

### シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発

電中研 No. 15

## 16 エラーをする人間から、安全を守る人間の研究へ—電中研におけるヒューマンファクター研究

ヒューマンエラーなどによって事故・トラブルのきっかけを作る人間。しかし人間には、危険に気づいたり、想定外の事態に対しても適切に対処できる能力がある。今回は、安全を守る人間という面に着目したヒューマンファクター研究を紹介する。

佐相邦英, 弘津祐子, 廣瀬文子

### 解説

## 22 物理的世界とデジタルの世界の融合がもたらすもの—Smarter Planetの目指す世界

世界が持続可能な発展を「賢く」遂げるために、ITが果たす潜在的役割は大きい。ITを効果的に活用することで、原子力施設のライフサイクルマネジメントを、「よりスマート」なものにすることができる。

岩野和生, 菊山薫子



## 27 国産放射線挙動シミュレーション計算コードシステム開発の必要性と展望

核・臨界計算から中性子・光子・高エネルギー放射線の遮蔽・挙動までの計算に広く使われているMCNP/MCNPXコードに代わる国産の計算コードが開発されている。

坂本幸夫, 千葉 敏, 長家康展

### 巻頭言

## 1 明日の原子力を担う人材育成に向けて

白井克彦

### 時論

## 2 核兵器不拡散条約(NPT)の将来と3S

原子力発電の新規導入国が増えれば、核拡散の危険性が高まりかねない。核不拡散のために取り組むべきNPTの課題とはなにか。

新井 勉

## 4 大学における原子力教育・研究と人材育成

各大学では、それぞれ特色ある原子力教育・研究を実施している。そのような教育を受けた学生に対し、どのような出口が用意されているか、用意できるか。

竹田敏一

### 解説

## 32 FBR実証炉の建設と実用化を目指して—開発の経緯と三菱の取組み

ウラン資源の有効利用性が高く、放射性廃棄物の問題にも対応できるシステムとして、国家基幹技術として位置づけられた高速増殖炉サイクル技術。日本原子力研究開発機構とともに、その開発の中核を担っている三菱の取組みについて紹介する。

岡田敬三

### 私たちの主張

## 37 原子力界をリードして来た4氏が思いを語る

民主党への政権交代が実現した。黎明期から原子力界をリードしてきたベテラン4氏が集まり、原子力への思いと後進への意見を熱く語った。

伊原義徳, 原 禮之助, 遠藤哲也, 浜崎一成 (聞き手)小林容子

## 42 実機での水化学(4)

### —プラント管理, 標準化・規格化

軽水炉では、水が燃料・構造材料と接しながら循環している。これら金属材料と水の界面で生じる問題の調和的抑制あるいは解決が、水化学管理の使命である。最終回では、その考え方と方法を総括するとともに、標準化・規格化について述べる。

瀧口英樹

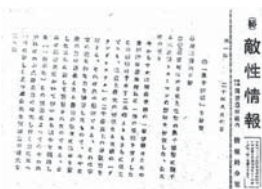
## 談話室

## 47 広島, 原爆投下(その1)

### —トルーマン声明

広島へ原爆が投下された翌日、政府や軍首脳部には、アメリカの短波放送を受信した「敵性情報」が、極秘に配布された。

中根良平



## シニアネットワーク報告

## 49 「環境保全と経済発展を両立させるために原子力は不可欠」

### —安倍元総理に聞く

安倍氏は、環境保全と経済発展を両立させること、そのために「原子力発電は重要な手段」であり、日本はその技術をもって世界をリードできるチャンスであると語った。

(聞き手) 齋藤伸三, 荒井利治

## 会議報告

## 52 ベトナムの原子力研究は今(ベトナム原子力学会)

山本章夫, ナム ホアイ ツァイ

## 53 Win-Japan 主催 女性交流会 in 薩摩川内—楽しく話そう, エネルギーや原子力のこと

前田由起子, 黒岩温子

## 54 アクチノイドおよび核分裂生成核種の地質環境における化学と移行に関する国際会議

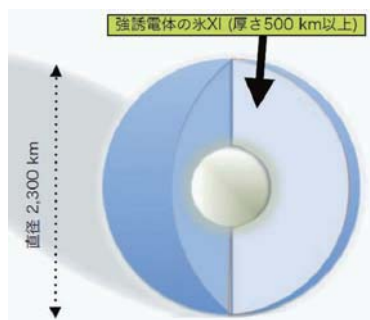
大貫敏彦

### 【お知らせ】

連載講座 21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向  
第5回は、お休みします。

## 6 NEWS

- 小沢環境相, 川内3号機増設で意見書
- 六ヶ所再処理施設, 来年10月に竣工を延期
- 敦賀3,4計画遅れで敦賀1の運転を延長
- 赤外吸収測定で強誘電体の氷の識別方法を確立
- 地下施設に低アルカリ性セメントを用いて施工
- ナノ粒子ターゲットで新しいイオン加速手法を実証
- 早稲田大, 3大学と共同大学院を来年4月に開設
- 原産, IAEA 総会併設展示会に出展
- 原産, ロシアへフロンティア・エンド調査団を派遣
- 海外ニュース



冥王星を覆う氷が、電気で強く引きあつた特殊なものかどうかを確認することが、できそうになってきた。  
(News p.7)

## 定点“感”測⑥

## 55 夢実現

伊藤恭子

## ジャーナリストの視点

## 57 鳩山首相にノーベル平和賞銀メダルは可能か

志賀正利

## 51 新刊案内『対話の場をデザインする—科学技術と社会の間をつなぐということ』

松浦祥次郎

- 58 会報 原子力関係会議案内, 主催・共催行事, 人事公募, 平成22年度フェロー候補推薦募集, フェローの活動状況, From Editors, Web会議システムの導入と運用に係わるお知らせ, 和文論文誌(Vol.8, No.4)目次, 英文論文誌(Vol.46, No.12)目次, 主要会務, 編集後記
- 後付 総目次・著者名索引(Vol.51, Nos 1~12)

## WEB アンケート

9月号のアンケート結果をお知らせします。(p.56)  
学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました  
<http://www.aesj.or.jp/atomos/>

# 明日の原子力を担う人材育成に向けて



早稲田大学 総長

**白井 克彦**(しらい・かつひこ)

早稲田大学第一理工学部卒業，同大学大学院理工学研究科博士課程単位取得満期退学。工学博士。早稲田大学教授。2002年から現職。

地球温暖化により世界中で自然環境の異変が報告されています。氷山の融解による海面の上昇，氷河の後退，局所的集中豪雨，砂漠化，生態系の変化に伴う農水産などへの影響など，人間生活への多大な影響のみならず，地球上の生命の存亡の危機を迎えつつあるとも言えるものです。これも一層の社会生活の向上を求める過剰な経済活動のエネルギー源として，著しい化石燃料の消費による二酸化炭素の排出によるものであることは言を待ちません。このような事態を回避すべく，二酸化炭素を排出しない未来エネルギーの有意性が着目されています。未来エネルギーとして，風力，太陽光，地熱，海流，バイオマスなどの種々の発電技術の中でも，実績，安定供給性から原子力発電は群を抜いて重要な技術であることは言うまでもなく，世界的な原子力の意義の見直しにより，各国での増設・新設ラッシュとなっております。

実は本学では，40年ほど前に原子力エネルギー技術の将来性に鑑み，関連学科の設置を検討した時期がありましたが，諸般の事情で断念した経緯があります。その後，現在に至るまで，原子力発電技術が核物理学のみならず，核燃料工学，熱工学，電気工学，化学，材料工学などの総合技術からなることを背景に，直接は原子力の看板は掲げなくとも本学理工学部・大学院の関連学科・専攻の数多くの卒業生が，原子力発電や関連の加速器技術の発展に貢献してきています。

他方，近年，原子力に関わる人材育成に関してその役割を担ってきた各大学の原子力工学科は，エネルギーや環境など，より広い分野を扱う学科の一部として統合され，その数は減少傾向にあり，原子力工学の人材育成の希薄化が懸念されています。このような状況を踏まえ，社会的要請に応えるべく，原子力に関する正しい技術を伝承する優れた技術者・研究者を育成し輩出し，産業界との架け橋となるため，本学は東京都市大学と，多様な連携で研究教育を行う共同大学院「共同原子力専攻」を2010年4月に開設することとなりました。本共同専攻では，原子炉の運用実績を有し，原子力安全工学分野に強みを持つ東京都市大学と原子力工学の基礎基盤となる工学系と加速器理工学に強い早稲田大学が共同大学院を設立することにより，次世代の原子力利用・技術の展開を支える人材を育成していきます。教育課程では各分野の専門家によるトップレベルの指導の下，原子力工学，加速器理工学，放射線理工学を中心とした様々な分野の教育，研究を行うとともに，原子力が有する特性上，教場指導のみならず，現場実習重視による実学と安全面，倫理面，リスク管理の指導にも力を入れ，真に国民から信頼される原子力技術の構築に貢献できる技術的にも人間的にも高いレベルの人材の輩出を目指していきたくと考えています。

同時に，地球環境の維持・向上という社会的要請を受けて，「未来エネルギーに関する人材育成フォーラム」を立ち上げました。そこでは広く多くの大学の参画を募り，シンポジウムや見学会，さらに学生と社会の交流の場の提供などを通して，産官学を上げて明日の日本や世界を背負って立つ優れた国際的人材を育成していきたくと考えております。原子力などのエネルギー関連産業界や行政からの厚いご支援を切にお願い申し上げる次第です。

(2009年 10月 8日 記)





## 核兵器不拡散条約(NPT)の将来と3S



新井 勉(あらいつとむ)

外務省 国際原子力協力室長  
外務省入省後、国際連合局、ジュネーブ軍縮代表部、軍縮課企画官、日本国際問題研究所主任研究員、国際法課法律顧問官、不拡散室長等を経て現職。

### 原子力エネルギーへの回帰と核不拡散への課題

1986年4月に起こったチェルノブイリ原子力発電所の事故以来、世界の原子力界は長い間低迷し続けてきた。しかしながら、こうした冬の時代を経て、原子力は春を迎えつつある。昨今のエネルギー需要の増大や地球温暖化問題などを背景として、原子力発電が見直され、原子力発電所の建設ラッシュが米国、中国、インドなどをはじめとして世界各地で始まった。原子力発電を初めて導入しようとする国も増加している。このような趨勢は、しばしば「原子力カルネッサンス」と呼ばれている。

将来、原子力発電の新規導入国の数が増えれば、核拡散の危険性も高まりかねない。原子力に関する技術は、軍事転用が可能だからである。したがって、原子力発電事業の国際展開は、核不拡散と両立させていくことが不可欠である。加えて、原子炉の安全の確保が前提となる。9・11テロ以後、テロリストなどの非国家主体への核物質等の拡散に対する脅威認識が高まっていった。オバマ米大統領が本年4月のプラハ演説で、テロリストの手に渡る危険のある核物質等の安全確保のために「核セキュリティ」に関するサミットを主催すると提唱したが、これは核テロへの対応を米国が優先課題としている証左である。

軽水炉の燃料となる低濃縮ウランの安定的な供給が保証されることは、新規原発導入国にとって死活的問題となる。原子力発電所の数が急増すれば、ウラン資源を巡る獲得競争も激化するからである。核燃料の供給保証については、IAEAで議論されてきているが、原子力先進国と途上国側の立場との隔たりは埋まらず、入り口で議論は停止したままである。核燃料供給保証構想や核燃料バンク構想は、濃縮・再処理技術などの拡散防止を主眼として出てきた提案であり、将来的に自前の再処理・濃縮活動を視野に入れている国にとっては拒絶反応の対象となっている。その根拠として引用されるのが、NPT第4条にいう原子力平和利用にあずかる「奪い得ない権利」である。NPT上の非核兵器国は、核兵器の保有を断念する代わりに原子力の平和利用について「奪い得ない権利」を持つというのが、一種のグランド・バーゲン(大

局的な取り引き)として成立した。このバーゲンは、「持てる国」と「持てない国」の間の不平等感を少しでも薄めるための役割を担ってきたが、今や、核燃料の安定供給保証に関する議論を進めるうえでの障害となっている。

### 3S確保の意義と課題

原子力発電の国際展開が無秩序に行われる場合には、原子力事故への懸念のみならず、核拡散や核テロの危険性が増大しかねない。そこで、こうした事態をできるだけ未然に防ぐためにも、何よりも原子力平和利用の法的小および人的基盤を築くことが求められる。2008年夏、G8北海道洞爺湖サミットにおいて開始された“3Sイニシアティブ”は、3つのS(核不拡散/保障措置(Safeguards)、原子力安全(Safety)、核セキュリティ(Security))を土台とする原子力エネルギーの基盤整備の必要性を提唱したものだ。

問題は、3つのSの中味である。おのおののSを確保するために、どこまでの高い水準を求めるべきかについて、国際的に合意されたものはない。例えば、保障措置についての日本の立場は、NPT上の義務である包括的保障措置に加えて、追加議定書の普遍化を重視しているが、かかる方針は、必ずしも他の原子力国に共有されているわけではない。原子力安全についても、IAEAにおいて指針を記した「安全シリーズ」文書が作成されているが、どこまでの水準を満たせばよいかは各国の規制によって異なっている。

核セキュリティについてはどうか。核セキュリティとは、従来の「原子力防護」や「核物質防護」を超えた広い概念であり、IAEAでは現在、核兵器や核物質の盗難、密輸、不正移転、または、原子力施設や核物質の輸送等に対する妨害破壊行為を防止するための様々な対策(予防・探知)および、そうした事態(盗難、密輸など)が起こった時に被害を最小限度に止めるための対応、と定義されている。いわゆる核テロ対策ともいってもよい。その意味で、日本の新聞やテレビ報道などでしばしば用いられている「核安全保障」という訳語では誤解を招く。英語のSecurityは多義的な単語ではあるが、伝統的には

国家の安全保障を中心とした概念であるからである。すなわち、「核安全保障」と訳すと国家への拡散防止、核軍縮、核抑止などを連想しかねず、核セキュリティが想定している上述の概念とは食い違ってくる。日本においては、核物質や原子力施設の防護という側面では関連国際条約やIAEAが定めた国際的基準を満たす対応がとられてきているが、核セキュリティという概念が想定する範囲全体を包摂するような国内体制の整備には未だ拡充の余地があり、今後の国際的議論の行方次第では、体制の更なる整備について検討を求められる可能性がある。

### NPTの将来

2010年5月、ニューヨークにおいてNPT運用検討会議(以下単にNPT会議)が開催される。ブッシュ前政権下では核軍縮は無視され、テロ対策と核不拡散のみが優先課題となってきた。これに対する不満が非同盟諸国の中に蓄積してきただけに、オバマ大統領がプラハ演説の中で「核兵器のない世界」に言及したことは、先の5月に行われたNPT会議の最終準備委員会でも審議の円滑な進行にとってプラスの心理的効果があったようだ。

NPTの歴史にとって、最大の分水嶺は1995年の有効期限の無期限延長であった。NPTの将来の存続が確保されたからである。その後しばらく、米露および中仏英は、その安堵感に浸っていた感があり、2000年のNPT会議でもその余韻のなかで一定の軍縮措置(13項目)を盛り込んだ合意文書の採択がなされた。しかし、合意した軍縮措置の進展はなく、その象徴的結果が2005年のNPT会議の失敗である。来年のNPT会議を取り巻く情勢について決して楽観視はできないが、核不拡散体制を維持していくためにも、様々な課題についてバランスよく前向きな取組みを続けていく必要がある。今の主要な課題として次の4点を指摘したい。

第1点は、NPT第6条の核軍縮交渉義務である。当面の注目点は、米露が交渉するSTART I後継条約の中味となる。次に注目すべきは、中国などの他の核兵器国を核軍縮の輪にどのように入れるかという点である。CTBT発効や兵器用核分裂性物質生産禁止条約(カット

オフ条約)交渉の進展に向けての強いコミットメントを打ち出せるのか、従来の米露交渉の枠組みを超えて5つの核兵器国が将来の核軍縮に向けてのビジョンを示しうるかどうか、が当面の重要なテーマとなる。

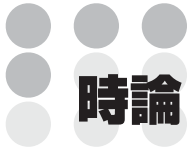
第2点は、濃縮能力を急速に向上しつつあるイランの核問題および北朝鮮の核・ミサイル問題は、NPT体制の維持にとっても、国際・地域の安全保障にとっても大きな懸念事項である。

第3点は、核不拡散と原子力の平和利用の両立という課題である。「3Sイニシアティブ」という標語の浸透はともかくとして、3つのSのおのおのについて、しっかりとした基盤整備を国際的に推進していく必要がある。IAEAはこの点で重要や役割を担っている。核燃料供給保証に関する議論の行方も注視したい。

第4点は、依然としてNPT体制の枠外にいる3ヶ国(インド、パキスタンおよびイスラエル)をどのように核不拡散体制にとりこんでいくのか、という課題である。これは、中東や南アジア地域の対立構造に根っこをもつ地域の安全保障環境の行方と密接に関連しているもので、NPT会議や国連総会などでの関連決議の採択などで解決の糸口を見いだせるような問題ではない。

5年ごとに開かれるNPT会議で何らかの成果文書に合意するかどうか、は当該会議の成否を判断する一つの客観的な基準になろうが、NPTの将来をただちに決定づけるものではない。重要なことは、NPT締約国の間で、核軍縮、核不拡散、原子力の平和利用というNPTの3つの柱について上述のような課題を様々な角度から議論し、一歩ずつでも解決に向けて前進を図りつつ、お互い立場の違いはあっても、世界の平和と安定を維持していくためにはNPTは引き続き不可欠な存在である、との共通認識を持ち続けることができるかどうか、という点である。「核兵器のない世界」への道はまだまだ遠い未来のことであり、仮にそのような世界の実現が視野に入ってきたら今のNPTの存在意義はきわめて小さくなる。それまでの間、NPTにかかる求心力を何とかして保持していくための努力を怠ってはならない。

(2009年9月25日記)



## 大学における原子力教育・研究と人材育成



竹田 敏一(たけだ・としかず)

福井大学附属国際原子力工学研究所 所長  
1973年大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻修了。工学博士。日立製作所原子力研究所勤務を経て、1978年大阪大学大学院工学研究科助教授、1994年同教授就任。2009年3月で大阪大学を退職し、同年4月より現職。専門は原子炉物理学。

### 大学での教育・研究とは？

大学における原子力教育・研究については、現在、それぞれの大学が特色ある教育・研究を実施している。原子力の教育方針も、原子物理、原子核物理、原子炉物理、熱流体力学、核燃料・材料、再処理工学、原子力工学、原子力法規等の従来の原子力基礎に力を入れた教育、核不拡散、持続可能性、環境面・国際性に力を入れた教育、原子力実験実習・訓練等の実習により力点を置いた教育、さらには、それぞれのバランスを取った教育方法等さまざまなやり方があり、要は大学の特色を出していればよいと思う。

大事なことは、そのような教育を受けた学生に対し、どのような出口が用意されているか、用意できるかである。出口の一つである原子力メーカを考えよう。原子力メーカも世界規模で統合され、設計・運転・許認可には日本の規格基準のほかNRC等の海外の規制を満たす必要があり、規制当局との交渉、海外の顧客である電力との交渉が必要となる。このような交渉には、語学力、技術的決断力のほかに、種々の教養、その基礎となる原子力基礎知識を身につけねばならない。さらに重要なのはリーダーシップであろう。自社設計の原子力プラントの優位性を、技術面だけでなく製造・工事を含めたプラント建設の設計能力が要求され、それらをまとめ、チームを引っ張っていかねばならない。さらに、次世代軽水炉、高速炉の技術開発も進めなければならない。

電力も、既存原子力プラントの安全・安定運転のための保安技術、機器の健全性予測、修理のための保全技術、地元の了解のための説明、国民・マスコミを対象としたPA活動、プルサーマル用の混合酸化物(MOX)燃料の海外での製造過程の検査、健全性評価等数多くの仕事がある。

このような出口の要求に答えるには、大学の人材育成が非常に重要となる。はじめに述べたようにさまざまな教育方法が存在するが、原子力学を教授する人材の減少、高齢化、さらには原子力施設の老朽化を考えると、少数の教授人材・施設の有効活用がぜひとも必要となってきている。

### 教授人材は充分か？

まず、教授人材について考える。原子力産業界での仕事の内容が広くなり、さらに国際的になっており、それに対応する教授人材の層が薄くなっている。特に、核拡散、放射線治療のための医学物理、遺伝子に対する放射線影響を研究する放射線生物学等と、従来の原子力基礎学問との間で層の違いが大きい。原子力基礎学問のうちでも、原子炉物理学を専門にする教授は非常に少なく、今後の日本の原子力基礎がどうなっていくか不安である。なぜこのような状態になったのか。一つは、競争的資金にはプロジェクト指向の研究テーマがあまりに多く、新たなアイデアで提案した炉の設計研究に重みを置きすぎており、新型炉設計等のアイデアが勝負であるので、既存の核設計コードシステムを用いた研究が多いからである。核設計に用いた手法の精度、不確かさはあまり問題にされない。原子炉物理の研究は、このような計算あるいは実験の信頼性を具体化するものであるので、プロジェクト研究になじめないのである。原子力基礎の重みを評価するプロジェクトが、今後推進されることを望みたい。そうでなければ、海外と比べて日本の原子力基礎の能力低下が必ず生じてしまう。

### 原子力施設の維持・充実を図るには

また、大型の原子力施設である大型加速器、臨界集合体、教育・研究用原子炉等の老朽化が目立つ。特に、教育用・研究用原子炉、臨界集合体は、学部学生、大学院生各個人に原子炉の燃料集合体装荷、臨界近接、反応率分布測定等の実験、原子炉運転を体感してもらい、燃料とはどのくらいの重さか、臨界とは何か、遅発中性子はどんな役を果たしているのかを実験を通して肌で学べる欠かすことのできない施設である。日本の大学では、このような施設としては、東京大学の弥生、京都大学の研究炉 KUR および臨界集合体 KUCA、近畿大学の教育用原子炉 UTR-KINKI しかない。このような、教育に不可欠な大型施設の維持・更新は、日本全体の問題として取り組んでいかねばならず、日本原子力学会としても検討すべきである。さらに、小型の原子力関連の施設・装



置としては、各大学あるいは各教員特有の研究を目的とした装置がある。これらの装置については、プロジェクト研究、科学研究費等での応募により更新し、さらに、研究者同士の共同利用も含めた持続管理が可能となるであろう。

人材・施設の有効活用のためには

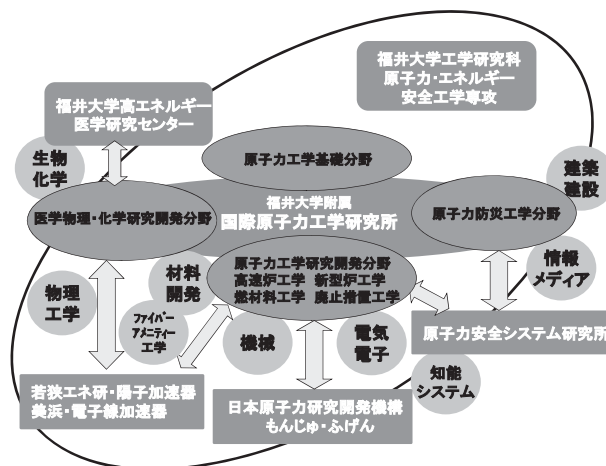
次に、教授人材および原子力施設の有効活用について述べる。限られた数の原子力教授人材および原子力施設を、日本あるいは世界の学生および若手研究者の人材育成に効率よく用いるには、3方法が考えられる。①大学間のさらなる交流の確立、②大学と地域との有機的な協力関係の確立、③国際協力による大学の教育体制の充実である。

①の大学間の教育・研究の協力体制については、研究者・学生間の共同研究、大学間の協定による共同利用による協力体制等大小の形がある。ある大学で不足している教授人材を、他大学から補う場合にも、単に客員教員の形でやるか、連携・連合大学院、あるいは共同大学院のようなよりフォーマルな形でやるかが考えられるが、何よりも各大学の教員・学生が協力しやすい体制にすべきである。

②の大学と地域との協力については、特に、大学が原子力研究センター、研修センター等に近い場合に非常に有効である。筆者の属している福井大学附属国際原子力工学研究所の場合を例にとり、説明する。

福井大学附属国際原子力工学研究所は2009年4月1日に開所し、北陸・中京・関西圏等の大学関係者が共同利用でき、さらに、2011年度には原子力施設が集っている敦賀市に移転し、より研究・教育の向上を図っていく予定である。2009年度に、大学院博士前期・後期課程の教育カリキュラムを、福井県嶺南地区の原子力関連施設を活かすことを考えに入れて作成中である。このカリキュラムに基づき工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻に原子力工学特別コースを設け、学生の受入れを2011年4月から開始する。

福井県、特に嶺南地域には、日本原子力研究開発機構のもんじゅ、ふげん、関西電力(株)、日本原子力発電(株)の加圧水型原子炉(PWR)、沸騰水型原子炉(BWR)等、種々の型式の原子力プラントがあり、さらに若狭湾エネルギー研究センター、原子力安全システム研究所、原子炉



研究所の構成と福井県の関連施設との関係

廃止措置研究開発センター等の多くの研究センターがある。この原子力環境のメリットを生かした原子力教育、研究を実施する予定である。また、学内の工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻、高エネルギー医学研究センターとの協力体制を密にして、研究所、ひいては福井大学のポテンシャルアップを図る所存である(図参照)。原子力教育では、原子力の基礎・基盤のカリキュラムを体系的に教え、学生がそれを自ら体験できる原子力実験・実習を必須科目として、学生に原子力を実感してもらおう教育システムを構築する予定である。また、留学生、特にアジアの留学生を受け入れ、原子力の基盤、さらには応用を英語により教え、人材育成を通しアジア地域の原子力のポテンシャルアップを図りたく考えている。

③の国際協力による大学の教育体制の充実については、国連大学の活用、米国、フランスの研究機関・大学との協力が考えられる。より広い学問分野、広い文化を教授することが可能になる。教育・研究の充実を考えたカリキュラム・研究にすれば、国際協力も可能であろう。

今後、日本の各大学の原子力教育・研究がより充実することを期待し、さらに原子力界に優秀な人材が今後とも育つことを期待し、筆を置く。

※福井大学附属国際原子力工学研究所のホームページ  
<http://www.eng.fukui-u.ac.jp/rine/index.html>

(2009年 10月13日 記)



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。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 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。

## 小沢環境相、川内3号機増設で意見書

小沢鋭仁環境相は9月28日、直嶋正行経済産業相に対し、川内原子力発電所3号機増設計画に係る環境影響評価準備書を提出した。準備書では「温室効果ガスの排出削減には、安全確保を大前提として、原子力発電の着実な推進が必要である」とした上で、3号機増設によって「温室効果ガス排出抑制効果を最大限発揮される」ことを盛り込んだ。

これに対し福島みずほ消費者・少子化担当相は10月1日の閣議後会見で、「社民党党首として一言」と

前置きし、「自然エネルギーの促進やCO<sub>2</sub>の削減については、3党で合意している。しかし、CO<sub>2</sub>削減のために、原子力発電所の推進ということについては、3党では合意していない。環境大臣がCO<sub>2</sub>削減のために原子力発電所の推進という報告書を出したことについては、3党合意を超えている。意見の調整や協議を、しかるべき場所でやっていきたい」と述べた。

## 六ヶ所再処理施設、来年10月に竣工を延期

日本原燃は8月31日、六ヶ所再処理施設の竣工時期を本年8月から来年10月まで延期する工事計画変更を経済産業省に届け出た。本格操業開始後の長期運転を考慮し、ガラス固化施設セル内の機器点検等を徹底して実施するもの。同施設の竣工時期変更は、法令に基づく事業指定以降、14回目。

今後の工程としてはまず、セル内の洗浄作業を今月上旬より開始し、終了後、12月までを目途にセル内機器点検で直接廃液が付着した機器を洗浄、絶縁抵抗値の回復等、効果を確認するとともに、高レベル廃液の硝酸成分の影響を受けた可能性がある約220機器すべてを点検し、必要に応じ補修する。その後、

溶融炉を加熱し、炉の底部に落下したレンガを遠隔操作で引き上げ回収、炉内に溜まっているガラスを抜き出し、炉内観察を行う。続いて来年7月までを目途に再度、セル内点検を実施、残留物を回収し、試験運転再開の準備を整える。また、ガラス固化施設再開に万全を期すため、実規模モックアップも活用して、データの収集・分析に努めることとしている。

今回の変更により、本年度160トン、来年度320トンで予定されていた再処理計画はそれぞれゼロ、80トンとなった。

(資料提供：日本原子力産業協会)

## 敦賀3,4計画遅れで敦賀1の運転を延長

日本原子力発電は9月3日、敦賀1号機(BWR, 35.7万kW)の運転終了時期を2016年とする方針を発表した。1970年に運転開始した同機は、経営基本計画等で、10年中の運転停止が打ち出されていたが、今回の延長決定により、国内で初めて40年超の運転に入ることとなる。

敦賀1号機は国内初の商業用軽水炉として、70年3月にデビュー、関西電力、中部電力、北陸電力へ送電、西日本への電力供給の一端を担ってきた。同

機が間もなく、運転開始から40年を迎えるに際し、原電は法令に基づき、運転30年以上の炉を対象に実施する高経年化技術評価を行い、それを踏まえた長期保守管理方針を策定、9月3日に国による認可を受けた。

原電では02年、敦賀1号機の10年中の運転終了の方針を打ち出したが、後継となる敦賀3,4号機増設計画を先送り(いずれも国の安全審査中)、昨今の地球環境問題への意識高揚、原油価格変動など、周



辺環境を踏まえ、停止時期の延長を検討していた。

耐震安全性については、新耐震設計審査指針に照らした評価を実施、主要施設の耐震安全性を確認するとともに、必要箇所には耐震裕度工事が実施されている。

高経年化技術評価では、プラントを構成する安全機能を有する機器・構造物について、60年間の運転期間を仮定し、経年劣化事象が発生する可能性の有無、現状の保全活動の妥当性、耐震性の影響等について検証を行ったところ、一部の機器類では追加保

全策を講じることで、40年目以降の運転でも、プラントの健全性を維持できることが確認された。例えば、原子炉圧力容器では、99年の運転開始30年目の高経年化対策で、運転実績に基づく疲労評価を実施することとし、以降、保全実績を積み、その有効性を評価した上、今回の高経年化技術評価では、脆化を考慮した温度管理と非破壊検査を継続することで健全性は確保されるものとしている。

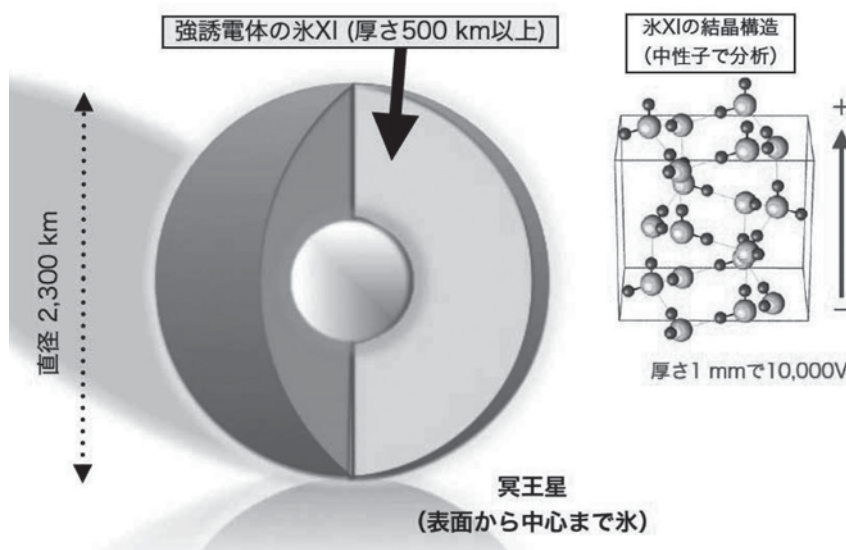
(同)

## 赤外吸収測定実験で強誘電体の氷の識別方法を確立—宇宙進化の謎解明に前進

日本原子力研究開発機構の深澤裕研究副主幹らはこのほど、電気で強く引きあつた氷Ⅺと呼ばれる強誘電体の状態にある氷の赤外吸収スペクトルを測定することに初めて成功し、そのスペクトル中の特定ピークが、通常の氷と異なることを発見した。これを応用することができれば、天体望遠鏡や探査機で赤外スペクトル観測を行うことにより、宇宙における氷が強誘電体の状態にあるかどうかを調べることが可能となる。

この研究に成功したのは原子力機構のほかに、東京大学の鍵裕之准教授と荒川雅氏からなるグループ。同グループはこれまでの研究で、天王星や海王星、冥王星などに相当する約マイナス200℃の低温

化で、氷結晶中の水分子の水素が自発的に揃うことにより、強い誘電性をもつ氷Ⅺが形成されることを、中性子回折と呼ばれる手法ですでに明らかにしていた。さらに、このような強誘電体の氷が宇宙にも存在するはずであるとの仮説を提案。しかしながら、その仮説を実証する方法は明確ではなかった。研究グループは今回、氷Ⅺを実験室で作製し、その赤外吸収のスペクトルを測定することに成功。その結果、ふつうの氷から強誘電体に氷Ⅺへと転移する際に、スペクトル中の850 $\text{cm}^{-1}$ 付近で観測されるピークが明瞭に鋭くなることが明らかになった。ピークが鋭くなるのは、水素原子の配置の違いによるものだと考えられている。



冥王星に存在が予測される強誘電体の氷Ⅺ

この方法を応用することができれば、天体望遠鏡や探査機によって、赤外線観測で星の氷の赤外スペクトルを測定すれば、それが強誘電体の氷であるかどうかを判断することができる。

強誘電体は電氣的に強い力で結合しているもので、宇宙にそのような氷が存在すれば、惑星の形成や生命起源物質の発生の過程で、氷の電氣的な力が

大きく寄与していることとなる。例えば、強誘電体の氷が電氣的な力で合体したり、周りの塵を強い力で引きつけたりすることで、惑星の形成が大きく促進された可能性がある。

(参考 <http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09102001/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構、東京大学)

## 低アルカリ性セメントを用いた地下施設の本格的な施工に成功 —安全な地層処分実現に向けた新技術の実証

原子力機構はこのほど、世界で初めて低アルカリ性セメントを用いたコンクリートによる地下施設の本格的な施工に成功した。原子力機構の地層処分研究開発部門が、高レベル放射性廃棄物地層処分に係る研究開発の一環として進めてきたもので、地層処分の長期的な安全性を高めることを可能とするだけでなく、一般廃棄物処分場や人工河川の施工といった土木工事など様々な分野への応用が期待される。地下施設の立坑や水平坑道を建設する際には、坑道の空洞部分の安定性を保つために、支保工と呼ばれるトンネルの内側の壁にあたる部分に、コンクリート材料を使うのが一般的。この支保工は、特に軟岩系堆積岩の工事では不可欠なものだ。

なお、通常の土木工事で用いられるコンクリート材料の主成分は普通ポルトランドセメント(OPC)で、地下水と接触すると近くの水のpHを12.5以上の高アルカリ性にする特徴がある。この地下水の高アルカリ化により、地層処分システムを構成する緩衝材や周辺岩盤の性質が長期的に変化し、そのバリア機能が低下する可能性がある。

このような変化を抑制するために原子力機構では、OPCに二酸化ケイ素を主成分とするシリカフェームと、石炭灰であるフライアッシュを混ぜた低アルカリ性セメント(HFSC)の開発に成功した。また、幌延深地層研究センターの地下施設の深度140



HFSCの施工状況(吹付けの厚さ：約20cm、坑道内径：高さ3m、幅4m)

mにおける調査坑道で、このHFSCの吹付け施工を行った。

今後も、HFSCを施工した部分について、周辺の地下水のpHの変化や周辺岩盤への影響について継続して調査する予定。

なお、セメントー地下水相互作用モデルに基づく解析によれば、このHFSCと反応した地下水のpHは、数年後には11以下になることが示されている。(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09101501/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## ナノ粒子ターゲットを用いた新しいレーザー駆動イオン加速 手法を世界で初めて実証—小型で低価格の粒子線がん治療装置 の開発につながるブレークスル

原子力機構の福田祐仁研究副主幹らの研究グループは、このほどクラスタと呼ばれるナノメートルの大きさをもつ原子の集合体に、高強度レーザーを照射することでサブ臨界密度プラズマというレーザーエネルギーが極めて効率的に吸収される特殊な状態を生成することに成功。これにより、これまでより約10倍高いエネルギーまでイオンを加速することができる新しい手法を世界で初めて実証した(Y. Fukuda *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 165002 (2009))。この手法を応用することにより、レーザー駆動粒子線を用いた粒子線がん治療装置を大幅に小型化することが可能となる。

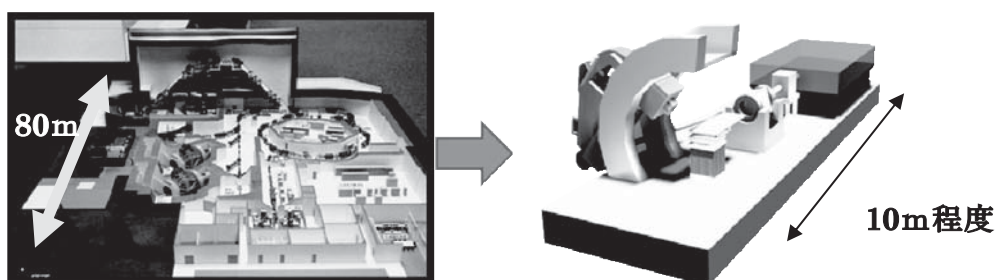
現在、大型の高周波型加速器を用いた粒子線がん治療装置をレーザー駆動粒子線で置き換えて小型化するための研究が進められている。しかし、従来の薄膜ターゲットにレーザー光を照射するという加速手法でがん治療に必要な80–200メガ電子ボルトにも及ぶイオンを加速するには、大型のレーザー装置による巨大なエネルギーが必要であった。このため、レーザーを含めた治療装置全体を小型化するためには効率のよい新たなイオン加速手法の開発が必須であった。

今回、原子力機構とロシア科学アカデミーに属する研究所からなる研究チームは、特殊な構造を有する円錐形状のノズルを設計・製作し、サブ臨界プラズマを生成させるためのクラスタターゲット生成技術を確認。サブ臨界密度プラズマ中において、レーザーのエネルギーが物質中に長時間伝送される状況(レーザー光のガイディング)を作り出すことに成功した。さらに、レーザーエネルギーを受け取った電子がターゲット裏面に生みだす磁気渦によって強力な加速電界が生じることを発見。大阪大学と神戸大学の協力のもと、この強力な電界によるイオンの加速が従来手法の約10倍になる(核子あたりのエネルギーで最大20メガ電子ボルト)ことを確認した。

この手法では、粒子線の発散角が小さいため、照射系を大幅に小型化できるのが特徴。このため今後は、レーザー駆動の粒子線がん治療装置の超小型化が一気に進む可能性がある。

(参考 <http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09101301/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構、  
大阪大学、神戸大学)



兵庫県立粒子線治療センターの概要図とレーザー駆動型治療装置が実現した場合のイメージ

## 早稲田大、3大学と共同大学院を来年4月に開設 —医療、原子力など人材育成

早稲田大は東京女子医科大、東京農工大、東京都大の3大学それぞれと共同大学院を2010年4月に

開設すると発表した。

東京女子医大との共同大学院は「共同先端生命医



科学専攻」で、自然科学の基礎と人文社会科学の融合領域「医療レギュラトリーサイエンス」の専門家を育成する。新しい医薬品や医療技術を研究対象とし、その安全性や有効性を科学的に正しく評価できる指導的な役割を担う人材を養成するという。臨床試験や治験に参画する人材の輩出を目的としている。入学定員は博士課程10名、修了単位数は30単位、修了時には両大学連名で博士(生命医科学)の学位を授与する。

東京農工大大学院生物システム応用科学府とは同大学理工学術院先進理工学研究科が「共同先進健康科学専攻」を設置。理学、工学、農学の融合分野で、生命科学、食科学、環境科学の3分野を柱に、多様な課題に解決能力と探求能力を発揮する人材を育成するという。医薬・食・環境などの分野で国際的に活躍する人材、企業で研究・開発者として活躍する

人材を育成する。両大学の授業料には差があるが、奨学金制度で実質的には大きな差はないという。入学定員は博士課程10名(東京農工大6名、早稲田大4名)。修了時には両大学連名で博士(生命科学)の学位を授与する。

東京都市大とは「共同原子力専攻」を設置。原子力学、加速器理工学、放射線理工学を中心に、原子力エネルギー領域と放射線応用領域の教育・研究を実施。技術はもとよりリスク管理能力に優れた幅広い知識を持つ人材を育成する。同分野の特性上、安全面、倫理面の指導にも力を入れるという。入学定員は博士前期課程が30名、後期課程が8名。修了時には両大学連名で修士(工学、理学)、または博士(工学、理学)の学位を授与する。

(資料提供：科学新聞)

## 原産，IAEA 総会併設展示会に出展—海外向け DVD 映像も制作

国際原子力機関(IAEA)の第53回通常総会が9月14日から18日まで、オーストリアのウィーンで開かれ、同機関の諮問的地位を有している原産協会もオブザーバーとして参加した。総会と同時に開催された展示会には、昨年引き続き当協会も出展。今回は、日本原子力研究開発機構(JAEA)、放射線医学総合研究所(NIRS)、当協会の3機関が合同でJAPANブースを設営した。

同協会は、日本のものづくりをテーマに「MADE IN JAPAN—On Time, On Budget」と題してブースを展開。映像とパネルを用い、日本の原子力産業界の層の厚さを国際的にPRし、多くの来場者から高い関心を集めた。

初日に来場した野田聖子大臣は、「日本を救うのはユニクロではなく原子力産業だ」とした上で、今後も日本の原子力産業界を積極的に世界へPRするよう要望した。

今展示会で当協会では、海外向けにDVD映像を制作し、配布を開始した。IAEA展示会では、用意した300枚のDVDが初日でなくなる盛況ぶりだっ



天野之弥・次期 IAEA 事務局長も日本ブースを訪問した。

原子力発電所の建設プロジェクトを中心に、日本の原子力産業界の「ものづくり」を簡単に紹介した内容で、入門編という位置づけ。脚本、絵コンテから俳優の振付けにいたるまで、すべて当協会の「手作り」で制作した。

(資料提供：日本原子力産業界協会)

## 原産，ロシアへフロント・エンド調査団を派遣

原産協会は9月中旬、ロシアの核燃料サイクルのフロントエンド事情を調査するため、日本原燃の濃縮事業部部長の阪本琢哉氏を団長代行(服部拓也団長が急遽、訪口中止となったため)とする調査団をロシアに派遣した。

一行は9月16日に、モスクワ市郊外にある燃料成型加工工場「機械建設工場」(エレマッシュ)を訪問、同工場のクリュコフ所長および同工場を傘下におく TVEL 社より、プレゼンテーションを受けた後、RBMK および VVER 用燃料の製造プロセスを視察した。



燃料成型加工工場(エレマッシュ)での視察

同日、ロシア製原子力発電所の海外輸出・建設を主たる事業とするアトムストロイエクスポートのイワノフ副社長と懇談した。同社は、世界で現在7基の原子力発電所建設プロジェクトをかかえているが、今後の展開において、大型コンポーネントや計測制御機器などの供給チェーンで日本との協力関係への期待が表明された。

9月17日には、東シベリア地域のアンガルスク市にある、ウラン濃縮工場であるアンガルスク電解化学コンビナートを訪問した。同コンビナートのペラウソフ所長および国際ウラン濃縮センターのゴリュノフ取締役からプレゼンテーションを受けた後、中央ラボ、転換プラント、濃縮プラント、ウラン充填設備を視察した。濃縮プラントでは、約20年間、安定的に稼働している信頼性の高い第6世代の小型の遠心分離機カスケードを間近に見ることができた。ロシアでは現在、単機能力が1.5倍以上の第7、8世代の遠心分離機が導入されていると聞き、一行は、ロシアの高度な濃縮技術に強く印象づけられた。

(同)

### 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

#### [米国]

### NRC，ボーグル3，4号機建設計画で事前サイト許可を発給

米原子力規制委員会(NRC)は8月26日、ジョージア州オーガスタ近郊でアルピン・W・ボーグル原子力発電所3，4号機(各100万kW級AP1000)の増設を計画しているサザン・ニュークリア・オペレーティング社に対して事前サイト許可(ESP)を発給した。

ESPの発給はクリントン、グランドガルフおよびノースアナ原子力発電所サイトに続いて4件目だが、部分的な建設準備作業(埋戻し材や保持壁、防水剤等の設置)の実施許可(LWA)と合わせて許可したのは初めて。

ESPは、建設・運転一括認可(COL)とともに

NRCによる合理化された認可システムの重要なステップで、その発給により、ボーグル発電所サイトはサイト特有の安全性や環境防護、緊急時対応計画に関する問題をクリアするとともに、新規原子炉の建設と操業に適していることが承認された。有効期間は20年間。

サザン社の子会社であるサザン・ニュークリア社は、2006年8月にESP、翌07年8月にLWAを申請。08年3月に申請したCOLは現在、NRCの審査中で、発給されれば同サイトで全面的な建設工事の開始が可能になる。現時点の計画では、3号機の運転開始は16年、4号機は17年となる予定だ。

両機は稼働中の1，2号機と同様、サザン社の最大の子会社であるジョージア・パワー社や地元の州営電力、ダルトン市営電力、オーグルソープ電力の所有となる。ジョージア社のM・ギャレットCEOは、「この建設計画により、州に140億ドルが投資されるほか、数千名規模の雇用が建設期間中に、また

完成後でも800名分の正規雇用が生まれる」と強調。同計画における節目の認可が下りたことを喜んでいる。

## NRC, ナインマイル3号機の審査を延期

米原子力規制委員会(NRC)は9月1日、ニューヨーク州でナインマイルポイント原子力発電所3号機(NMP3)の増設を計画しているユニスター社からの書簡をウェブサイト上に公開し、同機の建設・運転一括認可(COL)の審査開始を1年、先送りする計画であることを明らかにした。

ユニスター社は2008年9月、160万kW級US-EPR(米国向け欧州加圧水型炉)の建設を想定したNMP3のCOLを申請し、NRCは同年12月にこれを受理。今年9月からの審査開始が予定されていた。しかし、ユニスター社はNRCの文書管理課に宛てた8月17日付け書簡の中で、NRCスタッフとも協議した結果、審査の開始日程を10年9月に変更する旨を申し入れており、理由として「審査に係る日程と財源の投入順序を最適化した結果」と明記している。

同社は米国でNMP3のほかに、3件のUS-EPR計画に係っており、そのうちカルバートクリフス3号機建設計画については今年5月、連邦政府の融資保証制度の最終審査に残ったと公表。一方、NMP3計画は、今年の融資保証を受ける見込みはないが、翌年であれば可能性ありと判断していることが関連報道で伝えられている。こうした状況から、同社は審査財源等を先行計画に優先して傾注するものと見られている。

## USECがエクセロンから濃縮契約を受注

米国濃縮会社(USEC)は9月10日、米国最大の原子力発電会社であるエクセロン社が、USECの建設している米国遠心分離プラント(ACP)(年間生産能力3,800トンSWU)からのウラン濃縮サービスを購入する契約を結んだことを明らかにした。

USECの発表によると契約額は約12億ドルで、全米で17の原子炉を所有・運転するエクセロン社に対

して2012年から濃縮ウランの供給を開始する。これにより、USECがACPからのウランについて顧客から受けた契約総額は34億ドルを超えた。

USECはACPの建設費について政府の融資保証プログラムに適用を申請していたが、7月に米エネルギー省(DOE)は「ACPの技術的、財政的な課題」を理由に申請の取り下げをUSECに要請。両者は翌8月、これらが解決するまで申請書の最終審査を少なくとも6か月延期することで合意に達している。

今回の受注を受けてUSECは、「顧客は当社の技術を信頼し、ACPの完成を支援してくれている」と強調。元々DOEが開発した遠心分離技術を基礎に、設計や材料、製造部分に改良を加えたACPにより、同技術を採用した唯一の施設として国のエネルギー供給および安全を保障していくとの見解を表明した。

### [カナダ]

## カメコ社、インドに現地事務所を設置へ

世界最大手のウラン生産企業であるカナダのカメコ社は9月7日、インド中南部のハイデラバードに現地事務所を設置すると発表した。

開所予定日は10月1日。事務所長には、インド原子力省や国際原子力機関で要職を務めるなど同国の原子力コミュニティでも知名度の高いC・ガンگری氏が就任する。

ハイデラバードはインドにおける原子燃料製造の本拠地で、同国内の加圧重水炉(PHWR)用天然ウラン燃料の製造やBWR用ウラン燃料加工、六フッ化ウランの転換などが1972年から行われている。

カメコ社は新事務所を通じて、有望な原子力市場として台頭するインドで新たな事業や同国政府との取引の機会を開拓する考え。同国市場で確固たる地歩を固めるとともに、信頼性のある安定したウラン燃料供給を提供していくとしている。

### [ロシア]

## 原子力企業の投資計画を支援するため公債発行

ロシアの原子力民需部門を統括するアトムエネル



ゴプロム(AEP)社は9月7日、国営原子力総合企業のロスアトム社が子会社である同社を介して、最高1,950億ルーブルの長期公債発行を計画していると発表した。

原子炉の建設を始めとする原子力関係プロジェクトは概して長期間を要することから、長期公債の発行によって、ロスアトム社傘下の原子力企業が既存の短期ローンを借り換えたり、今年から2010年までの期間の投資計画を支援したりするのが主な目的。ロスアトム社を保証人とし、5年満期で額面千ルーブルの利付債券が「モスクワ銀行間通貨取引所(MICEX)」を通じて発行される。

支援を受ける原子力企業としては、同国の原子力発電会社であるエネルゴアトム社、核燃料製造専門のTVEL社、ロシア内外でウラン採鉱を担当するARMZウラン・ホールディング社、ウラン製品・サービス販売企業のTENEX社、原子力発電機器製造部門のアトムエネルゴマッシュ社などが予定されている。

AEP社のK・コマロフ理事は、長期公債の発行はさらなる投資を促す効果的な手段になると指摘。「原子力発電開発のみならず、ロシア経済全体の活性化に大いに貢献するだろう」との見解を明らかにした。

### [ベラルーシ]

## 原子力導入計画、ロシアの支援で前進

ロシアの原子力総合企業であるロスアトム社の9月3日付けの発表によると、ベラルーシ政府は1日、同国初の原子力発電所をロシアが建設するための法的な基盤となる両国間の原子力協力協定案を承認した。

同協定案は今年5月に、ロスアトム社とベラルーシのエネルギー大臣が調印していたもので、建設計画全体の推進については先月末、ロシアのD・メドベージェフ大統領がベラルーシのA・ルカシェンコ大統領と非公式協議した際にも話し合われた。ベラルーシ側では同協定の発効に必要な国内手続きをすべて実施したとしており、次のステップとして、原子炉建設に関する個別の政府間協定を年末までに締結する。ロシアの支援を受けた同計画は実現に向けて具体的に展開し始めている。

ベラルーシはチェルノブイリ事故の際に多大な汚染被害を被ったが、価格の高騰しやすいロシア産天然ガスへの依存を軽減するため、2008年初頭に同国の安全保障会議が原子力の導入案件を承認。同年5月にはロスアトム社傘下のアトムストロイエクスポルト(ASE)社、仏アレバ社および東芝/ウェスチングハウス社に対して、同計画への参加について関心を打診していたという。

建設工期などの問題により、ベラルーシは今年1月、ASE社を同計画の主契約者に選択。同国北西部のリトアニアとの国境に近いオストロベツ村を第一立地候補地とし、120万kWのロシア型軽水炉であるAES-2006型炉を2基、ターンキー契約で建設することになった。

1号機の運開は2016年、2号機は18年とする計画で、ベラルーシは今年6月、建設工事とインフラの整備に必要な90億ドルの借入れをロシアに申し入れた。これに関してASE社は、同計画の投資オプションを調査するため、今年末までを目処にフィージビリティ・スタディを実施する予定である。

### [リトアニア]

## 原子力発電安全規制局、廃棄物管理2施設の建設を許可

リトアニアの原子力発電安全規制局(VATESI)は8月31日、イグナリナ原子力発電所に対して放射性固体廃棄物管理施設の建設を認可したのに続き、9月3日には使用済み燃料中間貯蔵施設の建設を認可した。両施設とも同発電所の敷地内に建設予定となっている。

リトアニアで唯一の原子力発電所である同発電所では、チェルノブイリ発電所と同型の軽水冷却黒鉛減速炉(RBMK)が2基(各150万kW)設置されているが、欧州連合(EU)への加盟条件として同国は両機の閉鎖に合意。2004年に1号機を閉鎖したのに続き、今年末には2号機の閉鎖を約束しているため、両機の廃止措置に伴う放射性廃棄物や使用済み燃料の管理処分施設の建設を急いでいる。

VATESIは認可に際し、両施設の操業前に実施すべき共通の条件として、(1)建設現場に警備設備を設置するなど核物質防護を保証する、(2)廃棄物管理作

業で資格を有する技術者を確保することを提示した。さらに使用済み燃料施設に関しては、破損した燃料の管理計画を2010年9月までに別途準備し、承認を得ること、また固体廃棄物施設の建設には、作業の進捗と設備点検の監督が可能な計画書をVATESIに提出することを前提条件としている。

イグナリナ原子力発電所は05年1月、独GNS-ニューケム社と使用済み燃料施設の設計および建設に関する契約を、同年11月には固体廃棄物施設の設計、建設について契約を締結。前者の操業開始は11年を予定しており、同発電所の2基からの使用済み燃料は専用容器「CONSTOR」に格納した上で50年間、中間貯蔵施設内に保管する。また、廃棄物管理施設は廃棄物の回収、処理、50年間の貯蔵など作業ごとに設備が分けられているが、操業開始はいずれも12年の予定。

### [フランス]

## フィンランド EPR 建設がアレバ社の09年上半期決算の営業利益に影響

仏アレバ社は8月31日、2009年上半期(6月30日まで)の決算報告書を公表し、受注残高、売上高ともに前年同期を上回る一方、フィンランドのオルキルト3号機(OL3)建設計画の遅延が影響し、営業利益は約5億ユーロ減の1,600万ユーロにとどまったことを明らかにした。

報告書によると、上半期末の受注残高は488億7,600万ユーロで、前年同期比28%増。燃料サイクル事業のフロントエンド部門で42%、バックエンド部門で31%増加したのが受注残高を押し上げたと説明している。売上高は65億2,200万ユーロで、前年同期比約6%増だった。この期間の実績としてアレバ社は、インドとの覚書締結により、2~6基の欧州加圧水型炉(EPR)や燃料サイクル・サービスを同国に提案したこと、米国のデューク社にはEPRを1基、英国に対しては仏電力との協力でEPR4基の供給で交渉を展開したとしている。

最終的に1,600万ユーロとなった営業利益については、OL3建設計画の遅延により生じる損失を補うため、5億5,000万ユーロの追加引当金(※貸倒損失に備え利益の中から積み立てておく額)を差し引いたのが大きく影響したと指摘。減額前は5億6,600

万ユーロ(34.2%減)であった点を強調している。

同建設計画後について同社は「今後は最終ステップとして配管の設置や各種試験、および起動に係る作業に集中することになる」と説明した。しかし、顧客のティオリスーデン・ボイマ社(TVO)は、締切り期間が2か月の規制文書の処理に11か月をかけるなど契約上の義務を果たさず、作業を加速させるために昨年6月に両社が合意した対策を未だに実行していないと同社は指摘。さらに、TVOの要求により実施させられた追加の改造作業は契約の必須修正条項でカバーされておらず、計画のさらなる遅延と追加コストの原因になった。アレバ社の見積もりでは、30億ユーロで請け負った同機の完成時の損失総額は23億ユーロに達すると見られている。

今後についてアレバ社は、大型建設計画の慣行に従って作業できるよう、契約に追加改造作業のための修正条項を盛り込む提案書をTVOに送付。上半期決算ではこのために追加引当金を計上したが、TVOが同提案書に同意し次第、最終段階の作業を実施するとの考えを明らかにした。

なお、このほか同社は、アレバNP社での合弁関係を打ち切った独シーメンス社について、新たに長期的な提携契約を締結したと明記。原子炉の計装制御系分野では協力関係の維持が保証されることになったとしている。

## TVO EPR 建設でアレバ社に反論

一方、フィンランドのティオリスーデン・ボイマ社(TVO)は9月1日、アレバ社がオルキルト3号機建設計画の作業継続に関する条件をTVOに提示したとしている点について、「当社には何も直接の連絡はない」と明言。固定価格で結んだターンキー契約に基づき、アレバ社の企業連合が同機の建設と起動、建設スケジュールの遵守に全責任を負っていると強調した。

同社のJ・タンファ社長兼CEOは、「アレバ社のリリースを読んで驚いた。当社は建設契約と適正な原子力安全対策に則った行動をとっており、アレバ社にも同様の行動を期待する」との見解を表明。建設サイトでの作業日程は厳しいものになっているが、アレバ社が作業の継続停止の可能性を公言したところで日程の方は少しも楽にならないだろうと指

摘した。

同社長はまた、サイトでの作業員数が現時点で4,300名を超え、この夏中も作業が続いていた点に言及。原子炉建屋内の一部ではすでに機器設置段階の作業が始まっていると述べ、作業停止の可能性を一蹴した。

### [エジプト]

## 電力エネルギー省の安全支援業務で、6か国の企業が応札

エジプトのH・ユニス電力エネルギー大臣は8月26日、同国の原子力安全計画におけるモニタリング作業について技術支援・コンサルティング業務の入札を行った結果、国外の6企業から提案があったと発表した。

6社の中には米国、英国、ドイツ、カナダの企業が含まれるとしているが、関連報道では、これらのほかにフランス、韓国の企業が加わっていると伝えている。支援を受けるモニタリング作業としては、世界の原子力安全基準に準じたプログラム策定のためのコードや規則の設定が含まれており、ユニス大臣はコンサルティングを通じて、これらの作業に精通した人材の育成を目指したいとの抱負を明らかにした。

同国では今年6月、原子力庁(NPPA)が豪州を本拠地とするウォーリーパーソンズ社に、同国初の原子力発電所建設計画でエンジニアリング・コンサルティング業務を1億6,000万ドルで発注。120万kW分の原子炉導入で、サイトと原子炉技術の選定調査から原子炉の設計、建設・管理、起動に至るまで、8年間のプロジェクトで支援を受ける。

### [インド]

## 韓国と原子力協力で覚書に調印

インド原子力発電公社(NPCIL)は8月27日、韓国電力公社(KEPCO)と原子力発電分野における2国間協力のための了解覚書(MOU)に調印したと発表した。

同覚書がカバーしているのは、原子力発電に関する技術的なデータや知見の交換、相互訪問や共同事業の実施など。具体的には、原子炉の開発や操業・

メンテナンス、原子燃料、主要機器と設備の製造と供給、および韓国が開発した140万kW級の次世代型軽水炉「APR1400」について、インドで認可を受け、建設するための共同研究も含まれる。

NPCILは、KEPCOが韓国標準型原子炉設計である100万kWのAPRの建設とその良好な運転実績、およびAPR1400の設計・建設を通じて世界的な定評があることから覚書を締結したと説明。政府レベルで2国間の原子力協力協定が結ばれば商業取引契約も可能になる。

国内発電設備の大幅な拡大を急ぐNPCILは現在、インドの独自設計による70万kW級の加圧重水炉(PHWR)の建設を計画しているほか、100万kW級以上の原子炉は国際協力で導入することを検討。すでに米国のウェスチングハウス(WH)社とGE日立社、フランスのアレバ社とはそれぞれ、AP1000、ABWR、および欧州加圧水型炉(EPR)の供給に関する覚書を交わしているほか、ロシアとも、クダンクラム原子力発電所で建設中の100万kW級軽水炉2基に加えて、後続の増設でさらに協力していくことになっている。

### [国際]

## IAEA、天野氏を次期事務局長に承認、核不拡散、燃料供給保証に主導権表明

国際原子力機関(IAEA)は9月14日、オーストリアのウィーンで第53回通常総会を開幕。M・エルバラダイ事務局長の演説後、天野之弥・前ウィーン代表部大使が正式に次期事務局長に承認された。天野氏は12月1日より、アジアから初の第5代目事務局長として就任する。

事務局長就任の宣誓の後、スピーチした天野氏は、核拡散や核テロの世界的なリスク拡大、温室効果ガス排出の増大、エネルギー需要の急増を指摘。IAEAはこうしたグローバルな課題に対して取り組む能力と責任を有しているとし、IAEAが核不拡散と平和利用をバランスよく推進する必要があるとした上で、こうした役割を担うIAEAを加盟各国の協力のもと自ら率いていく姿勢を強調した。



## 我が国の最先端原子力研究開発

## シリーズ解説 第15回

## エラーをする人間から, 安全を守る人間の研究へ

## 電中研におけるヒューマンファクター研究

(財)電力中央研究所 佐相 邦英, 弘津 祐子, 廣瀬 文子

ヒューマンエラー等によって事故・トラブルのきっかけを作る人間。しかし人間には、危険に気づいたり、想定外の事態に対しても適切に対処できる能力がある。このような人間の能力を生かすことで、ヒューマンエラーの未然防止が一層期待される。そこで本稿では、電力中央研究所におけるヒューマンファクター研究の中から、人間やチームの人間特性、また未然防止のためのヒューマンエラー情報等の高度活用に関する研究を紹介する。

## I. はじめに

1979年の米国スリーマイル島原子力発電所での事故が契機となり、中央制御室の制御盤のヒューマン・マシン・インタフェースの改善を皮切りに、原子力分野におけるヒューマンエラー(HE)の防止に多く力が注がれるようになった。以来30年、現場レベルでの実践的なHE再発防止の取組み、人間工学、心理学、生理学などの視点からヒューマンファクター研究が行われ、人間を取り巻く“環境”の改善が行われてきた。

これらの取組みや研究の多くは、HE、極論すれば人間を安全へのリスクと捉え、人間にHEを起こさせるネガティブな“環境”を排除する、時には自動化という形で人間を排除するという対策が採られることもある。しかし、2009年1月の“ハドソン川の奇跡”<sup>a)</sup>に代表されるように、トラブルに適切に対処し、被害を最小限にできるというポジティブな能力も有しているのが人間である。そのため近年のヒューマンファクター研究では、後者の人間の潜在的な能力を最大限発揮させることに関心が向けられている<sup>1)</sup>。

そこで、本稿では当所で行っているHF研究の中か

*Studies on Human Factors in CRIEPI*:Kunihide SASOU, Yuko HIROTSU, Ayako HIROSE.

(2009年 10月6日 受理)

<sup>a)</sup> ニューヨークのラ・ガーディア空港離陸直後のUSエアウェイズ1549便の全エンジンが、バードストライクで停止し、滑空状態のまま、マンハッタン付近のハドソン川に不時着水した航空機事故。乗員・乗客全員が助かったことで、ニューヨーク州知事が“ハドソン川の奇跡”と褒め称えた。

ら、人間のポジティブな能力の活用に関連する“危険に対する気づき”と“チームワーク”に関する研究、またHE再発防止のみならず、未然防止のための基本的な取組みをシステマティックに展開していく仕組みに関する研究を紹介する。

## II. 個人の危険感受性評価

## 1. 研究の背景

安全を第一とする産業界の現場では、これを支えてきた団塊世代の大量退職による安全に関するノウハウの継承不足や、再発防止対策の充実による事故・トラブルの減少によって、若手従業員の危険感受性が低下していることが懸念されている。そのため、安全教育や危険予知活動などの安全活動が活発に行われているが、危険感受性を評価する尺度がないことから、教育・活動の効率的な実施を行いきにくいのが現状である。

また、作業中にルール違反や危険行為といった不安全行動を取る者への教育・指導も、危険を認知した上であえて不安全行動を取っているのか、あるいは、何が危険なのかわからないまま行動しているのかなど、危険に関する認識によって、その内容等を変える必要がある<sup>2)</sup>。しかしながら、これについても、危険感受性の評価尺度がないことから、被教育・訓練者に対して、個人の特徴に応じた効果的な教育・訓練を行えない現状がある。

そこで当所では、危険感受性を「好ましくない事態が生じる前に危険源を危険であると知覚できる能力」と定義し、作業安全にかかわる危険感受性の評価手法の開発を行っている。

## 2. 危険感受性評価のための予備実験

例えば、原子力発電所を考えた場合、運転や保守、放射線管理など作業内容は多種多様であることから、想定される危険源、危険源がもたらす影響(労働災害、設備災害や環境汚染など)も様々である。したがって、設備産業における作業者は、危険源の発見のみならず、それがもたらす影響等についても幅広い視点で認識できることが望まれる。また、その危険源等への認識も、作業中あるいは巡回点検中という時間の流れの中で求められている。そこで、以下に示す方法によって、危険感受性評価のための実験を試行した。

### (1) 刺激映像

複数個の危険場面を含む3種類の映像を、実験用の動画映像とした。

T映像：知識や作業経験を必要としない日常生活場面(オフィスでの一日)映像

G映像：多少の知識・経験を必要とする作業場面(セルフガソリンスタンドでの給油)映像

V映像：専門的知識や経験が必須の作業場面(バルブ分解点検)映像

### (2) 実験方法

11名の机上業務者(平均年齢38.5歳、男性6名、女性5名)を被験者とした。被験者には上記の3映像を視聴させ、映像中に何かしら悪い結果につながる状態や行動を発見したら、その場で映像を停止し、以下の5つの観点についてそれぞれ自由記述で回答させた。

- ・危険源：何かしら悪い結果につながる状態や行動は何か
- ・結果：その状態や行動がどのような結果につながるか
- ・人的被害：この状態や行動の結果、生じる人的被害はどのようなものか
- ・物的被害：この状態や行動の結果、生じる物的・設備的被害はどのようなものか
- ・回避：もし自分だったらこのような結果を避けるためにどのような行動(判断)をするか

### (3) 本研究で用いた危険感受性の指標

被験者の回答結果をもとに、以下の2つを危険感受性の指標とした。

指摘率：映像中に挿入されている危険場面数に対し、被験者が指摘できた場面数の割合

正答率：危険源、結果、人的被害、物的被害、回避の回答のそれぞれについて、実験者があらかじめ用意した模範解答との合致の割合

## 4. 実験結果と今後の展開

危険感受性には知識や経験が大きく影響を及ぼしているといわれている。しかし、自動車の運転で、初心者全員が事故を起こすわけではないように、作業に対する知識や経験が少ない新人であっても、事故を起こさない者も多く存在する。このような個人差は、作業経験によら

ない個人が本質的に持っている危険感受性に由来しているのではないかと考えられる。そこで、本研究においては、上記の危険感受性の2つの指標と知識経験の有無の関係、個人差の影響について検討した。

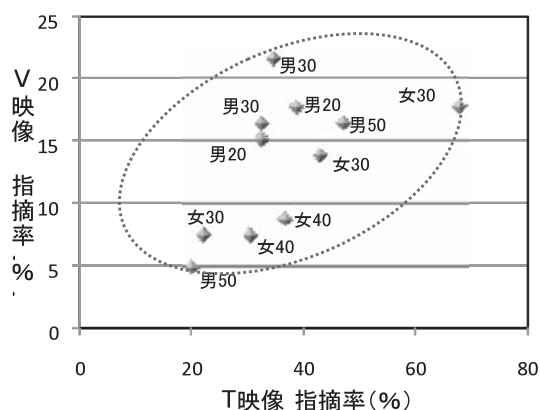
### (1) 知識経験があれば危険感受性は高くなる

知識・経験の有無による危険感受性の差について、セルフスタンドでの給油経験を有する被験者5名と経験のない被験者6名とで、当該作業風景を映したG映像に対する指摘率ならびに正答率に差がみられるかどうかを検討した。その結果、経験あり群の方が、指摘率ならびに一部の正答率とも経験なし群に比べ高得点であった。また、映像中作業経験の有無による偏りがみられた指摘箇所は当該作業の重要ポイント(例：給油口を開ける前の静電気除去)であった。このことから、知識・経験のない作業において作業者が、何が危険かを指摘するのは困難であることが確認できた。

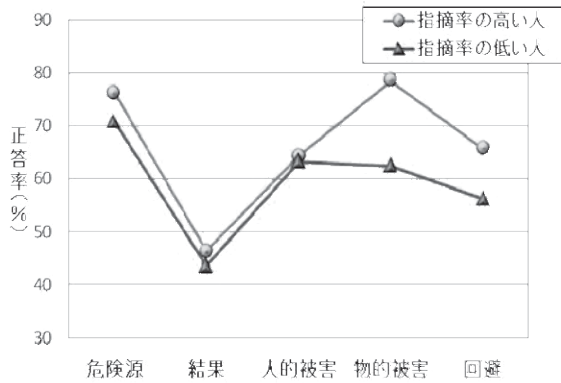
### (2) 知識経験に個人差がなくても危険感受性に差が出る

作業に対する知識経験に個人差のないT映像(全員経験あり)とV映像(全員経験なし)に対する被験者の指摘率や正答率に相関があるかどうかを調べたところ、指摘率(第1図)ならびに、「結果」、「物的被害」に関する正答率に正の相関がみられた。さらに、被験者全員が指摘した危険場面のみを抽出し、正答率を分析した結果、「物的被害」に関する正答率について、どの映像に対しても平均より指摘率の高い被験者群の方が有意に高得点であった(第2図)。これらの結果から、知識・経験により培われる危険感受性とは別に、個人に備わる本質的な危険感受性の存在が示唆された。また、指摘率の高い人は、低い人と同じ危険場面を指摘しても、予想される被害をより広い視野で考えることができると推察された。

以上の実験および分析から、危険場面の指摘数(指摘率)と、その場面に含まれる危険源に対する洞察の深さ(正答率)から危険感受性を評価できる可能性が見出された。また、映像刺激中に人的災害のみならず、設備や環境的被害につながるような数種の危険源を挿入すること



第1図 各被験者のT映像とV映像に対する指摘率



第2図 指摘率の高低による正答率の差

で、各人の危険源の認識に関する長所短所を明らかにすることができるのではないかと考えられる。今後は、刺激内容、測度、測定方法全般に関し、更なる検討を進め、危険感受性評価手法の確立を目指すとともに、実際の作業現場において本手法を適応し、その妥当性について検討を行う。また、危険感受性を向上させるための教育訓練方法についても、今後、調査・検討を行い、評価手法と合わせて提案する。

### Ⅲ. 発電所運転チームのチームワーク評価

#### 1. 研究の背景

チームワークの重要性は、みな共通に理解するところである。しかし、その評価は、評価者の主観に頼ることが多く、そのため、評価者によって評価が異なる可能性がある。また、チームワークを向上させるために様々な取り組みがなされているが、その効果を定量的に測定することができないことから、取り組みの内容によっては効果に疑念を持たれることもある。さらには、リーダーシップの強い/弱いチーム、コミュニケーションの良い/悪いチームなど、チームそれぞれには個性があるにもかかわらず、一律同じ内容の取り組みが課せられることもある。そこで当所では、原子力発電所、火力発電所の運転チームのチームワーク向上のため一連の研究の第一段階として、チームワークを評価する尺度の開発に取り組んでいる。

#### 2. 行動観察評価のための評価観点

原子力・火力発電所の運転チームにとって、チームワークの良し悪しが最も問われる場面の一つが、発生したトラブルに対処する状況である。そこで本研究では、高いチームワークを実現するための12個のチームワークサブ要素(第1表)を評価の切り口・観点としている<sup>3)</sup>。これらチームワークサブ要素は、チームで仕事を行うときに一般的に期待される4つのメリット、すなわち①議論を通じてアイデアが生まれる、②仕事を分配・協調して行える、③お互いの弱点・不得手・ミスを補える、④

第1表 行動観察での評価観点

チームワーク要素	チームワークサブ要素(評価観点)	概要
方向付け	①目標共有	現況に応じた方針・対応が明確に理解されている。
	②状況共有	現況についての全員への周知が行われている。
	③情報授受	報告が明確で、報告の重複を避けるなど、報告受者の認識向上に配慮している。
意思決定	④議論	原因追求、方針決定等の場面で、偏見、先入観なく、チームとしての議論、決定が行われている。
	⑤主張	安全上、重要な事案が生じた場合、自らの意見、見解などを明確に表現できる。
	⑥受容	誤りやよりよいアイデアに対し、それが誰からのものであろうと、以前の決定に縛られず、最善のものに置き換えられる。
	⑦促進	速やかな意思決定のために、必要な議論が速やかに行われる。
権限と責任	⑧権限委譲・指揮命令	タスク遂行の権限が委譲され、明確な指揮命令系統で遂行される。
	⑨責任遂行	与えられたタスクを主体的に実施し、経過を報告したり、結果をレビューする。
	⑩主体的判断・行動	与えられたタスクでなくても、自ら必要と判断されることを主体的に行っている。
ワークロード管理	⑪ストレス管理	相手の行動、能力を踏まえた指示が出されている。
	⑫タスク管理	適材適所の人員配置、タスクが偏った場合の人員調整、タスク優先順位の変更などが、柔軟に行われている。

お互いにレベルアップできる、を実現するために必要な事項を、原子力・火力発電所運転訓練施設の指導員らとともに整理したものである。

#### 3. 行動観察によるチームワーク評価の概要

運転訓練シミュレータを使ったトラブル対応訓練では、異常事象を仮定することで、運転チーム/運転員の主要な振舞い(主要な発話や行動)を想定できる場合が多い。そこで、上記のチームワークサブ要素の評価が行える場面を、各運転員の想定可能な振舞いの中から特定し(例えば、“目標目的共有”の評価は、異常事象に対する



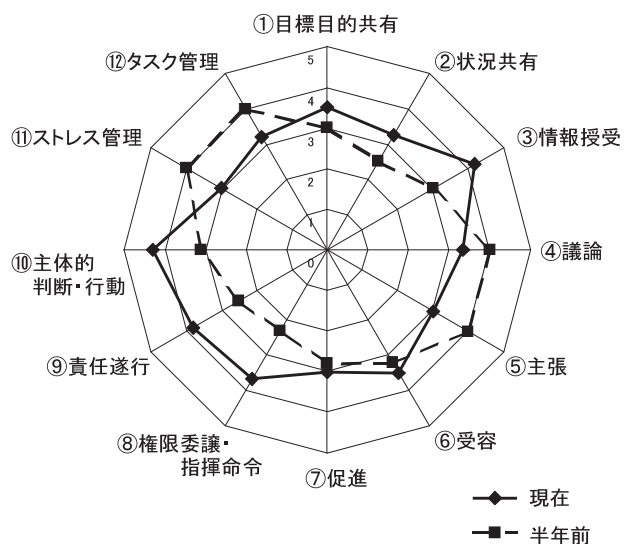
運転方針を当直長が運転員に周知する場面など、複数の場面で評価)、当該チームワークサブ要素について訓練施設指導員がチームに求めることを具体的に記述した評価項目・評価基準を作成した。さらにこれら評価項目・評価基準を、異常事象の展開に沿って時間方向に整理したチームワーク評価シートを作成した。本評価シートに基づいて訓練施設の指導員が、異常事象対応訓練中の行動を観察しながら5段階で評価し、その結果をチームワークサブ要素ごとに集計し、12の観点からのチームワーク評価結果としている。

このような評価手法によって、共通の評価基準でいつでもチームワーク評価が可能となり、例えば半年前と現在のチームワークの状態を相対的に比較することも可能となる(第3図)。

評価シートを異常事象ごとに作成する必要があるものの、事象展開が類似する異常事象であれば、評価シートをほぼ共通的に利用できることも示唆されている<sup>4)</sup>。

このような評価手法によって、従来、評価者の主観に頼らざるを得なかったチームワーク評価を、評価者に依存しない共通の基準で評価できるとともに、個々のチームのチームワークの状態を可視化することで、今後、それぞれに応じたチームワーク向上訓練を提供し、効率的な訓練を行うことも可能になると考えられる。

異常対応時のチームワークの良し悪しは、日常的な活動でのチームワークの良し悪しにも関連するといわれている。そこで、リーダーシップ、集団アイデンティティ(チームとしての一体感)などのチームワークに影響する要因との関係を解明し、シミュレータ訓練を使った行動面に限らず、日常的な面(心理的な側面)からの対策も含めた効果的チームワーク向上方策の提案を行う。



第3図 チームワークの評価結果の例

## Ⅳ. HE 情報等の高度活用

### 1. 研究の背景

原子力発電所においては、HEに起因するトラブル(HE事象)を防止するために様々な活動を行い、一定の成果を上げている。しかし、これらの活動は地道で活動成果が見えにくく、マンネリ化に陥りやすい。また、トラブルを引き起こす可能性のあるヒューマンファクター問題は時間が経つとともに移り変わることから、継続的にこの問題点を把握し克服するために活動の重点を変えていく必要がある。そこで、トラブルを引き起こす可能性のあるヒューマンファクター問題を、発電所自らが積極的に洗い出し、それに対して実効性のある措置をとるための仕組みであるエラーマネジメントプロセスとその導入・展開ステップを提案した<sup>5)</sup>。

### 2. エラーマネジメントプロセスの概要

第4図にエラーマネジメントプロセスの全体像を示す。このプロセス全体を通じた基本的な考えとして、HEの背後要因の視点(作業実施および作業管理に係わる人、設備・作業、環境要因および発電所レベルの管理要因)<sup>6)</sup>を採用した。これによって、HE防止活動と各活動が対処しうるHEの背後要因とを対応づけすることが可能となり、相互に影響を及ぼし合う活動を明確化し、また活動の効果の把握を容易にしている。このプロセスのPDCAを円滑に進めるための方法、手順を整備するとともに、Do段階、Check段階のHE事象分析に係わるステップ(事象報告、重要事象分析、傾向分析)の体系的かつ効率的な実施を支援するシステムとして、HINT-HFC(ヒューマンパフォーマンス事象分析支援ツール)を開発した。

PDCAの各段階での実施内容の概要を以下に示す。

#### (1) Plan(HE防止計画の立案)

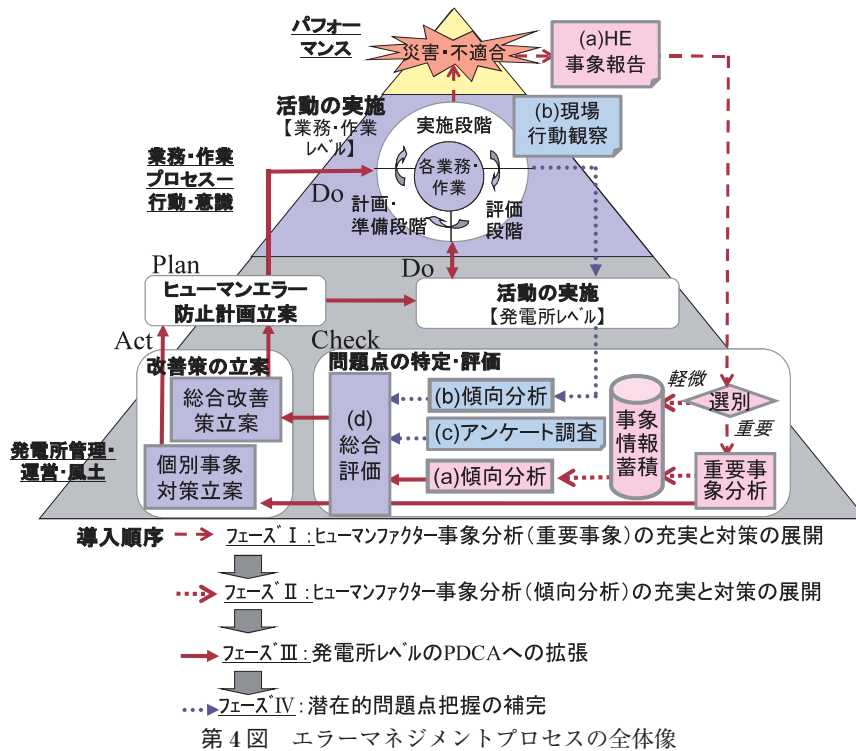
発電所(取りまとめ部署)が中心となってHE防止計画(第2表)を立案する段階である。HE防止の基本活動の中から、問題点に対処するための年度ごとの重点実施活動を選定し、活動を定着・継続させるための展開方策を検討する。

#### (2) Do(活動の実施)

各業務・作業プロセスにおいてHE防止活動を実施するとともに、発電所においてもデータの集約や教育といったサポート的な取組みを実施する段階である。特に、Check段階につなげるために、(a)HE事象報告、(b)現場行動観察のおのおのにおいて、基本活動・重点実施活動の実施状況および不安全行動・不安全状態に関する情報を収集する。

#### (3) Check(問題点の特定・評価)

Do段階で得られるデータを元に活動の効果把握



第2表 Plan：重点実施活動別基本方針と展開方策のイメージ

重点実施活動	取り組み箇所別の活動内容[基本方針(太枠), 展開方策]			
	個人 (実施段階)	直・作業 グループ (計画・準備・ 評価段階)	部署 (計画・準備・評価 段階, 日常管理)	発電所 (日常管理)
1. ダブルチェック (個人主体)	相互依存せずに新たな気持ちで実施	ダブルチェックの視点の明確化	ダブルチェックの意義の再徹底 パトロールによる実施の確認	ダブルチェックのキャンペーン化
2. 手順書検討 (直・作業グループ主体)		チェックポイントを参照した検討	チェックポイントの明確化	HE事象の共有化の仕組みづくり
3. 小集団活動 (部署主体)			HE防止の議論 議論の場のセッティング	テーマの設定 事象発生時の議論の奨励
4. ヒューマンファクター教育 (発電所主体)				HE防止の視点を含めた訓練の実施 実務者との議論の場の設定

し、活動実施における問題点を特定するとともに、新たな問題点(不安全行動・不安全状態)を明らかにする段階である。(a)HE 事象の傾向分析, (b)現場行動観察結果の傾向分析, (c)アンケート調査により、基本活動・重点実施活動おのおのの実施度(量)・充実度(質)・役立ち度(意識)・結果(各活動が対処しうる問題点の発生状況)を把握するとともに、HEの背後要因の視点に基づき不安全行動・不安全状態を特定する。また、(d)総合評価において、基本活動・重点実施活動の効果把握・問題点特定および新たな問題点(不安全行動・不安全状態)特定の観点から、上記(a)~(c)により得られるデータを相互に関連付けて評価する。

(4) Act(改善策の立案)

Check 段階の結果を踏まえて改善策を立案する段階である。重点実施活動の追加・見直しの基本方針を特定し、次サイクルの Plan 段階につなげる。

3. プロセスの導入・展開ステップ

このエラーマネジメントプロセスを発電所に導入・展開するためには、既存の HE 防止に関する仕組み・活動の状況を評価した上で、これらを活かしながら、段階的に活動を充実することが重要である。このことから、第4図に示すように、HE 再発防止の充実のための顕在化した重要 HE 事象分析の充実と対策の展開(フェーズ I)

から入り、HE未然防止を目指した、HE事象発生に影響する可能性のある潜在的な問題点(HE防止活動実施上の問題点、不安全行動・不安全状態)の把握の補完(フェーズⅣ)までの4つの段階を、各発電所の活動状況を見ながら、順次導入する考え方とそのため既存の活動の評価方法についても整理している。

## V. おわりに

“人間はエラーする”というネガティブな面が強調されることが多い。このネガティブな面を解決することは重要であるが、それに加えて、あるいはそれ以上に、人間が持つ危険への気づき、危機への対処能力など人間のポジティブな面を活用することが、今後、一層重要になる。現場におけるヒューマンファクター問題への解決に向けて、現場第一線で働く作業員から経営層まで、それぞれの階層で働く個人個人が持つポジティブな面を生かすための研究を今後も推進していく。

### —参考資料—

- 1) E. Hollnagel, Resilience: the Challenge of the Unstable, (Hollnagel, *et al.* eds), Resilience engineering: Concepts and precepts, ASHGATE, (2006).
- 2) 中村隆宏, 安全教育における擬似的な危険体験の効果と課題, 安全工学, 46, 82-88 (2007).
- 3) 佐相邦英, 淡川威, 蛭子光洋, チーム評価に関する研究(その3)—行動観察による発電所運転員のチームワーク評価手法の信頼性・妥当性の検討, 電中研研究報告, Y05007, (2006).
- 4) 佐相邦英, 杉原義邦, チーム評価に関する研究(その5)—チームワーク評価シートの適用性向上に関する検討, 電中研研究報告, Y 08024, (2009).
- 5) 弘津祐子, 藤本順三, 杉原義邦, 武田大介, 発電所におけるエラーマネジメントプロセスの構築—全体像と導入ステップの検討, 電中研研究報告, Y 08029, (2009).
- 6) 弘津祐子, 蛭子光弘, 淡川威, 松原克幸, トラブル未然防止に向けたヒューマンファクター事象の傾向分析, 電中研研究報告, Y 05010, (2006).

### 著者紹介

佐相邦英(さそう・くにひで)



電力中央研究所 社会経済研究所・ヒューマンファクター研究センター  
(専門分野/関心分野)組織人間工学, グループダイナミックス

弘津祐子(ひろつ・ゆうこ)



電力中央研究所 社会経済研究所・ヒューマンファクター研究センター  
(専門分野/関心分野)人間工学, 安全情報の活用

廣瀬文子(ひろせ・あやこ)



電力中央研究所 社会経済研究所・ヒューマンファクター研究センター  
(専門分野/関心分野)生理心理学, ヒューマンファクター



# 物理的世界とデジタルの世界の融合がもたらすもの Smarter Planet の目指す世界

日本アイ・ビー・エム(株) 岩野 和生, 菊山 薫子

ハイライト21世紀の社会をより持続可能なものとするために、人類はさまざまなチャレンジに直面している。そこで、すべての人々、企業、組織、都市、国家、自然環境、人間が創り出した仕組みが機能化し、相互に連携・接続され、インテリジェントになることは、社会のさらなる効率化と対応力の強化につながる。IT を効果的に活用することで、その実現は可能となる。スマートな世界は、ビジネス、社会、ひいては地球に進化をもたらす大きな可能性を秘めている。すでに交通、サプライチェーン、電力網といったところでIT システムの先進的な活用がされることで、スマートなビジネス経営、社会インフラ構築が可能となっている国も多数存在する。「スマート化」は原子力においても有意義であり、開発、建設から発電所の運営、廃炉までのライフサイクルにおいて、よりスマートになることは十分可能である。

## I. Smarter Planet

### 1. はじめに

1年半ごとに半導体の密度が倍になるというムーアの法則<sup>1)</sup>が1965年に提唱されて以来、それを上回る勢いでITの技術が進歩し続け、コンピュータの性能向上と価格破壊を起こしてきた。そのことが情報産業の世界で、PC、サーバー、ストレージなどさまざまなコモディティ化<sup>2)</sup>、コンポーネント化を引き起こし、サービス分野にシフトを余儀なくされた。このサービス化の流れが今では、情報産業のみならず、多くの産業分野で起きつつある。その際、サービスを安全、安心に、品質を保障するためのサービスインフラやサービスマネージメント技術が重要になり、このようなことが持続可能な社会、デペンダブルな社会をめざすという動きにつながっている<sup>3)</sup>。

さらにデータ量の爆発的増加がITの進歩とともに起こっている。現在、年率60%で伸びており、IDCによると世界のデータ量は2007年には281エクサバイト<sup>b)</sup>といわれたものが、2011年には1,800エクサバイトになるそうである<sup>3)</sup>。このような大量のデータのもたらす世界では、次の3つが重要になる。まず、これらの大量のデータをリアルタイムに処理する技術である。リアルタイムに流れてくるデータの流れの中から必要なデータを抜き出したり、統合したり、相関関係を見たり、さらには大規模なデータマイニング<sup>c)</sup>が必要となる。さらにそれら

多種多様の分散されたデータ(federated dataと呼ぶ)へのアクセス、検索技術、メタデータ管理<sup>d)</sup>、データマイニング技術が重要になる。そのようなストリームのデータ処理技術としてSystem S<sup>5)</sup>が発表され、使用が一部の企業では始まってきている。例えば、金融機関でリアルタイムに情報を処理し、投資を行っていくシステムなどである。

もう一つの大きな流れがインターネットの加速によって生じた世界である。2011年には300億個のICタグが登場し、実に1兆個の機器がインターネットに接続されるといわれている。世の中のありとあらゆるもの(森羅万象)が互いにつながる世界ができつつある。それらの森羅万象のものから作り出されるデータや情報がインターネットを通して集められて処理、解釈することも可能になってきた。つまり物理的世界とITの世界が融合し、そのなかでさまざまな新しい社会サービス、企業サービスが安心して使える環境が訪れようとしている。米国の学会やNSF(National Science Foundation)はCPS(Cyber-Physical Systems)<sup>4)</sup>を、IBMはSmarter Planetと呼ばれるイニシアティブを始めている。物理的世界と情報の世界を結び合わせて新しい世界観と領域を生み出

<sup>a)</sup>技術革新によって誰でもその技術、作り方を手に入れることができ、その参入障壁が減り、価格破壊や寡占化が起きること。

<sup>b)</sup>10<sup>18</sup>=百京バイト。

<sup>c)</sup>データを分析し、その統計的情報やデータ同士の相関関係などを分析し、新しい知見を得る手法のこと。

<sup>d)</sup>データ自身の性質や由来などを記述したもので、多種多様のデータを取り扱うときにメタデータを管理していくことでデータの取扱いが容易にできる。

*Fusion of the Physical and Digital World—Goal for Smarter Planet* : Kazuo IWANO, Kaoru KIKUYAMA.

(2009年 9月1日 受理)

していこうとしているのが現在の方向性である。

当解説では、この Smarter Planet をいくつかの事例とともに紹介しよう。

## 2. Smarter Planet とは

### (1) 定義

IBM は2008年11月に Smarter Planet 構想を発表した<sup>5)</sup>。前節で述べたように、物理インフラとデジタルインフラの融合された世界で、世界の森羅万象の織りなすネットワークに影響を与えるというものである。そのため Instrumented (機能化), Interconnected (相互接続), Intelligent (インテリジェント化) という3つの要素がキーとなる。つまり、RFID (Radio Frequency Identification と呼ばれるもので無線技術によって情報を発信できるタグ)、IC タグなどのセンサー群が物理的なものやネットワークに配備されることを Instrumented と呼ぶ。ここで、森羅万象は環境、モノ、人、センサー、ソフトウェア、カネなどほとんどすべての私たちの活動を取り巻くものである。森羅万象が織りなす動的なネットワークの活動やお互いの関係を補足することが Instrumented であり、それがネットワークを通じて互いの関係や情報の統合などが行われる。これを Interconnected と呼ぶ。そうしたデータを情報として把握し、解釈し、最適化することができる。これが Intelligent と呼ぶものである。このとき、その把握、解釈、最適化には価値観が伴う必要がある。この価値観は社会、世界の価値観、ビジネスの目的などである。いったんこの価値観、価値基準が決まれば、これに基づき情報を整理、最適化、そして次のアクションを決められる。そして、そのアクションをまた森羅万象の世界に反映させるのである。このようにして、ある価値観に沿った一つの生態系を作ることができる。このようなことを社会・ビジネス生態系と呼び、この社会・生態系をより賢く (Smart) にしようというコンセプトが Smarter Planet である。

当然ながら、社会の価値観は一企業が定めるものでもなく社会的に決められるものである。しかし、世界の共通認識として、現実には起きている資源・エネルギーの無駄、非効率性、ビジネスが相互関係を織りなすなかで情報が全体把握されていないことから来る無駄、非効率などは現実的にそれらを改善するという要求は喫緊のものである。特に地球の環境問題は、2050年までに CO<sub>2</sub> 排出量を半減しなければならない。このためには、上に述べたような全体的な視点での最適化が必須となってくる。

### (2) 世の中の非効率、無駄

前節で述べた世の中の非効率をみても、次のようなものがすぐにでも指摘できる。

- 現在のデータセンターではエネルギーを100投入しても、計算に使われるのは、そのうちの3、冷却に

50使われているそうである。

- 分散計算環境では85%のリソースがアイドル状態にあるといわれている。ワークステーションの稼働率は大体25%、PCは5~6%、メインフレームは60%程度といわれている。
- IT投資の80%は既存システムの維持管理に回っており、新規投資にはほんの20%しかまかせない。しかもその新規投資の稼働にいたる TTM (Time To Market) や TTV (Time To Value) は年々悪くなっているという。
- 世界の電力生産量の40~70%が送電中に失われている。
- サプライチェーンにおける情報の共有の不備などにより、在庫切れによる北米小売業の機会損失は9.3兆円である。
- 米国において、野菜や肉が産地からスーパーマーケットの棚に並ぶまでに、エンジンは平均2,600 km、ジャガイモは1,900 km、ローストチキンは1,000 km 輸送される。
- 米国では、毎年5兆円の食物が廃棄される。
- 世界の水の使用量は1900年代に6倍増加した。これは、人口増加率の2倍である。つまり、人口を上回る伸びで水を使用しているのである。しかし、
- 世界の5人に1人は安全な飲料水にアクセスできない状態である。

このように、世界のなかで非効率、無駄のもたらす損害は図り知れないものがあり、それらは地球資源としても無視できない規模になっている。これらを物理インフラとデジタルインフラの融合された世界で緩和できれば少なくとも世界はいい方向にいくのだろう。

## 3. Smarter Planet 事例

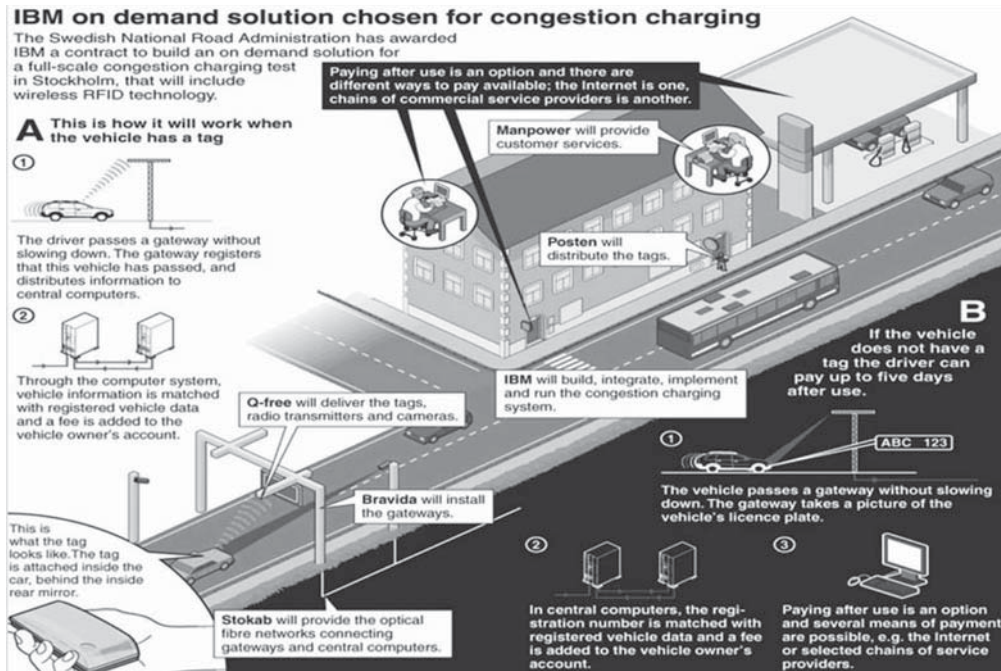
本節では、Smarter Planet の例を紹介しよう。物理的なものとデジタルの世界の融合のなかで社会・ビジネス生態系に影響を及ぼすという観点からは、地球環境問題、都市の渋滞問題、ビルのエネルギー問題、スマートグリッド、グリーンデータセンター、社会サービスインフラとしてのクラウドコンピューティング<sup>6)</sup>、ウォーターマネージメント<sup>7)</sup>、グリーンデータセンター<sup>8)</sup>、スマート

<sup>6)</sup> コンピュータ資源を自分の所に所有せず、ネットワーク越しにネットワークサービスの形でサービスを提供したり、受け取る仕組み。

<sup>7)</sup> 河川、湾などに、水質、水温、流速、プランクトン数、天候などのセンサーを置き、それらからのデータを河川、湾、湖などの生態系モデルに反映させ、状態の見える化と最適化を行うこと。

<sup>8)</sup> 風力発電、太陽光発電、ビルの設計、サーバーやストレージのエネルギーコントロールや統合化によりデータセンター全体のエネルギーや CO<sub>2</sub> 排出量を低レベルにするデータセンターの総称。





第2図 課金のためのセンサー群

ビルディング<sup>b)</sup>, 下記に説明する原子力マネージメントなど多岐にわたる。

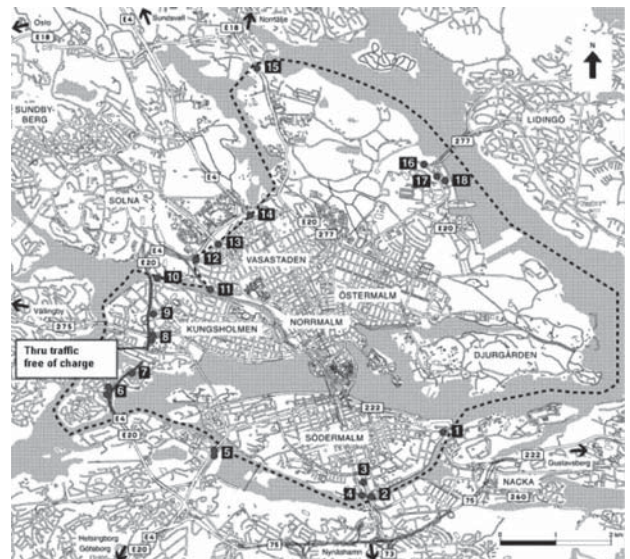
### (1) ストックホルムの渋滞課金

都市における渋滞は深刻な問題を引き起こしつつある。ニューヨーク市のもっとも込み合った道では交通量の45%が駐車スペースを求めて動いている。渋滞によって年間8兆円が無駄になっており、米国では29億ガロンの石油が無駄に使用されていることになる。日本でも渋滞は38億時間にわたり、12兆円、つまりGDPの2%相当の損害をもたらしている。この無駄を省く努力が世界のいくつかの都市で行われている。

ストックホルム市では、日に日に悪化する交通状況と環境に対抗するために、渋滞課金を導入することを検討した。2006年には車による平均通勤時間が前年に比べ18%も悪くなっていた。そのため、ストックホルム市とSweden National Road Administration (SNRA)は、渋滞課金の試行を行い、9月に住民投票を行い、2007年より本格導入に踏み切った。この仕組みは、市内の環状道路18箇所(第1図)にセンサー群(第2図)を取り付け、実際に市に出入りする車を特定し、日や時間帯に応じて課金した。課金は通常\$1.50から\$3.00であるが、ラッシュアワー時は\$8.5である。

この結果、ストックホルム市では交通量が25%減少し、公共交通機関の利用者は日に4万人増加した。さらに温暖化効果ガスは市内で14%削減した<sup>6)</sup>。

<sup>b)</sup>ビル内に張り巡らされたさまざまなセンサー群とそれらからのデータをもとに、ビル全体のエネルギーやCO<sub>2</sub>排出量を制御したり、新しいサービスや安全を考えるイニシアティブである。



第1図 ストックホルム市

このような都市で渋滞を避けるシステムは、ストックホルム市のほかにもロンドン、オスロ、シンガポールで展開されている。この渋滞課金システムも都市に張り巡らされた(この場合には18箇所のセンサー群だが)センサーネットワークからの情報を集め、全体的な判断を下し、影響を与えるという点で Smarter Planet のコンセプトをよく表しているだろう。今後は、このセンサー群が都市のなかでもっと多様になり張り巡らされて、さまざまな目的を達成することができると考えられる。例えば、都市単位での環境問題、CO<sub>2</sub>削減、エネルギーコントロール、人の動きにあわせたサービス、都市災害に応じた緊急対応、などなどである。これらが Smart Cities というイニシアティブとして展開されつつある。



## (2) インテリジェント ユーティリティ ネットワーク

イタリアの ENEL 社では、2007年までに、2,700万台のスマートメータを各家庭に配置して、新しいインフラを展開した。このスマートメータは15分ごとに家庭内の電力使用量を PLC(Power Line Communication: 電力線を使って通信を行う機構のこと)を通じてコンセントレータと呼ばれる中継器に送る。コンセントレータからホストにはインターネット網を通じてデータを送る。このように、2,700万世帯もの家庭の電力使用量がわかればパターン化なども含めていろいろな分析が可能になる。ENEL 社は、これらの分析に基づいていろいろな料金プランを提供している。そして、ピーク時の電力を5%シフトすることができる可能性があり、そうすると、1,000 MW 級の発電所が2箇所不要になるという(第3図)。

このようなスマートメータは人口約40万人、316 km<sup>2</sup>の閉じられた系である地中海の島国マルタ共和国でも展開され始めた。これは世界初の国レベルで展開である。この国は660台/km<sup>2</sup>という世界で2番目の自動車密度をもち、温室効果ガスは2012年までに1990年比62%増加する見込みであり、国を挙げての水と電気の管理は最重要課題である。マルタ共和国の公共電力・水道事業を行っている EMC(Enemalta Corporation)と WSC(Water Services Corporation)は、投資額7,000万ユーロで、5年間で国内にスマートグリッドを開発することを決定した。1つの島全体、国全体で、25,000のスマートメータを設置し、水と電力の両方を管理する。

(岩野和生)

## II. Smarter Nuclear

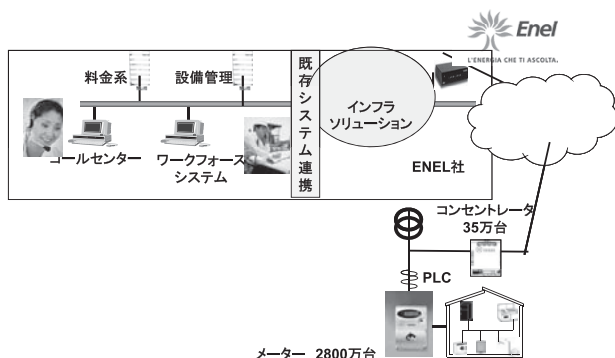
地球温暖化への対策として昨今、原子力が重視され、世界では原子力「ルネッサンス」と呼ばれる時代が到来している。1979年に起きたスリーマイルアイランド原発での事故以来、新規原発の発注が停止していた米国や、1986年のチェルノブイル事故以来、脱原発政策を採用してきたドイツやスウェーデンといった欧州諸国においても、原発回帰への動きは顕著である。さらに、石油やガスを

中心としてきたエネルギー消費体系もエネルギー安全保障の観点から、再生可能エネルギーや原子力のシェアを増やす傾向にある。こうしたエネルギー安全保障への関心は、今日までオイル・ガス輸出国の代表格であった中東諸国においてさえも、2015年以降あたりを目途に原子力を導入するといった活気的な動きにも現れている。こうした傾向は、OECDの原子力エネルギー機関(NEA)が最近発表した「原子力エネルギー予測2008」における2050年の世界における原子炉数に反映されている。NEAによると、最大予測で1,400基、最小予測で600基という数字がはじかれている。

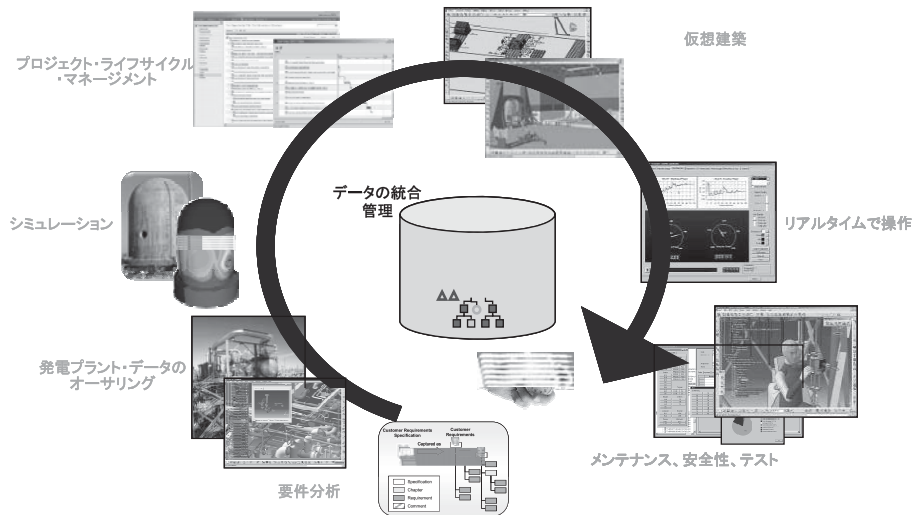
こうした原子力の開発・利用が促進されていく過程において、さまざまな課題、挑戦に原子力界は直面している。原子力プラントメーカーを巡る国際市場での競争激化とそれに伴う活発な業界内の M&A や、天然ウランの価格やそこから派生するウラン開発への投資に多大な影響をもたらすファンドの存在のように、原子力をめぐる世界の情勢はここ数年かなり流動的な新しい局面に入っている。そこにおいて、人材育成・確保、知識の継承やサプライチェーンの確保に始まり、廃棄物処理処分、3S(Safety, Security, Safeguards)の確保等々、原子力が今後安定した継続的な利用の拡大を遂げるためには、おのおのの解決は欠かせない。これら課題への対応として、規制の強化、改革や政策で解決できるものもあるが、いずれも産官学の連携は欠かせない。

一方、こうした解決策をバックアップできる IT 技術の活用も原子力の安定した開発・利用には不可欠となりつつある。原子力の開発から廃炉に至るまでのプロセスにおけるデータを、IT 技術によりシームレスに統合管理しようという試みが、「インテリジェント・プラントライフサイクル・マネージメント(IPLM)」という概念である。原子力のプラント製造メーカーが概念設計に始まり、電力会社に納品するまでのデータと電力会社その後、保守、維持管理で蓄積されたデータすべてを一元的に共有可能とするシステムを、IT 技術で実現する。シームレスなデータ管理が可能となれば、設計変更や、経年化したパーツのリプレース等に要する時間、人員の削減によりコストの低減も可能となる。さらに、プラント設計・製造の標準化も統合されたデータの存在により容易になる(第4図)。

現在、IPLMのコアの一部で、原子力発電施設における IT による保全管理は、すでに米国や国内一部の原子力発電所において導入されており、施設のコストパフォーマンスの改善にも貢献している。例えば、米国の原子力発電所における管理プロセス等の標準規程をモデル化した Standard Nuclear Performance Model においては、原子力施設における保全対象は、運転管理、作業管理、設備信頼性管理、構成管理、資材調達管理がコアとして存在しており、これらをサポートするプロセスと



第3図 ENEL社のスマートメーター



第4図 原子力プラント・ライフサイクル・マネージメント (IPLM)

して、運転員、保全員の教育管理、情報管理、人事管理、検査レポート管理、安全管理、緊急時・防火対策、セキュリティ管理といったものをあげている。ここで、おのおのシステムは関連性を持たせるために、システム間での情報の連携および統一された管理プロセスが実現される必要があり、ITにより管理効率の改善が図られる。

米国では、新規原発建設が長年凍結されていた事由もあり、既存の原子力施設の効率的な管理・運営に多大な技術を投与してきた。情報システムにおいても、蓄積されてきた保安全管理情報(設備データ、作業標準、資器材データ等)を電子化しシステム構築を図ってきた。わが国においても今後、炉を運転しながら実施するオンラインメンテナンスへの移行、確率論的安全評価 PSA の導入による発電所の安全性の評価といった規制の動きに加え、海外における原発建設と現地規制への対応等々の新たな時代に原子力界は突入する。複雑・高度な技術がゆえに大量なデータを抱える原子力において、安全性の追求を最優先しながら原子力施設のライフサイクルパフォーマンスの効率化も図るために、情報システムの効果的な活用は重要である。さまざまな課題を克服するために、原子力も「よりスマート」な開発、運営が可能である。

(菊山薫子)

#### —参考資料—

- 1) <http://www.intel.co.jp/jp/technology/mooreslaw/index.htm>
- 2) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t-58-4.pdf>
- 3) <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/diverse-exploding-digital-universe.pdf>
- 4) <http://varma.ece.cmu.edu/CPS-Forum/CPS-Executive-Summary.pdf>
- 5) <http://www-06.ibm.com/innovation/jp/smarterplanet/>
- 6) [http://www-06.ibm.com/jp/lead/ideasfromibm/stockholm/Stockholm\\_jp.pdf](http://www-06.ibm.com/jp/lead/ideasfromibm/stockholm/Stockholm_jp.pdf)

#### 著者紹介

岩野和生(いわの・かずお)



日本アイ・ビー・エム(株)  
(専門分野/関心分野)アルゴリズム、最適化

菊山薫子(きくやま・かおる)



日本アイ・ビー・エム(株)  
(専門分野/関心分野)原子力、環境

# 国産放射線挙動シミュレーション計算コード システム開発の必要性と展望

日本原子力研究開発機構 坂本 幸夫, 千葉 敏, 長家 康展

MCNP/MCNPX コードは、核・臨界から中性子・光子の遮蔽および加速器施設等での高エネルギー放射線の挙動・遮蔽までの設計計算や実験解析に広く使われている。本年4月に米国オークリッジ国立研究所(ORNL)の放射線安全情報計算センター(RSICC)から、国内で登録コードを配布している高度情報科学技術研究機構(RIST)に新たな配布停止の指示があり、計算コード自体およびこれらを組み込んだ計算コードを新規ユーザーは使えなくなった。そこで本稿では、国内での使用状況および組み込んだ計算コードの開発状況を概観する。幸い我が国では、原子炉核計算用として汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード(MVP)、広範囲なエネルギーの各種放射線挙動解析の粒子・重イオン輸送計算コード(PHITS)、および核データとしてJENDL-4が着々と開発・整備されているので、外来の計算コードおよびデータに全面的に依存することなく、この種の計算を行うことができるようにすべきである。

## I. MCNP/MCNPX コードシステム 配布停止の影響

### 1. MCNP/MCNPX コードシステムとは

MCNP コード<sup>1)</sup>は、米国ロスアラモス国立研究所(LANL)が30年以上にわたり開発している、中性子、光子、電子およびこれらの粒子が相互に関係する輸送現象を取り扱う汎用のモンテカルロ輸送計算コードシステムである。コード開発・維持管理のためにプロジェクトチームが組織され、2000年の時点までに500人年の人材が投入されている。また、MCNPX コード<sup>2)</sup>は、MCNP-4B コードと高エネルギー粒子輸送計算コード(LAHET)を統合した多種類の粒子・放射線の輸送を取り扱う汎用のモンテカルロ輸送計算コードシステムであり、別のプロジェクトチームが組織され開発されている。

MCNP/MCNPX コードシステムは、原子力施設等の核・臨界計算、遮蔽計算のみならず、医療や工業分野での放射線利用において広く世界的に放射線(中性子、陽子、光子、電子等)の輸送計算ツールとして用いられている。国内でも、各種の実験解析や設計計算に使われているほか、これらを組み込んだホウ素中性子捕捉療法(BNCT)線量評価システム(JCDS)、燃焼計算コードシステム(SWAT 3.1)、Ge 半導体検出器効率校正用コード(CREPT-MCNP 1.1)、放射化放射能評価システム

(COSMARD)、使用済燃料組成評価コード(MCNP-BURN 2)等が開発されている。

### 2. コードシステム配布停止の影響

本年4月、ORNLのRSICCが、MCNP/MCNPX コードシステム配布の停止を米国内、並びにOCED/NEA データバンクおよびRISTを通じて世界中の関係者に通知したことで、混乱が生じた。昨年軽水炉熱水力解析コード(RELAP)とともにMCNPコードの配布制限を予告していたが、今回それが現実となり、新たな指示があるまでMCNP/MCNPX コードシステムおよびそれを含む一切の計算コードの配布が停止される状況となった。

これは、米国商務省の輸出規制に関する条項の見直しに関連して、エネルギー省がRSICCに指示したものであり、知的財産権の保護あるいは核不拡散に関したものと推察されている。その後、6月になって米国では、RSICCがソースプログラムを含む版と、ソースプログラムを含まない実行形式版の2種類を用意し、米国籍を有しないユーザーには実行形式版の取得を勧めるとともに、ソースを含む版の取得には長期の審査が必要となることをアナウンスしている。

NEA データバンクおよびRISTへの新たな指示はまだないようであるが、今後の指示次第では、日本国内において新規ユーザーが一切MCNP/MCNPX コードシステムおよびこれらを組み込んだ計算コードの使用ができなくなる。

核データについても、過去に米国がENDF/B-V ライブラリーを非公開にしたため、同様の状況に陥ったこと

*Necessity and Prospect for Development of Radiation Behavior Simulation Code System made in Japan*: Yukio SAKAMOTO, Satoshi CHIBA, Yasunobu NAGAYA.

(2009年 9月7日 受理)



を覚えておられる方も多いであろう。

このような事態となるのは、外国からの導入技術の宿命である。今後も、国内の原子力施設および放射線関連施設での放射線利用および安全評価、さらには最先端の研究開発課題に対して、外国の計算コードと核データに全面的に依存する体質は致命的な結果をもたらす可能性があり、純国産技術開発の必要性が改めて認識される事態となっている。

## Ⅱ. MVP コードの開発状況

MVP コード<sup>3)</sup>は、日本原子力研究開発機構(JAEA)でスクラッチ開発(一から独自に開発)された中性子・光子輸送計算モンテカルロコードである。計算対象としているエネルギー領域は、中性子が0.05 meV~20 MeV、光子が1 keV~100 MeVで、評価済み核データで記述されるモデルを基にしてシミュレーション計算を行う。MVP コードは、1980年代末頃から、高速・高精度な炉心計算を目的として開発が進められ、1994年に第1版、2005年に第2版が公開された。その後も適用範囲の拡大と利便性向上のための改良と機能拡張が行われている。

### 1. MVP コードの特徴

#### (1) ベクトル化されたアルゴリズム

MVP コードでは、粒子を一つ一つ追跡していくのではなく、ベクトル型計算機による高速処理に適するように、多数の粒子を同時に追跡し、それらの粒子は生成、飛行、衝突といった事象単位で一括して処理される「事象駆動型アルゴリズム」を採用している。MCNP コードでは、1つの粒子の起こす事象を逐次追跡し、そのヒストリーが終わった時に次の新しい粒子の追跡を始めるという「ヒストリー駆動型アルゴリズム」を採用している。

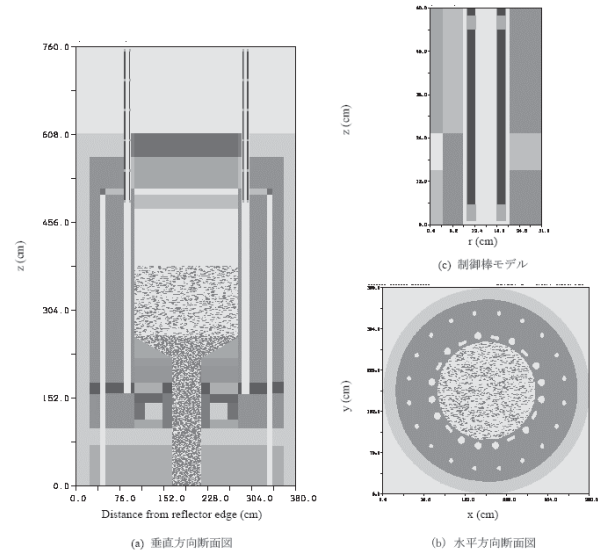
#### (2) 幾何形状表現および確率論的幾何形状モデル

幾何形状の表現法として、直方体や球などのあらかじめ用意された基本形状を組み合わせるにより、計算体系を構築する「組合せ形状表現法」(Combinatorial Geometry)を採用している。また、燃料ピンセルなどの繰り返し形状を容易に表現するために、四方格子および六方格子による「多重格子表現の機能」を有している。格子表現機能を拡張した確率論的幾何形状モデルを用いることにより、高温ガス炉で用いられる被覆粒子燃料やペブル球のランダムな配置(二重非均質性)を考慮することができる(第1図)。

#### (3) 任意温度連続エネルギーモンテカルロ計算および燃焼計算

ユーザーが入力データで物質温度を指定するだけで、計算コード内で温度に対応した断面積データを生成し、温度依存の計算が可能である。

また、ソースパッケージに燃焼計算モジュールが含まれており、連続エネルギー法による燃焼計算(MVP-



第1図 MVP コードの確率論的幾何形状モデルの例(ペブルベッド型ガス冷却炉 HTR-10の解析)

BURN)が可能である。

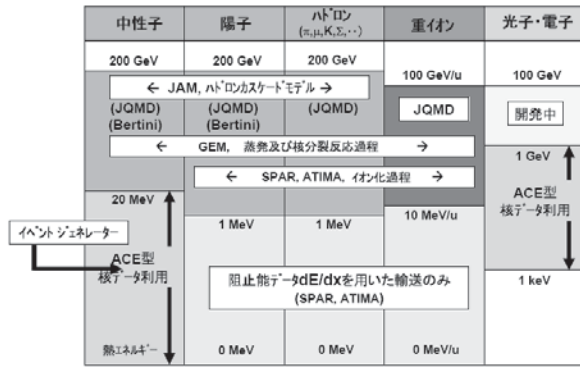
### 2. 今後の課題

MVP コードは、炉心解析を目的に開発された計算コードであり、臨界解析、核設計において有用な機能を豊富に有していることから、国内の大学・産業界におけるこれらの分野で幅広く用いられている。しかし、遮蔽分野においては、メッシュタリー、自動分散低減パラメータ設定等の機能が実装されていないため、あまり用いられていない。今後、MCNP の代替計算コード化には、これらの機能を追加していく必要がある。

また、ベクトル計算機の開発終了により、今や事象駆動型アルゴリズムによるベクトル化のメリットはない。ソースコードの保守性を考慮すると、ヒストリー駆動型アルゴリズムのスカラ型にプログラムの内部構造を改善するか、これまでのモンテカルロ計算コードを開発してきたノウハウだけを抽出し、PHITS コードと統合しやすいモジュール型の新たなモンテカルロ計算コードを開発するのが望ましい。

## Ⅲ. PHITS コードの開発状況

PHITS コード<sup>3)</sup>は、核変換研究および陽子加速器施設開発のために整備してきた高エネルギー中性子・中間子輸送計算コード(NMTC/JAM)に、重イオン輸送計算機能を追加したもので、JAEA が RIST、東北大学および高エネルギー加速器研究機構と共同開発している多様な放射線に対するモンテカルロ法の輸送計算コードである。PHITS コードは、2003年に第1版が公開され、その後も適用範囲の拡大と利便性向上のための改良と機能拡張が行われている。



第2図 PHITSコードで取り扱う放射線の種類とそのエネルギー範囲・核データ

### 1. PHITSコードの特徴

#### (1) 取り扱う放射線の種類と核データ

PHITSコードで取り扱う放射線(粒子・重イオン)の種類とそのエネルギー範囲を第2図に示す。20 MeV以下の中性子に対してはJENDL等の核データを、それ以上の中性子に対してはJAMコードあるいはハドロンカスケードモデルを用いて直接計算する。1 MeV以下の陽子・ハドロンに対しては阻止能データを用いた輸送のみを取り扱い、それ以上のエネルギーに対してJAMコードあるいはハドロンカスケードモデルによるデータを利用するとともに、衝突後の残留核に対してGEMモジュールで蒸発および核分裂反応過程を、SPARあるいはATIMAモジュールでイオン化過程をシミュレーションする。核子当たり10 MeV以下の重イオンに対しては阻止能データを用いた輸送を取り扱い、それ以上のエネルギーに対してはJQMDコードによるデータを利用するとともに、蒸発および核分裂反応過程並びにイオン化過程の取扱いは陽子およびハドロンと同様である。1 GeV以下の光子・電子に対しては核データを用いて計算する。

従来の計算コードでは、20 MeV以下の中性子に対して、中性子束強度にエネルギー依存のカーマ係数を乗じて吸収線量等を算出していたが、PHITSコードではイベントジェネレータモードを利用することにより、散乱反応過程での反跳核や生成される二次荷電粒子のエネルギー分布等を算出でき、微視的な線量評価に役立つ。

#### (2) 幾何形状表現

幾何形状の表現法としては、前述の「組合せ形状表現法」と計算体系の境界を曲面で構築する「一般化形状表現法」(General Geometry)の2種類が利用できる。

#### (3) 計算結果の出力等

PHITSコードでは、着目している位置もしくは領域での粒子・重イオン別のエネルギースペクトル、発熱量、放射線損傷、生成核、線エネルギー付与(LET)分布をスコアすることができる。また、これらの結果を、体系情報とともに、図示化するユーティリティーが備

わっている。なお、PHITS計算は、並列計算機にも対応している。

#### (4) PHITSコードの利用分野

加速器分野では、J-PARCにおいて加速器施設遮蔽設計、核破碎中性子源設計等、中性子光学機器設計計算に利用されるとともに、日米欧で建設・計画されている大強度重イオン加速器施設でのビーム輸送・発熱量評価・遮蔽計算等に利用されている。

医学利用としては、BNCT、陽子線治療および重イオン線治療における患者の被ばく線量評価等に利用されており、近年、その利用者が増加している。

宇宙工学では、宇宙環境および高々度飛行に伴う宇宙線による被ばく・放射線損傷・遮蔽評価に利用されている。また、中性子および荷電粒子による半導体メモリーのデータの内容が書き換わるソフトウェア評価にも利用され、放射線入射に伴う2次荷電粒子の発生および反跳核の微視的な挙動が調べられている。

### 2. 今後の課題

光子・電子に対して、電磁カスケードモンテカルロ計算コード(EGS)との統合により、1 GeVを超える光核反応への対応を進めている。また、加速器施設設計等で必要となる加速器構造材・遮蔽体の放射能評価を、PHITSコードの中で完結するようとの要望がある。

また、100 GeVを超える粒子や各種重イオンが関与する実験データの取得により、PHITSコードの精度検証を進め、PHITSコードがこの分野での標準コードの一つとして認知されることを望む。

## IV. 核データ JENDL-4の現状

原子力を支える基盤として、原子炉設計や安全評価に係る核・臨界計算、放射線被ばく評価等に係る遮蔽計算、原子力以外の応用分野や基礎分野での放射線挙動解析においては、核燃料や放射性核種を含む体系内での中性子や光子(ガンマ線)の挙動を記述するため、核反応断面積等の核データが不可欠である。核データの基本は測定データであるが、完備性を保証するものとして理論計算が必要となり、これらの測定データ、理論計算と統計的手法を用いて利用に耐えうる核データとされるのが評価済核データである。これに対する信頼性がなければ、核・臨界計算および遮蔽計算は意味を持たない。

### 1. JENDL作成の目的および体制

1970年代の高速炉開発に伴い、炉心設計には素性の判明した評価済核データが必要との声から、日本独自の評価済核データ(JENDL)の開発が始まった。その後、高速炉から軽水炉、核燃料サイクル等へ応用範囲を広げ、収納核種数も72から337へと増加させるなどJENDL-2, JENDL-3(最新版はJENDL-3.3<sup>4)</sup>)と改良し、現在

は来年3月の完成を目指した JENDL-4の開発を進めている。JENDL-4の開発は、高速炉での MA(マイナーアクチノイド)燃焼、加速器駆動炉の開発等に伴い、従来の原子力応用では注目されなかった MA や LLFP(長寿命核分裂生成物)の核データの重要性の増加に対応するため、これらの核データの充実や信頼性向上を目指している。また、近年の感度解析技術の進展による共分散データの必要性から、その充実も目的に掲げている。

JENDL-4の開発は、JAEA のシグマ委員会の下、大学、産業界の協力を得て、原子力基礎工学研究部門の核データ評価研究グループが中心となり行っている。同委員会には、核データ評価等を実施する核データ専門部会および炉物理実験・遮蔽実験に対するベンチマーク計算を実施する炉定数専門部会があり、核データの評価および評価済核データの質の向上を目指している。

## 2. JENDL-3および外国の評価済核データとの違い

すでに公開されている JENDL-3.3は、現行の軽水炉や高速炉等の原子力システムにおいては臨界性評価等で、要求される性能はほぼ達成していると考えられている。しかし、軽水炉の高燃焼度化や革新炉の開発等において重要となる MA 核種のデータの種類や質が必ずしも十分でなく、その充実が求められていた。これに 대응するために JENDL-4の開発では、アクチノイド核種について JENDL-3.3の62核種から79核種に増加している。また、積分テストとの緊密な連携を図り、その結果が素早く核データ評価に反映されるようにしている。

## 3. 核・臨界計算および遮蔽計算に用いるための処理並びに必要なデータ

評価済核データを、MCNP や MVP 等で核計算等に利用するには、NJOY 等の断面積処理コードで各計算コードに合わせた核定数(炉定数)にしなければならない。

JENDL-4では約390核種の核反応データが収納される予定であり、通常の核・臨界計算等には十分対応しているものと考えられる。今後の軽水炉の高燃焼度化、廃棄物処理、革新炉開発等では従来注目されていなかった核種の重要度が増すこともあり得る。例えば、ハフニウム(Hf)制御棒の放射化において、天然ハフニウム中に35.1%含まれる Hf-180から $^{180}\text{Hf}(n, \gamma)^{181}\text{Hf}(n, \gamma)^{182}\text{Hf}$ の反応で生じる半減期900万年の Hf-182が注目されているが、JENDL-4では Hf-181の核データが含まれる予定である。また、これまでの JENDL 開発は中性子核反応が中心であり、必要に応じ崩壊データや FP のガンマ線スペクトルデータ等も整備してきた。光子の核反応断面積については特殊目的ファイルとして含まれている。ただし、原子による光子の散乱・吸収過程に対応するデータや、熱中性子散乱則は従来から含まれていない。

## 4. 今後の課題

核データは、原子力利用等の応用工学分野や宇宙物理等の基礎科学分野における基盤データとして必要とされる。従来から産学との協力で核データの評価に努めてきたが、今後も加速器での医療照射、放射線による材料損傷、加速器駆動炉開発、宇宙線による半導体エラー評価等において核データの利用分野は増大することが予想され、多様化するニーズにあった評価・改訂等のサポートが重要になる。また、核設計等における評価済核データの処理等も含め炉物理の連携を以前にまして強化し、JENDL の利用拡大を図る必要もある。

JENDL-4は来年3月に完成する予定であるが、その後も利用者からのフィードバックへの対応やその拡張(エネルギー範囲、収納核種、入射粒子等)が必要になり、それに対応する体制の整備も重要な要素になる。

## V. 統合化とネットワーク構築

### 1. 国産放射線挙動シミュレーションコードシステムのコンセプト

MVP コードは核・臨界計算とともに中性子・光子の遮蔽計算の利用を目指しており、PHITS コードにおける低エネルギーの中性子・光子の挙動・遮蔽計算部分と重複する。原子炉施設や核燃料サイクル施設等においては、核・臨界計算と遮蔽計算を連続して行い安全性を評価する必要があり、一つの計算コードシステムで行うことがユーザーにとっては大変便利である。今後、外国の計算コードに依存することなく、国内での研究資源を有効に活用し、両計算コードの利点を最大限利用するために計算コードの統合を開始した。第3図に統合計算コードの適用分野を示す。断面積データとしては、20 MeV までの JENDL-4および3 GeV までの高エネルギーファイルを利用する。

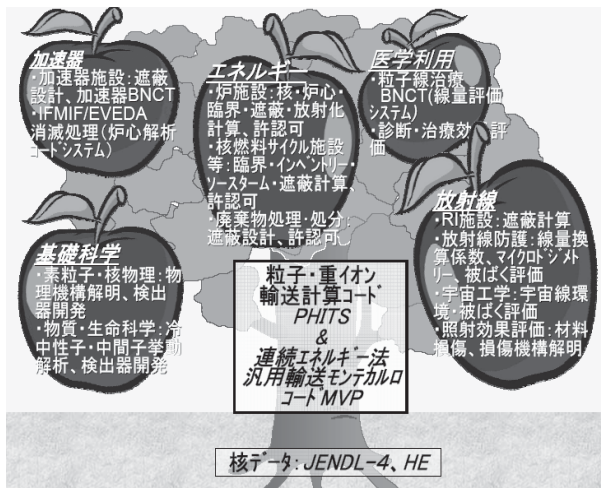
### 2. コード開発にあたって

国内で開発された計算コードやデータライブラリーが、過去に一部入手困難であったことが指摘されている。本開発は、外国からの導入コードに代替できる国産計算コードシステムを目指したもので、開発機関にとどまらず、国内の原子力および放射線利用に関する産官学の機関での使用を念頭に置いている。

また、国内開発の計算コードやデータライブラリーにおいてマニュアル整備等が不十分であり、導入したものに比べて使いにくいとの指摘があった。計算コード等の公開に当たっては、わかりやすいマニュアルを整備するとともに、サンプル問題に対する入力データを充実する。

さらに、ユーザーからの問合せに対しては、コード開発チームで対応し、機動性を高めるとともに個人への負荷集中を回避する。計算コードシステムの普及に当たって





第3図 統合計算コードの適用分野

は、講習会およびユーザー研究会をこれまで通り積極的に開催するとともに、ホームページも充実する。

### 3. 協力体制

高エネルギー放射線や重イオンビームによる物質との相互作用に関する実証は、国内外の研究機関との協力により新たに実測データを入手するなどして進める。また許認可申請に用いるためには、計算コードの精度検証を済ませて置く必要があり、原子力学会の放射線遮蔽研究専門委員会等との協力下に遮蔽ベンチマーク解析を進める。さらに、ユーザーとのネットワークを構築し、バグ情報や改訂情報の共有化を図るとともに、プログラムへの問合せに対する対応・要望等の把握に努めたいと思っている。

### 4. 今後の展望

現在の MVP コードでは、20 MeV 以上の高エネルギー領域や中性子・光子以外の粒子を取り扱うことができないので、PHITS コードとの統合により、加速器駆動核変換システム(ADS)や加速器駆動未臨界炉等の先進的原子力システムの核・臨界計算から遮蔽計算までを一貫して取り扱うことができるようになる。

また、PHITS コードは、医療分野における細胞レベルでの被ばく評価、材料の微視的アプローチによる放射

線損傷評価、宇宙線に起因する大気中性子場評価等の他分野との連携したマルチスケールの放射線挙動解析への展望が考えられる。

#### —参考資料—

- 1) RSICC Code Package CCC-740, "MCNP 5 /MCNPX : Monte Carlo N-Particle Transport Code System Including MCNP5 1.51 and MCNPX 2.6.0 and Data Libraries."
- 2) Y. Nagaya, *et al.*, MVP/GMVP II ; General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods, JAERI 1348, (2005).
- 3) H. Iwase, *et al.*, "Development of General-Purpose Particle and Heavy Ion Transport Monte Carlo Code," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[11], 1142-1151(2002).
- 4) K. Shibata, *et al.*, "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3 ; JENDL-3.3," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[11], 1125-1136(2002).

#### 著者紹介

坂本幸夫(さかもと・ゆきお)



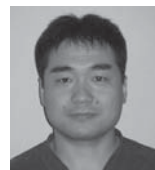
日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)放射線遮へい計算,  
放射線挙動解析

千葉 敏(ちば・さとし)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)核データ, 核反応工  
学, 原子核物理, 宇宙核物理

長家康展(ながや・やすのぶ)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 核設計,  
数値解析手法, コード開発

# FBR 実証炉の建設と実用化を目指して 開発の経緯と三菱の取組み

三菱 FBR システムズ<sup>(株)</sup> 岡田 敬三

現在の原子力発電の主力は軽水炉であるが、その一方で、ウラン資源の有効利用性が高く、放射性廃棄物の問題へ対応できるシステムとして、高速増殖炉(FBR)サイクル技術が国家基幹技術として位置づけられ、研究開発が進められている。これらを背景として、近年、FBR 開発の実施体制が見直され、三菱重工業<sup>(株)</sup>(MHI)がFBR 開発の中核メーカーとして選定された。本稿では、MHI、およびMHIが設立した三菱FBRシステムズ(MFBR)が、日本原子力研究開発機構(JAEA)とともに実施中のFBR 開発への取組みについて紹介する。

## I. はじめに

原子力発電は、発電の過程でCO<sub>2</sub>を排出することなく地球温暖化対策に貢献するものである。現在、発電に用いられている原子炉は、日本はもちろん、世界的にもそのほとんどが軽水炉である。この軽水炉から排出される使用済み燃料を再処理せずに直接処分する場合、21世紀中頃以降には燃料(ウラン資源)が枯渇する可能性があるとして予測されている。これに対し、高速増殖炉(以下、FBR)による核燃料サイクルが実現できれば、ウラン資源の利用効率が格段に向上し、数世紀以上にわたって発電が可能となる。また、マイナーアクチニド(ウラン、プルトニウム以外の重元素(ネプツニウム、アメリカシウム、キュリウム等)の総称で、長期間、放射線を出し続ける性質がある)を回収し燃料に混ぜて燃焼させることにより、高レベル放射性廃棄物発生量を軽水炉に比べて低減することが可能となる。これらのことから、FBRは、エネルギー資源に乏しい我が国におけるエネルギーの安定供給や放射性廃棄物の低減に貢献する有効な手段として期待されている。

これまでFBRは、国家プロジェクトとして日本原子力研究開発機構(以下、JAEA)が中心となり研究開発が行われており、2006年3月には総合科学技術会議において、「FBRサイクル技術は我が国のエネルギー安定供給に大いに貢献し、産業の発展と国民生活の向上に資する技術であり、その開発には国家による大規模かつ長期的な支援が必要」として、FBRサイクルが国家基幹技術に位置づけられた。さらに、原子力委員会にてまとめられたFBR開発の基本方針などを受け、2025年頃までの実

証炉の実現、2050年前の商業ベースでのFBR導入という目標が設定された。

2006年末には、日本政府、電気事業者、およびJAEAから「実証炉の基本設計開始前までの研究開発体制」として、中核メーカー1社に開発の責任と権限およびエンジニアリング機能を集中するという方針が示された。そして、2007年4月には、三菱重工業<sup>(株)</sup>(以下、MHI)がFBR開発の中核メーカーとして選定され<sup>1)</sup>、FBR開発を専門とする三菱FBRシステムズ<sup>(株)</sup>(以下、MFBR)を設立した。MFBRは2007年7月に事業を開始し、その後、電力会社の出資を一部受け、2025年頃の実証炉運用を目指して開発に着手した。MFBRは現在、JAEAの指導を仰ぎ、実用炉・実証炉の設計研究や各種の技術開発を実施中であり、次年度に実証炉の仕様を暫定し、2015年に仕様を確定の上、2016年より基本設計を開始する工程が定められている。

## II. 日本におけるFBR開発の経緯と三菱の取組み

### 1. 日本におけるFBR開発の経緯

日本のFBR開発は、JAEAが中心となり、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」と段階的に進められてきており、現在、「もんじゅ」では運転再開に向け、性能試験の準備段階にある。

また、電気事業者などが、「もんじゅ」に続く炉の開発を目的として、FBR実証炉の設計研究や技術開発を実施してきた。

そして、この設計研究や技術開発は国家プロジェクトへと引き継がれた。具体的には、JAEAが中心となり、電気事業者、メーカー(重電4社)などとともに、経済性を有するFBR実用炉の姿と、そこに至るまでの研究開発を明確にすることを目的とした「FBRサイクル実用化戦

略調査研究」(以下、FS)を実施した。

FSのフェーズI(1999~2000年度)においては、ナトリウム以外の冷却材を含め、多くの技術的な選択肢の評価が行われた。そして、フェーズII(2001~2005年度)では、数種の候補に対し、その概念検討、成立性確認および評価が行われた。

その結果を踏まえ、2006年に、実用炉の主概念としてMOX燃料ループ型ナトリウム冷却炉(1,500 MWe)が選定された<sup>1)</sup>。2006年度からFBRサイクル実用化研究開発(Fast Reactor Cycle Technology Development; 以下FaCTプロジェクト)が開始され、2025年頃までの実証炉の実現(運転開始)、さらに2050年前の商業ベースでのFBR導入に向け、重点的かつ加速的に研究開発が推進されている(第1図)。

### 2. FBR 開発において三菱の果たした役割

MHIは、FBR開発に対し、その初期段階から積極的に参画し、重電メーカーの一員として取り組んできた。そして「常陽」、「もんじゅ」のプラントエンジニアリングや主要機器の設計、製作、現地工事を実施し、これらを通してナトリウム冷却炉特有の使用条件に適應する設計、構造材料、製造などの技術を蓄積・向上させてきた。「常陽」においては、その後MK-III改造工事が行われ、さらに「もんじゅ」においても、改造工事が行われた。MHIはこれらの工事にも参画し、ナトリウム冷却炉の設計のみならず、ナトリウム機器や配管の改造技術も高めてきた。また、電気事業者などが取り組んだFBR実証炉の設計研究や技術開発に対しても積極的に参画してきた。

さらにMHIは、前述したFSにおいても主体的役割を果たしている。MHIはフェーズI開始時の概念募集時に、ループ型ナトリウム冷却炉の概念を提案し、フェー

ズIIにおいても、その概念検討を深めるとともに、この概念に関する成立性確認試験等も実施してきた。その結果、この概念が主として開発する炉として選定され、JAEAとともにFaCTプロジェクトを推進中である。

## III. ループ型ナトリウム冷却炉のプラント仕様および革新技術の開発

### 1. プラント仕様および革新技術の概要

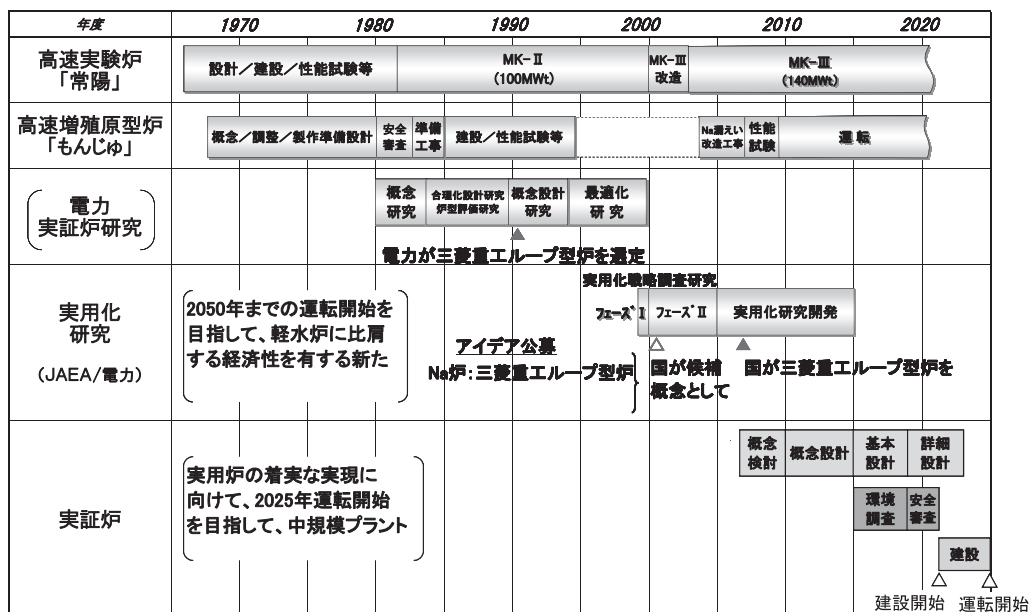
FBR実用炉は将来の軽水炉や他電源に比肩する高い経済性が求められており、経済性、信頼性および安全性向上のための革新技術をプラント概念に取り入れている。第1表<sup>2)</sup>に実用炉の開発目標、第2表<sup>2)</sup>に主要仕様を、さらに、第2図<sup>2)</sup>にループ型ナトリウム冷却炉主概念および適用する革新技術を示す。

経済性向上を図るために、本概念に採用した革新技術は、高温強度と熱的特性に優れた高クロム鋼、上部流出入配管システムによる配管短縮化、ループ数の削減(プラント簡素化のための2ループ化)、中間熱交換器へのポンプの組込み(ポンプ組込型中間熱交換器)、矩形鋼板コンクリート(SC)造による格納容器のコンパクト化などであり、可能な限りプラント物量の低減を目指している。さらに、信頼性と安全性向上を目的とした革新技術を採り入れることとしており、適用する革新技術の数は13に及んでいる。

### 2. 経済性向上のための革新技術

#### (1) 2ループ化のための高クロム鋼製大口径配管

プラントの大型化、ループ数削減のため1次系配管は大口径としているが、運転時の圧力が小さいことから薄肉化が可能であり、さらに熱膨張量の小さい高クロム鋼の採用により、結果として熱応力の低減も可能としてい



第1図 日本のFBR開発の歴史

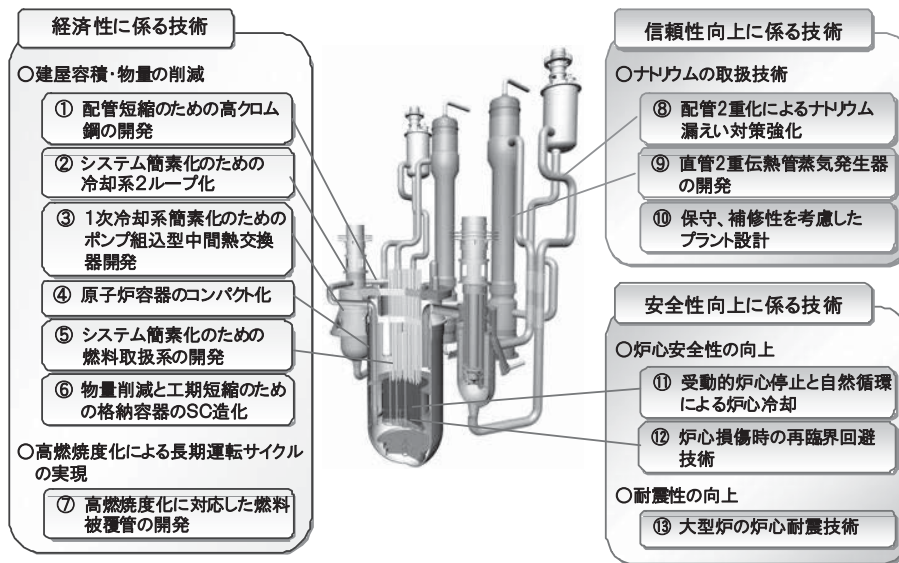


第1表 開発目標

項目	目標
経済性	・次世代軽水炉と同等の経済性
資源有効利用性	・増殖比1.1以上(MOX燃料)
安全性	・受動的安全性の確保 ・再臨界回避
環境負荷低減性	・TRUの再利用と燃焼 ・長寿命FPの核変換

第2表 主要仕様

項目	仕様
原子炉型式	・ナトリウム冷却ループ型炉
電気出力/熱出力	・1,500 MWe/3,530 MWt
1次系 Na 温度	・HL: 550°C/CL: 395°C
2次系 Na 温度	・HL: 520°C/CL: 335°C
主蒸気温度/圧力	・495°C/18.7 MPa
炉心燃料	・混合酸化物(MOX)燃料
炉心形式	・改良内部ダクト型均質2領域炉心



第2図 ループ型ナトリウム冷却炉の主概念および革新技術

る。また、配管内のナトリウム流速は約9 m/sで、従来の約1.5倍となっている。さらに配置スペースを低減するため、曲げ半径の小さいショートエルボを採用している。したがって、この配管エルボ部分での流れの剥離を含め、管内流が引き起こす配管の振動による影響を確認しておく必要がある。

そこで、原子炉容器から出るホットレグ配管(口径1,270 mm, 板厚15.9 mm)を模擬した約1/3縮尺の亚克力製モデルを製作し、入口整流条件での管内流動状況の観察および圧力変動データを取得した。また、同縮尺のステンレス鋼製のモデルを使用した振動試験を実施し、管内流動による配管の振動応答を解析で評価する方法の妥当性を確認した。さらに試験で取得した圧力変動データから、実機の配管振動を評価するための流れによる励振力を設定の上、配管各部に発生する応力を計測し、実機プラントに用いる配管に発生する応力が制限応力以下であることを確認した。

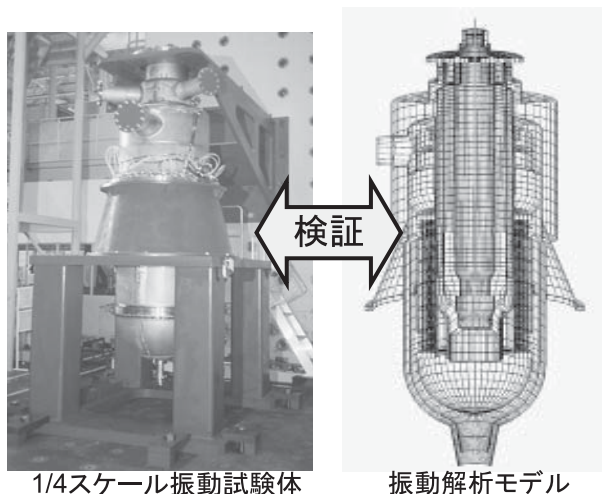
現在、入口流速の分布の影響を確認するとともに、複数の曲がり角を有するコールドレグ配管に対する同種の試験を実施中であり、実機配管の評価方法を確立し、設計へ反映する予定である。

## (2) ポンプ組込型中間熱交換器

中間熱交換器(IHX)の内部に1次系ポンプを組み込んだ“ポンプ組込型 IHX”を採用し、機器物量の低減、IHXとポンプをつなぐ配管物量および配置スペースの低減を図っている。ポンプ組込型 IHX の設計では、ポンプ振動と機器の共振を回避すること、共振領域外の微小振動がプラント寿命の60年間継続することによる伝熱管と支持板間の摩耗減肉量を精度よく評価できる手法の開発が必要である。

そのため、実機(中型炉:750 MWe級)の約1/4縮尺の振動試験体により、振動解析手法の高度化のための試験を行った(第3図<sup>2)</sup>)。流体で満たされた多重円筒構造である試験体を3次元でモデル化し、解析結果と試験結果の比較に基づき最適なメッシュ分割把握、ボルトなどの局部剛性のモデル化、簡素な管束部モデルの構築などにより解析の精度向上を図った。

その結果、おおむね固有振動数を数%の精度で評価することが可能となった。さらに、同様の手法で実機の振動応答を解析により予測し、伝熱管の寿命中の摩耗減肉量を評価し、伝熱管の板厚余裕に対し十分小さな減肉量となることを確認した。また、振動試験体に組み込んだポンプを回転させることで、ポンプ回転の励振源としての挙動把握も試みており、今後、ポンプ部のアンバラン



1/4スケール振動試験体 振動解析モデル  
第3図 ポンプ組込型 IHX 振動試験体および振動解析モデル

スなどをパラメータとした各種試験によりデータを拡充し、ポンプ回転による構造の振動挙動の解析評価精度を向上させ、これらの結果を設計へ反映する予定である。

### 3. 信頼性向上のための革新技術

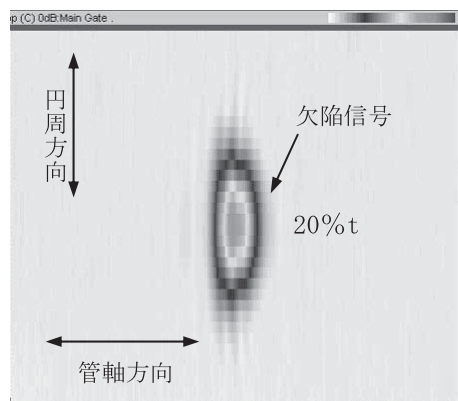
実用炉においては、ナトリウム漏洩の原因となるバウンダリー破損に対し、枝分かれの少ない配管、ノズルのない原子炉容器等の採用による簡素なバウンダリー構成とし、かつ信頼性の高い構造設計としている。

特に、ナトリウムと水の熱交換により蒸気を発生させる蒸気発生器においては、伝熱管が破損すると管内から噴出した水・蒸気と管外のナトリウムの反応熱により、機器へ損傷を与える。これを極力防止するため、伝熱管を2重化した蒸気発生器を採用している。この2重伝熱管の健全性を供用期間中検査(ISI)で確認するため、検

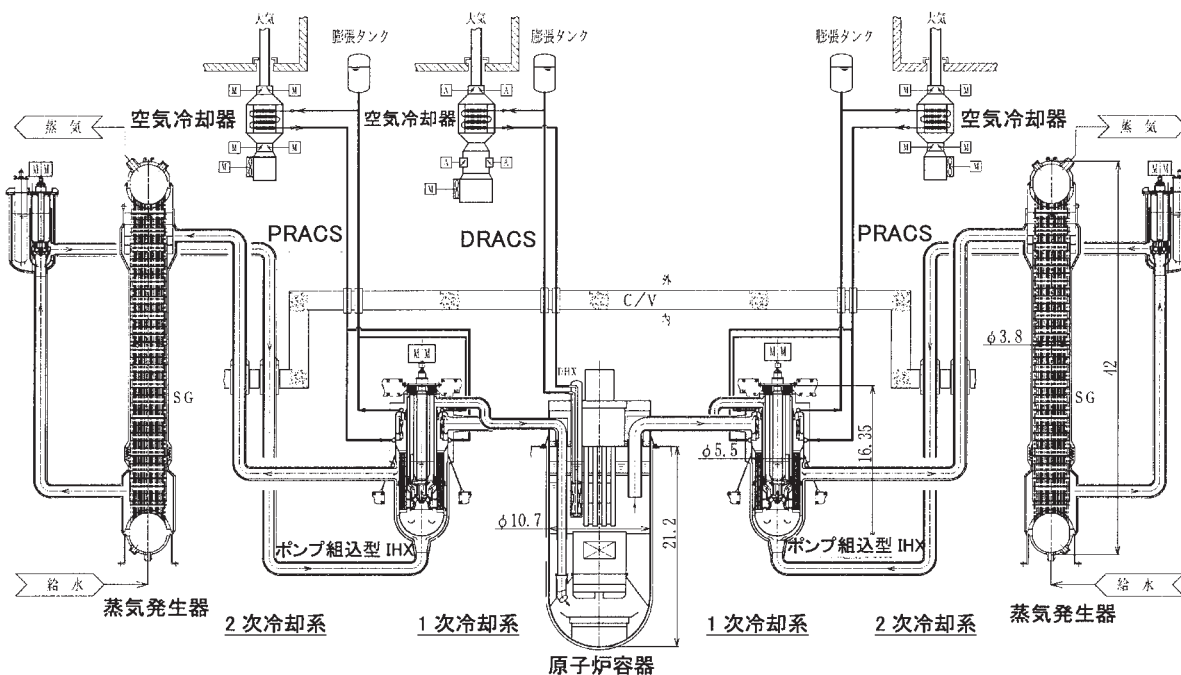
査技術の開発を実施中である。ISIでは、伝熱管の内側にセンサを挿入して検査を行うため、2重伝熱管の外側の管(外管)に対する欠陥の検出性がポイントとなる。第4図<sup>9)</sup>に示すように、超音波探傷によって20%肉厚深さの外管欠陥の検出が可能であることを確認している。今後は、欠陥検出に対する更なる精度向上や検査速度の向上技術についても開発していく計画である。

### 4. 安全性向上のための革新技術

原子炉の停止後の崩壊熱を取り除くために崩壊熱除去系設備が必要である。崩壊熱除去系統は、DRACS(Direct Reactor Auxiliary Cooling System; 直接炉心冷却系)が1系統、PRACS(Primary Reactor Auxiliary Cooling System; 1次系共用型炉心冷却系)が2系統の独立3系統で構成される(第5図<sup>10)</sup>)。これらの系統は、自然循環のみで必要な除熱量を確保することが可能な設計としている。崩壊熱除去系の運転には、ポンプや送風機などの動的機器による強制循環は必要でなく、空気冷却器のダ



第4図 2重伝熱管外管の欠陥検出例



第5図 1次系/2次系および崩壊熱除去系(DRACS, PRACS)

ンパ(空気の流れを調節する板)の開動作のみで起動できる。また、空気冷却器1基に対してダンパを2基設置することで多重化し、ダンパの単一故障では冷却機能を喪失しない設計としている。このような崩壊熱除去系の設計により、炉心冷却に関する高い信頼性が確保されるが、本概念では、崩壊熱除去機能喪失事象(PLOHS)の長い時間余裕を活かしたアクシデントマネジメント方策の導入について検討を行い、PLOHSの発生頻度の更なる低減を目指している。

また、文部科学省の公募研究事業として水流動試験などによる自然循環評価手法の整備を実施中であり、開発した手法により実機での自然循環除熱が確実に機能することを確認していく予定である。

#### IV. 実用炉までの道筋

当社は、2050年前の商業ベースでのFBR導入のためには、設計と並行して、要素研究、工学規模試験を行った上で、主要な革新技術を採用入れた実用炉概念を炉システムとして実証するための段階的な開発が必要であると考えている。具体的には、次の通りである。

- (1) ステップ1: 開発試験炉(50~60万kWe:2025年頃までに運転開始する実証炉)を開発
- (2) ステップ2: 本格導入の商業炉(150万kWe級)に向けて、スケールアップの確認並びに目標達成の確認(特に、サイクルを含めた経済性)のための商業導入炉(75~100万kWe:2035年頃運転開始)を開発

2050年前の商業ベースでのFBR導入に向けて、技術力などの長期にわたる維持・伝承や人材育成が必須であり、実炉を通して世代間で技術伝承を着実に進めていく必要がある。当社は、この原子炉による2ステップ方式は、世代間の技術伝承において最も効果の高い方法であると考えている。

なお、2007年4月に、FBRサイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会は「FBRの実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理」を方針として示した。この方針では、今後の開発ステップとして次の2ケースを想定しており、実証炉の出力、採用技術等の仕様、実用炉に至るまでに必要な炉の基数を、2010年に暫定し、2015年に確定す

るものとしている。

- (1) 実用化段階前までに炉を1基建設
- (2) 実用化段階前までに炉を2基建設(段階的に大型化)

当社は現在、JAEAとともに、2010年におけるこれらの暫定に向け、これまでの研究成果を踏まえた評価を整備中である。

#### V. おわりに

日本の国家基幹技術に選定されたFBRサイクル技術に対し、MHIは開発の初期段階よりその重要性を認識し、積極的に参画してきた。そしてMHIが今後のFBR開発における中核メーカとして選定され、MFBRを設立した。MFBRはJAEAの指導を仰ぎ、FBRの早期実用化に向けた技術開発を鋭意実施中である。この推進に当たり、技術の伝承や人材育成を図りつつ、国内の優れた技術を幅広く活用しながら取りまとめていくとともに、FBR開発における国際協力に対しても積極的に取り組む所存である。

#### —参考資料—

- 1) 日本原子力学会九州支部, 第27回研究発表講演会 予稿集, (2008).
- 2) 次世代原子力システム研究開発部門・原子力基礎工学部門, 高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズII 技術検討書—(1)原子炉プラントシステム, JAEA-Research 2006-042, (2006).
- 3) 日本原子力研究開発機構, 平成20年度発電用新型炉等技術開発事業報告書, (2009).
- 4) 次世代原子力システム研究開発部門・日本原子力発電株式会社研究開発室, 高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCTプロジェクト)—フェーズI中間取りまとめ, JAEA-Evaluation 2009-003, (2009).

#### 著者紹介

岡田敬三(おかだ・けいぞう)



三菱FBRシステムズ㈱  
(専門分野/関心分野)FBRプラントの機器設計/核燃料サイクル全般



## 私たちの主張

# 原子力界をリードして来た4氏が思いを語る

民主党への政権交代が実現した翌日、黎明期から原子力界をリードしてきたベテラン4氏が集まり、原子力への思いと後進への意見を熱く語った。



議論に参加いただいた方々

伊原 義徳，原 禮之助，遠藤 哲也，浜崎 一成(左から)

聞き手 小林 容子

### 政権交代の原子力への影響

一政権交代の原子力政策への影響について率直なご意見を。まずハイテク産業界に長かった原さんから。

原 エネルギー源としての原子力の特徴は、サイクルです。ところが、原子力は使ったあとの燃料をどうするのかがわかりにくいので、マニフェストでもあまり言及しない。争点になりにくいのです。ここを解決しない限り、原子力は特殊だよといわれ続けるのではないのでしょうか。

一外務省出身で、原子力委員長代理も務められた遠藤さん。

遠藤 マニフェストの内容はともかく、果たして民主党は原子力が好きなのかなあと、少し疑問に思いますね。核問題もあるし、プルトニウムの問題もある。

一二酸化炭素などの温室効果ガス排出量削減目標については？

遠藤 中期目標では、民主党(2020年までに1990年比で25%減)は、自民党(同8%減)よりも破格に高い数値を掲げています。果たしてこの目標は実現可能でしょうかねえ。結局、原子力に頼るほかないと思います。そこをうまくすり合わせるしかないと思います。

一電気事業をみてこられた浜崎さんはいかがですか。

浜崎 地球温暖化防止のためにも核燃料サイクルをき

ちっと進めるべきですよ。米国のオバマ大統領だって、まったくの原子力反対論者ではない。今の再処理方式は核不拡散上のリスクが大きいですので、先進式再処理ができるまで100年くらい貯蔵して、その間に技術開発すればいいという見方でしょ。

MITとハーバード大の会合では、再処理には年間5億ドルの研究費が必要だといっている。

一原さんはシリコンに詳しいですね。太陽光発電が取り沙汰されていますが。

原 民主党といっても、自民党とそう変わらない。エネルギー政策はそもそも大きな争点になっていない。積極的でない。第一、エネルギー安全保障の項が抜けている。世界の動きから出遅れている局面もある。今回の政権交代でリフレッシュすればいい。もんじゅや六ヶ所を活かすような政策に眼を向けてほしいですね。

目標値の達成のためには原子力なしで出来ないでしょう。いま太陽光発電の普及を盛んにしているが、メンテナンスで大変なことになる。シリコンは大変ですよ。埃、塩害などなど。風力もキャパシティや低周波の害、景観の問題など……どうしても原子力になる。ならば核燃料サイクルは避けて通れない。

いまの原子力エンジニアリングは、米国等は一度中断している。いまや、メーカーは日仏のみ、原子炉容器は日本製鋼所のみとも。人材が今後重要、必要になってく

るでしょう。もんじゅや六ヶ所は手がけた以上はやり遂げないとだめ。一度手がけたものを止めると、とにかく損が大きい。もんじゅや再処理は、世界に対して技術的かつ政治的に役立つとイケない。

—原子力行政に長く、科学技術事務次官、原子力委員長代理を務められた伊原さんはいかがでしょう。

伊原 民主党のマニフェストは結構いいことが書いてあるので、信用して様子を見たいですね。

## もんじゅの完成に総力を

—さて、もんじゅの今後はどうでしょう？

浜崎 もんじゅは高速炉プラントとしての完成そのものが成果です。もんじゅは全く新しい炉型であり、内外からの厳しい目が注がれている。だからこそ、より強力な経営のガバナンスとリーダーシップで、工期の遅れを回復するために最大の努力をしなければならない。特に原子力施設では、現場の重要性が際立って大きく、それだけに現場のモラルと活力をいかに高い水準に維持するかについては、経営の責任の観点からも、一刻たりとも目は離せないはずだ。

—これほどもんじゅが遅れたのは、なぜでしょう？

伊原 組織が動燃からサイクル機構に、さらに原子力機構に変わり、その都度、対応が大変だった。総点検も念を入れたので手間取った。地元福井県の理解と協力も大切で、今後に期待したい。

浜崎 もんじゅが遅れている理由として、外部社会の圧力に翻弄されているのは否定しませんが、外部の力なら仕方がない、とは言い切れません。今まさに再起動しようとしているもんじゅの今後を考えると、多分以前よりははるかに多くて、厄介な難題に遭遇すると思います。とにかく日本の原子力開発にとって、もんじゅを完成させることの意義は非常に大きいわけですから、今回のような長期停止を繰り返すことなく乗り切る必要があります。それこそ原子力機構職員の志気と活力に大いに期待するところです。

—もんじゅの経費は。

伊原 もんじゅは建設に5,900億円(『動燃三十年史』参照)を使っている。その後、13年のナトリウムループの維持管理費を併せると総額1兆円程度です。

これからは、これは必ず必要だという目的と付随する経費をしばって、納得させるのですね。それしかない。

原 そうですよ。現場のやる気がまず問題です。どうし

てもやるという人がいれば大丈夫ですよ。

—組織文化につながる話かと。

浜崎 民間の企業文化とは明らかに違います。民間、例えば電力の企業文化にしても、データ改ざんなど大きな問題がありましたが、企業理念を守るという責任意識は極めて高い。ここで一言いいことは、電力のもんじゅ支援のあり方です。支援業務の中には、官から民への技術移転という課題があったが、研究目的を重視する原子力機構の理念と電力の実務感覚との乖離が相互の不信感につながっていたことは否定できません。当時、原電の責任者であった私の反省ですが、もっとガバナンス強化につながる支援を行うべきであったと思います。

—今後どうすれば。

浜崎 今、もんじゅはやっと運転再開の段階にきました。原子力機構、電力、メーカーの総力をあげてもんじゅの完成に向かい努力すべき時です。日本の原子力界は次世代に向けた再処理、高速炉など核燃料サイクルの中核となる技術開発を進めるべき時にあるが、多くの難題を抱え、厚い壁に直面している状態です。基本的方針の策定とその実現を主導する強力な司令塔が必要ですね。

## 司令塔が必要

—半導体を長く見て来られた経験からなにか。

原 半導体と同じではないが、増殖炉は高度なエンジニアリングなので、半導体等と同じように、国籍を超えた協同体であるという考え方が適用できるかも知れません。例えば、半導体なら日本よりも韓国がうまくやっていますよね。

—体制の面では原子力行政の一本化の話も聞こえてきます。

浜崎 原子力行政が一本化されれば、多分もっとうまくいくでしょう。ただし行政の改革のありかたについては、民間がこれまでの経験をうまくまとめて提言すべきだと思います。後で議論する3Sね。これも省庁にまたがっている。そういう意味では一本化は意味があるからね。

遠藤 司令塔の機能が充実することが必要でしょう。司令塔たるべきは原子力委員会ですね。委員会の位置づけが10年前から変わって、なかなか大変なことは私もよくわかっています。しかし、そこはなんとか頑張ってください、原子力の国際化の波のなかでイニシャチブを執ってほしいと思います。

原子力委員会は8条委員会(諮問委員会)という制約があるように思いますが、そこはなんとか乗り越えて頂きたいものです。また、事務局は内閣府におかれていて、皆さん奮闘されている。しかし、今後の日本の原子力の世界へ向けての司令塔の足腰が事務局です。足腰としての事務局はもっと厚みを増すべきではないでしょうか。



伊原義徳(いはら・よしのり)

1924年生まれ。東京工業大学卒。通産省、科学技術庁、同庁事務次官、日本原子力研究所理事長、原子力委員会委員長代理を歴任。



遠藤 哲也(えんどう・てつや)

1935年生まれ。東大法学部卒。外務省科学技術審議官、IAEA ウィーン大使、KEDO 大使、原子力委員会委員長代理を経て、現在、日本国際問題研究所シニアフェロー。

一国内の原子力政策の評価についてもう少し。

遠藤 原子力に関連する三省、つまり外務省、経産省、文科省は、今以上に密に連携する必要があるのではないのでしょうか。原子力委員会には、省をまたぐ取りまとめ役の司令塔として奮闘してほしいですね。

浜崎 過去50年、東海から進めてきて、国内だけでサイクルを完結しようとしてきた。『国内で完結』というのは今の世界情勢にあっていない。これから必要なのは海外の動向をよくみて、協調路線を探り、説得力のある方法論をもってリードすることです。それなしでは日本の原子力自体成り立たなくなる。

遠藤 核燃料サイクルにはね、核不拡散のみならず、当然のことながら、いま何かと世界の潮流になりつつあるGlobal Zeroなどの核廃絶もからんでくるんですよ。

浜崎 今、世の中は再生可能エネルギーに向かっていて。そのなかで新たな投資と雇用を求めようという動きがある。本来、そのような動きは原子力であるべきなのです。それができていない。なぜなのか。

一非核3原則がゆれていますが。

遠藤 私は原則これまでのやり方で良いと思っています。ただし、これからの日米関係の推移の中で、核のあり方、受け止め方、特に核抑止の話もしっかり議論していなければならないですね。

## 核燃料サイクルの課題

一少し話題を変えます。核燃料サイクルのなかの中間貯蔵についてはいかがですか。

浜崎 とにかく核燃料サイクルを完結するという努力を鋭意全力で進めないといけない。サイト貯蔵は限界がある。自明です。また、中間貯蔵は最終解決にならない。これも自明です。

米国の議会で議論されているように、100年程度サイトに貯蔵しても安全だといっていますね。土地もありそうです。しかし、新規に原子力をやろうという国に、最初から使用済み燃料をサイトにおいておけないでしょう。それに地域によってはセキュリティの問題があります。

そのためにも、核燃料サイクル、特に使用済み燃料をそのままでは残さない高速炉システムにうまくつながらないといけない。わが国は技術的に最も実績があり、その将来展望を示さないといけないのです。

一わが国は最終処分場を決定していません。一方、米国

はオバマ政権でヤッカマウンテンを凍結しました。

浜崎 ヤッカマウンテンは政治的な理由で止めたのです。また今の再処理方式は拡散リスクが大きいという理由で反対し、代替方式をさがしている。今の米国には原子力、特に再処理の技術がない。サイクルが完結する方向を示し、安心感を増すことが急務です。

一日本国内で最終処分場が決まらないことについて。

伊原 原子力委員会で分離変換の議論をやっている。分離変換がうまくいけば、高レベル廃棄物の短寿命化と減容にもなり有益です。しかし、分離変換は開発に時間がかかるので、何十年も待つのかという話になってしまいます。両者の間にやや矛盾があるのですね。

浜崎 処分の話は、技術的な問題に終始している。安心感のある話がないと、最終処分を含め、原子力は浸透していかないですよ。

伊原 旧動燃では、地層処分は何万年でも環境に大きな影響なしと説明していたが、なかなか受け入れられない。ガラス固化体にしてしまえばいいという単純な話はいまでは通じない。

浜崎 この問題は、日本だけではなく、どこでも重要な問題ですが、それぞれに難しさをかかえています。

伊原 いずれにしても、六ヶ所の再処理工場を早く動かさないといけない。今日(8月31日)の日本原燃の発表によれば、稼働はさらに1年2ヶ月先延べだという。ガラス固化体の工程がうまくいかないという問題は深刻です。しかし、そこは措いておく、つまり廃液貯蔵タンクを増設して、固化できない高レベル廃棄物を一時貯蔵しておく。そうして、その他の工程を動かすことはできるはずですよ。そういうことをすべきでないでしょうか。

一再処理や処分に関しては、電力料金上乗せの議論がありました。

伊原 例えば、石炭火力のCCS(CO<sub>2</sub>の回収・貯留)のコストを考えれば、十分受容できる範囲だと思います。

浜崎 エネルギー需要は先進国では飽和状態です。途上国はどうするのか。再生可能エネルギーに本当に頼れるのか。

## 「東南アジアに核燃料サイクルセンターを」

一海外進出における問題は？

浜崎 技術だけではダメなんですよ。一番重要な燃料供給保証が日本だけではできないこと。車を売るのとは違う。

遠藤 メーカーはよい技術と人材を確保していますか



浜崎一成(はまざき・かずしげ)

1932年生まれ。早稲田大学第一理工学部卒。中部電力入社、日本原子力発電に出向、副社長、常任監査役を歴任。



ら、原子力を要素技術はもちろんのこと、トータルなパッケージとして海外、特にこれから原子力を導入しようとする国に提供する。それが科学技術立国日本に諸外国から求められていることだと認識します。

現に、国際的にはウエスチングハウス(WH)―東芝の連携についていえば、東芝のブランドが今以上に前に出るようになってほしいですね。他社もそうですね。

浜崎 国際展開ですが、足慣らしの段階が終わったら、徐々に日本ブランドにしていけないといけない。しかも、中途半端ではなかなかできないんですよ、これは。

日本ブランドは、メーカーが意図して力をつける努力をすればできる。途上国に打って出ていけないと仕方ない。

―そのためには GNEP のような枠組みが必要では？ただ、GNEP は棄却されましたが。

浜崎 そうですよ。日本はよほど腰を据えていけないとね。特にウラン供給などは要であるし、容易ではない。原車を売るのとは違って、ガソリンのこともセットにして面倒見ないといけない。その上で、ブランド戦略を考えていけないといけない。一般のブランド戦略と違うのは政策が絡むということです。ブランド政策はフレキシブルにやる。モノを売るときはね、営業が一番がかかるのです。部品売りとは比べ物にならないくらい。そのことが関係者にわかっているんでしょうかねえ。そうするとね、いきおい海外のメーカーと組んだ方が楽となっちゃう。

―エルバラダイの構想は？

浜崎 核燃料サイクルは、国際的に秩序ある体制でやっていけないといけない。エルバラダイの MNA 構想はたちまちに途上国に反対された。

遠藤 そういう途上国の反対、いわば南北問題が原子力でも強くなって来ている。その傾向はまず認めないとしようがない。

浜崎 温暖化だって南北問題になっているしね。

遠藤 それは NPT にある不平等性、核の独占保有の一方で核軍縮がなかなか進展しないという問題があります。これは国連の最近の理念(グローバル・コンパクト)と相反している。オバマが軍縮を強く打ち出し、今度の鳩山民主党政権は今まで以上に軍縮にのっかっていく模様です。日本の軍縮は“広島・長崎・唯一の被爆国”だから核廃絶ということを呪文のように繰り返す傾向がある。これでは前途は開けません。



原 禮之助(はら・れいのすけ)

1925年生まれ。東大大学院博士課程修了(化学専攻)。IAEA 専門職員、セイコーインスツルメンツ(株)社長を経て、現在、国連工業開発機関(UNIDO)親善大使。

―核軍縮は今後どこへ向かって。

遠藤 いま世界がやっているのは、核廃絶に向けた具体的な核軍縮のステップ論です。そして、その実践的展開のための方法論の模索なのです。核燃料サイクルは核兵器と平和利用の接点です。ここをキッチリと認識し自らのスキームを描いて、それを日本は国際的に示し説得しなければならない。

―具体的には。

遠藤 例えば、東南アジアに核燃料サイクルセンターをつくる。フロントからバックエンドまで面倒をみる……といった構想を進めるべきです。非常に難しい点がありますが、それを乗り越えて。

―東南アジアでまとまりますか。

遠藤 NPT の核兵器国(米ロ英仏中)以外で、再処理できるのはインド、日本、EU だけです。使用済み燃料の取扱いには、韓国も困っているようです。そんなこともあって、韓国は再処理(パイロプロセッシング)に乗り出すことにとても前向きだと聞いています。

浜崎 先頃、新潟で行われた核軍縮会議に出席したパーク米国核不拡散特使のインタビューによれば、米国は平和利用、核不拡散、核軍縮のバランスを図り、来年2月までに「核戦略見直し」を示すといっている。

遠藤 この地域の事情を考えた上での地域構想もあり得るのです。韓国の立場をうまく汲まないと、この地域でなかなかまとまらないかもしれませんね。大局観をもった創意工夫と戦略が必要だと思います。

浜崎 日本はまだ日本国内でのサイクル完結(全量再処理)の観点から抜け出していない。これはね、どこか一国平和主義的響きに通じる。自分さえ良ければってことだ。第二再処理を日本の中だけのものとする考えは、世界の動きと合っていないんだな。国際核燃料センターを国際的な平和利用の核にしていく……そうじゃないとだめだ。こういうことは今の原子力政策の本丸を担っている人や学会の若い人にじっくり考えてほしいね。

## IAEA 新体制と3Sの問題点

―3S(Safety, Security, Safeguards)について伺います。次期 IAEA 事務局長の天野大使もその重要性を強調していますが、コンセンサスは広くあるのでしょうか？

遠藤 3S に対しては、非同盟諸国からの批判があります。規制の強化ではないのかという困惑があるのですね。途上国にはすでに NPT でひどい目にあっている。つまり、差別されているという思いがある。3S でさらに新たな締め付けがなされ、原子力の導入のハードルが高くなるのではと懸念している。実は、IAEA には19のマイルストーンがある。つまり原子力導入国が果たすべき義務が19項目ある。なぜ3つのみをつまみ食いしているのかという批判があります。

3S は新規導入国に押し付けるものではなく、新規導

入国に対して先進国が面倒を見るべきことです。

浜崎 原子力利用は、規制によるがんじがらめそのものだ。自己規制と外部からの規制がある。3Sをまとめてやって、インフラから運転後の面倒までみてあげるといふことでしょうか。国際展開にはそういう心構えが必要です。

遠藤 日本はねえ、米国やフランスの協力の下にこの3Sを進めていかねばなりません。一国では無理です。

浜崎 多国間で標準化していけばよいのではないのでしょうか。またそれに対応できる人材が必要です。

—3Sはセットでみるとなにか利点がありますか。

遠藤 3Sの理念は、19項目の中で、3つのSがやはり際立って重要度が高いということです。実際には、新規国への協力の面からいえば、それぞれのSを別々に考えればよい。受入れ側からすればセットで受け入れるという見方でよいでしょう。

### 原子力学会、若手への期待

—最後に、原子力学会の将来、特に若手へのメッセージを。

浜崎 原子力学会は本来、中立であるべきで、いまの混迷している情勢の中でいかに方向付けていくかという政策的な議論は学会でもやってほしいが、どうなのでしょう。

これまで一たん落ち込んだときに、高速炉-再処理不要論があった。あってもいいはずで、そういう論議はどんどんやるべしですね。結果的に、日本として最適の選択をすればよい。米国はそうでしょう。でも、日本は論議を止めてしまう。押さえ込んでしまう。黙らせてしまう。これからの若手はそこを打開してほしい。また学会はいろんな議論を、特に若い人の議論を喚起してほしい。私たちベテラン(退役陣)がここに口火をきいたのですから。

遠藤 学会誌も原子力学会も技術志向がいまだに強過ぎますね。技術以外の技術をとりにくく話が弱すぎる。私のような技術についての門前小僧は、読んでもわかりやあしないので、配慮が欲しい。学生も同じだと思いますよ。

もっと、多様な著者に登場してもらってはどうか。

原 若い人にいいことは、原子力はそのもの自体が取り組むべき価値のあるハイテクで、派生技術がたくさんある。現代社会を支えている技術の多くは原子力から生まれていますよ。ロボットなど遠隔操作はそうだ。非破壊検査、ICタグ……。原子力のそういう歴史や効用をキチンと理解して、新たな研究開発を開拓してほしいですね。そのことをもっと若い人に伝えていきたい。

伊原 原子力は昔ほど評判よくないですね。これからは、人がやらないことをやってやろうというような気持ちで、若い人は取り組んでいただければよいと思います。政権が変わって、意識改革を迫られるようなこともあるでしょう。柔軟な思考力と責任力が問われます。私たちもお役に立てるところはサポートしたい。

浜崎 なんとなく沈滞ムードがありますね。ではどうすればいいのか。私もフレキシビリティが必要だと思います。時代の節目では、過去を正視し、現状を正しく分析し、未来に柔軟に対応していくことが重要です。日本の原子力が総体として底上げされ、世界をリードするためには、言いにくいことも言わねばならないと思っています。今日は日頃感じていることを率直にいいました。冷静な異論反論は歓迎します。ただし、感情的な攻撃は遠慮しますよ(笑)。

伊原 私たちもWEBを通じて独自の発信をしています(<http://www.ucn-kai.jp>)。年齢を問わず、まっとうな議論の輪が広がっていくことを望んでいます。

—本日はありがとうございました。貴重な意見がたくさん聞けましたことに感謝いたします。

(2009年 8月31日 取材)



小林容子(こばやし・ようこ)

本誌編集委員  
株テブコシステムズ

連載  
講座

## 軽水炉プラントの水化学

## 第10回(最終回) 実機での水化学(4)

## —プラント管理, 標準化・規格化

日本原子力発電(株) 瀧口 英樹

## I. はじめに

発電用軽水炉プラントでは、炉心から取り出したエネルギーを輸送する媒体(冷却材)、および中性子の減速材として水が用いられており、様々な温度条件、照射条件、沸騰・流動条件下で、構造材料や燃料被覆管などの金属材料と接しながら循環している。これら金属材料と水の界面で生じる問題の調和的抑制あるいは解決が実機における水化学管理の使命である。

その全体像については連載第1回に、水化学の基本となる現象の解説については第2～4回に、また、水質の計測や浄化に関する技術については第5～6回に、さらに、水化学が対象とするプラント課題事象については第7～9回に詳しく述べられているので、これらを参照いただきたい。

最終回である本稿では、これらを踏まえ実際の発電用軽水炉プラントにおいて、どのような考え方と方法で水化学管理を実施しているかを紹介するとともに、高経年化対応、燃料高度化、炉出力向上など、発電用軽水炉プラントを取り巻く環境が変化する状況にあって、プラントの安全性と公益性を両立させていく観点から、これらを調和的に実現するために現在、取り組んでいる「水化学管理の標準化・規格化」について言及する。

## II. 軽水炉プラントの水化学管理

構造材料・燃料と水化学の境界領域における諸課題を第1図にまとめて示す。これら課題は冷却材を介して、通底しているため、ある課題に対してこれを改善するための技術が、別の課題に対しては逆に作用するケースもあり、常に課題間のバランスを考慮した、システム全体にとって最適な水化学制御を心がける必要がある。

## 1. 水化学管理の目的

発電用軽水炉プラントにおける水化学管理は、設計段階(設置許可・工事計画認可)で設備・機器・燃料を使用するに際し、その前提となった冷却材の水質条件が、運転段階(保安規定)で遵守されていることを確認するとともに、前提条件からの逸脱あるいはその兆候を検出し、設備・機器・燃料の健全性が損なわれないよう適切な対応を図ることにより、原子力発電所の安全を確保することを出発点としている。

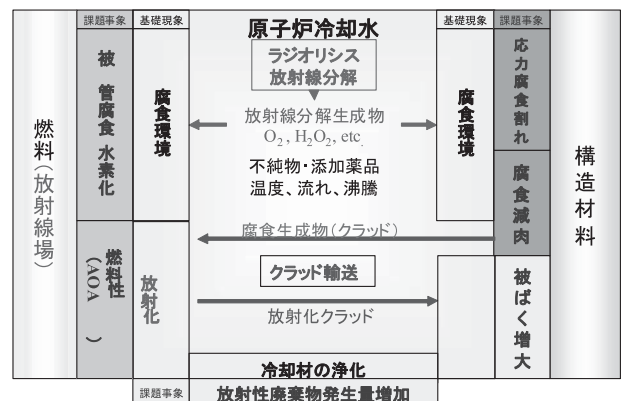
しかし、それに止まらず、設備・機器・燃料のさらなる高信頼化や、被ばく低減や放射性廃棄物の発生抑制などのその後顕在化した課題に対するニーズに応じていく観点から、電気事業者は、実際の水化学管理において継続的な改善を図ってきた。具体的には、保安規定より広範囲の管理項目やより厳しい目標値を定めるとともに、最新の知見や経験を迅速かつ適切に取り入れて、適時それらの見直しを行うことで、常に、「より良い水化学管

*Water Chemistry of LWR Plants*<sup>(10)</sup>; *Water Chemistry in Actual Plants*<sup>(4)</sup>—*Plant Chemistry Control and Standardization*: Hideki TAKIGUCHI.

(2009年 6月8日 受理)

各回タイトル

- 第1回 軽水炉プラントにおける水の役割と水化学制御
- 第2回 水化学の基礎(1)—腐食と電気化学
- 第3回 水化学の基礎(2)—酸化皮膜特性
- 第4回 水化学の基礎(3)—放射線化学
- 第5回 水化学の基礎(4)—水質計測
- 第6回 水化学の基礎(5)—水の浄化と浄化装置
- 第7回 実機での水化学(1)—燃料/水相互作用
- 第8回 実機での水化学(2)—構造材料/水相互作用
- 第9回 実機での水化学—被ばく線量の低減



第1図 水化学が取り組む諸課題とそれらの相互関係



理]を目指し努力してきた。

### 2. プラント水化学管理の実際

上記目的を効果的に達成するため、発電用軽水炉プラントでは第2図に示す流れに沿って、日常の短期的視点と運転サイクル単位の中長期的視点の2つの視点から水化学管理が行われている。これらはいずれもPDCAサイクル(Plan-Do-Check-Act Cycle)の手法を基本としている。すなわち、実績や予測をもとに計画(Plan)を立て、これに沿って業務を行う(Do)。その結果が目的にあっていないかどうかを評価(Check)し、そうでない場合は原因を究明し処置(Act)する。このサイクルを一巡したら、最後のActを次のPDCAサイクルにつなげ、継続的に業務を改善していく。

短期的なアプローチでは、不具合の未然防止、異常の早期検出と迅速な原因究明、および復旧により、プラントを常に良好な状態に維持することを目的とする。一方、中長期的なアプローチでは、より望ましいプラント水化学状態の実現を目的として、化学管理の有効性評価と、設備や運転方法の改善、新技術の導入を含む水化学管理基準の見直しが進められている。また、短期および中長期の両アプローチを適切なものとする観点から課題事象の理論的把握も進めなければならない。ここでは、これらのおのおのについて、相互関係含めて解説する。

#### (1) 短期的管理

日常の水化学管理は、第2図最下部に実線で示すループに沿って行われる。運転状態ごとに各系統の水質を規定した水化学管理基準に照らし、その日の冷却材の水質などがこれを満足していることを確認するとともに、万一、そこからの逸脱が生じているか、その兆候が認めら

れる場合には、対応措置を講じ復旧することで、プラントの水化学をあるべき状態に維持する活動である。具体的には以下のステップで実際の管理が進められる。

#### (a) 不具合の未然防止

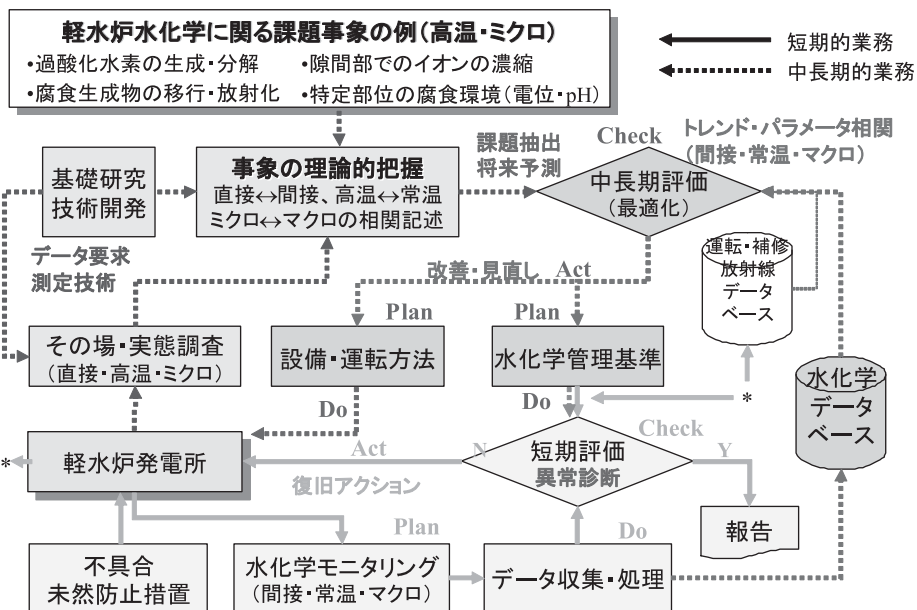
水化学管理基準からの逸脱などの不具合は、機器・設備の運転保守と深くかかわっており、その原因を構成する諸因子やそれらの組合せについては、多くの場合、あらかじめ想定することができる。特に、原子力発電所の運転経験が蓄積された今日では、後述する(b)「異常の早期検出」にのみ依存するのではなく、不具合が起こらないよう、機器・設備の運転や保守のプロセスをチェックすることで、不具合の発生を未然に防ぐことが重要である。このような取組みは、ベテラン管理員のノウハウとして、部分的にはかなり以前から行われてきたが、知識として体系化し、若手管理員も活用できる形で整備・拡充していくことが今後の課題である。

また、設備の更新やその運転・保守方法の変更を行った後は、新たな不具合が生じる可能性が高まるため、水化学管理部門と運転・補修部門とのコミュニケーションの機会を増やし、情報共有を図ることが不可欠である。

#### (b) 異常の早期検出

上記(a)「不具合の未然防止」に加え、日常の水化学管理では、プラント冷却材の状態を適切に監視する「水化学モニタリング」により、水化学管理基準からの逸脱やその兆候を初期段階で検出することにも力点が置かれている。特に、プラントへの短期的影響の重大性に鑑み、維持すべき値や範囲が規定されている項目(制御パラメータ)については、当該管理項目あるいは代替指標となる管理項目について、継続的に監視することが基本である。

また、制御パラメータ変動は多くの場合、複数の原因



第2図 発電用軽水炉プラントにおける水化学管理業務のプロセス

が重畳して生じるので、これを絞り込むための管理項目、また、長期的にプラントへの影響が現れる管理項目については、診断パラメータとして、適切な頻度を定めて計測・分析が行われる。

さらに、化学管理基準では有意な変動を兆候段階で検知するため、正常な状態で達成可能な値を目標値として定め、その判断基準におくケースが多い。

#### (c) 原因究明と復旧

(b)「異常の早期検出」において、化学管理基準からの逸脱やその兆候が検出された場合は、「異常診断」により制御パラメータの挙動から運転継続の可否を判断し、継続可能と判断された場合には、直ちにその原因を究明するための情報収集を行う。このなかには化学分析のみならず、機器設備の運転データも含まれる。不具合の原因を究明し、適切な「復旧アクション」を講じた後、状態が正常範囲に戻ったことを確認し、一連の短期的PDCAが終了する。日常の水化学管理はこれを継続的に廻すことを中心として実施されている。

#### (2) 中長期的管理

日常管理における短期評価(異常診断)では、管理すべき冷却材の水質目標に対し、実際がどのように制御・維持されたかを評価するに留まらざるを得ない。しかし、水化学管理の本質は、単に、冷却材の水質を良好に維持することではなく、それと接する構造材料や燃料の腐食損傷を防ぎ、腐食生成物による被ばく線源や放射性廃棄物の発生量を抑制し、これらが調和的に達成された結果として、発電用軽水炉プラントの安全性が確保され、公益性が向上することにある。このような観点から、日常の短期的管理の妥当性と課題を俯瞰的に評価し、あるべき姿に軌道修正するPDCAが、第2図上部の破線で示すループに沿って行われる中長期的管理である。

#### (a) 水化学管理の有効性評価

水化学管理の有効性を評価するためには、その結果としてのプラント応答、すなわち、運転・補修・放射線管理などのデータと、日常の管理で得られた水化学データとの相関を、管理目的に沿って比較検討し、期待した効果がどの程度達成できたかを吟味する必要がある。

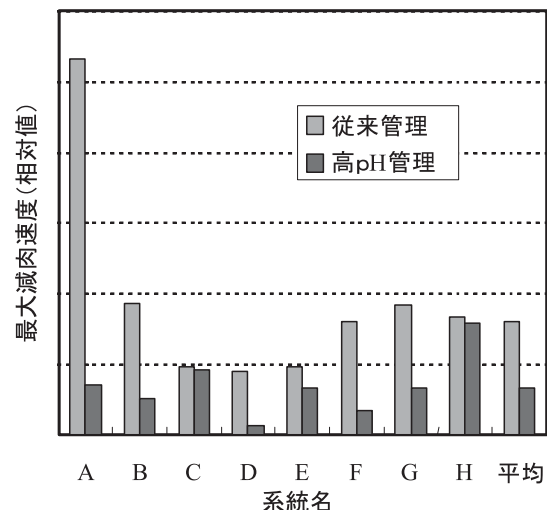
水化学管理とそれが対象とするプラントの課題事象の相関は単純ではなく、ラボでの模擬実験から推定される効果は、実機での効果と必ずしも一致しないなど評価が難しいケースが多いが、このような取組みの積み重ねが、上述の重要課題に対する水化学の有効性を定量化することにつながる。その結果、効果が不十分と評価された場合には、課題解決に向けた新たな水化学技術の開発・適用や、設備や運転方法の改良など水化学以外の対策への展開にもつながっていく。

この水化学管理の有効性評価について、PWR 2次冷却材のpH管理を例に説明する。pH管理の主な目的は、給水から持ち込まれる鉄腐食生成物によって、蒸気発生

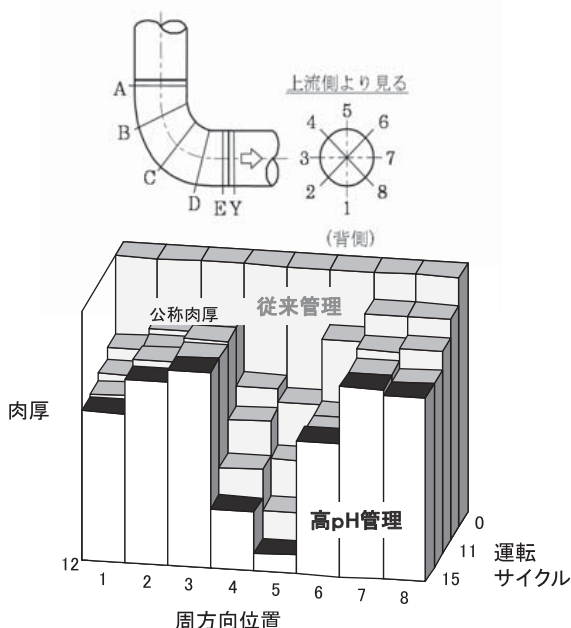
器の熱効率低下し、伝熱管の腐食が加速されることを防止することであったが、同時に、鉄腐食生成物の発生源となっている2次系炭素鋼機器・配管の減肉も抑制できるものと期待していた。「従来管理」では、9.3程度に維持していた給水pH(25℃)を、上述の目的のため9.8±0.2まで上昇させた「高pH管理」に移行した結果、給水から蒸気発生器への鉄持込み量は、従来のおよそ5分の1程度まで低減され、所期の目標は達成することができた。一方、炭素鋼機器配管の減肉速度もこれに対応する効果が得られるものと期待したが、実際には、第3図に示すように、「高pH管理」による最大減肉速度の低下は、系統ごとに大きく異なることが、供用期間中の肉厚検査結果と比較することで明らかとなった。

「高pH管理」移行後も最大減肉速度の低下効果がほとんど認められなかった、第3図で系統名Hと標記した給水系炭素鋼配管のエルボ部の肉厚測定結果の詳細を見ると、第4図に示すように、配管軸方向位置Aにおいて周方向位置4,5で減肉が進行しており、配管内表面の観察から、その原因は流動加速腐食(FAC:Flow Accelerated Corrosion)と特定された。それまでFACは「高pH管理」条件下では抑制されるといわれており、第4図でもその他の周方向位置では減肉がほぼ抑制されている。しかしながら、冷却材の流速や乱流エネルギーの大きいエルボ腹側では、2次冷却材のpHを高めるだけでは、炭素鋼のFACが抑制困難であることが判明した。

この結果を基に、冷却材の流速や乱流エネルギーの大きい部位は、より耐食性の高い材料に取り替えるとともに、2次系水処理の「高pH管理」から「酸素処理」への変更が新たな減肉対策として提案されるに至った。「酸素処理」では、これを採用したBWRや一部火力発電所の経験から、「高pH管理」に比べ大幅なFAC抑制効果が期待できる。



第3図 PWR 2次冷却材 pH が炭素鋼配管の最大減肉率に及ぼす効果



第4図 炭素鋼配管エルボ A 部における周方向肉厚の経年変化(H 系統)

このように、水化学管理の有効性を、点検・補修データのような直接的なプラント応答を基に評価することは、水化学管理の適切かつ継続的な改善を進める上で不可欠な要素である。また、ともすれば狭義の「水質」管理に陥りやすい我々プラント水化学管理に携わる者に、その重要性を認識させる格好の機会にもなる。

#### (b) 水化学管理方法の見直し

中長期的管理では、上記(a)の有効性評価の結果に加え、最新の知見・経験を反映して、その時々の水化学管理方法を継続的に見直すことが重要である。具体的には、構造材料や燃料の腐食環境緩和や被ばく線源低減を目的とした新たな水処理技術の導入や、水化学管理系統・項目・管理値、測定頻度などの変更、管理手順の適正化などがこれに相当する。

この見直しを適切に進めるためには、発電用軽水炉プラントを取り巻く環境の変化や水化学にかかわる新たな知見や技術の進展に目を向けるとともに、先行するプラントの運転経験を調査し、中長期目標とその実現に向けた戦略を構築することが重要である。また、後述のように、プラントシステム内でどのように課題事象が生じ、進行していくのか出来る限り理論的に把握する努力が求められる。

#### (c) 課題事象の理論的把握

発電用軽水炉プラントの水化学管理では、水と金属材料の相互作用、特に、高温・放射線下で沸騰面や隙間などにおいて局所的に進展する微視的な事象を課題としている。これに対し、実際の発電用軽水炉プラントは巨大システムであり、日常の水化学管理では、これらを直接的に把握することは困難である。なぜならば、そこで行われる水化学モニタリングは、多くの場合、対象とする

部位とは離れた点から試料を採取し、さらに、採取点とは離れた場所に設置された試料採取ラックまでサンプリング配管で移送し、分析が可能な温度まで冷却した後、直接オンラインの分析計で計測するか、あるいは、分析室に試料を運搬し手作業による化学分析を行うからである。プラント水化学管理では、このような常温で採取された巨視的な情報に基づいて、高温下で微視的に進展する課題事象を適切に管理・制御する必要がある。これを行うためには、両者の相関関係を把握すること、すなわち、課題事象の理論的解明に努めることが不可欠であり、その基盤を支える基礎研究や事象のモデルシミュレーションなどの技術開発の重要性が高い。

また、予測評価技術の妥当性や対策技術の有効性を裏付け、課題事象の理論的把握を進める観点から、実際の発電用軽水炉プラントにおいて、日常の水化学モニタリング以外に、構造材料・燃料の腐食状況、腐食生成物などの形態や分布、あるいは運転中(高温下)の水質その場測定など、より直接的なデータの採取も欠かせない。

### Ⅲ. 水化学管理の標準化・規格化

#### 1. 背景

これまで、発電用軽水炉プラントの水化学管理は、プラント設計や燃料保証に係わる前提として与えられた水化学条件が、運転段階において担保されていることを確認する目的で始まり、その後、電気事業者の自助努力として高度化・最適化が進められてきた。

しかしながら、今後、さらに原子力発電の安全確保に対する国民からの信頼の獲得、および原子力発電の公益性の向上に、材料・燃料分野との連携の下に水化学管理が貢献していくためには、水化学管理の根拠や方法の妥当性について、透明性のある学協会での利害関係者による議論を通じ、水化学関連標準として策定し、広く国民を含めて共有する必要がある。

特に、我が国において予想される発電用軽水炉プラントを取り巻く状況の変化(高経年化対応、燃料高度化、出力向上、新検査制度、次世代型軽水炉の開発など)に適切に対応するためには、分野横断的な取組みが必要となるが、水化学管理に係わる標準化・規格化は、産官学の関連者にそのベースを提供する上で重要である。また、安全基盤研究などを通じて得られる新たな知識・知見を継続的に反映し、プラント運転管理や保全プログラムへの活用、あるいは、国際協力・支援への活用が期待できる。

#### 2. 標準化・規格化への取組み

2008年、本会標準委員会システム安全専門部会の下に、産官学の関連分野の専門家を委員とする水化学管理分科会(主査：勝村庸介東大教授)が設置され、以下に述



べる水化学管理に係わる標準の策定に着手した。

#### (1) 化学分析標準

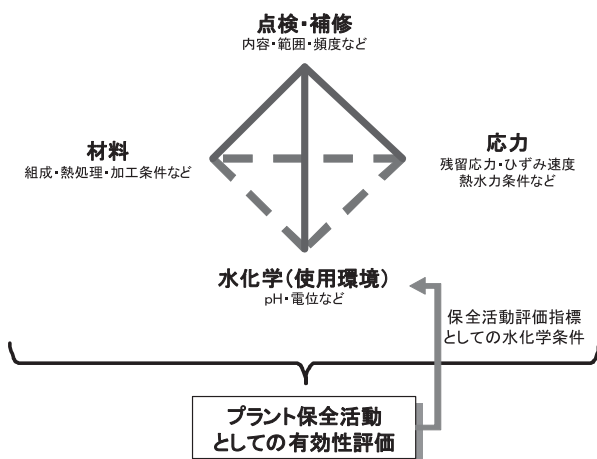
水化学管理の基本となる化学分析法の中で、これまで、公に標準化されていない原子力特有の分析項目について、現在、最新の知見、過去の成果、経験等を集約した化学分析標準を取りまとめつつある。

#### (2) 水化学管理指針

原子力発電所の安全性、信頼性向上の観点から、現時点までに蓄積された知識をベースに、「より良い水化学管理」の方法について、その背景・根拠、を示す水化学管理指針を策定する準備を進めている。本指針は、今後、最新の知見を反映し、継続的に改定する計画である。

将来、構造材料の腐食損傷抑制を目的とした、BWRにおける水素注入や、PWR 2次系における高 pH 処理などの特定の水化学技術について、期待する効果を確実に得る目的で標準化するには、本指針はそれらの共通の基盤として重要な役割を果たすと考えられる。

これまで、設備・機器や燃料の腐食に起因する問題については、設計・建設段階において様々な対策が講じられるとともに、運転開始以降は、検査と補修によってその安全性や健全性を確認あるいは維持するという考え方が主流となってきたが、これからは、第5図に示すように、供用期間を通じて、これら材料にやさしい使用環境(=水化学管理)の整備を保全活動の一環ととらえ、設備・機器・燃料の寿命を延伸するという考え方を取り入れることで、より科学的合理性の高いプラントの維持管理の実現に貢献できる。



第5図 保全活動としての水化学技術の位置づけ

## Ⅳ. 今後の課題

発電用軽水炉プラントの水化学管理を継続的に改善するには、対象とする課題事象と管理する水化学管理パラメータとの相関をより定量的に把握することが求められる。そのためには、高温・放射線下におけるその場測定技術、メカニズムに立脚した予測評価技術および水化学対策技術の開発・高度化と検証を進めることが不可欠である。また、これらをプラントの保全活動と連動させる観点から標準化・規格化を推進し、関連分野との連携・協力を強化していくことが望まれる。

## Ⅴ. おわりに

連載講座「軽水炉プラントの水化学」は、「実機での水化学—プラント管理、標準化・規格化」と題する本稿で最終回となる。連載第1回で指摘されているとおり、水化学は、広くプラントシステムを扱う工学分野であり、構造材料や燃料との相互作用を通じて、原子力プラントが目指す安全性や公益性と深くかかわっている。水化学技術はこの目標を達成するための手段であり、他分野との協力の下、どのようにこれに貢献して行くか、俯瞰的にとらえ行動することが、その存在意義につながっていくものと確信する。

### —参考資料—

- 1) 日本原子力学会, 水化学ロードマップについて(2008年6月2日), 第9回総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力安全基盤小委員会資料.
- 2) 東京大学大学院工学系研究科弥生研究会, 軽水炉技術開発のための照射試験に関する検討会報告書, (2006.4).
- 3) H. Takiguchi, "Development of environmental remedies against FAC in secondary system of Tsuruga-2 PWR", *Proc. Symp. on Water Chemistry and Corrosion in Nuclear Power Plants in Asia*, Sep. 27-29, Taipei, Taiwan, (2007).

### 著者紹介

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

談話室

広島，原爆投下(その1)

トルーマン声明

仁科記念財団 中根 良平

1945年8月6日午前8時15分、広島に原子爆弾が投下された。一瞬にして広島市の65%は灰じんに帰し、13万を越す死傷者が出た。新聞は「新型特殊爆弾投下さる」と報じていたが、政府や軍の中枢部は実態がつかめず混乱を極めていた。大本営は参謀本部第二部長の有末精三郎中将を団長とする調査団をまず広島に送ることにしたが、参謀次長の河辺虎四郎中将は仁科芳雄の同行を求めよう指示した<sup>1)</sup>。

7日早朝、要請が仁科に伝えられた直後、同盟通信の記者が、通信社内の情報局分室がアメリカの短波放送を受信して、B5判の藁半紙にタイプ印刷した“(秘)敵性情報”という極秘号外を持ってきた。

敵性情報は政府や軍の首脳部だけに配られ、民間人に渡すのは極めて異例であったが、この日の情報は“原爆投下に関するトルーマン声明”を伝えるものであったので、同盟通信の古野伊之助社長が仁科の科学的判断を請うべく、特に指示したのである。この声明は広島に投下したのは原子爆弾であると宣言し、日本の降伏を要求しているが、同時に、戦後の核エネルギーの平和利用の問題にまで言及している、たいへん重要なものなので次に紹介(一部略)しよう。

トルーマン声明

(秘)敵性情報

第一号 20年8月7日

◎「原子爆弾」を発表

桑港戦情6日発

白亜館当局は六日、史上最初の原子爆弾に関する大統領トルーマンの声明を発表した、全文次の通り

今から十六時間前米国の一航空機は日本の重要な軍事基地広島に一個の爆弾を投下した、この爆弾は TNT 二万トンよりもさらに強力であり、戦史上最大の爆弾たる英国の「グランド・スラム」の二千倍以上の破壊力を有する、それは原子爆弾である、これは宇宙の根源的な力を駆使したもので、今や太陽の力の源泉となる勢力が極東に戦争を齎した者共に対して放出されたのである、日本は空中から戦争を開始した、この爆弾によって今やわれわれはわが武装兵力の増大してゆく力に加へて一つの新しく且つ革命的な破壊力の増大を加へた

新爆弾は現在生産されており、さらに強力な形態に発展

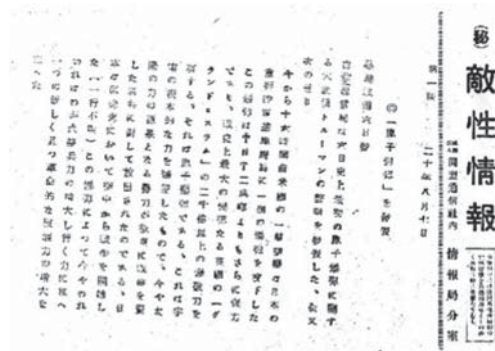
するであろう、昨日の原子爆弾の使用は如何にしても原子エネルギーを拘束し放出する方法を発見せんとするドイツ科学者との激烈な競争に米国が勝利した信号であった……

研究所の戦ひはわれわれに取って海陸空の戦ひに劣らず運命的な冒険であったが、今やわれわれは他の戦ひに勝ったと同様研究所の戦ひにも勝ったのである、真珠湾事件に先立ち1940年に結ばれた協定の結果戦争に有用なるべき科学的知識は米英両国の間に蓄積され、この協定から勝利にとって幾多の貴重なる力が得られた、こうした全体的な政策の下に原子爆弾の研究が開始された……

米国は必要なる幾多の知識分野において多数の著名なる科学者を得ることを得、その計画に必要な莫大なる工業上財政上の資源を有し、他の重要な戦争事業を不当に害ふことなくこれに貢献するを得た……

現在ではわれわれは原子爆弾の生産に向けられた二つの大工場と多くの比較的小さな工場とを有する、最も建設事業が盛だった当時の従業員の数には12万5千名を数へ、現在においても工場の作業に従事しているもの6万5千名を越え、その多くは既に二年半働いているのであるが自分が何を造っているかを知っているものは極めて少ない……

われわれはこの史上最大の科学の戦ひに20億ドル費して遂に勝った、だが最大の奇蹟はその企業の規模でも、その秘密でもその費用でもなく、科学の各方面における多くの人々の有する飽くまで複雑な知識の断片を打つて一丸として立派な工場とした科学者の頭脳の業績である……



仁科が保管していた敵性情報

今やわれわれは日本が地上の如何なる都市に有する生産企業をも一層急速且完全に抹殺し尽す用意がある、われわれは彼等のドック、工場並びに通運施設を破壊するであろう、もしそこに何の失敗もなければわれわれは完全に日本の戦争遂行力を破壊するであろう、7月26日の最後通牒がポツダムにおいて発表されたが日本国民に文字通りの破壊を味わせない為であった、彼等の指導者は直にその最後通牒を拒絶した、もし今にして彼等がわれわれの条件を受け入れないならば彼等はこの地上に曾て類を見ざる如き荒廃の雨を空中から期待すべきであろう、この空襲の後には彼等の未だ曾て見ざる数と力の陸海部隊が彼等のすでによく知る通りの戦闘技術をもつて闘うであろう

自ら本企画の総ての面に関係していた陸軍長官は一層詳細なる声明を公表するはずである……………

われわれが原子エネルギーを放出し得るという事実は自然諸力に対する人間の一新世紀を画したものである、原子エネルギーは現在石炭、石油、水の落下から得られている力を補足するだろうが現在のところそうしたものと商業的に争ひ得る基礎の上に製造することはできない

そうなるまでには長期間に亘る熱心な研究が必要である  
従来科学的知識を世界に対して匿すことはこの国の科学者の慣習でなくわが政府の政策でもなかった、従って原子エネルギーの研究に関する一切はそのまま発表されるであろう、但し現在の状況の下においては総ての軍用製品の専門的製造法を明らかにする意図はない、われわれ自身及び世界の他の部分を突然の破滅の危険から護り得ると思われる方法がさらに検討されるまで発表しない……………

極秘号外は9日までに届けられたが、トルーマン声明のほかに、アトリー英首相声明やスチムソン米陸軍長官の声明、あるいはソ連の宣戦布告文などが含まれている。政府や軍に配布された号外はすべて敗戦時に焼却されたか、米軍に接収されたが、その後一部返却され、防衛省とNHKに保管されている。配布された藁半紙の号外がそのまま保存されているのは仁科記念財団にあるのが唯一である。

#### 原子爆弾かもしれない

仁科は後に「トルーマン声明を読んで、これは本当に原子爆弾かもしれないと直観した。というのは右の数字は2、3年前、我々の研究室の一人が計算して出した数

字とピッタリ一致するからである」と書いている<sup>2)</sup>。

1943年、〈二号研究〉、いわゆる原爆研究を陸軍航空本部から仁科が受託した時、玉木英彦が“黄色爆弾一万八千トン”と計算したのである<sup>1)</sup>。「前記の数字があるため、単なる謀略宣伝ではないように思えた。ともかくその真疑は現地に行ってみさえすれば分かるだろう」と考えて、午後、有末調査団に加わり所沢飛行場を発った。しかし富士山を過ぎたころエンジンが不調になり引き返した。

この情報は政府にも当然伝えられた。「7日朝、閣議を開いた。大勢は速かにポツダム宣言を受諾すべしというのであったが、米国の詐術ではないかと疑うものもあり、一応実地調査してからということになって、仁科博士等の専門家を現地に急派した」と追水書記官長は述べている<sup>3)</sup>。この優柔不断な対応の結果、9日、“荒廃の雨を空中から期待すべきであろう”というトルーマン声明の通り長崎に原爆が投下された。そしてソ連が参戦した。

一方、記者から報告を受けた古野社長は、千葉の柏に寓居していた牧野伸顕伯に情報を伝えるべく直ちに自動車を駆った。牧野伯は大久保利通の次男で、吉田茂の岳父である。1925年、内大臣になったが、英米派の自由主義者であったため「君側の奸」として軍や右翼の攻撃的になり、1935年、内大臣を辞し、柏に隠遁していた。しかし天皇の信頼が最も厚い重臣の牧野伯に「宮中に終戦の儀を進言し、陛下自らマイクの前に立って御言葉を賜るようお願いして貰いたい」と古野は考えたのである<sup>4)</sup>。

トルーマン声明を読んだ牧野伯は“ポツダム宣言”を直ちに受けるべきであると考え、翌8日、古野の自動車で参内し、原爆の事実と仁科の判断を奏上した。10日未明の御前会議で御聖断があったと聞いた古野は「日本、ポツダム宣言受諾」と仏印向けに放送した。それは15分後直ちにニューヨークとロンドンで号外により報道された。しかし3時間後、軍命令により放送は中止された。

(2009年10月13日記)

#### —参考文献—

- 1) 「昭和史の天皇」4, 83(1968), 読売新聞。
- 2) 仁科芳雄, 世界3月号, 108(1946), 岩波書店。
- 3) 迫水久常, 正論9月号, 54(2003), 産経新聞。
- 4) 古野伊之助, 「五風十雨—古野伊之助アルバム」74, (1966), 新聞通信調査会。



## 環境保全と経済発展を両立させるために、原子力は不可欠 Cool Earth 50を提言された安倍元総理に聞く



2007年6月、総理だった安倍氏は、世界に向けて「美しい星へのいざない」を提唱。その中で、世界のすべての国が温暖化対策に取り組むことで、2050年までに、CO<sub>2</sub>排出量を半減させるという野心的な目標を掲げた。その具体策として同氏は、環境保全と経済発展を両立させること、そのために「原子力発電は重要な手段」であり、日本はその技術をもって世界をリードできるチャンスがある。さらにエネルギー資源の確保には、国家的な戦略が必要であり、イノベーションを進めることで経済成長と、そして豊かで美しい日本を築いていくことができると述べた。

聞き手 齋藤 伸三, 荒井 利治(シニアネットワーク)

### CO<sub>2</sub>対策は、世界のすべての国が参加しなければ意味がない

一安倍先生は2007年6月に世界に向けて「美しい星へのいざない」を提唱されました。その全体像は、①世界全体の排出量削減のための長期的戦略の提唱、②京都議定書後の2013年以降の国際枠組み構築に向けた3原則の提唱、③京都議定書の目標達成に向けた国民運動の展開の3つに分けることができると思います。ご提案の背景および原子力に対するの考えも含めてお話を。

アジアの首脳が集まる「アジアの未来」という会議が日経新聞の主催で開催された機会に提唱しました。その年はハイリゲンダムサミットを控え、ドイツのメルケル首相は、かなり野心的な目標を掲げるべきであると主張し、一方、米国のブッシュ大統領は、地球温暖化自体に懐疑的で特定の枠をはめて義務を課すことに反対でした。そこで、米国を説得でき、ヨーロッパに対しても話ができた、かつ、中国やインドにも働きかける立場を活用し、日本がイニシアティブをとっていくべきと考えた訳です。

現状のCO<sub>2</sub>排出量を半減すれば、森林等によるCO<sub>2</sub>の吸収もありますから、CO<sub>2</sub>による温暖化は進まないと考えられます。このため2050年までに、CO<sub>2</sub>排出量の50%削減を目標にしました。これであれば、各国の了解が得られるのではないかとことです。また、この取り組みには、途上国はもちろん、中国や米国を含めたすべての国が参加しなければ意味がない。

しかし発展途上国は、自分たちは経済を成長させなければ国民を養えない、環境どころではないという気持ちがあります。だから、環境保全と経済発展を同時にする

ということで、彼らを巻き込んでいくということが、重要な原則の一つです。

なお2050年までに排出量を50%削減するということは、いまの技術の延長線上では、それはなかなか難しいので、技術の画期的な革新が必要になります。たとえば、今のガソリンで動く自動車は、当然、電気自動車に代えていくことが必要でしょう。その電気を、石炭を燃やして作ったのでは全く意味がないので、やはり原子力だと思えます。原子力発電は重要なCO<sub>2</sub>削減のツールになるし、今後も原子力発電の安全性を高めていくことや、研究開発を進める上においても、投資が必要だろうと思えます。また、さきの目標達成のためには、画期的なものをめざした技術開発も当然やらなければならない。そこにはイノベーションの力が必要だと思います。自動車を電気自動車に代えても、あるいはスマートグリッドなどによって電気分野における省エネを進めていくにしても、最初に発電するところでは、安定的な電力供給手段である原子力が、重要な手段になると思えますよ。

### 原子力発電は、温暖化対策の重要なツール

一6月に当時の麻生総理が我が国の2020年に向けた中期目標として、2005年比でCO<sub>2</sub>の15%削減を打ち出されました。CO<sub>2</sub>を1%削減する分を太陽光発電で賄おうとするならば、それだけで10兆円の追加負担を国民に強いることになります。しかし原子力発電ならば、それは100万kW級の原子力発電所2基を新設すれば済む話で、これだと1兆円以下ででき、国民に負担をかけません。無論、原子力発電を推進していく上では、国民の理解を得なければなりませんので、先生方や国もしっかり支援していただく必要があると存じています。

温暖化という新しい地球的な課題がでてきた中で、原子力発電に対する考え方が随分変わってきましたね。原子力発電にきわめて否定的だったドイツでも、原子力発電に頼らなければならないというようになり、原子力発電の新設をやめていた米国も、原子力発電所を大幅に建設することを決定しました。

翻って日本では、国民的には慎重な雰囲気がいまだにあります。原子力発電所を建設していく上では地域住民、国民の理解がなければなりません。理解の一番は信頼だと思います。残念ながらマスコミ等は、むしろ不安を煽っているのかなという気がします。

中越沖地震が起きて柏崎刈羽原子力発電所で火災がありましたね。その時の報道は、まるで大量の放射能が漏れたかのような誤解を与えました。本体は全く問題がなかったのに、そのことは十分報道されなかった。これらの報道は、原子力に対して残念ながら悪いイメージを与えたと思います。国民の皆さんに正しい情報を伝える努力を我々もしていかなければなりませんし、多くの関係者の皆さんにも、努力をしていただきたい。

また、国民の負担をいかに少なくしながら目標を達成していくかについては、おっしゃる通りですね。原子力発電は重要なツールであり、原子力発電所を作る技術においては、日本とフランスが世界の最先端を担っている。温暖化を克服するために、もっと新しい技術が必要になれば、日本はむしろ、フロントランナーにならなければならない。それはある意味、チャンスですね。インドでも中国でも、そして世界で使える技術を開発して、それをもとに日本が仕事をしていくチャンスだと思いますね。

一京都議定書の目標 6%削減(1990年対比)の達成見直しを含めての考えを。

Cool Earth 50は三本柱から成り立っていて、1番目の柱は長期戦略。2番目の柱は達成する上での3原則、そして3番目が国民運動です。

目標達成のために、新しい技術を開発していくイノベーションは絶対に必要ですが、同時に、低炭素社会を皆で作っていかねばなりません。メーカーがいくらCO<sub>2</sub>削減上、有益な技術を開発したとしても、それが受け入れられる社会でなければ実際には効果がないわけで、国民の意識を変えていく必要があるだろうということです。皆が一人一人、CO<sub>2</sub>排出削減に努力する。例えば、朝のシャワーの時間を少し短くするか、冷蔵庫や電球などの家電製品はエコ家電を出来るだけ買う。その分、少しコストはかかりますが、一つずつ変えていくことによって、目標達成に向かっての大きな一歩になっていくということではないかと思います。

## エネルギー資源の確保には、 国家的な戦略が必要

—安倍先生が顧問をなさっておられる自民党内の「日本を資源エネルギー大国にする勉強会」では、気候変動問題も含めて、どのような手段で日本を資源大国にされようとしているのでしょうか。

昨年、原油が高騰し、1バーレル当たり最高で147ドルにまでなりました。それから30ドルまで下がったのですが、またバーレル当たり60、70ドルと上がってきました。石油だけでなく、ガスも希少金属も有限です。石油価格の暴騰で、それを実感させられました。こういうエネルギー源については、国家的、戦略的に確保しなければならぬと思います。

中国はまさにその中で先陣を切っていて、さまざまな資源を押さえにかかっています。アフリカでも中東でも、中央アジアでもそうでした。それで私も総理の時に、これに対抗しなければならないと、甘利大臣に中央アジアを訪問してもらい、ガスやウランを確保するために、カザフスタンと協定を結びました。そういう問題意識の下で、私たち国会議員のグループが勉強しながら政府に提言していこうということになりました。

なお、エネルギー源を確保するためには、ファイナンスが重要です。石油や希少金属の開発には莫大なお金と時間がかかります。しかし一企業だと、それになかなか耐えられない。例えば、イラクの原油を確保しようとすると、イラクというのは一般の銀行にとっては極めて危険な投資先であって、財政は破綻の懸念があるところなので、膨大な引当金を積まなければならないんですね。

そのファイナンスについては、国が責任を持ってやらなければ資源の確保は難しいという結論に至りました。なお、国家が金を出すファンドには2つあり、一つはお金儲けのファンドです。もう一つの国家ファンドが、国家的な戦略上必要なものにお金を出すファンドです。その典型がエネルギーです。私は、これが必要だと思っています。

—原子力の利用は発電のみならず、1,000℃近い高温の熱を供給し、原子力製鉄や水素の製造も可能な高温ガス炉もあり、日本は、この分野で世界の最先端にあります。ぜひ、このようなことにもご理解を賜りたいと存じます。

さて、最後に、わが国の文明は今後どのようにあるべきか。若い人へのメッセージも含めてお聞かせいただければと思います。

日本という国は、太平洋と日本海の波に洗われた、美しい自然に恵まれた島国だと思います。また、長い歴史と誇るべき文化と伝統を持った国であり、人々は自然とともに生きてきたと思います。

21世紀に入って、私たちは誇るべき日本の資産に対し

て、もう一度、目を向けるべきだろうと思います。日本の力や技術力にも当然誇りを持つべきであり、この技術力を強化していくことが、日本の力が強くなっていくことだと思います。日本がより強い力を手に入れることにより、美しい自然を守ることができます。それが、誇るべき伝統、そして文化を育てていくことにもつながっていくと思います。そして、日本を力強く成長させていく上においては、イノベーションが欠かせない。これによって、日本の成長を刺激しながら、引き出していく。これが、従来から私が申し上げている新しい経済成長戦略です。イノベーションと経済成長をさせていながら、その果実によって私たちは日本が守るべき伝統と、文化を保持していくことができるのではないかと思います。

日本は昭和の時代に入って敗戦を迎え、この60数年間、とにかく経済的な繁栄だけを目指してがんばってきました。しかし21世紀は、豊かな人生を送れる、そして誇りを持って生きることのできる日本を作っていくことに力を入れていくべきではないかと思います。

それは、例えば、技術とか経済とかを軽視していいんだということではないんです。強い国を作っていくことが、日本本来の持っている大切な良い点を守っていくことにつながっていくことだと思います。

—ありがとうございました。

(以上、本年8月8日開催のシンポジウムのために7月2日に収録したものの要約である)

## 新刊紹介

### 対話の場をデザインする 科学技術と社会の間をつなぐということ

八木絵香著, 200 p. (2009.8), 大阪大学出版会  
(定価1,900円+税) ISBN 978-4-87259-291-7 C3036

現在はもちろん、今後の原子力分野の諸活動を展開していくうえで、その活動から精神的、物質的影響を受ける市民と原子力専門家とのコミュニケーションが死活的に重要な課題であることをほとんどの関係者は理解している。しかし、過去でも現在でも、それは極めて不満足な状況である。著者はこの課題に根底から実践的に取り組み、真にコミュニケーションが通じる対話の場(対話フォーラム)作りと継続的対話を宮城県女川町と青森県六ヶ所村で実践した。本書は、このパイオニア的フィールドワークの記録である。

著者が大学での研究活動を開始した1990年代後半頃から、我が国では原子力分野の事故・トラブルが頻発し、原子力事業への社会的信頼は低下の一途をたどった。著者はこの経緯の中で、専門家の説明と地元市民の聞きたいこととの間に根本的な差があることを強く認識し、双方間に真のコミュニケーションを生む場の必要性を痛感し、対話フォーラムを立ち上げるに至った。対話フォーラムは、市民と専門家と双方

を仲介するファシリテーターの3者で構成される。上の対話フォーラムでは、専門家として北村正晴東北大教授等が、ファシリテーターとして著者が役割を務めた。

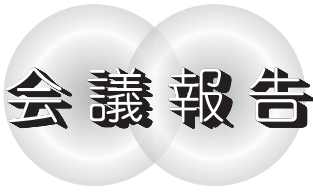
第1章では、対話の場の必要性の背景が述べられる。第2章には、対話フォーラムがスタートするまでの紆余曲折が描かれる。今後このような場を作ろうとする人達の良い参考

になる。第3章は、対話フォーラムを経て、専門家と参加市民がお互いにどのように変化し、相互の信頼が芽生え、育ったかが示される。ここが、この活動の最も重要なプロセスであろう。第4章は、専門家と市民の変化を引き出す場のデザインについての考察が、そして最終章に、科学と社会をつなぐことの意味、道筋、段取りについての著者の主張が示される。価値観が多様化した現代では、科学技術成果の社会的導入是非の議論以前に、価値観の同異はさておき、市民と専門家が相互に信頼してコミュニケーションできる場をまず設けるべきとの著者の主張は、極めて重要な示唆である。たとえば、日本原子力学会のフェロー有志が、原子力対話フォーラムの専門家として実践的活動をするのは大きい意味があると思われる。学会員のご一読をぜひお勧めしたい。

(原子力安全研究協会・松浦祥次郎)







## ベトナムの原子力研究は今(ベトナム原子力学会)

The 8th Vietnamese National Conference on Nuclear Science and Technology

2009年8月20~22日(ニャチャン, ベトナム)

本会議は、ベトナムの原子力委員会(VAEC)と原子力学会(VAES)により、2年に一度開催されている。第8回にあたる今回は、ベトナムの著名な観光地の一つであり、風光明媚なビーチが有名なニャチャンにおいて開催された。ちなみに、同地は2008年のミス・ユニバース世界大会が行われたことでも有名である。

ベトナムの原子力関係者にとって、本会議は原子力に関連する情報を交換するための重要な場となっている。本会議においては、ベトナム国内における原子力関連の基礎および応用研究に関する活動を幅広く把握することができ、これは、今後の研究の方向性を検討する上で、特に重要な情報となる。今回の会議には40を超える国から約240人の参加があった。

基調講演では、VAECの会長であるタン氏から、現在のベトナムにおける原子力関連の研究および応用について概要の説明があった。ベトナムにおいて、原子力の関連技術(放射線応用も含む)は、医療、農業や他の産業にも広く用いられているが、適用例は実際の需要に比べるとまだ少なく、潜在的なマーケットが存在すると推定される。

ベトナムでは今後の経済成長に伴う電力需要の伸びに対応するため、原子力発電所を建設する計画である。そのため、本会議では、原子力発電に関する特別セミナーが開催された。VAECの副会長のホン氏の発表によると、100万kW級の原子力発電所を2基建設予定であり、運開を2020年、2021年に予定している。このセミナーでは、日本を含めた原子力利用国からの参加者と、教育や研究などの計画について様々な議論が行われた。

現在のところ、ベトナムにおける原子力利用の研究

は、本会議での発表件数から類推できるように、まだ質・量ともに限定的である。この観点から、会議では原子力発電所の運開予定までの今後10年間に、運転に必要な多数の熟練技術者を養成できるかどうかについての疑問も呈された。ベトナム政府とVAECは確実な教育計画立案を急ぎ、研究グループへの投資や研究者・技術者に対する待遇の改善をも含め、先進国で活動しているベトナムの研究者・技術者を本国に呼び戻せるように早急に動く必要があるだろう。

(名古屋大学・ナム ホアイ ツァン, 山本章夫和訳)

今回、初めてベトナムを訪問した。その印象や他国の動きなどを記して補足としたい。上述のように、ベトナムでは、原子力発電に関する基盤研究が活発に行われている状況ではないようであり、筆者の専門分野である原子炉物理/炉設計に関しても、研究者・技術者を充実させる必要性を感じた。日本は、同じアジアの国の一つとして、教育や研究面の支援という観点から、様々な貢献をすることが可能であると思われる。

ベトナムでの原子力利用に関しては、日本以外にロシア・韓国・フランス・米国などが協力を行っている。ロシアのROSATOMはVAECと毎年会合を持ち、原子力技術、特に原子力発電所の設計・建設・運用に関する情報交換を行っている。韓国は、ベトナムと原子力に関する協力を最初に行った国の一つである。ベトナムからの学生の受入れ、または原子力技術のトレーニングのための講師の派遣といった形で協力している。フランスのCEAは、ベトナムの研究者の受入れプログラムを走らせており、また、ダラットに設置されている研究炉(トリガ炉)の解析ツールを提供している。米国は、ダラットの研究炉のLEU化で協力しているとのことである。なお、ロシア、韓国、フランス、米国は、原子力利用に関する法律や政策立案にも協力しているとのことである。

他の国とベトナムの協力の状況、およびベトナムと日本の経済状況を考慮すると、現在も行っている日本の公的セクターからの支援を今後も継続的に実施していくことは効果的であろう。特に、研究者や留学生に日本に滞在してもらうことは、技術支援の意味合いとともに、人的なつながりを創るという観点からも重要であると思われる。

(山本章夫)

(2009年9月3日記)



会場付近の風景(左下のドーム状の屋根の建物が会場)

# 会議報告

## WIN-Japan 主催 女性交流会 in 薩摩川内

楽しく話そう、エネルギーや原子力のこと

2009年9月12日(ホテルグリーンヒル, 薩摩川内市)

原子力や放射線の理解をめざして

原子力の仕事に携わる女性によって運営しているWIN-Japan(小川順子会長)は、2009年9月12日、九州電力㈱が川内原子力発電所3号機増設申入れを実施した薩摩川内市において、女性交流会「楽しく話そう、エネルギーや原子力のこと」を開催した。女性交流会は、原子力関連施設の立地地域に住む女性達とWIN-Japan会員とが対話することによって、原子力の正しい情報を一般の方に伝えたり、日頃の疑問に回答することを目的としている。今回は、薩摩川内市を中心とする88名の一般の方とWIN-Japan会員23名が交流した。本会は、第1部で講演会、昼食をはさんで第2部で交流会を実施した。

「スポーツもエネルギーも一日にしてならず」

第1部の講演会では、スポーツキャスターの舞の海秀平さんを講師に招き「スポーツもエネルギーも一日にしてならず」と題して、現役時代に技能賞を受賞するまでのエピソードや現在の相撲界の状況について講演していただいた。相撲は自分のように小さい力士でも技を駆使して、自分より大きな力士を倒すことができる。同じように、資源の少ない日本でも原子力のような技術を駆使してエネルギーを確保することが大切であり、未来へ向けて今から準備すべきと述べられた。

楽しく話そう、エネルギーや原子力のこと

第2部の交流会では、1テーブルに参加者7、8名とWIN-Japan会員2名の構成で12テーブルに分かれて、参加者からの原子力に対する不安や疑問点について話合った。

まず、自己紹介と本交流会への参加動機を伺った。参加動機はおおよそ次の点である。(1)原子力発電は元々危険なものであり不安であるので、どうやって安全を確保

しているのかを知りたい、(2)川内原子力3号機増設の必要性がわからないので教えてもらいたい、(3)地元説明会では男の人が大半で、細かい話を聞きづらい雰囲気であるので女性交流会に参加した。

参加者の多くは薩摩川内市内に住んでおり、原子力発電所は身近な存在であるので、事故が起きた場合のことを日頃から心配しておられる。したがって質問内容も、(1)事故が起きた場合にはどこに避難すればよいのか、(2)北朝鮮がミサイルを発射したらどうなるのか、(3)地震が起きたら火災が起きるのではないのか、(4)なぜ川内原子力3号機を増設するのか、これにより危険も増すのではないのかといった質問内容であった。他にも、防災訓練に毎年参加しているが、形骸化しており実際事故が起きたときには役立たないのではないのかという厳しい指摘もあった。

また、原子燃料サイクルについても勉強されている熱心な方が多く、その方々からは、「原子力発電所から取り出した燃料を再処理工場へ運ぶ際、危険はないのか」「容器から多少なりとも放射線が漏れる恐れはないのか」「低レベル放射性廃棄物はどこに運ばれるのか」など一歩踏み込んだ質問も出された。

さらに、「最終処分場の話は子孫まで続く問題であるので、皆が納得できる解決策を見つけてほしい」「石油、石炭はリサイクルできないが、ウランはリサイクルできるのでエネルギー確保のために原子燃料サイクルを確立してほしい」と私たちを応援する意見もあった。

**要は信頼関係**

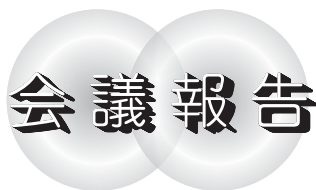
WIN-Japanは2000年の設立以来、原子力平和利用推進の立場から、女性と次世代層を主な対象として、原子力の理解促進を目的に活動している。原子力発電や放射線利用に関する正しい情報発信はホームページやパンフレットでも行うことはできる。にもかかわらず、わざわざ顔を突き合わせて交流会を実施する理由は何か。それは、face to faceのコミュニケーションによる信頼関係の樹立である。参加者は私たちが確信を持って説明しているか、ごまかしや隠し事がないか、を私たちの表情やしぐさから確認することにより、安全を理解し安心を得ることができる。WIN-Japanはこれからもface to faceのコミュニケーションを図っていきたいと考えており、みなさまからのご支援、ご協力をお願いしたい。

(九州電力・前田由起子、三菱重工業・黒岩温子、  
2009年10月20日記)



交流会の風景





## アクチノイドおよび核分裂生成核種の地質環境における 化学と移行に関する国際会議

Migration'09 : International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere

2009年9月20～25日(米国ワシントン州, ケネウィック市, 米国)

Migration'09は、アクチノイドおよび核分裂生成物(FP)の地下環境での移行挙動に関する最新の研究成果の発表および情報交換を目的として、2年に1度の頻度で開催され、今年で第12回目を迎える権威ある会議である。今回は、パシフィックノースウェスト国立研究所(PNNL)などの主催で、ワシントン州、ケネウィックのスリーリバーコンベンションセンターで開催された。会議には15カ国から約300名の参加者が、279件の発表を行った。口頭発表(69件)は8時半～18時までひとつの会場で集中的に行われ、ポスター発表(210件)は学会の2日目および3日目の19時～20時まで行われた。

会議初日は、会議のホスト機関であるPNNLのクルーゼ研究所長の歓迎の挨拶で幕を開けた。引き続き、米国エネルギー省(DOE)の基礎エネルギー科学部門および生物環境研究部門のミラー氏とアンダーソン氏からアクチノイドなどの基礎科学研究への期待と資金助成について紹介があった。オバマ政権が変わってからユッカマウンテン計画の中止など原子力研究開発の中止や遅れが懸念されたが、基礎科学研究についてはDOEがしっかりと資金的な援助を行っていることが感じられた。特にアクチノイド化学は核燃料サイクルや環境修復技術開発において重要であり、国立研究機関で進められている応用研究だけでなく、大学からの基礎研究提案にもできるだけ助成するとのことであった(例えば、ノートルダム大学のアクチノイド材料研究に約18億円/5年等)。さらに、PNNLのゲファード博士からハンフォードサイトの歴史、特に廃棄物の貯蔵および漏出についての概要が紹介された。

2日目からは研究成果の口頭発表とポスター発表が行われた。各セッションの発表の概要を以下に紹介する。

**セッションA：アクチノイドと核分裂生成核種(FP)の溶液化学**では、溶解度と溶解挙動、固溶と2次鉱物生成、無機および有機官能基との錯形成、酸化還元反応と放射線分解、固液界面における反応、コロイドの生成および測定手法開発に関する最新の成果が発表された。

無機および有機官能基との錯形成では、東工大の池田泰久教授が招待講演としてU(V)錯体の構造と反応性に関する研究成果について発表した。その他の発表では、固液界面のアクチノイドの化学状態を明らかにする研究に進捗が感じられた。これまで、モデル解析による化学状態の予測が主であったが、レーザー分光分析やX線吸収端微細構造解析(XAFS)により実際の化学状態を捉えることが可能になり、地に足を付けた議論ができるよ

うになった。なかでも東京大学田中研究室の一連の発表、すなわちモデル解析と走査型近接場レーザー分光等を駆使した鉱物表面分析を組み合わせたアクチノイドの化学状態分析に関する発表は、日本の先端研究成果を大いにアピールするものであった。注目される研究成果としては、ノートルダム大学のバーズ教授の研究室で成功したU(VI)やNp(V)によるフラーレン構造物質の合成に関する研究があげられる。また、ロスアラモス国立研究所のリチャード博士はPu(IV)のコロイドの合成に成功し、構造も明らかにした。これらの合成はアクチノイド含有コロイドの生成および挙動を解明する上で重要な知見を与えると考えられる。

**セッションB：放射性核種の移行挙動**では、鉱物変質過程における吸着/脱離、拡散および移行プロセス、コロイド移行、微生物および有機物の影響、野外実験、ナチュラアナログ研究に関する最新の成果が発表された。著者は、微生物および有機物の影響セッションの議長を務めた。微生物細胞表面に生成した希土類含有鉱物や地下水中のアクチノイドコロイドについて、透過電子顕微鏡による3次元像解析で生成条件や場所を特定する試みが九州大学宇都宮研究室でなされ、注目された。その他では、グリーンラスト(Fe(II), Fe(III)を含む鉱物)生成時におけるNpの挙動解析など、ホスト鉱物の構造が変化する過程でのアクチノイドの挙動などが長期の予測には重要であることが再認識された。

**セッションC：地球化学と移行モデル**では、データ選択と評価、化学反応を取り込んだ移行予測、モデル開発と応用、モデル検証に関する発表がなされた。原子力機構等で進めている放射性核種の熱力学的データベースの整備についての発表があり、地味ではあるが、放射性核種の地層中移行予測においては重要なデータが一つずつ整っていることが感じられた。

特別セッションとして、ハンフォードサイトにおける汚染と修復に関する研究の現状について報告があった。環境中に漏出したPuなどを電子顕微鏡で解析するなど、日本では取得不可能なデータが紹介された。

会議を通して、米国、欧州各国ではTRU元素の分析が走査型透過電子顕微鏡、XAFSなどの最先端機器により行われており、日本での分析体制の後れを感じた。

なお、次回のMigration'11は中国、北京で2011年9月に開催される。(日本原子力研究開発機構・大貫敏彦, 2009年10月10日記)





## ⑥ 夢実現

福井県高浜中学校 伊藤 恭子



高浜町に生まれ育って

私は、関西電力から数キロメートル離れた高浜町西三松に生まれて育ちました。私が結婚し、子どもが出来た頃、原子力発電所に対し、正直不安はありました。今は、安全が確保され、安心感がもてることは最低限守られなければならないことですが、共存共栄に向かっていきたいと思っています。

中学校単元『発電』と真っ白な中学生

原子力発電所は、いま世界的に二酸化炭素の削減が叫ばれるなかで必要です。また、身近においても、私の友達が旅館を営んだり、発電所に勤務したりして生計を立てています。いまでは、発電所なしではやって行けない面があります。むしろ、廃炉になることの方が恐いという思いもあります。

中学校3年生の理科に『発電』の単元があります。そのなかで原子力について学びます。内容は、放射線の性質や原子力発電の良い点と悪い点です。具体的にいいますと、利点は少量の燃料で大量のエネルギーを作り出すことや発電中には二酸化炭素をほとんど出さないこと。不利な点は、多量の水が必要なので海岸等の水辺にしか立地できないこと、住民の同意が必要なのでこじれる場合があること、放射線への不安、廃棄物の問題などです。これらを理科の時間のなかで解説して、『みんなはどう思う?』と投げかけています。そうして生徒個々の意見を沢山出させた上で、「これは君達自身の問題で、10年後(結婚と出産を考える年頃)には自分たちで答えを出さないといけないんだよ」といいます。少し投げ遣りな感じがするかも知れませんが、そうやって自分の問題として捉えられるようにならないだろうかということです。このことは、本来ならば日本国民皆が考えないといけないことだけど、私たちの町には高浜発電所がある。なおさら、真剣に考える必要があるんじゃないかなあ。また、「10年後に考え始めたのでは遅いので今から考えようよ」と誘います。こんな風にたたみかけるように投げかけますと、『どうするんだ』と自問しているのか、みんなまるで頭の中が真っ白になったようにシーンとなります。生徒達には、この“真っ白”なところ、つまり原点に立ち返ってスタートし、いろんな夢を実現してほしいと思っています。

あるエピソード

ひとつのエピソードがあります。約20年前のことで。一人の嶺北出身の理科の先生が高浜へ赴任してきた

時、「嶺南(若狭・敦賀地方)の子は原子力や放射線のことを知識として非常によく知っているの、ちょっと驚きました」と感想を漏らしたのです。なぜかと考えました。ひとつには、小・中学校で発電所の見学会が行われています。子供会等でも行っています。残念ですが、そういう機会は少しずつ減ってきています。

最近、頻繁に行われているのは、中学校はサマースクールそして小学校は科学の出前授業で、発電所の皆さんが親身になって子供たちを教えてくださいました。面白実験教室があり、時々原子力もテーマとして入ります。ここで得られる人と人との交流の機会は、ゆくゆくは人間同士の信頼感の醸成につながります。こういう私も、サマースクールや出前授業を通じて、関西電力の方と親しくなり、ささいな疑問を尋ねることができるようになりました。親近感と信頼感ができていく……これは子供たちの将来に必ず役立っていくと実感しています。

これからのこと

差別は時と場所を変えていろんな形で現れます。もう随分昔のことですが、他所から来た観光バスがこの地を通過する時、バスガイドさんが『空気に放射能がありますから窓を閉めてください』といったというようなウソのような話もあります。空気がそして魚が敬遠されました。今、この地方の鯖、小鯛、笹かき、ふぐ、かに等の海産物を目当てに京阪神からもたくさんの方が食事に来られます。原子力や放射線の教育は、ゆえなき差別や誤解をなくすためにも、日本中の学校で歩調を合わせて実施すれば、いろんな面で効果もグッと上がると思います。

最後に、日本原子力学会への期待を2つ申し上げます。まずは説明責任を果たしてほしいということです。何か事が起これば一番苦しむのは地元の私たちです。地元のみならず、他の地域の方達の無用の不安を払拭してほしいと思うのです。もうひとつは人と人との交流を大切にしてほしいということです。様々な交流(日本のみならず外国の方々と地元の小・中学生との交流等)が相互の信頼関係をつくっていくと思います。

(2009年 10月 6日 記)

伊藤恭子(いとう・きょうこ)

福井県高浜町立高浜中学校校長。学校教育の目標は『夢実現』。人と人とのつながりを通して、何事にも臆することなくチャレンジしていく子供を育てたいと日々頑張っています。座右の銘:「迷ったときは、前に出る」(星野仙一)

# 低線量・低線量率放射線の影響評価が好評

低炭素化への関心も高く

(9月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」9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81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、各記事の内容及び書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。9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	シリーズ 解説	我が国の最先端原子力研究開発 電中研 No.12 放射線はどんなに微量であつても危険なのか —低線量・低線量率放射線の生体影響評価	4.09
2	巻頭言	日本の低炭素化	4.00
2	時論	科学を楽しむ「場」～科学フェスティバル	4.00
4	定点 “感”測	もっとイージーに外へむかって	3.87

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	日本の低炭素化	3.95
2	定点 “感”測	もっとイージーに外へむかって	3.81
3	時論	科学を楽しむ「場」～科学フェスティバル	3.78
4	報告(1)	「くらしと廃棄物(ごみ)」—アンケート調査が明かした事実と今後の展開	3.76

今月は、巻頭言、時論、定点感測も好評でした。

## 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 「時論」に関して、英国の科学フェスティバルの紹介は非常に興味深かった。原子力にまだまだ大きな抵抗がある日本では、このような科学フェスティバルを通じて理解を求めるような試みを広げてほしい。
- (2) 「連載講座(1)、廃止措置技術—鋼材解体の技術動向」に関して、大型工事になったと思われる事例、試験例が淡々と羅列されているが、実現象としての工夫・苦労話が入っていると、実感がわきやすいと思った。
- (3) 「ジャーナリストの視点」に関して、もんじゅの改名は思いもよらなかったが、案外よいかもしれない。
- (4) 「Web アンケート結果」に関して、アンケートを実施して読者の評価を活用することは良いと思うが、結果は掲載しなくてもよいのではないかと。

## 3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(2)のコメントに対して、読者の理解が進むような可能性のある場合には、「校閲」の段階で、そういったコメントを著者にさせていただくように致します。
- (2) 上記(4)のコメントに対して、アンケート結果は、編集委員会での記事の企画等に利用していますが、評価の高かった記事については、編集委員会ばかりではなく、読者の皆さまにも参考になる点が多々あると考えられ、結果を公表しております。

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

### 鳩山首相にノーベル平和賞銀メダルは可能か

(株)エネルギーフォーラム 志賀 正利

先の総選挙での圧勝の勢いそのままに国連に乗り込んだ鳩山首相の演説は、わが国歴代総理の中でも出色の出来だったと、各国の首脳やマスコミが称えた。9月22日の国連気候変動首脳会合での温暖化ガス削減目標を2020年までに1990年比で25%削減するとした演説と、24日の国連安保理事会での、唯一の被爆国として核廃絶の先頭に立つとする演説である。いずれもエネルギー政策や原子力政策に密接に関係するものだけに、いくら賞賛されたとはいえ、今後の具体的な政策内容が大いに気になるものである。

鳩山演説の温室効果ガス削減の新たな目標についての経済産業省の現在の対応は、「総理の発言を踏まえ、何らかの検討をしなければならない。明確に指示が下りていくわけではないが、COP15までに検討していくことになるだろう」(資源エネルギー庁課長)と、官僚たちは静観の構えの様子。ただ、25%削減を「真水」で達成できるとは考えていないようで、「真水」部分については、麻生政権時代の15%削減から大きく増えないのではないかと考えているようだ。しかし、15%削減についても達成は困難、というのが産業界の多数意見だろう。麻生政権が中期目標で打ち出していた15%削減ですらも、それを実現するためには、電力の供給面では、2020年までに原子力発電を9基増設し、太陽光発電を現状の20倍の2,800万kWまで拡大するという、とてつもない数字が掲げられていたからだ。

電力関係者からは、一般受けする太陽光の導入拡大よりも、むしろ原子力発電をあと数基増設すればことは済むはずという声があがっているのである。例えば、09年度の電力供給計画をみれば(これを机上の空論という人もいるが……)、20年度までに運転開始を計画しているのは15基あることから、実は政策の展開次第では、太陽光の分をカバーしうる潜在力があるのである。原子力開発こそ政治の判断に負う部分が大きいだけに気になるところだ。

しかし、鳩山内閣で消費者・少子化担当相に就任した福島瑞穂社民党党首は、10月3日に東京・明治公園で開かれた原発反対集会に出席し、「脱原子力の大きな動きを強める」と発言し、小沢環境相に対しても、「CO<sub>2</sub>削減のために原発活用という議論が起きないようにしないとイケない」(読売新聞)と迫っている。鳩山首相は、温暖化対策については、菅副総理の元での

外務・環境・経産の各大臣の下に検討委員会を設けるとしているが、政治的判断が優先されることは確実だろう。その場合、福島大臣はどう関与するのだろうか。連立政権の与党党首として存在感にこだわれば、わが国として最も実現可能性の高い原発増設や稼働率向上による温暖化ガス抑制策の道が閉ざされることになりかねず、鳩山首相の演説は絵に描いた餅になってしまうのは確実だろう。当面の試金石は上関原発の掘き方ではないだろうか。

もう一つの核廃絶の具体策はどうだろうか。オバマ米大統領の核廃絶演説により、安保理が全会一致で核廃絶を決議したことは歴史的出来事だといえる。それが認められてノーベル平和賞の受賞が決まった。それだからこそ、唯一の被爆国で原子力の平和利用についてプルトニウム利用をも認められているわが国の役割は重い。核ミサイルに搭載されているプルトニウムを原子力発電の燃料としてどう受け入れていくか、その道筋を提案する立場にあるのではないだろうか。現存する3万発の核爆弾のプルトニウムを燃料として使えば、全世界の原発を15年間運転できるという。核の番人の原子力委員会が、鳩山演説を受けて、具体的利用計画を世界に向けて発信するときだと思うが、これも政治的判断がカギを握っているとはいえ、ポピュリストの鳩山首相をよく導いてもらいたいものだ。核廃絶の中身を提起し世界をリードできれば、わが鳩山首相もノーベル平和賞の銀メダルをもらってもおかしくはないのだから。

政治に関連して最近、一冊の本を読んだ。『長崎市長 本島等伝-赦し』(にんげん出版刊。横田信行著)がそれだ。人類最後の被爆都市・長崎の元市長でキリシタンの本島氏は、高レベル放射性廃棄物最終処分場を古里の上五島に誘致しようと考えているのだ。彼はポピュリストではなく、核廃絶への具体策を描いている。(2009年10月14日記)



志賀正利(しが・まさとし)

(株)エネルギーフォーラム 副社長

1950年福岡県生。79年専修大学経営学部卒、同年(株)電力新報社(現エネルギーフォーラム)入社。編集部記者を経て95年取締役編集部長。現在副社長。