

### インタビュー

#### 4 「行動する学会をめざして」



日本原子力学会 会長 岡 芳明氏に聞く

6月に原子力学会の新会長に就任した岡芳明氏。「行動する学会」をめざし、タイムリーな情報発信や電子情報化を進めると抱負を語るとともに、「原子力」の外の社会との対話や原子力利用にともなうリスクのさらなる低減が、今後の原子力の発展につながると指摘する。

聞き手 石橋すおみ



### 平成20年度副会長あいさつ, 新理事紹介

#### 7 7月から, 新しい陣容で学会運営に取り組んでいきます。

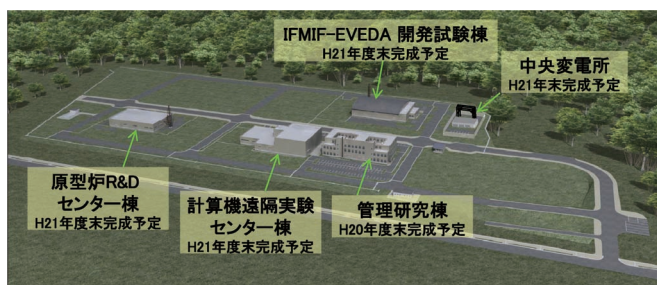
### シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発  
No. 2

#### 24 ITER 時代を迎えた核融合研究開発(Ⅱ)

核融合研究の中心的な活動として進められているのが、国際熱核融合実験炉(ITER)と、その早期の実現に向けた幅広いアプローチ活動(BA)だ。我が国はこれにどう関わっているのか。また、これからの課題は何か。

二宮博正, 久保博孝, 秋場真人



六ヶ所 BA サイトの完成予想図

### 巻頭言

#### 1 柏崎刈羽原子力発電所を見学して

尾池和夫

### 時論

#### 2 “社会の木鐸になれ”は死語か —メディアの実態を踏まえた 原子力情報の発信を

記者は特ダネを書きたがる。また原子力は“ニュースの宝庫”だ。なかには、あらかじめストーリーを持って取材を行う記者さえいる。

新井光雄

### 解説

#### 20 原子力への期待に応えるために 温暖化ガス排出削減とエネルギー 安定確保への道

放射性廃棄物は人類が制御・管理できるが、大気中に放出された炭酸ガスは、少なくとも1000年は制御できない。そのリスクの大きさを比較すれば今は原子力エネルギーを利用すべきである。そのために私たちは今、何をしなければならないのか。

田中俊一

#### 30 原子力発電プラントにおける 水化学の課題への取組み —水化学部会ゼロ歳の抱負

82年に発足した「水化学」関連専門委員会は昨年度、部会として新たに発足した。水化学技術の基礎固め、高度化、最適化、さらに標準化を進めてきた同委員会のこれまでと、部会としてのこれからの紹介する。

内田俊介, 勝村庸介, 布施元正,  
塩川隆弘, 瀧口英樹

### 表紙イラスト Piran ピラン / スロヴェニア

アドリア海に面した小さな港町で、港にはたくさんのおしゃれなヨットが停泊していた。中でも2本マストのこのヨットの美しさに惹かれ、波を切って走る姿はさぞ優美な姿であろうなどと想いをめぐらせながらスケッチした。イタリアとの国境に近く、港はトリエステ湾とピラン湾に挟まれた半島の先端にある。

絵 鈴木 新 ARATA SUZUKI  
日本美術家連盟会員・JIAS 国際美術家協会会員



# 柏崎刈羽原子力発電所を見学して



京都大学総長

**尾池 和夫** (おいけ・かずお)

専攻は地震学。昭和38年京都大学理学部卒、47年理学博士。48年京都大学防災研究所助教授、63年理学部教授。評議員、理学研究科長、副学長を歴任。平成15年12月に京都大学総長に就任し現在に至る。「新版 活動期に入った地震列島」(岩波科学ライブラリー)、「俳景(三) 洛中洛外—地球科学と俳句の風景」(宝塚出版)ほか著書多数。

日本列島は変動帯にあって、大地震が起り火山が噴火し津波が発生する。日本列島はプレート収束域である東アジア地域にあって、しかも4枚のプレートが集まってくる場所にある。海洋プレートが大陸プレートの下にもぐり込んで成長しているのが日本列島で、地震や噴火や津波は日本列島の基本的な特性である。

エネルギーには太陽起源のものと地球起源のものがあり、日本は両方とも豊富に持っている。とくに地球起源のエネルギーは噴火や地震でたくさん消費されており、世界の1割以上を日本列島が受け持つ。地震や噴火のエネルギーはまだ制御の技術ができていないが、地熱や原子力は制御できるエネルギーとして人に利用されている。

東アジアから東南アジアのように、プレートが集まってきて大地震を起こす地域で、原子力発電所の安全性を確保するためには、地震や噴火や津波による影響を長期的に予測して、それをもとに十分な対策をしておかなければならない。原子力発電所は海岸に作る場合が多いから、その視点での知識を十分に蓄えなければならぬ。

そもそも海岸線は、規模の大きな活断層運動があったから段差ができて海岸になったという場合が多い。同時に海から陸にかけて連続して地下構造を調べることが困難な状況であるということも認識しておかなければならない。また、このような大規模災害の予測は自国のことだけではだめで、たとえばチリにおける巨大地震を予測し、その津波が太平洋を渡ってくる仕組みも分析して、災害の発生の可能性を予測しておかなければならない。

柏崎刈羽原子力発電所を見学する機会があり、このような地震学者の考えをもとにくわしく見た。見学のポイントの一つは、建屋の外側と内側とを比べることである。私が見学したのは、2008年2月22日で、19日までに1号炉から7号炉までの点検が終了して、炉の中心部に障害がないことを確認できた直後だった。建屋の外では変圧器の火災や、ダクトと排気筒のつなぎ目のずれなど、いくつかの被害があったが、これらは地盤の状況と工法の関係で納得できる被害であった。

変圧器を乗せていた台では、地下の杭が機能していたことを確認するため杭を削って調べていた。これは、立派に役割を果たした杭を削ったのを見る貴重な経験であった。中越地震の時の経験から、地震記録装置が交換されていたので、中越沖地震の本震の記録が残っていて公開されているのが貴重である。その記録から揺れの大きさを知った上で、4号炉の原子炉がある建屋に入り、炉を制御する複雑な構造が強震動に十分耐えて守られたのを見ることができ、日本の技術力のすばらしさを目の当たりに見ることができた。

炭酸ガスの排出量がきわめて少なくすむ原子力発電所は、今のところなくなることはないであろう。原子力を利用する技術にあっては、安全性に対する最大限の用意がなければならない。東アジアでも朝鮮半島から大陸や台湾地域の沿岸に、計画を含めて50基を超える発電所の原子炉がある。それらの地域も同じように変動帯にあり、いつ大地震が起こるかわからない。柏崎刈羽原子力発電所では、強震動を受けたのに、なぜ原子炉が安全に制御され、原子炉の構造を守ることができたのか、専門家は分析結果を早くまとめて公表してほしい。それを世界に伝えていくことも、きわめて重要な日本の役目である。

原子力発電所の安全性に関する議論には、地球科学の知識を含めて、広く国際的に状況の把握と情報交換、それに技術の交流が不可欠であると思っている。

(2008年 5月12日 記)





# “社会の木鐸になれ”は死語か メディアの実態を踏まえた原子力情報の 発信を



新井 光雄(あらい・みつお)

エネルギー・ジャーナリスト  
東京大学文学部卒。読売新聞社に入社し、ブリュッセル特派員、編集委員などを経て03年に退職。現在は政府の専門委員、東京経済大学大学院、大正大学非常勤講師などを務める。

## 仲介者であるメディアから見た原子力

ニュースとは“発信者”，“仲介者”と“受信者”で構成されている。メディアとその記者の役割は“仲介者”である。私は36年間余り新聞記者を務めた。すでにやめてから5年ほどが経過したが、振り返って記者の仕事について思うことは、「記者とはあくまで“表現者”である」ということである。入社時の社員教育で当時の社会部長から教えられた“表現する大切さを知れ”ということが、今でも心に残っている。

私もそうであったが、記者はその性格上，“人を出し抜いてでも特ダネを書きたい”という欲望を常に根底にもっている。こここのところを、是非を抜きにして、まず承知しておいてほしい。記者によってその度合いは異なるが、根底にはそれがあり、記者のモチベーションになっている。無理をした誤報、虚報の原因でもある。

“テレビ一言，新聞一面”とよく言われるが、テレビと新聞の報道とは異質なものに思われる。目下の時代は映像報道，つまりテレビの時代ということができるとか思っている。

報道する立場からすると，何でも記事になってしまう「原子力」は“ニュースの宝庫”とも言える。原子力とはそういう存在であり，テーマであると考えてほしい。これは議論の余地もあるところだが，社会のある意味での未成熟を考慮すると当分，その位置づけは変化しないとと思っている。

一方，メディアの内側，すなわち原子力報道への取り組みにおけるメディアの社内体制の複雑さは意外と知られていない。原子力事故では地方部，社会部，科学部，外国であれば外報部が，エネルギー政策面では経済部も関連し，更に見出し，扱いなどの関係で整理部が係る。各部門内でも経済産業省記者クラブ，経団連にあるエネルギー記者クラブなどの間でニュースの取り合いが起こるといったこともある。社内担当間競争といった感じだ。

記者はある意味で書くことに対して「動物的」といった行動にもでる。表現者の宿命といってもいいのかもしれない。

ない。

例えば，スリーマイル島原子力発電所の事故に際しては，私も含めて電気事業連合会にある記者クラブ・エネルギー記者会は，電気事業連合会会長のコメントを要求したが断られた。原子力安全委員会と資源エネルギー庁の記者クラブは，それぞれトップのコメントを原稿にしていたこともあり，われわれも電事連会長のコメントが是非ともほしかった。だがコメントがもらえなかった。そこで記者クラブとしては抗議文を提出し，電事連と揉めるという事態になったことがあった。翌日になって東京電力広報部長名で謝罪があつて着落したのだが，記者の取材にはこんなドロドロした，ある面ではかばかしいような話も付きまとう。これがメディアの一面の実態といえると思っている。

また，各報道機関によって，それぞれの社の方針，あるいは雰囲気というようなものがある。単純ではないが，「原子力支持」もあれば「反対」を基調としているように受け取れる社もあり，「その時々」という社もある。勿論それに記者の個性も関係してくるので，「反対」を基調するメディアにも推進を論調とする記者もいる。

自然科学は理論的に9割は正しく，社会科学は五分五分，人文科学は混沌としていて何でもありといったことも理解しておくべきである。メディアとは社会科学を装う人文科学の分野ではないだろうかと考えている。

受信者である「社会」では，原子力は難しすぎて理解できていない人達がほとんどと思ってよい。このことが原子力常識を持つ原子力関係者に意外に分かっていない。ゆえにエネルギー教育は広報より大切ではないかと最近思えてきている。

これに関連しての話のだが，美浜町では以前は原子力の話はわざと避けてきたと聞き，地元の実情はそうだったのかと驚いたことがある。最近，原子力教育の重要性に気が付き，手を付け始めたとのことであった。立地点だからといって，「原子力情報は溢れており，常に原子力情報に接してきている」と考えるのも早計である。

### 日本のメディアと記者の実態

メディアと一般の企業では、人事つまり人の配置に大きな違いがある。同じメディアでも欧米のメディアの人事とは決定的な違いがある。日本の記者は場合によって早いと3か月、長くて2年ほどで担当を交代する。したがってメディア側としては専門的な知識が蓄えられないのが現実である。専門記者が極端に少ないのが現状だ。

例えば、私がブリュッセル特派員であった時代、NATO担当の外国の女性記者がいたが、彼女はNATO発足の時からずっと専門的にNATOだけを取材していた。日本とは大違いである。

また、一度ある問題についての取材をし、全体の報道内容が一つの方向に向き始めると、その流れにのって、すべてのメディアが一斉に追従していくといった風潮もある。このような風潮は、記者個人としておかしいと思ってもどうしようもないものである。これも日本独特のもので、海外のメディアと少々違う点であろう。食の安全に関するニュースなどはひとつの典型だろう。

原子力に関しては言葉も極めて重要だ。“もんじゅ”で事業者が“事象”という言葉を使って、大問題に発展してしまっただけでもあった。社会部の記者は原子力の専門家ではない。このような遊軍記者に対しては、丁寧に説明する必要がある。平時にいろんな情報を伝え、理解を得ておくことが望ましいが、平時は原子力の取材の必要がなく、事件・事故の時にだけ取材となるから対応が難しいのも確かだ。対応の名案はない。

最近、対面取材が減少しているとの批判がある。今の記者はFAXやメール、ネットで資料を取り寄せ、これを切り貼りして記事を書くようなケースもあるようで、記者の変質が目につくのも事実だ。対面取材とは違い、情報発信側との間に溝ができやすい。また、考えて書く記者が少なくなっているのも確かだと思っている。このあたりは広報サイドにも努力の余地があるのではないかと考えている。

### メディアは社会の木鐸の役割を果たせるか

現実の報道を見ていると、原子力の健全な推進に関わるものは少ない。情報の発信者である事業者には、情報の受け手である国民との間で、メディアが仲介者を越えた役割を果たすことに対する期待があるように思う。つまりメディアは「社会への木鐸」、**「社会からの木鐸」**となれ、との期待である。それは逆に安易な原子力批判につながりやすい。

原子力に限らず、社会に対する仲介者を越えた役割と

しての「木鐸」という言葉は、結果としてそうならば良いとの思いはあるが、記者である自分の口からは使い難いものがある。「木鐸」という言葉はすでに死語になっているのではなからうか。

メディアも個々の人間の行動であり、それぞれに多様な背景のもとに、多様な現場で多様な表現をしている。報道への期待値と実態とは違うこと、および、働く場におけるメディアの記者の論理を知っておくことが重要である。ここのところは理不尽ともいえるかもしれないが、それが現実と知っている。一方、情報の受け手である読者には事実を理解するリテラシーが求められるが、記事と真実との間には常にギャップがあることも理解しておく必要がある。しかし、この問題の解決はそう簡単なことではない。

例えば、交通事故で負傷したケースを警察で取材する場合、事故の真実を確かめるため、飲酒運転でなかったか、車の整備は的確であったか、道路の状況はどうだったかなどを逐一確認取材をする時間的余裕はなく、警察の発表をもとに記事を書く結果となることが多い。それでも記者か、との疑問もあるだろうが、相当の事実だと思っ

ていい。発言と記事との違いについてもしばしば指摘を受ける。新聞はテレビと違い、言葉通りを書くことが難しい。つねに解釈をして書く。ここが誤解の原因かもしれない。しかしながら、書く側があらかじめストーリーを持って取材に臨むことはなくはないと思っている。いやその方が多いのかもしれない。微妙だが、やはり表現者としてある意図を持っているとする方が妥当かもしれない。問題を生みやすい点といえる。反原子力の記者には大小なく反につながる材料をすべてということになりがちだ。ストーリーに合わせてしまうことになる。

情報を発信する側の広報はこのような実態を踏まえ、記者との間で積極的なやりとりをし、よりの確なコミュニケーションを心がける必要がある。社会から信頼される原子力界となるために、国民は原子力を理解するのはメディアと通して、が大部分であり、原子力関係者はメディア、記者が適切な仲介の仕事ができるよう、努力を積み重ねてゆくほかないのだろう。

いささか自虐的なメディア論という形になったが、メディアの健全性は社会にとって極めて重要であることは言うまでもなく、その一助に、ということのひとつの見方、試論として示したということと理解してほしい。

(2008年 5月30日 記)

## インタビュー

# 「行動する学会をめざして」

日本原子力学会会長 岡 芳明氏に聞く



6月に原子力学会の新会長に就任した岡 芳明氏。「行動する学会」をめざし、タイムリーな情報発信や電子情報化を進めると抱負を語るとともに、「原子力」の外の社会との対話や原子力利用に伴うリスクのさらなる低減が、今後の原子力の発展につながると指摘する。

聞き手 原子力学会誌 諮問委員 石橋すおみ

### 「行動する学会」と「原子力村からの脱却」が目標

石橋 会長に就任された率直なお気持ちを。

岡会長 副会長になった時から、学会に対する周りからの期待が非常に大きいことを感じており、それにこたえなければならない責任を感じています。河原前会長が『行動する学会』をめざして行動指針を作られましたが、それをもとに、これからどのようにうまく運営して、発展させていけるか。『原子力村』からの脱却も目標です。

—学会は今年で50周年を迎えました。

来年4月に記念式典を行うほかに、学会ランドマーク賞(仮称)を創設することや、若い人を中心にして原子力ビジョンを作成することなどの準備を進めているところです。50周年のために、ボランティアで一生懸命やってくくださる方がたくさんいて、大変ありがたいと思っています。

—学会でのこれまでの経験を、どんなふうに生かしていくお考えですか。

専門家集団である原子力学会はNPOみたいなもので、その構成員は大学関係と、研究開発・安全関連機関、それから産業界という3つのグループがあって、そのバランスをとって運営をしていくこと。学会の運営については、会長、副会長と企画委員長、事務局長で運営ボードをつくり、そこで全体の調整を図り迅速な運営をしていきます。今は世の中の変化が非常に激しく、学会に対する期待も大きいので、それにこたえられるように、迅速な運営ができるシステムにしていかなければならない。会員に対しては、機会の均等とルールの透明化を図

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、東大工学部助教授などを経て、現在は東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授。原子力学会では一昨年から副会長を務め、6月に原子力学会新会長に就任。

るとともに、収支のバランスも考えなければならない。

また、公益法人改革の施行が迫っており、原子力学会も公益社団法人をめざし、それに見合うシステムに移行していきます。そのほかには、電子情報化が遅れている。これを進めて、会員にも効率よくサービスできる運営に移行していくというのが、大きな仕事になると思います。なお今の若い人は、いろんなことをインターネットで検索する。だから学会としては、インターネットで適切に検索できるように考える必要があると思います。

### 社会に情報をどう発信していくか

—IT化を進めることは、学会内での情報共有や組織の活性化だけでなく、外の社会に対して情報を発信していくことや原子力村からの脱却にも活用できそうです。

広報情報委員会で取り組んでいただいている新しい動きが2つあります。一つは、何かあったときにタイムリーに社会へ情報を発信するという。洞爺湖サミットに向けて、声明を発表したことがその例にあたります。事故があったような時には、学会としての意見を出す。またポジションペーパーという、原子力技術について学会としての見解や解説のようなものをパンフレットのような形で作って、一般の方に読んでいただけるようにする。プレスリリースや学会声明はすでにホームページに掲載しています。

もう一つは、何かトラブルがあった時に、学会の見解をタイミングよく出すような連続的なしくみができないかというものです。これは原子力委員会からの要望を受けたもので、企画委員長のもとでITを利用することも含めて、検討してもらっています。

また原子力村からの脱却については、我々原子力専門



家側の話と、外の話とがあります。内側の話でいえば、国民の理解の問題というのは非常に多様で難しい問題です。しかし私たち工学系の人間は、何かすぐ答えを言わないとよくないと思っている。仕事の本性として何か問題を解くということが本質的になっているからでしょうが、そのこと自体もあまりマッチングしていないところもあるかもしれません。

原子力を取りまく現状のイメージは、赤い日の丸の旗のようなもので、真ん中の赤い部分が原子力村で、外側の白い部分が一般社会。それで原子力村の人たちは、この赤い中でだけ話をしがちです。ほとんどの委員会や、さまざまな会合もそうですが、その中にいるとわりと心地がいい。原子力推進者が多いから。だから外の状況がわかっていない。だから日の丸の赤いところから白いところへ向かって放射状にいろんな光が出るようなイメージで、外へ向かっていろんなことをいろんな方法でアプローチするという意識をしています。

一私はその社会との関わりが、学会の弱みの一つじゃないかなと感じています。今の学会の強みと弱みは何でしょう。

強いところは、大学・研究開発機関や官庁、それから産業界の方々が、イコールの資格で参加できること。これだけ公平で中立な集団というのはないと思います。そこでは、いろいろな経験を持っておられる方がさまざまな形で関与していただける可能性がある。弱いところはボランティアの組織なので、決して事業体のような形では仕事ができないところがある。一部の方々が、ボランティアで熱心にやってくださっているけれど、そういう方がいないとできないところがある。なお学会には技術情報の交換と相互研鑽をするという大きな役割があります。このしくみが、学会の最大の機能だと思っています。

一電力会社が何かをいっても、自分たちに都合のいいことだけいっているんじゃないかととらえられることがある。けれども中立的な立場である学会だからこそ、社会に信頼される情報を発信することもできる。

そう思います。さきほどのポジションペーパーや見解を何か起きた時に適切に発信するということは、専門集団である学会の機能だと思っています。

一事故のようなことが起こると、学会として何か早く発信を求められることが多い。けれども学会として何かをいうためには、関係する人が集まってまとめようとすると、数ヵ月かかってしまう。この点について米国原子力学会はどう対応しているのでしょうか。

米国原子力学会(ANS)もすぐに発言することはあまりないようですが、独自の広報としてポジションペー

パーと呼ぶ原子力技術の解説をパンフレットとして発行しています。学会としての見解をまとめており、広報活動に利用できます。米国の他の団体ではワシントンにある原子力エネルギー協会(NEI)が、議会とメディア向けの広報や、トラブル時に備えたメディアトレーニングも行っている。各地にある原子力発電会社はそれを利用しています。原子力規制委員会(NRC)はリスクコミュニケーションのガイドラインを出しています。そのほかにエネルギー省関係の研究開発機関にも、そういうコミュニケーションを担当する部署がある。その意味では、日本の方がずっと遅れているようです。

一トラブル時に学会として発表するのに時間がかかるのであれば、原子力学会の会長としてコメントを出されては。

何かあった時に学会が、公式に意見を集約していきなりすぐレスポンスするという事は難しいです。学会はそういう組織になっていないし、ボランティアな集まりなのでそれを迅速に行うことは難しい。現在でも大きく新聞に出るようなことについては、4日以内に何か発信することになっています。その場合でもみんなからメールなどでコメントをもらっており、時間と労力が相当かかっています。それを簡素化できないかと思っています。

## ■ 国民の多くは、原子力にマイナスイメージ

一原子力学会は会員増強活動をしており、最近では少しだけ会員数が増加しているようですが、全体としては高齢化が進んでいる。また企業の人の退会が多い。企業や産業界にとって学会が魅力的な存在になっていないのでは。

少子高齢化と、団塊の世代が退職期に入っていることの長期的な学会活動への影響は副会長になった時に指摘し、対応をとりつつあります。会員数は、学会の基礎体力の一つです。今までと同じことをやっていると減るだけだと思うので、これからは、これまで学会とあまり関係ないと思っていた方に、学会の意義を感じていただく活動をする。例えば標準委員会ではいろんな基準を作っていますが、作るプロセス自体が技術的な知識の集積なので、そこで得られた知見をもとに、例えば継続教育セミナーという名前で、企業の人たちに役立つような、あるいは知識のアップデート的な教育を行う。

一方で、若い人たち向けには学生連絡会やヤングジェネレーションネットワークがあり、ここ2、3年は活動がずい分と活性化している。これらの努力により個人会員数は増加に転じています。一方で最近では、賛助会員を退会されるケースがある。

—米国 ANS にも賛助会員はあるのですか。

ANS は賛助会員が約100社、個人会員が1万2,000人ぐらいで、日本の原子力学会は賛助会員が250社、個人会員が7,000人ぐらいです。国によって形態が少しずつ違いますが、米国は国際的な会員や海外の会員が多い。

## ■ 原子力のリスクを下げる

—先生は原子力関係のグローバル COE プログラムの拠点リーダをなさっていますね。どういうものでしょう。

グローバル COE プログラムは若手の育成を通じた日本の競争力強化・大学改革のプログラムです。平成19年度に採択され、原子力社会学、原子力エネルギー、放射線応用の3分野を一体的に教育研究しています。

原子力社会学は法工学、核不拡散、パブリックコミュニケーションを重点分野としています。原子力法工学は原子力利用と規制や検査など法体系の問題を、多くの原子力関係者に集まっていたいて法学系・公共政策関係の教員との共同で教育研究しています。検討結果の実施に向けて原子力学会との関係も出てきました。核不拡散は原子力利用の進展に取って大変重要な課題で、この分野で国際的に活躍できる人材の育成と、アジア地域における核不拡散のための透明性向上のための活動などに重点を置いて、原子力機構の協力を得て実施しています。パブリックコミュニケーションは先ほどの話題と関連する分野ですが、多くの関係者の協力を得て一般公開の市民講座やファシリテーションフォーラムの活動を行っています。人文社会系の教員・研究員の参加を得て、米国の活動も参考にして発展を図るところです。

火力発電などと比べて、原子力利用には、いわゆる技術的リスクのみならず、さまざまなリスク・不確実性が存在します。心理的な問題に起因するもの、原子力への投資や運転管理に関するリスク、核拡散などです。これを低下させることが原子力の真価発揮のために必要です。原子力社会学はこれら原子力利用に伴う様々なリスク不確実性の低減を目指した活動です。

## ■ 原子炉の設計研究で人材育成

—先生が研究されている「超臨界圧軽水炉」とは、どのようなものですか。これを始められることになったきっかけは。



大学では原子力システムのいろいろな新しい概念みたいなものを検討していました。超臨界圧軽水炉を始めるきっかけは、水蒸気冷却の増殖炉をやっている、そこでは反応

度係数を負にしなければならない。ところがこれが、なかなか負にならない。それで蒸気の密度を上げてはと学生にいったら、学生が『圧力がない』といったんです。超臨界状態に思い至ってなかったわけです。超臨界とは高温高压になって蒸気と水とが分離しない状態です。そうか、これを使えば原子炉が簡単になると思ったんです。

設計の考え方や解析方法は軽水炉と似た点が多いのですが、少し違うので自分で考えないといけません。温度が高いので高温構造など高速炉の考え方が参考になるところもある。大学院生と主に研究してきましたが、技術継承、人材育成に適したテーマです。

またこの原子炉は、簡素化、コンパクト化による資本費の低減と超臨界圧火力発電技術の利用が第一の狙いです。

## ■ 実績を示すことで、社会から信頼されていく

—学会の若い人たちにメッセージを。

新しい学問や研究は、境界領域やそれらを含めた全部が集まっているようなところから発展すると思っています。原子力の中には総合的なところと学際的なところと両方がある。そういうところから本当の新しいものが発展するはずだと思っており、若い方にとっては挑戦のしがいのある分野だと思います。

—約7,000人いる学会員に対しては。

原子力に本当に期待されていることは、地球環境問題とエネルギー安定供給面で役割を果たすことだと思います。いろいろな制約がある中で、それを果たすことが求められている。社会に対しては、我々専門家としての能力を示すというより、実際に役に立つ形で使ってもらえるように、学会あるいはその構成員として役割を果たすということではないか。それが問われているのだと思います。

—行動する学会ということですね。

今、日本のメーカーは、米国で原子力発電所を一生懸命つくろうとしている。日本の原子力産業界は、世界の他のメーカーと競争しながら、これからは日本でも世界で展開していく、そういうことが専門家として求められていると思います。また、原子力利用に伴ういろいろなリスクや問題があるので、それを理解し、リスクの低減を目標にして次のフェーズを実現しようとするのがこれからのやり方ではないかと思っています。

—先生からは、学会誌を原子力界の代表誌にしたらいふことを提言もいただいています。

そうですね。そのような意識と目的をぜひもっていただければと思います。

—ありがとうございました。



## 「行動する学会」を支える活動を(副会長就任にあたって)

平成20年度新任副会長 工藤 和彦

新副会長として50周年記念事業、部会等運営委員会、教育委員会、広報情報委員会、奨学生選考委員会などを担当させていただきます。

学会の活動を通覧しますと、その範囲や内容が非常に多岐にわたっていることを改めて感じます。学会員の研究をサポートする専門委員会、部会などの活動はもちろん、特に広報情報や国際活動など社会に向けた活動がその重要性を増しています。

学会では以前から大学における原子力教育とともに、初等・中等教育におけるエネルギー・環境・原子力などに関する教育(指導要領や教科書)に関する調査を行ってきました。原子力リネッサンスなどと認識され始めた現在でも、社会一般の原子力に関する正しい知識、理解は必ずしも十分ではなく、学会としてこれに対する活動への一層の努力が必要だと考えています。

2年前から、文部科学省と経済産業省による「原子力人材育成プログラム」の開始、「原子力人材育成関係者協議会」(原子力産業協会)の発足など、原子力の技術者・研究者育成をバックアップする体制ができましたが、学会からもさらなる支援が必要であると考えます。

学会では倫理綱領が制定され、会員としての自律的な行動が求められています。これに加えて、原子力の専門家としての技術者・研究者の自己研鑽も要求されており、自己教育としての「CPD(技術者継続研鑽)」の活用も進めていきたいと思っております。

新会長のもと、「行動する学会」の一翼を精一杯担わせていただきますので、ご指導、ご協力をよろしくお願い申し上げます。(2008年 6月27日 記)

---

## 「迅速に判断し、活動・行動する学会」を目指して

平成20年度新任副会長 横溝 英明

思いがけなく副会長を拝命して、指定された担当業務が多岐にわたり、かつ学会運営上重要な業務が多いことなどから、その責任の重さをかみしめているところであります。

地球環境の悪化、エネルギー需要の高まり、原油高騰などを受け、原子力を見直す動きが世界的に高まっている中、エネルギー資源の乏しい日本においても原子力利用の推進が不可欠であります。原子力の利用推進に当たっては、社会のコンセンサスが必要であり、そのときに特定の組織、立場にとらわれない中立的な立場で原子力学会の果たすべき役割が重要となります。利潤を求める事業者、政策を実施する役所、知を探求する大学や研究機関などの立場を離れ、一市民、一専門家の視点で、一種のボランティア的に活動できるのが学会であります。

今年は設立50周年の記念すべき年にあたっており、歴史の重みを感じると同時に、今後新たな歴史を作るべく、会長を補佐して「迅速に判断し、活動・行動する学会」を目指して貢献していきたいと考えておりますので、ご指導、ご支援いただきますようお願い申し上げます。(2008年 6月25日 記)

## プロアクティブな活動を

平成20年度副会長 辻倉 米蔵

原子力学会の副会長を拝命して早くも1年が過ぎました。振り返ってみると、どれだけ学会に寄与できたか  
いささか心配になりますが、やっと学会活動がどのようなものであるのか、本質的な部分が理解できたように  
思います。

環境やエネルギーセキュリティー問題等、原子力利用に対する期待はますます高まっていますが、それ  
とともに公平、公正、中立な立場の原子力学会の社会での役割は重要なものとなってきています。

学会活動はボランティアな活動の集団ではありますが、実像として存在し、社会や学術に対してプロアクティ  
ブな活動集団として認めていただけるように、また、その活動を通して原子力の平和利用が促進するように新  
会長の下、活動してまいりたいと思います。  
(2008年 6月27日 記)

会長		副会長				総務担当	
							
岡 芳明 東京大学	辻倉米蔵 関西電力(株)	工藤和彦 九州大学	横溝英明 (独)日本原子力研究開発機構	清水建男 (株)東芝	吉田 正 武蔵工業大学	池本一郎 (財)電力中央研究所	
財務担当		編集担当		企画担当			
							
山内 澄 三菱重工業(株)	武藤 栄 東京電力(株)	黒田雄二 日本原子力発電(株)	堀池 寛 大阪大学	小川順子 WIN-japan 日本原子力発電(株)	小川 徹 (独)日本原子力研究開発機構	小澤通裕 日立GEニュークリア・エナジー(株)	
部会等運営担当		教育担当		監事			
							
松井恒雄 名古屋大学	佐藤正知 北海道大学	阿部清治 (独)原子力安全基盤機構	森山裕文 京都大学	佐々木憲明 (独)原子力安全基盤機構	関根啓二 日本原燃(株)		



各機関および会員からの情報をもとに編集します。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 [hensyu@aesj.or.jp](mailto:hensyu@aesj.or.jp) まで情報をお寄せ下さい。資料提供元の記載のない記事は、編集委員会がまとめたものです。

## J-PARC で最初の中性子発生に成功

日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構が共同で運営する J-PARC センターは、建設中の大強度陽子加速器施設(J-PARC)において、平成20年5月30日14時25分に、光速近くまで加速した陽子ビームを、物質・生命科学実験施設に設置した核破砕中性子源に入射する試験を行い、核破砕反応による中性子を発生させることに成功した。

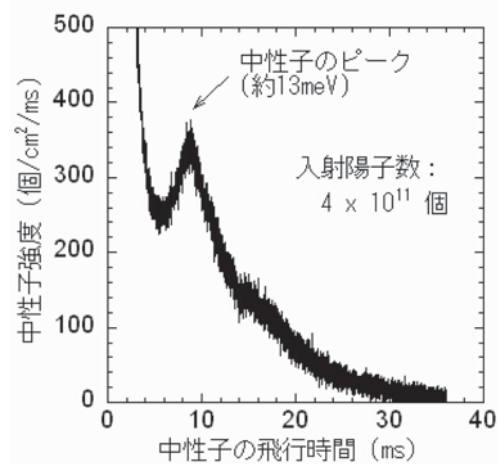
今回の試験では、第1段加速器リニアック、および第2段加速器3 GeV シンクロトロンで、光速の約97%まで加速した数兆個の高エネルギー陽子の塊を、物質・生命科学実験施設に初めて導入し、中性子源の中心部において、実際に標的である水銀の原子核をバラバラにする核破砕反応を起こさせた。そして中性子源の中心から、14m離れた実験室において、1 cm<sup>2</sup>あたり数万個の中性子を観測した。これにより物質・生命科学実験施設に設置した核破砕中性子源から中性子を発生させることに初めて成功したことを確認した。

今後、試運転調整を行いながら徐々に出力を上昇させ、平成20年12月には各実験装置に中性子ビームを供給し、本格的な利用運転を開始する予定である。

大強度陽子加速器施設(J-PARC)の建設は、平成13年に開始し、平成14年度からは物質・生命科学実験施設の中性子源の建設を始め、平成19年には建物が竣工し、並行して機器の据付けと調整を進めてきた。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08053004/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)



初中性子の時間スペクトル

## レーザー駆動陽子線の生成効率向上を実現 —医学利用や産業利用を目指した小型陽子線加速器の実現へ大きく前進

日本原子力研究開発機構と韓国・光州科学技術院高等光技術研究所、電力中央研究所、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心の共同研究グループは、一部屋に収まる大きさで、かつ、発生するレーザーパルス光のエネルギーが1ジュール級の小型超高強度極短パルスレーザー装置を用いて陽子線を効率よく発生することに成功した。

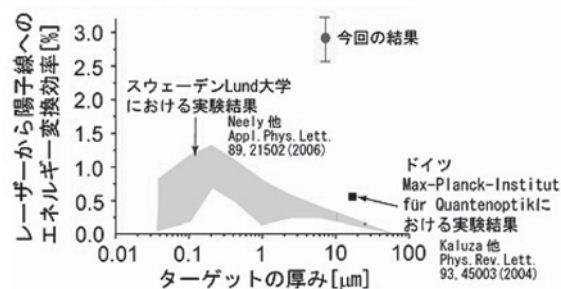
超高強度極短パルスレーザーを薄膜状の金属や高

分子などに照射することにより、特定の方向にエネルギーの高い陽子線(レーザー駆動陽子線)が発生する。この性質を、産業や医療分野に利用するためには、より小型のレーザー装置を使って、所定の陽子線照射量を、定められた時間内に得ることが課題となる。そのためにはレーザー照射あたりの陽子線数の向上(強い陽子線)や一定時間内の繰り返し回数の増強が求められている。



陽子線数を向上させるためには、レーザー光のエネルギーから陽子線エネルギーへの変換効率(以下、「効率」と呼ぶ)の向上が必要不可欠であり、これまで数%以上の高い変換効率を得るためには、繰り返し回数が低い大型のレーザー装置(レーザーパルス光のエネルギーが数十ジュール級以上)が必要であった。また小型のレーザー装置を用いた場合の効率は、従来は1%程度以下の状態であった。

今回、照射する物質として厚さ7.5ミクロン(ミクロン:100万分の1メートル)の絶縁体(ポリイミド)の薄膜を使用し、また時間波形を制御した極短パルスレーザー光を使用することにより数百万電子ボルト級のエネルギー領域において、陽子線を効率3%で発生することに世界で初めて成功した。他の小型レーザーを用いた先駆的な実験結果と比較した場合、今回の結果は陽子線の効率が3倍あるいは10倍となっている。これは粒子線がん治療に向けた加速器の開発において、効率に関する要求値を十分に



世界各国における、エネルギー10級の繰り返し照射可能なレーザーを用いた陽子線発生実験結果。今回の実験においてレーザーから陽子線へのエネルギー変換効率がMax-Planck-Institut für Quantenoptikで得られた結果に比べて約10倍、スウェーデンLund大学で得られた結果に比べて約3倍増加した。

#### レーザーから陽子線への変換効率

満たしており、さらに、小型レーザーを用いた薄層放射化装置等、産業利用へ向けた開発に弾みをつける結果となった。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08052201/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

## 材料試験炉(JMTR)の新たな挑戦のための改修本格化

日本原子力研究開発機構は、平成23年度からの材料試験炉(JMTR)の再稼働に向け、本年度から本格的な改修工事に着手する。JMTRの改修は、原子炉機器の一部更新および照射設備の整備を予定しており、原子炉機器の更新では「電源設備」、「ボイラ」、「換気設備」、「1次・2次冷却系統」、「UCL系統\*」および「原子炉制御系統」の一部について、平成22年

度までに更新工事を完了する予定である。また、照射設備についても平成23年度からの利用に備えて原子炉機器の更新期間中に整備する予定である。

本改修により、世界水準の照射試験炉稼働率(50~70%)を常に達成するとともに、世界各国の照射試験炉とのネットワーク構築によりアジアの中核的照射試験炉としての貢献も視野に入れつつ、JMTR



改修が本格化する材料試験炉(JMTR)

の国際的拠点化を図る。加えて、照射利用の特殊化や利用者数の増大に対応して「先進的照射技術の開発」、「照射後試験の迅速化」等を行い、利用者にとって使いやすい環境の実現(利用性の向上)を図る。

また、改修後の JMTR は、①現行軽水炉の高経年化対策のような「軽水炉の長期化対策」、②核融合炉用材料開発のような「科学技術の向上」、③医療診断用ラジオアイソトープ国産化のような「産業利用の拡大」、④「原子力人材育成」等の役割を担う。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/>)

[p08052701/index.html](http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08052701/index.html))

\*)UCL (Utilities Cooling Loop) 系統：UCL 系統は、ディーゼル発電機や試験設備等のユーティリティ設備に冷却水を供給するための設備で、冷却水の冷却を行う冷却塔、冷却塔に冷却水を送る循環ポンプ、ユーティリティ設備に圧力をかけた冷却水を送るための高架水槽、高架水槽に冷却水を送る揚水ポンプ等から構成される。

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## 核融合の将来に向けた BA 施設建設工事の安全祈願祭を実施

日欧協力のもと核融合エネルギーの早期実用化に向けた幅広いアプローチ(BA: Broader Approach)活動の拠点として、日本原子力研究開発機構が青森県六ヶ所村に建設する研究施設が5月21日に本格着工した。この日行われた安全祈願祭には、施主である原子力機構の岡崎俊雄理事長のほか、日欧の関係者約140名が出席し工事の安全と早期完成を祈願した。

着工した施設のうち、管理研究棟は平成20年度末の竣工予定で、平成21年度当初から運用を開始する予定。その他、計算機・遠隔実験棟、原型炉R&D棟、IFMIF/EVEDA 開発試験棟の3施設は平成21年度末の竣工予定である。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/news2008/08052302/index.html>)



安全祈願祭における鍬入れの様相

## 第3回「原子力産業セミナー」を今年12月に開催

日本原子力産業協会では、平成20年12月13日(土)に、大学生を対象とした就職セミナー第3回「原子力産業セミナー」を開催する。このため現在、ブース出展企業を募集している。

このセミナーは、昨年2月、今年1月に引き続き3回目の開催となるもので、原子力産業が今後さらに発展していくためには、優秀な人材の確保が極めて重要であるとの観点から、主に大学生を対象に、原子力産業の存在意義や将来展望をアピールし、働く場としての原子力産業の魅力を提示することを目的としたもの。

的としたもの。

今年1月に開いた第2回セミナーには、32社の原子力関連企業・機関が出展、約240名の学生が参加し、各企業の説明に熱心に耳を傾けるなど、活発な就職活動が展開された。また参加した企業からは、学生の内定・採用につながっていると評価された。

出展に関するお問合せは、原産協会・政策推進第2部(担当：上田, 山本)まで(TEL：03-6812-7104, E-mail：nis2008@jaif.or.jp)。

(資料提供：日本原子力産業協会)

## ハノイで第3回国際原子力発電展示会開催、日本から官民が代表団を派遣

ベトナムのハノイ市で5月14日から17日までの4日間、第3回「国際原子力発電展示会」が開催された。同展示会には、日本連合として、電事連、原電、原産協会、東芝、日立GE、三菱重工、JETROが出展。4日間の総入場者数は約8,000人に及び、多数の国会議員、関係者、一般市民などが来場、盛況となった。

この展示会は、「ベトナムの原子力発電所初号機建設に向けて」をテーマとし、科学技術省、商工省およびベトナム商工会議所が主催し、ベトナム電力公社とベトナム原子力委員会が実施機関となり開催されたもの。日、仏、韓、ロ、中、越の6か国が展示を行った。中でも日本連合は、最大の200㎡のスペースに、各種模型、展示パネル等を展示出展した。

日本からは、政府代表団(団長＝中野正志・経済産業副大臣)が訪越するとともに、原産協会が事務局となり民間代表団(団長＝伊藤範久・電事連専務理事)を派遣、官民合同でベトナムの原子力発電計画に協力する姿勢を示した。

15日には商工省で、中野正志・経済産業副大臣とド・ヒュー・ハオ商工副大臣が、原子力協力文書(MOC)に調印した。同文書には、原子力発電開発の準備・計画・推進に対する支援、人材育成、安全法規制の整備、PA支援等の内容が盛り込まれ、ベトナムに対する日本官民共同での原子力協力の枠組みが大きく前進した。

(資料提供：日本原子力産業協会)



ベトナム展示会開会式



覚書に調印



## 原産協会提供の動画番組のご案内

原産協会では、今年1月から原子力関係の情報を毎月、動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」で、ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、無料でお届けしている。5～7月の番組(予定も含む)は以下の通り。

・原子力関連ニュースと特集「解説：世界の原子力

発電開発の動向」(5/15公開)

・原子力関連ニュースと特集「HLW 地層処分少人数対話集会の概要」(6/16公開)

・原子力関連ニュースと特集「震災から1年を迎える柏崎刈羽原子力発電所」(7/15公開予定)

(資料提供：日本原子力産業協会)

## 原子力で活躍する女性たちの世界組織“WIN-Global”2008 —年次大会がフランスで開催

原子力や放射線の利用に従事する女性の国際的なネットワーク WIN-Global の年次大会が5月26日から30日の間、フランスのマルセイユで開催された。同ネットワークの日本組織である WIN-Japan から11名が参加した。

本大会には、30ヵ国から150名、地元フランスから100名の総勢250名が参加し、原子カルネサンスを迎え、検討が急がれている人材育成を中心テーマに熱心な講演やパネルディスカッションが展開された。日本からも4名がそれぞれ壇上に立ち、日本の現状について説明した。特に中越沖地震の影響を受けた柏崎刈羽原子力発電所の耐震性に関する講演に対しては、参加者の関心が高く、早期再開を期待す

る声も上がった。

会議開催中にマルクールの VISIATOME (PR館)、ATALANTE (再処理研究施設)、PHENIX (高速増殖炉)、AVM (高レベル放射性廃棄物ガラス固化研究施設) やカダラッシュ原子力研究センターの、Cedra (廃棄物処理施設)、Tore Supra (核融合炉)、バスの中から ITER の建設予定地を見学した。

WIN-Global の会長は、WIN-Japan 会長である小川順子氏が任期満了のため今大会で退任し、新会長には米国 Westinghouse のシェリル・ボッジェス氏が就任した。

次回は米国ワシントン DC にて開催予定。

(資料提供：WIN-Japan)



## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

### [国際]

## 米露が原子力協力協定を締結

米国とロシアの両国政府は5月6日、原子力エネルギーの平和利用に関する協力協定に調印した。両国の原子力分野における民間協力に必要な法的基盤を整備するためのもので、ロシアの関連法規と米国の原子力法第123条の制限項目に配慮した内容。原子力平和利用の枠組みとなる主原則を盛り込んだアンブレラ協定の役割を担うことになり、同協定が発効すれば両国の企業間のジョイントベンチャーが可能になるほか、核燃料物質や原子炉、大型原子力機器の輸出入にも道が拓かれることになる。

この日、モスクワで協定文書に調印したのは、ロシアの国営原子力総合企業であるロスアトム(S・キリエンコ総裁と米国のW・バーンズ駐ロシア大使。協定締結のための協議は2006年7月のG8サミットでV・プーチン露大統領とG・ブッシュ米大統領が発表した共同声明に基づいて開始され、2007年7月には協定の締結案を盛り込んだ原子力関係の共同声明を両大統領が発表していた。その後、4月6日に両国間の協力分野の概要が「戦略的枠組み宣言」として示され、原子力平和利用協力協定の締結は「大量破壊兵器の拡散防止」の中の一項目として、核不拡散体制の強化、ロシアの国際ウラン濃縮センター構想、米国の国際原子力パートナーシップ(GNEP)構想、IAEA主導の革新的原子炉・核燃料サイクルに関する国際プロジェクト(INPRO)などと共に明示されていた。

同協定案は今後、両国議会の承認を得るために提出されることになるが、キリエンコ総裁は「この協定によって核不拡散体制強化や世界の大規模な原子力開発のための諸条件作り、平和利用分野の原子力ビジネスを促進する機会の創出が促進される」と強調。「これからは原子燃料や原子力設備が両国間の国境を越えるだけでなく、協力範囲は第三国にまで及ぶことになるだろう」と指摘した。

米国のバーンズ大使も、冷戦時代にライバル関係にあった両国が、責任を共有するパートナーになったと指摘。原子力の平和利用こそ両国の最も重要な

協力分野の一つだとの認識を示した。

### [フィンランド]

## TVO、オルキルオト4号機新設で原則決定を申請

フィンランドのテオリスーデン・ボイマ社(TVO)は4月25日、新規原子力発電所の増設に関する原則決定(DIP)を、雇用経済省に申請した。TVOは現在、オルキルオト3号機(EPR, 170万kW)を建設中だが、今後さらに同4号機の建設プロジェクトについても、本腰を入れることになる。

同国では原子力法によって原子力発電所の建設許可手続きがいくつかのステップに分かれており、終了まで通常では数年がかかる。

今回の申入れは最初のステップで、政府に新規建設の原則決定を求めるもの。まず政府が新規立地の是非を検討し、承認された場合、さらに議会で審議される。そして議会の承認を受けた時点で初めて、TVOは新規発電所の建設許可を申請することができる。

決定されればフィンランド6基目となる原子力発電所は、既存のオルキルオト原子力発電所に4号機として増設される。炉型は未定だが、出力は100～180万kW級を想定している。建設コストは炉型に左右されるが、30～40億ユーロの予定。TVOは2010年代に着工し、2020年までに運開させたい考えだ。

フィンランドでは電力需要の増大に備え、2020年までに数百万kWの新規発電設備容量が必要になると予測されている。同国の昨年の総電力需要量は903億100万kWh(前年比0.3%増)で、エネルギー源別の内訳を見ると、原子力の24.9%を筆頭に、水力=15.5%、石炭=14.8%、天然ガス=11.4%、バイオ燃料=10.9%、泥炭=10.9%、廃棄物燃料=0.7%、石油=0.4%、風力=0.2%。電力輸入量は13.9%を占めている。また、昨年のCO<sub>2</sub>排出量は1,760万トン(CO<sub>2</sub>換算、以下同)となり、前年から240万トンの削減に成功したという。

原子力発電所の運転実績も好調で、ロビーサ発電所(VVER440, 51万kW×2基)の平均設備利用率は95.4%、オルキルオト発電所(BWR, 89万kW×2基)は95.6%だった。建設中のオルキルオト3号機は、2011年夏に運開する予定だ。

## ポシバ社、最終処分場の拡張で環境影響評価計画を再提出

フィンランドで使用済み燃料の最終処分場建設計画を進めているポシバ社は5月13日、処分場の処理量を9,000トン(ウラン換算)から1万2,000トンに拡張するための環境影響評価(EIA)計画書を雇用経済省に提出した。

これは同社の親会社の一つであるフォータム社が、ロビーサ原子力発電所に3号機の増設を検討していることから必要となった措置。同社はすでに4月25日、同社のもう一つの親会社であるテオリス・デン・ポイマ社(TVO)がオルキオト原子力発電所に4号機を増設する原則決定(DIP)を雇用経済省に申請したのを受け、同炉からの使用済み燃料も処分できるような処分場の規模を当初予定の6,500トンから9,000トンに変更するDIPを申請したばかりだった。

ポシバ社は同処分場建設に関わる最初の環境影響評価報告書(EIAレポート)を1999年に提出。4月のDIP申請に際してはその改訂版を添付していたが、今回の更なる3,000トン分の拡張計画により、新たなEIA手続きが必要になったとしている。

使用済み燃料の最終処分場はサイトであるオルキオト島の地上と地下の両方に設備が建設される予定だが、処分量の拡大は岩盤内の地下施設建設に直接影響が及ぶ。仮にロビーサ3号機の建設が実現すれば、同炉からの使用済み燃料処分は早ければ2070年代に開始することになると同社では予想している。

新たなEIA手続きとしては、まず雇用経済省がポシバ社のEIA計画書を公開し、同省からのコメントを含めて一般からもコメントや意見を募集。ポシバ社はそれらに基づいてEIA報告書を作成するという段取りとなるため、手続きのすべてが完了するのは来年初頭になる見込みだ。

処分場建設サイトでは現在、ポシバ社が地下岩盤特性調査施設(ONKALO)の建設を進めており、この施設から得られる情報を活用して同社は2012年頃に最終処分場の建設許可を政府に申請する計画。地下トンネルの掘削作業はすでに地下300mほどの深さに約3kmの長さまで達しているが、来年には深

さ400mまで掘り進む予定であり、最終処分場としての操業開始は2020年頃になるとの見通しを示している。

### [オランダ]

## ボルセラでプルサーマル計画

オランダで唯一の原子炉であるボルセラ原子力発電所(PWR, 48.2万kW)を所有するEPZ社は5月7日、同発電所でMOX燃料を使用するための計画書を環境省(VROM)に提出したと発表した。

プルサーマルを検討している理由として、EPZ社は「価格変動の激しい天然ウラン市場への依存度を低減するため」と説明しており、2009年前半を目処に環境影響評価書(EIS)を提出する準備を進めていることを明らかにした。

EPZとしては、MOX燃料を使用することによる発電所への影響を調査するほかに、代替案も合わせて検討し、同発電所にとって最良の方法を探る意向であるとしている。

### [ドイツ]

## E.ON社が仏アレバ社と英国の新規建設計画で提携

ドイツのE.ON社は4月23日、原子力発電技術の開発と英国における新規原子力発電所建設計画関連の協力でアレバ社、ジューメンズ社と関心表明書(LOI)を締結したと発表した。

英国政府が1月に同国のエネルギー・ミックスにおける原子力の役割を是認したことから、E.ON社としては今後、同国における新規原子力発電所建設を念頭に、アレバ社製の160万kW級EPRとジューメンズ社製のタービン・発電機設備を選択したものの。

E.ON社はまた、最大級の安全性能を有する125万kW級改良型BWRとなるSWR1000(仮称)の開発でもアレバ社に協力していくことで合意しており、ジューメンズ社製タービン・発電機設備を装備したSWR1000を同社の中規模・原子炉設計として活用していく考え。

同社は、製造業者と運転会社が早期に協力関係を確立することは原子炉機器の製造において利点があ



ると強調しており、3社は今後、協力の効率的な推進のために専門家を交換するほか、メンテナンス等でも長期のパートナーシップを構築していくとしている。

### [フランス]

## アレバ、英のプルで MOX 燃料を製造へ

仏アレバ・グループは5月19日、英国のセラフィールド社(旧 BNG セラフィールド社)との商取引により、同社からのプルトリウムを使って、南仏ガール県のメロックス工場で MOX 燃料を製造する計画だと発表した。

発表によると、英国から搬出されたプルトリウムはまずフランス北部にあるアレバ社のラ・アーク再処理工場に持ち込まれ、メロックス工場の機器で取り扱えるようキャニスタに再パッケージされる。その後、陸路でメロックス工場に運ばれ、セラフィールド社の顧客用 MOX 燃料集合体に製造されるとしている。

セラフィールドでは原子力廃止措置機関(NDA)所有でセラフィールド社が管理する MOX 工場(SMP)が2001年に完成したが、エンジニアリングと技術上の問題等により、年間の設計処理量が120トンであるにもかかわらず、過去5年間に製造した MOX 燃料は5.3トンにとどまっているという。エネルギー問題担当の M・ウィックス閣外相も今年2月、SMP 計画の不首尾により顧客からの MOX 製造注文をフランスへ下請けに出さざるを得なくなったことを認めたと伝えられている。

### [イタリア]

## 原子力復活を経済開発相が明言

イタリアの C・スカヨラ経済開発相は5月22日、第3次ベルルスコーニ政権期間の5年間に新たな原子力発電所の建設を開始するとの方針を表明した。

これはイタリア産業総連盟の年次集会における講演で明らかにしたもので、同相は公の場での議論を通じて国家エネルギー戦略ともいえる計画を策定することが必要だと強調した。その上で、「我々は今

うこれ以上、原子力開発利用復活への行動計画を遅らせるわけにはいかない」と言明。「安全かつ競争力のあるコスト、大気を汚さず大規模なスケールでクリーン・エネルギーを得られる方法は原子力だけ」との見解を述べる一方で、放射性廃棄物の処理処分については信頼性のある解決方法を見つけなければならないと指摘した。

同相はまた、原子力という選択はベルルスコーニ首相が新政権において信念を持って進めるべきだとした重要な公約であると強調。「我々は確固たる決意のもとにこの公約を果たして行きたい」と述べるとともに、中道右派の現政権期間内にイタリア国内で次世代原子炉を建設する布石を打つ考えであることを明らかにしている。

同相はこのほか、「イタリアは適切な価格で十分な量のエネルギーを、保証された条件の下で確保しなければならない」と述べた。現在、同国がエネルギー輸入のために費やしている600億ユーロは国の貿易赤字の大きな要因になっている点に触れ、天然ガスの輸入・貯蔵システムの更新や再生可能エネルギーの開発なども加速していく方針であることを明らかにした。

同相によると「電源の多様化のためにはエネルギー効率の改善や再生可能エネルギー、クリーン・コールといった新たな技術オプションの開発が重要」で、とりわけ原子力発電は欠かせない選択肢であるとの認識を改めて強調している。

燃料資源に乏しいイタリアでは比較的早い時期から原子力開発に着手しており、1960～81年までの間に4基・1,731.6万kWを運開させてきた。しかし、86年のチェルノブイリ事故を契機に、翌年の国民投票によって、これら4基はすべて90年までに閉鎖。建設中だった新規原子炉の計画も凍結されるに至っている。

S・ベルルスコーニ首相は中道右派の新党「自由の国民」(旧フォルツァ・イタリアおよび国民同盟)を率いて、今年4月の総選挙で3度目の政権に返り咲いたばかり。同政権ではスカヨラ経済開発相をはじめ、財務や環境を管轄する省にも「自由の国民」から入閣しているほか、上下両院ともに中道右派連合が多数派を占めている。

[ウクライナ]

## WH社、2011年から5年契約で ウクライナに燃料供給

東芝傘下のウェスチングハウス(WH)社はこのほど、ウクライナの原子炉3基に2011年から5年間にわたって燃料集合体を供給する契約を獲得したと発表した。

この契約についてWH社のA・キャンドリス副社長兼原子力燃料事業部長は、「ロシアからの燃料輸入依存を軽減するという点でウクライナのエネルギー供給保障上大きな意義を持つものだ」と指摘。その上で、「当社がウクライナにおける核燃料年間所要量の約4分の1を任されたという事実は、ウクライナの原子力発電会社であるエネルゴアトム社が当社の能力と市場競争力に高い信頼を寄せていることを証明している」と強調したほか、この契約はウクライナおよび、中・東欧の原子燃料市場における重要なマイル・ストーンになるとの認識を表明した。

WH社によるウクライナの核燃料市場参入は、2000年に米国政府が当時のウクライナ政府による燃料供給源多様化政策を受けて、米国製の燃料集合体をウクライナのVVERで使用するプロジェクト(UNFQP)を開始したのに端を発している。このプロジェクトにより、WH社はすでに2005年にサウス・ウクライナ原子力発電所3号機(100万kW, VVER)に試験集合体6体を供給したほか、09年には第2段階として42体の集合体を出荷する予定になっている。

[米国]

## エンタジー社、卸売専門プラントを 別会社化

米国で12基の原子力発電所を所有・運転しているエンタジー社は4月25日、非公益の原子力事業体として新たに「エネザス・エナジー社(Enexus Energy Corporation)」を同社から分離独立させるとともに、エネザスとの合併による原子力サービス会社として「イクアジェン社(EquaGen L.L.C)」を新設することになったと発表した。

同社はすでにこの構想を昨年11月に公表していたが、州政府当局が申請書を受領するまでの期間は両社ともに暫定的な社名で呼称されていた。

今回、独立の別会社となるエネザス社には、エンタジー社所有の原子力発電所の中でも電気料金の規制を受ける公益事業に分類されていた卸売専門プラント6基(インディアンポイント2, 3号機, J・A・フィッツパトリック, パリセード, ピルグリム1号機, バーモントヤンキー)が移管され、非課税の非公益事業体として収益性の高い原子力会社となることを目指す。本拠地はミシシッピ州ジャクソンに置かれる予定で、社長兼CEOにはエンタジー社のR・J・スミス社長が指名されている。

イクアジェン社はエンタジー社とエネザス社の50対50の出資による合併会社となる。エネザス社所有の原子炉6基の運転・管理のほか、エンタジー社に残った原子炉6基に対しても廃炉措置や認可更新などを含めた原子炉の管理・技術サービスを提供する。本拠地はジャクソンだが、CEOはエンタジー社のM・カンスラーCNOが兼任する予定である。

## GE日立ニュークリア、サイレックス法で濃縮施設の建設を計画

GE日立ニュークリア・エナジー(GEH)社の子会社であるグローバル・レーザー・エンリッチメント(GLE)社は5月1日、GEHの本社があるノース・カロライナ州ウィルミントンにサイレックス法による商用ウラン濃縮施設の建設を計画していると発表した。

サイレックス法はレーザー励起技術を用いてウランの同位体を分離する方法で、オーストラリアのサイレックス・システムズ社が開発。米国濃縮会社(USEC)も1990年代後半～2000年代初頭に実用化を検討していた。

2006年以降は、GEHがサイレックス社から同法による技術の開発、および商業化のライセンスを独占的に供与されており、現在、GLEが実証試験ループをウィルミントンの関連施設内に建設中。このループによる試験結果を評価した上で、処理能力3,500～6,000トンSWUの濃縮施設建設に踏み切るか否かの判断を、2009年までに下すとしている。必要となる米原子力規制委員会(NRC)の許認可手続

きも、すでに開始可能な段階にあり、計画が成功裏に進めば2012年から同施設の操業を開始することになる。

### [カナダ]

## AECL, RI 生産炉計画を中止

カナダ原子力公社(AECL)は5月16日、慎重な評価と分析の結果、チョークリバー原子力研究所内に所有する医療用放射性アイソトープ製造専用施設のメープル原子炉2基(各10MWth)の開発を直ちに中止することになったと発表した。

メープル原子炉は、世界でも大手のアイソトープ供給業者であるMDS ノルディオン社が医療用のモリブデン99、ヨウ素131、同125、キセノン133などを製造するためにAECLの施設内に建設したプール型軽水炉。1号機は2000年に臨界に達したものの、設計上の技術的な問題が複数浮上したためフル出力による商用生産に至らず、問題解決のための試験運転を低出力で実施するにとどまっていた。

バックアップ用に同一設計で作られた2号機も停止中となっており、運転認可の再取得問題を含めた建設スケジュールの遅延と建設費用の超過のため、2006年には両機の建設費用を含む全所有権はAECLに移っていた。

今回のプロジェクト中止の決定に際して、数多くの理由の中でもAECLは特に、技術的な問題解決のために要する経費やスケジュールの大幅な遅延とリスクを指摘した。H・マクディアミド理事長兼

CEOも、「諸事情を勘案した上での適切なビジネス判断とはいえ、これまで我々がメープル炉開発のために傾注してきた甚大な努力を考慮すると正に苦渋の決断だった」と内情を吐露。両炉の完成と運転開始はもはや実現不可能と同公社の上層部が判断したことを明らかにした。

メープル原子炉の開発中止によって影響が懸念される医療用アイソトープの供給に関しては、MDS ノルディオン社との間で締結した協定により、チョークリバーにあるAECLの国立研究ユニバーサル(NRU)炉およびその関連施設を利用してアイソトープを生産することになると言明した。ただし、カナダ原子力安全委員会(CNSC)が発給したNRUの運転認可は2011年10月末で期限切れとなるため、それ以降の生産について、AECLはCNSCおよびMDS ノルディオン社と緊密に協議していく考えであると表明している。

なお、AECLの決定について、G・ルン天然資源相とT・クレメント健康相は次のような政府見解を発表した。

「政府はAECLのプロジェクト終結決定を受け入れる考え。1996年に始まったこのプロジェクトは12年を経てなお、原子炉が正式に稼動することも、医療用アイソトープを生産することもなかった。アイソトープの今後の供給については、既存のNRU施設が生産を継続するため大きな影響はない。政府としては、わが国の州および準州の政府、主要な医療専門家に対しても生産の途絶はないと説明していくつもりだ」。



# 原子力への期待に応えるために —温暖化ガス排出削減とエネルギー安定確保への道

原子力委員会 田中 俊一

昨年、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第4次評価報告書が公表され、地球温暖化問題は人類が持続的に生存するために全地球規模で取り組まなければならない課題であるという緊迫感が急速に高まっている。加えて、原油価格の急激な上昇をはじめ、石炭、ウラン等、すべてのエネルギー資源の価格が軒並み高騰し、エネルギー資源を確保するための国家間のせめぎ合いも日々厳しさを増してきている。こうした中、多くの国が太陽光、風力、バイオ等の再生可能エネルギーの開発に取り組むことと合わせて、世界的には原子力エネルギーを積極的に利用しようという機運が高まり、国際的には1980年代から続いてきた原子力エネルギー利用の停滞の時代に新たな変化の兆しが現れてきた。

原子力委員会はこうした変化を踏まえて、この4月に地球温暖化対策とエネルギー安定供給という課題に応えるために「原子力の革新的技術開発ロードマップ」の中間取りまとめを行った。本稿では、その概要の紹介と合わせて、温暖化ガス排出削減とエネルギー安定確保に応えるための原子力の研究開発の進め方について考えてみたいと思う。

## I. 地球温暖化対策としての原子力 エネルギーの役割

### 1. 原子力エネルギーへの期待

第1図は、各電源のCO<sub>2</sub>の排出特性の比較を示している。原子力は発電過程でのCO<sub>2</sub>排出がゼロで、単位発電量あたりのCO<sub>2</sub>排出量が太陽光、水力、風力、バイオといった再生可能エネルギーと同等、あるいはそれ以下である。これが、温暖化ガス排出削減のために原子力エネルギーに期待される所以である。

IPCCは地球温暖化による深刻な影響を避けるためには、全地球平均の気温上昇を産業革命以前と比べて2～2.4℃に抑えることが必要であると、世界の温室効果ガスの排出量を10～15年以内に減少に転じさせ、2050年頃には2000年の排出量の半分以下にすることを求めている。国際エネルギー機関(IEA)は、IPCCの提示した温暖化ガス削減ケースについて、いくつかのシナリオを設定して温室効果ガス削減方法についての試算を行っている。この中で、洞爺湖サミットに向けてわが国が主張している2050年までに温室効果ガスの排出量を半減するという目標に合致する条件、すなわち温室効果ガス濃度を445～490 ppmで安定化させるために必要な対策を

評価している。それによると、2030年には2005年比で世界全体の1次エネルギー需要の伸びは約1.2倍、世界の電力需要は約1.6倍となると予測し、2030年までに水力発電を約2.3倍、バイオマス発電を約2.3倍、風力発電を約9倍、太陽光発電を約135倍、地熱等を含む再生可能エネルギーによる発電の合計を現状の約3.5倍にまで拡大することに加えて、原子力発電については、現状439基(設備容量370 GWe)の原子力発電を約2.4倍に拡大することが必要になるとしている(第2図)。

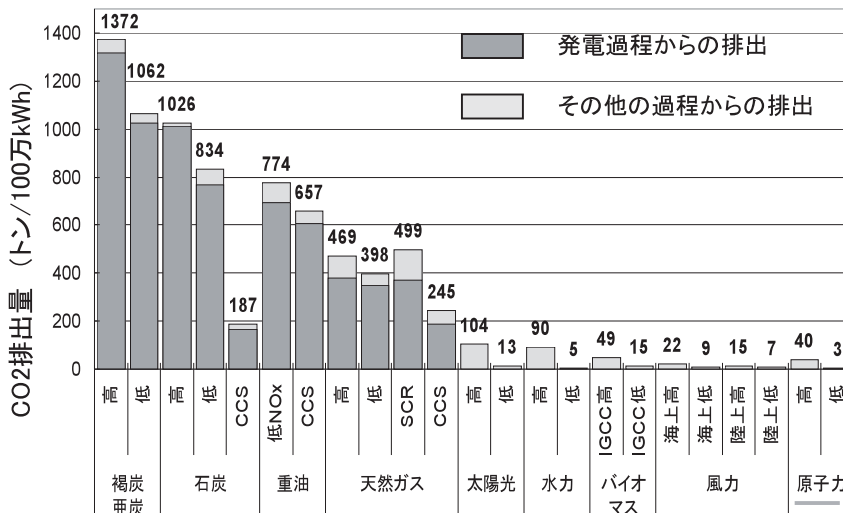
### 2. 原子力技術による温暖化ガス排出削減 ポテンシャル

#### (1) 短・中期のCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル

わが国の原子力発電所は55基(設備容量49.6 GW)で、その設備利用率は、2006年度で約70%、2007年度で約60%と極めて低い状況にある。これを、欧米の原子力発電所並の90%程度まで引き上げると、CO<sub>2</sub>排出量を年間5,000～7,500万トンの削減することができる。さらに、現在、建設中および設置許可の安全審査中のプラント(135万kW級5基)が運転を開始すれば、新たに年間約3,000万トンのCO<sub>2</sub>排出量を削減できることになる。これらを合わせると8,000万～1億トンの削減となり、これはわが国のCO<sub>2</sub>排出量全体の6～8%に相当する。京都議定書(COP3)でわが国が国際社会に約束した温暖化ガスの削減量は、1990年を基準として6%の削減であり、既存の原子力発電所の設備利用率を向上させることと、建設中、あるいは建設準備中の原子力発電所を早期

*To Meet Requirement for Nuclear Energy—A Road-map for Reduction in Greenhouse-gas Emission and Security of Stable Energy Supply : Shun-ichi TANAKA.*

(2008年 6月20日 受理)



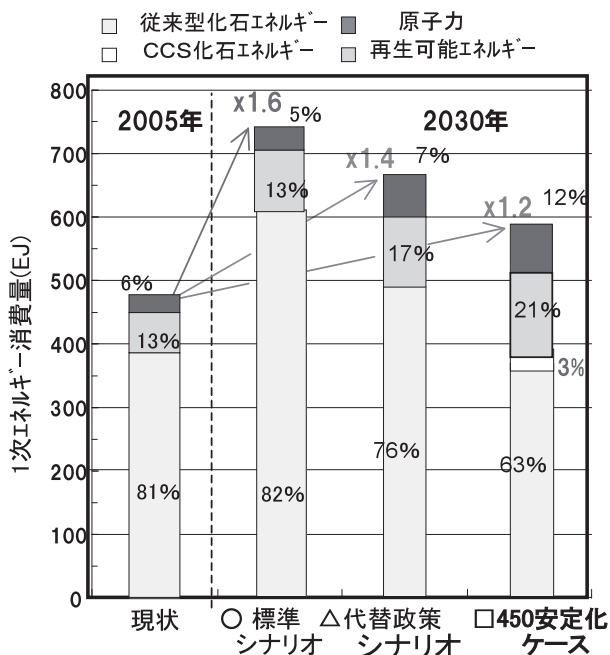
各種発電プラントの、ライフサイクル評価に基づくCO<sub>2</sub>排出原単位算出結果

(高、低: 同カテゴリ中のプラントで、最大または最小の値)

(CCS: 炭素回収・貯留技術適用プラント SCR: 選択的還元触媒によるNO<sub>x</sub>除去)

出典) Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment, WEC, 2004より作成

第1図 各電源のCO<sub>2</sub>排出特性



○標準シナリオ: 各国の現行政策、対策の継続を想定したもの  
 △代替政策シナリオ: 各国で検討中の追加対策の実施を想定したもの  
 □450安定化ケース: 2050年までの排出量半減を条件  
 (温室効果ガス濃度安定化レベル445-490ppm・気温上昇2.0-2.4℃に相当)

第2図 世界のCO<sub>2</sub>排出量削減の試算

(World Energy Outlook 2007より作成)

に完成させることで、京都議定書での当初の目標は達成できることになる。

一方、世界では2007年現在、30カ国で439基(約370 GW)の原子力発電所が運転されており、これによるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果は、最新鋭のLNG複合サイクル火力発電と比べても約11億トンになる。現在、新たに34基(設備容量2.8 GW)の原子力発電所が建設中で、これが稼動す

れば、さらに年間1.2億トンの排出削減効果となる。

(2) 中・長期のCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル

IEAのWorld Energy Outlook 2007の450 ppm安定化ケースでは、2030年の世界全体の1次エネルギー需要を現在の1.2倍に抑え、原子力を現状の約2.4倍に増やすことが前提となっている。この場合、想定されている原子力発電の電力量は、2030年で6,560 TWhであり、これは、火力発電(LNG)で代替した場合と比較して、年間27億トンのCO<sub>2</sub>排出削減となり、2030年の年間CO<sub>2</sub>排出総量の約12%の削減に相当する。このケースは、原子力発電所を年間30基以上のペースで新設することを要求するかなり野心的な提案である。しかし、この野心的な新・増設計画を達成したとしても原子力による温室効果ガスの削減は12%の削減にとどまる。12%は非常に大きな貢献であるが、原子力が温暖化ガス排出削減の切り札ではないことも認識させるものでもある。

現在、世界では30カ国で439基、約370 GWの原子力発電所が運転中で、新たに21カ国で127基、約130 GWが建設・計画中である。これに、29カ国で222基、約200 GWの将来計画があるが、IEAの試算は、これをさらに上回るペースで原子力発電所を世界中に建設することを要求している。

IEAの試算は、地球温暖化問題の克服は極めて困難な課題であり、今後20~30年の間に、原子力を含めて、すべての技術を利用し、あらゆる可能性を追求する姿勢が必要とされていることを改めて教えている。

(3) 輸送部門を通じての原子力によるCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャル

運輸部門のCO<sub>2</sub>排出量は世界全体で約50億トンと推定されている。この部門では、エネルギー源を石油からバ

イオ燃料や水素あるいは電力という2次エネルギーに転換する技術開発が重点的に取り組まれている。仮に電力への転換が行われると電力需要がそれだけ増大することになり、この増分を原子力発電が担えば、化石燃料由来のCO<sub>2</sub>排出量が削減されることになる。また、水素については、現在の天然ガスを用いた水蒸気改質プロセスで製造すると、水素1Nm<sup>3</sup>を生成する際に、0.9kgのCO<sub>2</sub>を排出するが、これを原子力エネルギーにより水を分解して水素を生産する場合には、製造過程でのCO<sub>2</sub>排出量をゼロにすることができ、これを燃料に使う車が増えると、輸送部門におけるCO<sub>2</sub>排出量が削減されることになる。輸送部門への寄与は相当大きいと推測されるが、この分野での技術には不確定要素が多いので、現時点でCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルを定量的に評価することは困難である。

## II. 温暖化ガス排出削減のための 原子力の技術開発の進め方

地球温暖化対策として求められている重要な条件は、2012年の京都議定書(COP3)の削減目標の達成、2020～2030年に世界のCO<sub>2</sub>排出量をピークアウトさせること、2050年に世界のCO<sub>2</sub>排出量を半減させるといった目標に対する意味のある貢献である。

今回、原子力委員会が提示した原子力技術開発ロードマップは、地球温暖化対策の削減目標を踏まえ、原子力の有するCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを着実に達成するための原子力技術開発活動と目標を明らかにしたもので、その要点は以下のとおりである。

### 1. 地球温暖化対策のための原子力技術開発活動と目標(ロードマップ)

(1) 既存の発電技術を内外において社会に受容されつつ、より効果的、効率的かつ速やかに地球温暖化対策に貢献することを目指す技術開発活動  
現行の軽水炉が高い安全性、信頼性を維持できるように、耐震安全確保、高経年化対応、燃料の高燃焼度化、検査制度の改善など、新たな知見、経験を適宜に反映したリスク管理活動を着実に推進するための基盤技術を充実させること、現行軽水炉がより高い設備利用率で運転したり、定格出力を上昇して運転できるように、運転中機器検査診断技術を開発したり、リスク情報を活用した科学的・合理的な試験・検査計画の評価技術、合理的な安全規制を可能にする基礎・基盤学術を充実させる活動で、その成果は速やかに現場に反映させることが肝要である。

(2) すでに実用化候補技術になっている技術を実用技術にまで発展させて市場においてシェアを確保することを目指す中期的観点から取り組む技術開発活動

2030年前後に見込まれる既設軽水炉の大規模な代替炉

建設需要に備えるとともに、安全性、経済性、信頼性等に優れ世界標準を獲得し得る次世代軽水炉を開発し、国内外の市場に投入することにより温室効果ガス排出量削減に貢献する活動および国際的な原子力の利用拡大に貢献するため、2015年以降の海外市場への展開を目指して中小規模の発電需要に対応可能なコンパクトで安全性の高い中小型炉を開発する活動で、実用化がキーワードである。

(3) 将来社会において、原子力技術が脱炭素社会の実現に対する貢献を一層拡大するための技術開発活動

将来社会における、持続可能性の高い革新的原子力発電供給システムや温室効果ガスを排出しない熱源として海水脱塩、水素製造、暖房等の熱需要に応えるシステムを開発し、2050年頃から21世紀後半には市場に参入できることを目指し、長期的観点から取り組む技術開発活動で、高速増殖炉(FBR)とその燃料サイクル技術の研究開発、高温ガス炉による水素製造技術の確立、核融合エネルギーの実現可能性を実証する国際協力プロジェクト「ITER計画」などの研究開発等が該当する。

(4) エネルギー産業の技術インフラやエネルギー技術革新インフラの一部として、原子力以外のエネルギー技術の供給や革新に貢献する原子力科学技術活動

放射線は、材料改質や微細加工、微小試料の構造解析、軽元素や磁性体の解析など、物質・材料を原子レベルで扱うことができ、燃料電池の開発や水素貯蔵用の高機能性材料の創出、高性能太陽電池の開発などに役立つ強力な手段である。このための活動としては、原子力分野以外の地球温暖化対策としての水素社会の実現や様々な地球環境保全技術の開発に資する各種の放射線(量子ビーム)を利用した研究開発がある。他の分野の温暖化ガス排出削減技術開発との協力をより強化することにより、革新的な温暖化ガス削減技術の開発に大きな貢献をすることが期待される。

(5) 原子力エネルギー供給技術を維持、発展、改良させていくために必要とされる共通的な技術開発活動

安全確保技術、核燃料サイクル技術、核不拡散技術、これらの活動に共通な原子力基礎・基盤技術の研究開発活動は、原子力エネルギー供給技術を維持、発展、改良を図るために欠かせない活動である。軽水炉の高度利用、次世代軽水炉、中小型炉、高速増殖炉、核融合、原子力による水素製造等の革新的原子力技術の持続的な発展を維持するためには、核データ、原子炉設計解析ソフト、安全解析ソフトの整備、革新的材料の照射試験等、核工学・炉工学の研究、燃料・材料工学の研究、環境・放射線工学の研究、革新的核燃料サイクル技術の探索などの活動が必要である。



当面の重要課題としては、核燃料供給に不可欠なウラン濃縮技術の改良を図り、安定的な原子力利用の基盤を強化すること、使用済燃料を再処理しプルトニウム、ウラン等を回収し有効利用する技術について、2015年頃までに燃料の高燃焼度化等に伴う処理方法の改良改善を図り、安定的な原子力利用の基盤を強化すること、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関して、処分事業を計画的に推進することにより原子力の持続的な利用の基盤を強化すること、低レベル放射性廃棄物の処理処分や原子力施設の廃止措置については、より安全で経済的な方法を実現し、廃棄物の低減や資源の再利用につなげることに、さらに高レベル廃棄物の処理・処分の負担を抜本的に軽減する分離・変換技術開発やウラン資源の安定確保につながる海水ウラン回収技術開発などがある。

## 2. ロードマップを推進するために

ロードマップに沿った取組みを円滑に進めるためには、研究開発に加えて、①原子力と競合するエネルギー技術の外部不経済の評価<sup>a)</sup>、②地球温暖化対策としての原子力の位置付けについての国民理解、③新たな原子力技術システムを導入普及するために研究開発の進展にあわせた科学的・合理的な規制の追求、基準の整備、④原子力技術が地球温暖化対策として、より大きな貢献をするための原子力分野以外のエネルギー技術分野との連携・共同作業の推進、⑤新エネルギー技術の研究開発を進展させる原理的知見を生み出すための大学や研究機関での基礎的、基盤的研究等の取組みが重要である。

このほか、エネルギー供給技術は、民間の活動により市場を通じて普及するものであることを踏まえ、研究開発の早い段階から市場の声を反映すること、技術の実証および実用化は産学官の役割分担を踏まえつつ柔軟な実施体制で推進されること、効果的、効率的な技術移転システム等を構築することにも十分な配慮が必要である。

とりわけ、地球温暖化対策のためには、エネルギー需要が急激に増大しつつある途上国のエネルギー政策への適切な対応が重要で、原子力発電が地球温暖化対策として有効であることの国際的なコンセンサスの形成に努めるとともに、原子力利用の前提となる安全、核不拡散、核セキュリティを確保する国際体制の強化を図りつつ、原子力を導入しようとする国々の原子力利用のための基盤を整備する取組みに積極的に協力していくことが求められている。

## Ⅲ. 明日の原子力ではまにあわない

最近、NHKのテレビから「明日のエコではまにあわ

<sup>a)</sup>外部不経済というのは、経済活動に伴い直接関係のない第三者がうける不利益のことで、環境汚染(公害)が典型的な事例である。原子力エネルギーは、放射性廃棄物の始末まで評価されているが、他のエネルギー技術は、必ずしも外部不経済までの評価は行われていない。

ない」というキャッチコピーが盛んに流されている。地球温暖化問題は時間との勝負であることを示す大変わかりやすいコピーである。

原子力エネルギー利用が国民の理解と支持を得るためになすべきことは、この差し迫った温暖化ガスの排出削減に目に見える実績を残すことである。このためには、原子力発電所を安全にかつ安定に稼働させ、温室効果ガスの削減実績を示すことが何より重要と認識する必要がある。つまり、当面は2012年までに京都議定書の削減目標に実質的な貢献をすること、温暖化の分岐点であるといわれている2020～2030年に、原子力エネルギーの存在を示すことに努力することであり、そのことが原子力エネルギーの将来を拓くためのマイルストーンである。

「原子力利用に伴う放射性廃棄物は、人類が制御・管理できる。しかし、一たん大気中に放出された炭酸ガスは、少なくとも1000年は制御できない。そのリスクの大きさを比較すれば、今は原子力エネルギーを利用すべきである」というのが、この3月に報告を出した原子力委員会の「地球環境保全・エネルギーの安定供給のための原子力ビジョンを考える会」の認識である。社会は原子力を無条件でサポートしていないことに原子力関係者は心する必要がある。

百の言葉を尽くすことより、社会の要求、地球の要求、人類の生存のための要求に適時に、的確に応えることができこそ、国民の理解と支持が得られる。「原子力の革新的技術開発ロードマップ」では、原子力にはそれに応えられる可能性があることを示すとともに、そのために取り組むべき課題と道筋を示した。原子力にはミレニアムエネルギーを開発するという理想がある。その理想は大切にしつつも、地球温暖化対策としての役割は、まず足元の問題を解決し、原子力の存在感を示すことである。「明日の原子力では間に合わない」のである。

### —参考資料—

- 1) 原子力委員会、原子力の革新的技術開発ロードマップ中間とりまとめ、平成20年3月18日。
- 2) 原子力委員会、地球温暖化対策としての原子力エネルギー利用拡大のための取組みについて、「地球環境保全・エネルギーの安定供給のためのビジョンを考える懇談会」報告、平成20年3月13日。

### 著者紹介

田中俊一(たなか・しゅんいち)



原子力委員会  
(専門分野/関心分野)原子力政策、放射線・量子ビーム技術

## 我が国の最先端原子力研究開発

## シリーズ解説 第2回

## ITER 時代を迎えた核融合研究開発(Ⅱ)

日本原子力研究開発機構 二宮博正, 久保博孝, 秋場真人

前回の解説では、地球規模のエネルギー環境問題を解決する一つの方策として進められている核融合研究開発の意義、世界で取り組まれてきた研究課題、および国際プロジェクトとして進められている国際熱核融合実験炉(ITER)や核融合エネルギーの早期の実現に向けた幅広いアプローチ活動(BA)の現況等について紹介した。本稿では、ITER 計画や BA 活動を中心とした核融合研究開発課題に対するわが国の取組みを中心に紹介する。

## I. はじめに

ITER 計画では、燃焼プラズマの実現や核融合炉に必要な様々な工学技術の総合的な試験を目指して、機器の調達が始まった。また、ITER 計画を支援するとともに、核融合エネルギーの早期の実現に向けた研究開発プロジェクトである BA 活動も開始された。最近の核融合研究開発は、この2つの活動を中心に進められるとともに、炉心プラズマ研究開発と炉工学研究開発も、ITER 計画の技術目標の達成に貢献するための研究や経済性を見通せる原型炉の実現に必要な技術基盤の構築に貢献するための研究に主眼が置かれている。

## II. 日本の取組みの現状と最近の成果

## 1. ITER 計画

前回の解説でも述べたように、ITER を構成する機器の約9割に相当する部分の調達は、ITER 機構の監督の下に参加各極が責任を持って分担して製作し、ITER 機構に納入することになっている<sup>1)</sup>。わが国は当初より、わが国に分担が決まっていた機器の調達と欧州連合の調達分の一部を割譲されて調達することになっている。わが国が調達に関与する機器を第1図に示す。わが国は、トカマク装置を構成する主要な機器を分担しており、これらの機器の製作経験がわが国に残るのは炉工学技術の蓄積という面からも貴重である。これらの機器の調達

*Fusion Research and Development in the ITER Era (Ⅱ):*  
Hiromasa NINOMIYA, Hirotsuka KUBO, Masato AKIBA.

(2008年 5月7日 受理)

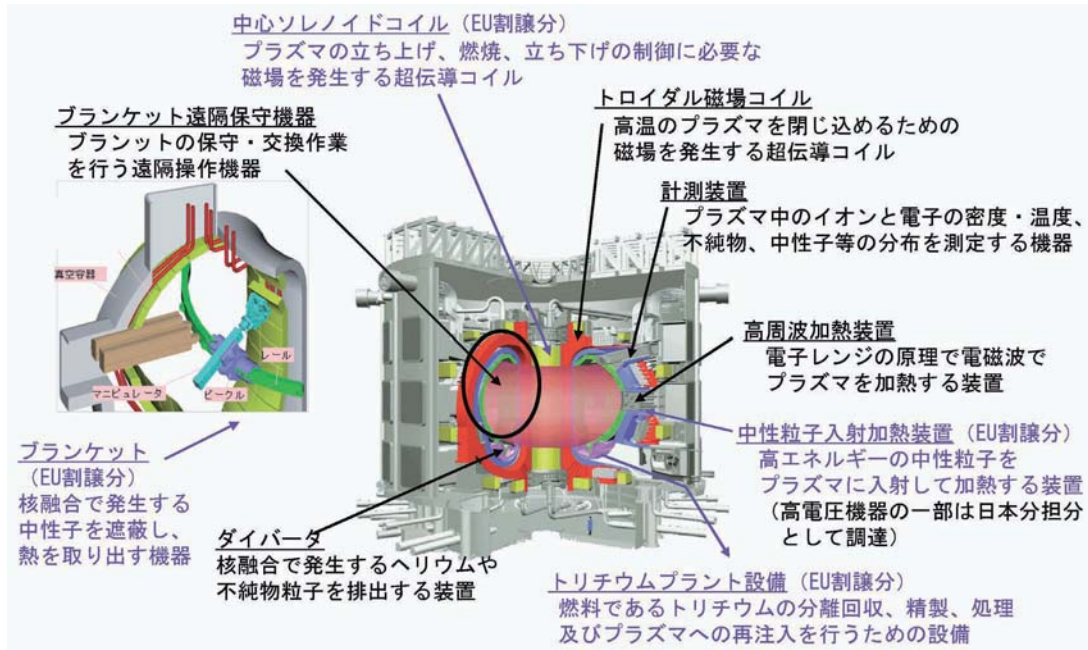
は、ITER 協定に基づくわが国の国内機関に指定された日本原子力研究開発機構が実施することになっている。

第1図に示す機器の調達のために、ITER の詳細な設計と並行して調達に必要な技術開発が行われている。以下にこの技術開発で得られた主な成果を紹介する。

超伝導コイル用の Nb<sub>3</sub>Sn 素線については、ITER 工学設計活動終了後の検討で、トロイダル磁場(TF)コイルのコンパクト化の要請および電磁力による臨界電流値低下分の回復のため、さらに電流密度を高くすることが必要となった。このため、ブロンズ法と内部拡散法という2つの製作方法についてR&Dを行い、開発目標を満たす素線の製造に成功した。超伝導撚線(素線を約千本撚ったもの)については、工学設計活動で開発された撚線と比較してポイド率(素線間の空隙)が小さくなる(36%→33%)とともに、素線を撚って束ねた撚線の中心に配置される冷却管である中心チャンネルの径が小さくなる(12mm→9mm)設計変更に対応するため、最終の撚線工程における圧縮率などを最適化し、超伝導撚線約30mを他極に先駆けて製作した。

TF コイル導体ジャケット(撚線を入れる金属管)材料の開発では、SUS316LN 鋼の炭素含有量を減らすことで650℃の超伝導生成熱処理後においてもITERの材料強度の仕様値を満たせることを明らかにした。あわせて、実機サイズのTFコイル導体用ジャケットを90m製作し、製作技術を確立した。また、超伝導撚線およびジャケットを一体化し長さ約800mのTFコイル導体を製作する装置を試作し、所定の性能が得られることを確認した。TFコイル巻線については、巻線時の超伝導導体長さを精密に測定する技術を開発し、高精度な自動巻線技術を確立するなど、ITERのTFコイル(幅9m、高さ



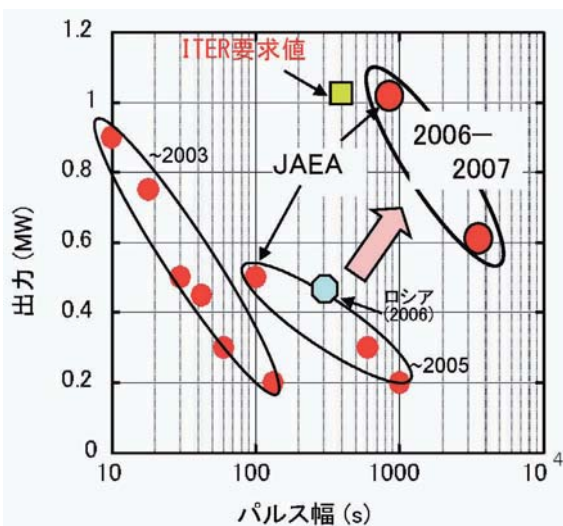


第1図 ITERで日本が調達に関与する機器

14 m, 通電電流68,000 A)の製作技術基盤を世界に先駆けて構築した。

これらの実績に基づいて、原子力機構はITER計画で最初の調達取決めとなる「TFコイル導体調達取決め」に2007年11月に署名し、コイル2個分の素線と撚線の製作および導体製作のための治具類の製作に係る契約を2008年3月に締結し、調達を開始している。

ITERの高周波加熱装置に用いる高周波源(ジャイロトロン)の開発では、高周波発振制御の工夫等により、発振が容易な従来の運転領域から高い効率を得られる運転領域(難発振領域)に安定に移行させることに世界で初めて成功した。その成果に基づいて、第2図に示すように、これまでの世界記録を大きく上回り、出力1 MW、発振効率55%で800秒の連続発振に成功した。これは、



第2図 ジャイロトロン開発の成果

ITERのエネルギー増倍率 $Q \geq 10$ の下で300~500秒間の燃焼という目的に対しては、十分要求を満たすものである。さらに出力0.6 MWで1時間の連続発振の実証にも成功し、連続運転への見通しを得た。

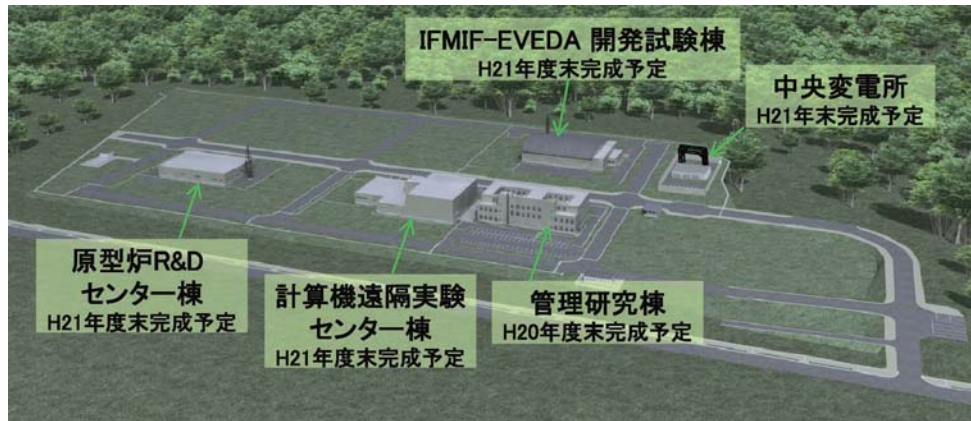
中性粒子ビーム入射加熱装置用の負イオン加速器の開発においては、高出力ビーム加速時の熱負荷対策を施すことにより、大電流・高エネルギー負イオンビーム加速の世界記録を更新し(負イオンビーム電流密度140 A/m<sup>2</sup>, ビームエネルギー796 keV), ITERで要求される性能(電流密度200 A/m<sup>2</sup>, ビームエネルギー1,000 keV)の実現に向けて前進した。

## 2. BA活動

BA活動<sup>1)</sup>では、国際核融合エネルギー研究センター、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動、サテライト・トカマク計画の3つの事業が、各事業長が策定し日欧の政府機関から構成されるBA運営委員会で承認された事業計画に従って実施機関で進められている。わが国のBA計画の実施機関には原子力機構が指定されている。さらに、青森県六ヶ所村に進められる2つの事業のためのサイトや建屋の準備が進められている。第3図に2010年春に予定されている原子力機構BA六ヶ所サイトの完成予想図を示す。

国際核融合エネルギー研究センターに関する活動としては、原型炉の機能要求について日欧間の共通認識を得るための設計活動が行われているとともに、低放射化構造材料の開発、先進増殖材・増倍材の開発、材料とトリチウムの相互作用研究およびトリチウム計量技術開発に関する予備的R&Dが進められている。核融合計算機シミュレーションセンター活動に関しては、スーパーコンピュータの機種選定に向けた特別ワーキンググループの



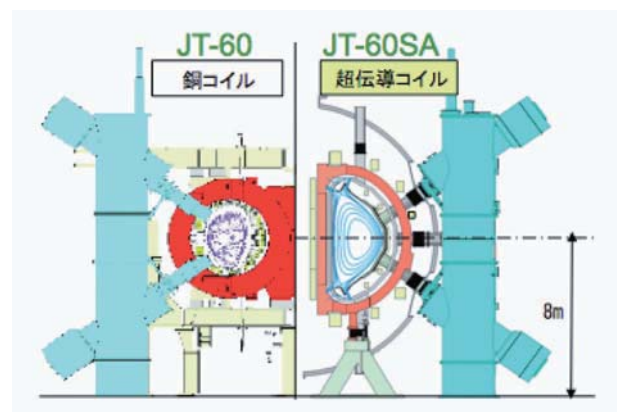


第3図 六ヶ所BAサイトの完成予想図

設置に向けた議論やどのようなシミュレーション研究を行うか等の議論が活発に行われている。

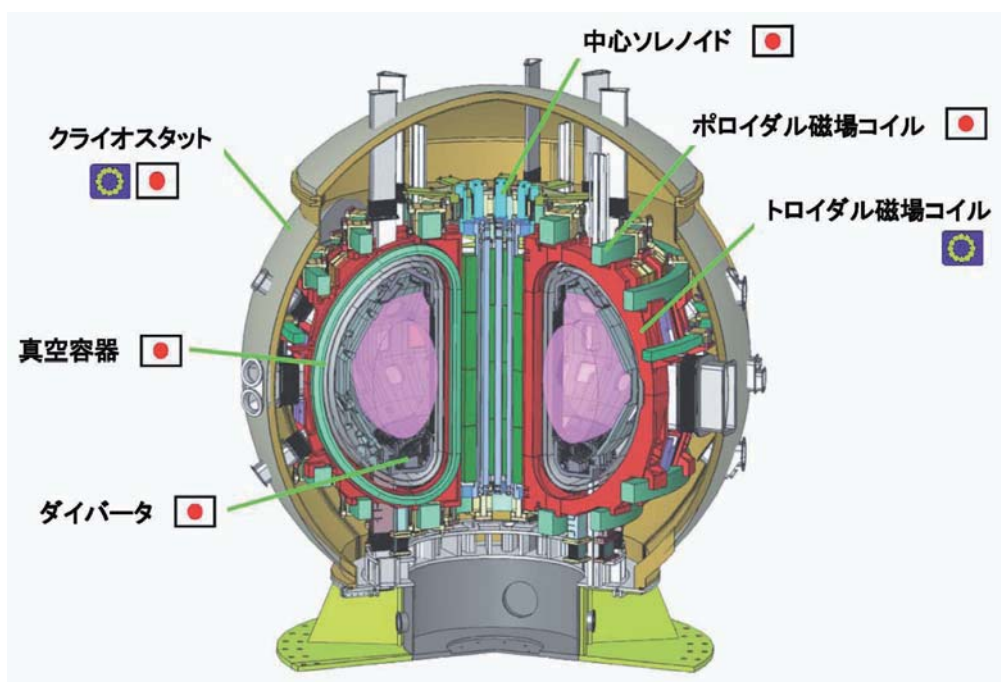
国際核融合炉材料照射施設<sup>4)</sup>の工学実証・工学設計活動に関しては、加速器の技術実証やリチウムターゲットに関する初期工学研究を行うための検討が行われ、事業長の下に進められている事業の推進に貢献している。また、リチウムターゲットに関しては、大学や高速増殖炉研究開発の分野で液体金属取扱技術を有する原子力機構大洗研究所との連携協力の下で実施するための検討が進められている。

サテライト・トカマク (JT-60 SA) に関する活動としては、JT-60 SA 概念設計報告書が完成し、第1回 BA 運営委員会 (2007年6月) でその大綱が承認された。第4図に現在のJT-60とJT-60 SA との断面の比較を示す<sup>2)</sup>。また、第5図にわが国と欧州連合が担当する機器を示す。サテライト・トカマク事業長との連携・指示の下に、わが国の実施機関である原子力機構と欧州の実施



第4図 現在のJT-60とJT-60SAの断面の比較

機関との間で綿密な打合せを行いながら仕様を詰め詳細設計を行ってきた。併せて、国内の大学等との議論を進めた。これらの結果、わが国が担当するポロイダル磁場コイル导体、真空容器および真空容器内機器の一部につ



第5図 JT-60SAの主要機器における日欧の分担

いては2008年3月に製作が発注された。

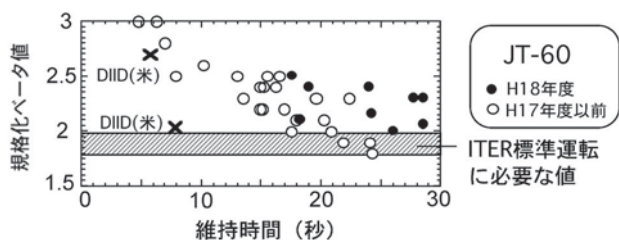
### 3. 炉心プラズマ研究開発

JT-60は、2003年にトカマク国内重点化装置に指定され、大学等の研究者と共同で、ITER で実現される燃焼プラズマを制御する手法の研究およびITER での先進的な運転シナリオの開発を行っている。また、経済性が見通せる原型炉に向けて、圧力の高い炉心プラズマ等の研究開発を進めている。なお、JT-60の実験運転は2008年8月末までの予定で、その後はJT-60 SA の建設を本格化させる予定である。また、九州大学で建設が行われていた小型のトカマク装置 QUEST が完成し、2008年6月から実験運転が開始される予定である。以下に、最近の主な成果を示す<sup>3)</sup>。

核融合出力密度はプラズマの圧力の2乗に比例するので、プラズマの圧力を高めれば経済性に優れたコンパクトな核融合炉が実現できる。しかし、プラズマの圧力が高くなりすぎると磁場で支えきれなくなり、不安定性が発生する。この圧力限界は、どれだけ低いトロイダル磁場とプラズマ電流でどれだけ高いプラズマ圧力が得られるかという指標(規格化 $\beta$ 値)で表される。JT-60では、高い圧力のプラズマを維持することを大きな研究課題の一つとしている。第6図に規格化 $\beta$ 値とその圧力の維持時間を示す。JT-60では、2006年に規格化 $\beta$ 値2.3を29秒間維持することに成功した(維持時間の世界記録)。この規格化 $\beta$ 値はITERの標準運転シナリオに必要な値(1.8)を44%上回っている。核融合出力としては2倍の上昇に相当する。このように、ITERおよびBA活動のサテライト・トカマクにおける先進プラズマの定常化に必要な制御手法の開発が着実に進められている。

このような高性能プラズマを生成し安定に保持するためには、プラズマ電流、圧力、回転などの空間分布を適切に制御する必要がある。JT-60では、世界で最も多彩な加熱・電流駆動・粒子供給システムと、自由度の高いプラズマ断面形状制御とを組み合わせたプラズマ制御法の研究開発を展開している。これによって、わずかなプラズマ回転による高圧力プラズマの安定化の発見、実時間帰還制御を用いた磁氣的乱れの抑制によるプラズマの高圧力化の成功などの独創的な研究成果が得られている。

また、2007年12月には、ドイツのマックスプランク・プラズマ物理研究所からJT-60の遠隔実験を実現した。



第6図 規格化 $\beta$ 値とその圧力の維持時間

第1表 JT-60 SA の主なパラメータとJT-60, ITER との比較

	JT-60	JT-60 SA	ITER
主半径	3.2 m	3.0 m	6.2 m
プラズマ電流	7 MA	5.5 MA	15 MA
加熱パワー	54 MW/ 22 MW	41 M	73 MW + 自己加熱
加熱時間	10 s/30 s	100 s	400~3,000 s

これは、BA活動のITER遠隔実験センターにおいてITERやサテライト・トカマクの遠隔実験を行うために必要な技術に見通しを与えるものである。

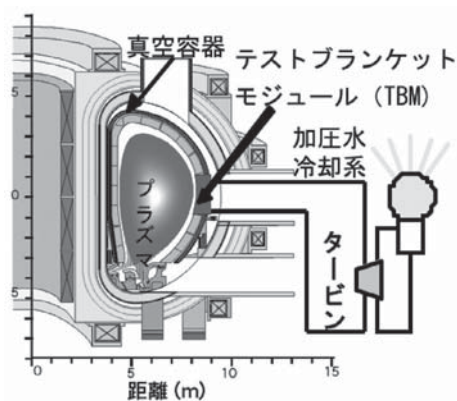
### 4. 炉工学研究開発

炉工学研究では、各極が独自に開発しITERに持ち込んでトリチウム増殖等の試験をして原型炉用のブランケットに見通しを得るためのテスト・ブランケット・モジュールの開発<sup>2)</sup>を中心に研究開発が進められている。

#### (1) テスト・ブランケット・モジュールの開発

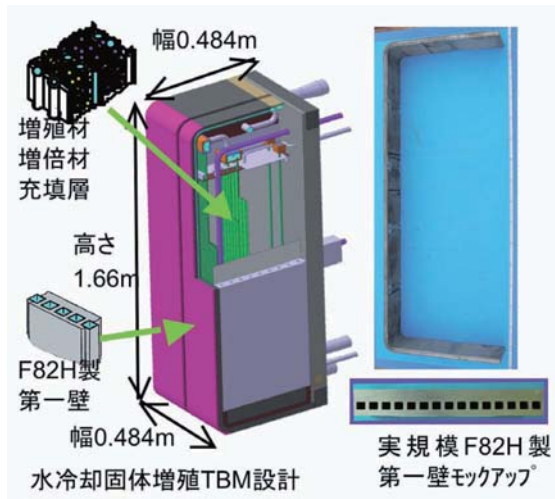
ブランケットは、トリチウム増殖材料の中に含まれるリチウム(Li)と中性子増倍材料で増やされた中性子との反応によりトリチウムが生成・回収される構造になっている。ITERでは、第7図に示すように、モジュール規模の増殖ブランケットを、3つの水平ポートに合計6個装着して、核融合環境で総合的にブランケット機能を試験する計画である。これまでに提案されているテスト・ブランケット・モジュール(TBM)としては、トリチウム増殖材をセラミックで使用する固体増殖方式で水冷却方式(WCSB)をわが国が提案とし、ヘリウム冷却固体増殖方式(HCSB)は、すべての極が開発を進めている。第8図にわが国が提案している固体増殖/水冷却TBMを示す。

トリチウム増殖材としては、Li濃度が高く、生じたトリチウムが容易に放出でき、かつ化学的安定性の高い特性を持つLiセラミックスである $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ を用いる。中性子増倍材にはベリリウム(Be)または水と反応しにくいBe金属間化合物を使用する。これらの材料はそれぞれ直径約1mm程度の微小球に加工してTBMの中に層状に充填する。TBMの容器には日本が世界に先駆けて



第7図 ITERを用いたTBM試験計画





第8図 日本の水冷却固体増殖 TBM 設計と製作に成功した実規模第一壁モックアップ

開発してきた低放射化フェライト鋼を使用する。図に示すように、日本は低放射化鋼F82Hを用いて矩形冷却管を内蔵する TBM 実規模の第一壁を高温等方圧加圧法 (HIP 法) で製作することにも世界で初めて成功している。さらに、この実規模第一壁モックアップを使用して実機条件での熱負荷の耐久試験に成功している。また後述するように、増殖材、増倍材微小球の製作技術、低放射化フェライト鋼の製作技術および加工・接合技術さらに微小球充填層の高温挙動やトリチウム放出特性等に関しても技術開発は完了している。現在、実機相当の規模の試験体による工学規模の試験が順調に進展している。

## (2) 核融合炉構造材料開発

ITER の TBM は、日本、欧州、ロシア、中国などで開発競争が繰り広げられている低放射化フェライト鋼が実際に「使える」鋼であることを示すための最適の場である。低放射化フェライト鋼は、9Cr系耐熱鋼を低放射化した(誘導放射能がすぐに減少するように添加元素を調整した)鉄鋼材料であるが、①タングステンを主要添加元素として用いていること、②一般鋼ではほとんど使われていないタンタルを微量添加元素として用いていること、などの理由で一般鋼とは異なる高いレベルの部材製作技術や接合技術が必要となる。わが国では、日本の鉄鋼業界で培われてきた高い製造技術を背景に、1980年代から世界に先駆けて低放射化フェライト鋼の開発を進めてきており、1990年代には IEA 国際協力のもとで、わが国が製作した低放射化鋼の性能評価を行うなど、低放射化鋼の研究開発の主導的立場を担っている。

例えば、わが国の代表的な低放射化フェライト鋼である F82H は、世界で最も開発が進んでいる核融合炉構造材料の一つである。その強度特性、耐照射性、製造実績、データベースの豊富さもさながら、他国の材料に比べて最も溶接性に優れている点にその特徴がある。現在、原子力機構は大学および企業と協力して、TBM 製

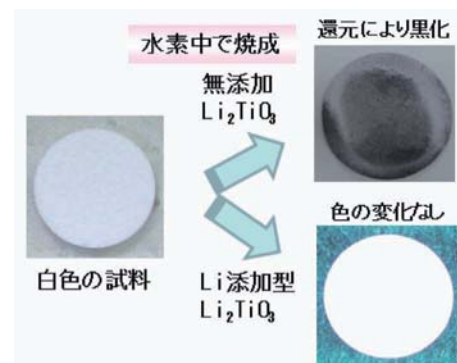
作に向けた製造・接合技術の最適化を進めている。なお、TBM では大きな問題とはならないが、ITER の次ステップである原型炉においては、厳しい中性子照射に耐えることが求められる。原子力機構は、大学と連携して、照射効果研究や先進構造材料開発 (SiC/SiC 複合材料等) を進めている。

## (3) トリチウム増殖材料と中性子増倍材料の製造技術の開発

効率よくトリチウムを生産するためには、ブランケット内の  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  充填率はできる限り高くする必要があり、 $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  は直径 1~2 mm 程度の小さな球状の粒 (微小球) に成型されたものを使用する。微小球の製造方法は、大量製造性、製造コスト等の観点から、溶液中で微小液滴を固化させる湿式造粒法または金平糖と同じような方法で微小球を製造する転動造粒法による製造が有望視されている。生成したトリチウムは水素を添加したヘリウムガスにより回収されるが、 $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  は水素により還元されることから、現在は水素還元に近い、高温発電先進トリチウム増殖材料として Li 添加型  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  の開発が行われている (第9図)。中性子増倍材料は、その優れた核的特性 (中性子増倍能) などの観点からベリリウムを候補材料としている。その製造方法としては、回転電極法が確立され、現状では TBM 製作に対しては十分な年間約 100 kg までの製造が可能である。

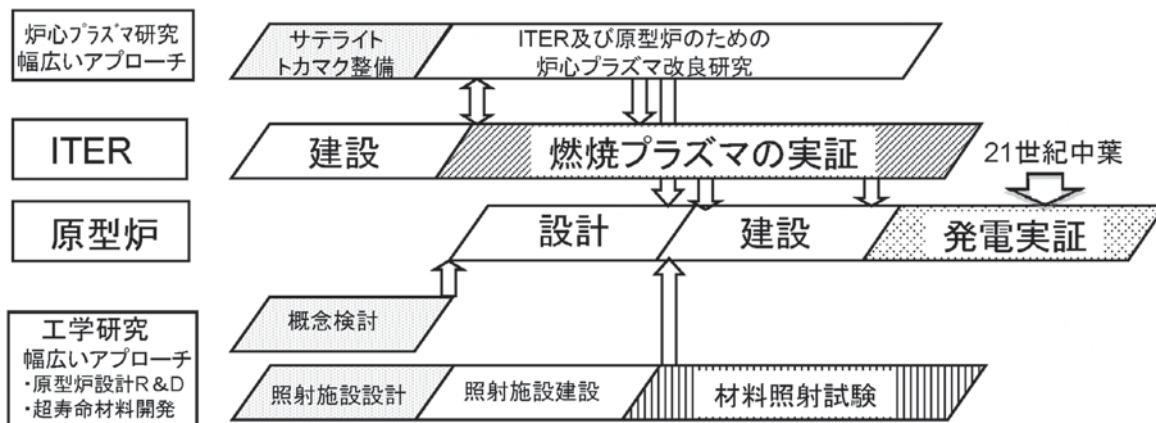
## (4) ブランケット増殖トリチウム回収の開発

TBM 計画では、増殖したトリチウムが最終的に回収される量と、その時の化学組成を把握し、原型炉に向けたシステムを開発するためのデータを得る予定である。日本が行う固体増殖水冷却では、取り出されるトリチウムは水素状と水蒸気状になるため、回収システムは乾燥塔、低温吸着塔、パラジウム拡散器を採用した。乾燥塔で水蒸気成分を、低温吸着塔 (合成ゼオライトを液体窒素で冷却) で水蒸気以外の成分をヘリウムから分離する。吸着塔の再生により、捕捉されたトリチウムを化学種別に定量する。低温吸着塔再生ガスにはヘリウムが残留するため、パラジウム拡散器により水素成分を透過精製する。TBM のトリチウム回収システムについては、日本以外は具体的な回収システムを提案しておらず、一

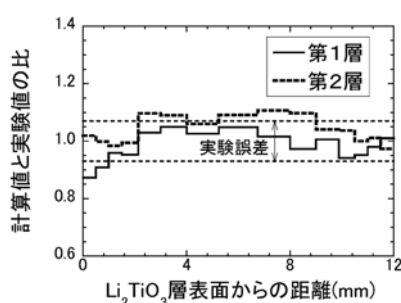


第9図 先進トリチウム増殖材料の水素中での様子





第11図 21世紀中葉の実用化をめざした核融合研究開発の開発ステップ



第10図 トリチウム生成率の計算値と実験値の比較

方で ITER 建設に伴う本体施設との調整が本格化しており、日本が率先して対応することが求められている。

#### (5) トリチウム増殖率の予測技術の開発

TBM では、生成されたトリチウム量をできる限り正確に評価することが求められている。トリチウム生成量は、核データライブラリーと放射線輸送計算コードを用いて予測するが、その予測の精度は最近まで明らかではなかった。原子力機構では、TBM 模擬体系を 14 MeV 中性子で照射し、増殖材中のトリチウム生成量を測定する実験を行い、この結果をモンテカルロ法による計算値と比較して、トリチウム生成量の予測精度を検証した。第10図に実験で得られた測定値とモンテカルロ法による計算値との比較を示す。ここで、縦軸は計算値/実験で得られた測定値の比を示し、実験誤差は実験で得られた測定値に含まれる測定誤差の幅を示している。このように TBM 実機に近い構造でトリチウム生成量の計算精度を明らかにしたのは、この実験が世界で初めてである。

### Ⅲ. 今後の展望

核融合は、今後ますます増大するエネルギーに係わる諸問題をバランスよく解決することのできるエネルギー源の一つである。このため、早期の核融合エネルギーの実用化を目指して引き続き総合的に研究開発を進める必要がある。わが国では、ITER 計画と BA 計画を中心に、

第11図に示すような総合的な研究開発が想定されている。すなわち、ITER は10年の建設期間の後、約20年の実験を行い、燃焼プラズマ制御の実証、燃焼プラズマの定常運転の実現、さらには核融合炉に必要な様々な工学技術を総合的に試験し、原型炉に必要な基礎基盤を構築する予定である。この ITER の目標達成が最も大きなマイルストーンである。一方、炉心プラズマ研究においては、BA 活動を最大限に活用し、ITER 計画を支援・先導する研究を進めるとともに、核融合炉をよりコンパクト化するための高い核融合出力プラズマの定常運転法の確立を目指す。並行して核融合工学研究では、トリチウム増殖ブランケットの開発を行いつつ、BA 活動を活かして原型炉の概念検討や核融合エネルギー利用に必要な R&D を行い、原型炉の概念を構築するとともに、材料照射施設の設計を通じて長寿命材料開発に見通しを得る予定である。

#### — 参考文献 —

- 1) “特集 動く ITER 計画—日本における核融合研究開発の新段階”, 原子力 eye, 53, 2 (2007).
- 2) 松田慎三郎, 他, “ITER を軸としての核融合開発と最近の成果”, 日本原子力学会誌, 49, 259 (2007).
- 3) 井手俊介, 他, “炉心プラズマの定常化に向けたトラスプラズマ開発研究の現状と展望”, プラズマ・核融合学会誌, 83, 413 (2007).
- 4) 松井秀樹, “国際核融合材料照射施設(IFMIF)の設計と開発の現状”, プラズマ・核融合学会誌, 82, 3 (2006).

#### 著者紹介

二宮博正(にのみや・ひろまさ)

本誌, 50〔7〕, pp.433 (2008) 参照。

久保博孝(くぼ・ひろたか)

本誌, 50〔7〕, pp.433 (2008) 参照。

秋場真人(あきば・まさと)

本誌, 50〔7〕, pp.433 (2008) 参照。

# 原子力発電プラントにおける水化学の 課題への取組み —水化学部会ゼロ歳の抱負

日本原子力学会「水化学」部会

日本原子力研究開発機構 内田俊介, 東京大学 勝村庸介  
日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 布施元正  
三菱重工業(株) 塩川隆弘, 日本原子力発電(株) 瀧口英樹

原子炉の水化学の分野では、過去24年余、研究専門委員会としての活動を続けてきた。「春の年会」と「秋の大会」での発表、討論に加えて、年間平均5回の研究委員会での技術討論を通して、地道に技術の共有化と普及を図るとともに、4年ごとの委員会の節目では、技術情報を委員会報告書あるいはハンドブックとして刊行してきた。

一方で、水化学は、燃料、構造物あるいは放射性廃棄物など冷却水を通して密接に関わるため、プラント全体を俯瞰したシステム技術が要求されている。材料、核燃料、バックエンドの各部会が、組織的な活動を進める中で、各部会等との連携の重要性を痛感したが、現在の学会の部会、研究専門委員会の規定の中では、対外的な活動に限界があった。こうした背景のもと、研究専門委員会としての機動性を損なわず、部会活動を進める方策を模索した末に、昨年度、あらたに「水化学」部会として再発足した。本稿では、研究専門委員会としての活動の原点を振り返り、学会活動の一翼を担うため、新しい「水化学」部会がどう活動しようとしているかを紹介したい。

## I. はじめに

1970年代に入り、原子力発電プラントの運転が本格化するとともに、燃料、機器、配管の損傷など、種々の材料に係わるトラブルが顕在化し、同時にプラントの点検、補修に伴い、従事者の放射線被ばく線量が問題になった。被ばく線量低減のため、腐食生成物の放射化と機器、配管への蓄積に関する課題について、電力、メーカーで、関連の研究が始まったのはこの時期で、原子力学会の年会、秋の大会での発表が少しずつ増え始めた。実験技術の試行錯誤のフェーズでもあり、炉化学のセッションで、基礎実験、実機プラントへの実験結果適用のためのモデリングなどについて発表件数が増えるとともに、実験手法の差異によっては、まったく逆の結果が同時に報告されたりして、議論白熱することも少なくな

かった。

この様子をご覧になっておられた本島健次先生(元原研高崎研の所長)が、ご自分もオキシソル炭を使ったコバルトの分析などを発表になられながら、「研究専門委員会を作って、じっくり議論したら」とアドバイス下さった。これが水化学関連の研究専門委員会発足の起点となった。東大弥生キャンパスの石樽顕吉先生の部屋で、水化学の専門委員会のミッション、イメージを侃々諤々語りあった。当時は、被ばく関連の情報の公開はできるだけ控えたいという風潮もあったが、石樽先生、目黒芳紀氏らのご尽力で、電力会社の関係者の参加も可能となり、1982年10月に、最初の「水化学」研究専門委員会が発足した<sup>1)</sup>。

## II. 水化学関連の研究専門委員会

これまでの水化学関連の研究専門委員会の概要を、第1表に、時代をおってまとめる。委員会名には苦勞の跡が見られるが、第3期頃までは、基礎を固めることに注力し、それ以降は、水化学技術の高度化、その最適化、さらには標準化に着目して議論を進めてきた。会員は、

*Approaches to Water Chemistry Subjects in Nuclear Power Plants—Dreams of Water Chemistry Division under Age One*: Atomic Energy Society of Japan, Water Chemistry Division; Shunsuke UCHIDA, Yosuke KATSUMURA, Moto-masa FUSE, Takahiro SHIOKAWA, Hideki TAKIGUCHI.

(2008年 4月1日 受理)

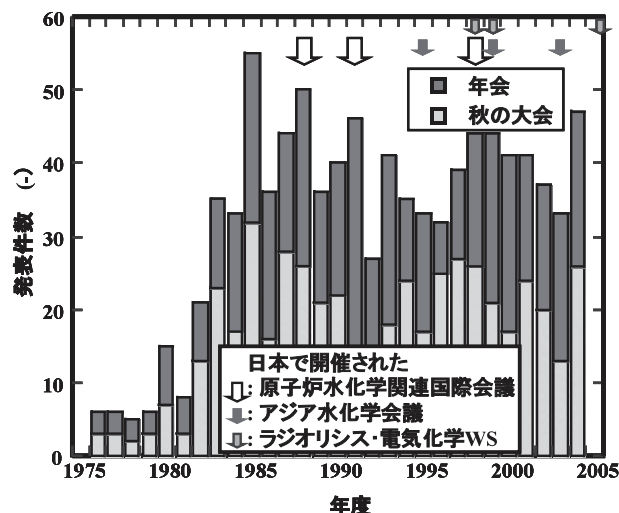
第1表 原子力学会の水化学関連研究専門委員会の活動経緯

研究専門委員会 (設置期間)	主査 (委員数)	主たる成果
1期 水化学 (1982~86)	石樽顕吉 (50)	原子炉の水化学('87)
2期 高温水化学 (1987~91)	石樽顕吉 (60)	原子力発電プラントの水 化学管理と基盤技術('91)
3期 原子炉水化学 (1991~95)	石樽顕吉 (70)	原子力発電プラントの水 化学の実績と将来展望 ( '95)
4期 水化学高度化 (1995~99)	石樽顕吉 (100)	「原子炉水化学ハンド ブック」コロナ社(2000)
5期 水化学最適化 (1999~03)	石樽顕吉 (140)	原子力発電プラントの水 化学最適化の実績と将来 展望('03)
6期 水化学標準 (2003~07)	乙葉啓一 (100)	水化学ロードマップ ( '07)

各機関、各組織から1名を原則として、残りは常時参加者として登録いただいた。委員会の開催は4~5回/年を守り、4年の貴重な活動成果は、無駄にすることのないように、委員会報告書として残してきた。また、そのダイジェストを学会誌の解説記事として残している<sup>2)</sup>。こうして、活動拠点を確保したおかげで、学会として一貫した議論が持続可能となり、第1図に示すように、学会での発表件数も順調に増加してきた。

同時に、関連技術を国際的に共有することの重要性も認識し、委員会が中核となり、国際会議の企画、招へいを行うとともに、アジアを中心に技術をシェアするための各種企画が持たれた。

一方で、第5期に入った頃から、古い顔が少しずつ見えなくなり始め、世代交代の波を痛感した。水化学は、実機での線量率低減対策など、プラントでの経験、知見に支えられる点も多く、特に問題発生が多かった創生期



第1図 年会、秋の大会での水化学関連発表件数

の技術経験をいかに残すかという“技術転移”についての議論も盛んになり、これまでの技術を標準という形で残す必要性を感じた。

### Ⅲ. 研究専門委員会の限界

1990年代に入って、部会制度が導入されるとともに、核燃料、材料などは部会へと移行していったが、水化学のグループは研究会を中心に運営する上では、研究専門委員会の方が部会よりも小回りが利くとの認識もあり、あえて部会にすることを避けてきた。しかし、学会活動は次第に部会中心となり、委員会報告書発行といった諸手続きが、企画委員会から部会等運営委員会で審議されるようになり、部会でない組織からの申請には煩雑な手続きを要するようになった。追い討ちをかけるように、すべての研究専門委員会は必ずどこかの部会の傘下となることが要求され、研究専門委員会が、学会内で急速に発言権を失う事態が進行してゆき、第6期の後半に、このまま委員会として活動を続けるか、部会にするかの激論がもたれた。

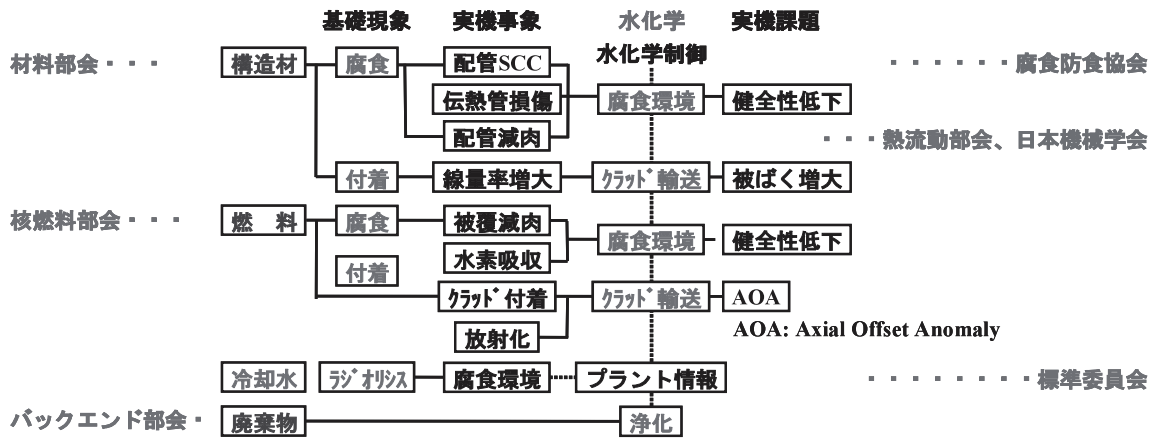
一方で、水化学ロードマップ<sup>3)</sup>について議論し、水化学の研究は、核燃料、材料といった先行部会がカバーする分野との連携が不可欠であることを再確認し、部会としての活動が必須であるとの認識に立った。

研究専門委員会は、研究会開催そのものがひとつのターゲットであるため、委員会を定期的で開催し、活動する上では、まことに都合のよい組織である。部会になると、会計の管理をはじめ必要な事務手続きが増加し、ボランティア活動にとってもっとも厄介な雑務が増える点が危惧された。また、会員からは会費の徴収が必要となり、従来以上に会費に見合う対価(member satisfaction)を生み出せるかどうか。会員全体を対象とした研究会を開催する場合、毎回100名を超える参加者を収容できる会場を見出すことが可能かどうか。というような議論を進めたが、委員会委員および部会とした場合のポテンシャル部員からのアンケートを集め、最終的には2006年半ばに、部会昇格を志向することとした。

### Ⅳ. 「水化学」部会への転換

軽水炉では、高温の冷却水が構造材、燃料被覆材と接触することにより、腐食に起因する様々な事象が派生する。また、冷却水は様々な構造、材料の間を流れて、様々な材料の影響を受け、同時に影響を与える。水化学の技術課題を、燃料、構造材、冷却水、廃棄物、それぞれに係わるものに分類し、各課題に係わる基礎現象、実機事象、実機課題を明示した(第2図)。これらを横糸とすると、水化学には、各実機事象、各実機課題(横糸)をつなぐ水化学制御という縦糸の機能がある。水化学の最適化





第2図 水化学と構造材，燃料被覆材との相関関係[主要学協会，部会との関連]

に当たっては、プラント全体を俯瞰して、各突機課題(横系)への確実な対応と同時に、いずれの課題に対しても悪影響を与えることのない水化学制御(縦系)が必要となる。特定の部材に偏ることなく、すべての材料にとって好ましい冷却水水質が望まれる。水化学の最適化に当たっては、各基礎現象、各突機事象、各突機課題と水化学を定量的につなぐための現象、事象のモデル化が必須となる<sup>3)</sup>。

当然、「水化学」部会単独で各事象に対応するには限界があり、核燃料、材料、あるいは熱流動などの部会との協調が重要となる。また、学会内にとらわれることなく、広く他学会、協会との協調にも挑戦したいと考える。

学問的にも、学際、技術際で重要な課題が多く、新たなブレークスルーも生まれやすいため、研究者のモチベーションを高揚することが期待される。

こういった関連部会、学協会の協調を前提として、第2表に示すような小委員会制を採用した。将来へのターゲットの明確化とそれを実現するための方策を策定するロードマップフォローアップ小委員会と、技術の共有化、普及そして技術転移志向する化学管理小委員会を両機軸として、燃料および材料関連の活動は、旧研究専門委員会の「ジルカロイ/冷却水相互作用」研究会(ZWIS)と「構造材/冷却水相互作用」研究会(SWIS)を発展させ、「燃料/水相互作用」と「構造材/水相互作用」の2つの小委員会を中心に進めるとともに、水化学固有の課題である被ばく線量の低減と放射性廃棄物発生抑制は「被ばく・廃棄物低減」小委員会として活動することになった。

旧研究専門委員会の良さを最大限に残すためには、年4～5回の定例研究会の継続が必須で、このために定例研究会小委員会が企画・運営を行う。すでに、6月の設立総会後の定例研究会での「高経年化対策と水化学」特集を皮切りに、10月には、第2回「試験・研究にかかわる基盤技術開発」特集を、そして3月には、第3回「被ばく線源低減」特集を開催している。

技術交流、検討を定例研究会に置くため、サマーセミナーは隔年に、2泊3日を目安にして開催し、ポイントを絞った議論、施設見学と会員の交流を図る予定で、2008年度は7月15～17日、福井市フェニックスプラザで、「水化学」部会としての第1回サマーセミナーを開催する。

こういった小委員会体制だけでは、部会としての運営は難しく、第3表に示すようなサポート体制を固めて、初めて部会としての円滑な運営が可能となる。

## V. 「水化学」部会の挑戦

水化学部会の会員の所属組織を第3図に示す。産官学

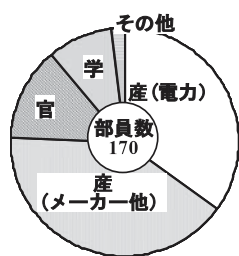
第3表 水化学部会の主要機構

部会長、副部会長	
企画担当幹事	部会の長期計画策定
庶務幹事	部会の庶務
財務担当幹事	予算計画と管理
広報・編集担当幹事	ホームページを主とした広報活動
監事	部会運営の監査

第2表 水化学部会における主要小委員会活動

小委員会	委員長(所属)	関連部会, 学協会
定例研究会	鈴木 晃(東電)	
ロードマップフォローアップ	勝村庸介(東大)	高経年化対応技術戦略マップアドホック委員会
化学管理	平野秀朗(電中研)	標準委員会
燃料/水相互作用	磯部 毅(三菱マテリアル)	核燃料部会, 熱流動部会
構造材/水相互作用	塚田 隆(原子力機構)	材料部会, 熱流動部会, 腐食防食協会, 日本機械学会
被ばく・廃棄物低減	江河正利(関電)	バックエンド部会

の産に大きく偏っている点の特徴である。ニーズ志向での研究が中心である点がこの分布からも見て取ることができる。化学が技術の中心であることは当然であるが、基礎研究については、学を中心に、研究機関の発掘が重要となる。



第3図 「水化学」部会員の所属機関

水化学ロードマップでの目標に掲げた「水化学による原子力発電プラントの安全性及び信頼性維持への貢献」を達成するためには、プラント全体を俯瞰して、構造材にも燃料にも、そしてプラントで働く人にとっても最適な運用を目指した水化学を目指すことが必須で、他部会、委員会、あるいは学会外の学協会との積極的な協調が重要となる。

春、秋の部会企画セッションでも、他部会との共催を積極的に進める予定で、「2008年春の年会」では、材料部会との共催で「軽水炉の高経年化対応に学協会が果たすべき役割の検討—構造材料の腐食損傷に関わる研究活動を中心として」という命題でのパネル討論を開催した。

部会は、研究開発を実行する組織ではなく、その進捗を強力にサポートすることを念頭に、関連技術の交流、共有化を図ることが主務である。以下、「水化学」部会において、重点と考える諸課題についての対応戦略、他部門の協調について紹介する。

### 1. 線量率と放射性廃棄物発生 の同時低減

世界トップレベルを誇ったわが国の「放射線作業従事者の集団被ばく線量」は近年、残念ながら諸外国と比較して高く推移している。プラントの線量率は諸外国に比べ必ずしも高くないが、点検・保守作業に係わる作業量が多いことが集団被ばく線量の差に現れている。プラント運用の高度化に伴う線量率上昇の可能性を阻止するとともに、更なる線量率の低減を推進し、検査制度見直し等による作業量低減と合わせて、適切な被ばく線量低減対策を進める必要がある。一方で、線量率低減策では燃料、構造材への影響に配慮することも重要で、放射性廃棄物発生量を増大させる可能性もあるため、他部会との一層の協調が不可欠である。

### 2. ステンレス鋼、ニッケル基合金の応力腐食割れ

高経年化プラントでも、特に重要度が高い応力腐食割れについては、高経年化対応技術戦略マップでも最重要課題のひとつに取り上げられており、産官学が協力して対応している。応力評価・測定、維持規格制定等では日本機械学会が、腐食機構解明では腐食防食協会が、材料開発では日本金属学会が、また材料部会がそれぞれ持分に対応しているが、水化学部会では放射線照射による冷

却水の分解生成種に起因する腐食環境の定量化と水化学制御による応力腐食割れの発生進展抑制技術を分担し、各学協会、部会との協力を図っている。

### 3. PWR 2次系ほかの流れ加速型腐食

2004年8月の美浜3号機での復水系配管の破断事故は、流れ加速型腐食に起因した配管の局部減肉によるものとされている。材料部会では、「2005年秋の大会」の部会企画セッション「原子力機器のエロージョン腐食」で、この課題を取り上げ、議論したが、残念ながら、議論だけで終わっている。一方、機械学会は2005年4月に、発電用設備規格委員会に配管減肉対応特別タスクを設置し、「配管減肉に対する技術知見の現状」をまとめるとともに、配管検査指針をまとめた。このような、迅速かつ組織的な対応については、ぜひ見習っていきたい。この課題は、流動と腐食の重畳現象で、単独では、解は得られない。機械学会に水化学の専門家も協力して、議論してきたが、組織としてしっかりサポートし、寄与することが肝要である。また、あまり知られていないが、昨年、米国カンサスの Iatan という火力プラントで配管破断事故があり、2名が死亡する事故が発生している<sup>9)</sup>。火力分野では、流れ加速型腐食の事例が原子力よりはるかに多く、酸素添加等による水化学対応技術も普及している。一方で、腐食電位計測などの技術では原子力が進んでいる点もあるので、原子力関係に限らず、火力関係、具体的には、国際水・蒸気性質協会(IAPWS)とも積極的な技術情報交換を進めたい。

### 4. AOA(軸方向オフセット異常)

国内ではAOAは顕在化していないようである。IAEAが2006年から開始した新しい国際水化学プロジェクト(略称: FUWAC)では、冷却水と燃料の相互作用についての技術交換を行っている。現在の参加メンバーの関心事は、ジルカロイの腐食機構とAOAである。AOAについては、米国 Callaway 炉の事例が著名である。2006年の第1回RCM(Research Coordinate Meeting)では、フランスからは、AOAは1例しかないと報告されていたが、2007年12月の第2回RCMでは、30例が顕在化と訂正があった。サブクール沸騰によるクラッド付着と付着物へのボロンの取込みが要因であることは明らかになってきたが、水化学因子として、何をモニタすればAOAが予知できるかはまだ明確にはなっていない。pH制御をLiOHではなく、KOHで行っているロシア型PWR(VVER)では、AOAは発生しないという発言も、第2回RCMでは撤回された。燃料の長期運用における本質的な課題で、わが国のプラントが13ヶ月から18ヶ月あるいは24ヶ月運用に改善されるとともに、同じ問題が顕在化することは避けられない。

この分野でのわが国の寄与は、現状水化学研究者から

のサブクール沸騰下でのクラッド付着機構とその定量化である。水化学と熱流動の境界領域であり、今後、核燃料部会も含めた協調が必要と考える。

### 5. 水化学関連分析法のJIS化

先の「水化学標準」研究専門委員会は、2003年4月に、水化学の技術を集大成し、非専門の方々からわかりにくいとされてきた水化学のアカウントビリティを高めるとともに、技術転移を容易にするためにも、水化学技術の標準化を図ることを一つのミッションとして設立した。議論されたプラントの化学分析法はJIS化、水化学管理指針は本学会の標準委員会の指針として発行を予定している。

一方で、今後、水化学関連では規格・基準として何が必要か、プラントの運用、管理にいかに関係的に導入すべきかなど、これまでの知見、データを精査し、戦略的な対応が求められる。化学管理小委員会で十分に議論し、標準委員会と協力して、対応したいと考える。

### 6. 水化学関連国際会議

第1図にも記載したが、これまでわが国では原子力産業会議主催で3度の水化学国際会議を開催した。技術の中心の役割は、水化学関連研究専門委員会が務めた。専門委員会独自でも、アジア諸国との国際会議を3度、そしてわが国が技術的にもリードしてきたラジオリシスと電気化学に関する国際ワークショップも3度主催した。

「水化学」部会においても、2009年10月に名古屋で第4回アジア水化学セミナーを開催するとともに、2012年には水化学国際会議を招致する準備に入っている。こうした学会開催のプロセスを通して、国際的な技術交流を図ると同時に、国内での技術、およびノウハウの技術転移が確実に進められることに期待したい。

## VI. おわりに

「水化学」部会の看板を掲げて9ヶ月経過し、手探りの点も多々あったが、ようやく一回りして、どの時期に何を準備し、何をフォローすればよいかのかがわかってきた。役員選挙も初めての経験であった。

問題は当初から予想した通り、事務処理に係わる雑務が多い点である。ボランティアに参加いただいている各委員には、担当仕事量が増えて申し訳ない気持ちでいっぱいである。

部会自体としても、各小委員会が独自の活動を活発化させると、参加人員も増加し、仕事量が増加する傾向を示す。少数のキーパーソンに負担はかかるが、全体としては、スリム化を図りつつ、将来像の明確化、その実現シナリオの立案、具現化、技術の標準化、技術の転移を

着実に進める組織でありたいと願ってやまない。

### —参考文献—

- 1) 石樽顕吉, 大沢安隆, 内田俊介, “軽水炉1次冷却系における放射性腐食生成物挙動に関する研究状況と今後の課題”, 日本原子力学会誌, **25**, 337-343(1983).
- 2) 「水化学標準」研究専門委員会, “原子力の安全と信頼を支える水化学の役割と課題—軽水炉新時代の技術課題への取り組み”, 日本原子力学会誌, **49**, 365-370(2007).
- 3) 「水化学ロードマップ検討」特別専門委員会, “原子炉水化学ロードマップ”, 日本原子力学会誌, **50**, 307-312(2008).
- 4) B. Dooley, “Flow Accelerated Corrosion in Fossil and Combined Cycle/HRSG Plants”, *Power Plant Chem.*, **10**, 68-89(2008).

### 著者紹介

内田俊介(うちだ・しゅんすけ)



原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)原子炉水化学, 原子炉材料・燃料, 計測

勝村庸介(かつむら・ようすけ)



東京大学  
(専門分野/関心分野)放射線化学, 原子炉水化学, 応用放射線化学

布施元正(ふせ・もとまさ)



日立GEニュークリア・エナジー  
(専門分野/関心分野)沸騰水型原子炉の水化学

塩川隆弘(しおかわ・たかひろ)



三菱重工業株  
(専門分野/関心分野)加圧水型原子炉の水化学

瀧口英樹(たきぐち・ひでき)



日本原子力発電株  
(専門分野/関心分野)沸騰水型, 加圧水型原子力発電所の水化学による材料腐食抑制と腐食生成物挙動



連載  
講座今、核融合炉の壁が熱い！  
—数値モデリングでチャレンジ

## 第3回 III. 壁の表面で何が起きているか

徳島大学 大宅 薫, 核融合科学研究所 相良明男

## III. 壁の表面で何が起きているか

最近のプラズマ・壁相互作用に係るシミュレーションコードの開発は、トカマク等の実機実験と密接に連携しながら進んでいる。新しい現象の予測や観測された現象の解釈といった面で大きな成果を上げており、核融合炉内の複雑環境における研究手段として、今後、ますます重要になると考えられる。現在、コードの開発者は世界的に見ても限られており、ITER やその後の核融合炉開発において活躍する若いコード開発者の育成が急務である。本稿が、学生諸君にとって、コード開発に携わるきっかけとなれば、望外の喜びである。

## 1. 複雑な環境におかれたプラズマ対向壁の損耗

固体表面にイオンや中性粒子、電子あるいは光を照射すると、表面が損耗することはよく知られている。スパッタリングと呼ばれる現象である。プラズマと炉壁との相互作用に関する種々の問題の中で、古くからモデリングとシミュレーションの重要性が認識されていた。その後、損耗した原子が光を放射しプラズマの温度を低下させることが、核融合炉の実現を目指す人々に由々しき問題として受け止められ、ほとんどの核融合実験装置に光放射の少ない炭素が壁材料として使用された。電子デバイスの半導体薄膜を作る人からすればプラズマプロセッシング<sup>1)</sup>として願ってもない現象が、核融合にとっては悪玉として嫌われている所以である。

ある程度のエネルギーを持った粒子が固体表面に入射すると、固体内で様々な衝突過程を通してその運動エネルギーを失っていく。固体原子は入射粒子との弾性衝突の結果、そのエネルギーの一部を与えられ、それがあるしきい値を越えると格子位置から弾き出され、次々に衝突を繰り返す。このようにして作られた反跳原子のカス

*The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (3) : Chap. III What is really happening on the surface? : Kaoru OHYA, Akio SAGARA.*

(2008年 6月5日 受理)

各回タイトル

第1回 I. はじめに

II-1 壁の前で何が起きているか? (物理モデル)

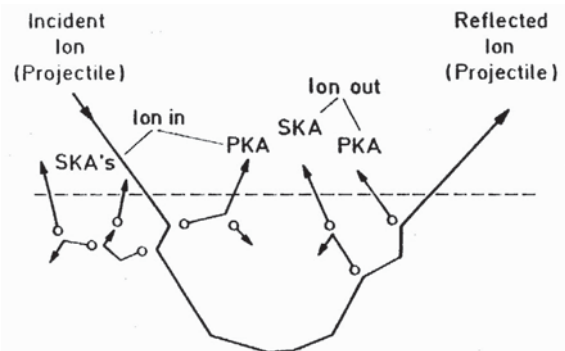
第2回 II-2 壁の前で何が起きているか? プラズマの攻撃

ケードの一部が表面に達し、表面の結合を破ってスパッタリング粒子として放出される(第III-1図中のPKAやSKA's)。この過程をモンテカルロ法で模擬するのが有名なTRIM(TRansport of Ion in Matterの略)コードである<sup>3)</sup>。これまで作られたどのコードも、基本的には入射粒子も固体原子も、固体内の電子との相互作用でエネルギーを失いながら直進し、静止した固体原子との弾性衝突でのみ方向を変える。その際、弾性衝突で失うエネルギーを固体原子に与える。したがって、固体内を単位長さ進むときに失うエネルギー(電子的阻止能という)と古典的な弾性衝突理論を用いた二体衝突モデルが基本要素となる。すでに様々な粒子と固体との組合せでそのデータベースが作られ、幅広いエネルギー域で多くの材料に対してデータを近似するスパッタリング収量の実験式がある。

## (1) 単一イオンによる基本モデル

## (a) スパッタリング

表面から放出されるとき、運動エネルギーの法線方向成分が表面結合エネルギー(通常、昇華エネルギー)より大きくなければならないので、スパッタリングには入射イオンのエネルギーにしきい値がある。スパッタリングは、弾き出された反跳原子の密度によっていくつかの類型に分けられる。例えば、第III-1図に見られるように、カスケードがそれほど密でない場合を線形カスケードと呼び、線形ボルツマン方程式によるSigmundのスパッタリング理論<sup>4)</sup>がある。簡潔な理論にかかわらず、入射

第III-1図 イオン反射とスパッタリングの概念図<sup>2)</sup>

PKAは入射イオンによって弾き出された原子(第1反跳原子)で、SKAは反跳原子によって弾き出された原子(第2反跳原子)。

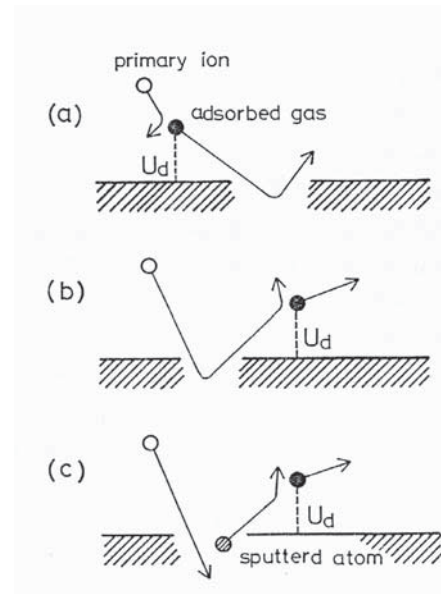
イオン、標的物質の様々な組合せに対して、スパッタリング収量(入射粒子1個当たりの放出数の平均値)の入射イオンエネルギーや入射角への依存性だけでなく、スパッタリング原子のエネルギー分布(Thompson分布)や放出角度分布(余弦分布)が統一的に議論できることから、理論的、実験的研究の出発点となった。これによると、スパッタ原子が入射イオンとの弾性衝突でエネルギーを得ることから、スパッタリング収量はおおよそ核的阻止能(固体内を単位長さ進む間にイオンが弾性衝突で失うエネルギーのこと)に比例する。

一方、標的原子より軽い水素のような軽イオンによるカスケードは、固体反跳原子に与えるエネルギーが小さいのでカスケードをつくることは稀であり、主に、後方散乱された軽イオンが表面から再び放出される際に(反射イオンまたは後方散乱イオンと呼ぶ、第Ⅲ-1図中の Reflected Ion)表面原子を弾き飛ばすことによると考えられ(第Ⅲ-1図中の PKA)、スパッタリング収量は入射イオンの反射率に比例する。これら2つの異なった関係を内挿し、未知パラメータを多くの実験値データと比較して、松波らはスパッタリング収量に対する実験式を導いた<sup>5)</sup>。この式は1984年に発表され、すでに20年以上経過しているにもかかわらず、その改良形も含めて、現在も使用されている。

#### (b) 吸着ガスのイオン衝撃脱離

核融合プラズマは極めてきれいな好きであり、壁表面の炭素や酸素などの軽不純物吸着ガスをあらかじめ十分に取り除いておく必要がある。数100℃の熱脱離では不十分であるため、グロー放電やマイクロ波放電によるイオン衝撃脱離を併用した放電洗浄が有効であるが、その最適化制御にはモデリングによる理解と予測が大切である。

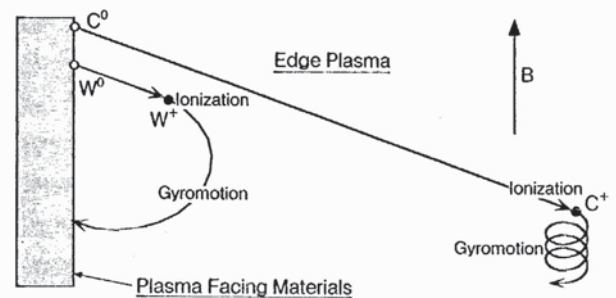
第Ⅲ-2図に Winters & Sigmund モデルと呼ばれる二体弾性衝突によるイオン衝撃脱離過程を示す<sup>6)</sup>。入射イオンと吸着ガスの1回の衝突と、衝突の前または後の反射過程(a), (b), あるいはスパッタリング後の弾性衝突過程(c)によって表す。したがって、脱離断面積(確率)は粒子反射係数あるいはスパッタ率を重みとして、微分散乱断面積  $d\sigma/dE$  を真空側の全立体角で積分することによって計算することができる。吸着ガスが単分子層以下で入射イオン束も著しく高くない通常の場合は線形近似が可能であり、全脱離断面積は(a), (b), (c)各断面積の単純和でよい。微分散乱断面積には Lindhard が導いた指数関数近似式、スパッタ率  $Y$  には前述の松波らの半経験式を利用し、角度依存性には余弦則を仮定する。他方、粒子反射係数  $R$  には各種経験式を代用するが、Ne や Ar などの重いイオンの場合は実験例が少なく、TRIM 計算などに頼るのは今後の課題である。低速イオン散乱法による最表面吸着ガス測定により、実験とモデルがよく一致することが確かめられている<sup>7)</sup>。



第Ⅲ-2図 イオン衝撃脱離の Winters & Sigmund モデル

#### (2) スパッタ粒子の再堆積

損耗した壁材料原子は中性のままシース領域を越えてプラズマ中に入り、主として電子との衝突によって電離して輸送する。タンゲステンやモリブデンなど、たくさんの束縛電子をもつ重い原子は、電離し易く磁界中の旋回運動(ラーマー運動)の半径が大きいいため、壁の近くでイオンになり旋回運動の1周期内に壁に戻り、損耗した場所のごく近傍に再堆積する。プロンプト・リデポジションと呼ばれ、ダイバータ内で起こる重要な現象である(第Ⅲ-3図参照)。元々は磁力線が壁表面に斜めに入射する幾何学的効果として注目されたが、シース電界やプラズマ流との摩擦力などの効果も大きいことがわかり、現在、他の効果も含めて、損耗位置近傍に再堆積するローカル・リデポジションの意味で使われている。プロンプト・リデポジションはシミュレーションによって予測され、後に実験で検証された現象である。Brooks が開発した REDEP コードによるシミュレーションでは、プラズマエッジ温度50 eV に対するモリブデン・ダイバータ板の年間損耗量は約140 cm であるのに対し、プロンプト・リデポジションを考慮した正味の損耗量はほとんど



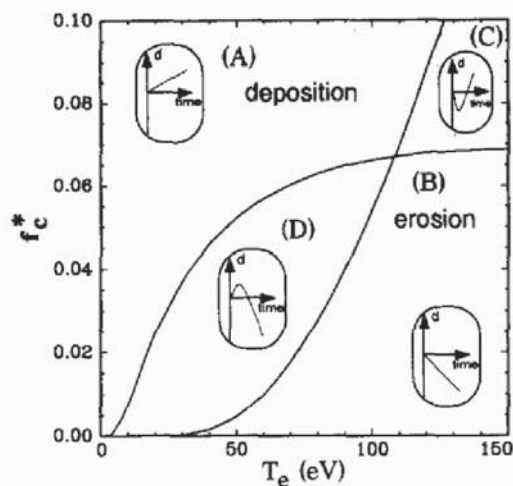
第Ⅲ-3図 スパッタリングした炭素とタンゲステンの磁界中のプラズマでの軌道<sup>8)</sup>

0 cm という、衝撃的なものであった<sup>9)</sup>。核融合炉内のプラズマ対向壁の損耗量を予測するには、単に壁原子が損耗するスパッタリングのような固体内での衝突過程のシミュレーションのみでは不十分で、前回までに議論された周辺プラズマの不純物輸送コードと連結する必要がある。

### (3) プラズマ壁相互作用でのモデル

核融合炉壁近傍のプラズマ中には、燃料である重水素や三重水素のイオン、核融合生成物であるヘリウムイオンのほか、壁材料(不純物)原子がイオン化されて存在する。不純物イオンは燃料イオンに比べてその密度ははるかに低いものの、イオンの価数が高くシースでの加速エネルギーが高いことや質量が大きいため、壁の損耗に大きな影響を及ぼす。TRIMと同様なモデルのEDDYコード<sup>10)</sup>では、水素同位体イオンと数種の不純物イオンをその存在比に応じて選択し、壁近傍のプラズマ温度とそれぞれのイオン種の平均電荷数を与える。イオンの速度分布をマクスウェル分布とし、それをシース電位で壁方向に加速して、壁表面を衝撃する。衝撃イオンの固体内での軌道が衝突の際に選ばれる乱数によって異なるため、入射イオンの選択から軌道計算までを繰り返して実行し、放出された粒子のエネルギーと角度をサンプリングする。このようにして、それらの分布とスパッタリング収量を得る。

壁材料原子が入射イオンである場合にはその一部が材料内部に溜まり(堆積)、正味の損耗量は損耗と堆積のバランスによって決まる。したがって、ITERダイバータのバップル板として使用されるタンゲステンに炭素材のダイバータ板(垂直ターゲット)から損耗された炭素が不純物イオンとして入射した場合、損耗量の評価は非常に複雑になる。プラズマ中の炭素イオンの割合とプラズマ温度によって、損耗から堆積へあるいは堆積から損耗へとプラズマ照射中に変化する場合がある。第III-4図はTRIMに不純物イオンの注入と衝突カスケードによる材料混合モデルを追加したTRIDYNコードの代表的な計算例である<sup>11)</sup>。プラズマ温度が比較的高く、プラズマ中の不純物炭素の割合も高いと、照射初期にタンゲステン表面が損耗され、後に炭素の堆積が支配的となる。逆に、プラズマ温度が低く、炭素割合が小さい場合は、まず炭素堆積が起こり、次第に損耗へと変化する。シミュレーションと実験との比較は同様なモデルを追加したEDDYコードでも行われ、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置LHDの黒鉛ダイバータ<sup>12)</sup>や、ドイツ・ユーリッヒ研究機構のトカマク装置TEXTORに挿入したタンゲステン試験片の表面分析結果<sup>13)</sup>を説明できる。壁材料の温度が高くなると、タンゲステン中の炭素の拡散や炭素堆積層の化学スパッタリングなど、シミュレーションモデルに導入すべき効果が増加し、評価は難しくなる。現在、ダイバータ条件を模擬した米国UCSDの



第III-4図 TRIDYNコードの計算例<sup>11)</sup>

不純物(炭素)イオンを含む重水素プラズマの照射によるタンゲステンの損耗と不純物堆積の変化を示す。プラズマ中の不純物の割合 $f_c$ (縦軸)とプラズマ電子温度 $T_e$ (横軸)によって、特徴的な変化(領域(A), (B), (C), (D))が起こる。

直線型プラズマ装置PISCES等で実験が精力的に進められており、これら効果を導入したシミュレーションモデルも検討されている。

### (4) 高熱流での損耗、特に炭素材

核融合炉、特にダイバータ領域のプラズマ・壁相互作用の特徴として、入射するプラズマ粒子束およびその熱流が極めて大きいことがある。ITERのダイバータ板に流入するプラズマ熱流は数10 MW/m<sup>2</sup>に達すると想定され、これは太陽表面に匹敵する(第I章第I-5図)。炭素繊維強化複合材(CFC)は耐熱性に富み、高強度、高弾性率および高熱伝導性を有し、さらに耐熱衝撃特性にも優れているので、ITERで最も熱・粒子負荷の大きい部分(垂直ターゲット)に使われる。しかし、数100°Cを越えると、炭素材に注入された水素が再放出するとき、水素分子や水素原子ではなく、炭素と結合してメタン等の炭化水素分子の放出が顕著になる。これは先に述べたスパッタリング(物理スパッタリングという)とは異なり化学スパッタリングと呼ばれて、さらに高温(1,000°C以上)での照射促進昇華などとともに、炭素材固有の損耗現象である。10<sup>24</sup>m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>にも及ぶ水素同位体プラズマ粒子束にさらされるITERでの炭素材の損耗機構として重要と考えられている。このような高粒子束照射では損耗率は減少する傾向があるが、化学スパッタリング率の粒子束依存性とその原因は分かっていない。

一方、発生した炭化水素分子は、壁材料原子と同様に、プラズマ中で電離し磁力線に沿って輸送される。厄介なのは、これが炉内のどこかに再付着して水素を多量に取り込んだ再堆積層をつくる(共堆積ということ)ことである。次節で詳しく述べる核融合炉壁のトリチウムの蓄積量の評価と関係する。このような炭素材の欠点から、炭素材



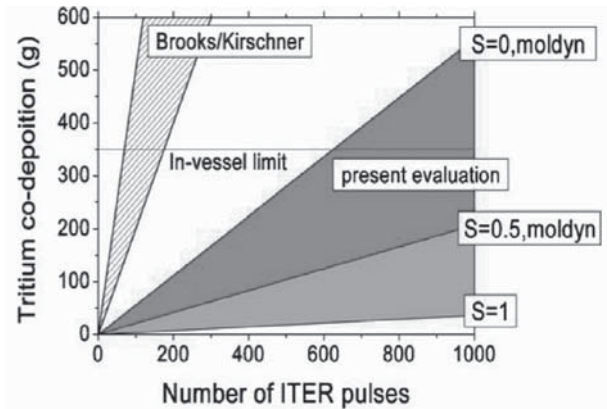
の使用を危ぶむ声が大きくなり、代わりにタングステンを使用することが検討されている。

化学スパッタリングは、TRIMなどで取り扱うようなフェムト秒のオーダーの衝突過程とは異なり、緩慢な熱的反応が支配する現象である。これについて、化学や物性物理学の分野で使われている分子動力学(MD)法の適用が進んでいる。MDシミュレーションには、古典的MDと第一原理MDとがある。前者は、原子間の相互作用ポテンシャルをあらかじめ粒子の種類や位置の関数として求めておいて各原子の運動に関するニュートン方程式を解くもので、後者は、各時間ステップごとにシュレディンガー方程式を解いて系の電子状態を決定し、原子間の相互作用をより正確に求めるものがある。現在のところ、計算時間のかかりすぎる第一原理MDより、古典的MDが化学スパッタリングのシミュレーションに使われている。しかし、原子間相互作用のモデルの良否が計算精度に大きく影響するため、ダイバータ内、さらに第一壁それぞれで異なった材料が使用されるITERのプラズマ・壁相互作用には、D、T、C、W、Beのような多元系の相互作用ポテンシャル関数を考える必要がある。Nordlundらは最近、炭化水素系のBrenner形関数を拡張してH-C-W系に対するポテンシャル関数を作成したが、その計算にtwo persons・year、つまり、二人で1年(あるいは一人で2年)の期間を要としたという<sup>14)</sup>。彼らは現在、Beも加えた系で関数を作成中である。

MDシミュレーションは、ITERの非接触ダイバータにおける低温(～1 eV)で高密度なプラズマと材料との相互作用を研究する有力な手段である。今後の計算機性能の向上をにらみながら、更なるコード開発とそれによる現象理解が期待される。

## 2. プラズマ化したトリチウムの対向壁への蓄積

炭素材料をプラズマ対向壁として使用している大型トカマク装置JET(欧州)やJT-60U(日本原子力研究開発機構)では、外側ダイバータ部が主として損耗し、損耗した炭素が内側ダイバータ部に再堆積している。再堆積層は多量の水素を含んでおり、特にJETでは再堆積層中の水素濃度が原子比((D+T)/C)で0.4にもなることが報告されている。第Ⅲ-5図はJETや2000年にシャットダウンした米国大型トカマク装置TFTRのデータを基に、ITERの放電回数とともにトリチウムが炉内に蓄積されていく予測シミュレーションの結果である<sup>15)</sup>。2年前の予測(図中のBrooks/Kirschner)ではわずか数十回の放電でトリチウム許容蓄積量を越えていたものが、最近の予測(present evaluation)では1,000回程度まで伸びている。JT-60Uの内側ダイバータ部の再堆積速度はJETの約半分、水素濃度ははるかに小さい((H+D)/C<0.05)。再堆積層がタイルとタイルの隙間やプラズ



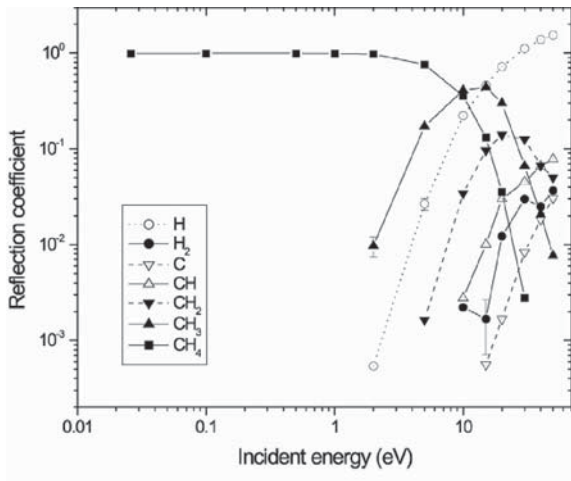
第Ⅲ-5図 ITERのトリチウム蓄積予測<sup>15)</sup>

マ照射による損耗がない場所に多いことから、ダイバータ部やタイルの幾何学的構造と壁の温度の違い(JT-60Uが高い)が原因と考えられている。

炭素材から損耗した炭化水素分子は、プラズマ中で電離されるとともに解離し、その形を変えながら輸送される。そのモデルには様々な形の炭化水素の原子分子過程(例えば、電子衝突による電離、解離、再結合/イオン衝突による電離)の生起確率または衝突断面積の詳しい情報が必要である。これらは周辺プラズマの流れに沿って内側ダイバータに運ばれて再堆積するか、内側ダイバータから少し離れたプラズマの当たらない場所に再堆積することがわかってきた。一方、外側ダイバータから反対方向にドーム領域を通る経路も考えられる。炭素不純物は一気に長距離を輸送されるのではなく、損耗と再堆積を繰り返しながら輸送されているようである。

再堆積層はその化学スパッタリング率が通常の炭素材料に比べてはるかに大きいといわれている。また、JETやJT-60Uにおける実験とシミュレーションの比較から、壁に再入射する炭素や炭化水素の大部分は壁表面で反射され、特に炭化水素分子の再付着率はほとんどゼロと考えられている。再付着率(=1-反射率)は入射粒子の種類、例えばラジカル種やそのエネルギーによって大きく変化するとともに、炭化水素が表面で解離しその形を変えてプラズマ中に戻る。さらに、これらが炉壁の各部の表面形状や表面状態によって異なる。核融合炉のトリチウム蓄積速度を予測するには、これら膨大な量の基礎データがシミュレーションのために必要であり、基礎実験にすべてを期待するにはあまりにも多過ぎる。

最近、Ruzicらは、炭化水素と表面との相互作用を古典的MDコードMOLDYNを用いて調べた<sup>16)</sup>。あらかじめ水素原子を照射し続けて水素濃度の高い表面層をつくっておき、それに0.1～100 eVのCH<sub>4</sub>をぶつけて水素原子と炭素原子を含むすべての反射粒子について反射率を計算した(第Ⅲ-6図参照)。シミュレーションモデルの基礎となる素過程データをさらにシミュレーションでつくることで、様々な条件でのシミュレーションが可能と

第III-6図 MOLDYN シミュレーション<sup>16)</sup>

なるかもしれない。実験データとのクロスチェックは欠かせないが、今後のプラズマ・壁相互作用研究の一つの方向を与えている。

### 3. 総合化への連携

炭素壁の損耗と再堆積の問題は、炭素が損耗する場所と速度、炭素の輸送、再堆積する場所と速度にとどまらず、再堆積層の剥離、あるいはトリチウムを含んだダストの発生へ発展し、これらもトリチウムの炉内蓄積と排出速度を予測する上で重要な問題と認識されている。このような評価を可能にするシミュレーションコードに関して、これまでプラズマ側と材料側から、個人ベースで、それぞれのコードを拡張する形で開発と現象理解が進められてきた。モデリングの手法や理論的取扱いなど、物性物理学、天文物理学等の他分野と共通するところもある。それらで先行的に得られている知見を学び、プラズマコード開発者と材料コード開発者が情報を共有し連携を強化することによって、現象を総合的に理解する必要がある。最近ようやくそのようなコミュニティーが作られ始め、国内で開発されたコードの複合化、総合化を目

的とした連携研究が始まった。

#### —参考文献—

- 1) M.A.Lieberman, A.J.Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, 2nd Edition, Wiley, New Jersey, (2005).
- 2) W.Eckstein, *Computer Simulation of Ion-Solid Interactions*, Chap.12, Springer, Berlin, (1991).
- 3) J.P.Biersack, W.Eckstein, *Appl. Phys.*, **A 34**, 73 (1984).
- 4) P.Sigmund, *Phys. Rev.*, **184**, 383 (1969).
- 5) N.Matsunami, Y.Yamamura, *et al.*, *At. Data Nucl. Data Tables*, **31**, 1 (1984).
- 6) H.F.Winters, P.Sigmund, *J. Appl. Phys.*, **45**, 4760 (1974).
- 7) A.Sagara, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **103&104**, 357 (1981).
- 8) 上田良夫, 大宅 薫, *プラズマ・核融合学会誌*, **72**, 983 (1996).
- 9) J.Brooks, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **128&129**, 400 (1984).
- 10) K.Ohya, *Phys. Scr.*, **T124**, 70 (2006).
- 11) D.Naujoks, W.Eckstein, *J. Nucl. Mater.*, **230**, 93 (1996).
- 12) A.Sagara, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **313-316**, 1 (2003).
- 13) K.Ohya, T.Tanabe, M.Rubel, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **329-333**, 732 (2004).
- 14) N.Juslin, *et al.*, *J Appl. Phys.*, **98**, 123520 (2005).
- 15) J. Roth, *et al.*, *J. Nucl. Mater.*, **337-339**, 970 (2005).
- 16) D.Alman, D.N.Ruzic, *J. Nucl. Mater.*, **313-316**, 182 (2003).

#### 著者紹介

大宅 薫(おおや・かおる)



徳島大学  
(専門分野/関心分野)核融合装置における  
プラズマ・壁相互作用, 粒子・固体相互作用  
の計算機シミュレーション

相良明男(さがら・あきお)

本誌, 50〔6〕, pp.383(2008)参照。

連載  
講座軽水炉プラント  
—その半世紀の進化のあゆみ第11回 日本の軽水炉開発(5)  
—PWRの改良標準化②

エンジニアリング開発(株) 脇 正鋭, 三菱重工業(株) 鈴木成光

## I. はじめに

米国からの技術導入でスタートしたわが国のPWRプラントが、国と電力会社の指導で進めた軽水炉改良標準化計画(以下“改良標準化”)によってトラブルを克服し、自主技術によって改善されていったことは、第9回講座で紹介したとおりである。

今回は、原子力発電プラントの設計・製作・建設・運転・保守などの幅広い技術の高度化ならびに経済性の向上について、原子力総合プラントメーカーの立場から紹介する。

## II. プラント設計の高度化

## 1. プラントの改良標準化設計

原子力発電プラントの開発と設計には多くの技術が必要とするが、原子力発電プラント全体を形づくるプラント設計技術は、原子力発電プラントの運転のしやすさや保守点検性はもちろんのこと、建設費の低減や建設工期の短縮なども決定づけるプラントの総合技術である。

*LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(11): Light Water Reactors Development in Japan⑤; Improvement Standardization Program for Light Water Reactors—PWR②: Masato WAKI, Shigemitsu SUZUKI.*

(2008年 5月22日 受理)

各回タイトル

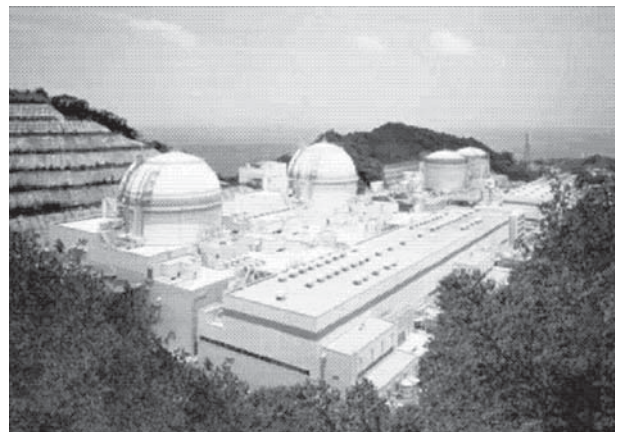
- 第1回 原子力発電前史
- 第2回 軽水型発電炉の誕生
- 第3回 日本の研究用原子炉の始まり
- 第4回 日本の原子力発電の始まり
- 第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR)  
— SHIPPING PORT から美浜1号機まで
- 第6回 軽水炉の改良研究(BWR)  
— ドレスデンから敦賀1号機まで
- 第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)
- 第8回 日本の軽水炉開発(2)—軽水炉の導入(BWR)
- 第9回 日本の軽水炉開発(3)—PWRの改良標準化①
- 第10回 日本の軽水炉開発(4)  
— 第1次改良標準化計画(BWR)

このプラント設計技術は、関西電力(株)美浜1号機における米国技術の導入の頃から始まった。三菱重工業(株)(以下“三菱重工”)は、輸入プラントの技術から自立し、機器の国産化を進めるために、プラント設計の先輩格である火力プラントや化学プラントの設計手法を応用した。また、据付・建設手法については船舶の建造技術を参考にし、飛来物による衝撃防護設計については防衛産業技術にも学んだ。このように幅広い自主技術の適用により、原子力のプラント設計技術を構築していくことができた。

プラント設計の基本となる「配置計画」は、プラント全体の発電所サイト内におけるプラント建屋や関連設備の配置構成、すなわちプロットプランと建屋の形状を決定する作業であり、プラントの建設費および運転・保守性に大きな影響を与える重要な作業である。

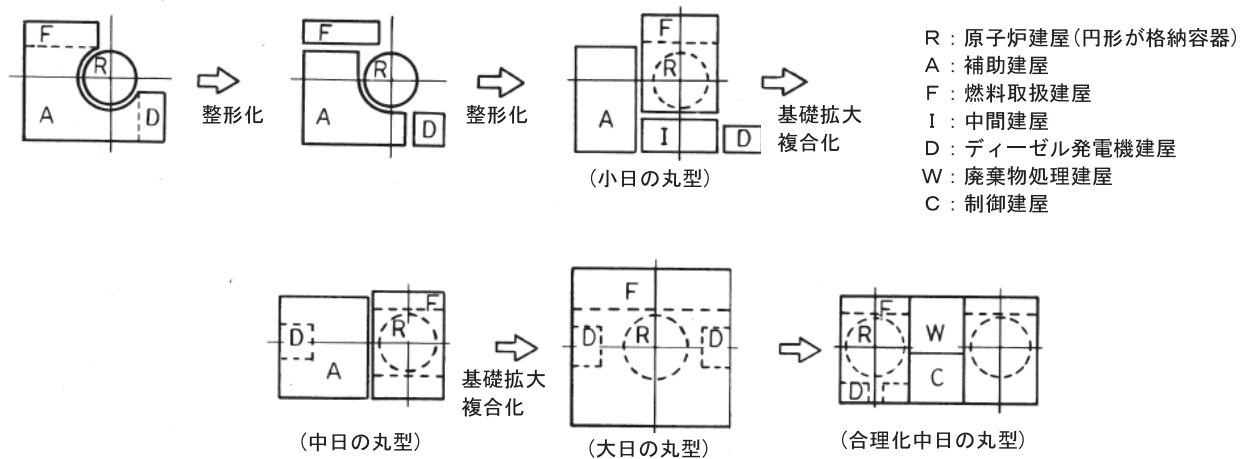
プロットプランは、原子力発電プラントと関連設備からの条件に加えて、地形、地質、水理などの条件から決められるため、電力会社側で計画するのが通例であるが、取放水設備、開閉所、道路、整地、港湾計画に至る広範囲にわたり、メーカー側の計画と提案が必要が多い。

原子炉建屋形状とその構成については、耐震性が要求されるため、高震度の設計条件ほど基礎を拡大し、また、



第1図 PWR改良標準化プラント  
(関西電力大飯発電所)





第2図 PWR 建屋形状の変遷

整形化の方が有利である。このために、建屋体積が増大しないように各設計条件にあわせて最適な案を用意し、また各案について合理的な耐震設計手法とあわせて、できる限りの配置の合理化を図る必要がある(第2図)。

原子炉建屋の配置計画は、電力会社のさまざまな意向とサイト条件に対応する作業であることから、それぞれのプラントでの最適設計を重視してきたが、主要部分から順次標準化も行ってきた。

原子炉建屋の体積はプラントの経済性の重要な指標であるが、1978年ごろまでは漸増してきた。この増加は種々の要因によるが、建屋耐震設計基準や火災防護基準の強化の反映、通路、保守スペースなどの増強などによる。しかし、それ以降は建設費低減も加味しながら、三菱重工は原子炉建屋体積の低減にその技術力を発揮している。

また、配置計画の中心となる原子炉格納容器(CV)は、耐圧容器としての機能とともに原子炉建屋を構成する主要な安全設備であり、大型構造物であることから、プラントを特徴づける顔ともなっている。国内PWRのCV型式は、2ループ、3ループはすべて鋼製円筒型であるが、改良標準化適用の初号機である川内1号機において、保守性の改善によりCVの内径を拡大し、それを標準として決定した(後述)。続く高浜3、4号機ではCVに厚肉鋼材を適用し、耐震設計などの点でCV形状選定の自由度をさらに増すことが可能となった。

三菱重工では、欧米で実績のあるプレストレストコンクリート製格納容器(PCCV)の設計技術を導入するため、鋼製CVの設計・建設と並行して、建築会社の協力を得て1976年ごろからその試設計を始めた。4ループ用CVでは鋼製円筒型とすると高さが非常に高くなって耐震性の面で不利となるため、日本原子力発電(株)敦賀2号機で初めてPCCVが採用された。

PCCVは改良標準化の成果の一つとして、敦賀2号機

に続く4ループプラントである大飯3、4号機、玄海3、4号機でも採用された。

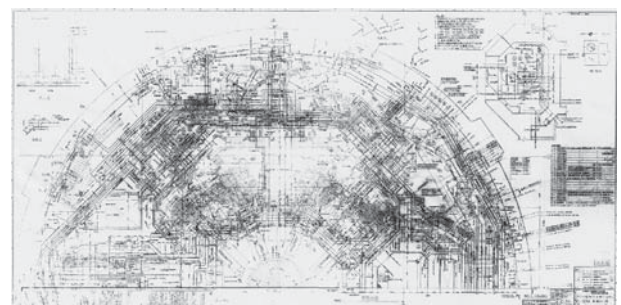
## 2. プラント設計手法の発展

改良標準化を進める段階で、プラントエンジニアリングの手法にも大きな進歩が見られた。

原子力発電プラントは他産業の製品と違って、安全設計や放射線に対する設計など、設計基準も厳しい上に、構成する設備の物量が膨大である。初期のPWRでは、機器配置や配管図など、すべてのプラント設計図面を手書きの製図(コンポジット図)により設計していた(第3図)。手書き図面とはいえ、そこに含まれる設計情報は膨大で、別の技術者が同じように理解するには熟達した専門技術が必要であった。

米国では新規プラントの発注が途絶えたこともあって技術者不足があり、それを補い、幅広い関連技術者の参画によって設計品質を確実なものとするために、設計検証を重視したプラスチックモデルによる設計手法が導入されていた。このプラスチックモデルは、設計結果を3次元的に容易に把握でき、しかも多くの関係者による検証や確認がしやすく、必要な設計変更も的確にできるメリットがあった。

三菱重工でもその手法を参考にして設計検証用に利用した。改良標準化の目標である信頼性向上、定期検査の



第3図 コンポジット図の例(CV内)



第4図 プラスチックモデルの例(CV内)

効率化と被ばく低減，作業性の向上に関する検討作業のため，川内1号機のプラント設計に始めてプラスチックモデルを利用した。

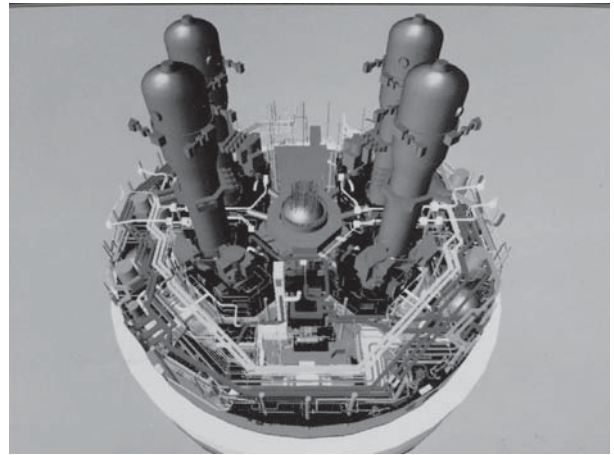
まず，縮尺1/10のCV内の蒸気発生器(SG)室内部分のプラスチックモデルを製作し，この部分について，保守用通路，足場，入口の見直しなど多数の改良を行った(第4図)。これにより2ループプラントから4ループプラントまで共通のSG室内標準配置のベースを作ることができた。

この方法から，さらにプラント設計の最初からプラスチックモデルを使って行う「モデルエンジニアリング」手法に発展させた。

プラスチックモデルを使ってみると，それまで2次元図面では十分できなかった運転スペース，通路，補修スペース，機材仮置きスペースなどの検証がしやすくなる。これにより，運転性のチェックと保守性の徹底検証ができた。必要あればプラント設計者は関係者と協議して設計変更を的確に行い質の向上を図ることもできる。電力会社側もエンジニアリングモデル上での検討を重視するようになり，関西電力(大飯3,4号機)のモデルエンジニアリングでは，建設，運転，保守の各部門から延べ360名が参加して，現地工事の不具合の大幅減少，運転および保守性の大幅な向上を図ることができた。

1980年代半ばからは，コンピュータグラフィックスを利用した3D-CAD(3次元CAD)の導入が始まった。この3D-CADの技術は他の産業ではすでに使われ始めていたため，三菱重工も電算機メーカーの意見を聞きながら原子力のプラント設計での応用を始めた。

3D-CADでは，設計結果に基づいて実プラント内を3次元的に視覚化できるという意味でプラスチックモデルに共通した要素があるが，コンピュータによるデジタル設計の特徴を活かして，設計データからその物量把握，製造，材料手配，建設工程管理までを同一データの利用により行うことができ，また，ヒューマンエラーの防止にも大いに役立つ。さらに，設計の初期段階でそのデータにより必要な解析評価作業を行うことで，設計概



第5図 3次元CAD図の例

念を早期に補強することもできるということから，革新的なエンジニアリング手法として発展していった(第5図)。

モデルエンジニアリングの手法が大いに活用されつつ，設計データの電算化も並行して行われたのは，伊方3号機などからである。そして，モデルエンジニアリングに代わって実質的に3D-CADが使われ始めたのは玄海4号機からである。

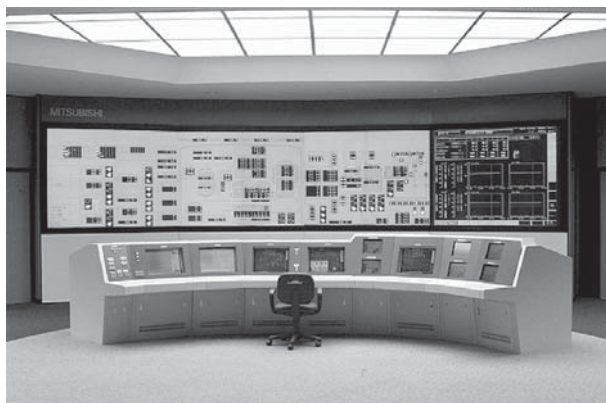
### Ⅲ. 計測制御設備の高度化

中央制御盤は，発電所の運転に必要な監視・操作装置を集中配置した，重要なマンマシンインターフェイス設備である。米国スリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所2号機の事故以来，その改良強化が特に重視されるようになった。中央制御盤の改良，新型中央制御盤の開発にあたっては，人間工学を考慮した設計を行うことによって運転員の操作性の向上を図ることに重点を置いた。また，進歩が目覚ましいコンピュータ技術を利用し，情報処理や表示技術を積極的に採用するとともに，そのつど，模擬盤やプロトタイプ盤を製作し，電力会社の運転員による検証を受けて実機に適用した(第6図)。

現在建設中の泊3号機の中央制御盤は，コンソールタイプのコンパクトな盤で，すべての監視・操作をディスプレイのタッチ操作で実現した。運転支援機能も充実し，運転員の操作性の向上を図っている。また，従来盤に比べて運転員の負担は約30%減少し，ヒューマンエラーは約50%減少する見通しを得ている。

計測制御装置もコンピュータ技術や光通信技術の進歩を採り入れて設計改良を行ってきた。従来の計測制御装置はアナログ式であったが，マイクロコンピュータを利用したデジタル式に順次移行した。1980年代より廃棄物処理設備などの周辺装置の計測装置からデジタル化し，段階的にデジタル化の適用範囲を拡大した。大飯3,4号機，玄海3,4号機では常用系の計測制御系にデジタ





第6図 最新の中央制御盤(泊3号機プロトタイプ盤)

ル式を全面適用した。最新のプラントではソフトウェアの検証を実施して、信頼性を確保したうえで、安全保護系も含めて制御・保護系のすべてをデジタル化し、中央制御盤も含めた総合デジタルシステムを採用している。信頼性の高いデジタル設備の採用により、信頼性の向上が図れるだけでなく、自己診断機能により保守性の容易化と簡素化も図ることができる。

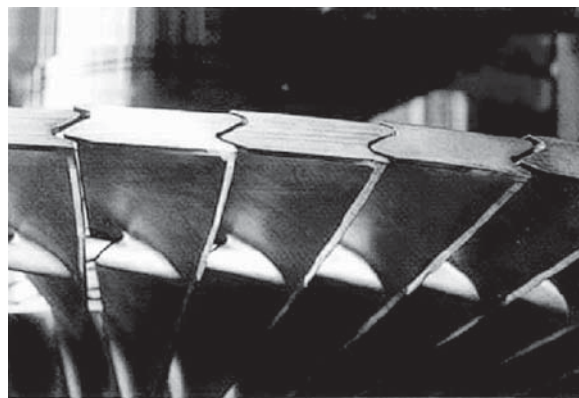
#### Ⅳ. タービンプラントの信頼性向上と高効率化

米国でのトラブルに端を発した低圧タービンロータの円板焼ばめ部の応力腐食割れ対策として、改良標準化では一体型の低圧タービンロータを採用して信頼性を向上させた。従来型の素材のインゴットは100トンの重量になるが、一体型にした場合の素材のインゴット重量は、この3～5倍にも達する。このような大型素材インゴットの使用が可能になった背景には、素材メーカーにおける製錬鍛造技術の向上によることところが大きい。

また、近年はタービンの翼とシュラウドを一体化し、回転時に隣接翼と接触して外周部が噛み合い繋がる構造とすることで、振動応力の低減を図ったISB(Integral Shroud Blade)翼を適用し、信頼性の向上を図っている。

タービン設備では、蒸気熱エネルギーを効率よく回転エネルギーに変換できるようにするため、低圧タービン翼の長翼化と翼形状の改良を行ってきた。最近では低圧タービン最終翼が54インチの長翼で、3次元流れを考慮した設計による低圧タービンを開発して高効率化を図っている。開発した翼は実負荷試験装置による試験を行い、翼の性能、信頼性を確認している(第7図)。

復水器も改良標準化の段階で改良が行われた。発電所サイトによっては海岸の漂砂による復水器冷却管のエロージョン問題が懸念されていた。この問題に対する抜本的な対策として、銅系管に替わり冷却管をすべてチタン製にした全チタン管復水器が採用された。川内1,2号機では、耐食性、機械的強度、溶接性、熱貫流率など



第7図 低圧タービンISB部

に関するチタン管固有の特性を考慮して、薄肉溶接管チタン管を採用し、チタン管板にシール溶接することによる信頼性の向上を図った。また、チタン管には海生物の付着しやすい欠点を補うために、スポンジボールによる洗浄装置を設置している。

#### Ⅴ. 定期検査期間の短縮、被ばく低減

改良標準化の目標であり、成果の一つである定期検査と保守時の作業性改善による作業時間の短縮は、稼働率向上にもつながるため重要である。代表的な改良の一つに原子炉容器蓋と上部構造物の一体化がある。PWRプラントにおいては原子炉容器蓋の着脱に要する時間が、定期検査の中で無視できない長さであった。改良標準化以前の原子炉容器蓋の開放・復旧作業は、付属のケーブル、ケーブルトレイ、制御棒駆動装置冷却ダクトなどを個別に取付け、取外しを行っており、定期検査工程のクリティカルパスになっていた。改良標準化では撤去と復旧に要する付属物を極力まとめて行える構造とした。原子炉容器蓋一体化により、原子炉容器蓋の開放・復旧作業時間の短縮、および従業員の被ばく量の低減を図ることができた。また、原子炉容器の胴部を一体鍛造製作することにより、溶接線を減少させ信頼性の向上を図るとともに、供用期間中の溶接線検査の低減を図ることで、作業時間短縮につなげることができた。

定期検査短縮のためのさまざまな取組みの積み重ねにより、改良標準化が終了した1980年代後半には、定期検査を60日以内で行うプラントが増え、さらに電力会社独自の取組みにより40日以下で定期検査を行うプラントも出てきた。

PWRプラントの従業員被ばくは、その大部分が定期検査中の被ばくである。特に補修、改造工事を行った場合は被ばく量も増える。対策として、被ばく対象物の線源強度を減らすことが重要で、低コバルト材の採用などによる材料の改良、水質改善、クラッド除去対策などを行った。検査および補修工具の改良も重要であり、遮へ



いの強化、燃料取替装置の改良や、自動化装置、ロボットの開発・改良も行うことで、作業員被ばく線量を大幅に低減することができた。

ロボットの開発・改良の代表例としては、インテリジェント渦電流探傷と自動 UT(Ultrasonic Test)装置の開発・改良が挙げられる。

インテリジェント渦電流探傷は SG 伝熱管の健全性確認検査を行うもので、検出コイルを薄膜にし多数設置することで、プローブの回転を不要として探傷速度を大幅に向上させ、検査期間を低減させることができた。

UT 装置は、原子炉容器の健全性を確認するために、供用期間中検査として、原子炉内の構造物を取り出し、原子炉容器内面から超音波探傷検査を実施するものである。原子炉容器は放射化しており、従来は、高さ 10 m にも及ぶ原子炉容器に、大型の遠隔探傷装置を垂直に立てて使用していたが、組立、ハンドリング、解体作業は供用期間中検査工程の長期化の一因になっていた。

開発した自動 UT 装置は、原子炉容器内を移動する小型の探傷ロボットで、原子炉容器の内面に取付き、自分自身で位置を認識しながら自動で原子炉容器内面の検査を可能にした。さらに、探傷時間を短縮し、探傷できない範囲の低減を図るために、複数の圧電端子を用いて改良したフェーズドアレイ UT を開発した(第 8 図)。

## Ⅵ. 建設工法の合理化と工期の短縮

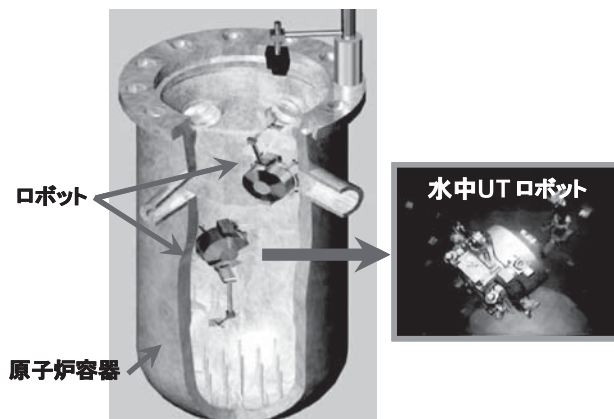
川内 1 号機では次の観点で工法を改良し、工期の短縮を図った。

- ・機械工事と土木建築工事との並行作業範囲の拡大
- ・機器の工場製作範囲の拡大による現地作業の削減
- ・建設機械および仮設備の改良による現地工事の効率化

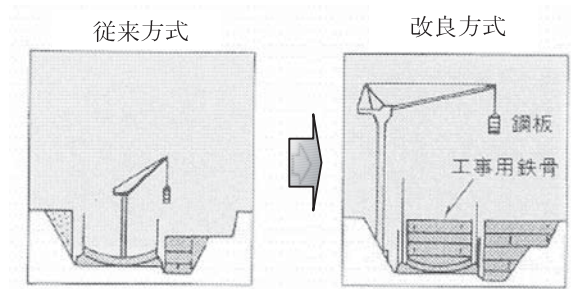
代表的な事例としては次のようなものがある。

### (1) 格納容器(CV)の建設工法の改良

CV の建設工法の改良としては、CV 建設用クレーンを大型化し、CV 鋼板ブロックの大型化を可能にすると



第 8 図 自動 UT 装置の原子炉容器への適用



最新の格納容器頂部一体吊り込み方式



第 9 図 CV の建設工法の改良

ともに、クレーン据付位置を変更し、クレーンの据付解体作業をクリティカルパスから外した。このクレーン据付位置の変更は玄海 2 号機から採用している。改良標準化の経験を積み重ねて、現在建設中の泊 3 号機では、直径約 40 m の格納容器頂部全体(約 500 トン)を大容量クレーンで吊り上げ、格納容器円筒部に据え付ける工法を採用し、CV 建設工期を短縮できた(第 9 図)。

### (2) 機器・建築一体化建設工法の採用

CV 内では内部鉄骨の採用により、CV 内機器の据付工事とコンクリート工事の並行作業を可能にした。

CV 周辺のその他の建屋では、躯体先行鉄骨を建屋工事の開始前にトラック構台用として早期に据え付け、搬入機器の荷捌きの輻輳作業をなくした。その後、それを基本骨組にデッキプレート工法を採用し、床コンクリート打設用木製型枠を廃止して、先入れ機器の据付とコンクリート工事を並行して行う建設工法の採用などによって大幅に建設工程を短縮した。

これにより、機器とともに配管・弁なども区画ごとに工場であらかじめ製作したユニット(複合装置)として先入れすることができ、搬入用仮開口も大幅に少なくして、工期の短縮と品質の向上に寄与することができた。

## Ⅶ. おわりに

今回の講座では、原子力発電プラントの改良標準化へのメーカーの幅広い取組みについて紹介した。

米国から導入した PWR 技術は、電力会社、国、メーカーが一体となった改良標準化の取組みを通じて、安全性、信頼性、運転保守性、経済性の観点から、飛躍的な改善や進展をもたらした。プラントの高い信頼性や高品質で短納期のプラント建設などは、世界的に誇れる水準であり、米国 PWR 技術を、日本流の木目細かい改善、

工夫の積み重ねで、世界にも通用する日本型 PWR 技術に育て上げることができたといえる。

次々回は、こうした日本型 PWR 技術の集大成であり、日本が開発の主体となった改良型 PWR (APWR) について紹介する。

—参考文献—

- 1) 軽水炉改良標準化計画・総合資料集, 通産省・原子力発電課監修, (1985).
- 2) 三菱重工技報, 32〔3〕, (1995).
- 3) 三菱重工技報, 35〔4〕, (1998).
- 4) 三菱重工技報, 40〔1〕, (2003).
- 5) 荻野周雄, “三菱の原子力開発への取組み”, 原子力 eye, 2000年7月号.

- 6) mapi 技術30年の歩み, (1989).
- 7) 九州電力40年史(1951-1991), (1991).
- 8) 九州電力50年史 最近10年のあゆみ, (2001).

著者紹介

脇 正鋭(わき・まさと)



エンジニアリング開発㈱, 元三菱重工工業㈱ (専門分野/関心分野)原子力プラント設計, 配置・配管設計

鈴木成光(すずき・しげみつ)

本誌, 50〔4〕, pp.246(2008)参照。

## From Editors 編集委員会からのお知らせ

○英文論文誌は創刊号(1964年)から最新号まで J-Stage にて全文無料公開中です



<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/jnst/>

—最近の編集委員会の話題より—

(7月4日 第1回編集委員会・幹事会)

- ・出席者委員58名
- ・2008年度編集委員長に堀池理事(阪大), 副委員長に森山理事(京大)を選出した。また, 学会誌・論文誌両編集長には本年度も引き続きお願いすることとした。

【論文誌関係】

- ・今後の活動方針について矢野編集長より説明があった。
- ・二重投稿の判断について説明があり, 論文投稿にあたっては, 著作権法を遵守し, 著作権の侵害にならないように注意すること, 投稿論文は他の学術刊行物に公表(準備中も含む)されていないものであること, それには配布が限定されていないインターネットより入手できる刊行物も含まれることを確認した。

- ・論文誌投稿・査読システムの進捗状況について, デモ画面により説明があった。

【学会誌関係】

- ・これまでの活動報告と今後の方針について, 近藤編集長より説明があった。
- ・岡会長の構想により, 学会誌は「原子力分野の代表的雑誌」を目指した編集方針とすることを確認した。
- ・予算管理のため, 編集委員会所掌頁や会報等学会関連記事の頁数管理を徹底する。そのために, 著者が頁数を見積もれるような原稿作成用テンプレートを作成し, ホームページに掲載した。
- ・原子力学会創立50周年記念号(2009年4月予定)と通常号に掲載する記念記事について進捗状況の説明があった。理事会50周年WGと協力して進める。
- ・学会誌の広告確保に苦勞しているのので, 編集理事, 編集委員に一層の努力をお願いするとともに, 電力等会員各社からの広告出稿を重ねてお願いすることとした。

編集委員会連絡先 [hensyu@aesj.or.jp](mailto:hensyu@aesj.or.jp)

# 談話室

## 戦時下における京都帝国大学 荒勝文策教授の 原子力研究

京都大学原子炉実験所 代谷 誠治

昨年夏、「京都帝国大学」と印刷された用紙3枚に「July, 1945」, 「荒勝先生ノメモ」と記された文末に示すような手書き資料の写し(書き直したものを次ページに示す)を拝見しました。その資料は、旧日本原子力研究所OBの吉川秀夫氏が京都大学の清水榮名誉教授を通じて入手されたものとの説明を、ある編集委員からお伺いし、清水教授の威勢の良いペランメエ調の講義を京都で受けたことがあると小生が口を滑らせてしまったために、この記事を書くことになった次第です。

この荒勝先生とは、京都帝国大学理学部の荒勝文策教授のことで、理化学研究所の仁科芳雄博士、大阪帝国大学の菊池正士教授と並び称される原子核物理学者です。同教授は、台北帝国大学教授であった1933年に、アジアで初めてコッククロフトウォルトン型加速器を製作して原子核変換の実験を成功させ、1939年には、ウランの核分裂によって生じる中性子の数を測定して2.6とほぼ正確な値を得ています。

1941年に同教授と仁科博士は時を同じくして軍隊から原子爆弾の開発を依頼され、「海軍-京大」の「F研究」、 「陸軍-理研」の「二号研究」が行われることになりました。小国で2つの原爆研究が独立・並行して行われていたことに驚きを覚えます。また、ウラン濃縮法として「F研究」では遠心分離法が、「二号研究」では熱拡散法が考えられていたことは、現状に照らして興味深いものがあります。

ここで、改めてメモの中身を見てみましょう。

メモには臨界に関することが書かれています。原子力に関する知識をお持ちで、原子炉物理学を学ばれた方なら、「 $U_3O_8$ 」の「水」溶液を対象とし、しかも「熱中性子」を考えていることから、原爆ではなく、軽水減速型原子炉(軽水炉)の研究をしていたのではないかと推察されることでしょうか。当時、仁科博士も荒勝教授とほぼ同様な考えを持っていました。これについては、以前、仁科博士のご子息である名古屋大学の仁科浩二郎名誉教授から「父は軽水炉のようなものが原爆になると考えていたようだ」との話を聞いたことがあります。現在の知見に照らせば、戦争中、日本では原爆研究とは質の異なる軽

水炉の研究が行われていたということが出来ます。

また、「 $^{235}U$ 」の濃縮度が「10%」のとき、「 $U_3O_8$ 」が「20 kg」との記述が見られます。臨界量が正確に求められているか否かはさておき、研究用原子炉(研究炉)に詳しい方なら、現在、米国とIAEA主導の下で試験・研究炉用ウラン燃料の濃縮度低減化(RERTR)プログラム<sup>1)</sup>が進められ、ウラン濃縮度を20%以下にしようとしていることをご存知だと思います。これは、 $^{235}U$ の濃縮度が20%以下であれば、核兵器に転用されるおそれがないとの科学的判断に基づくものです。このことから、戦争中の京大における研究が続いていたとしても、その延長線上では原爆の完成に至らなかったものと推測されます。

さて、米国物理協会の物理史センター長が、第2次世界大戦中に各国で秘密裡かつ独自に導出された臨界に関する理論について、原子炉の「臨界条件」を示す4因子公式 $k_{\infty} = \epsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta$ <sup>2)</sup>との比較を行った興味深い論文を発表し<sup>3)</sup>、メモ中の「第一関門式」が取り上げています。そして、「荒勝教授は熱中性子と速中性子を区別しておらず、式は未だに不完全なものであるが、共鳴吸収の項を含んでいるようにも見え、かなり4因子公式に近いものになっている」と述べています。これについては小生も同感ですが、なぜ同教授が自ら求めた $v = 2.6$ という値ではなく、 $v = 2.5$ を用いたのだろうかという疑問を抱いている次第です。なお、この論文にも「日本人は非常に小型で超臨界超過の原子炉のようなものが原子爆弾になる」と考えていたようだとの記述が見られます。

このメモが作成された翌月の8月、広島に「新型爆弾」が投下されたと大本営が発表しました。陸軍京都師団から要請を受けた荒勝教授は京大理学部物理学教室の調査団を組織し、8月10日に広島に到着して調査を行いました。そして、試料として採取し、京大に持ち帰った土壌からの強い放射能を観測して、被害が原子爆弾によるものであるという報告を終戦の8月15日に海軍に提出しています。驚くべきことに、この中には「核分裂ヲオコセル『ウラニウム』ハ約1kg」との分析結果が含まれており、ほぼ正確に実態を突き止めていたようです。このことから、原爆研究はさておき、核分裂の連鎖反応に関す



今 水1000 cc 中ニ  $U_3O_8$  mg ヲ混シタルモノガアルトキ, 單位体積中, 原子数, 夫々

$$n_U = \frac{3 mL}{842} \left/ 1000 + \frac{m}{9} \right., \quad n_O = \frac{111 L}{1000 + \frac{m}{9}}$$

$$n_o = \frac{8}{3} n_U + \frac{1}{2} n_H$$

コレニ thermal neutron ガ1個入ルトキ fission ニヨリ新生スル neutron ガ吸収ニヨリ消滅スルモノヨリ多イコトガ必要條件デアル

$$\therefore n_U \{ \sigma_U^{fiss\theta} (v-1) - \sigma_U^{res\theta} \} - n_H \sigma_H^{ab\theta} \geq 0$$

$\theta$  : thermal neutron ヲ示ス.

即チ  $\frac{3m}{842} \{ \sigma_U^{fiss\theta} (v-1) - \sigma_U^{res\theta} \} - 111 \sigma_H^{ab\theta} = 0$

ヨリ必要ナル  $m$  ガ決定スル.

次ニカカル割合ノ  $U_3O_8$  水溶液ノ半径  $R$  ノ球ヲ考ヘルト中心ヨリ  $r$  ノ距離ノ neutron density  $F(r, t)$  ハ

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\lambda}{3} \Delta (F, \bar{v}) + \left\{ \begin{array}{l} (v-1) \sigma_U^{fiss} - n_O \sigma_O^{ab} \\ + n_H \sigma_H^{ab} \left\{ v \times 0.85 \frac{n_U \sigma_U^{fiss\theta}}{n_U \sigma_U^{fiss\theta} + n_O \sigma_O^{ab\theta}} - 1 \right\} \end{array} \right\}$$

但シ  $\bar{v}$  = fast neutron mean vel.

$\lambda$  = fast neutron mean free path

$$= \frac{1}{n_U \sigma_U^{scatt} + n_O \sigma_O^{scatt} + n_H \sigma_H^{scatt}}$$

之ヲ解イテ,  $\frac{\partial F}{\partial t} \geq 0$  ナルタメニハ

$$R \geq \pi/a$$

ナル結果ヲ得ル.

$$\text{但シ } a^2 = \frac{\lambda}{3} \left\{ \begin{array}{l} (v-1) n_U \sigma_U^{fiss} - n_O \sigma_O^{ab} \\ + n_H \sigma_H^{ab} \left\{ v \times 0.85 \frac{n_U \sigma_U^{fiss\theta}}{n_U \sigma_U^{fiss\theta} + n_O \sigma_O^{ab\theta}} - 1 \right\} \end{array} \right\}$$

故ニ連鎖反応ヲ起ス極小半径  $R_c$  ハ

$$R_c = \frac{\pi}{a} \text{ デアル.}$$

コレヨリ  $U_3O_8$  ノ極小質量  $M$  kg ハ

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \frac{m}{1000 + \frac{m}{9}} \times 10^{-3}$$

$U^{235}$  ノ percentage ガ増ストキハ

$U^{235}$  ノミガ fission ヲ起シ,  $U^{238}$  ノミガ共鳴吸収ヲナスト考ヘ

$$\sigma_{U,p}^{fiss\theta} = \sigma_U^{fiss\theta} \times \sqrt{\frac{300}{T}} \times \frac{p}{0.7}$$

$$\sigma_{U,p}^{fiss\theta} = \sigma_U^{fiss\theta} \times \frac{0.7}{p} \quad p : \text{percentage}$$

トスル

計算ニ用ヒタル各断面面積次ノ如シ

$\sigma_U^{fiss}$	$= 0.1 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Anderson 等
$\sigma_O^{ab}$	$= 0.01 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Ladenburg
$\sigma_H^{ab}$	$= 1 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Fleithmann
$\sigma_U^{fiss\theta}$	$= 2 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Anderson
$\sigma_O^{ab\theta}$	$= 0.1 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Ladenburg
$\sigma_U^{res\theta}$	$= 1.3 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	von Halban
$\sigma_U^{scatt}$	$= 6 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	
$\sigma_O^{scatt}$	$= 0.6 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Ladenburg
$\sigma_H^{scatt}$	$= 2 \times 10^{-24} \text{cm}^2$	Ladenburg

平衡温度 1000°C

$v = 2.5$  ノトキ  $U_3O_8$  1.2 ton

235 10%  $U_3O_8$  20 kg

第一関門式

$$\frac{n_U v \sigma^{f-\theta}}{n_U (\sigma^{f-\theta} + \sigma^{res\theta}) + \sigma_H^{ab\theta} n_H} \geq 1$$

る研究のレベルは極めて高かったことがうかがわれます。

京大の原爆調査には余話があります。荒勝教授の調査団は広島から引き上げましたが、8月末の中国軍管区指令軍医部からの要請に基づき、理学部と医学部を中心とする京大原子爆弾災害総合調査班が大野浦陸軍病院に本拠を構えて被爆患者の診療に当たるとともに調査を行うことになりました。ところが、不幸にも9月17日に枕崎台風による土石流の直撃を受け、調査班11名を含め、被爆者、病院職員の計150名もの犠牲者を出し、その活動を停止せざるを得なくなりました。大野町には1970年に記念碑が建立されています。なお、この調査団には医学部の杉山繁輝教授らと共に、荒勝研究室に所属していた前出の清水教授(当時、講師)、初代京大原子炉実験所長となられた木村毅一助教授(当時)が加わっていました。なお、原子炉実験所には何人かの荒勝研究室出身者が在

籍(全員、定年退官)していました。

さて、荒勝教授は戦争中も京都市左京区蹴上にあったサイクロトロン加速器を用いて原子核研究を続けていましたが、終戦後、理化学研究所と大阪帝国大学のサイクロトロンとともに上記加速器も解体され、琵琶湖に投棄されたとの話をお聞きになった方も多いと思います。これによって戦後日本の原子核物理学の実験的研究は大きく立ち遅れることになりました。なお、同教授は京大を退官後、甲南大学の初代学長となり、湯川秀樹博士がノーベル物理学賞を日本人として始めて受賞されたことを記念して京都大学基礎物理学研究所が設立された際、その中心の一人として尽力されました。

3人の原子核物理学者のうち、仁科博士に関しては「仁科芳雄往復書簡集I~III」<sup>4)</sup>を始め、いくつかの書籍が刊行され、菊池教授に関しても多くの著作が知られていますが、荒勝文策教授に関する書物は極めて少ないという

状況にあります。これについては、京大に身を置く者としては一抔の寂しさを覚える次第です。

(2008年 5月7日記)

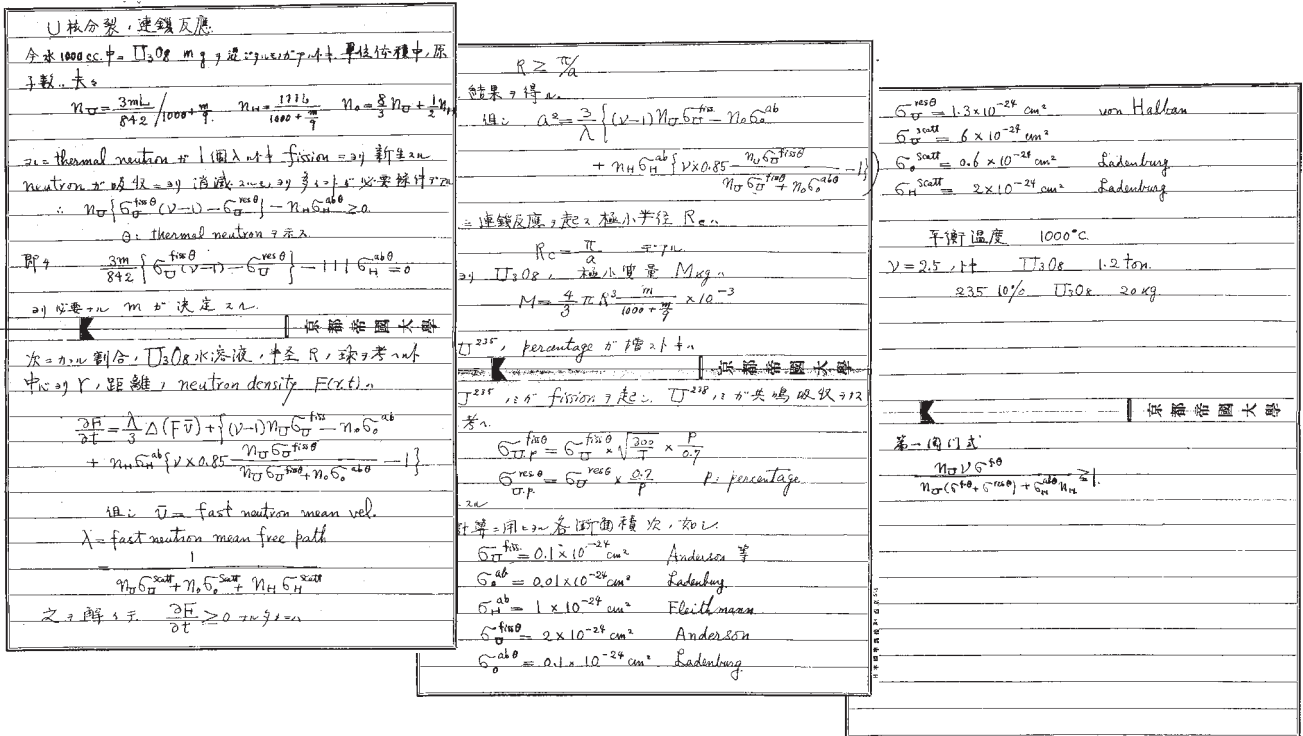
—参考文献—

1) 鈴木達治郎, 日本原子力学会誌, 49[6], 402-409,

(2007).  
2) 原子力ハンドブック, II編, 2章, オーム社, (2007).

3) Spencer Weart, "Secrecy, simultaneous discovery, and the theory of nuclear reactors", *Am. J. Phys.*, 45[11], 1049-1060, (1977).

4) 仁科芳雄往復書簡集 I~III, みすず書房, (2006~2007).



原子力学会創立50周年にあたって

日本原子力学会は1959年(昭和34年)2月に創立され、同年から学会誌が創刊されました。初代会長は茅誠司先生でした。平成21年で学会誌は満50歳を迎えます。これを記念して平成21年4月号を50周年記念号とすることになりました。これとは別に、「通常号記念企画」として本年8月号から記念記事を掲載していきます。2つの企画は、「これまでの原子力、これからの原子力」という標語のもと、原子力の道程をふりかえり将来を考えることをテーマとして、以下のような構成を予定しています。

1. 50周年記念号(2009年4月号)

- ・ 記念巻頭言/祝辞・挨拶
- ・ 学会活動の概説
- ・ 時事関係：原子力世論/マスコミ報道
- ・ 技術関係：次世代軽水炉の展開/次世代炉研究開発と核燃料サイクル
- ・ 部会活動(16部会)/連絡会活動(5連絡会)
- ・ 学会データ

これからの原子力」を半ページで語る

- ・ ヤング・フリートーク
- ・ アクティブ・フリートーク
- ・ シニアの自論：10名が半ページで語る原子力
- ・ 関連分野の技術：放射線利用/海上技術/宇宙開発
- ・ 談話室

2. 通常号企画

(08年8月号~09年4月号に適宜掲載)

- ・ 創刊以降数年の巻頭言：3篇
- ・ タイム・カプセル(16篇)：「これまでの原子力、

3. 募集記事

6月号 p.55でお知らせした募集記事です。審査を経て、適宜通常号に掲載、あるいは来年4月号添付のCDに収載されます。

# さまざまな人が、いろいろな視点から語ります ■ ■ Diversity Relay Essay

## エンジニアの指輪

### 契

先日、参加した国際会議で、ひょんなことからカナダ人学生から指輪をもらった。カナダの大学で工学系を卒業するともらえる指輪で、利き手の小指にはめる。その昔、橋が崩壊して大勢の人が亡くなったという事故以来、エンジニアとしての社会に対する“responsibility”を心に留めておくために始まった習慣だという。

私は普段、あまり物に意味を持たせることはしないが、その学生と話していて、なぜかその時自分もこの指輪が欲しいなあと考えた。と同時に、すてきな習慣だと思い絶賛していたら、“I give it to you”と、あっさりともらってしまった。

エンジニアに限らず、自分の仕事と社会との関係は、わかっていても日々の慌しさに追われてつい忘れてしまうものではないかと思う。自然科学系の学問は、人々の生活を豊かにし未来に向けて大きな期待を寄せられており、同時に、危険にもさらす可能性を持つ。そのことを常に頭の片隅にいつも置いていなければいけないと思う。

「理科が好きだから研究者になりたい」等々、長い学生生活の中で今の道を選んだ理由は多々あるが、その中の一つが、この“responsibility”というものではないかと最近思う。個人的な話になるが、広島に原子爆弾が投下された時、広島市から近い山口県岩国市に居住し、医師であった母方の曾祖父は翌朝から3日間ほど爆心地で治療に当たった。祖母からの又聞きであるが、数年後、2次被爆が原因と思われる癌で亡くなったらしい。母方の出身地が出身地だけに、自然科学の生んだ負の歴史を子供の頃から身近に聞いて育ったため、昔からどうしても自然科学の持つ“明”と“暗”の要素を完全に切り離して考えることができない。だからこそ、私は人一倍その“responsibility”にうるさく、“明”に転じれば未来を明るくし、同時に、決して“暗”に転じさせてはいけない、いってみればやりがいのある分野へチャレンジしたいのかもしれない。

忙しくて目の前の仕事しか見えなくなった時、研究や将来に悩んですべてグブアップしてしまいたくなった時に、この指輪の存在によってモチベーションを取り戻し、今後もこの道を進んでいけたらいいと思う。

田中のぞみ(東北大学)



## ゼロ・クリア

### 理

私もそろそろ自分の過去の仕事を振り返ってみる年齢になったようだ。東電に入社以来、原子力発電に関する様々な仕事を経験した。建設時の起動試験、運転や保守、燃料設計や炉心管理、原子炉安全、発電所の原子炉主任技術者等々、それぞれの分野で一定の成果を上げたつもりだ。柏崎刈羽の発電部長のあと、突然、サイクルの分野、特に地層処分を強力に進めるよう指示を受けた。全く初めての分野で戸惑ったが、家族から「一番難しい地層処分だからこそ信用できる人がやるべき」と強く奨められ、その気になって今に至っている。

性格は、興味を持つと少しはまり込むタイプかもしれない。3月号で工藤先生が塩野七生の『ローマ人の物語』(初版1992.7)のことを書かれておられたが、実は私も先生と同様にはまって、何巻かの特別ガイドブックも含め毎年楽しんできた。ほぼ同じ時期に、井沢元彦が『逆説の日本史』(初版1993.10)を書き始めている。これも今14巻目で江戸・元禄時代に入っている。その中で彼は、日本の歴史家の抱える一般の問題として、①宗教的側面の軽視、②過度の史料至上主義、③著しい権威主義を挙げているが、私のような素人をして納得させる論調であり、楽しみに読んでいる。2人の著者の素晴らしいところは、通説や他人の説を単純に信じないで、自分で仮説を立てさまざまな資料を駆使して検証している点と、その仮説の立て方と検証の方法が常に一貫していることにある。

地層処分は世界中で共通の方針であるが、多くの議論がすでになされている。しかし長期に放射性物質を隔離することとはどういうことか、をもっと科学的に追求してもよいと思う。昨年提出した私の学位論文も、10年前に人工バリアの10万年にわたる安定性をどのように示すか、理論的に考えてみたいと思ったことが出発点だし、それがベントナイトのマイクロ構造をもとに(分子動力学 MD)、マクロの性質を把握する(均質化法 HA)といった理論的解析(MD/HA 結合解析)につながったものだ。分子生物学がそれまでの生物学を大きく変えたように、科学・技術がこれまであまり議論してこなかった分野で一定の成果を上げたと思っている。10万年の安定性の議論は、現象を模擬する適切な実験と、それを物理・化学的に適切な原理・原則によって表現する理論と、それらをサポートする適切な Natural Analogue(地層処分の全部または一部のプロセスと類似の現象を自然現象の中から探し出し、そのプロセスを詳細に検討することで、処分場の長期的な挙動を推定し、地層処分の長期安全性を示す手法)によってわかりやすく示すことができるというのが私の考えである。人のいう通説を一人は「ゼロ・クリア」して新しい議論をスタートするという事は、技術者として誰もが考えていると思うが、なかなか難しい課題である。

続いて朽山先生お願いします。

北山一美(原子力発電環境整備機構)





# 多様かつ独自の視点を求める声多く

## 好評だった企業のPR 広告記事(4月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」4月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は136名の方から、回答がありました。

### 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。4月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	解説	食品の安全と消費者の安心感 —両者を結ぶのは信頼	3.86
2	解説	ドイツ、フランスにおける原子 力廃棄物最終処分地の選定状況	3.81
3	巻頭言	今、原子力に期待すること	3.70
4	連載 講座	軽水炉プラント—その半世紀の 進化のあゆみ(7) 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉 の導入(PWR)	3.67

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	今、原子力に期待すること	4.00
2	解説	食品の安全と消費者の安心感 —両者を結ぶのは信頼	3.66
3	時論	地球温暖化と原子力産業の将来 を考える	3.52
3	解説	ドイツ、フランスにおける原子 力廃棄物最終処分地の選定状況	3.52

食品の安全に関する解説記事と巻頭言が上位にランクされました。

### 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 多様な記事があつて読み応えがあつた。食品の安全と消費者の安心感の記事については、共感できる部分も多く、このような主旨の記事を継続していくと興味深いと思う。
- (2) さまざまな分野の記事がまとまっており、興味深く拝読した。
- (3) 学術的な視点に立った雑誌を目指すのか、政治的な視点に立った情報誌を目指すのか、混在して読みにくい。
- (4) 冒頭の広告ページはカラーでとても目を引く。中身の記事もさることながら、こうした広告は、原子力に関係しているものを勇気付けることにつながり、学会誌の重要な役割であると思う。
- (5) 特集に関して、放射線安全の考え方の基準になる国際動向が詳しく、わかりやすく書かれている。このようなことが国民の常識となるように、積極的に報道し、また理解してもらえよう工夫してほしい。
- (6) 特集に関して、国際動向に対して、わが国が、本当に進むべき道についての意見を理由をつけて述べるべきであったと思う。
- (7) 談話室に関して、NUPEC がどうなったか気になっていたので、参考になった。

### 3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(4)のように、PR 広告のページは好評です。企業の方は、ぜひ掲載をご検討ください。

学会誌ではこれからも、会員の皆様により質の高い情報を送りたいと考えております。記事に対する評価はもとより、さまざまな提案もぜひ、Web アンケートでお寄せ下さるようお願いいたします。

## ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

### 国民の目線で真摯に対話を

茨城新聞 山本 和朗

茨城県東海村にわが国初の原子の火が灯ったのは1957年8月。当時の村長は、日本原子力研究所受け入れをめぐる住民説明会で、「科学者の良心と英知を信じよう」と呼び掛けたという。

あれから半世紀。日本の電力需要の3分の1は原発で賄われ、茨城県内には多くの原子力施設が立地する。「世紀をひらく 原子の火」。県民の歌三番の歌詞で、こう歌われもした。しかし、原子力が市民権を得たかと問われたら、否と言わざるを得ない。

原子力がなぜ、いまだに“迷惑施設”と揶揄され続けるのか。世界で唯一の被爆国である日本には原子力アレルギーの素地があるとされるが、黎明期は科学技術の象徴として光り輝いていた。スリーマイル島、チェルノブイリの原発事故は世界を震撼させたが、日本の原子力は海外の重大事故を教訓とし市民権を得るチャンス、時間はあった。

残念なことに、茨城県では動燃アスファルト固化処理施設火災爆発事故(1997年)、JCO 臨界事故(1999年)が続発。昨年は全国の前発や日本原子力研究開発機構などで過去のトラブル隠しやデータ改ざんが次々と発覚し、原子力に対する県民の信頼の糸はプツリと切れたままだ。

信頼を結び持続するうえで、度重なる事故、不祥事は確かに手痛い、致命的ともいえる要因は別にあるように思う。

原子力事故を取材した報道記者の多くは、事故を経験した原子力関係者に対し埋めがたいギャップを感じている。立ち位置の違い、目線のズレともいえる。先ごろ、原子力機関との懇談会で、トップの一人が「われわれと報道記者の間には大きな溝がある」と率直におっしゃられ、「お互いにそうか」と妙に納得した。

立ち位置の違いは、原子力の持つ潜在的リスクに対する認識の違いに由来するのだろう。たとえば、チェルノブイリのような事故が日本で起こる可能性は？と問われ、「原子炉の構造が違うし、多重防護策を講じた日本の前発ではまず起こり得ない」と答える原子力関係者は多い。国内事故を踏まえ、「絶対安全」、「100%ない」といった断言調はなくなったが、「まず起こり得ない」との結びに違和感を覚える。たとえそれが客観的、専門的な知見に基づくものであっても。

われわれ報道記者は、どんなに厳格な検査に合格しても、マシンの故障、人為的ミス、規則違反、そして

想定外の事故が起こりうることを原子力事故の教訓として胸に刻んでいる。「絶対はない。だからこそ多重防護策を講じている」と説明してくれた方が、距離感は縮まろうというものだ。

目線のズレは、原子力関連の報道発表文に目を通すたび、その思いを強くする。難解な業界用語、えん曲な表現。「不良」、「不具合」、「トラブル」、「不適切」などの文字はあっても、「故障」、「異常」、「違反」といった率直な表現は見た記憶がない。この寄稿を執筆の最中にも1枚の発表文がデスクに届いたが、「定期検査中の柏崎刈羽原発6号機において、1体の制御棒駆動機構と制御棒とが結合していないことを確認し、当該制御棒駆動機構が必要な機能を有していないと判断した」と書いてあった。この決して誤りでない発表文の起案者は、報道を通して国民と対話する気持ちがあるのだろうか。

「記者は原子力の知識が足りない。いたずらに不安をあおることなく、冷静に報道してほしい」と、お叱りをよく受ける。勉強不足は恥じ入るばかりだが、原子力関係者から内向きの広報姿勢をふと嗅ぎ取ると、職業的な疑念(何か重大な事実を見逃してはいないか)が頭をもたげてくる。

原子力がいまだに確固とした信頼を得るに至らず、反・脱原発の論者と断絶とも見える平行線をたどり続ける大きな要因は、真摯な対話の絶対的な不足にあるのではないか。

先日、ある原子力機関のトップが「記者会見に備えて専門家を招きトレーニングを積んでいる」とおっしゃっていた。報道記者の執ような質問をかわす術で終わらず、国民と同じ目線で、わかりやすく、丁寧に対話し、原子力の市民権獲得につながることを期待してやまない。

山本和朗(やまもと・かずろう)

茨城新聞報道部記者

1989年入社。JCO 臨界事故を旧科学技術庁を中心に取材。警察担当キャップなどを経て、2007年から原子力、教育行政を担当。41歳。

