに展開しております。

最近はやりのインターネットを使ったホームページを設定してる会社もあり、発電所の運転から放射性廃棄物管理の状況、環境放射能の測定値など、これらをインターネットでご覧いただけるところもあります。

あとは、先ほど企画官がおっしゃったように、アクセス性の問題が若干あります。我々

は、こういう情報を確かにアクセスできるように用意はしてきましたが、なかなかこれが必要とされる方に十分かつ簡単に伝達できていないのではないかと。これが「もんじゅ」以降、国民一般の不安不信の原因の一つではないかと、我々も反省しています。こちらからは伝達情報を見ていただくようお願いをし、逆に見たい方、必要とする方がすぐさまアクセス可能な方法に改善していかなくてはと考えています。

まずは、情報公開コーナーがどこにあり、いかなる情報が閲覧できるかということ自体のPRが必要です。さらに、提供資料の中身なるべくわかりやすい形に整理しなければなりません。その一例が、電気事業連合会で計画しております『原子力発電四季報』でして、一般国民の方が必要とされる情報を、ビジュアルでわかりやすい形で発刊するよう準備を進めております。

課題多い情報提供

—双方向性、若年層教育、誤情報の対処—

司会 いまのお話にありましたが情報の提供も、情報公開と並び、重要な課題です。社会経済生産性本部の調査では、6～7割の国民が原子力発電の必要性を認めておりますが、同時に国政モニターからの意見聴取において、約7割の人が安全性に不安を示しております。安全性に関する信頼を得るには、何より安全運転の実績を積み重ねることが大切ですが、同時に原子力発電の安全確保についてわかりやすい説明を十分に行っていくことが必要です。情報の提供と交流に関して、通産省のお考えをお聞かせいただきたいと思います。

中富 まず、「情報の提供と交流」という言葉です。私どもは、従来、「広報」という言葉を使っていました。これは、今回の原子力部会における審議のなかで、広報というのは、国が国民の皆さんを一方的に説得するというニュアンスが強い、むしろ、情報を提供して考えていただくこと、そして双方向で情報を交流することが今後に望まれる情報提供のあり方ではないか、とのご指摘をいただきました。

情報提供の目的は、正確でわかりやすい材料を提供し、国民の皆さんの認識をいただき、信頼を回復することにあります。これには、情報の正確さと中立性が非常に重要です。

情報交流では、国民の皆さんが、今後ますますエネルギー問題への参加意識を持ち、国との間で直接対話を行うことが重要と考えております。その意味で、例えば「一日資源エネルギー庁」などの取り組みは、今後も継続したいと考えております。

それから、立地地域と消費地の情報交流も重要です。原子力立地の問題は、立地地点だけではなく、電力消費地を初めとする全国的な問題であり、立地地域と消費地との対話の場が重要です。既に平成8年、大阪で対話の場、「一日資源エネルギー庁」を開催しましたが、今後もこのような取り組みを続けたいと考えております。

国民の皆さんにエネルギー問題を考えていただくためには、基礎的、科学的な知識が不可欠で、特に、将来を担う若い世代の方々に正確な知識を提供するという意味で、教育の重要性が増します。それゆえ、今後、エネルギーの重要性、省エネルギーの推進、新エネルギーの開発、原子力の利用、環境との調和など、教育におけるエネルギー問題に関する

取り組みの強化が必要と考えております。

情報提供では、まず、国民の皆さんが原子力情報に日常的に接することが重要です。その場合、先ほど申しましたように、通常、国が提供する直接的な情報ではなく、例えばマス・メディア、報道などを通じた二次的な情報が主たる情報源になっています。国の取り組みとしましては、正確でわかりやすい報道が可能となるよう、まず情報の発信者である国自体がタイムリー、かつ誤解を与えずわかりやすい情報の提供に努力していきたいと考えております。

また、国自体あるいは事業者の方が誤解を招きやすい情報提供をしたとき、また誤解に基づくような報道があったとき、それらを放置するのは、誤解の拡大、定着につながりかねず、ひいては情報提供そのものの正確さに対する信頼の喪失に繋りかねません。

したがって、誤解を招きやすい情報提供があったとき、個別的に指摘し、対応することの重要性が、今回の報告書にも指摘されております。

司会 電気事業者としての取り組みについてお話しいただけますか。

早瀬 基本的なところは、いま中富企画官から説明されましたので、繰り返しは避けませんが、やはり双方向交流が、一つの重要なポイントかと思います。われわれ事業者は、原子力発電所そのものを所有していますから、一番生の情報を持っています。したがって、タイムリーでわかりやすい情報提供の第一義的発信者ということを十分生かしてやっていく必要があります。

もう一つ、電気事業者は、それぞれ全国9つの地域で、必ず消費地と立地地域とをわか

えております。つまり、我々は、お客様に消費地と立地地域の方々の両者をかかえる事業であり、双方を結ぶ大きな役割を我々も果たせるのではないかと考えています。それゆえ、エネルギー問題についてお客様とともに考える活動をぜひ展開したいと考えています。

時代に即した情報供給ルートと 的確、クイックなリスポンスを

司会 いまお話がありましたように、原子力開発には国民の理解を得つつ進めることが不可欠ですが、情報の公開、提供ならびに双方向の政策形成などについて、近藤先生の所感をお伺いしたいと思います。

近藤 この議論の出発は、なんらかの決定がなされる場合、その決定によって影響を受ける関係者は発言する権利があるということです。で、発言するには、基礎情報ならびに政策情報を知らされていなければいけませんから、政策の決定過程においては、政策がもたらす影響を国民に知らせる必要があることになります。

これまでは、それでも社会における各組織の役割分担が明確で、分担者がそれぞれしっかりやれば世の中はうまくいくということでしたが、情報流通ネットワークが充実し、一方、国民の個人個人がトータルな人間としてさまざまな分野で活躍する今日では、昼間は平凡なサラリーマンでも夜は地域のリーダーとして活躍するというような人も出現しています。そこで、今やすべての人が当事者だと考えるべきで、行政は、当然ながら、従来と違う情報供給ルートを積極的につくり出さねばなりません。

しかも、交流というからには、当然に国民



中 富 泰 三 氏

(通商産業省 資源エネルギー庁)

のリスポンスを行政が早く的確にキャッチすることも重要です。そこで広報という概念ではだめで、コミュニケーションを重視する趣旨で情報交流の推進を施策の柱にする必要が生じたわけです。

求められる立地地域との共生

自主的ビジョン、長期の支援、新しい知恵

司会 原子力発電所の立地推進には、地域住民を初めとする国民一般の理解を得ていくことが重要です。併せて、原発の立地を一つの契機に、立地地域がその特性に応じた、自主的かつ長期的な発展が図れることも重要で、両者の共生が原子力部会の報告書にもうたわれています。これについてそれぞれのお立場からお話をお願いします。

中富 従来から、電力消費者から電気料金の一部として集められている電源開発促進税収を財源として、いわゆる電源三法に基づく公共施設の整備など、種々の地域振興策が講じられてまいりました。

ただ、基本的には、立地地域の自治体自らが、地域の自然的・地理的条件、産業特性な

どを踏まえて、地域の自立のかつ長期的な発展に向けたビジョンをつくることが重要です。さらに、そのビジョンに基づき、発電所の立地に伴う雇用機会の拡大、地方税収の増大、電源地域振興対策としての交付金、補助金などの有効活用を図っていただくことが重要です。

国による支援は、従来までの電力移出県等交付金、原子力発電施設等周辺地域交付金などの制度に加えて、今後、地域振興に対する継続的な支援策の一層の拡充を実施することにしております。

早瀬 立地地域との共生は、電気事業者が、常日頃から、地域の方とともに考え、ともに悩みながらやっている問題です。とにかく、われわれの事業は、原子力発電はもちろん、地域との共生なくして成立せずという基本認識を持っております。

特に原子力発電所は、他の商工業と同様に、地域の一構成員として、つまりわが町の産業として受け入れられるよう努めてきたつもりです。現実に日本の原子力発電も30年以上の歴史を持っており、その間、各電力会社がそれぞれの地域で、その地域の特性に応じた活動を地道に続けてきたと思っております。

国民生活と経済活動の基礎をなすエネルギーの需要は、これからも伸び続けると思いますが、エネルギーの問題は、100年のオーダーをもって考えるべきです。日本経済が成熟、安定期に入る21世紀において、原子力を引き続き進めるには、地域共生に今までとは違った新しい視点なり、知恵が必要であり、我々も、今後、いろいろな知恵の創出に努めます。

先ほど中富企画官からお話がありましたが、既設の発電所の地域共生も非常に大きな

課題です。今回、長期発展対策交付金の制度が創設されましたが、我々も今後は、発電所設立の当初から最終の廃炉に至るまで、地域との親密な共生をぜひ実現したいものと考えております。

よき隣人、鹿島アントラーズ型の共生を

近藤 私は、現代社会においては、国民の夢と希望が四極構造、つまり国民、事業者、地方自治体、そして国の4者の緊張と協力の関係のうえに実現されると、そういう状況認識が重要ではないかと考えています。そのなかでも特に重要な関係は、国民と事業者の関係です。国民は、国の統治の利益の受け手であり働き手ですが、一方、事業者は、財産権を活用して社会に雇用の場を提供し、資本の有効活用により新しい価値を提供するわけです。

ここで、極めて自明なことは、事業者は、どこかに地面をもたねばならず、もてば、当然その社会の一員として、社会と共生せざるを得ないわけです。コンクリートの塀で隔離しての住み方もありますが、それは国民社会の常識に反しており、地域に存在する以上共生するべきなのです。そこで大事なのは、共生の是非ではなく、共生の仕方であることがわかります。前の原子力部会でしたか「人に優しい原子力」という目標を提出しましたが、地域においてよき隣人たるを目指すならば、何をすべきか、これは事業者の検討があってしかるべきだと思います。

もちろん、地域社会には共同体として追求すべき文化があり、趣味がある。したがって必ずしも事業者との二体問題でその全てが解決できるわけではありません。しかし、相互裨益の観点から、事業者が地域社会にさまざ

まな資源を提供できる条件を整えれば、地域社会がそれをうまく利用して地域を振興し、文化的な活動、目標を達成していくことができる可能性は高いと思います。

これからは、地域社会がそれぞれ文化的に特徴ある発展を目指し、自らがプランニングする時代です。緊張と協調の関係のうちに事業者がこれにいかに関与していくか、これは多くの創造力を要することでしょうが、そういう時代がきていると思っています。

最近よく話題になるのは、サッカーの川崎ヴェルディと鹿島アントラーズ、野球の読売巨人軍と神戸オリックスの対比です。要するに全国区と地方区。いまや事業者も鹿島アントラーズやオリックスのような生き方でないといかんというわけです。つまり、経営者にとって地域社会に独特の文化的環境をつくるのに、いかに協力できるかも、経営手腕のもう1つの見せどころという時代がきているのだと思います。

「原子力発電なんてただの迷惑施設なんだ。えらそうな口をたたくな」という人もいますが、そのような心のまずしい人に同調するのか、心と心の通い路の設計が可能になるとするのか、それは当事者の選択の問題だと思います。

核燃料サイクルをめぐる

試行錯誤の開発過程にあった「もんじゅ」

技術的連続上にあるプルサーマル

資源制約に備える高速増殖炉

司会 報告書では、今後の核燃料サイクルの

課題と対応も一つの柱をなしております。わが国では、これまでウラン濃縮施設および低レベル放射性廃棄物埋設施設を国内で事業化し、再処理施設も建設段階に入り、またプルサーマルの実施準備が進むなど、わが国の核燃料サイクルは、総じて商業規模による事業が順次開始される段階に至っております。

核燃料サイクルの在り方について、いかなる新政策提言がなされたのか、伺いたいと思います。

近藤 エネルギー政策としての日本の原子力政策は、第1に軽水炉によるエネルギー供給体系を確立し、それを維持発展させること、第2に、高速増殖炉の実用化を長期目標として燃料リサイクル技術の実用化をはかり、その助走区間としてATR（新型転換炉）とプルサーマルの活用をはかるというものでした。ところが95年の夏、コスト高を理由に、ATRの実証炉計画をフルMOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）のABWR（改良型沸騰水型原子炉）で代替するとして中止しました。ところが、これに対して国民から、国の基本方針を示す「長期計画」が改訂されてすぐさまの方針変更とは一体どういうことだろうか、という疑問あるいは不信の念が表明されました。

そういうところに「もんじゅ」がトラブルを起こして原子力開発を担う組織への不信とあわせて、わが国はこれまで軽水炉から高速炉へを基本路線として原子力政策を進めてきたけれど、本当に大丈夫なのかという感じを多くの人々が持つに至ったわけです。

そのこともあってでしょうが、欧州業者に委託した再処理が順調に進みプルトニウムが回収され始めましたし、下北の再処理工場の

建設が進んで回収されるプルトニウムの利用を計画的に進めるべき時期が到来しつつあることから、プルトニウムをウランと一緒に軽水炉で燃やすプルサーマルの導入を電気事業者が立地県に申し出ようとしたわけですが、自治体としては時節柄そう簡単には了承しかねるということになったのです。

プルトニウムを軽水炉で使うプルサーマルについては、わが国では新しいことですが、ヨーロッパでは既に実用されていますし、炉心特性もこれまでの炉心と比較して何ら飛躍はないので、新燃料の管理以外には新しいことがないのですが、国際的にも話題を呼ぶグリーンピースが騒ぐようなものを電気事業者から申し込まれて、「はいそうですか」と二つ返事で了承はできないというわけです。

このところを解きほぐす作業を進めてわかってきたことは、「もんじゅ」のトラブルが高速増殖炉や日本の核燃料サイクル、いわば原子力政策の推進に齟齬をきたすと思われていることでした。しかし、「もんじゅ」は高速増殖炉開発の一段階で、これを実用技術とするために今後どういう開発努力が必要かを考えるためのものですから、さまざまなことが起こるのは当然です。積極的にさまざまな試験を行う場という性格のプラントですから、その過程で思わぬ難問に遭遇し、思案投首ということもあるでしょう。そういう性格のプラントなのです。

ですから、こういう試行錯誤の時間は、当然、原子力開発計画、あるいは原子力政策に繰り込んであるべきものであり、実際に織り込んであるのです。つまり、2030年頃までに実用化することを目途に開発するといっているからといって、2030年からのエネルギー供

給計画にこれを考慮しているわけではないのです。開発目標年度はありますが、これは今日、明日、あさって何をすべきかを考えるための枠組なのです。ですけれど、国民にはそうとは見えなかったわけです。

そこで、こういう誤解を与えることになったのは、軽水炉から高速増殖炉への道は平坦な一本道と見える政策スタンスをとってきたことに原因がある、そういう誤解を与えないためにより正確な政策整理の枠組を示すべきではないかと考えたのです。

短期、中期、長期計画として整理する方法も考えましたが、報告書に採用されたのは、原子力利用は3段階の発展段階を有するという予言的なものです。

再処理を目指す、資源の有効利用

廃棄物発生抑制、プルサーマルへの期待

司会 いま近藤先生がおっしゃった3段階の発展段階ですが、報告書では、軽水炉によるエネルギー供給を主力とする第一段階、濃縮・再処理の商業化とプルサーマルを進める第二段階、高速増殖炉利用の第三段階の3段階に区分して、政策の整理がなされていますね。

近藤 ええ、そして、現在は第二段階の入口にあり、この時期になすべきは、第1にはプルトニウム・リサイクルを原子力発電事業として取り入れていく、これによるエネルギー供給を行っていくことができるようにすることであり、第2にはこの先の高速増殖炉によりエネルギー供給を行う第三段階への準備として高速増殖炉の研究開発を進め、実用技術を実証炉などで確認していくこととしたので、この入口にあたって取り組むべき最大の

問題は、なぜ我々は使用済燃料を再処理してプルトニウムを利用するかについて、国民の間に共通の理解を確立することです。我々が営々として原子力開発をやっているのは、原子力を21世紀のエネルギー供給を支える技術とすることにあります。この報告書では、資源の有効利用と廃棄物の抑制、これは人類が21世紀においてさまざまな行動を計画する際に考慮すべき重要事項ですが、この観点から再処理による資源のリサイクル利用は望ましいことだとしています。リサイクルの代替案は使用済燃料の直接処分ですが、軽水炉の運転から出る使用済燃料、これには未燃焼のウランそしてプルトニウムが含まれていますから、それをそのまま処分するのは、この原則に反します。使えるものはなるべく回収し、本当に使えないものだけを廃棄物として処分する。そうすると結果的に処分すべき廃棄物の発生量を少なくすることが可能になります。で、そうすることが21世紀の技術のとるべき姿ということで、再処理の道を選択すべきとしたわけです。

その結果、回収ウランとともにプルトニウムを積極的に使っていくべきであり、これが利用可能になりつつあるこの時期に、電気事業者がこれに着手するのは適切であるとしたのです。

もちろんプルトニウムの利用にあたっては、核不拡散への配慮が重要です。米国政府が現状において再処理を行わないとしているのも、各国がこれを行うと核拡散リスクが増大するというものです。わが国としては、「ふげん」ですでにプルサーマルの経験を積んできており、転用のないことを確認する保障措置についても IAEA と協力してプルトニウ

ム・リサイクルを念頭において技術の改良開発を行ってきています。そこで、これらについて内外の批判をいただきながら、引続き改良していくべきところを改良しつつ、この利用を次第に拡大していくことが適切であると判断したのです。

十数基に拡大が見込まれるプルサーマル

司会 次に、今後のプルサーマルの具体的な進め方はどうなっているのですか。2000年まで、あるいは2000年代に、何基ぐらいやっていくかのスケジュールですが。

中富 先ほど近藤先生からも説明されましたが、わが国が海外に再処理を委託し回収したプルトニウムを着実に利用していくのは、核不拡散への配慮の観点からわが国の責務であります。また、これから六ヶ所村再処理施設が稼動して国内でプルトニウム利用が本格化しますと、プルサーマルによるプルトニウム利用体系の早急な確立が必要です。

具体的には、まず、既に海外再処理によって一定程度のプルトニウムを回収してMOX燃料加工の準備を行っている一部の電気事業者により、2000年までに3～4基程度でプルサーマルを開始することが適切かと考えられています。

それ以外の電気事業者は、国内外でのプルトニウム回収状況などを見ながら、逐次計画的にMOX燃料の加工その他の準備を進めていくことが必要であると考えられています。電気事業者による海外再処理の状況、現時点の準備状況などを勘案しますと、2000年代前半にさらに数基程度プルサーマルの追加、2000年代後半にはその時期の国内再処理工場の稼動状況や高速増殖炉の研究開発用の需要



早瀬 佑一氏

(電気事業連合会 原子力部長)

にもよりますが、全体では十数基程度まで拡大すると見込まれております。

ウラン炉心に変わらぬ安全性

司会 世間には、プルサーマルの安全性に不安もあると思います。わかりやすく説明していただくとどうなのでしょう。

近藤 プルサーマルの安全性について注目すべき点は2つあります。一つはプルトニウムを含む燃料の取扱いに関する安全性、もう一つがプルトニウムを装荷した原子炉の安全性です。

プルサーマル用の使用前の燃料集合体は、中性子レベルというか、放射線レベルが高いものですから、ウラン燃料とは違った取り扱いが必要です。ですけれども、幸いにして我々は既に「ふげん」でMOX燃料をかなり燃やしていて、その製造、輸送、取り扱いには経験があり、まったく新しいことを行うわけではありません。軽水炉自体についても、MOX燃料について少数体の照射を行ってきているわけですから、そうした経験に基づいてそれなりの配慮がなされれば、特に問題はない

と考えてよろしい。

次に炉心については、大事なことは、ウラン燃料を使用する現在の軽水炉においても、炉心には運転開始の極く初期を除いてプルトニウムがあり、原子炉中で起こる核分裂の少なからぬ割合がプルトニウムの核分裂なのです。

炉心特性は、核分裂を担っているプルトニウムの割合でおおよそ決まりますから、最初からある程度の量のプルトニウムを装荷した炉心であってもその特性は今のウラン燃料の炉心において既に経験済みといえる範囲なので

です。もちろんプルトニウムの装荷割合を大きくし、燃焼度を上げていきますと、これによる核分裂の占める割合がこれまでの軽水炉のそれよりも大きくなりますが、それによる炉心特性の変化は炉心安全性、これは燃料破損に至る余裕で考えますが、これを減じるものではありません。

以上のことから、プルサーマルだからといってもプルトニウム装荷燃料を現在の軽水炉の炉心の $\frac{1}{3}$ 程度に装荷する場合には、そのために安全上の対応を付加する必要はない、そうしなくても、ウラン炉心同様の安全性を確保できると申しあげられます。

10銭程度、吸収可能なコストアップ

司会 プルサーマルの経済性に疑問を持つ向きもあると思いますが、この点についてコメントをいただければと思います。

早瀬 私どもも、2月21日、電事連会長から電気事業におけるプルサーマルの全体計画を発表いたしました。その際にも、経済性についての質問が、安全性と並んで相当寄せられ

ました。その背景は、プルトニウムという特殊な物質を使うがゆえに、プルサーマルはコスト高にならないかとのご質問でした。

ここでは、例えば回収プルトニウムからつくるMOX燃料の取得価格がウラン燃料の2倍と仮定します。原子力発電の発電コストに占める燃料費の割合は、全体の1割程度になっています。また、MOX燃料の装荷量は、今のところ、全原子力発電所の燃料装荷量の10分の1程度にとどめることになっております。したがって、発電コスト全体に与える影響はさほど大きくなく、先ほどの仮定のもとでも1kWhあたり10銭程度とみています。この程度であれば、今後、燃料の高燃焼度化、原子力発電の稼働率向上その他の努力を重ねることにより十分吸収可能であり、電気料金の値上げには結びつかずプルサーマルを実施し得ると考えております。

裏付けを持つ

使用済MOX燃料の再処理技術

司会 プルサーマルに関連しまして、MOX燃料の加工、プルサーマル後の再処理について、電気事業者の立場からお願いしたいと思っております。

早瀬 繰り返しになりますが、電気事業連合会は、先日、日本原子力発電、電源開発を含めた全電力会社の、プルサーマルの全体計画を発表しました。その中で、まず第一グループとして東京電力と関西電力が実施する。その後、他の電力会社が2010年までに順次実施をしていくというものです。この公表を受け、東京電力は、早速3月6日に福島、新潟両県を訪問し、まず福島第一発電所の3号機で1999年に装荷開始、それから柏崎刈羽発電所

の3号機で2000年に装荷開始という計画を両県知事、並びに地元の方々に説明いたしました。この後、3月28日には関西電力と日本原電が福島県と地元市町村に計画を説明しました。今後、他の電力会社が順次計画を実施に移していきます。

プルサーマルに使うMOX燃料は、当面、イギリス、フランスに電力会社が委託した再処理から抽出されるプルトニウムを使用しますので、加工もヨーロッパの工場という計画です。

さらには六ヶ所村の再処理工場が操業を開始しますと、当然そこからプルトニウムが発生します。電力は、これにあわせて国内のMOX加工工場を建設することを考えており、その加工工場で製造した燃料を原子炉の中に装荷して燃やしていく計画をもっております。

使用済MOX燃料の再処理には、現在のピュレックス法で可能と聞いております。海外、特にフランスでは既実績があり、また日本では動燃が東海の再処理工場の一部試験をやっており、技術的な裏付けは既にあるということです。

ただし、ウラン燃料と違うMOX燃料を効率よく再処理するには、最終的には「長期計画」にいう第二再処理工場で実施するのが適当であろうと私どもは考えております。したがって使用済のMOX燃料は、現実問題としては、再処理工場が建設されるまでの間、適切に貯蔵することになろうかと思えます。

貯蔵に柔軟性を高める制度整備を

司会 使用済燃料の貯蔵も重要テーマとして取り上げられております。近藤先生から何か



稲葉 裕俊氏

((財)エネルギー総合工学研究所 専務理事)

コメントございましたらお願いします。

近藤 原子力発電所には使用済燃料の貯蔵施設があり、現在も使用済燃料が再処理を待つ間貯蔵されています。一方、再処理工場をつくるときには、その経済性と使用済燃料発生量の予測のもとに再処理設備と受け入れ貯蔵設備それぞれの規模を決めます。再処理能力については、例えば現在の使用済燃料の発生量が毎年600トン、20年先のそれが2,000トンとしますと、いま2,000トンの再処理工場をつくと、当初は設備が遊んでしまいます。どうしても全ての使用済燃料からなるべく早くプルトニウムを回収したいというなら、いつでも十分な再処理能力が必要ですが、そうではなく、経済性が許すスピードでこれを行うとすれば、まずは800トンの処理能力の工場をつくり、経済性を見極め、必要ならばさらに技術開発を行ってから1,500トン程度の第二工場をつくることになります。したがって、この間処理量である800トンを上廻って発生する使用済燃料は貯蔵されることになります。

問題は、この再処理を待つ間の貯蔵場所をどこにするかですが、選択肢としては3つあ

ります。一つは、使用済燃料の発生する発電所内で、二つ目が将来再処理工場を建設する敷地内に早くから貯蔵する方式、三つ目は発電所外に貯蔵場所をつくってそこに貯蔵する、いわゆる敷地外貯蔵です。常識的に考えれば、発電所にはさまざまな制度的な管理システムができていますから、その貯蔵施設的能力を増やしていくのが一番経済的であるはずです。もちろん、将来の再処理工場の貯蔵施設を先行して建設し、これを利用するのも当然に考えてよい方法です。フランスではこの方式を採用していると聞いています。しかし、これを含めて、敷地外貯蔵を否定すべき理由はありません。

そこで今回は、電気事業者が再処理能力の将来計画との関係において発電所における必要貯蔵量を見極め、これを実現可能ならしめるように地域社会のご理解を得ていくことが重要としつつ、その上で運用の柔軟性を増すためサイト外の貯蔵についても、これが実施可能であるように所要の制度の整備をしておくべきとしています。

実績をもつ使用済燃料の貯蔵技術

司会 電気事業者は、現在どのような問題をかかえているのか、また地元からどのような声があがっているのか、お話しいただければと思います。

早瀬 この使用済燃料の問題は、原子力発電を続ける限りついて回る、古くて新しい課題と認識しております。特に立地地域からは、当面の使用済燃料の手当てだけでなく、長期的な視野に立って、国と電気事業者が全力を挙げて解決を図るよう強く指摘されております。いくつかの発電所で、遠からざる至近年

に、貯蔵容量を超える見込みです。これらについては、地元の自治体など、皆様のご理解をいただき貯蔵容量の増強をいたしたいと考えております。

しかしながら、この工事を行ったとしても、2010年ごろには新たな対策が必要になります。この時には従来の発電所内貯蔵という方式のみでなく、発電所外貯蔵も含めた新しい貯蔵の考え方の構築が重要であり、原子力部会の中間報告書にも示されております。この点については国と電気事業者が協力し、この度設置された「使用済燃料検討会」で検討を進めていきたいと考えております。

具体的な、使用済燃料の貯蔵方式として、水プールの貯蔵方式、それからキャスク、サイロ、ボルトなど、いくつか方法があります。そのうち、水プール貯蔵とキャスク貯蔵は発電所内貯蔵として、日本国内でも実績があります。サイロ、ボルト貯蔵についても、技術的には特段の困難はないと考えております。

このような技術的問題の他に、発電所外貯蔵に向けた今後の課題には、事業の位置づけ、実施主体、地域共生のあり方、最後に、具体的立地点の選定方法などいくつかの課題があります。この辺を、先ほど申しました検討会その他の場で検討し、発電所外貯蔵の実現に向け努力をしてまいりたいと考えております。

期待される高速増殖炉懇談会の検討

司会 高速増殖炉についての記述は、前回の原子力部会の報告書に比べて少いようですが、このあたりの経緯、これからの対応につきましてお願いします。

中富 高速増殖炉につきましては、ご存じの

ように、「もんじゅ」事故の原因究明作業が続いておりました。原子力委員会も、平成8年10月、「もんじゅ」の今後の取り扱いを含めた高速増殖炉の開発のあり方について、新たに「高速増殖炉懇談会」を開催して検討を進めることを決定しております。

したがって、今回の原子力部会では、従来ほど深く議論はしておりません。ただ、高速増殖炉は大規模かつ長期の開発を必要とし、将来的に核燃料サイクルの中核になり得る技術であり、将来重要な役割を担うものですから、今回の報告書は、「今後この高速増殖炉懇談会で広範かつ十分な議論が行われることを期待する」ということになっております。

急がれる処分・廃止方策全体像の確立

司会 放射性廃棄物の処分や原子力発電所の廃止措置が含まれるバックエンド対策も、今後の主要な課題です。これまでになされた議論や今後の方向についてご紹介いただきたいと思います。

中富 原子力発電に対して国民の皆さんがもつ不安の理由の一つに、放射性廃棄物処分などのバックエンド対策の遅れがあるのは事実と思っています。バックエンド対策の未整備に対する国民皆さんからの強い批判を厳粛に受けとめ、制度整備と事業化を早急に進めていくことが必要です。

高レベル放射性廃棄物の処分対策については、2000年を目安に処分事業の実施体を設立すべく、いま、関係者間で検討が進められています。その時点までには、資金対策や安全に対する国の責任のあり方を含め、処分方策の全体像を示す必要があると考えております。

また、地層処分の安全性に対する国民の関

心が高いので、研究を通じて処分の安全性を明らかにし、国民の皆さんにわかりやすく説明することが重要です。

その他の放射性廃棄物についても、処分制度の整備を進めることが必要と考えています。

原子炉の廃止措置については、原子力部会のもとに、「原子炉廃止措置対策小委員会」が設けられ、ことしの1月、ご報告をいただきました。そのなかで、原子力発電施設解体の基本的な手順や安全確保のあり方を示すとともに、炉内構造物などの低レベル放射性廃棄物の処分方策とか、放射性廃棄物として扱う必要がない廃棄物を区分するクリアランス・レベルの設定など、解体廃棄物にかかる制度整備が主要な課題である、と指摘されております。今後、2000年代初頭にも廃止措置に関わる手続きが行われると予測され、国としましても制度整備が必要と考えております。

司会 バックエンド対策について、今後の進め方に対する電気事業者のお考えをお伺いしたいと思います。

早瀬 電気事業者は、国と同様な考え方で協力してまいりましたし、これからもそのつもりです。

ここで、一言だけ申し上げたいのは、日本原子力発電の東海1号炉が、平成10年3月に廃止になります。これは、日本の商用炉として初めてのデコミで、地元のご理解を得ながら、安全に、かつ効率的に、この作業を進めてまいりたいと考えております。

そのなかで、先ほどお話がありました放射性廃棄物として扱う必要のないクリアランス・レベルが、非常に重要な一つのポイントだと思っております。これには、当然ながら

国民的合意という大きな課題とともに、合理的なレベルの設定に向け、厚生省も含めた省庁を超えた対応をぜひお願いしたいと思います。

異例の閣議了解 核燃料サイクル推進方策

司会 今回の報告書を受け、政府、原子力委員会はどのような対応をとられたのでしょうか。

中富 中間報告書は、本年1月20日に出されましたが、原子力委員会へは、審議の途中から審議状況をご報告し、同委員会で同時並行的に検討を進めていただきました。その結果、原子力委員会においても、1月31日に当面の核燃料サイクルに関する具体的な施策として、使用済燃料の問題、プルサーマルの推進策などの主要項目についての決定が行われ、その後、2月4日にこの決定を踏まえた核燃料サイクル推進方策ということで、閣議了解をいただいております。

原子力委員会の決定事項がさらに閣議了解されるのは異例ではありますが、今回の決定に盛り込まれた、例えば使用済燃料の問題、プルサーマルの推進策、さらには、国民皆さんからの信頼回復といった問題が極めて重要で、かつ国民的議論を踏まえた上で解決すべき課題であった、ということによるものであります。

その後、通商産業大臣、科学技術庁長官の両大臣から、2月14日には福井県、福島県、新潟県の3知事に閣議了解の内容を説明させていただいております。私ども資源エネルギー庁は、2月から3月にかけて、例えば福井県議会など、ご要望をいただいた地元自治体に対して、プルサーマル計画についてご説明さ

せていただく機会を設けており、今後とも地元を中心に国民の皆さんへのご説明を続けていきたいと思っております。

不退転の覚悟で推進したい

核燃料サイクルの諸問題

司会 プルサーマルに限らず全般にわたり、今回の中間報告書の意義、評価につきまして、電力業界のコメントをお願いしたいと思えます。

早瀬 「もんじゅ」の事故から早くも1年以上たちました。

この間、国民の間に広がった原子力政策に対する不信、不安に應えるため、今回、原子力部会を再開していただき、また、やり方も従来とは大きく変えて、地方自治体との意見交換、「一日総合エネ調」の開催、また原子力部会の公開など、非常に積極的で、かつ幅広い取り組みをされた通産省ならびに委員の方々に深く感謝申し上げたいと思えます。

もう一つは、基本政策小委の報告では将来のエネルギー需給の観点から原子力の必要性について、また原子力部会の報告からは原子力開発の方向性について、さまざまな観点から明確に示され、またタイミングよく出していただき、大きな意義があったと思っています。なかでも、プルサーマル計画や使用済燃料対策は、まさに動き出したところであり、今後具体的に進める方向のきっかけをつくっていただいたことは極めて重要だと考えております。

今後、この二つの中間報告の内容に沿って、原子燃料サイクルに関する諸課題を一般の方々のご理解を得つつ、不退転の覚悟をもって推進してまいりたいと考えております。

おわりに

司会 いろいろと重要なポイントについてすでに話が出ていますが、今後の原子力開発の進め方について特に強調されたい点、あるいは言い残された点がございましたら、それぞれの方からお願いします。

試行錯誤と大胆に変化を試みる政策を

原子力開発は世界に貢献できる

ビッグチャンス

近藤 一番大事なのは、いまや我々は、必ずしも先例がない領域に入りかけているのであって、問題を創造的に解決していかなければならない時代にあります。

技術的にもお手本が少なく、社会面では先ほど申しました四極構造のゆえに生じる複雑な運動を現実と受けとめて、責任を果していかなければならない、そのための答を創り出していかなければならない、そういう時代にきています。ですから、これからの原子力開発には、そうした試行錯誤が必然的に伴うということ計画に織りこんで、あるいは時宜に適った変化を大胆に試みる政策を考えることが一番大事だと思います。

もう一つは、さはさりながら、基本に還るといいますか、我々はなぜ原子力を利用するかについて常に反芻し、国民と理解を共にすることが必要です。

過日、ある放送局のインタビューで、「こんなにしょっちゅうトラブルが起こるなら、原子力はもうやめた方がいいというのが国民の声ではないですか」と言うのです。そこで私は答えました。「本当にそういうことを貴局は

言われるのか」と。例えば、通信衛星も失敗したし、ハイビジョンも失敗、それでも今日があるのではないか、しかもそれは珍しいことではない、科学技術の歴史を見ますと、さまざまな成功の陰にはいくつもの失敗があり、トラブルがある。それを乗り越えて現在われわれの享受している技術が実用域に達しているのです。ですから、1回や2回の失敗でやめてしまえという声があれば、貴局は自らの例を引いてその不当さを説明すべきではないかとしたのです。環境制約のなかで、人類が等しく豊かな生活をエンジョイするには、技術的選択肢を最大限利用する努力をするとともに、原子力の大きな供給力を開発利用していくことが必要です。

化石燃料は、残存資源量が減少するにつれ、値段が上昇するでしょう。日本は石油、石炭を買うことはできますが、世界経済は全体として高エネルギー価格体系へ移行するでしょう。それが地上の多くの人にとって何を意味するのでしょうか。

また、わが国は、地球温暖化防止の国際約束のなかで、絶対値としてのCO₂放出量の抑制を表明しています。たとえ金で石油や天然ガスが買えたとしても、化石燃料は使えないのです。他のエネルギー源を探さなければなりません。温暖化防止は、ひとり日本のためにとどまらず、全人類が直面する問題です。これを突破する手段として、原子力を正しく安全に使えるようにすることは、日本が世界に貢献できるビッグチャンスでもあるわけです。原子力のそういう役割を国民と共有できないはずがないわけで、その努力を惜しんではならないと思います。

双方向交流の契機に

中富 今回の原子力部会の中間報告に関する私どもの立場は、一つは取りまとめの事務局としての立場でしたが、もう一つは、いただいた宿題を解決すべき行政機関としての立場でもあるわけです。

今回の原子力部会の審議に際しては、全般を通して議論を公開し、地元の方々との意見交換の場を設けるなどの新しい試みをしました。また、報告書の中でも、一方的な情報提供ではなく情報の双方向の交流が重要、とのご指摘をいただきました。

その意味で、私どもも行政を担う側、ご指摘を受けてこれから課題を解決していくべき側としましては、今回の原子力部会は今までの行政手法を大きく変える契機になったと思っています。国の行政は、従来、ややもすれば一方向のご理解、ご協力を求める進め方であったとの反省があり、今後、双方向の議論といえますか、意見の交流を通じて、国民の皆さんの考えをいれた行政を進めるきっかけになったと思っています。

計画変更は事前合意のもとに

早瀬 今回の原子力部会、それから原子力委員会が開いた「円卓会議」、この辺が昨年の大きなイベントかと思いますが、私どもも議論を拝聴して、透明性とわかりやすさ、これがこれからの原子力政策のキーワードであり、われわれ事業者としましても、今後、常にこの2点を念頭に置いて進めていきたいと考えています。

若干申し上げたいのは、変化の激しい今の世の中で、原子力を取り巻く情勢も常に変転

しています。そのなかで、揺るぎなく守って
いくべきで基軸は、核燃料サイクル路線であ
りプルトニウム利用路線であると思います。
しかし、一方に情勢変化に合わせて変えざる
を得ぬ事項もあり、これには、大胆、かつ柔
軟な対応が必要です。この、ある意味での二
律背反を、行政は政策の上で、または事業者
は事業の上でどう実現していくかという難し
い課題がこれから出てくると思います。その
なかで一番重要な点は、計画を変更あるいは
修正することが必ず出てきますが、その際に
は、そのポイントを国民の前に明らかにして
理解と合意を得る努力、これを行うべきと思
います。

もう一点申し上げたいのは、先ほど、100年
という時間軸を申し上げましたが、今後の原
子力は立地地域との共生というローカルな課
題と同時に、今回二回目のガラス固化体がヨ
ーロッパから返還されていますが、今後のM
OX輸送も含めグローバルな課題もあり、空
間軸も大いに拡大します。このような新しい
時代のなかで、古い世代に代わって鋭敏な複
眼を持った若い人に、これから大いに期待し
たいと考えております。

政策提言能力を備え

調整役を果たせるエネ総工研に

司会 私どもの研究所では、エネルギーの全
般にわたる調査研究を中心に活動を進めてお
り、原子力の分野にもかなり力を入れており
ます。今回の原子力部会の議論を踏まえつつ、
今後の当所の役割に対する期待など、近藤先
生からお話し願えればと存じます。

近藤 この1年間、部会場で議論してつく
づく感じましたことは、この分野の問題を正

しく分析していて、人々との情報交流に利用
できる素材あるいはその分析の場が実に不足
していることです。

アメリカには、非常に識見の高い専門家の
集まりであるナショナル・アカデミー・オブ・
サイエンス、ナショナル・アカデミー・オブ・
エンジニアリングという非政府組織があり、
国からの要請で、実にたくさんの政策分析レ
ポートを出し、行き届いた政策提言をしてい
ます。日本では、政策分析と提言は行政の中
でなされることが多いのですが、今後の行政
の簡素化、時代の方角を考えますと、このよ
うなNPO（非営利団体）の持つ専門的政策
提言機能がますます重要になってきます。こ
の研究所が高い政策分析能力を持ち、かつN
POとして具体的に政策提言していただくの
が非常に重要になってくると考えます。

特にエネルギーは、経済社会を支える非常
に重要な要素であるにもかかわらず、わかり
にくいところがあります。ニュートンの万有
引力の法則にも、エネルギーの概念がないの
です。エネルギーというのは、その存在があ
まりにも普遍的で認知しがたい。しかし、国
民生活の非常に多くの場面に密接な関係を持
っているのです。このことを踏えてよろしく啓
発をお願いしたい。

もう一つは、科学技術立国を目指すわが国
にとって、技術開発の動向、科学技術の進展
とエネルギーに係わるさまざまな事業との相
関を分析し、アカデミーの方へ問題を還す調
整役というかインタープリターの役割を果た
す組織の存在が非常に重要です。この役割を期
待したいのですが、そのためには国民と学界
の双方にインターフェイスをもたねばなりま
せん。最近の情報技術を高度に利用してそう

したインターフェイスを形成利用して、この役割を果たしていただけたらと思いますし、理事の一人として微力ながらお手伝いしたいと思っています。

司会 本日は、大変お忙しいところ、有益な、参考にすべきご意見をわかりやすくお話していただき、まことにありがとうございました。

ところで、この座談会の3日前、動燃・東海事業所のアスファルト固化処理施設で火

災・爆発事故がありました。現在、原因その他を調査中で詳細不明ですが、われわれ原子力関係者にとって反省すべき教訓を含み、今後の原子力推進に難しい課題を残すことになるかと思っています。

機会がありましたら、この件につきまして、またお話を伺いたいと思いますが、本日は時間が参りましたので、こゝらで終了させていただきます。ありがとうございました。



〔特別講演〕

グローバルエネルギー戦略*

山 地 憲 治 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)



は じ め に

山地でございます。実は私、東大原子力工学科の卒業でして、エネルギー総合工学研究所理事長の秋山守先生は恩師であり、学生時代には先生から熱工学、流体力学の講義を受けました。

大学院修了後、電力中央研究所に就職し、その中でいまは名前を経済社会研究所と変えています。当時は経済研究所といました技術経済研究部門に入所しました。

私は、大学院では、いま「もんじゅ」などで問題になっていますプルトニウム燃料の長期運用を主な研究テーマにしておりました。原子力の長期的な役割の研究でしたから、原子力を単に技術的に見るのではなく、社会経済のなかでのエネルギーの役割、特にそのなかでの原子力などのエネルギー技術の役割、これを「技術評価」とか「技術予測」と呼びますけれども、そういう分野を研究するようになりました。

この分野は、ちょうど技術と経済の境界領域となります。いまでも同じと思いますが、電

中研の経済社会研究所の中には、私のように工学系を出たけれども経済学の手法を使って技術経済分野の問題を扱う部門があり、そこで17年余り勤務しました。大学に戻りましたのは、つい2年ほど前であります。

さて、きょうは「グローバルエネルギー戦略」という大層なタイトルを頂戴しました。それは、1995年にこういう名前の本を、横浜国立大学の藤井康正先生との共著で電力新報社から出版したからだと思います。幸運にも、この本が第16回エネルギーフォーラム賞の受賞に恵まれましたことから、秋山理事長からそれをテーマにした講演をとのお話があり、そのまま使わせていただいた次第です。

藤井さんは、私より15歳ほどお若い方で、大学院の博士課程時代に、世界全体をカバーするエネルギーモデルをつくり、そのモデルを使ったCO₂対策技術の評価で学位を取られました。大規模で、かつ、政策研究に適用性もあるという点で、日本人がつくった初めての本格的エネルギーモデルでして、その紹介が実は本の主眼でした。

ただ、モデルによる解析は多くの数値を扱っており、前提、方法論、最適化の手法などいろいろ複雑になりますが、きょうは口頭で

〔事務局注〕

※ 本稿は、昨年11月15日、当所の第2回賛助会員会議におけるご講演をテープ起こししたものです。

のお話ですので、同じテーマのまま、そのモデルによりどんな問題の解析を目指したかを中心にお話したいと思っております。

エネルギーを見る視点の拡大

まず、表題の「グローバル」という言葉です。これはそもそも「地球的」ということですが、もう少し一般的には「全体的」という意味があります。私のエネルギーモデルの解析あるいは技術評価の視点も、できるだけ大きな視点から見詰めたという意味が込められており、「エネルギーを見る視点の拡大」というヘディングを持ってきたわけです。

「トリレンマ」問題の解決に

求められる視点の拡大

最初に、「トリレンマ」という面白い言葉は、皆さんどこかでお聞きになったと思います。一体どなたの造語かといいますと、私は、たぶん電力中央研究所理事長の依田直さんの言葉かと思います。依田さんは、就任直後から、しばしばこの「トリレンマ」という言葉を所内外で使われておりました。

「ジレンマ」という言葉があります。2つのものが相並ばない、矛盾している、あちら立てればこちらが立たずというのが「ジレンマ」ですけれども、エネルギー問題は、その「ジレンマ」で表現できるほど単純ではなく、「3すくみ」という言い方をされるわけです。

その3つは何かといいますと、一つは、成長です。エコノミーと言ってもよく、Eで表せます。つまり、グローバルに見ますと、日本とか先進国は成熟社会に入り、人口も安定

化すると言われています。ところが、発展途上国の経済成長はこれからです。そうしますと、エネルギー需要は、その増大する経済に伴い、省エネ努力を行っても、やはり増加してきます。エネルギーは、この成長するエコノミーに対して供給を確保しなければなりません。これが問題の一つです。

次は、エネルギー資源の問題でして、これには量的な制約があり、70年代に起こった問題です。石油危機というのは、当時、石油資源の供給確保に対する不安がベースにあったから発生したのです。OAPEC(アラブ石油輸出国機構)という中東の政治的組織が、第四次中東戦争をきっかけに石油禁輸措置を発動し、われわれにとって非常に印象に残った歴史的事件になったわけです。つまり、需要に対する資源供給不足の問題でした。いかにして資源供給源を拡大し、増大するエネルギー需要に対して資源をどのようにして安定的に確保するかということは、今でも重大な問題です。

「トリレンマ」をエネルギーからさらに広げていいますと、食糧も含めて増大する人口が求める需要を、地球の有限な資源でもっていかに満たしていくかということが基本構造になるわけです。

ところが、エネルギーに関して言えば、資源はかなりあるのです。100万年というようなオーダーでは無理でしょうが、人間には長い数十年間から100年というオーダーで見ますと、石油は別にして、石炭は数百年は十分あるわけです。石炭の確認資源量は、石油換算1兆トンのオーダーでして、一方にはさほど多くないとの見方もありますが、十分にありすぎて未探査の地域があり、潜在的にはもっ

とたくさんあるのです。ですから、これに原子力その他を加えれば、何とかなるわけです。

現在のいちばんの難問はやはり環境問題として、Environmental Protection, Economic Growth, Energy Securityの「3E問題」の一つを構成しています。環境問題のなかでも、ローカルな公害問題、あるいは、せいぜい国境を越えて問題になる酸性雨に関しては、地域的な解決策の見通しがかなりあるわけですが、いちばん大きな地球温暖化問題に関しては、いまのところ殆ど見通しが無いわけです。

先ほど申しましたエネルギー資源問題の解決に期待の大きい石炭が、この地球温暖化の対策面ではCO₂排出量が多いという重大な欠点を持っており、この3つのE、すなわち経済成長、エネルギー資源供給、環境とが3つづくみになるということで、これを「トリレンマ問題」と言っているわけです。グローバルに考えたとき、基本問題構造として非常に大きく巧みにとらえている言葉でして、この対策は、当然、大きな視点から考えるべきであります。

主役不在となる

「複合エネルギー」の時代

「複合エネルギーの時代」、これは通産省オリジナルの言葉です。私がここで話したいのは、大学で原子力工学科を選んだ動機でして、実は子供の頃からエネルギーの問題にすごく興味がありました。それで、石炭、石油、核融合とかいろいろ勉強をし、私はエネルギーには主役がいるものと、いつも思っていました。薪炭から石炭の時代に移り、21世紀後半は石油の時代になって、私が工学科を選ぶ

頃には、次の主役は原子力だと思っていたわけです。

エネルギーには常に主役が存在し、その主役が交代していくというイメージを持っていましたが、私も原子力工学科卒業以来すでに25年、その間、技術評価をやってまいりますと、そういう単純な話ではないと思うようになりました。そのことがこの「複合エネルギー」という意味なのです。

実際に、過去の歴史を見ますと、石炭は大きなシェアを持ったこともあり、その意味では主役でした。石油も、シェアは40%止まりでしたけれども、エネルギーと言えば石油という時代がかなり続きました。しかし、今後、この「トリレンマ問題」の解決に向け、資源の枯渇、地球温暖化という究極的な環境問題に対処するには、一つの主役をつくるのではなく「複合エネルギー」でいくことになるだろう、というのが私の基本的な考え方です。

時間的には2100年までの拡大を

地球温暖化問題は、地理的には明らかに地球規模で考えるべき問題です。しかし、案外見過ごされているのが時間的範囲です。

COP 3（気候変動枠組み条約第3回締約国会議）が、1997年12月、京都で開催され、しかも議長国を務める日本政府は、「一人当たり」の表現ですが、2000年のCO₂排出量を90年水準に安定化すると表明しています。人口は、1990年と2000年では3%も違いませんが、実際上は「総量」と言っても大差はありません。そこで、そういう非常に短期の問題かといえますと、実はそうではなくて、地球温暖化という環境問題、資源枯渇という地球レベルの問題とも、やはり21世紀を通して考

えるべき問題です。ことを急いで2000年までに解決しようとしめると、人工的に非常に問題を難しくして、むしろ判断を誤らせる面が出るのではないかと見ています。

2100年にしますと今度は不確実性が増えてはきますが、視点を拡大するという点からは、時間的範囲はやはり2100年ぐらいまで広げるべきと考えております。

評価の範囲は

ライフ・サイクル・アセスメントで

私は、長年、技術評価をやっており、技術評価には常に3本の柱があると教えられ、また、人にも言っております。その一つ目が経済性、2番目がセキュリティあるいは供給安定性と言いますが、そして3番目が環境です。

そういう視点で昔どうやっていたかといいますと、一つの発電技術について、発電コストや資源賦存量の計算、あるいは、資源生産地の分散など——それらをエントロピー指標などいろいろ工夫してやっていたわけですが、そういう評価が、発電技術評価というわけです。

特に環境問題になりますと、私が電中研に入った1970年代に、チャップマンという人の「エネルギー・アナリシス」という論文がありました。いまでいうとLCA（ライフ・サイクル・アセスメント）ですが、その中で展開された主張は、『原子力発電は石油代替エネルギーの役割を担うということで開発されている。しかし、原子力発電所を造るときに大量の鉄とコンクリートを使い、かつ、軽水炉に使用するウランの濃縮過程は、いまでこそ遠心分離法が多いのですけれど、当時はガス拡散法が殆どでしたので、コンプレッサーを

多用し、電力消費が大きい。そうしますと、原子力そのものは石油に代替するかもしれませんが、原子力発電所の建設、ウラン濃縮に投入するエネルギーを考えますと、原子力発電が生産するエネルギーは、インプット段階でかなり必要とし、アウトプットからその分は差し引かれるべきである。その点を考えたとき、原子力発電は必ずしも石油代替にならない可能性がある』という主張です。

チャップマンはそれを当時としてはかなり正確に計算し、建設や燃料に所要するエネルギー投入に対して、原子力発電所が30年間正常に稼働すれば、投入エネルギーを十分上まわるエネルギーを産出すると述べたわけですから。

ところが、原子力発電所を連続して建設しているとき、運転中の原子炉数に対してまだ建設中や運開して試運転状態のものが多く状態、そういう段階で計算しますと、原子力発電は、エネルギー・インプットのほうが多くなるときもあるわけです。この点を誤解して、原子力は石油の代替にならないなどという主張もみられました。

また、高レベル廃棄物処分、この処分方法は未確定ですが、例えば、1000年メンテナンスするのを、もしパッシブなクーリングでなく何かアクティブなクーリングを施すのであれば、その1000年分のエネルギー投入を考えるとバランスしないとか、そういう議論があったわけです。

私自身も、1970年代頃、そのあたりを明確にするため、エネルギー・アナリシスという意味でのLCAをやっておりました。電中研の何冊かの報告書の中では、原子力はライフ・サイクル・アナリシス的に見ても正味エ

エネルギーはプラスになると述べております。

コカコーラ社などは、実はLCAを1960年代の後半頃からやっていました。当時すでに、ボトルのリサイクルについて、製作、回収、洗浄と輸送という全サイクルを考えた環境インパクトの調査をしていたのです。

それがいま地球環境の時代になって、特にCO₂の排出量を、いまのエネルギー・アナリシスと同じような形で、一つの技術のライフサイクルを考えたトータルの環境インパクトを評価する動きが強くなっており、ISO（国際標準化機構）の14000シリーズのなかでも、LCAの一つのスタンダードをつくらうという方向にあるわけです。

それがなかなか難しいのは、私自身エネルギー・アナリシスの経験からよく分かりますが、ルールを決めればすぐ実施可能というものではありません。数多くのデータ設定に大変な苦勞が必要です。しかし、LCAのような評価が注目されるのは、これは非常にいいことだと思っています。世の中はいろいろと関連が多く、一つだけ取り上げて議論しても意味ないからです。

リターナブルなガラスビンとワンウェイのペットボトルとで、どちらが環境インパクトが少ないかは、実は簡単には分からないのです。ビンをリサイクルすると、ビン自体の消費は減りますから一見環境にやさしそうですが、重たいビンを運ぶときに消費するエネルギーや洗浄に伴う環境インパクトを考えますと、どちらがいいかは判断はできず、やはり評価してはじめて分かる問題です。このような考え方は、今後のエネルギーシステムの評価に非常に重要な視点の拡大と言えます。

対策には需要サイドまで含めて

私は、1980年代に、米国電力研究所（EPRI）へ1年半ほど行っていました。そのときアメリカで、いまは「DSM」（ダイヤモンド・サイド・マネージメント）と言っていますが、当時は「ロード・マネージメント」と呼ばれた電力負荷調整の研究に興味を持ちました。要するに、電力会社から見ますと、従来の考え方は、需要は所与の条件でした。与えられた需要に対してコストミニマムで安定供給する義務を負っており、夏の需要ピークに対して必要な余裕をもった供給設備を持つ、という考え方で供給力を構成していたわけです。

ところが、お客さんとある供給契約を結ぶ。熱源機器の中には、例えば冷暖房とか温水器などは給電中に短いOFFを入れてもサービスがすぐには落ちないようなON、OFFの仕方があるわけです。そうしますと、ピークの時間帯には、お客さんを幾つかのグループに分け、ON、OFFするグループが重ならないように電力会社が遠隔操作で直接調整すれば、それによりピーク需要を下げられるわけです。いま九州電力では、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託を受け、私も実は一時エネ総工研の研究委員会の一人でしたが、そういう直接負荷制御によるDSMの実験研究をしております。

アメリカでも、負荷を下げるほうがむしろ負荷を所与の条件にして供給側で対応するより遙かに安いということで、80年代初めから、DSMを電力会社のマネージメントの中に取り込む方策がなされていました。

私は、これは非常に面白いと思い、日本に帰って聞いてみますと、日本は実はやってい

たのです。日本には、大口の需要家とある意味では相対でやる「需給調整契約」というのがありました。いろいろな形態があり、負荷曲線を修正するとか、あるいは夏期昼間ピークの対応に夏休の期間を調整するとか、あるいは、送電を緊急時に停止する、停電予告できる、リレーで瞬時に切るなど、いろいろな段階がありますが、それによってその分だけ電力料金を割り引くという方式です。実は、「需給調整契約」という名の、非常に有効なダイヤモンド・サイド・マネージメントをずっとやっていたわけです。

ただ、それはいかにも日本的なやり方でした、アメリカ風に「DSM」と呼ばなかったもので広報としてはマイナスしました。逆に私は、ずいぶんアメリカでそれをPRしてきたつもりですけれども、アメリカがDSMの先進国と思っている人は相変わらずいるのです。実は、日本は早くから日本流のことをやっていたわけです。

ところが、日本で足りなかったのは、アメリカのように、広く一般客に対するアプローチをやっていませんでした。最近、家庭の電気料金にいわゆる季時別料金という時間帯別料金を入れるようになりましたが、アメリカはそのあたりをわりと大胆に実施していました。

日本は、契約をして、相手の動きが確実になればやります。例えば、マーケットメカニズムで、値段を高くして需要を下げる、下がるかどうかは相手任せ、というような実験的なことはあまりやっていませんでした。それがだんだん行なわれるようになってきたのは、非常に重要な変化だと思います。

ここで、言いたいことは、エネルギーを考

えるとき、供給サイドだけではなく需要サイドも含めて考えることが、今後ますます重要になってくるということです。

規制緩和に伴うジレンマの解決

対立・選択から協調へ

次は「市場と政府規制」でして、これは昨今問題になっている規制緩和にいちばん代表されるところです。いままでの電気事業、ガス事業というエネルギー産業は、ビジネスとして考えるとき、規制下での経済効率を考えてきたのが特徴です。しかし、ここにくて、世界的潮流として規制緩和の方向が出てきているわけです。

技術評価の面から視点を拡大して見ますと、規制は理論的には効率を非常に歪めるものになります。規制があることにより、本来、効率的に運営されるマーケットに非効率が起こり、一方で公平が担保されます。

要するに、例えば同一地域、同一カテゴリーの電灯需要家であれば、必ず同じ料金にするというのが規制です。そうではなくて、コストを考えコストに見合った料金制にすれば、条件が非常に悪い僻地は地点別料金ということになりうるわけです。そのほうが社会的効率性にはマッチしていますが、電気のような公共的なものをコストが高いといって、僻地にいる人に対して高くしていいかどうかという公平性の問題が出てくるわけです。

そういうなかで、いま、効率性が重視されて規制緩和の動きにあるわけです。私は、ここで、「対立・選択から協調へ」と申し上げたいと思います。確かにいままで規制のもとでの産業のあり方が強調されてきましたから、むしろ市場競争が目新しく映りますが、一方、

経済性追求の強い市場でエネルギー供給をした場合を考えますと、これまた非常に問題を起こすわけです。つまり、公平性の問題とともに、この後に述べます環境問題からしても、非常に不具合が起こるわけです。

各論で考えたい環境税導入

例えば、新規に導入された I P P（独立発電事業者）と既存の電気事業者との間には環境規制にズレがある。そうしますと、I P P を導入し、一見効率改善をやったように見えますが、実は環境面で抜けがあれば、環境悪化をもたらします。外部不経済と呼ばれる、マーケットのなかに乗らない悪影響まで考えたとき、社会全体として望ましくない状況が起きる可能性があります。

市場と政府規制の関係でこれから進む方向は、しばらくを掛けていた規制が緩和になるというだけではなく、英語で“Re-regulation”，日本語では「再規制」という妙な言葉になりますが、次に、おそらく規制を少し調整する必要が出てくると思います。昨今、環境税とか炭素税とか議論されていますのが、その一部になっていくでしょう。

産業界の方は環境税を非常に嫌っておられる向きの多いのですが、直接規制となる排出量規制に比べますと、税金による規制は、税金を払えば排出は許容され、見方によれば規制緩和の方向になるわけです。

しかし、それはなかなか有効に働かないということがあります。罰金により環境規制をしようしますと、掛ける罰金額の研究が必要になるわけですが、実は私どもの研究ではかなり高額にしないと、なかなか環境税、炭素税でもって CO₂ 排出を下げるのは難しい

のです。巨額の税金を導入しますと、税制自体が歪み、日本経済までも歪めてしまう虞れがあるのです。

このようなことが予想され、私は、環境税にはいまのところ基本的には一般論賛成で、各論反対の立場です。どのような環境税かによりますが、規制緩和という意味では、直接の排出規制よりは緩和になっているとお考え願いたいのです。それ自体は反論すべきものでなく、いかなる環境税にするのがいいのかよくお考えいただきたいと思います。

国際的対応から

ライフ・スタイルの変更まで

技術評価では専ら技術的対応、つまり技術オプションの評価をやってきたわけです。しかし、私は、最近、経済的対応、つまり環境税や炭素排出権売買などを含めて、将来ありうる制度を研究の一部に加えています。つまり、技術のオプションとしての、省エネ、太陽光発電、風力、バイオマス、あるいは原子力、そういう技術的対応の評価に加えて、市場効率とか環境規制に対する経済的対応も含めて考え、視点を一つ広げております。

次に来るのは国際的対応でして、地球温暖化問題にとって非常に重要であります。日本は、いま、CO₂ 排出量を1990年の水準に2000年以降も抑えるという目標を掲げているわけですが、これは日本国内に限って対策をとる必要はないと考えてもよいわけです。大気中の CO₂ 濃度は地球全体での問題ですから、技術的にレベルが進んだ日本で排出を下げるのが費用効果的に悪いのであれば、例えば削減効果を挙げやすい中国で日本が技術と資金を出して下げたとしても、地球的に見たトータ

ル効果は全く同じです。

そうしますと、何も日本というテリトリーにこだわる必要はなく、地球規模の対応に広げるわけです。そのとき、資金や技術を移転するための国際的な仕組みが重要になります。これらを含めて考えるのが3番目の拡大です。

私は、長年、地球温暖化問題の解析で、いろいろな対策技術の評価をしまいいました。技術、経済、国際的対応を全部総動員すれば、温暖化の問題は2100年のターゲットを何とかクリアできるかもしれません。しかし、温暖化は数多くの地球環境問題の中の一つの兆候でして、いま基本的に問われているのは、地球と人間社会との間の相剋です。温暖化問題を解決したとしても、たぶん食糧問題、あるいは、ほかの資源不足に遭遇するのは必至です。

このように考えますと、やはりライフスタイルの変更が大事です。これは人間の生き方の問題ですので、なかなか研究レベルへ持ち込みにくいところです。ただ、技術的な対応だけを評価しますと、技術楽観論に陥ってしまうので危険なのです。

生活水準や様式のアップにも、やはり限界がなければいけません。どういう生活をするかを全く聖域にして、アメリカ流の生活とか、求める生活の様式や水準アップを無反省に受け入れておき、技術と経済のみによる対応に解決を求めても打開は無理と、常に念頭に置いておくべきです。研究としてここに踏み込んでも妙案は得難いのですが、一言申し添えました。

地球環境問題の経緯と展開

火付け役を果たしたNGO

皆さんもうご存じのことですが、地球温暖化問題の現状について少しばかりお話します。

この問題は、技術評価を研究する者にとっては、昔から知られた問題でした。環境問題について技術評価するとき、大気中に放出するSO_x、NO_xなどの環境汚染物質量を計算するのですが、そのなかで昔からCO₂量も算出していました。1972年に出された「成長の限界」という本に、すでにCO₂問題が書いてあるのです。

エネルギー問題を研究していた人は、CO₂問題はいずれ大問題になるとは思っていましたが、まだ対応策をとる段階にはないと考えていたのが80年代の半ばまででした。

それに、火が点いたのが1988年にトロントで開かれた国際会議「変化する大気」でした。その後はまさに燎原の火ともいえる勢でして、ちょうど世界の歴史的転換期、いわゆる冷戦構造崩壊後の時期に当たり、地球環境問題への関心が高まって、温暖化問題が燃え上がったといわれています。さらに言いますと、その前年、「モンテリオール議定書」という、オゾン層破壊に対して世界が共同してアクションをとるという協定が成立し、大きな成功を収めていました。

実は、この運動の推進を担っていたのは国際NGO（非政府組織）でした。地球環境問題を取り上げるNGOが、「モンテリオール議定書」の成立に非常に大きな力を発揮したわけですから。成立後は、政府が関与する仕事になりますので、彼らは次のターゲットを温暖化

問題に定めて運動を展開したわけです。

IPCC報告書が呼んだ

「気候変動枠組み条約」

科学的側面から申しますと、80年代には温暖化の研究が著しく進展しました。CO₂の外にも温暖化物質として、メタン、亜酸化窒素、フロン、オゾンなどいろいろあることがわかりました。これらの温暖化物質も、実は急激に濃度が上がっており、全部合わせますとCO₂と同じぐらいの温暖化効果があって、CO₂のみに起因する温暖化の倍ほどの温度上昇が分かってきたわけです。その結果、早期のアクションを必要とする科学的根拠も、80年代に少しずつ蓄積されておりました。

1988年11月にはIPCC（気候変動に関する政府間パネル）が設立され、私も翌年の89年2月からずっとIPCCに係わり、ときには強引に引き込まれた時期もありました。IPCCは、1990年、ストックホルムの北方にあるスツツバルでの会議で「第一次中間報告書」を出し、温暖化問題に関して科学的に不確実性はあるにせよ、すみやかに条約の締結を目指すべき、という勧告を出しました。これは、1992年、リオデジャネイロの地球サミットで実を結び、160数カ国、サウジアラビアを除く殆どの参加国が署名しました。50カ国以上が批准した後90日で発効という手続きに従い、94年3月、俗称「地球温暖化防止条約」と言われている「気候変動枠組み条約」、英語略称のFCCC（Framework Convention on Climate Change）が発効になりました。

山場になる第3回締約国会議

発効後、各先進国は「わが国はこうやりま

す」というと行動計画を通報することになっており、日本は、前に申しましたように「2000年以降はおおむね90年の水準に排出量を安定化する」という通告をしましたし、ほかの国も大体それと似た線を出しています。

しかし、この段階では温暖化に対する自国の誓約を一方的に宣言しているわけでした、次に議定書を作ることになります。

ところが、議定書は各国のアクションを決めるわけでした、非常に強い国際約束にまとめ上げる必要があります。条約の締約国が毎年1回会議を持つことになっており、1回目が95年にベルリンで、2回目が96年7月ジュネーブで開催されました。特に重要なのは第3回の締約国会議（COP, Conference of Parties on FCCC）でした、1997年12月、京都で行われます。

ここでは、議定書の準備をやるわけです。アメリカは、いまだでCO₂排出抑制にやや消極的な態度をとっていたわけですが、今回は、いろいろな政治的背景がありますが、積極的な姿勢を示し強い法的強制力を主張し始めたわけです。先進国は、1997年の京都会議で、排出炭素量の具体的目標値を決めることになると思います。これをどこに決着させるか非常に難しい段階にあるというのが、地球温暖化問題の現状です。

究極の地球環境問題——地球温暖化

温暖化の主犯、CO₂濃度の急上昇

皆さんご存じのとおり、地球大気が温暖なのは、地球が吸収している太陽の輻射エネル

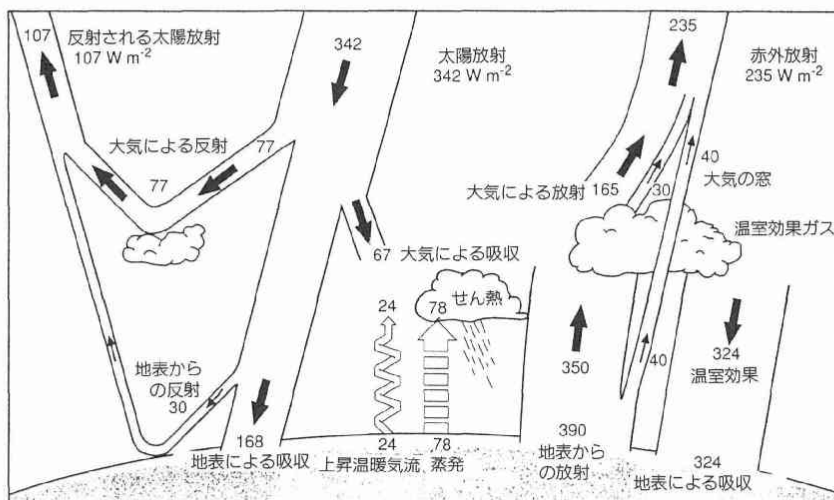
ギーによるもので、地球が吸収している部分だけで人類が使用するエネルギーのおよそ1万倍になります。そのほか大気圏、地表で反射しているエネルギーが3割ほどあります。温められた地球は、黒体放射の原理により、輻射エネルギーを宇宙に放出することにより冷却されます。その輻射は、いま地球の表面温度がプラス15℃ですので、当然、赤外線輻射ですが、その赤外線を大気中で吸収する物質があります。それが大気を温めて、大気から地球にもう一ぺん照り返しをし、この繰り返しにより地球表面温度のバランスがとれているわけです。これが温室効果です。その大気中で、地表面から返ってくる赤外線を吸収する物質がCO₂だと言われているのです(参考図1)。

もし、大気中に温室効果ガスが全くなく、地表面からの輻射エネルギーが完全に宇宙に放散されたとしますと、そのときの地表面温度はマイナス18℃でして、それをプラス15℃まで33度上げているのが温暖化効果ですが、

この主な原因は、実はCO₂ではなくて、およそ95%が水蒸気によるものです。

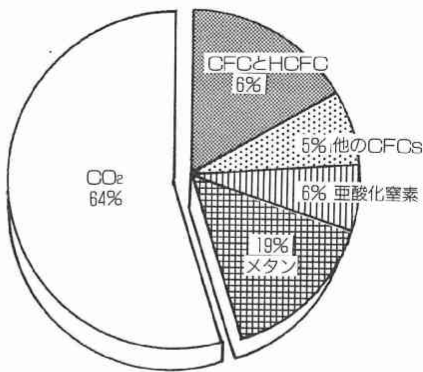
ところが、水蒸気は天然起源が圧倒的に多く、すでに濃度が高く、水蒸気が吸収するスペクトルの赤外線は殆ど消えているわけです。ですから、現在以上に水蒸気濃度が上がっても、水蒸気による限界的な温暖化は小さく、現状からの追加的な温度上昇に関してはCO₂濃度が大きく影響します。しかし、先ほど申し上げましたように、それもCO₂のみではなく、メタン、亜酸化窒素、フロン、オゾンなども考えざるを得ず、今後100年ぐらいで見ますと、メタン濃度の今後の上昇にもよりますが、CO₂は温暖化のおよそ半分ぐらいを担うことになります。ですから、主犯でありませんが、その他にも共犯者がいることを、やはり知識として持っていただきたいところです(参考図2)。

したがって、温室効果は、大気中のCO₂濃度がいちばん問題になり、「地球温暖化防止条約」は、CO₂など大気中の温室効果ガスの濃



(出所) IPCC 第二次評価報告書

参考図1 地球のエネルギー・バランス



(出所) IPCC 報告書 注: オゾン寄与を除く

参考図 2 1850年から1990年にかけての放射強制力の変化に対する、人間に伴う各々の温室効果ガスの寄与

度を危険にならない水準で安定化することを究極的な目標にしているわけです。しかし、どこが危険でない水準なのか、目下研究中であり、不明確なのが実情です。

大気中の CO₂ 濃度は、産業革命時まで、この前の氷河期以降およそ 1 万年以上にわたっ

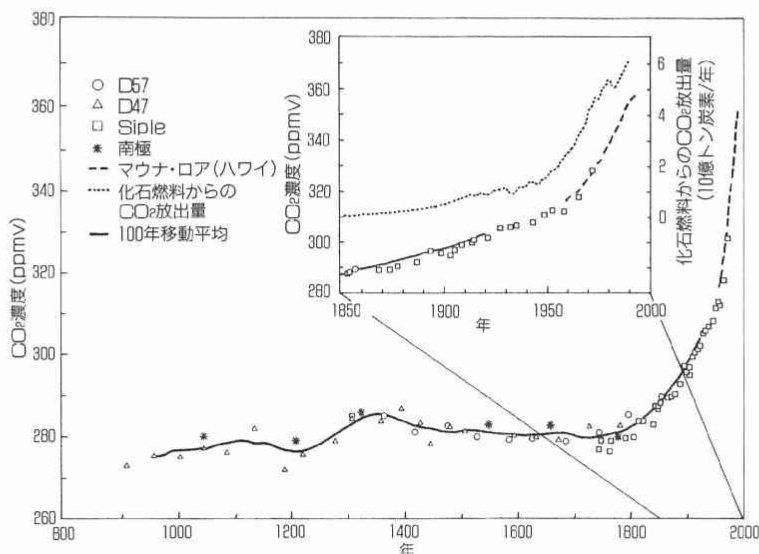
て 280ppm で安定していました。これは科学的事実なのです。それがいまおよそ 360ppm まで上昇し、1 万年というオーダーの歴史スケールで見ますと、極めて急激に上昇したのもまた事実です (参考図 3)。

もし、このまま放置しますと、21 世紀の半ばには 500ppm に達するものも避け得ぬ趨勢と思います。

CO₂ は現状の 1/2 以下に排出削減を

どのレベルで安定化したらいいかは、なかなかの難問です。

IPCC は、1996 年に発行した「第二次評価報告書」において、何ら対策をとらずそのまま放置したとき、2100 年の温度上昇を「第一次報告書」で 3℃ と予測していたのに対して、今回は少し下げ、約 2℃ と報告しています。修正された理由の一つは、太陽からの輻射エネルギーに対する反射率にあります。大気圏



(出所) IPCC 第二次評価報告書

参考図 3 大気中の CO₂ 濃度変化

での反射が上がれば、地球は冷えます。したがって、温室効果だけではなく反射率のことも考える必要があるのです。実は、酸性雨の原因となる人為物質の SO_x や NO_x は、大気中でエアロゾル（大気中の微粒子）をつくりますが、これは、反射率を上げますので、負の温室効果の働きをします。

酸性雨対策を行って SO_x や NO_x の排出をグッと下げますと、時定数が数週間と言われているエアロゾルは急激に減少します。一方、時定数が数百年というオーダーの CO_2 は、大気中の濃度を減らそうとしても急激には減りません。

将来、途上国が経済成長を進め、石炭やバイオマス燃料の使用を増しますと、エアロゾルが大量に増加し、反射率も上がります。その結果、温室効果を相殺しますので、その要素も含めて、「第二次評価報告書」では2100年の気温上昇を 2°C ぐらいと予測しているわけです。

温暖化防止に安全な CO_2 濃度は、議論の分かれるところですが、実現可能な安全レベルは、550ppmぐらいと見ています。この数字は、産業革命以前の濃度280ppmのほぼ倍でして、これだけ上昇しますと、平衡時には全球平均気温は 3°C ぐらい上がると思います。エアロゾルによる反射効果や CO_2 以外の温室効果ガスの濃度条件も加味しなくてはならず、またこの想定にはもちろん不確定なところがあって、 1.5°C と説える人もいますが、およそその程度と見られます。濃度目標は、まず科学者が議論するべきですし、いま実際にやっているわけです。

CO₂ 濃度安定化の最適パス

—排出量上昇の漸減から大巾な削減へ—

安定化濃度を550ppmとしますと、次に排出量をいかに抑えるかの問題になります。簡単に結論を申しますと、550ppmに安定化するためには、 CO_2 排出量は現状の半分以上に削減せざるをえないのです。

いま化石燃料の燃焼により排出している炭素量は年間およそ60億トン、森林破壊による発生が10億トンから20億トン、両方合わせて70億トンから80億トン出ていますが、その半分以上、40億トン以下にすることが必要です。

このような削減は、即時実施ということではありません。

先年、藤井さんと共同研究したモデルにより、2100年に濃度550ppmに安定化する最適パスを計算しますと、2100年には確かに化石燃料の燃焼による排出を30億トンに減らさなければいけないのですが、途中での一時的オーバーシュートは許容されると出てきます。2030年頃までは、年間排出量の上昇速度を多少減速させるけれども、直ちにフラットにするのではなく暫時増えるが、2030年以降、大幅に減らしていくのがモデル的には最適パス、という結果が出ました（参考図4）。

実は、この結果を早めに出しておけばよかったのですが、私どもだけではなく、私の友人である、EPR Iのリチェルス博士、バッテル研究所のエドモンズ博士、それから気象学者のウィグリー博士の3人が、1996年1月の「ネイチャー」誌にほぼ同じ結果を発表しております。つまり、安定化濃度を目標にした最適エミッション・パスは、当面は排出量が上昇しても、将来減少させればよいという

ことになります。

そういうことですので、将来の技術進歩があれば、急いで2000年以降で排出量を安定化できなくても大騒ぎする必要はないのです。

ただ、非常に微妙な表現になりますが、いまCOP3に向けて議論しておりますのは、2000年以降における先進国のCO₂排出量ですから、途上国を含めると、先進国が削減しても地球全体としては増加はあるわけです。

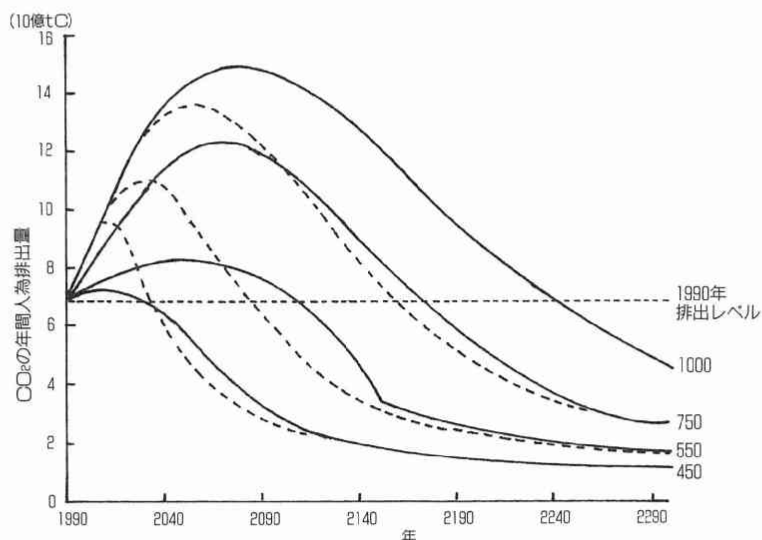
ですから、先進国の2000年以降の排出量削減は、努力目標としては必要なことですが、仮に2000年以降、世界全体で増加しても必ずしも絶望的ではないと申し上げたいのです。現在は、先進国の努力により、21世紀後半に排出量半減を可能にする技術を見出す過渡期にあるという認識が必要です。

このような長期に亘るエネルギー技術のコントロールがいちばん重要な問題だと思います。

省エネ、脱炭素化、太陽電池利用 などの問題点

最後に、技術的な内容について少々申し上げます。

環境対策は、やはり上流から始めるのが順当であり、まず省エネルギーとなります。本来は、省エネルギーの前にライフスタイルの見直しがあって、浪費を止めることが大切です。それはともかく、同じエネルギーサービスを提供する場合でも、効率のいい機器の使用、発電機の効率改善などによりエネルギー消費を大巾に節約できる可能性は、たくさんあります。



(注) 450～750ppmvのシナリオについては、2種類の経路(実線と点線)が示されている

(出所) IPCC 第二次評価報告書

参考図4 CO₂濃度を450、550、750及び1000ppmvで安定化させる
ことに対応する排出量の推移

しかし、省エネルギーだけに頼ったのでは、排出量増加を抑えきれないのは明らかです。そこで、次にくるのがエネルギーの脱炭素化です。これは、化石燃料のなかでいえば石炭、石油から天然ガスへの転換を進めることです。

いろいろな計算結果をみますと、21世紀の前半は、天然ガスが一時的に世界におけるエネルギー・ミックスのナンバーワンになると思います。しかし、天然ガスは、メタンといえどもCを1個含んでおり、CO₂排出をゼロにはできません。濃度安定化にはCのないエネルギーに進まざるを得ず、詰まるところ、非化石エネルギーの原子力と自然エネルギーとなります。核融合が21世紀中に大きなシェアを占めるとは、まだまだ見込まれません。

太陽エネルギーには世間の期待が大きいのですが、いくら太陽電池パネルの設置場所を求めても日本国内では利用可能な土地に制約があり、限られたエネルギー量しか供給できません。

電気事業連合会でも計算してますし、われわれもやってみました。日本は地価が高く更地への設置は無理で、既使用の土地の活用によるしかすべはなく、屋根の上、高速道路の法面など、それらの全面積を計算すると容量が分かるわけです。どんなに楽観的に見積っても、最高1億キロワットだと思います。太陽電池の設備利用率は12%ぐらいですから、利用率80%の原子力に換算するとおよそ1/6から1/7になり、1億キロワットの太陽電池は、原子力のエネルギーにすると、1,500万キロワットぐらいです。いまの原子力発電容量の1/3ぐらいですから、これだけで増加する電力需要を賄うのはとても無理です。

ただ、世界的に見ますと、日照条件のいい

ところ、例えばアフリカの砂漠地帯などもあり、ポテンシャルはあります。しかし、このような地域の多くは需要地から遠く、エネルギー輸送が問題になります。

水力にも同様なことが言えると思います。

知られざる世界第4のエネルギー源

——バイオマス——

むしろ、自然エネルギーのなかでいちばん可能性があるのは、IPCCの「第二次評価報告書」にもあるとおり、バイオマスだと思います。ただし、日本でのポテンシャルは大きなことないのですが、それでも太陽エネルギーよりはあると見ています。

といいますのは、バイオマスは、日本では紙パルプ産業の黒液ですでに石油換算約400万トンぐらい使用しています。太陽電池はどんなに逆立ちしても、近いうちに日本で石油換算400万トンを出力するのは困難です。石油換算の400万トンは、原子力にしますと約3百万キロワットで、太陽電池では1千500万キロワットのオーダーとなり、これは至難の業となります。

世界的に見ますと、バイオマスは、実は余り知られてませんけれども、いまでも第4のエネルギー源なのです。ふつう、エネルギーは、石油、石炭、天然ガスがそれぞれ、およそ4割、3割、2割で、これらで9割を占め、あと残りの1割を水力、原子力で分けていると言われてますが、これはコマーシャル・エネルギーだけのことでして、ノン・コマーシャルを考えますと、薪、牛糞などがあり、これらの寄与は石油換算およそ10億トンといわれています。

これは、いまのエネルギー順位で4番目に

入ります。しかし、いまは薪はサステナブルではありません。薪を森林から切り出し、森林破壊の一因になっています。しかも、燃やし方も非常に汚く、かえって人命を縮める可能性もあり、勧められるものではありませんが、量的にはあるわけです。このことは、資源として存在するバイオマスを、将来技術により近代的なエネルギーに変換できる可能性を持つといえるわけです。

ただし、土地が要りますから食糧生産との競合、あるいは森林破壊など、慎重な検討を必要としますけれども、年間生産量では、石油換算数十億トンのポテンシャルはあるわけです。数十億トンという量の自然エネルギーは、ほかにはさほどありません。ですから、世界的には、バイオマス利用技術の開発は非常に重要だと思っています。

進めるべき CO₂ 処分・固定技術の研究

ただ、バイオマスの利用が軌道に乗るには、まだまだ相当時間がかかると思います。それまでの間、鍵となる原子力発電所の新設が社会的に受け容れられず進まないのであれば、CO₂ の排出削減策は、「CO₂ の回収・処分」と、下流に行かざるをえず、すでに電力会社で非常に熱心に研究されています。回収については、少なくとも技術的に可能なことがすでに実証されており、問題は処分にあります。

処分には、4 つ方法があります。一つは、石油の増進回収への使用でアメリカでは経験があり、適用可能な油田があればいつでも実施できます。しかし、少なくとも日本のオブ

ションではありません。

第二は、天然ガス採取後の廃ガス田の空所に圧入する方法でして、これはオランダでかなり研究が進んでおり、比較的やさしいオプションだと思います。

また、第三には地下には帯水層という水の層があり、CO₂ は圧力をかけると簡単に水に溶けますので、そこに溶かし込む方法があります。天然ガスの生産をするとき、CO₂ が随伴して出る天然ガス田が結構あります。有名なのはインドネシアのナツナガス田でして、そこは採取ガスの 7 割ぐらいが CO₂ で、天然ガス生産に CO₂ がこれほど多く出たのでは話になりません。そこで出た CO₂ を地中に戻そうという動きがあります。ノルウェーのスタットオイル社は、ナツナより早く、1996 年秋、ノルウェー沖でオペレーションを始めていますが、ここでは、5 % ほどの随伴する CO₂ を回収して、海底下の水層中に戻すことをやっています。これらの方法は、技術オプションとしては持つべきだと思います。

第四の方法は、海洋への処分です。ご存じだと思いますけれど、CO₂ は簡単に常温で液体になり、圧力を 300 気圧ぐらいにしますと比重が 1 を超えて海水より重く、水深 3000m を超える海洋底に貯溜することができます。しかも、そういう海洋底の温度条件ですと、海底表面にクラスレート*という固体の層ができて、比較的安定して貯えることができると期待されています。また、深海底貯留の外にも、CO₂ を海水に溶解させるという方法も最近特に注目を集めています。

この方法は、ある意味では、海洋をゴミ箱

〔事務局注〕

* クラスレート：多数個の水分子からなる籠状の構造体のなかに CO₂ 分子が閉じ込められた、氷状の物質。

に使うわけですから、海洋底の環境問題などの解決が必要でしょう。合意がとれるかどうか微妙な問題もありますけれども、この方法もやはり研究を進める必要があります。

大気中のCO₂の固定には、実は植林がいちばんよく、これにはほとんど問題はありません。また、最近、海洋の植物プランクトンの増殖を利用したCO₂固定法が、新聞などに時々出ています。海洋には鉄分が足りず植物性プランクトンが不足している海域があり、そこに鉄分をまくと植物性プランクトンが増えます。植物性プランクトンは光合成するので、海面層を通して大気中からCO₂の吸収がなされます。植物性プランクトンは動物プランクトンや魚などに食べられたりして、最終的には死滅して海洋底へ落ちます。このプロセスにより大気中のCO₂を海洋底へ持ち込むことが可能になります。しかし、この方法を取り、鉄分を人工的に増やして大量の植物

性プランクトンを増殖するのは、人工的に大規模な赤潮を発生させるようなもので、なかなか危険な技術でもあります。つまり、この方法は大きなリグレットがありうる技術であり、このあたりは慎重に考えるべきだと思います。

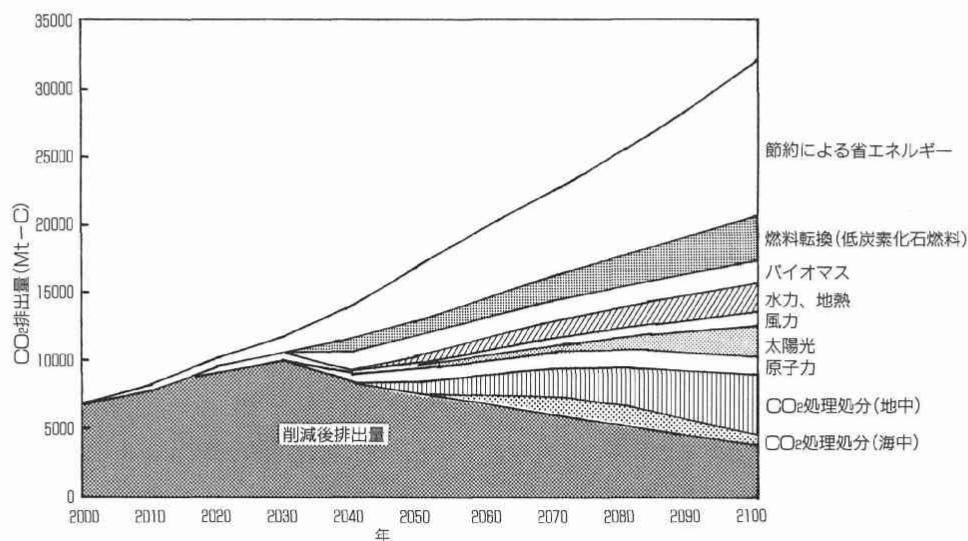
強調しておきたいのは、巾広い対策メニューのスコープを考えて、地球温暖化問題に取り組んでいく必要があるということです（参考図5）。

ま と め

長期的に重要な技術開発

グローバルなエネルギー輸送

視点を拡大して今後のエネルギー技術を見ますとき、私が期待しているのは、次の4つ



(出所) 産業構造審議会 地球環境部会 1996年10月25日

参考図5 CO₂削減対策効果(550ppmケース)

にまとめられます。

一つは、「複合エネルギー」とさきほど申しましたが、これをいちばん実現しているのは電力です。電力は、何からでも変えられ、しかも、非常に効率的できれいに使えます。

このようなエネルギーを電力だけでとどめておくことはなく、ガスでも液体でもいいと思いますが、電力と同じように配送できる流体燃料のネットワークを作り上げることが重要だと思います。これには将来的にメタノールと水素が候補に上りますが、これらは、いろいろなものから合成できます。

いまは電力以外のクリーンエネルギーには都市ガスぐらいしか考えられませんが、第2の電力をつくるのです。そこへはいろいろな一次エネルギー源から持ち込めるようにすれば、非常に重要なエネルギーシステムの変革

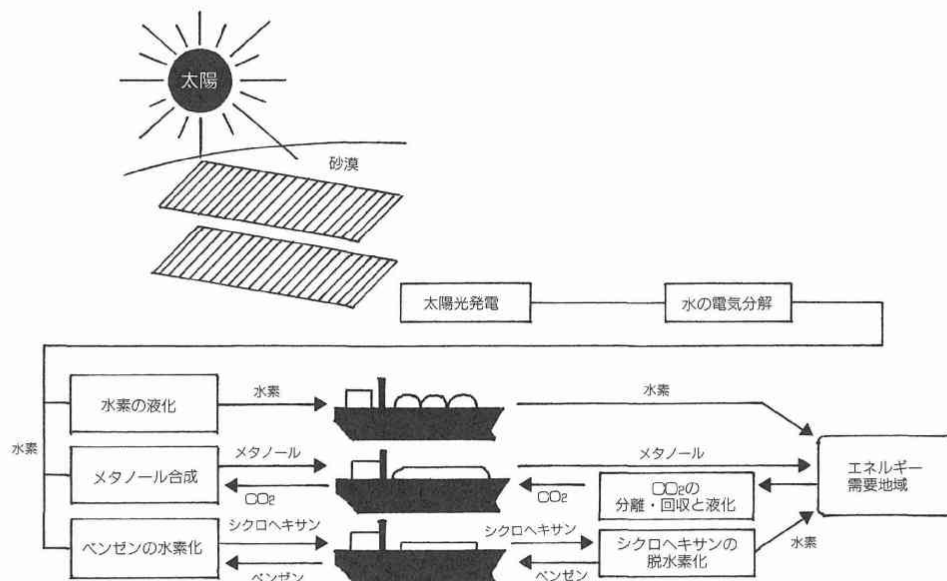
になります。

2 番目は、上述のエネルギー・ネットワークに近いのですが、統合とリサイクルです。申すまでもなく、熱の場合はヒート・カスケーディング、物ですとゴミ発電、回収したCO₂のメタノール合成によるリサイクルも考えられますから、そういうものを重要なエネルギーシステムとして位置づけることです。

3 番目は、もう基本的にはお分かりと思いますが、非化石エネルギーの促進。これについてはバイオマスの利用を特に申し上げました。もちろん原子力もあります。

4 番目にもう一つ忘れがちなのが、エネルギー輸送のインフラ整備。これも非常に重要です。

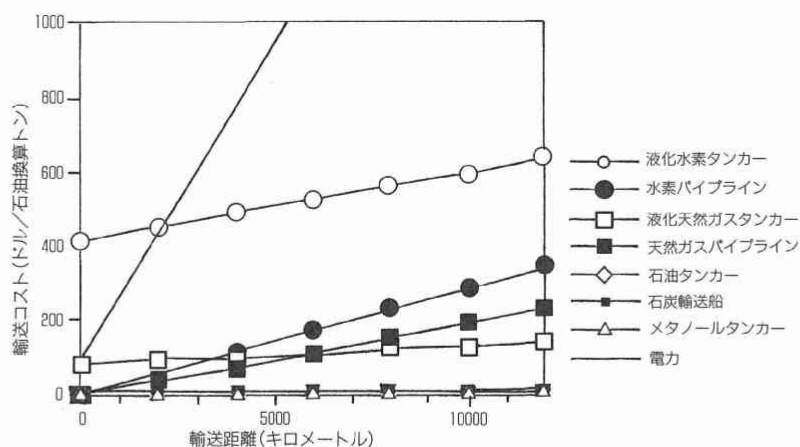
つまり、再生可能エネルギーの多くは、地



(出所) 藤井, 「エネルギーシステムにおけるCO₂問題対策の評価」, 東京大学大学院
学位論文(1993)

エンジニアリング振興協会, 「海外クリーンエネルギー輸送技術に関する調査
研究報告書」(1991)

参考図6 砂漠を利用した太陽発光システム



(出所) 藤井, 『エネルギーシステムにおける CO₂ 問題対策の評価』, 東京大学大学院
学位論文(1993)
エンジニアリング振興協会, 『海外クリーンエネルギー輸送技術に関する調査
研究報告書』(1991)

参考図 7 エネルギー輸送コスト

球規模でみた場合, 僻地に存在します。ですから, エネルギー・キャリアを工夫して, グローバルなエネルギー・ネットワークをつくることです。超電導のネットワークは, いまはまだ夢物語に近く, 現実的には, 天然ガスパイプラインぐらいから始めるのが適当と思います。天然ガスパイプラインは, ガス体のパイプラインであり, 昔, 都市ガスは天然ガスではなくて, 石炭や石油からガスをつくって配送していましたから, その輸送インフラはいろいろな種類のエネルギーの輸送に対応できるはずだと考えます。

私は, このような夢を持っており, エネルギー技術の場合, われわれは, 発電技術, 変

換技術, 生産技術, あるいは利用技術などにはよく注目してきたわけですが, エネルギー輸送技術への着眼に欠けていました。そこを考えるのが, 今後の長期開発における一つの方向でして, 例えばWE-NET (水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術) のプロジェクトではいろいろ研究中のようですが, これをもっと拡大して考えていく。グローバルに, 長期的に見た場合, それが非常に重要と思っています (参考図 6, 7)。

駆け足でいろいろなことを申し上げましたが, 私が, モデルで解析を試みた「21世紀のエネルギーシステム」の問題点を述べさせていただきました。

本研究所は、エネルギーに関連する情報の収集、加工、提供およびプロジェクト調査研究を推進し、併せてエネルギー技術の普及啓発活動を進めることを基本方針とし、その事業活動の効率化を一層推進しつつ、平成9年度においては、次の各号の事業を行う。

動的な変動予測、相関性の評価、目的に応じた体系化などを行い、その利用価値の向上をはかることとする。

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

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

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

- (1) 原子力に関する安全評価, ヒューマン
ファクター, P Aに関する研究
- (2) エネルギー技術シーズに関する調査研

究

- (3) エネルギー供給見通し等に関する調査研究
- (4) エネルギー・システム技術等に関する調査研究
- (5) エネルギーと地球環境問題に関する調査研究

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

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

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

〔原子力関係〕

- (1) 原子力開発利用政策に関する調査研究
 - ・原子力開発政策に関する調査研究
 - ・海外の原子力開発政策の調査分析
 - ・国際協力のあり方に関する調査研究
- (2) 新型原子炉の開発実用化等に関する調査研究
 - ・FBRの実用化に関する調査研究
 - ・軽水炉技術の洗練・高度化に関する調査研究
 - ・高温ガス炉プラントの適用性に関する調査研究
- (3) 核燃料サイクルに関する調査研究

- ・プルトニウム利用に関する調査研究
- ・使用済燃料管理システムに関する調査研究

- (4) 原子炉廃止措置実施の環境整備に関する調査研究
- (5) 放射性廃棄物の処理・処分にに関する調査研究
 - ・日本型地層処分コンセプト研究
 - ・地層処分クライテリアの調査研究
 - ・高レベル放射性廃棄物処分に係る社会的受容性に関する調査研究
 - ・地下水流動に関する調査研究
- (6) 原子力安全の社会科学研究
- (7) 原子力分野における数値シミュレーションに関する調査研究
 - ・BWR熱水力挙動解析手法に関する研究
 - ・原子炉シミュレーション手法高度化に関する研究

〔化石燃料関係〕

- (8) 炭化水素系エネルギーに関する調査研究
 - ・石炭層ガスに関する調査研究
 - ・メタンハイドレートの利用に関する調査研究
 - ・石油製品の合理的利用に関する調査研究
 - ・自動車排気ガス中の未規制物質に関する調査研究
 - ・低公害型自動車燃料の開発・利用等に関する調査研究
 - ・重質油・超重質油の利用技術に関する調査研究
- (9) 石炭の利用技術に関する調査研究

- (10) 石炭水添ガス化プロセス高度化に関する調査研究
- (11) 高度脱灰火力技術に関する調査研究
- (12) 次世代高温エンジンに関する調査研究

〔新エネルギー・エネルギーシステム関係〕

- (13) 自然・再生可能エネルギーに関する調査研究
- (14) 省エネルギー技術に関する調査研究
- (15) 将来の電力需要に関する分析調査
 - ・産業構造変化が電力需要に与える影響に関する調査研究
 - ・分散型電源の普及と電力需要に関する調査研究
- (16) エネルギー貯蔵技術に関する調査研究
 - ・水蓄熱等蓄熱技術に関する調査研究
 - ・キャパシタによる電力貯蔵技術に関する実証研究
- (17) 電力負荷平準化に関する調査研究
- (18) 発電技術に関する調査研究
 - ・高効率廃棄物発電技術の最適システムに関する調査研究
 - ・次世代高効率火力発電技術に関する調査研究
 - ・燃料電池の開発・利用に関する調査研究
- (19) 新エネルギー導入施策に関する調査研究
- (20) 電気自動車等代替エネルギー自動車に関する調査研究
- (21) 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）に関する調査研究、評価
- (22) 新水素エネルギーに関する実証研究および基礎研究

〔地球環境関係〕

- (23) CO₂回収・再生可能エネルギー利用型発電システム等の地球環境対策技術に関する調査研究
- (24) 地球温暖化問題に対する国際的な対応策・政策に関する調査研究
- (25) 廃棄物のリサイクルに関する調査研究

〔横断的研究〕

- (26) 各種エネルギー間の競合に関する研究
- (27) 長期的なエネルギーシステムのベストミックスに関する調査研究

5. 前三号の研究に係る試験について

新水素エネルギー実証ラボラトリーにおける実証試験を行うとともに、前三号の研究に伴う材料、要素、機器等の試験も随時行うこととする。

6. 前各号の調査、研究、試験の成果に係る資料の作成、整備、提供について

前各号の事業で得られた成果のうちから、技術情報として有用度の高いものを目的に応じて速やかに編集し、利用者に提供する。さらに、これらの研究成果は出版、寄稿・投稿、講演会、学会発表等により公表し、広く利用に供することとする。

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

- (1) 技術情報の編集、整備、提供
- (2) 定期刊行物の出版

- (3) エネルギー技術普及講演会（エネルギー総合工学シンポジウム、月例研究会等）の開催

7. その他

エネルギーの開発，供給，利用の円滑な展開を図るためには官・学・民一体となった協力体制を整え，効率的に機能させることが重要である。本研究所は，このような観点に立って，エネルギー技術上の諸問題について，

各所の専門家による討論と情報交流を行う場を提供し，責任ある，しかも時宜に適した新しいエネルギー技術政策について提言を行うこととする。

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

- (1) エネルギー技術懇談会の設置および運営
- (2) 内外の関係研究機関との研究協力



〔寄稿〕

低品位炭の転換技術

— 新クリーン燃料ジメチルエーテルの合成 —

大 野 陽太郎 (NKK 技術開発本部
技術企画部 主幹)



1. はじめに

経済成長が著しいアジア地域においては、エネルギー消費量の増加も急速で、今後、エネルギー需給逼迫、環境問題が大きな課題となる可能性が高い。

エネルギー供給については、総量でみた場合、域外の中東等からの原油、石油製品の輸入増加が予測されているが、域内に多量に賦存する褐炭、亜歴青炭などの低品位炭を含め、石炭資源をより一層活用することが必要であると考えられる。しかし、褐炭、亜歴青炭などの低品位炭は、水分を多量に含んでいたり、自然発火性があるなどハンドリング性が悪く、利用が進んでいない。また、採炭に伴い発生する炭層メタンは、その大部分が利用されずに大気中に放散されているが、メタンは炭酸ガスに比べ数十倍の温室効果を示すので、その活用は地球温暖化対策の観点からも重要であると考えられる。

環境保全に関しては、従来より、比較的大規模な発電所、工場等の固定排出源については、排ガス処理設備が設置され、効果をあげ

ているが、民生用及び輸送用燃料消費については、面的な分散排出源であるので、燃料そのものをクリーンにする必要がある。クリーンな燃料である天然ガス(LNG)、LPGは今後需要が大きく拡大すると予測されており、価格上昇が懸念されている。

そこで、石炭を炭鉱の山元でガス化し、そのガスからLPGと類似の運搬利便性を有する新クリーン燃料ジメチルエーテル(Dimethyl Ether, DME)を合成し、周辺地域・国に輸送し利用することは、未利用資源の活用及び環境面で大きな意義があると考えられる。

また、我が国の石炭火力発電所では、今後の増設分も含め、灰の処分場の不足が懸念されており、石炭灰の処理が重要な課題の一つとなっている。石炭を山元でDMEに転換し、アッシュフリーのクリーン燃料として我が国に導入することの環境対策上の意義は大きいと考えられる。

2. DMEとは

2.1 DMEの物性と用途

ジメチルエーテル(DME)は、化学式が、

事務局注：本稿は、当研究所が開催した「第141回月例研究会」(平成8年11月)における講演内容を、本誌への掲載のため文章化していただいたものです。

CH_3OCH_3 で示される最も簡単なエーテルである。一般に、「エーテル」と呼ばれているのは、ジエチルエーテル($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)である。DMEと関連する各種燃料の物理的性質及び燃焼特性を表1に示す。DMEは、沸点が -25.1°C の無色の気体で、化学的に安定であり、 25°C における飽和蒸気圧が6.1気圧と低く、圧力をかけると容易に液化する。その性質がLPGの主成分のプロパン、ブタンに類似しているため、貯蔵、ハンドリングはLPGの技術が応用できる。用途については、一部、溶媒、冷媒などに使用されるが、大部分は噴射剤（塗料、農薬、化粧品用）として利用されている。現在、メタノールの脱水反応またはメタノール合成の副生産物として製造されており、生産量は日本で8,000 t/年、世界でも10万 t/年程である。

フロンに代わるエアゾール用噴射剤としての使用に先だって、毒性の調査が行われており、LPG並みで、極めて低毒性であることが確認されている(表2)。DMEの麻酔性は小さくLPGと同程度である。メタノールよりもDMEの方が毒性が低い。大気中での分解時間は、数十時間程度であり、温室効果やオゾン層破壊の懸念はないと考えられる⁷⁾。

金属は腐食されない。ゴム類には膨潤するものがあるが、テフロン系であれば使用可能である。

2.2 燃料としてのDMEの利用

DMEの重量あたりの発熱量（低位）は、6,900kcal/kgとプロパン、ブタン、メタンより低いが、メタノールより高い。気体としては、14,200kcal/Nm³とメタンより高い発熱量

表1 各種燃料の物理的性質および燃焼特性

項 目	ジメチルエーテル	プロパン	n-ブタン	メタン	メタノール
化学式	CH_3OCH_3	C_3H_8	C_4H_{10}	CH_4	CH_3OH
沸点 ($^\circ\text{C}$)	-25.1	-42.0	-0.5	-161.5	64.6
液密度 (g/cm ³ , 20 $^\circ\text{C}$)	0.67	0.49	0.57	—	0.79
ガス比重 [対空気比]	1.59	1.52	2.00	0.55	—
蒸発潜熱 (kcal/kg)	111.7	101.8	92.1	121.9	262
飽和蒸気圧 (atm, 25 $^\circ\text{C}$)	6.1	9.3	2.4	246	—
最大燃焼速度 (cm/s)	50	43	41	37	52
発火エネルギー (10 ⁻⁶ J)	45	30	76	33	21
発火温度 ($^\circ\text{C}$)	350	504	430	632	470
爆発限界 (%)	3.4~17	2.1~9.4	1.9~8.4	5~15	5.5~36
セタン価	55~60	(5)	(10)	0	5
低位発熱量 (kcal/Nm ³)	14,200	21,800	28,300	8,600	—
低位発熱量 (kcal/kg)	6,900	11,100	10,930	12,000	5,040

()…推定値

表2 DMEおよび関連化合物の生体に対する影響

項 目	DME	ジエチルエーテル	メタノール	LPG
毒性の概要	軽微な麻酔性	皮膚刺激性 (脱脂, 炎症) 覚醒作用 (酩酊, 昏睡) 慢性毒性	粘膜刺激性 視神経障害 (眼痛, 失明) 中枢神経障害 (頭痛, 失神)	軽微な麻酔性
急性毒性 LC ₅₀ (吸入, ラット)*1	337g/m ³ /4h	73g/m ³ /2h	64g/m ³ /4h	658g/m ³ /4h
許容濃度(ppm)				
15分以下短時間暴露限度	1,000	500	250	1,250
1日8時間労働加重平均濃度	1,000	400	200	1,000

*1 生物の50%死亡確率に対する濃度および時間

を持っている。爆発限界は、プロパン、ブタンより広いが、メタンと同程度でメタノールより狭い。火炎は、天然ガスのように可視青炎であり、LPG用のコンロがそのまま利用でき、アルデヒドは生成しない。

従来、燃料としての利用は、合成ガソリンへ転換する際の間体との見方が一般的であったが、中国の山西煤炭化学研究所では、DMEがLPG類似の性質を持っていることに着目し、LPG代替燃料としてDMEをメタノールの脱水反応により製造する技術開発を行った。西安で小規模であるが家庭用燃料としての商用生産が開始されている。

DMEのセタン価は軽油のセタン価(40~50)に比べ、55~60と高く、ディーゼルエンジン用燃料として使用が可能と考えられる。ハルダー・トプソ社とアモコ社等が7.3ℓのトラック用エンジンを用いて行った試験⁴⁾によると、同一NOxレベルでディーゼル油と比較し、燃料消費は少なく、また、ススの発生が極めて低く、米国カリフォルニア州で重量トラック向けに1998年より実施予定の極低エミッション車(ULEV, Ultra Low Emission

Vehicle)規制値を満足できるクリーンな燃料であることが確認されている(図1)。

DMEの燃料として想定される用途と代替対象燃料を表3に示す。石炭あるいは天然ガスなどから安価に製造できれば、LPG類似の運搬の利便性をもつクリーンな燃料としての用途は大きいと考えられる。

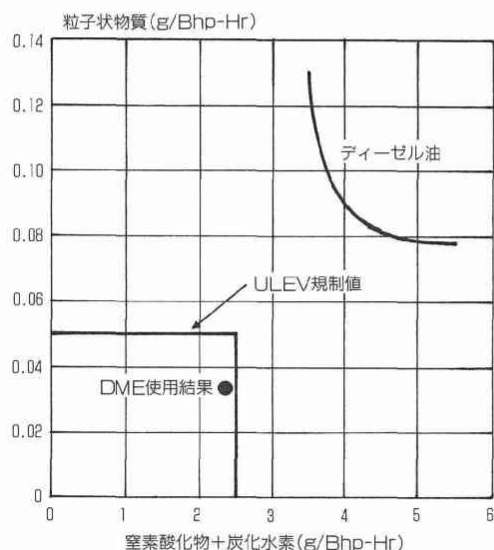


図1 ディーゼルエンジンからの環境汚染物質の排出⁴⁾

表3 燃料としてのDMEの用途と代替対象燃料

用 途	代替対象燃料
民 生 用	石炭, 石炭ブリケット, 石炭ガス, 天然ガス, LPG
輸 送 用	ディーゼル油 (軽油)
発 電 用	石炭, 石油, 天然ガス (LNG), LPG

3. DMEの合成ガスからの直接合成

3.1 DMEの合成反応

DME合成に関する反応式と反応熱を表4に示す。DMEの合成ガス (H_2 , CO) からの合成反応 (5) は, メタノール合成反応 (1), 脱水反応 (2), シフト反応 (3) の3段階のステップからなっている。シフト反応が遅い場合は, (1) と (2) の反応の組合せの (4) 式で反応が進行すると考えられる。総括の反応は発熱反応で, メタノール合成段階の反応熱が大きい。一般に, メタノール合成触媒は, シフト反応を促進する機能を持っているので, (4) 式と (5) 式の間にくると考えられる。

図2にメタノール合成反応 (1) とDME合成反応 (5) のCO平衡転化率の温度, 圧力依存性を示す。双方の反応は共に, 低温, 高压で

平衡転化率が高くなる。メタノール合成に比べ, DME合成は低压であっても平衡転化率が高いことがわかる。図3に, 二種のDME合成反応式 (4), (5) の (H_2 +CO) 平衡転化率が合成ガス中の水素と一酸化炭素の比 (H_2/CO) によりどのように変化するかを示す。どちらの反応式の場合も, 合成ガスの組成が反応の量論比 $H_2/CO=2$ (反応式 (4)), $H_2/CO=1$ (反応式 (5)) に一致した場合, 平衡転化率が最大となっているが, 反応式 (5) の方が高い平衡転化率を示している。シフト反応 (3) が, 反応 (1), (2) に対応して進行することの重要性がこの対比から理解されよう。

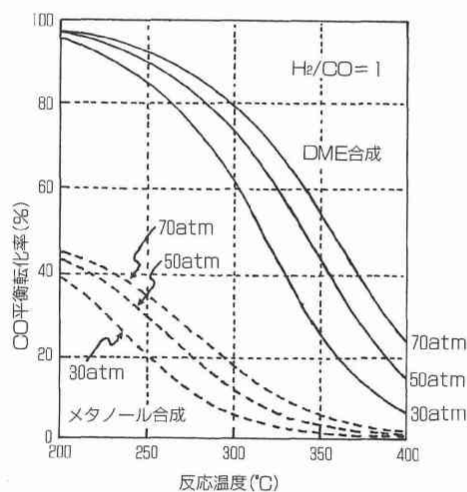


図2 メタノール合成及びDME合成におけるCO平衡転化率

表4 DME合成に関する反応式と反応熱

反 応 式	反 応 熱 (kcal/mol-DME相当)
(1) $2CO+4H_2 \rightarrow 2CH_3OH$	+ 43.4
(2) $2CH_3OH \rightarrow CH_3OCH_3+H_2O$	+ 5.6
(3) $CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$	+ 9.8
(4) $2CO+4H_2 \rightarrow CH_3OCH_3+H_2O$	+ 49.0
(5) $3CO+3H_2 \rightarrow CH_3OCH_3+CO_2$	+ 58.8

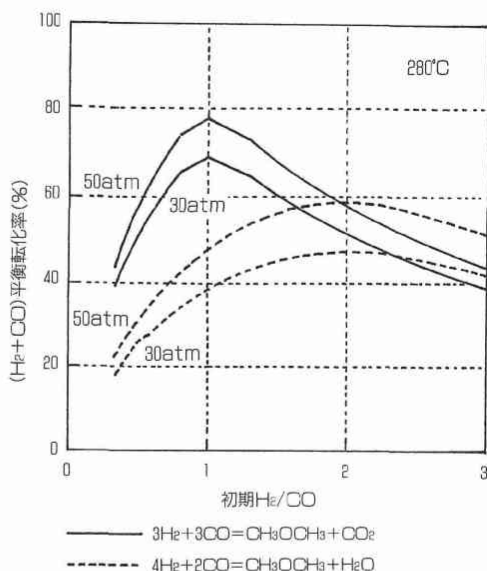


図3 DME合成反応における $(\text{H}_2 + \text{CO})$ 平衡転化率

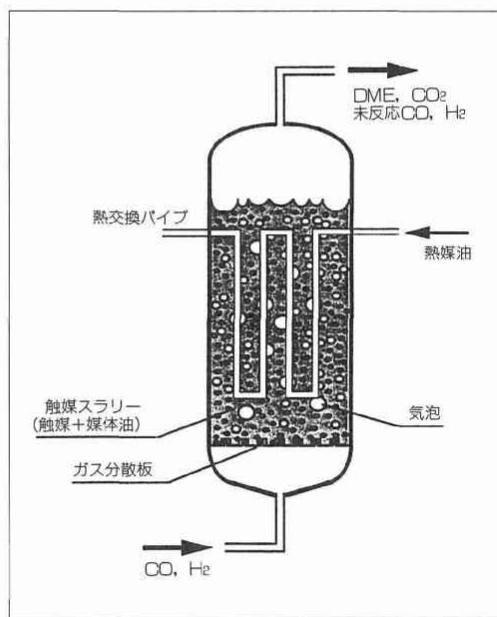


図4 DME合成スラリー床反応器概念

3.2 反応装置の形式

DMEの合成反応は発熱反応熱が大きいので、反応熱の除去と温度制御を慎重に行わな

いと温度が過度に上昇し、図2から明らかなように反応平衡上不利になるだけでなく、触媒が活性を失う危険がある。

触媒反応の装置形式として、固定床による気固接触反応が選ばれることが多いが、DME合成反応のような強い発熱を伴う場合には反応熱の除去が難しくホットスポットが形成されやすい。スラリー床は、図4に示すように、微粉の触媒が媒体油に懸濁しているスラリーの中を、反応ガスが気泡となって上昇する間に反応する装置形式である。反応熱は速やかに熱容量の大きい媒体油に吸収され、媒体油の熱伝導率も大きいので反応器内の温度が平滑化され、温度制御が容易であり、装置構造も簡単になる。

触媒の形状や強度面からも、スラリー床は固定床より制約が少ない。触媒の性能が劣化してきた場合、スラリー床では運転中にスラリーポンプによる触媒交換が可能であるが、固定床では運転を停止して交換する必要がある、触媒寿命についての要求が厳しい。

一方、スラリー床では、脱水触媒上で生成した水の媒体油への溶解度が低いので、気相中に移動し、COと反応せずに、反応器から出てしまう傾向が大きく、全体としてCO転化率が低いという問題がある。

3.3 現在までの研究結果

合成ガスからのDME合成の研究が行われるようになったのは、1980年前後からで、ガソリン合成の中間ステップとしてであり、いずれも、メタノール合成触媒と脱水触媒を混合した固定床を用いていた。我が国においても、新燃料油開発技術研究組合の研究テーマの一つとして研究が行われたが⁸⁾、高温部生

成による触媒の劣化が問題として指摘されている。

現在、ベンチスケール以上の規模で研究を行っているのは、表5に示す3社である。エアプロダクツ・アンド・ケミカル社⁵⁾はスラリー床メタノール合成の応用として研究を行っている。ハルダー・トプソ社³⁾では、固定床を多段、多塔に分割して反応熱の除去を行い温度制御を容易にしているが、装置として複雑なものになっている。

NKKでは、1989年より東京大学工学部藤元薫教授と共同で合成ガスからのDME合成の研究を行ってきた。NKKの方法は、スラリー床を採用し、脱水触媒にシフト機能を追加していることが基本的特徴である。脱水反応により生成した水をCOとすみやかにシフト反応させ、H₂とCO₂に転換させることを目的に、脱水触媒にシフト反応機能を追加した。生成したH₂は媒体油への溶解度、拡散速度も大きいので、メタノール合成反応により利用され、全体として高いCO転化率を得ることが

期待される。ピーカースケール実験により、その効果を確認するとともに適正な反応条件を明らかにすることができた^{1),2)}。

現在は、図5に示す小型ベンチプラント(反応器は内径90mmφ、高さ2mのスラリー床、DMEの最大生成量50kg/d)により研究中である。実験結果の一例として、ワンパスのCO転化率、生成物中の各成分の選択率(CO₂は、除外して、DME、CH₃OH、CH₄の合計を100%とした)を図6、図7に示す。温度上昇とともにCO転化率は大きくなるが、極大値がある。これは、転化率が平衡に近づくことによる平衡制約と反応ガスの溶解度が温度上昇により低下する影響が表れていると考えられる。圧力50気圧、温度300℃で50%を超えるCO転化率、90%を超えるDME選択率が得られている。触媒寿命については、ピーカースケールであるが、図8に示すように、700hrの連続実験で、性能劣化の無いことが確認されている。

表5 DME直接合成プロセス開発研究の比較

開 発 者	NKK	エアプロダクツ・アンド・ケミカル社	ハルダー・トプソ社
対象原料ガス 原料ガス組成 (H ₂ /CO比) 反応器タイプ	石炭ガス 1 スラリー床反応器	石炭ガス 0.7 スラリー床反応器	天然ガスリフォーミング 2 固定床反応器
反応条件 温度 (℃) 圧力 (atm) 空間速度 (kl/kg-cat/hr)	250~320 30~50 2.0~6.0	250~280 50~100 1.5~10	210~290 70~80 不明
反応率(ワンスルー) (%) 最終製品	55~60 DME : 95~99%	33 DME+メタノール (DME : 30~80%)	不明 DME+メタノール (DME量不明)
開発経過	1989~ : 1kg/dピーカー 1995~ : 50kg/dベンチ 1997~ : 5t/d大型ベンチ	1986~ : ピーカー 1991~ : 4t/dパイロット	1993~ : 50kg/dベンチ 1995~ : 2t/dパイロット

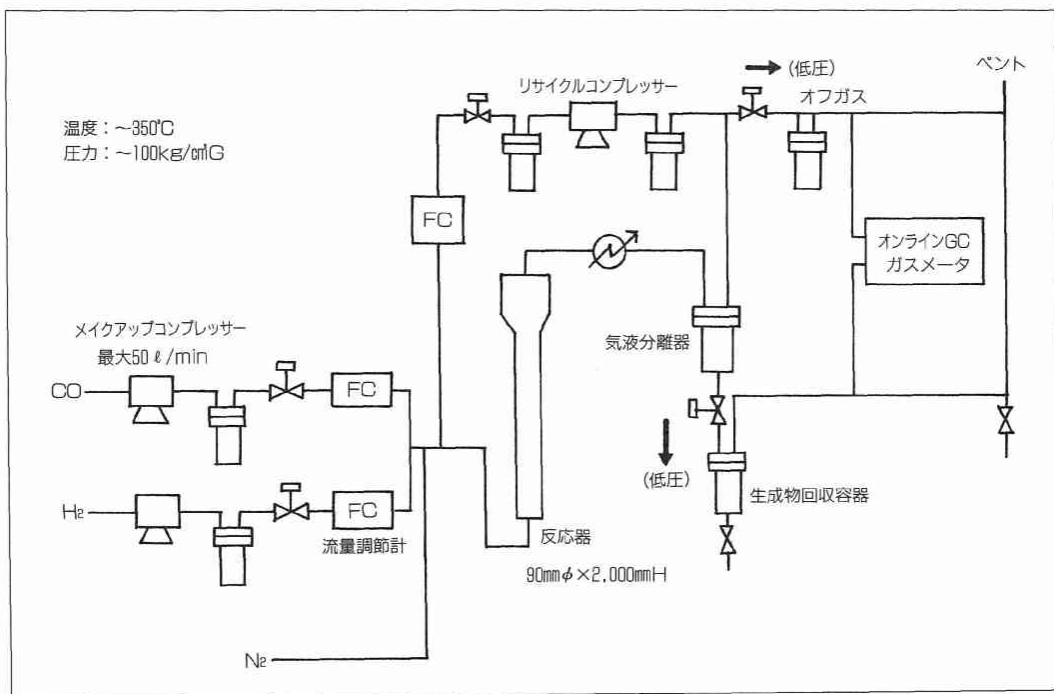


図5 DME合成ベンチスケール実験装置概略

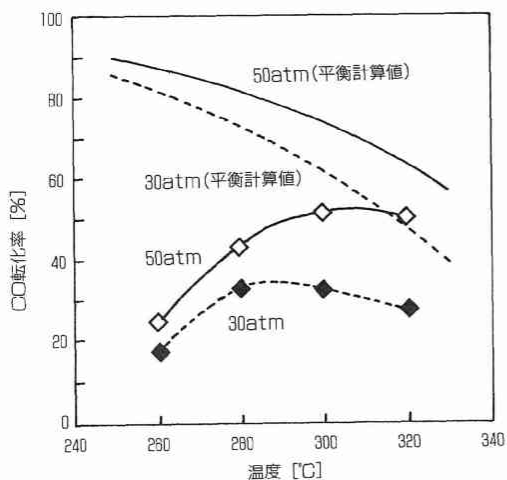


図6 反応圧力、温度のCO転化率に対する影響

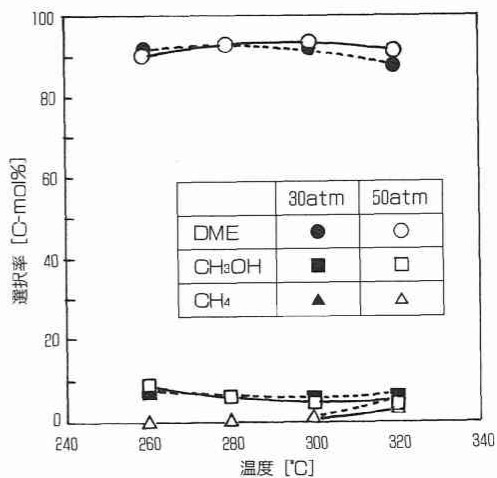


図7 反応圧力、温度の選択率に対する影響

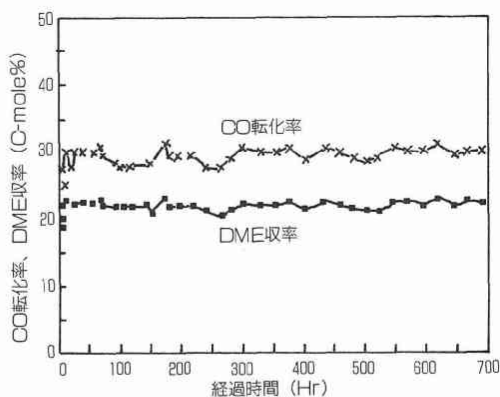


図8 触媒性能の経時変化
(ピーカースケール実験)²⁾

4. 石炭からのDME合成と利用

4.1 DME合成のプロセスフロー

石炭及び炭層メタンからのDME合成のプロセスフローを図9に示す。石炭ガス化により得られる合成ガス中の H_2/CO 比は、0.5～1.0なので、脱硫後、ガス組成を $H_2/CO=1$ に調整し、DME合成に供給される。反応式(5) ($H_2/CO=1$)を利用することは、反応式(4) ($H_2/CO=2$)の場合に比べ、ガス組成の調整幅が少ないので設備、運転コストが有利である。炭層メタンは、石炭ガス化炉中でリフ

ォーミングされ合成ガスに転換されるので、そのまま利用することができる。ワンパスの反応率が高いので、リサイクル比は1：1で十分である。反応生成物のDMEは、 CO_2 とともに冷却分離により、未反応ガス H_2 、 CO から分離される。DMEは、脱炭酸後、不純物の水、メタノールが分離され成品となる。

4.2 石炭のDME転換利用の評価

石炭をDMEに転換して利用するメリットとしては、

- ① 石炭のような輸送・貯蔵過程での粉塵の発生がなく、設備も簡単になること
 - ② 石炭中の灰分が石炭ガス化炉中で溶融スラグとなり、路盤材などへの利用が容易になること
 - ③ 硫黄は完全に脱硫され、元素硫黄などの形態で原料として利用されること
 - ④ DMEは硫黄分、窒素分を含有しないので燃焼過程で SO_x の発生がなく、 NO_x 発生量が低減されること
- などが期待される。

- ① 発電利用では、LNGと同様にコンバイン

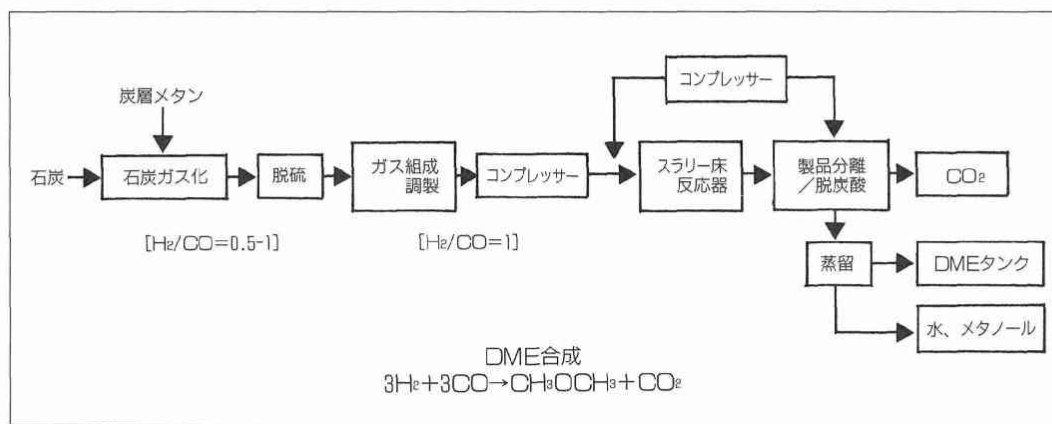


図9 石炭及び炭層メタンからのDME合成プロセスフロー

ドサイクルによる高効率発電が可能であり
② 受入れ・貯蔵設備はLPG並みでよいので、LNGに比べるとかなり簡便なものとなる
と考えられる。

経済性については、開発技術学会のアジア地域新クリーン燃料研究会において、図10に示すようなフローに基づいて、海外の産炭地で、石炭をガス化し、DMEを製造し、我が国に輸送し、発電した場合のトータルシステムとして検討を行った⁹⁾。DMEの製造コストは、熱量換算で今後価格上昇が予測されるLPG、軽油並であり、我が国における発電原価も既存の石炭火力と同程度以下になると推定された。

5. 今後の展開

石炭を山元でDMEに転換して利用するト

ータルシステムの中で、技術開発の課題はDMEの合成過程である。そこで、現在までの研究結果を踏まえ、DME合成技術を実用化技術へスケールアップするために、通産省資源エネルギー庁より補助金を受けて、「環境負荷低減燃料転換技術開発」として、平成9年度より5年間の計画で、(財)石炭利用総合センターのもとに、NKK、太平洋炭礦㈱、住友金属工業㈱の三社が協力して推進する予定である。平成9年度より、約2年間かけて、5t/d規模の大型ベンチプラント試験の基礎検討と基本設計、設備の設計・製作、設置工事などを行い、平成11年度より運転試験を実施する。また並行して、トータルシステム、FS検討を行う予定である。

6. まとめ

利用の進んでいない低品位炭を含め、石炭

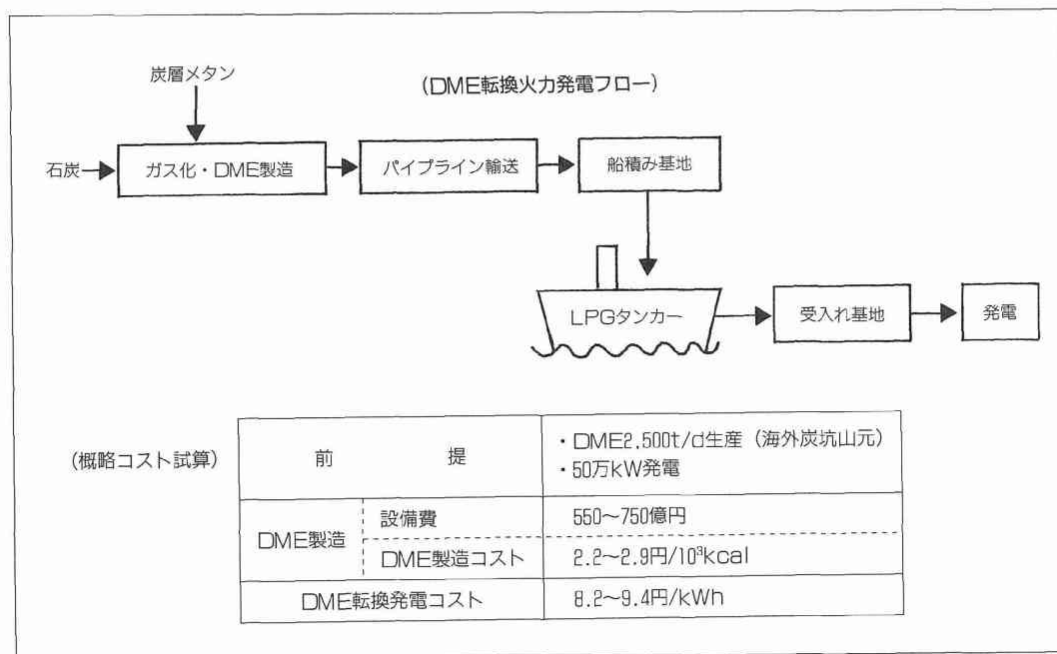


図10 DME 転換火力発電トータルシステムフローと経済性

からDMEを製造する技術が実用化され、DMEが民生用、輸送用また発電用クリーン燃料として、流通していくと、我が国のみならず、石炭資源の豊富で人口の多い中国、インド、インドネシア等のアジア諸国におけるエ

ネルギー・環境問題の解決に有意義なものとなると考えられる。一方、DMEは従来からの一般的な燃料ではないので、その普及・利用には、製造から流通までの総合的な取組みが求められよう。

文 献

- 1) Y.Z.Han, K.Fujimoto and T.Shikada : 4th Japan-China symposium on coal and C₁ Chemistry proceedings (Osaka,1993), p.515
- 2) Y.Z.Han,K.Fujimoto and T.Shikada : Ind.Eng.Chem.Res (投稿中)
- 3) J.B.Hansen et al : SAE950063 (Feb.1995)
- 4) T.Fleisch et al : SAE950061 (Feb.1995)
- 5) Air products and Chemicals : DOE/PC/90018-T7 (June,1993)
- 6) 開発技術学会 アジア地域新クリーン燃料研究会 中間報告書 (平成8年2月)
- 7) L.J.Bohnenn : Soap Perfum Cosmet, No.6 (1979), p.300
- 8) 日本経済研究所 : 新燃料油ビジョン検討基礎調査 昭和62年度報告書 (昭和63年3月)



メタンハイドレートとその将来性

—日本周辺海域に眠る新しい天然ガス資源—

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



1. はじめに

当研究所は、「非在来型天然ガス基礎調査」のテーマのもとに、メタンハイドレートに関する世間の注目がいまだ低かった平成元年から、複数の民間企業の協力を得て調査研究活動を進めている。以来、作成した各種の調査報告書の中で、政府、学会、エネルギー業界に対し、メタンハイドレート研究の重要性を繰返し訴えてきた。

最近、世の関心が高まり、テレビ・週刊誌などのマスコミにも取り上げられる機会が増え、また以前と異なる多方面からの問い合わせが当研究所へ到来し、関係者の一員として大いに喜んでいる。

本稿では、脚光を浴びつつあるメタンハイドレートの調査研究について、最近の動向を紹介する。

2. メタンハイドレートとはなにか

「メタンハイドレートとは、一体何か？」これがまず受ける質問である。「百聞は一見にしかず」のことわざどおり、見て触ればすぐわかるのだが、現在どこでも容易には入手できず、研究関係者しか見たことがないものなので、まず性状の簡単な説明から始める。

メタンハイドレートの外見は氷そのもの

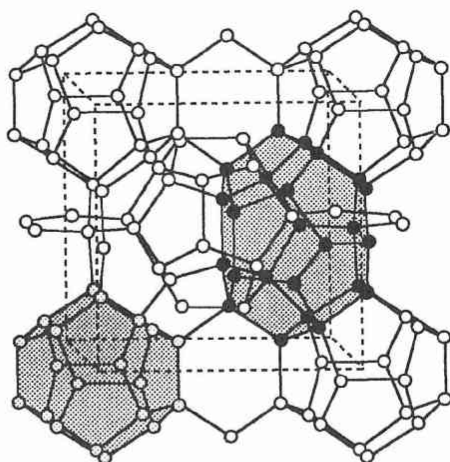
で、触ると氷同様に冷たく、室温で緩やかに溶け、中のメタンは気体となって放散し、最後に水だけが残る。無臭・無味で、まさに「氷」といった感じをもつ。メタンハイドレートを「メタン氷」とでも訳せば、いっそのこと分かり易いかもしれない。

メタンハイドレートは、常温常圧では溶けるに従いメタンを放出するので、火を近づけると燃え上がる。炎は、都市ガス（ほとんどメタン）をガスバーナーの空気孔を閉じて燃やしたときの色そのもので、黄色っぽい炎でメラメラと明るく燃える。

「メタン氷」と響きの似た「氷アズキ」は、氷とアズキが別々になっているが、メタンハイドレートは、水分子が作るかご状の格子の中にメタン分子が閉じ込められ、あたかも1つの物質のようになっている（図1）。

メタンハイドレートには様々な結晶構造があるが、代表的なI型の場合、理論上標準状態（1℃，1気圧）で水1ℓに約164ℓのメタンを内包する。水にメタンを直接溶かし込んでも2～5倍程度しか溶けないのに比べ、水体積の150倍を越えるメタンが入り込むのは驚くべきことで、メタンハイドレートはメタンの貯蔵・運搬装置にもなると期待されている。

ただし、水分子がつくる全てのかごの中に



(出所) 前川達男, 第10回地質調査所研究講演会資料, 1996年6月

〔水分子の構成する2個の12面体および6個の14面体
が作るカゴ状格子に, 1個のメタン分子が内包され
る。図のアミ掛け部分がカゴ状格子である。〕

図1 作表的なメタンハイドレートの結晶構造

メタン分子が収まることはなく, メタンハイドレート1ℓに理論値の7~9割程度のメタンが濃縮されている。

メタンハイドレート相図は図2のとおりで, 圧力を上げたり, 温度を下げたり, 他の気体を少しでも混ぜたりすると, 安定領域は大きく変化する。この分野は, 現在, 研究の焦点であり, 活発な研究競争が展開されている。活性炭を使用すると常温・常圧でも安定したメタンハイドレートが作られるとの最近発表された研究例もある。

水は, メタン以外の気体物質, 例えば CO_2 などとも同じ様な結晶固体を作り, これらを総称してガスハイドレートと呼んでいる。

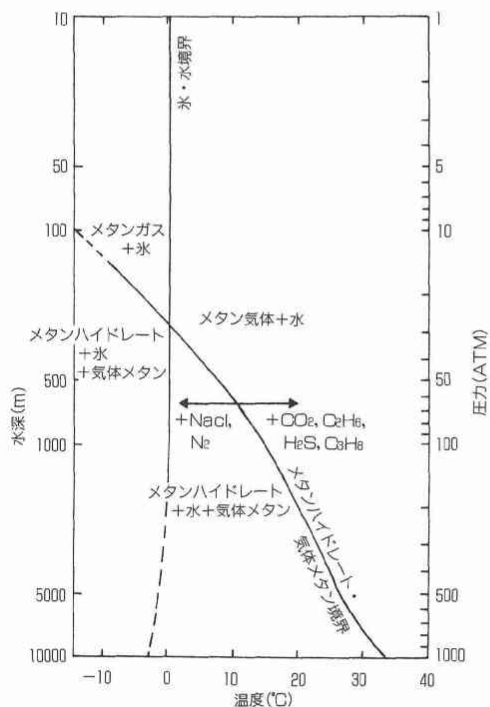
3. メタンハイドレートはどこにあるか

メタンハイドレートは, 地球上広く分布する。陸上ではシベリヤ, アラスカ, カナダな

どの永久凍土地帯にあり, また北極海や南極海の比較的浅い海底下の地層にもある。こうした寒冷地帯以外でも, 大陸棚の数百メートルから数千メートルの海底で発見があいつぎ, その量は年々増加の一途を辿っている。

図3に, 米国地質調査所のクベンボルデン氏がまとめたメタンハイドレートの分布地図を示す。海洋メタンハイドレートは, 全地球の大陸棚に広く分布している。

日本周辺の大陸棚にもメタンハイドレートが広範囲に埋蔵されており, 図4に地質調査所佐藤幹夫主任研究官による最新の調査結果を示す。



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

〔 NaCl , N_2 が加わるとメタンハイドレート・気体メタン境界は左にずれる。
 CO_2 , C_2H_6 , H_2S , C_3H_8 が加わるとメタンハイドレート・気体メタン境界は右にずれる。(カツツほか(1959)より)〕

図2 メタンガス, メタンハイドレート, 水の相図

4. ODP Leg164掘削航海の成果

メタンハイドレートの研究は、従来、もっぱら学問的興味で行われてきた観があったが、資源開発面における調査研究として一大進展をなしたのが、ODP (Ocean Drilling Program, 国際深海掘削計画) Leg164と呼ばれる1995年の掘削航海であった。その詳細は後述するとして、観測データが示す重みと説得力を遺憾なく発揮し、地球環境科学、資源科学の両分野において記憶さるべき成果となった。

ここでは、当研究所の1995年度報告書その他から次々に公表されたこの歴史的調査について紹介する。

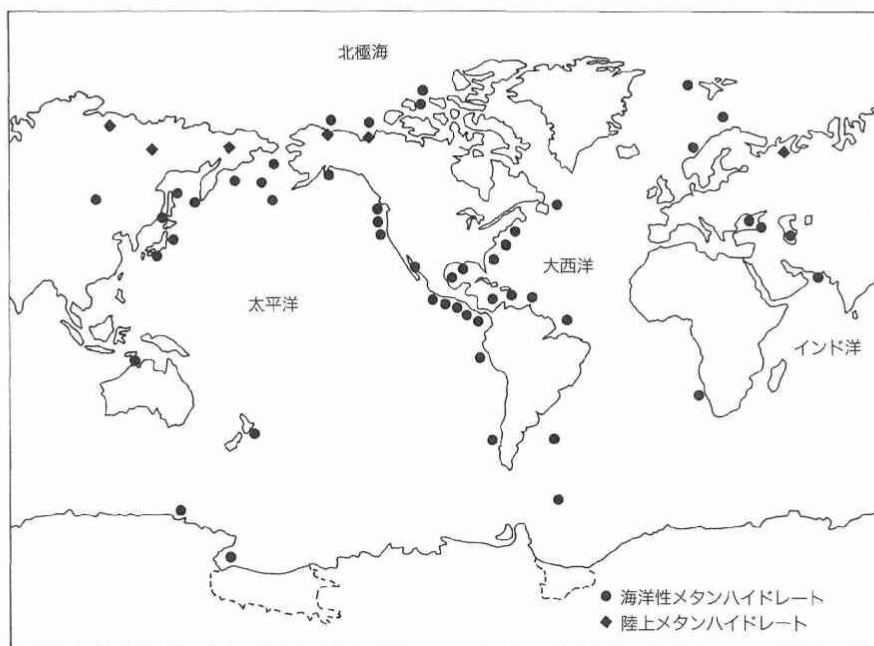
(1) ODPの概要

ODPは、米国科学基金 (National Science

Foundation) と他の参加19ヶ国の資金により運用され、研究成果の管理はテキサスA&M大学(Texas A&M University)が行っており、日本の窓口は東京大学海洋研究所となっている。

ODPとその前身のDSDP (Deep Sea Drilling Program) は、これまで、大西洋中央海嶺の調査により、地殻変動メカニズムである海洋底の拡大や、地磁気極の移動の解明などに輝かしい成果を挙げており、ここ20年間における世界の海洋地質学をリードしてきた観がある。

また、大規模な基礎研究のプロジェクトでありながら、大変効率良く運営されている。1985年1月から1993年12月まで9年間に311箇所の掘削点で773孔の掘削を行っており、ほぼ4日に1孔の高効率となっている。なお、Legというのは1航海ごとの調査プロジェク



(出所) クベンボルデン、ガスハイドレート第1回専門家会議 (1996, ベルギー) 資料より作成

図3 メタンハイドレートの世界分布図

トの番号を意味し、「節」と言う日本語訳が充てられている。

(2) 掘削船ジョイデス・レゾリューション号

ODPの鍵となった実験設備は、かの有名なグロマー・チャレンジャー号の後継船で、洋上の船舶を精度良く一定位置に制御できるダイナミック・ポジショニング・システムを装備した掘削船ジョイデス・レゾリューション号（排水量18,636トン）であった。

海洋には、表層と海底付近では方向の異なる海流があり、さらに風浪中で船舶を正確に同じ位置に静止させるのは高度の技術である。ジョイデス・レゾリューション号は、これまで、水深38mから5,980mにわたる世界各地の海域で調査活動を行っており、最深の掘削孔は海底面下2,000mに及んでいる。

しかし、この掘削船は、海底下のガス層を

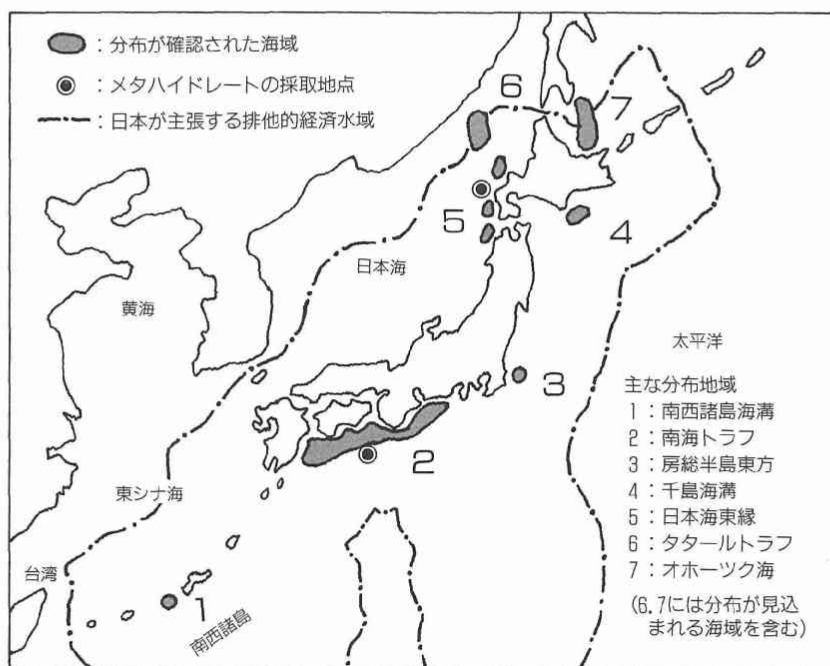
掘り抜いたとき、噴出するガスに対応する暴噴防止装置がないという、メタンハイドレート掘削に重大な弱点を抱えていた。もし、多量のガスが海底掘削孔から吹き上げ、その上に浮かぶ船がガスのバブルに包まれ浮力が不足すると、沈没するおそれありとされていた。

そのため、ODPの旧ガイドラインは、メタンハイドレート層の掘削を危険とみなし禁止していたが、崩壊発生の可能性は低いと見込まれてきたことよりガイドラインが変更され、今回初めてメタンハイドレート層を貫通した掘削にチャレンジした。

なお、補足すれば、次世代のODP掘削船からは暴噴防止装置が装備される予定と聞いている。

(3) ブレーク海嶺と掘削ポイント

ODP Leg164掘削航海には、当研究所の調



(出所) 1996年度、非在来型天然ガス基礎調査報告書より作成

図4 日本周辺海域のメタンハイドレート分布図

査研究会メンバーとして東京大学松本良教授と地質調査所の渡部芳夫・佐藤幹夫の両主任研究官が参加され、日本にいち早く重要な情報を連絡していただいた。

ODP Leg164掘削航海は、米国東海岸から約300キロ、大西洋上のブレーク海嶺と呼ばれる海域で行われ(図5)、数箇所掘削がなされた。994、995および997の地点は、メタンハイドレート層の存在が予め分かっていたところで、いずれも水深2千mの海底面から、メタンハイドレート層を貫通してさらに700~750mの掘削がなされたが、心配されたガスの暴噴はなく、無事調査を完了した。

(4) 多量のフリーガスの確認

今回の掘削航海における特筆すべき成果は、メタンハイドレート層の直下に多量のフリーガスが存在することが確認されたことであつた。

メタンハイドレートの採取は、これまでもっぱら固体のメタンハイドレート層を対象

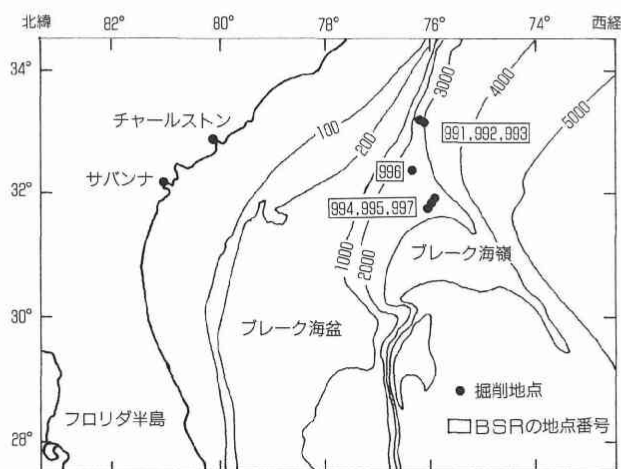
に進められてきたが、固体はハンドリングが難しく、資源としての利用に悲観論が多数あつた。

相当量のフリーガスがメタンハイドレート層の下に存在するという説は、一部の研究者からは出されており、当研究所も1992年の調査報告書の中で、その量はメタンハイドレートの量に匹敵するオーダーと予測していた。

しかし、Leg164による確認まで、これほど多量に存在するとは誰にも予想できないことであつた。

今回の掘削探査で分かったことは、メタンハイドレート層が石油や天然ガスの貯留層におけるキャップロックの機能を果たし、その下にフリーガスが貯留されているということである。フリーガスの採取であれば、基本的には通常の天然ガス採取と変わらず、経済性は著しく向上し、資源として商業化の可能性に関係者の期待が高まった。

(5) 解明されたBSR出現のナゾ



(出所) 1996年度、非在来型天然ガス基礎調査報告書より作成

図5 ODP Leg164の調査対象海域

メタンハイドレートが分布している海底に地震探査を行うと、海底疑似反射面(BSR, Bottom Simulating Reflector)と呼ばれている異常に強い反射面が観測されるが、これまでこれがメタンハイドレート存在の証拠と考えられていた。(図6)。BSRがあればメタンハイドレートは必ず存在するが、BSRがないところからもメタンハイドレートは発見され、BSRにナゾが残されてきた。固体と気体の境界面なら当然強い反射が生じるわけで、今回の調査の結果から、BSRはメタンハイドレートとフリーガスの境界面であることが確認され、BSR出現のナゾが解明された。

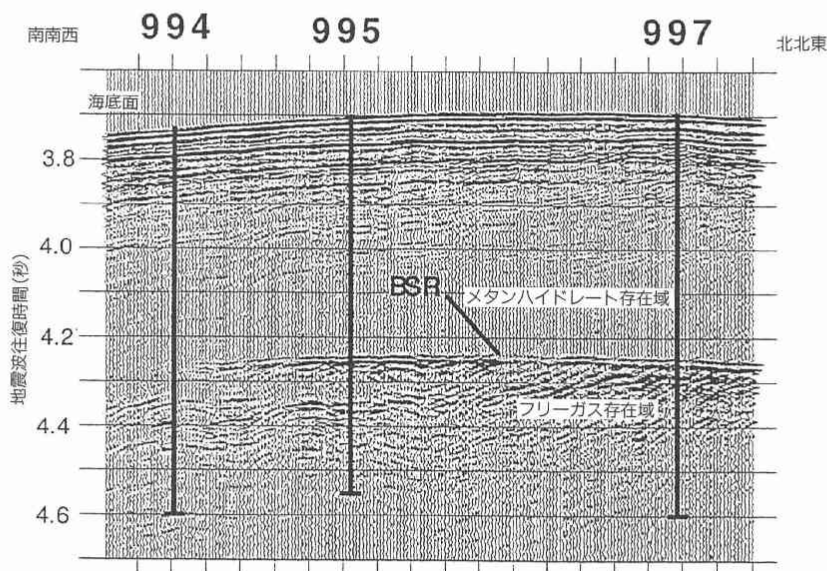
(6) メタンハイドレートとフリーガスの分布

天然ガスの掘削費用は、掘削深度に指数関数的に比例して増加すると言われている。最

近のガス田では、地表から数千mの掘削も決して珍しくないが、メタンハイドレートとそのフリーガスは、海底面下1千m以内に分布しており、採取面で持つメタンハイドレートとそのフリーガスの有利さになっている。

今回、BSRを貫き700~750mの掘削を行った結果から判明したことをまとめると、次のとおりである(図7)。

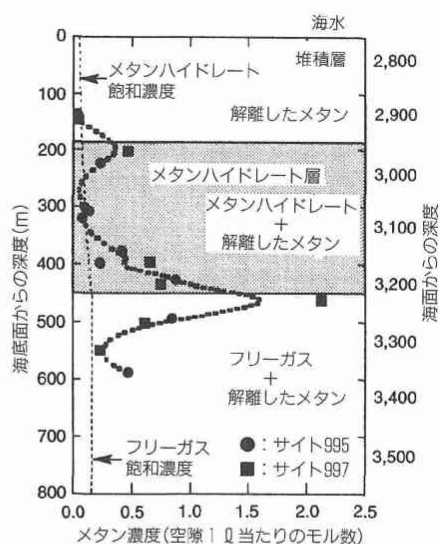
- ① メタンハイドレートは海底面下約200~450mの堆積物中に分布している。
- ② メタンハイドレート分布の上限と下限には、連続する塊状または層状のハイドレート帯が発達している。
- ③ フリーガス層の厚さは、メタンハイドレート層の厚さとほぼ同じ約250mある。
- ④ メタンハイドレートとフリーガスの賦存量は、ほぼ等しい。



(出所) 1996年度、非在来型天然ガス基礎調査報告書より作成

ブレーク海嶺の地震探査による海底面の断面図。
994, 995, 997は掘削サイト番号。横軸の1目盛は600メートル。
縦軸は海底面からの地震波が戻ってくるまでの時間で1目盛が約80メートル。

図6 BSR(海底疑似反射面)とメタンハイドレート



(出所) ディケンズ他 ODP Leg164 調査グループ,
"nature" 誌, 1997年1月30日号より作成
[最大メタン濃度はメタンハイドレート層直下の黒角
印で, モル数で約2.1モル, 容積比で約15%。]

図7 海底地層中のメタンハイドレートと
メタン濃度の関係

5. フリーガスの姿と密度

さて, フリーガスはいかなる状態で存在する
のか。常温・常圧の世界にいる私たちは,
深海底下にあるガスの姿をなかなか想像し難
いが, 掘削サイト995, 997は水深2,775m, さ
らに海底面下450mにフリーガスが存在する
ので, 海面下合計3,225mとなり, 圧力は約323
気圧, 1ℓの気体が3cm³に圧縮された状態に
なっている。

今回の掘削における新兵器は, PCS (耐圧
コアサンプラー, Pressure Core Sam-
pler) と呼ばれる装置で, 採取した地層サンプ
ルを海底から体積膨張により失うことなく船
上に引き上げることが可能となった。その結
果, 地層中の孔隙に従前の予想値1~2%を大
きく上回る最大15% (体積比) のメタンが存

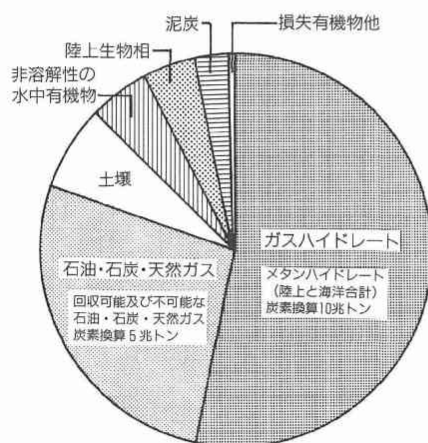
在することが確認された。

また, 水1m³当たり最大65m³ (標準状態,
0℃, 1気圧) のメタンを含むことになり, こ
の値は, 国内最大の水溶性天然ガス田, 千葉
県茂原ガス田の生産記録, 水1m³当たり天然
ガス30m³を上回るものであった。

6. 膨大なメタンハイドレートの量

今回の調査海域となったブレーク海嶺周辺
におけるメタンの賦存量は, 炭素換算で35G
T (1GTは10億トン) と推定され, これは
1996年の米国における天然ガス消費量の105
年分に相当する膨大な量であり, 米国でも話
題となっている。

全地球の賦存量には諸説があるが, 前出の
クベンボルデン氏は, 1996年9月, ベルギー
のゲント市で開催された専門家会議において
「ガスハイドレートの地質学的起源入門」と
題する大変に説得性ある持論を展開した。そ
の核心は, メタンハイドレートの賦存量は,
図8に示すとおり, メタンの炭素換算で約10



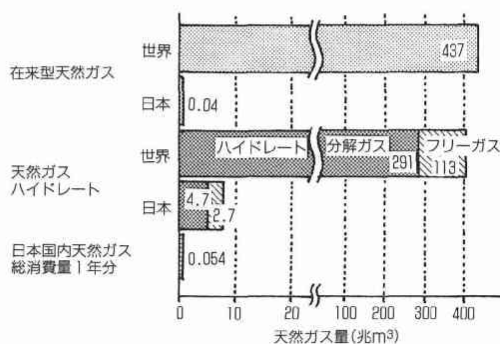
(出所) クベンボルデン, ガスハイドレート第1
回専門家会議 (1996, ベルギー) 資料よ
り作成

図8 全地球における炭化水素の種類別存在量

兆トン、メタンガス（天然ガス）容積換算で約2京 m^3 、LNG換算で約7兆4千億トン、原油換算で約65兆バレルという極めて膨大な説であった。

メタンハイドレートの賦存量が、回収可能および不可能な化石燃料（石炭、石油、天然ガス）の約2倍との推定には驚かされるが、全地球では約1京 m^3 のオーダーで存在するという意見が複数の研究者から支持されている。ただ、この数字は、必ずしもすべて経済性を有するものとは限らない。

一方、当研究所の1996年度報告書の中で、地質調査所の奥田義久燃料資源部長・佐藤幹夫主任研究官は、将来資源として考えられるメタンハイドレート分解ガスとフリーガスの賦存量をメタンガス容積換算で全地球合計で約404兆 m^3 と試算しており、クベンボルデン氏の推定値の約2%と控え目な数字となっている。また、日本周辺海域には約7.4兆 m^3 の将来資源として可能性を持つメタンハイドレート分解ガスとフリーガスの存在を挙げており、これは日本における天然ガス年間総消費量（1995年）約540億 m^3 の約137年分に相当する（図9）。



（出所）1996年度、非在来型天然ガス基礎調査報告書

図9 天然ガス資源としての可能性を持つメタンハイドレートの量

7. メタンハイドレート資源の将来性

海底資源開発という夢の実現には資金を要する。少し古いデータになるが、1955年から1990年までの間に、日本が国内の大陸棚石油・天然ガスの探鉱に要した金額は、物理探査が約383億円（基礎調査141億円、企業探鉱242億円）、試掘で約1,748億円の計2,131億円となっている。この金額をドル換算すると1ドル120円として約18億ドルで、35年間の年平均では5千万ドルでしかない。IEAによれば、日本政府のエネルギー技術開発の総予算は47億ドルに達し（1995年）、米国の29億ドルの1.6倍にもおよぶ巨額なものであることと比較すると誠にわずかなものである。

その結果発見された資源は、石油換算で推定埋蔵量2,266万klの石油・天然ガスで、1klの資源発見に要する投資額は9,404円となっている（1,494円/バレルに相当、1997年2月現在の原油市況は約2,400円/バレル）。

原油2,266万klの価格は、1バレル20ドル、1ドル120円として3,422億円になる。

いま国産メタンハイドレートとフリーガス資源の総量7.4兆 m^3 （原油換算で76.7億kl）を前述の石油・天然ガス田と同じ効率で発見するとして、全資源発見には探鉱費のみで約72兆円となる。しかし、幸いにも、日本周辺海域のBSRのデータは広範囲に取得されており、従来型天然ガス田の探鉱より著しく有利と考えられる。

現在の技術水準では、メタンハイドレートとそのフリーガスの存在がわかっても、ガス田の採算性を判別する技術、また深海底下から経済性良く採取する技術ともまだ確立されておらず、巨額が予想される探鉱・開発費の

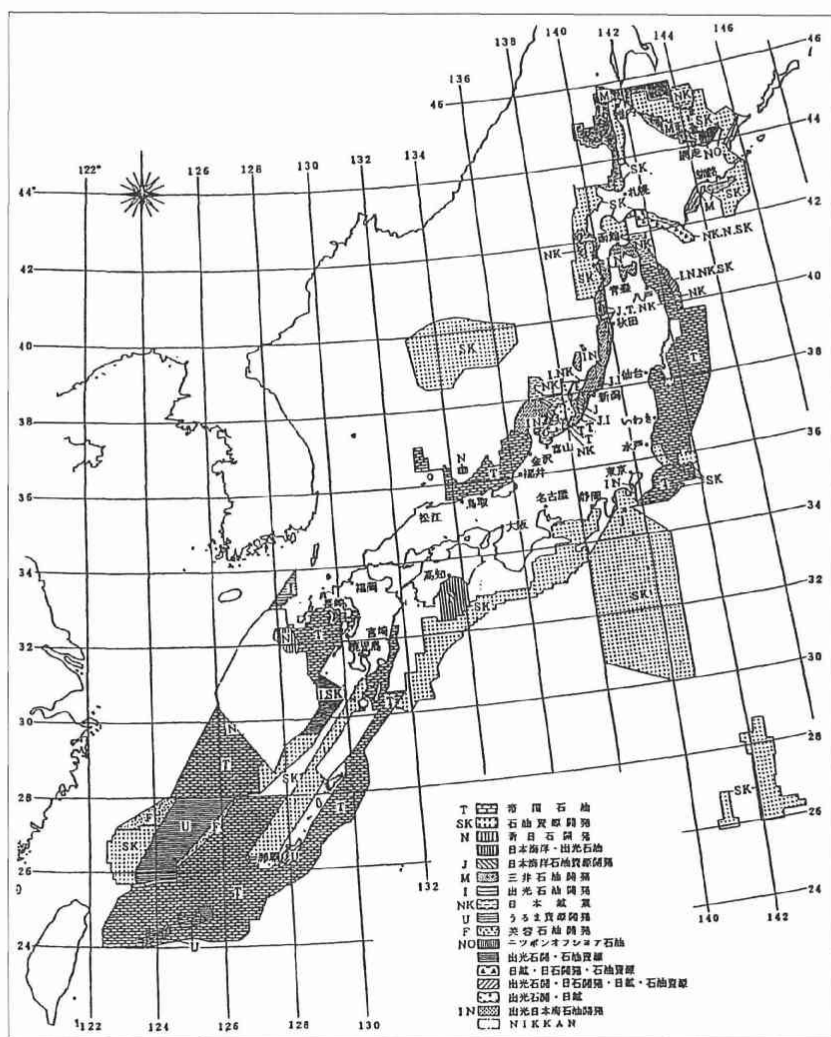
大幅低減には、多くの技術革新が課題として残っている。

グローバルな価格競争が展開されている現在、メタンハイドレートとそのフリーガスは既存の安価な石油・天然ガスと競合する運命にある。巨額の探査・開発費を要するこの資源を21世紀の早期に実用化するには、高いハードルの克服が必要と考えられる。

しかし、超長期に見れば、中国やインドなど人口の多いアジアの発展途上国で経済成長

が進みエネルギー需要が高まるので、21世紀中頃にはエネルギー価格の高騰は必至と見込まれている。メタンハイドレートの生産技術の開発に成功すれば、わが国における国産エネルギーの供給に大きな朗報をもたらすものと考えられる。

図10は日本近海の鉱業権出願状況図であって、鉱業権が出願または設定された海域は、国土総面積の3.4倍にあたる127万km²にも及ぶ。在来型石油・天然ガスの採鉱対象となる



(出所) 通商産業省 資源エネルギー年鑑 (1993)

図10 日本周辺海域の鉱業権出願状況 (1991年3月末)

堆積盆地だけでも37万km²に達しており、日本近海には将来の可能性が残されていることを示している。

8. 貯蔵装置としてのメタンハイドレート

グドムンドソンらのノルウェーの研究グループは、メタンハイドレートがメタンの貯蔵装置として使用可能なことに気づき、1996年、トゥールーズの国際会議で「ハイドレートによる天然ガス輸送」と題する論文を発表した。

彼らのフィージビリティスタディは、製造プラント、ハイドレート運搬船、再ガス化プラントまでを一連のシステムとして、大規模な天然ガス輸送の開発を図る野心的な研究である。バレンツ海からヨーロッパ大陸へ、あるいは西オーストラリアから日本へとといったガス生産田から消費地まで、3500海里を超える遠距離輸送（積み込み積み卸しを含め約30日の航海）への利用可能性を検討したものである。

天然ガスの輸送は、現在、液化してLNG船によりなされているが、液化温度がマイナス163℃と超低温のため液化に多大なエネルギーを要するほか、航海中の超低温維持装置や超低温タンクの特種金属材料などを必要とする、コスト高の要因を抱えたエネルギー輸送システムになっている。

これに対し、メタンハイドレートは、温度が氷点下に保持されれば大気圧下でも安定しており、冷凍庫に入れば長期間保存が可能となる。メタンと水からメタンハイドレートをつくるエネルギーはLNGの液化に比べはるかに少ないが、輸送には容積がかさばるのが欠点である。

メタンハイドレートを輸送するNGH船(Natural Gas Hydrate Carrier)は、典型的な125,000～135,000m³級LNG船の約3倍の大きさとなる。タンクの配置はマンモスタンカー(Very Large Crude Carrier)に似ており、12に分割されたタンクは大気圧でマイナス15℃に保持される。同体積のガスを輸送するには、LNGタンカー1隻に対して2隻のNGH船が必要となる。

表1は、日量4兆ft³(約1,130万m³)の輸送システムで、初期投資額を同規模のLNG方式と比較した結果である。キャピタル・コストは、輸送船では大差ないが製造プラントと再ガス化プラントでは著しく相違し、メタンハイドレート方式はシステムの全コストが18億1300万ドル(約220億円)であってLNG方式に対し約24%、金額にして約5億6千万ドル(約700億円)の低減が可能と試算している。

表1 LNG方式とメタンハイドレート方式の初期投資比較

(百万USドル)

	LNG方式	メタンハイドレート方式
製造工程	1,220	790
輸送	750	700
再ガス化	400	320
合計	2,370	1,810
差額	560	

(注) 比較条件

処理量：日量約1,130m³(4兆ft³)の天然ガス
輸送距離：3,500海里

(出所) グドムンドソンら、第2回天然ガスハイドレート国際会議(1996, フランス)資料

これは、日本のエネルギー業界にとっても魅力ある報告で、今後の資源開発にも影響を及ぼすものと思われる。特に、今後の開発が

期待される比較的小規模で、あまり大きな初期投資が許されない海外天然ガス田からのメタン輸送に適用が期待される。

9. わが国政府によるメタンハイドレート 研究の動向

通産省は、平成7年度から、メタンハイドレートを含む国内の石油・天然ガス調査を第8次5カ年計画として開始した。これを受けて石油公団は、平成11年度にメタンハイドレート層を貫通する掘削計画を立てている。

また、通産省工業技術院は、先導研究テーマの一つとして、今年度からの3カ年計画でメタンハイドレートの開発技術・利用技術に関わる広範囲な調査研究をNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）に委託している。

さらに、科学技術庁が進めている日本独自の深海掘削計画（OD21計画）では、学術研究目的の調査を重視しており、今後、地球物理学、海洋地質学、資源工学などさまざまな分野の専門家により、日本周辺のメタンハイドレートの実態が解明されるものと思われる。

当エネルギー総合工学研究所も、民間研究機関の立場から、当研究所が主催するマルチ・クライアント「非在来型天然ガス基礎調査」活動への参加を企業に呼びかけ、メタンハイドレート研究の一層の推進を図りたいと思っている。

参考文献

- (1) 第10回地質調査所研究講演会資料、1996年6月10日、東京
- (2) 金子克美、日本化学会1997春季年会（東京）
- (3) Gas Hydrates, First Master Workshop, Sep. 18-20, 1996, Gent Belgium
- (4) （財）エネルギー総合工学研究所、平成8年度非在来型天然ガス基礎調査報告書、1997年3月
- (5) Gerald R. Dickens, Charles K. Paull, Paul Wallace & the ODP Leg 164 Scientific Party, "nature", Jan. 30, 1997
- (6) 2nd International Conference on Natural Gas Hydrates, June 2-6, 1996, Toulouse France
- (7) 資源エネルギー年鑑、1993

情報源の解説

詳しく調べたい人のため比較的手が容易な情報源を以下に記す。

- (1) 日本語参考書：松本、奥田、青木著「メタンハイドレート」（副題：21世紀の巨大天然ガス資源）、日経サイエンス社刊、1994
- (2) ODPLeg164の最新報告の掲載誌：Gerald R. Dickens, Charles K. Paull, Paul Wallace & the ODP Leg 164 Scientific Party, "nature", Jan. 30, 1997
- (3) インターネットでの最新情報：
・ <http://marine.usgs.gov/highlights.html>
（米国地質調査所）
・ <http://www.aist.go.jp/GSJ/HomePage.html>（工業技術院地質調査所）

放射性汚染除去の基礎知識

和 達 嘉 樹 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 専門役



1. はじめに

従来、放射性汚染除去は、原子力施設や放射性物質取扱実験室において、身体(皮膚)、防護衣、機器、設備・施設が対象であったが、チェルノブイリ原子炉事故により、環境の放射性汚染とその除去がウクライナ及びベラルーシでは現実の問題となった。さらに、今後、耐用年数が過ぎた原子炉の廃止措置に伴い、合理的な放射性廃棄物処理処分の観点から、放射性汚染除去が行われるものとする。

放射性汚染は、放射性核種(放射性同位体)による汚染であり、一般の汚れとは異なる特殊性を有する。またその除去も、いわゆる清浄・掃除とは異なる面を持ち、区別して取扱われている。

本編は、適切な参考書¹⁾が少ない放射性汚染除去について、基礎となる知識を記し、原子力関係者、放射性物質を取扱う研究者の参考に供するとともに、一般の人々の理解にも資することを意図している。

2. 放射性汚染とその除去の特殊性

放射性汚染とその除去の特殊性を集約すると、次の①～④となる。

① 放射性汚染は、それを構成する放射性核種の半減期に従い時間とともに減少する。

② 放射性汚染を構成する放射性核種の量(g数)は、極微量である。

③ 放射性汚染の除去は、放射性核種の除去が目的であり、見た目の清浄さとは関係がない。

④ 放射性汚染の除去により生じる廃棄物は、放射性廃棄物として処理処分しなければならない。

①は、放射性汚染に限られた特殊性である。各放射性核種は固有の半減期を有する(表1参照)。短半減期の核種による汚染ならば、除去の必要がない。例えば⁵⁶Mn汚染の場合、半減期が2.579時間なので、2日も経てば自然に放射性汚染は消滅する。しかし、長半減期の

表 1 放射性核種の特性

放射性核種	放射能	半減期	比放射能 (KBq/g)
トリチウム (³ H)	β	12.33年	3.58×10^{11}
炭素-14 (¹⁴ C)	β	5730年	1.65×10^8
マンガン-56 (⁵⁶ Mn)	β, γ	2.579時間	8.03×10^{14}
コバルト-60 (⁶⁰ Co)	β, γ	5.271年	4.18×10^{10}
ニッケル-63 (⁶³ Ni)	β	100.1年	2.10×10^9
ストロンチウム-90 (⁹⁰ Sr)	β	28.78年	5.11×10^9
ヨウ素-131 (¹³¹ I)	β, γ	8.021日	4.60×10^{12}
セシウム-137 (¹³⁷ Cs)	β, γ	30.07年	3.21×10^9
プルトニウム-239 (²³⁹ Pu)	α, γ	24110年	2.30×10^6
アメリシウム-241 (²⁴¹ Am)	α, γ	432.2年	1.27×10^8

核種、例えば ^{239}Pu 汚染の場合、半減期が24,110年なので汚染の自然消滅には頼れず、除去を必要とする。

②は、放射性汚染に際立った特殊性である。放射線施設内で人が触れる物の表面の汚染密度限度が、法令で定められている。それは、 α 線を放出する核種について $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 α 線を放出しない核種について $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ である²⁾。ここで、 α 線放出核種に ^{241}Am 、 β 線放出核種に ^{90}Sr を例にとって、表面汚染密度限度に相当する核種の量(g数)を表1の比放射能を用いて計算すると、 ^{241}Am では $3.1 \times 10^{-11}\text{g}/\text{cm}^2$ 、 ^{90}Sr では $7.8 \times 10^{-12}\text{g}/\text{cm}^2$ となる。このような極微量が問題となる分野は、他には見当らない。

③は、放射性汚染の除去に際し、汚染の程度及び除去の達成度は、放射線測定器による計測で判断されることであり、見た目の清浄さとは関係がない。つまり、目に見えない極微量の放射性核種が対象だからである。それ故、汚染除去に当っては、まず、放射線計測

により汚染分布図を作成することが必要である(図1参照)。

④は、汚染除去により発生する廃棄物は放射性廃棄物となるため、一般の廃液やごみのように下水やごみ箱に捨てられず、法規に従って処理処分しなければならない。それ故、汚染除去に当っては、廃棄物の発生量を低減する除去方法をとることが肝要である。

3.放射性汚染と除去(除染)に関する基本

(1) 固体表面と汚染機構

放射性汚染とその除去の対象は非常に広範囲に亘るが、いずれも物の表面、すなわち固体表面の放射性核種による汚染とその除去という点で共通である。放射性汚染とその除去は、固体表面の性質並びに汚染機構に大きく依存する。固体表面は、汚染に関して非浸透性と浸透性に分類され、汚染様式には表面汚染と内部汚染がある(表2³⁾参照)。同様にして汚染機構は、表面汚染及び内部汚染について、表3³⁾のように示される。

ここで、表面物理的汚染は、水洗などの簡単な物理的処理によって、固体表面に何らの変化も与えずに除去し得るものである。これに対し、表面化学的汚染は、除去剤を用いる化学的処理、或いは強力な物理的処理による除去を必要とするものである。さらに、拡散・浸透の結果としての内部汚染は、表3に示すように、一層除去し難いものである。

表2 固体表面の分類

	例	汚染様式
非浸透性	金属, ガラス, プラスチックス,	表面汚染
浸透性	木材, 綿布, コンクリート, 皮ふ,	表面汚染および内部汚染

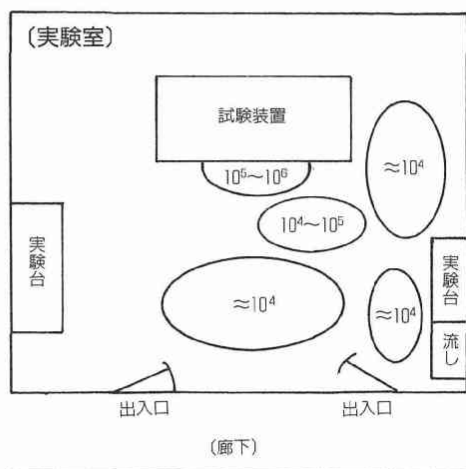


図1 汚染分布図(仮想図)
 $\beta\gamma$ 放射性核種による汚染密度($\text{Bq}/100\text{cm}^2$)

表 3 汚染機構の分類

	汚 染 機 構	除去の 難 易
表面汚染	表面物理的汚染：物理吸着，付着 表面化学的汚染：化学吸着，表面 化学反応	易
内部汚染	内部非固定汚染：固体内の基質に 非固定 内部固定汚染：固体内の基質に 固定	↓ 難

(2) 汚染除去の原則

① 早期除染

固体表面における放射性汚染・除去の様子を、汚染時間に関して概念的に図 2 に示す。

一般に、汚染量は汚染時間と共に増加し、ある時間後は、増加速度は遅くなるか飽和に達する。一方、除去に関しては、汚染時間が短いうちは、固定される表面汚染或いは拡散・浸透による内部汚染が少ないことから除去が容易である。しかし、汚染時間が長くなると、それらの除去し難い汚染が多くなるため除去が困難となる。

従って、汚染したら直ちに除去をする“早期除染”が原則として挙げられる。特に、身体（皮膚）除染の場合、早期除染が体内汚染防止の点からも有効である（図 3^{4),5)} 参照）。

② 短時間除染あるいは 1 回除染

汚染除去は、比較的短時間内に或いは 1 回の除去操作により完了してしまうことが、実

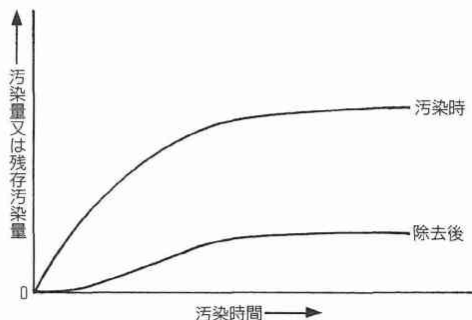


図 2 汚染・除去の汚染時間との関係

験的にも経験的にも認められている（図 4⁶⁾ 参照）。この現象は、日常一般の汚れの清浄においても体験することである。

従って、原則として、“短時間除染”或いは“1 回除染”が挙げられる。このことは、作業者の被曝の低減及び放射性廃棄物の発生量の低減からも意味のある原則である。

4. 除去剤と除去メカニズム

汚染除去は、汚染を固体表面から分離し、遊離した汚染を固体表面に再汚染させないことである。従って、放射性核種の固体表面との結合状態によって、適切な除去剤が決められるべきである。以下に、代表的な除去剤とその除去メカニズムについて述べる。

(1) 表面物理的汚染の除去

表面物理的汚染の場合、放射性核種と固体表面との結合状態は、分子間力のような物理的なものであり、水が除去剤として機能する。粉体状汚染や陰イオン汚染がこれに相当する。



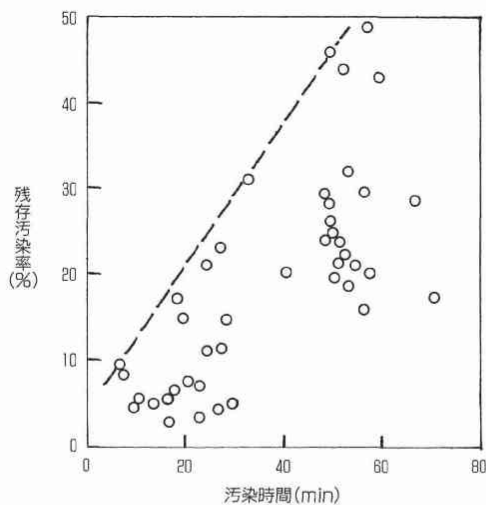
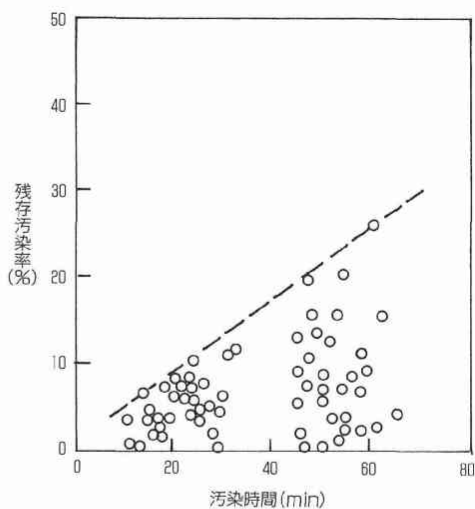
S：固体表面，C：汚染（放射性核種）

ただし、粉体状汚染の場合、内部被曝防止のため湿式除染が原則であり、バキュームクリーナーの使用は避ける。

(2) 表面化学的汚染の除去

表面化学的汚染の除去には、除去剤が必要になる。放射性核種の固体表面との結合状態がイオン吸着であれば、イオン交換反応により除去しうる。

従って、 H^+ を供給する酸、例えば塩酸、硝酸が効果的な除去剤となる。

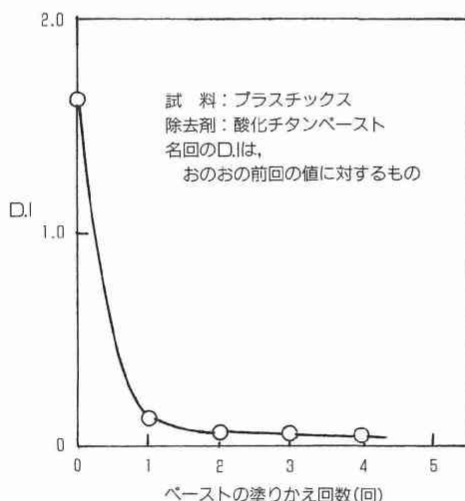
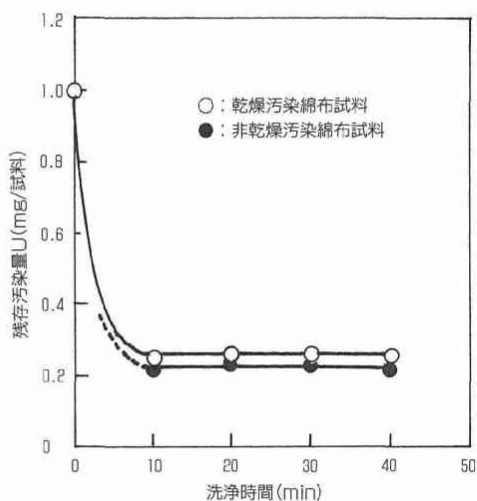


$^{137}\text{Cs}^+$ の洗剤による除去

^{131}I -の洗剤による除去

(日本原子力研究所における生豚皮を用いた皮膚除染実習結果。
○は1人の実習結果を表わす)

図3 皮膚除染結果



ウラン汚染における乾燥汚染綿布試料と非乾燥汚染綿布試料の水洗による除去効果の比較 (30℃)

ペーストの塗りかえ回数によるF.P汚染の除染指数D.I.の変化 (研磨圧力: 0.5kg, 研磨回数: 20回, 室温)

図4 除去に及ぼす除去時間と除去回数の効果



図5⁷⁾に、各種金属表面からの核分裂生成物(F.P,各種の陽イオン放射性核種を含有する)の除去に及ぼすpHの効果を示す。金属表面に影響するような高濃度の酸溶液を必要とせず、pH 2, すなわち0.01N程度で、十分な

除去効果が得られることが分かる。

特に、遷移元素(Mn, Fe, Co, Ni等)の放射性核種イオンの除去に有効な除去剤として、キレート形成剤がある。代表的なものに、エチレンジアミン四酢酸(EDTA)が挙げられる。



キレート形成剤の使用に当たっては、キレート形成剤の解離や放射性核種イオン、形成したキレート化合物の加水分解等を考慮すると、中性からアルカリ性にわたっての使用が適切である（図6⁶⁾参照）。

身体（皮膚）除染から施設除染に至るまで、広く用いられている除去剤に界面活性剤がある。陰イオン界面活性剤であるドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム（DBS）やドデシル硫酸ナトリウム（SDS）は、市販の洗剤の主成分である。除去メカニズムからは、陽イオン放射性核種の除去には、界面活性剤分子が会合体（ミセル）を形成するミセル臨界濃度（CMC）以上の濃度が有効である（図7⁷⁾参照）。しかし、キレート形成剤と併用する場合には、界面活性能の方に期待するため、

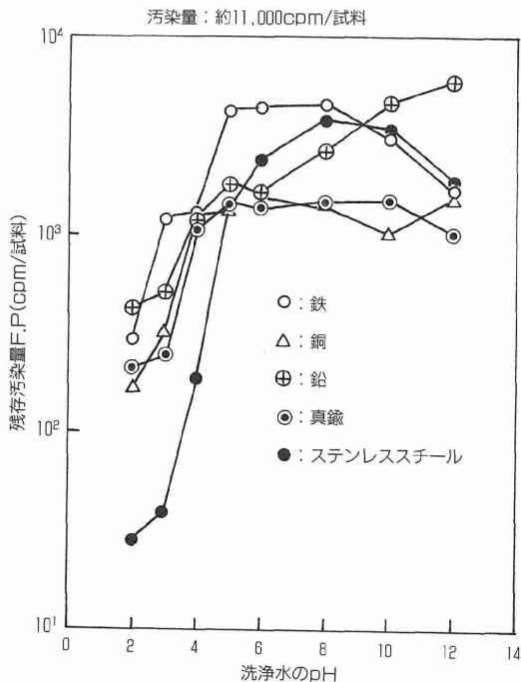


図5 F.P.の除去におけるpHの効果
(除去時間10min, 30℃)

CMC以下の濃度で使用することが多い。

その他、ペースト除去剤が挙げられる。これは、除去による廃液の発生がないことが特色である。酸化チタンペースト（アナタース型酸化チタンを0.1N塩酸で練ったもの）が

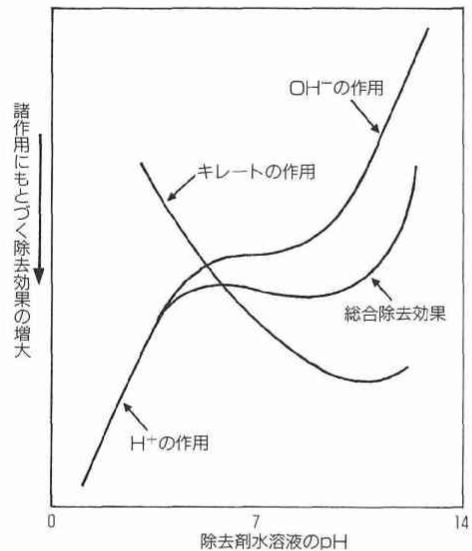


図6 キレート形成剤の除去効果

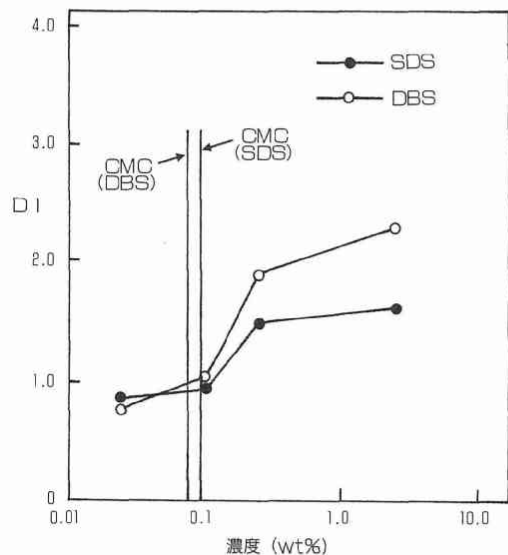


図7 綿布からの $^{60}\text{Co}^{2+}$ の陰イオン界面活性剤による除去
(除去時間10min, 30℃)

代表的なもので、化学的除去効果のほか、研磨といった物理的除去効果も伴っている。酸化チタンペーストは、皮膚除染にも使用されている。

(3) 表面層の剝離による汚染除去

実際の汚染除去では、除去剤を使わない汚染表面層の剝離による除去がしばしば行われる。例えば、浸透性固体表面を持つコンクリートの剝離除去である。



図8⁸⁾は、コンクリートの⁶⁰Co, ¹³⁷Csの汚染状況に関する実証的試験結果であり、これら放射性核種は、表面層付近に多くが分布していることが分かる。このような知見は、廃炉措置における汚染コンクリートの除染に有用

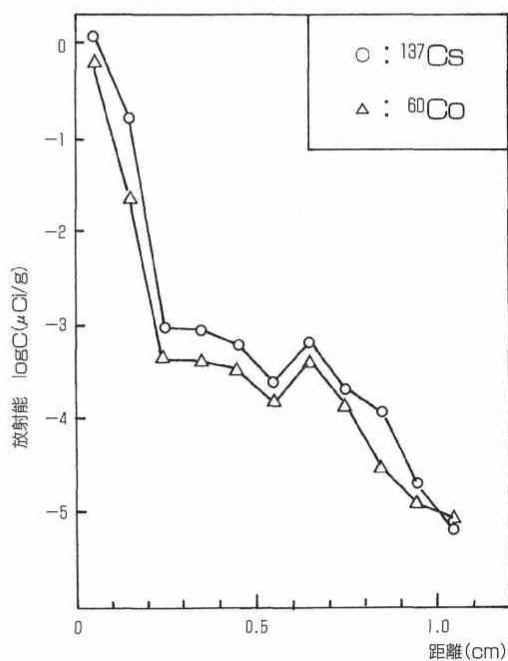


図8 コンクリート中の¹³⁷Cs及び⁶⁰Coの汚染状況(119日間)。
但し、1 Ci = 3.7×10^{10} Bq

である。但し、放射化されたコンクリートの場合は、剝離というより放射化部分の切断・撤去が行われる。

5. 環境放射性汚染の除去の基本的考え方

先年のチェルノブイリ原子炉事故により、ウクライナ及びベラルーシでは、環境放射性汚染の除去が現実の問題となった。また、アメリカでは、過去の原子力開発による環境放射性汚染の処置が課題となっている。環境放射性汚染は結局のところ、放射性核種による土壌の汚染と河川・湖沼の汚染に帰着する。それ故、これらの汚染の除去について、以下に基本的考え方を述べる。

① 土壌汚染の除去

土壌汚染の場合は、実証的試験結果(図9^{9),10)}に見られるように、土壌表面付近に放射性核種の多くがとどまる。事実、チェルノブイリ原子炉事故により図10¹¹⁾に見られるように、ベラルーシの国土が広範囲に亘り¹³⁷C等により汚染されたが、7年間で¹³⁷Csの土壌中移行は、5 cm程度であった¹¹⁾。ウクライナについても、同様な報告¹²⁾がなされている。

土壌汚染そのものを化学的に除染することは、除去剤による土壌の汚染を考えても実際には不適であり、また、除染の結果生じる放射性廃棄物も大量なものとなる。それ故、前に述べた汚染表面層の剝離による除去、すなわち汚染土壌の剝離除去が、現実的かつ最も有効な除去方法となる。

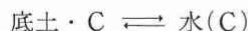
しかし、この場合でも広大な面積を対象にするので、生じる放射性廃棄物の量は大量となることは避けられない。例えば、汚染土壌の表面層5 cmを剝離し、200 lのドラム缶に収容するだけで、1 km²当りドラム缶の本数は

25万本に及ぶ。これを処分のため等量のセメントで固化したとすると、処分すべきドラム缶の本数は50万本となる。

② 河川・湖沼汚染の除去

河川・湖沼汚染の除去は、土壤汚染の除去に比べ、さらに難しい面がある。それは、放

射性核種は河川・湖沼の水中に浮遊・溶存しているのみならず、底土にも沈着・吸着しており、水と底土の間には、次のような平衡状態があるためである。



つまり、水を除染するだけでなく、汚染底土を撤去しなければ、根本的な汚染除去にはならないのである。

環境放射性汚染の除去に当っては、最初に汚染分布図を作成し、次に住民に対する放射線被曝線量評価を行い、何処をどの程度除染しなければならないかを決める必要がある。対象面積が広大なため、要する時間、費用がかかり、放射性廃棄物の量も莫大なものとなるため、このような準備、検討が必要なのである。

6. おわりに

昭和30年代の始め頃から、我が国では放射性汚染除去が放射線管理の一環として、日本原子力研究所において業務として行われた。放射性汚染とか放射性廃棄物といった新しい言葉を使いはじめた頃であり、放射線測定器も開発途上にあった。放射性汚染除去の技術開発とともに、実際に種々の放射性汚染除去に携わった筆者にとって、最近、この分野の参考書が書かれていないことが気掛かりであった。幸い執筆の機会に恵まれたので、放射性汚染除去の基礎知識に限定して本編を著したものである。

「環境放射性汚染の除去の基本的考え方」で述べたように、環境放射性汚染の除去はいろいろな面で大変なことであり、汚染を起こさないことがいかに大切であるかがよく理解されたことと思う。

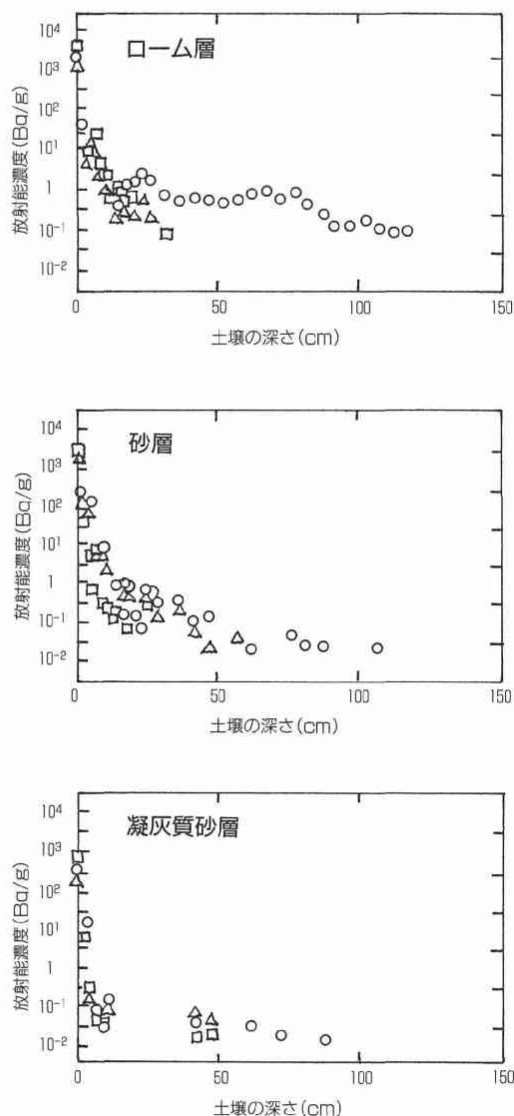


図 9 通気層土壤中における放射性核種濃度分布

(○： ^{60}Co , △： ^{85}Sr , □： ^{137}Cs)

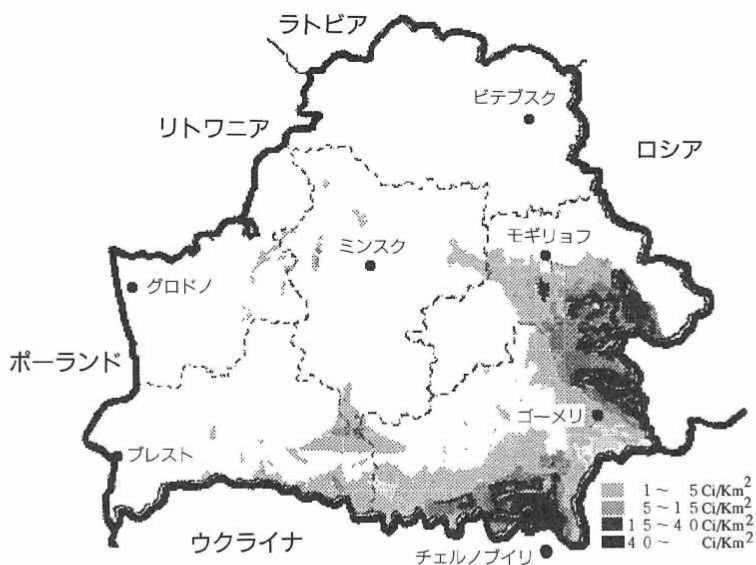


図 10 ベラルーシの ^{137}Cs による地表面汚染図

参 考 文 献

- 1) 原子力工学講座 2, 放射線防護 8 汚染除去 (1971), 培風館
- 2) 科学技術庁原子力安全局監修, 原子力規制関係法令集96年版, 大成出版社
- 3) 和達嘉樹, Radioisotopes, Vol. 23, pp. 723 ~ 728 (1974)
- 4) 安中秀雄, 和達嘉樹, 保健物理, Vol. 8, pp. 25 ~ 31 (1973)
- 5) 安中秀雄, 和達嘉樹, 日本原子力学会誌, Vol. 18, pp. 286 ~ 291 (1976)
- 6) 和達嘉樹, JAERI-1165 (1968), 日本原子力研究所
- 7) 和達嘉樹, 田嶋雄三, 日本化学雑誌, Vol. 81, pp. 891 ~ 895 (1960)
- 8) K. Simooka, Y. Wadachi, "Near-Field Assessment of Repositories for Low and Medium Level Radioactive Waste", OECD/NEA(1988)
- 9) 山本忠利, 他, JAERI-M 89-144 (1989), JAERI-M 89-189 (1989), 日本原子力研究所
- 10) 「原研における原子力安全性研究」, 日本原子力研究所 (1992)
- 11) 和達嘉樹, 季報エネルギー総合工学, Vol. 16, No. 4, pp. 71 ~ 78 (1994)
- 12) A. Jouve et al., "Proceeding of the 1993 International Conference on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation", Vol. 2, pp. 391-396 (1993), Prague

〔随 想〕

クリーンエネルギー自動車レポート(第3報)

—— 活発化するハイブリッド自動車の開発 ——

蓮 池 宏 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長補佐)



最近、新聞や雑誌で「ハイブリッド自動車」ということばをよく目にするようになってきた。テレビで見たり、町中で実物を見かけたりすることもある。今回は、このハイブリッド自動車を採り上げてみる。

1. ハイブリッド自動車とは何か

「ハイブリッド」とは2つ以上の混合物という意味で、2つ以上の動力源を持つ自動車のことをハイブリッド自動車と呼んでいる。

組み合わせる動力源は、いくつもの種類が考えられる。一般には、主として航続距離の要求を満たすためのエネルギー量を供給する動力源と、主として加速や登坂など短時間のパワーを供給する動力源とに分けられる。表1に試作車に採用されたことのある動力源を

表1 ハイブリッド自動車に用いる動力源

エネルギー供給用	パワー供給用
ガソリンエンジン	二次電池
ディーゼルエンジン	ウルトラキャパシタ
その他各種エンジン	フライホイール
燃料電池	蓄圧装置

示す。たとえば、ガソリンエンジンとウルトラキャパシタ、ディーゼルエンジンと蓄圧装置、燃料電池と二次電池、といった組み合わせのハイブリッド自動車が開発されている。

二つの動力源の組み合わせ方には大きく分けて2種類ある。シリーズ方式とパラレル方式と呼ばれるものである。図1に二つの方式の構成を示した。

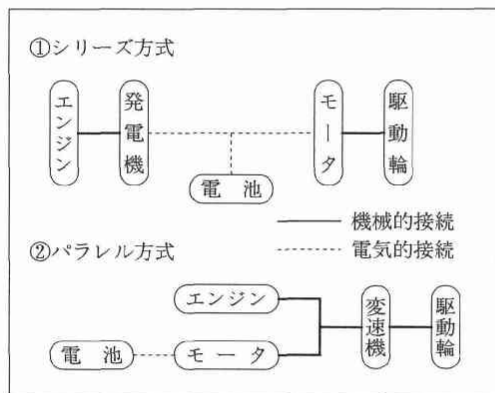


図1 ハイブリッドシステムの構成

ハイブリッドシステムの運転方法は次の3種類が代表的である。

① パワーアシスト型

自動車用エネルギーの問題は、エネルギーの面からも都市大気汚染の面からも地球温暖化の面からも、今後ますます重要になっていくであろう。さまざまな情報のポイントを整理しクリーンエネルギー自動車の今後を展望してみる、というのがこのレポートの趣旨である。ここで述べることは筆者個人の見解であり、必ずしも的を得ていない点もあるかと思う。読者諸兄のご批判を仰ぎたい。E-mail: hasuike@iae.or.jp

これは、内燃エンジンによる駆動を基本として、発進・加速などの大パワーが必要なときに、パワー用動力源が補助（アシスト）するものである。これによって、エンジンの低速トルクを補ったり、高負荷時の黒煙やNO_xの排出を抑えたりすることができる。

減速時は運動エネルギーを回収してパワー供給源に蓄え、加速時などに再利用する。

システム構成はパラレル式の場合が多いが、シリーズ式でもこのような運転は可能である。

② レンジ・エクステンダー型

この方式は、電気自動車が原型で、これにエンジン発電機を加えて走行中や停車中に充電ができるようにしたものである。電気自動車の「一充電走行距離（レンジ）を延長（エクステンド）する」という意味である。

エンジンは効率と排ガスを勘案して最も良い条件で一定運転される。パワーの過不足はパワー供給装置で調節する。

システム構成はシリーズとなる。

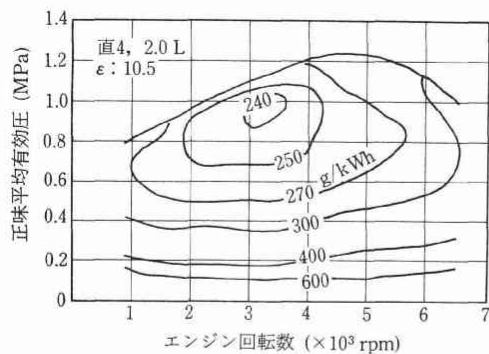
③ 使い分け型

郊外では内燃エンジンのみで走行し、都市内では排ガスの出ない電気モータのみで走行するといった具合に、時と場合によって2種類の動力源を使い分ける方式である。システム構成はパラレル方式になる。

2. 燃費や排ガスが改善される理由

ハイブリッド車では燃費や排ガスが改善されるが、その理由は次の二つに集約される。

第一の理由は、エンジン（表1のエネルギー供給用動力源）を、効率や排ガスの点で有



（出所）自動車技術会，自動車技術ハンドブック

図2 ガソリンエンジンの等燃料消費率曲線例

利な条件で運転できることである。

エンジンの効率や排ガス性状は、回転数や出力によって大きく異なる。例えばガソリンエンジンの効率は、図2に示すように最高点では240g/kWh(≒34%)程度だが、一方で600g/kWh以上(≒13.5%以下)の領域もあり、一般的な走行での平均は20%程度と言われている。また、ディーゼルエンジンの黒煙は加速時のような高負荷の領域で特に多く排出される。

ところが従来の自動車の場合は、高速走行でも低速走行でも、急加速でも緩やかな加速でも、いつも一個のエンジンで対応しなければならないので、効率の悪い領域や排ガスの多い領域での運転を避けることはできない。

これに対しハイブリッド自動車では、性質の異なる第二の動力源を組み合わせることで、ベースとなるエンジンはなるべく最適に近い条件で運転し、走行負荷に対するエンジン出力の過不足は、第二の動力源（たとえば二次電池＋モータ）に吸収させることができる。不利な条件での運転を避けることで、実使用におけるエンジンの平均効率や平均排ガス性状が大幅に改善される。

第二の理由は、運動エネルギーの回収・再利用である。

従来の自動車では、走っている車の運動エネルギーは、ブレーキをかけたときに熱に変わって周辺に散逸してしまう。ハイブリッド自動車の場合は、駆動用のモータが制動時は発電機として働き、運動エネルギーを電気エネルギーに変えて（回生制動という）二次電池などに貯蔵する。そして、貯蔵されたエネルギーは、加速時などに再利用される。これにより、再利用された分だけ燃料が節約され、燃費が向上し排ガスの発生も少なくなる。

3. 古くて新しいハイブリッド自動車

ハイブリッド自動車は、電気自動車の開発と並行して、これまでに様々な種類の車の開発が行われてきた。ハイブリッド自動車用の内燃エンジンとしては、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービンなど、種々のものが用いられてきている。また、スターリングエンジンのような外燃エンジンを用いたシステムも試作されている。

しかし、これらは実験段階で終わっているものが多く、実用化された例は、ディーゼルエンジンと二次電池（+電気モータ）を組み合わせた日野自動車のHIMR（Hybrid Inverter-controlled Motor and Retarder System）くらいしかない。

これまで多くの研究開発が行われながら、なかなか実用に至らなかった最大の理由は、得られるメリットの割にコストがかかり過ぎるためであった。ハイブリッド自動車のメリットは燃費向上と排ガス低減であるが、燃費向上はペース車と比べて20～30%程度、排ガス低減も半減くらいであった。一方で車両コ

ストは2倍近くになってしまう。20～30%の燃料費節約では、車両価格の上昇分をとてども賄えるほどではない。前述のHIMRを搭載したバスも、一般の路線バスより価格が数百万円も高く、経済的にはペイしていない。

排ガスについても、規制値は一般のエンジン車でもクリアできるレベルに設定されているので、その1/2になっても、1/5になっても、車のユーザーも自動車メーカーも特にメリットを受けるわけではない。電気自動車のように排ガスゼロというのであればインパクトがあるが、ハイブリッド自動車の場合はゼロにはならない。そのためアピール性も今一つで、自治体などによるアピール効果を狙った導入に対する需要も少なかった。

それではなぜ今、ハイブリッド自動車の開発が再び活発化してきたのだろうか。

一つは、カリフォルニア州のZEVプログラム（Zero Emission Vehicle Program）からの流れである。本レポートの第2報でも述べたように、近い将来におけるZEVの本格的実用化は難しいことが明らかになってきて、それに準ずる低排ガス車として、また、エンジン車から電気自動車への橋渡しの車として、ハイブリッド自動車が注目されてきた。新聞報道によれば、カリフォルニア州の規制当局は、ハイブリッド車も電池のみでの走行距離に応じて複数台数をZEV1台分と認めることを検討しているという。

もう一つは、CO₂問題からの流れである。自動車からのCO₂排出を減らすための最も効果的かつ確実な方法は、車両単体の燃費向上である。燃費向上を徹底的に追求するために、エンジンの細かな改良だけでなく、駆動システム全体を見直して効率の高いシステムを検

討した結果、エンジンの平均熱効率が高く、制動時のエネルギー回収・再利用が可能なハイブリッド自動車が浮上してきたわけだ。

しかし、以前と同じような技術を用いていては、また同じ失敗を繰り返すことになる。本当に実用化を目指すには、排ガスあるいは燃費の面で、相当にインパクトのある性能改善が必要になる。例えば燃費であれば、従来のような2～3「割」の改善ではなく、2～3「倍」が欲しいところだ。最近の技術進歩により、そうした改善の可能性が見えてきた。これが、ハイブリッド自動車が注目されるようになってきた、もう一つの要因である。

4. 日米欧のナショナルプロジェクト

平成8年秋から平成9年初めにかけて、通産省がハイブリッド自動車の開発に取り組む、という記事が新聞に何回か掲載された。実は、米国と欧州では、政府主導のハイブリッド自動車開発プロジェクトがすでにスタートしている。

最も早かったのは米国である。大統領の肝いりで1993年秋にスタートしたPNGV (Partnership for New Generation Vehicle) プログラムである。Partnershipとは、政府と3大自動車メーカーの研究開発共同体 (USCAR: United States Consortium for Automotive Research) との共同プログラムであることを意味している。PNGVプログラムには3つの目標が定められているが、第1の目標として「(国内メーカーの) 自動車生産の国際競争力の向上」が掲げられており、かつて米国が非難した日本株式会社の米国版のようで興味深い。それはさておき、大きく注目されているのが、第3番目の目標である

表2 PNGVプログラムの技術別研究チーム

- ・直噴ディーゼルエンジン
- ・燃料電池
- ・ガスタービン
- ・二次電池
- ・ウルトラキャパシタ
- ・フライホイール
- ・製造技術
- ・車体材料
- ・システム分析
- ・車両システム

「2004年までに1994年の平均的乗用車の3倍の燃費 (80マイル/ガロン) の商品化プロトタイプ車を開発する」ことである。計画書にはハイブリッド自動車を開発するとは明示されていないが、実態はハイブリッド方式の駆動システムの採用が前提となっている。表2に示す10の技術別研究チームが対象としている技術からも、そのことが伺える。同プログラムの開発予算は毎年約4億ドル (約500億円) にも達し、7年間で40億円という日本の計画とは桁違いの金額である。2004年の最終目標に至るまでに、1997年末に要素技術の絞り込みを行い、2000年には燃費3倍のコンセプト車を開発することが予定されている。

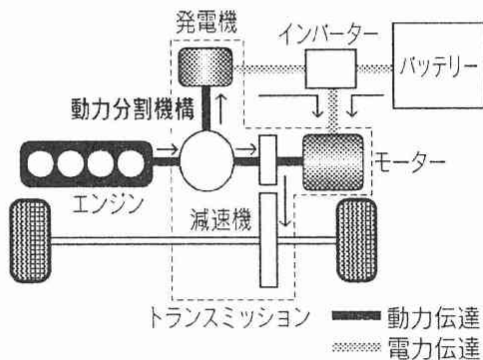
欧州では、EC委員会の下でCar of Tomorrow計画が始まっている。この計画では、燃費が良く、排ガスがカリフォルニア州基準のZEV (ゼロ排ガス車) またはULEV (超低排ガス車) 相当で、2005年までに経済的に競合可能になる自動車の開発を目標としている。現在のところ、開発しようとする具体的な車両システムを絞り込むには至っていないが、EC委員会の下での他の技術開発プロジェクトで開発されている技術 (レシプロエンジン、ガスタービン、燃料電池、二次電池、フライホイール等) の活用が考えられている。

日本のプロジェクトは本年度（1997年度）から開始され、開発期間は2003年度までの7年間で予定されている。燃費の目標は、米国などに倣って3倍に設定されるようである。

5. 民間の独自開発も活発化

日米欧の政府補助による開発プロジェクトはこれから本格化するところであるが、民間ベースでは既に様々な開発が行われており、それが活発化する傾向にある。

トヨタ自動車は1997年3月に、燃費2倍、排ガス1/10のハイブリッド自動車を開発して1997年内に販売を始めると発表した。車両価格は通常のガソリン車より50万円高い程度に抑えるという。THSと名付けられたハイブリッドシステム（図3）は、基本的にはパラレル方式だが、モータと発電機を別々にしている点が新しい発想である。エンジンもアトキンソン・サイクルという新型エンジンを採用している。



（出所）日本経済新聞、97年3月26日

図3 トヨタのハイブリッドシステム

トヨタ自動車は、1995年の東京モーターショーで、直噴ガソリンエンジン、無段変速機、ウルトラキャパシタなどの新技術を組み込んでやはり燃費2倍を実現したハイブリッド自

動車（表3の「PRIUS」）を発表している。今回、これとは全く異なる技術を用いて実用車を開発したことは、トヨタ（およびトヨタグループ）の技術力とクリーン自動車に対する力の入れようを感じさせられた。

欧州ではアウディが、エンジン駆動とモータ駆動とを切り替える方式のハイブリッド自動車の販売を予定している。欧州では、一部の自治体が環境対策の一つとして、都市中心部へのエンジン自動車の乗り入れ制限（電気自動車は規制対象外）を行っており、規制区域内ではモータ駆動に切り替える方式がニーズに合っている。

ハイブリッド自動車の実用化で先行している日野自動車は、HIMR搭載車の販売実績を着実に増やすとともに、エンジン仕様の最適化、電池の改良などにより、燃費向上、メンテナンス性の向上を図っている。また、路線バスだけでなく、観光バス、ゴミ収集車、小型トラックなど、HIMR搭載車種を拡大している。

ディーゼルエンジンと蓄圧装置とを組み合わせたハイブリッド自動車（路線バス）は、

表3 1995年東京モーターショーに出品されたハイブリッド自動車

開発者	車名	ハイブリッド方式	エンジン	エネルギー貯蔵装置
三菱	HEV	シリーズ	CNGエンジン	有機系電池
ダイハツ	シャレードソシアルXV-H	シリーズ	ガソリンエンジン	密閉鉛電池
富士重工	ELCAPA	パラレル	ガソリンエンジン	鉛電池＋キャパシタ
トヨタ	PRIUS	パラレル	直噴ガソリン	キャパシタ
トヨタ	コースターHEV	シリーズ	ガソリンエンジン	密閉鉛電池
東北電力	WAVE	シリーズ	ガソリンエンジン	ニッケル水素電池

三菱自動車やいすゞ自動車が開発し、地方自治体が運営する路線において実用試験が行われている。

この他、各社がハイブリッド自動車の開発を行っており、1995年の第31回東京モーターショーには表3に示すハイブリッド自動車が出品された。本年秋の第32回東京モーターショーには、さらに進化した商品化に近づいたハイブリッド自動車が出品されるものと期待される。

6. キー・テクノロジーは何か

一つ目の鍵はピーク用動力源である。これは「動力源」とはいうものの、ピークパワーの供給とともに、制動時の回生エネルギーやエンジンの余剰出力を貯蔵する、という機能がある。ハイブリッド自動車の燃費向上は、このエネルギーの貯蔵と再利用をいかに高い効率で行えるかが重要なポイントになる。そして、車の寿命期間中のエネルギーの吸収と放出（電池で言えば充電と放電）の回数は、レンジ・エクステンダー型の運転をする場合で1000回以上、パワー・アシスト型の場合は10万回以上になると考えられる。

したがって、ピーク用動力源には、①大パワーの供給能力という基本的な特性の他に、②パワー吸収能力が高いこと、③回収・放出のエネルギー効率が高いこと、④繰り返し使用の耐久性が優れていること、さらに⑤低コストであること、という5つの特性を兼ね備えたものが必要である。

HIMRをはじめとして最も使用例が多いのは鉛電池である。鉛電池は、①の大パワーの供給と⑤の低コストは及第レベルであるが、他の3つの点は十分ではない。鉛電池に

代わるピーク用動力源としては、リチウム・イオン電池、ウルトラキャパシタ、フライホイールの研究が活発化している。これらのうちのどれかが、上記の5つの条件を全て満たすものとして登場してくることを期待したい。

二つ目はエンジンである。既存自動車の内燃エンジンをそのまま使ったのではおもしろくない。おもしろくない、というのは不真面目だが、従来の車とコストも効率も同じエンジンを使っているのは、ハイブリッド化により他の部品が増えるのを補完できない。

ハイブリッド自動車用には小型で効率の高いエンジンが適している。一方で、負荷応答性は多少劣っていても構わない。近いところでは直噴ガソリンエンジンや直噴ディーゼルエンジン、やや長期の技術としては燃料電池やセラミック・ガスタービン、ターボコンパウンド・エンジンなどが開発対象となるであろう。

そしてもう一つ重要なのが制御技術である。燃費の向上も排ガスの低減も、二つの動力源をいかに最適に組み合わせて運転するかにかかっている。これまでのハイブリッド車では、試験用の走行パターンでは燃費が改善されるが、実用してみると逆に悪化したという例も報告されている。実使用での走行において、確実に燃費改善と排ガス低減を達成できるような制御方法を開発することが重要である。

7. コストが引き合う条件

トヨタが出してくるクリーンエネルギー自動車の値段にはいつも驚かされる。電気自動車RAV4を500万円で販売するのも画期的なら、ハイブリッド車をベース車の50万円増に

抑えるというのも耳を疑うくらいだ。新開発のトランスミッションも、それに組み込むモータや発電機も、生産量が少ないうちは高価だろうし、エネルギー貯蔵用（ピーク用動力源）にはニッケル水素電池を使うというので、製造原価はとて50万円増では収まらないと思うのだが。

メーカーの採算はともかくとして、本当に燃費2倍のハイブリッド車が従来車より50万円高で販売されるなら、経済性の面で従来車に十分に対抗できる。表4に示したように、ハイブリッド車では燃料費が年間5万円安くなるので、車両価格の差額は5年で回収できることになる。運輸省の審議会において、自動車税を従来のエンジン排気量基準から燃費基準に変更するという方向も模索されており、これが実現すればハイブリッド自動車にとって、さらに追い風となる。

表4 ハイブリッド車の経済性の試算例

	乗用車		2tトラック	
	従来車	ハイブリッド	従来車	ハイブリッド
年間走行距離(km)	10,000	10,000	30,000	30,000
燃費(km/ℓ)	10	20	6	12
燃料価格(円/ℓ)	100	100	76	76
年間の燃料費(万円)	10	5	38	19
車両価格(万円)	~150	従来車+50	~250	?

一番登場してほしいのは、都市内で配送用などよく使われている小型トラックのハイブリッド自動車である。表4に示したように、ディーゼルの2t積みトラックの場合、年間走行距離を3万kmとすると、燃費2倍のハイブリッド車では年間の燃料費は19万円に半減す

る。商用車の法定償却年数5年間の燃料費節約額は95万円となる。したがって、ディーゼル2tトラックの車両価格、約250万円に対し、100万円程度高くても経済的には引き合うことになる。

8. 他のクリーンエネルギー自動車との関係

ハイブリッド自動車が脚光を浴びようになってきたとき、他のクリーンエネルギー自動車との関係はどうなるのだろうか。

まず、ハイブリッド自動車の技術は、LPG自動車やCNG（圧縮天然ガス）自動車、メタノール自動車にとって歓迎すべきものであると思う。燃費が2倍ということは、同じ量の燃料で航続距離が2倍に伸びることを意味する。LPGやCNG、メタノールは、ガソリンや軽油よりエネルギー密度が小さく、航続距離が短いことがデメリットの一つとなっている。例えばCNG自動車の場合、実用されている車の航続距離は200km程度である。ハイブリッド方式のCNG自動車ではこのデメリットがだいぶ軽減されることになるであろう。

電気自動車からみるとハイブリッド自動車は兄弟か親類のようなものであり、共通する技術も多い。とくにシリーズ式ハイブリッドのモータやコントローラは、電気自動車と全く同じである。ハイブリッド自動車が普及していけば、その過程でモータやコントローラの技術が進歩しコストダウンも進むし、電池技術の進歩にも好影響があるだろう。これらは長い目でみれば、電気自動車の実用化にも寄与するものである。

9. まとめ（普及への期待）

ハイブリッド自動車の燃料はいろいろなも

の可能性があるが、ガソリンか軽油であれば燃料のインフラストラクチャの整備が不要になる。これは普及の容易さという点で大きなメリットになる。クリーンエネルギー自動車は、燃料供給用のインフラの整備が普及のためのネックになることが多い。LPG自動車やCNG自動車のよう、技術的な問題はクリアされても、燃料供給のインフラ整備に時間とコストがかかり、普及の速度が制限されてしまう。その点、ガソリンや軽油が使える、インフラストラクチャの問題は最初から解決済みである。

ハイブリッド自動車が依然として石油系燃料を使うのであれば、それは脱石油という観点からは好ましくないように感じられるかも知れない。しかし、それは違う。燃費2倍のハイブリッド車が2台普及すれば、非石油エ

ネルギーの自動車が1台普及した時と同じ石油消費削減効果が得られるのである。インフラ整備の問題を考えれば、石油系燃料を使うハイブリッド自動車は、短中期的には最も大きな石油消費削減とCO₂排出抑制をもたらす可能性があると思う。

日米の研究プロジェクトの目標である「自動車の燃費を3倍にする」というのは決して易しくはないが挑戦するに値する目標である。3倍でなくともせめて2倍でよい。それによって自動車用燃料の消費量は半分になる。これは非常に魅力的な目標であり、ぜひ実現してほしいと思う。日本のためだけではない。アジアでのモータリゼーションに伴って懸念されている石油需給の逼迫、CO₂排出の増大という問題に対する有力な対応策になるからだ。



● 行 事 案 内 ●

第15回エネルギー総合工学シンポジウム

テーマ：「天然ガスの将来展望と輸送・利用技術
—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—」

〈基調講演1〉「天然ガスの将来展望」(仮題)

東京ガス㈱ 最高顧問 片岡 宏文

〈基調講演2〉「今なぜメタノールか —メタノールのエネルギー利用の意義—」

東京大学 大学院工学系研究科 教授 吉田 邦夫

〈特別講演〉「エコノミストの目から見たエネルギー問題」

㈱長銀総合研究所 主席研究員 竹内佐和子

〈講演1〉「天然ガス資源の賦存開発状況と新しい輸送方法」

三菱商事㈱ 豪州LNG部 次長 桑原 徹郎

〈講演2〉「メタノールの製造と研究開発の現状」

三菱ガス化学㈱ 化成品事業部 企画開発グループ 統括部長 上松 正次

〈講演3〉「メタノールの発電への利用技術と経済性向上対策の要点」

㈱エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長 高倉 毅

〈講演4〉「燃料電池自動車とメタノール —輸送用燃料としての将来—」

トヨタ自動車㈱ 第1FP部 主担当員 河津 成之

〈講演5〉「我が国の長期エネルギー需給見通しと

CO₂排出抑制対策に関する考察」

㈱テクノリサーチ研究所 代表取締役 内田 二郎

日 時：平成9年7月14日(月) 10:00~17:00

会 場：東商ホール 東京商工会議所ビル4F 千代田区丸の内3-2-2

参加費：無料

問合先：㈱エネルギー総合工学研究所 企画部 金子裕子

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

(なお、プログラムは若干変わる可能性があります)

研究所のうごき

(平成9年1月1日～4月1日)

◇ 第3回評議員会

日 時：3月7日(金) 12:00～13:10
場 所：経団連会館(9階) 906号室
議 題：
第一号議案 平成9年度事業計画および収
支予算(案)について
第二号議案 評議員の一部交替について
第三号議案 その他

◇ 第47回理事会

日 時：3月21日(金) 12:00～13:10
場 所：経団連会館(9階) 906号室
議 題：
第一号議案 平成9年度事業計画および収
支予算(案)について
第二号議案 平成9年度運営費の借入につ
いて
第三号議案 評議員の一部交替について
第四号議案 その他

◇ 第41回企画委員会

日 時：1月29日(火) 10:00～13:00
場 所：新橋S Yビル 7階会議室
議 題：
1. 最近の事業概要について
2. 最近の調査研究の状況と今後の展開につ
いて
3. その他

◇ 月例研究会

第143回月例研究会

日 時：1月31日(金) 14:00～16:00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. COP3に向けての我が国の方向性と取
組状況

(通商産業省 環境立地局 地球環境対策
室長 桜井和人氏)
2. 総合エネルギー調査会基本政策小委員会
の検討状況紹介
(通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房
企画調査課 計画調整班長 頼宮裕貴氏)

第144回月例研究会

日 時：2月28日(金) 14:00～16:00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. 総合エネルギー調査会原子力部会中間報
告書紹介(プルサーマル、使用済燃料貯
蔵他)
(通商産業省 資源エネルギー庁 原子力
産業課 総括班長 中西宏典氏)
2. 総合エネルギー調査会原子力部会原子炉
廃炉措置対策小委員会報告書紹介
(通商産業省 資源エネルギー庁 原子力
発電安全企画審査課 安全分析調査班長
宮川純一氏)

第145回月例研究会

日 時：3月28日(金) 14:00～16:00
場 所：航空会館6階 中ホール
議 題：
1. 気候変動問題への我が国の対応について
(通商産業省 環境立地局 環境政策課長
松永和夫氏)
2. 統合評価モデルによる地球温暖化対策の
解析
(東京大学 工学系研究科 電気工学専攻
教授 山地憲治氏)

◇ 主なできごと

1月8日(水)・第1回原子力文化検討会
13日(月)・第2回長期電力需要要因分析委
員会
14日(火)・第1回石炭灰有効利用拡大技術
調査委員会
20日(月)・第2回燃料電池の実用化のため
のシステム調査委員会
・第8回原子炉安全数値解析高度
化委員会
(水)・第2回地熱開発技術調査委員会

- 1月22日(水)・第9回WE-NET研究リーダー会議
- 23日(木)・第2回分散型電源動向分析調査委員会
- 28日(火)・第3回国際的視点に立った将来型軽水炉の設計のあり方に関する調査委員会
- 29日(水)・第2回自動車排出ガスに係わる未規制有害物質調査委員会
- 2月4日(火)・第2回発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査委員会
- 5日(水)・第3回地層処分研究委員会
- 6日(木)・第3回低質燃料利用高効率発電技術調査委員会
・第3回地球環境対策技術調査研究委員会
- 7日(金)・第2回石炭水添ガス化高度化調査分科会
- 12日(水)・第4回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- 17日(月)・第9回原子炉安全数値解析高度化委員会
・第4回エネルギー環境予測検討委員会
・第10回WE-NET研究リーダー会議
- 19日(水)・第3回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査委員会
- 20日(木)・第2回負荷集中制御専門委員会
- ～21日(金)
- 21日(金)・第2回石炭灰有効利用拡大技術調査委員会
- 24日(月)・第3回WE-NET革新的・先導的技術に関する調査・研究委員会
- 25日(火)・第3回石油活用型スーパーごみ発電システムの普及促進に係るモデル調査委員会
- 28日(金)・第4回高温ガス炉プラント研究会
・第1回コンピュータ技術の活用によるエネルギー関連分野の高度化の方策等に関する調査研究最新エネルギー情報分科会
- 3月4日(火)・第3回自動車排出ガスに係わる未規制有害物質調査委員会
・第3回先進型高温高効率エンジン調査委員会
・第4回国際的視点に立った将来型軽水炉の設計のあり方に関する調査委員会
- 6日(木)・第3回負荷集中制御専門委員会
- 7日(金)・第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
・第8回TRU廃棄物中深地層処分シナリオ調査検討委員会
- 10日(月)・第3回長期電力需要要因分析委員会
- 11日(火)・第1回将来型軽水炉要素技術調査検討委員会
・第3回燃料電池の実用化のためのシステム調査委員会
・第3回石炭水添ガス化高度化調査分科会
- 13日(木)・第3回WE-NET全体システム概念設計・安全対策・評価技術WG
- 13日(木)・第2回DSM技術検討委員会
- ～14日(金)
- 14日(火)・第5回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
- 14日(火)・第3回高度脱灰火力技術に関する調査委員会
・第2回コンピュータ技術の活用によるエネルギー関連分野の高度化の方策等に関する調査研究最新エネルギー情報分科会
- 17日(月)・第3回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会
- 18日(火)・第3回地熱開発技術調査委員会
・第2回非在来型天然ガス基礎調査委員会
- 21日(金)・第3回石炭灰有効利用拡大技術調査委員会
・第6回長期的エネルギー・環境技術の研究開発に関する調査委員会
・第3回分散型電源動向分析調査委員会
- 24日(月)・第3回発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査委員会

3月26日(水)・第11回WE-NET研究リーダー会議

・第4回低質燃料利用高効率発電技術調査委員会

・第4回地球環境対策技術としてのグローバルエネルギーシステムの評価に関する調査委員会

27日(木)・第2回石炭灰溶融燃焼評価委員会

28日(金)・第3回含酸素軽油の開発可能性に関する調査委員会

・第3回コンピュータ技術の活用によるエネルギー関連分野の高度化の方策等に関する調査研究最新エネルギー情報分科会

◇ 人事異動

○1月1日付

(採用)

津田 潤 プロジェクト試験研究部 主管研究員

(委嘱)

相馬 昭典 (常務理事 事務局長)

総務部長を兼任

(平成10年3月31日迄)

○3月31日付

(出向解除)

小川 紀一郎 (エネルギー技術情報センター長 兼プロジェクト試験研究部 兼WE-NETセンター 副主席研究員)

斎藤 俊哉 (新水素エネルギー実証研究センター 新水素エネルギー実証ラボラトリー 研究員)

前田 修 (新水素エネルギー実証研究センター 主管研究員)

高真 新一 (新水素エネルギー実証研究センター 新水素エネルギー実証ラボラトリー 主任研究員)

○4月1日付

(採用)

小川 紀一郎 エネルギー技術情報センター長 兼プロジェクト試験研究部 兼WE-NETセンター 副主席研究員

第 19 卷 通 卷 目 次

VOL. 19, NO.1 (1996.4)

【巻頭言】	流動性と余裕と	通商産業省 工業技術院長 平 石 次 郎…… 1
【座談会】	IPCC第二次評価報告書の作成を振り返って ——エネルギー供給・産業部門における 温室効果ガス排出抑制への対応——	2
	国民金融公庫 理事 塚 本 弘	
	東京大学 工学部 教授 石 谷 久	
	東京農工大学 工学部 教授 柏 木 孝 夫	
	司会 (財)エネルギー総合工学研究所 企画部 部長補佐 蓮 池 宏	
	特別参加 // 専務理事 吉 澤 均	
【事業計画】	平成 8 年度事業計画の概要 ……………(財)エネルギー総合工学研究所……	26
【寄稿】	APECにおけるエネルギー分野の取り組み ——「3 E スタディ」から「行動指針」まで——	
	通商産業省 資源エネルギー庁 国際資源課 課長補佐 山 城 宗 久……	30
【寄稿】	アジア・太平洋地域のエネルギー事情とわが国の戦略 (財)電力中央研究所 研究開発部 研究開発調査担当 部長 新 田 義 孝……	39
【海外出張報告】	欧州における低質燃料利用高効率発電の現状	
	主任研究員 高 瀬 哲……	51
【随想】	エネテクトリーム21 (その13) 地域共生型発電所デザインで何を表現するのか ——地域景観創造型発電所デザインの 構築を求めて——	与志耶 劫 紀……67
【研究所のうごき】	……………	87
【行事案内】	……………	89
【第18巻通巻目次】	……………	90
【編集後記】	……………	94

VOL. 19, NO.2 (1996.7)

【新任挨拶】	新任のご挨拶	理事長 秋 山 守…… 1
【退任挨拶】	発足の頃の思い出をこめて	前理事長 山 本 寛…… 2
【随想】	「インデネカ文明」のルーツを求めて	通商産業省 関東通商産業局 公益事業部長 前 財団法人エネルギー総合工学研究所 企画部長 藤 間 健 一…… 4
【調査研究報告】	廃棄物発電高効率化技術の検討	エネルギー技術情報センター長 小 川 紀一郎 主任研究員 山 口 健 一……14
【調査研究報告】	メタノール発電の総合評価 ——天然ガス利用の第2サイクルとして——	主任研究員 平 山 智 之……31
【海外出張報告】	欧州主要国における原子炉廃止措置の状況	主管研究員 川 野 忠 昭……49
【技術解説】	重質油の処理技術	プロジェクト試験研究部 部長 片 山 優久雄……59
【技術解説】	原子力における放射性廃棄物処分	専門役 和 達 嘉 樹……75
【随想】	クリーンエネルギー自動車レポート（第1報） ——低公害車フェアを訪れて——	プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏……86
【訪問記】	東北電力㈱ 柳津西山熱発電所	I A E 女性研究員取材チーム……90
【研究所のうごき】		96
【編集後記】		100

VOL. 19, NO.3 (1996.10)

【新任挨拶】	新任のご挨拶	専務理事 稲葉裕俊……	1
【退任挨拶】	退任のご挨拶	前専務理事 吉澤均……	2

特集：第14回エネルギー総合工学シンポジウム

——拓けるか原子力の未来像——

平成8年7月15日（月） 東商ホール（東京商工会議所ビル4階）

総合司会……プロジェクト試験研究部 部長 松井一秋

【開会挨拶】		理事長 秋山守……	5
【来賓挨拶】	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 谷口富裕……		9
【基調講演】	IPCC第2回評価報告書と各国の地球温暖化防止対策の動向	東京農工大学 工学部 教授 柏木孝夫……	13
【基調講演】	テクノヘゲモニーから見た21世紀における原子力の役割	慶応義塾大学 法学部 教授 薬師寺泰蔵……	23
【特別講演】	原子力の現在・過去・未来	東京大学 名誉教授 (財)エネルギー総合工学研究所 前理事長 山本寛……	31
【特別講演】	私の中のエネルギー問題と原子力テクノロジーへの期待	大正大学 文学部 講師 隈部まち子……	36
【特別講演】	社会変化と原子力テクノロジー	東京大学 工学部 教授 班目春樹……	46
【パネルディスカッション】	……		53
	テーマ：拓けるか原子力の未来像		
	＜司 会＞ 鈴木篤之（東京大学 工学部 教授）		
	＜パネリスト＞ 隈部まち子（大正大学 文学部 講師）		
	宅間正夫（東京電力㈱ 取締役 原子力本部 副本部長）		
	班目春樹（東京大学 工学部 教授）		
	山地憲治（東京大学 工学系研究科 教授）		
【総括とりまとめ・閉会挨拶】	……	専務理事 稲葉裕俊……	80
【添付資料】	アンケートの設問・取りまとめ結果	……	82
【研究所のうごき】	……		84
【編集後記】	……		86

VOL. 19, NO.4 (1997.1)

【巻頭言】	初心に返って	電気事業連合会 副会長 外 門 一 直…… 1
【理事長対談】	原子力開発と21世紀を迎えてのエネルギー戦略	
	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 谷 口 富 裕	
	(財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守…… 2	
【寄稿】	高温ガス炉と原子力エネルギー利用の拡大	
	東京大学 名誉教授 安 成 弘……18	
【寄稿】	米国における電気事業構造の現状と将来	
	(社)海外電力調査会 調査部 主任研究員 飯 沼 芳 樹……35	
【寄稿】	CO ₂ の低減と処分についての内外動向	
	——CO ₂ 海洋処分技術を中心に——	
	(財)電力中央研究所 我孫子研究所 環境科学部 上席研究員 大 隅 多加志……45	
【調査研究報告】	CO ₂ 回収・処理を考慮した	
	火力発電システムのライフサイクル分析	
	研究員 田 中 敏 英……55	
【調査研究報告】	天然ガスの資源状況と燃料メタノールへの転換	
	——中小規模ガス田とCO ₂ 高含有率ガス田の有効利用——	
	専門役 松 沢 忠 弘……66	
【内外情勢紹介】	The Sixth International Conference on Cold Fusion	
	(新水素エネルギー国際会議) 報告	
	プロジェクト試験研究部 部長 松 井 一 秋……75	
【訪問記】	関西電力(株) 南港発電所	I A E 女性研究員取材チーム……86
【随想】	クリーンエネルギー自動車レポート (第2報)	
	——電気自動車のゆくえ——	
	プロジェクト試験研究部 部長補佐 蓮 池 宏……92	
【研究所のうごき】	……………	97
【編集後記】	……………	99

編集後記

本号の巻頭言は、久しぶりにガス業界から東京ガス（株）の山本洋平専務取締役役に寄稿いただいた。年度末でもあって大変ご多忙な中であらわれると推察されたところであるが、当所の依頼を快く引き受けて頂いたものである。

座談会は、この1月末取り纏められた「総合エネルギー調査会原子力部会中間報告」の読み方、苦勞話しを関係者に語って頂こうということ企画した。参加者は、部会長の東京大学近藤敏彦教授、電力より電気事業連合会の早瀬佑一原子力部長、通産省より当初計画では三代真彰原子力発電課長、そして司会役として当所より稲葉裕俊専務理事の予定であった。ところが、予定した座談会実施日の直前に動燃の核燃料再処理工場の事故が発生し、その関係等もあって三代課長が出席困難となり代って同課の中富泰三企画官に急遽ご参加いただくこととなった次第である。

寄稿の一つである東京大学山地憲治教授の「グローバルエネルギー戦略」は、昨年11月、当所賛助会員会議で特別講演いただいたものであるが、長期的な視点を踏まえて要求される昨今のエネルギー問題の理解に、非常に参考になると判断されたため、ご講演をテープ起こしたものである。

もう一つの寄稿である低品位炭転換技術

は、石炭あるいは天然ガスよりの流体化燃料の候補であり、また平成9年度より国家資金を得て研究が進められることになったジメチルエーテルについて、NKKの大野陽太郎氏に寄稿いただいたものである。メタノール同様今後の流体化燃料を検討する場合のご参考になるのではないかと考える。

所内からは、兼子弘主管研究員の「メタンハイドレートとその将来性」、和達嘉樹専門役の「放射性汚染除去の基礎知識」、蓮池宏部長補佐の「クリーンエネルギー自動車レポート（第3報）」を載せた。いずれも昨今話題のテーマであり興味を持って読んで頂けたと考える。

その他、本号では当所が7月に予定している恒例のシンポジウムを行事案内にて紹介した。LNGは、天然ガスの輸送・利用形態として定着しているが、昨今アジア域内においてLNGになじむ「大規模かつ良質なガス田」の存在が少くなり、コスト上昇の兆候が伺える状況に鑑み、将来LNGの補完をなす燃料候補としてメタノールを取り上げ、その可能性を探る視点からシンポジウムを開催することになったものである。

できるだけ多くの皆様のご参加を、所員一同心からお待ちいたしております。

小川紀一郎 記

季報エネルギー総合工学 第20巻第1号

平成9年4月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社