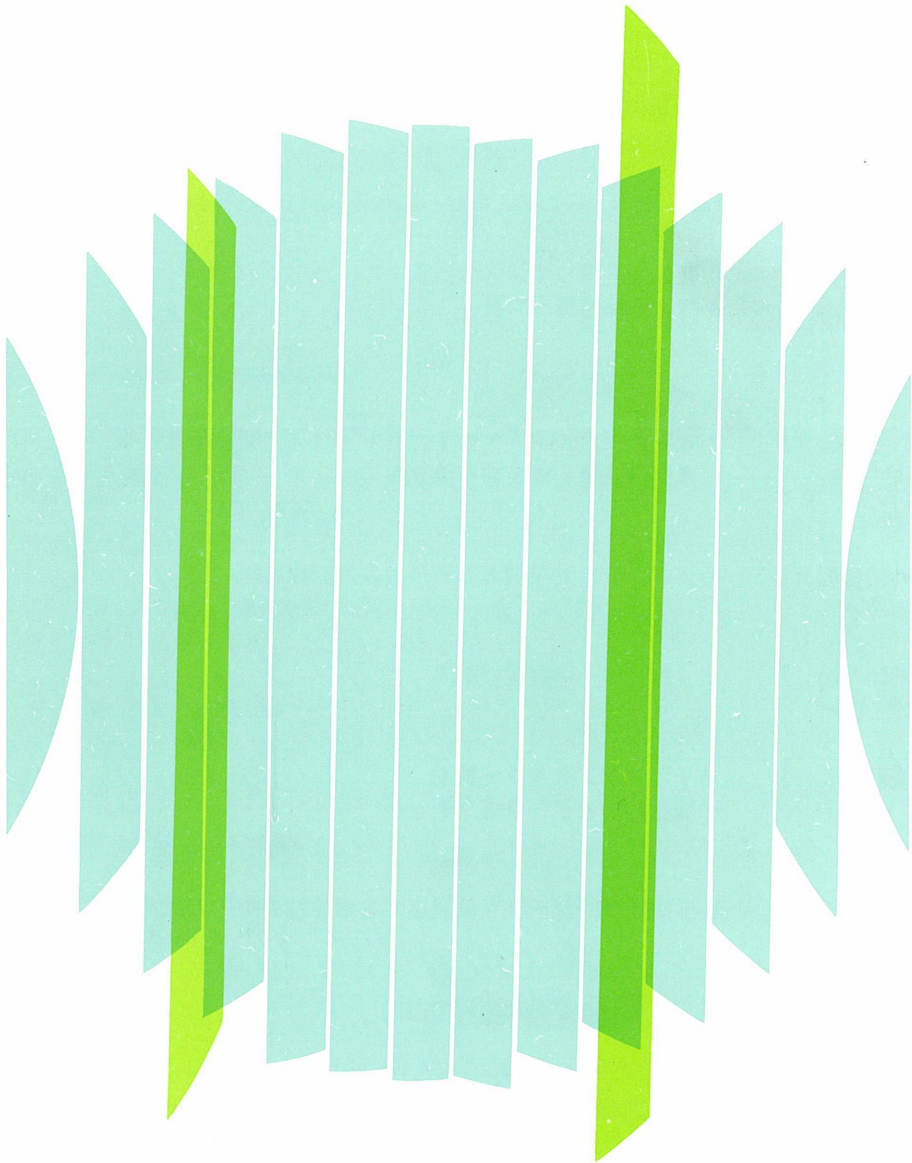


季報 エネルギー総合工学

Vol. 24 No. 4 2002. 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】	共生の時代におけるIAEへの期待 東京大学大学院工学系研究科教授 近 藤 駿 介 …1
【対談】	21世紀におけるエネルギー —危機管理の視点から— 軍事アナリスト 小 川 和 久 (財)エネルギー総合工学研究所 理事長 秋 山 守 …3
【内外情勢紹介】	保障措置をめぐる最近の話題 —統合保障措置への道— 日本原子力研究所 監事 内 藤 香…29
【内外情勢紹介】	わが国のエネルギー・原子力セキュリティ問題を考える —米同時多発テロ事件を踏まえて— 日本原子力防護システム㈱ 理事・業務部 部長 伊 藤 正 彦… 40
【内外情勢紹介】	持続的発展に効果のある原子力の放射線利用 (社)日本原子力産業会議 常務理事 町 末 男… 56
【内外情勢紹介】	第4世代原子炉開発の動向 プロジェクト試験研究部 部長 松 井 一 秋…68
【調査研究報告】	バイオマスエネルギー技術 —開発動向とケーススタディー— プロジェクト試験研究部 部長 内 田 洋 …80
【内外情勢紹介】	WE-NETプロジェクトに関連する海外技術開発の動向 WE-NETセンター 主管研究員 緒 方 寛… 90
【内外情勢紹介】	欧米における自動車燃料の動向 副主席研究員 仁 科 恒 彦…105
【訪問記】	三菱重工業㈱ 長崎研究所 IAE女性研究員取材チーム…114
【研究所の動き】	……………122
【編集後記】	……………124

巻頭言

共生の時代における I A E への期待

東京大学大学院工学系研究科教授

近 藤 駿 介



最近、エネルギー政策の議論に“共生”という言葉がしばしば登場する。これは、エネルギー施設が地域社会に快く受け入れられる状態をいかに実現するか、人々の関心が集まっているからである。

この状態は、漢字を使って相互裨益の関係とか、米国人流にウィン・ウィンの関係とか、フランスで左派の大統領に対して右派の首相が誕生したときに使われたコアビタシオン（“共存”と訳されたが“同棲”という方が本当らしい）関係とも表現できようが、敢えて“共生”という生物学用語を使っているのが日本的なのであろう。しかし、それゆえに、この語には有機的関係が含意されているとし、原子力施設の場合には、地域社会との間にそうした関係が成立する手がかりはないという批判がなされることもある。

ところで、この“共生”なる語はこれまで、一方の当事者である地域社会を、特定の帰属意識を有していて、自身の政治的自立性と文化的独自性を追求する1つのコミュニティと解して、それとの2者関係を念頭において使われてきていると考えるが、最近、ネットワーク社会と形容される現代社会においては、個人や組織が地域を超えた広い空間に關係の紐帯を見出しているの、コミュニティなるものも地域空間から解放され、拡散してきているとの指摘がなされている。その結果、コミュニティの最小単位であり、かつ、共生關係の代表のように見える夫婦關係についても、夫及び妻がそれぞれに形成している社会的ネットワークの広がり、と重なり具合によって、夫婦の共同作業が中

心となる（共同作業を行わざるを得ない）合同的タイプと、共同することが少なく各々が別々の行動を取る分離タイプに分類できるという。もっとも、この場合、夫婦関係のタイプが所帯外ネットワークの相関を決定しているのか、それぞれの社会的ネットワークの相関が夫婦関係のタイプを規定しているのかが気になるが、分析によれば、夫婦間に課題が多い場合には、前者の方が正鵠を得ており、夫と妻それぞれの関心事項が居住地域内に留まらない場合には後者が妥当するということである。

この最近の知見に基づけば、産業施設と地域社会の“共生”関係の充実・強化を図るためには、当該2者間の関係だけではなく、それぞれの持つ社会的ネットワークもこの観点から整備・充実する必要があることになる。つまり、共生関係が、2者の相互裨益関係のみならず、それぞれのもつ社会的ネットワークにも規定されるのであれば、望ましき共生関係の追求は、それを社会的ネットワークの中に展開して捉えた上でなされる必要があるのである。最近“共生”に関して強調される生産地と消費地の対話の必要性も、この知見からすれば、ごくあたりまえのことかもしれない。

エネルギー総合工学研究所（IAE）は、設立以来、エネルギーの安定供給の確保に資する社会の技術選択に、工学の観点から貢献することを目指してきているが、社会をこのように複雑系として把握すべき現代である。その社会的使命をより効果的に果たしていくため、IAEは、こうした社会科学分野のシステム分析能力も充実してその成果を発信していかれるよう希望したい。

21世紀におけるエネルギー

— 危機管理の視点から —

小川 和久 (軍事アナリスト)

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 自己紹介を兼ねまして、軍事評論家になられた経緯や、その後のご活躍の様子を簡単にご紹介お願いいたします。

小川 私が軍事の世界に入ったのは偶然なんです。戦前から家の周りに外交官が多かったものですから、中学校3年まで外交官になる

小川和久氏 略歴

1945年(昭和20年)熊本県生まれ。1963年(昭和38年)陸上自衛隊生徒教育隊・航空学校修了。1971年同志社大学神学部中退。「日本海新聞」記者、「週刊現代」記者を経て、1984年に日本初の軍事アナリストとして独立。危機管理に関し、政府への助言、テレビ出演などで活躍。人事院公務員研究所講師、自由民主党総合政策研究所政策委員なども務める。

『危機と戦う』、『へりはなぜ飛ばなかったか』、『LA危機管理マニュアル』、『戦艦ミズーリの長い影—検証・自衛隊の欠陥兵器』、『頭脳なき国家の悲劇』など著書多数。

つもりでいました。ある国立高校にも合格したんですが、実家が『斜陽』の典型で、私の中学卒業と同時に親が病気になってしまいましたし、家が破産してしまいました。人様から援助を受ければ高校、大学に行けたんですが、親まで面倒を見られるということは潔しとしない。それで15歳で自衛隊に入ったわけです。だから高校は通信教育で出ました。そのうちに、自分が一番関心のある分野がたまたまキリスト教の精神世界でしたので、それを勉強して、同時に将来教授になりたいと思いました。その希望をかなえてくれると約束してくれたのが同志社大学神学部でした。

ただ、そんな約束で入ったものの、すぐ教授会とけんかして、授業料を払わなかったら除籍になりました。除籍と時を同じくして、鳥取の地方紙「日本海新聞」にたまたま拾われまして、そこからスタートしました。

創業 94年目にして日本海新聞が倒産することになり、新しい経営者と相容れないだろうということで昭和50年に東京に出てきました。その時に拾ってくれたのが講談社の「週刊現代」です。そこで足掛け9年、政治問題と社会問題を担当して、84年に独立しました。

軍事を専門分野として選んだ動機は、非常に不純なんです。週刊誌の記者というのは、その週刊誌専属であっても社員ではないんです。ですから休めば収入がゼロです。講談社の社員は編集部の名刺を持っていますが、「週刊現代」記者というのは身分証明書があってもフリーランスであって身分保証はないんです。だから収入も講談社の同じ年の社員より2、3割多く稼がなければいけないぐらいの世界ですし、やはり35歳ぐらいが週刊誌のトップを走る記者のピークなんです。週刊誌の



小川 和久氏

(軍事アナリスト)

世界というのは、週に2日間は完全徹夜です。仮眠もできません。

秋山 そうなんですか。厳しいですね。

小川 だからみんな35歳を意識しながら独立の道を探るわけです。中にはずっと残って収入は減るけれども60歳ぐらいまでやる人もいます。ただ、大部分は35歳ぐらいで独立する。作家になった人もいますし、プロダクションを設立して成功した人もいます。僕はどちらかと言うと専門分野を選んだ方がいいタイプだと自分で思っていました。

取材する立場で見わたしまして、競争相手が少ない分野、立派な方もいらっしゃるけれども、意外と日本で遅れている分野が軍事で、ここだったら僕は飯を食っていけるという自信を持ったんです。自衛隊にいたからということではないんです。

ただ、今になってみますと自衛隊にいた経歴というのはプラスに働きました。同期生たちが將軍、提督になったり、次の陸幕長も同い年の友人です。それはプラスに働いています。

秋山 軍事という言葉ですが、その内容は広

く解釈すべきだと、私は素人ながら思う人間です。結局、最終的にはセキュリティと言いますか、国民が安全に生きていけるため目標に向かってあらゆる手段、施策などのリソースを投入していく総合作戦が「軍事」という言葉の背景にあると推察いたします。先生が軍事にご関心をお持ちになったのは、そうした広い背景認識を持たれてのことだと拝察いたします。

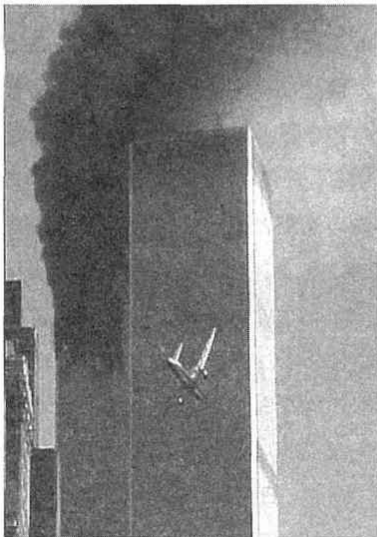
小川 いや、それほどではないんです。ただ、本当にその辺は自分に向いていた部分もあったと思います。1つだけ、冒頭ですから強調させて頂きたいのは、僕はよく「日本で初めての軍事アナリストだ」と紹介されるんですが、これは事実です。独立する時、普通は「軍事評論家」と名乗ります。ただ、「軍事評論家」という肩書きがある国は後進国なんです。つまり、軍事は評論の対象ではないんですね。国民の生命・財産にかかわる話ですか

ら、客観的なデータをもとに分析する対象です。ですから英語圏ではミリタリーアナリストしかいないし、ロシア語もそれに相当する言葉です。日本の議論が非常に科学的でないのは、やはりこういう肩書きがまかり通っていることに表れているということで、自ら名乗る場合はずっと「軍事アナリスト」で通してきています。ようやく認知されるようになりました。

世界情勢と日本の動き

その根源を押えることが必要なテロ対策

秋山 早速本論ですが、世界の情勢は2001年9月11日に起こったアメリカの同時多発テロ事件以来激動しています。



事件直後からの交通規制



自爆テロで崩壊するワールドトレードセンター

世界全体のこれまでの問題の概況についてキーワードで振り返ってみますと、紛争が起る直接原因としての領土問題や民族紛争に加えて、背景となる食糧問題、それから私どもの研究所で取組んでいるエネルギー問題や環境問題、そして人口問題など、いろいろとあります。そうした要因があってテロ、戦争という具体的な形で大きな不安が拡がるのだと思います。

そこで先般の同時多発テロの問題を中心に、それがなぜ起こったのか、起き得たのか、またその後の対応はどうだったのかなどにつきまして、詳しくご解説をお願いいたします。

小川 言葉で言いますと、例えば中国の文化大革命の時に、よく使われた「造反有理」という言葉がありますね。あるいは、「盗っ人にも三分の理」という言い方もあります。つまり、どういう造反にしても常に理由があると言うことです。テロリストにもそれだけの行動をするだけの理由、命をかけるだけの理由がある。テロを正当化するわけではありませんが、それをきちんと押さえながらテロが生まれない背景を探っていく以外に対策はありません。

日本の場合、特に感じるんですが、「日本は法治国家だ」という幻想のもとにありますね。例えば会社で上司が部下に対して相当厳しいハラスメント、いやがらせをします。そのことについて、上司は「こいつがおれを殺す」ということは万に1つもないと思っていて、わりと平気なんです。ただ、それは法律が部下に対して一定の強制力を発揮している場合だけです。相手が法律をまったく無視して、「おれは自分の人間としての尊厳を守るんだ」といって行動した時には一突きで殺されます

ね。

テロリストが行動する場合、その相手は巨大国家、近代社会、あるいは近代文明といったいいかも知れません。今回僕は、文明の衝突的な物の見方は取りませんが、相手にはそれなりの理由がある。そこで、巨大国家の巨大な軍事力、国力に対して彼らが有効な打撃を与えるのはやはり奇襲的なテロしかないわけです。

危機管理には理想の姿を描くことが重要

小川 ここからは危機管理の本論に入ったお話をしなければいけないんですが、原因をなくすための営みはエンドレスでやらなければいけない。それがなくてで幾らテロ対策をやっても意味がないわけです。

秋山 おっしゃるとおり、やはり原因を認識して改善に努めるというところが原点だと思います。ただ、人間がお互いを知れば知るほど、かえってお互いに憎しみも増してくるという、非常に複雑な存在であることを考えますと、結局のところ、ともかくもゴールを目指して努力する、そのプロセスこそが和平につながる1つの光だと思います。必ずしも先が見えない、こうすればこうだという確信は持てないけれども、とにかくゴールに向けて努力するしかないという感じなのではないでしょうか。

小川 常に理想的な着地点を描いて、そこに近づく努力をしていくというのが国際的に通用する考え方です。日本の場合は、「あそこまでいくのは無理だ」とか、「それは理想論だ」とかいって、最初に「この辺が落とし所だろう」と考えて動き始めるから、到達点の点数が低いですね。一番理想を追及するのはアメ

リカです。やはり100点満点を到達点として動き始めますから、結果的に80点以上採る答案が結構多いです。

秋山 先生がおっしゃることから多少それるかも知れませんが、軍事力を使ってでもテロを抑えろというアメリカの大方の世論の中で、別の考えをとる人々もいる。理想主義的にも映りますが、国際協議をベースに平和を目指そうとするグループもいて、ある程度バランスがとれているのが、アメリカが世界で大きな存在である理由だとの考え方のできるのでしょうか。

小川 私どもがアメリカについて語る時、例えば「ニューヨークでも反戦デモがありました」とか、報道されたところに拠っています。日本ではあまり報道されないことで、反戦運動の人たちも含めて一致している価値観が1つあります。それは国際的なルールに沿って物事を解決するためには、一定の強制力が必要だということです。あるルールに沿わせるには若干背中を押してあげたり、ちょっと規制したりしなければいけない。そのために軍事力を使っているわけです。その使い方が少し激し過ぎるという批判は当然ありますが、

強制力が必要ではないという議論はほとんどありません。

ところが、日本の場合、その強制力という概念がないんです。平和維持活動（PKO）だって、あれは強制力の1つなんですね。

危機管理—クライシス・マネジメント

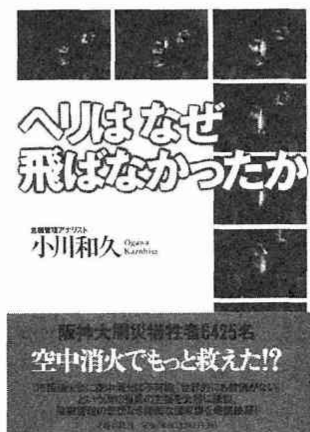
4 要素の同時機能が危機管理の要諦

秋山 それでは早速、最近ハイライトになってきました、危機管理、リスク・マネジメントの話題に移らせて頂きたいと思います。阪神大震災に関する先生のご著書「ヘリはなぜ飛ばなかったか」（98年、文芸春秋社刊）にありました内容を教訓としまして、十分かどうか分かりませんが、危機管理の重要性が広く認識されるようになってきている状況だと思います。

エネルギー問題ですと、ジェー・シー・オー（JCO）臨界事故でもやはり内閣安全保障・危機管理室がある程度その役割を果たしたと考えていますが、まず危機管理の考え方につきまして基本的なところを解説して下さいようお願いいたします。

小川 危機管理は、クライシス・マネジメントという言葉を使った方がいいと思います。リスクはその中に入っているものです。

戦争、大災害、大事故、大事件、すべてひとたび起こると国家を傾けかねない事態です。それに対して、アメリカ的な言い方をすると、4つの要素が常に機能していなければなりません。



① Preparedness (準備)。何が起きても対応できるような準備。

② Damage Control (被害局限)。発生した事態から生じる被害や損害を限りなくゼロに押さえ込んでいくという考え方。

③ Response (対応)。

④ Recovery (復旧)。

この4要素が同時に機能しなければ危機管理ではないという言い方をします。

もっと平たく言いますと、予防できるものは予防する、あるいは回避する。しかし、予防や予知ができない大災害のようなものに対しては、やはりそこから生まれてくる被害、損害をできる限りゼロに近く押さえ込むための能力を高めて備える。危機管理の基本は、この2つにまとめることができます。

ですから、原子力にかかわる事態、これは大部分が事故なんです、防ぎ得るものとしてきちんとコントロールしていく姿勢が必要だと思います。

秋山 原子力の安全確保につきましては、「準備」ということでは、物が壊れないように設計し管理をする、そして人間が失敗しないように準備する、などの面できちんと考えておくわけです。しかし、仮にそこに穴があった場合、バックアップとしてどういった設備なり対応があるか、ということを第二段として用意しておきます。それでも事故が拡大していくようであれば「設備全体を予め覆っておく」とか、土地を広くとっておいて拡散による影響緩和を期待するといった、ディフェンス・イン・デプスの考え方に立っています。先生が今4つに分けて解説なさったことと対応しているでしょうか。

小川 私などは素人の「傍目八目」なんです



秋山 守氏

(財) エネルギー総合工学研究所
理事長

ね。原子力の現場は当然ながら、進んでいるし、安全確保に関する考え方は普及しているわけです。ただ、残念ながら先進国の中で日本の原子力政策は1つだけ問題をかかえています。それは原子力発電の推進に当たって、国民のコンセンサスを得るプロセスで正面からの議論を避けなければいけない時期が長かったということです。ですから、JCO事故の時も、放射線防護服がないことで野中広務官房長官(当時)が呆れていました。これは危機管理という点で最悪です。

秋山 「あってはならないこと」を「あり得ないこと」としてしまった感じですね。

小川 そのことは、昨年11月に電力中央研究所(電中研)が行った原子力部門の研究発表会「原子力と危機管理」の特別講演でも私が申し上げました。内閣府原子力安全委員会の松浦祥次郎委員長も「そのとおりだ」と言われ、「原子力安全神話はない」ということで平成12年版『原子力安全白書』を出しますとおっしゃっていました。

秋山 若干言い訳になりますけれども、私は

技術系なものですから、その立場から言わせて頂きます。技術的には最悪の事故に至るまでの状況を想定し、最後は皆さんが避難するということまで考えています。ところが、メディアなり政治の世界を通じて一般大衆に説明されるときには、安全確保には限りなく裾野の広がった努力がいることの説明がしにくいものですから、「完全に安全確保するよう対応している」というところで切れてしまうわけです。

小川 私がジャーナリストや政治家の立場だったら、そういう国会答弁があったとしても多分納得しないと思います。原子力推進の立場で言うんですけど、もっとお互いに腹を割って話していこうということになると思うんですね。ところが、反対の人の声が大きいし、それに押されてどこかごまかしてしまっているでしょう。これが日本固有の現象です。技術屋さんとは結構付き合いがあって話をするんですが、例えば核施設の立地、あるいは設計強度の問題でも、私の基準から見ると話にならないです。

秋山 そうですね。さらに見直していく余地ありということですね。

危機管理の観点からは疑問

原子力関連施設の立地

小川 例えば、これは原発ではないんですが、六ヶ所村の施設がありますね。側に三沢基地があります。航空自衛隊、アメリカの空軍機、民間機も離着陸します。さらに側に天ヶ森射爆場があって、ここでは爆撃訓練もやるわけですね。韓国からもしょっちゅうF-16戦闘機が来てます。そういう環境下における原子

力施設の安全性について、マスコミがしょっちゅう尋ねてくる。そして、政府や原子力関係の組織に聞くと、普通の戦闘機が落ちたぐらいでは大丈夫な設計強度だと言うんです。ですが、まず滑走路破壊用の爆弾を積んだ飛行機が落ちたら多分ひとたまりもないだろう、それから今回のような旅客機のサイズの自爆テロだったらどうしようもないですね。

そういうことになりますと、まず三沢基地というのが、日米安保上アメリカにとってどういう価値があり、簡単になくなるものかどうかという話を押さえながら、立地的にあそこはいいかという問題に入っていくべきです。

ところが、青森県が受け入れてくれるからという理由で立地を決めてしまう。立場を変えてみますと、あそこに決めるのだって相当無理してるな、努力したんだな、相当しんどかっただろうなと思いますけれども、「危機管理という観点で評価しろ」と言われると、絶対良くありません。

去年研修で行きました伊方の原発にしても、中央構造線の上に乗っていて危機管理の観点からは問題があります。

秋山 立地につきましてはご指摘の点、私も認識はかなり共有できます。けれども、電力供給には社会経済のセキュリティ確保という重要な役割があり、国や電力会社の計画について、選択の幅が限られてくるという経緯もあると思います。

これから将来に向けて進んでいく際には、今の先生のお考えは絶対必要だと思いますね。

小川 これまでのことは歴史家に任せるとして、これからはやはり一番望ましい形で原子力エネルギーをコントロールし、その恩恵に我々が浴していくという立場ですね。

地政学的、歴史的背景から生まれた

欧米の危機管理に関する基本理念

秋山 そうですね。ありがとうございます。ところで、今、先生が解説下さったクライシス・マネジメントの基本的な理念、そして中身のことで、海外先進国でそうした理論や制度が発達してきた経緯はどういうものだったのでしょうか。誰か天才が基本的な構想を出したとか、あるグループがニーズに応じて集中的に議論して整えてきたとかでしょうか。例えば、物が壊れる、壊れないといった品質保証のことでは、昔、アメリカでボイラーが出回り始めた頃に爆発事故が多発しまして、それがきっかけで機械学会ができたという経緯があります。クライシス・マネジメントをプッシュする力というのは、アメリカでいえばどんな経緯で出てきたのでしょうか。

小川 やはり第二次大戦後、東西冷戦の中で、旧ソ連の核攻撃、特に都市に対する核攻撃から国民を守るといったところから理論的な整理が行われたと考えていいと思います。ただ、はっきり言いますと、誰かが言い出したとか、何か理論があってというよりも、クライシスマネジメントの理念というのは、長い歴史を背景とするセンスの問題だと思います。

秋山 センスですか。

小川 別な言い方をいたしますと、非科学的だと怒られるかもしれませんが、DNAの問題です。つまり、地続きの国で暮らしてきた人たちは、襲われ、犯され、奪われ、殺され、これを繰り返してきたわけです。当然ながら危機に対するセンスが身につきます。残念ながら日本人、日本列島に生きてきた人々だけ

は外敵に占領された経験も昭和20年8月15日までなかったわけです。他にどんな優れた能力を備えていようと、危機に対するセンスだけは備わるわけがありません。ですから、警察も消防も自衛隊も何を与えても使えないんですよ。原子力の現場も多分、そういう面が僕はあると思います。みんな頭はいい、優秀なのだけでも実際の危機を前にしたら、他の国の人なら動くのに「動かない、動けない」ということになります。

秋山 「動かない、動けない」という点は確かにありますね。

小川 だから、これを直視し、自覚して、どうすれば危機を乗り越えられるかということから入らないとだめです。

危機管理—5つの鉄則

秋山 『ヘリはなぜ飛ばなかったか』に危機管理の鉄則を5つに整理しておられます。その中で、災害事故は起きることを前提に、発生した場合、迅速に、しかも常識で、現場にあるリソースでまず対応することを考える。また、オーダーメイドで対策を講ずる、といったことが書かれていますね。

小川 オーダーメイドというのは、危機は似たように見えても全部個性があるということです。ですから、その危機に応じた処方せんをその場で描けなければならない。それには専門家集団がいなければだめです。この危機にはこういった処方せんだと言える集団です。これについて2000年2月4日に総理大臣執務室で故小渕総理と危機管理の話をした時も、1つのケースとして、2000年1月にNHKスペシャルとして放送されたアメリカの連邦緊急

事態管理庁（FEMA:Federal Emergency Management Agency）のドキュメンタリーに触れました。それは、一昨年の秋にフロリダ州からノースカロライナ州にかけて、大西洋側を襲ったハリケーンを追った番組でした。その地域の300万人の住民に対して全員避難させないと危険なぐらいのハリケーンでした。FEMAは専門家集団です。まず何が大事かその場で判断できるわけです。これは住民避難しかない。一番重要なことについて大まかな計画を迅速に立てて、300万人の住民を全部避難させたんです。幹線道路、高速道路は全部一方通行ですよ。FEMAが出る時は非常事態ですから権限を全部握ります。そういうやり方です。

秋山 そして、第5番目に、「無駄を恐れるな」というキーワードが書いてあります。

小川 危機管理に関する無駄というのは当然見込まなければいけない話です。その無駄遣いを気にするくらいなら、他の部門でやっているすごい無駄遣いを削ったらいいいということになります。

秋山 そうですね。どのぐらい危機管理、あるいは安全確保に向けてお金を投資したらいいか、バランス面がどうかという点が問題ですが、原子力では安全目標との関連で、なるべく合理的に議論を詰めていこうとする意識があります。完全無欠な安全のためには無限の投資が要りますので、このことについてはまた後ほど触れさせていただきます。

話は少し変わりますが、危機の内容につきましては、どうしても避けられない大自然の災害から、人間の社会活動に起因するもの、そしてその複合形に至るまで、幾つかに分類できると思います。先生のクライシス・マネジメントの基本構造と重要なポイントは、やはり危機の態様に応じて適切に分類して考えた方がよろしいものでしょうか。

小川 分類することは、優先順位の一番上には来ません。分類するというのはそれなりの危機を大別し、それに対応する能力をこちらでも整備するという話になってきますけれども、一番優先順位が高いのは、どのような危機であろうと、それに備えている組織、システム

表1 危機管理の鉄則

- | |
|--|
| 鉄則1：災害、事件、事故、紛争などは必ず起きるという前提で備えよ。
「起きないでほしい」という日本の神頼みの発想を排せ。 |
| 鉄則2：発生した事態に対し、必要な手立てを適切なタイミングで講ぜよ。
実行あるのみ。言い訳は通用しない。 |
| 鉄則3：常識で対処せよ。初期対処で必要とされる手立てのほとんどは、
一般市民の常識で判断できるものばかり。 |
| 鉄則4：対策はオーダーメードで講ぜよ。
1 回限りの処方せん作成にも思い切った資金と人材を投入する。 |
| 鉄則5：無駄を恐れるな。
手立てを講じた後、事が起きなければ喜ぶべきである。
「見のがしの三振は恥。空振りの三振を恐れるな」 |

が一定水準で機能するように維持しておくことです。ですから、抜き打ちのチェックで維持するしかありません。

僕にやらせてくださるんだったら、アメリカの集団を雇ってきて、常に日本の原子力関連組織に本当の抜き打ち査察をします。想定はその時々で変わります。ある時は大地震、ある時は物理的なテロリストの攻撃、ある時はサイバーテロ。それに対して合格基準を前もって公表しておいて、それに対して備えさせておく。その基準に満たない場合は懲戒処分です。原子力は国民の命にかかわるし、自分たちの命にもかかわる問題ですから。抜き打ち査察をやっていく中で初めて緊張感が生まれ、危機管理の必要レベルが維持できる。

ですから、去年の電中研の発表会でも松浦委員長と、とにかく懲戒処分をやるぐらいでないとだめだと話したのです。ただそれだけだと原子力関係の職員の方、あるいは行政も委縮してしまいそうですから、失敗しても敗者復活ありとします。セカンドチャンスのシステムをつくる。ミスは誰にでもあるわけですから、努力すれば復活できるというシステムをつくる中で、査察と処分を厳しくやろうということです。

秋山 1回失敗するともう二度と立ち上がれないかも知れないというのが、ある種この国の特異性ですから、皆さん非常に臆病になってしまいますね。

小川 そうです。臆病な結果、自分の家族まで殺してしまうことになるんです。

秋山 『ヘリはなぜ飛ばなかったか』の中にも、阪神大震災2周年を前にした1997年1月14日、災害対策総合情報ネットワークシステム(別名フェニックス)の抜き打ち訓練の時に、

システムがうまく機能しなかったと紹介されています。でも、機能しないことがわかった、そして110項目もの問題点が洗い出せた、そのことが1つの成果だったということですね。

小川 はい。兵庫県で防災面の最高責任者で、あの抜き打ち防災訓練の発案者の斎藤富雄氏は今、兵庫県の副知事になっています。大変優秀な方です。

阪神淡路大震災で分かった

日本に欠けている危機管理思想

秋山 小川先生は、同じ本の中で日本の危機管理能力について、特に欧米に比べた不完全さ、未熟さの問題を指摘しておられます。その内容は先ほどのお話である程度出ていましたが、なお重要なことでご紹介頂けることがあるでしょう。

小川 私が防災問題に関わるきっかけはまさに阪神淡路大震災なんです。あの時に行政が対処しているさまを見ていて、一番最初からですけど、2つ疑問が湧きました。

1つは、ヘリコプターを使った空中消火ができないと消防当局が言ったことです。「市街地火災に対する空中消火は世界に前例がない」なんて平気でテレビカメラに向かって言ってしまうわけですよ。ところが、1年前の94年1月のノースリッジ地震でロサンゼルス市の消防当局は空中消火をやっています。しかも僕は陸上自衛隊のヘリ部隊出身ですから、あの天候条件、あの火事の状態だと幾らでも空中消火できるということが分かります。「これは何か問題がある」と思いました。

もう1つは自衛隊の出動が遅いとマスコミが言いましたね。僕は自衛隊の側で、当時災



1995年1月17日未明に発生した阪神淡路大震災で炎上する市街地

出所：朝日新聞社ホームページ (http://opendoors.asahi-np.co.jp/span/wadai/20cent_perfect/image/09.jpg)

害派遣に出た連隊長などが同期生だったので全部調べてみました。自衛隊はそれなりに動いたんです。同時に僕はマスコミ出身なものですからマスコミにも聞きました。「なぜ自衛隊は遅いと書くのか」と聞くと、「いや、自衛隊ぐらいしか期待できないじゃないですか」という答えでした。消防、警察は壊滅状態です。そこで、「自衛隊に期待してるのにのろのろしてやがる」と言うんですね。これは日ごろマスコミが納税者としてきちんと理解をする形で自衛隊にかかわっていない結果なんです。自衛隊というものが消防や警察という組織に比べてどれぐらい鈍重なのか分かっていないからなんです。軍事組織というのは重いんですよ。その理解がないから、自衛隊が普通に動いても遅いと思う。期待が大きいから余計そう思うのですね。

これはやはり危機管理についての思想哲学がないということだし、日本の民主主義が機

能不全に陥っている結果だろうと思いました。これを研究している人はいないのかと調べたら1人もいませんでした。それで1年前のケースで、アメリカはどうだったか調べるためにロサンゼルスに行きました。そうしたら、すぐ答えが出ました。

秋山 大震災などの場合、一般的には現地に作戦本部があって、それとは別に東京に中枢司令部が存在すると思うのですが、阪神大震災の時には、その間の連携にもかなり問題があったと認識してよろしいのでしょうか。

小川 はい。そのことは今も同じです。これは抜本的に考え方を変えないとだめなんです。それは『ヘリはなぜ飛ばなかったか』の中には書いてなくて、2001年11月中旬に出した『危機と戦う—テロ・災害・戦争にどう立ち向かうか』（新潮社刊）には少し書いてあります。日本の場合、マニュアルの位置づけとか、組織論についてまったく考えが整理されてこな



1994年1月17日に米カリフォルニア州ノースリッジ地震で倒壊した家屋

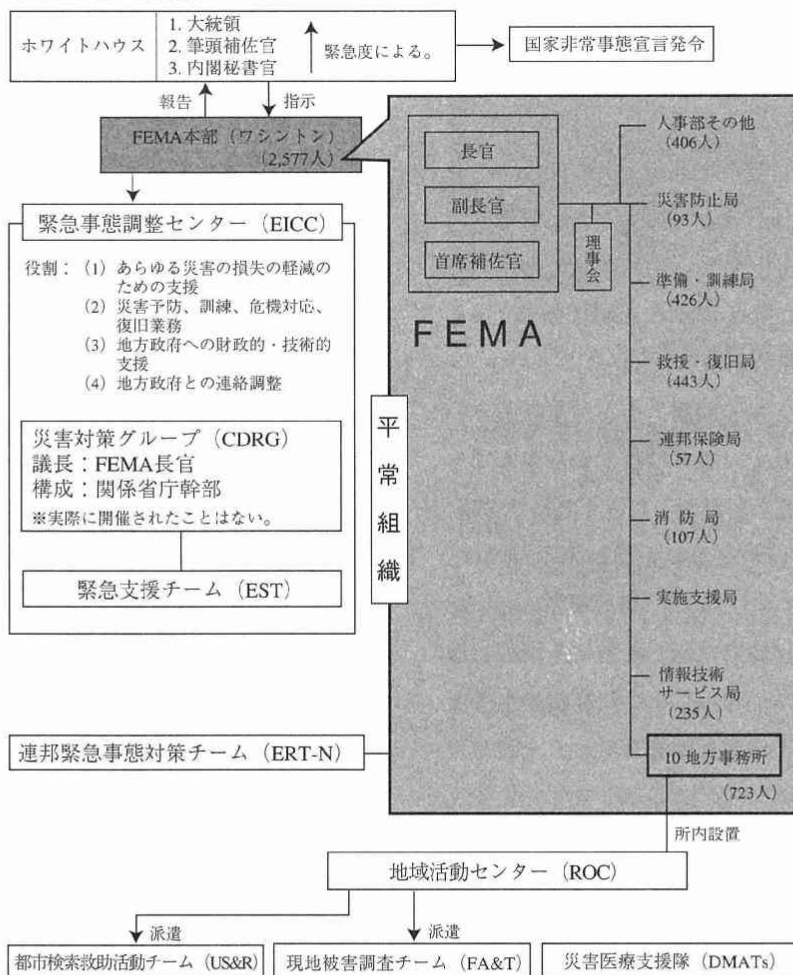
出所：FEMAホームページ（<http://www.fema.gov/fema/photolib/001751.jpg>）

かったんです。例えば、安藤忠夫さんが内閣危機管理監になって最初の記者会見で「私の最初の仕事は1年間かけてマニュアルを作ることです」と言ったので、欧米のメディアはみんな吹き出したわけですよ。「マニュアルはできる限り作った方がいい。そんなものが危機管理監のメインの仕事になるようではこの国は終わりだ」とみんな吹き出した。ただ、それは安藤さんが悪いのではなくて、日本全体がそういう意識なんです。大体、JCO事故の時も内閣の危機管理センターは「マニュアルにない事態が起きた。だから立ち上がりが遅れた」といったような言い方をしました。ですけど、マニュアルを一々開かなきゃいけない人、あるいはマニュアルにあること、ないことで対応が変わるような人が危機管理センターにいたら困るんです。何があっても一定の対処能力を持つというのが危機管理の基本ですから。

それから、マニュアルがどう使われるかという位置づけが明確ではありません。マニュアルにはいろんなレベルがありますが、平均的なマニュアルには手順が書いてあります。その手順は、危機管理センターなどにいる人、あるいは原子力の危機管理担当者は、日頃の教育訓練によって体で覚え込んでおかなきゃいけないことですね。いざという時にマニュアルを開くような人では困るんです。だから、マニュアルをテキストとして使わなきゃいけないという位置づけがないわけです。

それとの関連で組織論があります。例えばアメリカの場合だと、災害や事故などを中心としたものと考えていただきたいんですが、第一線も上層部も日本とは違う動きをします。指示を出すとか、指示を待つとかいう概念がないんです。第一線に行けば行くほど当直体制が手薄になりますね。頭数も少ない。その目の前で危機が起きる。当然、マニュアルの

ワシントンD.C.



連邦緊急事態管理庁 (FEMA) の組織略図

出所: 『ヘリはなぜ飛ばなかったか』 p.213を一部変更

中身は頭に入っていますから、第一線の人たちは自分たちがやるべきことを知っていますし、その権限が与えられています。もうひたすら、やるべきことをやるだけなんです。危機発生の第一報を上部組織に速報したあとは、後は定められたことをやるだけです。94年1月のノースリッジ地震の時も、当直の20歳の女性警官は市警察が持っている20機のヘリを全部飛ばす権限を持っていたわけです。日本

だったら20機飛ばすのに警察庁長官まで決裁書を上げなければどうしようもないですね。

秋山 そうですね。

小川 第一報を上げると、彼ら第一線はもう必死で必要なことをやっていますね。指示を待つということはありません。一報が上がったら上層部は情報を迅速に取りに行く。その情報をもとに、第一線が孤立しないように手立てを講じていくんです。情報がないなんて

上が言うことはありません。自分で情報を取りに行く。第一線に情報を上げるための余力なんてありませんから。

日本の場合、「指示がないから火を消せません」と言った消防が阪神淡路大震災の時もいたり、総理官邸では「現場からの情報がない」と言ったり。被災者から情報がくると思っているのが間違いなんです。これはもうはっきり言って、思想哲学がないということです。

秋山 マニュアルの問題、そして組織論という2つのくくりで、日本は欧米から学んでもっと充実させる必要があるということですね。

小川 ただ救いがあるのかなと思ったのは、2001年の初夏ですけど、「緊急事態において総理、あるいは政府首脳へ助言する情報組織を作りたい。ついては、その研究会の主査をやってくれ」と内閣危機管理センターが言ってきたことです。

秋山 それはもう立ち上がったんでしょうか。

小川 いや、立ち上がろうとしていたらテロが起きてしまった。それで、担当者は全部そこに張りつきました。この間も官邸で官房副長官とその辺の話をしたところですよ。

秋山 そうですか。それはぜひ進めてほしいですね。

小川 何を前提とすべきかというところまでは話しました。過去の典型的な危機—JCO事故、阪神淡路大震災、ナホトカ号重油流出事故等—に対して合格点をもらえるだけの対応というのは後知恵でわかりますよね。それだけの対応ができる組織と人員にすべき。法制度上できないならば、法律を変えるべき。そういう話まではしました。

思想哲学を持つこととは

物事の解決に順序よく取り組むこと

秋山 クライシス・マネジメントに関する日本の考え方なり能力には、民族的ないしは地政学的な要因からくる問題があるということですが、確かに農耕民族として仲間内で何とか和を重んじていけばうまくやってこれた経緯があります。そうした民族的なライフスタイルなどが今後も相当長く尾を引いていくと考えなければいけないのか、あるいはここで自覚すればクライシス・マネジメントも含めて西欧のスタイル、ないしは力にある程度互していけるようになるのか。この辺りの期待感はいかがなものですか。

小川 重要な話ですね。僕は、例えば騎馬民族であるか、農耕民族であるかという分類、これは非常に根拠もありますし、面白い話だと思ってたんです。ただ、農耕民族の中でも日本人だけに特異な部分があると思います。それはこの安全な島国で生きてきたということ。同じ農耕民族でも漢民族とは全然違います。これでは危機に関するセンスが生まれません。我々が自覚しない限り、克服の手立てを講じることができません。

秋山 島国であることの利点も余りなくなってきました。例えばバイオテロにしても、サイバーテロにしても、海峡がほとんど防波堤にならなくなりましたね。

小川 日本人は能力はありますから、みんなが自分の命や財産の問題だということで気を引き締めればクライシス・マネジメントもできるようになると思います。ただ、残念ながら能力が頭でっかちな方向に使われてしまう。やたらと知識はあるけれども、行動しないと

いう面があります。それは危機感がないから。自分が死ぬかどうかという目に遭ってないからなんです。

秋山 ただ、死ぬかどうかという危機感につきましては、私ども今、現に東京にいまして、地震がきたときに本当に大丈夫かという点はやはり時々不安になります。それにしてもまだ、そのマネジメントというか、考え方自体がきちんと動き出してこないのは問題ですね。

小川 これは先程紹介した本のメインテーマにしているんですが、思想哲学を持つということは、物事を解決する上で順序よく取り組むということでもあると思います。

同じ国民の生命財産を守るために税金を使うといっても、私が本来専門としている安全保障問題というのは結構難しいんですね。人によっていろいろ意見が分かれますし、賛否も分かれる。それを適正に維持していくというのは、高度な応用問題を解くような能力が必要とされるわけです。

ところが、同じように生命財産を守るために税金を使うといっても、例えば、医療システムのレベルを高く維持して、医療過誤がないようにしようとか、消防の能力を高く維持して災害や事故から生命財産を守れるようにしようということに関しては誰も反対しませんからやりやすい。基礎問題と言っていいでしょう。基礎問題ができるようになった日本国民であれば応用問題ができるようになるんです。だから基礎問題からやるのが先ですよと言っているわけです。安全保障問題の専門家である私が、去年、九州大学医学部大学院の教授として呼ばれたぐらい、医療の危機管理にも首を突っ込んでいるんですよ。それをやっている理由は、基礎問題から始めようというところにあるんです。



浜松で導入されたドクターヘリ

(出所：<http://www.246.ne.jp/heli-ss/ja112d-oct-l.jpg>)

危機管理体制の整備を阻む官僚制

—ドクターヘリ導入の経緯から

小川 ところが日本の場合、例えば地震に対して漠たる不安がある。私もそうです。ただ、他の国がこうすれば明らかに国民の命を救えるということでやってきて実績を示していることすら実行できなかったという問題があるんです。つまり、ドクターヘリ。医者に乗せたヘリコプターのことです。

通説によると、ドクターヘリは1970年から西ドイツが始めました。当時、西ドイツは年間2万人の交通事故死亡者に悩んでいた。医者を出前したほうがいいという理論は1934年からドイツであったんです。それから、ベトナム戦争で米軍が医者をヘリに乗せて戦場を飛び回り救命率を上げていたんです。その2つをひっつけて、医者の出前を始めたら効果てきめんです。今ドイツは東西統一で人口が増えています、交通事故の死亡者数は年間7,000人に抑えています。

それを見てアメリカや他の国がみんな真似しました。アメリカも1970年代に48%死亡者数を減らしました。日本では昭和50年代に入ってお医者さんたちがドクターヘリを導入しようというって、4回ぐらい政府に委員会を作

りました。でも、関係省庁が6つあって、どこかが反対するたびに全部空中分解してしまいました。これは2000年3月23日に朝日新聞でちゃんと書かれていますので申し上げますが、98年10月に私が野中官房長官と話をつけるまでドクターヘリの導入は進展しなかった。朝日新聞が「日本だけでできなかったのがなぜ急にできたのか」と内閣官房の担当審議官に聞いたら、「小川という乱暴者が野中さんを口説いた結果だ」と答えたんですよ。

僕は当時、野中官房長官といろんな仕事をしていたんですが、一緒に食事している時に「阪神淡路大震災4周年を目の前にしますけれども、震災の時の自治大臣として、一步でも前進させるためにドクターヘリを導入してください」と話したんです。これは国民の命を救うことに効果きめんですからね。日頃からヘリを高度なレベルで運用しておけば、阪神淡路大震災の時のように空中消火できないなんて戯言も出ないし、情報収集の目となり耳となり、ヘリの運用能力も高まります。

私がお願いした後、野中さんが内閣内政審議室に「ドクターヘリ調査検討委員会」を作ってくれたので、すぐに導入に向け動き出したんです。どこの役所も反対しませんでした。でも、ドイツが始めてから日本が始めるまでに40万人も交通事故で国民を殺しちゃったんですよ。

秋山 ドクターヘリと言いますのは、お医者さんが乗っていて、オンサイトで診断し、そして治療に向けた措置をしていくということですね。

小川 ところが、日本はドイツで成功してから数十年間やらなかった。これができないようでは日本人は安全保障なんて語れないですよ。

秋山 救急車でもちゃんとお医者さんが現場で治療できるようになるといいですね。

小川 その委員会ができるまで東京消防庁の航空隊は、夜間は飛びませんでした。僕は航空隊長に「夜飛ばないんだったらパイロットを入れ替える」と委員会で言ったんですよ。今は24時間飛ぶようになりました。

安全確保のための投資額は

頭脳中枢を作って試算する

秋山 緊急対策、安全確保その他、クライシス・マネジメントのために我々がどのくらい合理的に投資できるか、あるいはしたらいいか、を考えておく必要があります。リスクのレベルを一桁下げるにも随分と投資が増えますし、無限に努力しなければリスクゼロに近づきません。原子力の事故の場合は、他のリスク要因と比べて大きな社会的影響がありますので、リスクを未然に合理的に極力低くするという考え方を採っています。そこで、これは事故に限らず社会経済的なリスクも含めて一般に、お金の問題とクライシス・マネジメントを結びつけた議論にはどんなものがあるのでしょうか。あるいは、投資としてはお金だけでなく、幅広く交流や人脈形成なども視野に入れて、ご意見はいかがでしょうか。

小川 原子力ではないんですけど、2000年2月にアラビア石油がサウジアラビアの油田採掘権の更新交渉で失敗しました。あの時、僕は小長啓一社長に「やはり日本は中東研究がだめだ」と言ったんです。中東だけでなく地域研究がだめなんですよ。「まともな中東研究をしている集団が4、5人いればこんなドジを踏んでいませんよ」と言ったんです。ち

ゃんと中東研究をしていれば、「アラビア石油の社長はリアドに邸宅を持つべし」ということから始まります。それで、月の半分は向こうにいるということが必要なことなんです。つまり、サウジ王家で油田採掘権について一番発言権のある王子の機嫌を損ねたんです。それだけのことで採掘権更新ができなくなったんです。

小長さんは、私の講演も時々聞きに来て下さいます。僕は小長さんが好きだから、すぐに電話してしまいまして、「これはやはり中東研究の不備からきていますよ。だからクウェートとの交渉では失敗しないようにして下さい」と話をしたんです。

原子力発電における危機への備え

現実的な想定、対応手順は明確に規則化

秋山 ここで原子力発電に目を移しますと、原子力はさまざまな問題を抱えながらも現実には日本の総発電電力量の36%を占めるに至っています。

もう1つは、最近の地球温暖化防止の観点からも、二酸化炭素(CO₂)を排出しない原子力の役割が期待されています。

原子力は発電の他にも、文部科学省や日本原子力産業会議が随分と力を入れている放射線利用もあります。特に近隣アジア諸国との協力も盛んで、幅広い内容にわたっています。

それから、これは原子力の直接利用ではありませんが、新しい材料の開発をはじめ、究極の安全を目指すためにも必要な高度のシミュレーション技術に至るまで、結構、関連する先端技術を引っ張る力を今後とも維持していく可能性があります。

このように、当研究所を含めて私どもとしても「原子力はますます重要だ」という認識で努力しているところです。ただ、やはり安全確保が基本でありまして、経済産業省では原子力安全・保安院も立ち上がりまして、内閣府原子力安全委員会も力を出しているところです。

そこで、原子力発電の安全問題に関連して、発電所の施設の防護に焦点を当てながら、特に先ほどからお話に出ましたような、外部からの攻撃等に対して改善すべき点を、もう一度おさらいして頂きたいと思います。

そこで、原子力発電の安全問題に関連して、発電所の施設の防護に焦点を当てながら、特に先ほどからお話に出ましたような、外部からの攻撃等に対して改善すべき点を、もう一度おさらいして頂きたいと思います。

小川 今回、アメリカの同時多発テロを受けながら話をしていきますと、旅客機レベルの大型航空機を使った自爆テロに対しては、今、一番安全性が高いとされている原子力関連施設でもひとたまりもありません。どのような対策が必要なのか早急に立てなきゃいけない。例えば、施設、建物の強度設計だけでは大したことはできません。ある区域に入ってきた航空機に対しては警告を発して、それが空域外に立ち去らない場合は戦闘機がスクランブルして撃墜するということを明確にしない限り防げません。残念ながら、それが現実になったら乗客は死にますし、その飛行機に乗り合わせたくはないと思いますが、それを明確にしておかない限り、どんなに施設を強化してもだめです。

ただ、日本のテロ対策といいますと、警察も自衛隊もレベルが大変低いです。どこかの特殊部隊が銃を構えて、正門から原発を襲ったりといいますけど、大体、ありそうもない想

定です。特殊部隊の立場、テロリストの立場から物事を考えないから、そんなお芝居みたいな話をしてしまうわけです。やるとすれば、まず大型航空機を使った自爆テロでしょう。あるいは原子炉を暴走させるという方法もありますね。

原子炉を暴走させることが簡単なことなのかどうか分かりませんが、原子力に関する知識をちゃんと持った人間、あるいは原子力の関連施設の中でそういった作業ができる人間を洗い出して、その人たちを動かせるような人を人質として取る方が早いです。例えば、制御能力のある人が家族を人質に取られる。それも1人や2人ではなく、大量に取られると中には要求に応じる人が出ますよ。

そういったことに対してどういう対処法があるか。例えば、大陸間弾道弾（ICBM）のサイトでは、2人の当直士官がいて、互いに手をのばしても届かない位置にいます。そして、発射キーも1人では回せないようになっています。原発も同じような仕組みになっているでしょうが、その上にさらに安全対策を施す必要があります。

旅客機を使った自爆テロに対しては、勿論、ハイジャック対策が必要です。99年7月に全日空機が乗っ取られ、残念ながら長島直之機長が刺殺される羽目になりました。そこで、コックピットドアの強化策としてカンヌキを付けたというけれど、今札幌にいる友人で旧ソ連の人間が笑っていました。「カンヌキをつけたって、あんなもの簡単に壊せる。旧ソ連は全部防弾扉になっていた」と言うんです。だから、チタン合金か何かを使って、きちんと防弾扉にして、客室で誰が殺されようともコックピットドアは開けない。こういう一定

のことを規則として決めておかない限りだめなんです。

原発で制御能力がある人の家族が人質に取られ、原子炉を暴走させようとする場合に対する対応を規則で決めなきゃいけない。それを明らかにしておくということが抑止力なんです。後はもうそういった事態にならないことを祈る以外にありません。

秋山 最近、日本経済新聞の鳥井弘之論説委員が、講演の中で今の先生のご指摘に近いことを言っておられたと記憶しています。

危機管理面でも重要な「人」

学校教育、家庭教育、社会教育の三位一体で

秋山 先般、その鳥井さんがコーディネーターをされたニュークリア・セーフティ・ネット（NSネット）のパネルディスカッションに私はパネリストとして参加してきました。原子力発電の安全確保の話も若干させていただき、またNSネットという組織の目的、活動状況なども改めて勉強してきました。パネルディスカッションがあったのが9月13日で、ちょうどニューヨークの同時多発テロの直後でした。それとの関連もあり、原子力の安全問題が縦横に議論されました。

ところで私、「戦略的」（ストラテジーック）という言葉が好きで、これに基づいた安全確保の仕組み、体制、対応が重要であると考えています。そうした戦略的な安全確保、安全向上の取り組みの構成順序として、まずどれほどの安全確保を目指すかという目標の

設定から始まって、資源や人をどのくらい投入できるかというロジスティックスが関係してきます。そして最後には結局、全体の体系にどれほどの実現性があるのか、つまりクレディビリティ（信用）のことが問題になると思います。そうした体系がクライシス・マネジメントにもほぼ共通して適用できるのではなからうかと、漠然と推測しています。

私の好きなもう一つの言葉に、「スタディ・イン・デプス」があります。ディフェンス・イン・デプスのディフェンスというのは1つの目標に向けた体系ですが、それを考え、設計し、描いていくスタディというのは、人間のもっと深いところからきていると考えるわけです。さらに、スタディ・イン・デプスを支えるものとしてリサーチ・オン・リサーチがありますね。これもイギリスのような、慎重に熟考する奥深い国で生まれた概念だと思うのですが、リサーチ・オン・リサーチもさらに底を探れば、オン・リサーチ、オン・リサーチ……と、多分とめどもなく続くのでしょう。ま、そんなことを考えながらNSネット・セミナーで話をしてまいりました。

そこで、今申し上げたディフェンス・イン・デプス、スタディ・イン・デプス、リサーチ・オン・リサーチとの関連で、先生が日頃お考えのことをご紹介頂けませんか。

小川 どういう概念、あるいは諸外国で生まれた理論を紹介しようとも、できないものはできない。できる時はできる。だからキーワードは「人」です。僕は原子力の世界をそう知っているわけではないけれど、たまたま接点がある。それは、やはり「人」の問題です。これは、日本の組織全てに共通するところだと思います。

軍事の問題に引き換えて言いますと、世界最強の軍事組織はどういう民族構成がいいかという話がある。これは世界の軍事関係者の間では常識となっていることですが、兵士——一番裾野の広い部分——はロシア人。これは粗衣粗食に耐え、逆境に強い。下士官は日本人。自分で考えて行動することは一切ないけれども、命じられたことについては一定以上の水準でできるし、目端がきく。下級士官はフランス人。これは血の気が多くて命令があれば先頭に立って死ぬぐらいの人たちだということです。高級将校、あるいは参謀はクールなドイツ人。では、将軍、提督は合理的なアメリカ人です。つまり、日本人の優れた点も評価されているけれども、日本人は上に行くほど能力がないと言われているわけです。例えば、将軍、提督とか参謀の部分が欠けているんです。日本の組織はどこでもそうなんです。

逆に言いますと、頭脳システムとしてエネルギー総合工学研究所が、そんなに沢山でなくても一定の予算を使ってその役割を果たすことで第一歩を記せば、その辺の問題をクリアする方向が明確になると思います。

秋山 私も、クライシス・マネジメントを含めて社会活動するにはやはり「人」が基本であり、また、その「人」と関連してきちんとした学術なり、思想なりが必要だと考えています。日本は明治維新以降、近代国家になる過程で「人」、とくに若い人を育てたことが挙げられます。そこで、少し「人」の教育のことに話題を移させていただきますと、人は本来、持って生まれた能力を外部的からの刺激によって引き出して、その範囲内で成長し、そして終わっていくというもののなのかも知れませんが、いずれにしても、教育が大切なこと

ですね。で、教育となりますと、小学校の低学年教育が今相当に危機的な状況にあるという話を聞きます。教育も含めて、日本のカルチャーとして、失敗をしない子を誉め、同じものを食べ同じスタイルでないと満足できない。そうした多様性を避けようとする風潮のことも含めて、「人」と教育についてご感想をお聞かせ下さい。

小川 日本の場合、教育というのが学校教育だけであるかのように錯覚、誤解されてきましたよね。教育というのは、家庭における教育、社会における教育、それから学校における教育があり、これは三位一体でなければいけない。ところが日本では、例えば社会としてどう子供たちとかかわるかというような議論はないわけです。

僕は犬を連れて毎朝散歩するんですが、たまたま今朝6時台に目の前をゴールデンレトリバーを連れだした高校生が歩いていた。するとウンコをさせてそのまま立ち去ろうとしたから、「紙ならここにあるよ」と言って、トイレットペーパーを渡して取らせました。そういうことを普通、大人がしないじゃないですか。「高校生に注意したら何かやられるんじゃないか」と思ったり。でも、子供たちは大人の背中を見て育つわけです。今の日本の子供たちは、私たちの姿がそのまま映し出されているんですよ。「子は親の鏡」ですから。

世界に通用する学校教育を

小川 もう1つは、日本の学校教育は世界で通用しないということを自覚しなければならぬ。日本の官僚が、日本の受験競争で幾ら勝ったとしても、世界で通用しない理由はそ

こにあるわけです。ワールドクラスでなければ一文の値打ちもない。これはいみじくも財務省の官僚が本を書いて、その中で言っています。

岸本 周平 さん。彼はプリンストン大学大学院で2年教えていた。その経験を『中年英語組—プリンストン大学のわか教授』という集英社の新書で書いています。英語でいかに苦勞したかという話だけど、文明論がはっきりあるわけです。彼は東大法学部卒ですが「東大なんて行ったって一文の価値もないよ」と言っている。世界で通用しないと。

僕は「ろくな教育も受けていないのに、おまえは何で世界に通用するのか」と言われれば、「いや、日本の学校教育を受け損ねたからだ」と逆に言うぐらいです。つまり、日本の場合、目的に合った能力を発揮するための教育がないんです。頭でっかちになるための教育しかない。

講演会場で聴衆に「世界のことを知りたいというけど、じゃあ何のために知りたいですか」と聞くと、「何となく」とか、「教養のために」とか言う答えが返ってくるわけです。「うちの会社は海外と取引があって」とかいう話だったら目的がはっきりしているんですけど。

だから我々はワールドクラスであるかどうかということを意識しないで教育を語ってきた、「人」の問題を語ってきたということになるんですね。

明治維新成功の一因は

世界トップ頭脳の調達

小川 明治以降という話がありましたが、明

治維新のリーダーたちは民族的突然変異であったと思います。彼らは幕末を生きのびて、30歳そこそこで国家の重責を担う羽目になった。周りを見わたすと西欧列強の植民地支配が迫っている。しかし、日本国にはそれをはね返す力はない。そこで彼らは知恵を搾った一何をやれば一番効果的か。そこで彼らがやったことは、外国人を雇うということでした。つまり、世界の頭脳を集めた。「お雇い外国人」のピークは明治7年です。政府雇用だけで520人。地方雇用、あるいは民間雇用を含めると1,000人を超えていたでしょうね。彼らに破格の待遇を与えているんですよ。当時、関白太政大臣が日本人のトップですけれど、それよりお雇い外国人のトップ集団は給料が高いんです。月給が600円から800円。一番高い月給をもらったのは、明治天皇の侍医のエルウィン・ヴォン・ベルツです。1,000円の月給を払った。今の貨幣価値だと幾らぐらいですかと銀行の人に聞いたら、「多分1億円以上ですよ」ということでした。だから、そのぐらいのお金を出せば世界の頭脳が集まります。

その果実は何だったかという、富国強兵策の成功なんです。富国強兵は後世の人は批判できるんです。それは批判されるべき部分もあるけれども、世界の歴史家が一致して認めるのは、東洋の発展途上国日本がああ短い期間に列強に追いついたという歴史上の奇跡です。つまり、世界に通用する能力を持たないと植民地支配をされる。そのためには世界の頭脳を集めて国づくりをすることが一番効果的で安上がりだということで、お雇い外国人を雇ったわけです。

でも、日露戦争後の日本というのは、お雇い外国人制度の総括がまずかったせいもあっ



エルウィン・ベルツ（1849－1913）

出所：www.lib.u-okyo.ac.jp/tenjikai/tenjikai97/graphics/baelz.gif

て、日本的な制度の中に埋没していった、日本でしか通用しない学校秀才だけになってしまいました。その学校秀才たちが官吏になり、あるいは軍のトップエリート集団を形成し、世界に通用しない発想で戦争に突入してしまったわけですね。

これは我々がきちんと学ばなければいけない歴史の教訓だと思います。

秋山 そうですね。ただ、本来は1億2000万人の中には、相当天才的で、また国際的にも大きな仕事のできる10代、20代の若い人が存在するんだというのが私の認識です。

小川 いっぱいいるはずですよ。

秋山 いっぱいいますね。その人たちの花が開くのは結構、海外であったりします。日本国内ではそのような人たちを励ましていくという基盤的な風土がなかなかできていない。

小川 だからノーベル賞をもらっている人はみんな海外で評価された人ばかりです。

秋山 そうですね。それも悪くはないんですが、日本国内のスタイルがもう少し国際的なスタイルに近づくためには、我々の心構えとして、どの辺りを変えていけばよいのでしょうか。

小川 教育制度を一度解体した方がいいです

ね。幼稚園、小学校から解体しなければだめです。

秋山 大学は最近、「飛び級」が流行になってきました。海外ではそれが当たり前で、例の天才的サイバネティクス学者のノーバート・ウィナーなんかも、すごい飛び級で教授になっていますからね。

小川 ただ、世界で通用しないとだめですね。日本の中で「飛び級」の制度だけまねてもだめです。

「人」を委縮させる

「失敗」に寛容でない日本社会

秋山 若い人が伸びにくいという話と直接に関係があるかどうか分かりませんが、もう1つ私が持っている大きな問題意識は、失敗やリスクに対して世間が初めから非常に距離を置こうとしていることです。失敗研究会とか、失敗事例集とかありますが、日本語の「失敗」という語感がとても悪いんです。個々の事例の中身を見ますと、必ずしも「失い敗れた」という感じではないんですね。成功に至る道の途中まで来た、あるいは分岐点に突き当たって、そこで本道から外れてバイパスの方に行って効率が10%にしか達しなかったというような、「失敗」と呼ぶよりむしろ「未達」という感じのものもあるわけです。それらを含めて、もっと世間的に支援、激励して若い人にやる気を起こさせなければいけない。そのための何かうまい仕掛けや考えはないものか、と思うんです。

小川 例えばアメリカの場合、プレゼンテーション能力、スピーチ能力、それから作文能力の骨組みは小学校からきちんと教える。そ

の骨組みのもとに年齢が上になればなるほど、いろんな知識をうまく飾りつけて、立派な論文ができたりするわけです。小学校では、例えば、小川という少年がいるとすると、先生が、「小川君、今日のスニーカーは新品だね。そのスニーカーについて話をしなさい。」と言います。「僕のスニーカーはどろんこになって、幾ら洗っても汚れが落ちないのでママが買ってくれました。でも、今パパがレイオフになっていてお金が足りないから、ママはすごく安いバーゲンセールのところを探して買ってくれました」とか、そういった話をさせるわけです。

日本だったら「下らない話じゃないか」「受験競争のレールから外れる」なんて話になるんでしょうが、アメリカの先生は生徒がどんな下らない話をしても「グッド」と、褒めるんです。

秋山 本当にそうですね。前向きにエンカレッジしていく。

小川 だから、アメリカ人の先生に全部小学校をやらせたら面白いかも知れません。僕はアメリカが何でもいいなんて全然思っていないですよ。でも、向こうが優れているところは取り入れたというのが明治の人たちではないですか。

秋山 そうですね。私もアメリカ人と付き合い、たまにストレスを感じる時もあります。いいか悪いかは別にして、何でも直ぐに「イエス、イエス」と言う、訳が分からなければ「イエス」というやり方も非常に軽蔑的に受け止められます。そのあたり、アメリカ人は結構最初からはっきり「ノー」と言いますね。

小川 あるいは、「I don't think so」と言いますね。

秋山 自分の個性を主張するためには「イエス」と言うのではなく、まず自分が“I don't think so”とか言って、「私は別なんだ」としておく必要があります。

小川 日本の中だけで制度を変えても恐らくだめだと思います。

秋山 国際的な人の交流や文化の交流をもっと進めていくことが必要なんでしょうね。

危機管理も学術研究も

異分野の幅広い参加をベースに

秋山 リスク・マネジメントのお仕事について推察致しますと、学術的には理工学、政治、経済、果ては哲学、宗教など、いろいろな専門分野の方と交流をお持ちになり、そして協力してお仕事をされていると思います。私も実は2年ほど前まで学術会議の仕事をしておりましたが、そこでは吉川会長が中心になって、これまでの縦割りの学術体系を横に連携させようと、つまりパラダイムの見直しを進めようとしています。私もエネルギー総合工学研究所は23年前に設立されましたが、「総合」という言葉には、エネルギー工学を基盤としながら、環境、経済、国際的な資源配分など、関連分野の方々と幅広く連携していこうとする気持ちを託したんです。

先生のご活躍の幅の広さから見まして、クライシス・マネジメントはまさにそうした総合的な知恵、技術の世界だと認識してよろしいでしょうか。

小川 はい。危機管理といいましてもややこしいことではないんですね。「安全がなければ繁栄はない」とか、「安全がなければ人の幸せはない」とか。じゃあ安全にするためにはど

うしたらいいか、そのために知恵を搾ろうという話ですよね。そのために必要な人であり、組織であれば全部かわりを持つという話です。だから僕は『頭脳なき国家の悲劇』（93年、講談社刊）の中でもその例を若干紹介してありますが、アメリカのシンクタンクのあり方に似ています。例えば、ランドコーポレーションが軍事問題などでプロジェクトチームを作る時、一番最初のメンバーに人類学者など全部入れています。全然違う発想からものを言わせるんです。関係ない話をされるんですけど、それがベースになって、本当のブレインストーミングをやって、それを整理していきます。最初から理系の人だけ、あるいは文系の人だけで考えていこうという話ではないんです。

そういったことがこの研究所が目指してこられた「総合」の1つのあり方につながるのかなという感じがします。

私自身のいる場所というのは多分、官僚のいる場所と同じだと思うんです。だから、今、具体的な仕事相手というのは官僚機構です。官僚機構を動かさないと進まないんです。だから今、テロについては直に総理官邸と仕事をしています。

わが国のエネルギー・環境政策について

エネルギー研究の3つの課題

秋山 ここで、わが国のエネルギー・環境政策についてお話を承りたいと思いますが、その前に一言申し上げますと、ご案内の通り、

わが国の1次エネルギーの80%以上は石油が占めている状況でして、役所、産業界は力を合わせながら新エネルギー、省エネルギー、原子力の三本柱の強化を進めています。石油の多くはホルムズ海峡などを通ってくることも含めて、国際政治情勢に影響されやすいのが問題です。ただ、最近ではアメリカでテロ事件が起きても石油の価格はそれほど変動してはいませんが。

エネルギー、環境の長期的なセキュリティ確保の上で、私どもの研究所としてどういった気構えで取り組んでいけばいいのか、その辺りのご助言を頂ければありがたいです。

小川 原子力というのは大変太い柱なんですけど、エネルギーを研究するのであれば、未来像を描くために世界の頭脳を集めて恒常的な研究しなければいけません。その中から恐らくポスト原発も出てくると思うんです。ありきたりの対応からもっと離れて、突っ拍子もないことを言い出すような集団を世界中から集めて作るということが1つ大事だと思います。

同時にやらなければいけないのは、例えば大黒柱である原子力をいかにコントロールしていくかです。あるいは原子力についてのコ

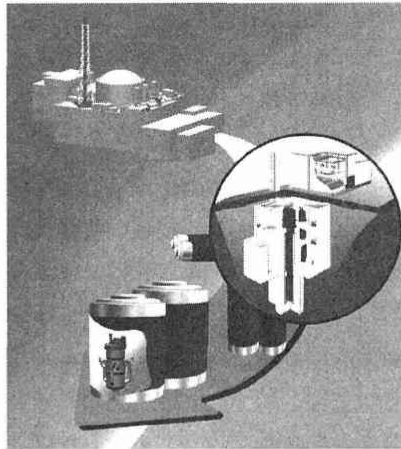
ンセンサスを作る際には、今の生活水準を指標的に描き出し、国民が納得するような形でなければいけませんね。恣意的なものでは説得力がありませんから。そういった実動モデルをシミュレートしてみるというのもやはり研究所の仕事に入ってくるという気がします。

この生活水準を維持するためには原子力をどういう格好でコントロールしなければいけないとか、例えば、日本が脱原発を図った場合、どういう代替エネルギーが今手当てできるのか。その中で生活水準はどのぐらい落ちるのかということも客観的に描き出さなければいけません。かなり先駆的な人がいると思いますから、できれば、どこかの自治体の長と話をして、2つのモデルを実際にやってみるといいですね。例えば、原子力をやめたら、ウォシュレットの待機電源は全部外さないといけないとかになるかも知れません。でも、「それぐらいで済むんだったら原子力をやめよう」、あるいは「やはり快適な生活の方がいいから原子力をやろう」という話になるかも知れません。

秋山 そうですね。1つご紹介申し上げますと、近く核燃料サイクル開発機構敦賀本部の主催で「スマート原子力エンジン」と銘打っ

表2 エネルギー研究の3つの課題

- | |
|---|
| <p>課題1：未来像を描くためのエネルギー研究は、世界の頭脳を集めて恒常的に行う。</p> <p>課題2：原子力をコントロールする方法に関し、恣意性を排した国民合意の形成を図るため、生活水準を指標化する。</p> <p>課題3：「日本は技術大国か」をテーマとする研究。基礎研究の弱さを直視する。</p> |
|---|



(出所：核燃料サイクル開発機構ホームページより)

スマート原子力エンジン

たシンポジウムが福井で開かれる予定でして、私も参加します。東芝の飯田式彦氏などが設計を進めている、優れた特徴を持った小型の安全炉などの紹介もあります。燃料交換をしないで何十年も運転ができ、また仮に外から問題が起きてても自動的に安全に止まるとか、同じく自動的に十分冷やせるといった点が特徴です。ただ、人為的なテロに対する特段の安全防御はこれからの課題でして、クライシス・マネジメントの思想をどうリンクできるのか、今日の先生のお話は大変参考になります。

小川 その「スマート原子炉」というのは面白そうですね。人間が制御しやすいということですね。

秋山 「スマート」という表現には、これから目指すべき気持ちがいくつも託されています。“Super-Small, Safe and Simple”というシンプルで制御しやすく、安心感の高い原子炉ということで、Sが4個ついています。

小川 これは研究所のお仕事に引っかけちゃうと思うんですけど、「日本は技術大国か」というところの研究がもっと欲しいですね。僕は日本が技術大国だなんて思っていないです

よ。結論は岩手県立大学の西沢潤一学長と同じなんですけど、本格的な基礎研究が非常に少ないからです。僕は85年の段階で、日本の自衛隊が使っている国産兵器がなぜ見るも無惨な欠陥兵器の山をなしているか。外見を見ただけで分かるわけです。そのスタディをやって、『戦艦ミズーリの長い影—検証・自衛隊の欠陥兵器』（87年、文藝春秋社刊）という本を出したんです。迫撃砲も作れない、小銃も作れない、戦闘機もミサイルも軍艦も全部欠陥だらけです。個々にいろんな理由があるんですが技術面でいうと、基礎研究がないところに尽きます。鉄のライセンス生産ができないんです。イギリスからライセンスを買ったのに、戦車砲を作れなかったんです。同じものができなかったんです。

秋山 日本は壮大な科学技術基本計画に沿って23兆円もの予算規模で動いていますが、これまでは本当にシーズの基盤となるところが弱い。それから、私の誤解でなければ、アメリカでは軍事関連技術から平和利用へと相当なスピノフがありますよね。

小川 相互乗り入れみたいになっていますね。

秋山 日本の場合には、残念ながらエネルギー

一政策が科学技術基本計画の構想からやや外れているんですね。特に原子力は、原子力以外の研究開発との間で予算的にも、情報交流の面でも切れています。アメリカの場合は、そこは多分に柔軟にやっている。どっちがいいか悪いかは別にして、先生もおっしゃったように、新しいシーズが次々に出てくる仕組みはぜひとも必要ですね。

小川 原子力の未来を探る上でもそれは必要ですね。アメリカのエネルギー省などは、私どもの分野でいうと、原子力に関する知識とさまざまな能力を持ったNEST (Nuclear Emergency Search Team) という核テロ専門の特殊部隊を持っています。エネルギー省というのは核兵器の政策にも直接かかわっていますから。

おわりに

シンクタンクに資金投入して 危機管理、軍民技術移転の研究を

秋山 冒頭に触れましたように、現代は、多くの危険、不安にさらされながら、安全を目指して生きていくという時代ですが、クライシス・マネジメントのご専門家としてなお全体にわたりまして、私どもにアドバイスを頂けたらと思います。

小川 エネルギー総合工学研究所がやるべきことははっきりしていますので、頭脳としての営みをより高度に維持していけることが大事だと思います。

秋山 エネルギーのシンクタンク仲間では日本エネルギー経済研究所もあります。それから、当研究所は、新エネルギー・産業技術総

合開発機構 (NEDO) の事業に積極的に協力しています。今後とも大きな、そして長期的な視野の下で、今日のお話を具体化することも含めてなお一段と努力してまいります。

小川 危機管理とか、軍事から民間への技術移転の研究を実はきちんとやらないとだめだと思います。僕は4, 5人の人員、年間人件費1億円ぐらいで、世界に通用するレベルの研究をやる自信はあります。アサヒビールの樋口廣太郎名誉会長が、その方面で良いアイデアがあれば「金は何ばでも出るで」と4月頃、僕に言っていました。

サイバーテロに対する防護も日本は政府を挙げて全部だめですから。

秋山 新聞にはサイバーテロという言葉が時折出ていますが、対策はなかなか難しいんですかね。

小川 郵政大臣のお膝元から各重要機関に至るまで私の友人が全部侵入しちゃいました。彼は別にハッカーではないんですよ。でも、ある程度能力のある人間だったら侵入できます。日本ではどの機関もハッキングに対する防護ができていないということです。これはイタチごっこです。常に高度な能力を持った集団が外から不断にチェックしなければだめなんですね。ところが日本の場合、セキュリティシステムを組んだ会社にチェックさせる。それを他からチェックさせようとすると、「システム作りを頼んだ総務部長の顔を潰すから」とかいう理由で反対されるんです。そんな話で全然だめです。

秋山 本当に貴重なお話をありがとうございました。これを機会に今後ともよろしくお願いいたします。

保障措置をめぐる最近の話題

—統合保障措置への道—



内 藤 香 (日本原子力研究所
監事)

*

1. はじめに

読者の皆様方の中には、「保障措置」という言葉を耳にしても、余りピンと来ない方々が多いのではないのでしょうか。ましてや「統合保障措置」と言ったら尚更でしょう。そうした方々を念頭に、保障措置、ひいては核不拡散をめぐる最近の話題について、歴史的な経緯も踏まえながら解説することに致しましょう。

1991年の湾岸戦争を契機にイラクによる秘密裏の核兵器開発計画が発覚したことにより、保障措置の拡充・強化が喫緊の課題となりました。後で述べますように国連関連機関である国際原子力機関（IAEA）（図1参照）の理事会等でこの問題が議論され、具体策が実施に移されてきました。このようにイラクの事件を境にして、IAEA保障措置が質的な変化を遂げていますので、保障措置の系譜も「イラク前」と「イラク後」に分けて説明するのが適当でしょう。

2. 「イラク前」の保障措置

—申告した核物質の計量管理中心

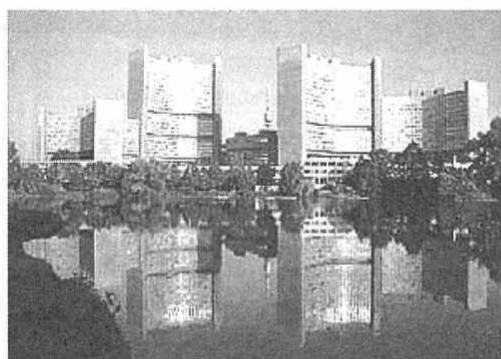


図1 IAEA本部（ウィーン）の外観

（出所：IAEAホームページ）

2.1 伝統的保障措置

(1) 保障措置とは

保障措置とは、英語のsafeguards（複数形であることに注意）の訳です。通常、単数形で保護物、安全装置、防衛及びその手段、予防条項及び規約などの意味で用いられています。また、狭義には、通商分野において緊急輸入制限措置（特定商品の輸入増加により国内産業が圧迫された場合、ガット第19条（セーフガード条項）や世界貿易機関（WTO）協定に基づいて行使できる輸入制限の権利）のことを指して使われています。しかし、IAEAの保障措置は、この狭義のセーフガードとは全く無関係で、供給された核物質、原子炉、重水

*筆者は、1988年から約4年間、IAEAにて保障措置局開発・技術支援部長として勤務。

など原子力資材が平和目的のためだけに利用され、核兵器開発などに転用されることがないことを担保するために行なわれる検認措置のことを指しています。

(2) 保障措置の対象

保障措置の対象になる原子力資材には、

- ①IAEAを通じて供給された原子力資材、
- ②二国間原子力協力協定によって供給された原子力資材、

③自発的に要請した場合（核兵器国）、

④核不拡散条約（NPT）^{（1）}や非核兵器地帯条約などによる義務（非核兵器国の全ての核物質）があります。（図2参照）

歴史的に見ると、①及び②に対するものが主体的でした。当然のことながら、供給された原子力資材しか保障措置の対象にならず、次項で述べるNPT保障措置のようにその国に存在する全ての核物質を対象とする、フルスコープ（または包括的）保障措置とはなっ

（平成13年3月22日現在）

(1) 条約の成立及び締約国

（イ）核兵器の不拡散に関する条約（Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons:NPT）は、1968年7月1日に署名開放され、70年3月5日に発効（わが国は1970年2月署名、1976年6月批准）。

（ロ）締約国は187ヶ国（2001年1月現在）。主たる未締約国はインド、パキスタン、イスラエル、キューバ。

(2) 条約の目的と内容

（イ）核不拡散:

米、露、英、仏、中の5ヶ国を「核兵器国」と定め、「核兵器国」以外への核兵器の拡散を防止。

（参考）第9条3「この条約の適用上、「核兵器国」とは、1967年1月1日以前に核兵器その他の核爆発装置を製造しかつ爆発させた国をいう。」

（ロ）核軍縮:

各締約国による誠実に核軍縮交渉を行う義務を規定（第6条）。

（ハ）原子力の平和的利用:

右は締約国の「奪い得ない権利」と規定するとともに（第4条1）、原子力の平和的利用の軍事技術への転用を防止するため、非核兵器国が国際原子力機関（IAEA）の保障措置を受諾する義務を規定（第3条）。

（参考）NPTの主要規定・・・前文、条文全11条及び末文から構成。

核兵器国の核不拡散義務（第1条）

非核兵器国の核不拡散義務（第2条）

非核兵器国によるIAEAの保障措置受諾義務（第3条）

締約国の原子力平和利用の権利（第4条）

非核兵器国による平和的核爆発の利益の享受（第5条）

締約国による核軍縮交渉義務（第6条）

条約の運用を検討する5年毎の運用検討会議の開催（第8条3）

「核兵器国」の定義（第9条3）

条約の効力発生の25年後、条約が無期限に効力を有するか追加の一定期間延長されるかを決定するための会議の開催（第10条2）

（出所：外務省ホームページより）

図2 「核兵器の不拡散に関する条約（NPT）」の概要

いないため、抜け穴がありました。このことが明らかとなったのが、次節、2.2に述べる1974年5月のインドによる「平和目的」の地下核実験⁽²⁾でした。

(3) 核兵器国に対する保障措置の適用

NPT第3条1の規定により、締約国である各非核兵器国は、原子力が平和的利用から核兵器その他の核爆発装置に転用されることを防止するため、NPT保障措置協定（IAEA文書INFCIRC/153）に基づく保障措置を国内の全核物質について適用する義務を負っています。

しかしながら、この義務を負うのは非核兵器国だけであって、NPTが規定する条約上の「核兵器国」⁽³⁾には、その義務がありません。

これでは、不平等だと非核兵器国側が主張し、原子力平和利用の協力促進、核軍縮等の推進が条約上の規定として明確に謳われました。また、核兵器国に対しても自発的にその国内の平和的原子力利用分野における核物質にIAEA保障措置を受け入れるよう非核兵器国側が強力に働きかけました。現在では、NPT上の「核兵器国」全てが、その一部の平和利用原子力活動に対して、自発的にIAEA保障措置を受けるべく、IAEAとの間に協定を結んで実施しています。こうして、保障措置によって非核兵器国の原子力事業者が核兵器国の原子力事業者に比して商業上不利にならないようにとの非核兵器国側の要望がある程度取り入れられて来ているのです。

(4) 保障措置の態様

保障措置の実施にあたってどんなことが行なわれるのでしょうか。NPT保障措置の場合ですと以下のような措置が取られます。

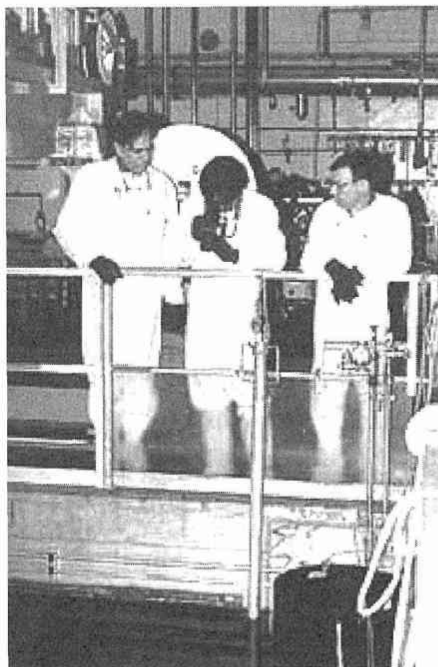


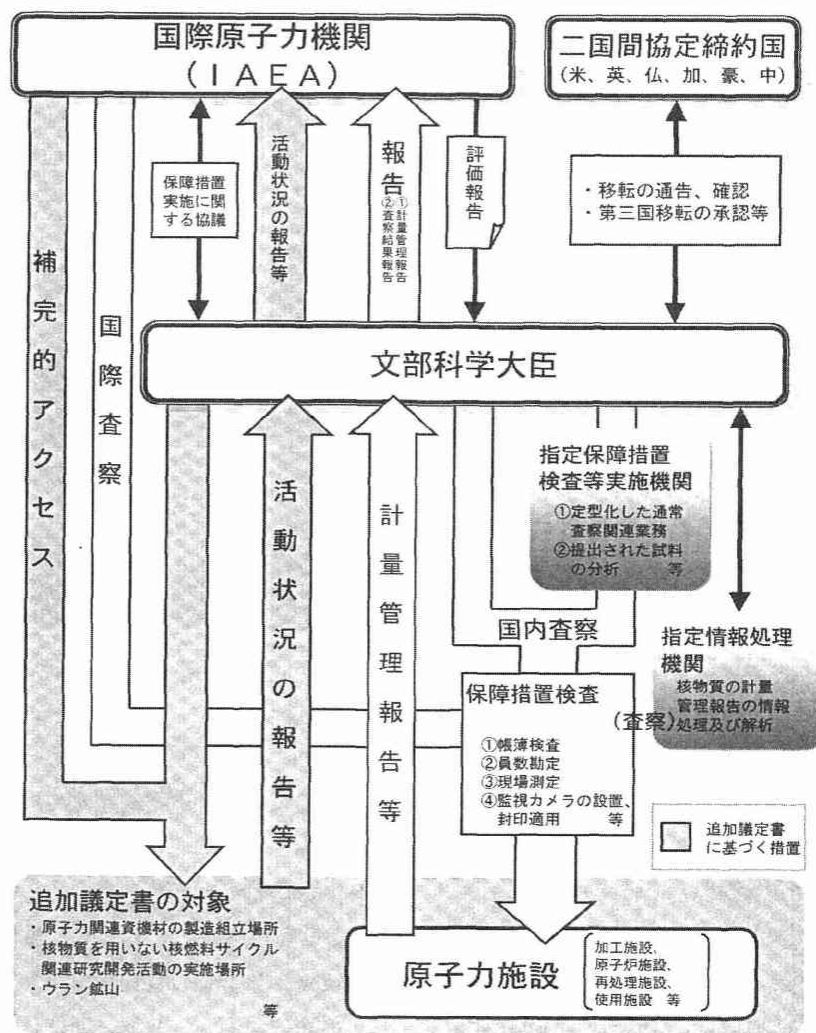
図3 軽水炉における査察

(出所：IAEAホームページ)

- 施設における核物質の所在、種類、在庫量、移動などによる増減などの計量管理記録を保持させる、
- 計量管理報告を徴取する、
- 査察官が施設に立ち入り、施設者の帳簿の検査、核物質の員数勘定や燃料集合体などの非破壊測定、核種・同位体比などの分析のため分析用試料の収去、監視カメラの設置・封印の適用による核物質移動のチェック、原則として年1回の実在庫量の検認などを実施する、
- 以上の結果から転用の有無を総合的に解析、評価する。(図3参照)

(5) 保障措置の実施

NPT保障措置協定による保障措置の目的は、有意量の核物質（高濃縮ウランで25kg以上、プルトニウムで8kg以上）の転用を適時に探



(出所：文部科学省保障措置室資料，2001年12月)

図4 わが国における保障措置実施体制

知すること及び早期に探知されるかもしれないとの危惧を与えることにより、このような転用を防止することです。

適時性を判断する目標、すなわち転用後探知するまでに許容される経過時間の目安として、使用済み燃料では3ヶ月、分離プルトニウムの場合には1ヶ月がIAEA事務局によって採用されており、これによって査察の頻度が決

まっています。これまでの伝統的な保障措置体制下では、例えば軽水炉の場合には、3ヶ月に1度の中間査察と年一度の実在庫検証が行なわれています。また、分離プルトニウムが存在する再処理施設では、1ヶ月の適時性目標に対応してより頻繁な査察が行なわれています。

保障措置の実施の任にあるのは、IAEA保障

措置局の3つの業務部の査察官219名にこれを支援するスタッフを加えた507名の職員です。2000年においては、全世界の584の施設で総計約2,500回（約10,300人・日の業務量）の査察が行なわれました。このうちの約88%が包括的保障措施協定の対象国で（上記「保障措施の対象」分類の④）、約7%が核兵器国において（同分類の③）、残りが二国間協定に基づく保障措施協定の対象国において（同分類の①及び②）行なわれました。わが国の場合には、IAEAは約250の施設において約2000人・日の査察業務量を行なっています。

2.2 インドによる「平和的」核実験の影響

(1) インドの核実験

1974年5月、インドは、地下核実験を行ないました。カナダから輸入したCANDU炉にインド国産の核燃料を装荷してできたプルトニウムを使って、運河掘削などのためと称する「平和目的」用の核爆発装置の実験を行なったのですが、インド側は実験自体は、供給された原子力資材の利用を平和目的に限定するという協定上の約束に違反していないと主張しました。

理屈はともあれ、カナダが供給した原子炉が、核爆発装置の製造に利用されたわけで、カナダ政府の受けた衝撃は相当なものでした。いくら「平和目的」の核爆発装置だと主張したところで、核兵器との区別は実態上不可能です。即時にカナダ政府は、インドへの原子力援助の停止を表明しました。

(2) 核不拡散政策の拡充・強化

この事件を契機に、カナダを始め、オース

トラリア、米国などウラン燃料その他の原子力資材の供給国は、相次いで二国間原子力協定の不備を改め、核不拡散のための措置を拡充・強化すべく、協定改訂を行ないました。主な改正点は、次のとおりです。

- 供給した資材だけでなく、それを用いて生成したプルトニウムなどの派生核物質も再処理や第三国移転などに関する事前同意、保障措施義務など、協定上の規制対象とした。米国、フランス及び英国の場合には、さらにフルスコープ保障措施を受けることを協力の前提とした。
- 核兵器だけでなく核爆発装置への転用禁止を明示した。
- 核物質防護措置義務、機微技術の移転規制など新たな規制を追加した。

2.3 保障措施以外の核不拡散措置

保障措施は、水平的な核拡散（核兵器保有国の拡大）を防止するための手段として存在し、機能してきましたが、この他にも核拡散防止のための措置としては、垂直的な拡散（核兵器数の増大）を防止するための核軍縮や、テロリストなど国内（Sub-national Level）の脅威に対する核物質防護などの方策が取られています。

ここではその中の代表的な取組み事例を紹介します。

(1) ザンガー委員会

NPT第3条2は、特定の核物質及びその処理、使用、生産のための設備・資材は、当該核物質にIAEA保障措施が適用されない限り、これらをいかなる非核兵器国に対しても供給しないと規定しています。これを受けて、

NPTの発効後間もない1971年に供給規制の対象となる原子力資材の範囲を明確にするため、供給国などの締約国が非公式な委員会（ザンガー委員会）を設置して検討を行ないました。その結果、1974年に具体的な対象リスト（トリガーリスト）を策定し、IAEA文書INFCIRC/209として公表するとともに、①受領国がこれを核爆発目的には使用しない旨の文書による確約を行なうこと、②第三国に再輸出する際には、受領国が同様の保障措置の義務を第三国に課するとともに、第三国から同様の確約を求めることを申し合わせました。

(2) ロンドンガイドライン

1974年にインドが平和目的のために供給された原子力資材を用いて核爆発装置の爆発を行なったことから、NPT締約国の一部がトリガーリストの運用を含めた既存制度は核拡散防止上十分ではないと判断し、「原子力供給国グループ」、いわゆる「ロンドン・クラブ」を1975年4月に結成し、原子力資材の非核兵器国への輸出に際して適用されるべき指針について協議を行いました。1977年9月に合意に達し、ロンドンガイドラインとして1978年1月に公表しました（IAEA文書INFCIRC/254）。同ガイドラインは、ザンガー委員会のトリガーリストを採用したばかりではなく、平和目的利用の確約、保障措置の適用に加えて核物質防護措置の適用、再移転の際の要件強化などにより、再処理、濃縮、重水製造などの機微技術の輸出に関する規制要件を強化しています。

(3) 非核兵器地帯条約

核兵器の配備自体は、NPTの規定上禁止されてはいませんが、NPT第7条においては、締

約国が非核兵器地帯の創設に関する条約を地域的に締結することを妨げるものではないと謳っています。核兵器の配備等を特定の地域に関して完全に禁止する条約として最初のものは、南極条約で、既に1959年に発効し、その後、1968年にラテンアメリカを対象としたトラテロコ条約が発効しました。

その後、現在までに、南太平洋地域を対象としたラロトンガ条約（1986年発効）、東南アジアを対象としたバンコック条約（1997年発効）が発効するとともに、アフリカ大陸を対象としたペリンダバ条約が署名のために開放されています。

(4) 核物質防護

核物質防護とは、核物質の盗取・不法移転の防止、原子力施設や核物質輸送に対する妨害・破壊行為を防ぐための措置のことで、例えば核物質の使用等における厳重管理、防護区画の設定、人員の出入管理、施設の警備、連絡通報体制の整備などを言います。IAEAは、各国が核物質防護体制を整備する上で参考とすべき指針を作成し、INFCIRC/225として刊行しました（1975年）。これが、改訂された二国間原子力協定やロンドンガイドラインなどにも盛り込まれ、わが国においてもこれに従って具体的な措置がなされています。

また、核物質の国際輸送に関する防護措置の適用、核物質に関わる盗取、脅迫、散布などに対する処罰、容疑者の引渡し等を規定した核物質防護条約が1987年に発効しています。わが国も1988年にその批准にあたって原子炉等規制法など関連法令の整備を行なって、核物質防護体制を拡充しています。



図5 アクションチームの活動

(出所：IAEAホームページ)

(5) 核軍縮

NPT第6条には、締約国が核軍備競争の早期停止と核軍縮に関する効果的な措置について、また、厳重かつ効果的な国際管理の下における全面的かつ完全な軍縮条約について交渉を行なうことが謳われています。旧ソ連邦の崩壊に伴って東西冷戦が終結し、それまで実質的な進展が見られなかった軍縮において戦略兵器削減条約（START）、中距離核戦力（INF）条約、解体核の国際検認制度の検討など、一定の成果が得られています。

3. 「イラク後」一未申告活動に関する情報分析を加味した保障措置

3.1 イラクの核兵器開発計画

(1) 秘密計画の発覚

NPT保障措置体制に打撃を与えた最初の大きな事件は、1981年にイスラエル爆撃機によってフランスが供給したイラクの大型研究炉 Tammuz 炉が破壊された事件でした。イラクは、1971年以来NPT締約国であり、建設中だったこの炉にはIAEA保障措置が適用されていました。イスラエルは、この保障措置ではイラクがこの炉を利用して秘密裏に核兵器計画用のプルトニウムを生産することを防止できないとしてその攻撃を正当化したのです。

それから10年後、1991年湾岸戦争におけるイラク軍の敗北後、イラク政府がIAEAも外国諜報機関も関知していない核兵器に利用するための濃縮ウラン生産の極めて大規模な計画を遂行中であったことなどが明白になったのです。

(2) アクションチーム

1991年4月15日、IAEAは、「IAEAイラクアクションチーム」を設立し、国連安保理決議687/1991に基づいてIAEAに付与された任務、①イラクの秘密核開発計画の全貌解明と除去、②継続的な監視・検認計画（OMV）の策定と実施を行なって来ました。（図5参照）

イラクの秘密核兵器開発計画が発覚した直接のきっかけは、湾岸戦争の際にイラク軍から投降し、亡命して来た者がもたらした情報によるとされています。当時、筆者は、IAEA保障措置局で査察機器開発等を担当する部長職にありましたが、私の同僚や部下がこのアクションチームの一員として現地査察に参加し、その生々しい体験を話してくれました。それによれば、亡命者のもたらした情報は、かなり正確だったようです。イラクが極秘に核兵器開発を行っていた研究所には、爆撃

を避けるためにカモフラージュされた本物の研究炉と攻撃をそらす囷として張りぼての研究炉とが存在していたのですが、連合国側の空爆では、本物の方は壊滅状態にまで爆撃されたのに対して、囷の方は、全く無傷のままに残されていたそうです。

また、イラクの核兵器開発計画の全容を把握するために、関係科学者の人事ファイルまで押収し、そのビデオ撮影をしたそうですが、その際に欧文を記録する場合の様に左から右にゆっくり振って撮影してしまったそうです。ところがご存知のように、アラビア語は、右から左に向かって筆記しますから、こうして収録したビデオ記録は全く判読できず、役に立たなかったと言った失敗談も聞いたりしました。

こうしてアクションチームは、1991年から査察官の安全保護に懸念が生じたためにその引き揚げを余儀なくされた1998年12月までの間、全部で29回の査察を行なうとともに、1994年の査察官常駐以来、ほとんど事前通告なしに1,500回以上のOMV査察を行ないました。

(3) 秘密核兵器開発計画の全貌

アクションチームにより、以下の秘密核兵器開発計画の全貌が明らかになりました。

- ①核物質の取得：イタリア、ポルトガル、ニジェールなどから、イエローケーキ、 UO_2 など多量の核物質を輸入し、ウランの回収、転換、燃料加工試験などを実施。
- ②自前の濃縮能力の開発：米国のマンハッタン計画において、余りに非効率的・非現実的だとして放棄され、その文献が秘密解除されていた電磁同位体分離法（EMIS：

質量分析器と同原理の磁力による分離法）のシステムを設計・製造・運転し、平均濃縮度7.3%の濃縮ウラン640 gを取得。また、ガス拡散法、遠心分離法、化学分離濃縮法、レーザー濃縮法の研究にも従事。

- ③爆縮型原爆製造技術：起爆装置、高性能爆薬の開発、爆縮システムの理論計算を実施。

(4) 伝統的保障措置の限界

一体イラクはどのようにして探知されずに大規模な核兵器計画に乗り出す事ができたのでしょうか。

「イラク前」には、IAEA査察官は、イラクの主要原子力研究センターであるトゥワイサで操業中の約100もの施設のうち、ほんの一握りしか定常的に査察することができませんでした。イラク側の申告では、当時査察対象であった施設にイラク内の保障措置対象となる核物質が全て存在していたことになっていました。ところが、後に明らかになったのは、IAEA査察官が立ち入り権限を有していなかったトゥワイサにある施設の多くがイラクの秘密計画において重要な役割を果たしていたのです。その中には、通常は核物質が存在していない施設、例えば、ウラン濃縮に必要な機器の一部を製作する作業場も含まれていました。IAEA査察官の通常的な立ち入りが制限されていなかったとしたら、イラクの計画を探知していた確率はもっと高かったと思われます。また、1991年まで、イラクがその計画を隠蔽できた理由の1つに、イラクが原子力用及び汎用の機器、技術、資材に不正にアクセスできたことがあります。

これは、NPT保障措置協定（INFCIRC/153）上、再処理・濃縮技術等の移転は、IAEAに対

して報告の義務はなく、これらの施設に核物質が導入される前に、可及的速やか（少なくとも180日前まで）にその設計情報を提供すれば良かったことに依っています。

イラクの事例から得られた最も重要な結論は、どんなに申告された核物質の計量管理を厳格に行ったとしても、秘密裏の原子力計画は、探知し得ないことです。IAEAが包括的保障措置下にある国の原子力計画に関してより多くの情報を入手できるようにする必要性が認識されました。また、IAEA査察官は、保障措置下にある核物質を使用している施設ばかりではなく、核物質が存在しないものであっても当該国の原子力計画に関連する施設であればどこにでも、また、原子力活動に関与するものとして申告されているかどうかに関わらず、原子力サイトにある、例えばウラン濃縮用遠心分離器の構成要素や重水など非原子力資材の製造施設のどれにでも立ち入る権限を持つ必要性が認識されました。

3.2 IAEA保障措置の強化・効率化

イラクの核兵器開発計画が発覚したのに次いで北朝鮮における核疑惑問題が生じました。1992年、北朝鮮がNPT保障措置協定に基づき行なった冒頭報告の内容とその検認のために行なったIAEAの査察結果（特に、粒子レベルの同位元素分析が行なえる、新たな「環境サンプリング」手法の結果）とに齟齬があり、北朝鮮がIAEAに未申告でプルトニウム分離を行っていた疑いが生じたのです。

こうした未申告の原子力活動への対処に加え、包括的保障措置対象施設の急増、IAEAの予算的制約、検認技術の進展を踏まえて、既存の保障措置制度を見直す必要性が認識され



図6 環境サンプリング

（出所：IAEAホームページ）

ました。

その結果、まず、1992年2月の理事会において、IAEAが特別査察⁽⁴⁾の権限を有することを再確認するとともに、原子力供給国が原子力資材の輸出をIAEAに自発的に報告することを承認し、また、施設の設置や変更を国が決定または許可し次第すぐ当該設計情報をIAEAに提供すべきとしました。

さらに、保障措置実施に関するIAEA事務局長の諮問機関で、現在、筆者もその一員を務めている保障措置実施常設諮問委員会（SAGSI）が1993年4月に、「IAEA保障措置は、包括的保障措置協定下の国に未申告の原子力活動が存在していないとの確証を与えるべきである」と勧告するとともに、「93+2計画」と呼ばれた保障措置の実効性の強化と効率の向上のための方策を検討する計画の立ち上げに賛同し、その活動を具体的に支援しました。

3.3 追加議定書（INFCIRC/540）の発効

1995年にIAEA理事会は、約2年間にわたる事務局の「93+2計画」の検討結果に基づき、新たな強化・効率化策につき合意し、そのうちIAEAの既存の法的権限に包含されていると考

えられる措置（第Ⅰ部：追加情報の早期提供、環境サンプリングの実施、遠隔監視など高度技術の利用など）については、その早期の実施を、また、新たな権限の追加が必要と考えられるもの（第Ⅱ部）については、こうした法的権限を与えるモデル議定書の起草委員会の設立を決定したのです。（図6参照）

同委員会の検討結果を得た理事会は、1997年5月、情報と場所への接近をより拡大するのに必要な法的権限をIAEAに与えるモデル追加議定書（INFCIRC/540）を採択しました。

その特徴は、未申告活動を探知するため、ある国の原子力計画の全て、核物質の使用を伴わないものも含めた原子力関連研究開発について、IAEAに対して関連情報を提供させ、原子力サイトにある原子力施設の他、全ての建物に立ち入り（補完的立ち入り）、広範囲に環境サンプリングを行なう権限を付与しています。さらに、査察官の指名手続きの簡素化、数次査証の発給、最新の通信手段を利用可能にさせることなど円滑な査察の実施のための規定が盛り込まれています。（図4参照）

なお、2001年9月末現在、同追加議定書は57ヶ国が署名し、わが国を始め豪州、カナダなど21ヶ国において発効しています。

4. 統合保障措置

（1）統合保障措置とは

1998年5月SAGSIは、モデル追加議定書の採択を受けて「議定書に示された新たな保障措置を包括的保障措置協定下での保障措置に機械的に追加するようなやり方で適用してはならず、両者をIAEAの限られた資源の中で効果的・効率的に実施するためのシステムを構築

すべきである」と勧告しました。

その際、統合保障措置を「追加議定書によるものも含め、IAEAが利用可能なすべての保障措置手段の最適な組み合わせであって、与えられた資源の範囲内で、INFCIRC/153第2条に規定するIAEAの権限と義務を履行する上で、最大の効果と効率を達成するもの」と暫定的に定義しました。

（2）統合保障措置の構築の論拠

従来の包括的保障措置協定だけの場合には、未申告の再処理や濃縮施設が探知されずに存在するとの前提に立って、保障措置実施パラメーター（特に適時性目標）の値が決められ、申告核物質に対する伝統的な査察業務量のレベルが決められてきました。しかし、包括的保障措置協定に加えて追加議定書が発効している場合には、こうした未申告活動が存在しないことの確証を与えるIAEAの能力によって、この前提を置く必要が無くなり、保障措置実施パラメーター^{（5）}の緩和及び申告核物質に対する査察業務量の削減の可能性が生まれるのです。さらに、分離プルトニウム及び高濃縮ウランなど機微核物質の検認の実効性を向上させる多様な手段の採用も検討され、全体として保障措置の強化・効率化が図られることになるのです。

（3）検討状況

IAEA事務局、部内検討グループ、外部専門家グループ、SAGSIなどによって多角的な検討が行なわれ、これまでに、

- ①未申告の核物質及び原子力活動が存在しないとの結論を得るための指針、
- ②国別情報分析評価手続き（追加議定書の発

効前、冒頭申告時及びそれ以後継続的に当該国の原子力計画及び未申告活動等の有無を評価するため)

- ③補完的立ち入りの実施指針,
- ④施設別統合保障措置アプローチ (軽水炉, 研究炉および臨界実験装置)
- ⑤豪州に対する国レベルでの統合保障措置アプローチが得られました。

IAEAとしては、残りの施設別統合保障措置アプローチの策定を含め、統合保障措置に対する概念的な作業を2001年中にほぼ完了したいとの意向を表明しています。

5. むすび

統合保障措置の適用により、申告核物質に対する伝統的な保障措置の合理化が期待されますが、それには、その国に未申告原子力活動が存在しないとの結論が得られることが大前提になります。わが国については、追加議定書が発効して15ヶ月以上が経過し、これまでに30回を超える補完的アクセスが行なわれ

ています。早期にかかる結論が得られ、統合保障措置が実施に移されることが望まれます。

また、追加議定書に核兵器国も含め多くの国、特に原子力利用の進んだ国々が加わり、その普遍化が図られることが肝要です。これが核疑惑国に対しても追加議定書を受諾させ、未申告活動に対する検認活動を行なわせる第一歩となるのです。

注記

- (1) 1970年に発効。わが国は、1976年に批准。
- (2) 1998年5月に行なったインドの地下核実験とは、別のもので、これに先立つ24年前のことです。
- (3) 1967年1月1日前に核兵器その他の核爆発装置を製造し爆発させた国、すなわち、米、露、英、仏、中の5ヶ国を指す。
- (4) 包括的保障措置下にある国のどの場所にも立ち入りが可能
- (5) 特に、劣化ウラン、天然ウラン及び低濃縮ウラン並びに照射済み燃料など機微で無い核物質に対するもの。

わが国のエネルギー・原子力セキュリティ問題を考える—米同時多発テロ事件を踏まえて



伊藤 正彦 (日本原子力防護システム(株)
理事・業務部 部長)

1. はじめに

2000年9月11日の米同時多発テロ事件は、従来のセキュリティ対策の哲学を変えるものである。同事件を機に、ハイジャックされた大型航空機が原子力発電所や再処理工場などの原子力施設を攻撃する可能性が懸念されている。

現在、米国をはじめ、英国、フランス、日本等の主要各国は、原発などの国家重要施設を警備するため、最高レベルのセキュリティ体制を敷いている。

わが国のエネルギーセキュリティを考える場合、まさにテロ対策と言う観点から、エネルギー関係施設の防護、警備対策の強化が望まれる。

エネルギー関連施設としては、火力発電所、水力発電所、原子力発電所等の電力供給施設のほかに、ガス、液化天然ガス（LNG）等の供給施設がある。中でも、最も厳しいセキュリティ対策が要請されているのが、原子力発電所等の原子力施設である。核不拡散の観点から、核物質の盗取、施設や輸送などに対する妨害破壊行為を防止する核物質防護（PP:

Physical Protection) の重要性が一層高まっている。

原子力発電所では、PPと言う法的規制に基づき、テロリストなどによる核物質の盗取、原子力施設に対する妨害破壊行為を防止するため、障壁、侵入対策、出入管理、通報連絡等、統合的なセキュリティ・システム措置が導入されている。

こうした経験が最近、幅広くその他エネルギー関連施設のセキュリティ対策の考え方にも反映されている。米同時多発テロを機に、エネルギー消費大国であるわが国としても、新しいエネルギーセキュリティの考え方を構築し、懸念されるテロ脅威に対処することが要請されている。

2. 米同時多発テロに対する主要国の対応

2.1 アメリカ

(1) 米国原子力規制委員会 (NRC) の対応

米国では現在、103基、1億117万KW（PWR型69基、BWR型34基）の商業原発が運転中である。

9月11日の同時多発テロを機に、NRCは、新設の全米セキュリティ局（HSO）をはじめ、連邦捜査局（FBI）、その他情報機関、治安当局、軍及び州当局と密接に接触し、最新の脅威情報の評価とセキュリティ計画などについて協議を行っている。

テロの道具と化したハイジャックされた航空機は原子力発電所の設計基礎脅威として想定しておらず、プラント設計上、特別に対応すべき事象となっていないことを認めた。

9月26日、NRCメセーブNRC委員長は、原発とNRC規制管轄にある原子力施設のある40州の各知事に対して、警備強化のため、州警備隊の州兵派遣が必要になる事態が起こる可能性があるので、原子力事業者と州当局との連絡体制の確立を要請する書簡を发出したが、これはすでに現行の設計基礎脅威（DBT：Design Basis Threat）を超えるテロ脅威に、現行のセキュリティ対策では対応できないと判断したことによる。

10月18日、NRCはスリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所を狙った空からのテロ脅威について、連邦と州当局に対し、連携して厳格な防護対策を講じるよう指示した。

また、民間の全原子力施設に対しては、指導・規制している最高レベルのセキュリティ措置を講ずるよう通達を出した。現在、原発のテロ対策は、最高レベルの警戒体制となっている。

また、NRCは、テロリストがNRCウェブ・サイトを利用して原子力発電所を攻撃することを恐れて、一部ウェブ・サイトの運用を停止した。停止対象となる情報は、例えば、施設の位置情報、プラントの図面、原子炉容器の断面図、その他の詳細設計などである。

（2）その他の機関の対応

エネルギー省（DOE）は、核兵器研究所、核物質貯蔵所を含むDOE施設のセキュリティを最高レベルに置いた。

州警備隊と沿岸警備隊は、NRCの要請を受け、各州66サイトにある103基の原子力発電所などの原子力施設を防護するため、一層のテロ対策強化に乗り出した。

沿岸警備隊は、各州にある原発サイト周辺の海、河、湖に特別セキュリティ・ゾーンを設け、24時間の警戒体制を敷いた。

また、州警備隊は州兵を配備し、地元警察官に加え、各州にある原発サイト周辺で警戒体制を強化している。

米下院エネルギー・商業委員会では、テロ対策強化のために、新セキュリティ法案（10月3日）とプライスアンダーソン法関連の改正法案（11月31日）が承認された。

2.2 英国

英国では、通常、英国核燃料公社（BNFL）の再処理工場や混合酸化物燃料（MOX燃料）加工工場など核燃料サイクル施設等の政府施設と核燃料輸送のセキュリティ対策は、武装警備により講じられている。この武装防護は、原子力警察隊（AEAC）が実施しているが、米同時多発テロを機に、原子力発電所など民間の原子力施設も巡視、防護する権限が与えられた。

原子力発電所のテロ対策として、次の措置が講じられている。

- 一般見学の中止、業務視察の制限
- 原発サイトに入る道路にコンクリート・ブロックを設置
- 原発周辺に特別の武装防護員を配置

2.3 フランス

フランス軍は10月26日、ハイジャックされた大型航空機による自爆テロ攻撃に備え、シエルブール近郊のラアグ再処理工場に地対空ミサイルを配備した。この欧州最大の再処理工場の上空を監視するため、可動のクロタル（Crotale）と言うレーダーシステムが設置され、空軍が偵察を行っている。

米同時多発テロ以降、フランスで強化された原子力セキュリティ対策には、再処理工場の見学中止、原子力発電所サイトのある県当局、警察による武装警官の増員と原発周辺の巡回、防護強化の実施などがある。

国民議会は10月31日、警察力を強化するためセキュリティ関係の法改正を承認した。

フランスでは、原子力発電所よりも再処理工場のセキュリティ対策の強化に関心が集まっている。例えば、原子力反対派の市民団体などは、再処理工場へ航空機が衝突した場合、チェルノブイリ原発事故のような事態になるという懸念を表明している。

2.4 ドイツ

(1) RSK仮報告書

ドイツでは、ハイジャック機が原子力発電所に衝突すると言うテロ攻撃への懸念が焦点になっている。

環境大臣は独原子炉安全委員会（RSK）に対して、防護に関する委託調査を要請した。このRSKの仮報告書は、ドイツ国内の全原子力発電所は大型旅客機の意図的な衝突に耐えることに疑問であると言う結論を出した（表1参照）。

同報告書をめぐり、環境大臣の発言を皮切りに政治的な論争が起こっている。

政府内の原子力反対勢力は、この機会をとらえて原子力発電所の閉鎖計画を早めようとしている。他方、連邦環境大臣は、原子力発電所防護のための対空防衛網設置には反対している。

(2) 仮報告書を巡る政治論争

①連邦環境大臣の発言

- テロ攻撃に対し、政府が取り得る方法として原発19基の全て、または一部を一時的に運転停止することが有り得る。
- このような措置をとる法的な根拠がある。
- 連邦内務大臣が、テロ攻撃に関する確実な脅威が存在すると予測した場合、連邦環境省と州環境省は、原発を運転停止すべきか否かを判断する。しかし、現実には独の原発に脅威があるとは思われていない。
- 早期に発電炉を閉鎖したいが、現在、原

表1 RSK仮報告書の概要

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">● 独の全ての原発が、大型航空機による衝突に耐えるか疑問である。試験を実施していない。● 独の原発は、各施設ごとで、防護レベルが異なる。原子炉の防護が、建設または技術的手段により改善され得るかを決定するには更に解析を進める必要がある。 |
|--|

発の残存運転期間のセキュリティ対策の向上を考えている。

②経済大臣の見解

- エネルギー供給確保に関する緊急時計画を再検討し、原油、ガス、電力供給の重大な停止に関して素早く対応できる。

③内務大臣の新提案

米国の同時多発テロを受け、内務大臣はセキュリティ対策強化と国内の治安向上のため、次の様な提案を行った。

- 指紋や他のIDデータ、手や顔の測定値を本人の証明書に含める。
- バーコードには、手や顔の測定値がバイオメトリック・データとしてその他のIDデータとともに入力、IDの偽造を困難にし、また正確な本人の同定を容易にする。
- データは、ドイツ外国人登録簿に入れられ、警察やセキュリティ・サービスが利用する。エネルギー、水道、病院、鉄道、郵便、公共放送の従業員も当局のセキュリティ調査対象になる。なお、この提案に対しては、連立政権内に強い抵抗がある。

④電力事業者の見解

- 世界の原子力発電所は、9月11日のテロ攻撃に耐えるものはないであろう。

⑤環境団体の見解

環境保護団体のBUNDとグリーンピースは、大型航空機による原子力発電所への自爆テロによる災害で480万人が死亡すると述べるなど、テロ脅威を原発反対運動の論点に取り上げている。その論点を整理すると次の通りである。

- 炉心溶融で百万人が犠牲になると推定する。

- 米国のアフガン攻撃開始以来、独の原発では出入管理が厳格に行われ、警察がセキュリティ強化を実施している。

- 環境大臣がRSKに委託した原子炉安全評価の仮中間報告書は、次の問題点を指摘した。

一時速350～400kmで中型航空機が衝突した場合には原子炉建屋は防護されるが、大型航空機のみがコンクリート壁を貫通すると推定した。

一問題は、コンクリート建屋の健全性のみならず、衝撃の振動で計器や送電線が破壊される可能性がある点である。

一原子炉が制御できなくなる。冷却系の故障は炉心溶融の危険を招く。

- 独の旧式の炉型は、テロ攻撃には耐えられない。早期に旧型炉を除去すべきである。
- 米同時多発テロ攻撃を受け、独の原発を継続運転することは無責任である。早急に原子力から代替エネルギーに変更するべきである。

2.5 カナダ

(1) テロ対策の強化

カナダでは、米同時多発テロ事件を受け、各原子力発電所の防護、セキュリティ対策を強化したが、これはあくまでも予防対策の一環で決定された。

加原子力安全委員会（CNSC）の命令により、①地上で車両による突入攻撃から原子力施設を防護すること、②侵入者に対して迅速に武力で対応し原子炉を防護すること等が義務付けられた。その詳細は明らかにされていない。

CNSCは、原子力発電所、放射性廃棄物貯

蔵施設，研究炉を含む重要な原子力施設に対して，表2のようなテロ対策を承認し，8事業者に対しその実施を命令した。対テロ対策の詳細，及び実施時期については公表していない。

このほか，CNSCは，大学研究所，ウラン鉱山，放射線治療施設など，全ての放射性物質の使用施設のセキュリティ強化対策を検討中である。

また，カナダ沿岸警備隊は湖岸立地の原発周辺警備を強化するため，漁業排他区域の設置を検討している。

(2) 上空からのテロ攻撃への対策

CNSCでは，ハイジャックされた大型航空機が原子力発電所に突入するテロ脅威については問題が複雑であると見ており，現在，飛行禁止ゾーンを設けることについて，運輸省，国防省と協議している。

2.6 スウェーデン

同国の原子力発電所のセキュリティ対策は，日本と同様，非武装防護が基本である。従って，今回の事件を受け，占拠を含むテロ攻撃脅威に対して，緊急時対応の責任を負っているのは警察である。

警察は，原子力発電事業者側と原子炉建屋内部を含む防護のための合同訓練を実施している。事業者と警察とで原発の再占拠に対するセキュリティ対策を構築している。

スウェーデン原子力発電検査局（SKI）は，侵入者が施設を占拠しても管理的，技術的及び組織的手段で，原子炉の損傷を阻止するとの方針でいる。SKIは，原発は設計上，安全確保が考慮されているので，妨害破壊行為に

表2 CNSCが承認したテロ対策

- 強固なセキュリティ障壁を設け車の突入を防止
- 新装備の武装防護員の配備
国内の民間原子力発電所の防護体制は通常，日本と同様非武装が原則であるが，武器携行の防護員が配備されたのは今回が初めて。
- 従業員・委託作業員と車両の発電所への出入管理の厳格化
- サイト内における人員のIDチェックと重要区域への立入り制限従業員と契約作業員の身元調査などの実施

より重大な事態に陥ることはないと評価している。

また，事件以降，原発の見学者に対するセキュリティ検査を厳しくした。具体的なセキュリティ対策について明らかにしていないが，十分な対応準備があり，各種の妨害破壊対策の訓練に重点を置くと言っている。

3. 国際的規制の動向

3.1 IAEAの動き

(1) IAEA総会決議

2001年秋の第45回IAEA総会では，米同時多発テロ事件を踏まえ，従来の核物質の不法移転決議から独立して核物質防護決議が採択された。

また，IAEAは，技術専門機関であることから，テロを直接非難する決議は行わず，議長声明の形で，今回の同時多発テロの犠牲者に弔意を明らかにすると共に，国連決議（56/1）と安保理決議（1368）を引用して，加害者を司法に委ねるための一致した行動の必要性を支持した。

特に同議長声明では，テロが核物質などの

セキュリティに与える影響に対する総会の懸念を述べるとともに、総会は事務局長に対して、核物質などを含むテロの防止に関するIAEAの業務を強化するため、その活動と事業の見直しを求めた。

(2) 核物質防護 (PP) に関する決議

IAEA総会で採択された「核物質と放射性物質のセキュリティ向上」決議の概要は表3の通りである。

(3) IAEAの緊急声明

IAEAは2001年11月1日、緊急声明を発表し、

テロリストが入手した核兵器を使用して原子力発電所を攻撃するという核テロの脅威が高まっていると警告した。

(4) 「核テロ撲滅対策」特別セッションの開催

2001年11月2日、世界から原子力セキュリティ・安全専門家約200人が参加し、テロリストの核・放射性物質入手を阻止、対策強化について討議した。その時のIAEA側発表の概要は表4の通りである。

(5) 今後の課題

IAEAでは、現在、核テロ防護対策が重要課

表3 「核物質と放射性物質のセキュリティ向上」決議の概要

① 核物質および放射性物質不法移転の防止

- * 不法移転データベースプログラムの継続保守を含む参加国による情報交換活動とともに近代化されたデータベースの最大活用による情報交換活動そのものの向上を歓迎する。
- * 不法移転データベースプログラムへの自主的参加を各国に呼びかける。
- * 未参加国に核物質防護条約に加盟するよう訴え、また、核物質および放射性物質の不法移転と闘うために、しかるべき核物質防護勧告を適用し、適切な対策および法律制定を導入・実施することを各国に求めた。
- * 事務局長に対し、実施された活動の中間報告を次回第47回総会に提出すること、および今回の決議を国連総会に提起して、核関連テロ行為抑止国際会議の継続的努力の中で核物質・放射性物質の不法移転を防止および阻止するIAEAの活動に留意することを訴えるよう求める。

② 核物質と原子力施設の防護

- * 「核物質防護の目的と基本理念」が理事会から支持されたことを歓迎。
- * 各国が原子力平和利用のために自国の物質防護システムを設計・実行・規制するにあたって「基本理念」を適用することを推奨。
- * PP条約強化を目的とした明確な条約改正の草稿起草のため、加盟国が改正の是非を検討するために、法的および技術的専門家会議を招集するという事務局長の決定を歓迎。
- * IAEAが各国専門家から組織的なやり方で助言を受けるため、他の選択肢とともにセキュリティ顧問団の設置を考慮するという事務局長の決定に留意。
- * 事務局長に対し、核物質および放射性物質関連のテロ行為防止にふさわしくIAEAの働きを強化するという観点でIAEAの活動とプログラムを徹底的に見直し、可及的速やかに理事会に報告することを要請。加盟国に対しては事務局長に全面協力し、IAEA支援を勧奨。
- * 核物質防護 (PP) 条約未加盟国に対し、加盟を呼びかける。

題のトップとなっている。

IAEAは、各国の核物質と原子力施設のセキュリティ対策強化に向け支援作業を進めるため、11月中旬にIAEA事務局が計画案を準備した。

また、PPの重要性に関する前述の決議（表3）採択を踏まえ、各国がIAEA勧告（INFCIRC/225/Rev.4）を採用するよう奨励活動をはじめ、IAEA事務局は、放射性物質の不法使用、原子力施設と核物質への妨害破壊行

表4 「核テロ撲滅対策」特別セッションでの討議内容

① IAEA幹部発言

- *米国同時多発テロ事件は核テロリズム可能性を高めた。
- *新しい脅威を提起。
目標は原子力施設攻撃と放射性物質の使用による放射能汚染。
- *テログループのアルカイダが核物質入手を企てた。

② 核密輸関係事件の増加

- *IAEAが最近発表した報告によれば、1993年以降、核物質密輸175件、放射性物質密輸が201件であった。このうち、18件が高濃縮ウランとプルトニウム関係（但し少量）であった。
- *とくに、テロリストグループがこのような不法取引に相当関与している点が、国際的な関心を集めている。

③ リスク問題の提起

IAEA専門家の分析評価によれば、核テロ問題で提起されるリスクは、次の3点である。

（a）原子力施設のリスク：

- *核物質の盗取または転用
- *環境への放射能拡散、汚染を狙った攻撃または妨害破壊行為
- *原子力施設は戦争行為のような攻撃に対して弱体。
- *満タンの大型ジェット機の意図的な墜落による原子炉格納容器またはその他原子力施設への突撃損害は、現在、分析段階。

（b）核物質のリスク：

- *最も危険なシナリオはテロリストの核兵器取得。
- *テロリストが核物質を使用し、核兵器を製造、爆発させる可能性は低い。
- *高濃縮ウラン25kg（広島型）、プルトニウム8kg（長崎型）
- *科学者と高度な機器への入手が必要。
旧ソで数千人が解雇、収入カット、その結果、核物質が紛失増加。

（c）放射線源のリスク

- *テロリストが放射線源を使用し放射線散布爆弾を開発する可能性が高い。
- *放射線散布爆弾：放射性物質を含む線源の周囲に爆発物を巻いた簡単な爆弾で、致死に達しない。
少量の汚染でも心理的、経済的影響を引き起こす。
- *これが、放射線散布の新しい脅威がテロ攻撃の可能性となる。

為の阻止強化に向けた作業を開始する。

さらに、現在、69カ国が加盟しているPP条約の締約国の増加をはじめ、PP対象を現行の平和目的核物質の国際間輸送のみから国内の原子力施設と核物質輸送に拡大するため、同条約の見直し検討、将来の改正に向けた動きがある。

3.2 IAEAのPP勧告

(1) 歴史的経緯

現在のPP概念が国際的に定着するまでの過去の事件の経緯を見ると興味深いものがある。

1960年代後半に、航空機のハイジャックなど国際テロが活発化した。テロリストグループ等が、当時サブナショナルレベルで、核物質を脅迫に使用したり、妨害破壊行為により原子力施設を破壊し、放射性物質を環境に放出するなどの懸念が提起された。

核兵器不拡散条約（NPT）が1970年3月に発効したが、非加盟国のインドによる1974年5月の核実験実施を機に、NPT第3条2項（非核兵器国の核不拡散義務）の抜け穴が問題となった。同年9月の第29回国連総会でキシンジャー米国務長官（当時）がPP多国間協定の必要性を訴えた。そして、NPTの補完、核不拡散の強化措置に関する協議がロンドンで始まった。同協議は、当初、米国、英国、フランス、ドイツ、カナダ、ソ連（当時）、日本の原子力先進国が原子力輸出規制条件を定める秘密協議としてスタートしたが、その後、オランダ、イタリア、ベルギー、スウェーデン、スイス、東ドイツ、チェコ、ポーランドが加わった。

1977年9月に共通輸出規制措置、いわゆる「ロンドン・ガイドライン」が採択され、1978

年1月、IAEAを通じて公表された。その中に、原子力輸出条件として、輸入国による一定のPP措置の実施が規定された。しかし、このガイドラインには、法的拘束力が無く、PP措置の内容についても具体的な規定がない抽象的なものであった。

そこで、各国がPP制度を導入する場合の指針として、IAEA勧告（INFCIRC/225シリーズ）がなされたのである。輸入国が採用するPP措置は、このIAEA勧告を参考に、各国の事情、状況に応じて実施することになっている。

(2) IAEAのPP勧告最新版の意義

最初のPP勧告は1972年3月に発表されたが、米国はそれよりも早く1969年に連邦規則“10 CRF Part 73”（プラント及び核物質の防護）を公布している。IAEAのPP勧告は、米国の指導でスタートしたものである。

IAEAはその後、現実的な脅威想定を踏まえ、PP勧告の見直しを行い、1977年6月にPP勧告改訂版（INFCIRC/225/Rev.1）を発表した。改定の基本的な考え方は、「核物質の盗取または不法移転及び個人または集団による原子力施設の妨害破壊行為に対するPP」の実施である。PP勧告は、その後、見直しが行われ、現在に至っているが、最新版（Rev.4）は、盗取と妨害破壊行為から、核物質と原子力施設を防護するためインサイダー対策等を含む勧告となっているが、従来の勧告に比べ、厳しい内容である。

従って、この最新版の採用がテロ対策強化の点からも、今、最も注目を集めている。

3.3 PP条約

NPT第1回再検討会議（1975年）でPPの多

国間協定の必要性に関する決議が採択されたのを受け、米国が国際的検討のため1997年5月IAEAにPP条約原案を送付、同10月に第1回政府間検討会議が開催された。1979年10月第4回政府間検討会議ではPP条約草案が採択され、1980年3月に同条約が署名のために開放された。しかし、発効は1987年2月である。日本は1988年5月に国会承認を経て、同年10月に加入書をIAEAに寄託、1989年11月に発効した。

現在のPP条約締約国は69カ国である。NPTの締約国は187カ国である。

PP条約は、締約国に対し、平和利用される核物質の国際間輸送のPPを義務付けている。現在、この条約の適用範囲を拡大するため、条約の見直し検討が行われているが、米国はIAEA勧告最新版を具体的にPP条約に盛り込み、IAEA指針に法的拘束力を持たせようとしている。

わが国のPP関連国内法は、1988年11月のPP条約加盟、発効を機に整備された。輸送関連の防護規則が同年11月に、また1989年5月には施設関係の防護規則がそれぞれ施行された。

原子力先進国であるわが国としては、米同時多発テロを機に、いよいよPP勧告最新版に基づき、国内法の整備することが課題となってきた。わが国にとって、同勧告の最大目的である「設計基礎脅威」(DBT)を国家レベルで決定しなければならない、しかもインサイダー脅威についても考慮しなければならないという点が、大きな問題である。特に、わが国は非武装防護を前提としているため、勧告最新版の存在は厳しい。

米国では、連邦規則10 CFR part 73があり、多発テロ事件が起こる前まではそれを改正す

る必要もないとの検討結果が出ていたが、現在は規則の見直しが行われていると言う。

4. わが国のPPとテロ対策

4.1 民間自主防護の範囲

わが国では、PP条約批准に伴う原子炉等規制法など国内法改正により、事業者は、特定核燃料物質の防護のため、必要な措置を講じなければならない。

事業者が講ずべきPP措置については、関係省庁の規則及び通達(行政文書)に従うことになっている。

原子力施設及び核燃料輸送におけるPP上のセキュリティ対策については、必要最小限の自主対策として核物質の3つの区分に応じたPP措置を機械的及び人的手段によって実施することが法律で義務化されている。

法的義務のあるPPの対象でなくとも、安全確保や財産保護の観点あるいはテロ事件発生後の社会的影響などを考慮し、原子力施設について各種機器や設備、輸送関係では関連設備、機器、運搬手段などについても、それに準じた自主的な防護対策が講じられている。

しかし、原子力施設及び輸送においてテロ攻撃を受けた場合、銃砲など武器の所持制限がある日本では、事業者側が自力で制圧、阻止することが不可能である。テロ攻撃を想定した場合、治安当局のレスポンスタイムが課題である。

そのため、攻撃を速やかに把握し、その旨を治安当局に的確に通報するとともに、治安当局が当該攻撃に対応し得るまでの間、事業者側は、できる限り防護設備などの機械的手段と人的手段をもって、当該攻撃の達成を阻

止、遅延させる必要がある。これが、事業者側で実施されている民間自主防護の基本である。

民間自主防護は、本来、事業者が独自に行うべきものであるが、通常、一部の防護業務を専門的知識、経験を有する警備専門会社に委託することで完璧を期そうとしている。

4.2 原子力施設における防護対策の実態

(1) 防護の目的

原子力施設の安全設備などを含めた重要施設への不法侵入者の接近及び危険物の持ち込みを阻止し、妨害破壊行為に基づく放射性物質放出事故による災害あるいは核燃料物質の盗取、盗難などを機械的及び人的な防護措置によって未然に防止することである。

(2) 脅威の想定

日本には法令上、統一的な具体的脅威の評価・分析による設計基礎脅威（DBT）の想定は無く、各事業者が独自に各種の脅威を想定している。

DBTについて、米国連邦規則、IAEAのPP勧告は、外部からの脅威と内部からの脅威を想定し、防護措置を講ずるよう指導しているが、日本では日本社会の特殊性により後者の脅威が法的には決められていない。インサイダーを含むテロ対策は法的規制を見る限り、脆弱であると言われている。

脅威の想定にあたって考慮すべき重要な点は、その脅威の具体的な特性、レベル、時代性を十分加味して見極めることであり、常に

変移するものであるということである。

防護を専門とする側としては、テロ脅威対策にあたり表5のような脅威が想定される。

(3) 脅威による影響

原子力施設及び輸送に対し、各種のテロ脅威が実行された場合に生じる影響は、脅威の構成者の目的及び攻撃対象物、その勢力によって異なり、さらに場所、気象、環境などの諸条件により、1次的影響（核爆発装置の製造、放射能汚染、機能低下、火災発生、財産などの損害他）、2次的影響（環境汚染、放射線障害、パニック他）、3次的影響（経済的、社会的、政策的、技術的、国際的問題他）が生じるものと予想される。

(4) 脅威レベル

通常、各原子力発電所の防護対策の計画にあたっては、如何なる形態の脅威がどの程度の規模かなど、上述の要因による脅威レベルの分析、想定が行われている。

米同時多発テロ事件以降、警察庁と海上保安庁は、原子力施設の周辺警戒、警備のために、陸上では機動隊を、海上では巡視船をそれぞれ派遣し、24時間の武装警備体制を敷いている。

日本政府は、テロ脅威について、従来の想定を超えた大規模な武装勢力を予想している。

一方、今回のようなテロ脅威に対して、事業者側も施設防護の強化を実施しているが、民間自主防護には限界がある。

(5) 民間自主防護の限界

わが国では、民間の防護要員が銃砲等を携帯することが禁じられている。

表 5 脅威の形態、構成者、特性

① 脅威の形態
(a) 核燃料などを含む放射性物質の盗取 (b) 妨害破壊行為 (c) 脅迫 (d) 機微な情報等の盗取
② 脅威の構成者
(a) 国際レベル * ナショナル・レベル (テロリスト支援国家) * サブナショナル・レベル (国際テロリスト集団あるいはゲリラグループなど政治的目標を掲げた反政府組織) (b) 国内レベル * 外部者 (アウトサイダー) : 暴力集団, 過激者, 異常者 * 内部者 (インサイダー) : 企業や経営者に不満・悪意を持つ不満者, 麻薬・覚醒剤・アルコールなどの乱用者と精神異常者, 犯罪者
③ 脅威の特性
(a) 上記①の不法行為者の目的 (b) 不法行為者の勢力 * 構成: 外部者, 内部者, 内部者と共謀した外部者 * 構成人数: 多人数, 数名, それ以下 * 能力 (練度・行動などの技能, 知識) * 精神要素 (意志・使命感・献身度) (c) 接近経路と移動手段 (陸路, 海路, 空路, その複合) (d) 装備 (武器, 爆発物, 工具類他) (e) 攻撃範囲と場所 (f) 攻撃方法

警備業法によると、防護要員（警備員）に基づく警備業務は、事業者側の要請に応じて事故発生を防止する業務であり、その範囲は、事業者の財産防護に係わる範囲である。

●警備員は、特別の権限を与えられていない。

（警備業法第8条）例えば、職務質問、交通整理、取り調べ等の類似行為も、警察官の職務行為とは一線を画している。

●警備員は、他人の権利と自由を侵害し、正当な活動を干渉することは出来ない。例えば、デモ等の行為に対しても、むやみに制止することはできない。

●警備員は、犯人逮捕については、現行犯（刑事訴訟法第213条）を除き、行うことはできない。しかも、犯人の現行犯逮捕に際して、実力行使が許されるのは必要最小限の範囲である。

●護身用具の使用については、正当防衛、緊急避難など必要最小限にとどめることとされている。

●機械的警備についても、むやみに他人の身体に危険を加えるような方法は許されない。警備業法から見る限り、原子力施設におけるテロ対策について民間自主防護には限界が

ある。原子力施設や核燃料輸送の防護が、他の一般警備と全く同様であってよいか、今後の検討課題の1つと思われる。

(6) 多重防護

わが国における原子力施設のセキュリティ対策を構築する場合、日本特有の「非武装防護」と言う観点から、現状では不法侵入者が安全関連設備や核燃料貯蔵施設等へ接近する行為、あるいは妨害破壊行為を阻止するためには、物理的及び機械的な防護措置をとることにより、未然に防止する以外に方法はない。最終的には、治安当局による阻止と排除に依存せざるを得ない。

従って、わが国の原子力施設の防護は、サイトの地理的条件及び建造物などの諸条件を加味し、各施設の重要度に応じて防護する区域を段階的に区分し、多重の障壁を設けると共に、それぞれの区域の重要度に応じた出入管理、侵入検知、確認を行う「多重防護」を基本としている。

多重防護のための監視、管理業務は、これらすべてをシステム化し、可能な限り機械的、電気及び電子的に対応している。

一般的に、原子力施設防護システムは、機械的あるいは人的防護がそれぞれ特徴を生かしながら、相互に補完し合う形態になっているが、米同時多発テロを踏まえ、テロ脅威

表6 原子力施設での区域設定と防護措置

① 区域の設定 (a) 監視区域：敷地境界とほぼ一致する区域。 (b) 周辺防護区域：防護区域をとり囲む区域。 (c) 防護区域：とくに重要な施設をとり囲む区域。 ② 障壁 (a) 監視区域：外部からの侵入に対する第1の障壁とし、敷地周辺にフェンスを設置。車両突入の阻止のためコンクリート基礎、ガードレールなどを設置。 (b) 周辺防護区域：第2の障壁とし、当区域の設定ラインに沿ってフェンス設置。車両出入口には門扉を設置。車両突入の阻止のためコンクリート基礎、ガードレールで防護。 (c) 防護区域：当区域障壁は建屋壁面とし、外部に面したシャッター、扉など開口部は妨害破壊行為による侵入阻止のため強化扉を設置。常時使用の出入口には特殊構造の出入管理装置を設置。 ③ 侵入対策 (a) 監視区域：フェンスに各種センサーと特定箇所に監視カメラを設置。 (b) 周辺防護区域：警戒ラインの各条件に適合した各種センサーと監視カメラを設置。 (c) 防護区域：建屋の出入口と最重要区域の扉には常時監視カメラを設置。	④ 出入管理 (a) 監視区域：出入口は原則一箇所に限定。人・車両の通行証による出入管理。 (b) 周辺防護区域：出入管理装置の設置。IDカードによる出入管理。 手荷物などは金属探知器及び防護隊員による検査。 車両出入は承認を受けた者のみに限定、防護隊員による立会検査。 (c) 防護区域：特殊構造の出入管理装置の設置。IDカードによる出入管理 ⑤ 連絡通報 所内：出入管理所、防護本部、その他関係各部間の相互通話用のインターホーン、電話などを設置。放送設備、携帯無線などによる常時連絡が可能。 所外：治安当局とのホットライン設置（常時連絡可能）。緊急時通話用の非常ボタン設置、不穏な電話記録用の設備。
---	--

と防護のバランスを考慮した検討，設計が必要になるであろう。しかも，今後の社会情勢などによるテロ脅威の変化にも対応して，セキュリティ対策の強化，改善に向けた柔軟性のある取組が望まれる。

原子力施設では，おおむね表6のような区域を設定し，各区域には各種防護機器を据え付け，その目的の達成を目指している。

(7) 治安当局との連携強化

原子力施設の事業者及び輸送実施の事業者は，関連の法律（原子炉等規制法他）及び関連諸規則に基づき，核物質防護規定を作り，核物質防護管理者を設置，法的義務による核物質防護体制を整備し，上述のように「非武装」「多重防護」を前提に，人的及び機械的な防護手段により，適切に実施している。

しかし，事業者が実施する自主防護体制は，米同時多発テロはもとより武装テロ攻撃などに対して限界がある。このようなテロ脅威に対して，セキュリティ強化の実効を上げるためには，治安当局との連携強化が不可欠である。

このような不法行為が発生した場合に備え，事業者は，治安当局との密接な連携協力をはかり，所要の対応体制を整備している。

事業者は，あらかじめ緊急時に際して取るべき行為に関する緊急時対応計画を作成し，

さらに治安当局，規制当局においても適時に所要の対応が可能となるよう指導している。

4.3 電力関連施設等の防護

最近のようなNBCテロ脅威をはじめ，テロリストの多様化する戦術を考えると，エネルギー供給関連施設へのテロ攻撃の可能性も想像される。

過去の原子力侵入・テロ事件の事例（付表）などを参考にした，電力関連施設のセキュリティ対策の強化が望まれる。

5. あとがき

米同時多発テロ事件は，我々の考え方を大きく変える大事件であった。21世紀に入り，一層複雑化する人間社会において新しい哲学が必要である。

核テロをめぐる動きでは，すでに核密輸の問題が深刻になっている。世界は必ずしもバラ色の方向に向かってはいない。問題の解決には，ソフト，ハード両面から対応する必要があるだろう。

平和な島国である日本としても，狭い視野にとらわれず，国際協調を踏まえ，安全な原子力平和利用開発のためにも，核テロ問題に真剣に取り組むべき時期にきたようである。

付表 原子力施設侵入／テロ事件の事例

《アメリカ》			発生年月	場 所	事 件 概 要
発生年月	場 所	事 件 概 要			
			1979. 9	アリゾナ州→ テキサス州	アリゾナからテキサスへ運搬中のイエローケーキ数トンが行方不明。FBI等が調査(MTA)。
1969. 5	イリノイ州 原子炉技術研究所	パイプ型爆弾が爆発。損害等不明。	1984. 1	オレゴン州 トロージャン原発	消火器2個のホースが切断されているのを施設職員が発見。FBIに通報。
1970. 9	ポイントビーチ原発	ダイナマイト爆破事件。損害等不明。	1984. 1	セントルーシー原発	午前9時40分、特別緊急訓練の一時中断時に枢要区域に向かう放射線管理出口で防護隊がプラスチックの瓶を発見。爆発物検知犬が反応したが、関係者は非爆発物と断定。委託契約の警備員2人が犯行を認め解雇。FBIに通報。
1971. 8	バーモントヤンキー 原発	施設内に不審者が侵入。逃走時に守衛に加害。	1984. 1	バロ・ベルデ原発	電気技師が計器用ケーブルの切断を発見。調査の結果、ディーゼル発電器室の安全関係計器導管が曲げられ損傷。コントロール室のアナシエーター・パネルのワイヤーも切断されていた。FBIに通報。
1971.11	ニューヨーク州 インディアンポイント 原発	元職員による放火事件。損害等詳細不明。	1984. 2	セコイヤ原発	消防員が巡回の際、補助建屋でゴミ袋の炎上を発見。火災報知から6分以内で消火。サボタージュの疑い。FBIに通報。
1971	コロラド州 フォートセントブレイン 原発	電気系統の配線を何者かが切断。ヘリウムガスポンプが破壊される。	1984. 3	トロージャン原発	コンピューター室安全系ワイヤーの切断を発見。FBIに通報。犯人逮捕の賞金用意。
1972. 6	ニューヨーク州 ニューヨーク大学 研究炉施設	施設の建物何者かに爆破される。	1984. 4	ディアブロ・キャ ニオン原発	午前3時46分頃、未確認労働者が管理区域に侵入し6箇所に放火。芝生が炎上。警備員が消火。
1972.11	オークリッジ実験 炉 施設	ハイジャック犯が同施設の上空を飛行機で旋回し、施設に突撃すると脅迫。従業員避難。結果的に犯人の要求をのむ。身代金1000万ドル。	1984. 9	コンパッション・ エンジニアリング社	施設社側から多数の破壊行為が報告された。防護区域の外側で駐車中の低濃縮ウラン積載トラックがバンク。駐車場の照明塔が銃で破壊。発電所入り口が自動車でふさがれる。犯行は労働員ストと関連あり。州政府に通報。
1973. 3	オコーニー原発	何者かが燃料貯蔵施設に侵入。	1986. 4	ネバダ砂漠の核実験場	グリーンピース構成員6名が核実験場に侵入。警備員により逮捕。
1973. 4	ニューヨーク州 GE社 ノールズ原子力 研究所	放火事件。損害等詳細不明。	1986. 5	アリゾナ州 バロ・ベルデ原発 1/2/3号機	電力供給用送電線4本のうち3本が遠隔地点で破壊。逮捕者なし。
1975. 4	ウィスコンシン州 ポイントビーチ原発	施設内の電話線が何者かによって切断される。	1989. 5	アリゾナ州 バロ・ベルデ原発 1/2/3号機 ディアブロ・キャニ オン原発	環境保護団体過激派3人が変電所に配電するエネルギー省の建物の破壊を企てたとして逮捕。バロ・ベルデ原発、ディアブロ・キャニオン原発とコロラド州内の核兵器工場の送電線をそれぞれ破壊する計画であったことがその後の調べで判明。
1975. 7	ニューヨーク州 Nuclear Fuel Service社	機器類貯蔵庫で放火事件。詳細は不明。			
1976. 1	ペンシルバニア州 スリーマイルアイランド 原発	不審者が管理区域に侵入。施設を囲む防護壁に検知されず侵入に成功。			
1977. 10	オレゴン州 トロージャン原発	発電所訪問者センターの隣接エリアで爆破事件。防護区域に被害なし。Environmental Assault Unit が犯行声明。			
1979. 1	ノースカロライナ州 G.E.ウィルミントン核 燃料工場	臨時職員が低濃縮ウラン約38リットルを盗み、国内2大都市で散布すると脅迫。逮捕され、禁固15年の刑を宣告された。			
1979. 2	ニューメキシコ州	ウラン精錬工場からイエローケーキ2.2tを盗取した3人組の犯人を逮捕 (MTA)。			
1979. 9	テネシー州 核燃料工場	高濃縮ウランの大量紛失が判明。盗難の可能性大(MTA)。			

発生年月	場 所	事 件 概 要
1993. 2	ペンシルバニア州 スリーマイル アイランド原発	乗用車に乗った精神異常者が防護区域のゲートに体当たりし、タービンに激突。運転していた男は車を捨てて逃走。約4時間後、タービン建屋底部の復水器区域管理下の狭いスペースに隠れているところを逮捕。
2001. 10	ペンシルバニア州 スリーマイル アイランド原発	原子力規制委員会が17日、同原発に対する「信憑性のある」脅迫を受け取ったため、FBI・州警察・軍用機による警戒態勢をとる。近郊のハリスバーグ空港とランカスター空港が4時間にわたり閉鎖。脅迫内容及び連絡方法については明らかにされていない。

《スウェーデン》

発生年月	場 所	事 件 概 要
1984. 5		スウェーデン警察当局は「核爆弾を持っているので500億円相当の金を出せ」と脅迫していた元将校を逮捕。脅迫先は南アフリカ公使館、英国大使館、アイルランド大使館、スウェーデン国鉄、自動車メーカー等。ストックホルム郊外で製造途中の自家製爆弾1個が発見・押収された。
1993. 3	パーセバック原発	デンマークの環境保護運動活動家2人が同発電所に侵入して逮捕。デンマーク国旗と永久閉鎖要望を記した旗を掲げることを計画し、1人は事故時に使用するフィルター収納建屋まで侵入し、1人は内外側のフェンスの間にいた。 (注) 防護員は非武装
1999. 3	パーセバック原発	環境保護運動活動家が発電所の閉鎖を求めて侵入。1号原子炉建屋に“Lukketid”（閉鎖時期）と書かれた横断幕を吊り下げ、“STOP”（停止）と書かれた垂れ幕を2号原子炉建屋とフィルター建屋に吊り下げた。1号機の閉鎖の遅れに対する抗議。侵入したのは24人。横断幕を吊り下げた後20人が投降し逮捕。その後警察がヘリで屋上へ警官を送り込み、4人が逮捕された。 (注) 防護員は非武装

《ドイツ》

発生年月	場 所	事 件 概 要
1975	ビブリス原発	原発反対派が発電所サイト内にバズーカ砲を持ち込む。
1975. 8		西独革命軍が、ケリー原子炉サイトの警備を受託しているセキュリティ会社を爆弾攻撃、同時に警備車に放火したと発表。また、西独赤軍が核貯蔵庫の場所と警備員の監視経路図の入手を企てた。
1983	パーシング基地	西独人4人が基地に侵入。破壊を企てた。
1985.1	ハンブルク東方 クリュメル	原発の高圧送電線の鉄塔（高さ75m）を爆破。鉄塔3本が倒れた。原発反対活動家による犯行。
1994. 5	Tengen	あるアパートに6.15gのプルトニウムが隠されているのを警察官が偶然発見。Arzamas-16から盗まれたプルトニウムの可能性あり。
1994. 6	ランツフト	覆面警察官がウラン窃盗犯をおとり捜査で逮捕。容疑者は800mgの高濃縮ウランを所持。Obrinskから盗取したものと思われる。
1995. 8	ミュンヘン	ドイツ当局がロシアから密輸入された兵器製造可能レベルのプルトニウム500gを押収。Obrinskから盗取されたものと思われる。

《フランス》

発生年月	場 所	事 件 概 要
1975	Fessenheim原発 (建設中)	爆弾2個による攻撃。損害は軽微。テロ組織Meinhof-Puig Antiochが犯行声明。
1975. 6	フラマトム社	同社のクールベゴワールコンピュータ施設にGALコマンドグループ（反原発デモ）が爆弾1個を仕掛ける。ハーツインプットターミナルが破壊された。また、同社のアルゲントール工場にも爆弾攻撃。パイプの試験施設が破壊される。
1975. 8	Mont D'Aree 原発	爆弾2個による攻撃。損害は軽微。原子炉への損害及び放射能漏れはなし。警察当局はBreton分離主義者の犯行を推定。テロリストは発電所冷却水供給の人工湖をボートで横断して湖と発電所をつなぐ運河の先端にプラスチック爆弾をセット（第1）、発電所周囲

発生年月	場 所	事 件 概 要
1976		の鉄線フェンスに数個の穴をあけて建屋に爆弾をセット（第2）、発電所建屋の排気筒と通信室付近に若干の損害。発電所は調査と修復のため一時運転停止。
1976. 2	パリ イラン原子力機構 (IAEO) 事務所	テログループCOPEAUが核燃料メーカーのパリ本社とウラン鉱山を爆弾攻撃。
1982	Creys-Malville 原子力施設	パリのIAEO事務所で爆弾2個が爆発。国際連帯責任を要求するグループが、イラン解放軍メンバーの行為に抗議するための爆弾攻撃と犯行声明。
1982. 2	Super Phenix	ロケット弾による攻撃。損害は軽微。
		建設中のFBR実証炉Super-Phenixに爆弾攻撃。ロース川対岸からロケット弾5発を打ち込まれる。損害軽微。環境保護グループがただちに犯行声明。

《イギリス》

発生年月	場 所	事 件 概 要
1957	コールダーホール原発	暴力騒ぎ。
1966.11	ブラッドウェル原発	核燃料棒20本が盗難。
1970. 4	グロスターシャー・パークレー原発	同施設に不満を持つ職員が放電器を制御するワイヤーを切断。
1970. 4	ウィルファ原発	ゲージ・ダイヤル・電線等が破壊される。過去2年間に同種の事件が数10回発生。
1971. 3	スプリングフィールド 核燃料工場	燃料棒5本が輸送中に紛失。
1972.12	ドーンレイ原発	同施設に内容不明の小包2個をある場所に置いたといういやがらせの通報。1500人の従業員が避難。結局2個の小包は他の施設で発見。ナショナル・アトム・モーションの動機・反原発運動の一環。
1982.11	ウィンズゲール使用済 核燃料再処理施設他	ウィンズゲールの施設で10kg以上のプルトニウム、その他2カ所の原子力施設で300kgのプルトニウムと濃縮ウランが行方不明。
1995.4	セラフィールド 再処理施設	15カ国から約300人のグリーンピース活動家が侵入を試み、70人を越える逮捕者を出した。「爆弾製造用核分裂性物質の生産を中止する」という英国政府発表の核不拡散条約会議に注目を集めようとしたもの。

《ロシア（旧ソ連含む）》

発生年月	場 所	事 件 概 要
1990. 2	アゼルバイジャン 共和国首都バクー近郊	民族紛争の際、武装したイスラム原理主義派の小グループが首都バクー近郊の核兵器貯蔵施設を襲撃。ソ連護衛部隊と交戦。
1992.10	ボドリスク駅	ロシア警察はボドリスク鉄道駅で1.5kgの濃縮ウラン密輸出を阻止。濃縮ウランはLuch Scientific Production Associationから盗取されたもの。
1993. 7	ムルマンスク地方 Andreeva Guba	Andreeva Guba海軍基地の保管施設から1.8kgの濃縮ウランが盗まれたが、ロシア警備隊が犯人グループを逮捕。密輸出を未然に阻止。
1994. 8	詳細不明。	ロシア当局は工業用ウラン238を21ポンド(約9.5kg)所持していたとして2人の男を逮捕。ウランは極秘核施設から盗取されたもの。
1995. 6	モスクワ	チュチェン反乱グループがロシアに対する抗議行動としてコンテナ1台分の放射性物質Cs-137をモスクワ中心部Izmailovsky公園に埋め、報道機関を通じて諜報機関に告知。爆破すると脅迫した。負傷者及び2次災害はなかったが、反乱グループが核物質入手経路を把握していることが明らかとなった。
1998. 12	チェリヤピンスク地方	連邦セキュリティサービスは「核兵器の構成要素を製造するのに適した」放射性物質1.8kgがチェリヤピンスクの施設から盗取されるのを未然に阻止したと発表。放射性物質の詳細は不明だが、発表が示唆するとおりプルトニウムまたはHEUだった場合、兵器転用に直結する最も大量の放射性物質盗取(核爆弾1発分に相当)。
1998. 12	チュチェン アルグン	チュチェン共和国首都グロズヌイから9マイルの鉄道線路付近の放射性物質を搭載したコンテナの中で爆弾が発見され当局の手で解体された。放射性物質拡散デバイスの発見が報道されたのは初めて。
1998. 12	ムルマンスク	海軍徴集兵1人が北部艦隊の原子力潜水艦から貴金属を含む部品類を盗み密売。パラジウム・バナジウム合金ワイヤー24巻が盗まれ、その間原子力潜水艦の原子炉が使用不能となった。
1999. 9	ロシア北部艦隊	北部艦隊の原子力潜水艦で乗組員が通風装置からパラジウム濾過粉末の盗取を図った。

持続的発展に効果のある 原子力の放射線利用*



町 末 男 (社)日本原子力産業会議
常務理事

**

はじめに

国際的にも風当たりが強い原子力利用

私は、1991年から昨年まで9年間、国際原子力機関（IAEA）で、原子力の平和利用を世界に広めていく仕事をしていました。国際機関に対しても原子力発電に対する風当たりは強くて、特に1999年9月30日に起きたジェー・シー・オー（JCO）事故の時は、日本人が少ないこともあって私は質問攻めに会いました。その時はちょうどウィーンでIAEA総会が開かれていまして、すぐに総会の冒頭でIAEAの事務局長がその状況を話すということもありました。JCO事故のようなことが起こると、原子力に対する信頼性について説明することが非常に難しくなってきた、国際機関としてもやりにくくなって、原子力の普及に苦労するわけです。

日本政府はもちろん原子力推進の立場ですが、それでも、国際機関加盟国は必ずしも推進派の国ばかりではありません。原発をゆっくり

と廃止することを考えているドイツ、スウェーデンもいますし、IAEA本部のあるオーストリア自身が原子力発電反対です。そんな中で、JCO事故のようなことが起こると大変です。特に開発途上国は原子力発電の安全確保が難しいと思いがちです。

しかし、IAEAは原子力は社会の持続的発展のために、また、我々の生活にとって大事だと考えています。本日は発電のみならず、それ以外の分野でも原子力が我々の生活に大変に役立っているということを実例をあげて話をさせていただいて、機会があれば皆さまから一般の方々にそういうことを伝えていただけたら有り難いと思っています。

発電以外の原子力技術の利用

発電利用と放射線利用は

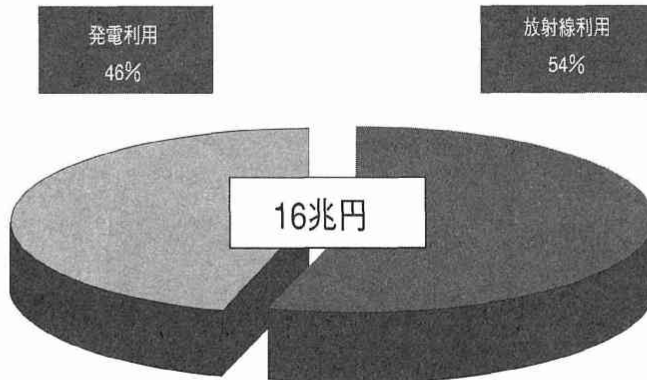
社会の持続的発展に貢献

今日の演題は「持続的発展に効果のある原

*本稿は、2001年10月の当所 第195回月例研究会におけるご講演を、本誌掲載のためにテープ起こししたものです。

**筆者は、1991年から9年間、IAEAにて事務次長として勤務。

実質GDP 494 兆円（97年度）の 3.2 %に相当



（出所：日本原子力研究所『平成12年度 放射線利用の国民生活に与える影響に関する研究』より）

図1 原子力利用の経済規模

子力の放射線利用」です。実は農業，食糧の生産，医療，工業生産において，放射線とアイソトープの技術は欠かせないものになっています。また，環境保全にも原子力分析技術，放射線照射技術が使われています。

最近，科学技術庁（現文部科学省）が外部に委託した調査結果を報告書として発表しています。原子力分野におけるエネルギー利用と放射線利用はビジネスとしてどのぐらいの割合になっているのかを算出した報告書です。それによりますと，原子力全体で16兆円あります。そのうち54%が放射線利用関係，あとの46%が発電利用関係で半々になっています（図1）。多分，一般の人の多くは放射線利用は少なく，発電利用がずっと多いと思っていますが，調査してみると同じぐらいのビジネスがあるということです。

発電以外の分野での利用の内訳を，同じ報告書から見てみますと，半導体加工が非常に多いのです。LSIとか，電子部品の製造で使われています。シリコンにニュートロンをドー

ピングして半導体を作る技術も普及しています。それ以外では，例えば自動車用のラジアルタイヤを作る，あるいは電線の被覆材に耐熱性を付与して，高温のところで使われる電線を作るのに放射線照射が非常に普及しています。また，医療用具の放射線滅菌があります。例えば，病院で採血する場合，ほとんどが放射線で滅菌された注射針が使われています。

実は，IAEAの予算配分にもそういうことがよく反映されています。IAEAというのは北朝鮮やイラクで代表される核査察しかやっていないとお思いの方もいらっしゃるかもしれませんが。確かに核査察による核兵器の拡散防止はIAEAの大きな仕事で，1999年度のIAEAの通常予算2億1900ドル（1ドル＝120円として約263億円）の36%が充てられています。実はこの36%の中で日本，ドイツ，カナダの3カ国を対象とする核査察に多くのお金が使われています。原子力発電所の数が多いからです。アメリカ，フランス，イギリス，ロシア，中

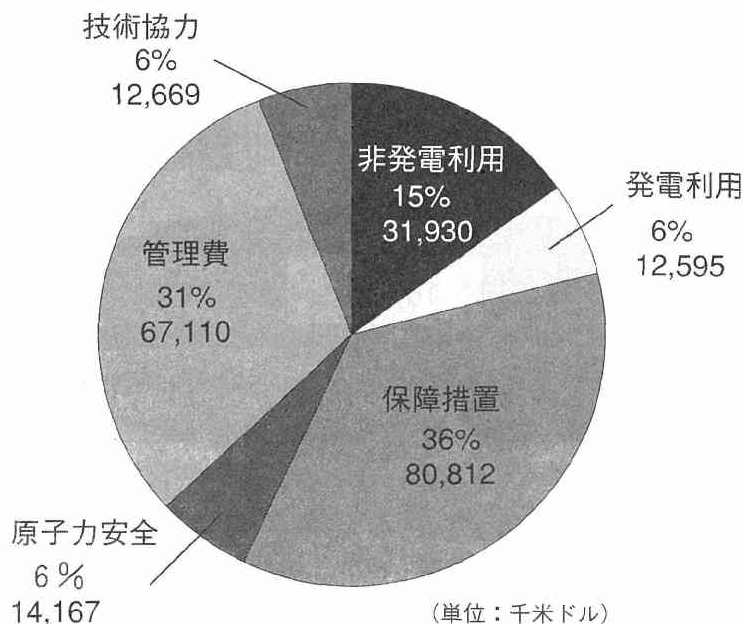


図2 IAEAの放射線利用の研究開発分野と予算

国のいわゆる“P5”は、NPT（核拡散防止条約）に規定する「核兵器国」なのでIAEAの検査を受ける義務がありません。さらに、インド、イスラエルはそもそもNPTに入っていないからIAEA検査を受けません。

原子力利用を見ますと、原子力発電が6%、原子力安全が6%、両方を足しまして12%が原子力発電関係の予算となります。

それに対して、私がIAEAで担当していました非発電利用の予算は15%です。つまり、発電利用と非発電利用はIAEA予算においても大体同じです。

日本でもこれから原子力の有用性を論ずる時に、発電だけでなく、我々の生活に密着した利用が幅広く行われていて、発展途上国の発展にも大変役立っていることも理解することが必要だと思います。

生活に密着した放射線利用

途上国の農産物生産に貢献

日本は「飽食の時代」ですが、アフリカ、南アメリカ、アジアの国々では、必要な食物が手に入らない人々が沢山います。ですから、食糧の生産と供給は極めて重要な課題となっています。1996年11月、国連食糧農業機関（FAO、本部ローマ）が主催した世界食糧サミットがあり、私もIAEA代表として出席しました。多くの国の大臣が来て演説をしましたが、多くの途上国にとって栄養バランスも考えて国民にいかに十分な食糧を供給するかということが重要な課題になっています。食糧の増産において原子力技術を役立てることが可能であり、重要です。

IAEAが行っている活動には、アフリカや中国の乾燥地帯などのように水がなくて非常に困っている地域に水を確保していくための協力をするプロジェクトがあります。水は人間の生命線であり、また、水がなくては農業をやってはいけません。アイソトープを利用して地下水の動きを調べ、合理的に水を使うことができます（アイソトープ水理学）。また、土壌中の水が多過ぎても無駄ですから、中性子法を使って水分を計測し、合理的に水を利用する方法もあります。

動物の生産性の改善も重要です。例えば、牛というのは実は農業では動力でもあり、食糧でもあります。こういう家畜をどうやって効率的に生産するかというのも重要な課題なわけです。いわゆる放射性免疫診断法を用いて、動物の性ホルモンを測定し、人工受精のタイミングを知り生産性を高めることができます。

不妊虫放飼法による害虫除去、食品照射、品種改良など、幅広い分野で原子力技術が使われている現状については、少し詳しく説明します。

放射線を利用した品種改良には

多くの成功例がある

日本で最近成功した例として、鳥取県で栽培されている新しい梨の品種「ゴールド二十世紀梨」があります。従来の「二十世紀梨」は、図3の上の写真のように黒斑病という斑点ができる病気に弱いのです。そのため、何回も袋かけをし、農薬を散布して予防していたわけです。日本の放射線育種場で、かなり長い年月の研究が成功して耐病性の高い「二



(黒斑病に強くなった梨)

図3 放射線照射で改良した二十世紀梨

十世紀梨」の品種が開発され、それが鳥取県で実用的に栽培されています。この新しい品種の場合、農薬散布が大体従来の4分の1ぐらいで済むので環境に優しいのです。袋かけも4分の1ぐらいの回数で済むと聞いています。

5年程前のIAEA総会のときに日本の科学技術庁長官主催の昼食会で、「放射線品種改良によって農薬使用を減らして環境保護に役立っています」という説明を付けて、この「ゴールド二十世紀梨」を1個ずつ配ったことがあります。

それから、中国では、放射線品種改良で開発された「ゼフ」という高収穫の稲の新品種が大体140万ヘクタールで栽培されています。パキスタンでは、収穫量が2倍になったと言われる綿の品種が開発され役立っています。こういう成功例は数多くあります。品種改良

をやり始めて約40年たっていますが、IAEAの調査によると、これまでに1,600の新しい品種が生まれています。

世界に先駆けたわが国の食品照射

食品照射の例としては、日本ではジャガイモの「芽止め」だけが許可されていますが、国際的には他にも多くの実用例があります。

食品照射の目的の1つは、食品の衛生度を高めることです。つまり、食品に付いている有害なバクテリアを殺して安全な食品を提供することです。

2つ目は、防疫処理です。食品に付いている有害な虫や虫の卵を殺すことです。例えば、輸入果物に害虫が付いていると、国によっては輸入できません。殺虫処理のために放射線を使うことができます。薬で殺しますと、環境に悪影響があります。

3つ目は、ジャガイモ、タマネギ、ニンニクなどの発芽を遅らせることです。図4は日本のジャガイモで、左が照射したジャガイモ、右が照射しないジャガイモで、6カ月後にこ

のぐらい芽が出ています。つまり、照射すれば保存期間を長くできます。この技術は日本で25年ぐらい前に実用化され、世界初の食品照射の実用例として非常に注目されました。ところがその後、日本では食品照射に対する反対運動が起こり、ジャガイモ以外は実用になっていません。現在、年間1万5,000トンのジャガイモが照射されています。

食品照射への人々の反応

日本で食品照射の受入れが遅れている理由についてお話しします。まず、食品に放射線を当てると食品から放射線が出るようになるのではないかと心配する消費者がかなりいること。もう1つは、放射線を照射することによって、食品の中に有害物が生成されるのではないかと心配する人がいることです。前者は理論的にも実験的にもまったく根拠がありません。食品にガンマ線を当てても放射化は起こらないのでまったく問題はありません。後者については、長年にわたって各国で研究されてきました。「まったく問題ない」という結

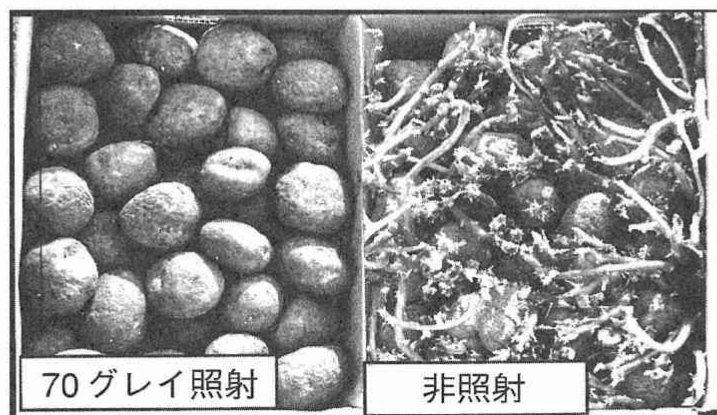


図4 放射線による芽止めの効果

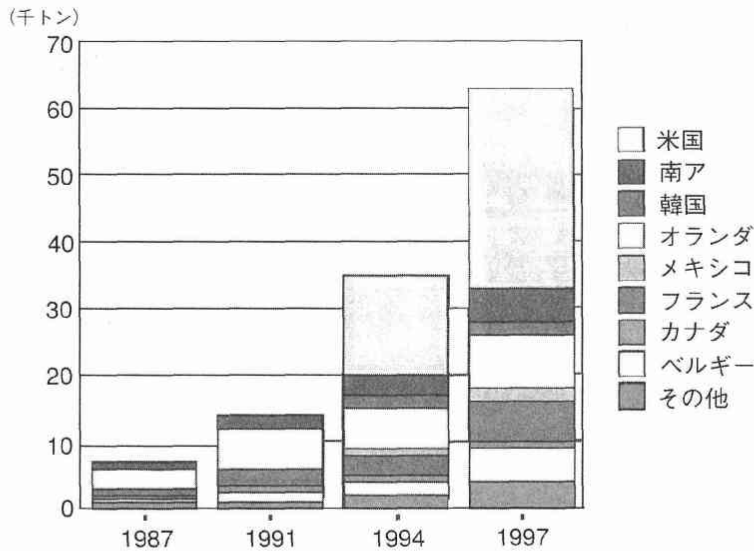


図5 世界の放射線照射スパイス量の推移

果が出ています。多くの研究結果に基づいて、IAEA, FAO, WHO（世界保健機関）の3つの国際機関が合同で作った照射食品の安全に関するレポートが十数年前に出ました。膨大なデータに基づいて書かれたレポートです。この中で「10キログレイ以下の照射で、いかなる食品を照射しても、毒性学的な危険性はまったく認められない」と明言されています。それが現在の各国における食品照射の広がりにつながったということです。

食品照射の実用化が進むアメリカ

香辛料の照射の早期認可が期待される日本

アメリカの人々も以前は食品照射に批判的だったのですが、5年ぐらい前から変わってきました。なぜかという、アメリカでは毎年約5,000人が食中毒に起因する病気で死んでおり、食中毒対策を検討した結果、照射処理が最も効果的と認められたのです。その結果、

アメリカでは食品照射が受け入れられつつあります。1999年には肉の照射が許可されました。

食中毒で病気になる人数は、食中毒で亡くなる人の数よりずっと多いわけです。そのための医療費もかかりますし、社会的損失が大きいのです。放射線を当てれば病原菌を容易に殺せて、中毒を防止できるわけですから、放射線照射は効果的な技術です。

日本で「香辛料の照射を許可してもらいたい」という申請が1年程前にスパイス協会から厚生省に対して出されました。照射したスパイスは、既に世界中に出回っているわけです。図5で照射したスパイスの量の増え方を示しています。1997年に世界で合計6万5,000トンが照射されています。アメリカが一番多いのですが、照射されたスパイスは多くの国で利用されています。日本ではまだこれを食べることは許可されていません。ですから、日本ではスパイスをどうやって殺菌するか、メーカーは苦労しています。熱殺菌では香り

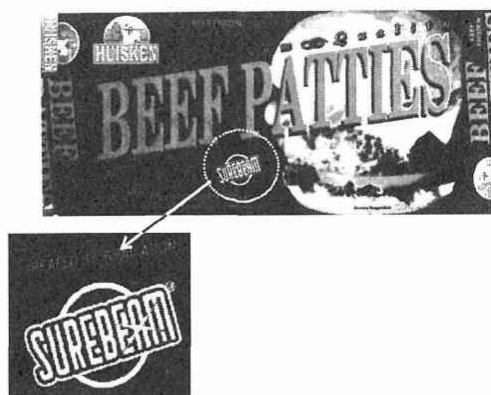


図6 放射線殺菌済みの生ハンバーグ

が失われてしまいます。早期に放射線処理法が認可されることが望まれます。

図6は比較的最近、アメリカのスーパーマーケットで売られている生ハンバーグの箱の写真です。ここに「シュワービーム」(sure beam)と書いてありますが、これは「放射線照射して殺菌した」という意味です。1年ぐらい前のデータですと、アメリカの250のスーパーマーケットで、照射した生ハンバーグが売られています。こういうように、アメリカを中心に食品照射が進んでいる中で、日本だけが取り残されているという状況です。

環境に優しい害虫駆除法

—不妊虫放飼法(SIT)で殺虫剤使用の減少を

次は、環境に優しい放射線利用技術を紹介します。私がIAEAにいたときに力を入れていた、不妊虫放飼法技術(SIT: Sterile Insect Technique)というものです。

図7では、オレンジを切った断面にウジ虫が見えます。こういうふうに果物の中に虫が卵を生みつけて、果物をだめにしてしまう。



図7 害虫被害にあったオレンジ

この害は非常に大きいわけです。25~35%ぐらいの食物が世界的に害虫被害でだめになっている。こういう害虫を駆除するのに、世界で大体250億ドルの殺虫剤を使っているわけです。殺虫剤を撒けば虫は殺せるんですけども、殺虫剤の使い過ぎが環境汚染の最大の原因の1つになっています。

殺虫剤の弊害として、次の4つを挙げることができます。

- ① 広範囲の汚染、水汚染と地下水の汚染。
- ② 食物に殺虫剤の成分が残留する恐れがある。
- ③ 殺虫剤に対する害虫の抵抗性が高まってきて、効かなくなってくる。
- ④ 殺虫剤の大概のものは目的とする害虫だけでなく、他の虫まで殺してしまい、「種の絶滅」を加速する。

このような弊害を考えると、何としても殺虫剤を減らさなければならないというのが我々の考え方で、その1つの方法としてSITがあるわけです。これを開発したのは、アメリカ人のエドワード・ニップリング博士ですが、彼は1995年に日本国際賞をもらっています。

SITでは、目的とする虫、例えばウリミバエ

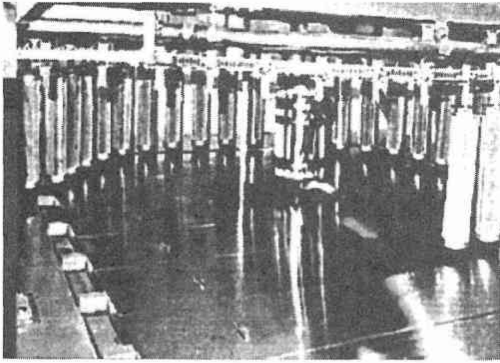


図8 ウリミバエのサナギの照射装置

を大量に増殖します。次に、増殖したウリミバエのサナギにコバルト60によるガンマ線を照射します。図8にあるシリンダーの中にサナギが入っています。それをコバルト60の周囲を移動させて照射する。シリンダーそのものも回転していて均一な照射ができます。こうして少量の放射線をサナギに照射して不妊化する。不妊化したオスをヘリコプターを使って空中で放す。ものすごい数を放すわけです。例えば1週間に1億匹とか。そのオスが自然界のオスと競争して、自然界のメスと交

尾をします。その交尾したメスは、卵は産みますが、その卵から虫はかえらない。こういう原理で、何世代かのうちに害虫を減らしていくというやり方です。

この方法の大きなメリットとは、非常に効率よく害虫の根絶ができることです。農薬を使って虫を根絶しようと思うと、どこに虫がいるのか分かりませんので、全部の畑、果樹園に撒かなければなりません。ところが、不妊化法ですと、オスはメスを本能的に追かけます。まさにミサイル攻撃みたいなもので、効率よく害虫を根絶できるわけです。

私の働いていたIAEAの同僚たちは、「殺虫剤の使用は可能な限り不妊化法に置き換えるべきだ。だから、今、殺虫剤を作っている会社が、不妊虫を売るという時代がくるのではないか」と言っています。そうなれば、環境が良くなります。ミバエのケースですが、カリフォルニア州、チリ、アルゼンチンの一部、沖縄等で根絶に成功しています。

。アフリカ大陸には、ツェツェバエという恐ろしいハエがいるのですが、これの根絶にも

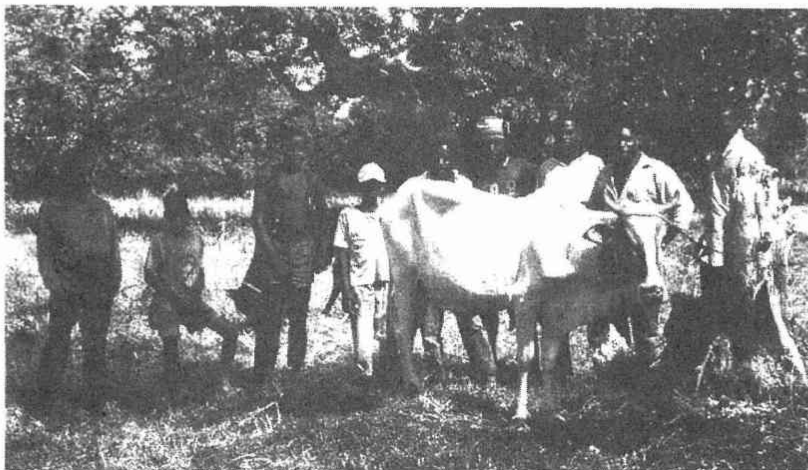


図9 SITを利用してツェツェバエの撲滅に成功したザンジバル島の農民

SIT法が応用できます。IAEAとFAOがタンザニアのザンジバル島で成功した例があります(図9)。ツェツェバエは、家畜のナガナ病、人間の眠り病を媒介するハエです。特に、動物に大きな被害が出ています。牛などの家畜が痩せ衰えて子供を生めなくなる恐ろしい病気です。アフリカのいわゆるグリーンベルト、草木の生えている地域にツェツェバエがいて、ナガナ病が畜産業をだめにしています。

それで、IAEAは1つの試みとして、タンザニアのザンジバル島でSIT法によるツェツェバエ根絶を試みました。4年ぐらいかかりましたけれども、この島ではツェツェバエがいなくなり、畜産業が大きく改善されました。

進歩する放射線照射がん治療

話をがん治療に移します。厚生労働省「人口動態統計」によりますと、平成12年に日本で病死された方の30.7%は「がん」が原因でした。がん治療法には3つあります。外科手術、抗がん剤治療、そして放射線照射治療です。先進国ではがんの治癒率は45%といわれていますが、治った患者のうち手術が22%、放射線治療が18%、抗がん剤法が5%となっています。

アメリカの場合は、がん患者の50%が放射線治療を受けています。ところが、日本は15~25%という状況です。技術的には遅れていないと思うのですが、患者が治療を受ける率がアメリカに比べて低いのです。臓器を切除しないで治療できる患者に、より優しい放射線照射法の適用を拡大することが望めます。

例えば前立腺がんは、男性にはかなり頻繁に起こるがんです。日本ではほとんど外科手

術をしています。アメリカでは小さな線源を挿入して照射で治すというのがむしろ一般的になっています。そういう意味で、私は医療分野でも放射線をもっと使える場面があると思います。

千葉県に放射線医学総合研究所(放医研)があります。ここで世界で唯一の「重イオン照射がん治療装置」が作られました。この重イオンを使ったがん治療は、既に1,000例ぐらい行われていますが大変に成績がいいのです。ガンマ線を外からがん細胞に照射する場合、身体表面近くにある正常組織も照射を受けて有害な副作用が生じます。ところが、重イオン線を使いますとそういう副作用が回避されるわけです。体の外から重イオンを当てると、身体表面では放射線が弱く、ある深さのところに行くと強さがピークになる性質があります。そういう特性を利用し、深さは重イオンのエネルギーで変え、アパチューで照射面積を決める。だから、腫瘍部分に絞った照射ができるようになってきたわけです。このように、放射線治療は日進月歩で進んでいます。

幅広い放射線照射の工業利用

(1) 工業用プロセスの自動制御と材料開発

日本では、アイソトープを使って紙や鋼板の厚さを測ったり、X線画像法を使った非破壊検査なども定着していて、アイソトープ技術は工業プロセスの制御、製品の品質管理に不可欠な技術になっています。

放射線照射の応用例では、ラジアルタイヤ、耐熱電線、あるいは熱収縮材の製造があります。これらはいずれも、高分子を照射によって橋かけして巨大分子化する原理を応用した

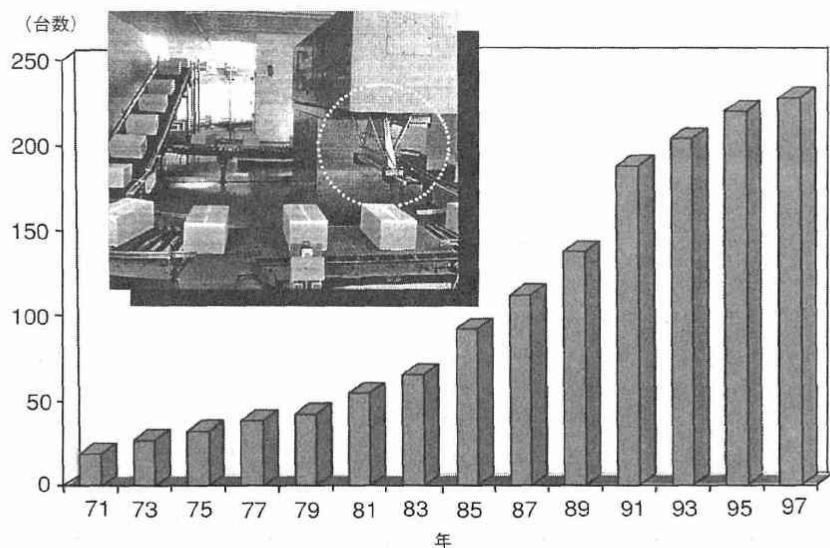


図10 工業用電子加速器とわが国での利用台数の推移

ものです。

図10の写真をみてください。工業利用の電子加速器です。この三角型の底辺にあたるところからビームが出て、箱の中の製品を照射するのです。箱はベルトコンベアで移動します。電子加速器利用が日本では図のように伸びてきていて、200台以上が利用されています。

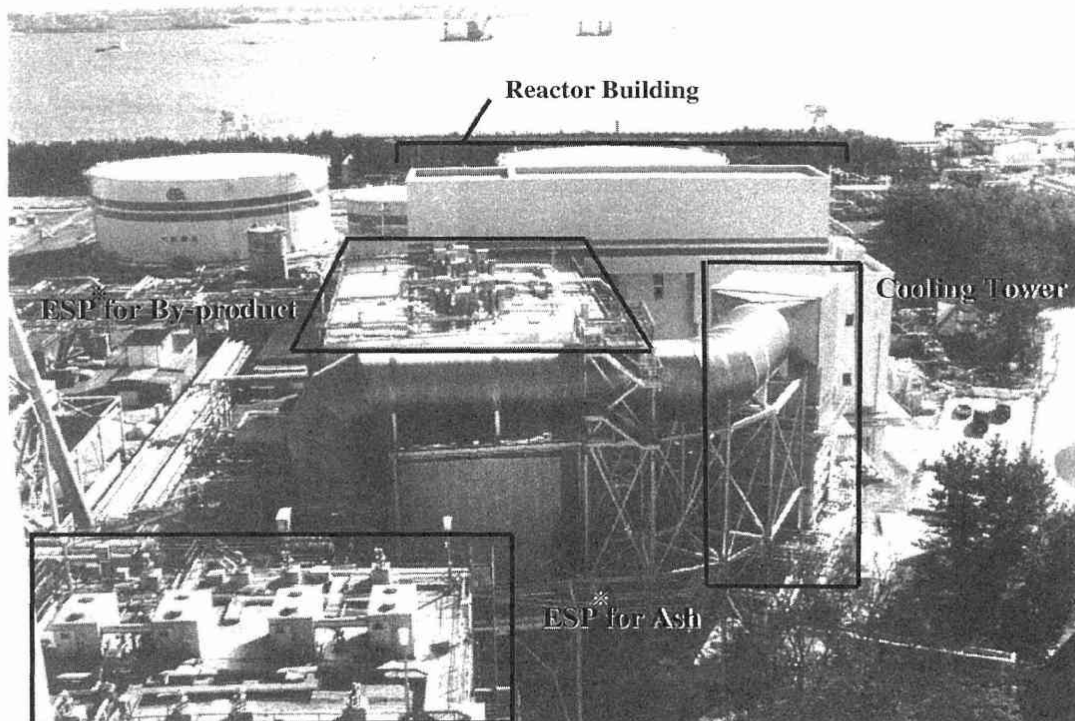
(2) 新しい医療用材料

最近、照射を利用して実用化されたものに寒天状のハイドロゲルという材料があります。これは外傷や「やけど」などを治すのにガーゼに替って使われるものです。柔らかい寒天を薄くしたようなもので、これを傷口に当てておいて治すのです。ガーゼですと、はがすときに、せっかく新しくできた皮膚がガーゼと一緒に取れてしまうということが起こりますが、ハイドロゲルだとそれを回避できます。菌に感染することも防げます。近くこの材料

が日本で売り出されますが、ガーゼに比べて治りが早いということが実証されています。

(3) 一石二鳥の火力発電排ガスの浄化

最後に、排煙脱硫脱硝のための放射線利用についてお話いたします。実はこの技術は、放射線によって環境を良くするという目的で、日本原子力研究所が荏原製作所と共同で開発したもので、私も開発を担当してきました。火力発電所、特に重油や石炭火力から出てくる排ガスを反応室に導き電子ビームを当てます。そうすると、煙の中に入っている亜硫酸ガス、窒素酸化物が放射線の作用によって、あらかじめ加えておいたアンモニアと反応して、硫酸アンモニウム（硫安）と硝酸アンモニウム（硝安）に変換されます。この硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムはご承知のとおり肥料として使えますから、この方法は副産物として肥料を製造し、同時に亜硫酸ガス



※ Electro-Static Precipitator：電気集塵設備

図11 排煙脱硫脱硝に放射線を利用した実用プラント

を除去するという一石二鳥のプロセスです。

現在、中部電力が実用機を建設中です。図11は、中部電力の22万キロワットの重油火力発電所の排ガスを浄化する実用プラントです。横長の建物中に電子加速器と照射装置が設置されています。その手前にあるのが硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムを集める集塵機です。2002年には運転が行われる予定です。実は、これは世界初ではありません。実用機としては、中国とポーランドで既に動いているものがあります。いずれも日本の技術を利用した装置です。

この技術の普及には、IAEAも力を入れており、日本政府が協力しています。このように放射線照射技術が地球環境を守るために様々な分野で使われてきています。

おわりに

途上国の国造りに協力し世界に平和を

本日は、電力生産以外の原子力技術の実用の様々な例を紹介してきました。このように、アイソトープや放射線は、我々の生活に直接に関わる分野で有用な技術を提供しているのです。

そこで最後に申し上げたいのは、「原子力技術を貧困の撲滅に役立てる」ということです。日本人で知る人は少ないのですが、現在世界には貧困層といわれる1日100円以下の暮らしを強いられている人たちが18億人もいますので

す。世界に平和をもたらすためには、この貧困をなくさなければならないのです。8億人もの人が慢性的栄養失調とそれによる病気に苦しんでいる現実、一刻も早く改善しなければなりません。

「食糧の供給」、「健康を守る医療」が貧困層の人々を救う最も重要な方法です。原子力技術が、食糧の増産と医療、工業におおいに役立つことを紹介しました。途上国は原子力技術を生活向上に役立てようと一生懸命です。

IAEAもできる限りの支援を提供しています。日本政府も「アジア原子力協力フォーラム」(FNCA) (図12) に代表されるように、アジア地域の途上国に重点を置いて支援、協力をしています。途上国が原子力技術利用を飛躍的に拡大し、貧困の克服に挑戦することが可能となるよう、日本をはじめとする先進国の支援が強く求められているのです。

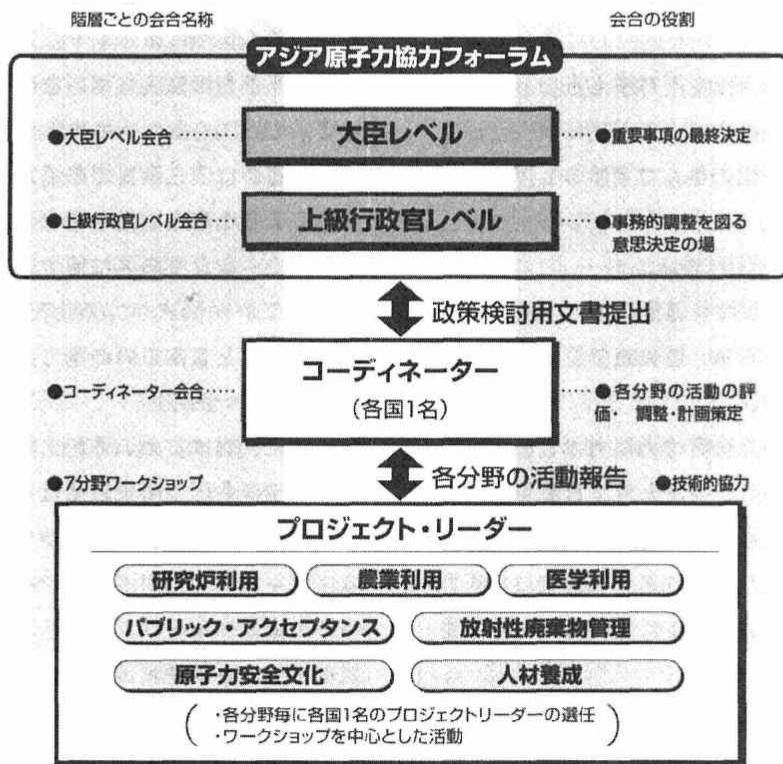


図12 アジア原子力協力フォーラム (FNCA) —新体制のフローチャート

第4世代原子炉開発の動向



松 井 一 秋 (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長)

1. はじめに

2001年7月17日、わが国は、ワシントンにおいて、「第4世代」と呼ばれる次世代の原子炉及び核燃料サイクルを国際的に研究開発する国際フォーラム（GIF: Generation IV International Forum）の設立憲章に署名した。署名国は、わが国の他、ブラジル、カナダ、韓国、フランス、英国、米国、アルゼンチン、南アフリカの9カ国である。

なお、「第4世代」原子力システムとは、「第1世代」（初期の原型炉的な炉）、「第2世代」（現行の軽水炉等）、「第3世代」（改良型軽水炉、東京電力柏崎刈羽のABWR等）に続き、2030年頃からの実用を目指した、天然ガス複合サイクル発電に競合でき、核拡散、環境及び安全性上の懸念の少ない原子力システムのことで、米国エネルギー省（DOE）が提唱し、上記フォーラムでその目指すところ、国際協力の仕組みなどが議論されてきている。

原子力発電所は、44年前に発電開始して以来、現在世界31か国で447基が稼働しており、世界総発電電力量の約6分の1は原子力によっている。

わが国では51基の軽水炉が運転中で、平成

12年度の電源別発電電力量（実績）の34.3%は原子力が担っている。天然ガス26.4%、石炭18.4%、石油10.7%と炭酸ガス放出を伴う電源がこれに続く。このようにわが国ではまだ寄与の低い自然エネルギー、太陽や風力と並んで、原子力は温暖化ガス放出低減の大きな柱である。

ところが、現在世界の原子力に対して、身を切るような冷たい逆風が吹いている。次世代技術の本命たる高速増殖炉開発は、時期尚早としてわが国やロシアを除いて各国とも次々と脱落してきているうえ、ドイツなどヨーロッパの一部の国々では脱原子力をエネルギー政策に掲げるところが出てきている。現在運転中の各国の原子力発電は快調で、稼ぎ頭なのだが、そのありがたみが身に沁みるのは、何年か先の途上国に顕著な電力需要の増加、原子力発電所の老朽化による建て替え需要の発生、京都議定書の履行の時期ではないかという意見もある。

今回米国があえて国際フォーラムを提案した狙いは公的には、エネルギー技術開発における国際協力を通じて、技術開発自身の効率化とアカウンタビリティを高めようということである。一歩踏み込んで考えてみると、停

滞していた米国の原子力技術開発能力並びに必要な資金を国際協力で補う意図および今後の原子力発電需要が大きいと見なされる現在の開発途上国の取り込みもあると考えてよさそうである。さらに核拡散防止を視野に入れた、すなわちプルトニウムがテロ支援国に出回らないように、米国の原子力技術の覇権回復も狙いといえる。

2. 革新炉開発概観

革新的あるいは新型原子炉の流れを概観すると、第1に既存の大型軽水炉の改良路線、すなわちわが国におけるABWR-IIやAPWRおよびその後継機APWR+, 韓国のAPR, ヨーロッパにおけるEPRがあり、いずれもスケールメリットを最大限生かすべく150万kW超の超大型出力である。第2には、既存の高速炉開発路線に固執しているのは、その実用化計画の見直し中とはいえ、もはや日本とロシアのみとなった高速炉があげられる。

実情からみて世界の原子力産業は斜陽と言って差し支えないし、研究開発体制ですら、老朽化、研究者の高齢化がはなはだしいし、地球温暖化防止策としての原子力の活用や海外展開は、2001年7月のボンでの第6回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP6）再開会合で自重すべしとまで宣告されている。しかしそれにもかかわらず、2000年初めからの米国を中心とする第4世代原子力システム開発、ならびにロシア主導による国際原子力機関（IAEA）を舞台にした革新炉開発計画（INPRO）の国際協調の動きがある。その背景には、「捕らぬ狸の皮算用」の側面もあるのだが、ある程度のリスクの覚悟が必要な21世紀

の国際的なエネルギー技術、産業の展開という、世界市場における覇権争いの前哨戦が認められる。これらの計画の中で、いわゆる小型炉がその技術的特徴に基づく将来性から注目されてきていることは言うまでもない。しかし、小型炉の開発計画は、今まで何度も提唱されたが結局認知されることなく今日に至っているのも事実である。強いて事例を挙げれば、静的安全性を取り入れているAP600（60万kW）の開発が米国NRCの設計認証を得るまで進められたことが唯一の事例であろう。

AP600の流れを受けて、静的安全性を取り込みかつ規模の経済を追求する100万kW級の設計が日欧で実施された。100万kW級の原子力発電プラントとして生き残れる可能性がないとは言えないが、前述の150万kW超の大型炉と比したメリットは認められずにいる。それに対して、ウェスチングハウス社はAP600の構成機器をそのままスケールアップするとしか言いようなない新型炉概念“AP1000（100万kW）”を提唱している。同社は、これにより建設単価1,000ドル/kW e、発電単価3セント/kWhという「第4世代」原子力システム開発の暫定目標を達成できるとしている。

前述のように現在、最新鋭の原子力プラント設計では150万kW超が主流である。これは、プラント建設コストの低減にはスケールアップが一番効果的であることを物語っている。原子力に限らず一般にプラント、装置にはスケールメリットが存在し、需要が許すなら、一番大きいか重い容器を製造、輸送、設置の限界まで大型化して、比較優位の確保が図られる。

小型分散電源の代表格である風力発電の羽根の径も100mを目指した開発が進められてい

る。また、燃料電池の単体セルの面積もできるだけ広くしたいのはやまやまだが、強度の問題などで限界がある。すなわち小型化してもなお比較優位を確保するには、相当の技術的ジャンプが必要である。逆に言えば、現在の技術と目指す技術の間には相当のギャップがある、研究開発、技術開発要素があるということである。小型分散電源を普及させるには、小型化からくるスケールデメリットの克服という目標が達成可能であることを実証しなければならない。

3. 第4世代原子力システム研究開発とその背景

2000年1月から始まった第4世代原子力開発国際協力の議論の経緯を概観してみよう。

最近のアメリカにおける原子力発電所は、稼働率向上ならびに発電所価値の上昇といった良好な状況にあり、数年前とは状況が一変している。しかし、1970年代以降、新規・新

型の原子力発電所建設の発注は無く、国立研究所をはじめ民間や関連技術系大学を含め全体的なアクティビティが低下しているという状況は変わらない。

ブッシュ政権は、2001年5月17日に発表した「国家エネルギー政策」の中で、原子力発電開発の推進を提言している。原子力発電の拡大と、先進核燃料サイクルや次世代技術を開発するという観点から、再処理R&Dを再考すべきとするブッシュ政権の提言は、これまで再処理に反対し、乾式再処理を軸とした一体型高速炉等、閉じた燃料サイクルについてのR&Dを停止させたクリントン政権からの大きな転換である。原子力関連の研究開発には大きな追い風と考えて良い。

大統領科学技術諮問委員会（PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology）が1997年11月にまとめた報告書に基づき、1999年から原子力研究イニシアティブ（NERI: Nuclear Energy Research Initiative）計画が開始された。初年度1,900万ドル（約23

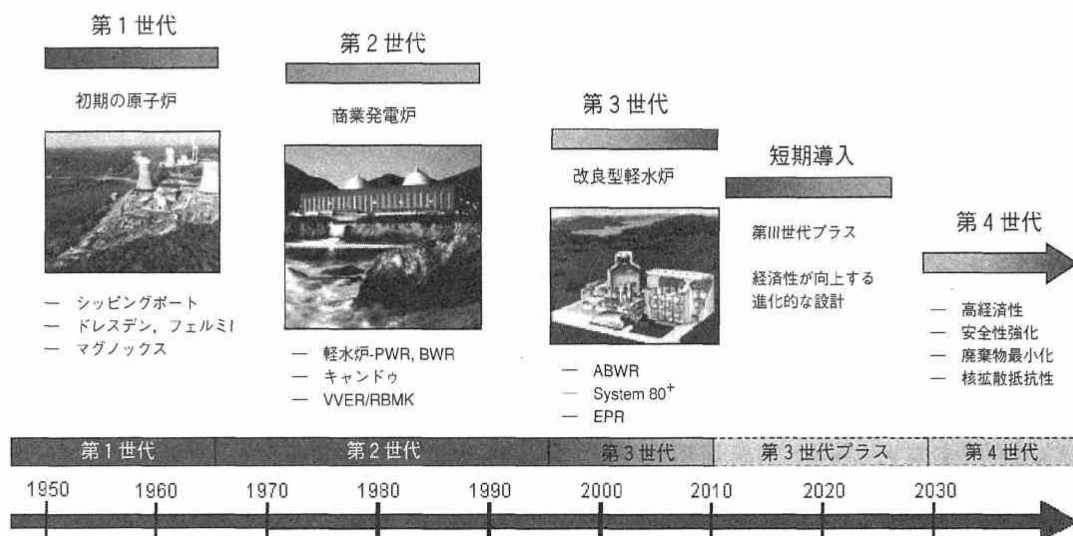


図1 世界的な原子力技術開発の推移

億円), 2000年度2,240万ドル(約27億円), 2001年度3,390万ドル(約40億円), 2002年度3200万ドル(約38億円)という国家予算により, 主として原子力の将来技術に関するシーズ研究を行い, DOE傘下の国立研究所や大学の原子力研究開発ポテンシャルを向上させるのが狙いである。その背景には, 世界におけるアメリカの原子力技術に関するリーダーシップ復興の意図もあると推測される。

世界的な原子力技術開発の推移を図1に示す。いわゆる「第1世代」とは SHIPPINGPORT, ドレスデン等の実験炉や実証炉である。「第2世代」は1970年代以降世界的に普及した軽水炉(LWR)系加圧水型炉(PWR), 沸騰水型炉(BWR)やカナダ型重水炉(CANDU), ロシア型加圧水型炉(VVER)／黒鉛減速沸騰軽水冷却チャンネル型大型炉(RBMK)等を指し, 「第3世代」は改良型沸騰水型炉(ABWR)やSystem80⁺, AP600や欧州加圧水型炉(EPR)を含めた現在の新型炉を意味する。さらに, 2030年代以降に要求される原子力システムを「第4世代」と呼び, 高い経済性・安全性・核拡散抵抗性と少ない廃棄物をその主な開発目標としている。つまり, 実用的な大型軽水炉には, 第3世代, ならびにその改良型で対応し, その先, 途上国における需要拡大にもらんだ革新的な原子炉では「第4世代」での対応を目指すということである。

4. 第4世代の議論の経緯

ー NERIから第4世代への進展

「第4世代」が具体的な概念として議論され始めたのは, DOE原子力科学技術局のウィリアム・マグウッド局長が米国原子力学会

(ANS: American Nuclear Society) 会合で「第4世代への助成」に言及してからのようである。DOE発行の英文パンフレット『第4世代原子力技術開発への道』(2000年4月)によると, シーズ研究とそれを進展させたシステム開発を「第4世代」と位置付け, 当面の目標は「第4世代原子力技術開発のロードマップ(研究開発計画)策定」としている。

2000年初頭から, 「第4世代」に関する具体的な議論が各方面で同時進行している。例えば同年5月の「第4世代」国際ワークショップでは, 南アフリカ, フランス, 韓国, ブラジル, アルゼンチン, イギリス, ドイツなどから総勢約100名が集まり, 「第4世代」の原子力技術が持つべき特性について議論を行った。既に行われた主要な会議名と開催期間を表1に列挙する。さらに, 「共同声明ー1」の概要を表2に示す。

DOEは, NERIを発展させて, 「第4世代」開発という国際的な研究開発協力プログラムにしたいと考えている。国際協力を必要とする理由として, 研究開発資金の問題, 最近の米国での原子力技術レベルの停滞による他国からの技術協力の必要性を挙げることできる。2002年末のロードマップ完成まではDOEが中心になって「第4世代」開発をリードして, その後の研究開発については, 経済開発協力機構／原子力エネルギー機関(OECD/NEA)の場における各国のボランティアベースの国際研究プロジェクトを指向している。

5. 他の活動との関連

DOEは, 停滞していた米国原子力研究開発

表1 第4世代に関連する主要会議

会 議 名	開催期間	開催地
2000年		
1. Gen IV国際ワークショップ（政府ベース）⇒共同声明-1	1/27～28	ワシントン
2. 核拡散抵抗性向上技術機会の検討（TOPS）タスクフォース	3/10	ワシントン
3. TOPS国際ワークショップ	3/29～30	ワシントン
4. Gen IV国際上級技術専門家ミーティング⇒共同声明-2	4/5～7	ワシントン
5. Gen IV国際ワークショップ	5/1～3	ベセスダ
6. TOPS技術評価委員会	6/15～16	シカゴ
7. TOPS報告書検討委員会	8/18	ワシントン
8. 第4世代政策，専門家グループ会合	8/28～31	ソウル
2001年		
9. 第4世代政策，専門家グループ会合	3月	パリ
10. 第4世代ロードマップ技術ワーキンググループ会合	5月	シカゴ
11. 第4世代ロードマップ技術ワーキンググループ会合	8月	シアトル
12. 第4世代政策，専門家グループ会合	10月	マイアミ
13. 第4世代ロードマップ技術ワーキンググループ会合	11月	サンフランシスコ

表2 国際ワークショップ（2000年1月）共同声明-1の概要

- 2000年1月の国際ワークショップ
（参加国：アルゼンチン・ブラジル・カナダ・フランス・日本・韓国・南アフリカ・英国・米国）
（不参加国：ロシア・中国）
で提出された共同声明-1では、次のような論議がなされた。
- 今後50年以内に途上国中心に大幅な電力需要増加が見込まれ、現状60億の世界人口のうち約20億人は電力の恩恵に浴していない事実と、一方で大気汚染（SO_xやNO_x等）と温室ガス（炭酸ガスやメタン等）の放出への懸念についての合意がなされた。
- 現在、原子力はクリーンエネルギーとして世界の17%の電力を供給しており、将来も主要な電力源が清浄大気の便益をもたらすと考えられる。現在稼働中の『第3世代』原子力は、今後数十年にわたり主要な役割を果たすと期待されるものの、さらなる経済性の向上が望まれる。
- 将来炉開発の概念については若干の議論があり、アメリカの原子力関係者の多くは、『可搬で長寿命の超小型一体型炉（例えば電中研開発の4 S炉タイプのような炉）であれば、使用済燃料の再処理システムや運転技術等の移管が不要で核拡散抵抗性が高い故に、途上国向けの炉として適当である』との主張であった。これに対し、CANDU炉をはじめとして途上国輸出経験の多いカナダやフランス等から、『輸出相手国の産業発展を無視した技術移転の考え方は理不尽で傲慢である』と強い批判が上がった。したがって将来の原子力発電炉は『核燃料サイクルと整合して開発すべき』、かつ『経済的・エネルギーセキュリティ・廃棄物対策・核拡散抵抗性等を考慮して、工業国・途上国双方に利用可能で技術移転をもたらすべき』という結論に至った。
- さらに『第4世代』に向けた今後の活動について、参加国代表は以下のように述べた。
 - ・各国政府は以下の条件を満たすように原子力技術の進歩を推進すべきである。
 - 長期的な研究開発・実証
 - 廃棄物問題の解決
 - 人的ならびに技術的なインフラの整備
 - 21世紀に対応する効果的な原子力規制の保証
 - ・したがって、第4世代原子力システムは将来の選択肢として、以下の視点で研究すべきである。
 - 工業国ならびに途上国、適宜国際機関からなる多国間ベースの研究として実施
 - 次のステップとして、政府代表からなる技術グループが技術的問題について議論し、将来の多国間協力について検討する

表3 研究のステップ

第1期（2002～2006年）	第2期（2007～2010年）	第3期（2010年以降）
・NERIならびに既存の設計から出発し、革新的第4世代システム設計の候補と、第3世代実用化のためのコスト削減方策の探索	（米政府が支援し続けることを前提に）重点的研究の続行により、有望な概念の選択ならびに許認可方法の開発	・主要機器、システムの設計、試験、実証 ・十分な公的、民間資金が利用可能ならば原型炉の建設

を再興するために、原子力研究諮問委員会（NERAC: Nuclear Energy Research Advisory Committee）を組織し、そこで産業界、大学、国立研究所の専門家による分科会の活動が始まっている。その1つ「長期研究開発プログラムの策定」において、2000年5～6月にまとめられた研究開発（R&D）計画でも「第4世代」の位置づけが言及されている。原子炉技術と経済性については、「第3世代炉」の資本費低減ならびに「第4世代炉」概念の探索から始めて、主要な技術研究を実施し、1つないし幾つかの概念を選んで試験及び原型炉の建設、市場性を実証するための運転につながるような建設計画を提案している。想定されている研究ステップを表3に示す。

また、NERACのほかの分科会である「核拡散抵抗性向上技術機会の検討」（TOPS: Task Force on Technology Opportunities for Increasing Proliferation Resistance of Global Civilian Nuclear Power Systems）も並行して国際ワークショップなどを活用した議論を進め、最終的には「第4世代ロードマップ策定」に関連してくる。実際、米国の核拡散抵抗性に関する主張は、米国以外の日本も含めた関係各国からは不評である。カーター政権時代以降、民間再処理や高速炉開発から撤退した理由の根底に「アメリカ外への軍事核拡散防止」という目的が

あったのも事実であるが、反面、純粋に原子力平和利用を願う意図も共存していると解釈される。いずれにしろ、米国としては原子力技術開発の再興のためには、国民的合意が重要であり、核拡散抵抗性の強化は必要不可欠な条件となっている。特に2001年9月11日に起こった同時多発テロ以降、その重要性が高まった。

ロードマップ策定に関連する活動として、加速器ATWを使った核破砕プログラム、原子力エネルギープラント最適化計画（NEPO）、大学研究炉の支援（NEER）、さらにアメリカとロシアの解体核プルトニウム処分プロジェクトなどが挙げられる。ちなみにロシアとの解体核プルトニウム処分プロジェクトは、やや停滞気味であったがやはり同時多発テロ以降、「速やかに実施すべし」となっている。

2000年1月のGIF会議（9ヶ国参加）を皮切りに、先に紹介した関係各方面でも同時進行的に討議が進んだ。5～6月のNERACの長期研究開発項目の策定会議は米国内のみの議論だったが、TOPS核拡散抵抗性分科会の会議には日本他数カ国が参加し、2001年初めには最終報告書が公表されている。そして2000年末から第4世代技術開発ロードマップの作成準備にかかり、2001年2月にはデンバーにて米国チームが結成された。3月のGIFパリ会議で

GIF諸国からの協力を取り付け、5月のシカゴでのロードマップ会合から正式に国際メンバーが加わり、その後8月にシアトル、11月にはサンフランシスコでロードマップ作成のためのワーキンググループ合同会議がもたれてきている。

6. 「第4世代」の目指す目標

「第4世代」原子力システムが充足すべき目標については、まず2000年5月、ペンシルバニア州ベセスダで開催されたワークショップにおいて、経済性、安全性、廃棄物問題、核不拡散性の4テーマにおいて、喧々諤々の議論がなされた。日本側の参加者から見るとかなり未熟な議論とも思えたが、これを素材として同年8月ソウルで開催されたGIF専門家会議では持続可能性の確保も加えて、その目標を整理し直した。(表4参照)

これを受け、前述のNERACは、持続可能性、安全性と信頼性、経済性の大きな3つの大目標分類と、その下の計8項目の目標にまとめ直した。(表5参照)

以上比較してみるとわかるように本質的に

表4 ソウルGIF専門家会議での目標

● 持続可能性の確保
● 放射性廃棄物の最小化
● 核不拡散性の向上
● 安全性の確保
→ALARA
→十分低い炉心損傷頻度と実証
● 経済性
→競合できるコスト
→資本リスクの低減

表5 NERAC小委員会での目標

● 持続可能性
→資源投入量の低減
→廃棄物発生量の低減
→核不拡散性の向上
● 安全性と信頼性
→エクセレンスの確保
→低い炉心損傷頻度
→緊急時対応要求の低減
● 経済性
→ライフサイクルコストの低減
→資本リスクの低減

は何も変わっておらず、米国も国際的な議論に重きを置いていることが分かる。各目標についてNERACで行われた議論のポイントは、表6に示す通りである。

こうしてみると、NERACの議論はやみくもに「絶対安全小型炉指向」などというのではなく、よく言えば「妥当な」、悪く言えば「保守的な」ものであることが分かる。現在進行中のロードマップ策定作業のポイントの1つは、この目標に基づき「第4世代」候補として提案されている概念の中から最もふさわしいものを選択することである。

7. ロードマップ策定

「第4世代」として向かうべき方向についての議論がなされてきているが、どのような研究開発をさらに続ける必要があるのか。DOEは前述の「第4世代」の目指すべき方向を示して、「第4世代」候補の公募を行った。我々も日本原子力学会の協力を得て、会員に対してこのようなリクエストがあることを知らせた。その結果を図2に示すが、世界12カ

表 6 NERACで行われた議論のポイント

持続可能性－１ 第4世代原子力エネルギーシステム（燃料サイクルを含む）は持続可能なエネルギー生産をもたらす。 ● 持続可能性の入力側 ● 世界のエネルギー生産を増加 ● 長期の燃料利用と経済性を最適化 ● 数世紀にわたる持続可能性を与える候補システムの開発を意図 ● 他の希少材料や資源を保存 持続可能性－２ 核廃棄物を最小化並びに管理し、将来の長期的な管理役務を軽減して公衆の健康と環境保護を改善。 ● 持続可能性の出力側 ● 「最小化」は具体的でないが、種々の対策（量、毒性等）でシステムを識別する狙い ● 安全かつ経済的な廃棄物形体を推奨 ● 低並びに中間廃棄物についても言及 持続可能性－３ 兵器転用可能物質として転用、盗難にとって魅力が乏しく、もっとも望ましくないルートであるという保証を増大する。 ● 現行体制を革新的なシステムにより継続 ● 材料と技術の転用の両方についても応分の力点 ● 外的並びに内的な障壁の両方に対しても応分の力点
安全性と信頼性－１ 第４世代原子力エネルギーシステムの運転は安全性と信頼性の面で抜きこんでいる。 ● 現在の成功に立脚し、その革新を円滑に続行するシステムの採用を奨励 ● 事故起因事象並びにそれを悪化させる要因の減少を強調 ● 経済性との強いつながり ● 公衆の信頼感との強いつながり 安全性と信頼性－２ 第４世代原子力エネルギーシステムの炉心損傷頻度並びに度合いは非常に小さい。 ● 投資保護の必要性から派生 ● 現状システムが十分に安全かどうか、炉心損傷確率をさらに下げる必要があるかなどの問題について議論がある分野 ● 静的安全性にのみ注目しているわけではない 安全性と信頼性－３ 第４世代原子力エネルギーシステムではオフサイト緊急時対応の必要性を除く。 ● 公衆の信頼感との強いつながり ● この目標が達成されるかどうかは実際には実証可能ではないかもしれない事に注意 ● 本目標の絶対的な達成ではなく、その意図に議論
経済性－１ 他のエネルギーシステムと比べて明らかにライフサイクルコストにおいて優位である事 ● ほとんど要求事項 ● ライフサイクルコストと同様に導入時における競争力も本目標のうち 経済性－２ 第４世代原子力エネルギーシステムの資金的なリスクは他のエネルギーシステムと同等 ● リスクはもちろんプロジェクトファイナンスिंगにとってもっとも重要 ● リスクはそれ自身異なる目標として評価されるかもしれない ● 「規模の経済」対「大量生産の経済性（小型モジュール）」の議論を惹起 ● また許認可および公衆の不安という外部リスク要因を提起

炉 型	
非古典炉	17
ガス冷却炉	17
金属冷却炉	32
水冷却炉	28
合 計	94

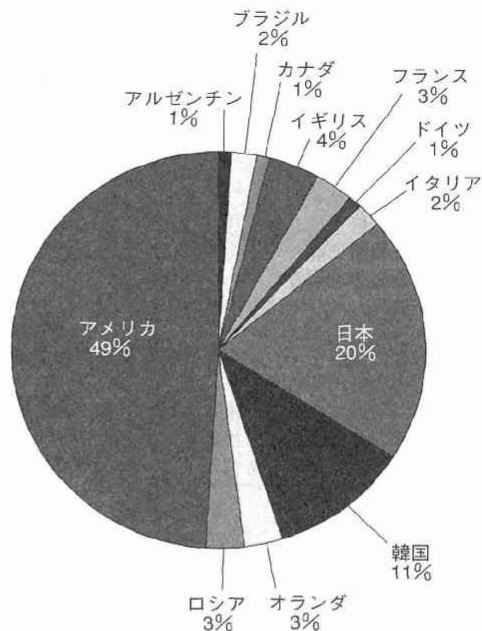


図2 第4世代の候補、応募状況

国から約100のコンセプトが提案された。国別では、地元ということから半数は米国だったが、実に全体の2割は日本からの提案であり、米国を除けば最も多かった。炉型別のコンセプトとしては、液体金属冷却炉、すなわち高速炉が全体の3分の1、水冷却炉が3割を占め、残りをガス冷却炉と熔融塩炉などの非古典炉が占めている。

当研究所は、高速炉の比較的高エネルギーの中性子を使って、マイナーアクチニドや超長寿命核分裂生成核種を破碎し、できるだけ廃棄物を形骸に出さないシステム―「自己完結型原子力システム (SCNES)」―を永年にわたり研究してきたこともあり、(株)日立製作所の協力を得て、同システムを「第4世代」候補として提案した。同システムは、いわゆる分離・消滅処理を高速炉システムに組み込むものである。技術的にはなかなか難しいものであることを十分承知した上で、革新的な

技術システムの方の1つとして提案しておく必要があると判断したからである。

DOEは、ロードマップ策定作業について公式には2000年10月から2002年9月末までの足掛け2年の予定で予算を組んである(2001年度700万ドル(約8億4,000万円)、2002年度400万ドル(約5億円)。組織は図3に示すが、NERACのアドバイスを受けつつ、GIFの要請を踏まえ、実質的には本ロードマップ作成のための約100名からなる技術ワーキンググループの活動が中心となる。各ワーキンググループが議論してきた「第4世代」候補及び評価対象概念は、表7に示すとおりである。

ワーキンググループは当初7つ。わが国を含む海外メンバーと米国メンバーとで始められた。その後、2001年8月のシアトル会議で4つを加え現在に至っている。(表8参照)

前述のように、デンバー会議(2001年2月)で米国側メンバーが結成され、パリで開催さ

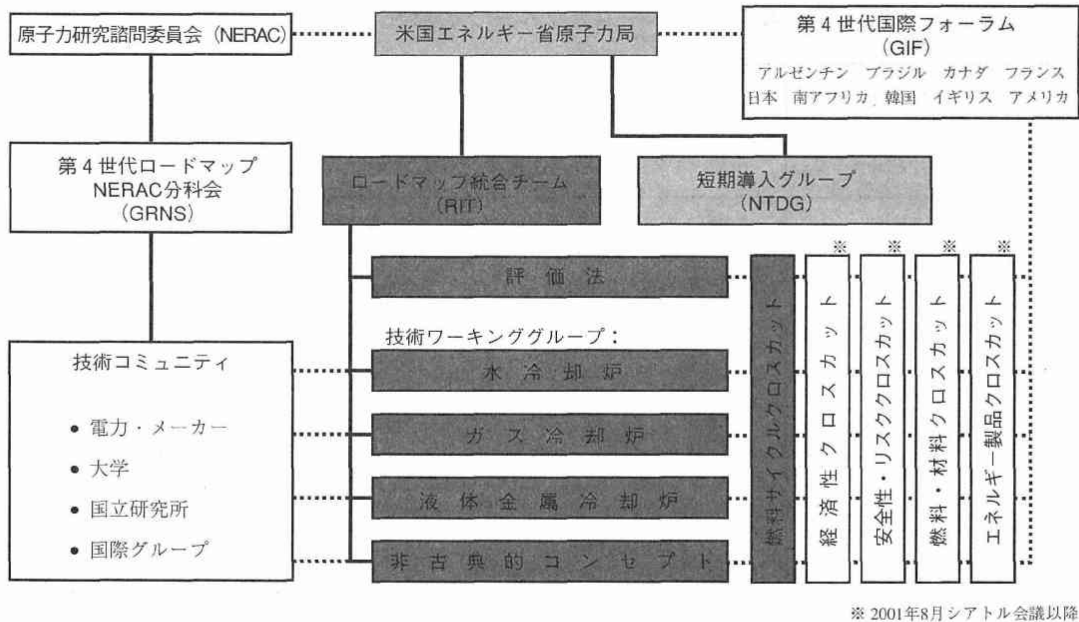


図3 第4世代ロードマップ策定組織図

表7 第4世代候補，評価対象概念

水冷却炉： 9 概念群 ● PWR loop reactors (LPWR) ● Integral primary system PWR's (IPSR) ● Simplified BWRs (SBWR) ● Pressure tube reactors (PTR) ● High conversion cores (HCC) ● Supercritical water reactors (SCWR) ● Pebble Fuel Reactors (PBR) ● Thorium Fuel Cycle (ThFC) ● Dry Recycling of Spent LWR Fuel (Dry Rec)	ガス冷却炉： 4 概念群 ● Pebble bed modular reactor concepts (PBR) ● Prismatic modular reactor concepts (PMR) ● Very high temperature (~1500°C) reactor (VHTR) ● Fast-spectrum reactor concepts (FR)
液体金属冷却炉： 4 概念群 ● Medium-to-large sodium cooled reactors, MOX fuel (LOS) ● Medium-to-large sodium cooled reactors, metal fuel (LMS) ● Medium-sized Pb/Pb-Bi systems (MPb) ● Sodium cooled concepts with novel steam generators (SPb)	非古典炉： 6 概念群 ● Liquid core reactors (LCR) ● Gas core reactor (GCR) ● Advanced High Temperature Reactors (AHTR) ● Organic cooled reactor (OCR) ● Non-convective cooled reactors (NCCR) ● Direct energy conversion reactors (DEC)

表8 ワーキンググループの参加者構成

ワーキンググループ	参加メンバー	総数
ロードマップ総合チーム	DOE (1名), ANL (3名), INEEL (2名), CEA (1名)	計7名
燃料サイクル クロスカットグループ	米国外から8名: CEA, COGEMA, EC, EURATOM, IAEA, JNC, KAERI, OECD/NEAから各1名 (日本からはJNCの野田宏 FBRサイクル開発推進部長)	計21名
水冷却炉グループ	米国外から11名: AECL, CEA, IAEA, DHICO/韓国, Framatome, KAERI, アルゼンチン, ブラジルから各1名, 日本から3名 (日本からは岡芳明 東大教授, 尾本彰 東京電力原子力技術部長, 片岡一芳 東芝原子力システム設計部主務)	計22名
ガス冷却炉グループ	米国外から11名: BNFL, CEA, COGEMA, EURATOM, Framatome, JAERI, KOPEC, OECD/NEA, アルゼンチンから 各1名, IAEAから2名 (日本からは小川益郎 JAERI核熱利用研究部次長)	計23名
金属冷却炉グループ	米国外から9名: CEA, EC, IAEA, KAERI, OECD/NEA, ブラジル, 京城大学から各1名, JNCから2名 (日本からは共同議長の佐賀山豊 JNC大洗工学センターシステム 技術開発部研究主席, 一宮正和・同部次長)	計21名
非古典炉グループ	米国外から6名: CEA, EDF, EURATOM, JAERI, KAERI, NNCから各1名 (日本からは高野秀樹 JAERI東海研究所中性子科学研究センター次長)	計18名
評価法グループ	米国外から7名: BNFL, CEA, EDF, Framatome, IAE, IAEA, OECD/NEAから各1名 (日本からは筆者)	計19名
経済性 クロスカットグループ	米国外から7名: AECL, BNFL, CEA, Framatome, JNC, NNC, OECD/NEAから各1名 (日本からはJNCの佐賀山豊氏)	計16名
安全性・リスク クロスカットグループ	米国外から7名: CEA, Framatome, IAEA, OECD/NEA, 京城大学, 東芝から各1名, CEAから2名 (日本からは東芝の片岡一芳氏)	計17名
燃料・材料 クロスカットグループ	米国外から6名: BNFL, CEA, EDF, EURATOM, KAERI, OECD/NEAから各1名	計15名
エネルギー製品 クロスカットグループ	米国外から3名: CEA, JAERI, JNCから各1名 (日本からはJAERIの小川益郎氏, JNCの一宮正和氏)	計13名

CEA: フランス原子力庁
 AECL: カナダ原子力公社
 ANL: アルゴンヌ国立研究所
 BNFL: イギリス原子燃料会社
 COGEMA: フランス核燃料公社
 EC: 欧州共同体
 EDF: フランス電力庁
 EURATOM: 欧州原子力共同体
 Framatome: フラマトム社 (フランス)

JAERI: 日本原子力研究所
 JNC: 核燃料サイクル開発機構
 IAE: エネルギー総合工学研究所
 IAEA: 国際原子力機関
 INEEL: アイダホ国立工学・環境研究所
 KAERI: 韓国原子力研究所
 KOPEC: 韓国電力技術株式会社
 OECD/NEA: 経済協力開発機構/原子力機関

れたGIF会議（同年3月）で各国の協力を取り付け、各国からワーキンググループメンバーを募った。その後、シカゴ（同年5月）、シアトル（同年8月）、サンフランシスコ（同年11月）で、これらワーキンググループ約100人が集まる会議がもたれてきている。この他に電子メールによるやりとりは言うに及ばず、各ワーキンググループは必要に応じて集まったり、電話会議を実施してきている。筆者の場合も毎月2回ほどの電話会議があるが、米国西海岸のメンバー、すなわちスタンフォード大学やカリフォルニア大学バークレー校のメンバーもいるので、夏時間の季節が終わった時節は夜中の11時からの会議となっている。

このように現在、「第4世代」としての概念及び必要な研究開発を策定する「ロードマップ」（開発計画）を2002年秋に完成させるべく、ワークショップや専門家会合等を開催してきている。わが国のいろいろな革新的概念が「第4世代」ロードマップ策定の国際的議論の中で揉まれることは、それら概念が一種の独りよがりから脱却してより洗練され、魅力あるものになりうるのか、1つの試練あるいは試金石と考えることもできよう。

8. 終わりに

「第4世代」原子力開発の中でわが国がいかに主体性を保ちつつ、国内のエネルギー・環境問題の緩和のみならず国際的な貢献を果たしていくか大きな課題といえる。わが国に対しては、高い経済性と安全性を有し、熱利用等の多様なエネルギー供給や原子炉利用の普及に適した革新的な原子炉が期待されており、国際協力の下で次世代原子炉に関する議

論を深めることは、大変有意義であると私は認識している。実態として米国が原子力技術開発に公的に戻ってくることは大歓迎なのだが、高速炉を中核とする核燃料サイクルの確立を主軸に、高温ガス炉の展開や電事連における小型炉の検討など、すでに原子力技術開発モメンタムのあるわが国の原子力関係者にとっては、疑心暗鬼の側面がある。

他方、わが国においては総合的なエネルギー、ならびにその技術開発戦略がない。さらにその各論としての原子力について言えば、縦割り、蛸壺的な既得権益確保が跋扈している現状ではなかろうか。現在の改革議論に乗るわけではないが、本来は国益を中心にすえ、さらに極東アジア地域の安定を含めた国際的観点から中長期的なわが国の原子力技術開発はどうあるべきかという議論が透明性とアカウンタビリティを確保しつつなされるべきと考える。

「第4世代」の動きが国内企業のビジネスチャンスにどう結びつくのか、その可能性はということになると、当面は大きなビジネスに直結するような話はないと言わざるを得ない。ロードマップ策定以降の国際協力による研究開発段階においての参画、貢献については、企業のビジネス戦略並びに国益に基づくエネルギー技術開発戦略に沿う形で個別に考えることになる。しかし、国際協力によって、いわゆる世界標準的な原子力システムが作られ、それが世界の市場に出回る可能性があるとするならば、いかに対応すべきかは自明ではなかろうか。また、わが国がこれまでに投資してきた原子力技術の競争力を見れば、わが国には地球環境のためにも大きな市場を作り出すリーダーシップが求められると考える。

バイオマスエネルギー技術

—開発動向とケーススタディー—



内 田 洋 (助エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長)

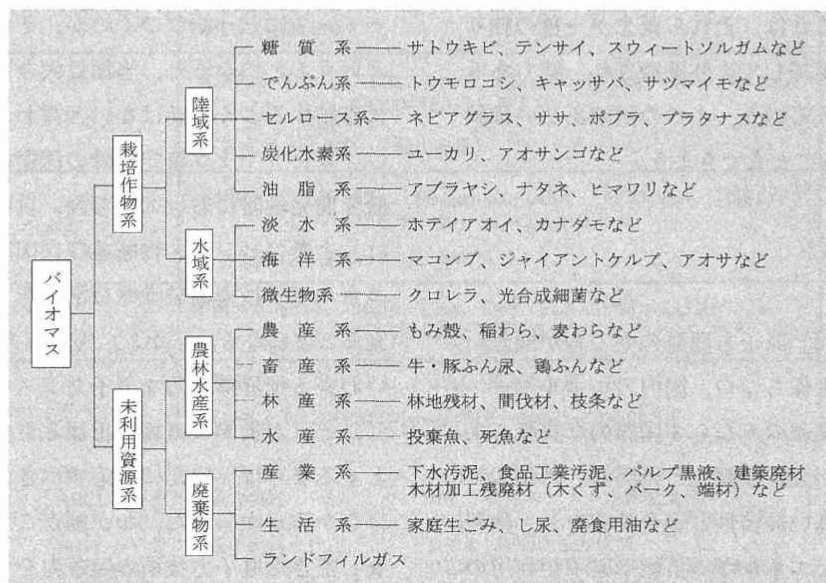
1. はじめに

バイオマスはエネルギーとして利用することにより、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減、化石エネルギー消費抑制等の効果を発揮することが可能であり、国内外においてバイオマスエネルギーに関する技術開発やその導入普及の取り組みが活発に行われている。このような状況から、当研究所では経済産業省より新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

を通じて委託された「バイオマスエネルギー技術の開発動向及びフィージビリティスタディ調査」を行った。本稿では、バイオマスエネルギー技術の開発動向とバイオマス利用に関するケーススタディについて報告する。

2. バイオマス資源の種類と特徴

バイオマスは、エネルギーや化学原料として使用可能な動植物資源、及びこれらを起源



(出所：1986年度NEDO委託調査報告書「バイオマスエネルギー技術実用化推進調査」を基に作成)

図1 バイオマス資源の分類

とする廃棄物であり、その範囲は農林水畜産系資源、有機性産業廃棄物、都市ごみ、有機性汚泥など多種多様である。代表的なバイオマス資源の分類を図1に示す。

バイオマスエネルギーの特徴を以下にまとめて示す。

- ①生物体を資源とするため、常に再生産分を許容範囲内で利用する限り非枯渇であり、再生可能エネルギーと言える。
- ②世界全体に広く分布し、かつ希薄なエネルギーであるが、その賦存量は膨大である。
- ③直接燃焼等のエネルギー消費により排出されるCO₂がバイオマス生産時に固定されるCO₂と相殺されるカーボンニュートラルなエネルギー資源である。
- ④生産・供給、発熱量、エネルギー変換などの観点から化石燃料に比較して取り扱いにくい。
- ⑤貯蔵できることから太陽光発電、風力発電などと比較して供給安定性に優れている。

これらの特徴から、バイオマスエネルギーは次のような効果を発揮する。

- ①化石燃料消費抑制（化石燃料の代替）
- ②CO₂及びメタンの排出抑制（地球温暖化防止）
- ③循環型社会の形成

その他、間伐材等の木質バイオマスの利用が促進されることにより、国内の森林整備、林業等の活性化にも貢献する。

3. バイオマスエネルギー政策の動向

(1) わが国の状況

経済産業省の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会の報告書「今後の新エネルギー対策のあり方について」（2001）に、バイオマスのエネルギー利用について、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」上の新エネルギーとして明確に位置づけ、積極的に導入促進を図っていくのが適当であると記述されたように、その導入促進が期待されている。同報告書では、新たな新エネルギー導入目標値として従来の黒液・廃材等に加えてバイオマス発電、バイオマス熱利用が含まれ、2010年度の目標ケースで石油換算595万kl（新エネルギー総供給目標の約31%に相当）としている。さらに、バイオマスを含む再生可能エネルギー電力の導入促進制度としてRPS制度（Renewables Portfolio Standard: 証書を用いた再生可能エネルギーの導入基準制度）が検討されている。

一方、「循環型社会形成推進基本法」の制定、廃棄物処理法の改正、食品リサイクル法及び建設資材リサイクル法の制定など循環型社会形成のための環境条件が整備されつつある。このため、建設工事受注者には建設廃材等の再資源化が、食品関係の事業者には食品廃棄物の発生抑制・再資源化が求められることとなった。また、「家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」により、家畜ふん尿についても有効利用が求められている。このため今後、肥料・飼料化等が困難な廃棄物系バイオマスのエネルギー利用が拡大するものと考えられる。

(2) 海外の状況

欧米では、地球温暖化対策、エネルギー・セキュリティとしてバイオマスエネルギーの

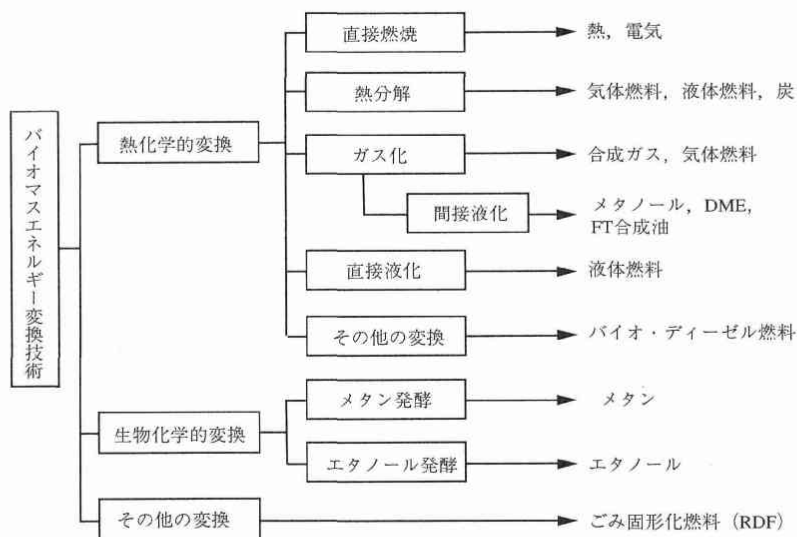


図2 バイオマスエネルギー変換技術

技術開発，普及促進に取り組んでいる。アメリカでは，1999年にバイオマスエネルギーに関する大統領令（13134号）が発表され，2010年までにバイオ関連製品及びバイオマスエネルギーの利用を3倍にするとしている。欧州連合は1997年に再生可能エネルギー白書（Energy for The Future: Renewable Sources of Energy）を発表し，2010年に再生可能エネルギーで全エネルギーの12%を供給し，その内バイオマスの比率を74%とする目標を掲げている。

4. バイオマスエネルギー技術の開発動向

バイオマスのエネルギー変換技術としては，目的のエネルギー種（スチーム，電気，気体燃料，液体燃料等）とともに利用するバイオマス資源の特性に合った技術の開発が進められている。バイオマスエネルギー変換技術は図2のように分類できる。

(1) 熱化学的変換

熱化学的変換は，バイオマスを熱化学的に変換するもので，変換プロセスや反応条件により様々な組成比の固体・液体・気体に変換し，原燃料として利用する。具体的には直接燃焼や高温ガス化・液化などがある。

① 直接燃焼

直接燃焼はバイオマスを直接燃焼させて熱エネルギーを得る技術である。直接燃焼の燃焼熱で蒸気を発生させ，タービンで発電する直接燃焼発電やコージェネレーションも多く行われている。木質系バイオマス（間伐材・木くず・樹皮など），黒液，パガス（サトウキビ絞りかす），麦わら，もみ殻，鶏ふん，都市ごみ等が燃料として利用されている。木くず等をチップやペレットにしてストーブ，ボイラの燃料としても利用されている。発電ではバイオマス専焼のほか，アメリカ等では石炭火力発電での混焼も行われている。バイオマス混焼率は容量比1～8%程度であるが，エ

エネルギー密度が低いバイオマスの欠点と、環境影響が大きい石炭の欠点を互いに解消する有効な技術と考えられている。

② ガス化・液化

バイオマスの高温ガス化・液化はエネルギー変換の高効率化等を指向した技術で、高温において熱分解、部分酸化等によりバイオマスを水素、一酸化炭素、メタン等の気体燃料、オイルなどの液体燃料、木炭などの固体燃料に変換する。ガス化剤としては酸素、空気、水蒸気などが使用される。さらに、水素、一酸化炭素等へのガス化と接触合成反応の組み合わせによるメタノール、フィッシャー・トロプシュ（FT）合成油、ジメチルエーテル（DME）などの液体燃料間接合成や、複合発電と組み合わせたガス化複合発電（BIGCC: Biomass-fueled Integrated Gasification Combined Cycle）などの開発が進められている。BIGCCは、木質系バイオマス等をガス化しガスタービンと蒸気タービンを組み合わせて発電を行うことから、高い発電効率が期待されている。欧米ではBIGCCの実証試験プラントが稼働している。国内では草木系バイオマスからのメタノール製造技術の開発が行われている。バイオマスのガス化・液体燃料化技術の多くは、石炭仕様等の技術として商業化ないし開発が進んでいることから、バイオマス特性を考慮することにより実用化は技術的に可能と思われる。

③ その他

その他のエネルギー変換技術としては、廃天ぷら油等の廃食用油をメタノールと反応させてメチルエステルに変換することによりバイオ・ディーゼル燃料を製造する技術が使われている。京都市、善通寺市などではバイ

オ・ディーゼル燃料をごみ収集車、市バスなどに利用している。この燃料は軽油と比較して硫黄酸化物、黒煙の排出量が少ない。

(2) 生物化学的変換

生物化学的変換は、生物化学的反應によってバイオマスを利用しやすい燃料に変換するバイオマス特有の技術である。代表的な例としてメタン発酵（バイオガス化）とエタノール発酵があり、気体燃料、液体燃料の生産に利用されている。

① メタン発酵

メタン発酵は、し尿や下水汚泥などのウェット系廃棄物処理方法の1つとして、古くから取り組まれてきているが、近年、得られたバイオガスをエネルギーとして利用する技術の開発・実証・導入が積極的に行われている。メタン発酵は、発酵槽を35℃前後に保持する中温発酵と、55℃前後に保持する高温発酵がある。高温発酵では、高濃度かつ短期間の効率的なバイオガス回収が可能である。メタン発酵の対象バイオマスは、含水率50%以上の有機物の生ごみ、農産系・水産系・畜産系廃棄物、食品廃棄物、し尿、下水汚泥などである。バイオマスの乾燥によるエネルギー効率低下が避けられる。得られたバイオガスは、燃料ガス（自家使用）、発電、都市ガスに使われている。

ビール工場等ではガスエンジンや燃料電池によるバイオガス発電が行われている。京都府八木町では家畜ふん尿及び食品工場の有機廃棄物から堆肥とメタンガスを発生させ、ガスエンジンで発電するプラントが稼働している。長岡市では、下水汚泥のメタン発酵で得られたバイオガスを水洗浄・脱水後、都市ガ

スの原料として都市ガス会社に売却している。神戸市の某複合商業施設では施設内で発生する生ごみ1～1.5トン/日をメタン発酵し、生成したバイオガスを脱硫後、ボイラ燃料として使用している。神戸市では事業系生ごみ6トン/日を処理するバイオガス化燃料電池発電システム（100 kWリン酸形燃料電池を設置）が稼働している。

② エタノール発酵

エタノール発酵は、糖、デンプンから酵母を用いた発酵によりエタノールを製造する技術で、ブラジルやアメリカにおいてサトウキビ、トウモロコシが原料として使われ、生産されたエタノールは自動車などの燃料として利用されている。糖、デンプン以外のセルロース系バイオマスをエタノールに変換する発酵技術の研究開発が行われている。

(3) その他

都市ごみ中の紙、木、プラスチック等の可

燃物をペレット状に成形したごみ固形化燃料（RDF）も一部バイオマスを含んでいて、ボイラ、発電用の燃料として導入されている。

5. バイオマス利用システムのケーススタディ

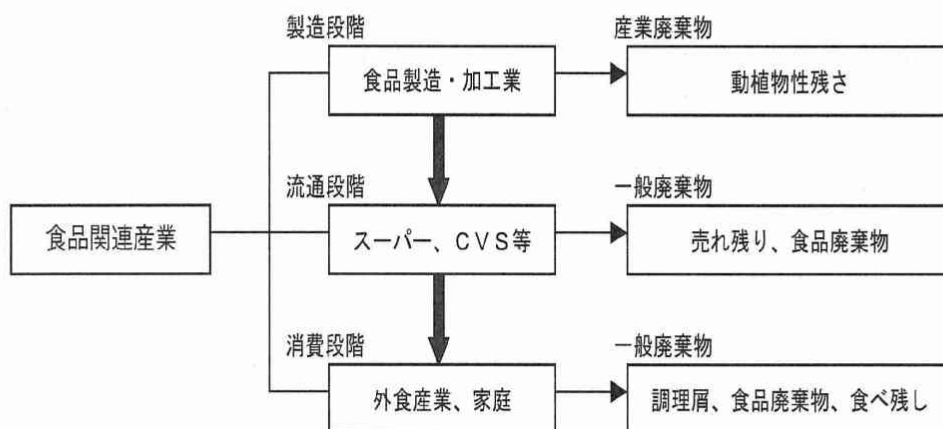
食品廃棄物系バイオマス利用と農・林・水・畜産系の複合利用型バイオマス利用に関する2つのケーススタディ例について示す。

5.1 食品廃棄物系バイオマス利用

都市部で分散発生し、量的に未利用分が多く、かつ肥料・飼料化が困難になりつつある食品廃棄物系バイオマスについてメタン発酵技術を利用した広域処理型のエネルギー変換システムのケーススタディ例を以下に示す。

(1) 対象とするバイオマス資源と地域

食品廃棄物系バイオマスの90%は焼却埋立



（出所：農林水産省、「食品廃棄物の現状」を基に作成）

図3 食品廃棄物系バイオマスの排出区分

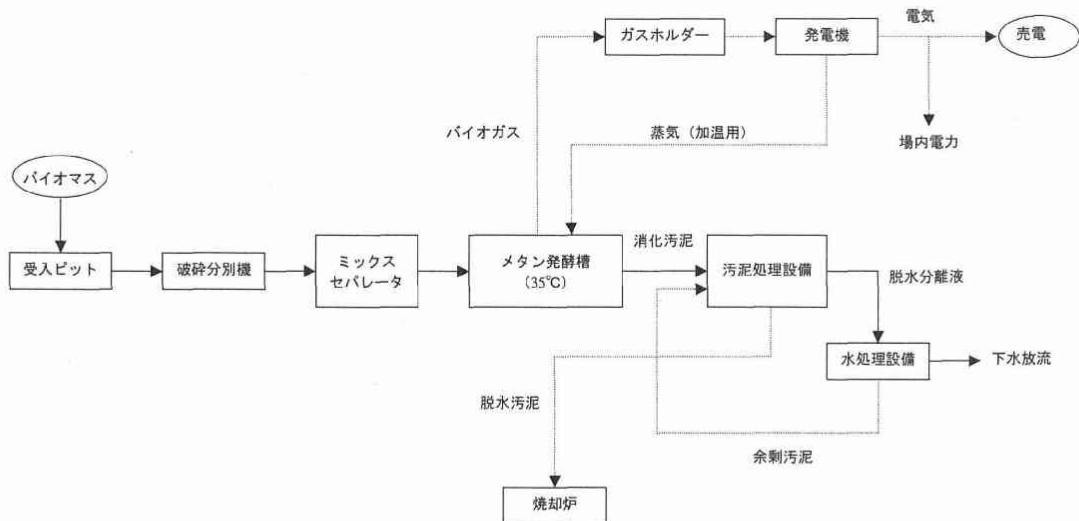


図4 食品廃棄物系バイオマス変換システムフロー

されている。食品廃棄物系バイオマスは図3に示すように食品の製造、流通、消費等各段階で発生している。食品製造業で発生するバイオマスは有効利用が進んでいるが、卸売市場、デパート、スーパー、コンビニエンスストア（CVS）などの食品流通業、あるいはファミリーレストラン、ファーストフード等の飲食店やホテル、または家庭等の消費段階で発生するバイオマスのほとんどが焼却処分されている。収集が困難な家庭ごみを除いた、これらの利用可能性の高いバイオマスを利用対象とした。

また、効率的なバイオマス収集が必要なことから、発生源となる消費地近郊で、食品流通業が集積している大都市近郊の市町群（12市町、半径約10 km）を対象地域とした。

(2) バイオマス利用可能量

対象地域内のスーパー、百貨店、飲食店、学校給食センター、小中学校、コンビニエンスストア、市場から発生する食品廃棄物系バ

イオマス量を資料及びヒヤリング等により調査し、利用可能量を169トン/日と想定した。

(3) エネルギー変換システムの設定

エネルギー変換システムを次のように設定した。

- バイオマスは夾雑物除去、水分調節、混合後、メタン発酵を行う。
- 得られたバイオガスは、ガスエンジンによる発電の燃料として利用する。

表1 物質収支・エネルギー収支

バイオマス利用量	169 トン/日
バイオガス発生量	497 万 m ³ /年
脱水汚泥発生量	9,300 トン/年
発電出力	929 kW
年間発電量	7,432,000 kWh/年
内所内消費電力	2,084,000 kWh/年
外部供給可能電力	5,348,000 kWh/年
余剰熱量	25,500 GJ/年

- ガスエンジン廃熱の一部は、メタン発酵槽の加温に利用する。
 - 汚泥処理設備からの脱水分離液は排水処理する。
 - 脱水汚泥は隣接するごみ焼却炉で焼却処理する。
- エネルギー変換システムフローを図4に示す。

(4) 物質収支・エネルギー収支

年間8,000時間稼働として求められたエネルギー変換システムの主な物質収支とエネルギー収支を表1に示す。

(5) システム評価

食品廃棄物系バイオマスの処理費（一般廃棄物並の引取価格15円/kgを想定）を徴収することを前提とすると、発電コストはマイナスとなった。この食品廃棄物系バイオマス変換システムは、メタン発酵により廃棄物が大幅に減容化される上に、電力と熱が効率的に得られ、コストが廃棄物処理費として回収されるなど、経済的に成立する可能性が示された。ただし、想定したシステム規模では設備が大型化するため、設置場所が限定されることも明らかとなった。本システムの導入普及にあたっては、設備のコンパクト化・低コスト化のための高速・高効率メタン発酵技術、異物混入防止等の前処理技術などの技術開発とともに、バイオマス収集システムの確立、施設立地の確保などが課題となる。

5.2 複合利用型バイオマス利用

地域における農・林・水・畜産業から発生するバイオマスは、発生量に季節変動があるものが多いが、複数のバイオマスを複合利用する

表2 産業別バイオマス種

	バイオマス種
農産業	稲わら、もみ殻、麦わら、タマネギ（傷・腐敗物）
林産業	製材廃棄物、間伐材、林地残材
水産業	水産加工残さ（さけ・ます・ほっけ・スケトウダラ・イカ）
畜産業	ふん尿（牛乳、肉用牛、豚）

ことにより、単独で利用するよりもバイオマスの投入量の平準化、さらにエネルギー変換の効率化がはかれる可能性がある。以下に地域の農・林・水・畜産系バイオマスの複合利用型エネルギー変換システムのケーススタディ例を示す。

(1) 対象とするバイオマス資源と地域

本調査では、農・林・水・畜産系バイオマスが豊富に調達でき、複合型プロセスを考えるには最も適した地域の1つとして北海道の8市町をケーススタディの対象とした。この地域で発生する表2に示す農・林・水・畜産系バイオマスを利用対象とした。

(2) バイオマス利用可能量

バイオマスの最終処分量（未利用の埋立処分される廃棄物）を利用可能量とした。農・林・水・畜産系バイオマス発生量は、収穫高等にそれぞれの廃棄率または排出原単位を乗じて算出できる。個々のバイオマス資源の排出原単位及び利用可能率は、文献及び現地ヒヤリング等により調査した。

以上の廃棄物発生原単位、利用可能率及び収穫時期等をもとに設定した月別の各バイオマス利用可能量の推定値（間伐材、林地残材

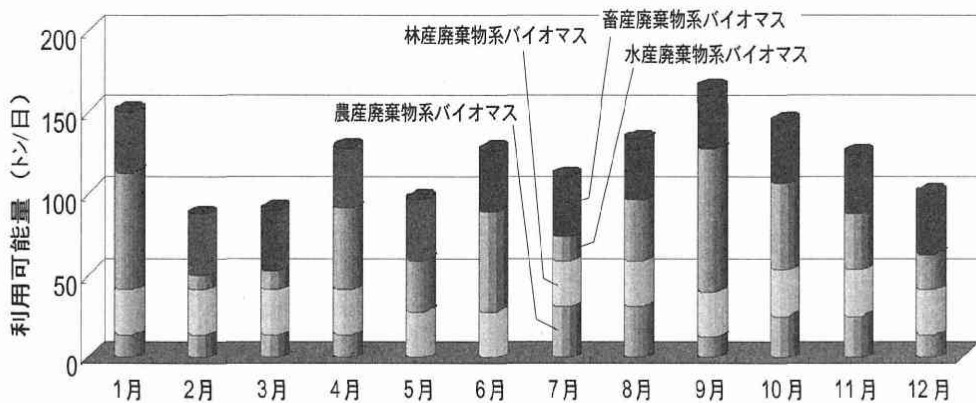


図5 バイオマス利用可能量（間伐材、林地残材を除く）

を除く）を図5に示す。一方、間伐材と林地残材の利用可能量はそれぞれ66,020 m³/年、13,330 m³/年と推定された。

(3) エネルギー変換システムの設定

資源としてはメタン発酵に適するバイオマス（家畜ふん尿、水産加工残さ、タマネギ）と燃焼に適するバイオマス（林産廃棄物、稲・麦わら等）が共存することから、エネル

ギー変換システムを次のように設定した。

- メタン発酵槽と焼却炉をシステムとして複合化する。
- 汚泥処理設備からの脱水汚泥は乾燥後、焼却炉で焼却処理する。
- 燃焼に適するバイオマス資源及びバイオガスを燃料とし焼却炉で水蒸気を発生させ、蒸気タービンで発電する。

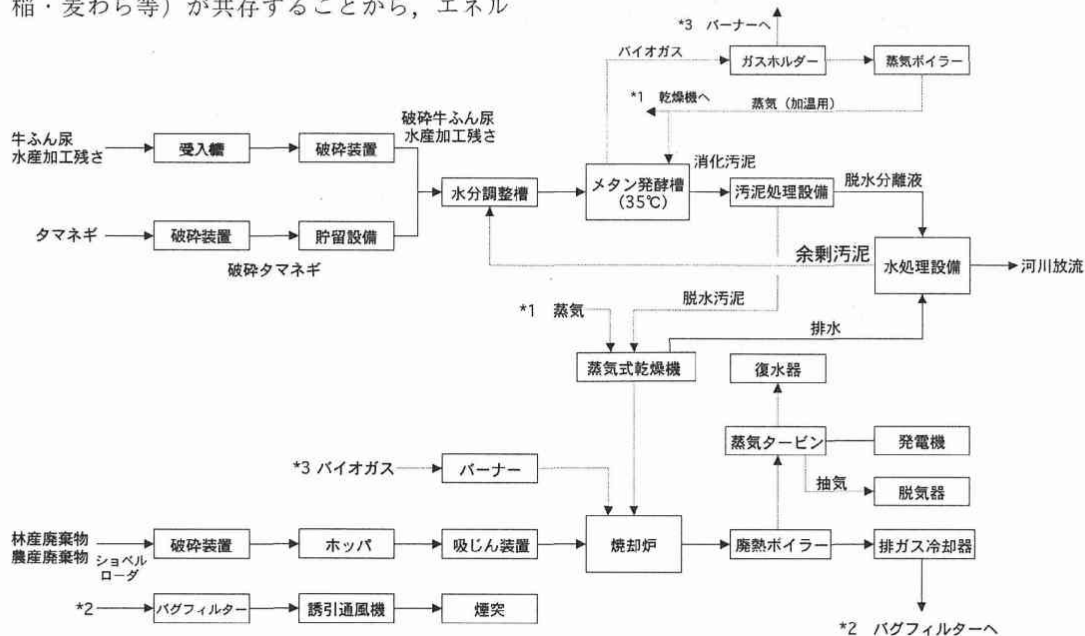


図6 複合利用型バイオマス変換システムフロー

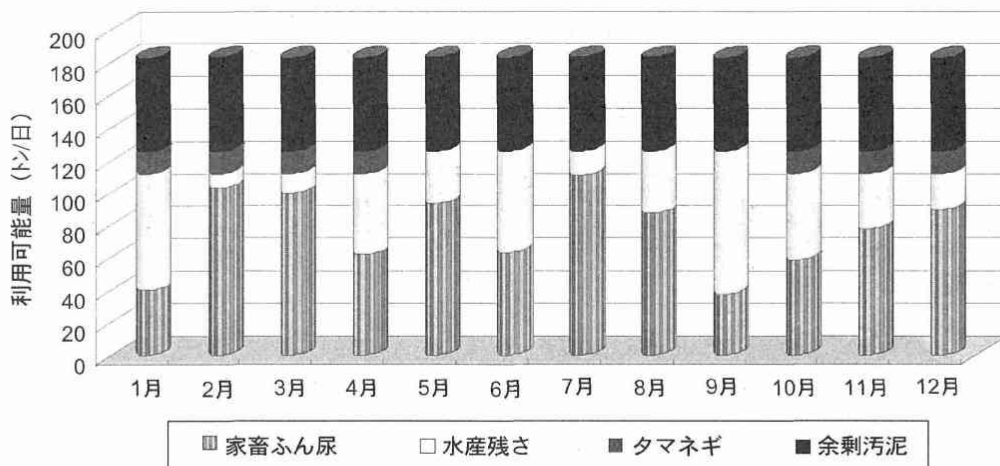


図7 メタン発酵系のバイオマス利用量

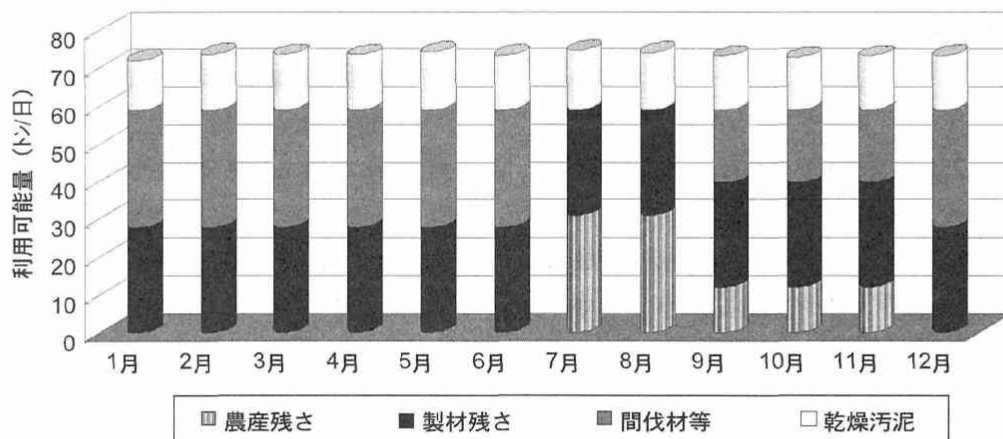


図8 燃焼系のバイオマス利用量

- メタン発酵用バイオマス量の季節変動は、減量化処理された家畜ふん尿で補う。
- 燃焼用バイオマス量の季節変動は、未利用の林地残材・間伐材で補う。
- 脱水分離液は水処理する。
- 水処理の余剰汚泥はメタン発酵槽に投入する。

エネルギー変換システムフローを図6に示す。

(4) 物質収支・エネルギー収支

エネルギー変換システムでのバイオマス利用量を図7、図8に示す。また、年間8,000時間稼働として求めたエネルギー変換システムの物質収支とエネルギー収支を表3に示す。

(5) システム評価

メタン発酵・直接燃焼等により複数のバイオマスを電気エネルギーに変換するシステム

表3 物質収支・エネルギー収支

バイオマス利用量 (平均)	メタン発酵系(余剰汚泥を含む)	184 トン/日
	燃焼系(乾燥消化汚泥を含む)	73 トン/日
バイオガス発生量		243 万 m ³ /年
燃焼による発生熱量		317,040 GJ/年
発電出力(平均)		1,599 kW
年間発電量		12,790,000 kWh/年
内所内消費電力		6,338,000 kWh/年
外部供給可能電力		6,452,000 kWh/年
余剰熱量		41,630 GJ/年

とした。その際に、システム内で物質と熱の相互利用を行うことにより季節変動に影響されず安定した運転が可能で、外部に供給可能な電力約645万kWh/年、回収余剰熱量41,630 GJ/年が得られる。一方、バイオマスを廃棄物ではなくエネルギー原料として購入し、かつ設備費補助なしと想定した場合に、経済性が設備費とバイオマス購入費より大きく影響されることが明らかになった。今後の導入普及にあたっては、バイオマス購入費（輸送費を含む）の低減、技術革新による設備費の低減、メタン発酵の高効率化、発電効率の向上、未利用廃熱の有効利用などが課題となる。

6. 今後の課題

わが国において未利用系バイオマスを効率的、安定的、経済的にエネルギー変換利用することは、エネルギー・セキュリティ、地球環境、循環型社会形成の観点から望まれている。ケーススタディで示されたように未利用系バイオマスのエネルギー利用を導入普及させていくためには、わが国の社会状況、地域環境、利用バイオマスの質・量に適合した技術の開発が望まれる。それには、前処理・後処理を含めた利用システムのより一層の低コスト化、コンパクト化、高効率化等をはかる

ための技術開発の促進、バイオマスの収集及び前処理・エネルギー利用のためのインフラ及び制度の整備が不可欠である。

今後、産学官の総力を挙げて総括的な技術開発、普及促進策等を具体的かつ迅速に推進していくことが望まれる。

謝 辞

本稿作成にあたり、情報提供あるいは資料利用に対してご理解いただいた経済産業省、NEDO、ならびにご協力いただいた赤井誠委員長をはじめ委員、関係者各位に対し厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 横山伸也, 「バイオエネルギー最前線」(2001) 森北出版
- (2) 山地憲治, 山本博巳, 藤野純一, 「バイオエネルギー」(2000) ミオシン出版
- (3) 美濃輪智朗, 日本エネルギー学会誌, Vol.78, No.4, 252 (1999)
- (4) James & James社ホームページ, "Biomass gasification: the enabling technology" (http://www.jxj.com/magsandj/rew/2000_05/biomass_gasification.html)
- (5) 生物系廃棄物リサイクル研究会編, 「生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題」(1999)
- (6) 長部恵介, 環境技術, Vol.29, No.5, 353 (2000)

WE-NETプロジェクトに関連する 海外技術開発の動向



緒 方 寛

(財)エネルギー総合工学研究所
WE-NETセンター 主管研究員

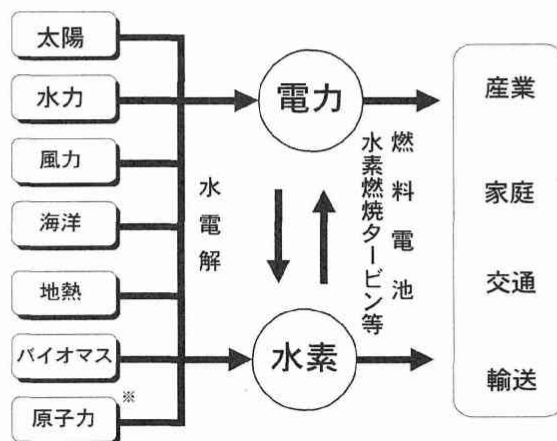
1. はじめに

地球温暖化対策の1つとして、太陽エネルギーなど再生可能エネルギーの導入促進が図られている。再生可能エネルギーは電力あるいは熱の形態で採取されるため、再生可能エネルギー利用を拡大するに当たり、「水素を二次エネルギー媒体として導入することが合理的である」との認識が、世界の専門家の間でほぼ一致している。

図1に示すように、「水素エネルギーシステム」の概念の基本は、「電力と水素を二次エネ

ルギーとする再生可能エネルギー供給・利用システム」である。

砂漠地帯などの大規模な太陽光発電の場合には、需要地までの距離が遠く、電力輸送として送電線にのみ頼ることはできない。しかし、電力は化学エネルギーの形に変換すれば貯蔵・長距離輸送する有効な手段となる。化学エネルギーの媒体として、①水素は水を原料としてエネルギー投入により容易に製造できる、②エネルギー利用により排出される物質は水であり環境負荷が全くない、ことから水素が最も有力視されている。



※ 原子力は再生可能エネルギーではないが、炭酸ガス無排出の1次エネルギーという観点から、原子力を含めることもある。

図1 水素エネルギーシステムの概念図(1)

WE-NETプロジェクトは、発展途上国等に未利用の形で豊富に存在する水力、太陽光、風力等の再生可能エネルギーを輸送可能な水素に変換し、世界の需要地に輸送し、発電、輸送用燃料、都市ガス等の広範囲な分野で利用するネットワークの導入を目指し、1993年度にスタートした。しかし、最近の社会情勢の変化、とりわけ燃料電池実用化の動きが急展開しつつあることを背景に、短・中期的に実用化が期待される水素利用分野への水素エネルギー供給や、水素を介在させることで環境負荷が相対的に低減できる化石燃料をエネルギー源とした水素利用技術の開発も重要な課題となっている。

日本の水素エネルギー技術開発が、燃料電池の開発と水素インフラの開発へと変化している状況の中で、今後のWE-NETプロジェクトの動向にも大きく影響を及ぼすと思われる海外技術開発の動向について紹介する。

2. 海外における水素エネルギー技術開発の動向

2.1 ユーロッパにおける技術開発

海外における水素エネルギー技術の開発は古くから行われてきた。ヨーロッパでは、ドイツ・バイエルン州の支援で行われたSWB (Solar Wasserstoff Bayern) プロジェクト、ドイツとサウジアラビア政府で行われたHYSOLARプロジェクト、カナダとヨーロッパの間で行われたEQHHPP (Euro Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project) の3つの大規模なシステム開発プロジェクトが挙げられる。各プロジェクトの内容を表1に示す。SWBプロジェクトで開発された液体水素の自動車へ

表1 ユーロッパの3大プロジェクト

プロジェクト	内容	スポンサー
SWB (1986～1995年)	太陽電池-水電解-水素利用システム技術、水素ステーションの開発	バイエルン州政府 産業界 94億円
HYSOLAR (1986～1995年)	太陽電池-水電解-水素製造システム開発。 350kWシステムで実験完了	ドイツ、サウジ政府 55億円
EQHHPP (1986～1999年)	水力発電-水電解-液体水素輸送、利用技術(自動車、航空機)の開発	カナダ-EU 共同プロジェクト 47億円

の充填技術は、現在もドイツで実用化されている。

米国では1990年からエネルギー省 (DOE) の支援により活発に水素エネルギー技術開発が行なわれるようになり、1992年、政策的に開発を推進するスパーク・マツナガ法の制定により、水素プログラムの推進が決定された。現在も、水素技術審議会 (HTAP: Hydrogen Technical Advisory Panel) や産業界、学界の協力により水素プログラムが組織的に推進されている。

2.2 海外のプロジェクトに共通する特徴

これまでの海外プロジェクトに共通する特徴としては、

- (1) 既存の技術を活用して実用システムを構築し、市中で実際に利用し、問題の摘出と解決を図るほか、市民に対する啓蒙を行い、将来の市場導入を容易にする。
- (2) 環境改善効果が大きく、水素利用が容易な水素自動車の開発に重点を置いている。
- (3) 国、州政府などの公的機関が開発資金を全額または一部負担して積極的に開発を支援している。
- (4) 水素の供給源として、短・中期にはスタンドアローンの水電解、天然ガス改質、バ

イオマスガス化などで水素を供給し、長期的には再生可能エネルギーによる水素の大量供給を目標としている。

海外プロジェクトの成果は、ドイツではミュンヘン空港ほかでのバス、米国、カナダなどでは市バスが試験的に投入される際に反映されている。しかし、現在では燃料電池車関連の水素インフラや水素貯蔵技術開発の開発、CAFCP (California Fuel Cell Partnership) に代表されるように燃料電池自動車やバスのデモンストレーション運転などに重点が移ってきている。

3. 燃料電池自動車の開発状況

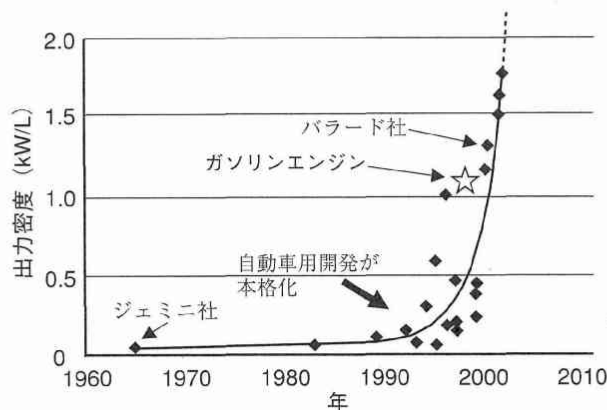
燃料電池自動車をフロントランナーとする燃料電池実用化の動きが急展開しつつあることを背景に、燃料電池技術は燃料選択問題が未だに明確にされていないものの、現在の化石エネルギー社会から将来の水素エネルギー社会へ移行するための重要な技術と位置付けられる。そこで、最初に、燃料電池自動車の開発状況について紹介する。

3.1 燃料電池スタック

自動車用燃料電池は1990年代に入り、カナダのバラード (Ballard) 社が高性能の固体高分子形燃料電池 (PEFC) を開発してから実用化の期待が高まった。図2に示すように出力密度も開発当初の10倍以上となっている⁽²⁾, ⁽³⁾。その他にも米国IFC社、ドイツのプロトン・モーター (Proton Motor) 社などが開発を行っており、国内ではトヨタ自動車が独自に開発を推進している。

3.2 燃料電池システム

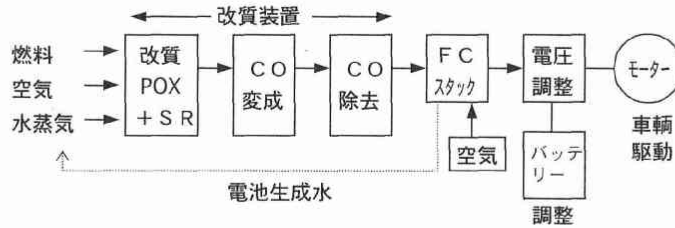
燃料電池システムは選択する燃料により、図3に示すように⁽⁴⁾、① 純水素搭載システム、② ガソリン、メタノールなどの化石燃料搭載システムと異なったシステムとなる。純水素搭載の燃料電池車では、水素貯蔵技術、水素の供給インフラ整備が課題である。一方、化石燃料搭載システムでは、起動時間を短くするため水蒸気改質と部分酸化を組み合わせたオートサーマル改質器が使用される。しかし、メタノール改質は改質温度が約250℃と低くほぼ完成の領域に到達しているものの、ガ



出所：トヨタ、GM、IFC、バラード・パワー・システムズ・インク、デ・ノラ、服部正策 (1973年5月)『燃料電池／電気自動車』横川書房

図2 固体高分子形燃料電池の出力密度⁽²⁾ ⁽³⁾

■オートサーマル燃料改質型燃料電池車のシステム



■純水素燃料電池車のシステム

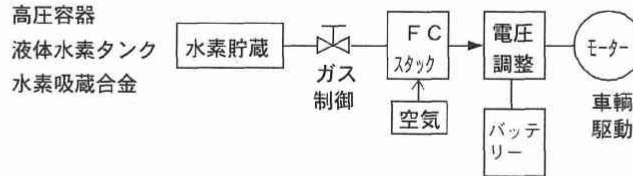


図3 燃料電池車システム(4)

ソリン改質は800℃以上と高温であり、またその成分からも改質が難しいため開発に長時間を要している。

3.3 燃料電池自動車と実用運転プロジェクト

わが国でも、燃料電池実用化戦略研究会の導入目標を受けて、燃料電池実用化推進協議会のもと燃料電池自動車の実証プロジェクトが計画されている。海外では国、州政府、EUなどの公的機関主導で、燃料電池自動車を市内で実用的に走行させるプロジェクトが既に行われている。代表的な水素自動車プロジェクトを表2に示す。プロジェクトの概要は以下の通りである(4)。

(1) California Fuel Cell Partnership (CAFCP)

カリフォルニア州政府機関の大気資源局(CARB)、エネルギー委員会(CEC)主導で、DOEなどの支援を受けて2000年11月に発足し

たプロジェクトである。2001年にはエア・プロダクト(Air Product)社により液体水素ステーションがサクラメントに設置され液体水素搭載車の走行も開始される。2002年にはスチュアート・エナジー(Stuart Energy)社のア

表2 海外の代表的な水素車プロジェクト(3)

地域	概要
シカゴ、バンクーバー市バスプロジェクト	1998年～2000年まで2年間で各3台を路線バスとして運転
ハンブルグW.E.I.T	1999年から水素エンジンバスを6台運転中
ミュンヘン空港	1999年から水素バス3台と乗用車1台を運転
バイエルン州市バスプロジェクト	2000年10月から純水素燃料電池バスをエアランゲン市の路線バスとして運転中
カリフォルニア燃料電池パートナーシップ	2000年11月走行開始。燃料電池乗用車56台と市バス20台を実用運転するプロジェクト。
バームスプリングス水素自動車プロジェクト	燃料電池市バス3台、ハイタンバス2台を導入。2000年6月水素ステーション完成
ラスベガスプロジェクト	2001年に水素水素エンジンバスなど市バス走行。天然ガス改質50kWFC兼用ステーション完成
ミラノプロジェクト	2003年から燃料電池バスと乗用車走行。
海外各都市の燃料電池市バスプロジェクト	米国、ドイツ、北欧3国、イタリア、フランス、豪州、中国、ブラジル、アイスランド、メキシコ、インドの19都市が燃料電池バスの導入を計画。

ルカリ水電解型水素ステーションが設置予定である。世界8社の自動車メーカーが参加している。

(2) パームスプリングスプロジェクト

サンライン・トランジット交通局がDOEや州政府などの支援を受けて実施しているプロジェクトである。2001年には純水素搭載のエクセルシス社（Xcellsis）製燃料電池バス1台の走行を開始しており、2003年に合計3台を導入する計画である。水素供給ステーションは天然ガス改質器の単独運転を終了し、圧縮、貯蔵設備を設置してバスへの水素供給を行い、太陽電池の電力を一部利用するアルカリ水電解装置も備えている。

(3) ラスベガスプロジェクト

2001年に天然ガス改質装置を設置して発足したDOEプロジェクトである。現在の改質器容量は $28\text{Nm}^3/\text{h}$ であるが、2002年1月に $170\text{Nm}^3/\text{h}$ に増設し、プラグ・パワー（Plug Power）社の50kW級PEFCと水素ステーションへ水素を供給する。燃料電池車のみならず、ハイタン自動車、水素エンジンハイブリッドバスなど、最終的に27台の水素自動車を導入する計画である。

(4) ドイツバイエルン州バスプロジェクト

バイエルン州政府のプロジェクトで、マン/シーメンス（MAN/Siemens）社製燃料電池バスを2000年10月から2001年4月までエアランゲンとニュールンベルク間の市バスとして運行する。本プロジェクトではネオプラン（Neoplan）社も燃料電池バスを開発している。

(5) ミュンヘン空港プロジェクト

バイエルン州政府支援のプロジェクトで、1999年からマン社製2台、ネブラン社製1台の燃料電池バスとBMWの液体水素エンジン車を空港内で走行させている。2002年には天然ガス改質水素製造装置を増設し、MAN社製燃料電池バス2台を追加する計画である。

(6) アイスランドプロジェクト

アイスランドプロジェクトは国情によりプロジェクトの性格が他と異なっている。アイスランドでは1次エネルギーの約70%、国内電力の99.9%を水力と地熱で供給している。残りの1次エネルギーの約30%は輸入に頼っており、それは主に自動車、漁船用燃料のための石油である。この石油輸入分を国産の水力、地熱エネルギー起源の水素で置き換え、将来は全エネルギーを国内自然エネルギーでまかなおうという意欲的な構想である。余剰電力による水素製造、自動車、漁船などへのエネルギー供給、さらには、ヨーロッパ各国への水素輸出も視野に入れ、1999年1月に新会社のアイスランド水素燃料会社（Iceland Hydrogen and Fuel Cell Co. Ltd.）を設立した。プロジェクトのスケジュールは以下のように計画されている。

- Phase 1：2003年までにレイキャビックに燃料電池バス3台導入
- Phase 2：レイキャビック及び国内に可能な限り燃料電池バスを導入
- Phase 3：自家用車を燃料電池自動車へ転換
- Phase 4：燃料電池漁船のデモ実施
- Phase 5：2500隻の漁船を燃料電池船に転換
- 2030年から2040年には水素エネルギー経済社会を確立。

(7) Clean Hydrogen Transport in Europe (CUTE) プロジェクト

ダイムラー・クライスラー (Daimler-Chrysler) 社, BP, リンデ (Linde) 社や自治体に参加し, ヨーロッパ9カ国10都市で30台の純水素搭載の燃料電池バスを実証走行させるプロジェクトである。燃料電池バスはエヴォバス (Evobus) 社が供給し2002年より導入予定である。

(8) イタリアミラノ水素プロジェクト

ENEAの資金で政府出資会社のAEMが担当する水素プロジェクトである。燃料電池バス

のほか, 近くの鉄道車輛駅までパイプラインで水素を供給する計画である。2003年のイベコ (IVECO) 社製燃料電池バス3台をはじめに, BMW水素エンジン車, 2007年の水素エンジン機関車の走行を計画している。

(9) その他のプロジェクト

1999年11月に国連組織の地球環境ファシリティー (GEF: Global Environment Facility)が発展途上国に対し, 燃料電池バスの導入計画を承認した。オーストラリアのパスをはじめとして, イタリアのトリノでの燃料電池バス導入プロジェクトなどがある。表3に燃料電

表3 燃料電池バス導入を計画している都市⁽⁴⁾

国	都市
米国	バームスプリングス
	SF湾岸地域
	ラスベガス
ドイツ	ハンブルグ
	ステュットガルト
	ベルリン
イタリア	ミラノ、トリノ
	オランダ
オランダ	アムステルダム
スペイン	バルセロナ
英国	ロンドン
ルクセンブルグ	ルクセンブルグ
ポルトガル	ポルト
スウェーデン	ストックホルム
ブラジル	サンパウロ
メキシコ	メキシコ
オーストラリア	パス
中国	北京、上海
インド	ニューデリー
エジプト	カイロ
アイスランド	レイキャビック

表4 2000年以降の燃料電池実験車⁽⁴⁾

メーカ	車名	FC出力 (kW)	燃料	走行距離 (km)
ダイムラー・クライスラー	NECAR IV Adv.	75	圧縮水素 (25MPa)	160
フォード	Focus	80	(35MPa)	250
現代	FCEV	75	(25MPa)	160
ホンダ	FCX-V4	78	(35MPa)	300
日産	Xterra	—	(25MPa)	—
トヨタ	FCHV-4	90	(25MPa)	250
ゼブコ	London Taxi	5	(25MPa)	—
ダイムラー・クライスラー	NECAR IV	75	液体水素	450
オベル/GM	HydroGen1	80	液体水素	400
フォルクスワーゲン	Hymotion Bora	—	液体水素	350
トヨタ	FCH-V3	90	水素吸蔵合金	300
ダイムラー・クライスラー	NECAR V	75	メタノール	—
マツダ	Premacy FC-EV	—	メタノール	—

表5 燃料電池バスの開発状況⁽⁴⁾

バスメーカ	国	導入予定都市
エクセルシス	ドイツ	バームスプリングス、他
マン	ドイツ	ミュンヘン空港、他
ネオブラン	ドイツ	未定
エヴォバス	ドイツ	EU各都市
ソール・インダストリー	米国	バームスプリングス
イベコ	イタリア	ミラノ
アイリスバス	イタリア	トリノ、パリ、マドリード
スカニア	スウェーデン	未定
トヨタ	日本	未定

池バス導入が計画されている都市を示す⁽⁴⁾。

燃料電池自動車は国内外のメーカーが開発が推進されている。2000年以降の燃料電池実験車を表4⁽⁴⁾、燃料電池バスの開発状況を表5に示す⁽⁴⁾。燃料電池実験車では、システムが簡素な圧縮水素搭載車がほとんどであるが、ドイツの液体水素搭載車、水素吸蔵合金搭載車、メタノール改質車も発表されている。燃料電池バスは圧力25～35MPa、容積約1000Lのコンポジット高圧圧縮水素容器を天井に搭載し、250～300kmの走行が可能となっている。

3.4 純水素搭載技術

純水素搭載燃料電池自動車は、システムが簡素で課題が少ないことから、水素供給インフラの整備が問題となるものの早期実用化が

可能と考えられている。しかし、液体水素は貯蔵容量が多いもののボイルオフガス損失の低減が必要であり、高圧圧縮水素と水素吸蔵合金は貯蔵容量が少なく、自動車の航続距離が短いといった課題がある。米国エネルギー省(DOE)は、水素貯蔵技術開発を2001年度水素プログラムの重点テーマの1つとして取り上げている。米国、カナダを主とした開発状況を表6に示す⁽⁴⁾。

高圧圧縮水素容器は、アルミまたはプラスチックのライナーの外周を炭素繊維とエポキシ樹脂で補強したコンポジット容器である。主なメーカーは米国のクオインタム(QUANTUM)社、ジオコル(Thiokol)社、ATPリンカン(ATP-Lincoln)社、SCI社及びカナダのダイネテック(Dynetek)社である。

表6 自動車用水素貯蔵技術の開発状況⁽⁴⁾

貯蔵技術	開発動向
高圧圧縮水素容器	走行距離400km以上を狙った70MPa高圧容器を開発中。米国では11.3wt%(35MPa)の軽量コンポジット容器の試作完了。
液体水素容器	ボイルオフガス損失を防ぐ高圧断熱容器が米国で試作され、2001年から車輦に搭載、実証運転予定。
水素吸蔵合金	DOE開発目標は、有効水素吸蔵率5.5wt%。
炭素材料	DOE開発目標は、6.5wt%(62kgH ₂ /m ³)。NRELは4wt%(0.01gH ₂)を達成。2002年目標を6wt%と設定。
水素化物	NaH、NaBH ₄ など水と反応し水素を発生する水素化物の研究が米国、日本で実施中。

表7 高圧圧縮水素容器の開発状況⁽⁴⁾

	現在		試作完了	開発中
貯蔵圧力(MPa)	25	35	35	70
水素貯蔵量対容器重量比率(wt%)	5～6	7.5～8.5	11.3	～7.6



図4 350MPaコンポジット容器

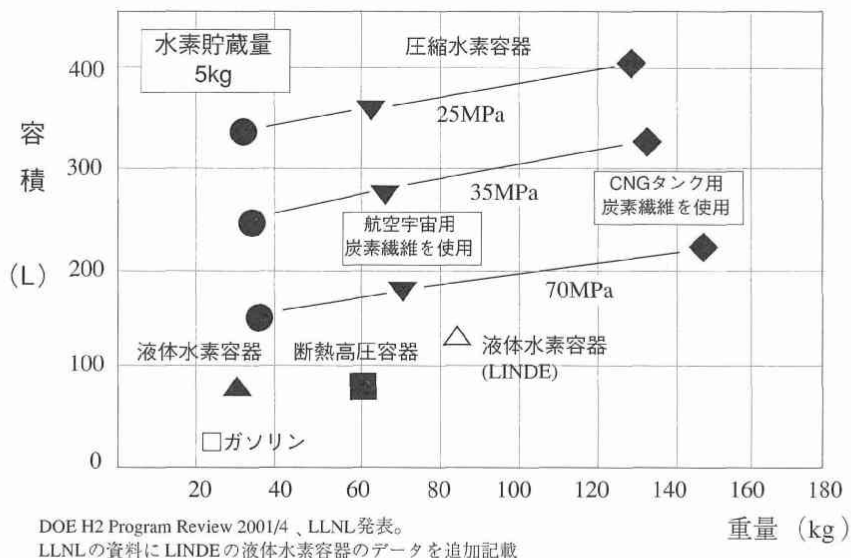


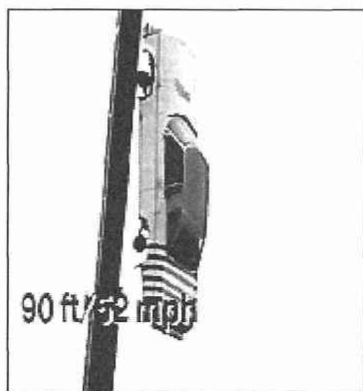
図5 各種水素貯蔵容器の性能⁽⁴⁾

高圧圧縮水素容器の開発状況を表7に示す⁽⁴⁾。35MPaのコンポジット容器を図4に示す。

2001年4月のDOEによるプログラム評価で米国の国立研究所ローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)は、図5⁽⁴⁾に示すように5kgの水素を搭載する各種水素容器の容積と重量の関係を発表し、70MPa高圧圧縮水素容器の可能性を示唆した。高圧圧縮水素容器は

70MPaのプロトタイプ容器など開発が進んでいるが、今後、容器以外の燃料供給系の開発が重要になると思われる。

高圧圧縮水素の安全性については、バースト試験はもとより、水素充填容器への落錘、落下、銃撃及び火災試験などが実施されている(図6参照⁽³⁾)。これらの試験結果では容器の爆破は発生しておらず、また、自動車の

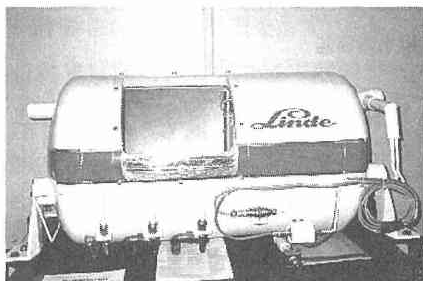


地上90フィートからの落下試験

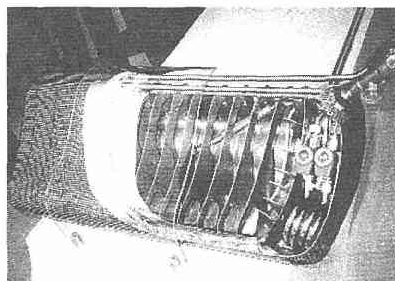


火災試験

図6 高圧圧縮水素容器の安全性試験⁽³⁾

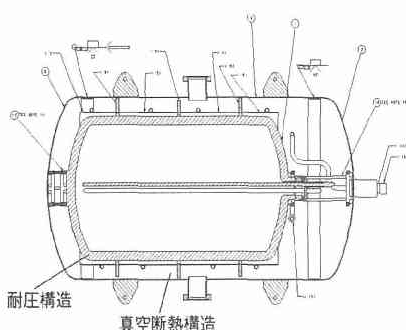


円形タンク（BMW搭載）



変形タンク（内部補強付）

図7 独リンデ社の液体水素タンク（3）



容器断面構造



圧力容器外観

図8 断熱高压液体水素タンク（5）

水素容器に引火した場合も、水素は高压で放出され滞留しないため極めて短時間に火が鎮火している。

独リンデ（Linde）社の自動車用搭載用液体水素タンクを図7（3），液体水素のボイルオフガス発生を抑制を狙いとして，LLNLとSCI社がDOEプロジェクトで共同開発した車載用断熱高压容器を図8（5）に示す。これらの液体水素タンクは今後のコストダウンが大きな課題となるであろう。

3.5 水素ステーション

WE-NETでは、大阪ガス㈱の西島研究所内に天然ガス改質型、四国高松の四国総合研究

所構内に固体高分子水電解形の水素ステーションを建設中で、天然ガス改質型ステーションは既に建設を終え試運転、調整を行っている。海外では水素自動車のデモンストレーション走行にともない、地域の状況に応じて最適な供給方式が選定され、各種の水素供給ステーションが建設されている。各方式の水素供給ステーションの特徴を表8（3），水素ステーションの方式を図9（3），海外の水素ステーションの例を表9（4）に示す。

パームスプリングスの水素供給ステーションは、商用電力を利用したアルカリ水電解（太陽電池併用）と加圧型の天然ガス改質器と異なった2種類の水素製造設備を有する水素

表 8 各方式の水素供給ステーションの特徴⁽³⁾

方式	特徴
水素ガス輸送・貯蔵型	設置費安価。設置が容易で省スペース。輸送距離により水素コスト変動。
液体水素輸送・貯蔵型	大量の水素貯蔵が可能。液体とガス体水素の供給が可能。
天然ガス改質型 (LPG改質型)	都市ガスインフラの活用が可能で、水素コストが最も安価。連続運転の大規模ステーションに適するが、数時間の起動時間を要する。
固体高分子水電解型	オフピーク電力による水素製造・貯蔵。運転操作が簡単で起動時間が短く、小規模ステーションへの適用可能。

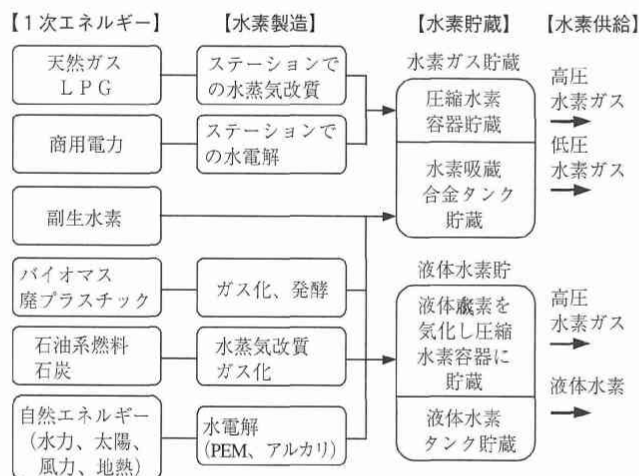


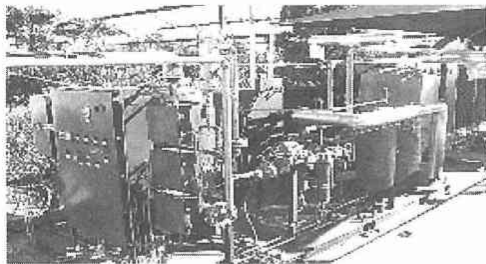
図 9 自動車用水素供給ステーションの方式⁽³⁾

表 9 海外の水素供給ステーション(98年以降)⁽⁴⁾

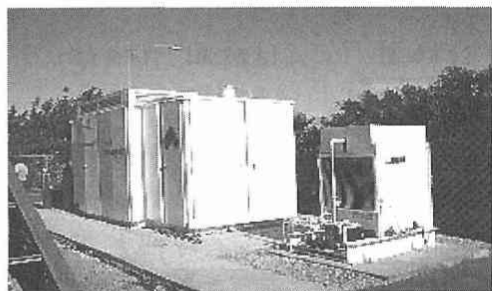
供給方式	貯蔵	供給	設置場所	車両
水素ガス搬送	圧縮水素	圧縮水素	ロンドン	バス
水素ガス搬送 (副生水素)			ハンブルグ	バス
水素ガス搬送			エアランゲン(終了)	バス
液体水素搬送	液体水素	圧縮水素	シカゴ(終了)	バス
		液体水素	ミュンヘン空港	乗用車
		液体水素	ロサンゼルスオクスナード(BMW)	〃
		圧縮水素	サクラメント	乗用車
商用電力ー アルカリ水電解	圧縮水素	〃	バンクーバー(終了)	バス
	MH/圧縮水素	〃	ミュンヘン空港	〃
商用電力ー アルカリ水電解 (太陽電池併用)	圧縮水素	〃	パームスプリングス	バス
太陽電池ー水電解	〃	〃	ロサンゼルス (ホンダ)	乗用車
加圧天然ガス改質	〃	〃	パームスプリングス	バス
	圧縮水素	圧縮水素	ラスベガス	バス



水素ステーションと水素充填中の燃料電池バス



天然ガス改質装置



アルカリ水電解装置



太陽電池と水素貯蔵トレーラー

図10 パームスプリングスの水素供給ステーション (3) (4)

供給ステーションである。パームスプリングスの水素供給ステーション方式を図10 (3)、(4) に示す。

4. 定置用PEFCの開発状況

わが国では、ミレニアムプロジェクトを始めとして、固体高分子形燃料電池発電技術研究開発、高効率燃料電池システム実証などの事業が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 管轄下で推進されている。一方、海外では定置用燃料電池システムは各メーカーが独自に開発に取り組んでいるが、燃料電池自動車ほどプロジェクトとして推進されていない。2001年4月のDOE/HTAPで発表された分散電源の戦略と目標は以下の通りである。

(1) 分散電源水素プログラムの戦略

- 燃料電池、水電解装置、貯蔵、改質器、計測制御装置などの構成機器開発の加速
- 水素製造と貯蔵を含む各種発電装置の集合体(パワーパーク)の設置とコストシェアによる推進

(2) 分散電源水素プログラムの目標

- 2004年：再生可能エネルギーと既存エネルギーを、効率と投資両面で最適となるように併用した、分散エネルギーシステムの確立
- 2005年：定置用燃料電池に使用する小型量産型改質器の開発
- 2006年：大型定置システム用水素吸蔵合金タンクの実証

表10 定置用固体高分子燃料電池の主な開発メーカー（6）

メーカー名	メーカー名
International Fuel Cell	Ballard（カナダ）
Dias-Analysis	Proton Energy Systems
H Power	ElectroChem
Ida Tech **	Nuvera
Energy Partners	Mosaic
Enable FC	Lynntech
Honeywell International	Plug Power
BCT Technology	Teledyne/Schatz
Hydrogenics（カナダ）	Avista Labs
Protonex	—

** スタックは開発せず

分散電源水素プログラムの目標に、再生可能エネルギー利用が大きく取り上げられている。再生可能エネルギーは主に電力の形態で取り出されることから、電力貯蔵媒体として水素を製造する水電解装置の開発、水素から高効率に発電する燃料電池発電と水電解を可逆的に行える、固体高分子形可逆燃料電池が開発目標の1つとして挙げられている。米国のプロトン・エナジー・システム（Proton Energy System）社がDOEの水素プログラムで固体高分子水電解装置（HOGEN）を開発し、さらには米国電力研究所（EPRI）や米航空宇宙局（NASA）の支援のもと可逆式燃料電池

（UNIGEN）を開発し、現在1kWシステムを開発中である。

海外の定置用燃料電池の開発メーカを表10に示す（6）。PEFCの実証試験として、ディアス・アナリシス（Dias-Analysis）社、Hパワー（H Power）社、アイダ・テック（Ida Tech）社、プラグ・パワー（Plug Power）社などが天然ガス、プロパン、メタノールを改質原料として実施している。

先にも述べたように、定置用燃料電池の開発はプロジェクトとして大きくとりあげられていないものの、遠隔地の再生可能エネルギー利用水素システムとしてカナダ水素協会

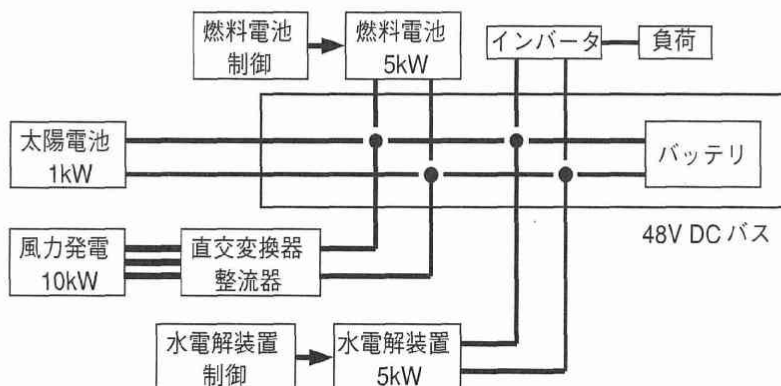


図11 再生可能エネルギー利用水素システムフロー（7）

(CHA)の年次総会、2001年にドイツで開催されたシンポジウムHYPOTHESIS (Hydrogen Power-Theoretical and Engineering Solution International Symposium)で発表されている。試験規模は異なるものの、いずれもケベック大学(カナダ)、シュトラールズンド(Stralsund)工科大学(ドイツ)のキャンパス内に設置し運転データを取得している。ケベック大学のシステムフローを図11⁽⁷⁾に示す。本システムは、1kWの太陽電池、10kWの風力発電、バラード社製の5kW燃料電池、スチュアート・エナジー社製の5kWアルカリ水電解装置及び制御装置で構成されており、水素貯蔵タンク容量は3.8m³(10bar)である。システム運用上、問題なく運転されているが、水素貯蔵が課題とされている。また、コスト評価は実施されておらず経済性の評価が必要であろう。

5. 燃料電池以外の水素技術開発動向 —DOE水素プログラム

海外諸国で実施されている水素エネルギー利用に関する研究項目は具体的には異なっているが⁸⁾、基本的に目指している技術開発項目は同じである。そこで、米国の水素プログラムについて紹介する。2001年4月の水素技術審議会(HTAP)で発表されたDOE水素プログラムによれば、水素プログラムの狙い、実施する施策を以下のように定めている⁽⁸⁾。

(1) 水素プログラムの狙い

- 外国の石油に依存しない米国のエネルギー保障の支援
- 生活水準の低下を伴わない環境改善の実現

■ 発電と燃料電池利用輸送システム産業の育成

(2) 実施する施策

- クリーン且つ競争力があり、信頼できる水素による発電と水素燃料システムの確立
- 2010年までに燃料供給と水素利用技術の拡大を図る研究開発
 - 小型天然ガス改質器とバイオマスガス化システム
 - 可逆燃料電池・水電解装置
 - 水素タービンと水素エンジン発電
 - 石炭からの水素生産
 - 長期の直接変換技術開発

実施する施策については未だ具体化されていないが、具体的に水素タービンと水素エンジン発電の項目が挙げられたのは特筆すべき点であろう。

また、2000年度の水素プログラムのレビューが行われ、分野別に以下の69件が報告されている⁽⁹⁾。

- ① 生物学的水素製造(8件)
- ② バイオマス利用水素製造(6件)
- ③ 化石燃料利用水素製造(6件)
- ④ 再生可能エネルギー利用水素製造(3件)
- ⑤ 技術実証(9件)
- ⑥ 分離及び精製(2件)
- ⑦ 水素貯蔵(9件)
- ⑧ 水素利用技術(12件)
- ⑨ 水素プログラム及びプロジェクトの評価(7件)
- ⑩ 技術伝承(7件)

生物学的水素製造は、長期的な水素製造技術として開発が進められており、バイオリアクターの概念設計なども行われている。バイ

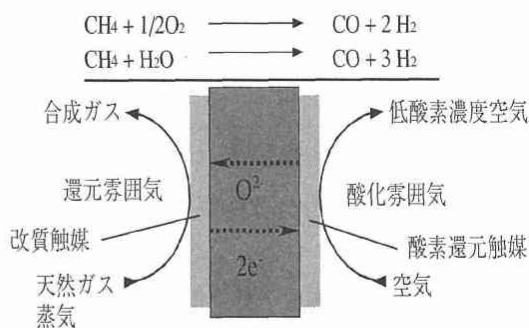


図12 セラミックメンブレンリアクターの概念図⁽¹⁰⁾

オマス利用水素製造は、ガス化のみならず熱分解、超臨界水による部分酸化、水蒸気改質などの研究が行われている。また、化石燃料利用水素製造では、セラミック膜を用いたメンブレンリアクターによる高効率改質器などの研究が行われている。エア・プロダクト社のセラミックメンブレンリアクターの概念を図12⁽¹⁰⁾に示す。酸素を透過するセラミックにより空気を供給するだけで、水蒸気改質と透過純酸素による部分酸化が可能となるシステムである。また、2000年度のプログラムとしてあがってないが、プラズマを用いたメタン改質の研究も行われている。

再生可能エネルギー利用水素製造では、光触媒や光電気化学による水素製造の研究が行われている。技術実証としては、水電解による水素製造、再生可能エネルギー利用水素製造システムなどが実施されている。また、分離、精製の高効率化技術としてメンブレン膜、水素吸蔵合金を用いた水素分離の研究が行われている。貯蔵技術では、水素吸蔵合金、カーボンナノチューブ、高圧圧縮水素タンクに関する研究が報告されており、水素利用技術

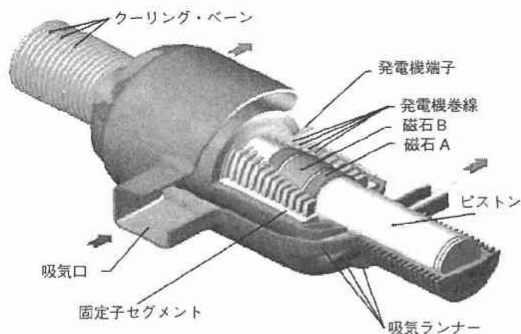


図13 フリーピストンエンジン概念図⁽¹¹⁾

として可逆セルを用いた燃料電池、空気利用率を高めるためシリンダー軸を中心として空気旋回（スワール）を与えた水素リッチのメタン希薄燃焼、天然ガスに一部水素を混合した燃料を用いるハイトンパス及び高効率フリーピストンエンジン^{*}の成果が報告されている。ここで、フリーピストンエンジンの概念図を図13⁽¹¹⁾に示す。フリーピストンエンジンは、高圧圧縮・低当量比の急速燃焼が可能で、摩擦損失を低減できることから、高い燃焼速度、広い可燃範囲などの水素の燃焼特性を利用できる可能性があり今後の開発が期待される。

また、水素の規格、基準や安全規格に関する検討も鋭意行われている。

6. おわりに

燃料電池の実用化の気運が高まっている。燃料電池は環境性に優れ、化石燃料エネルギー社会から水素エネルギー社会へスムーズに移行するためのキーテクノロジーと位置付けられている。一方、水素は長期的な究極のク

^{*}永久磁石とコイルで複動するピストンを有するエンジン

リーンエネルギーとして認識されていることも間違いないように思われる。

ここでは、WE-NETプロジェクトに関連する海外技術開発の動向の一部を紹介した。水素エネルギーは当初、化石燃料主体のシステムに対するマイナーな補完的役割を果たすであろうが、いずれは、水素をエネルギーキャリアとする再生可能エネルギー利用のグローバルシステムが、化石燃料システムを補完する時代が来ると思われる。

海外の水素エネルギー技術開発は、① 機器の高効率化、低コスト化、実用化などの開発はメーカ主体で実施し、② 燃料選択に大きく影響を及ぼすインフラ整備、再生可能エネルギー利用による環境改善、エネルギーセキュリティなど、長期展望を堅持した水素エネルギー社会への移行のための開発は、公的資金を導入し積極的に水素プロジェクトとして進められている。³

1980年代後半の再生可能エネルギーをエネルギー源とした水素利用システムの大規模プロジェクト、水素ステーション設置、燃料電池自動車を中心とした実証走行プロジェクトなど海外が先行していることは否めない。我が国でも燃料電池を核とした短・中期的な技術開発に加え、長期的展望に立った今後の技術開発を期待したい。

WE-NETの使命は、基本的に水素供給のインフラストラクチャー構築であると考えているが、水素の製造から利用までを含めた水素エネルギーシステムの評価を通して、将来の

水素エネルギー社会の構築に貢献できればと思っている。

参考文献

- (1) 福田健三 (2001), “WE-NETプロジェクトの現況”, 電気評論
- (2) Nakamura (2001), “Energy Supply and Efficiency of Fuel Cell Vehicle”, Proceedings of the International Conference on Hydrogen Age of Asia.
- (3) 岡野一清 (2001), 日本機械学会RC166第12回分科会資料
- (4) 岡野一清 (2001), 「海外における水素エネルギー技術開発動向－燃料電池車と水素インフラ技術の開発」
- (5) DOE Program Review (2001) LLNL発表資料
- (6) John B. (2001), “Fuel Cell Status, Commercialization Trends and the Role of Hydrogen”, NHA水素会議発表資料
- (7) K. Agbossou (2001), “Renewable Energy System Based on Hydrogen for Remote Areas”, CHA水素会議発表資料
- (8) Sig Gronich (2001), “Programmatic Overview Hydrogen R&D Program”, DOE/HTAP発表資料
- (9) Proceedings of the 2001 Hydrogen Program Annual Review (2001)
- (10) Paul N. Dyer (2000), “ITM SYNGAS AND ITM H₂”, Proceeding of the 2000 Hydrogen Program Review
- (11) R. W. Schefer (2001), “Advanced Internal Combustion Electrical Generator”, Proceeding of the 2001 Hydrogen Program Review

欧米における自動車燃料の動向



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. はじめに

環境基本法には、「大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下及び悪臭」の7つが、典型的な公害として規定されているが、同法には「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、「環境基準」も規定されている。大気汚染に関して、環境基準が定められているいくつかの物質の内3物質を表1に示す。

これらの物質については、それぞれ具体的な環境上の基準値が規定されている。例えば、光化学オキシダントの環境基準は「1時間値が0.06ppm (1ppmは、1%の1万分の1) 以下」である。

大気汚染の現状に関しては、例えば昭和30～40年代の高度成長期と比較すると、全体的にかなり改善されてきていると実感されるが、

環境基準の達成の面からは、全体として見ると、以下のとおりまだまだ満足すべき状況にはない。

「二酸化硫黄や一酸化炭素については満足すべき状況にあるが、浮遊粒子状物質や二酸化窒素、光化学オキシダントについては依然として厳しい状況にあり、さらに強力な対策が必要」とされている。

浮遊粒子状物質や二酸化窒素等の大気中濃度を低減させるためには、工場等の固定発生源からの排出規制とともに、自動車等の移動発生源からの排出削減が必要とされている。

国内の自動車は約7,200万台(1999年末、四輪車)で、20年前の3,600万台から倍増している。また世界の自動車は約7億台と推定されているが、今後主として開発途上国における大幅な増加に伴って、さらに増加すると推測されている。

表1 環境基準が定められている物質の例

浮遊粒子状物質	二酸化窒素	光化学オキシダント
大気中に浮遊する粒子状の物質(浮遊粉塵等)の内、粒径が $10\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}$ は 1mm の1000分の1)以下のものをいう。浮遊粒子状物質は微小なため大気中に長時間滞留し、肺や気管等に沈着して高濃度では呼吸器に悪影響を及ぼす。	一酸化窒素 NO や二酸化窒素 NO_2 等の窒素酸化物 NO_x は、主として燃料の燃焼によって発生し、酸性雨や光化学大気汚染の原因となり、特に NO_2 は高濃度では呼吸器に悪影響を及ぼす。	いわゆる光化学スモッグの原因となる物質で、工場や自動車から排出される窒素酸化物や炭化水素類を主体とする物質から、太陽光線の照射による光化学反応によって生成されるオゾン等の物質の総称。

大気汚染の一因である自動車に関しては、既に1台当たりの汚染物質排出量は大幅に削減されてきているが、前述のように自動車台数の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、さらに大幅な排ガス浄化が求められている。また、近年、地球温暖化(CO₂排出)問題に鑑み、燃費の向上も強く要求されている。

自動車に関する排出規制に伴って、ガソリンや軽油の品質も段階的に規制されてきている。前者は乗用車に多いガソリンエンジン自動車用燃料、後者はトラックやバスに多いディーゼルエンジン自動車用燃料である。自動車用燃料の品質として近年最も注目されている軽油の硫黄分について、JIS(日本工業規格)軽油製品規格における規格値の変遷を、代表的な2号軽油について表2に示す。2号軽油は、低温性能の面から、冬季に関東や近畿地方等で使用するのに適したグレードである。

25年前に硫黄分の上限は1.2%から0.50%に改正されたが、現在ではその10分の1であり、3年後にはさらにその10分の1に改正されようとしている。

なお、近年の低硫黄化規制は、エンジンにおける燃料の燃焼の結果生成する硫黄酸化物を低減するという直接的な理由とともに、排ガス中の窒素酸化物等を低減するための自動車技術の実用化に際して燃料の硫黄分低減が必要という、言わば間接的な理由によって実施されている。

このような軽油硫黄分低減の動きは、わが国だけでなく、特に欧米ではほぼ同様の傾向にある。また、硫黄分以外のガソリン及び軽油の品質項目についても改訂する検討が進められている。本稿では、欧米における自動車

表2 軽油硫黄分規格(JIS, 2号)変遷

制定, 改正時期 (西暦)	硫黄分(上限)	
	wt%	wtppm
1953年制定	1.2	12,000
1976年改正	0.50	5,000
1992年改正	0.20	2,000
1997年改正	0.05	500
2004年改正(予定)	0.005	50

燃料品質改訂に関する最近の動きについて概要を述べる。

2. アメリカにおける自動車燃料の動向

2.1 ガソリン

1999年12月、EPA(米国環境保護庁)はガソリンの硫黄分に関する規制内容を発表した。現在アメリカのガソリン硫黄分は、州独自の厳しいガソリン規格を持つカリフォルニア州を除いて、上限規格0.1%(1,000ppm)で実勢は平均330ppm程度であるのに対して、上限80ppm、平均30ppm以下の低硫黄ガソリンの導入を2004年から開始し、2006年には全量を低硫黄化するという内容である。なお、アメリカの規格では、単に上限や下限を規定するという場合だけではなく、この例のように、上限や下限の規定に加えて一定期間における平均値を規定する場合もある。

表3に示すように、合衆国におけるガソリンの精製業者や輸入業者は、2004年から上限300ppm、年間企業平均120ppm以下にすることが要求され、2005年の段階を経て、2006年には上限80ppm、製油所平均30ppm以下にすることが要求される。なお、アラスカ州等の精製業者並びに各州の小規模精製業者に対しては、

表3 米国ガソリン硫黄分規格 (wtppm)

	現在	2004.1.1	2005.1.1	2006.1.1
製油所平均上限	—	—	30	30
年間企業平均上限	—	120	90	—
上限	1,000	300	300	80

低硫黄化の実施時期に関して若干の猶予が与えられている。またカリフォルニア州は、前述のように、州独自の厳しいガソリン規格によって既にこれらの規則を満足していることから、規制の範囲外としている。ちなみに、州内で使用が義務付けられているカリフォルニア州リフォーミュレイテッドガソリン(CaRFG) Phase 2 規格⁽¹⁾では、硫黄分は表4に示すように、①「40ppm以下」か、②「80ppm以下かつ平均30ppm以下」のどちらかを満たすことが規定されている。

なお通常、ガソリンは、酒のカクテルと同じように、数種類の基材を調合して製造されているが、有害物質の排出量がさらに少なくなるように各基材の調合比率を見直したガソリンをリフォーミュレイテッドガソリン(RFG)と言い、これは意識すれば低公害ガソリンである。アメリカには、国としての連邦RFGとカリフォルニア州独自のCaRFGがあり、それぞれ別の規格が設定されている。なお、連邦RFGは、オゾンの環境基準に関する達成

状況が劣悪な地域において、その使用が義務付けられている。

表3に示すEPAによる規制は、全米のガソリン硫黄分を2006年までに、CaRFG2のレベルまで下げることが意図している。

2.2 軽油

EPAは、ガソリンの低硫黄化を検討すると同時に、軽油についても低硫黄化の検討を進めていたが、2000年12月20日、規制内容を表5のとおり発表した。この低硫黄化は、大型ディーゼル車の2007年モデルへの最新排ガス低減技術の適用を可能にすることを目的としている。硫黄分の上限を現行の500ppmから15ppm(97%削減)にした低硫黄軽油を2006年9月までに全軽油の80%以上市場に導入し、さらに2010年には全量を低硫黄軽油とする規制である。当初、低硫黄軽油の導入は2006年半ばに一斉に行なう計画であったが、最終的には、2006～2010年の間に段階的に導入するように変更された。段階的に導入する過程では、硫黄分の異なる2種類の軽油(上限500ppmの軽油と同15ppmの軽油)が別々に供給、販売されることになる。

NPRA(全米石油化学・精製業協会)はこの軽油硫黄分規則が実施された場合には、軽油の供給不足と価格上昇を招くとして、2001年2月、EPAを告訴した。NPRAは以前から

表4 CaRFG 2 規格 (部分)

規 格 項 目	②平均化による規格値		
	①規格値	平均	限界
硫黄分 (wtppm)	40 以下	30 以下	80 以下
ベンゼン (vol%)	1.00 以下	0.80 以下	1.20 以下
芳香族分 (vol%)	25.0 以下	22.0 以下	30.0 以下
オレフィン分 (vol%)	6.0 以下	4.0 以下	10.0 以下
酸素分 (wt%)	1.8～2.2		1.8～3.5

表5 米国自動車用軽油硫黄分規格

現行の規格	500wtppm以下
低硫黄軽油規格	15 wtppm 以下
低硫黄軽油販売開始時期	2006 年 9 月
2006 年 9 月における低硫黄軽油の比率	80%以上
低硫黄軽油が 100%に達する時期	2010 年

EPAに対して、「基本的に軽油の低硫黄化には協力するが、極端な低硫黄化は、軽油の供給不足と価格上昇をもたらす」と意見を述べていた。

軽油の低硫黄化に際しては、その他の実施が予想されている石油燃料品質の変更「ガソリンの低硫黄化、自動車用以外（建設機械や農業機械等）のいわゆるオフロード軽油の低硫黄化、後述するMTBE（Methyl Tertiary Butyl Ether）⁽²⁾ 使用禁止等」が時期的に重なる可能性があるため、精製装置の新設や改造が輻輳する恐れがあり、製造上問題が生じることが危惧されている。既にAPI（米国石油協会）は、オフロード軽油の低硫黄化規制をもし実施する場合には、自動車用軽油低硫黄化の数年後にしようEPAに要望している。

アメリカの製油所の数は減少している。1974年には273カ所であったものが、2000年には155カ所になっている。精製能力も1981年の1,862万BPD（1日当たりのバーレル：1バーレル＝159リットル）から2000年には1,652万BPDに減少し、稼働率も1982年の66%から1999年には92%に上昇している。今回の自動車燃料の低硫黄化規制によって、投資回収が見込めないと考えた石油会社、製油所は、低硫黄自動車燃料の製造から撤退する可能性がある。従って、精製能力の余裕が少ない状況下では必要量の供給が難しくなると同時に価格が上昇する可能性があると危惧されている。

製油所における製造も大きな問題だが、製油所を出た製品を需要地へ輸送することも同様に大きな問題と言われている。

米国のガソリンは、4種のガソリン「一般、リフォーミュレイテッドガソリン（RFG）、含

酸素⁽³⁾、含酸素RFG」の各々について異なるオクタン価⁽⁴⁾の3グレード（レギュラー、中間グレード、プレミアム）があるため、それらをそれぞれの需要地へ輸送するのは容易なことではない。

また、軽油は、ジェット燃料（硫黄分3,000ppm以下）、オフロード軽油（硫黄分2,000～3,000ppm以下）、一部の重油等と同じパイプラインを共用して輸送されているため、油種間のコンタミネーションによって生じるロスが問題になる。前述のように、低硫黄軽油の段階的導入時に、2種類の軽油を供給、販売する必要があることも、現状ではタンク等1種類の軽油の設備しかないことから大きな問題と見られている。EIA（エネルギー省エネルギー情報局）も、2006年の低硫黄軽油の導入に際しては、供給上の問題が生じるという予測を発表している。

NPRA以外にも、いくつかの会社や団体が、軽油低硫黄化規則に関して諸々の理由から訴訟を起こしている。しかし、EPA長官はそれらの告訴に拘わらず、軽油低硫黄化規則については予定どおり推進すると言明している。

この連邦規制の動きとは別に、CARB（カリフォルニア州大気資源局）は、2000年7月、同州の全軽油（自動車用軽油及びオフロード軽油）の硫黄分を2006年までに15ppm以下にする提案内容を公表し、早ければ2001年中にも最終的に決定することを予定している。低硫黄化は排ガス浄化装置の使用過程車両への後付けを可能にするためとしているが、自動車用以外のオフロード軽油も低硫黄化の対象と考えている点が連邦の規制と大きく異なり、厳しい内容になっている。

表6 EU自動車燃料規格（部分）

適用年			2000	2005
ガソリン	RVP (夏季)	kPa, max	60	
	ベンゼン	vol%, max	1	
	芳香族	vol%, max	42	35
	オレフィン	vol%, max	18	
	硫黄分	wt%, max	0.015	0.005
	酸素分	wt%, max	2.7	
軽油	セタン価	min	51	
	密度	kg/m ³ , max	845	
	T 95	°C, max	360	
	多環芳香族	wt%, max	11	
	硫黄分	wt%, max	0.035	0.005

3. ヨーロッパにおける自動車燃料の動向

3.1 EUの自動車燃料規格

EU（欧州連合）は1990年代の後半に、2000年以降の自動車燃料の規格を検討していたが、その結果1998年6月、表6に示すとおり2000年及び2005年の規格内容を発表した。なお、2005年の規格の内、空欄になっている部分については、後日検討する予定としていた。

EUの組織は、行政を欧州委員会が、立法を欧州議会が、司法を欧州裁判所が担当する三権分立であるが、現在のところ欧州議会の権限は小さく、閣僚理事会が立法を担当し、欧州議会は承認する位置付けにある。

EUは2005年規格の未定部分を検討する段階で、さらに硫黄分の低い自動車燃料を別途市場へ導入する検討を進めていたが、欧州委員会は2001年5月11日、2005年から50ppm以下への低硫黄化を実施するのと同時に、表7に示すように10ppm以下（実質的に硫黄分ゼロ）の自動車燃料を新たに別途導入する提案を採択した。硫黄分ゼロ燃料を導入する目的は燃費向上と排ガス低減で、2005年の導入以後比

表7 EU硫黄分ゼロ自動車燃料導入計画

	ガソリン及び軽油
硫黄分ゼロ燃料硫黄分	10 wtppm 以下
導入開始時期	2005年1月1日
完全導入時期	2011年

率を少しずつ高めていき、2011年からは全面的に硫黄分ゼロにする内容である。

しかし、2001年11月、欧州議会環境委員会は、①2005年から新たに導入される硫黄分ゼロの燃料には、オフロード軽油を含める、②全面的に硫黄分ゼロにする時期を2008年1月とする、を含む一段と厳しい提案を採択し、さらに審議が続けられることになった。

日米欧等の自動車工業会は、自動車燃料の品質に関する提言「全世界的燃料提言（World-Wide Fuel Charter）」を2000年4月に発表し、その中で、排出ガス規制のレベルに応じて4分類し、各カテゴリー毎に品質要望値を提言している。その内、最も厳しいカテゴリー4は、将来の排出ガス規制がさらに厳しくなり、高度な後処理技術が必要な場合と規定されているが、その硫黄分要望値は、ガソリン、軽油ともゼロで、具体的には5～10ppm以下としている。

EUにおける、前述の硫黄分ゼロ燃料導入の提案は、少なくとも硫黄分に関しては、「全世界的燃料提言」のカテゴリー4に相当するガソリン、軽油を市場に導入する内容である。

3.2 バイオ燃料⁽⁵⁾

後述するように、アメリカではMTBEの使用が禁止される方向に動いており、その代わりにエタノール（Ethanol, C₂H₆O）⁽⁶⁾の使用が増大すると見られている。一方、EUでは地

球温暖化対策及び地域経済発展の観点から、ガソリンや軽油に一定比率のバイオ燃料の調合を義務付けることが検討されてきた。

EUでは既に一部の加盟国で、自動車燃料の基材としてバイオ燃料が使用されている。例えば、スウェーデン、スペイン、フランス等ではガソリンにエタノールやETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether, $C_6H_{14}O$) ⁽⁷⁾ が、またフランス、オーストリア、ドイツ等では軽油にRME (Rapeseed Oil Methyl Ester: 菜種油のメチルエステル) 等がそれぞれ部分的に調合使用されている。

欧州委員会は2001年11月、バイオ燃料の調合義務付けを含む代替燃料導入に関する提案を採択し、さらに審議が続けられることになった。これによると、今後20年間で自動車燃料に占めるバイオ燃料、天然ガス、水素、燃料電池の各々の割合を5%以上にし、結果として2020年までに代替燃料の割合を20%以上に

する。バイオ燃料については、2005年から調合比率を2%とし、以後毎年0.75%ずつ増加させて、2010年には5.75%にするという内容である。

4. MTBEに関する動向

4.1 アメリカ

4.1.1 カリフォルニア州

従来の原油を原料とするガソリンには酸素分が含まれてない。ところが、前述のRFGや含酸素ガソリンには、燃料中の酸素分は排ガスを浄化する効果があるという考えから、一定の酸素分を含むことが規定されている。そのため、それらのガソリンには、石油製品以外の酸素分を含む基材（含酸素基材）を調合する必要がある。ガソリンへの含酸素基材としては、MTBEが最も多く使用されており、次いでエタノールが使われている。

表8 MTBEを禁止するカリフォルニア州行政命令（一部）

①MTBEはガソリンに調合することによって大気浄化に寄与しているが、同時に地下水等に環境上の脅威を与えている。総合的に見れば、ガソリン基材として使用を継続することは環境上重大な危険を伴う。

②CARBはEPAに対して、連邦RFGの酸素含有量規制をカリフォルニア州に対して適用除外とすることを要請する。

「同州で使用するガソリンの約70%は、連邦規制によって一定の酸素分を含む必要がある。また、MTBEの代わりにエタノールを使用することについては、以下に示すいくつかの問題点がある。

- エタノールを加えるとガソリンの規格項目の一つである蒸気圧が高くなるため、MTBEを使用する場合と比較して製造が難しくなる。
- エタノールは水分を吸収する性質があるため、エタノールを含むガソリンをパイプラインで輸送すると、パイプライン中の水分を吸収してエタノールがガソリンから分離してしまうため、パイプラインで輸送することはできない。従って、エタノールを除いた部分を製油所から出荷した後パイプライン輸送し、エタノールは末端のタンクローリー積み込み時に調合する必要があるが、カリフォルニア州ではそのような設備（例えば、ローリー積み込み場所におけるエタノールタンクや調合設備）が整っていない。
- エタノールの生産可能量や価格に関して懸念がある。またエタノールの生産地は主としてイリノイ州等の中西部で、カリフォルニア州からは遠隔なため、円滑な供給に関しても懸念がある。」

③MTBEの禁止時期は、2002年12月31日以前とする。

④CARBは、1999年12月迄に、排気特性を維持した (CaRFG) Phase3規格を選定する。

表9 CaRFG 3 規格 (部分)

規 格 項 目	② 平均化による規格値		
	① 規格値	平 均	限 界
硫 黄 分 (wtppm)	20 以下	15 以下	60* ¹ 以下 30* ¹ 以下
ベンゼン (vol%)	0.80 以下	0.70 以下	1.10 以下
芳香族分 (vol%)	25.0 以下	22.0 以下	35.0 以下
オレフィン分 (vol%)	6.0 以下	4.0 以下	10.0 以下
酸素分* ³ (wt%)	1.8~2.2		1.8* ² ~3.5 0* ² ~3.5

注)1：硫黄分上限は2003年からは60、2005年からは30とする。

2：下限の1.8は、特定の地域における冬季にのみ適用する。

3：エタノール以外の含酸素基材の使用を禁止する。

州内のいくつかの水源からMTBEが検出されたことに端を発し、1998年頃からカリフォルニア州では、ガソリンへのMTBE調合禁止を法制化する動きが活発化した。

MTBE禁止に関する公聴会では賛否両論があり、最終的に州知事がどのような結論を出すかが注目されたが、1999年3月25日、MTBEを禁止する内容の行政命令が公布された。その内容の一部を表8に示す。

1999年11月、CARBはCaRFG 3の規格案を表9のとおり発表した。

硫黄分は、CaRFG 2の半分、20ppm以下としている。なおCARBは、CaRFG 3の排気特性を維持し、かつ酸素分を含まないガソリン処方を確立しており、酸素分が無くてもクリーンガソリンの製造は可能と声明している。

カリフォルニア州からEPAに出された連邦RFG酸素含有量規則の適用除外要請が認められるかどうかは全米から注目されていたが、要請してから2年以上経過した2001年6月12日、EPAはカリフォルニア州の要請を却下すると発表した。これによって同州は2003年から予定されているMTBEの使用禁止を実施す

る場合にはエタノールを使用せざるを得なくなり、前述のように、ガソリンの供給不足や価格上昇が危惧されている。

4.1.2 カリフォルニア州以外の諸州

連邦RFGには酸素分2%以上という規定がある。RFGは全米ガソリン需要の約30%を占めると言われているが、その市場は東海岸(42%)と西海岸(36%)に偏在し、残りは中西部とメキシコ湾岸である。含酸素基材としては、MTBEが東海岸(47%)と西海岸(41%)で主として使用され、残りがメキシコ湾岸で使用されている。エタノールはほとんど中西部(90%強)でのみ使用されている。全米のRFGに使用される含酸素基材は85%がMTBE、8%がエタノールで、残りがETBE、TAME(Tertiary Amyl Methyl Ether, $C_6H_{12}O$)⁽⁸⁾等であるが、ETBE、TAME等の供給可能量はかなり少ないため、MTBEを全面的に代替することはできない。

1999年10月にEPAによって設置されたMTBEに関する特別委員会は審議の結果、地下水の汚染への懸念から、MTBEの使用を実

質的に減少させることを推奨した。そのこともあって、アメリカでは全体的にMTBEの使用を制限もしくは禁止する傾向にあるが、最近ではRFGの酸素含有量規制そのものを撤廃するかどうか論争点になっている。もし酸素含有量規制を存続させてMTBEを禁止すれば、実質的にエタノールの使用を義務付けることになるため、農業関連団体が強力に酸素含有量規制の存続を後押ししているという背景がある。

カリフォルニア州に続いて他の州もMTBE禁止の動きを示している。2000年5月ニューヨーク州知事は、MTBEを含むガソリンの使用、販売、輸入を2004年から禁止する法案に署名した。続いてコネティカット州も同調し、その他のいくつかの州もこれに追随したため、2001年5月現在、11州（アリゾナ、カリフォルニア、コロラド、コネティカット、アイオワ、ミシガン、ミネソタ、ネブラスカ、ニューヨーク、サウスダコタ、ワシントン州）が近い将来MTBEを禁止することを決定している。その他、イリノイ州も2001年中に禁止を決定すると見られており、さらにニューハンプシャー州もMTBEの使用低減もしくは禁止を検討している。これらの各州もカリフォルニア州の連邦RFG酸素含有量規則の適用除外申請が却下されたことにより、MTBEの使用禁止に伴うエタノールの使用義務付けに関して何らかの影響を受けると推測されている。

4.2 ヨーロッパ

4.2.1 EU

アメリカにおける動きに影響されて、ヨーロッパでもMTBEによる地下水汚染に関する懸念が浮上したため、欧州委員会は、アメリ

カの研究会社、アーサー・D・リトル（Arthur D. Little）社にヨーロッパにおけるMTBE対策の必要性について調査を依頼した。その結果は、要約すると以下のとおりであった。

「地下タンクの状況、MTBEの使用状況、ガソリン消費量の違い等の項目について検討した結果、EU内でアメリカのようにMTBEが問題になるとは考えにくい。」

欧州委員会は、この調査結果を受けて、2001年5月、MTBEについては地下タンクの管理を行なうことが重要で、MTBEの規制に関する提案は行なわないと発表した。

4.2.2 デンマーク

EU全体としては制限または禁止の動きは無いが、加盟国の一員であるデンマークは既に近い将来、MTBEを使用禁止することを決定している。

デンマークは欧州の中でも地下水をそのまま飲用にしている率が最も高いと言われており、地下水の汚染については関心が高い。既にMTBEが検出され、閉鎖された井戸もあると報道されている。デンマーク政府は、MTBE使用の制限、禁止を意図して、当初MTBEを含むガソリンへの増税を検討していたが、その後、同国石油業界が今後4～5年の間にMTBEの使用を止めることを決定したため、政府も増税を含むMTBE禁止措置の実施を取り止めた経緯にある。

5. おわりに

1997年4月、EUの自動車燃料規格を検討する過程で、欧州議会が軽油の硫黄分を50ppm以下にするという意見を出した時には、世間

はその厳しさに驚いたが、現在ではわが国でもそのレベル迄の低硫黄化を決定しており、欧米ではさらに低硫黄化する動きが見られる。

諸外国の現在の軽油硫黄分を見ると、わが国同様0.05%以下という低硫黄分レベルの国もあれば、その半面1%以下という比較的高硫黄分レベルの国もあって多種多様であるが、ここ数年の先進国における急激な低硫黄化の動きは、各国にも多かれ少なかれ影響することが予想される。

また、ガソリンや軽油については、硫黄分以外にも、芳香族分⁽⁹⁾やオレフィン分⁽¹⁰⁾等の組成や蒸留性状⁽¹¹⁾等に関する規制の必要性が検討されており、今後そのような分野が話題になる可能性がある。

近年、燃料電池自動車が話題になっており、その燃料は最終的、例えば30年後には水素と言われているが、当面の燃料の候補の1つにガソリン、あるいはクリーンハイドロカーボン燃料(CHF)の名前が挙がっている。燃料電池用のガソリンは、車上で改質して水素を製造する技術の面から、低硫黄、低オレフィン、低芳香族であることが望ましいと取り沙汰されているが、仮に燃料電池にも内燃機関にも使える燃料ということを考えると、低オレフィン、低芳香族で同時に高オクタン価という難しい問題を解決しなければならない。すなわち、オクタン価の高いオレフィン分や芳香族分を減らした結果低くなったオクタン価を、燃料電池用燃料として支障をきたさない性状の高オクタン価基材を調合して回復する必要がある。この点については、今後供給可能性を含めて論議を呼ぶものと予想される。

今後実施が予定、もしくは検討されている自動車燃料品質の動向を見ると、品質を若干

変更すると言ったものではなく、硫黄分を実質的にゼロにするような思い切った変更が考えられている。また、EUで検討されている代替燃料計画に見られるように、従来100%石油製品であった自動車燃料に代替燃料を大幅に導入することを義務付けることが現実に検討されており、まさに大きな変革期を迎えつつあることが実感される。

注記

- (1) カリフォルニア州リフォーミュレイテッドガソリン(CaRFG)規制は、1992年から第1段階(Phase 1)が開始され、さらに厳しい第2段階(Phase 2)が1996年6月に開始された。
- (2) ガソリンへの含酸素基材の1つ。通常、イソブテンとメタノールを原料として製造される。化学式は $C_5H_{12}O$ 。
- (3) 1992年から、一酸化炭素COの環境基準未達成の都市は、主として冬季には、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。
- (4) アンチノック性を示す尺度。わが国ではレギュラー、プレミアムの種類だが、米国には、その他にその中間のグレードがある。
- (5) 草木や農業・林業の残渣、都市ゴミ等のセルロース系原料から製造するアルコール、エーテル、エステル等の総称。ガソリン用基材としては、エタノールやETBE等が、また軽油用には植物油を化学処理したRME等が考えられる。バイオ燃料も燃焼すれば炭酸ガス(CO_2)を生成するが、原料の植物が生育する過程で CO_2 を吸収(炭酸同化)するため、地球温暖化対策として有効とされている。
- (6) 通常、トウモロコシやサトウキビ等の農産物を発酵させて製造する。
- (7) 原料の1つとしてエタノールを使用する。
- (8) 化学式はETBEと同じだが、構造が異なる。
- (9) C_nH_{2n-6} で示される炭化水素のタイプ。アロマティックスとも言う。ガソリン中の芳香族分はオクタン価が高い。
- (10) C_nH_{2n} で示される炭化水素のタイプ。芳香族分と同様に、ガソリン中のオレフィン分はオクタン価が高い。
- (11) 初留点(留出の始まる温度)や一定温度における留出量等によって示される性状。

三菱重工業(株) 長崎研究所

長崎、その名は私達に多くの印象を思い出させます。鎖国時代にも日本に唯一海外に開かれた近代文明の玄関口、蝶々夫人のロマンスの舞台、そして忌わしい原爆の被災と戦後の復興を歌った長崎の鐘など。しかし、長崎は実は日本の将来のエネルギーと環境保全のための地道でしかも革新的な研究を行っているところでもありました。

IAE女性研究員取材チーム(坂口)は、先日三菱重工業長崎研究所を訪問しました。長崎造船所香焼工場の道路をはさんだ向い側にあるこの研究所は、重工業メーカーとしては国内最古級の長い歴史を有し、多岐にわたる最先端の技術を研究開発しています。



図1 三菱重工業(株) 長崎研究所

見学させて頂いた主な研究設備は船舶・海洋技術、太陽電池研究開発、エンジン開発、バイオマスガス化、IGCC、SOFCでした。その中から新エネルギー開発に関するものを取りあげ紹介します。

IGCC（石炭ガス化複合発電技術）

IGCCとは、石炭を高温高压のガス化炉で可燃性ガスに変換し、そのガスを燃料としてガスタービンと蒸気タービンによる複合発電を行うシステムのことです。

機器構成は、ガス化炉・ボイラ・蒸気タービン・ガスタービンで、まずガス化炉で石炭をガス化し、燃料ガスを発生させます。この燃料ガスをガスタービンに導き、燃焼させることによりガスタービンを回し、さらに高温の排ガスをボイラに導いて蒸気を発生させ、蒸気タービンを回します。

訪 問 記

IAE女性研究員取材チーム

[IGCCの特徴と研究状況]

IGCCは、石油にくらべ豊富な埋蔵量がありながら、環境面の特性が低いために利用しにくい石炭を、高効率でクリーンに利用する技術であり、日本の将来のエネルギー利用技術上とても重要な技術です。

IGCCは、その他、灰がガラス状のスラグであるため容積面でも、リサイクル面でも優れています。

長崎研究所で現在研究／事前検証を進めているIGCC実証機は、以下の通りです。

中国炭等を設計炭として、空気吹き二段噴流ガス化炉、湿式脱硫設備および燃焼温度1250℃のガスタービンを組み合わせることで、実証機目標出力250MW、発電端効率は約46%(高位発熱量基準)だとのこと。また環境性能は非常に優れており、SOx 10ppm、NOx 6ppm、ばいじん5mg/m³N(いずれも16%O₂換算)のレベルで排出されるそうです。

今後はシステムとしての信頼性を得るために、既存の加圧24t/dガス化炉(図2参照)の後流に、脱硫及びガスタービン試験設備を追加した一貫試験設備を建設し試験を計画中だそうです。この試験設備によってプラント運転の総合検証を実施することにより、システムの完成度を高め、実証機に持ち込むリスクを最小限とするとのことでした。

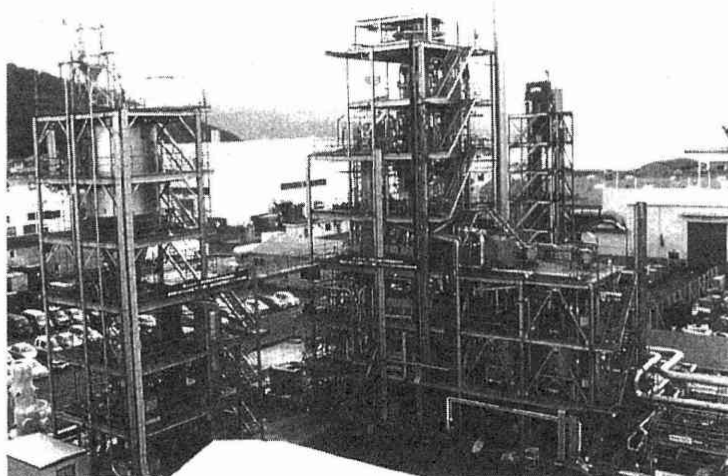


図2 加圧24t/dガス化試験設備外観

[I G C C 開発のスケジュール]

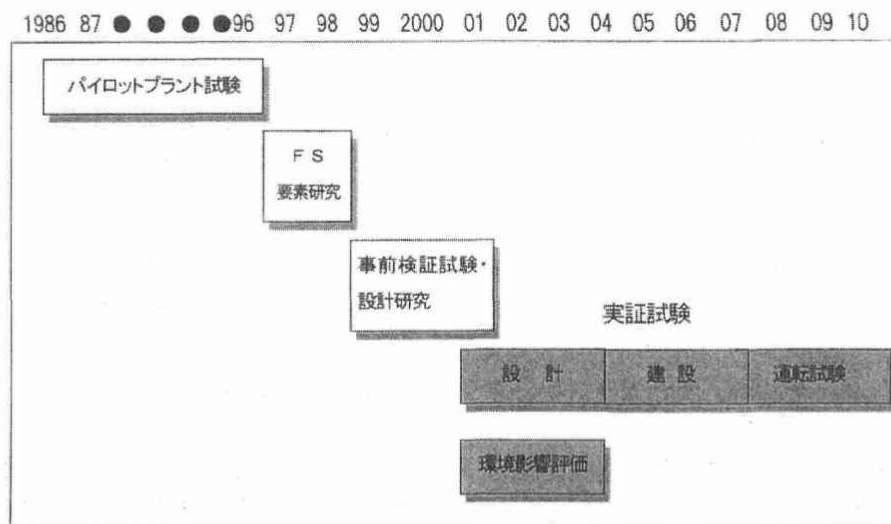


図3 開発スケジュール

1986年～1996年にかけては経済産業省資源エネルギー庁及びNEDOの委託事業として、200t/d噴流床石炭ガス化パイロットプラントによる運転研究が実施され、また1997年度～1998年度はNEDOの委託事業として実証試験に向けたフィージビリティスタディと要素研究が実施されたそうです。さらに1999年度からは、電力11法人により、実証機の信頼性や安全性の向上を目的とした事前検証試験及び設計研究がすすめられているとのことです。またこれらの最終段階として、出力250MW級実証機建設計画が2001年度より推進されており、2007年度から実証運転を行うことが予定されているとのことでした。

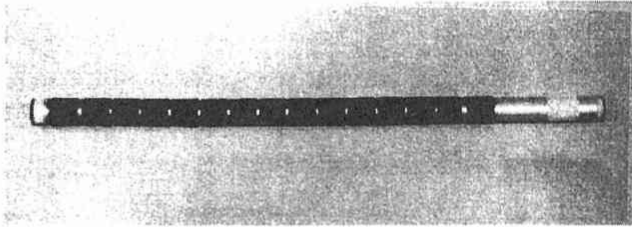
将来的には、後述のSOFC(固体電解質型燃料電池)と組み合わせた複合発電プラントによる高効率発電を目標としているとのことでした。

SOFC（固体電解質型燃料電池）

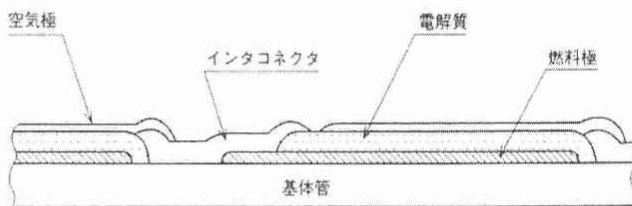
燃料電池の中ではSOFC(固体電解質型燃料電池)は、ガスタービンとの複合発電システムにより、天然ガス焚きで65%以上、石炭ガス化ガス焚きで55%以上の高効率発電が期待されています。

こちらでは、三菱重工が印刷技術を応用した湿式スラリー焼結法で製作した円筒横縞型のチューブ方式作動セルを見せて頂きました(図4参照)。この製法だと、従来に比べコストが10分の1に低減できるそうです。この作動セルを何本も束ねて出力10kW規模の設備(図5参照)を製作したそうです。

2001年の7月には、加圧下で天然ガスを燃料電池に直接投入する加圧内部改質方式での連続発電試験に初めて成功し、発電効率45%を達成したとのことです。2～3年後をめどに、100kW級のシステム検証を実施し、将来的にはガスタービンと組み合わせた大容量の発電システムで発電効率65%の実現を目指すとのことです。



(a) 円筒焼結型 SOFC セルチューブ外観



(b) 円筒焼結型 SOFC セル断面構成

図4 円筒焼結型SOFCセルチューブ

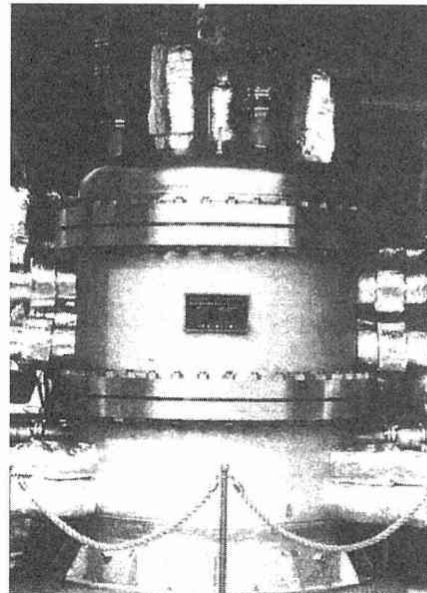


図5 加圧型10kW級モジュール



その他にも以下のセクションを見学させていただきました。

船舶・海洋研究推進室

長崎研究所では、三菱重工業での船舶海洋事業に拘わる研究の中心として、民間企業としては世界最大規模の実験水槽群を備え、船舶と水中機器の開発を目的とした種々の実験を行っています。

新エネルギー・環境分野関連では、大気中のCO₂濃度上昇を抑制するために、燃焼排ガスから回収したCO₂を深海へ送り込み、大気から隔離する方法についての研究を行っているとの説明を頂きました。

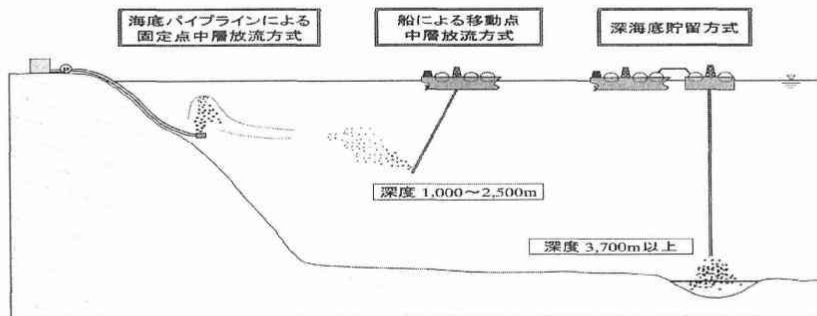


図6 CO₂の深海への送り込みシステムの概念

バイオマスガス化技術

ここで行われている「バイオマスガス化及び液体燃料合成」の研究は、草木類や解体廃材等を材料とし、高効率で石油代替が容易な再生可能エネルギー(メタノール等)を目的としています。日本以外の先進各国ではCO₂削減に向け、風力・水力・太陽電池など再生可能エネルギーの導入に注力しておりますが、中でも大きな役割を担っているのがバイオマスだとのことです。一方日本では、バイオマスエネルギーの導入計画はまだ少ないのですが2010年にはバイオマスからのエネルギー利用も期待されている、との説明をいただきました。また実際にガソリンにメタノールを混合した燃料で走る「メタノール実験車(普通の自動車)」を見せていただきました。

こちらでは、以下のバイオマスガス化メタノール製造実験システムを使って試験を行っているとのことでした。このシステムではバイオマス処理量が50kg/dで、様々なバイオマスからメタノールの連続合成に成功したとのことです。パイロットプラントでは純度90wt%以上のバイオマスメタノールが得られており、蒸留過程を通せばメタノールの高純度化は容易だそうです。

次世代を担うエネルギーが、廃材や草木類から合成できるのは大変心強いことだなとの感想を持ちました。



図7 メタノール実験車

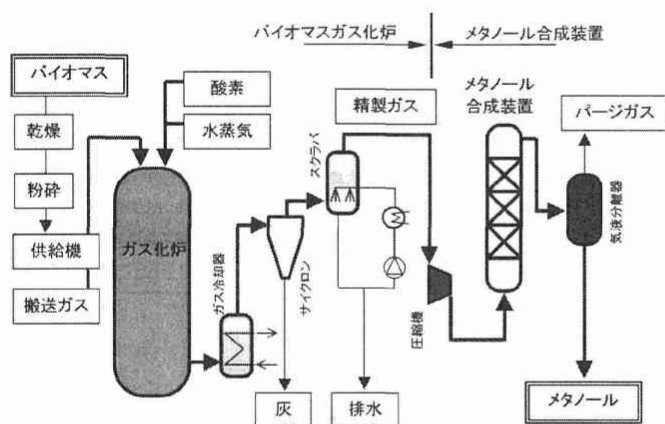


図8 バイオマスガス化の仕組み

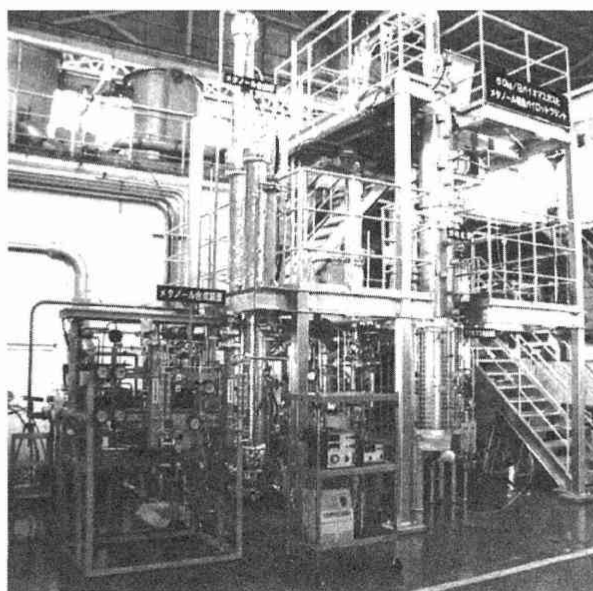


図9 バイオマスガス化メタノール製造パイロットプラント概観

太陽光発電技術

太陽電池はシリコンなどの半導体に光が当たると電気が発生するという光電効果を利用して太陽光から直接電気を発生させるものです。サンシャイン計画・ニューサンシャイン計画により、現在は15%台(多結晶太陽電池)、8%台(アモルファス太陽電池)等太陽電池の変換効率は近年高効率なものになってきています。

今後の技術課題としては発電コストの低減ですが、この度三菱重工業では、低コストの太陽電池の開発に成功し、2002年から商用化の運びになったとの説明を受けました。また、瓦に埋め込んだ一体型の太陽電池も見せて頂きました。



図10 太陽光発電システム

内燃機・油機技術

機関の熱効率を高め、NOxをはじめとした排気の有害性を低減させる目的で、長崎研究所ではエンジンのシリンダ内の燃焼現象を中心に研究しています。ここで開発された技術は大型の船用UEディーゼル(最大12シリンダで47,000kWまでの出力をカバー)から小型産業用さがみエンジン(独自の副室新燃焼システムと低騒音構造により業界一の低騒音を実現しフォークリフトに用いている)、また小型草刈機用のメイキエンジンまで適用されています。

ディーゼルエンジンが発明された100年前より現在までの性能は着実に進歩しているとお話を聞き、日々技術開発に取り組んでいらっしゃるエンジニアの方々の真摯な姿が印象的でした。

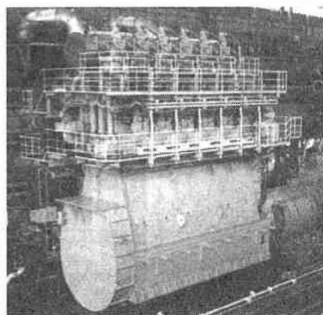


図11 船舶用大型ディーゼル機関"6UEC85LSII"



図12 油圧駆動ホイールローダ

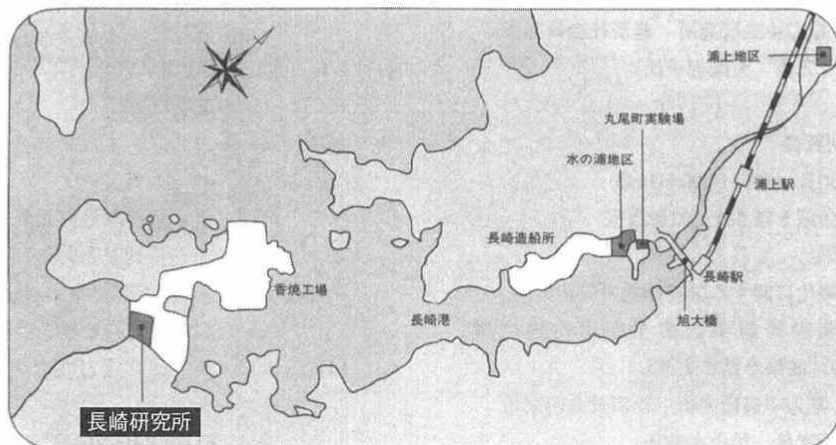
取材を終えて

長崎研究所の研究員の方々が、新エネルギー技術の最先端のそれぞれの開発に日々取り組んでおられる姿を拝見し、これが日本の製造業の基礎的な力になるのだなと大きな感銘を受けました。

見学させて頂いた技術の大半は開発途中のものでしたが、近い将来に実用化され私達の生活で利用・普及する日を心待ちにしたいと感じました。



最後に訪問の手筈をして頂いた
本社技術本部主幹 大木良典様、
現地で丁寧にご説明を頂いた火力
プラント研究推進室長 一ノ瀬利
光様、管理課 松本きぬ子様、及
び長崎研究所の皆様、見学にご同
行下さった本社技術本部 技術企
画部 技術戦略グループ 阿部知子
様に心から御礼申し上げます。



三菱重工業株式会社 長崎 研究所

長崎市深堀町5丁目17番1号 〒851-0392 ☎長崎 (095) 834-2050



研究所のうごき

(平成13年10月1日～12月31日)

◇ 第1回 高効率廃棄物発電技術に関するセミナー

日 時：11月20日(火) 9:30～17:30

場 所：経団連ホール 経団連会館14階

テーマ：高効率小型ごみ発電の可能性を探る

◇ 月例研究会

第195回月例研究会

日 時：10月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5階 501・502会議室

テーマ：

1. 持続的発展に効果のある原子力・放射線利用
(社)日本原子力産業会議
常務理事 町 末男氏)
2. 放射線廃棄物処分に関わる社会との対話
—英国・ベルギーの試みと我が国の課題—
(財)電力中央研究所 経済社会研究所
主任研究員 土屋智子氏)

第196回月例研究会

日 時：11月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5階 501・502会議室

テーマ：

1. 地球温暖化に関する国際枠組の最新動向
(気候変動枠組条約第7回締約国会議
(COP7)成果を踏まえて)
(財)電力中央研究所 経済社会研究所
主任研究員 杉山大志氏)
2. 地球温暖化防止に向けた革新的技術開発の
取組み
(経済産業省 産業技術環境局
研究開発課 係長 大平英二氏)

第197回月例研究会

日 時：12月21日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7階 702・703会議室

テーマ：

1. バイオマスエネルギー技術 —開発動向と
ケーススタディー
(プロジェクト試験研究部 部長 内田洋)
2. バイオマスエネルギーの具体的展開例
(榎荏原製作所 エンジニアリング事業本
部 企画調査室 副部長 大谷繁氏)

◇ 主なできごと

- 10月2日(火)・第2回新電力供給システム技術
分科会
・第1回高速増殖炉利用システム
開発調査検討委員会
- 5日(金)・第1回高効率廃棄物ガス変換発
電技術開発導入調査委員会
- 10日(水)・第5回WE-NET研究調整会議
・第1回大気改善のための自動車
及び燃料技術開発に関する評価
委員会
- 15日(月)・第2回新電力供給システム技術
検討会
- 11月2日(金)・第2回ソーラーフューエル研究推
進委員会
- 6日(火)・第2回エネルギー経済環境予測
検討委員会
- 7日(水)・第4回蓄電池併設風力発電導入
可能性調査委員会
- 9日(金)・第2回発電所CO₂低減システム
に関する技術調査委員会
- 14日(水)・第3回新電力供給システム技術
分科会
・第6回WE-NET研究調整会議
・第2回ガスハイドレート技術に
よる天然ガス供給利用システム
に関する研究開発委員会
- 19日(月)・第3回高温ガス炉プラント研究
会

- 26日（月）・第3回新電力供給システム技術
検討会
- 11月28日（水）・第7回サハリンパイプライン
PSDC検討評価委員会
- 12月6日（木）・第2回高効率廃棄物ガス変換発
電技術評価委員会
- 11日（火）・第1回石炭液化大型化リスク検
討委員会（第1日目）
・第2回原子炉総合数値解析シス
テム実用化検討委員会
・第3回エネルギー経済環境予測
検討委員会
- 12日（水）・第1回石炭液化大型化リスク検
討委員会（第2日目）
- 13日（木）・第2回マイクロコージェネレー
ション検討委員会
・第1回長期エネルギー技術戦略
調査委員会
・第2回実用発電用原子炉廃炉技
術調査委員会
- 14日（金）・第1回原子力発電技術開発の方
向性に関する調査検討委員会
- 17日（月）・第7回WE-NET研究調整会議
・第1回集中連系型太陽光発電シ
ステム調査研究検討委員会
- 18日（火）・第4回新電力供給システム技術
分科会
・第2回高効率廃棄物ガス変換発
電技術開発導入調査委員会
・第2回高速増殖炉利用システム
開発調査検討委員会
- 25日（火）・第8回サハリンパイプライン
PSDC検討評価委員会

○12月31日付

（出向解除）

小林 芳照 プロジェクト試験研究部 主管
研究員
松尾 和芳 プロジェクト試験研究部 主管
研究員

◇ 人事異動

○10月1日付

（出向採用）

当麻 潔 プロジェクト試験研究部 主管
研究員

編集後記

2001年は、21世紀初頭を飾る年であると同時に大小の事件が発生した多難の年でもありました。このまま進めば21世紀は一体どうなるのだろうと不安の念が頭をよぎります。

このような時でもあり本誌は、将来における日本の危機管理あるいはセキュリティのあり方を特にエネルギー・環境問題も念頭におきながら考えて頂く材料になればという願いを込めて企画し、その方面で第一線の方々にご登場あるいは執筆いただきました。

将来の問題といえは、本年の各紙新年号は21世紀全体を見据えたような記事は少なかったようですが、21世紀を目前にして人々はどう捉えていたのか多少気になっていたことでもあり、念のため当時有識者を対象として行われたアンケートをひも解いてみました(2000年1月1日付け日本経済新聞)。その際掲げられた設問「人類生存のために、21世紀に科学技術が解決すべき課題は何か?」という問いに対し、「環境問題」(1位)、「エネルギー問題」(2位)、「人口・食糧問題」(3位)はやはりベストスリーに位置しておりましたが、それに「医療-生命工学」(4位)、「核兵器廃絶」(5位)と続いた後「(地域紛争や戦争の回避を含む)民族問題や南北問題」が6位、「科学技術の倫理」が7位、さらに「サイバーテロ」が8位と、昨年発生した大きな問題はしっかりとベストテン内に挙げられていました。

また、現在日本を覆っている経済不況の突破口としても、科学技術に期待する意見もあり、今や正しく科学技術の真価が問わ

れる時が来たという感じが致します。

しかし、現在の科学技術の推進にあたってはその限界を知ると同時に多様な価値観を理解し受け入れる能力・資質の重要性を指摘される識者も少なくないようです。その関与する程度は状況に応じ異なるとしても、経済、社会システム、人種・民族、あるいは宗教・哲学など現代人が生きる場合に出会うあらゆる視点への配慮が益々必要になってきたことを指摘されているともいえましょう。しかし、個人としては勿論のこと組織にしてもそれらを完全に満足させることは不可能でありますので、大小の問題や危機は必ず発生するという認識と備えが先ず必要ということでしょうか。

一方では科学技術の進展が、人間の本来持っている能力、例えば危機を受け止める胆力、判断能力、勇気、さらに思いやりの心などを退化させる要因ともなっていないか危惧されます。

「火事と喧嘩は江戸の華」ともいわれた江戸時代の方が、現代人より少なくとも危機管理能力と逞しさがあったように思われます。科学技術時代における「危機管理」とは、つまるところ人間性の再発見あるいは再開拓ともいえるのではないのでしょうか。

こう考えてきましたところで、私自身の生命保険が昨年途中から切れたままになっていることを思い出しました。

危機管理は口に出すだけでも効験あらたかなることをご報告しながら新年号をお届け致します。

編集責任者 小川紀一郎

季報 エネルギー総合工学 第24巻第 4 号

平成14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) 3 5 0 8-8 8 9 4

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

[http : //www.iac.or.jp/](http://www.iac.or.jp/)

(印刷) 和光堂印刷株式会社

無断転載を禁じます。