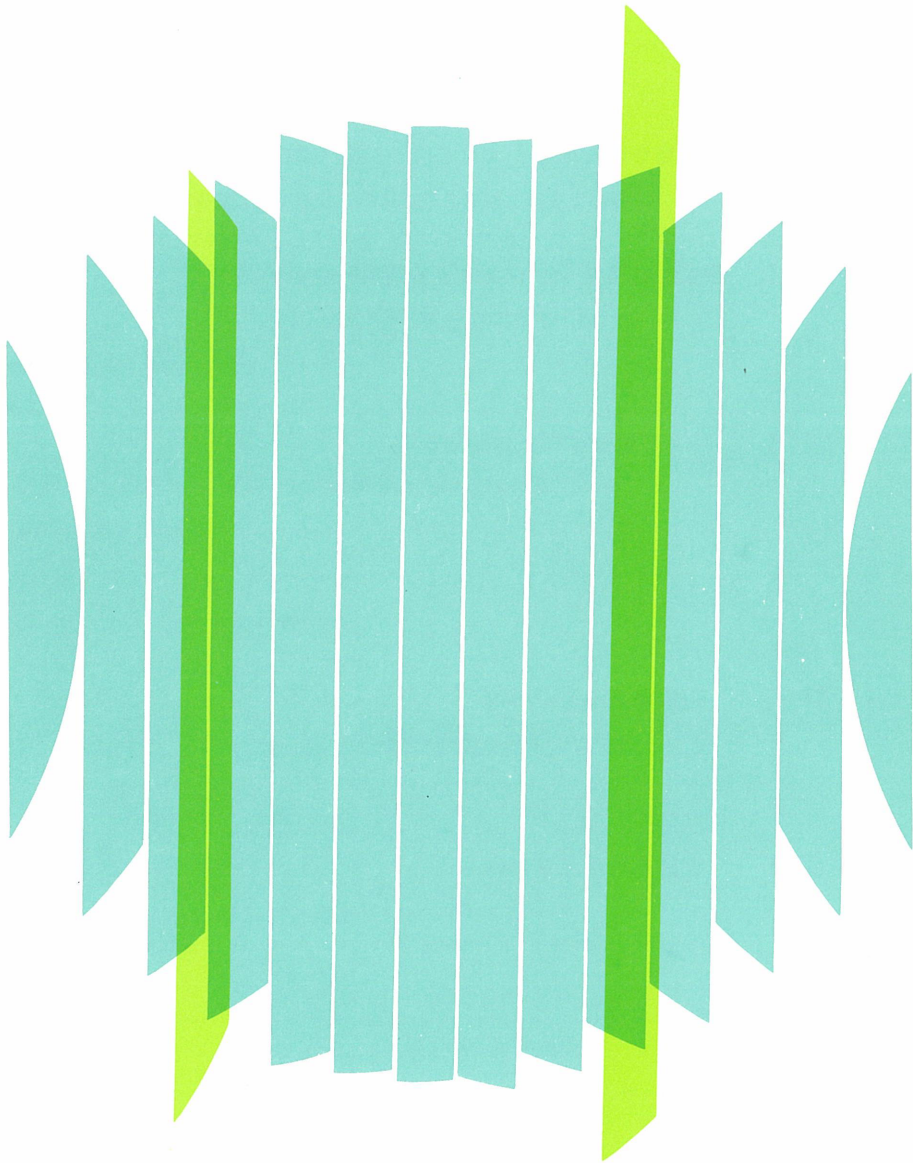


季報 エネルギー総合工学

Vol. 21 No. 4 1999. 1.



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

目 次

【巻頭言】	一流専門家の説得	(社)日本建設業団体連合会 副会長 柳 晃…	1
【理事長対談】	21世紀を迎えてのエネルギー・環境戦略	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 佐々木 宣彦 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守…	2
【関連施策紹介】	自動車を巡る環境・エネルギー問題と政策展開	通商産業省 機械情報産業局 自動車課 課長補佐 都 築 直 史…	21
【調査研究報告】	電気二重層キャパシタによる電力貯蔵技術 ——新しい負荷平準化手法の実証調査——	主任研究員 伊久美 早 利…	31
【調査研究報告】	TRU廃棄物中深地層処分の 可能性に関する考察	専門役 和 達 嘉 樹 三菱マテリアル(株) 環境リサイクル事業センター 技師長 田 村 穰 二 地圏空間研究所 代表 小 島 圭 二…	42
【調査研究報告】	土木建築用骨材への 石炭灰有効利用技術について	主管研究員 広 瀬 八州雄…	53
【調査研究報告】	自動車燃料の品質動向	副主席研究員 仁 科 恒 彦…	65
【訪問記】	三菱重工業(株) 田代試験場	I A E 女性研究員取材チーム…	74
【研究所のうごき】	……………		84
【編集後記】	……………		86

巻頭言

一流専門家の説得

(社)日本建設業団体連合会

副会長 柳

晃



余談、雑談、脱線したおしゃべりといったものは案外長く寿命があり、可成り昔のことでも強く鮮明な記憶として残っているものだ。最近全集が出版された故丸山真男教授も座談の名人であった。座談や講義用ノート・メモといった類まで刊行されている。

何かを改革・改善しようとするとき、歴史や現実を突き詰めれば詰めるほど、それらの存在にはそれなりに相当な理由があり、かえってどうしても現状維持に走り易い。陥り易いパラドックスの一つだ。

専門性を尊べば、他がみえにくくなる日本文化タコツボ論。等々。

一流のその道を深く極めている人ほど、ズブの素人に対しても懇切丁寧にトコトンよく説明する。専門的なことがわからないこちら側が恐縮してしまうほど、労力をかけて、喩えや異分野の事例まで持ち出して一生懸命説得する人は少ないが、巡り合ったときの幸は非常に大きいものだ。それまで何となく軽く扱われ〇〇されているのではないかと僻みがちであったことが恥ずかしくなる。

私の体験をここでご披露しよう。全く知らなかった警察に出向を命ぜられたとき一瞬戸惑った。しかし、鑑識課長やその道のプロたちが、写真や文献にそのコピー等を次々に持ち出して来て、どうにか私自身の言葉で事柄を解説できるようにしてくれた。例えば、毒を科学的に鑑定して犯罪捜査や裁判に役立てる活動をするのがその役割であったが、本当に頭が下った。

原子力発電一つとっても、一流のエキスパートが、一般大衆や社会に対して、説明技術の専門家のアドバイスを得ながら、くり返しくり返し、基本から専門分野まで、やさしく、懇切丁寧に、ねばり強く対話に尽力するならば、エネルギー開発は今とは違う道筋を辿るようになるのではないだろうか。(現在も努力中であることは十分認めているが――)

21世紀を迎えてのエネルギー・環境戦略

佐々木 宜彦 (通商産業省 資源エネルギー庁
長官官房審議官)

秋 山 守 ((財)エネルギー総合工学研究所
理事長)



はじめに

秋山 佐々木審議官は、通産省におかれて資源エネルギー庁、工業技術院、それから地方の通産局等で、水力、原子力そして火力に至るまで、幅広くエネルギー行政の中核に係わるお仕事にご尽力されてきたと伺っております。

とりわけ、資源エネルギー庁の原子力発電安全管理課のときには原子力発電所の事

故防止のための自主保安体制強化の確立、また工業技術院調査課長のときには技術開発長期ビジョンの策定、さらに、資源エネルギー庁発電課長をお務めの折には「21世紀発電技術懇談会」の企画開催などと、多岐にわたり、またそれぞれの時期に応じた重要な施策の策定に大きなご功績を挙げてこられました。

きょうは、このようなご経験をお持ちの審議官からいろいろな角度からの貴重なお話がお伺いできるものと大変期待しております。

原子力になお厳しさを欠く構造的体質

秋山 まず最初に、これまでのお仕事のご経歴のなかから、特に読者の方々にご紹介いただけるエピソードとか、お仕事の上での思い出などからお話ししたいと思っています。

佐々木 2つだけ簡単に紹介させていただきます。

1つは、エネ庁の原子力発電安全管理課の課長補佐でした1979年に、アメリカの TMI (Three Mile Island) 原子力発電所事故の処理の問題があり、1年しまして、日本原子力発電の敦賀発電所の問題が起りました。

これは、放射性廃棄物処理施設のタンクからオーバーフローした廃液が敦賀湾に生える海藻のほんだわらに蓄積し、このほんだわらを分析したところ、コバルト、マンガンが見つかったというトラブルでありました。

原子力発電所を運転管理していくうえで社会的信頼の基礎となる、技術者モラルの確立や法規制の遵守については、当時、日本原電にいろいろな対策を求め、また、それを実施させました。

それから約18年経った昨年(1998年)には、原電工事(株)で起こった使用済み燃料輸送用キャスクの製造データ改ざん問題への対応に迫られました。奇しくも日本原電の子会社で発生したことに、私はある意味で因縁を感じるものがあります。

親会社のほうは相当いろいろな対応をし、努力もしてきたのですが、子会社の原電工事には、社会的信頼を得るために、決められたことは守る、嘘はつかない、ルールに不備があれば直すという基本がまだ不十分のままの構造的体質が、なお残っていたのでは

ないかと極めて残念に思っております。敦賀の事故当時は課長補佐でしたけれども今回は審議官の立場にあって、このようなトラブルへ再度の対応をとらざるをえないのも、何か不思議な因縁を感じます。

標語に示した行政のあり方

工夫を凝らしたやる気の引き出し

痛感したトップセールスの重要さ

佐々木 2つ目は、前職に東北通商産業局の局長を約1年やらせていただきました。この間、通産行政のなかで地方局のあるべき姿や方向を、職員と一緒に目指したつもりです。

行政の何か分かりやすい標語をということで、3つの標語を掲げました。「役に立つ通産局を目指そう」「存在感のある通産局を目指そう」「先を照らす通産局になろう」がそうです。

この標語のもとで、対外的にも、「私たちの通産局は、こういう気持ちで仕事をしております」と大いにPRをさせていただきました。また、私自身も、東北の管内を回るたびに、われわれのポジションを明確にして、いろいろな方と意見の交換や意思の疎通を図る努力をいたしました。

通産局長時代に思いましたのは、220人から230人の組織ではありますけれども、組織の長の使命は何かということを考え、私なりに工夫をしてみました。その1つは、職員一人ひとりのパワーをフルに引き出すにはどうしたらよいかということでした。組織の中では、叱ったり咎めたりするよりも、徹底的にほめる。そのなかから、不足していることがあれば、「これをもう少し考えてみたら」とか、「皆でもう少し議論を深めてみよう」というような対応も考えたりしました。

また、通産局が先を照らす以上は、局長が自らトップセールスをすることがいかに大事かを痛感しました。トップセールスという意味は、管内をひたすら動き回って、いろいろな人と会って自分たちの考えをお話しし、相手の意見も聞き、何か役に立つことがあればとにかく努力して、そこからお互いの信頼関係を生み出していく。このような努力を通じて、行政官として通産局長時代は非常にいい思い出になったといえます。

秋山 いまいろいろお話しいただいたことに共通して、私もいちばん重要と感じましたのは、安全にしても組織の運営にしても、結局、人が中心だということですね。また、いま最後におっしゃった対外的なトップセールスが大事だということも全く同感です。トップの方々にとっては、組織の中でもまた外部に向けても、自らの考えをこれまで以上に披瀝しながら、同時にそれを率先して実行していくことがますます要求される時代ですね。

審議官に就任して

トップの出番が増えた原子力情勢

秋山 審議官は、昨年6月に、谷口富裕前審議官の後任として現職におつきになりました。審議官のお仕事は、外からの想像以上に大変なものだと思いますが、ご就任後のご感想はいかがでございすか。

佐々木 歴代の審議官の方々は、ほんとに立派な方で、それぞれの時代に多くの政策実現に努力をされてこられました。私は、これまで原子力関係の経験が非常に短いのですが、

ここ2、3年は、原子力行政において極めて重要な時期に差しかかっておりますし、さらに、いま、経済構造改革あるいは規制緩和、行政改革など、いろいろな意味で大きな変革の時代にあり、新しい枠組みづくりが求められております。このような時期に、こういうポストに就きましたことの責任の重さをひしひしと感じ、自分なりに相当の努力をしていかなければいけないと思っております。

エネ庁の審議官ポストは、初代の井上力審議官（現原子力発電技術機構最高顧問）の時代から、原子力の推進や安全に係わる行政を主体にし、エネ庁が所管する技術の問題について必要なサポートをすることになっております。

現在、原子力を取り巻く社会環境は厳しいものがあり、原子力行政そのものに対する信頼感の回復など、新しい次のステップに進むためになすべきことが多々あるわけです。

特にバックエンド対策を中心として原子力の長期的な方向を国民の前に示すことが求められておりますし、また、開かれた原子力行政のなかで国の考え方を明示して議論してゆく姿勢が必要になってきております。

そういう意味では、先ほど申しました東北通産局時代の経験からいいますと、トップが自ら動く局面が相当増えてきた気がいたします。特に、地元の方々、原子力発電所が立地する市町村や県などの自治体との対応において、最近は国の方針をしかるべきクラスから直接聞きたいというご意向も大変多くなってきております。その点からも原子力を取り巻くいろいろな情勢のなかで、確かに最近は審議官としての出番が増えてきたかなと思います。

期待と役割が大きい日本の原子力

佐々木 もう一つは、国際環境のなかで、日本の役割や日本に対する期待が原子力の世界においても非常に大きいという感じがします。先進国のなかでも原子力の推進を明確に打ち出している国はフランスと日本だけという状況ですが、これからアジア諸国のエネルギー問題を考えると、原子力を避けて議論はできません。国際的な原子力戦略のなかにあっても、なおいろいろな意味で日本の役割が増えてきているという国際感覚が必要です。このあたりは、私自身もっと勉強していきたいと思っています。

秋山 いまのお話のなかで、今後の国際化に向けた取り組みの重要性も含めて、いくつも貴重なご示唆を頂きましたが、確かに激動の時代となった今、国内でもさまざまな構造改革や国際化に向けた動きが活発になっていますね。これには受け身ではなくて、社会的な要請を先取りできるように、積極的に行動していくことが大事だと思いますが、そうしたなかで審議官のお仕事もますますお忙しくなってきましたね。

最近のエネルギー・環境情勢

「長期エネルギー需給見通し」を中心に

経済、環境、エネルギーの

調和を目指して

秋山 最近ではエネルギーや環境を巡って、国際的にも超長期的な観点からも、大きな話題がたくさん出てきております。一昨年(1997

年)京都でCOP 3(地球温暖化防止京都会議)が開かれ、アメリカ、ヨーロッパ、日本などの先進国を中心に温室効果ガスの排出抑制目標が取り決められました。これとも関連しまして、総合エネルギー調査会の議を経て、総合エネルギー対策推進閣僚会議で「長期エネルギー需給見通し」(以下、「需給見通し」)が改訂されておりますが、その内容などについてご紹介をお願いいたします。

佐々木 昨年の「需給見通し」は、2010年の断面をベースにして改訂したものです。1つは、日本の今後の経済成長はエネルギー需要を極力抑えながら進めていく。同時に、エネルギー・セキュリティと地球環境問題の解決を図る努力をもしていこうという、非常に試練に満ちた計画になっているわけです。

別の言葉で言いますと、地球温暖化対策としての二酸化炭素(CO₂)排出削減などのいろいろな制約のなかで、経済成長、エネルギー・セキュリティ、環境保全を何とか調和させながら日本の生きる道を切り開く計画です。

このなかで特に強調しておりますのが、省エネルギーです。併せて、原子力発電の推進と新エネルギーの導入に、さらに努力していこうという計画です。

この「需給見通し」については、実現性にいろいろ議論がありますが、この見通しは、政府としての指針であり、努力目標であるわけです。

このような「需給見通し」をつくり、そこに示されたエネルギー選択に努力するということは、これから日本の社会がいかなる経済なり社会構造システムを目指すかという論点と深くかかわっています。

もちろん、いままでのような大量生産、大



佐々木 宜彦氏

(通商産業省 資源エネルギー庁
長官官房審議官)

量廃棄の産業システムを変えていかなければならず、一方でまた、エネルギーの問題はタイムスパンが非常に長いこともあります。さらに、いまの世界の状況を見えますと、日本の石油の中東依存度は一時相当下がりましたが、近年はかなり上がってきております。さらに、アジアの諸国も同様に、石油の中東依存度が今後急速に増加していく趨勢にあります。こういうなかで、今後の石油資源の確保と価格にどういう見通しを持つのかであります。秋山 お話のように国際的にはとりわけアジア地域でのエネルギー・環境問題と、それに関連して経済情勢なども、見通しとして極めて厳しいようですね。日本のエネルギー供給を考えていく際に、やはり近隣諸国や世界全体を視野にとらえながら議論を進めていくことが、ますます必要になってきています。

世界の範となる

日本のエネルギー需給構造

エネルギーと経済の調和へ

率先した努力を

佐々木 発展途上国の立場からいいますと、

先進国がいままでに恵まれた経済生活を享受してきた一方で、途上国がいざ経済成長を進めようとするとき、地球温暖化防止のCO₂排出削減という枠のなかで成長の制約を嵌められるのはおかしい、という議論があります。

発展途上国の成長に必要なエネルギーとして、原子力発電は期待するほど伸びないと思います。これは膨大な技術が集積したシステムであり、高度な安全を守れる人材と技術にサポートされなければなりません。関連産業にもかなりのレベルが求められます。そうなりますと、やはり、石炭とかLNGとかの化石燃料に相当依存せざるをえないのが、発展途上国の実情と思います。

そのうえで、地球規模のCO₂排出削減を、先進国のみならず発展途上国も含めた枠組みのなかで、長期の問題として考えますと、日本は、石油ショック以降これまで、省エネルギーには相当の努力を行い、また、電源やエネルギー源の多様化も進めてきており、その意味では、国全体としてのエネルギー需給構造の面で、世界の範になりうる国だと思っています。

さらに、世界のなかで、このようなエネルギー供給構造をもつ日本が、一定の経済成長を確保し、豊かな生活のできる国を目指していくことは、世界をリードする日本の1つの大きな役割かと思うわけです。

今回の「需給見通し」を見ていただくうえで考えてほしいのは、新しい経済や社会構造システムが何を目指しているかであります。世界のなかで日本が使うエネルギーは多いのですが、これからどういう世界観で、どのような地球文明論でわれわれは生きようとしているのか、そのなかで、2010年という1つの

断面で目指す目標を示しているのです。現実にはできる、できないの議論よりも、一步でも実現に向け努力をしていくのだという意志が示されていることを、ご理解いただきたいと思います。

痛みも伴う省エネ目標の達成

理解が欲しい経済構造の変化

秋山 「需給見通し」のなかの原子力発電については後程の話題としまして、新エネルギーと省エネルギーの分野で、今後の展望、あるいは重点的な技術開発の対象など少しお話しいただけますでしょうか。

佐々木 「需給見通し」は、非常に意欲的な計画であります。実現性の議論のなかで、特に新エネルギーについては、太陽光発電とか風力発電をもっとやるべきだとのご意見があります。現状から申しますと、2010年の断面で、この見通しが目標とする新エネルギー供給量の達成には、かなりの努力がいることを多くの方にお分かりいただきたいと思います。

また、省エネルギーも、2010年の断面で、このままエネルギー消費量が伸びると想定される量に対して、石油換算で、約5,600万キロリットル(kl)の省エネを実現しなければいけません。およその数字で、現在の最終エネルギー需要が4億klのうち、産業用が2億kl、家庭用と業務用を合わせた民生用が1億kl、輸送用が1億klです。5,600万klの省エネというのは、いま全国の家庭で使っているエネルギーの合計量を上回る省エネルギーであり、容易なことではありません。省エネルギー法による規制は、主に電気機器類の高効率化、工場でのエネルギー使用の合理化ですけれども、そのほかに、社会のシステムを変えてい

かないととても目標は達成できないというようなことも、先取りしてこの省エネ項目の中に入っているのです。

このことは、実は、各産業セクターあるいは個人部門とも、この達成にはある痛みも伴うのです。また、この実現が経済構造に及ぼす影響を、国民の皆さんに本当に分かっているだけで必要があります。われわれは毎日電気が点いて当たり前という生活に慣れきっており、この点も、「需給見通し」が示す数字を単に見ていただくだけではなくて、ほんとに何かが変わっていくのだと、ぜひ理解していただきたいと思います。

深刻化が進む

21世紀のエネルギー需給

佐々木 さらに、「30年、50年先の話は誰も予測困難ですから、今回の『需給見通し』は、数字にしても無意味だ」という説もあります。しかし、将来の地球環境問題を考えますとき、2010年は通過する一断面にすぎず、2010年を超えればさらに厳しい状況に向うということで、長期に亘り今回の「需給見通し」の考え方を徹底していくことが必要です。21世紀は、いままでのように、エネルギーが湯水のように、流れるように世界を回るという時代ではなくてという認識を深めていただきたいと思います。

秋山 現実の行政を通じて、国民の利益と社会の円滑な運営に大きく貢献しておられる審議官から、いま指摘されたように、具体的には2010年頃までを見通すこと、そして同時に21世紀全体という長期的な未来と、また併せて全地球的な広がりを頭のなかで描きながら構想や議論を進めていくことが大切ですね。

実は私、学術的な観点から、21世紀全般ないしはそれ以遠の超長期を視野に入れながら、人口、食糧、エネルギー・環境などの問題についていろいろ勉強しているところですが、こういった大きな問題のなかで、日本の政策といますか、哲学といますか、そういう基本的な体系が国際的にも模範となる形で整っていくことが重要だと思います。

それから、前も触れましたが、エネルギー・環境に関しては、やはり2010年頃までに相当深刻な状況に落ち入るんじゃないかと危惧されます。近隣の東南アジア諸国で石油の供給能力が減ってきて、国によっては石油輸入国になっていくという話も聞いていますが、それらを含めて、エネルギー需給の問題が全体として相当深刻になると思います。一方、CO₂問題については、現状のまま推移すれば、近い将来から深刻な環境劣化の問題が顕在してくると指摘されています。こうした基本的な問題については、行政、産業、学術などの各サイドから知恵を出し、力を合わせて総力戦でいかなければと思っています。

さらなる知恵を出すべき

省エネルギー分野の技術開発

秋山 わけても省エネがこれからますます重視され、基本的にはライフスタイルも見直していく時代であると認識されますが、その辺のことも含めて省エネ全体として何か補足なすることはないでしょうか。

佐々木 法的な規制力でもって省エネを実施すれば、産業経済にはかなりの痛みを伴うのが現実だと思います。

いま、省エネルギーの推進に必要最低限の規制として、「エネルギー使用の合理化に関す

る法律」を改正して、特に自動車や家電の12品目については省エネ目標値を決めてメーカーに技術開発競争を促そうと、「トップランナー方式」ということで、現在市販されている製品で最も効率の良い機器の普及を図ることにしています。

ライフスタイルについては、できるだけ直接規制を避けて知恵を出し、技術でカバーしていくのが本来の姿だと思います。

省エネルギーの面から、ライフスタイルを変革していくうえで、今後、相当の意識の転換が求められますのが、車社会です。車も、電気自動車など、いままでと概念が全く違う車に変わるまでには相当の時間を要すると思いますので、生活水準を維持しながら車の省エネを果していくことが大切です。

無駄なことはやめる、できるだけ無駄をなくすということは、工夫により可能ですけれども、法規制を強化して省エネを達成しようとするのは、1億人以上の人間が生活するわが国では、産業の国際競争力に影響を与えることにもなりますし、難しいことだと思います。

省エネ技術の開発により、まだまだできることが相当あるかもしれません。ただ、それには時間はかかるものもあるでしょう。しかし、発光ダイオードによる照明であるとか、もろもろの技術の芽のなかで、いままでわれわれが「そんなことできるか」と思ってたものも、半世紀経てば、実用化に至る類は結構あるかと思っています。そういう意味では、省エネルギーの技術開発に、もっと力を入れるべき分野があらうかと思っています。

秋山 実は私、講演などの折りに“プッシュからプルへ”という言葉を使っています。法

規制を含めた社会の約束ごとで省エネを目指すよりも、一人ひとりの考え方に立ち、個々の生活様式のレベルから社会総体に至るまでをエネルギー・環境面で自発的に改善していこうではないか、という気持です。省エネにつながるアイデアを見いだして、それを実行に向けてうまく引っ張る力が中から湧き出るような、そういう姿勢が非常に重要だと思いますね。

ところで、新エネルギーの分野はいかがですか。

過大な期待を抱かずに

バランスが大事な自然エネルギー

佐々木 新エネルギーについては、日本では太陽エネルギー、風力エネルギー、廃棄物の有効利用など幾つかのアイテムがあります。

そのうち、太陽エネルギーは今後の技術進歩と量産化によりコストはさらに低下すると思います。新築住宅の屋根には、原則として太陽電池のパネルを取り付けましょうとか、普及にかなりの方策がとれると思います。

しかし、新エネルギーというのは、技術がどこまで進んでも、密度が非常に薄いエネルギーを使うものですから、自然界の制約から、設備利用率はそれほど高くはなりえず、これがエネルギーの大勢を占めるものではありません。あくまでも、何パーセントかの補助的エネルギーとして利用するものであり、過大な期待を持っても無理と思います。

環境問題をテーマにしておられる方々のなかには、新エネルギーでエネルギー需要を十分賄えるのではないかといわれる方もみえますが、コスト面からしましても、これは少し極論だと思います。日本の実情から申しますと、



秋山 守氏

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

やはり各種のエネルギー間に適正なバランスをとることが大事なことをご理解いただきたいと思います。

秋山 おっしゃるとおりですね。このところ新エネルギーについて、いろいろ目立った動きがあり、海外でも太陽エネルギーの話題や計画などがますます関心を高めてきているようですが、確かにいまご指摘のように、新エネルギーへの期待については、長期的に考えてその方向を目指すことが大事ですし、一步一步できることを積み上げて行くことがそれ以上に大事です。新エネルギーのそれぞれについて、技術とか経済性とかいろいろな要素を考えながら、現状と将来を詳しく分析して判断していくことが必要ですね。

原子力発電について

まずは定着さすべき現在の軽水炉路線

次世代技術の開発とともに

秋山 「長期エネルギー需給見通し」のどこ

ろでも、原子力発電がCO₂排出抑制に力を発揮するべきであり、大いに期待されるというお話がありましたが、そうした目標ないしは期待と、実際問題として原子力を巡る状況が厳しいということとの間に、言葉が適切かどうか知りませんが、乖離があるというのが現実です。このあたりにつきまして、審議官は日頃どのように思っておられるでしょうか。

佐々木 原子力にはいろいろな技術開発や夢があるのも事実ですが、放射性物質を取り扱う原子力は、化石燃料その他の一般エネルギーとはそれなりに違うことをわきまえる必要があると思います。

一方、日本の原子力発電所は、すでに建設して30年を経過するものが出てきていますが、この巨大システムにおける高度な運転管理と、さまざまなトラブルを原子力界共有の経験として水平展開し対応を図ってきたこと、また巾広く知見を取り入れてきたことにより、非常に高い安全運転の実績を持っていることも事実です。

私は、来る21世紀を見渡してみても、基本的にはいまの軽水炉が中心になるものと思います。もちろん、高速増殖炉、核種変換や消滅処理を目的とした高速炉、あるいは次の時代の核融合などの研究開発も非常に重要でありますけれども、当面、政策の焦点に据えなければいけないのは、わが国なりあるいは世界が採っていますいまの軽水炉の路線を、まず人類のものとしてしっかり定着させることが一番大事であると思います。

日本に原子力発電所はどの程度の規模まで必要なのか、適切なのかになりますと、電源の多様化、エネルギーのセキュリティ、世界

の需給情勢を考えて、これから十分議論をしていく必要があると思います。私は、2007年頃に最大と予想される日本の人口に対して、かなりのタイムラグも考えられますが、電力需要がどの程度の伸びで収まるのかが問題と思っています。

一次エネルギー総供給量に占める電力向けエネルギーの投入量を示す電力化率は、いま39%ぐらいですが、生活の利便性から考えますと、電気エネルギーへのシフトはまだ増加すると思います。電源の多様化、セキュリティを考えますと、おそらく40数%が一つのメルクマールかもしれませんが、長期的には、電力需要は、まだ伸びていくと見ています。日本の電力設備容量は、自家発電も入れますと、いま2億kWを超えたところですが、3億kW時代はいずれ来るものと見ています。

そのなかで、原子力発電への依存については、かつて、原子力長計が2030年に1億kWという数字を出しております。2030年という時点は別にしましても、日本の原子力発電設備の容量が1億kWになる時代は、いずれ到来すると思われます。ただ、このあたりのことについては、シミュレーションによる分析と総合判断が必要だとは思っています。

資源少国であるわが国のエネルギー・セキュリティを考えますとき、2010年の目標にある原子炉20基の建設ができる、できないの話を飛び越えて、原子力の分野については、軽水炉を定着化させると同時に、次の技術をオプションとして持ちながら技術開発も含めて進めていくことが、いま大事なポイントと思っています。

秋山 長期のエネルギー需給のなかで、原子力の役割ないしは原子力への期待につきまし

ては、ご存知のように、電力中央研究所や政策科学研究所でいろいろと調査研究をしております。それによりますと、例えば21世紀の末頃までを見渡したときに、世界の総人口を100億人レベルと想定した上で、1人当たりのエネルギー消費として、現状4kWのレベルを近い時期に2kW、そして遠い将来には限りなく1kW強の平均に近づけていくことが考えられると。そうしたとき、将来の世界のエネルギー需要は現在の2倍強で納まるでしょうと。ただし、先進国と途上国との差があまり縮まらないということになると、トータルのエネルギー需要は当然のことながら増える計算になります。

一方、原子力の役割をどのように見定めるかについては、海外では、化石、原子力、再生可能エネルギーをそれぞれ3分の1ずつぐらいが妥当とする考え方がありますが、国内のスタディを見ますと、21世紀の終り頃の時点で、原子力は全エネルギーの10%ぐらいとした前提で議論している例があります。

いずれにしても、審議官がおっしゃるように、着実に原子力発電を進めていくことが必要だと思います。軽水炉の将来も含めながら、次々と新しい技術を視野に入れて、長期的に取り組んでいくことが必要です。

核燃料サイクルの確立へ

動き出した MOX 燃料の導入

秋山 ところで、原子力の中身のことで、これからは核燃料サイクルのことが一段と重要になってきます。平成9年1月の総合エネルギー調査会原子力部会の報告にもありますように、核燃料サイクル確立の必要性と、その中でのプルサーマル利用の重要性が述べら

れています。審議官は、先般、福島県に出向かれて県議会・議員協議会で説明をなさったとお聞きしていますが、その辺りのことも含めてお話し願えますか。

佐々木 核燃料サイクルの確立に向けては閣議でも議論され、「当面の核燃料サイクル確立に向けて」が決定されました。この決定は、動燃のもんじゅ事故が契機になったこともあります。わが国は、従来から、原子力を推進するうえで核燃料サイクルの確立を目指す方針をとってきており、このこと自身、私はいまこの段階でも不変だと思っております。

まず、核燃料サイクルの確立に向けての1つに、ウラン資源を有効に使うこと、すなわち、MOX 燃料（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料）を軽水炉に装荷するプルサーマルの問題があります。欧州には使用実績があるのですけれども、日本でもようやく昨年(1998年)11月初めに、福島県の同意が得られました。わが国におけるプルサーマル実施に係る地元同意としては最初でして、今年(1999年)の秋に初めて MOX 燃料が装荷されることになります。続いて、関西電力の高浜、東京電力の柏崎刈羽のプルサーマルが、今年から来年にかけて動きだせる見通しになりました。

ここで、プルサーマルの位置づけを申しますと、使用済み燃料をそのまま捨てるのは資源の有効利用の面から無駄ですし、回収したプルトニウム自身についても、核不拡散の観点から、できるだけ核燃料サイクルのなかで燃やして使うことが、国際的にも原子力の平和利用の側面からも肯定されるわけです。使用済み燃料を再処理して有効に使うというわが国の方針は不変であり、また、いろいろな

国際情勢もありますことから、2010年頃には16基から18基ぐらいの原子炉に MOX 燃料が装荷されることになると考えています。原子力が順調に進めば、今後さらに MOX 燃料の軽水炉使用は増えるかと思えます。

MOX 燃料の装荷は、フランスには28基ぐらいを目標に増やしていく計画があり、ドイツも現実には増やしているわけです。そうした国際的な流れの中でも、核燃料サイクルの確立に向けて、ようやく日本も第一歩を踏み出すことができたという思いであります。

中間貯蔵はエネルギーの有効利用

望まれる価値観の変換

秋山 プルサーマルと併せて、わが国では使用済燃料の中間貯蔵、そして再処理がそれぞれ重要とされております。それらの狙い、基本的施策、また推進・検討状況などについてご紹介下さい。

佐々木 中間貯蔵について申しますと、使用済燃料は、原子炉から取り出された後、再処理施設に送られるまでの間、発電所構内に一時貯蔵されます。ここでの問題は、設備の貯蔵能力が満杯に近付きつつあるところがあり、また六カ所村に建設中の再処理施設がフル稼働するまでにはある程度の時間がかかることが挙げられます。操業開始は2003年を予定しておりますが、そこで処理できる量より原子力発電所から出てくる使用済燃料のほうが多い状態が続くわけです。「発電所にはこれだけの量を置きます」と約束している以上、どうしても、選択肢としては中間貯蔵ということにして、発電所の外に使用済燃料を一時置く場所を求めることになります。

このことは、この使用済燃料はエネルギー

としての価値があるわけですから、安全に貯蔵しておけば将来必ず役立つことをご理解いただき、ものの考え方を、硬直的ではなく、融通のあるオプションというなかで、こういう政策を考えていただきたいと思っております。これに関する法制度はいま準備しており、次回通常国会に法案を出すべく努力中であります。

処分方向の明示と費用試算段階まできた

バックエンド対策

秋山 話題が変わりますが、ここでバックエンド対策についても状況をお話し下さいませんか。

佐々木 バックエンド対策は、地元の首長さん、いろいろな団体の方々などと原子力の問題について話をさせていただくとき、将来の方向性を明確にするべきと常に求められる、いちばん大きなテーマです。

発電を終えた原子力発電所の解体費用については、すでに引当金積立の制度が出来上がっています。さらに、今回、解体した後の放射性物質を含む廃棄物の処理・処分費用についても、大体110万kWクラスで1基200億円ぐらいと想定して、積立方法等の対処ぶりを検討することになっています。

放射性廃棄物としての取り扱いを考える必要のない範囲を示すクリアランスレベルについて、今年6月頃までには原子力安全委員会から提示がなされる見込みであり、これに基づいて再チェックが行われます。これでいよいよ目標の2000年から、原子力発電所の解体から出る放射性廃棄物の処理・処分のための費用も積立てが現実化してくると思います。

今後の重要な問題として、高レベル放射性

廃棄物の処分に關して、いま総合エネルギー調査会原子力部会の議論が大詰めを迎えております。おそらく、98年度内にはパブリックコメントが出されてくると思いますけれども、ガラス固化体の封入容器4万本をベースにした深層地下処分の実施に、およそ2兆7,000億円から3兆1,000億円ぐらいの費用がかかると試算しています。

いずれにしましても、この高レベルの放射性廃棄物の処分事業が始まるのはまだ数十年以上先の話ですが、今回試算された処分費用をどういう形で積み立てていくか、基金化するとか、いろいろな議論も98年度内には方針が出てくると思います。

また、事業の実施主体のあり方についても、今年中には1つの方向が出され、2000年を目途に事業主体が設立されることになります。

高レベル放射性廃棄物の処分は、地層処分が当然メインでありますけれども、今後技術の進展も考えられますので、30年から50年に及ぶ貯蔵期間中に、より合理的な地層処分の方法を見出し得ることもあるわけです。

バックエンド対策に1つの方向性が明示されたことは、今後の原子力政策の方向を国が責任をもって示すことであり、大きな一歩を踏み出すことになると思います。

秋山 いまの審議官のお話を頭に入れながら外国での状況を見ますと、高レベル放射性廃棄物の地層処分事業そのものはまだ実施されていないとしても、その実施に向けての研究開発はもちろんのこと、実施主体の設立、あるいは資金の確保といったことがすでに始まっていると聞いております。このように、廃棄物処分の実施に向けての具体的な準備が進められているのに対して、日本では処分事業

の具体化についてはまだその検討中という状況であって、外国に比べて10年、さらに極端に言えば20年ぐらい遅れているのではないかと、というようなことも懸念されています。しかし、いまの審議官のお話では、検討がかなり具体的に始められつつあるとのことで、その辺りのことはかなりは認識を新たにしました。

情報公開について

ほしい情報への容易なアクセスと

行政の意志決定プロセスの一層の開示を

秋山 最近では社会全般にもそうですが、原子力でも情報公開が一段と重要性を増してきました。原子力の新円卓会議も開催されております。そこで、情報公開に關して資源エネルギー庁として戦略的に進めておられるお考え、また併せて具体的な施策等についてご紹介いただきたいのですが。特に、そのなかで原子力発電課が事務局となって原子力広報評価検討会を進めておられることについてもお話しをお願いします。

佐々木 情報公開は、いろいろな意味で重要であり、いずれ情報公開法も制定される流れかと思っております。情報公開は信頼関係を醸成する上でも不可欠です。

原子力政策円卓会議でも議論になりましたのは、政策決定がどういうプロセスを経て意思決定されたかを、より詳しく公開するべきではないかということでした。

行政側も、いろいろな審議会を全部公開にしたり、さらに政策決定前にパブリックコメ



ントを求めるようになりました。これをさらに一歩進めていくことになりますと、今後、情報公開法により行政情報をかなり詳細なところまでオープンにしていくことかと思えます。

原子力に関する規制につきましては、設置の許可書であれ、工事計画の認可書であれ、公開しております。なおかつ情報の公開不足が問われるのは、ほかにどこが問題なのかと再考しています。

1つは、情報というのは膨大な量のものですから、まず、情報にアクセスをしたい人がどこにアクセスしたらいいかを正確に把握することが必要になります。膨大な情報の中でのアクセスの容易性についての問題があるかと思っています。

もう1つは、行政の意思決定プロセスをもっと公開すべきだという要望に対して、われわれが今後考えねばならない問題は、公開資料をどこで入手できるようにするかです。行政情報を公開する方法として、インターネットとか、あるいはある場所に行けば、審議の過程も全部が入手可能にできるようにしていくことが必要なのかとも思っています。

しかし、地方におられる方からは、「公開は

されてるけれども、東京の原子力発電ライブラリーに行かなければアクセスできないじゃないですか」と問われます。これを解決するには、情報公開の仕組みには大きなコストがかかることを国民の皆さんにご理解いただく必要があります。

なお、電気事業者からは、ノウハウに帰属するものは別として、一定のルールのもとで、相当な情報が公開されています。

原子力広報をレビュー中の

「原子力広報評価検討会」

佐々木 昨年(1998年)、資源エネルギー庁において「広報評価検討会」というのを開始しました。問題意識としては1つは、適切な情報が欲しい方にうまく届いているのだろうかということと、もう1つは、いまのマスメディアといろいろな原子力情報との関係をどう考えてゆくべきかということです。

一般の国民の方々に、「原子力についてあなたはどこから情報を得ておられますか」というアンケート調査をしますと、8割、9割の方がマスメディア経由との答えなのです。このような現実から考えますと、マスメディアの大きな役割にわれわれも期待します。

「広報評価検討会」では、われわれが今まであらゆる努力をしてきましても、なおかつ公開が足りない、戦略的な広報ができていないなどのご批判がありますので、広報の受け手と広報手段のすべてをマトリックスで対比して、何が不足しているかの整理を行います。こうした中から新たに対応すべき課題も出てくるかと思っています。

また、いまマスメディアが第三者として、原子力推進にオピニオンリーダー的な大きな

役割を果たしていることも、あるいはその逆のことも現実にはあると思います。その点、われわれはマスメディアに対して、誤った報道がなされた場合には、訂正の申し出をきちんとすべきとも考えており、そのために何らかの組織が必要ではとの考えもあります。

秋山 いま審議官がおっしゃったように、情報はやはりそれがファクトベースといいますか、正確な情報であることが第一義的に必要な条件ですね。そして同じく重要なことですが、そうした情報は欲しい方に、いつでも、どこでも、的確に分かりやすい形で提供されなければなりません。

佐々木 分かりやすいことが大事ですね。

秋山 正にそこが肝心なところですね。お役所の審議会の資料などにしましても、それ自体をできるだけ平易にしていくことと、併せて一般向けに表現や体裁を再調整したものを用意していくことも大事なことです。広報は力の要る仕事ですが、今後重要性が増すことは世の趨勢です。

それから、最後におっしゃったマスメディアの役割というのは、これは原子力に限りませんで、あらゆることについて、環境問題に対してもそうですが、非常に重要なので、マスメディア全般について、そのところを十分自身が認識して適切な方策をとっていくのが健全な姿です。

規制緩和について

自主保安——大きくなる事業者の責任

秋山 審議官はかつて電気事業法の規制緩和

の検討のなかで、保安規制の見直しのお仕事をなさったと伺っております。その後、平成7年12月には電力自由化、料金制度改訂、保安規制改訂などからなる電気事業法の改正が施行され、また今後さらに改定も予定されているとも伺っておりますが、その辺りのことをお聞かせいただけませんか。

佐々木 私は、かつて技術課長の時代に、「社会的規制は合理化すべきものであって、『緩和』ということには馴染まない」との考えから、電気事業法の規制の合理化をやらせていただきました。

当時も、自己責任、自主保安をさらに徹底して、すでに信頼度が十分高くなった技術は合理化により国の関与をできるだけ縮小し、その技術がすでに蓄積されているものについては民間の責任で確認することをベースにしてやったわけです。

今回の規制合理化は、それよりさらに一歩進んだ感じがします。自己責任の原則をより徹底していきますと、電気工作物の使用開始に先立ち行政が事前検査するのではなく、事業者が自主保安を整え、自己管理していこうということになるわけですから、その面では事業者自身の責任は一そう大きくなるわけです。

先ほど申しました情報公開が進みますと、事業者も自らの保安体制をさらに情報公開することが求められます。そして、将来、この自主保安に対するモラル、技術者の責任が非常に重くなってまいります。

そういう意味では、現在、日本の社会では第三者的な技術の専門家集団がなかなか育ちにくい環境ですけれども、こうした規制の合理化の推進と併せて、プロ集団による第三者

評価が成熟することを期待しております。

電気工作物の保安・安全は

設置者自己責任の原則へ

佐々木 今回の規制合理化では、事業用電気工作物に関する電気事業法の考え方を大幅に変え、設置者による安全性の自己確認を原則とし、国が直接確認してきた工事計画の認可はすべて届出制に、従来やっておりました国の使用前検査は原則廃止、そして定期検査も国の立会いの廃止を考えております。

ただ、電気工作物と申しまして、原子力は当面除外にしていますが、こちら、技術的な蓄積を踏まえて、自己確認の考え方に近づけうるものは可能な限りその方向で今後議論していくことにしています。

一般家庭などの一般用電気工作物では、漏電の事故が最近非常に少なくなってきました。電気事業法では、一般家庭の場合ですと、電力会社に対して家の完成時に調査を行ない、そのあとも定期的に漏電調査をする義務を課しています。一般家庭用には、当面この点検を続けながらも、一般家庭の方にも電気物の保安・安全については自らが責任を持つという社会への移行が進んできていることを分かっていたきたいと思います。

基本的な大きな流れは、自分たちの設備の安全は自分たちで守っていただく、自分でできない場合には、プロの技術集団と契約してやっていただく、こういう方向で取組んでゆく課題だと考えています。将来的には需要家が自らの責任で安全を確保する仕組みを確立してゆきたいと考えています。

秋山 いまのお話のポイントの1つを私なりに理解しますと、言葉は適切かどうか分かり

ませんが、“My Own Benefit”に係わるころは“My Own Cost”で進めていくということでしょうか。“My Own”というのは当事者が自ら責任を持つという、いわば西洋の合理主義というか、個人主義というか、そうした背景を感じますが、ともかく欧米ではこの感覚では国際的に先行していて、わが国でもこの方向に沿っていく時代になってきた。と、そのように理解してよろしいでしょうか。

佐々木 そうですね。日本では歴史的流れが違うと思いますのは、欧米ではプロの第三者機関の技術を尊重するという流れです。この第三者機関としての技術のプロフェッショナルな集団が育ってきて、信頼のおける機関として認知されています。

それぞれの国で経緯は若干違いますが、日本の場合、何かがあれば最終的にはすべてお上の責任ではないかという社会だったわけですね。あるところまでは行政の責任とし、それより先は、例えば、保険という社会システムの中で解決するとかの問題にして、社会全体の仕組みのなかで最も合理性のある方策を考えればよいと思います。自動車は、そういう意味で、自賠責という世界になってきていると思います。

この考え方は、ほかの分野でも適切に組み合わせればよいと思うのですけれども、残念ながらまだ日本ではルールを決める、基準化をするという蓄積がまだ弱いのです。日本では、自らデータをベースにして世界に通用するような基準をあまりまだ提示してきてないとか、第三者機関が非常に育ちにくいとか、こういう問題があるわけです。今度の規制合理化により、少しでもそういう流れの中で欧米流に近づいていくためには、その仕組みが

仕上がるまでの期間が必要だと思います。その意味では、何年かの試行錯誤の時代を経て、構築されていくシステムと思います。

秋山 そうですね。標準化をベースにした品質保証活動の全般にわたって、米国などでは協会を中心としながら実績を上げています。私もアメリカの機械学会で規格・基準の制定に参加したことがあるのですが、実にボランティア活動そのものでして、皆でどんどん議論していくうちに、良いものはコンセンサスを得て世に出ていく。問題の残ったものは練り直しのプロセスに戻されていく。といった方式で、非常にいい雰囲気であったし実益的であったと思います。

ひるがえって日本では、これまでは川の流れていけば上流側できちんと管理し、あるいは指導していくということをやってきました。それはそれとして良い面もあったし、歴史的な経緯もあったことですが、これからは実際問題として世界のスタイルに合わせてやっていかなければなりません。

佐々木 だんだんそうになっていくと思いますね。

技術開発について

技術開発に重要な戦略的取り組み

秋山 さて、それでは21世紀に向けた科学技術のことに目を移してお話を伺いたいと思います。

私どもの研究所は、エネルギー総合工学という観点で調査研究活動を進めておりますが、総合工学の含意のひとつは工学の立場か

ら有機的・体系的に取り組むということをして、科学技術がまさに広範な、そして先進的な基盤となっています。それと、私個人的にも科学技術の新しい芽を日本で生み出していくことによって国際貢献を増やしていくことに関心をもっておりますこともありまして、この話題を取り上げさせていただいております。

ところで、これからは情報化の時代だといわれますが、そのような状況の中で、情報とエネルギーは一緒にして議論しないほうがいいという見方も当然あるのですが、やはり情報化が進む中で、エネルギーも環境も情報もまわりの動きと切り離せなくなっていると思うのです。

さらに、わが国の役割について考えますとき、国も、産業界も、また大学等のアカデミアもそうなんですが、努めて戦略的に取り組んでいくことが非常に大事なのではないかとかねがね思っていました、そのあたりのことも含めて、これからの科学技術の展望について、少しくご自由にご意見を頂戴できればと思います。いかがでしょうか。

ニーズオリエンテッドをベースに

体系的要素技術の補填を

佐々木 最近、国が行う技術開発については、研究開発投資の効率化とか、戦略の重要性が指摘されております。そして、日本が知恵と技術で生きていくためには、新しい産業を起こしていくことが必要ということで、いま政策展開が図られているわけです。

それで、こうした夢を語るとき、いま先生がおっしゃったように、技術の世界において、戦略とは具体的にどういうことなのかを考え

ますと、技術は非常に巾が広いものですから、戦略のためにいいものが切り捨てられるという別の側面もあるのです。しかし、いま大きな戦略で考えてみますと、日本が新しい産業を起こす技術のもとは、ニーズオリエンテッドになってきているかと思います。

技術は、どんなに優れた技術であっても社会の中に適用され、工業化され、産業化されるまでのプロセスにはいろいろな曲折があると思うのですが、単独の技術があまり早く生まれ過ぎても、その周辺を支える材料技術や基盤の技術が伴わなければ、なかなか産業化までは行き着きません。

いろいろなタイプがあると思います。いま、われわれが目指しているところは、ニーズオリエンテッドでして、それに不足している技術をいろいろな分野から体系的に拾い上げて埋めていくというのが、技術開発における戦略性かと思っています。

ラジウム発見から原子力発電まで

1世紀かかった技術開発の重み

佐々木 技術開発についてもう1つ述べますと、技術の流れの方向として、人間の機能、自然界の生物の機能を工学的に実現しようとしていると思います。その意味では、コンピュータはまさにそのとおりです。

また、人間の情報処理技術ほど、こんな不思議なものはありません。神経がなぜこんなに自由に働いて、筋肉がどうしてこれに忠実に動くのかとか、人間のほかにも自然界にまだある、分かってないいろいろなことを工学的に利用する方向に、技術開発は向かっていると思います。

これがいったいどこまで進むのか。人間に

とってこれが幸せなのかを、ある段階で評価することも必要かもしれません。

最新の産業技術をベースに考えますと、この情報処理技術と材料系などの組み合わせにより、何か革新的な新技術が起こりそうな分野があるような気がします。

いま、国の研究所も独立行政法人化して、研究の自主性をもっと尊重しようという方向にあります。また、大学においても、産業界から評価してもらうような技術の芽をもっと取り上げたらとか、あるいは、人的活性化のために組織をもっと融通化していくとか、期限つきの人的交流をもっとできるようにしていこうとか、ありとあらゆる知恵が交錯するなかで、技術が単独では成立しえなくなってきたり、それを支える周りの技術の融合化が必要で、チーム化により1つのものをつくり上げていく方向にあります。

このような時代になってきておりますので、技術開発を推進する体制とか仕組みを、もっともっとオープンで、フリーで、責任主体を明らかにして——先ほど申しました保安の自己責任の原則ではありませんが——そして評価はやはり厳しくやっていく。一方で、いまこの時点ではもう少し時間がかかるなどというものは、ちょっと置いといてもいいわけです。

昨年は、キュリー夫妻のラジウムの発見から100年でした。1つの技術が見つかって、それがほんとに社会に入り込み産業化していく歴史というのは、いまの原子力発電までを考えますと、ほんとに1世紀の重みがあるということを、21世紀を迎えるこの時点でもう少し思いを致して考えなければいけないと思います。

秋山 ラジウムの発見や量子力学の誕生から100年が経過したのですね。こうした基礎的な学術が原子力利用として社会に役立つまで広がり、そして多くの実績を重ねるに至ったことは、本当に感慨深いものがありますね。

ところで、これから先についてはいかがですか。

佐々木 これからの複雑系の科学ということで、融合化、歴史のダイナミズム、自己保存性など、いろいろなものが調和した法則が、次の21世紀の体系の1つのバックボーンになっていくのでしょうか。

秋山 そうでしょうね。複雑系とかバイオとか遺伝子とか、これからの発展が期待されます。宇宙の分野でも向井さんが宇宙で立派な仕事をなさっていることがニュースになっていますね。それからバーチャルリアリティの広がりもどこまで行きますかね。

適正な技術をヒューマニティの精神で

秋山 私、最近、大変きざな言葉かもしれませんが、ヒューマニティという言葉をあちらこちらで使わせてもらっています。そのヒューマニティの内訳ないしは心に関係のあることとしては、ひとつにはアメニティ、それから原子力で率先して使っている言葉のリサイクル、それから今はやりのインテリジェンスなどがあります。それらを総合したヒューマニティという言葉が好きなんです。

佐々木 いい言葉ですね。

秋山 こうした言葉にも託しながら、いろいろな夢を21世紀につなげたいと思っておりますが、将来のことについて審議官はどのようにお考えですか。

佐々木 そうですね。現在の経済情勢から状

況変化が見えてくるまでには少し時間がかかると思われます。人間が生きているということは、そこに大きな流れがあって、必ず変化をするものだという気持ちがまず大事です。

「楽あれば苦あり。苦あれば楽あり」と昔の人はいいことを言っていますけれども、おそらく、この春から秋ともう少し月日を経ちますと、状況の変化が出てくるものと念じています。

いま先生がおっしゃったヒューマニティということは、われわれがこれから生きていく社会に変化があっても、どんなに素晴らしい技術も、どんなにすばらしい産業も、原点はヒューマニティといえますか、人間らしい生活の追求と思います。

その実現に、いちばん大きな力をなすのは技術であって、次には社会制度やシステムであり、技術によりもろもろのことがカバーできるということです。そのために、「適正な技術をヒューマニティの精神で」という、そんな社会を築くのに、技術者が持つべき要はモラルと思います。

む す び

社会のほんとの基盤をなすものは

知恵と技術とモラルティ

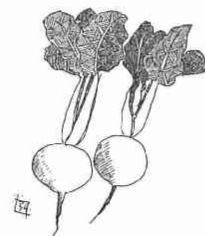
佐々木 技術者は、社会に対する責任を持ち、かつ、明るくなければいけません。そうした人が、世の中から尊敬される社会システムができてほしいものです。これは、技術者の貢献に対する1つのフィードバック関係だとも思うのですが。

そのような社会でないと、制度や概念だけが先行しても何もついていきません。やはり、知恵と技術とモラルティが、社会のほんとの基盤なのだと気がついてくる、そういう時代に早くなってほしいと思います。

その意味でも、ぜひ、エネルギー総合工学研究所が1つのオピニオンリーダーとして活動されますよう希望いたします。

秋山 本日は多岐にわたりまして、審議官のお考えとお仕事の内容、そしてまた将来の展望などにつき、いろいろと有益なお話を詳しくお聞かせ下さり、誠に有り難うございました。また、私どもに対しても大変温かいお言葉を頂戴いたし、感謝申し上げます。

ほんとうに長時間有り難うございました。



自動車を巡る環境・エネルギー問題と政策展開

都 築 直 史 (通商産業省 機械情報産業局
自動車課 課長補佐)



1. はじめに

自動車の排出ガスによる大気汚染、排出ガス中の二酸化炭素(CO₂)等による地球温暖化、使用済み自動車から発生する廃棄物の不適正処理や処分場の不足の問題等、自動車を巡る環境・エネルギー問題は深刻化している。本稿では、これら問題の現状とそれに対応するための政策的取り組みについて紹介する。なお、文章中意見に関わる部分は、個人的な見解であることを予め御了承いただきたい。

2. 自動車と環境・エネルギー問題との関係についての鳥瞰

自動車を巡る課題には様々なものがある。①大気汚染問題、②地球温暖化問題、③安全性の問題、④水質・土壤汚染問題、⑤廃棄物処理問題等が挙げられる。

これら課題については、一つの課題を克服しようとするると他の課題が制約要因となることがある。排出ガスをきれいにしようとするると、例えば、フィルタや触媒等の装置をつけることとなり、車両が重量化し燃費が悪化する。そこで、燃費改善のために自動車を軽量化すると、車体の丈夫さや安全性が低下する。リサイクルしやすい自動車を作ろうとする

と、車の材料・構造に制約が生じ、排ガスや燃費や安全性を犠牲にせざるを得なくなる。したがって、トレードオフの関係にあるこれら課題に対してバランスよく対応していくことが不可欠である。

自動車の環境・エネルギー問題に対する対策は、大きく、①移動発生源の対策、②固定発生源の対策に分類が可能である。①については、更に自動車単体対策と交通・物流システム対策とに分けられる。また、②の固定発生源の対策については、工場・事業所の環境管理に関する対策と、使用済み自動車の適正処理に関する対策とに分けられる。

以下では、これらを一つ一つブレイクダウンし、当省としての政策展開の考え方につき言及することとする。

3. 自動車単体の対策

自動車単体の対策については、大きく3つの対策に分類することができる。

(1) 既存車の高度化

当面は既存のガソリン車、ディーゼル車が引き続き主流を占めることは間違いない。したがって、まず、既存車の高度化(排ガスの改善、燃費の向上等)と高度化された車への

買替促進が最も重要である。

これについては、従来より、①規制による対応、②企業における技術革新のための努力、③政策的誘導(減税、補助金等の政策ツールを活用した買替促進等)により実現されてきた。

① 規制による対応

現在も排ガス規制の強化、燃費規制の強化が議論されているところである。

まず、排ガスについて、ガソリン車については97年11月の中央環境審議会における「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第二次答申)」及びこれに伴う規制強化のための告示改正がなされ、ディーゼル車については、98年12月の中央環境審議会第三次答申において排出ガス規制の強化が答申されている。

また、燃費についても、総合エネルギー調査会及び運輸技術審議会において、98年6月に成立した改正省エネ法に基づき、トップランナー方式の考え方を導入した基準改定が行われることとなっている。(表1)

しかしながら、厳しすぎる規制は企業の技術的余力を損ない、環境改善という点では寧ろ逆効果となることもあり得るため、科学的

に最適な規制を設計していくための研究が絶えず必要である。自動車の高度化は企業の役割だが、政府としては、最適な規制の制定に資する知見を集積するための研究(JCAP(注1)、燃費測定方法の研究等)とその成果に基づく費用対効果の高い規制の制定を心がけるべきである。特に、燃料・潤滑油とエンジン・触媒との効果的な組合せ、NO_xとCO₂(燃費)のトレードオフ関係等には熟慮が必要である。

(注1)

JCAP (Japan Clean Air Program)

排ガス・大気環境改善のための自動車業界と燃料業界との共同研究を、96年度から(財)石油産業活性化センター(PEC)の補助事業により支援。様々な自動車と燃料の組合せによる排ガスの変化、大気汚染の発生メカニズム等の解明。

本年度補助額は8.3億円(補助率2/3)。石油連盟と(社)自動車工業会とで共同研究を実施。環境庁、運輸省もオブザーバ参加。

② 企業における技術革新の取組

次に、上記①の規制強化の流れもあって、企業における技術革新の取組が活発化している。具体的にいえば、排ガス改善の典型例として、ガソリン車で達成が困難とされてい

表1 自動車燃費規制における燃費向上率

<ガソリン自動車>	1995実績値(km/ℓ)	2010基準目標値(km/ℓ)	向上率(%)
乗用自動車	12.3	15.1	22.8
総車輻重量2.5t以下の貨物自動車	14.4	16.3	13.2
全 体	12.6	15.3	21.4

<ディーゼル自動車>	1995実績値(km/ℓ)	2005基準目標値(km/ℓ)	向上率(%)
乗用自動車	10.1	11.6	14.9
総車輻重量2.5t以下の貨物自動車	13.8	14.7	6.5
全 体	10.7	12.1	13.1

たカリフォルニア州のU L E V (Ultra Low Emission Vehicle), E Z E V (Equal Zero Emission Vehicle) の水準をほぼ達成したガソリン車も出現している。また、ディーゼル車においても燃料噴射の高压化, 電子制御等により, 排ガスは大幅に改善されている。

燃費面に目を向けると, 各社が95年頃からリーンバーン (希薄燃焼) エンジン搭載車, ガソリン直噴エンジン, ガソリン・電気ハイブリッド自動車等がそれぞれ量産化される等技術革新が続いている。ディーゼル車についても, 直噴エンジン, インタークーラーター搭載等による燃費向上が進んでいる。

③ 政策的誘導 (買替促進等)

最後に, 買替促進策については, 低排ガス車への買替促進策として, 自動車NOx法指定地域 (首都圏, 大阪・兵庫圏) における古いディーゼル車の買替を優遇する税制等があるが, 低燃費車への買替促進策はない (注2)。思考のフェーズが同一ではないが自動車税制のグリーン化についての議論もある中, 適切なインセンティブ付与のあり方については総合的な見地から更に熟考が必要である。

(注2)

1999年度より低燃費車の購入の際の自動車取得税の軽減措置 (取得価格の30万円分を控除) が講じられることとなっている。

(2) クリーンエネルギー自動車の普及促進

クリーンエネルギー自動車は, 環境・エネルギー問題への対応の観点から早期普及が重要であるが, 現状では既存車と比べて走行性能が劣る割に価格が高いため, 購入費補助, 税制優遇等による需要創出が不可欠である。こうした観点から, 当省としては以下のような普及施策 (補助事業 <表2>, 税制, 財投 <表3>) を実施している。

今後は, 電気自動車, 天然ガス自動車等, 各種クリーンエネルギー自動車の技術的・経済的特徴を踏まえた棲み分けを重視し, 適材適所の重点的・効果的普及を目指すべきである。その際には, クリーンエネルギー自動車の技術的特徴を活かして, 単にガソリン・ディーゼル車に代替させるのではなく, 使い分けによって共存を図るべきである。

例えば, 小型E V (電気自動車) とガソリン乗用車の両方を保有して, 用途に応じて使

表2 購入費補助事業

(単位: 百万円)

	98予算	97予算
クリーンエネルギー自動車普及整備事業	8,000	…
電気自動車等普及整備事業 (車両価格差の1/2補助)	…	260
天然ガス自動車普及促進対策事業 (車両価格差の1/2補助, 燃料充填設備費の2/3補助)	…	1,348
低公害自動車普及基盤整備事業 (エコステーション設置費の定額補助)	…	1,105
L P ガス自動車転換促進事業	98	98
地域新エネ等導入促進事業 (自治体大量導入 1/2補助)	2,477	1,770

(注) 97年度の電気自動車等普及整備事業等は, 本年度にはクリーンエネルギー自動車普及整備事業に統合・拡充して実施。

表3 税制・財投

○エネ革税制

低公害車4種(電気自動車, 天然ガス自動車, メタノール自動車, ハイブリッド自動車)の導入に際して, 所得税及び法人税に関して初年度30%特別償却もしくは7%税額控除

○自動車取得税の軽減

低公害車4種は2.4%軽減(ハイブリッド乗用車は2.0%軽減)

○日本開発銀行, 北海道・東北開発公庫による低公害車4種及び低燃費ガソリン車(2000, 2003年の燃費目標の1.2, 1.1倍を超える乗用車, 貨物車)に対する融資(特利3, 融資比率はそれぞれ30%, 70%)

い分ける等の方法を心がけるべきである(複数台保有化)。すなわち, 現在の我が国の平均乗車人員は1.5人を下回っていることから, 短距離を少人数で移動する際には小型EVを利用し, それ以外はガソリン乗用車を利用するようにすれば, ユーザーの利便性を損なわずに省エネ, 環境改善が可能となる。また, ガ

ソリン車の代替ではなく, ガソリン車と使い分ける小型EVであれば, ガソリン車ほどの性能は要らず, 短距離走行に限定した安価なEVの開発も可能となる。このようなコンセプトのEVは, 都市部等の駐車場が少ない地域ではなく, すでに複数台保有者が多く平均走行距離も長い(CO₂排出量が多い)地方で

(注3)

クリーンエネルギー自動車(CEV)+ITS構想

航続距離が短い, 燃料供給インフラへのアクセスが不便等のデメリットをITS技術で補完しCEVの良さを最大限引き出す狙いで, 1997年度から小型EV(+ITS)の共同保有や公共利用等に関して, 経済性, 利便性, 省エネ効果等を調査研究してきたところであるが, 本年度一次補正予算において10億円(NEDO出資事業)の予算措置を実現。

CEV+ITS構想の概要



の普及も望まれる。

もう一例を掲げると、電気自動車や天然ガス自動車は航続距離が短く、常に充電や燃料供給インフラへのアクセスを意識しながら使用する必要がある。このデメリットをITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の技術(最適な燃料供給時期、供給場所への経路誘導等)を用いて補完し、クリーンエネルギー自動車の良さを最大限引き出すことが期待される(注3)。

(3) クリーンエネルギー自動車の高度化

現在のクリーンエネルギー自動車は、依然として化石燃料に依存していたり、性能やコスト等に課題を抱えている。したがって、長期的視点に立って、クリーンエネルギー自動車のより一層の高度化が必要である。その際、既存のガソリンや軽油に替わる自動車用燃料として何を選ぶかという点も重要な検討課題である。

既存のガソリンや軽油に頼ることなく、よりクリーンで効率の良い自動車及び燃料の探究を続ける必要があり、ACEプロジェクト(注4)等がスタートしている。燃料の種類や、動力が内燃機関か燃料電池かということにかかわらず、制動時のエネルギーの回生や内燃機関の効率の維持等の機能を有するハイブリッド化は将来においても重要な技術として残る可能性が高い。さらに、ハイブリッド化の中でも、蓄電池を利用したハイブリッドではなく、ウルトラキャパシタやフライホイールを用いた方式が登場する可能性がある。こうした観点から研究開発を行っている。

また、水素エンジン、水素燃料電池等、水素を燃料とする方法が日本やドイツ等の一部

のメーカーにより研究されている。水素はほぼ無尽蔵に近い燃料であり、燃焼後は水になることから将来の燃料として期待される。ただし、常温で気体という性質上、水素ボンベもしくは水素吸蔵合金を自動車に搭載しなければならず、航続距離、可搬容積、コスト等の面で課題が残り、未来の燃料といわれている。

一方、液体燃料としては、メタノール等が期待されている。これらは製造が容易であり、バイオ技術の利用も可能である。効率面からはメタノールはレシプロエンジンよりも、燃料電池で使用する方が良いといわれている。現在、メタノール燃料電池に関しては、メタノールを改質器で水素に変換して利用する方式とメタノールを直接投入する方式(注5)の

(注4)

ACE (Advanced Clean Energy Vehicles) プロジェクト

メタノール、ジメチルエーテル、合成ガソリン、合成軽油、天然ガスと燃料電池、エンジンを用いて、ハイブリッド自動車の技術により、高効率(燃費を従来車の2~3倍、CO₂排出量を1/3~1/2等)かつ低公害な自動車を97年度から研究。

本年度予算5.0億円。NEDOから(財)日本自動車研究所(JARI)に研究委託。7年計画。

(注5)

DMFC (メタノール直接投入型燃料電池)の研究

従来の燃料電池自動車は、水素燃料電池を用いたもの(水素吸蔵合金+水素燃料電池、もしくは、メタノールタンク+改質器+水素燃料電池)。このため、重量、効率等で課題を抱える。メタノールを燃料とするものの改質器が不要なメタノール直接投入型燃料電池の研究を、本年度から大学、企業等が参加し、JARIにおいて実施(本年度一次補正予算(NEDO出資)5.5億円)。

燃料電池の両方式が開発されている。前者は改質器の容積・重量や耐久性等、後者は燃料電池の開発自体が課題である。また、排ガスや発熱の処理等も課題である。

また、ジメチルエーテルは軽油に替わるクリーンな液体燃料として期待され、大型エンジン等で研究が始まっている。

さらに、人工的にガソリンや軽油に近い成分の燃料を合成して利用する可能性も残されている。この場合、既存のインフラを活用できる点が魅力である。

欧米では、Car of Tomorrow, PNGV (Partnership for Next Generation Vehicle) 等、燃料電池やハイブリッド自動車等の技術を高度化して燃費を現状の2~3倍にするための官民共同プロジェクト等がスタートしている。

なお、これに併せて、燃料は現在のガソリンや軽油から、よりクリーンな人工燃料（合成ガソリン・合成軽油やメタノール等）に変化していく可能性があり、また、ハイブリッド自動車は、内燃機関と電池のハイブリッド自動車のみではなく、燃料電池と電池（もしくはウルトラキャパシタ、フライホイール）のハイブリッド自動車も登場する可能性がある。現時点では、次世代自動車の切り札が確定しているわけではなく、様々な可能性が追究されている。

4. 交通・物流システム対策

(1) ITSの推進の経緯

大気汚染防止、CO₂排出抑制のためには、自動車単体のみによる対策にとどまらず、交通システム、物流面の対策（交通流円滑化、

物流効率化等）、交通需要対策（交通容量の拡大、需要の抑制・公共交通の利用促進）も必要である。特に、交通システムに関しては、渋滞解消による省エネ・環境改善効果のみならず安全性向上効果も有するITS（高度道路交通システム）の早期導入が期待されている。

ITSは、1960年代に自動車の経路誘導等が米国等で研究されたのが始まりといわれ、日本では73年から6年間、工業技術院の大型プロジェクト（自動車総合管制技術）で経路誘導や可変情報表示盤等が研究され、今日の実用化に寄与した。最近では、1993年頃からISO（国際標準化機構）で標準化活動がスタートし、94年にはITS世界会議が発足した。これに併せて国内では5省庁（警察庁、通産省、運輸省、郵政省、建設省）連絡会議、VERTIS（道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会）が設立され、また、95年に高度情報通信社会推進本部でITSの推進の決定、96年に5省庁共同で長期ビジョン（ITS全体構想）の策定等、動きが本格化している。

既に96年からVICS（道路交通情報通信システム）のサービスが都心部でスタートしているほか、UTMS（総合交通管制システム）による交通流制御、ETC（ノンストップ自動料金収受システム）等も実践が始まっている。また、SSVS（高度知能化自動車）、ASV（高度安全自動車）、AHS（高速道路自動運転等）等の研究も盛んに行われている。

(2) ITSの推進に向けた取組

ITSによる環境改善効果は、2010年にCO₂排出量を200万t-C以上削減できるもの

と試算されている。もちろん、ITSの効果としては、現在年間12兆円ともいわれる渋滞による経済損失や、年間1万人を超える交通事故死者数の削減も期待される。

ITSを推進していく上では、前提となるインフラの整備が必要であることは当然であるが、実用化に向けた研究開発の推進も不可欠である。また、ITSの推進は、広範な分野を対象とし多様な利害関係者を含み、かつ巨大な投資を伴うものであり重複投資を防止する観点から、早い段階から標準化を進めることが必要である。特にデファクトスタンダードと比べ、策定プロセスが透明かつ公平であり広範なメンバーのコンセンサスが得られるというメリットがあるため、国際標準化活動（デジュール・スタンダード）を推進することが有効である。このような問題意識の下、特に通産省によるITSへの取り組みとしては、5省庁連携によるITSのシステムアーキテクチャーの構築への貢献、5省庁連携による標準化活動及び標準化に資する試験研究の実施（注6）、5省庁共同によるモデル地区実験構想への協力（注7）、各種研究開発（注8,9）、ITS世界会議やITSアジア太平洋地域セミナーへの参画等がある。

（注6）

ITS規格化事業

97年度～。通産省、自動車走行電子技術協会（自走協）、自動車技術会等。本年度4.1億円。5省庁連携による標準化活動及び標準化に資する試験研究の実施、システムアーキテクチャー策定への貢献等によって、システム・機器の早期開発・導入を支援。今後は、システムアーキテクチャーの成果をもとに、分野横断的な対応も含めて具体的な提案及び策定に向けた作業を推進していく。

（注7）

モデル地区実験のフィージビリティスタディー

ITSの有効性、問題点等を評価、検証し、早期の実用化に結びつけるための社会実験（モデル地区実験）の事前検討を5省庁共同で実施。本年度は、36百万円（ほぼ同額郵政省においても予算措置し、ともにVERTISに委託。5省庁の連携事業として実施）。

（注8）

ITS+CEV構想

前出参照。

（注9）

ITS走行最適化システム技術研究開発

ETC（ノンストップ自動料金収受システム）の早期導入を目指すため多数のモニターによるETCの車載機器及びシステムの開発、ITS技術を利用したモビリティ研究開発、需要応答型交通システムを構築するために必要な各種アプリケーションシステムの開発を実施。本年度三次補正においてNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）及びIPA（情報処理振興事業協会）からの出資により対応。公募により具体的な事業計画等を策定。

これまで、ITSビジネスは官公需の近辺に存在していたが、本質的に政府の役割は基盤整備に限られるものであり、実際政府が行うインフラ整備は大したマーケット規模ではない。最近では、ITSを巡り、様々な民間会社等によるサービスが開始されてきている。こうした取り組みが次々と市場に投入され、競争領域に入っていくことは非常に望ましいことである。閉塞感漂う日本経済を大きく改革するものとしてITSに対する期待は大きい。必要としているのは政府ではなく国民であり、国民の便益が高まることが重要である。国民の求めているものは何で、どのレベルなのかというのは、政府の全体構想に

ある項目、供給サイドの論理では語れないものである。そういう意味で、実社会にうまくカスタマイズされたビジネスが成長し大きな市場として形成されていくことが期待される。

5. 使用済み自動車のリサイクル

(1) リサイクルを巡る問題

年間約500万台発生する使用済み自動車は、ディーラー・整備事業者等を介して解体事業者に集まり、解体事業者、シュレッダー事業者によって有用な部品、鉄・非鉄金属等が回収され、残りがシュレッダーダストとして埋立処分されている。

90年にシュレッダーダストに鉛が含まれる場合があることが指摘され、埋立処分方法は従来の安定型処分からゴムシート施工、排水

処理設備付の管理型処分へ規制が強化された（96年4月に完全施行）。しかし、管理型処分場の処分費用は安定型処分場よりも高く、しかも、処分場容量が不足し、処分費用が高騰するおそれがあるため、使用済み自動車や解体済み車体の逆有償化の動きも出始めている。このような場合、

- (i) 不法投棄、不適正処理が増加する
- (ii) 解体事業者、シュレッダー事業者等には廃棄物処理法上の業許可が必要となるが、これらの事業者や自治体には十分に情報がない

といった問題を招来させる。

(2) リサイクル・イニシアティブ

使用済み自動車は、重量にして約75%がリサイクルされており、日本では有価物として取り引きされることも多いが、上記のような

表4 「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」の概要

課 題	対 応 策
処分場（管理型埋立処分場）の需給逼迫への対応、有害物質使用量の削減	○自動車のリサイクル性の向上、有害物使用量の削減 (産構審ガイドライン&自主行動計画) 使用済み車のリサイクル率 2002年：85% 2015年：95% 新型車のリサイクル可能率 2002年：90% 鉛の使用量（重量） 2000年：1/2（96年比） 2005年：1/3 SRSエアバッグ 2000年：処理容易化
不法投棄、不適正処理の防止	○自動車解体マニュアル等の作成、配布 ○フロン回収制度の整備 ○マニフェスト（管理票）制度の義務付け、不法投棄に対する罰則の強化（廃棄物処理法、再生資源利用促進法）
関係者間の情報収集・提供等	○関係者の役割分担・協力体制の明確化 ○自動車リサイクル情報センター構想 ○技術開発の促進

使用済み自動車の処理を巡る諸課題（処分場不足、廃棄物への有害物質の混入、不法投棄・不適正処理の恐れ、関係者間の情報流通の不足等）に対応するため、95年10月から産業構造審議会の廃自動車処理・再資源化小委員会において対応策が検討され、その検討結果を踏まえ、97年5月に「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」を策定した（表4）。

使用済み自動車リサイクル・イニシアティブの細かい運用等については、広く関係者を集めて検討中であるが、自動車のリサイクル性の向上等については、既に95年頃からスタートしている樹脂バンパーのリサイクルに加え、リサイクル材の使用拡大、リサイクル容易なポリプロピレン樹脂の多用化、鉛使用

部位の削減等が進んでいる。また、適正処理の促進に関しては、既に解体マニュアルやSRS（補助拘束システム）エアバッグの適正処理マニュアル等が配布されているほか、カーエアコンの冷媒用フロンに関しても回収体制が整備されつつある。

（3）管理票（マニフェスト）制度の導入

不法投棄、不適正処理の防止のために、使用済み自動車が廃棄物となった場合のみならず、有価の場合であっても管理票（マニフェスト）制度（廃棄物の排出者が運搬、処分を第三者に委託する際、廃棄物の種類・量等を記した管理票を発行し、委託先からその回付を受ける等により、廃棄物の適正処理を担保

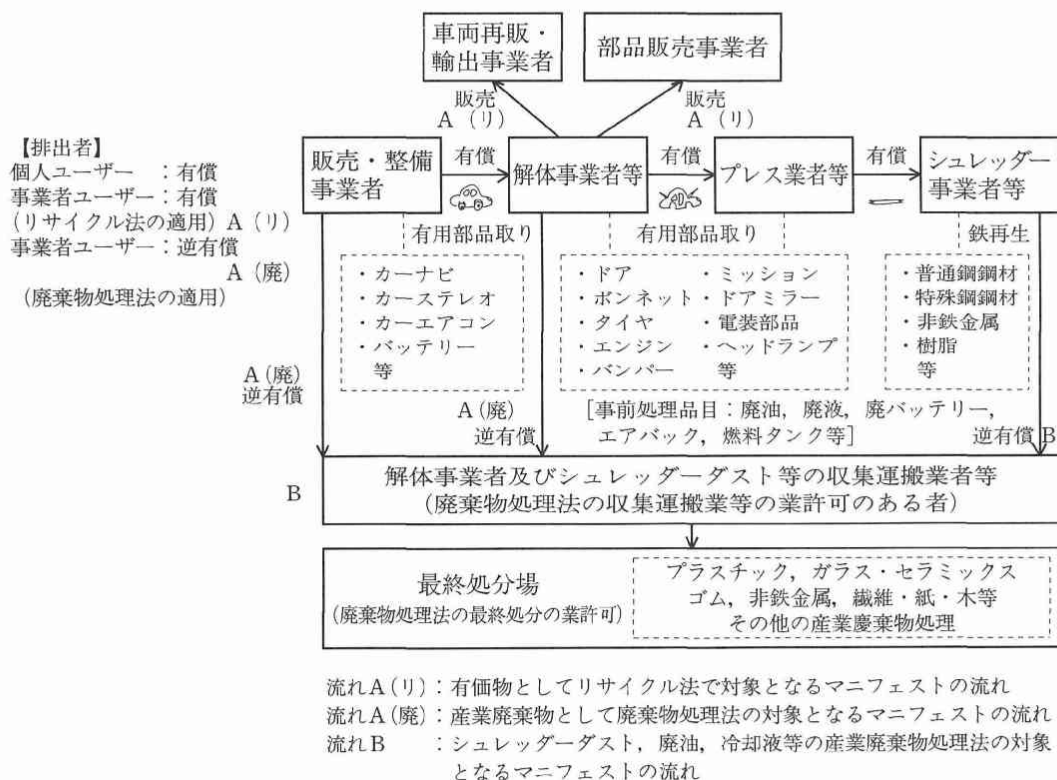


図1 再生資源利用促進法及び廃棄物処理法（産業廃棄物）における使用済み自動車の流れ

する制度)の導入を予定している。(図1の「再生資源利用促進法及び廃棄物処理法(産業廃棄物)における使用済み自動車の流れ」参照)。

(4) 今後の動向

今後は、使用済み自動車リサイクル・インシァティブに係る運用の詳細な検討に加え、実効性確保のためのチェック&レビュー等が必要である。これと併せ、ある意味では本課題の大前提となるリサイクル可能率の判定・表示方法についても現在は国際的に整合的ではないため、国際標準化が必要である。

6. 工場・事業所の環境対策

工場・事業所の環境問題に関しては、1996年の大気汚染防止法、水質汚濁防止法の改正(規制対象物質追加、事業者の責任範囲の拡大)、97年の廃棄物処理法の改正(業の許可要件の拡充、埋立処分場の基準強化、産廃物へのマニフェスト制度の導入等)、環境アセス法の制定が行われている。また、CO₂排出抑制の観点からは、省エネ法の強化による工場のエネルギー使用のより一層の合理化が義務づけられることとなっている等、法規制の強化、制定が相次いでいる。

技術革新、産業形態の変化等に伴い、新たな有害物質が使用・排出される場合もある。新たに発生する様々な問題に機敏に細かく対処するためには、これらの法規制の遵守が必要なのは当然であるが、一般的に法規制は社会的な情勢判断に基づき最低限のラインを規定したものであり、これらに加えて、各企業による自主的取り組み(ボランタリープランの策定と実践)が不可欠である。企業におけ

る自主管理をサポートする仕掛けとしては、ISO14000の制度が挙げられる。

今後とも、本問題に対しては、政府による最低限の規制と企業における自主管理の役割分担に配慮しつつ対応していくことが重要である。その場合には、国民に対して正しい情報が伝わることが重要である。現在、PRT R(環境汚染物質排出・移動登録システム)、MSDS(化学物質安全性データシート)についても法制化が検討されているが、企業間取引が相当程度オンライン化されている昨今の状況にあって、こうした環境関係の情報についても生産、流通時にうまくのっていくことはコスト的にも効率的であると思われる。

7. まとめ

以上、自動車を巡る環境・エネルギー問題と対応のあり方について概観してきたが、その中で政府の役割は、費用対効果の高い規制と助成措置の整備にある。特に規制による対応については、現在も様々な官庁により様々な観点で規制を実施、検討されているが、規制コスト、規制される側のコスト、規制手法、規制時期等について十分に配慮することが必要である。環境対策がビジネスの中に位置づけられてきている今日にあって、可能な限り環境規制対応にも市場原理の入り込む余地を模索することが重要である。

環境・エネルギー問題への対応と経済発展は両立しないという指摘もあるが、制度設計、各プレイヤーの対応如何によっては両立も可能であり、更にいえばそこにビジネスの源泉も隠れている。それを模索することは、スリルと楽しみがある。

電気二重層キャパシタによる電力貯蔵技術

—新しい負荷平準化手法の実証調査—

伊久美 早 利 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員)



1. はじめに

近年、最大電力需要の増大および昼夜間の電力需要の格差の拡大に伴い、年負荷率の低下が進行するとともに、特に夏季の特定の時期に電力需要ピークが発生する傾向が顕著となり、負荷平準化を進めることが重要となっている。

電力負荷平準化に寄与する電力貯蔵技術としては、国、電力会社、メーカー等により新型二次電池を始めとして様々な技術開発が取り組まれているが、新たな電力貯蔵技術として充放電効率が高い、サイクル寿命が長い、メンテナンスが容易等の特徴を有する電気二重層キャパシタ^(注)が注目されはじめています。

このような流れの中で、当研究所が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から平成9年度より3ヶ年計画で「負荷平準化用キャパシタシステムの実証調査」を委託され、トータルシステムの研究については当研究所が、また、システムの設計・製作・特性試験については㈱パワーシステムに再委託し

て実施している。本稿では、電力貯蔵用キャパシタの概要およびこれまでに得られた実証調査の成果について概論する。

2. 電気二重層キャパシタの原理と基本特性

(1) 原 理

電気二重層は、1879年にヘルムホルツによって発見された現象である⁽¹⁾。図1に示すように、一対の個体電極を電解質イオンを含む溶液中に浸して直流電圧を印加すると、+側に分極された電極には－イオンが、－側電極には＋イオンが電界により引き寄せられる。電極と電解液の界面には電解液溶媒の分子などが層を形成し、その層の電解液側にイオンが吸着される。この二つの層（溶媒分子などの層とイオン層）を合わせて「電気二重層」と呼ぶ。二重層のうち電解液溶媒分子の層が絶縁膜として機能し、+-両極の電気二重層にコンデンサが形成され電荷が蓄積される。電気二重層の構造モデルにはいくつかの説があるが、ヘルムホルツの分子容量説に基づく、静電容量Cは式1で表される⁽³⁾。

注：キャパシタ（Capacitor）という用語は、本来は電気分野で用いられるコンデンサ（Condenser）と同義である。日本では、キャパシタよりコンデンサという呼称が一般的であるが、英語ではCapacitorが一般的である。

（英語でのCondenserは凝縮器、復水器のことである。）電気二重層キャパシタ（Electric Double Layer Capacitor）は、電気二重層の原理を用いたコンデンサであるが、日本で単にキャパシタというと、コンデンサー一般ではなくこの電気二重層キャパシタのことを指すことが多い。なお、本稿は電気二重層キャパシタのみを対象としている。

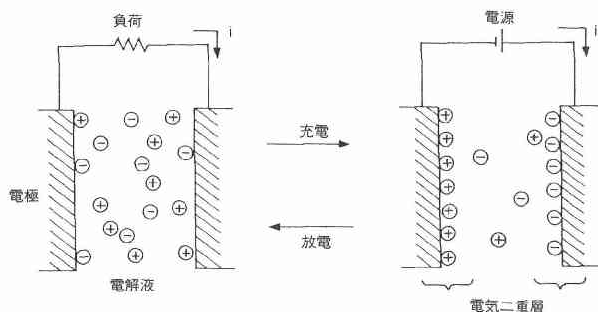


図1 電気二重層キャパシタの原理⁽²⁾

$$C = \int \epsilon / (4\pi\delta) \cdot dS \quad \text{..... (式1)}$$

ここで、 ϵ は電解液の誘電率、 δ は電極表面からイオン中心までの距離で、電気二重層の厚さに相当し、 S は電極界面の表面積である。水溶液と水銀との界面に形成される電気二重層の容量は約 $20 \sim 40 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ になる。

さらに、電気二重層キャパシタに蓄えられるエネルギー E は式2で表される。

$$E = CV^2/2 \quad \text{..... (式2)}$$

ここで、 C は静電容量、 V は印加電圧である。印加電圧の上限(=定格電圧)は、電解液が分解しない範囲で設定される。

したがって、電解液に誘電率と耐電圧が高い物質を、電極に高い導電性を有し比表面積の大きな物質を用いると、大容量の電気二重層キャパシタを得ることができる。

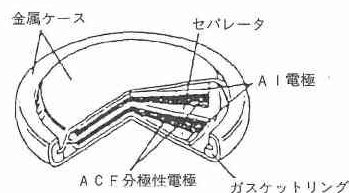


図2 コイン型セルの例⁽³⁾

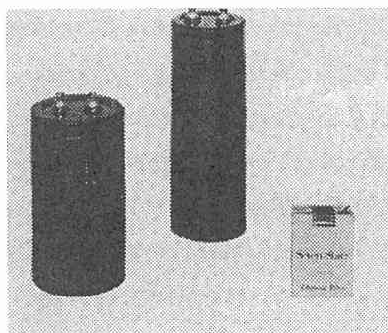


図3 円筒型セルの例⁽⁴⁾

(2) 外観と構造

電気二重層キャパシタの形状としては、コイン型、円筒型、直方体型などがある(図2～図4)。

コイン型は、平板状の電極を用いたものであり、メモリバックアップ用などに商品化されている。大型大容量のセルには向いていない。

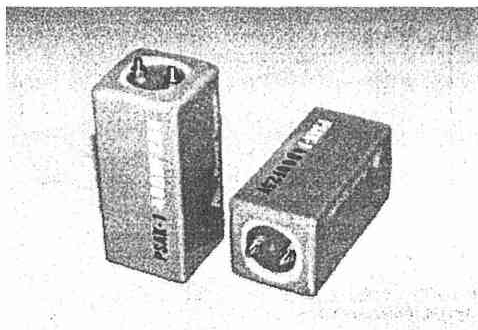


図4 直方体型セルの例⁽⁵⁾

円筒型は、比較的薄い電極とセパレータと集電材を渦巻き状に巻いてケースの中に収めてある。電極構造がアルミ電解コンデンサに類似しているため、ケーシング自動製造装置を流用することにより、安価で信頼性の高いシールが得られる利点がある。

直方体型は、平板状の電極とセパレータを積層してケースに入れてある。エネルギー密度が重要な電力貯蔵システム用には厚めの電極が指向されるため、直方体型のセルが採用されることになると考えられる。設置する際にデッドスペースがでにくいので、システムとしてのエネルギー密度の面からも有利である。

(3) 特 徴

電気二重層キャパシタの特性を一般の電子回路用コンデンサおよび二次電池と比較して表1に示す。電気二重層キャパシタの特性は、電子回路用コンデンサと二次電池の中間的なものであることがわかる。

電気二重層キャパシタは、原理的にはコンデンサの一種であるが、二次電池と同じように直流で用いられる。このため、その特徴は、二次電池と比較して整理しておくのがよく、

次のとおりである。

- ①急速充電が可能である。
- ②繰り返し充放電に強い。
- ③充放電効率が低い。
- ④使用温度範囲が広く、氷点下域でも使用可能である。
- ⑤電極材料に重金属を含まないため無公害である。
- ⑥フェールセーフ構造で異常時の安全性が高い。
- ⑦NAS（ナトリウム－硫黄）電池等の二次電池よりエネルギー密度が小さい。
- ⑧充放電に伴って電圧が大きく変わる。
- ⑨原材料が資源的に豊富である。

3. トータルシステムの研究

(1) 電力貯蔵技術におけるキャパシタシステムの位置づけ

現在、わが国の電力貯蔵技術には、既に実用化されている揚水発電を始め、NAS電池やレドックスフロー電池などの二次電池、SMES（超伝導エネルギー貯蔵）、CAES（圧縮空気エネルギー貯蔵）および超電導軸受によるフライホイールなど様々な技術開発が進

表1 電気二重層キャパシタと電子回路用コンデンサおよび二次電池との比較

	電子回路用コンデンサ	電気二重層キャパシタ	二次電池
標準的放電時間	$10^{-6} \sim 10^{-3} \text{sec}$	0.1～100min	0.3～5hrs
標準的充電時間	$10^{-6} \sim 10^{-3} \text{sec}$	0.1～100min	1～8hrs
エネルギー密度 (Wh/kg)	<0.1	1～15	20～200
出力密度 (W/kg)	>10,000	200～5,000	50～300
充放電効率	≒1.0	0.90～0.98	0.60～0.90
サイクル寿命	無限	>10,000	300～2,000

出所：文献(7)に加筆

表 2 電力貯蔵技術の評価

項 目		二次電池 (NAS電池)	揚水発電	超電導 マグネット	圧縮空気	フライホイール	キャパシタ
技 術 の 特 性	規 模 MWH (MW)	~50 ^(※1) (~6)	1000~12000 (~2000)	~5000 (~1000)	~3000 (~800)	~10 (~10)	2~10 ^(※1) (~1)
	運転単位時間	日・週単位	日・週単位	日・週単位	日単位	分・時間単位	日・週単位
	用地面積 (㎡/MWH)	~20	~650	~160	~24	~3	10~20
	エネルギー密度 (kWh/㎡)	約150	約1~2	約2	約5~13	約200	約15
	システム効率(%)	75以上	65~70	90~95	70以上 ^(※1)	約84	87~90
	寿 命(目標値)	15年以上	40年以上	50年	15年以上	30年以上	20年以上
	負荷応答特性	大	中	大	小	大	大
	起動・停止時間	瞬時	数分	瞬時	20~30分	瞬時	瞬時
	メンテナンス	容易	容易	複雑	複雑	複雑	容易
立 地 環 境	自己放電	1%以下 (待機損失6%/日)	無し	1%以下	無し	1%以下	3%/日
	立地特性	自由 需要地内立地が可能 なため送電ロスが 少ない	山間地域 遠隔立地のため送 電ロスが大きい	地盤強固地域 同 左	同左 同 左	自由 需要地内立地が可能 なため送電ロスが 少ない	自由 需要地内立地が可能 なため送電ロスが 少ない
	環境影響	ない	広範囲の水没等	ない	騒音	騒音・振動	ない
安全対策		活物質漏洩対策	—	超電導崩壊時の対応	高圧空気漏洩防止	回転異常時の対応	—
研 究 習 熟 度		実用試験レベル	既存技術	要素研究レベル	実用化例あり	要素研究レベル	実証調査レベル

(※1) 配電用変電所設置用として (※2) 空気貯蔵効率

められており、それらを比較すれば表 2 のとおりである。

これらの技術を比較すると、二次電池による電力貯蔵は、モジュール構造、高効率など優れた性能から適用分野が広範囲であり、立地上の制約も少なく、かつ量産化された場合には経済性においても有利になると考えられ、実用化されている揚水発電以外では最も実用化に近いといえる。

また、電気二重層キャパシタは、セルを組み合わせてモジュール化することおよび基本的に直流で用いられることなど、二次電池と類似する点が多い。

(2) 電力貯蔵用キャパシタシステムと電力貯蔵用二次電池との比較

電気二重層キャパシタと二次電池は、サイ

クル寿命、システム効率、エネルギー密度等の点で次のような特性の差がある。(表 3)

①サイクル寿命

電気二重層キャパシタは、電荷の移動のみでエネルギーを貯える方式であるので、確実な製造技術が確立されれば、1 万サイクル以上の寿命が期待できる。これは、毎日充放電を繰り返しても20年以上の耐用年数となる。NAS 電池の場合は、電極の耐蝕性向上により2 千~3 千サイクル(15年)以上を目標としている。

②システム効率

電気二重層キャパシタは、内部抵抗が小さく副反応もないため、充放電に伴う損失は少なく、キャパシタ単体では95~98%程度の効率が得られると予想される。また、交直変換装置を含めた交流入力、交流出力の効率は、

表3 電気二重層キャパシタと二次電池との比較

		電気二重層キャパシタ	N A S 電池
サイクル寿命(目標)		10,000サイクル(20年以上)	3,000サイクル(15年)
システム効率		85~90%	75%以上
起動停止時間		瞬時	数秒~20秒(瞬起動停止の場合)
エネルギー密度 (セル)	現状	17kWh/m ³	341kWh/m ³
	目標	30~50kWh/m ³	400~500kWh/m ³
自己放電率		約3%/日	約6%/日(補機損失率) ^(注1)
モジュール充填率		約75%	約35%
安全・環境性		特に問題なし	法規制緩和が必要

(注1) 電力共同研究試験結果における日間総合効率(72%)と週間総合効率(66%)との差で設計条件により変わる

87~90%程度が予想される。NAS電池の場合は、電池単体の内部抵抗の低減、補機損失の低減などにより、75%以上のシステム効率を目指している。

③起動停止時間

補機を有しないため瞬時の起動・停止が可能である。NAS電池は暖起動時で二十数秒程度、暖停止時で数秒から十数秒程度となる。なお、完全停止状態からでは冷起動時間として3日程度かかる。

④エネルギー密度

平成9年度末までに達成された電気二重層キャパシタの最大体積エネルギー密度は、今回のプロジェクトで製作した17kWh/m³(体積1 literの単セル)である。平成12年には30kWh/m³、平成15年には50kWh/m³のセルの実現が期待される。NAS電池の場合、単体で341kWh/m³(モジュール:145kWh/m³)を達成している⁽⁸⁾。

⑤安全・環境性

今回製作した電気二重層キャパシタの材質

は、通常の使用状況では特に安全上・環境上の問題が生じる可能性はなく、設置場所に特に制約を受けることはない。NAS電池の場合は、ナトリウムおよび硫黄の貯蔵・取り扱いについて、法規制緩和の働きかけを国に対して行っている。

⑥モジュール充填率

キャパシタは直方体のセルを密着して接続してモジュール化することが可能であり、フレームとケーブル配線に要するスペースのみ考慮すれば、モジュール時の充填率は約75%程度となる。NAS電池の場合は、形状が円筒であること(並べると隙間が生じる)および動作温度維持のための保温スペース等により、モジュール充填率は約35%である。

(3) 電力貯蔵用キャパシタシステムの設置面積とエネルギー密度

キャパシタは、システム効率、起動時間、安全環境性の点で優れた特性があるものの二次電池に比べエネルギー密度が小さいため、



図5 NAS電池の配電用変電所への設置例⁽⁹⁾

表4 配電用変電所用キャパシタシステム
(モジュール高さ3.5m)所要設置面積(㎡)

※1バンク当たりの設置面積200㎡以下について網掛け

		キャパシタエネルギー密度 (kWh/㎡)				
		15	20	30	40	50
システム容量	3 MW×4 H	458	344	228	171	137
	2 MW×8 H	609	458	305	228	183
	2 MW×4 H	305	228	153	114	92

(注) システム出力は一般的な配電用変電所の1バンク当たり出力の10%程度が最適な電力貯蔵用容量とされている⁽⁸⁾

同容量の電力貯蔵設備を設置する場合、二次電池より広い面積が必要となる。

既設の配電用変電所を更新する場合や住宅地等に新設する場合など、電力貯蔵設備の設置面積に制約を受けるときは、縮小型の変電機器を採用して屋内に設置し、電力貯蔵設備を屋外に設置する方法が考えられる。NAS電池を配電用変電所へ設置したイメージを図

5に示す。標準的な3バンク構成の配電用変電所における、屋外機器の有効設置面積を約600㎡とした場合、電力貯蔵設備の1バンク当たりの設置面積は約200㎡となる。

また、エネルギー密度から算出したキャパシタ1バンク当たりの所要設置面積は表4のとおりである。この結果、1バンク当たりの設置面積を200㎡とすると、電力貯蔵用キャパ

シタシステム(2MW×4H)を配電用変電所の屋外に設置するためのエネルギー密度は30 kWh/m²程度以上という見通しが得られる。

(4) 電力貯蔵用キャパシタシステムと二次電池との組合せシステム

配電用変電所負荷カーブの昼間のピーク部分において、NAS電池がベース部分（8時間相当）を分担し、充放電効率が高いキャパシタがピーク部分（4時間相当）を分担する

組合せとすることで、より効率的な電力貯蔵システムとする事が考えられる。(図6参照)

キャパシタとNAS電池を組み合わせたシステムと、二次電池（NAS電池）を単独で設置した場合との効率と設置面積を比較した結果を表5に示す。

組み合わせたシステムの方がNAS電池単独の場合よりも効率はアップする。また、設置面積は、キャパシタのエネルギー密度が30 kWh/m²程度以上であれば、ほぼ同等の設置

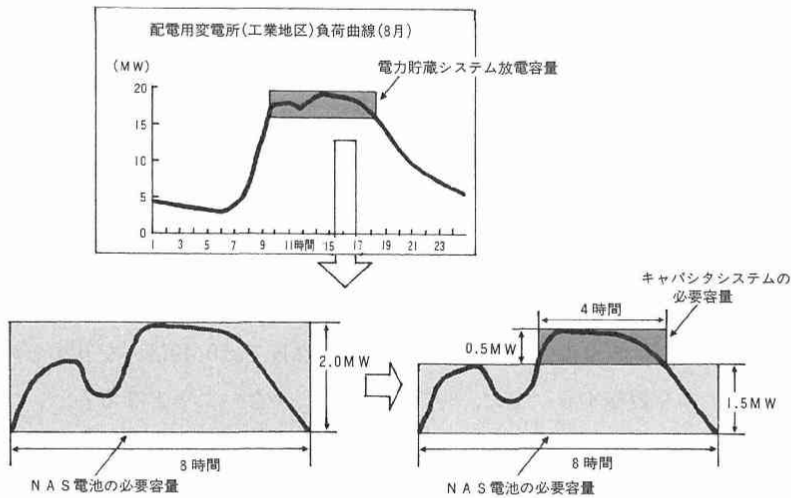


図6 NAS電池とキャパシタシステム組合せイメージ

表5 組合せシステムとNAS電池単独設置の場合の比較

出力 (MW) [放電容量 (MWh)]			効 率 (交流端, %)	設置面積 (㎡)	
全体出力	組 合 せ 条 件			キャパシタエネルギー 密度 (kWh/㎡)	
	キャパシタ	N A S 電池		15	30
2.0	0.5 [2.0]	1.5 [12.0]	77.1	103	78
	1.0 [4.0]	1.0 [8.0]	80.0	137	86
	(N A S 電池単独) 2.0 [16.0]		75.0	70	70
3.0	0.5 [2.0]	2.5 [20.0]	76.4	138	113
	1.0 [4.0]	2.0 [16.0]	78.0	171	121
	1.5 [6.0]	1.5 [12.0]	80.0	205	129
	(N A S 電池単独) 3.0 [24.0]		75.0	105	105

・キャパシタの効率はセル単体の効率から推定。NAS電池の効率は東京電力における試験の実績値

面積となる。

この他、キャパシタの利用方法として「短時間の急速充放電が可能」という特徴を活かし、昼休みの負荷が落ち込む時間帯に充電し、午後ピーク時に放電したり、サイクル寿命が長いことから、年間通して使用できるため、軽負荷期の深夜の安価なオフピーク電力を効率よく貯蔵し、昼間に放電するなど、様々な利用形態が考えられる。

4. 電力貯蔵用キャパシタの設計・製作・試験

今回のプロジェクトは、3ヶ年計画でキャパシタシステムの製作および充放電試験等の各種試験を行い、変電所に設置するシステムの実現可能性を実証することが目的である。平成9年度はセル、10年度はモジュール（セルを複数個直列接続したもの）を製作し、11年度にはキャパシタバンク（モジュールを複数個直並列接続したもの）と交直変換装置を組み合わせたシステムを製作する。なお、今回のシステムはエネルギー密度 15kWh/m^3 （モジュール時）を目標としているが、次世代の高エネルギー密度キャパシタの実現を目指しエネルギー密度 25kWh/m^3 のセルの製作を並行して実施している。

ここでは電力貯蔵用キャパシタの技術的特徴と平成9年度に実施したキャパシタセルの設計・製作・試験結果について報告する。

(1) 技術の特徴

電気二重層キャパシタは、急速充放電が可能、繰り返し充放電に強い、充放電効率が高いなど電力貯蔵用として優れた特徴を有する。ただしエネルギー密度の点では二次電池と比較して低く、電力貯蔵用として用いるに

は工夫が必要である。キャパシタに貯えられるエネルギーは、前述の（式2）であらわされるように静電容量とセルの印加電圧の2乗に比例する。今回製作するキャパシタシステムはこの点に着目し、電力貯蔵用としてエネルギー密度を高めるため、次のような技術的特徴を有する。

○ 静電容量（C）の向上

内部抵抗がある程度大きくなることを許容し、静電容量が大きくなるように加工した活性炭電極を使用して単位重量当たりの静電容量を格段に増やす。

○ 耐電圧（V）の向上

電気二重層コンデンサに耐電圧以上の電圧を印加すると絶縁破壊により性能が極端に劣化する。このため、通常、余裕を見て上限の70%程度の印加電圧で使用しており、これは耐電圧一杯まで使用したときに比べてエネルギー容量では0.49倍となり半分の容量しか利用していないこととなる。

この問題を解決するために個々のセルに電子回路（並列モニターと称する）を取り付け電圧を監視・制御することで耐電圧近くまで充電する（図7参照）。^(5,9-11)

○ 放電深度の向上

電気二重層キャパシタは電圧が充放電に伴い大きく変動する。今回のプロジェクトのように多数のモジュールを組み合わせるシステムでは、充放電の途中でモジュールの直並列



図7 セル電圧監視制御回路の接続(12)

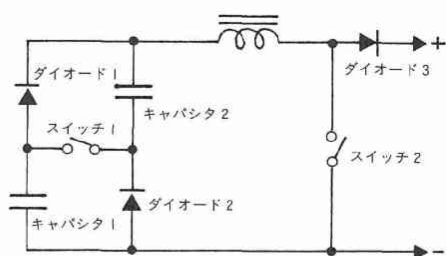


図8 直並列切り替えの実施例⁽¹²⁾

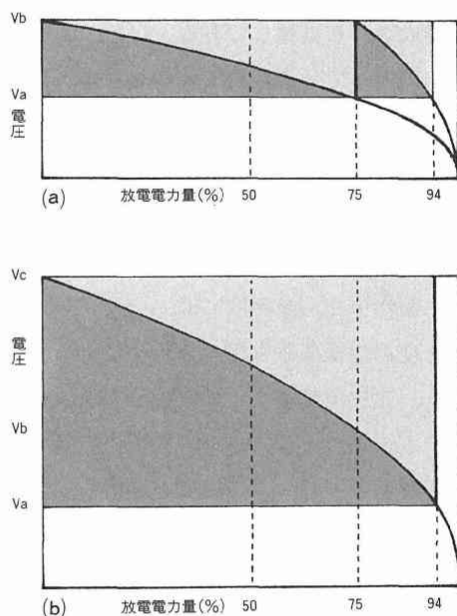


図9 直並列切り替え式キャパシタシステムの動作領域⁽¹⁰⁾
(b)は従来方式)

(注) 図8のスイッチをオフにしてキャパシタ1とキャパシタ2を並列にして放電を開始する。キャパシタの電圧が半分 (V_a) になったところでスイッチ1をオンにしてキャパシタ1, 2を直列に切り替える。

その結果、放電にともなう電圧の推移は図9(a)のようになる。図(b)は従来方式で、(a)の電圧変化が、 $1/2$ になる様子が明瞭である。⁽¹³⁾

$$(V_c = 2 \times V_b = 4 \times V_a)$$

数を組み替えて、モジュール単位での電圧変動は大きくてもモジュールの集合体としての

直流電圧の変動を小さくする方法⁽⁹⁾を採用している(図8, 9参照)。これにより従来の交直変換装置の電圧変動幅以内とすることができ、その結果無理なく放電深度を大きくとれることとなる。満充電時電圧の $1/4$ まで放電するとした場合、エネルギー的には全容量の $1 - (1/4)^2 = 15/16$ (94%) が利用可能になる。

(2) 電力貯蔵用キャパシタの構造

これまでに一般的に商品化されている電気二重層キャパシタの大部分はコイン型であり、電力貯蔵用途としての大型セルは円筒型と角型に大別できる。円筒型は現在の電解コンデンサの製造設備を流用でき、初期投資を抑ええることができる反面、モジュール化した場合、セル間に隙間ができるため充填率が下がり、その結果システム全体としてのエネルギー密度が低くなってしまふ。よって今回製作するタイプは角型とし、設置面積あたりのエネルギー密度向上を図った。

(3) 電力貯蔵用キャパシタの設計

容器のサイズは極板の大きさと枚数に関係し、将来製品化する場合の「作りやすさ」も考慮する必要がある。机上検討の結果、容器は1リットルとした。また、セルの電極構造は、円筒を押しつぶすタイプではなく、サンドウィッチ式積み重ね型を採用し、積み重ねる電極のペアの数を少なくするため、極力平たい形状とした。ただし、セルの側壁が膨らみがちとなり、強度上の問題が発生するため、セルを頑丈にする代わりに多数のセルを重ねてモジュール化する構造とした。また、今回のプロジェクトの仕様(充電時間: 8時間, 放電時間: 4時間)から内部抵抗を 150Ω 程

度とし、キャパシタ各部の定数を定めた。

(4) 電力貯蔵用キャパシタの製作

前述のように、今回のセルでは角型フィルム容器に積み重ね電極という構造とし、単セル容器の体積は約1リットル、寸法は約125×160×50mmで、体積あたりの電極の充填率は約90%となった。また、フィルム容器は、電極液の湿気に対する確実なシールとキャパシタセルの高密度充填を両立させる目的から「キャパシタ用多層フィルム」の開発を行っている。以上の単セルを平成9年度は35個製作した。図10に単セル、図11にセルを10個直



図10 電力貯蔵用キャパシタ単セル外観図

列に接続したモジュールの外観を示す。

(5) 電力貯蔵用キャパシタの特性試験

今回製作した電気二重層キャパシタ単セル35個について充放電試験、内部抵抗測定、エネルギー密度測定、充放電効率特性、自己放電特性、周囲温度特性について試験を実施した。結果の概要は表6のとおりである。

当初の目標としたモジュールでのエネルギー密度15kWh/m³は、今回製作したセルから、達成される見通しである。なお、この数値は、国内外で公表されているセルレベルの電気二重層キャパシタでは新記録である¹⁰⁾。

5. おわりに

平成10年度は、キャパシタモジュールを15セット製作中で、来年度には、キャパシタバンクと交直変換装置を組み合わせたシステムにより、充放電サイクル動作等の実証試験を実施する予定である。また、次世代の高エネルギー密度キャパシタの実現を目指し、エネルギー密度25kWh/m³のセルの製作に取り組んでいる。

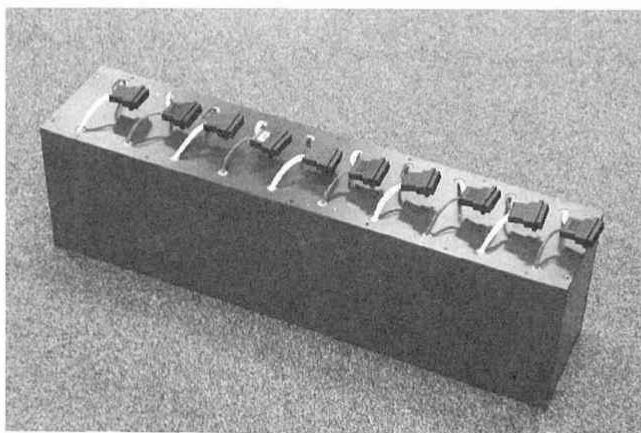


図11 電力貯蔵用キャパシタモジュール(図8の単セルが10個入っている)

表 6 電力貯蔵用キャパシタシステム特性試験結果

項 目	試験結果	備 考
エネルギー密度	16.4~16.8 (kWh/m ³)	モジュール (充填率 93%) において15 (kWh/m ³) 以上
静電容量特性	1614~17761 (F)	
内部抵抗特性	6.4~15.3mΩ	
充放電効率特性	93~94%	8 時間充電ー 4 時間放電時
自己放電特性	12~14%	常温 (25℃) で72時間放置
静電容量の温度 依存性	低下率 5 %未満 (at-10℃)	
内部抵抗の温度 依存性	内部抵抗の上昇値 10mΩ→20mΩ (at-10℃)	
自己放電の温度 依存性	5 % (at-10℃) 10% (at 20℃) 20% (at 40℃)	

将来のコストの見通しは、電力貯蔵用キャパシタの研究と並んで、ハイブリッド型電気自動車用の開発がここ数年で急速に進んでおり、電力貯蔵用キャパシタの原材料及び製造費は、今後大きく伸びると予想される電気自動車の市場規模と電気自動車用キャパシタの生産量に支配される可能性が高いとみられる。キャパシタは、リチウムやコバルトなどの本質的に高価な原材料は使用していないため、今後のエネルギー密度向上、量産技術の確立などによるコスト低減が実用化に当たっての鍵となろう。

今後、電力貯蔵用キャパシタシステムの具体的な設計およびコスト低減の見通しについて、さらに調査研究を進める予定である。

〔参考文献〕

- (1) Helmholtz, H. L. von, Ann Phys, 3(1879), 337.
- (2) 森本 剛, 電気二重層キャパシタにおける表面技術, 表面技術, 45(1994), 605-611.
- (3) 西野 敦ほか, 電気二重層キャパシタ, エネル

ギー・資源, 14(1993), 325-331.

- (4) 岡本正史, パワーキャパシタ利用の実際, バッテリー技術シンポジウム, 1995(1995), 6.2.1-10.
- (5) Okamura, M, A New Capacitor Electronics Power Storage, Proceedings of The 13th International Electric Vehicle Symposium, Osaka, II(1996), 361-368.
- (6) Murphy, T.C., "U.S.Department of Energy Ultra-capacitor Program Update", Preprints of Automotive Technology Development Contractors' Coordination Meeting, 1(1995).
- (7) 通産省工技院, 新型電池電力貯蔵システムの導入ビジョン (電力貯蔵技術の展望) (1987)
- (8) 東京電力, 電力貯蔵用NAS電池パンフレット
- (9) 新山信一郎ほか, 新しい蓄電システムの次世代住環境への適用, 平成9年度電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, (1997), 54-55.
- (10) 清水雅彦ほか, 新しい物理電池ECSを用いた蓄電式エアコンの研究, 信学技報, 97-173(1997), 17-24.
- (11) 岡村勉夫, 電力用蓄電装置の基礎的研究, 電気学会論文誌B, 115-B(1995), 504-510.
- (12) 山岸政章ほか, 電圧変動の大きい電池を用いた電源装置, 特開平8-168182, (1994).
- (13) 山岸政章ほか, ECSによる電力エネルギー貯蔵用18kFキャパシタ, 信学技報, 98-33(1998), 17-24.

〔調査研究報告〕

TRU廃棄物中深地層処分の 可能性に関する考察



和達嘉樹^{*} (勸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)
田村穰二^{**} (三菱マテリアル㈱
環境リサイクル事業センター 技師長) ****
小島圭一^{***} (地圏空間研究所 代表)
(東京大学 名誉教授)



1. 緒言

わが国はTRU（超ウラン）核種を含む放射性廃棄物（以下TRU廃棄物）の処分については、高レベル廃棄物処分方策との整合性を図りつつ、民間再処理事業等が本格化する時期を考慮し、1990年代末を目途に、具体的な処分概念の見通しが得られるように技術的検討を進めることとしている⁽¹⁾。

TRU廃棄物は長寿命廃棄物であるため、その処分は国際的にも地層処分が適切と考えられており、各国とも地層処分計画を進めているところである。しかし、地層の種類、処分深度、処分時期等は、国により様々である⁽²⁾。

また、TRU廃棄物は長寿命廃棄物であるほか、放射能レベルは比較的低いが廃棄物量が多いことが特性として挙げられる。それゆえ、その処分には合理的処分、すなわち、経済性と安全性が両立する処分が望まれる。

TRU廃棄物の合理的処分を検討するに当たり、基本となる要件に処分深度がある。こ

れについては、原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会は中間報告（1984）において、TRU廃棄物の処分はその特性を勘案すると、低レベル廃棄物よりは深く、高レベル廃棄物よりは浅い地層への処分も考えられるとしている。すなわち、中深地層への処分である。

本報は、TRU廃棄物の処分にこの中深地層処分を対象とし、安全性の観点からその可能性を考察することとした。このため、地下水の関与が深地層に比べ大きい中深地層に適合する安全評価シナリオを設定し、安全評価試算を行い、その結果に基づき、わが国におけるTRU廃棄物の中深地層処分の可能性を考察するものである。

本報は、科学技術庁委託調査としてエネルギー総合工学研究所が実施した「平成8年度TRU廃棄物中深地層処分シナリオ調査報告書（1997年3月）」の成果の一部である。

2. 安全評価シナリオ

中深地層処分の概念は、わが国の地層構成から堆積層の難透水層への処分であり、水資

****：前勸エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主管研究員

源としての帯水層の存在状態及び利用状況（農業用水、工業用水及び飲料用水として、主として深度200mまで）等を考慮し、その目安深度として200m～500mを考えた⁽³⁾。

処分サイトの地質については、安定な地層であることを前提とし、難透水層は、処分施設を設置するに足る均質で十分な厚さとして、処分施設から上部及び下部帯水層まで40mがあるものとした⁽³⁾。また、水理については、難透水層の透水係数は $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ($3.16 \times 10^{-1} \text{ m/y}$)以下、動水勾配は難透水層、帯水層とも1/100以下のこととして1/1000とした⁽³⁾。

以上の設定条件のもと、放射性核種の地層中移行は地下水によって行われることから、安全評価シナリオには基本的な地下水シナリオを採用し、次に示す水理環境条件で、決定論により処分の安全評価試算を行うこととした。すなわち、“難透水層中の地下水の動きは小さいが、地層中での地下水の被圧作用によって上部帯水層へ向けての地下水の流れが存在する。そして、処分施設近傍の地下水流に

直接影響を与えない程遠方に、飲料水用深井戸が存在する状態を設定する”（図1参照）。

TRU廃棄物（非発熱性）の全処分量は、現在迄に発生しているTRU廃棄物に加えて、今後の日本原燃の再処理工場の稼働を考慮して、200ℓドラム罐で60万本とした⁽³⁾。安全評価試算では、この60万本の処分について、放射性核種の処分施設からの漏洩量、難透水層からの漏洩量、帯水層を経由する深井戸水中濃度及びその飲用による内部被曝線量を計算する。

TRU廃棄物中には種々のTRU核種及び β 、 γ 核種が含まれるが、放射エネルギーが多く、長半減期のTRU核種としてプルトニウム-239 (^{239}Pu) 及びネプツニウム-237 (^{237}Np) を、長半減期であり、地層中移行性が高い放射性核種として β 、 γ 核種のような素-129 (^{129}I) を選んだ。ただし、再処理の廃ガス処理プロセスでよう素フィルタにより捕集され、よう化銀 (AgI) として固定されてよう素廃棄物となる ^{129}I は除外した。

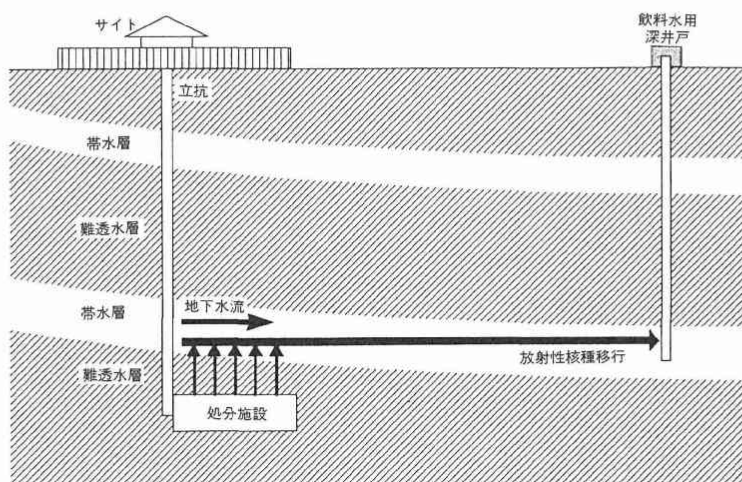


図1 安全評価シナリオの概要図

処分施設の健全性期間は、低レベル廃棄物の埋設施設に係わる管理期間⁽⁴⁾に準じ300年とし、処分後300年から放射性核種の漏洩が始まるとした。

3. 安全評価モデル及びパラメータ

(1) 処分施設

処分施設は、難透水層中深度350mに設置することとした。200ℓドラム罐詰めセメント固化体4体を収容したコンクリート容器は、順次コンクリート構造物内に定置し、空隙をセメントにより充填し一体（モノリス）化する。さらに、コンクリート構造物の外側には、ベントナイト混合率15%～20%のベントナイト混合土層（厚さ2m）を設ける⁽³⁾。

安全評価モデルにおいては、コンクリート構造物までを均一なコンクリートモノリスとして扱い、周囲のベントナイト混合土は、独立したバリアとしてモノリスに含めない。また、掘削ずり埋め戻し部分は評価対象外とした。

図2に、処分施設（ボールト形式1基）の

表1 インベントリ

核種	インベントリ (Bq)
^{129}I	1.0×10^{11}
^{237}Np	1.0×10^{13}
^{239}Pu	1.0×10^{16}

概念図を示す。ボールト1基には、コンクリート容器が2,376個（200ℓドラム罐9,504本）収容できる。従って、200ℓドラム罐60万本を処分するため、処分施設全体はこのボールト64基から成り、幅500m、長さ1,000m、高さ15mである。

表1に、評価対象とした放射性核種の放射能量（インベントリ）を示す。これらの値は、文献⁽⁵⁾でTRU廃棄物処分の安全評価で設定した放射性核種のインベントリを参考に、200ℓドラム罐で60万本処分する場合について、当該核種のインベントリを保守側にとり、オーダで示したものである。

(2) 処分施設からの放射性核種の漏洩

処分施設からの放射性核種の漏洩は処分後

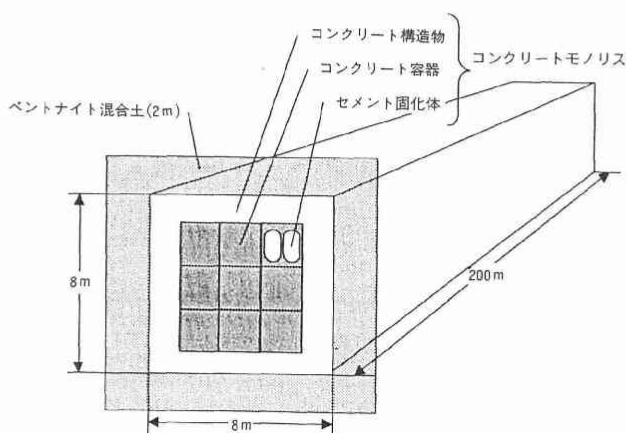


図2 処分施設（ボールト形式1基）の概念図

表 2 実効拡散係数及び水中分子拡散係数

核種	実効拡散係数 (m^2/y)		水中分子拡散係数 (m^2/y)
	コンクリートモノリス	ベントナイト混合土	
^{129}I	1.06×10^{-2}	5.67×10^{-3}	6.41×10^{-2}
^{237}Np	8.94×10^{-3}	5.67×10^{-3}	5.42×10^{-2}
^{239}Pu	8.94×10^{-3}	5.67×10^{-3}	5.42×10^{-2}

300年から始まり、コンクリートモノリス中の拡散及びベントナイト混合土中の拡散によって制限されると考えた。

このモデルを数式化するにあたって、コンクリートモノリス(ボルト 1 基：巾 8 m, 高さ 8 m, 長さ 200 m, 表面積は 6,528 m^2)を安全側の評価の観点から、漏洩の速さを大きく評価する半無限領域として扱った。外側のベントナイト混合土(厚さ 2 m)は、平板領域として扱った。

各領域の拡散を表すパラメータとして実効拡散係数(表 2)⁽⁶⁾を用い、半無限のコンクリートモノリス領域と平板状のベントナイト混

合土領域に関する拡散方程式に基づいて、放射性核種の処分施設からの漏洩量を計算した(補足資料 1 の式(1)及び(2)参照)。この際、コンクリートモノリスを半無限領域として扱ったため、漏洩量の総量がインベントリを超えた以降は、漏洩量を 0 としている。

(3) 難透水層からの放射性核種の漏洩

難透水層は、透水係数が低く、地下水流速も遅いため、放射性核種の移行は拡散が主体と考えられるが、地下水による移流も考慮することとした。

処分施設から漏洩する放射性核種は、施設

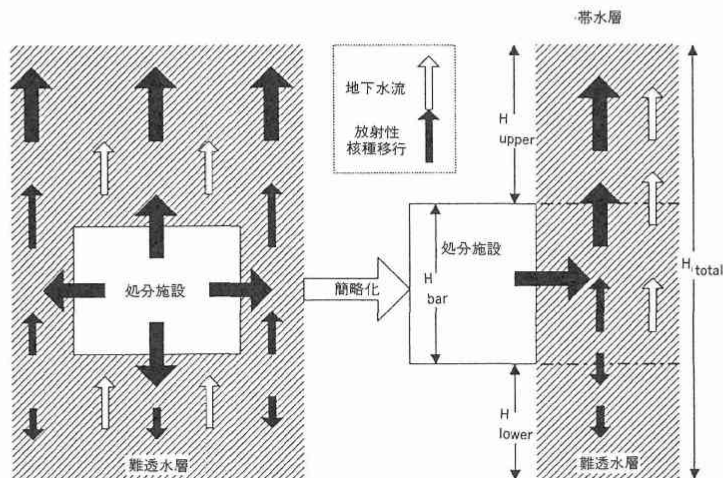


図 3 難透水層のモデル (1次元化)

表面全体から漏洩するのではなく、一定の領域から湧き出るようにモデル化し、難透水層を簡略化して上下方向に一次元化して取扱い、難透水層と帯水層の境界面を通過する放射性核種の漏洩量を難透水層からの漏洩量とした（図 3 参照）。

計算は、移流拡散方程式に基づいて行った（補足資料 2 の式(3)、(4)及び(5)参照）。ここに、パラメータである放射性核種の水中分子拡散係数⁽⁷⁾を表 2 に、難透水層における放射性核種の分配係数（地層と地下水の放射性核種濃度の比）は、粘土層に対する値⁽⁸⁾を参考に、難透水層に妥当と考えられる値として表 3 に示す。また、表 4 には、設定した難透水層に係わるパラメータ⁽³⁾を示す。

(4) 帯水層経由による深井戸水中放射性核種濃度

放射性核種の帯水層における移流及び希釈を評価するため、一次元帯水層中移流・希釈モデルを使用した（図 4 参照）。このモデルでは、難透水層から漏洩する放射性核種は帯水層で希釈（地下水量は、流速 3.16m/y と帯水層断面積 $500\text{m}\times 30\text{m}$ の積の $4.74\times 10^4\text{m}^3/\text{y}$ である）され、さらに、帯水層中を深井戸（処分施設中心から $2,000\text{m}$ ）まで移行することを評価する。結局、深井戸に到達した放射性核種濃度が、そのまま深井戸水中濃度と見做される。

計算は、帯水層での地下水による希釈と帯水層に関する移流拡散方程式に基づいて行っ

表 3 分配係数

核種	分配係数 ($\text{m}^3/10^3\text{kg}$)	
	難透水層	帯水層
^{129}I	0	0
^{237}Np	1000	100
^{239}Pu	10000	1000

表 4 難透水層及び帯水層の地質・水理

パラメータ	難透水層	帯水層
厚さ (m)	40	30
透水係数 (m/y)	3.16×10^{-1} 3.16×10^{-2} 3.16×10^{-3}	6.15×10^3
動水勾配 (—)	1/1000	1/1000
土真密度 (10^3kg/m^3)	2.48	2.46
間隙率 (—)	0.33	0.33
分散長 (m)*	2.97	19.62

* 分散係数＝分散長×地下水流速。

分散長は参考文献(7)より設定。

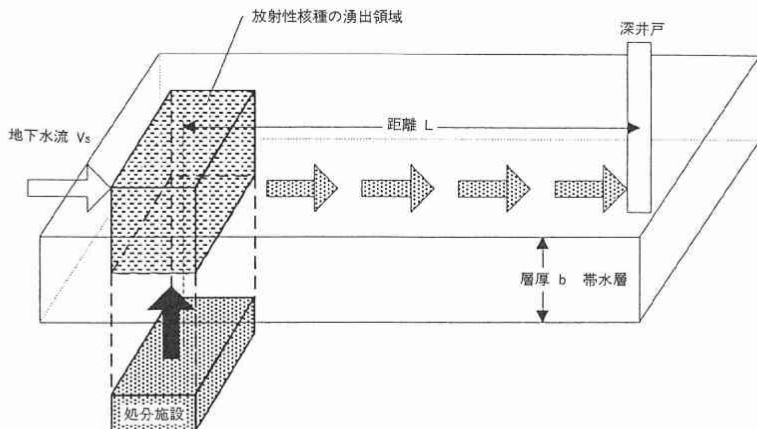


図4 帯水層中移流・希釈モデル

た（補足資料3の式(6)及び(7)参照）。ここに、設定した帯水層に係わるパラメータ⁽³⁾を表4に示す。帯水層における放射性核種の分配係数は、砂層に対する値⁽⁸⁾を参考に、妥当と考えられる値として表3に示してある。

(5) 深井戸水飲用による被曝

深井戸から汲み上げられた地下水を飲用することで、人間が内部被曝を受ける。この被曝線量を、年間飲料水摂取量 ($0.73\text{m}^3/\text{y}$)⁽⁹⁾及び実効線量換算係数（表5）⁽¹⁰⁾により実効線量当量で表した。

表5 実効線量換算係数

核種	実効線量換算係数 (Sv/Bq)
^{129}I	7.4×10^{-8}
^{237}Np	3.0×10^{-6}
^{239}Pu	9.6×10^{-7}

4. 安全評価試算結果及び考察

(1) 処分施設からの漏洩量

処分施設からの放射性核種の最大漏洩量と

なる年及びその最大漏洩量を表6（その1）に示す。

最大漏洩量となる年は各核種について共通に処分後約700年後であり、最大漏洩量はインベントリー（表1）にほぼ比例した値が得られている。これは、コンクリートモノリス中及びベントナイト混合土中の放射性核種の拡散を実効拡散係数（表2）によって評価しており、その際、いずれの核種についても、同一あるいは同程度の実効拡散係数を用いたことに由来する。

(2) 難透水層からの漏洩量

難透水層からの放射性核種の最大漏洩量と

表6 安全評価試算結果（その1）

核種	処分施設からの漏洩量	
	最大漏洩量となる年 (y)	最大漏洩量 (Bq/y)
^{129}I	6.5×10^2	7.68×10^7
^{237}Np	7.2×10^2	7.03×10^9
^{239}Pu	6.5×10^2	7.32×10^{12}

表6 安全評価試算結果（その2）

核種	難透水層の 透水係数 (m/y)	難透水層からの漏洩量		深井戸水中濃度		深井戸水飲用による被曝線量	
		最大漏洩量 となる年 (y)	最大漏洩量 (Bq/y)	最大濃度 となる年 (y)	最大濃度 (Bq/m ³)	最大被曝線量 となる年 (y)	最大被曝線量 (μ Sv/y)
¹²⁹ I	3.16×10^{-1}	7.78×10^3	3.06×10^6	7.96×10^3	3.31×10^1	7.96×10^3	1.79×10^0
	3.16×10^{-2}	8.02×10^3	2.19×10^6	8.20×10^3	2.38×10^1	8.20×10^3	1.28×10^0
	3.16×10^{-3}	8.04×10^3	2.11×10^6	8.22×10^3	2.29×10^1	8.22×10^3	1.24×10^0
²³⁷ Np	3.16×10^{-1}	9.81×10^6	1.26×10^2	1.12×10^7	9.27×10^{-4}	1.12×10^7	2.03×10^{-3}
	3.16×10^{-2}	9.92×10^6	7.82×10^1	1.13×10^7	5.66×10^{-4}	1.13×10^7	1.24×10^{-3}
	3.16×10^{-3}	9.93×10^6	7.41×10^1	1.13×10^7	5.35×10^{-4}	1.13×10^7	1.17×10^{-3}
²³⁹ Pu	3.16×10^{-1}	2.19×10^6	8.00×10^{-66}	—	—	—	—

なる年及びその最大漏洩量を表6（その2）に示す。

放射性核種の拡散係数は、分散係数と水中分子拡散係数の和で表されるが、透水係数が 3.16×10^{-1} m/y、 3.16×10^{-2} m/y及び 3.16×10^{-3} m/y、動水勾配が1/1000では、放射性核種の分散係数は、その水中分子拡散係数に対してそれぞれ約1/10、1/100及び1/1000となる。従って、透水係数が 3.16×10^{-2} m/y及び 3.16×10^{-3} m/yの場合、放射性核種の難透水層中移行は、主として水中分子拡散によるものと判断する。

²³⁹Puの場合、難透水層移行中に吸着による遅延効果を受けるとともに半減期が 2.41×10^4 yのため減衰し、最大漏洩量は非常に小さい値となった。最も大きな漏洩量を与える難透水層の透水係数が 3.16×10^{-1} m/yの場合においてもこのような値となるため、²³⁹Puについては以降の計算結果の表示は省略する。

²³⁷Npの場合、難透水層移行中に吸着による遅延効果を受けるが、半減期が 2.14×10^6 yのため減衰は少なく、最大漏洩量は約 1×10^7 年

後に 10^2 Bq/y程度の値となった。一方、¹²⁹Iの場合、陰イオンのため難透水層移行中に吸着による遅延効果を受けず、長半減期（ 1.57×10^7 y）のため減衰も殆どなく、最大漏洩量は約 8×10^3 年後に 10^6 Bq/y程度の値を示した。

（3）帯水層経路による深井戸水中濃度

深井戸水中の放射性核種濃度が最大となる年及びその最大濃度を表6（その2）に示す。

²³⁷Npは帯水層移行中に吸着による遅延効果を受けるが、¹²⁹Iは陰イオンのため受けない。両核種とも長半減期のため移行中の減衰は殆どないが、地下水（地下水量 4.74×10^4 m³/y）による希釈効果を受ける。結局、深井戸水中最大濃度は、²³⁷Npの場合、約 1.1×10^7 年後に $10^{-4} \sim 10^{-3}$ Bq/m³程度、¹²⁹Iの場合、約 8×10^3 年後に 10^1 Bq/m³程度の値を示した。

（4）深井戸水飲用による被曝線量

深井戸水飲用による被曝線量が最大となる年及び最大被曝線量を表6（その2）に示す。

²³⁹Puの場合、深井戸水中濃度が無視しうる

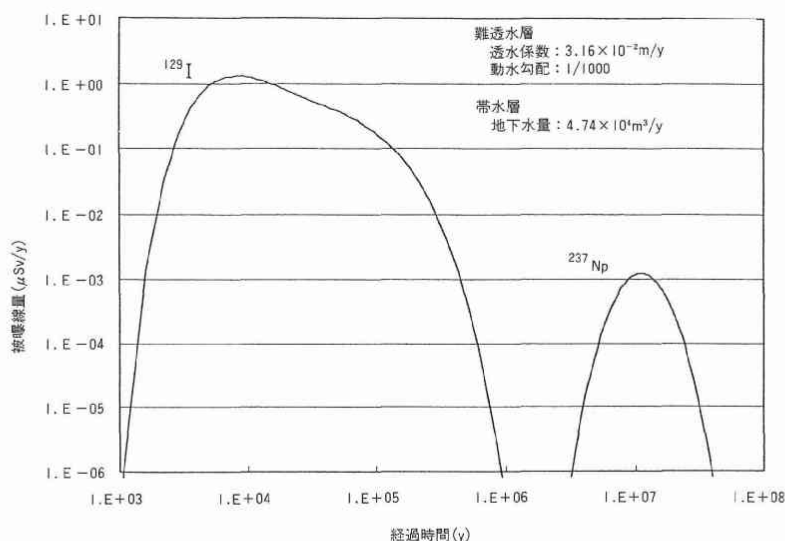


図5 深井戸水飲用による被曝線量の時間変化

程小さいと見做されるため、被曝線量はほぼ0と考える。 ^{237}Np の場合は、 1.1×10^7 年後に $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/y}$ 、 ^{129}I の場合は、約 8×10^3 年後に $1 \sim 2 \mu\text{Sv/y}$ の値を示した。

いずれの場合も被曝線量は、わが国における低レベル放射性廃棄物浅地中埋設目安線量である $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回る結果であった。図5には、被曝線量の時間変化の一例を掲げる。

本安全評価試算では、再処理で発生する ^{129}I の大部分を占めるよう素廃棄物を除外したが、このよう素廃棄物の処分方法・安全評価は、今後検討すべき課題である。

以上の安全評価試算により、処分施設が設置される難透水層が、 ^{239}Pu 及び ^{237}Np にとって、処分の安全上重要なバリア要素であることが明らかとなった。

結局、以下のような地層条件を満たすところが存在するならば、TRU廃棄物を安全に処分し得る可能性が示唆されたものと考えた。

- ・ 難透水層の透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ($3.16 \times$

10^{-1}m/y) 以下、動水勾配が1/1000程度。

- ・ 難透水層は均質で、厚さは処分施設から帯水層まで40m程度。

ここに参考に、中深地層(粘土層、深度220m)に中レベル・ α 廃棄物(TRU廃棄物)の処分を計画し、安全評価により処分の安全性に見通しを得ているベルギーのモルのサイトの地層条件を示す⁽⁸⁾。

- ・ 粘土層は均質であり、層厚は110m、上部に帯水層が存在する。ただし、処分施設から帯水層までの層厚は45mである。
- ・ 測定された粘土層の透水係数及び動水勾配は、各々 $3.2 \times 10^{-10} \text{cm/s}$ ($1.0 \times 10^{-4} \text{m/y}$) 及び2/100である。

透水係数と動水勾配は、地下水流速を支配する重要な要素であり、それらの積が地下水流速の目安となる。本安全評価試算における水理条件では、難透水層の透水係数は $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ($3.16 \times 10^{-1} \text{m/y}$) 以下、動水勾配は1/1000のこととしたが、比較的透水係数は大き

め、動水勾配は小さめの設定である。それゆえ、実際に透水係数が更に小さく、動水勾配がより大きい場合が考えられるが、地下水流速が同程度であれば、処分の安全性が保たれることは、このベルギーのモルのサイトの例からも推察される。

結局、わが国の中深地層（堆積層、200m～500m）には、安全な処分に必要な条件に適合する地層の存在、例えば、前述したような透水係数、動水勾配及び層厚を有する難透水層の存在が求められる。これについては、文献(3)、(11)などからも、十分にその存在は期待し得るものと考えている。

5. 結 言

通常、放射性廃棄物の処分概念では、地下水の関与が小さい地層が処分対象となるが、国土の地層構成・状態により、比較的地下水の関与が大きい中深地層（堆積層）を実際に処分対象とする国（例えば、ベルギー）もある。

本報は、わが国の中深地層へのTRU廃棄物処分について、水理環境条件を設定して安全評価試算を行い、その結果から処分の可能性を考察したものである。安全評価試算は、限定された処分システムについてのものであるが、基本的な地下水シナリオに基づくものであり、試算結果が示す安全な処分に必要な

条件に適合する地層（難透水層）の存在が期待し得ることから、わが国において、TRU廃棄物の中深地層処分の可能性はあるものと考えている。

終わりにあたり、安全評価モデルの作成及び安全評価試算の実施において、貴重な助言、協力を頂いた三井情報開発（株）総合研究所渡辺昭次主任研究員に感謝の意を表する。

参考文献

- (1)原子力委員会：原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画、(1994)。
- (2)原子力環境整備センター：“放射性廃棄物データブック”，(1995)。
- (3)エネルギー総合工学研究所：平成7年度TRU廃棄物中深地層処分シナリオ調査報告書、(1996)。
- (4)原子力安全委員会：放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方、(1988)。
- (5)日本原子力研究所：平成7年度アルファ廃棄物処分シナリオ調査成果報告書、(1995)。
- (6)原子力環境整備センター：平成7年度放射性廃棄物処分高度化システム確認試験、(1996)。
- (7)日本原子力研究所：低レベル放射性廃棄物陸地処分安全性実証試験（総合安全性実証試験）中間報告書、(1987)。
- (8)Marivoet, J., Zeevaert, T., Bonne, A. :“PACOMA”, CEN/SCK, MOL, (1991)。
- (9)ICRP Pub.23, Pergamon Press, (1975)。
- (10)ICRP Pub.30, Pergamon Press, (1979-1981)。
- (11)動力炉・核燃料開発事業団：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告 一平成3年度一，PNC TN 1410 92-081, (1992)。

[補足資料]

1. 処分施設からの放射性核種の漏洩量の計

算式

(拡散方程式)

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} C_w = D_w \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_w - \lambda C_w & (x > L_b) \\ \frac{\partial}{\partial t} C_b = D_b \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_b - \lambda C_b & (0 < x < L_b) \end{cases} \quad (1)$$

(初期条件)

$$C_w(x, 0) = C_0$$

$$C_b(x, 0) = 0.0$$

(境界条件)

$$C_b(0, t) = 0.0$$

$$C_b(L_b, t) = C_w(L_b, t) \quad (t > 0)$$

$$D_b \frac{\partial}{\partial x} C_b \Big|_{x=L_b} = D_w \frac{\partial}{\partial x} C_w \Big|_{x=L_b} \quad (t > 0)$$

$$C_w(\infty, t) = C_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

(漏洩量)

$$J_{bar} = -D_b \frac{\partial}{\partial x} C_b \Big|_{x=0} \cdot S_t \cdot N_t \quad (2)$$

ここで、

C_w : コンクリートモノリス中の放射性核種濃度 (Bq/m³)

C_b : ベントナイト混合土中の放射性核種濃度 (Bq/m³)

D_w : コンクリートモノリス中の放射性核種の実効拡散係数 (m²/y)

D_b : ベントナイト混合土中の放射性核種の実効拡散係数 (m²/y)

λ : 放射性核種の崩壊定数 (1/y)

L_b : ベントナイト混合土の厚さ (m)

C_0 : コンクリートモノリス中の放射性核種の初期濃度 (Bq/m³)

J_{bar} : 処分施設からの放射性核種漏洩量 (Bq/y)

S_t : コンクリートモノリス (ポールト 1 基) の表面積 (m²)

N_t : ポールトの本数 (-)

である。

2. 難透水層からの放射性核種の漏洩量の計

算式

(移流拡散方程式)

$$\begin{cases} \varepsilon_f R_f \frac{\partial}{\partial t} C_f = \varepsilon_f D_f \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_f - \varepsilon_f v_f \frac{\partial}{\partial x} C_f \\ \quad - \varepsilon_f R_f \lambda C_f + S_f & (0 < x < H_{total}) \\ \varepsilon_s R_s \frac{\partial}{\partial t} C_s = \varepsilon_s D_s \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_s - \varepsilon_s v_s \frac{\partial}{\partial x} C_s \\ \quad - \varepsilon_s R_s \lambda C_s & (H_{total} < x < H_{total} + H_s) \end{cases} \quad (3)$$

(初期条件)

$$C_f(x, 0) = 0.0$$

$$C_s(x, 0) = 0.0$$

(境界条件)

$$C_f(0, t) = 0.0$$

$$C_f(H_{total}, t) = C_s(H_{total}, t)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_f v_f C_f(H_{total}, t) - \varepsilon_f D_f \frac{\partial}{\partial x} C_f(x, t) \Big|_{x=H_{total}} \\ = \varepsilon_s v_s C_s(H_f, t) - \varepsilon_s D_s \frac{\partial}{\partial x} C_s(x, t) \Big|_{x=H_{total}} \\ \frac{\partial}{\partial x} C_s(x, t) \Big|_{x=H_{total}+H_s} = 0.0 \end{aligned}$$

(漏洩量)

$$j_f = \varepsilon_f v_f C_f - \varepsilon_f D_f \frac{\partial}{\partial x} C_f \Big|_{x=H_{total}} \quad (4)$$

ここで、

$C_f(x, t), C_s(x, t)$: 地下水中放射性核種濃度 (Bq/m³)

D_f, D_s : 放射性核種の拡散係数 (m²/y)
(分散係数+水中分子拡散係数)

$\varepsilon_f, \varepsilon_s$: 間隙率(-) (有効間隙率を意味する。以下同様)

v_f, v_s : 実流速 (m/y)

λ : 放射性核種の崩壊定数 (1/y)

R_f, R_s : 遅延係数 (-)

$$R_f = \frac{(1-\varepsilon_f)}{\varepsilon_f} \rho_f Kd_f, \quad R_s = \frac{(1-\varepsilon_s)}{\varepsilon_s} \rho_s Kd_s$$

ρ_f, ρ_s : 真密度 (10³kg/m³)

Kd_f, Kd_s : 分配係数 (m³/10³kg)

j_f : 難透水層からの放射性核種漏洩量
(Bq/m²・y)

S_f : 難透水層での放射性核種湧出量
(Bq/m²・y)

$$S_f(x,t) = \begin{cases} \frac{J_{bar}}{V_{bar}} & H_{lower} \leq x \leq H_{lower} + H_{bar} \\ 0 & x < H_{lower}, x > H_{bar} + H_{lower} \end{cases} \quad (5)$$

J_{bar} : 処分施設からの放射性核種漏洩量
(Bq/y)

V_{bar} : 処分施設を含む難透水層の体積
(m³) (放射性核種が湧出すると仮定する体積)

H_{bar} : 処分施設の高さ (m) (放射性核種が湧出すると仮定する体積の高さ)

H_{total} : 難透水層の厚さ (m)

H_{lower} : 下部境界までの距離 (m)

H_s : 帯水層の厚さ (m)

であり、添字 f, s はそれぞれ難透水層、帯水層を表す (以下同様)。

3. 帯水層経路による深井戸水中放射性核種濃度の計算式

(移流拡散方程式)

$$\varepsilon_s R_s \frac{\partial}{\partial t} C_s = \varepsilon_s D_{sx} \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_s - \varepsilon_s v_s \frac{\partial}{\partial x} C_s - \varepsilon_s R_s \lambda C_s + S_s \quad (6)$$

(初期条件)

$$C_s(x, 0) = 0$$

(境界条件)

$$C_s(-\infty, t) = 0$$

$$C_s(+\infty, t) = 0$$

ここで、

$C_s(x, t)$: 地下水中放射性核種濃度
(Bq/m³)

D_s : 放射性核種の拡散係数 (m²/y) (分散係数 + 水中分子拡散係数)

ε_s : 間隙率 (-)

V_s : 実流速 (m/y)

λ : 放射性核種の崩壊定数 (1/y)

R_s : 遅延係数 (-)

$$R_s = \frac{(1 - \varepsilon_s)}{\varepsilon_s} \rho_s K d_s$$

ρ_s : 真密度 (10³kg/m³)

$K d_s$: 分配係数 (m³/10³kg)

S_s : 帯水層での放射性核種湧出量
(Bq/m²・y)

$$S_s(x, t) = \begin{cases} \frac{j_f}{b} & -\frac{L_a}{2} \leq x \leq \frac{L_a}{2} \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases} \quad (7)$$

j_f : 難透水層からの放射性核種漏洩量
(Bq/m²・y)

b : 帯水層の厚さ (m)

L_a : 処分施設の長さ (m)

である。深井戸水中の放射性核種濃度は、処分施設中心から深井戸までの水平距離を L (m) としたとき、 $x=L$ の地下水中濃度 $C_s(L, t)$ を採用する。

〔調査研究報告〕

土木建築用骨材への 石炭灰有効利用技術について

広瀬 八州雄 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員)



はじめに

わが国の石炭火力発電所の新設及び増設計画は、2005年までに件数で38件、発電能力で2,605万kWに上るとされている。このような石炭火力発電所の新設、増設に伴い必然的に石炭燃焼残渣である石炭灰も増加し、試算によると約700万トン/年強が新たに発生し、全国で約1,300万トン/年になるものと予測され、資源のリサイクル及び環境保全の面から、その有効利用が強く求められている。

当所は、このような石炭火力発電所が抱える問題を背景に、通産省資源エネルギー庁発電課の委託を受け、石炭灰の有効利用拡大を目的とし、標記の調査を行った。ここにその概要を述べる。

1. 石炭灰の現状と有効利用

1.1 石炭灰発生量の現状と見通し

1995年度石炭灰の発生量は表1のとおりである。電気事業においては、流動床ボイラー2基を除いて全て微粉炭燃焼ボイラーであり、石炭灰発生量の96.7%を占めている。一般産業においては、微粉炭67基、ストーカー33基、流動床28基の順となっており、石炭灰

発生量は微粉炭が68.7%と最も多い結果となっている。石炭灰の総発生量は712万トン/年で、電気事業からは7割強に相当する515万トン/年が発生している。

「平成8年度電源開発の概要—その計画と基礎資料—」(通産産業省資源エネルギー庁公益事業部編)によると、2005年までに新規石炭火力発電所は全国31ヶ所の計画があり、総発電能力2,199万kWにのぼる。新規石炭火力発電所からの石炭灰発生量について試算し、2005年に向けて新たな石炭灰の発生量を予測した結果を表2に示す。前提条件として

- ① 一般産業については、1996年に当所が調査した数字をそのまま用いた。
 - ② 2010年については立地計画が出されておらず、2005年の数字をスライドさせた。
 - ③ アンケート調査結果では、現在稼働中の石炭火力発電所のうち、264万kW分が2000年以降停止するので、それに相当する石炭灰発生が74万トン/年減少するとした。
 - ④ IPP(独立発電事業者)については正確な情報が得られないので反映しない。
- として、算出した。

1.2 石炭灰有効利用状況

もっとも新しい数字として電気事業者のみ

表 1 1995年度 燃焼方式別石炭灰発生量

単位：千トン/年

	ストーカー		微粉炭燃焼		流動床		合計
	基数	発生量	基数	発生量	基数	発生量	発生量
電気事業	—	—	53	4,979 (96.7)	2	170 (3.3)	5,149 (100)
一般産業	33	189 (9.6)	67	1,348 (68.3)	28	437 (22.1)	1,974 (100)
合計	33	189 (2.7)	120	6,327 (88.8)	30	6.7 (8.5)	7,123 (100)

注 1) 基数とは、ボイラー基数をいう。

2) 括弧内数値は方式別の割合を表す。

3) 出典は石炭利用総合センター

石炭灰全国実態調査報告書（1997年3月）による。

表 2 石炭灰発生量の予測

単位：万トン/年

	現 状	将来予測		
	1995年	2000年	2005年	2010年
電気事業	515	787	1,083	1,083
一般産業	197	200	200	200
合計	712	987	1,283	1,283

注 1) 電気事業とは、電力9社と電源開発、共同火力4社及び沖縄電力の15社。

注 2) 一般産業とは、上記以外の企業。

の統計であるが、日本フライアッシュ協会が電気事業者における石炭灰の有効利用状況を纏めており、1996年度の数字を表 3 に示す。電気事業者の石炭灰利用状況をかなり細分化して纏めており、数字からは有効利用のうちセメント原料への利用量は1993年度調査に比べて横這いであるが、比率は約7割から5割へと下がっている。しかし、その他用途(20.1%)の大半が公共用地造成であり、これを除くと基本的には1993年度のセメント原料用の比率とそう大差ないものと考えられる。

1.3 ヨーロッパの石炭灰有効利用状況

(1) 石炭灰利用促進に係わる主要な組織

(a) ドイツ

① VGB (Thechnical Association of Large Power Plant Operators, 大型発電所経営者技術協議会)

欧州、南アフリカ、中国など28カ国、450社（うち独約200社）が参加する任意団体で、安全性、信頼性の向上、性能及び環境調和に関する情報交換を目的としている。

② BVK (Federal Association of Power Plant By-Products, 発電所副産物に関する連邦協議会)

表3 1996年度電気事業者石炭灰用途別利用状況

用 途	合 計 (トン)	利用率 (%)
電力工事用	6,342	0.19
FAセメント用	188,892	5.60
生コン用	89,631	2.66
セメント原料用	1,713,507	50.78
人工軽量骨材用	38,583	1.14
道路路盤材料用	27,967	0.83
アスファルトフィラー用	987	0.03
融雪剤用	333	0.01
肥料用	41,453	1.23
土壌改良材	3,748	0.11
下水汚水処理剤	874	0.03
土木工事用	29,946	0.89
炭鉱充填用	254,434	7.54
地盤改良用	55,765	1.65
製鉄用	2,770	0.08
建材ボード用	172,316	5.11
二次製品用	68,739	2.04
その他	678,415	20.10
(A)有効利用合計	3,374,702	100
(有効利用率)	63.7%	—
(B)埋立処理量	1,923,428	—
石炭灰発生量合計	5,298,130	—

出典：日本フライアッシュ協会資料
(平成9.7.15)

VGBが研究開発に重きを置くのに対し、独自の石炭燃焼副産物(CCBS)のマーケティング及び研修を支援する機関である。

③ ECOBA (European Association for Use of the By-Products of Coal Fired Power Station e.v., 石炭火力発電所副産物有効利用に関する欧州協議会)

1990年に設立された欧州のCCBS生産者の協会であり、12カ国、18社がメンバーである。

(b) オランダ

蘭の発電会社4社(EPON, UNA, EZH, EPZ)は、傘下に石炭供給会社(GKE)とともに、フライアッシュの生産、流通、販売を一貫して担当するフライアッシュ会社(Vliegassunie)を1982年に設立している。

(c) 英国

この国で石炭灰利用促進に大きく貢献しているのは、英国第3位のセメント会社であるラグビー社が、石炭灰を独占的に取扱うアッシュリソース(株)を設立、経営していることである。

(2) 石炭灰に関する規制及び利用促進策

(a) 規 制

欧州においては、石炭灰の処分に関する限りわが国の「廃掃法(廃棄物の処理および清掃に関する法律)」に類する法律は存在しない。廃棄処分に関しては、基本的に排水環境基準による制約を受けるのみである。なお、国によっては、廃棄、埋立処分に課税されている。

(b) 利用促進策

各国とも石炭灰使用に関する行政支援はなく、むしろリサイクル重視の指導を受けているようである(リサイクルが不可能なら発電を停止しろ)。このため、電力業界は石炭灰の有効利用に関して、様々な努力を20年来重ねてきて、今日の高い有効利用率に至った模様である。

(c) フライアッシュに関する規格

各国ともヨーロッパ規格(EN)を準用している。フライアッシュのコンクリートへの使用に関する規格として、EN450, 1994年がある。この規格では、未燃炭素(C)が5%以下とされている。ただし、各国の事情によっては、7%まで許容している。

(3) 今後わが国が参考にすべき点

下記の3項目が、わが国の課題として、改めてヨーロッパとの対比として浮かび上がった。

- ① 石炭灰流通システムの確立
- ② 石炭灰の品質管理の推進
- ③ 石炭灰有効利用の広報活動の充実

2. 高強度人工骨材及び高強度人工骨材配合コンクリート

2.1 高強度人工骨材

電源開発、電発コールテック、秩父小野田の3社により開発された骨材であり、石炭灰

を主材として石灰石粉末等を添加し、パンペレタイザー（皿型造粒機）で所定粒径となるように造粒した後、ロータリーキルン（回転窯）で焼成して製造する。

本骨材の特性として、化学成分および品質を表4-1、表4-2に示す。本骨材は、石炭灰を非発泡領域の焼成温度で焼き固めて製造しているので強度が十分にあり、骨材物性、コンクリート物性ともに、天然碎石と比較しても遜色ない製品物性が得られている。また、比重は1.8程度と軽量特性を維持し、かつ構造用軽量コンクリート骨材のJIS規格（JISA5002）も満たしており、今までにない優れた人工骨材であるといえる。

表4-1 高強度人工骨材の化学成分

種別 粒径	化 学 成 分 (%)							
	f.Cao	lg.Loss	残留C	SO ₃	塩化物	Na ₂ O	K ₂ O	FeO
FA 5～20	0	0.1	0.0	0.05	0.00	0.3	0.4	1.0
碎石 5～20	0	0	0.00	—	—	—	—	—
JIS A 5005	—	—	—	—	—	—	—	—
JIS A 5002	—	1.0以下	—	0.5以下	0.01以下	—	—	—
JIS A 5011	—	—	—	0.5以下	—	—	—	3.0以下

表4-2 高強度人工骨材の品質

骨材種		絶乾比重	吸収率(%)		単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)	安定性 (%)	すりへり 減量(%)
			1日	30日				
CA		1.86	0.5	0.72	1,190	64.0	0.4	21.3
碎石		2.62	0.7	0.78	1,610	61.3	6.1	11.6
JIS A 5002	L	1.0未満	—	—	—	60以上	20以下	—
	M	1.0以上1.5未満	—	—	—	60以上	20以下	—
	H	1.5以上2.0未満	—	—	—	60以上	20以下	—
JIS A 5005		2.5以上	3.0以下	—	—	—	12以下	40以下

※ JIS A 5002：構造用軽量コンクリート骨材

JIS A 5005：コンクリート用碎石

JIS A 5011：コンクリート用高炉スラグ粗骨材

2.2 高強度人工骨材配合コンクリート

(1) 物 性

配合及びフレッシュコンクリートの特性を表5に示す。高強度人工骨材を用いる場合、所要のスランプを得るために必要な単位水量は、天然碎石を用いた場合と比較して10kg/m³程度低減できる。また、コンクリートの単位容積重量は、天然碎石を用いた場合よりも200～300kg/m³小さく、約10%程度単位容積重量が軽減できる。高強度人工骨材配合コンクリートの単位セメント量と圧縮強度の関係を図1に、単位セメント量と単位容積重量当たりの圧縮強度の関係を図2に、圧縮強度と静弾性係数の関係を図3に示す。図1によれば、単位セメント量が260kg/m³、300kg/m³では、高強度人工骨材を使用する場合の方が、天然碎石を使用する場合よりも強度発現が良好であることがわかる。一方、単位セメント量380kg/m³では材齢28日のとき天然碎石を使用する場合に比べて、本骨材を使用する場合の方が強度発現が若干低下する傾向となっている。図2によれば、高強度人工骨材を使用するコン

クリートは、天然碎石を使用する場合よりも圧縮強度が材齢や単位セメント量に係わらずいずれの条件でも大きくなっていることが確認できる。したがって、本骨材を用いることにより軽量かつ高強度のコンクリート製造ができることがわかる。

3. 骨材の現状

3.1 石炭灰利用骨材

石炭灰利用骨材のうち、高強度人工骨材を除くその他の石炭灰利用骨材について、電力事業者における概要をまとめる。

(1) 焼成タイプ人工軽量骨材

九州電力の大村発電所構内に生産能力12t/h（10万m³/年）のプラントが設置されており、現在も稼働中である。1996年度には人工軽量骨材（商品名エフエライト）として34千m³が生産されており、1997年度には18千m³が生産された。また、四国電力でも同方式もしくはロータリーキルン方式による10万m³/年規模のプラントを検討している。表6に製品物性を示す。用途としてはプレキャスト・コンク

表5 コンクリートの配合及びフレッシュコンクリートの特性

骨材の種類	W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	ブリージング率 (%)	圧縮強度 材齢28日 (kgf/cm ²)
		W	C	S	G					
開発品	56.5(-4.7)	147(-12)	260	836	753	12.5	5.5	2,050(-270)	3.6	421
	49.3(-5.4)	148(-16)	300	802	752	12.5	4.9	2,040(-270)	3.6	487
	40.5(-2.4)	154(-10)	380	723	751	12.5	4.6	2,050(-280)	4.0	550
碎石	61.2	159	260	823	1,046	11.5	4.5	2,320	6.0	379
	54.7	164	300	784	1,038	13.0	5.1	2,310	5.5	418
	42.9	164	380	713	1,046	11.5	5.0	2,330	4.3	560

() 内は碎石との差

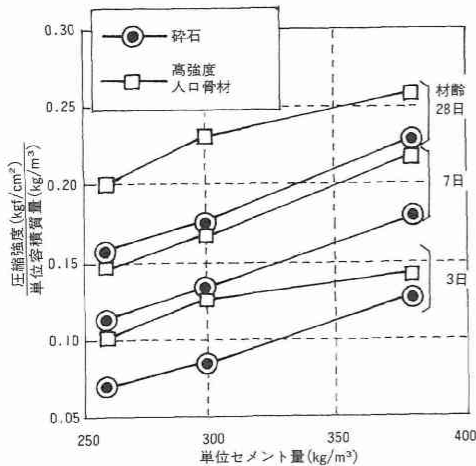


図1 単位セメント量と圧縮強度の関係

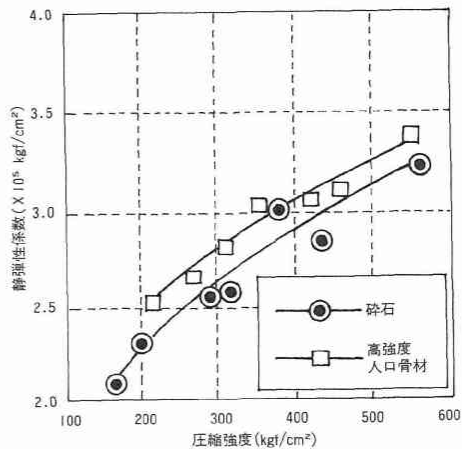


図3 圧縮強度と静弾性係数の関係

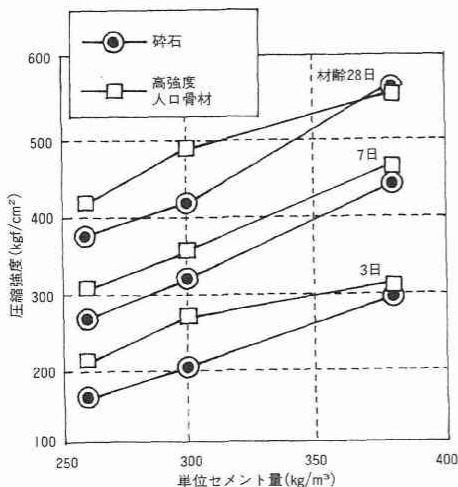


図2 単位セメント量と単位容積重量当たりの圧縮強度の関係

リート (PC) 板、高層建築用人工骨材として販売されている。

(2) 非焼成タイプ人工軽量骨材

(a) 砕石代替

中部電力が碧南火力発電所内にプラントを設置し、商品名「アッシュロバン」で製造販売しており、また東京電力が同様のプロセスで基礎検討を行っている。石炭灰を約70%使

用し、固化剤としてセメント、石膏を加えて混合し、パン型造粒機にて造粒する。用途は路盤材として道路用、及び裏込め材を対象としている。「アッシュロバン」の物性を表1に示す。

(b) 軽量骨材

試作段階であるが、三菱マテリアル、東京電力、東電環境エンジニアリングにより、従来の焼成タイプとは異なる非焼成タイプの人工骨材がフライアッシュを原料として検討されている。

試作した骨材の構造用軽量コンクリートへの適用性は、JISA5002「構造用軽量コンクリート骨材」等により評価しており、結果の一部を表8に示す。

(c) 細骨材

東北電力では、能代火力発電所に石炭灰リサイクル実証プラントとして1993年に300トン(製品)/月の実証プラントを設置している。商品名は「ファイヤービーズ」で、粒径が3mm以下、比重1.3程度、硬度4kg以上、吸水率30%以上、単位容積重量0.7kg/ℓ以上である。

表6 人工軽量骨材（エフェライト）の製品物性

項 目	品質管理値	基準・規格	試験方法
絶乾比重	1.30～1.38	種類 M：1.0以上1.5未満 (JIS A 5002)	JIS A 1135
24H吸水率 (%)	14～18	—	JIS A 1135
単位容積質量 (kg/ℓ)	0.80～0.85	—	JIS A 1104 (ジグギング法)
実積率 (%)	61～63	種類 A：60.0以上 (JIS A 5002)	JIS A 5002
浮粒率 (%)	0.0	—	建設省住指発第32号C調合
コンクリート 圧縮強度 (N/mm ² [knf/cm ²])	40[408]以上	種類 40：40[408]以上 (JIS A 5002)	JIS A 5002
	28[200]以上	28[200]以上 (建設省住指発第32号)	建設省住指発第32号C調合

表7 アッシュロバンの物性

項 目		破 碎 材	安 定 処 理 材		
			強さ 20kgf/cm ² (アッシュロバン)	強さ 20kgf/cm ²	強さ 30kgf/cm ²
性状	最適含水比 (%)	20～30	20～30	20～30	20～30
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.25～1.50	1.20～1.50	1.10～1.45	1.10～1.45
	修正CBR (%)	80以上	—	—	—
	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	—	10以上	20以上	30以上
	粒 度 (mm)	0～40	0～40	0～40	0～40
	塑性指数 (PI)	NP	NP	NP	NP
設計	推定等値換算係数	0.25	0.25	0.45	0.55

表8 骨材およびコンクリートの物性試験結果

項 目	造粒骨材	粉碎骨材	市販軽量骨材
絶乾比重	1.30	1.40	1.30
実積率 (%)	66.2	61.2	64.6
コンクリートの 圧縮強度 (kgf/cm ²)	391	466	505
コンクリートの 単位容積質量 (kg/ℓ)	1.996	2.018	1.976

現状の用途としてはアスファルト舗装流動化防止材として利用されており、過去には細骨材として使用したOAフロアパネル、間仕切り壁パネル、ガラス繊維混入セメント製品、左官用プレミックスモルタルなどが試作されている。

3.2 天然骨材及び人工骨材等

(1) 砂 利

砂利(砂)は、その産状により河川砂利(砂)、陸砂利(砂)、山砂利(砂)、海砂利(砂)に区分されている。年間約4億tの砂利、砂を供給する砂利・砂業界が一般産業と異なる特徴は、以下の項目と考えられる。

- ① 砂利、砂を採取する業者の大部分は中小企業で占められており、全国各地で約4,500～5,000企業がこれに従事している。砂利、砂の価格は極めて安い。
- ② 大部分はダンプカーによって需要先に輸送されている(海砂の場合は海上運送も行われている)。
- ③ 砂利、砂の供給可能範囲は、前記②、③の理由により首都圏で約80km以下、その他で約40km以下と限定される。
- ④ 砂利、砂は、採取すればなくなってしまう天然資源である。今後、資源の確保をいかに進めていくかが、業界の最大の課題である。広島県では1998年2月に海砂利採取が禁止され、大きな問題となっているなど骨材資源不足が顕在化してきた。

(2) 砕 石

コンクリート用粗骨材としての砂利の不足を岩石碎石が補う構成が進んできており、1995年度現在の総骨材需要量は約8億700万トン程度で、内訳は道路用2億7,800万トン、コン

クリート用5億2,900万トン程度である。碎石の使用割合が増加する理由は、良質の河川産砂利の不足であるが、この河川産物の調達難が、骨材の遠隔地採取と大需要地周辺への長距離輸送を余儀なくし、このことから近年では臨海地区の生コン工場や工事現場には、中国・四国・九州方面から多量の石灰石を原石とする碎石(鉱物碎石)の移入が行われている。

(3) 軽量骨材

(a) 天然軽量骨材

日本は火山国であるので、いわゆる火山れきを活用した天然軽量骨材は、全国各地で活用されている。しかし、採取にあたっては、自然環境保全や立地条件などの制約を受けることが多い。採掘した火山れきは、破碎、ふるい分けなどを行い、粒度調整をしたうえで出荷されるが、産地により形状、物理的性質および成分が多様である。一般に不整形で吸水性が大きく、強度的にも高強度は期待できない。軽量ブロック用などに限定されている。

(b) 人工軽量骨材

人工軽量骨材コンクリートの特性が認められるにつれ、その供給量は順調に増加し、オイルショックとなった1973年には185万 m^3 のピークに達した。しかし、その後は需要の減退により供給量は減少に転じ、1986年にはピーク時の35%にまで落ち込むことになった。年々減少を続けた需要も1986年を底に上昇に向かった。それは大都市を中心として市街地の開発事業が活発になり、高層オフィスビルの建設ラッシュによるもので、人工軽量骨材の供給量は1991年には110万 m^3 にまで回復した。しかし、1992年以降いわゆるバブル崩壊による需要の減少により、供給量は1993年から減退し、現在は約70万 m^3 位である。

(4) 高炉スラグ骨材

1980年度の352万トン进行ピークとして、以降は年々減少しており、1994年度では高炉スラグ粗骨材17万トン、高炉スラグ細骨材35万トンの合計52万トンである。使用量減少の主な要因は、骨材より付加価値の高いセメント向けの軟質高炉水砕スラグの使用量の拡大に伴う高炉徐冷スラグ（高炉スラグ粗骨材の原料）の減少および硬質高炉水砕スラグ（高炉スラグ細骨材の原料）の減少である。以上まとめて骨材需要の供給構造的变化を図4に示す。

4. 高強度人工骨材の利用方向

4.1 ユーザー側からみた高強度人工骨材

骨材のユーザーが高強度人工骨材についてどう評価するかは、その普及に当たって重要となる。以下にその概要を記す。

(1) 品質の安定した人工骨材への期待

現在、良質の天然骨材は枯渇の傾向にあり、ユーザーは常にコンクリートに使用されている骨材の種類と品質および品質のばらつきに不安をいだいている。品質の安定した高強度人工骨材に対する期待は大きい。

(2) 高強度軽量コンクリートへの期待

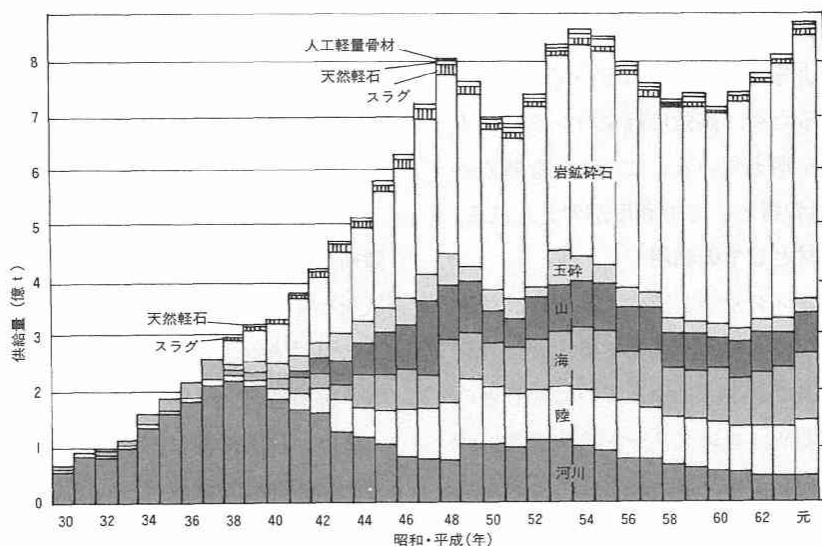
高強度人工骨材は、同一水セメント比における圧縮強度が通常の骨材を使用した場合と同等であり、かつ、粒子の形状が良好な分だけ単位セメント量を軽減できる。

(3) 軽量化のメリット

コンクリートの軽量化は部材の断面寸法を小さくできるというメリットがあり、建物の種類によっては（たとえば住宅など）部材の断面寸法のわずかな減少でも居住者にとっては大きな意味をもつ場合がある。

(4) コンクリート用骨材としての本製品の位置付け

近年、コンクリート用骨材については、天



注：（昭和30～48年は推定）
出典：日本コンクリート協会：コンクリート工学 Vol.34 No.7 1996.7「骨材問題を考える」

図4 骨材需要の供給構造の変化

然の細骨材が枯渇し始めてきている。しかし、高強度人工骨材のような「粗骨材」は、天然粗骨材（砂利・碎石）に対して価格面で有利にならない限り、市場の直接的な要請材料とはならない。

(5) コンクリート用骨材に求められているもの

アルカリ安定性、経時的変質が少ない、大きな粉砕値、適切な粒度分布、不純物を含まない、小吸収率、適切な質量、コンクリートとした場合の分離抵抗性、ストックヤードでの扱い易さ、輸送の至便性、継続的大量安定供給が可能、適正価格などである。

(6) ターゲットとする市場と競合する在来骨材の想定

高強度人工骨材を碎石（年間生産量約5億トン）と競合させることは、価格などからしてもかなり困難と思われる。従って、コンクリート2次製品の分野での市場がターゲットとなる。構造用2次製品（柱・梁・耐震壁・床などのPC部材）については、かなり有望な市場を得ることができると思われる。

(7) 軽量骨材としての利用

鉄骨造による施設建築物においては、床の剛性を高めるため、高強度軽量コンクリートによる設計が増えている。このような観点から、人工軽量骨材としての利用が考えられる。

(8) 普通骨材としての利用

高層鉄筋コンクリート造のような超高強度を必要としない一般の構造物では、普通骨材と同等に使用できる。単独あるいは碎石との混合使用により、コンクリートの施工性は碎石コンクリートより改善されるものと思われる。

(9) 現実的な価格の設定

価格帯で考えると、現在の膨脹頁岩系の人

工軽量骨材との競合となる。この点、高強度人工骨材と現在の人工軽量骨材との市場における棲み分けの戦略が必要である。

(10) 本製品をコンクリートに使用した場合のコンクリートの品質

有効な広報活動のためにも、本製品を使用したコンクリートは各種性能がバランスのとれた状態であり、トータルの品質が良いことを示す積み重ねデータが望まれる。

4.2 ヨーロッパにおける石炭灰骨材の現状

(1) 石炭灰利用状況及び骨材生産状況

欧州における石炭灰を原料とした人工軽量骨材の生産は、各国によりバラツキはあるものの、総じてわが国よりも利用率は高いといえる。昨年調査した国々の利用状況を表9に示す。人工軽量骨材の用途は、欧州全体の数値が不明なため、参考としてオランダを例に取ると、建物外壁用ブロック(50%)、プレキャストコンクリート用(約26%)、生コンクリート用(14%)、その他であり、建物外壁用としての利用が最も多い。この傾向は他の国でも同様と考えられる。

(2) 高強度人工骨材が参考にすべき点

(a) 輸送コストの低減

ライターグ社のバジム工場は、石炭火力発電所の近傍に位置しており、原料となる石炭灰をパイプラインで輸送しており、輸送コストの低減を図っている。

(b) 品質管理

また、同工場では石炭灰の品質の安定化のために、原料石炭灰のブレンドサイロ等の設備を設置して、製造時の原料の前処理に十分配慮し、品質管理体制を整備している。

(c) 市場

表 9 欧州における石炭灰利用状況

項 目		ド イ ツ	オランダ	イギリス
石炭灰有効利用率		98%	100%以上	46%(ナショナルパワー)
石 炭 灰 の 用 途	フライアッシュ	410万t (99%)	80～90万t	150万t (ボトム)
	コンクリート	69%	10%	30% (アッシュ含)
	土工・道路用	11%	10%	—
	グラウト用	17%	—	3.6%
	レンガ・モルタル用	4%	—	34.3% (ブロック用)
	セメント原料用	—	36% 22%(フライアッシュセメント)	4.5%
	人工軽量骨材	—	18%	21%
	そ の 他	3%	4%	6% (バックフィル)
	ボトムアッシュ	60万t (97%)	10～15万t	64万t
	土工・道路用	60%	59%	—
	ブ ロ ッ ク	—	41%	—
	人工軽量骨材	40%	—	—

軽量かつ高強度性を活かせる構造物や部材へ適用されている。オランダでは橋梁に採用されており、ロンドンでは高層ビル等への実績がある。

4.3 高強度人工骨材の利用方向

(1) 高強度人工骨材の利用が期待される構造物等

(a) 高層建築物・高層土木構造物等への期待
高強度人工骨材は、既存の人工軽量骨材とは異なり、同一水セメント比のコンクリートにおける圧縮強度が通常の骨材を使用した場合と同等であり、かつ、粒子の形状が良好な分だけ単位セメント量を軽減できることになる。また、同一圧縮強度におけるヤング係数も大きくなっており、部材のたわみや地震時の高層構造物の揺れも軽減できるものと推測される。具体的には下記の項目が挙げられる。

① 高層鉄筋コンクリート造のような超高強

度を必要としない一般の構造物では、普通骨材と同等に使用できる。

② 鉄骨造による施設、建築物においては、床の剛性を高めため、高強度軽量コンクリートによる設計が増えている。床にデッキプレートと軽量コンクリートの合成板がよく用いられる。

③ 鉄骨・鉄筋コンクリート造による高層集合住宅では、遮音性の問題で人工軽量骨材の使用はきわめて少ない。しかし、今後スラブ厚を200mmにする方向にあり、この場合は比重の大きい方が普通コンクリートと同程度の遮音性が得られる。この部分は、本人工骨材を用いても所要の遮音性が得られると思われる。

④ ヨーロッパ（ロンドン）では、すでに高層構造物としての実績がある。

(b) コンクリート 2 次製品等への期待
非構造部材用（カーテンウォール部材等）

コンクリートでは、超軽量骨材の開発が要請されており、既存の人工軽量骨材より比重の大きい高強度人工骨材が同等に競えるかは疑問がある。構造用2次製品（柱・梁・耐震壁・床などのPC部材）については、普通コンクリートよりも軽量で、かつ高強度のコンクリートが製造できる本製品はかなり有望な市場を得ることができると思われる。オランダでは既に1スパン50mのPC橋梁に使用されている。

(2) 今後の課題

(a) 価格の設定

高強度人工骨材が石炭灰の有効利用先としてセメント原料向けに次ぐ規模になりうるか否かについては、価格の設定にかかっていると思われる。価格が高ければ販路も限られ、極く特殊な用途向けとなってしまう。骨材製造プラントの計画に当たっては、下記のようなコストダウン策を考え、ユーザーにとって受け入れやすい価格設定をする必要がある。

- ① プラントの立地に当たっては、石炭灰発生元、高強度人工骨材プラント、及び需要地間の輸送コストを極力抑える立地を考える。
- ② プラント建設に当たっては、セメント製造の遊休設備、人工軽量骨材プラント、セ

メント流通設備等の転用等によりコストダウンを図る。

- ③ 石炭灰の処理費用は、今後更に上昇していく可能性があり、高強度人工骨材向けの石炭灰に対しても、十分なバックプライスを検討していく必要がある。

(b) データの地区性及びPR

新規建築・土木用資材をユーザーに採用して貰うに当たっては、認定等の取得と同時に作業性、耐久性等多くのデータを整備し、蓄積するとともに、構造的メリット（特に経済性）についても同時にアピールしていく必要がある。

(c) 供給の安定性

他の石炭灰用途と同じであるが、石炭灰の品質、需要を考慮した供給等に対して、今後とも検討していくことが必要である。

(d) その他

欧州各国では、石炭灰処理に関して廃掃法に類する法規制が存在しないため、石炭灰およびその加工品は貴重な資源として適正な価格構成が可能な状況にある。わが国においても、循環型社会の構築に向けての社会システムの整備（法体系の整備も含む）が大切であると考えられる。

自動車燃料の品質動向

仁 科 恒 彦

(財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部
副主席研究員



1. ま え が き

大気汚染状態を判定する基準として環境基準がある。これは、人の健康を保護し、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として、環境基本法に規定されている。

環境基準は、水質、土壌及び騒音についても定められているが、大気に関しては、現在、以下に示す8物質について定められている。

二酸化硫黄 (SO₂)

一酸化炭素 (CO)

浮遊粒子状物質：大気中に浮遊する粒径
10μm以下の粒子状物質

二酸化窒素 (NO₂)

光化学オキシダント：光化学反応で生じる
オゾン(O₃)等の酸化性物質

ベンゼン (C₆H₆)

トリクロロエチレン (C₂HCl₃)

テトラクロロエチレン (C₂Cl₄)

例えば、光化学オキシダントに関する基準は「1時間値が0.06ppm以下」であるが、他の物質についても、同様に具体的な基準値が設定されている。

これらの環境基準の達成状況を見ると、SO₂やCO等については満足すべき状況にあるのに対し、浮遊粒子状物質やNO₂、光化学オキシダント等については達成状況は低水準

で、更に強力な対策が必要とされている。

全国約2,000ヶ所の測定局におけるモニタリングの結果をまとめた「97年度の大気汚染状況について」が、昨年(1998年10月2日)、環境庁から公表された。なお、大気中の汚染物質の測定は、一般的な大気汚染の状況を把握するための一般環境大気測定局(一般局)と、道路周辺における状況を把握するために沿道に設置された自動車排出ガス測定局(自排局)において実施されている。

これによると、NO₂や浮遊粒子状物質の環境基準の達成率は、大都市を中心として依然として低い状況が続いており、100%にするためには、まだまだ大変であることがわかる。97年度におけるNO₂と浮遊粒子状物質の環境基準達成率を表1に示す。

浮遊粒子状物質の発生源は、土壌の巻き上げ等の自然発生源と、工場やディーゼル車等の人為的発生源がある。

また、NO₂は、通常NO_xと呼ばれる窒素酸化物の一つであるが、いわゆる自動車NO_x法に定められた特定地域におけるNO_xの発生源別排出量を図1に示す。自動車からの排出が半分以上を占めていることがわかる。

浮遊粒子状物質や窒素酸化物の大気中濃度を低下させるためには、工場等からの排出規制とともに自動車からの排出削減が必要であ

り、これらの規制は、既に長年にわたって実施されてきている。現に自動車1台あたりの

大気汚染物質の排出量はかなり削減されてきているが、自動車保有台数の大幅な増加によって、単体規制の効果が相殺されている傾向にあり、1台あたりの排出量を更に低減することが求められている。

表 1 環境基準達成率 (97年度)

単位：％

物 質	一般局	自排局
二酸化窒素	95.3	65.7
浮遊粒子状物質	61.3	32.9

図 2 に、近年の自動車保有台数の推移を示すが、過去30年間で約 9 倍に増加している。

なお、従来から自動車排出ガス低減に際しては、自動車サイドの改良だけでなく、燃料

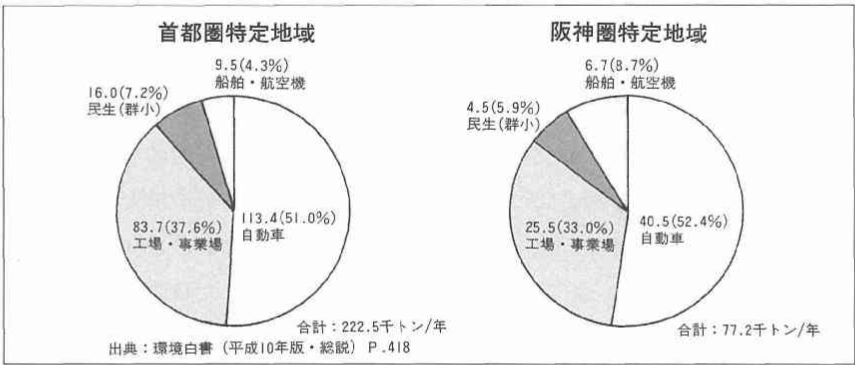


図 1 NOx 排出源別排出量

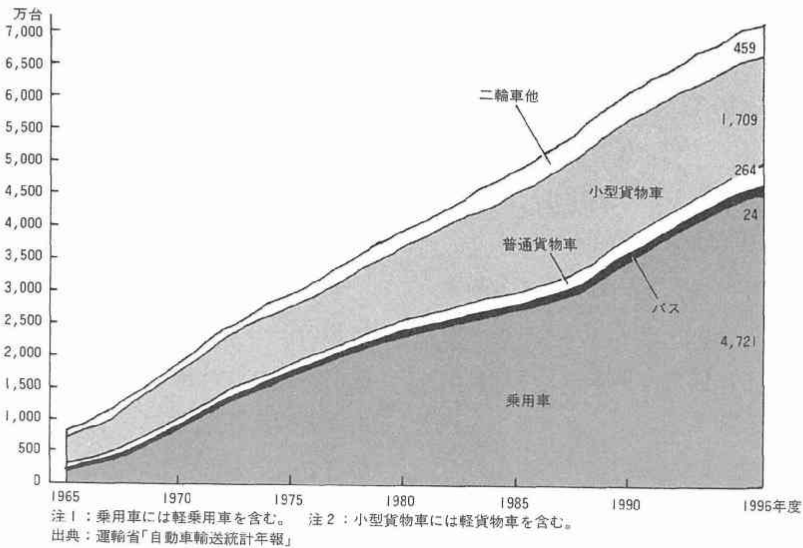


図 2 自動車保有台数の推移

(ガソリンや軽油)の品質改訂も必要とされてきており、既にガソリンの無鉛化や軽油の低硫黄化等が実施されてきている。

自動車燃料に関する日本工業規格 (JIS) 製品規格の最近の状況は、次のとおりである。

ガソリン規格 (K 2202) は、1996年に硫黄分 (0.01%max), ベンゼン (5 %max) 等が新たに規定されたが、ベンゼンは2000年頃を目途に更に 1 %max に改訂される見込である。一方、軽油規格 (K 2204) は、1997年に硫黄分が0.20%maxから0.05%maxに改訂されたが、これを更に改訂しようとする動きがある。欧米においても同様な改訂が行われてきており、また更に改訂する動きが見られる。

本稿では、欧米における自動車燃料品質の現状並びに改訂の動向について概要を述べ、最後にわが国の状況についても触れる。

2. アメリカ

2.1 自動車燃料品質の現状

自動車燃料規格としては、アメリカ材料試験協会 (ASTM) 規格が基本であるが、大気浄化法により燃料品質に関する各種の規制が実施されているため、ASTM 規格だけで品質全体を把握することは困難になっている。以下に、品質規制に関連する項目のいくつかについて簡単に紹介する。

(1) ガソリン

(a) ASTM 規格

ガソリン規格 (D 4814 95-b) には、オクタン価や硫黄分 (0.1%max) 等が規定されているのに加えて、種々の気候条件に対応したグレード別に蒸気圧等が規定されている。

(b) 蒸気圧規制

環境保護庁 (EPA) は、1989年から、夏期における蒸気圧の上限を規定している。これは、ガソリン中の軽質炭化水素の排出低減を目的としている。現在の基本的な規制値は、南部 53.8kPa、北部62.1kPa で、エタノール (エチルアルコール) 混合ガソリンには 7 kPa の上乘せが認められている。

(c) 含酸素規制

1992年から、CO に関する環境基準未達成の都市では、主として冬期4ヶ月間、酸素含有量2.7%のガソリンの使用が義務付けられている。CO は燃料の不完全燃焼によって発生し、ガソリン中の酸素は不完全燃焼を防止するという考えに基づいている。

(d) 無鉛化

1995年から、有鉛ガソリン (オクタン価を向上させる鉛化合物が添加されたガソリン) の販売は禁止され、無鉛化されている。因みにわが国では、約15年前から、世界に先駆けてガソリンの無鉛化が実施されている。

(e) 連邦 RFG 規制

オゾンに関する環境基準未達成地域を含む各州は、基準達成の計画を立案し、EPA の諒承を得たうえ、実行する義務がある。

未達成地域のうち、汚染状態が最悪な地域では、RFG (Reformulated Gasoline) と呼ばれる低公害ガソリンの使用が義務付けられている。また、未達成ではあるが汚染状態が最悪ではない地域では、達成するための手段の1つとして、RFG の使用義務付けを選択することができる。後者をオプト・イン (Opt-In) と呼んでいる。RFG の需要は、全米ガソリンの約30%といわれている。

連邦 RFG 規制は、2段階の計画になって

おり、第1段階（フェイズⅠ）は既に1995年に開始され、第2段階（フェイズⅡ）は2000年に始まる予定である。フェイズⅡではフェイズⅠと比較して、VOC（揮発性有機化合物）、有害物質及びNO_xの排出に関して、より多くの削減が意図されている。

RFGには、組成に関する規定（酸素分2.0～2.7%、ベンゼン1%以下等）のほか、自動車からの排出に関する規定がある。排出に関するRFG規格として1998年から使用されているコンプレックス・モデルは、ガソリンの性状（硫黄分、酸素分等8項目）とVOC、有害物質及びNO_xの排出を関連づけた数多くの複雑な数式から成り立っている。

排出に関する規格を満足しているかの判定は、ガソリンの性状を分析するだけではわからず、それらの性状を用いて、コンプレックス・モデルに含まれる数式を計算してはじめて可能となる。

(f) カリフォルニア州 RFG 規制

カリフォルニア州は、他州と比較して大気汚染が進んでいるため、連邦の規制より厳しい独自の規制が実施されている。その1つとして、連邦RFG規制とは別にカリフォルニア州独自のRFG規制計画（2段階）が実施されている。1992年から開始されたフェイズⅠに続いて、1996年6月からは更に厳しいフェイズⅡRFGの使用義務付けが開始された。フェイズⅡでは、硫黄分（40ppm max）、芳香族（25%max）、ベンゼン（1%max）、オレフィン（6%max）のほか、蒸気圧（夏期48.3 kPa max）、酸素分等が規定されている。

(g) 清 浄 剤

1995年から、全米のガソリンには清浄剤（エンジン内部や燃料系統を清浄に保つための薬

品）の添加が義務付けられている。

(2) 軽 油

(a) ASTM 規格

自動車用軽油規格（D 975-94）には、硫黄分（0.05%max）に加えて、[セタン指数（40 min）もしくは芳香族（35%max）]等が規定されている。硫黄分規制（0.05%max）は、1993年10月から開始された。

(b) カリフォルニア州規格

カリフォルニア州では1993年10月から、硫黄分（0.05%max）に加えて芳香族（10%max）の規制が開始された。ただし、規定されたエンジン・テストにおいて、規定された標準燃料と同等以下の排出であることが認められれば、たとえ芳香族が10%以上であっても規格に合格となる。

2.2 自動車燃料品質の動向

(a) 排出ガス規制

大気浄化法は、軽量車に対して第1段階（Tier I）及び第2段階（Tier II）の排出ガス規制を規定している。第2段階の規制値（上限値）は第1段階の半分と厳しくなっており、2004年モデル車からの適用がEPAによって検討されている。

(b) NLEV 計画

EPAは、カリフォルニア州で実施されているLEV（Low Emission Vehicle：低公害車）プログラムと同様なプログラムを、同州以外の49州にも導入しようとするNLEV（National Low Emission Vehicle：全米低公害車）計画を検討している。

(c) ガソリン硫黄分に関する要望

自動車業界は、第2段階の排出ガス規制や

NLEV 計画に際しては、ガソリンの低硫黄化 (40ppm max) が必要と主張している。これに対して石油業界は、そのような低硫黄化は費用効率が低く、多くの精製会社にとって死活問題であるとして反対すると同時に、代案として2004年以降、RFG 以外のガソリンに対して、夏期の平均硫黄分を地域に応じて規制 (大気汚染の問題が大きい地域は150ppm max, その他の地域は300ppm max) する案を EPA に提示した。

ただし、その後、この提案とは別にアメリカ石油協会 (API) は、大気汚染が深刻な地域に対しては2010年から低硫黄分 (40ppm max) のガソリンを供給することを提案した。しかし、現在のところ、全米石油化学精製業協会 (NPRA) は API の提案に同意していない。

EPA は、現在、第2段階の排出ガス規制に結びつけて、ガソリン硫黄分の地域別、季節別規制を検討中と報道されている。

なお、カナダでも同様に、ガソリンの低硫黄化について、規制値及び実施時期について検討が進められている。

(d) ガソリン硫黄分の現状

カリフォルニア州を除く49州のガソリン硫黄分の平均は、現在、約340ppm (RFG 約316ppm, RFG 以外約346ppm) と推定されている。また、連邦第2段階 RFG 規制 (2000年以降) の硫黄分は、NO_x 排出規制等の強化によって減少せざるを得ず、150~180ppm になると推定されている。

(e) DI 規格化

ASTM の小委員会は、1997年12月、運転性指数 (DI, Drivability Index) を規格 (D-4814) に加えることを決定した。DI は次式で計算されるが、この値が高くなると運転性が悪化し、

排出ガスも増加するとして自動車メーカーは規格化 (1200以下) を要望していた。

$$DI = 1.5 \times T_{10} + 3 \times T_{50} + T_{90}$$

ただし、T₁₀, T₅₀, T₉₀ は各々10%, 50%, 90%溜出温度 (°F)

(f) 軽油品質の動向

EPA は、第2段階排出ガス規制及び PNGV 計画*に関連して、軽油に関しても低硫黄化することを検討している。

*PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) : 燃費3倍を目的とした、連邦機関と米国自動車メーカーによる研究開発プログラムで、ディーゼル車にも焦点が当てられている。

3. ヨーロッパ

3.1 自動車燃料品質の現状

全 EU (欧州連合) 加盟国及びノルウェーとスイスは、CEN (欧州標準化委員会) の無鉛ガソリン規格 (EN228) 及びディーゼル軽油規格 (EN 590) を採用している。

しかし、国によっては更に厳しい独自の規格を採用している。以下に、品質に関連する項目のいくつかについて簡単に紹介する。

(1) ガソリン

(a) 標準規格

EN 228には、オクタン価、ベンゼン (5% max), 硫黄分 (0.05% max) 等に加えて、種々の気候条件に対応したグレード別に蒸気圧等が規定されている。なお、無鉛化した国を除いて、各国は有鉛ガソリン規格を有している。

(b) 無鉛化

無鉛ガソリンは全西欧諸国で広く販売されており、1995年の経済協力開発機構 (OECD)

ヨーロッパにおける無鉛ガソリンのシェアは、平均で約70%と推定されている。

EUは、一部の国を除いて、2000年までに完全な無鉛化を予定しているが、オーストリア、スウェーデン、デンマークなどでは既に無鉛化している。東欧諸国でも、量的な制限はあるが、無鉛ガソリンが販売されている。

(c) R F G

フィンランドやスウェーデンでは、組成(最も厳しいグレードで、ベンゼンと硫黄分は、それぞれ1%max, 100ppm max)と揮発性を規定したRFGが導入され、税制優遇によって高い販売シェアを得ている。

(2) 軽油

(a) 標準規格

EN 590には、硫黄分(0.05%max)等に加えて、種々の気候条件に対応したグレード別に、セタン価、目詰まり点などが規定されている。

(b) 硫黄分

EUにおけるディーゼル軽油の硫黄分は、1994年10月から0.2%以下に、更に1996年10月から0.05%以下に低減された。しかし、いくつかの国では、このスケジュールより早く低硫黄化が実施され、低硫黄軽油に対して税の優遇制度を導入した国もある。

(c) 低公害軽油

デンマーク、フィンランド及びスウェーデン等では、硫黄分(最も厳しいグレードは10 ppm max)、セタン価、あるいは組成等を規定した低公害軽油(RFD, Reformulated Diesel)が導入され、税制優遇を受けている。

(d) バイオ・ディーゼル

いくつかの国では、植物油メチルエステル(例えば菜種油を化学処理したもの)が軽油

基材として使用されており、フランスでは全軽油の約1%を占めている。

3.2 自動車燃料品質の動向

EUでは、大気清浄化の一環として、2000年以降の自動車燃料規格が検討されている。EUにおける燃料に関する指令の法制化ステップの概略を図3に示す。

(a) 欧州委員会提案

1996年6月欧州委員会(European Commission)は、欧州オートオイル・プログラム*第1段階(AOP I)の成果を基にして、2000年以降の自動車燃料規格に関する提案を行なった。

*自動車の排気ガス対策と燃料品質規制を連携させ、行政と自動車・石油業界が共同で実施するプログラム。既にアメリカと欧州で実施され、わが国でも現在実施中である。

その欧州委員会提案及び後述するその他の案の内容を並べて表2に示す。なお、各提案の最大の争点は、ガソリン、軽油とも硫黄分とされている。

(b) 欧州議会第1査読

欧州委員会の提案に対して、1997年4月、欧州議会*(European Parliament)は第1査読において、厳しい内容の規格案を採択した。

*EU加盟諸国の有権者によって選出された議員(定数626)で構成される。現状では執行機関に対する諮問機関で、各国議会が最高立法府であるのとは異なる。

この動きに関して石油業界は、次のとおりコメントした。

① 燃料の品質規制強化は、環境基準を合理的に達成する手段の一つである。

② しかし、欧州議会案はAOP Iの結果を

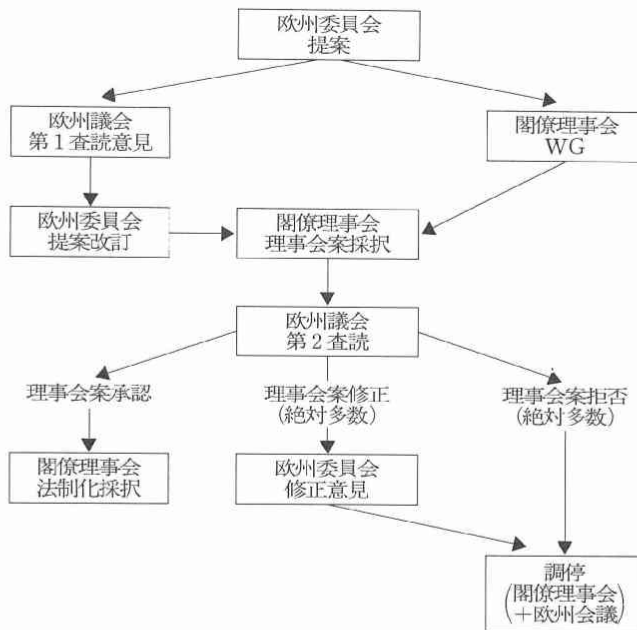


図 3 EU燃料指令の法制化ステップ概要

表 2 EU自動車燃料規格案

親 格 案	欧州委員会		欧議会 (1 st)		閣僚理事会		欧議会 (2 nd)		最終案*	
提 案 年 月	1996.6		1997.4		1997.6		1998.2		1998.6	
適 用 年	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005	2000	2005
ガソリン										
RVP (夏期) kPa,max	60		60		40		60		60	
E100 v%,min	46		51		46		46			
E150 v%,min	75		80		75		75			
ベンゼン v%,max	2		1		1		1		1	
芳香族 v%,max	45		35	30	42	35	35	30	42	35
オレフィン v%,max	18		10		18		14		18	
硫黄分 m%,max	0.02	要低減	0.005	0.003	0.015	0.005	0.015	0.003	0.015	0.015
酸素分 m%,max	2.3		2.7		2.3		2.7		2.7	
軽油										
セタン価 min	51		52	58	51		51	58	51	
密度 kg/m³,max	845		837	825	845		845	825	845	
T95 °C,max	360		350	340	360		360	340	360	
多環芳香族 m%,max	11		6	1	11		11	1	11	
硫黄分 m%,max	0.035	要低減	0.01	0.005	0.035	0.005	0.02	0.005	0.035	0.005

*最終案の2005年の親格の内、硫黄分と芳香族以外は AOP II の結果を見て決定される

無視しており、費用効率が低い。欧州委員会案による業界の設備投資は115億 ECU (ECU は欧州通貨単位、1 ECU=135円とすれば、1.5兆円)、欧州議会案では500億 ECU (6.7兆円) に達する。

- ③ AOP II (現在実施中の AOP 第 2 段階) で実施される自動車・燃料技術以外の環境対策に関する費用対効果の調査結果を考慮すべきである。

- ④ 石油の超低硫黄化は、コストを要するだけではなく、CO₂の大幅排出増加をもたらす。

(c) 閣僚理事会提案

閣僚理事会 (European Council) は、1997 年 6 月、欧州議会の第 2 査読で採択されることを意図して、両者 (欧州委員会、欧州議会) の中間的内容の提案を行なった。

(d) 欧州議会第 2 査読

しかし、欧州議会は閣僚理事会案に満足せず、1998 年 2 月の第 2 査読において、厳しい内容の規格案を採択し、その後最終案に向けての三者 (欧州委員会、閣僚理事会、欧州議会) 間の協議が開始された。

(e) 最終案

三者間の協議の結果、1998 年 6 月 29 日、最終案が発表された。その内容は、表 2 及び次のとおりである。

- ① 規格値は欧州議会案よりやや穏やかになったが、2005 年の規格は目標値 (Indicative) ではなく、強制規格になった。
- ② 2005 年の硫黄分、芳香族以外の規格については、AOP II の結果を見て決定される。
- ③ 2005 年規格の燃料を 2000 年から販売することに対し、各国で税制優遇が検討される。
- ④ 各国は、低硫黄化に際して重大な社会経済的問題があると認められた場合、2000 年につ

いては最大 3 年、2005 年については最大 2 年、低硫黄化に関してのみ実施が猶予される。

4. ま と め

わが国では、昨年 0.05% max への軽油低硫黄化が実施され、現在はガソリン中のベンゼン 1% max への対応が進められている。しかし欧米と同様、更に規格を改訂しようとする動きが見られる。

(a) 軽油低硫黄化

環境庁は、軽油の硫黄分を現行の 0.05% 以下から、10 年程度の猶予期間を置いて 0.005% 程度以下にする内容の規格改訂を進めている。しかし、1998 年 12 月 14 日に開催された中央環境審議会大気部会の段階では、まだ具体的な規制値は答申されていない。

(b) JCAP

2001 年度までの予定で、日本版オートオイル・プログラムが JCAP (Japan Clear Air Program) という名称で実施されているが、この事業の結果によっては、自動車燃料規格に関して新たな改訂が実施される可能性が生じると考えられている。

(c) 低硫黄化に関する議論

自動車業界は、厳しくなる排出ガス規制に対応するためには、新しい排出ガス触媒や新エンジン技術の採用が必要であり、それらの採用のためには燃料の硫黄分を更に低くすることが必要であると主張している。

一方、石油業界は、硫黄分が現状のままでも排出ガスが清浄な車もあり、また硫黄分による排出ガス浄化触媒の被毒は一時的なものであるため、硫黄分が現状のまま排出ガスを清浄にする技術の開発は可能であるはずと反論している。

(d) 自動車業界からの国際統一品質基準に関する提言

米国、欧州及び日本の自動車工業会は、1998年6月4日、共同で自動車燃料の国際統一品質基準に関して提言を行なった。運転性向上と排出ガス低減のためには、燃料品質を国際的に均一化することが必要と指摘し、排出ガス規制の程度に応じた3つのカテゴリー別に品質基準を示している。カテゴリー3は、排出ガス規制が現状より更に厳しくなった場合の品質基準で、その内容の一部を表3に示すが、特に軽油の硫黄分は、非常に厳しいレベルになっている。

(e) 各国石油業界の反論

この提言に対して、各国の石油業界はそれぞれ自動車工業会に意見書を提出して反論しているが、わが国でも石油連盟が日本自動車工業会に対して、1998年9月3日、以下の趣旨で意見書を提出している。

- ① 石油業界は、環境問題解決のため燃料品質改善に積極的に取り組んでいる。
- ② 都市環境問題の要因は各国において異なる

ため、世界一律の燃料性状標準化には問題がある。

- ③ 両業界協力のもとに JCAP を実施しているなかで、燃料品質期待値を一方的に発表することは、JCAP の基本的考え方に反する。
- ④ 両業界は、新技術の見通しを明らかにするなど相互理解と情報開示を通じ協力した議論を行ない、消費者・国民にとっての最も適切な環境対策の選択を心がけるべきである。

5. おわりに

まえがきで述べたように、自動車からの排出ガスの一層の低減が強く求められているが、そのために採用される自動車技術の中には、燃料品質に影響されるものがある。

一方、燃料規格を厳しくすると、ガソリンや軽油の対原油得率が低下するため、石油資源活用の面からも問題であり、また精製過程における CO₂ 排出量が増加するという問題もある。

つまり、燃料品質規格の改訂には、プラス面とマイナス面がある。従って、規格改訂の検討に際しては、自動車及び石油両業界を含めて実施の必要性ならびに規格値に関して十分に議論することが強く望まれる。

参 考 資 料

- (1) 自動車排出ガス規制及び燃料規格 (CONCAWE, 1996)
- (2) Octane Week誌(1998)
- (2) ペトロテック誌, 20(6)
- (4) JIS自動車ガソリン
- (5) JIS軽油ガソリン
- (6) European Fuels News誌 (1998)
- (7) Oil & Gas J.誌(Jan.5, 1998)
- (8) Diesel Fuel News誌 (1998)
- (9) 毎日新聞 (1998年6月1日朝刊)
- (10) JAMA News JNL-98-02

表 3 自動車工業会自動車燃料
国際仕様案 (カテゴリー3, 部分)

国 際 仕 様			
ガ ソ リ ン	ベンゼン	v%, max	1
	芳香族	v%, max	35
	オレフィン	v%, max	10
	硫黄分	m%, max	0.003
軽 油	セタン価	min	55
	密度	kg/m ³ . max	840
	T95	℃, max	340
	多環芳香族	%, max	1
	硫黄分	m%, max	0.003

三菱重工業 株式会社

今回私たち（姫野，高部）は，秋田県にある三菱重工業（株）田代試験場を訪問し，WE-NETの水素燃焼タービン試験設備とロケットエンジン燃焼試験を見学してきました。

《水素燃焼タービン》

☆「螢の光，窓の雪」の時代に戻るかも☆

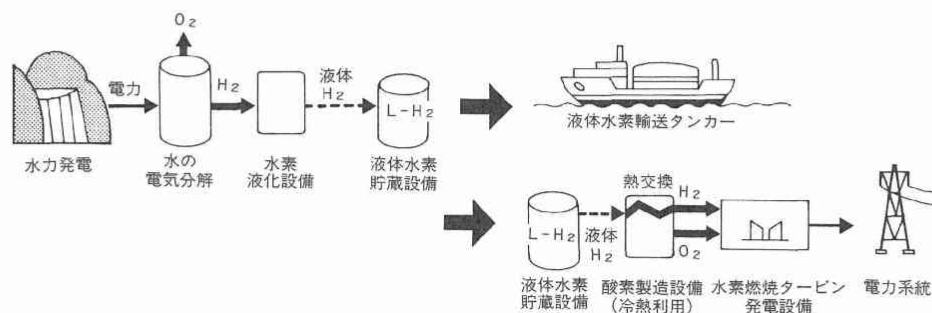
いま，火力発電所で使用している燃料の寿命は石油が45年，天然ガスが68年，原子力発電のウランでさえも74年。石炭は枯渇まで200年を超える余裕はありますが，二酸化炭素（ CO_2 ）排出による地球環境問題があつて存分には燃やせません。枯渇が見えてくれば，資源産出国は何年も前から国外に売らなくなるでしょう。となると，21世紀の半ば過ぎには，今のように気ままに電気を使えるのでしょうか。

「何も手を打たなければ，読書するにも『螢の光，窓の雪』の時代に戻るかもしれません」

これは，三菱総研相談役の牧野昇さんが，正月の新聞紙上に，ジョークの形で鳴らされた警鐘です。

☆WE-NETプロジェクトとは☆

「WE-NET（水素利用国際フリース・エネルギー・システム技術）」とは，このように深刻化が予想される将来のエネルギー事情に備えて，1993年より国が展開している長期の研究開発プロジェクトです。



WE-NET液体水素システム概念図

田代試験場

IAE女性研究員取材チーム

ここで画かれている構想は、未利用のまま世界に豊富に存在する水力資源より発電した安い電力により、無尽蔵ともいえる水を電気分解して水素をつくる。これを、液体水素など輸送の容易な形に変換して海上輸送し、輸入する。国内で電力にするには、このプロジェクトで開発する「水素燃焼タービン」を使って発電しようというものです。

☆水素燃焼タービンの研究開発☆

今回訪問しました田代試験場では、WE-NET研究開発の「水素燃焼タービン」に関する水素酸素燃焼器とタービン翼の要素技術試験を行っていました。

エンジン・機器部の深堀課長にお話を伺いました。

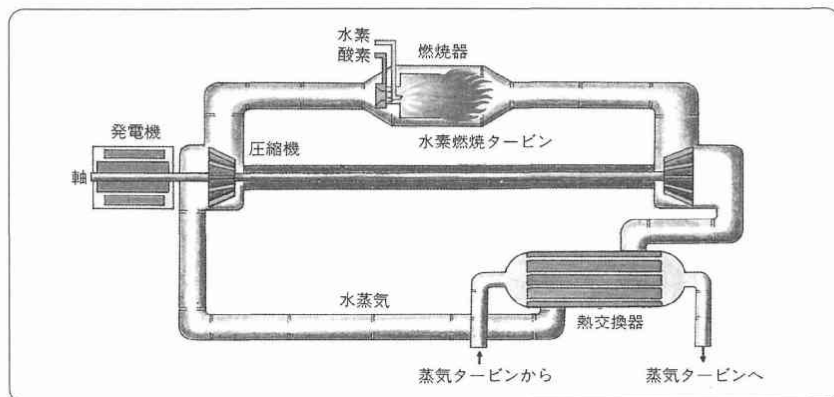


説明いただいた深堀課長

Q1. 「水素燃焼タービン」とは、どんなものですか？

A1. 水素燃焼タービンは、空気を用いず純酸素と水素を燃焼させ、発生する高温水蒸気を作動媒体としてタービンを駆動するものです。

このシステムの優れた特徴は、生成物として排出するのは水のみで、公害の源となるCO₂、NO_xの排出はゼロ。環境に対して極めてクリーンなことです。



出所：NEDO

水素燃焼タービンのモデル図

Q 2. 開発の目標は？

A 2. 発電効率61.8%という高効率の無公害タービンです。

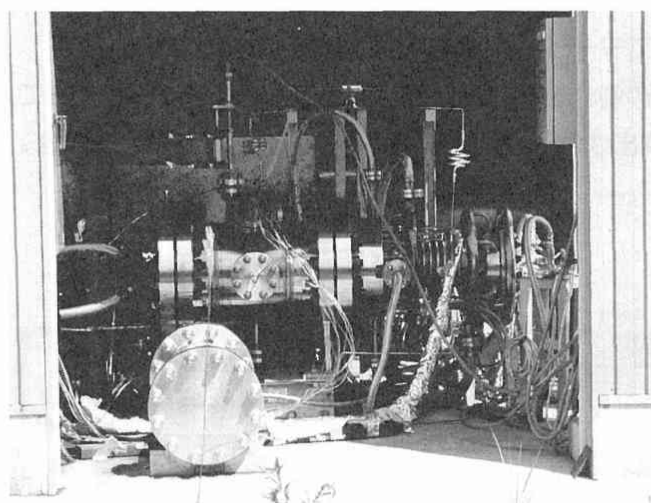
一般に、タービンは燃焼ガスを高温にしますと効率が上がるのですが、現在商業運転中のLNG/空気燃焼のシステムはオープンサイクルですので、燃焼ガスを高温にしますと、排出するNO_xが急増します。このため、タービン入口温度（燃焼温度）を1500℃以下に制限しており、発電効率は50%前後にとどまっています。

この壁を破るのがWE-NETで開発中の1700℃の高温ガスを使用する「水素燃焼タービン」なのです。

Q 3. 田代での水素燃焼タービンの試験では、どのようなことをやっていますか？

A 3. 一つが、タービン入口にある水素酸素燃焼器の燃焼試験です。水素と酸素をそのまま燃焼させますと、3000℃に及ぶ高温になり、これでは燃焼器やタービン翼の材料がもちません。水蒸気を噴射、混入させて計画温度の1700℃にするのですが、水素・酸素・水蒸気を噴射するバーナーやノズルの構造、燃焼器壁面の冷却方式を変えて、水素、酸素の燃焼状況や燃焼器の温度分布を調べ、最適な燃焼器を選定するための試験をやっています。

もう1つが、タービンの翼列試験です。タービン翼の部分を取り出して、それに1700℃の燃焼ガスをあててみて、各種冷却構造と伝熱・冷却特性の関係を調べ、高温条件下での構造健全性の確認を行っています。



燃焼器の燃焼試験装置

Q 4. 燃焼試験は、実際に燃えているところを見るのですか？

A 4. 燃焼器の中の状態は、内部の各所に設定してある温度計や圧力計、あるいは、水素や酸素の流量計、燃焼ガスのサンプリング分析などによって調べます。

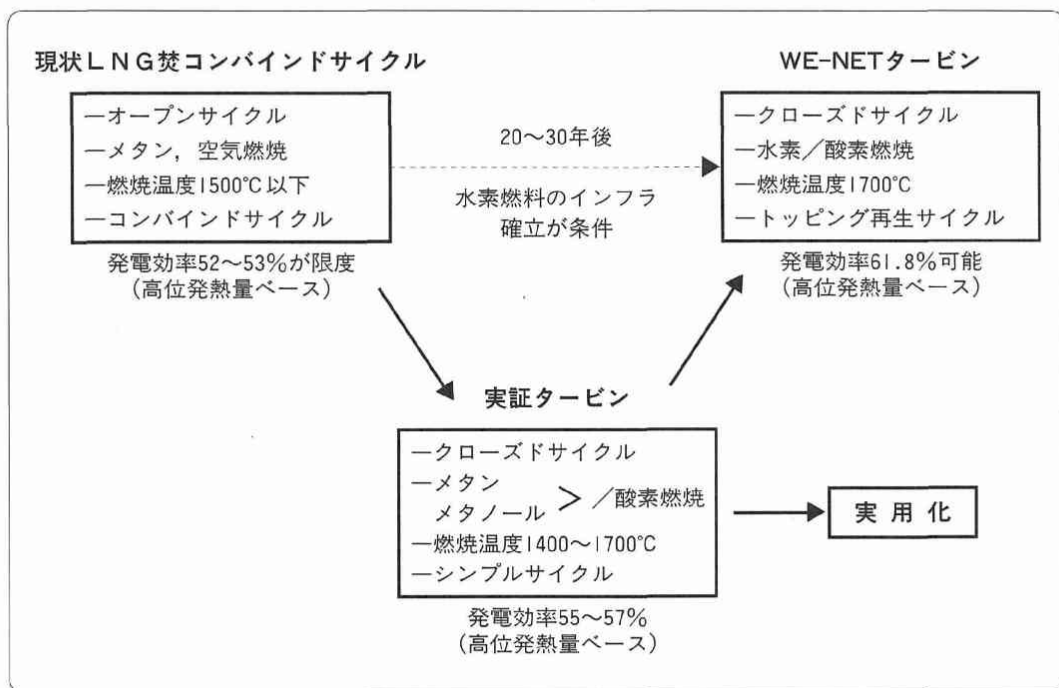
試験中、これらの全てのデータは、少し離れた制御室でオンラインで見ることができます。

Q 5. この研究開発は、今後どのように進められるのでしょうか？

A 5. 「水素燃焼タービン」は、将来、水素エネルギーの供給体制が世界的規模で確立された場合に、高効率で無公害な発電設備として、大々的な普及が見込めるものです。

それまでの間でも、メタンまたはメタノール等の市場性のある燃料が使え、現状のLNG焚コンバインドサイクルを超える高効率システムとして商業化が期待できます。

1999年度から始まるWE-NET研究開発の第2期計画では、第1期で開発した水素燃焼タービンサイクルおよび要素技術を天然ガスに適用した「CO₂回収対応クローズド型高効率ガスタービンの研究開発」に引きつがれる計画と聞いています。



現状のコンバインドサイクルからWE-NETタービンへの位置付け

このようなお話を伺って、WE-NETの研究開発が、後世へのプラスの贈り物として成功するよう祈る気持ちで一杯でした。

《ロケットエンジン燃焼試験》

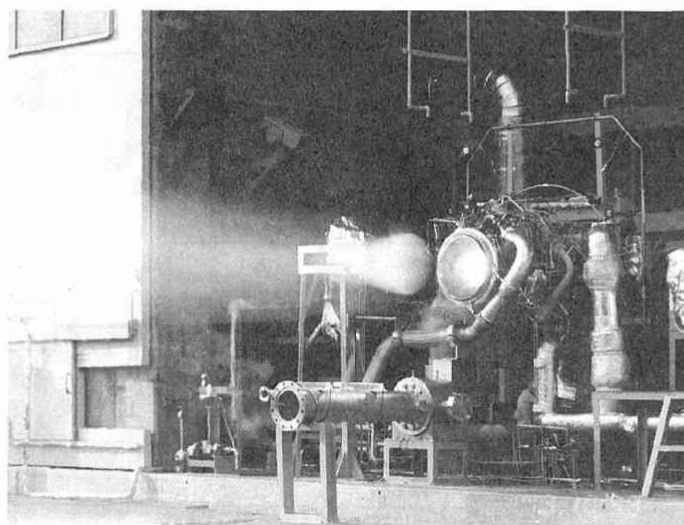
☆興奮と感動の310秒☆

10月22日午後2時。秋空のもと、空気は澄み渡り、辺りはし〜んと静まり、山間にこだまするロケットエンジン燃焼試験最終確認のアナウンス。一般通行は遮断され、関係者はコントロールセンターで見守ります。

私たち見学者が400m程離れた高台の林道から見つめる中、午後2時6分過ぎ、「15秒前…、5秒前、4、3、2…」のカウントダウン。

「カチッ。プシュッ。」すると「ゴォーツ」という大きな音とともにオレンジ色の炎が吹き出すのが見えます。424回目のロケットエンジン（LE-5B）燃焼試験が始まりました。オペラグラスで見ると噴射口付近の青い炎もかすかに見えます。本当にものすごいといしか言いようのない爆音です。耳が、全身が、音で震えます。時折変わる風向きで音はより激しさを増し、からだごと吹き飛ばされそうです。

そして、ただただ驚き、見つめているうちに「シュー」と言い残し、燃焼試験は無事終了しました。その直後の私たちは言葉も出ません。あっという間の310秒。興奮と感動の310秒でした。



LE-5Bエンジン燃焼試験

☆ロケットの安全な飛行をめざして☆

エンジン・機器部の稲川主査にお話を伺いました。

Q1. ロケットは、いまどのように使われているのですか？

A1. お茶の間のテレビに登場する気象衛星「ひまわり」からの天気図は、私たちが毎日の予定を決めるに重要な情報を与えてくれます。また、テレビ中継や海外ニュースを伝えてくれる通信衛星も居ながらにして国内や世界各地の模様をリアルに知らせてくれます。

このほか、地球観測衛星「ランドサット」、資源探査衛星「ふよう」などは、地球のグローバルな環境や資源の情報を美しい画面にして教えます。

ロケットは、このように、現在の生活や科学・技術に欠かせぬ有用な情報をもたらす人工衛星の打ち上げという、大変重要な役割を果たしています。



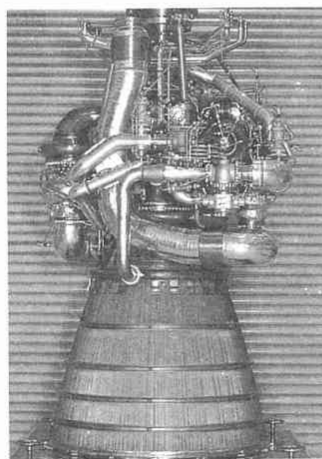
お話を伺った稲川主査

Q2. わが国のロケットの開発は、どのように進められてきたのですか？

A2. わが国では、アメリカのロケットを国産化したNシリーズからスタートし、ついで2段目以降を国産化したH-Iロケットに進みました。

次のH-IIロケットは、それまでの技術を集大成したのもので、純国産の大型衛星打ち上げ用です。2段推進式で、国産の液体水素酸素エンジンであるLE-7とLE-5(LEは、宇宙開発事業団がつけているLiquid Rocket Engineの略称)を使用しています。全長49M、重さ260トンで、地球低軌道に約9トン、静止軌道に2.2トンの打ち上げ能力があります。

さらに、現在は宇宙開発の幅広いニーズに対応するためH-II Aの開発へと進んでいます。



宇宙開発事業団提供

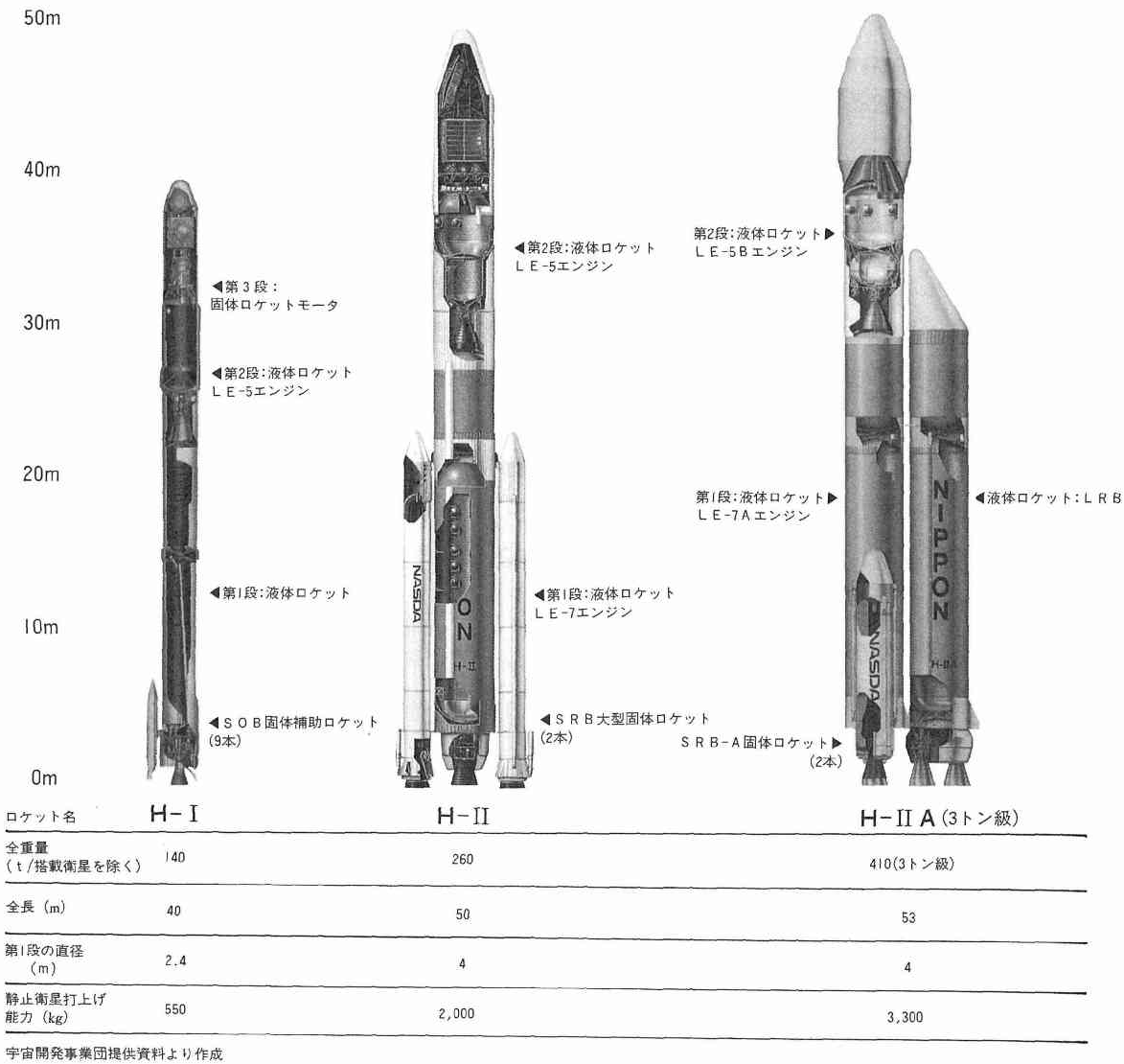
LE-7 エンジン

Q 3. 田代試験場所では、今までにどのような試験をやってきましたか？

A 3. 田代には、第 1，第 2 の 2 つの試験場があります。

第 1 試験場は、N-I ロケットに使用された第 2 段エンジン「LE-3」のために開設されましたが、現在はその使命を終え、主としてWE-NETの試験を行っています。

第 2 試験場は、H-I ロケットの第 2 段エンジン「LE-5」の開発に向けてつくり、液体酸素、液体水素を使用した日本初の本格的試験設備でして、昭和53年から稼働しました。

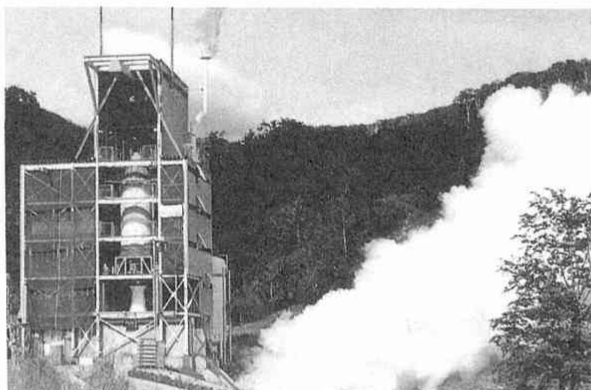


開発されたロケット(代表例)

試験用のスタンドには、エンジン単体の試験を行うエンジン・テスト・スタンド(P.78の写真)と、エンジンとロケットの機体を結合して、ロケットシステム全体を試験するステージ・テスト・スタンドの2種類を備え、2段階の試験を行っています。

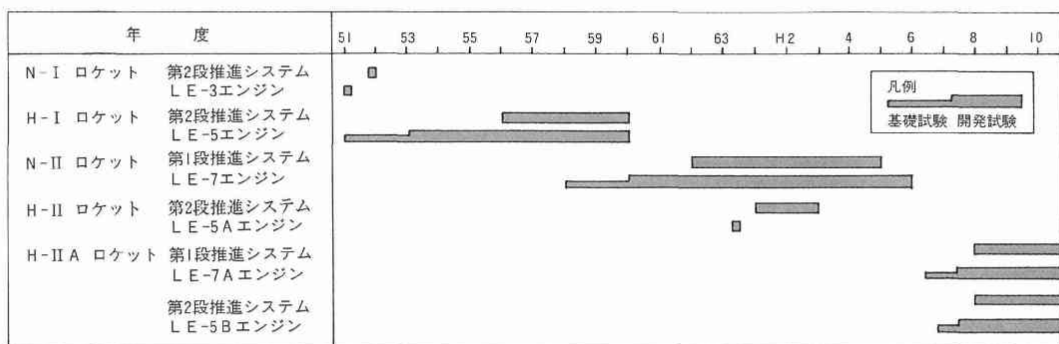
その後、昭和62年には、H-IIロケットの第1段エンジン「LE-7」用の試験設備が増設されました。

現在は、H-IIAロケットの第1段エンジン「LE-7A」を機体に組み合わせた試験と、同ロケット2段目の「LE-5B」の試験が平行して行われています。



第2段推進システム用ステージスタンド

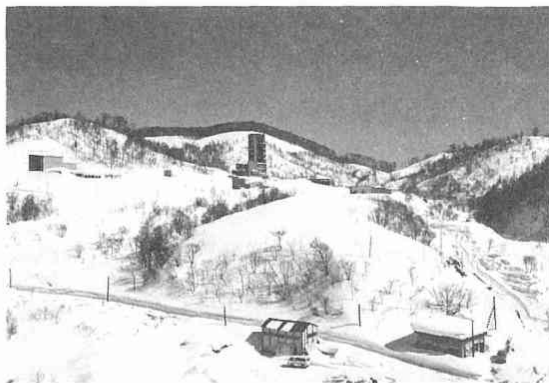
試 験 年 表



Q 4. なぜ田代にロケット試験場があるのでしょうか？

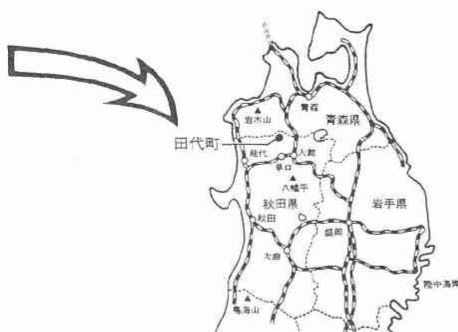
A 4. エンジンテストを行いますと、四周にものすごい音響を放ちます。また、万一事故が発生したとき、周辺地域に被害を及ぼさないためにも、十分な隔離の距離が必要です。

そのため、アメリカのケネディ・スペースセンターで採用している基準を参考にして、国内各地を探しました。長崎の島、岡山の山中、青森の下北半島の付け根あたりも候補に上がりましたが、最終的には、田代の山中に設けることになりました。



宇宙開発事業団提供

冬の田代試験場



Q 5. ひとつのエンジンが、田代の試験を経て種子島の打ち上げまでに、どれくらいかかるのでしょうか？

A 5. 開発が始まって打ち上げまでには、およそ10年ほどかかります。その間、通常200～300回の試験があるのですが、今回の試験は「LE-5B」関係で、424回目です。開発が終了するまであと数十回試験があります。

種子島の打ち上げには、事故が発生しないよう万全のテストと準備を終えて臨みますので、田代での試験により設計の問題が無いことを確認した後、改めて最終設計によるエンジンをつくり、3回ほど確認試験を行って始めて種子島へ送ることになります。



宇宙開発事業団提供

種子島での打上げ

Q 6. ロケットの開発は、今後どのような方向に進むのでしょうか？

A 6. わが国は、1996年にH-IIロケット実用機の打ち上げに成功し、技術的に世界のトップレベルになりました。現在、打ち上げコストの大幅ダウンを目指してH-IIAの開発を推進中です。日本のロケットの信頼性の高さに、すでに世界からかなりの数の衛星打ち上げ予約がきています。

具体的には、H-IIAロケットの1号機は、2000年に、欧州宇宙機関（ESA）の大型通信衛星「アルテミス」（重量約2～6トン）の打ち上げを受注しており、また世界最大の衛星メーカーのヒューズ社およびローレル社より各10機の打ち上げ予約もきている状況です。

私たちは、ロケットの安全な飛行を目指して、今後も開発の推進に、出来る限りの貢献をしていきたいと思っています。

☆取材を終えて☆

壮大なロケット発射の蔭に、ここ田代で行われているような地道でしかも大規模な試験が着実に行われ、その成果が逐一反映される様子を伺うことができ、あらためて試験研究の役割、重要さを認識しました。

WE-NETの燃料もロケット燃料も、水素と酸素。燃焼させても水しか発生させないクリーンなエネルギーです。田代試験場でさらに試験研究が積み重ねられ、クリーンなそして頼もしいエネルギーとして将来きっと活躍することでしょう。

最後になりましたが、宇宙機器部の大本課長、また試験直前のお忙しい中にも係わずご案内いただいたエンジン・機器部の深堀課長、稲川主査には大変お世話になりました。今回の取材を快く迎えて下さった皆様に厚く御礼申し上げます。



田代試験場入口にて（姫野，高部）

研究所のうごき

(平成10年10月1日～12月31日)

◇ 第4回賛助会員会議

日 時：11月11日（水）15：00～18：00

場 所：経団連会館（9階）クリスタルルーム

議事次第：

1. 平成9年度事業報告および収支決算
2. 平成10年度事業計画および収支予算
3. 講演
「21世紀のエネルギーと関連の課題」
(勸エネルギー総合工学研究所 理事長
秋山 守)

◇ 月例研究会

第162回月例研究会

日 時：10月30日（金）14：00～16：00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 石炭水素添加ガス化技術開発
—ARCHプロセスの要素技術開発について—
(勸日本ガス協会 石炭SNG開発プロジェクト部長 伊藤一男氏)
2. 燃料電池用石炭ガス製造技術の開発
(新エネルギー・産業技術総合開発機構
クリーン・コール・テクノロジー・センター
主査研究員 小川和弘氏)
(電源開発㈱ 若松総合事業所 若松石炭炭利用技術試験所 ガス化グループ 課長
辻口 聡氏)

第163回月例研究会

日 時：11月27日（金）14：00～16：30

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 高レベル放射性廃棄物地層処分の背景と最近の話題について
(プロジェクト試験研究部 部長補佐・主任
研究員 蛭沢重信)
2. ドイツ、フランス、スイスおよびスウェーデンの原子力発電に係る最近の状況
(スイス・コレンコ社 ビジネス・セールスマネージャー ヤン・コツレック氏)

第164回月例研究会

日 時：12月18日（金）14：00～16：00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

1. 社会的なひろがりを見せる「蓄熱技術」の取り組み
(東京電力㈱ 営業部 DSM調査グループ
マネージャー 鎌倉賢司氏)
2. キャパシタによるエネルギー貯蔵
(プロジェクト試験研究部 部長補佐・主任
研究員 蓮池 宏)

◇ 主なできごと

10月1日(木)・第4回原子力技術開発政策に関する検討会

5日(月)・第1回レーザー濃縮外部評価委員会

7日(水)・第1回超重質燃料油利用技術調査委員会

13日(火)・第1回夜間電力需要動向分析調査委員会

14日(水)・第2回高効率発電技術調査委員会
・第5回WE-NET研究リーダー会議

16日(金)・第1回むつ小川原クリーンエネルギープロジェクト検討委員会
・第2回レーザー濃縮外部評価委員会

20日(火)・第1回PLM(II)検討委員会
23日(金)・第1回民生用電力需要動向分析調査委員会

・第3回IPCC第三次評価報告書に関する国内委員会

28日(水)・第5回原子力技術開発政策に関する検討会

11月4日(水)・第1回HLW処分社会受容性形成プロセス委員会

6日(金)・第2回バイオマス利用によるCO₂リサイクルメタノールシステムの評価に関する調査委員会

10日(火)・第6回原子力技術開発政策に関する検討会

11日(水)・第3回高温ガス炉プラント研究会

17日(火)・第3回レーザー濃縮外部評価委員会

11月18日(水)・第1回高温ガス炉検討会
 ・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
 20日(金)・第1回WE-NET第II期基本計画原案に関わるヒアリング
 25日(水)・エネルギー経済環境予測検討委員会
 ・第6回WE-NET研究リーダー会議
 26日(木)・第2回電力負荷平準化用キャパシタシステム実証調査作業会
 27日(金)・第2回WE-NET第II期基本計画原案に関わるヒアリング
 12月1日(火)・第3回WE-NET第II期基本計画原案に関わるヒアリング
 ・第2回PLM(II)検討委員会
 2日(水)・第1回資源リサイクル委員会
 ・第4回WE-NET第II期基本計画原案に関わるヒアリング
 4日(金)・第5回WE-NET第II期基本計画原案に関わるヒアリング
 ・第2回含酸素軽油の開発可能性に関する調査委員会
 7日(月)・第1回熱化学的ソーラハイブリッド燃料生産システムの開発研究に係わる調査委員会
 9日(水)・第2回超重質燃料油利用技術調査委員会
 ・第2回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
 10日(木)・第2回産業構造変化の電力需要への影響分析調査委員会
 11日(金)・第2回低品位炭改質技術に関する調査委員会
 14日(月)・第3回バイオマス利用によるCO₂リサイクルメタノールシステムの評価に関する調査委員会
 ・第7回原子力技術開発政策に関する検討会
 ・第3回BWRサブチャネル解析コード(NASCA)のポスト沸騰遷移への適用性の研究委員会
 15日(火)・第1回システムニーズ・評価委員会
 16日(水)・第2回WE-NET全体システム概念設計-安全対策・評価技術WG

会議
 ・第2回HLW処分社会受容性形成プロセス委員会
 17日(木)・第2回むつ小川原クリーンエネルギープロジェクト検討委員会
 18日(金)・第7回WE-NET研究リーダー会議
 ・第4回高温ガス炉プラント研究会
 21日(月)・第2回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会
 ・第1回発電用新型炉ブルトニウム等利用方策開発調査委員会
 22日(火)・第1回高温ガス炉検討会

◇ 人事異動

○11月1日付
 (採用)
 遠藤 肇 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○11月30日付
 (出向解除)
 永森 茂 (プロジェクト試験研究部 主管研究員)

○12月1日付
 (採用)
 松尾和芳 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○12月31日付
 (退職)
 和達嘉樹 (プロジェクト試験研究部 専門役)
 (出向解除)
 千葉勝司 (プロジェクト試験研究部 主任研究員)

編集後記

巻頭言は、(社)日本建設業団体連合会副会長 柳 晃氏(当所非常勤理事)にご執筆いただいた。厳しい状況の昨今下において普段思っておられるエネルギー問題への感想を隠し文字等を使いユーモアを交えて述べられている。

理事長対談は、昨年6月通産省資源エネルギー庁長官官房審議官として就任された佐々木宜彦氏にご登場いただいた。当季報刊行上の慣例に従い新審議官にご登場いただいているわけであるが、2010年あるいは21世紀を睨んでの資源・エネルギー行政の概要、重点課題、あるいは将来の社会に対する両氏の思い入れも紹介されており、現在のエネルギーと環境問題の総括としてもお読みいただけるのではなかろうか。

関連施策紹介では、通産省機械情報産業局自動車課課長補佐都築直史氏に「自動車を巡る環境・エネルギー問題と政策展開」というテーマで寄稿いただいた。昨年8月当所月例研究会で講演いただいたものを、同テーマの重要性に鑑み最新情報も加味して文章化願ったものである。

所内の研究成果は、先ず和達嘉樹氏、田村稔二氏、および東京大学名誉教授小島圭二氏の共同執筆による「TRU廃棄物中深地層処分の可能性に関する考察」は、従来の当季報からするとやや学術的色彩の濃い内容のものとなったが、原子力の重要問題とされる放射性廃棄物中のTRU廃棄物処分に係わる検討例として紹介したものである。その他は、仁科恒彦氏の「自動車燃料の品質動向」、広瀬八州男氏の「土木建築用骨材への石炭灰有効利用技術について」、伊久美早利氏の「電気2重層キャパシタによる電力貯蔵技術」といづれも昨今注目のテーマであり、それぞれの調査研究の成果から概要を紹介したものである。

本号の女性研究員訪問記は、三菱重工業(株)田代試験場の訪問記である。当所は同所で試験されているWE-NET水素燃焼タービン研究に関係しているが、今回訪問時にはロケット燃焼試験状況も見学することができた。強烈な水素燃焼試験の印象とともに華やかなロケット打ち上げの裏にたゆまず続けられる関係者のご努力を知り感動した様子が伺える。

さて、毎日新聞が暮れに行った「2010年の日本」全国世論調査によればその頃予想される世界の最大の問題としては「高齢社会」(27%)と「環境」(26%)がほぼ拮抗した形で1, 2位をしめ、3位以下(3位「資源エネルギー」(9%), 4位「戦争」(8%), 「食料」(8%), 5位「経済摩擦」(5%)...)を大きく離している(平成11年1月4日「毎日」)。そのうち「環境」をやや詳細に見ると、同問題は前回(94年12月)より5ポイント増え、性別では女性(27%)の方が男性(24%)より高く、年代別では30~40代では約30%, 20代では約40%と若いほど問題意識が高いことも示されている。これに、3位ではあるが「資源エネルギー」問題は今や環境問題と密接にリンクしているので、これらを「環境関連問題」として取りあげると、実に約35%の人が環境を心配していることになる。これをどう解釈するかは議論が別れるところであろうが、本問題の研究に携わるものにとって重要テーマにあずかる上での励ましとするか、関心の高さは言い換えると過大の心配を持たれる危険性も秘めたものであり、情報発信のバランス感覚の重要性を思う機会とするか、年の始めに一つの素材を提供されたといえるのではなかろうか。

小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第21巻第4号

平成11年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社