

### シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発  
電中研 No. 14

## 18 材料と水で軽水炉を護る —SCC 研究と水化学研究

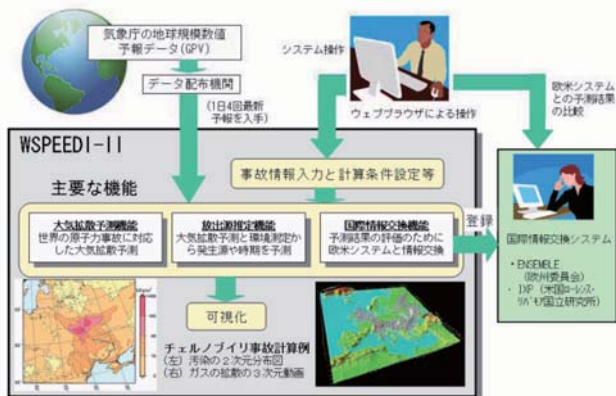
高経年化が進む中で重要となるのが、応力腐食割れ対策と、水化学による運用管理法の改善である。今回は電中研の高温高圧水ループ設備を用いた SCC と水化学研究の概要を紹介する。  
渡辺恵司, 藤原和俊, 河村浩孝

### 解説

## 24 世界の原子力事故に即時対応可能な大気拡散予測—緊急時環境線量情報予測システム(世界版) WSPEEDI-Ⅱ

世界の原子力施設で万一、大事故が発生した場合、計算シミュレーションにより、放射性物質の大気拡散や放出地点を迅速に推定できる予測システム WSPEEDI-Ⅱ が完成した。

茅野政道, 寺田宏明



WSPEEDI-Ⅱの全体構成

### 巻頭言

## 1 東京都市大学の新たな試み

中村英夫

### 時論

## 2 ドラえもんを作ってください

いつか、ドラえもんのようなロボットを作れるだろうか。

井川陽次郎

## 4 地方から見た原子力

原子力立地点への経済支援は、本当に地域振興を考えたものになっているだろうか。

角山茂章

## 6 福井で原子力を学ぼう

国際的な人材育成の拠点をつくる。

来馬克美

### 解説

## 28 都市域における放射能散布テロへの対応—都市型緊急時対応訓練 EMPIRE 09に見る米国の体制

米国では都市域でのテロ対策の整備を進め、防災訓練による対策の社会への浸透と対応機能の高度化・維持を図っている。

永井晴康, 渡辺文隆, 遠藤邦明

### 連載講座 21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向(4)

## 31 廃止措置技術

### —放射線計測の技術動向

廃止措置においては、解体作業中の放射線管理だけでなく、建屋の残存放射能測定や解体廃棄物のクリアランス測定に関しても放射線計測技術が重要である。

酒井仁志, 佐川 寛

### 表紙 定期検査中の福島第二原子力発電所

(写真提供) フォトグラファー 柏木龍馬  
(表紙デザイン) 鈴木 新

### 36 実機での水化学(3)

#### —被ばく線量の低減

原子炉冷却材系統内に蓄積した放射性腐食生成物が、管理区域内で従事する作業員の被ばく線源となる。今回は被ばく線量低減のための水化学管理について述べる。

實重宏明, 塚本雅昭

### 座談会

### 42 日本原子力学会関西支部 創立50周年記念式典

関西支部の歴代支部長が、50年の活動を振り返った。

鈎 孝幸



### 談話室

### 46 IAEA 版 JCO 臨界事故調査報告 LESSONS LEARNED FROM THE JCO NUCLEAR CRITICALITY ACCIDENT IN JAPAN IN 1999の発表まで

住田健二

### 会議報告

### 48 日・韓・中を中心とするアジア 地域における放射線工学分野の 会合—「放射線安全と計測技術に関す る国際シンポジウム」報告

前畑京介, 執行信寛

## 8 NEWS

- 民主党政権, 原子力は「安全確保を前提に推進」
- 浜岡4号機が運転開始
- エネ庁の原子力支援事業が決定
- IAEAが美浜3号機のOSART調査結果を公表
- 再処理工場のしゅん工時期を2010年10月に変更
- 超重力場を用いて同位体を分離するロータを開発
- J-PARCで原子の動きをとらえる新手法を実証
- ブロッコリー抽出物に放射線の増感作用
- パーキンソン病初期から認知症関与の神経障害
- 原産協会が小中学校の理科教育に協力
- 信州環境フェアに高レベル廃棄物処分のパネル
- 海外ニュース

### 新・不定期連載 未来型リーダーシップを拓く③

### 50 ヴィクトル・ユゴーが描いた世界

欧州委員会のENENプロジェクトが、2003年に発足した。

久住涼子

### 定点“感”測⑤

### 52 中学生の誇り, 原子燃料サイクル 施設—早期推進を積極的に

種市治雄

### ジャーナリストの視点

### 55 ぬぐい去りたい地震への不安

永井 理

### 49 支部便り 関東・甲越支部

猪飼正身

### 56 会報 原子力関係会議, 主催・共催行事, 2009年「秋の大会」(東北大学)開催報告, From Editors, 英文論文誌目次(Vol.46, No.11), 主要会務, 編集後記

## WEB WEBアンケート

7・8月号のアンケート結果をお知らせします。(p. 53, 54)  
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/>

# 東京都市大学の新たな試み



東京都市大学 学長

**中村 英夫** (なかむら・ひでお)

東京大学工学部卒業。東大工学部教授、運輸政策研究所長、武蔵工業大学長を経て、今年4月より現職。また土木学会会長、世界交通学会(WCTRS)会長、国土審議会会長代理などを務めた。工学博士、リヨンリュミエール大学(フランス)、シュツットガルト大学(ドイツ)名誉博士。

東急グループの創始者五島慶太氏は、その強引な企業買収などのため強盗慶太と世間で恐れられた経営者であったが、教育には極めて熱心であり、また科学技術への理解も深い人であったようである。1950年代にすでに今後は原子力の利用が極めて重要になることを予見し、その研究を進めるべきであるとして、グループ傘下の武蔵工業大学(現東京都市大学)に原子力研究所を創設し、1960年代のはじめに研究用の原子炉を稼働させた。

この原子炉の維持は財政的には言うまでもなく、施設の安全な維持をはじめ、業務上も小さな私学にとっては大きな負担であった。しかし学生の教育にはもちろん、全国の研究者にも利用され、脳腫瘍などの治療研究や放射化分析による微量元素の分析などにも用いられ、多大な成果を収めてきた。

ただ残念ながら1989年に起きた1次冷却水の水漏れにより原子炉の運転が休止され、その後、修復か廃止かの検討の末、廃炉とすることが決定され、2006年には全燃料が受け入れ先のアメリカへ搬出されるに至った。こうして40数年間にわたり武蔵工業大学は原子力研究所において、原子炉施設の建設から、新燃料の運搬、原子炉の運転・管理、原子力利用の教育・研究、さらには原子炉の廃止措置、使用済燃料の輸送・返還など、原子力利用に関する多彩な経験と実績を残してきた。

一方、我が国では現在50数基の原子力発電炉が稼働し、総発電量の約3分の1が原子力エネルギーによりまかなわれている。加えて、炭酸ガス排出削減や原油価格高騰対策などとして原子力発電の増強が世界的に叫ばれている。にもかかわらず、近年では我が国の原子力教育と研究の相当な部分を担ってきたいくつかの大学では、その教育・研究体制の規模縮小を進めてきた。そのため原子炉の開発、製造、運転、保安等のあらゆる分野で技術者の不足が現実に懸念される事態に陥っていることは周知のとおりである。

そのため本学の永年にわたる原子力に関する教育・研究の実績を再び活かすため、2005年に原子力安全工学科を創設することを決めた。近年の社会的風潮もあり、本学内でもこの原子力関連の学科創設には少なからぬ反対意見もあったが、原子炉の建設から廃炉に至る多彩な経験とそれに携わった教職員の知見の活用が本学の社会的責務であるとの自負を持って、あえて困難の多い学科の設置に着手した。

この原子力安全工学科では原子力・放射線についての体系的な教育により、正確な知識を学生に与え、原子力利用の健全な発展に携わる人材の育成を目論んでいる。そのため、原子力工学全般にわたる教育とともに原子力工学、放射線工学、原子力政策の3つのコースを設け、これらに特化した専門教育を授けようとしている。また原子炉の耐震性の問題など、我が国では特に重視すべき課題等についての研究にも力を入れようとしている。そして原子力発電所立地県の出身学生や留学生の教育にも力を注ぎ、卒業後はその故郷での原子力発電所などでも活躍し、原子力の信頼性向上にも役立ってほしいと願っている。

来年度からは早稲田大学との大学院共同原子力専攻がスタートする。これは原子力教育の社会的必要性を強く認識する早稲田大学と本学が、教職員や施設などを共同で提供し、両大学の学生や他大学あるいは企業から入ってくる大学院生に原子力工学の教育をし、また両大学が協力して進める研究により社会的に貢献しようとするものである。

原子力エネルギーの安全な利用を今後さらに発展させるために進められるこのような原子力教育・研究についての、大学の新しい試みに多方面のご支援を期待して止まない。

(2009年 9月15日 記)



## ドラえもんを作ってください



井川 陽次郎(いがわ・ようじろう)

読売新聞東京本社 論説委員

1982年東京大学教養学部基礎科学科卒業。同年、読売新聞社入社。北海道支社、科学部などを経て2003年より現職(科学技術全般を担当)。著書は「ノーベル賞の日本人」(中公新書、共著)など。

いま「ドラえもん」がいればなあ。机の前に座ってパソコン画面とにらめっこしながら、そう考えている。

理由は、この原稿だ。日本原子力学会誌の「時論」に何か書くべしということで、一応、テーマは考えてあるのだけど書き出しから躊躇している。

なにせ「学会誌」だ。しかも、メンバーにはマスコミに辛口の専門家が実に多い。参考に、いくつかバックナンバーをめくってみても、目次には硬い見出しばかりが並んでいる。日ごろ文章を書いてメシを食っている身とはいえ、ここは自分には場違いなのではないかと尻込みしてしまう。こんなとき、ドラえもんがいて、四次元ポケットから「原稿書きー！」みたいな道具を出してくれたいのに……。

まだ、ドラえもんはいないのだから仕方がない。原作の設定でも、ドラえもんは22世紀の未来からやってきた「ネコ型ロボット」ということになっている。

では、人類はいつかドラえもんのようなロボットを作れるだろうか。書こうと思っていたのは、その話だ。学会誌に漫画の話か、と怒られそうなんだけど。

### ドラえもんの動力源

漫画の中では小学生にからかわれたり、ドジを踏んだり、故障したりするドラえもんだが、これがロボットであることを思い出すとすごい。感情もある。気配りもできる。機転もきく。本体のみの運動能力はいささか疑問だが、それを除けば機能は満載で、実現できたら便利で楽しいことは間違いない。

だが、ここでは大切な機能の一つ、ドラえもんを支える動力源に注目したい。原作によれば、ドラえもんは好物「ドラ焼き」を食べて原子力エネルギーを産出しているらしい。つまり原子力ロボットなのだ。

これについて、「空想科学読本」シリーズで知られる作家の柳田理科雄さんは、核融合反応を利用しているのではないかと推測している<sup>1)</sup>。ドラ焼きを構成している酸素や炭素、水素を核融合させる技術が22世紀には実現しているという見立てだ。

「ネコ型ロボット」なのにタヌキの置き物のように太っ

た体型なのも、ドラ焼きの食べ過ぎが原因ではなく原子力ロボットだから。内部に核融合炉があるとすれば放射線を閉じ込める遮蔽機構が要る。これに鉛を使っているとすれば、胴体部に入れられた鉛板の厚みである体型になるという。小学生の野比のび太といつも一緒にいるロボットだけに、安全対策にも抜かりはない。

原作者は、ただ、そんなことまで考えて原子力エネルギーを採用したのではないだろう。原子力の原理やドラえもんの詳しい仕組みにも、それほど関心があった訳ではないはずだ。むしろドラえもんを漫画として成立させるためには、エネルギー源として原子力の他には選択する余地がなかったのだと思う。

### 最大のエネルギー源

核分裂でも核融合でも、核反応の結果生み出されるエネルギーは実に大きい。その大きさは化学反応とは比較にならない。原子力発電を含めて核反応を活用するための技術は、むしろ強力過ぎるエネルギーをどう安全、有効に使いこなすかの知恵だと思っている。

ドラえもんは大量のエネルギーを使う。それも並大抵の量ではない。本体を長時間、安定して動かすためだけでなく、四次元ポケットから出す道具も尋常な量のエネルギーでは成り立たないものが多い。

例えば、時空を超えて人、物が移動できる「どこでもドア」は、原理的に可能かどうかを抜きにして、必要なエネルギーは計算するのばかばかしいほど大きい。

頭の上にちょこんと付けて空を飛ぶ「竹コプター」にしても、あの大きさ、回転数で空中を自由自在に飛ぶためには、反重力か何か、つまり重力場を部分的に変化させる技術を併用しているはずで、そうなるとうやほり膨大なエネルギーが要る。

核反応ではなく、例えば超高性能の充電装置を使っていたとしても、コンセントにつないだドラえもん、では物語として成り立たない。まるで今の携帯電話かノートパソコンみたいになる。機能は豊富で充電電池の性能はいいのだが、多用するとすぐ電池が切れる。いつ電池切れになるかと不安でしょうがない。

そもそも電気代で野比家は破産するだろう。ドラえもんとのび太はよく遠くへ、長旅をするということも忘れてはならない。時間を超えて恐竜時代へ、宇宙へ、海の底へ。電源コンセントがないところは多い。

### 仮面ライダーも原子力へ

原子力エネルギーを前面に打ち出したキャラクターとしては「鉄腕アトム」の方が圧倒的に早い。名前もそれを印象づける。これとドラえもん、どちらも世界と日本の原子力の構想期、黎明期、初期に登場したことが原子力を抵抗なく取り入れさせたのだろう。この2つほどはメジャーな存在にならなかったが、独特の雰囲気が記憶に残る1960年代後半の漫画「8マン」の主人公も動力源として使うのはウランだった。

しかし、1970年代の前半から米国発の反原発運動が日本国内でも広がり始めた。74年には原子力船「むつ」で初臨界の直後に放射線漏れ事故が発生し、各地で寄港を拒否された「むつ」が漂流する騒ぎも起きた。

そんな時代を反映したか、やや毛色を異にしているのが「変身もの」の元祖「仮面ライダー」だ。

71年にテレビ放映と漫画連載が始まったが、動力源は当初、風力だった。ベルトのちょうどバックルのあたりに赤い風車がついているのを覚えている人は多いはずだ。悪者役秘密結社ショッカーと闘うときは、この風車が回り出す。中学校で隣の席に仮面ライダーが熱烈に好きだという同級生女子がいたので、この風車のことはよく話題になった。だから長らく仮面ライダーは風力で動いているのだと思っていた。

3年ほど前、飲み屋で偶然隣り合った男性客がやはり仮面ライダーの熱烈なファンだった。その客が、仮面ライダーは原子力で動いていると言いだした。仮面ライダーの体内の構造が図解されている冊子も鞆から出して見せてくれた。確かに、男子の急所に当たる部分に原子炉が描いてある。どうしたことか。

そのときは、なるほどと驚いて終わりとなったが、インターネットで検索したら、もっともらしいエピソードが出てきた。仮面ライダーは当初は風力で駆動することにしてはいたが、さすがにエネルギーが足りない。そこで後に書籍などでは「原子力駆動」となったらしい<sup>2)</sup>。風力で原子炉を起動する？仕組みという。

ネット情報なので真偽は定かでない。機会があれば今後、調べてみたいが、何やら今の風力発電の現状を連想させるようなエピソードで興味深い。風車を日本中に建設すればエネルギー問題、地球温暖化問題は解決するかのよう語る人もいるが、力不足は言うまでもない。加えて建設可能な土地は頭打ちだ。騒音、野鳥の衝突、景

観の悪化などを心配した反対運動まで起きている。

ちなみに、仮面ライダーが乗っていたバイクも原子力エンジンで動く。

### どんどん遠くなる原子力

漫画界は今、原子力エネルギーには距離を置く。触れないということがまず選択肢だ。ある漫画キャラクターを原子力政策の広報活動にと依頼したところ原子力推進の色がつくので嫌だ、と断られたという話も聞いたことがある。漫画キャラクターも人気商売ではある。

ネットでは、原子力エネルギーで動く漫画キャラクターを批判する意見も見つかる。ドラえもんも例外ではない。ドラえもんはトイレに行く。何をトイレで出しているのか、放射性廃棄物ではないのか、と疑う。事故が起きたら周囲が汚染される、と心配する声もある。

これ漫画だけど……、と言いたくなる。

原子力の方も、漫画に取り込まれるような夢の技術とは言えなくなりつつあるような気がする。話題になるのは発電ばかり。しかも、その原子力発電所は地方にあるのでなんだか縁遠い。都会に住んでいる人にとっては原発って何だっけ？がほとんどだろう。テロ対策の強化もあって一般の人が原発を見学するのも最近難しい。原発で働いている人や研究者も近年は、やれ品質管理だの効率的な運転だのと求められるばかりで、独創性が生かせるような雰囲気ではなくなりつつある。

### 不可能への挑戦

原子力はもう一度、夢を盛り上げて欲しい。そのためには、もっと不可能に挑んでみることだと思う。専門家が夢を失う、ということは、人類が夢を失うということだ。発電だけでなく、核エネルギーを機械エネルギーに効率良く変換する技術ができればいい。そうすれば、ドラえもん、仮面ライダーも実現に近づく。

ばかばかしい？

釈迦に説法かもしれないが、原子力エネルギーも1930年ごろまでそれほど期待されていなかった。核エネルギーとして原子核が1個2個と壊れたり、融合したりするだけでは意味がないからだ。連鎖反応をうまく利用することに思いついたとき、飛躍した。

「一見したところばかげていないアイデアには、見込みがない」(アインシュタイン)とも言う。

(2009年 9月24日 記)

- 1) [http://japan.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=ubiquitous.htm&fp=/edge/Vol.18/child\\_folder/&title=Ubiquitous](http://japan.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=ubiquitous.htm&fp=/edge/Vol.18/child_folder/&title=Ubiquitous)
- 2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/仮面ライダー>



## 地方から見た原子力



角山 茂章(つのやま・しげあき)

会津大学理事長・学長

東京都築地生まれ。東京大学理学部物理学科卒。1967年日本原子力事業入社。1997年東芝技監。2002年会津大学教授。2003年同副学長。2006年より現職。

### 原子力ルネッサンス

原子力ルネッサンスという言葉が聞かれるようになってから10年近くになろうとしている。ブッシュ政権がスタートして地球温暖化対策の一環として、原発の推進を決定してから原子力発電所の再評価が進み、米国などの国々で凍結していた原発の建設を再開する動きが現れてきた。今年の3月にジョージア州アトランタの南にあるメイコン市のマーサー大学を訪れた。映画「風と共に去りぬ」で描かれた地帯で、南北戦争の猛火を免れて今も南部の貴族文化を豊かに残し、また近くには原子力にゆかりのあるサバンナ川がある。その学長は私が原子力の経験があるということがわかると、本題をそっちのけで「原子力をどう思うか」、「日本は何年でプラントを建設するのか」など、矢継ぎ早に聞いてきた。幹部教員とお会いしたときも、WHやCE、ノックスビルにいたなどと話しかけられ、賛否交々の意見に原子力の歴史と共に関心が高まっていることを感じた。

本来のルネッサンス運動は国や地方により異なった動きがあったように、現在、私がいる福島県でも原子力の過去の歴史を踏まえ、他とは異なった動きで進みつつある。2002年に県のエネルギー政策検討会が、国内電源の最大立地県として国の政策についての疑問点を「中間とりまとめ」としてまとめ、2005年には国の原子力政策大綱(案)に対しても県の意見をまとめた。他県がすでにプルサーマルを進め始めた中で、今年、エネルギー政策検討会を再開し、その後の状況変化を検証中である。

### コミュニケーション

私は会津大学に赴任してから原子力分野とは疎遠になってきたが、2006年に福島県で開催された原子力委員会主催の公聴会に要請されて参加した。その際、私から提起した課題の一つは、原子力発電所が持っている最大リスクは地震であるのに、JCO事故以来、国内に設置されたオフサイトセンターは通常の建物内にあるということだ。神戸地震の被害ではビルのOA床が全部はがされてしまったという報告があった。意見を述べた際、ある委員からオフサイトセンターの改造を将来もやらな

いとはっていないというような、原子力の世界に長年生きていた私でも少し違和感を覚える高い目線からの答えをいただいた。その2年後に新潟県で中越沖地震が起き、柏崎発電所は神様が狙い打ったような直撃で被害を受けた。柏崎のオフサイトセンターでは計算機類はアンカーで止められていたのと、地震が局所的な揺れであったので問題はなかったが、電力会社の指令を出す管理棟はその機能を失った。このことと、最近の民主党代表の目線の低さや、以前、電力OBの方から聞いた「一般の人たちは敏感に物事を感じ取っている」という感想などを合わせて考えると、原子力の専門家と一般の人とのコミュニケーションのあり方は改善する余地がまだまだ大きいのではないかと思われる。

話は少し飛ぶが、今年から日本では裁判員制度が始まった。この制度は、プロの裁判官だけの判断では低い確率ではあるが冤罪事件がありうるという過去の反省の上に、プロの裁判官と一般人との調和のとれた判断が社会の健全性の確保に必要なだと考え、始まったと素人ながら推測している。

現在の原子力の公聴会は、賛成派と反対派の不毛な対峙に終始するあまり、「御意見を聞く会」のように質疑応答は原則行わず、一方通行の意見を承るという仕組みが取られていると考える。だが、私のように地方に来て中央の意見を聴く立場になってみると、本当にそれしかないのか、もう一度現場からの素直な目線で健全な議論の仕組みを考えて見るべきではないかと思うようになった。

### 地域経済の振興

原発サイト地域への支援に話を移すが、現状を見ると支援する人もされる人も今の仕組みで良いのか疑問を感じていることと思う。今年の1月に東大原子力国際専攻・グローバルCOE主催の「科学技術と地域経済」というパネル討論にパネリストとして呼ばれた。福島県と新潟県的一般の方とともに、地域の気持ちができる技術者として加わるようにということで参加した。それまでは専門的なテーマが中心であったので、地域経済という視

点から地元の意見を聴いて見たいというのが企画の趣旨であった。

冒頭、柏崎を「陸の孤島」と表現した話が出てきた。日本では過疎地を「日本のチベット」と表現することもある。この8月に、四川省成都で会議があり西藏ホテルに滞在したが、その後、チベット人が住む世界遺産の九寨溝を訪問する機会を得た。棚田のような形状を石灰が作り、田んぼの部分に裏磐梯の五色沼の青や石灰の黄色の清水が満ちて、鮮やかな丘陵を構成している。その景観を見るために成都からなんと1日29便の飛行機で多数の観光客が訪れているとのこと。帰国してすぐに知事に報告をしたが、日本の地方空港の実態と比べると本当に羨ましい限りである。この地域は以前貧しい地域であったと聞いた。4,000 mに近い高度に作られた空港、観光ルートなどへの効果的な投資が九寨溝のチベット人を救ったとのことだ。原発のサイトがよくいわれる「陸の孤島」の議論とは条件も全く異なり比較にならない話ではあるが、投資効率という点から考えると確かに素晴らしい。

会津地域は水力発電所が作られて100年ほど経っている。原子力発電所ほど地元に影響があるわけではないが、それでも「最近、電力会社は冷たい」というような話を聞くことがある。ダムにより川幅が広がり不便さが増し、さらに高齢化が進んで共同体機能の維持が困難となる限界集落が増えてくると、ますます地域経済に影響が残る。国はいつまでも同じ名目を出しづらいため、例えば、日光と会津地域をつなげる観光ルートの開発などの名目で支援を行う。しかし、地元の希望に直結したものではないので、国と地元間のミスマッチは残ってしまう。

原子力発電所サイトを抱える地元とはもっとミスマッチが大きい。原子力の場合、電源三法交付金や固定資産税等で建設前後を中心に大変大きな資金が流れ、社会インフラ等が整備される。しかし、この交付金は自治体ごとに配布されるので、周辺地域全体で将来の発展のために使われることが少ない。そのため長期視点に立った地域の自立のための計画は立てづらく、建設から年月が経つとせつかくの投資が今度は維持費という負担で跳ね返り、かえって地元には不満の象徴になってしまうこともある。

したがって、地域全体で「選択と集中」ができる投資が可能で、かつ長期的な運営費用も捻出できる仕組みが必要と考える。スウェーデンの大学教授と議論した際、同国では地域にある発電所で作られた電気料金の一定割合はそのコミュニティーへ戻されると聞いた。日本でも電気料金からの徴収は同様だが、地元へ配布される度合いや、地元が使う用途などの自由度には違いがある。発電所を抱える地域の人たちにとっては、スウェーデン方式の方が発電所のメリットを直接肌で感じられ、透明度も高い。

この話を隣県の知事に伝えたところ、税法に通じている少数の政治家の方がリーダーシップを取って税制を決めており、変更は簡単ではないとの話であった。しかし国の情勢も大きく変わりつつあり、またどのような交付金も地域の長期的な繁栄に貢献しないとその価値はない。もう一度より透明性が高まるように制度を再考すべきと思う。

## 地震と親爺

「地震・雷・火事・親爺」というが、原子力では「地震・親爺」が大きナリスクとして残っていると思う。6月にシベリアの中心のノボシビルスクを訪問した。筑波学園都市を作る時に参考にした町だ。海から遠い地になぜか津波センターがあり、米国等と共同研究を行っている。世界の過去の地震と津波のデータが集積されており、予測機能を聞くと、ある地点で初期の津波の高さを仮定して、伝播の様子をすぐに示してくれた。しかし、問題はその初期値である。どこでどの程度の地震や津波が起こるかという予測は大変難しい。中越沖地震のすぐ後に防災が専門の大学トップの方と意見交換をしたが、海岸線は特異点的で、内陸側と海側の地層データを内挿して予測できるものではないという意見だった。

一方、親爺と表現するのは人が関わる過ち、すなわちヒューマンエラーである。従来、この分野の研究はスリーマイル島事故以来、運転員を対象に行われてきた。しかし、産業界全体に共通だが、近年、世代間の技術継承が課題になっている。また原子力産業界の再編成に伴う異なった企業カルチャーの組合せも課題で、技術者個人の資質や組織内の品質保証の仕組みが大切となる。同じ設計図面を基に機器を作ろうとしても、以前と同じ部品がある保証はないので、毎回新しく設計変更したと同等な機器が作られ交換されることになる。その時の品質には中堅、場合によっては上級技術者の知識が必要となるが、毎年のように作られるものではないので、技術継承の質が品質に関わってくる。

また、設計にはソフトが多数用いられるが、その中には様々な実験の知見が凝縮した形で組み込まれている。その本来意味するところを継承するのも困難を伴う。現場の多様なニーズに応えるために、柔軟な対応能力を培うように教育する必要がある。

会津大学は産業界の要請で、Legacy Migration といって、古いソフト資産を新しいソフト体系と融合させる研究を始めた。原子力も枯れた技術を使うことが多いが、それを新しい時代の要求と Migration することにより原子力システム全体の信頼性を確保していくということが今後の課題となると思う。学会員の皆さんの叡智を期待したい。  
(2009年 9月7日 記)



## 福井で原子力を学ぼう



来馬 克美(くるま・かつみ)

(財)若狭湾エネルギー研究センター  
専務理事

福井県生まれ。大阪大学工学部原子力工学科卒。1972年4月～2009年3月 福井県庁：原子力安全対策課長，総合政策部企画幹(エネルギー研究開発拠点)。2008年6月より現職。

### 「政権交代」がスタート

鳩山内閣の誕生で、「政権交代」という国政の転換が実現し、地球温暖化ガス削減の中期目標を2020年には1990年比で25%減少とする方針が早々に示された。また、ダムや新幹線などの公共事業の全面的な見直しが発表された。新政権は、国民の圧倒的な支持を得てマニフェストの実現を目指すことになる。

原子力立地県では、新政権の下で原子力政策はどう進むのか、とりわけ運転再開に向けて準備中の高速増殖原型炉「もんじゅ」の再開は認められるのか、あるいはダムや高速道路・新幹線などの公共事業はどこまで見直されるのかなどの懸念がでている。

### 新政権が原子力立地を加速

新政権誕生により、5年前に策定された原子力政策大綱や原子力立地計画が大きくぶれるようなことになる。立地地域は路頭に迷うことになる。原子力はこれまでも、石油代替エネルギーの切り札、電力自由化の障害物、低炭素社会実現の有力な一つなど、周囲の環境の変化につれ様々にいわれてきたが、日本ではこの50年間、着実に前進してきた。立地地域にとっての原子力発電は、計画から廃止までほぼ100年間続く重大な事業である。

立地地域は、国の原子力政策がぶれないことを大前提に協力してきた。新政権は地球温暖化防止を最重要課題としているので、原子力の安全確保と同様に、原子力の立地促進についても国民合意が得られるよう責任を持って取り組む必要がある。鳩山首相をはじめ関係大臣には理系出身が多いと聞くので、今後の原子力政策の推進について、首相と関係大臣が前面に立って、国民にわかりやすく説明することを強く期待する。

### 福井には原子力50年の歴史

福井県では、1957年に産学官のトップが集まる福井県原子力懇談会を設立してから原子力の歴史が始まった。1960年当時、懇談会副会長であった長谷川万吉福井大学学長は、京都大学を中心に計画中の研究炉を福井県に誘

致するよう提案した。最先端の原子力科学技術を地域の産業に活用し、太平洋側地域の経済発展に追いつき追い越そうとした福井県民の高い志を感じることができる。

具体的には福井市(旧川西町)などが名乗りをあげたが、この年の12月に研究炉は大阪府熊取町に決定された。この時の誘致運動の高まりが、その後の嶺南への15基の原子力発電所立地へとつながったわけである。

### 4回目を迎えた敦賀「原子力」夏の大学

福井大学は、日本原子力研究開発機構や当研究センターと協力して、4回目の敦賀「原子力」夏の大学を8月に開催した。県内、関西・中京・北陸圏および東京圏等の学生を対象に開催されており、英語討論会や座学、体験学習、現地研修、交流会などを通して、将来の原子力技術者の育成を目指すとともに、大学間の連携促進や人材ネットワークの構築を図ろうとするものである。国の原子力人材育成プログラム事業の一つであり、福井県が進めるエネルギー研究開発拠点化計画の原子力人材育成事業の一つでもある。

8月24日、福井大学の学生18名をはじめ県内外から計38名の学生が当研究センターに集まった。海外研究者等との「日本は原子力エネルギーを促進すべきか？」を題材にした英語討論会や「もんじゅ」に携わる技術者との「もんじゅ」や原子力全般についての討論会を実施するなど、28日までのプログラムは毎年様々に工夫され、今では有意義な教育研修事業として定着している。

### 将来の国際的な原子力技術者、研究者の育成

研修前後の原子力基礎知識テストの成績や英語討論会、論文審査などを通して優秀な学生を7名程度選抜し、この12月に約1週間、フランスのINSTN(サクレーセンター)に研修生として派遣する計画である。修了後の学生たちのアンケート調査の結果を一部紹介する。9割を超える学生が全体を総括して満足できる研修だったと回答した。夏の大学を通して、原子力に対する知識・知見の向上とともに、学生間のコミュニケーション作りによる大学間の原子力人材ネットワークの構築に貢献で



きたことが伺える。

原子力に対する基礎知識の向上度を測るため、研修前後で理解度をテストした。「原子と核分裂」、「核分裂エネルギー」、「臨界と原子炉の制御」、「ブルサーマル」、「軽水炉の安全」、「高速増殖炉の基礎」の6科目で質問したところ、研修前の平均点は29点、研修後は87点と大幅な改善が認められた。また、英語討論会は初めてディベート形式で行ったところ、国際社会に通用する技術者、研究者を目指す者にとって英語力の向上は不可欠であることを多くの学生に伝えることができた。

#### 学生の率直なコメント

「研修当初は原子力発電に否定的だったが研修を通して必要であると認識した」、「大学の専攻では勉強していない分野であったが大変有意義だった」、「研修を通して友人もたくさんできたので今後の人生に活かされる」、「自分がどの程度理解しているかわかった。他大学の学生と今後お互いを高め合いながらライバルとして付き合い合っていきたい」、「他大学から受けた刺激などにより、今後原子力を学ぼうという意欲が大いに湧いた」、「本当に高速増殖炉開発ができるかどうかなどの疑問を解消したいと参加した。座学やもんじゅ見学、『もんじゅ』での技術者との討論会などを通して大変勉強になった」、「多くの知識と友人ができ視野が広まった。彼らと一生の友人として付き合い合っていきたい」、「様々な体験ができて以前の自分より成長できた気がする」などなど、学生は研修を通して原子力を学ぶことへの意欲が高まったと思う。

#### エネルギー研究開発拠点化計画の実現

福井県は、2005年にエネルギー研究開発拠点化計画を策定し、国をはじめ大学、研究機関、電力事業者、産業界、地元自治体などが一体となって様々な事業に取り組んでいる。原子力発電は福井県の重要な産業であり、我が国のエネルギー供給に大きな貢献をしているが、単なる電力の「生産工場」に留まっている。様々な原子炉が多く集積している福井県の特徴を最大限に生かし、福井県を原子力を中心としたエネルギーの総合的な研究開発拠点地域とする必要がある。

実現目標は、①国際的な研究機関の集積、②アジアの原子力安全技術と人材育成への貢献、③地域産業への貢献であり、具体的には16項目の基本施策と6項目の重点施策がある。

基本施策の16項目は、安全・安心の確保、研究開発機能の強化、人材の育成・交流、産業の創出・育成の4分野に分かれる。敦賀「原子力」夏の大学は、人材の育成・

交流の中の県内大学における原子力・エネルギー教育体制の強化事業の一つの取組みである。

#### 福井大学の附属国際原子力工学研究所

重点施策の7項目は、高速増殖炉を中心とした国際的研究開発拠点の形成、原子力研修施設の整備、広域の連携大学拠点の形成、レーザー共同研究所の設置などである。

「もんじゅ」、「ふげん」等の研究施設と人材を活用し、特色ある原子力分野等の教育・研究機能を充実するため、福井大学を中核に関西・中部・北陸圏等の大学との広域の連携大学の拠点を敦賀市に形成する計画である。

福井大学は、本年4月に国や日本原子力研究開発機構、関係大学、地元自治体等の協力のもと、附属国際原子力工学研究所(所長：竹田敏一大阪大学名誉教授)を文京キャンパス(福井市)に設置した。研究所は、客員教授や特別研究員を含め38名でスタートし、2011年の学生募集開始や敦賀市駅西地区への移転などに向けて鋭意奮闘中である。

#### 国際的な原子力人材育成の拠点施設

日本原子力発電は、海外からの研修生も対象とした人材育成の拠点として、原子力安全研修施設を敦賀市に整備する計画である。現在、安全審査中の敦賀発電所3、4号機増設計画(2016年頃運開予定)に備え、社員の研修施設を整備することとしていたので、これを国内外の技術者、学生も研修できる施設とする計画を策定した。

計画では、国内最大級の施設設備(約7,500 m<sup>2</sup>)や世界最新鋭のプラントシミュレーターなどを活用した研修(年間7,100人日)、国際会議の開催などが可能となり、国際的な原子力人材育成の拠点が、2012年度に敦賀市杵見に整備される。

#### APEC エネルギー大臣会合の福井開催

APEC エネルギー大臣会合が、来年6月19～20日に福井市で開催されるので、県内の人材育成機能をコーディネートする新しい体制を整備し、国際的な原子力人材育成の拠点を形成したい。

APECに参加する21の国と地域の中には、中国、ベトナム、インドネシア、マレーシアなどで新たな原子力発電導入計画がある。本県が原子力発電の先進県として培った地域共生の実績などをアピールし、APEC参加の国・地域との連携協力をより一層前進させたい。

最後に、福井で学んだ若人が、将来の原子力平和利用と地球温暖化防止に大きく寄与することを願っている。

(2009年 9月20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。

## 民主党政権、原子力は「安全確保を前提に推進」

鳩山由紀夫氏を首班とする民主党政権が9月16日に発足し、経済産業相には直嶋正行氏、文部科学相には川端達夫氏、原子力委員会など科学技術政策を担当する内閣府特命担当相には菅直人氏、原子力安全分野を担当する防災担当相には前原誠司氏が就任した。菅氏は副総理と国家戦略担当、前原氏は国土交通相との兼務。

また経済産業省では副大臣に松下忠洋氏と増子輝彦氏、政務官には高橋千秋氏と近藤洋介氏が、文部科学省では副大臣に中川正春氏と鈴木寛氏、政務官には後藤斎氏と高井美穂氏が就任した。

一方、直嶋正行・経済産業大臣は9月17日、省内

で記者会見し、原子力については「安全確保を前提に、推進していく」と述べた。さらに原子力安全・保安院が経産省にあることについては「民主党内では、原子力政策を遂行するところと、安全性をチェックするところが同じ経産省中にあることによって、安全性のチェックがしっかり機能しないのではないかという意見はある。しかし、これをすぐ見直して何らかの形にするということを今考えているわけではない」と回答。また安全規制を担う機関については、国家行政組織法3条に基づく行政委員会にしていくべきではないかということ、民主党としては提言をしていると述べた。

## 浜岡4号機が運転開始、柏崎刈羽7号機は燃料交換のため運転停止

駿河湾で起きた地震の影響で運転を停止していた浜岡原子力発電所4号機について、原子力安全・保安院は9月15日、同機の健全性は確保されていると評価した。これをうけて中部電力は同日、同機の原子炉を起動し調整運転に入った。

一方、東京電力は9月26日、燃料に漏えいがあった柏崎刈羽原子力発電所7号機の運転を停止した。

漏えい燃料を特定する調査を行ったのち、漏えいがあった燃料と異物フィルタがない96体の燃料については、異物フィルタ付きのものに取り替える予定。また8月25日からプラント全体の機能試験を始めた6号機は、8月31日に発電を開始、9月28日までに、プラント全体の機能試験の評価結果について問題がないことを確認した。

## エネ庁の原子力支援事業が決定、5社の主要資機材開発を支援

経済産業省資源エネルギー庁は8月20日、今年度から「戦略的原子力技術利用高度化推進事業」として、6月に公募した結果、5社の主要原子力資機材の研究開発を採択した、と発表した。

採択された企業の支援事業は、日本製鋼所の「超大型鍛造部材製造技術開発」、岡野バルブの「主蒸気安全弁実用化開発」、荏原製作所の「非常用炉心冷却システム用ポンプ実用化開発」、IHIの「超大型蒸気発生器実用化開発」、神戸製鋼所の「大型鋼塊3次元

異型鍛造技術開発」の5件。

同事業は、国内外で原子力発電の利用拡大が期待される中で、主要資機材の研究開発などを支援し、我が国原子力産業の技術力の強化を図ることを目的にしており、その重要性は6月に取りまとめられた総合資源エネルギー調査会の原子力部会国際戦略検討小委員会の報告書にも盛り込まれた。

(資料提供：日本原子力産業協会)

## IAEA が美浜 3 号機の OSART 調査結果を公表，事故後の取組みを高く評価

関西電力は 8 月 25 日，IAEA の運転管理評価チーム(OSART)が今年 1～2 月に同社美浜 3 号機に対して行った調査の評価結果を発表した。04 年の 2 次系配管破損事故を踏まえて実施してきた多数のプログラム・活動が OSART より高く評価されたとしている。

OSART は，原子力安全の向上を目的とした IAEA の専門家レビュー活動の一つ。これまで 100 回を超すミッションが加盟国に派遣されており，調査による指摘事項のほぼすべてが事業者により適切に対応されてきている。日本では 88 年以來，4 回受け入れており，関西電力では高浜発電所で実績がある。

今回，美浜 3 号機で行われた運転管理状況の改善

を目的とした調査は，組織・管理・運営，訓練・資格，運転，保守，技術支援，運転経験の活用，放射線防護，化学，緊急時計画と対策の 9 分野について，現場の視察，書類調査，インタビュー等を通じて行われた。

OSART 評価結果報告書では，管理層，所員ともに，発電所の安全性と信頼性に尽力しているほか，知識も豊富で，プロ意識にも富んでいるとの良好な結論を示しており，事故後の活動についても，確立，実施，評価，改善が広範囲・高品質でなされているとしている。また，他の発電所への模範にもなる良好事例が 12 件あげられた。

(同)

## 日本原燃 再処理工場のしゅん工時期を 2010 年 10 月に変更

日本原燃は 8 月 31 日，青森県六ヶ所村の再処理工場のしゅん工時期を，これまでの「2009 年 8 月」から「2010 年 10 月」に変更する旨を発表した。

今回の工程見直しでは，安全を最優先にアクティブ試験(実際の使用済燃料を用いた試験)およびその再開に必要な復旧作業に，慎重かつ着実に取り組むことを基本として，(1)これまでのガラス固化施設の試験，固化セル内作業の実績を踏まえ，試験や復旧作業に付随するリスクを洗い出し，その対応策をあらかじめ講ずる，(2)今後の試験，操業に向けて，固化セル内の機器の点検を徹底的に行う(必要に応じて補修を実施)，(3)ガラス固化試験の安定運転に万全を期すため，実規模モックアップ試験施設を活用

し，データの収集，分析を実施する一こととした。

また，今後の作業内容として，(1)09 年 12 月までを目途に，固化セル内の機器の点検，レンガの回収，溶融炉からのガラス抜き出しを実施，(2)10 年 7 月までを目途に，溶融炉内の残留物の除去および円滑な試験に万全を期すための固化セル内の機器の点検を再実施し，10 年 7 月を目途にアクティブ試験再開を準備，(3)10 年 10 月までを目途に，不溶解残渣を含まない高レベル廃液から試験再開し，データを取得しつつ不溶解残渣を含む高レベル廃液のガラス固化試験を行い，しゅん工する一ことに取り組むこととした。

(資料提供・日本原燃)

## 超重力場を用いた同位体分離法の実現のカギとなるロータを世界で初めて開発

日本原子力研究開発機構の小野正雄研究員と丸和電機(株)の末吉正典研究員らからなる開発チームは，超重力場(地上の重力の数十万倍に相当する遠心加速度場)を利用して「固相」もしくは「液相」中の同位体を分離する方法の実現のカギとなる超遠心機ロ

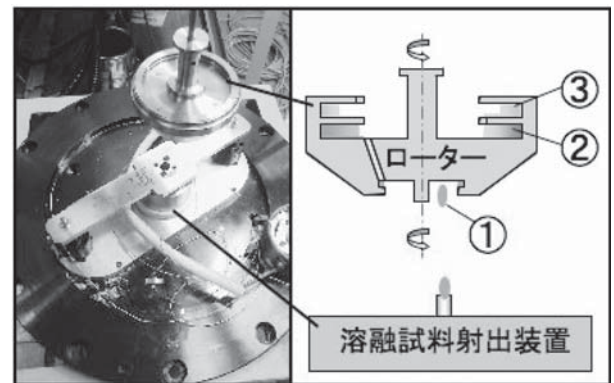
ータを世界で初めて開発した。この同位体分離法は，将来的には，病気診断や治療に用いられる放射性医薬品の製造に必要な同位体分離工程に利用できる可能性がある。

本開発の背景には，熊本大学の真下 茂教授らと

の共同研究で、超重力場下の固相や液相中で同位体の沈降現象が生じることを発見したことがある。この現象が僅かな質量差に起因するという原理を利用して、同位体分離が行える内部構造を有した超遠心機ロータの開発に丸和電機と共同して取り組み、成功に至った。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press/2009/p09082701/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構、丸和電機)



開発された同位体遠心分離ユニット  
①は処理する前の試料、②と③は分離された試料

## J-PARC 中性子実験装置で物質内原子運動の全体像を一挙にとらえる新規手法の実証実験に成功

原子力機構と高エネルギー加速器研究機構の共同運営組織である J-PARC センターの研究グループは、東北大学の協力を得て、物質内原子運動の詳細な全体像を一挙にとらえることができる新しい手法を開発した。物質に入射した中性子が散乱される際、散乱の前後で中性子のエネルギーが変化する非弾性中性子散乱と呼ばれる実験の際の測定効率を飛躍的に向上させる実験手法を開発したもので、J-PARC にある中性子実験装置「四季」を使った実証実験に成功した。この実験手法を用いれば、世界中の衛星写真を自由にズームイン・アウトするインターネット地図検索のように、物質内部におけるダイナミクスの詳細な全体像を一挙にとらえることができ、機能性材料の最適化設計といった応用面での研究開発にも大きく貢献することが期待される。

物質内部の原子と原子の間は様々なエネルギーで結び付いて微小な運動をしており、これらの原子運動が高温超伝導や巨大磁気抵抗などといった、物質が発現する特異な機能と深く関わっている。こうした物質固有の原子間の距離とエネルギーに関する情報は、非弾性中性子散乱実験と呼ばれる実験手法を通じて視覚化することができる。しかし、この手法は観測強度が非常に微弱で測定効率が低いという致命的な問題があった。

なおパルス中性子を使った非弾性中性子散乱実験

では、チョッパと呼ばれる回転装置を使って、試料に導く中性子ビームのエネルギー(入射エネルギー)を選択するが、従来の方法では、チョッパが複数の入射エネルギーを透過できないことや、大量のデータを処理することが困難だったため、一つの入射エネルギーしか測定に利用できない難点があった。このため研究グループでは、チョッパの構造に工夫を加え、J-PARC で開発された最新のデータ解析システムを活用することにより、1回の測定の中で複数の入射エネルギーを同時に利用できるようにした。また広い範囲を概観するような測定から狭い範囲を詳しく調べるような測定まで同時に行うことにも成功した。

今回実証した実験手法を用いれば、世界中の衛星写真を自由にズームイン・アウトするインターネット地図検索のように、物質内部におけるダイナミクスの全体像と詳細を一挙にとらえることができる。その結果、新現象の発見に至るプロセスは極めて迅速になり、機能性材料の最適化設計といった応用面での研究開発にも大きく貢献することが期待される。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press/2009/p09091001/index.html>)

(資料提供：J-PARC センター)

## ブロッコリー抽出物スルフォラファンに放射線の増感作用

放射線医学総合研究所重粒子医科学センター粒子線生物研究グループの岡安隆一リーダー、干冬研究員、茨城県立医療大学保健医療学部の窪田宣夫教授らの研究グループは、スルフォラファン(ガン予防に効果を示すことで有名なブロッコリースプラウトなどからの抽出物)に、放射線に対する増感作用があることを世界で初めて確認することに成功した。

イソチオシアネート類は、疫学研究等によりがん予防に期待されている食品成分で、そのうちブロッコリー等アブラナ科植物に含まれているスルフォラファンはガン予防で有名になったほか、ガン抑制作用やガン細胞でアポトーシスによる細胞死を起こすことが報告されていた。岡安リーダーによると、それならばガン治療と同様な標的を攻撃する可能性があり、放射線と併用すれば、併用効果が期待できるのではと考え実験を始めたという。

典型的なガン細胞(HeLa細胞)をスルフォラファンで前処理した後にX線照射をしたところ、スルフォラファンの処理がないものに比べて、細胞生存率が明らかに減少した。このことから、スルフォラファンが放射線効果増感して、ガン細胞が効率的に死滅したことを示すものだとしている。また放射線増感作用の原因では、DNA二重鎖切断の修復過程

に注目、その結果、スルフォラファンを添加した細胞は、切れたDNAの修復が遅く、残った損傷の多いことがわかった。さらにDNA二重鎖切断修復では、2種類の典型的な修復経路(相同組み換え、非同相末端結合)に、スルフォラファンが影響を与えていることも明らかになった。しかも、スルフォラファンとX線を併用した場合、細胞死(アポトーシス)の増加も有意に認められた。

岡安リーダーの話「今後は100種類以上あるといわれるイソチオシアネートのうち、よく知られている幾つかの化合物に注目し、細胞、動物実験を行うこと。また正常細胞、正常組織への影響も検討したい。その中で特に放射線増感効果が高いもの、正常細胞・組織への影響が少ないものについては分子メカニズムを解明し、放射線との併用療法の生物学的基礎を作りたい。さらに放医研が世界に誇る重粒子線照射とスルフォラファン、他のイソチオシアネートとの併用を図り、増感作用があることを研究したい。これまでの予備実験では、in vivo(移植腫瘍を用いた動物実験)で併用が有効であることが、一部スルフォラファンで確認されています」

(資料提供：科学新聞)

## パーキンソン病初期から認知症関与の神経障害

放射線医学総合研究所分子イメージング研究センターの菅野巖センター長、須原哲也グループリーダー、島田斉研究員、千葉大学医学研究院の桑原聡教授の研究グループは、パーキンソン病初期より認知症に関与する神経障害があることを、陽電子断層撮影(PET)装置を用いて明らかにすることに成功した。

同グループでは、パーキンソン病患者18名、認知症を伴うパーキンソン病ならびにレヴィ小体型認知症(鮮明な幻視を伴う認知症が出現し、発症後1年以上してからパーキンソン病に類似した身体症状が出現する病気)患者21名、健常者26名を対象に、11C-MP4Aを用いたPET検査を行い、脳内のコリンエステラーゼ活性を測定した。またMMSE(様々な認知症の症状評価でよく使われる指標)による認知

機能障害の評価を行った。その結果、パーキンソン病患者群では、健常者群と比較して約12%の脳コリンエステラーゼ活性の低下が認められ、特に後頭葉内側面において顕著であった。

また認知症を伴うパーキンソン病ならびにレヴィ小体型病群では、さらに広範囲で重度の低下(約23から27%)が認められたという。島田研究員によると、今回の研究成果から、パーキンソン病の方では病初期から認知機能障害に関わる脳内コリン神経系の障害があるため、治療薬を選択する際に認知機能への影響も十分注意して考える必要があることが明らかになったとしている。

島田研究員の話「今後は検査で将来認知症が出現してくる危険性を病初期から予測し、認知機能低下を助長する懸念がある薬の投与を見合わせたり、早

期から脳内コリン神経系の機能を助ける薬の投与を検討したりといった、テーラーメイド治療ができるように、検査をより簡便なものに発展させていきたいと思っています。また脳内の機能障害がどの時点から

出現しているかを調べることで、病気の発症メカニズムの解明につながるような研究を進めていきたいと思っています」。

(同)

## 原産協会が小中学校の理科教育に協力

原産協会は、原子力・放射線に対する理解活動の一環として、小中学校での理科教育への協力に力を入れ始めている。

◇東京都品川区の中学校理科担当教員を対象とした放射線実技研修を実施

平成20年の小・中学校学習指導要領改訂に伴い、中学校の理科教育において放射線が触れられることになった。このため当協会では、中学校での放射線教育協力活動支援の一環として、7月30日に東北放射線科学センターと科学技術振興財団の協力のもと、東京都品川区の中学校理科担当の教員を対象に、放射線実技研修を実施した。

当日は、放射線は身近に存在し、医療におけるエックス線検査や煙探知機、さらにタイヤ硬化や消臭スプレー、消臭機能を付加した布巾、架橋フィルムなどの製造に用いられていることの紹介後、①自然放射線の測定、②霧箱実習、③簡易放射線測定器「はかるくん」について特性実験セット——などの実技研修が実施され、また教材・資料・機材の入手に関して、各団体が発行しているパンフレット、DVD、講習会等を紹介した。

研修終了後に、先生方からは「理科教育では、安全性を強調するのではなく、科学としての本質を教えることが重要」、「子ども達は、実験や観察がないと興味を持たないので、霧箱、はかるくん、特性実験キットを取り入れてみたい」、「子どもたちには、

放射線の現象面を教えるに留まるだろう。なぜなら、現在、中学校では、「元素が変化しないと」と教えることになっているため、核崩壊や核融合等の理論を教えることは難しい」などのコメントが出された。

◇「全国中学校理科教育研究会・北海道大会」へブースを出展

原産協会は、8月に北海道札幌市で開催された「全国中学校理科教育研究会(全中理)北海道大会」にブースを初めて出展し、放射線や原子力に関連する情報、放射線分野の授業の進め方に関する情報等を提供した。

この大会は全国の理科教員を対象に、毎年夏休みに開かれている。今年は北海道札幌市にある札幌市教育文化会館にて、8月5日(水)～7日(金)の3日間にわたって開催。約510名が参加し、特別講演や学術講演、分科会などが開かれた。

原産協会ブースでは、放射線の基礎についてまとめたパンフレット・DVDの配布や、放射線を利用した技術の紹介、さらに放射線教育支援の窓口の紹介などを行い、原子力・放射線教育に関する資料や情報を提供した。ブースを訪れた先生方は説明や紹介に熱心に耳を傾け、質疑も活発に行われた。

来年度は京都で開催される予定で、原産協会も放射線教育への支援体制の拡充を図っていく。

(資料提供：日本原子力産業協会)

## 信州環境フェア2009に高レベル放射性廃棄物地層処分のパネルを出展

原産協会は8月22日と23日の両日、長野市ビッグハットで開催された「第9回信州環境フェア2009」に中部原子力懇談会(中原懇)との共催で、高レベル放射性廃棄物地層処分のパネルを出展した。

当協会と中原懇は、地方自治体等が開催する環境・

産業フェアに来場する一般市民に対し、エネルギーと環境、生活と産業に貢献する原子力・放射線を理解してもらい、未解決である高レベル放射性廃棄物の処分問題があることを知って、考えてもらう契機となることを狙いとして、コラボレートしたもの。

中原懇の実施したクイズ・ラリーには、ノベルティグッズの配布効果もあり、子供から大人まで両日で約1,700名の回答があった。

環境フェアの初日、開会式メインステージで挨拶した村井仁・長野県知事は、原産協会／中原懇のブースも訪れ(=写真)、日本原子力研究開発機構(JAEA)の協力で展示した地層処分の模型に関心を示し、高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体のレプリカを手にとって、出展者から処分後の埋め戻しについての説明を求めるなど熱心に耳を傾けていた。

今年で9回目となる信州環境フェアは、「STOP 温暖化! ~未来へつなげ地球の命~」をメインテー



マに掲げ、78の組織、団体、企業が出展して開催、2日間でおよそ1万6,500名の市民が訪れた。

(同)

## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

### [米国]

## DOE と USEC, 米国工場の建設で 融資保証の申請審査延期に合意

米エネルギー省(DOE)は8月4日、米国濃縮会社(USEC)が米国遠心分離プラント(ACP)の建設計画で申請していた連邦政府の融資保証について、同計画の財政的および技術的な課題がある程度解決するまで、申請の最終審査を延期することで両者が合意に達したと発表した。

USECは、2007年5月にオハイオ州パイクトンでACPの建設を開始。2012年までに年間3,800トンSWUの生産能力達成を目指しているが、諸経費高騰の折から、昨年9月に連邦政府の融資保証プログラムに適用を申請。核燃料サイクル事業に割り当てられた20億ドルの融資保証を政府に求めていた。

ところがDOEは7月27日、USECに対して融資保証申請を取り下げるとともに、一層長期的な研究に努力を傾注するよう要請。その際、見返りとして今後18か月間にわたって4,500万ドルの研究費を提案した。

USECのJ・ウェルチ社長は29日にB・オバマ大統領に書簡を送り、同大統領が今年の選挙期間中にオハイオ州知事に対して、同計画への融資保証の適用支援を約束していた点に言及。それ以降、USECは独自にACPに5億ドルを投資し、累積投資額は15

億ドルに達したが、これは融資保証枠の適用支援という約束が果たされるとの期待の下で行った。現在のようないくつかの不確実性の高い状況では、同社は建設プロジェクトの解散手続きと、2,000名近い契約雇用者のレイオフを開始せざるを得ないとし、28日付けでその手続きを開始したと警告するとともに、ACPへの融資保証適用を強く要請した。

同社はまた、ACPの技術はまだ準備段階だとするDOEの見解に疑問を表明。「DOEの遠心機による10年もの経験を元に、遠心機で23万5,000時間以上の延べ稼働時間を達成し、商業運転に移行できるだけのデータと専門的知見を蓄積した」と主張していた。

今回の合意内容として、DOEはACP計画特有の技術的な課題や追加的な財政措置計画が融資保証の規定要件を満たすまでUSECの申請審査を遅らせることとし、ACPの技術について特定された問題に関しては、独立の立場のエンジニアが有益な助言を提供するため、短期間のうちに報告書を完成させることとしている。両者はまた、USECの申請が融資保証の規定要件をすべてクリアするまでに少なくとも6か月かかるとの認識で一致したとしている。

## エクセロン社、NRG社の買収提案を撤回

米シカゴの大手電力会社であるエクセロン社は7月21日、同社が昨年10月からニュージャージー州のNRG社に働きかけていた買収提案を終結させると

発表した。

同日に NRG 社が開催した年次総会で、NRG 社側の取締役候補者 4 名全員が圧倒的多数で再選されたのに加え、「取締役会を拡大してエクセロン社の推す候補者 5 名を加える」との提案も株主達から却下されたためだと同社では説明している。

同社は昨年10月19日に、NRG 社の発行済み普通株のすべてをエクセロン社株 0.485 株と交換するとの買収提案を NRG 社に提示した。買収総額は 62 億ドルに相当したが、NRG 社側では「当社を甚だしく過小評価している」としてこれを拒否。エクセロン社はその後、株式交換提案の期限を数回にわたって延長したほか、NRG 社の株主から普通株の買い付けを進めて攻勢をかけたが、一方の NRG 社も、他社の電力小売事業購入計画を発表するなどして対抗していた。

NRG 社株主総会での決定を受けたエクセロン社は、「NRG 社の株主達は意見を表明した。当社は提示した買収額レベルを引き上げたくはない」とコメント。9 か月間に及んだ攻防を終結し、前に進んでいくとの見解を表明している。

## NRC, レーザー濃縮工場の認可審査へ

米原子力規制委員会(NRC)は8月17日、世界初の商業規模のレーザー法ウラン濃縮工場について、グローバル・レーザー・エンリッチメント(GLE)社が提出していた建設・運転許可申請を受理し、正式な審査に入ることになったと発表した。

GLE 社は GE 日立ニュークリア・エナジー社の子会社で、サイレックス法濃縮技術(六フッ化ウランを励起するレーザー分子法)による生産能力 3,500~6,000 トン SWU の商用濃縮工場建設をノースカロライナ州ウィルミントンで計画中。今年 1 月に、認可申請書の一部である環境影響報告書を、6 月には残りの部分である安全報告書を NRC に提出していた。7 月末に同濃縮技術の実証試験ループを起動しており、商業規模での実行可能性を確認する。

審査は、①案文がパブリックコメントに付される環境影響声明書の審査、②技術安全審査、の 2 段階に分けて行われる予定。付随する公聴会の実施も含めて、約 30 か月かかるとしている。

## [カナダ]

### BP 社、オンタリオ州の 2 地点で新規計画の申請取り下げ

カナダのブルース・パワー(BP)社は7月23日、オンタリオ州ブルース郡で計画していたブルース発電所増設計画、およびハルディナンド郡ナンティコックでの新規原子力発電所建設計画の認可申請を取り下げ、既存原子炉の改修工事に専念すると発表した。

BP 社は現在、ブルース A 発電所(CANDU 炉 2 基)と B 発電所(CANDU 炉 4 基)を操業しているが、これらのうち 5 基は 2015 年以降に大規模な改修もしくはリプレースが必要になるとの判断から、同サイト内に新たに 4 基・400 万 kW 分の新規原子炉建設を計画。昨年 9 月に提出した環境影響声明書(EIS)が原子力安全委員会(CNSC)の審査を受けていた。また、ナンティコック郡ではエリー湖産業パーク地区に 2 基・220~320 万 kW の新規原子炉を建設するため、昨年 10 月に CNSC にサイト準備認可を申請していた。

同社はすでに、両サイトに関する認可申請を取り下げるほか、環境評価も停止する意向であると CNSC およびカナダ環境評価庁に通達。計画中断の理由としては、オンタリオ州における電力需要の低下と最近の市場状況を挙げており、過去 5 年間に様々なオプションを検討した結果、630 万 kW の新規建設よりも既存原子炉の改修の方が最も経済的との事業判断を下すに至ったと説明している。

同社はまた、「どちらのサイトも、市場の状況さえ良好であれば原子炉の建設に非常に有望であることが確認できた」と述べるとともに、同社がアルバータ州およびサスカチュワン州で進めている原子力発電導入可能性調査にはまったく影響しないことを強調した。

## MAPLE 炉の復活は困難と AECL が見解

カナダ原子力公社(AECL)は7月30日に声明を発表し、昨年 5 月に開発計画を中止した MAPLE 炉について、「技術的および規制上重大な問題があり、



即座に修理して医療用アイソトープ(RI)の生産不足に対応することは難しい」との見解を表明した。

これは、7月8日にRI販売業者のMDS ノルディオン社が、「故障したNRU炉の復帰が遅れるのであればMAPLE炉を完成させて対応すべきだ」と意見表明したのに対する措置。AECLは、NRU炉を代替するRI生産専用炉として開発が始まったMAPLE炉計画を中止した理由として反応度出力係数(PCR)の問題を挙げている。

カナダ原子力安全委員会は同機が負のPCR値で稼働するよう、すなわち出力の上昇に伴い炉心反応度が減少するという設計に認可を与えたが、03年6月に同機起動を試みた際、試験データの分析はわずかに正のPCR値を示したという。

その後、昨年5月までの間に韓国や米国など複数の専門研究所を交えて広範囲な化学分析と試験を実施したにもかかわらず、この問題は解決できず、同機が正のPCR値を示す原因についても特定できなかったとAECLは説明。技術的なリスクのほかにも付属の処理施設を稼働させる必要性や規制当局による承認の問題などがあり、MAPLE炉計画の復活には少なくとも5～6年、徹底的な研究分析が必要との判断を示している。

### [フランス]

## GDF スエズ社、EPR 建設計画でシミュレータ発注

欧州第2位のエネルギー企業でフランス政府が株式の3割を保有するGDF スエズ社は8月18日、フランスのコリス-TESS社に欧州加圧水型炉(EPR)用のエンジニアリング・シミュレータを発注した。

GDF スエズ社は、昨年7月に仏ガス公社(GDF)とエネルギー環境事業大手のスエズ社が合併して成立した。子会社であるベルギーのエレクトラベル社を通じて同国の原子力発電プラント7基をすべて操業するなど、原子力事業の拡大を積極的に進めており、フランス政府が1月末に発表した国内2基目のEPR建設計画(セヌ＝マリティーム県のパンリー原子力発電所3号機)にも参加予定。首相府の5月の発表では、このパンリー3号機計画のプロジェクト企業についてフランス電力(EDF)が50%プラス1株を所有する一方、GDF スエズ社は33.33%プラス

1株を所有することが決まっている。

コリス社の発表によると、受注したシミュレータはベルギーのブリュッセルに設置予定で、民生用原子炉の安全および運転に関する専門家チームのためのEPRエンジニアリング・運転資料センターとして活用される。先進的な原子炉設計と安全解析用のツールとなることから、EPRとその運転モードに特化した分析に役立つとしている。

コリス社はこのほか、EPR原子力システムの運転すべてを詳細に文書化したものや、通常の運転モードから軽微な事象、事故時までを想定した数々の運転シナリオ、運転員のための一連の訓練コースを供給する予定で、EPR原子力システム全体のフル・スケールなシミュレーションが可能になる。

また、同シミュレータによってGDF スエズ社は、EPR専用のエンジニアリング・チームを育成するとともに、運転モードと安全解析の理解を深めることができるとコリス社は強調。さらには、それらのエンジニア達が将来のEPRを設計するのにも活用できるとしている。

### [チェコ]

## チェコ電力、テメリン原子力発電所に2基増設で公開入札開始

チェコ電力(CEZ)は8月3日、テメリン原子力発電所に原子力ユニットを2基増設するための公開入札を開始した。情報サーバ上でチェコ国内の公開入札者リストを公表したほか、欧州全土のウェブサイト上でも同様の発表を掲載する予定になっている。

CEZはまた、今回の入札でテメリンの2基用の要求項目とは別に、欧州域内の他国で最大3基の原子炉を建設するオプションについての要求項目を含めている。同社はかねてより、中・東欧など国外電力市場への進出にも積極的で、今年5月にはスロバキアのポフニチェ原子力発電所における新規原子炉増設計画で同国のヤピス社と合併企業の設立契約を締結済みだ。

チェコでは現在、ドコバニ原子力発電所で4基、テメリン発電所で2基の原子炉が稼働中。CEZ社経営陣は、分析チームの2年間にわたる総合解析の結果に基づき、元々4基の原子炉建設が計画されて

いたテメリン発電所を完成すべきという結論に至ったもの。同発電所では新たな原子炉2基と冷却塔の建設に十分な敷地、既存のインフラが利用できる点を指摘した。

同発電所完成手続きの準備として、CEZ社はすでに昨年7月、2基増設に伴う環境への影響評価の実施を環境省に申請。公開入札はこれに続くステップだが、手続き全体の完了には7～8年(原子力発電所の建設期間を含め約15年)かかると見込んでいる。

採用する炉型および出力は入札結果により決定するが、CEZ社としては耐用年数の長さや確かな安全と信頼性、操作性などの面を重視。第3世代が同プラスの軽水炉となるべきだとしている。

#### [ポーランド]

### 原子力開発ロードマップ、2020年の初号機運開目指す

ポーランドの閣僚会議は8月11日、同国における原子力発電開発ロードマップを承認し、2020年末から21年初頭にも同国初の原子力発電所の運転開始を目指す方針を明らかにした。

ポーランドは80年代に原子力発電所の建設を開始していたが、チェルノブイリ事故を契機に1990年、「原子力発電所を2010年まで導入しない」ことを決定。建設中だったザルノビエツ発電所は解体されている。

しかし、近隣のバルト三国と同様、同国は石油・ガスなどロシアへのエネルギー依存を少しでも軽減することを切望しており、2006年にバルト三国の原子力発電所共同建設計画に関心を表明した。その後、出資比率と完成後の電力配分で参加国間の調整が行き詰まり、ポーランド政府は今年1月、同国で独自に原子力発電所を建設するための作業開始計画を公表。国家のエネルギー供給保証を確保し、経済開発を促進するために原子力発電を導入すること、2020年までに少なくとも1サイトでの運転開始を含め、開発基数や規模、立地候補地などに関する案文を政府の全権委員が作成し閣議に提出すること、国営のポーランド・エネルギー・グループ SA (PGE) が同計画の策定と実施に協力し、発電所の建設に関する責任を負うことなどを決定した。

これに続き、政府は3月に経済省内に原子力計画専門の局を設置、5月には経済省が1月の政府決定を反映させて「2030年までのエネルギー政策」の最終案文を作成した。また、首相が経済省のH・トロヤノウスカ次官を同国の原子力発電計画に関する全権委員に任命するなど、着々と準備を進めている。

#### [ロシア]

### 海上浮揚型原発の原子炉組立て

ロシアの民需原子力部門を統括するアトムエネルギーゴプロム所属のニジニー・ノブゴロド機械建設実験設計局(OKBM)は8月6日、世界初の海上浮揚型原子力発電所(FNPP)に搭載する2基目の原子炉の組立て点検と技術的な再検査を傘下のアフリカントフOKBMが完了したと発表した。

FNPPは船用原子炉KLT-40S(出力3.5万kW)を2基搭載するバージ型(タグボートで曳航・係留)原発で、「アカデミック・ロモノソフ」と名付けられている。1基目の原子炉は今年初頭、組立てが完了し、サンクトペテルブルクでFNPP全体の組立て作業を受け持つバルチック造船所(BZ)に送られた。

今回組み立てられた2基目の原子炉の製造および検査については、①OKBM(設計・製造および技術検査)、②原発構成機器製造会社のイジョルスキー・ザボディ社(圧力容器の製造)、③ニジニー・ノブゴロド機械エンジニアリング工場(NMZ)(部品製造と原子炉組立て)——の3者が共同で実施。実際の作業と合格判定検査はNMZで行われ、原子力規制当局であるロシア連邦環境・技術・原子力監督庁およびロシア船級協会などで構成される合格判定委員会、同炉が基準要項を満たしていることを確認した。

OKBMは完成した圧力容器をすでに5日付けでBZに向けて出荷したほか、炉内構造物についても8月中旬を目処に出荷する。BZでは今後、2011年中に最初のFNPP建設を完了し、翌12年の第4四半期には極東カムチャツカ地方のピリュチンスクに配置・運転を開始する計画だ。

[トルコ]

## ロシアとトルコが原子力協力協定を締結

またロスアトム社は8月6日、トルコと原子力関係の商業契約を交わす際に、必須条件となる二国間の原子力平和利用協力協定をトルコ原子力庁と締結したと発表した。これにより、トルコ初の原子力発電所建設計画について、近々にもトルコ政府とロシアの企業連合が契約を結ぶのではないかとの公算が高まってきた。

トルコ初の原子炉建設計画に関する国際入札では、唯一応札していたロシアのアトムストロイエクスポルト社率いる企業連合が、2012年までに4基・480万kWの原子炉建設を提案した。同計画への投資を促進するため、トルコ政府は完成した原子炉からの電力購入を15年間保証する予定だが、価格の折り合いが付かず、同企業連合は入札書の内容を改訂。しかし、それでもトルコ側は高価格だとし、長期にわたって同入札書の審査を続けていた。

今回、両国間で結ばれたのは、原子力の平和利用に関する協定と、原子力事故情報の早期通知および原子力施設の情報交換に関する協定の2種類。前者

は、両国間の原子力協力について法的な基盤を保障するのが目的で、協力項目は以下のとおり。①平和利用分野の原子力研究開発、②商業炉および研究炉のエンジニアリング、建設、起動、操業、改修、試験、メンテナンス、廃止措置、③核燃料サイクル・サービスと核物質の供給、特に商業炉と研究炉の燃料集合体と機器、④ウラン資源の探査と採掘、⑤商業炉用および研究炉用機器の開発・生産、⑥原子力および放射線の安全・規制活動、⑦先進的な原子炉と核燃料サイクル技術の開発、⑧原子力と放射線の安全、廃棄物の処理、環境防護、緊急時対応、⑨核物質や放射線源、施設の防護、および核物質の記録管理、⑩放射性同位体の生産と利用——など。最初の有効期間は10年間で、以後5年ごとに自動継続される。

後者の協定は期間が無期限。原子力事故の発生に際し放射性物質の国境を越えた動きについて両国が連絡し合い、原子力施設に関する情報交換手続きを規制する。

ロシアの企業連合の提案によると、4基のうち最初の1基は2016年に運転を開始。続く3基もその1年後から毎年1基ずつ、順次操業を開始する計画だ。

## 我が国の最先端原子力研究開発

## シリーズ解説 第14回

## 材料と水で軽水炉を護る

## SCC 研究と水化学研究

(財)電力中央研究所 渡辺 恵司, 藤原 和俊, 河村 浩孝

軽水炉の炉内構成材料の応力腐食割れ(SCC)対策を合理的に行うには、SCCメカニズムを理解し、それに基づきSCC発生・進展を予測し、運転管理に反映させる必要がある。一方、軽水炉の線量管理を合理的に行うには、炉水中の放射性腐食生成物(クラッド)の発生・移行・付着・溶解過程を明らかにし、水化学技術によりクラッドを低減する必要がある。このため、電力中央研究所では、炉内構成材料のSCCメカニズム解明とSCC進展予測・評価方法の開発研究、ならびに水処理の高度化による材料健全性確保および放射線被ばく低減対策の確立を目的とした研究開発を進めている。本稿では、電力中央研究所が保有する高温高压水ループ設備群の概要を紹介するとともに、これら大型設備を用いたSCCおよび水化学研究の概要を紹介する。

## I. はじめに

我が国では現在、30基の沸騰水型軽水炉(以下BWR)と23基の加圧水型軽水炉(以下PWR)が稼動し、総発電量の約30%に当たる電力を供給している。エネルギーセキュリティの確保と低炭素社会の確立が望まれる中、既設の軽水炉発電設備をより長期にわたり高稼働率を維持しながら利用するための経年炉対策が求められている。このような情勢の下、電力中央研究所(以下、電中研)では経年炉対策研究を重要課題と位置づけ、信頼性を保ちつつプラントを長期間利用するために、応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking: SCC)に関する研究や水化学による運用管理法の改善等の研究、いわゆる“材料と水で軽水炉を護る”ための研究開発を進めている。

電中研のSCCに関する研究では、炉内構成材料のSCCについて、き裂進展特性の解明と進展予測・評価方法の開発研究を進めている。

*Studies on SCC and Water Chemistry* : Keiji WATANABE, Kazutoshi FUJIWARA, Hirota KAWAMURA.

(2009年 9月25日 受理)

<sup>a)</sup> ステンレス鋼の溶接等の加熱による金属結晶粒界への耐食性劣化部分(クロム(Cr)炭化物)の析出現象。これによりステンレス鋼結晶粒界近傍にCr欠乏領域が発生しステンレス鋼の耐食性低下をもたらす。

一方、水化学に関する研究では、水処理の高度化による材料健全性確保、腐食損傷の防止、放射線被ばく低減対策の確立を目的とした種々の研究開発を行っている。

本稿では、電中研におけるSCC研究および水化学研究に活用している高温高压水ループ試験設備および関連技術とそれらの適用例を紹介する。

## II. 電中研のSCC研究設備

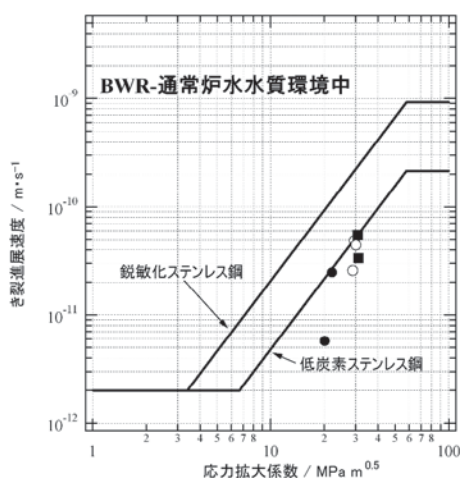
## 1. 軽水炉構成材料のSCCの発生事例と対策

SCCは腐食性環境中で材料に応力が作用した場合に割れが生じる軽水炉の長期安定運転の実現に対して考慮すべき重要な環境脆化現象の一つである。原子炉压力容器内における腐食性環境は1次冷却水の高温高压水環境となるが、この1次冷却水の水質環境はBWRとPWRで異なる。SCCによる損傷発生例はBWRで多く報告されており、特に原子炉再循環系配管(Primary Loop Recirculation system, 以下PLR配管)や炉心シュラウドにて多く報告されている<sup>1)</sup>。1970年代には米国、日本でも調査が実施され、主に結晶粒界で割れる粒界型応力腐食割れ(Intergranular Stress Corrosion Cracking: IGSCC)であることおよびそれらの特徴から、1970-80年代に運転開始したBWRプラントで発生したステンレス鋼のSCCは、溶接による鋭敏化<sup>a)</sup>(材料因子)、引張残留

応力(応力因子)、溶存酸素(環境因子)の3つの因子の重量により生じたことが明らかとなっている<sup>1)</sup>。

このような状況を受けて、国内では鋭敏化を防ぐ目的で低炭素ステンレス鋼が開発され使用されるようになった。しかし、1990年代後半から低炭素ステンレス鋼製のBWR炉心シュラウドやPLR配管においてもSCCが認められるようになった。さらに、BWRにおいてシュラウドサポートや制御棒駆動機構等でもニッケル(Ni)基溶接金属組織に起因する樹枝粒界型SCC(Inter-dendrite SCC:IDSCC)が発生している。一方、PWRにおいても上蓋制御棒駆動管台や蒸気発生器のNi基溶接金属で検出されたIDSCCや蒸気発生器のステンレス鋼にてIGSCCが発生している<sup>2)</sup>。

SCCの発生事例の報告が増加してきた時期である2003年10月に電気事業法が改正され、これによりSCCに対する対応が大きく様変わりした。改正前のSCCの対応は、まずSCC抑制策を実施し、その後、供用中の機器に割れが検出された場合には、その機器の健全性に関係なく可及的速やかに補修もしくは取替を実施することになっていた。電気事業法改正によりSCC進展速度線図を取り入れた日本機械学会維持規格(以下JSME維持規格)の活用を柱とする軽水炉機器対象の健全性評価制度が導入され、軽水炉機器の健全性に影響を与えない範囲内での欠陥許容運転がBWR炉心シュラウド等に対して認められるようになった。JSME維持規格におけるSCC進展速度評価は溶接残留応力分布から得られるき裂先端の応力拡大係数( $K$ 値<sup>b)</sup>)分布および材料と環境の組合せに応じて設定されているSCC進展速度と $K$ 値との関係を表すSCC進展速度線図を用いて行う<sup>3)</sup>。第1図に炉心シュラウドなどで用いられる低炭素ステンレス鋼のSCC進展速度線図を示す。現時点でのSCC進展速度線図は、ほぼすべて第1図に示されているように、これま



第1図 BWR—通常炉水水質環境中におけるSCC進展評価線図

<sup>b)</sup> き裂を含む部材に負荷が加わった場合に、き裂先端の力学的環境を示す破壊力学パラメータ。

でのSCC進展速度データを基に作成されている。一方、現行のJSME維持規格では、SCC損傷が認められたすべての材料および環境条件でのSCC進展評価線図が整備されているわけではない。このようなSCC進展速度線図の整備が不十分な材料および環境に関しては、原子力安全基盤機構のプロジェクト<sup>4)</sup>で取得されたSCC進展速度データをもとに、JSMEで新しいSCC進展評価線図が現在検討されている。しかしながら、実機の損傷事例調査やJSME維持規格による評価結果と実測値の比較等から、現行の評価が実機の挙動を十分に反映していない可能性も指摘されており<sup>5)</sup>、評価精度の向上や評価手法の高度化が求められている。このためには、SCCメカニズムの解明とより正確なSCC進展速度評価が必要である。

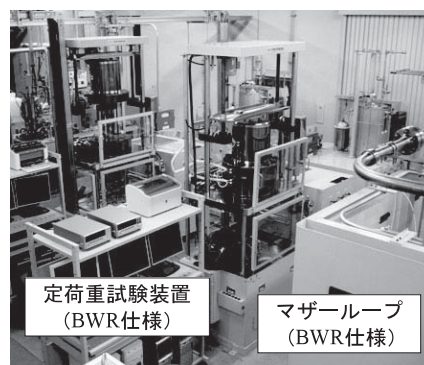
## 2. 電中研におけるSCC研究と評価試験設備「SAFETY」

電中研では、先進的なSCC試験設備として、原子炉水中構造材料健全性環境影響評価試験設備(SAFETY: SCC Advanced testing Facility for Environment of high Temperature water in Yokosuka, 以下SAFETY)を導入し、JSME維持規格の高精度化・高度化に資するSCC進展特性基礎データの拡充およびSCC進展特性解明に関する研究を実施している。

SAFETYの全体像を第2図に示す。SAFETYはSCC関連設備と水化学関連設備から構成されているが、本節ではSCC関連設備について説明する。SCC関連設備としては、以下の装置から構成されている。

- (1) 高温高压水を供給する「マザーループ(BWR水質仕様)」, 「サブーループ(PWR1次系水質仕様)」
- (2) SCC進展試験を行う「定荷重試験装置(BWR仕様/PWR1次系仕様)」
- (3) 長期のSCC特性取得用の「超長期SCC試験装置(BWR水質仕様)」

SCC関連設備には3つの大きな特徴がある。1点目の特徴は、SCC進展試験用試験片である切欠付与試験片(コンパクトテンション(Compact Tension)試験片, 以下CT試験片)を用いたSCC進展試験にて試験槽内部



第2図 原子炉水中構造材料健全性環境影響評価試験設備(SAFETY)—SCC関連設備の概観

に高温高圧水中での試験片荷重測定が可能な内部ロードセル(高温高圧水中荷重検出器)と電位差によるリアルタイム SCC 進展測定システムが使用可能であることである。これらにより, 高温高圧水での高精度 SCC 進展速度評価が可能である。

2点目の特徴は, 軽水炉実機冷却水模擬環境下での評価が可能であることである。実機の BWR 冷却水は, 炉内構成材料との比接触面積が小さいことから冷却水中の電気伝導度は $0.1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以下の非常に純度の高い水質環境である。しかしながら, 従来の SCC 進展実験では試験装置内の高温高圧ループ内の金属と試験水との比接触面積が大きく, 極微量の金属イオン溶出により試験水の電気伝導度が増大し, BWR 水質の模擬が困難であった。このため, BWR 仕様の定荷重試験装置の高温高圧ループから試験槽までの試験水が接触する金属配管, 配管接続部および試験槽内壁には, 高温高圧水中でも耐食性の高いチタンを使用している。これにより, 実機 BWR 冷却水質環境に近い低伝導率の試験水で SCC 進展試験が可能となっている<sup>5)</sup>。

3点目の特徴は, 同一試験条件での複数データの効率的取得が可能であることである。SCC は試験材料や水質・荷重条件などの試験条件を統一して実施しても, その結果に大きなばらつきが生じることがある。マザーループおよびサブグループには大量の高温高圧試験水の作製および各試験装置への同時供給機能がある。これは複数の試験装置で同一の水質条件の試験を可能にするものである。前述の BWR 水質仕様の定荷重試験装置 1 台の試験槽には0.5インチ厚さの CT 試験片を最大 6 個搭載可能であるが, BWRマザーループからの試験水供給により, 最大24個同時に同一水質条件での試験が可能となる。

以上, SAFETY-SCC 関連設備の特徴を記したが, この設備を用いて現在実施している研究を次節で紹介する。

### 3. SAFETY による SCC 研究事例—ステンレス鋼溶接境界における SCC 進展挙動評価

低炭素ステンレス鋼製 PLR 配管の SCC 損傷事例の調査結果から, SCC は溶接部近傍の配管内面の機械加工層から発生し, 溶接熱収縮により硬化した部分(溶接熱影響部, Heat Affected Zone: HAZ)を溶接金属に向かって進展し, 一部の SCC は溶接金属内に伝播したことが判明している<sup>6)</sup>。さらに多くの場合, き裂先端が溶融線近傍に位置しており, き裂が溶融線近傍で停滞している可能性が示唆された<sup>5)</sup>。しかしながら, 溶融線近傍での SCC 挙動について実験的に調査した例は少ない<sup>6)</sup>。また, 現行の JSME 維持規格の SCC 進展評価に溶接境界での SCC 停留挙動は含まれていない。溶接境界での

<sup>5)</sup>PWR 1 次系水質仕様の定荷重試験装置およびサブグループの高温高圧水流通箇所材質は低炭素ステンレス鋼である。

<sup>6)</sup>金属融液を凝固させた際に典型的に観察される組織。

SCC 進展挙動を解明し, 現行評価との整合性を検討することは, より科学的合理性の高い JSME 維持規格の構築において不可欠である。

第 3 図は, GTAW(Gas Tungsten Arc Weld)溶接試験体から荷重線に垂直な試験片中立線と溶融境界線との角度( $\theta$ )が $30^\circ$ になるように切り出した試験片による SCC 進展試験後の溶融線境界近傍の断面の光学顕微鏡写真である。溶融境界から $200 \mu\text{m}$ 程度離れた予き裂先端から発生した IGSCC が 2 次き裂の分岐を伴いながら進展する一方で, 主き裂は溶融境界の手前で方向を変え, 溶融境界に沿う方向に進展していることがわかる<sup>7)</sup>。SCC 進展挙動に及ぼす $\theta$ および溶接方法の影響についても併せて実施し, 以下のような結果が得られた<sup>7)</sup>。

- (1) 溶融境界に達したき裂の約80%は溶接金属内への進展量が $50 \mu\text{m}$ 未満であり, き裂の進展が溶融境界近傍で減速している可能性が高い。
- (2) IGSCC が進展した HAZ 部のオーステナイト粒界が溶接金属のデンドライト(樹枝状結晶<sup>8)</sup>)粒界と溶融境界でほぼ一直線につながっている場合で, かつデンドライト粒界と荷重負荷方向が垂直の場合に溶接金属内に SCC が進展しやすい。

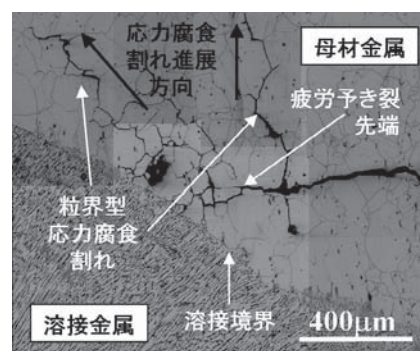
現在, SCC 進展試験を継続実施するとともに, 溶接境界の金属組織や硬さ分布等の詳細な調査を実施中である。

## III. 電中研の水化学研究設備

### 1. 水化学研究の必要性

軽水炉における水化学管理では, プラントの構成材料の腐食防止と作業員の被ばく線量低減を主な目的としているが, 本稿では, 後者について述べる。

軽水炉の 1 次冷却系統内には, 系統の構成材料から溶出した Fe や Ni 成分を主成分とする腐食生成物が存在する。これらは, 燃料被覆管表面に付着し放射化され, 放射性腐食生成物(以下クラッド)となり, このとき生成するコバルトの放射性同位体(<sup>60</sup>Co や<sup>58</sup>Co)が主要な線源となる。このため, Co 材の排除・削減といった材料面からの改善に加え, 水化学面からの改善も図られてきた。具体的には, PWR の通常運転時の高 pH 運転や炉



第 3 図 溶接境界近傍における SCC き裂の様相

水中への亜鉛(Zn)注入が実施されてきた。前者は、冷却水中のpHを増加させ構造材料の腐食を抑制し放射化されて線源となる成分を低減する技術で、後者は構造材料表面に形成された酸化皮膜からのCoの吐き出し抑制および皮膜内へのCoの取込み抑制を図る技術である。

一方BWRでは、ニッケル/鉄(Ni/Fe)比コントロールおよび極低鉄運転が実施されてきた。前者は、Feを主成分とする不溶性クラッドの発生低減策として冷却水中のNiとFeの比を0.2以下に維持し、Co等の放射性イオンを燃料被覆管表面の酸化皮膜内に固定化する技術である。後者は、冷却水中のFe濃度を0.1ppb以下とし、燃料被覆管表面への酸化物の付着量を低減させる運転法である。また、Zn注入も一部のプラントで採用されている。

プラントの起動・停止操作時においては、操作法の改善等により配管や機器表面からのクラッド等の腐食生成物の溶出量を抑え、被覆管表面への付着低減対策が図られてきた。上述のように、種々の被ばく低減対策が実施されてきたことにより、我が国の放射線作業従事者の平均集団線量は欧米諸国に比較して良好な結果を得てきた。しかしながら、近年、諸外国と比較して線量率は低いにもかかわらず、我が国のプラントでは運転期間が短く定期検査の頻度も多いことから、平均集団線量は高く推移している<sup>8)</sup>。放射線作業従事者の個人被ばく線量については、法規制値を十分に満足しているが、今後、長期サイクル運転、出力向上運転等の新たな運転法の導入が計画されており、さらなる被ばく低減が要求される。このためには、クラッドの発生、燃料表面への移行・付着挙動を把握した上で、水化学面からの対策を講じる必要がある。

## 2. PWR クラッド燃料付着挙動評価研究

被覆管表面へのクラッドの過剰付着は、米国や欧州の一部のPWRで確認されている燃料棒軸方向出力異常(Axial Offset Anomalies: AOA)にも影響を及ぼすことが知られている。AOAは、クラッドと1次冷却水中のホウ素が燃料の軸方向に不均一に付着・析出し、炉心の軸方向の線出力分布(偏差)に異常を生じる事象である。AOAの発生には、被覆管表面のサブクール沸騰<sup>9)</sup>、燃料被覆管表面での十分な厚みのクラッド層の形成およびクラッド層内へのホウ素の取込みと蓄積の3条件が関与しているとされている<sup>8)</sup>。AOAが発生すると、軸方向のピーク出力を維持するためには、炉心全体の出力を下げる必要が生じ、プラントや燃料の運用効率に支障をきたす可能性も考えられる。

現在、国内PWRではAOAの発生は確認されてい

<sup>9)</sup>PWRの炉心部で見られる沸騰現象の一つ。燃料表面に気泡が出現した直後に温度の低い炉水により沸騰気泡が消失するが、再度、気泡が出現・消失を繰り返す現象のこと。

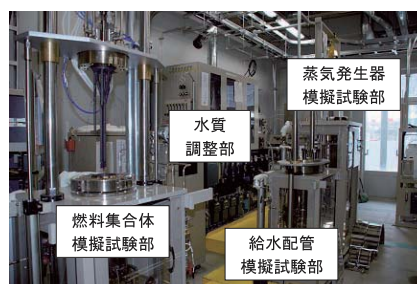
いが、これはサブクール沸騰が生じるような高負荷条件で運用されていないことや、厚いクラッド層の形成や、クラッド内へのホウ素の蓄積が顕在化するような環境下で運転されていないことが関係していると考えられる。

我が国においては、燃料高度化(高燃焼度、MOX)、軽水炉利用高度化(出力向上、長サイクル運転)、水化学の高度化(高経年化対応、被ばく低減)が計画されている。1次冷却材水質を変更する場合や、炉出力向上によりサブクール沸騰が生じる場合、またこれらが複合的に生じる場合には、燃料被覆管表面へのクラッド付着が促進されAOAに至る可能性も懸念される。このため電中研では、被覆管表面へのクラッド付着挙動を解明するとともに、これら挙動に及ぼす水質・沸騰因子の明確化を行い、水化学面からのクラッド付着対策を検討している。そこで、「ミニPWR」をコンセプトに、照射条件を除いた下記の3点を模擬できる高温高压水ループを設置し、クラッド付着に及ぼす水質および沸騰因子を検討してきた。ループの外観を第4図に、構成図を第5図に示す。本設備のもうひとつの特徴として、蛍光X線分析機器を高温高压水ループに直結することにより、クラッド量・化学形態等のデータをオンラインで取得できる点が挙げられる。

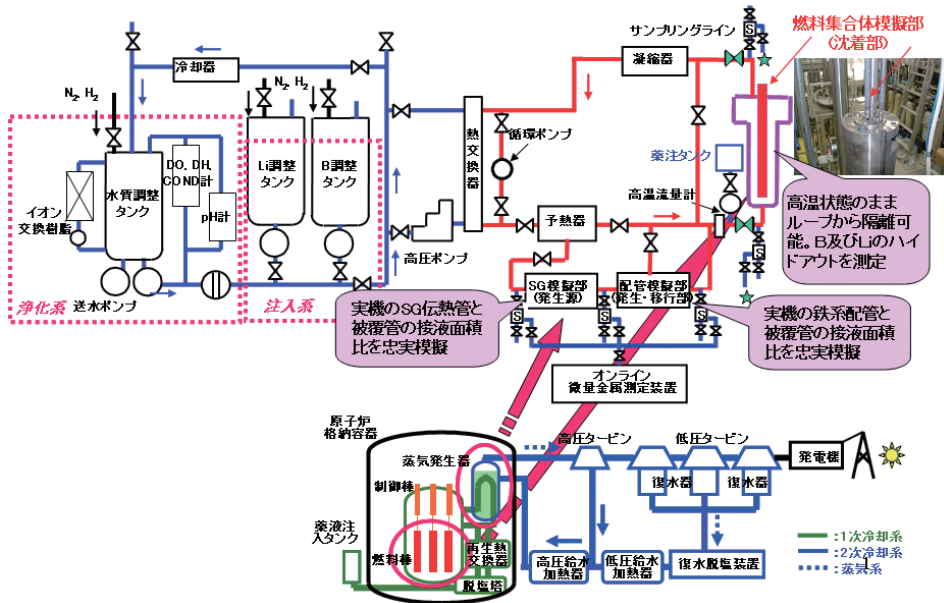
- (1) PWR炉心の沸騰状態を忠実に模擬できる。(表面沸騰率:  $3 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ , 最大流速:  $4 \text{ m/s}$ )
- (2) PWR1次冷却系システムの水質を模擬できる。(最高使用温度:  $360^\circ\text{C}$ , 最高使用圧力:  $22 \text{ MPa}$ )
- (3) PWR1次冷却系システム材料の材質と面積比を合わせることで系統内のクラッド発生・移行・沈着を模擬する。

本試験設備を用い、これまでに以下を明らかにしてきた。

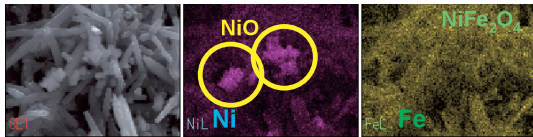
- (1) クラッド付着が顕著であった国外プラントと同一の形態および化学組成のクラッド層の付着を実験室内で再現できる<sup>9)</sup>。すなわち、第6図に示すように、被覆管に付着したクラッド層は、粒状のニッケルフェライト( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ )と酸化ニッケル( $\text{NiO}$ )とで構成される酸化物であり、通常運転サイクルの初期状態を模擬した環境下では針状のNiOも観察される<sup>10)</sup>。
- (2) 第7図に示すように、クラッド付着面密度、すなわち付着量は、水溶液中の平均Ni濃度の増加とと



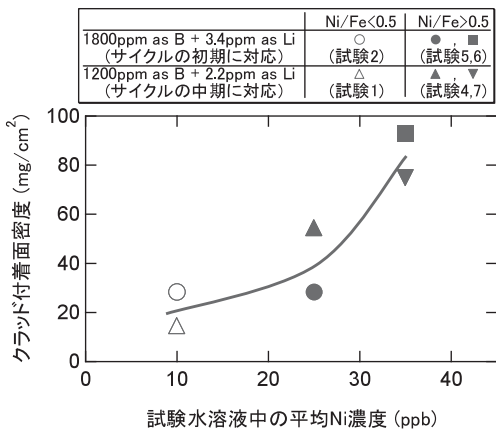
第4図 PWR クラッド挙動評価試験設備の概観



第5図 PWR クラッド挙動評価試験設備の概要と実機との対応



第6図 付着クラッドの表面SEM像および化学組成分布<sup>10)</sup>



第7図 クラッド付着面密度に及ぼす試験水溶液中の Ni 濃度の影響<sup>10)</sup>

もに増加する<sup>10)</sup>。

- (3) 上記の水質条件下では、ジルカロイ-4被覆管中に取り込まれる水素量は微量で被覆管の耐食性低下を示唆するレベルではない<sup>10)</sup>。

### 3. プラント停止時における水化学の高度化に向けた研究

前述のように、作業員の被ばく線量を低減するために、系統構成材の腐食を抑制することが、水化学管理の大きな目的のひとつとなっている。

作業員の放射線被ばくの原因としては、原子炉内で放射化されたクラッドが原子炉内および炉外の冷却水系統

に付着・蓄積することにある。したがって、冷却水系統の腐食を抑制し、炉内へ腐食生成物の持込量を低減することが、水化学管理の大きな目的のひとつとなる。しかしながら、構造材料の腐食を完全に抑制することはできないため、冷却系統に持ち込まれた腐食生成物を除去するための対策も採られている。

PWRでは、溶存水素および放射性希ガスの除去、配管等からのクラッド溶解促進のためのプラント停止操作および水質管理が行われている。停止操作法の改善

によっては、さらなる被ばく低減への貢献が期待されるが、停止時のクラッドの溶解挙動については、十分に理解されていない。このため電中研では、停止時におけるクラッドの溶解挙動を評価し、被ばく低減に有効な酸化運転手法を検討している。

クラッド量の低減対策の一環として、特にPWRでは、プラント停止時における水化学管理の最適化が期待されている。PWRプラントの1次系では、温度とともにpHや給水中の水素・酸素濃度等の水質条件が変動する。この際、一時的に原子炉内および1次冷却水系統の構造材料表面に腐食生成物とともに取り込まれた放射性の金属元素(放射性核種)が冷却水中に放出されることが知られている。現状では、短時間に放射性核種の溶出を促進し浄化系によりこれを除去するための操作が行われている。

電中研では、停止時条件における腐食生成物から放射性核種の溶出機構を明らかとし、被ばく低減に向けた最適な水処理方法確立を目的とした研究を行っている。本研究では、原子力発電所における起動時および停止時など、種々の水質変動条件を模擬可能な非定常時腐食挙動評価試験装置(第8図)を用い、通常運転を模擬した条件で材料表面に模擬酸化皮膜を形成するとともに、その後、種々の停止時条件にて材料表面からの金属成分の溶出挙動を評価することが可能である。

## IV. 今後の展望

### 1. SCC研究の展開

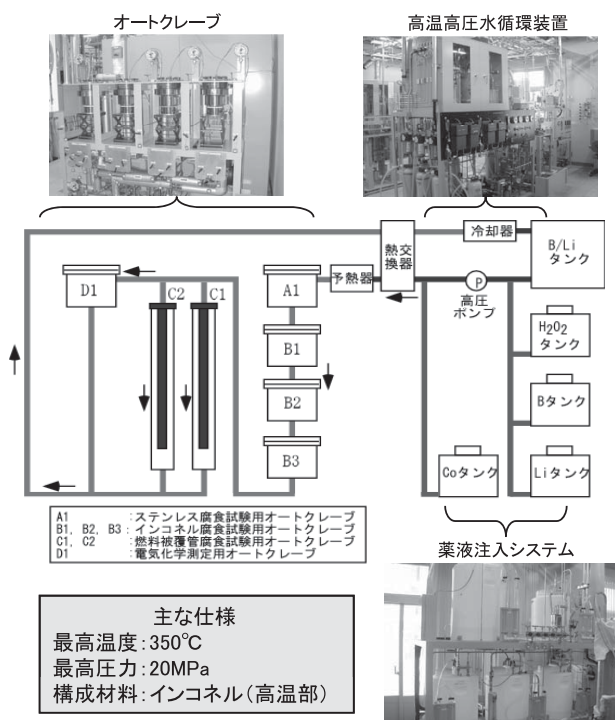
前述のとおり軽水炉発電は、我が国の基幹電力として定着していると同時に、長期的には地球規模の環境変動抑制および低炭素社会の実現という観点からもその重要



性が認識されている。一方で、国内で稼働中の軽水炉55基のうち、2010年までに稼働開始後30年を経過する軽水炉が20基にも達する。このような高経年化軽水炉を今後有効に維持活用することは、安全性や今後の電力安定供給のみならず、維持コストの経済性の面からも重要である。昭和50年代より培ってきた当所の SCC に関する研究基盤を生かしつつ、SAFETY などの先進的設備にて得られた研究成果を学術成果として発信するだけでなく、JSME 維持規格等の規格への反映、その高精度化・高度化に関する技術的根拠としての活用に供することにより、軽水炉の長期・安定運転の支援に貢献していく。

## 2. 水化学研究の展開

前述のとおり、我が国の軽水炉発電では、今後、長期サイクル運転、出力向上運転等の新たな運転法の導入が計画されており、さらなる被ばく低減が要求される。このため、PWR 1 次系のクラッド発生、移行、沈着挙動および停止時の溶出挙動の解明、ならびにこれら挙動に及ぼす水質・沸騰因子の明確化を行い、クラッドの発生、燃料表面への移行・付着挙動を把握した上で、水化学面からの対策の立案に資する計画である。



第 8 図 非定常時腐食挙動評価試験設備の概要

### — 参考資料 —

- 1) J. P. Higgins, *Nuclear News*, 11, 37 (1968).
- 2) 科学技術庁原子力安全局, 原子力安全委員会月報, 137 (1990).
- 3) 鈴木俊一, 熊谷克彦, 岡村祐一, 福田俊彦, 山下裕宣,

山下理道, 保全学, 3[2], 59(2004).

- 4) 例えば, 平成18年度原子力用ステンレス鋼耐応力腐食割れ実証に関する報告書, 07基材報-0008, 原子力安全基盤機構, 平成19年11月.
- 5) Y. Okamura, A. Sakashita, T. Fukuda, H. Yamashita, T. Futami, *Proc. 17th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology*, Paper WG 01-1, (2003).
- 6) 例えば, H. Abe, Y. Watanabe, T. Miyazaki, *JSCE Materials and Environments 2008/ACF 2008*, A-205, JSCE, Omiya, 2008.
- 7) 新井 拓, 加古謙司, 渡辺恵司, 宮原勇一: 電中研研究報告, Q 08020, (2008).
- 8) J. Blok, S. Chauffriat, P. Fratinni, "Modeling the Axial Offset in PWRs", *Proc. Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactors System*, (Chimie 2002), April 22-26, Avignon, France, Paper No.69, (2002).
- 9) H. Kawamura, M. Furuya, "Corrosion Product Deposition Behavior on Heated Zircaloy-4 Surface in Simulated PWR Primary Water", *Proc. 13th Int. Conf. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors*, Whistler, Canada, Aug. 21, 2007, (2007).
- 10) H. Kawamura, M. Furuya, "Effect of Ni/Fe ratio and Ni Concentration on Crud Deposition Behavior on Heated Zircaloy-4 Surface in Simulated PWR Primary Water", *Proc. 14th Int. Conf. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors*, Virginia Beach, USA, Aug. 27, 2009, (2009).

## 著者紹介

渡辺恵司(わたなべ・けいじ)



電力中央研究所  
(専門分野/関心分野)軽水炉構造材料の SCC・水化学, 応用電気化学, 材料表面処理工学

藤原和俊(ふじわら・かずとし)



電力中央研究所  
(専門分野/関心分野)軽水炉の水化学, 電気化学, 腐食科学

河村浩孝(かわむら・ひろたか)



電力中央研究所  
(専門分野/関心分野)軽水炉の水化学, 電気化学, 炉内構成材料の SCC

# 世界の原子力事故に即時対応可能な大気拡散予測 緊急時環境線量情報予測システム(世界版)WSPEEDI-II

日本原子力研究開発機構 茅野 政道, 寺田 宏明

エネルギー需要の増大や地球温暖化問題を背景に、中国やインドでの原子力発電所の建設、米国での原子力利用の再評価など、世界的に原子力施設の増加が予想されている。万一、チェルノブイリ事故のような大規模な事故が発生した場合には、被災国における環境汚染のみならず、放射性物質が国境を越えて他国に飛来する可能性がある。そのような緊急事態に備え、計算シミュレーションにより、放射性物質の大気拡散や放出地点を迅速に推定し、欧米との情報交換も可能な緊急時環境線量情報予測システム世界版“WSPEEDI”の第2版(WSPEEDI-II)が完成した。本稿では、このWSPEEDI-IIについて紹介する。

## I. システム開発の背景

アジアを中心として、世界的に原子力エネルギーへの依存度は高まっており、国外の原子力施設での事故により、放射性物質が国境を越えて飛来する潜在的可能性に備える必要がある。わが国では、国外の原子力事故で日本への影響が懸念される場合、関係省庁で構成する「放射能対策連絡会議」が、必要に応じてモニタリング強化等の所要の対応について検討するが、その際、放射性物質の大気拡散予測は重要な参考情報となる。

国内の原子力施設の緊急時に対しては、緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI(System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)が日本原子力研究所(現在、日本原子力研究開発機構)により開発され、現在は文部科学省により運用されている。同機構では、チェルノブイリ事故を契機に、さらに世界の原子力事故に即時対応できるように世界版 SPEEDI(WSPEEDI: Worldwide version of SPEEDI)の開発と検証を行ってきた。WSPEEDIの第1版(WSPEEDI-I)<sup>1)</sup>は1997年に開発を終了したが、その後のWSPEEDI-Iの使用経験に基づき改良を重ねた結果、2008年に飛躍的に機能を向上した第2版(WSPEEDI-II)<sup>2)</sup>が完成した。

## II. 世界版 SPEEDI 第2版(WSPEEDI-II)

### 1. 概要と特徴

第1図にWSPEEDI-IIの全体構成を示す。WSPEEDI-IIは、以下の機能を有し、実用に供する段階となった。

*Real-time Prediction of Atmospheric Dispersion of Radionuclides for Nuclear Accident in the World:*  
Masamichi CHINO, Hiroaki TERADA.

(2009年 8月19日 受理)

### (1) 大気拡散予測機能

世界中の任意の地点からの放射性物質の大気放出について、局地域から最大で半地球規模の範囲内での大気拡散・地表沈着・被ばく線量計算を行うことができる。

### (2) 放出源推定機能<sup>3)</sup>

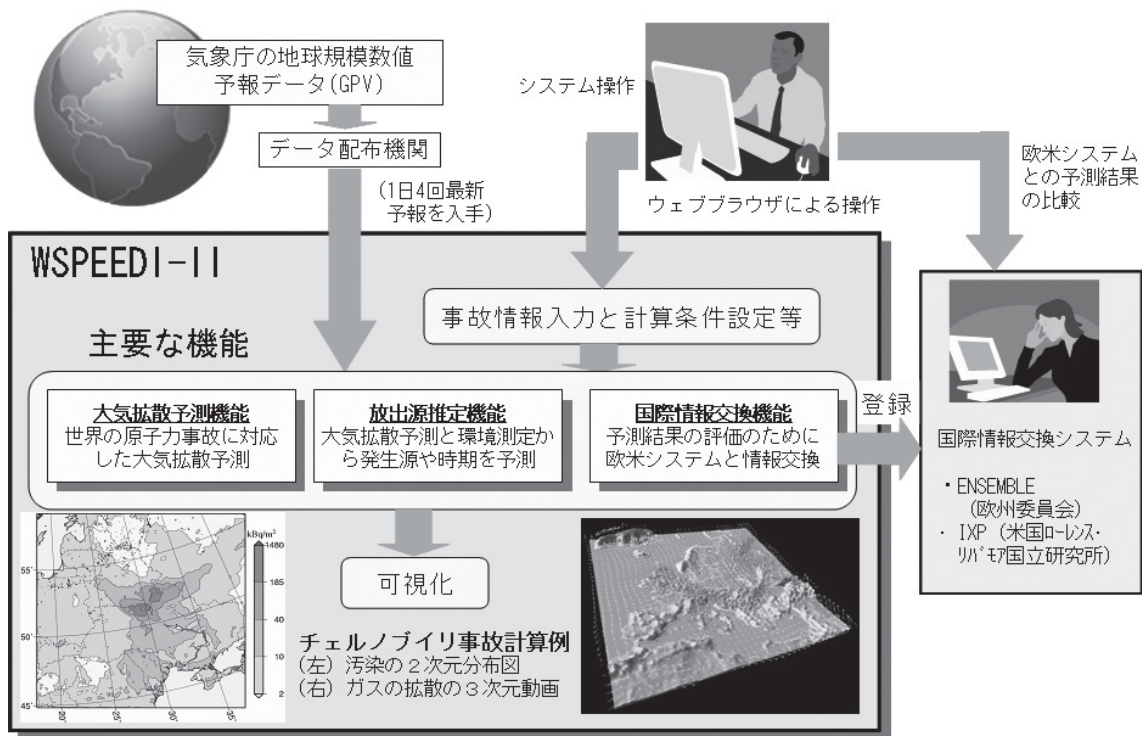
事故情報が不十分な場合、発生源や放出量を、計算シミュレーションと環境モニタリングにより推定することを可能とした。具体的には、想定される発生源、放出開始時刻等について考えられる候補を立て、それぞれを組み合わせた多数の事故条件に基づく大気拡散計算を行う。さらに、環境モニタリングポストの線量上昇と最も類似する事故条件を選び放出条件としている。

### (3) 国際情報交換機能

WSPEEDI-IIの予測結果は、米国ローレンス・リバモア国立研究所が開発した国際情報交換システム IXP(International Exchange Program)、欧州委員会の環境・持続可能性研究所(JRC-IES)のENSEMBLEに登録でき、Webブラウザ上で欧米の同種システムの予測結果との比較検討や、関係国に情報提供を行うことができる。

緊急時対応の汚染予測システムには、高い予測精度と迅速性の両立、ニーズへの的確な対応など、総合的な技術力が求められる。WSPEEDI-IIで新規に開発された上記の機能は、環境科学分野で用いられるトップレベルの拡散予測技術と最先端のIT技術の融合や、これまでの緊急時対応経験に基づき、これらの要求を高いレベルで満たしている。具体的には以下のとおりである。

- (1) 高い予測精度を確保するため、WSPEEDI-IIでは気象予報にも利用される米国の大気力学モデルを導入して、適切な分解能で局地域から広域までの風速場、乱流場、降水・雲量分布の予測を可能にして



第1図 WSPEEDI-IIの全体構成

いる。WSPEEDI-Iと比較して、乱流場と降水分布を予測できることは広域拡散予測では特に重要である。これに対応してWSPEEDI-Iで開発した大気拡散・線量予測モデルに改良を加えたことで、より高い性能で放射性物質の移流・拡散・沈着を予測できる。また、ネスティングという計算手法の採用により、局地域から広域まで適切な分解能で計算できるようになり、WSPEEDI-Iではできなかった事故当事国内の汚染予測も可能にしている。さらに、大気拡散予測や放出源推定の性能について、チェルノブイリ事故データや欧州広域拡散実験などで精力的に検証して、実用システムとして信頼性を高めている。

- (2) 迅速性の確保では、詳細計算モデルの開発・導入による計算負荷の増大に対しても、並列計算プログラミングにより迅速な対応を可能にしておき、3日先までの大気拡散予測を最短45分で終了する。特に、世界に先駆けて開発した放出源推定機能では、可能性のあるすべての放出条件の計算を迅速に行うために、並列計算機の能力を最大限に活用している。これにより事故情報が不十分な緊急時初期の対応を可能にしている。システム開発においても、迅速性の確保のための技術開発を行っている。オンライン気象データ収集機能や豊富なデータベースの整備、Webベースの操作画面の採用により任意の場所からの初動を可能にするなど、実用面で迅速性を高める技術が多数ある。

- (3) ニーズへの的確な対応では、WSPEEDI-Iの開発・利用に基づき、以下の点が改善されている。

- i) 隣国の原子力発電所と数100 kmしか離れてない九州北部への影響評価の詳細化や在留邦人や旅行者の安全確保まで視野に入れた局地域計算が可能。
- ii) 国外原子力事故で、事故情報よりも先に、風下側の環境モニタリングポストの線量上昇から異常が確認される場合を想定して、発生源や放出量の推定が可能。
- iii) 予測計算結果の信頼性を確認できる欧米システムとの情報交換で予測結果の信頼性評価が可能。
- iv) 気流、降水などの気象場分布、対策策定に必要な大気中濃度分布、地表沈着量分布および被ばく線量分布などを、最新のグラフィックス機能で提供。

## 2. 大気拡散予測性能の評価<sup>4-6)</sup>

チェルノブイリ事故以降、国際的なモデル比較研究として、国際原子力機関(IAEA)、世界気象機関(WMO)、欧州委員会(EC)の共催によりATMES(Atmospheric Transport Model Evaluation Study)およびその後継プロジェクトのETEX(European Tracer Experiment)が実施されている。ATMESではチェルノブイリ事故時の欧州での放射性物質の大気拡散再現計算による、世界の長距離大気拡散モデルの性能評価を行った。また、1994

年に行われた ETEX では、フランス西部レンヌから人工トレーサガスを12時間放出し、欧州約2,000 km 四方内の168地点で濃度測定を実施した。これと並行して、参加機関による長距離大気拡散モデルを用いたリアルタイム濃度予測と比較が行われている。WSPEEDI-Iの大気拡散モデルの精度検証は、それらプロジェクトに参加して行っており、その予測精度は、参加機関の中でも上位であることが示されている。同様のデータでWSPEEDI-IIの性能を再評価した結果、WSPEEDI-Iを上回る予測性能を示したことから、その予測性能は世界でもトップレベルであると考えている。

第2図に、WSPEEDI-IIが予測した、チェルノブイリ事故時の欧州(左図)及び発電所周辺1,700 km 四方(右図)での $^{137}\text{Cs}$ の地表面への沈着量を示す。当時、チェルノブイリ周辺では蝶型の分布が測定されたが、ATMESでは、これを再現できたシステムはなかった。WSPEEDI-IIは、降雨による沈着の予測性能が向上したことで、右図のように、この分布の再現に初めて成功している。

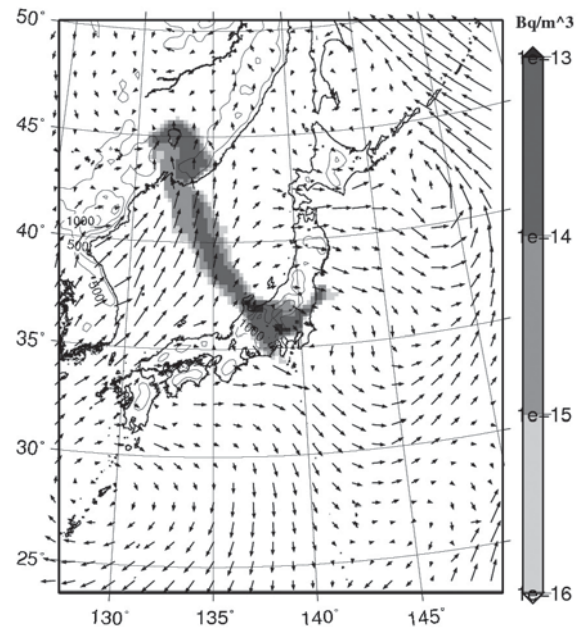
### Ⅲ. 国内外への貢献

地下核実験では、放射性物質は地下に閉じ込められるが、わずかに岩盤の亀裂等から大気に漏洩する場合がある。そのため、日本原子力研究開発機構では、2009年5月25日の北朝鮮の地下核実験に対応して、放射性物質が大気中に放出されたと仮定した大気拡散予測計算を実施した。大気放出の有無や形態は不明なため、一定の計算条件を仮定し、最新の気象情報を入手するごとに、予測結果を更新した。その結果は、高空や地上での放射性物質の環境モニタリングのための参考情報として、文部科

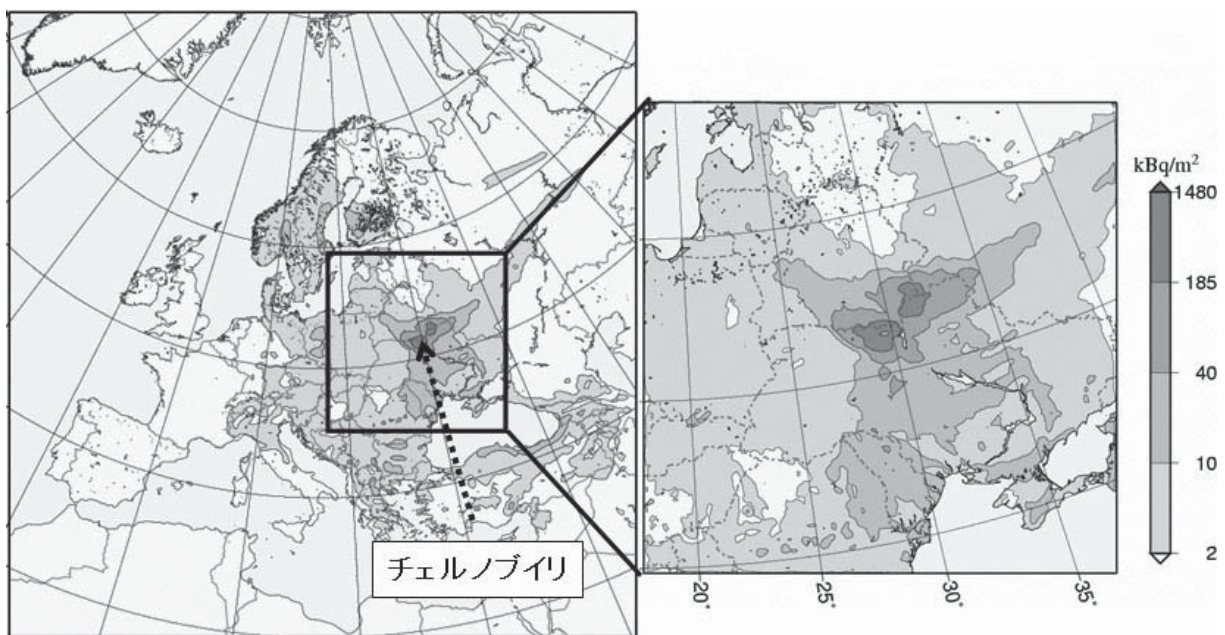
学省から関係省庁や関係地方公共団体に提供された。また、6月5日まで毎日、最新の予測結果が文部科学省ホームページ上で公開された(第3図)。

国外では、WMOはIAEAからの依頼があった場合、広域大気拡散予測を行うが、WMOは流跡線解析や、はじめから事故条件を仮定した拡散解析による参考情報の提供を目的としている。一方、欧米では、チェルノブイ

Xe-133 concentration 2009-06-01\_12h



第3図 北朝鮮核実験において、放射性物質の漏洩時間を5月30日0時から24時間と仮定した場合の6月1日21時の地上濃度分布の予測結果



第2図 WSPEEDI-IIによるチェルノブイリ事故時の地表面への $^{137}\text{Cs}$ 沈着量分布の予測結果(世界標準時1986年5月10日00時) 欧州全域(左図)とチェルノブイリを中心に1,700 km 四方(右図)<sup>8)</sup>

り事故以降、原子力緊急時の広域大気拡散予測システムの開発が行われている。現在、世界の任意地点での事故に対して、放射性物質の大気拡散・地表沈着・被ばく線量を即時予測可能なシステムは、WSPEEDI 以外では、米国エネルギー省の NARAC、ロシア気象庁の RECAST、デンマーク RISO 国立研究所の ARGOS がある。そのため、WSPEEDI-II は、国際情報交換システム IXP を通じて、IAEA の原子力緊急時訓練に合せた日米露の緊急時対応システム間の相互比較試験等を行っている。これにより国際的なニーズにも協力して対応できるようさらに実用性を向上するとともに、IAEA や事故当事国に予測情報を提供する仕組みも整えている。

非原子力分野では、農業・食品産業技術総合研究機構の要請により、WSPEEDI-II をベースとして、イネの重要害虫であるウンカの発生源と海外から日本への飛来をリアルタイムで予測するシステムを共同開発した。日本への飛来について、現在、同機構のホームページで予測情報を公開している。この研究成果は、農林水産技術会議事務局選定2004年「10大研究成果」に選定され、英国の総合学術雑誌 Nature<sup>7)</sup>でも紹介されている。

#### IV. おわりに

WSPEEDI については、これまでの研究開発で一段落した。予測精度の向上や実用面での機能強化は逐次実施していくが、今後の大きな課題として、計算予測と環境モニタリングを融合した、事後の汚染・被ばく線量分布の詳細評価手法の開発がある。これは、緊急時初期対応後の環境監視をどの範囲で何時まで継続すべきかの判断材料になると同時に、公衆の受けた被ばく線量の評価に必要であり、国民の安全と安心に資するものとなる。

#### —参考資料—

- 1) 山澤弘実, 茅野政道, 永井晴康, 古野朗子, "緊急時環境線量情報予測システム(世界版) WSPEEDI の開発と検証," 日本原子力学会誌, **39**, 881-892(1997).
- 2) 寺田宏明, 永井晴康, 古野朗子, 掛札豊, 原山卓也, 茅野政道, "緊急時環境線量情報予測システム(世界版) WSPEEDI 第2版の開発," 日本原子力学会和文論文誌, **7**[3], 257-267(2008).
- 3) 古野朗子, 茅野政道, 山澤弘実, "緊急時対応のための長距離大気拡散計算による放出源推定手法の開発," 日本原子力学会和文論文誌, **5**[3], 229-240(2006).
- 4) A. Furuno, H. Terada, M. Chino, *et al.*, "Experimental verification for real-time emergency response system: WSPEEDI by European tracer experiment," *Atmos. Environ.*, **38**, 6989-6998(2004).
- 5) H. Terada, M. Chino, "Improvement of worldwide version of system for prediction of environmental emergency dose information (WSPEEDI), (II); Evaluation of numerical models by <sup>137</sup>Cs deposition due to the Chernobyl nuclear accident," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **42**[7], 651-660(2005).
- 6) H. Terada, M. Chino, "Development of an atmospheric dispersion model for accidental discharge of radionuclides with the function of simultaneous prediction for multiple domains and its evaluation by application to the Chernobyl nuclear accident," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **45**[9], 920-931(2008).
- 7) Nature Vol.429(No.6993)p.692, "Radiation monitor gives early warning of pest attack"(News in Brief)(2004).

#### 著者紹介

茅野政道(ちの・まさみち)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)環境科学, 緊急時対応

寺田宏明(てらだ・ひろあき)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)放射性物質の環境動態, 数値モデリング

# 都市域における放射能散布テロへの対応

## 都市型緊急時対応訓練 EMPIRE 09に見る米国の体制

原子力研究開発機構 永井 晴康, 渡辺 文隆, 遠藤 邦明

都市域での有害危険物質拡散テロに対する防災対策の検討と整備が重要課題となってきた。米国では、都市域でのテロ対策の整備を進め、防災訓練による対策の社会への浸透と対応機能の高度化・維持を図っている。本稿では、2009年6月に行われた都市型緊急時対応訓練 EMPIRE 09について概観するとともに、放射能散布テロ対応フレームワークについて解説する。これにより、都市域テロ防災対策のあり方について考える材料となることを期待する。

### I. はじめに

近年、都市域での有害危険物質拡散テロの脅威が増大し、住民の安全・安心を確保するための防災対策の検討と整備が重要課題となってきた。特に、2001年9月11日の米国同時多発テロ事件以来、米国では都市域におけるテロ対策が喫緊の課題として体制作りが進められている。そのうち、放射性物質飛散装置(Radiological Dispersal Device: RDD), いわゆるダーティボムによるテロ攻撃への防災対策は、原子力緊急時対策を拡張して対応する体制を整え、綿密に計画された防災訓練を繰り返すことにより社会への浸透と対応機能の高度化・維持を図っている。一方、日本では、ダーティボムを想定した国内初の実動訓練が、東京都により2008年11月7日に行われた。都市域でのテロ対策は検討が始まったばかりで、訓練による課題の抽出と改善を繰り返しながら体制を整えていく状況にある。

筆者らは、米国エネルギー省(DOE)からの招聘により、2009年6月2日から4日にかけて行われた都市型緊急時対応訓練“EMPIRE 09”に国際オブザーバーとして参加し、米国の都市域テロ対応訓練の現状を視察した。本稿では、この訓練のようす、特に原子力専門家の活動状況を紹介するとともに、米国のRDDテロ対応フレームワークについて解説する。そして、日本と米国の防災体制の違いや考慮すべき事項について述べる。これにより、今後の都市域RDDテロ対策の体制整備や防災訓練に役立つ検討材料となることを期待する。

### II. EMPIRE 09の概要

#### 1. 訓練の概要

EMPIRE 09は、ニューヨーク州(俗称 Empire State : 訓練の名称に用いている)の州都オールバニ市において、RDDによるテロ攻撃を想定して行われた。市内中心部の2カ所で自動車が爆発し、一方ではセシウム137が、他方ではアメリシウム241が飛散されたという想定であった。国の機関としてDOEのほか、国土安全保障省(DHS), 環境保護庁(EPA), 連邦捜査局(FBI), 保健社会福祉省, 農務省, 国防総省, 退役軍人局, 労働省が、地方政府として開催地のニューヨーク州, オールバニ郡, オールバニ市の各政府機関, 警察, 消防のほか、隣接するバーモント州やニューイングランド州政府機関が参加した。

訓練は、緊急時対応を事象発生からの時間経過により3つのフェーズに分け、以下のように行われた。

フェーズ1(発生から48時間): 机上訓練として2009年5月14日から15日に行われ、訓練の管理者から事件の説明を受け、対応者が48時間後までの対応を議論した。

フェーズ2(48時間後から3日間): 全体参加の実動訓練として2009年6月2日から4日にかけて24時間体制で行われた。フェーズ1以後の事故管理, モニタリングと詳細解析, 広報, データ収集と影響評価, 環境浄化と復旧の検討を実時間進行で行った。特に、連邦放射線モニタリング評価センター(Federal Radiological Monitoring and Assessment Center: FRMAC)による対応能力を評価し、課題を抽出することに重点が置かれていた。この訓練には、対応者として約400人, 管理・評価者として約100人, オブザーバーとして約150人が参加した。オブザーバーのうち52名は、筆者らを含む17カ国と2つの国際機関からの国際オブザーバーであった。

フェーズ3(フェーズ2以後): 机上訓練として2009年6月16日に、環境浄化と復旧など長期的対応を議論した。

*Emergency Response to Terrorist Attack with Radiological Dispersal Device within Urban Area*: Haruyasu NAGAI, Fumitaka WATANABE, Kuniaki ENDO.

(2009年9月15日 受理)

この訓練の特徴は、これまでの訓練で主眼となってきたフェーズ1での即時対応ではなく、フェーズ2におけるモニタリングや影響解析などの技術的対応と防護対策決定との連携に重点が置かれていることである。つまり、連邦政府の派遣する原子力専門家が、発生事象の影響を正確かつ詳細に把握し、意思決定者による的確な対策につなげるための情報を正しく迅速に伝えるという能力が問われている。このような訓練は、日本ではこれまでになく、都市域テロのみならず、原子力施設の緊急時対応にも多くの教訓が期待できる。訓練の内容については、筆者らが詳細な調査報告書を取りまとめている。ここでは影響評価の中核を担うFRMACの活動状況について紹介する。

## 2. FRMACの活動

FRMACは、核・放射線緊急事態に関係する機関(DOE, EPA, 現地の環境部署など)により構成される。対応チームが発災地近郊に拠点を構え、環境モニタリング、各種データ収集、解析、影響評価などの対応活動の一元的な管理とデータ統合を行う。これらの技術的情報を地元ニューヨーク州、FBI、オールバニ警察、DOE、EPAが合同で運営して実務対応の調整と防護対策の立案を行う現地統合指揮所(Incident Command Post/Unified Command: ICP/UC)に提供する。フェーズ2までは、DOEが主導的な役割を果たし、全米9ヵ所より放射線緊急時派遣チーム(RAP)の派遣、ローレンス・リバモア国立研究所の大気放出警告センター(NARAC)による放射性物質の大気拡散および地表沈着予測、航空機測定システム(AMS)や地上サンプリングによる汚染状況データに基づき、詳細な汚染状況マップを作る。その後、フェーズ3における環境浄化と復旧で主導的役割を果たすEPAに引き継がれる。

今回の訓練では、テロが発生したオールバニ市中心地から20 kmほど離れた空港近くにあるアイスホッケー場を活動拠点とし、テロ発生後48時間後までに約100名に及ぶ対応チームが集結・設営を終え、活動を始めた(第



第1図 連邦放射線モニタリング評価センター(FRMAC)活動拠点のようす

1図)。DOEはネバダ州ラスベガスにあるリモートセンシング研究所から、EPAはアラバマ州モンゴメリの大気・放射線環境研究所から対応者と資機材が航空機やトラック等により即座に移動できるようになっている。主要都市郊外に空港がある米国に適したシステムである。短時間に資機材や対応者を移動させ、日本の環境放射線監視センターと同等あるいはそれ以上の対策拠点を作ってしまう米国の訓練のスケールには驚かされた。

現地対策拠点の活動は、モニタリング・サンプリングデータの取得と分析、現場の各種情報の収集、ICP/UCへの対応が中心で、詳細解析はラスベガスにある解析本部で行われる。集められたデータは衛星通信により解析本部に送られ、NARACの予測と融合した詳細解析結果が送り返されると、これをICP/UCに提供する。このような作業を、ICP/UCからの要求や新しいデータが得られるたびに繰り返して、3日目にはフェーズ3に引き継ぐ最終的な詳細解析結果が作られた。詳細解析結果は、防護活動ガイドライン・ゾーンマップ(Protective Action Guides Zone Maps)とモニタリング/サンプリング状況マップ(Monitoring/Sampling Status Maps)とのセットとして提供される。前者により解析された汚染状況を示すとともに、後者によりその解析結果の裏付けとなる測定データを付加している。これにより、意志決定者が行う防護措置や追加的な環境測定の実施など今後の対処活動の判断素材を提供するものである。

## Ⅲ. 米国のRDDテロ対応フレームワーク

### 1. 緊急時対応の基本方針

米国の緊急事態対応の基本方針は、2001年9月11日の同時多発テロ以降大幅に改定され、2003年2月の国土安全保障に関する大統領指令5号「国内非常事態の管理」のもとに、国家対応計画(National Response Plan: NRP)が2004年に策定された。NRPは、米国内での自然災害、原子力災害、テロ攻撃による災害まで、あらゆる緊急事態に対応する基本計画であり、国家非常事態管理システム(National Incident Management System: NIMS)に基づく一貫したフレームワークが示されている。NRPは、2005年のハリケーン・カトリーナによる災害の教訓から2006年に改訂され、さらに大幅な見直しを経て、2008年に国家対応フレームワーク(National Response Framework: NRF)<sup>1)</sup>となった。NRFでは、緊急事態対応における連邦、州地方政府と民間の役割と体制が明確に定められている。NRFには、個別の緊急事態への対応を示す付属書があり、原子力関連の緊急事態については、核・放射線緊急事態付属書(Nuclear/Radiological Incident Annex: NRIA)に具体的な対策や対応機関が定められている。

## 2. 核・放射線緊急事態対応

NRIAにより対応する核・放射線緊急事態としては、RDDなどによるテロ攻撃、原子炉事故、放射性物質の遺失、核物質または放射性物質輸送時の事故、国外の原子力関連事故がある。放射線防護という特殊な対応を要する原子力関連緊急事態においては、防護対策を行う地方に対し連邦政府の技術的支援が不可欠であり、あらゆる事態に対応可能な機能や設備の整備と維持、運用体制の確保が重要である。これらの課題に対して、スリーマイル原子炉事故対応のために整備してきた原子力事故対応体制を活用し、あらゆる原子力関連緊急事態を対象を拡大して同一の枠組みで対応するというのが、NRIAの方針である。この枠組みにおいて、連邦政府関係機関が連携して対応を行うが、放射線測定などの技術的対応は、いずれもDOEが主導的な役割を果たすことになっており、今回の訓練もDOE主催のもとに行われた。

核・放射線緊急事態への対応機能としては、先に紹介したRAP、NARAC、FRMACのほか、緊急時被ばく医療対応(REAC/TS)、省庁間環境拡散モデル影響評価センター(IMMAC)、核物質捜索チーム(NEST)、EPAが主管する全米環境モニタリング・ネットワーク(RADNET)、環境・食物・健康助言チームなどがある。このように、多数の機能が連携して対応する核・放射線関連緊急事態においては、常に同一のフレームワークで対応する米国の体制は、資機材・人材の有効利用のみならず、豊富な訓練機会による機能評価・改善や運用体制維持に効果的である。

## IV. 日本のRDDテロ対策への提言

日本におけるRDDテロ対策は、平成16年に制定された武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律「国民保護法」に定められている<sup>2)</sup>。具体的対応は、「国民の保護に関する基本指針」に基づき、指定行政機関や都道府県が国民の保護に関する計画「国民保護計画」のなかで示される。「国民保護法」では、RDDテロは核兵器による攻撃とともに、NBC攻撃(核兵器等、生物剤、または化学剤を用いた兵器による攻撃)として対応する。また、原子力施設への武力攻撃による原子力災害も「国民保護法」の対象となっている。

一方、原子力施設での事故などによる災害については、原子力災害対策特別措置法「原災法」に基づき、指針類および対応体制が整えられている<sup>3)</sup>。武力攻撃による原子力施設災害は、「原災法」と同様の措置を講じるとされ、これまでに整備された体制で対応可能であるが、核兵器やRDDテロについての具体的な体制は、各都道府県の「国民保護計画」のなかで検討することになる。原子力施設を有する自治体では、「原災法」に基づき整備された資材や体制を有効活用できるが、RDDテロの標的と

なる可能性が高い大都市域では、現行の仕組みと各自自治体の役割分担を有効に活用するための検討が必要となる。

このような日本の体制は、あらゆる原子力関連緊急事態に対し連邦政府機関が同一のフレームワークで全米一律の技術支援を目指す米国の体制と大きく異なっている。米国のシステムをそのまま用いることは難しいが、「原災法」で整備された国の地方に対する技術支援体制があらゆる地域において有効に機能するよう関係者が努力していく必要がある。

都市域におけるRDDテロは、国内はもとより世界的にもまだ経験がなく、訓練や米国の対応状況などを踏まえて、具体的な課題を抽出し検討していくことになる。原子力専門家は、対策検討に必要な科学的・技術的情報を発信・提供するとともに、防災訓練立案などで対策決定者との情報交換の機会を増やすことも重要であろう。EMPIRE 09が対象としたフェーズ2のような、一定期間内に技術的情報の集約と解析の実施や対策決定者へのわかりやすい技術情報伝達という、より原子力専門家の能力が問われる訓練は、必然的に原子力専門家による緊急時対応体制の整備、意志決定者との連携強化につながるため、今後さまざまな訓練が各地で実施されることを期待する。

### — 参考資料 —

- 1) FEMA NRF Resource Center (<http://www.fema.gov/emergency/nrf/>)
- 2) 内閣官房国民保護ポータルサイト (<http://www.kokuminhogo.go.jp/pc-index.html>)
- 3) 原子力安全委員会「原子力施設等における防災対策について(防災指針)」, (2008年10月)。

### 著者紹介

永井晴康(ながい・はるやす)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)環境中物質動態/原子力緊急時対応

渡辺文隆(わたなべ・ふみたか)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)原子力緊急時対応/災害情報マネジメント

遠藤邦明(えんどう・くにあき)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)放射線管理/原子力緊急時対応



連載  
講座21世紀の原子力発電所廃止措置の  
技術動向

## 第4回 廃止措置技術—放射線計測の技術動向

(株)東芝 酒井 仁志, 三菱重工業(株) 佐川 寛

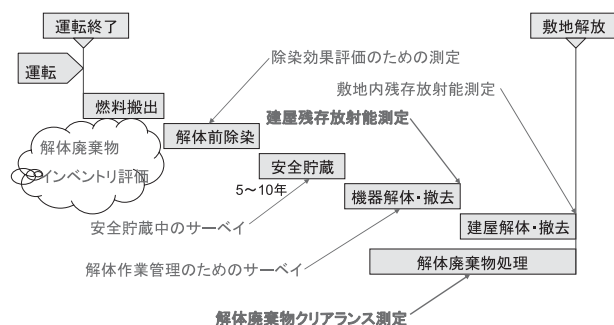
## I. はじめに

原子力発電所の廃止措置においては、解体作業中の放射線管理のみならず、解体廃棄物のクリアランス測定、機器撤去後の建屋残存放射能測定、建屋解体後の残存放射能測定等においても放射線計測技術が重要となる。本講座の第4回目として建屋の残存放射能測定および解体廃棄物のクリアランス測定の技術動向について述べる。

## II. 廃止措置における放射線計測の適用

第1図に廃止措置の標準工程と放射線計測技術の適用箇所を示す。図に示すように、放射線計測技術は廃止措置の種々の箇所で適用される。

これらのうち、除染効果評価のための測定や安全貯蔵中、解体作業管理のためのサーベイについては、軽水炉供用中の定期検査においても実施されていることから、ここでは、廃止措置特有であり、測定の合理化が望まれる建屋残存放射能測定、解体廃棄物クリアランス測定を中心に述べることにする。廃止措置における測定対象は、大規模プラントで建屋表面積約10万 $\text{m}^2$ 、クリアラ



第1図 標準工程と放射線計測技術の適用箇所

*Trend on Decommissioning Technology of Nuclear Power Plants in 21st Century*(4): Decommissioning Technologies—Status and Development of Radiation Measurement Technologies: Hitoshi SAKAI, Hiroshi SAGAWA.

(2009年 5月15日 受理)

各回タイトル

第1回 廃止措置の世界の概況とわが国の現状

第2回 廃止措置技術: 鋼材解体の技術動向

第3回 廃止措置技術: コンクリート解体/はつりの技術動向

ンス対象解体廃棄物約1~3万トンと膨大であり、測定の合理化が重要となっている。

## III. 放射線計測技術の開発実績

## 1. 建屋残存放射能測定

廃止措置における建屋残存放射能測定は、機器撤去後に建屋内表面の汚染分布測定を行い、汚染箇所においては、汚染の浸透深さを評価し、汚染部分を除去した後、汚染残留がないことの確認測定を実施することとなる。

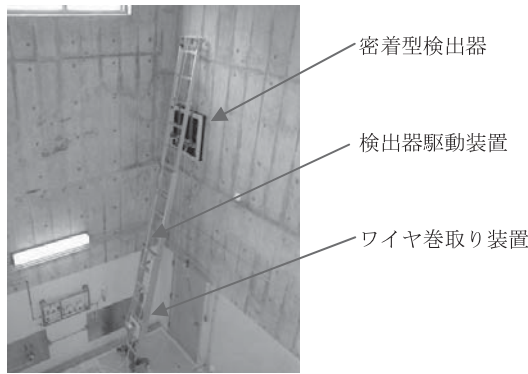
これらの測定においては、NUPECにて平成8年度から15年度にかけて建屋構造物に対する測定技術について確認試験が行われた。建屋コンクリート表面の汚染分布状況を把握するための測定(広域放射能分布測定)技術として、密着走査測定、建屋コンクリートの汚染浸透状況を把握するための測定(汚染浸透測定)技術として、汚染浸透状況非破壊測定、建屋構造物の汚染のないことを確認する合理的な測定(放射能確認測定)技術として、一括測定法を説明する。

## (1) 広域放射能分布測定(密着走査測定)

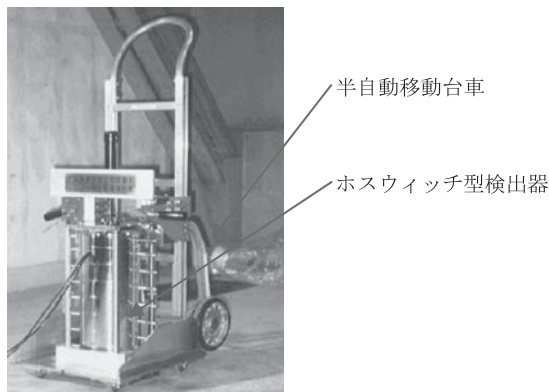
密着走査測定に使用する密着型検出器は大型の2層式マルチアレイ型プラスチックシンチレーション検出器を使用し、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線を同時測定し、 $\gamma$ 線測定結果から、コンクリート中に含まれる $^{40}\text{K}$ などの天然放射性核種濃度の変動および周辺雰囲気線量の変動による $\beta$ 線測定への影響を自動補償する機能を持つ。大面積の検出面で効率よく測定するだけでなく、100 $\text{mm} \times 100\text{mm}$ 単位の汚染分布測定も行うことができる。NUPEC 廃炉設備確認試験等では、最大1 $\text{m} \times 1\text{m}$ の測定面を持つ測定器で性能評価試験を行うとともに、高所での適用を考慮した合理的なハンドリング方式として、ワイヤ駆動方式の性能評価を行っている。密着走査測定検出器の外観を第2図に示す。

## (2) 汚染浸透測定(汚染深さ非破壊測定)

放射線検出器はNaIシンチレータとプラスチックシンチレータを組み合わせたホスウィッチ型検出器を使用する。汚染面上に検出器をセットし、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線スペクトル測定結果から、表面汚染か浸透汚染か汚染状況を非破壊で評価する。周辺からの $\gamma$ 線の影響は遮へい材で



第2図 密着走査測定検出器の外観



第3図 汚染浸透状況非破壊測定検出器の外観

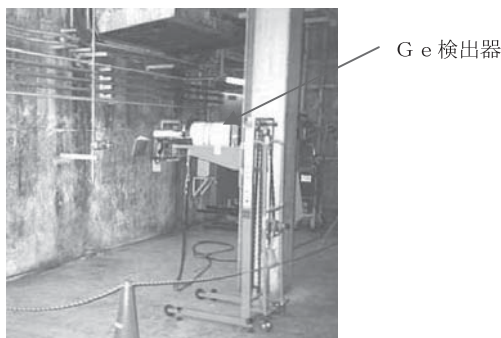
除く。表面汚染箇所において、汚染の浸透深さを把握する時に使用する。汚染浸透状況非破壊測定検出器の外観を第3図に示す。

### (3) 放射能確認測定(一括測定)

放射線検出器は高効率のポータブル Ge 検出器を使用し、部屋のほぼ中央にセットし、長時間固定測定するだけであるため、簡単な測定システムで自動測定を行うだけで部屋単位で汚染のないことの確認を行うという合理的な測定方法である。局在汚染の検出は困難であるが、局在汚染の可能性の少ない部屋を対象とした測定に適用可能である。一括測定検出器の外観を第4図に示す。

## 2. 解体廃棄物クリアランス測定

本節では、解体廃棄物の測定として用いられる専用測定器について概説する。専用測定器とは、日本原子力学



第4図 一括測定検出器の外観

会標準「クリアランスの判断方法：2005(AESJ-SC-005:2005)」の解説において述べられており、全 $\gamma$ 線あるいは全 $\beta$ 線を測定する放射線測定装置の中で、トレイ上に対象物を配置する測定装置(トレイ型)、かごの中に対象物を配置する測定装置(バスケット型)、また大型機器面を測定する密着走査測定式の大面積測定器を示している。

トレイ型装置は小型対象物の測定に向いており、例えば汚染位置が識別できれば、その箇所を除去し、再測定するというような運用方法も考えられる。一方、バスケット型装置では、汚染箇所の簡便な除去は困難ではあるものの、1トン近くの物量を1回でクリアランス測定可能という利点も持っている。

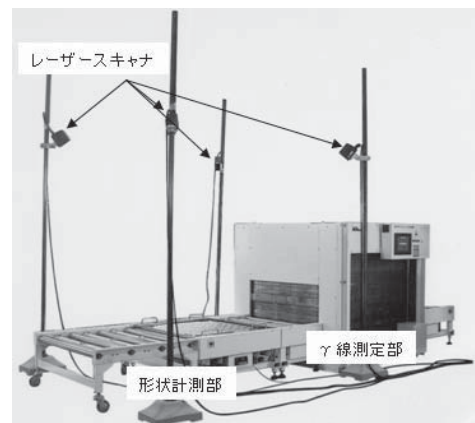
本節では、3種類のトレイ型(自動的に形状認識を行うタイプ、自動的に汚染性状を認識するタイプおよび汚染分布を測定するタイプ)とバスケット型装置の解体物測定について説明する。

### (1) 自動形状認識トレイ型

単品またはトレイ上に重ね置きしない状態で複数の対象物を測定できる装置である。放射線検出器はNE102Aプラスチックシンチレーション検出器を使用し、 $\gamma$ 線測定が行われる。対象物をレーザー計測することで形状を把握し、モンテカルロ計算コードMCNPを用いて換算係数を自動算出する。表面汚染、内部汚染および放射化汚染を評価する。クリアランス判断のための放射能濃度は、評価された放射能を重量で除して求められる(第5図)。

### (2) 自動汚染性状認識トレイ型

基本的に対象物単品で測定するが、同一性状の複数測定も可能である。放射線検出器の構造としては、プラスチックシンチレーション検出器とNaI検出器の二層構造であり、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線とを同時に測定する機能を有している。また、信号処理回路により、表面汚染、内部汚染および放射化汚染を測定することが可能である。放射能換算係数は、対象物を形状ごと、汚染ごとにグループ化したデータから求められる。放射能換算係数と、放射線検出器の測定結果、および重量データを用いて放射能濃度が評価される(第6図)。



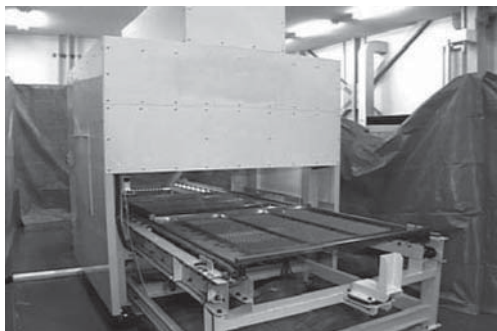
第5図 自動形状認識トレイ型の外観

## (3) 汚染分布測定トレイ型

検出器は薄型プラスチックシンチレーション検出器と厚型プラスチックシンチレーション検出器の2層である。マルチレイ型の検出器構造をしており、表面密度分布および $\gamma$ 線汚染密度分布が同時に評価される。 $\gamma$ 線測定結果から平均的な放射能濃度評価が行われ、検出器単位の平均化(複数同時処理)が行われている。換算係数は平均かさ密度と検出器距離から求められる(第7図)。

## (4) バスケット型

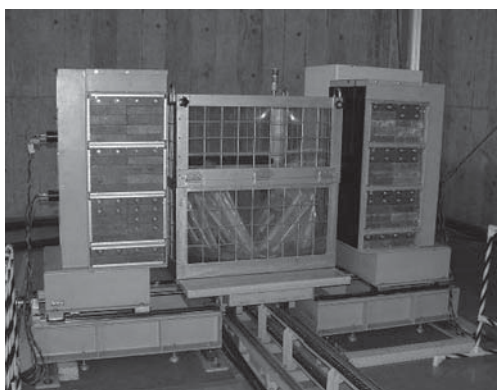
大型パネル型の対象物に対しては対象物単位で一括測定される。大型プラスチックシンチレーション検出器間の距離を変更させることが可能であるため、最大で $1\text{ m}^3$ の対象物まで測定できる。 $\gamma$ 線測定からバスケット単位、あるいはパネル型の対象物に対して放射能濃度が一括測定評価される。放射能換算係数は、実効密度および高さ補正から算出される(第8図)。



第6図 自動汚染性状認識トレイ型の外観



第7図 汚染分布トレイ型の外観



第8図 バスケット型装置の外観

## IV. 測定技術選定に当たっての留意事項

## 1. 建屋残存放射能測定技術選定に当たっての留意事項

廃止措置において、建屋解体前に建屋構造物の測定を行い、汚染の残留がないことの確認を行うことが、解体工事および解体物管理上要求されている。しかしながら、高所壁面、天井面など、測定が困難な場所の測定が必要となること、バックグラウンドの影響を除去するための遮へい体を測定器に取り付けると重くなり、ハンドリング性が悪くなる等、測定作業の点でデメリットが多くなる。以下に、建屋残存放射能測定技術選定の際の留意事項を示す。

## (1) 測定面積(評価単位)

汚染部位をハツリ装置などで除去した後に、建屋の中の広範囲について、解体前に残存放射能がないことの評価ができると、解体工事に係る費用低減効果が大きくなる。このため、広範囲な面積を対象とする場合、全面測定を行うのか、局在汚染のない条件で測定するか、代表点測定などの考え方を導入して測定するかで、適用する検出器の種類およびその処理能力(面積)が異なることから、測定にあたる前提条件や測定面積(評価単位)に留意すべきである。

## (2) 検出限界放射能濃度

汚染の残留がないことの確認においては、検出限界放射能濃度が重要なパラメータである。このため、測定技術を選定する際には、検出限界放射能濃度評価に影響を与える、以下のパラメータに留意する必要がある。

- ・コンクリート中に含まれる天然放射性核種濃度の変動の影響
- ・周辺雰囲気線量率の変動の影響
- ・換算係数の相対誤差
- ・BG変動に起因する相対誤差
- ・測定時間
- ・BG測定が必要な場合のBG評価方法と測定時間
- ・コンクリート表面のひび割れなどからの浸透汚染の可能性
- ・ $\text{Bq}/\text{cm}^2$ から $\text{Bq}/\text{g}$ に換算する際の評価単位(面積、厚さ)の制限

## (3) 測定準備

高所壁面や天井面など、測定が困難な場所の測定にどのように対応するかにより、足場等の準備が必要な測定方法にするのか、足場等の準備を軽減できる遠隔による合理的な方法を採用するかを選定する等、測定準備の観点にも留意する必要がある。

## 2. 解体廃棄物クリアランス測定技術選定に当たっての留意事項

原子炉施設から発生する廃棄物のうち、クリアランス

対象となるものは、金属、コンクリート等の固体状物質である。これらは、大きさ、形状、汚染および放射化量も異なっているため、合理的なクリアランスレベル測定を実施するために、対象物の形状や汚染状況に応じた測定方法を選定すべきである。以下に、解体物測定技術選定の際の留意事項を示す。

### (1) 処理物量

トレイ型装置の場合は、少量測定ではあるが、対象物の汚染分布などを細かく評価できる特徴がある。一方、バスケット型装置の場合は、一度に大量の物量処理が可能であるため、処理物量には留意すべきである。

### (2) 検出限界放射能濃度

大型のプラスチックシンチレーション検出器等を用いて、解体物等の不定形状物を測定する場合には、BGの変動に起因する相対誤差、換算係数の相対誤差を考慮して、検出限界放射能濃度が評価される。

専用測定器による測定では、サーベイメータによる測定とは異なり、BGの変動に起因する相対誤差については特に考慮する必要がある。金属廃棄物測定の場合、自己遮へい効果による測定中BG計数率の低減に対して、適切な補正を行わない場合、対象物の放射能を過小評価してしまう場合が考えられる。一方、コンクリート廃棄物測定の場合には、コンクリート中に含まれる天然放射性核種によって測定中BG計数率が増加することから、適切な補正を行わないと、クリアランスレベル以上の結果と算出してしまい、本来、クリアランス可能な対象物に対しても、クリアランス不可と判断される場合が考えられる。

通常、検出限界は、測定時間およびBG測定時間の増加によって向上するが、BGの変動に起因する相対誤差を考慮した場合、ある時間以上では、測定時間等の増加によっても検出限界の顕著な向上は見込めなくなることに留意する必要がある。また、測定時間等を増加させることは、IV-2(1)項で述べた単位時間当たりの処理物量を減らす影響もあることを把握しておく必要がある。

### (3) 測定場所の耐荷重

雰囲気中放射線の影響を低減させて検出限界を向上させるために、装置には通常数cmから10数cmの鉛等の厚い遮へい体が備わっている。遮へい体厚さ、装置の大きさにも依存するが、装置重量は全体で数トン以上になるため、測定場所の床面耐荷重には留意すべきである。

## V. 放射線計測技術の適用実績

### 1. クリアランス制度への適用

クリアランスの実際の運用に当たっては、クリアランスレベルの測定を実施する前に、国による測定および評価の方法の認可を受けるために種々の事前評価が必要となる。第1表は、日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005(AESJ-SC-F 005:2005)」に示されるクリアランス判断の基本手順である。この基本手順に従えば、実際の測定・評価を行う前段において、事前調査として対象物の汚染、放射化の調査、測定・評価方法の設定として、対象物の核種組成比、使用する測定器の性能等の評価、測定・評価計画の策定として、クリアランスの判断方法や、判断結果等の記録の管理方法等の決定等が必要となることが示されている。

また、第9図は、日本原子力発電(株)のホームページに示された、東海発電所におけるクリアランスの運用手順である。この手順では、測定評価方法、対象物の管理方法等について、経済産業省の審査を受け、認可を得る必要があることが示されている。

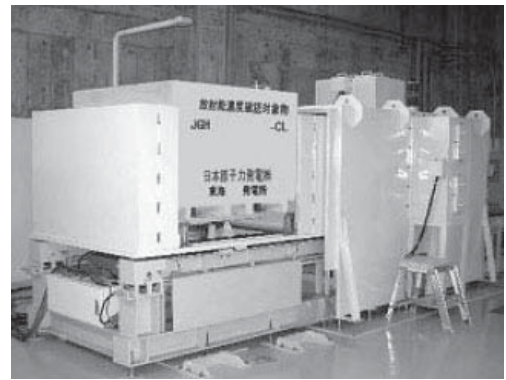
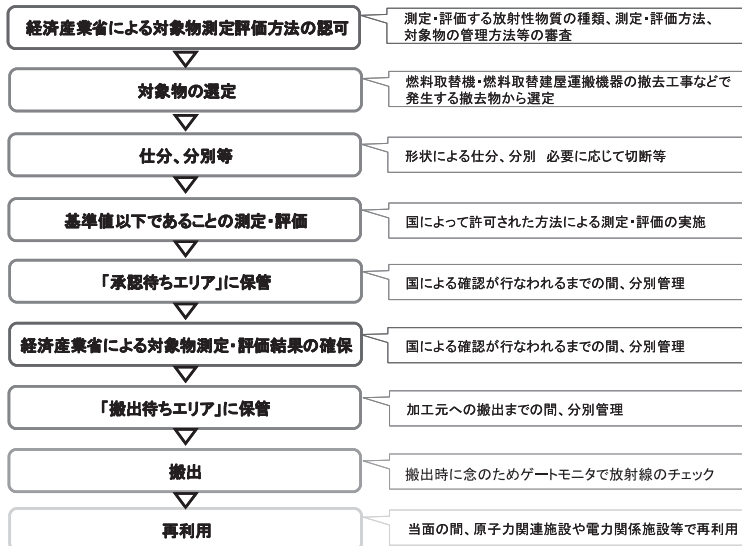
### 2. 東海発電所のクリアランス測定実績

前記で記述した建屋残存放射能測定技術、解体廃棄物のクリアランス測定技術のうち、実機の廃止措置において適用されている実績として、日本原子力発電(株)、東海

第1表 クリアランス判断の基本手順

日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005(AESJ-SC-F 005:2005)」より

|   | 手 順        | 内 容  |
|---|------------|--|
| 1 | 事前調査       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・クリアランス対象物の選定、評価対象核種の選定、核種組成比及び測定・評価方法の設定等を行うための原子炉施設内設置機器等の形状、汚染分布、汚染性状等の調査。</li> <li>・中性子フルエンス率、元素組成等放射化計算入力値の調査。</li> </ul>  |
| 2 | 測定・評価方法の設定 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物の選定。</li> <li>・対象物の特徴に応じた測定・評価パターンの設定。</li> <li>・放射線測定器の選定及び放射能換算係数の設定。</li> <li>・評価対象核種の選定。</li> <li>・評価単位、測定評価点の設定。</li> <li>・核種組成比、評価対象核種の測定・評価方法の設定。</li> </ul> |
| 3 | 測定・評価計画の策定 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定・評価方法・クリアランス判断方法の決定、測定・評価、クリアランス判断結果等の記録の管理方法等の決定。</li> </ul>  |
| 4 | 測定・評価      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・対象物の評価対象核種濃度の測定等による決定。</li> </ul>  |
| 5 | クリアランス判断   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価対象核種濃度に基づくクリアランス判断。</li> </ul>   |
| 6 | 記録         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定・評価結果、クリアランス判断結果の記録の作成と保存。</li> </ul>  |
| 7 | 保管・管理      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・クリアランスされた物の保管・管理。</li> </ul>   |



第10図 東海発電所のクリアランス測定装置

発電所の廃止措置において適用されているバスケット型クリアランスレベル測定装置がある(第10図)。

このバスケット型クリアランス測定装置は約1.5 m<sup>3</sup>、1トン以内の廃棄物を容器ごと測定する装置である。

東海発電所におけるクリアランス測定は、2006年9月に放射能濃度の測定および評価の方法の認可を受け、2006年10月から対象物の測定が開始された。測定および評価の結果の国による確認として、原子力安全基盤機構(JNES)による確認および結果の評価はこれまでに2回実施された。(1回目：107トン、2007年4月申請、5月確認証受理；2回目：291トン、2008年3月申請、5月確認証受理)

国による確認が完了した対象物は、遮へい体、ベンチ、テーブル、ブロック等に再利用するために、順次製造メーカーへ搬出され、再利用製品に加工されている。これらの再利用製品は当面の間は原子力関連施設、電力関連施設等で再利用される。

## VI. 放射線計測の技術動向のまとめ

原子力発電所の廃止措置における放射線計測技術の適用対象箇所としての測定対象面積、測定対象物量は、膨大なものとなる。そのため、安全かつ合理的な廃止措置を進めるにあたっては、汚染、放射化量に基づいた区分データを参考に、除染、解体、分解後の廃棄物の形状、大きさ、発生物量を想定した上で、それぞれに適切な測定技術を選定することが望ましい。

### —参考資料—

- 1) 原子力施設におけるクリアランス制度の整備について、平成16年9月14日(平成16年12月13日改訂)、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委。
- 2) 原子力発電技術機構 廃止措置技術総合調査委員会編、廃止措置技術ハンドブック、(2007)。
- 3) クリアランスの判断方法：2005(AESJ-SC-005:2005)、日本原子力学会標準 2005年7月。
- 4) 佐々木道也、服部隆利、日本保健物理学会誌、335-344(2004)。
- 5) 後藤哲夫、他、“波長シフト型検出器によるβ/γクリアランスレベルモニタの開発(その3)”，日本原子力学会「2004年春の年会」要旨集、(2004)。
- 6) 原子力発電技術機構、平成11年度実用発電用原子炉廃炉設備確認試験に関する調査報告書、原子力発電技術機構、(2000)。
- 7) 日本原子力発電(株)ホームページ、<http://www.japc.co.jp/>

### 著者紹介

酒井仁志(さかい・ひとし)

(株)東芝

(専門分野/関心分野)除染、放射性廃棄物処理・処分廃止措置



佐川 寛(さがわ・ひろし)

本誌、51〔9〕、p.39(2009)参照。

連載  
講座

## 軽水炉プラントの水化学

## 第9回 実機での水化学(3)—被ばく線量の低減

東京電力(株) 實重 宏明, 関西電力(株) 塚本 雅昭

## I. はじめに

軽水炉では、運転に伴い原子炉冷却材系統内に蓄積した放射性腐食生成物(以下、放射性成分)が、定期検査時に管理区域内で従事する作業員の被ばく線源となる。これらの放射性成分は運転中に、炉心外の構成材から発生した腐食生成物が炉心で放射化され、それが炉心外に移行して系内の配管・機器に蓄積したもので、原子炉冷却材系統の水化学管理が被ばく線量低減に有効な対策となる。

本稿では、BWRプラント、PWRプラントそれぞれについて、被ばく線量低減のために現在まで実施されてきた水化学管理について述べる。

## II. BWRプラント

BWRプラントの放射性成分の発生、放射化・移行抑制そして機器、配管への蓄積の挙動と従事者の受ける放射線量の関係を第1図に示す<sup>1)</sup>。腐食生成物は給水系から持ち込まれ、炉心の燃料表面等に付着、放射化した後、再循環系を中心とする1次冷却系機器配管を冷却材に乗って移動し、最終的に機器、配管の内面に蓄積して、線量率が上昇し、定期検査時に管理区域内で作業する従事者の被ばく線源となる。

BWRプラントの主な被ばく線源となる放射性核種は<sup>58</sup>Co, <sup>60</sup>Co, <sup>59</sup>Feならびに<sup>54</sup>Mnである。これら放射性核種は、1次系主要構造材料に含まれるCo, NiやFeの放射化によるもので、<sup>58</sup>Ni(*n, p*)<sup>58</sup>Co, <sup>59</sup>Co(*n, γ*)<sup>60</sup>Co,

<sup>58</sup>Fe(*n, γ*)<sup>59</sup>Fe, <sup>54</sup>Fe(*n, p*)<sup>54</sup>Mn 反応で生成される。

線量率を左右する原子炉構造物内表面の被ばく線源量(Bq/cm<sup>2</sup>)は、系内の放射性成分濃度(Bq/cm<sup>3</sup>)と放射性成分付着係数(cm/h)、ならびに時間の積で決まるため、BWRプラントでは、放射性成分濃度低減と付着係数の低減という観点から、種々の水化学改善対策を実施している。

## 1. 発生抑制(給復水の水処理)

系内の放射性成分保有量(以下、インベントリー量)の大部分は、燃料棒表面に付着している金属不純物に含まれており、これら不純物の発生源は給復水系構造材と原子炉構造材からの腐食生成物の発生に大別され、主体は炭素鋼部材で構成される前者である。

給復水系から発生する腐食生成物には、粒子状腐食生成物とイオン状腐食生成物があり、それらの主な発生源は莫大な表面積を有する主復水器と二相流のため腐食環境にある給水加熱器などである。1970年代の国内BWRプラント操業当初は、多量の粒子状腐食生成物が原子炉内に持ち込まれ、多量の被ばく線源を形成し問題視された。これら、粒子状腐食生成物の低減対策として炭素鋼配管内表面に不動態皮膜を形成し、腐食抑制を行うことを目的とした給復水中への酸素注入、不純物除去効果の維持を目的とした復水脱塩装置樹脂の定期的洗浄、粒子状金属不純物除去に主眼をおいた架橋度(細孔、分子構造の強化の度合)の低い樹脂の開発適用、プラント停止中に発生した不純物除去を目的とした起動前浄化運転などが採用された。

1980年代には、これら低減対策を恒久的に設計へ反映するべく、二相流領域であり、厳しい腐食環境面にある部位への耐食性に優れた耐候性鋼(鋼表面に保護性鍍を形成するように設計された低鉄合金鋼)の適用と復水ろ過装置の設置が展開された。さらに、1990年代には廃棄物低減の観点から、復水ろ過装置を助剤型(プリコート型)から非助剤型(中空糸膜型、プリーツ型)に変更し除去性能の一層の向上に貢献している。

## 2. 放射化・移行抑制(Ni/Fe比制御運転)

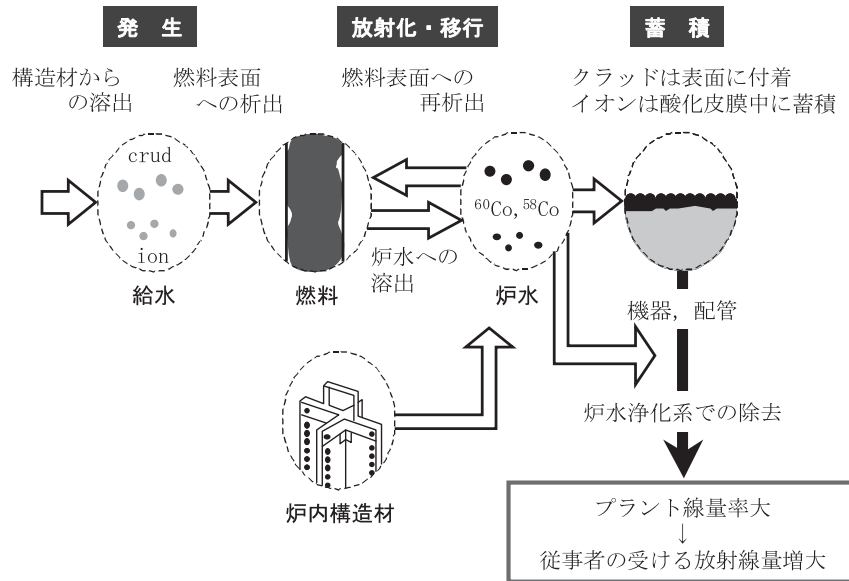
粒子状腐食生成物を低減したことによって、給水中の

*Water Chemistry of LWR Plants*(9); *Water Chemistry in Actual Plants*(3)—*Radiation Dose Reduction*: Hiroaki SANESHIGE, Masaaki TSUKAMOTO.

(2009年 4月13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1図 BWRにおける放射性腐食生成物の挙動と従事者の受ける放射線量の関係

鉄クラッドがNiイオン濃度に比較して極端に低い環境になったことにより、原子炉冷却材中のイオン状放射性成分が上昇する事象を招いた。この事象に対して、ニッケルと鉄の濃度比を常に1/2以下に保つNi/Fe比制御運転が開発された。これは給水から持ち込まれたNiイオンが燃料表面で鉄クラッドと反応してニッケルフェライトを生成する際に、化学的性質が似ているCoイオンや $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ をフェライトとして取込燃料表面上に固定化させることを狙ったものである。この運転によって原子炉冷却材中のイオン状放射能濃度を低下させることが可能となり、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所1号機ほか多くのプラントで適用された。

### 3. 蓄積抑制

#### (1) 放射性成分除去促進

系内の放射性成分の濃度は、発生量と除去量のバランスで定まる。発生量は、1次系内からの腐食生成物の持込み量で決まるインベントリー量ならびに主として燃料棒表面からの放射性成分の溶出速度で決定される。

一方、放射性成分の除去は、原子炉冷却材浄化系(以下、CUW)での物理的および化学的除去によるものであり、除去性能はおおむね一定値をとる。系内に存在する不純物量の低減が被ばく線源の低減に大きく寄与する。国内BWRプラント操業当初には、CUW容量は流量変更が可能であり給水流量比で7%であった。しかし、その後のプラントは熱損失を抑えるために流量固定式の1%が標準的となったが、CUW容量は系内に存在する不純物量低減に大きな影響を及ぼすため、1980年代以降のプラントでは2~3%となるように設計されるようになった。

#### (2) 放射性成分付着係数の低減

系内に存在する不純物量が同じであった場合、放射性成分付着速度(放射性成分付着係数)を低減することで作業環境線量率を低減することが可能になる。放射性成分付着係数を支配する因子は、物理的因子、環境的因子、電気化学的因子がある。

##### (a) 物理的因子

作業環境線量率の低減には、配管内表面への放射性成分付着防止として、配管内面の表面粗さを低減させることが有効である。配管内表面を平滑にすることで表面積が小さくなり、放射性成分の付着面積を低減させることが可能となる。この考えを取り入れたのが、機械研磨、電解研磨などであり、1980年代後半から適用されるプラントが増した。

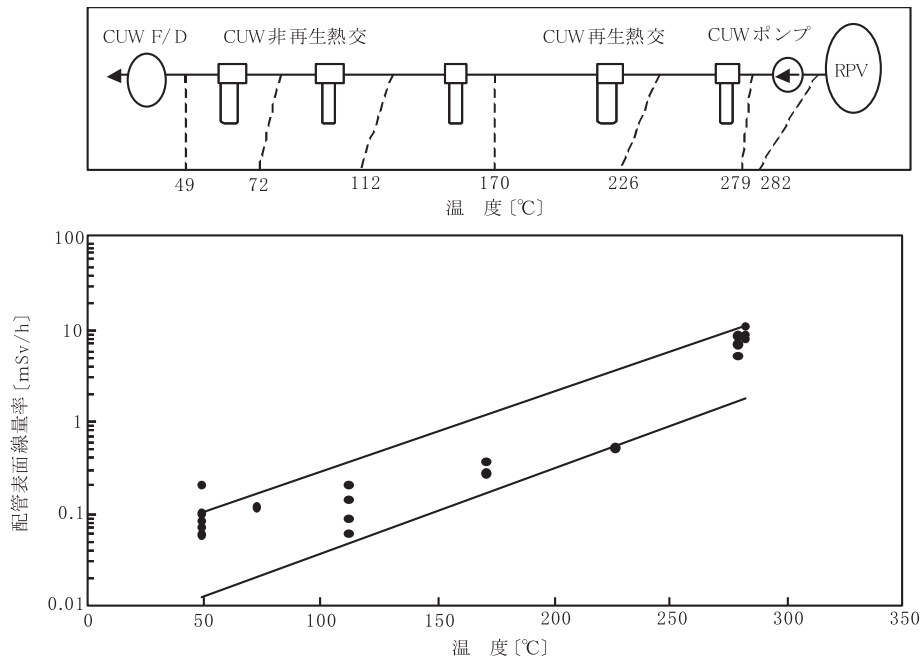
##### (b) 環境的因子

放射能の付着・蓄積速度は環境温度などに依存し、環境温度の低下に伴い劇的に減少する。1980年代後半のCUW容量増強プラントでは、CUW系への被ばく線源の付着量低減が必要となった。このため、定期的な点検を行うCUWポンプの設置場所を低温部へ移動することで被ばく線源の付着防止を図り、作業環境線量率の改善を行っている(第2図)<sup>2)</sup>。

また、原子炉停止時に用いる残留熱除去系についても、原子炉冷却材温度が約150℃で稼働させていたが、放射性成分付着量低減を目的に稼働温度を約100℃まで低減させた。この対策によって、CUW同様に放射性成分の付着量が減少し、作業環境線量率の低減を達成した。

##### (c) 電気化学的因子

放射性成分の付着現象は、構造材内表面の腐食皮膜が形成される際に生じる現象であり、電気化学的因子の低減として構造材作成段階における大気酸化処理、建設試



第2図 原子炉浄化系表面線量率の温度依存性

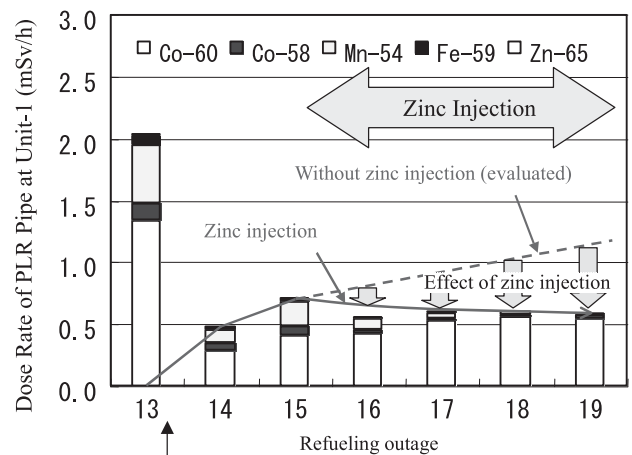
運転段階での保護酸化皮膜形成処理(プレフィルミン  
グ), ならびに運転段階での極低鉄/高ニッケル運転, 亜  
鉛注入技術がある。

構造材表面における酸化皮膜の成長速度は, 構造材が  
原子炉冷却材に曝される初期段階に大きく, 時間の経過  
に伴い次第に減少する特徴がある。大気酸化処理および  
プレフィルミング技術とは, あらかじめ皮膜を形成させ  
原子炉核加熱以降に発生する放射性成分の付着を抑制す  
るものであって, 前者は配管成形後に約400℃以上の環  
境に曝すことで腐食皮膜を形成する方法であり, 中部電  
力(株)浜岡原子力発電所5号機等に適用されている。一  
方, 後者は配管をプラントに設置後, pH, 温度, 溶存  
酸素濃度などを一定環境条件に保ち実施するものであ  
り, 東京電力(株)福島第二原子力発電所4号機等で適用さ  
れている。

1990年代になると, 燃料表面の加工方法が変更された  
ため, 燃料表面に安定したニッケルフェライトの形成が  
困難になり, 炉内の放射能濃度が上昇する事象が確認さ  
れたため, 新しい概念の取込みによる極低鉄/高ニッケ  
ル運転が採用されている。これは, 原子炉内のNiイオ  
ン濃度を高く保つことで配管内表面に緻密な皮膜を形成  
し, 被ばく線源の付着を抑制するとともに炉内へ持ち込  
まれる鉄クラッド量を抑制することによって燃料表面へ  
の付着量を低減しインベントリー量の低減を行うという  
2つの概念を組み合わせたものであり, 東京電力(株)柏崎  
刈羽原子力発電所6号機などで適用されている。

また, 酸化皮膜が成長する段階でコバルトなどの取込  
みを抑制する技術として, 1次系内に亜鉛注入を行う技  
術の導入も一部のプラントで採用されている。<sup>64</sup>Znは炉  
心で放射化して<sup>65</sup>Znが生成し被ばく線源低減の効果を打

ち消すことから, <sup>64</sup>Znを同位体分離によって除去した酸  
化亜鉛が使用されている。プレフィルミングと同様, 酸  
化皮膜形成時における放射性成分の取込みを抑制する効  
果が大きいことから, 配管内表面の皮膜が形成される初  
期段階からの適用が効果的である。酸化亜鉛粉末のスラ  
リー注入, 炭酸亜鉛形態での注入, ならびにペレット状  
の酸化亜鉛からの溶出を利用した注入形態などがあり,  
国内では中部電力(株)浜岡原子力発電所1号機ほか数プラ  
ントでの適用例があり, 第3図<sup>3)</sup>に示すように, 適用に  
よる効果を確認していることから, 今後, 被ばく線源の  
低減を目的に適用プラント数の増加が予想される。ま  
た, 近年, PWRにおいても亜鉛注入の適用が始まって  
いる。



第3図 亜鉛注入適用による効果



### Ⅲ. PWR プラント

PWR プラントでの放射性成分の発生、放射化・移行抑制そして機器、配管への蓄積の挙動と従事者の受ける放射線量の関係についても、基本的にはBWRプラントにおける第1図と同様である。

PWRプラントの支配的な被ばく線源は機器・配管等に蓄積した $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ である。これらの核種は1次系構成材料の腐食生成物が放射化したもので、PWRでは冷却材との接液面積が大きい蒸気発生器伝熱管が主な腐食生成物放出源とされている。蒸気発生器の伝熱管材料には高Ni基合金が使用されており、冷却材中に放出されたNiが燃料表面等に付着し放射化されて、 $^{58}\text{Co}$ が生成する。また、 $^{60}\text{Co}$ は耐磨耗材として使用されているCo基合金や構成材中に不純物として微量に含まれるCoが腐食により冷却材中へ放出され、燃料表面等の炉心に付着し放射化されて、 $^{60}\text{Co}$ が生成される。

PWRプラントは、BWRプラントと異なり運転中、1次冷却材系統が閉ループで運転されるため、1次冷却材のpH管理等放射性成分の生成抑制を中心に種々の水化学改善対策を実施している。

#### 1. 発生抑制(1次系構成材料の酸化皮膜処理)

被ばく線源低減の観点から、腐食生成物の発生を抑制するには、材料の耐食性を高める方法と材料表面に安定な酸化皮膜を形成して腐食速度を抑制する方法がある。ここでは後者について述べる。

プラント建設後の試運転段階において、出力運転時の温度に近い高温で約1ヶ月にわたってHFT(Hot Functional Test)が行われるが、水化学からの改善としては、このHFT時の水質管理改良がある。HFTの際、インコネル、ステンレス鋼などの1次系構成材が初めて高温の水に曝される。これらの金属材料は、表面に酸化皮膜(保護皮膜)が形成されると腐食が抑制され、その腐食率は時間とともに小さくなっていく。したがって、HFT時に耐食性に優れた酸化皮膜を形成し、腐食生成物の発生を抑制することは、それ以降の出力運転時の被ばく線源生成を抑制する上で非常に有効な対策となる。国内PWRプラントでは従来、脱気純水または脱気水酸化リチウム添加水でHFTを実施してきたが、最近の新設プラントでは、材料試験結果を元に、水素ガス+水酸化リチウム添加処理を適用し、HFT時の還元性雰囲気高め、より耐食性に優れた酸化皮膜を金属表面に形成させ、初回定検時の機器・配管の被ばく線源低減に一定の効果を得ている。

#### 2. 放射化・移行抑制(1次冷却材pH管理)

被ばく線源となる放射性成分の生成を抑える上で、炉心外で発生した腐食生成物の炉心への移行、すなわち燃

料表面への腐食生成物の付着を抑制することが重要である。腐食生成物の溶解度はpH、温度に依存することから、冷却材pHを適切な値に管理することが世界的な考え方となっている。最適pHを設定する上で使用する溶解度データには研究機関ごとにくらか差があるが、おおむねpH7.2~7.4 at 300°Cに最適pHがあると考えられている。

日本においては、1980年代中ごろからホウ素-リチウム濃度制(B-Liバンド)による1次冷却材pH管理を実施している。現在、実機に適用されている改良B-Liバンドを第4図に示す。

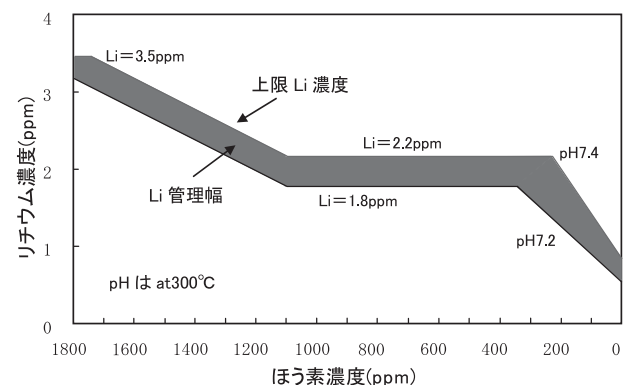
現在のB-Li濃度制御範囲は出力運転時の1次冷却材の水質環境で、最も代表的な腐食生成物であるニッケルフェライト( $\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.05}\text{Fe}_{2.15}\text{O}_4$ )の溶解度の温度、pH依存性を考慮して設定している。反応度補償のためのホウ素濃度の低減に伴い、リチウム濃度を連動させて低下させ、ホウ素濃度が高いサイクル初期はpH低下を防止するため、1次系構成材や燃料被覆管の健全性へ影響がない範囲で、リチウム濃度を上昇させる運用としている。

### 3. 蓄積抑制

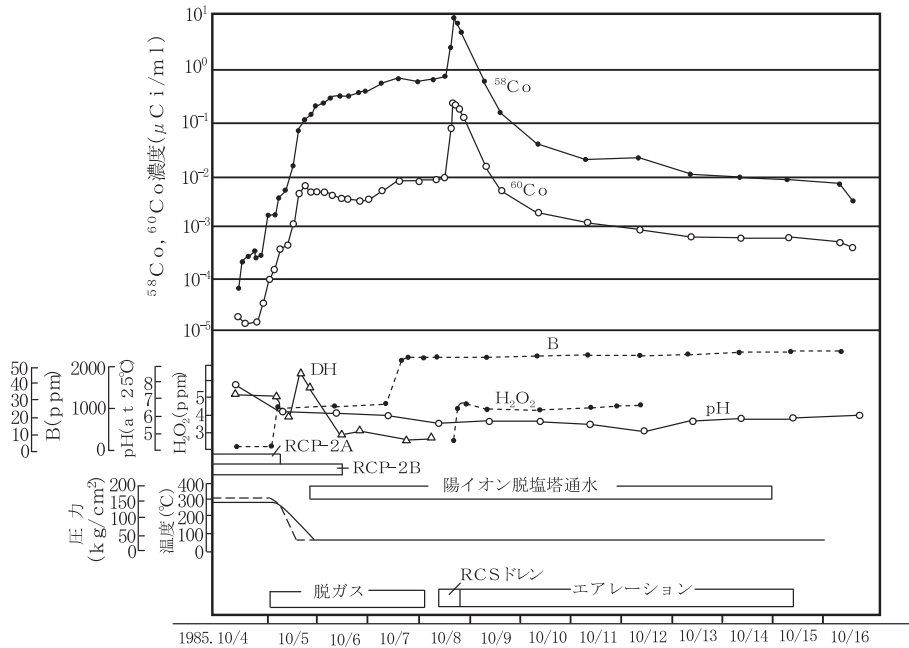
#### (1) 放射性成分除去促進(停止時の水化学管理)

プラント停止時には臨界管理のため、1次冷却材のホウ素濃度が高められ、それに伴い1次冷却材のpHが低くなる。さらに1次冷却材の降温に伴い、放射性成分および腐食生成物が溶解しやすくなり、その濃度は急上昇する。第5図にプラント停止時の放射性クラッドの濃度変化を示す<sup>2)</sup>が、その濃度は、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ で3~4桁程度にまで上昇する。PWRでは定期検査時の被ばく線源低減を図る上で、停止時の水化学管理が重要であり、系内に蓄積した放射性成分および腐食生成物を可能な限り冷却材中に溶出させて、浄化系(混床式脱塩塔)で除去することにより、系内の放射性成分インベントリーの低減を図ることができる。

現在、国内プラントでは、プラント停止時に1次冷却材系統に蓄積した腐食生成物および放射性成分の溶解促進を目的に以下の対策が実施されており、浄化系の浄化



第4図 PWR 1次冷却材の改良B-Li濃度制御



第5図 プラント停止時の放射性クラッドの濃度変化

流量も運転中の約2倍程度まで増加させている。

プラント停止時における放射性成分，腐食生成物溶解および除去促進としては，溶解度の温度，pH 依存性を考慮して次の条件下で酸化運転を実施している。

- ・冷却材 pH を低下させる
- ・冷却材温度を60℃よりも高めとする
- ・1次冷却材ポンプの運転を可能な範囲で継続する
- ・1次冷却材満水状態で，浄化期間を可能な範囲で長くする

また，近年では1次冷却材系統の系内に蓄積した金属 Ni (<sup>58</sup>Co の親元素) の溶解を更に促進するため，停止時に1次冷却材中の溶存水素濃度を低く (0.5~1 cc·STP/kgH<sub>2</sub>O) 維持する「外層クラッド除去運転」なども実機に適用されている。

(2) 放射性成分の取込み抑制(亜鉛注入)

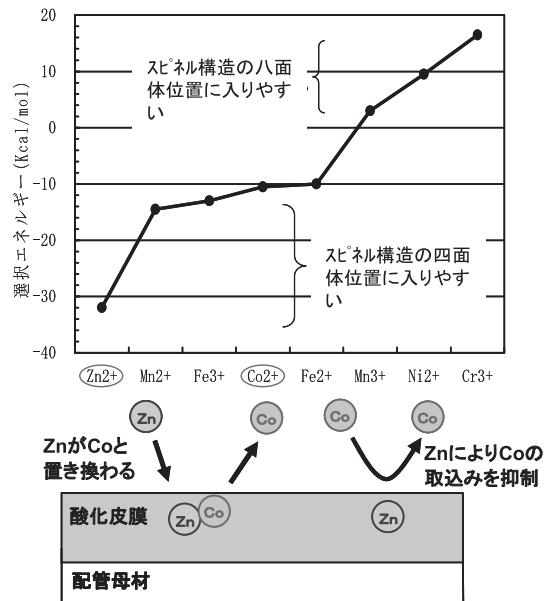
最近，新たな被ばく線源低減対策として1次冷却材への亜鉛注入が着目されている。

実機の1次系配管・機器表面酸化皮膜を調査した結果，付着クラッドと外層酸化物の元素組成はほぼ同じで，Ni と Fe が主成分であるが，内層酸化物は Cr 組成が高く緻密であり，腐食に対する保護皮膜の性質を有している。腐食生成物は外層酸化物中に比較的多く存在するが，主要被ばく線源である放射性 Co の分布は内層酸化物中に高い割合で存在している。そのため，線源低減には内層酸化物中の放射能を低下させる必要がある。

亜鉛注入技術は当初，米国 BWR プラントにおいて適用され，良好な結果であるとの報告がされた。その後，PWR 1次系水質条件においても亜鉛注入により，放射性 Co の蓄積抑制が図れるとの試験結果が報告された。このような亜鉛注入の影響は，酸化物結晶格子の安定性

によると説明されている。第6図はスピネル格子における遷移金属の8面体位置での安定性を示したもので，選択エネルギーが負のイオンは逆に4面体位置に入りやすいことを示している。Zn は Co に比べ，スピネル構造を有するクロマイト(内層酸化物)の四面体位置に取り込まれやすく，Zn が存在すると，Co はクロマイトに相対的に入りにくくなり，内層酸化物への放射性 Co の沈着が抑制されると考えられている。

亜鉛注入の PWR プラントへの適用は，1994年に米国 Farley 2 において EPRI により始めて実機試験が実施され，亜鉛注入による配管機器の線量率低減効果が確認された。また，国内では平成7年度から13年度にかけて原



第6図 亜鉛注入の放射性腐食生成物取込み抑制効果

子力発電技術機構にてインコネル600合金をはじめとする1次系構成材料の材料試験が実施されており、海外での実績やインパイループ試験結果を基に亜鉛注入による線源低減効果並びに材料健全性を確認した。この結果を受けて、平成17年度以降、日本原子力発電(株)敦賀2号機や関西電力(株)高浜4号機などで、被ばく線源低減を目的に亜鉛注入を実施している。これらのプラントの定期検査時の配管機器線量率は注入前に比べ、約20%低下しており、今後、他プラントにも水平展開される予定である。

#### IV. おわりに

我が国の放射線業務従事者の被ばく線量は、これら原子炉水化学の寄与もあり、プラント数の増加とは相反して1990年まで諸外国の「集団被ばく線量」に比較して良好な結果が得られていた。しかしながら1990年以降、諸外国の被ばく線量低減が進む中、我が国の「集団被ばく線量」はほぼ横ばいで推移し、最近、その優位性はなくなっている。

この理由としては、作業環境線量率は同程度であるものの、諸外国との作業量に違いがあることが挙げられ、多角的な視点で集団被ばく線量の低減に取り組むことに重点がおかれつつある。世界的規模で環境問題が問われており、原子力の価値が注目されているなか、原子力の安心を獲得するためにも更なる水化学の発展が期待される。

#### —参考資料—

- 1) S. Uchida, M. Miki, T. Masuda, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **24**, 593(1987).
- 2) 日本原子力学会編, 原子力水化学ハンドブック, コロナ社, (2000).
- 3) 13th Int. Conf. on Nuclear Engineering“Experience of Water Chemistry Control at Hamaoka Nuclear Power Station”, May 16-20, 2005).

#### 著者紹介

實重宏明(さねしげ・ひろあき)



東京電力(株)  
(専門分野/関心分野)原子力発電所における化学管理と放射線計測ならびに作業環境線量率の低減

塚本雅明(つかもと・まさあき)



関西電力(株)  
(専門分野/関心分野)原子力発電所における化学管理と排水管理ならびに被ばく低減

## 座談会

# 日本原子力学会関西支部 創立50周年記念式典

日本原子力学会関西支部長 鈎 孝幸

日本原子力学会関西支部では、平成21年5月13日(水)に創立50周年を迎え、大阪大学中之島センターにおいて、記念式典を行うとともに、第6回関西支部賞の贈呈式および懇親会を行った。

(共催：関西原子力懇談会) <参加者165名>



創立50周年記念式典風景

### I. 記念講演

東京大学大学院教授の田中知氏に「原子力新時代の幕開け」と題し、真の意味での原子力の幕開けを迎えるために、原子力のあるべき将来について展望いただいた。組織の壁、地域の壁、年齢の壁、時代の壁などさまざまな壁を取り払うことにより、将来、真の幕開けを迎えることができ、そのためには今後関西の力が国や世界のために貢献していくことが重要であると指摘された。



田中氏の記念講演

### II. 関西支部歴代支部長による座談会 —関西支部活動を振り返って

○登壇者<敬称略>

木村 逸郎(京都大学名誉教授)

西原 英晃(京都大学名誉教授)

山崎 吉秀(元電源開発副社長)

宮崎 慶次(大阪大学名誉教授)

堀池 寛(大阪大学教授)

(司会)鈎 孝幸(関西電力執行役員, 現関西支部長)

鈎 関西支部の支部長を務められました方々に集まっていたいただき、関西支部の50年を振り返ってみたいと思います。

独断で、50年間を、黎明期、拡大期、停滞期とルネッサンス期に区分しました。早速、原子力学会関西支部が発足した黎明期(昭和30年代)から始めさせていただきます。

#### 1. 黎明期(昭和30年代)

鈎 アイゼンハワー大統領の「Atoms for Peace」演説を受け、原子力の平和利用が認められ、本格的に官民での研究開発活動が開始されました。日本国内でも官民あげ

て原子力の平和利用の気運が盛り上がり、関係法令の整備が行われるとともに、原子力委員会が発足し、原子力開発に関する原子力長期計画がまとめられました。この中央の動きに呼応し、関西においても研究炉の建設を求める動きが起きました。

西原 当時、私はまだ学生でしたが、関西で原子力研究が非常にホットになってきたのは、「Atoms for Peace」以前から十分に素地があったということが非常に重要なことではないかと思います。そういう中で、京都大学、大阪大学とも関西の原子炉を自分たちでつくるぞという計画を立てていたのですが、昭和31年に関西研究用原子炉設置準備委員会が発足して、どこに原子炉を設置するかということで、両大学とも相当悩んできたわけです。

昔の先生方がいろいろ書かれたものを改めて読ませていただいたのですが、こういうプロジェクトをやるのに粉骨砕身というか、自分たちが原子力の研究をやるのだという意気込み、それはものすごいものがあつたと感じました。またいろいろな地方自治体との交渉をやっているかといけないということでは、施設の立地問題もすでに経験していたわけです。

実際、原子力研究開発とはどういうものかということや社会の皆さんは知りません。また、戦争が終わってまだそれほど時間がたっていなかったため、原子爆弾に対する恐怖もありますし、「何かあつたら怖い」という心理は非常に残っていたのではないかと思います。

こういうことを克服してきて、熊取の地で関西原子炉を作るようになったわけです。50年前(昭和34年)に、熊取町で誘致決議をしていただき、昭和36年にやっと起工式ができました。

それから、戦争が終わった後で研究費なども非常に疲弊していましたので、物理系の方、特にある思想的なグループの方たち等は非常にネガティブであつたと思います。そういうことを全部克服して、共同利用ということや前に立てて、京大の熊取の原子炉ができました。また、地元の問題がござりますが、大阪府が大阪府原子炉問題審議会をつくられて、その中で十分取り持ち役をしてくださって今日に至っているということなので、現在の日本の原子力の縮図が黎明期にすでにあつたということかな、と思います。

鈎 関西地域では、東京とともに大学における原子力研究への取組みが早く、京都大学、大阪大学、近畿大学等で学科、専攻の創設が行われるとともに、近畿大学ではいち早く東京晴海の国際見本市で米国が展示した教育用原子炉を導入し、昭和36年には、民間・大学で初の臨界を達成しています。

また、産業界では関西電力が電力需要の急激な拡大を受け、原子力発電に注目して調査研究活動を開始し、発



左から、鈎 孝幸、木村逸郎、西原英晃、山崎吉秀、宮崎慶次、堀池 寛の各登壇者

電プラントの選定に加え、原子力立地の適地を探し始めています。

さらに、放射線利用の面では大阪府立放射線中央研究所が設立され、本格的な放射線照射試験等が進められました。このように昭和30年代は関西における原子力の黎明期で、原子力開発、研究に力をいれていこうという意気込みが盛り上がった時代であつたと思います。

宮崎 私は昭和34年、工学部電気工学科の学生でしたが、卒研は大学院原子力吹田研(吹田徳雄先生：初代原子力安全委員会委員長)のお世話になりました。

京大炉の安全性の説明をするために「ピラを配ってこい」といわれて、初回は非常に歓迎されたのですが、正式決定前に公表されて激しい反対運動に変わり、2回目に行った時には、子供に石を投げられる、犬をけしかけられると、さんざんな目に遭ったのを記憶しております。黎明期から激しい反対運動の素地があつたということです。

もう1つは、理学と工学の対立が日本学術会議でありまして、原子力というのは多額の予算を使いますので、他分野から白眼視される要素も潜在していたということであろうと思います。

伏見康治先生は、後に停滞期で東京大学が名称を変更したころに、東京での原子力学会の懇親会の挨拶で、先人、特に、吹田先生、柴田俊一先生の名前を挙げられまして、「原子力に対する逆風は当初からあり、彼らがやった努力に比べれば、この程度の逆風は何たることか。こんなことで学科の名称を変更するとはもつてのほかだ」と、いわれました。

当時、大阪大学は、私は絶対に名前は変えないと決意し、マスコミに公言し、安心していただけですが、大阪大学でもとうとう変えてしまいました。このように檄を飛ばされたということを、関西の方はあまりご存知ないと思いますので、ご紹介しておきたいと思います。

## 2. 拡大期(昭和40~60年代)

鈎 40年代になると、大学における研究開発活動の盛り上がりと呼応するかのようになり、産業界でも原子力発電プラント建設が進み、敦賀1号機、美浜1号機が相次いで建設され、大阪万博にあわせて初送電に成功したことが昨日のように思い出されるようです。

製造業界においても国産化への取組みが始まり、昭和45年には三菱重工神戸造船所で美浜2号用蒸気発生器が製造・出荷され、昭和49年には原子燃料工業熊取工場から美浜2号用燃料が製造・出荷されています。

また、軽水冷却重水減速炉の原型炉「ふげん」の建設、プルトニウムリサイクルによる国産エネルギー確保を狙った高速増殖炉の原型炉「もんじゅ」の開発が軌道にのり、原子力の利用は最高潮になるかと思われました。

さらに、このころは、原子力船の開発にも取り組まれており、神戸商船大学にも原子力動力学科が開設されるとともに、原子力船「むつ」が臨界に達したのもこの時期です。また、核分裂反応に加え、核融合反応によるエネルギー利用研究も大型の研究施設として、大阪大学のレーザー核融合研究センター、京都大学のヘリオトロン核融合研究センターが発足されていきました。

放射線利用の面では、日本アイソトープ協会の甲賀研究所が昭和56年に設立され、大型の放射線照射が関西でもできるような環境が整備されています。この時期の前半ころはまさしく拡大期と呼ぶにふさわしい時代だったと思われまます。

山崎 昭和40年代から昭和の終わりころといえば、美浜、高浜、大飯と急ピッチで建設が進んでいった時代です。トラブル続きの日々でして、SCC、疲労破壊などにより機器、配管が損傷したり、またバルブグランドや継手から漏れを起こしたり、冷却材ポンプのシール不調、燃料は曲がりや流動振動での損傷を起こし、また電気製品はプリント基板の製品不良などがありました。急ピッチの建設のため、先行プラントの経験を次に十分活かすこともできなくて、燃料取替までの約1年間の連続運転など、夢のまた夢で、設備利用率も50%にも達しない惨憺たる有様でした。TQCの導入で発想の転換を図るなど、昭和60年ころになりやっと70%台に乗り、いわゆる商売ベースに乗った時代とってよいかと思えます。そのような状況下ですから、学に対しての気持ちはずっと引っかかっていたのですが、昭和の末になるまで目を向ける余裕すらなく、申し訳ないことをしたと思っています。

## 3. 停滞期(平成元年~15年)

鈎 美浜2号機蒸気発生器(SG)伝熱管損傷事故をはじめとして、もんじゅ2次系Na漏れ事故、動燃アスファルト火災爆発事故、JCO臨界事故、さらには東電トラ

ブル隠し問題と続き、まさに原子力界には逆風が吹きつける厳しい時代となりました。大学での原子力工学科の人気の低落し、相次いで原子力工学科の看板を量子工学科等に名称変更せざるを得ない状況になりました。

また、グリーン・ピースに代表されるように環境保護活動が盛り上がり、原子力反対派の運動が活発化するなど、一般社会の理解を得るための活動の重要性が認識されるようになり、中立的な立場である学会からの情報発信の重要性が高まってきました。

木村 私が支部長を仰せつかっている間の大きなことは、やはり関西電力美浜2号機のSGの事故でして、近畿大学で開かれた原子力学会の年会でその説明会をやるうということになり、私自身、座長を仰せつかったのが思い出されます。

その後、学会ではこうした事故あるいは問題を取り上げて説明会を開いていますが、そのきっかけとなった非常に意義深いものだったと思います。

鈎 この時期に始められたのが大阪府立放射線中央研究所の「みんなのくらしと放射線展」、[原子力オープンスクール]、近畿大学の「なるほど原子力展」などであり、これらの活動は現在に至るまで、継続され、多くの人に理解の輪を広げていただいています。

一方で、SPRING-8、若狭湾エネルギー研究センターなど、放射線を利用する施設が各地に整備されるようになり、放射線利用の裾野が徐々に広がりをみせてきました。

堀池 原子力オープンスクール活動は、13年ほど続いている活動です。発足当時はみんな若手の、新進の助教授とか助手の先生ばかりでして、今はもう大ベテランになっておられます。現在でもこの活動は続いており、例えば、米村でんじろうさんが10年ぐらい前からこういう活動を続けてきておられるということで、そういったことが関西支部の活動の中で、社会的にも重要な効果をもたらしていると自負しているのではないかと思うわけです。

私の今日のお願いは、活動を続けてこられた先生が、13年たってみんな立派な教授になってしまっておられるので、この際どんどん新しい助教や准教授を入れていただいて、さらに講師陣の拡大を図っていく、それで次の世代に送っていくということが大事なことだと考えております。

## 4. 原子力カルネッサンス(平成16年以降)

鈎 21世紀になると、まず米国でTMI事故以降、新規の原子力発電所が建設されなかった状況の転換をはかる動きがきっかけとなり、ヨーロッパで長く原子力モラト

リアムをひいていたスウェーデン、イタリヤ、英国が原子力の再開をきめるなど、世界各国で環境問題やエネルギー・セキュリティの観点からの原子力見直しの機運が高まってきました。今では先進国だけではなく、中国、インドを筆頭に、発展途上国にもこの動きは広がりをみせています。

日本でもこの動きに呼応する形で盛り上がりを見せ、原子力立国計画が策定されるなど、国として原子力利用の推進を明確に打ち出すようになりました。

産、官でこのように積極的な動きをしているなかで最近、将来の原子力を支える人材育成が大きな課題になりつつあります。

福井県においては「エネルギー研究開発拠点化計画」が平成17年に策定され、福井県に集積されている各種原子力関係施設の有効活用や、原子力関係の人材養成を主眼とした福井大学の国際原子力工学研究所の新設など原子力を盛り上げる動きも出てきています。

このように、福井と関西地域のつながりは密接さを増しており、この計画と連携し、関西地域の研究・教育体制の再構築をはかるべく、今後、一丸となって取り組んでいくことが必要になっていると思われま

木村 福井では、ご存じのように県が中心になり、「エネルギー研究開発拠点化計画」が動いております。これは福井県には、敦賀1号機、美浜1号機を始め、もんじゅ、ふげんも入れて合計15基もの原子力発電所があり、技術レベルは高く、人材もたくさんいるという状況なので、単に電気を起こす工場という立場に留めるのではなく、技術と人材を生かすことにより、わが国の中心的なエネルギー研究開発地域の一つにしようということでもあります。

大きな柱として、「安全・安心の確保」、「研究開発拠点」、「人材育成・交流」および「産業の創生・育成」があります。

この中で、「人材」に関しては、5年前に福井大学が原子力関係の専攻を設置しており、また今年4月には、国際原子力工学研究所も設立されました。

また福井工業大学でも、原子力関係の学科が設置されております。全体としても、あるいは大学関係に限っても、学会との関係が非常に深いはずですが、これまで学会は福井県の研究開発拠点化計画に対して関与がやや少なかつたのではないかと考えております。特に、関西支部としては、今後はもっと積極的に関与していただければと思います。

ただ、問題としては、福井県には、いわゆる嶺北地区と嶺南地区がありまして、嶺北は学会中部支部に所属しており、嶺南はこの関西支部に入っております。

この拠点化計画の中で、私どもは大学等の広域連携という形で進めるようお手伝いもしてきました。それは、少なくとも福井地区、それから関西と中部地区が一致協力してやろうということでもあります。このような福井・関西・中部の三角形の連携が学会としても今後必要ではないかと思ひます。このような広域連携という点では、むしろ学会の方が遅れているのではないのでしょうか。今後、関西支部は中部支部とも連携し、福井地区とも協力した連携を推進していただきたいと思ひます。

山崎 学界に対して期待ないしお願いを一言申し上げたいと思ひます。

原子力は放射線利用の面でも、またエネルギー利用の面でも、この50年の間に目覚ましい発展を遂げました。

しかし、エネルギー利用の面で、安定供給や地球環境問題でも、原子力はかけがえのないものとしてどんどんやれ、という雰囲気はまだ一向になっていないように思ひます。この大きな要因の一つに、極めて単純に表現できる構図があると思ひます。すなわち、事業者がトラブルを出すとマスコミがこれを喧伝し、世間に不信不安が募るようになり、そして行政は指導監督を強め、規制を強化し、これで大丈夫とのスタンスをとります。

しかし工学の世界では、トラブルはある頻度で発生し、同じことが繰り返されるという悪循環の構図があります。

ここで問題は、発生したトラブルが原子力の安全という必須条件に照らしてみても、工学的にどうなのかという点であります。行政の指導監督を厳しく受けながら、原子力安全を限りなく追求しているからこそ、機械は故障するもの、人はミスをするものとの前提で発電所は造り込んであります。だから、今まで原子力安全に係わって世間に迷惑をかけない実績も続けています。この点、従来から、世間へのアナウンスが弱かつたと思ひますし、もっと積極的に伝えるべきだったと思ひます。そのことなしに悪の循環構造を断ち切ることはできないと思ひます。行政ですら、まして事業者はなおさら世間から色メガネで見られているだけに、第三者としての専門家、学の世界からの冷静な工学的意味合いを、わかりやすく情報発信することに大いなる期待をする次第です。そのためには常に緊密な情報連携が欠かせないといえます。

鈎 これでは、本日の座談会を終わらせていただきたいと思ひます。皆様どうもありがとうございました。

(お断り) 誌面の都合により、座談会の内容は一部省略して掲載しています。

(2009年 8月6日記)


 談話室

 IAEA 版 JCO 臨界事故調査報告  
 LESSONS LEARNED FROM THE JCO NUCLEAR  
 CRITICALITY ACCIDENT IN JAPAN IN 1999の発表まで

大阪大学 名誉教授 住田 健二

## JCO 事故の英文総合報告書がなかった

茨城県東海村にある JCO 核燃料加工工場で、1999年9月30日に発生した日本最初の臨界事故については、数多くの報告や解説書が刊行されている。その立場も多彩であり、一般向けの解説書やパンフレットのなまでのまですると、数十点に及ぶであろう。しかし、不思議なことに、この事故を総合的にまとめた報告書で、しかも国際的要望に応えうる適切な欧文で書かれたものはどこにも存在していなかった。

事故直後の1999年末に原子力安全委員会がまとめた報告書<sup>1)</sup>は、当時の政府からの政策提言のバックアップの役割が強く、科学技術面からもまだ十分な調査や検討が行えない時期に発表を余儀なくされたもので、それも日本語版しか公開されていない。また、上記の和文報告書にも、その緊急中間報告的な性格を述べ、後日の精査・再検討の必要性が明記されていた。

この報告書は、原子力安全委員会所属の特別調査委員会の報告書とされているが、その実態は当時の科学技術庁の全面的なバックアップによる短期間の特別対応組織によって作成された。原子力安全委員会事務局や科学技術庁原子力安全局燃料規制課もちろん、その中核にはいたが、全面的な作業の中核となるだけの性格は与えられていなかった。

しかも、折り悪しく、いわゆる行政改革の時期に遭遇して、核燃料関連の多段規制の第1段担当は原子力安全・保安院へ移され、以前の科学技術庁は文部省と統合されたため、原子力開発の安全規制は文部科学省の担当から外れることになった。つまり、日本政府としては、この事故への当面の行政面での継続的な後始末をすべき者はあっても、過去の事実を精査し、確証を確保・保存する機関は明示されないで行革による組織改正が終わったのであった。

もちろん事故当時にその対応へ実務面における全面的な協力を要請された機関、たとえば当時の日本原子力研究所や放射線医学総合研究所では、その後もかなりの期間にわたりさらに研究や調査が進行されて、それぞれの所掌において自発的報告を発表し続けたのであるが、これらの努力を総括するような政府全体の要となるべき場が不鮮明な状態は残った。

一方、日本原子力学会では、まず常設の原子力安全調査委員会(関本博委員長)がいち早く全体的な事故の調査

活動に入り、さらに専門性の立場から、いくつかの委員会がこれに続き、その報告は事故の翌年頃には次々と発表されている。また、原子力関連の部会や研究グループを持つ他の学協会や研究・調査機関も並行してそれぞれの立場から調査を進めている。これらの段階で、原子力学会を含む多くの学協会での国内での定例の年会等での研究発表の外に、日本学術会議等での学際的なシンポジウムや討論会も開かれ、分野を超えた交流がなされたことも忘れてはならない。また、多くの関係者が、海外での報告や討論に参加して、国際的な交流にも努力を重ねたのであるが、この段階でも、日本政府を全体として総括する立場からの調査報告はついに提出されていない。

日本原子力学会では、多数の会員からの提言に対応して、少なくともこの事故に関連する事実関係や背景を整理し、自らの反省に資するのみならず、広く他分野の心ある人々の調査や研究にも役立つ少し長期的かつ大がかりな調査活動を行うことになり、2000年度には JCO 事故調査委員会(成合英樹委員長=当時)を設置した。その成果が、2005年に発刊された日本原子力学会の大部な報告書<sup>2)</sup>である。これは、この事故の総合的な再調査の成果であり、その内容も日本原子力学会の春秋の大会等での公開討論の場での検討を経ており、煮詰まったものとの評価を得ている。そして、これは、文部科学省の学術出版物補助を受けて出版することができて国内的には広く利用が可能となり、本事故に関連したもっとも代表的な文献として、多くの場面でよく引用されてきている。

しかしながら、私達の学会の自発的な努力では、日本語版の完成までが精一杯であって、方々から要請された欧文版の作成にはついに力が及ばなかった。

また、残念なことに、会員の活動分野の制約もあって、この事故の重要な医療関係についての適切なまとめの部門を含んでいなかったが、これについては、主たる対応機関の放射線医学総合研究所から限定配布ながらすでに総合的な英文報告が提出されている<sup>3)</sup>。別の面ではその後も、個々の問題点については、しかるべき国際会議等で行われた多数の報告が、主に英文の資料として残されているが、事故の経過のみならず、その背景にまでさかのぼり、許認可の事実関係までを含めた総合的に検討がなされた資料はやはり乏しい。当時進行中であった水戸地裁での刑事裁判に提出された資料類の技術的な調査も、学会報告の作成にも反映されたが、事故時の経過細



部も各方面から出された報告には、微妙な食い違いがある等々で、海外の専門家からの質問に答えるためにも、まずわれわれ関係者自身も、これらを取りまとめた「定番」の欧文報告書が欲しいと思っていたのが現実であった。

### IAEA の国際的な調査に学会が協力

おりから、内外の要請にこたえるべく、IAEA では本件についての国際的な調査を立ち上げることになり、2004年10月には第1回のWGがウィーンで開かれ、日本からも5名が参加した。また、日本原子力学会でもそれへの協力を視野に入れて、既設のJCO 臨界事故調査委員会を改組して、同事故国際調査協力特別委員会(田中俊一委員長)として対応することとした。

その後、この両者が協力して主にインターネットによる質疑討論を重ねて内容を煮詰め、2007年頃からは、各担当から寄せられた各章のドラフト版への質問やコメントをもとに、総括的な反省を含め、再度にわたる国際的なコメント募集も行って、2008年初頭にはほぼ内容が固まった。そしてIAEA 内部での諸手続きを経て、さる4月下旬にA4判120頁余、本文12章付録4編に及ぶかなり大分なものが、このほど公開の運びとなったのであった。

この段階での作業での、多分野に及ぶ国際的な需要に対応できるような記述の洗練には、IAEA 事務局の担当者を中心とした努力の反映が大きく寄与している。反面、事実関係や技術面での追加説明では、ほとんど日本側から材料提供で足り、もちろん説明の不足や不備が補足されたものの、格別に新しい問題点が指摘され、国際的な議論を呼ぶものは出てこなかった。

完成されたこのまとめは、整った印刷物の報告書の形式では公表されず、この電子媒体による発表という新しい時代への対応が採用された。これまでの同種の臨界事故でのIAEA の取扱いの前例に習わないこの対応については、種々の意見がありうる。しかし、印刷・出版への経済的な制約もあり、またこの調査のための最初の会合が開かれてからすでに5年以上の月日が経過しており、さらなる時間的遅れを生じて、事故発生10周年を迎えても、なお欧文の総合報告が存在しないという状態を避け、国際的な多くの利用者の便に寄与するためには、やむをえない対応であった。IAEA の出版物の形式的な権威をかささずに、これだけの内容であれば、実質的な国際的情報交換の目的には十分役立つであろうというのが、関係者一同の期待する所であった。

なお、この報告書が、取りまとめを経て得られた反省の報告にとどまって、今後のさらなる研究発展や安全規制面での具体的な積極的提言等に及んでいないという批

判もありえよう。しかし、それは個々の研究者、技術者たちが今後それぞれの場において強く主張すべきものであり、学会としてはそうした議論での共通認識の場を確保しえたところで、主務委員会としての任務は果たしえたと考えている。

なお最後に付記しておきたいことは、こうした調査が、あくまで学会の自発的な事業として実施され、関連した会員の自発的な作業として、周囲の理解ある支持を背景に進められたものである点についてである。こうした、日本原子力学会とその周辺からの多くの支持によって、私達の作業が一応の目標に到達できたと報告できることは、関係者一同が深く感謝するところである。

なお、この報告書の全文は、IAEA の HP に

<http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/tokaimura-report.pdf>

<http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/tokaimura-report-figures-photos.pdf>

として、2分して掲載されている。両者を合わせて利用されたい。

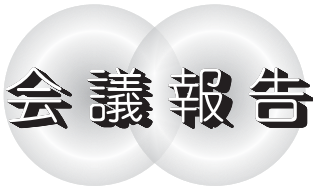
### IAEA 報告書・内容

- 第1章 序
- 第2章 事故時の日本における核燃料開発、関連産業および関連規制の概要
- 第3章 JCO の敷地と工場
- 第4章 JCO 操業時よりの経過。  
許認可関連、施設・運転等の変化、臨界リスクへの諸対応
- 第5章 臨界事故
- 第6章 緊急事態への対応
- 第7章 線量評価
- 第8章 被曝医療対応と公衆健康対応
- 第9章 事故の直接原因と背景の分析
- 第10章 事故後における規制法令の改定と行政組織の改善
- 第11章 事故より得られた教訓。
- 第12章 結論

(2009年 9月9日記)

### —参考資料—

- 1) 原子力安全委員会、ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告、(1999)。
- 2) 日本原子力学会、JCO 臨界事故。その全貌の解明、東海大学出版会、(2005)。
- 3) H. Murata, M. Akashi, The report of the criticality accident in a uranium conversion test plant in Tokaimura, (2002)。



## 日・韓・中を中心とするアジア地域における 放射線工学分野の会合

「放射線安全と計測技術に関する国際シンポジウム(ISORD-5)」報告

The 5 th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology

2009年7月15～17日(北九州市)

放射線工学の分野では、2001年から隔年開催で、日本、韓国、中国を中心としたアジア地域において、放射線安全と計測技術に関する国際シンポジウム(International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology: ISORD)が開催されている。第5回は九州大学がホスト機関となり、北九州国際会議場で7月15～18日の3日間開催した。General Chairは、中村尚司名誉教授(東北大学 CYRIC), Co-Chairは、Jon Kyung Kim教授(韓国・ハンヤン大学 iTRS)と Yiren Xuan教授(中国 CIRP)であった。

北九州国際会議場は、北九州市の JR 小倉駅から徒歩で5分程度の非常に便利な場所にある。従来、一連の会議のトピックは、放射線の輸送と遮蔽、ドシメトリー、センサー開発と検出技術、環境放射線監視、放射線防護指針、リスク管理、現在抱えている問題である。しかし、近年、放射線の医学利用が進展していることから、今回は医学利用に関するトピックを新たに設けた。参加者数は日本、韓国、中国などを中心に6ヵ国から211名であった。日本からは北海道大、名古屋大、京都大、九州大などの大学や日本原子力研究開発機構、放射線医学総合研究所などの研究機関や民間企業から116名が参加した。発表件数は招待講演6件、口頭発表67件、ポスター発表146件の合計217件であった。プロシーディングスを充実させ J. Nucl. Sci. Technol. の別冊としたことにより、200件以上の講演数になったようである。

開会式において、General Chairである東北大の中村氏、ハンヤン大の J.K. Kim 氏、CIRP の Y. Xuan 氏による挨拶がなされた。招待講演は、初日に、RIST の仁井田氏による「粒子・重イオン輸送計算コード開発の現状」と CIRP の R. Yao 氏による「リスクアセスメントにおける大気中の放射性物質の拡散と緊急対応」の2件、翌日に KINS の K.W. Cho 氏による韓国の「放射線安全研究の現状」と Nuclear Malaysia の N.M. Ali 氏による「マ

レーシアにおける放射線防護の発展と展望」の2件があった。

筆者らにとって関心が高い遮蔽や検出技術などの領域では、日本からは、加速器施設の遮蔽等の安全設計に重要となる高エネルギー粒子の輸送現象に関する実験とシミュレーションコードの比較、医療用加速器施設における2次中性子の影響の測定に関する講演が興味深かった。一方、韓国からは、世界で使用されている粒子輸送コードの相互比較や粒子輸送コードを使った粒子線治療のシミュレーションに関する研究の報告が多く、粒子輸送計算コードが急速に普及していることを実感した。中国からは、環境中におけるラドンなどの放射性物質の監視などに関する発表が多く、原子力発電所建設を計画しているためか環境問題への取組みが重要になっているようである。

また、一般の関心が高い放射線医療技術に関する領域では、陽子・重イオン治療のための加速器施設、中性子によるホウ素中性子捕獲療法の放射線工学的観点からの講演、サイバーナイフ等の高度なガンマ線治療装置に関する線量評価などに関する講演が多かった。

新しいシンチレータの開発などの放射線検出器技術に関する研究や環境放射線の測定評価に関する研究に関するポスター発表の周辺では、活発な議論が展開されていた。日本、韓国および中国を中心としたアジアにおいては、遮蔽設計や粒子線治療シミュレーションに必要な光子、中性子、重イオンなどの粒子輸送計算コードの開発、高速応答で高感度の新しいシンチレータの開発、環境中における放射線測定の高精度化などに関する研究が積極的に進められるように感じられた。

次回は2011年にマレーシアで開催される予定である。

(九州大学・前畑京介, 執行信寛,

2009年8月24日記)

## 支部便り

### 関東・甲越支部 電気の史料館見学会および講演会

2009年6月26日(東京電力(株)電気の史料館, 横浜市)

電気の史料館\*では、「明治時代から先人達の英知と努力により築かれてきた“電気作りの精神”を次の世代に語り継いでいくこと」を基本コンセプトに、歴史的意義のある実物や実機が数多く展示され、日本の電気事業、120年の歴史を語る貴重な空間が広がっている。

関東・甲越支部では毎年、原子力学会員を主な対象に、原子力発電の基盤である電気事業の発展の歴史と電気事業に関わるトピックスについて学び、電気事業における原子力発電の役割を再認識することを目的に、この電気の史料館の見学と講演会を開催している。

今年は、6月26日(金)に開催し、大学、研究機関、企業関係者および学生など43名が参加した。

#### 講演会

史料館の見学前に行われた講演では、最近、脚光を浴びている電気自動車について、東京電力(株)技術開発研究所電動推進グループの姉川尚史マネージャーから東京電力の取組みが紹介され、その後、電気自動車の試乗を体験した。試乗した参加者からは、とても静か、加速がスムーズ、快適な車だといった意見が多く、電気自動車はとても好評であった。

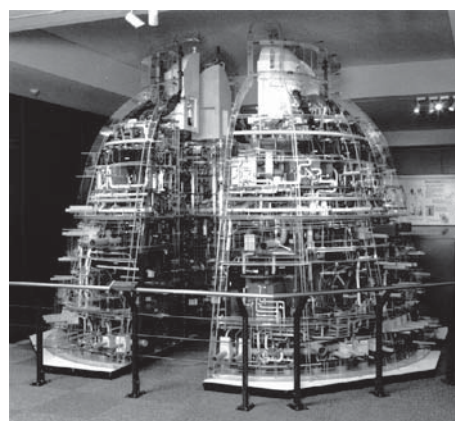
電気自動車は、走行中に全くCO<sub>2</sub>を排出しないことから、運輸部門における最も効果的なCO<sub>2</sub>削減方策として注目されている。しかし、その電源には、CO<sub>2</sub>の排出を伴わない発電方式が求められ、とりわけ、原子力発電の役割は重要である。

電気自動車は、鉛電池が使われていた1990年代前半頃は、遅い、重い、走らないといった評価を受けていた。その後、ニッケル水素、リチウムイオン電池が使われるようになり、1990年代後半には1回の充電で走行できる航続距離が100 kmを越えるようになったが、とても高価なため普及には至らなかった。2000年に入ると軽量小型で短距離仕様の電気自動車が開発され、価格は下がったが、電池の寿命がまだ課題となっていた。現在では、寿命が長く、高性能なリチウムイオン電池を採用して安定した性能を実現できるようになり、近距離移動用として軽量小型車両にすることで電池の量を減らして価格を抑えていく開発方針が採られている。そして、東京電力

では、電気自動車の航続距離不足を補うために、充電設備の充実を図っているとのことである。

#### 電気の史料館見学会

講演会後に行われた電気の史料館の見学会では、電気の120年の歴史をその時代背景や社会情勢を交えて紹介する映像で、電気の歴史を学んだ後、ガイドツアーにより、エジソンが開発した白熱電球や直流発電機の実物、100年前に国内で使われていた水力式自家発電機、70年前に東洋一の発電所出力を誇っていた信濃川発電所で使われていた水車発電機や戦後復興期に米国から輸入された大容量新鋭火力1号機のタービン発電機などを史料館の専門家から説明を聞きながら見学した。見学した展示物はすべて歴史的に貴重な実物であり、また実際に使われていた水車やタービンの内部構造やBWR格納容器(MARK-II改良型)の設計・工事に使われていたプラントエンジニアリングモデルにより膨大な量の機器・配管が緻密に配置・構成されている様子を直接見ることができ、電気事業の技術の歴史を直接肌で感じ、学ぶことができた。



BWR MARK-II改良型原子炉格納容器内のエンジニアリングモデル(「電気の史料館」提供)

\*電気の史料館ホームページ

<http://www.tepco.co.jp/shiryokan/index-j.html>

(支部企画委員・猪飼正身, 2009年7月3日記)

## ヴィクトル・ユゴーが描いた世界

European Nuclear Education Network Association 久住 涼子

### 1. ENEN とは

1940年代から始まった軍事利用を礎として、原子力の平和利用は始まりました。1970年代にひとつのピークを迎えましたが、1979年のスリーマイルや1986年のチェルノブイリ事故などの影響で一時減速しました。しかし、近年、伝統的なエネルギー資源の枯渇、環境問題とも関連して、再びその役割が見直され、期待が高まっています。

そのような中、2000年、経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)が原子力分野における人材育成の重要性を強調し、欧州では、前年の高等教育の拡充を図るボローニャ宣言を受ける形で、欧州の将来戦略を示したリスボンサミットが開催されました。

この時期、欧州委員会(EC)による公募プロジェクト

のひとつとして始まった European Nuclear Engineering Network (ENEN) プロジェクトは、2年間の議論を経て、2003年、フランスに籍を置く独立した法人として、European Nuclear Education Network (ENEN) Association を発足させました。ENEN は、欧州における原子力分野の高等教育、訓練を通じた知識、知見の保存とさらなる発展を目的としています。2008年9月に設立5周年を迎えました。

ENEN のメンバーは、各国で原子力教育・訓練を推進する大学、研究所、企業等です。2009年5月時点、欧州17カ国、南アフリカ、ロシア、日本に51のメンバーがいます。特に、2007年以降は、国際原子力機関(IAEA)と協力し、米国、カナダ、南米、アジア等、欧州を超えた協力を進めています。

### 2. これまでの成果

「原子力分野の高等教育、訓練を通じた」と述べたとおり、ENEN の活動主眼は、主に、大学院レベルの教育、若手向けの訓練に向けられています。ENEN は、メンバーに対して一方的に援助をするタイプの組織ではなく、各メンバーが、独自の戦略、必要性、資源に応じて、ENEN という枠組みを利用することが期待されているため、その成果は様々です。修士レベルでは、近年、スイスとフランスのメンバーが新たな原子力工学の修士プログラムを始め、また、東欧のハンガリー、スロバキア、オーストリア、チェコのメンバーは、2003年から、4カ国を3週間かけて移動する原子炉物理に関する修士レベルのコースを主催しています。

また、ひとつの EC プロジェクトの成果として、1989年から導入が開始された欧州単位互換システム(ECTS: European Credit Transfer and Accumulation System)に基づき、自国以外の欧州の国で一定の単



ENEN 参加機関の分布(ヨーロッパのみ表示)



European Master 授与の様子

位を取得した学生には、自国の修士号に付随する形で「European Master of Science in Nuclear Engineering」が与えられています。これは現時点では原子力工学分野に限られていますが、放射線防護、廃棄物処理、また、原子力安全、セキュリティの分野でも同様の試みがあり、これは、将来の戦力として、広く欧州レベルで教育を受けた学生への期待が高まっていることを示しています。

博士課程の学生向け教育、あるいは、若手研究者の訓練としても、フランスをはじめ様々な ENEN メンバーが短期コースを開いています。2005年からは、EC-EUROTRANS プロジェクト下でも博士向け短期コースが設けられ、また、ENEN メンバー国から選ばれた博士課程学生の研究発表に基づいた ENEN 主催のコンテストも2007年から始まりました。こうした協力の背景には、原子力分野に進路を定める学生の不足のみならず、各大学、あるいは、国レベルでの教授、講師不足の深刻化、また、それに伴う知識、知見の散在があり、ENEN というネットワークを通じた解決と、今後の方向性を模索してきた5年間でした。2008年12月、欧州理事会は、初めて原子力分野の人材育成に関する文書を出し、ENEN の活動を歓迎するとともに、いくつかの課題を提示しました。

### 3. 新たな課題

こうして、ECTS という共通した大学単位がとれるという原子力「教育」の進展がみられています。そして、2009年からは、新たに「訓練」の分野での挑戦が始まっています。教育における ECTS, European Master のように、訓練についても同様のシステムを導入できないのか。原子力工学、放射線防護、廃棄物処理の各分野でそれぞれ EC プロジェクトが始まり、ENEN は唯一そのすべてに参加する組織として、全体の調整、促進を期待されています。ECTS を通じて国境、文化、言語を越えて学んだ学生が、就職後、新たな欧州訓練システムを通じて訓練を受けます。住居、職場の移動に関わらず、生涯を通じたキャリア形成を可能にします。そのためには、文化や言語だけではなく、どうやって欧州レベルというにふ

さわしい質を維持するのか、機密事項はいかに扱うのか等、様々な検討が必要です。

他方、今年12月には、初の試みとして、欧州の原子力関連企業と学生の直接対話、具体的な仕事やインターンシップの面接を行うイベントも予定されています。国境を越えて行われる現代の企業活動に必要な人材とは、原子力分野で働くとはどういうことか、より現実的、具体的な視点から企業と学生との橋渡しを試みています。同時に、ENEN としては、良質な参考書の作成、教育、訓練さらに就職の機会も含む包括的なデータベースの開発等、そしてより体系的なアプローチも模索中です。

### 4. これからのリーダーとは

『諸世紀の伝説』、『レ・ミゼラブル』等を著したフランスの小説家、そして政治家でもあったヴィクトル・ユゴーは、1849年8月、ヨーロッパの礎の一つとなる演説を行いました。「いつか、貴国フランス、貴国ロシア、貴国イタリア、貴国イギリス、貴国ドイツ、貴国のすべて、大陸の諸国が、それぞれの特徴や名誉ある個性を失うことなく、大きな一つのまとまりとして緊密に融合し、ヨーロッパの友愛を体現する日が訪れるだろう。」

今の時代、一握りの特別な人のみならず、私たち一人一人が、かつてないほどのスピード、情報の中で暮らしています。その中で、どう今を分析し、将来像を示していくのか、どう実現していくのか。リーダーに求められる資質はかつてとは違うはずです。

度重なる戦争を経た後に統合の道を歩み始めた欧州。私の周囲で、欧州各国から集まる同僚は、意見の相違や時には個人的な仲違いも乗り越えて、価値観を共有しようとしています。重要なことは、自分を明確に表現すること、そして他者への歩み寄りと理解の努力です。それがコミュニケーションなのだ。頭ではわかっている文化や習慣が違う相手の前ではなかなか難しいものです。「それぞれの特徴や名誉ある個性を失うことなく」やっていくことの難しさと同時に、やりがいを実感する毎日です。50年たって今なお、ゆっくり統合を深めていこうとする欧州において、ENEN もまた、数多くの挑戦の中のひとつなのだろうと思います。それを通じて、新しい時代のリーダーたちが育っていけばそれ以上に嬉しいことはないと思います。そして、この挑戦を通じて私自身が鍛えられています。今思うのは、これは欧州という狭い枠を越えた普遍的な問いなのかもしれないということです。日本は、そしてアジアは世界のなかでどのような道を選択するべきなのか……もはや原子力だけに留まらない思いが私のなかでうごめきはじめています。

ENEN Website <http://www.enen-assoc.org/>

(2009年 7月2日記)



## ⑤ 中学生の誇り，原子燃料サイクル施設 早期推進を積極的に



青森県六ヶ所村 種市 治雄

「ハイッ，六ヶ所村には原子燃料サイクル施設がありますっ！」

これは2006年11月，“午後は〇〇思いっきりテレビ”（日本テレビ）の生放送中に，スタジオにいた六ヶ所村の中学生が，みのもんだ氏の問いかけに元気よく答えた一幕だった。彼らは修学旅行で同番組を見学していたのだ。「どちらの学生ですか……六ヶ所村で何か紹介できるものはありますか？」との問いに，堂々と語ってみせたのである。この子達の態度を大変頼もしく思い同時に責任を痛感しました。かつて「陸の孤島」とまで揶揄された六ヶ所村が，近年，著しく発展し，郷土の夢と誇りを子供たちに与えてくれたことは明白なのである。

原子燃料サイクル施設の立地協力要請受諾(1985年)から20年余の歳月が経過した。地元では，事業に対する理解と期待感はますます高まる一方である。しかし，操業運転の見通しは未だ不透明である。そんななか，改めて現状の課題と私たち地域住民が何をするべきかを検証してみたい。

先の新聞報道(2009年8月31日)等で周知のように，六ヶ所再処理工場の完工が2010年10月以降に繰り延べされた。このことは，わが国の原子力政策あるいは立地地域との共生関係にどのような影響をもたらすのであろうか。すでに国内各原子力発電所における使用済み燃料の残余貯蔵量(貯蔵量12,800t)は6,800t程度とされている。青森県むつ市に建設中の中間貯蔵施設や発電所貯蔵プールのリラッキングなどで，貯蔵量の一時的な積み増しは可能だろう。しかしながら，各発電所の安定した運転に十分寄与できる数字ではない。国内で予想される使用済み燃料の年間排出量は1,000t前後(2009年は東電柏崎刈羽発電所の長期停止などで約720t)とされる。この数字から，再処理工場(処理能力800t)が，2010年度以降順調に操業運転を開始したとしても，10年以内には貯蔵能力を超過する発電所が現れてくると推察できる。

中間貯蔵施設の建設や使用済み燃料貯蔵プールの改造・増設は，手続き上の観点から一朝一夕にはできるものではない。とりわけ中間貯蔵は再処理を前提としている。よって，工場操業が遅れば中間貯蔵施設も満杯になる可能性がある。新たに貯蔵場所を検討し施設を建設するだけの時間的猶予も残されてはいない。また，再処理工場の高レベル廃棄物ガラス固化施設(ガラス溶融炉)のトラブルは，操業開始時期に大きな影響を及ぼしている。すなわち，その不具合の早期解消を図ることは操業開始にむけて最大の課題ではあるが，並行してより信頼性の

高い技術の導入あるいは他国で実績のある設備の併設や高レベル廃液貯蔵施設の増設などの再処理工程に支障を及ぼすリスクの軽減策を検討・実施することが急務である。

再処理工場の操業は，わが国の原子力政策の根幹をなす。施設の健全性を評価しつつ，部分操業などのあらゆる可能性も視野に入れるべきだろう。関係省庁・地元自治体・事業者が一体となった取組みが急務である。関係者は，2010年度内の本格操業開始に不退転の決意で臨み，その責を全うするべきである。

次に，立地地域との共生について述べたい。使用済み燃料の受入れ計画縮小，核燃料物質等取扱税および固定資産課税対象の先送りによる税収減は避けられない状況にある。しかし，これまでに建設費(2兆1,900億円)のうち4,200億円が県内に投下され，経済効果はもとより産業の高度化と育成，雇用の維持拡大に大きく寄与し共生の実績を挙げてきた。つまり原子燃料サイクル事業は，青森県の経済・産業・雇用事情を力強く駆動してきた。この既成事実は重く，今後とも，長期的な視点を欠くことなく，直接的・間接的効果を幅広くとらえて，総合的かつ客観的に評価すべきである。自主・自立の精神に基づく共生のあり方を追求する必要性を痛感するところである。青森県では，他にも原子力発電所や中間貯蔵施設などの立地が数多く進められている。これらの施設を“地域固有の資源”(末永青森大学学長言)として捉え，あらゆる可能性を引き出し地域振興・産業振興の原動力と位置づけることは当為である。「青森県エネルギー産業振興戦略」にもそのように明確に示されていることは，原子力産業に対する地元の期待感の現れである。

国家国民経済の源であるエネルギー資源の安全確保は，現役世代の私たちに課せられた大きな使命である。確かな未来を次世代に引き継ぐために何をするべきなのか考え，行動することが今まさに望まれているはずなのである。冒頭で紹介したように，彼ら中学生達は地域に未来を託し，夢を形に変えようとしているのである。今こそ，原子燃料サイクル事業の積極的な推進を…。

(2009年9月11日記)

種市治雄(たねいち・はるお)

1966年生まれ。トーヨー工業(株) 代表取締役  
青森県原子力政策懇話会 委員，六ヶ所村商工会 副会長  
原子力産業と地域・産業振興を考える会 副会長  
趣味：ゴルフ  
信条：「調査なくして，発言なし」

# 人材育成の問題を改めて提起

新規の連載記事に期待の声も

(7月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」7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73名の方から、回答がありました。

## 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。7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<br>(内容) |
|----|------------|-----------------------|------------|
| 1  | 私の主張       | 地域の「思い」と「期待」          | 4.06       |
| 2  | 定点<br>“感”測 | 町の宝が逃げていく……           | 4.00       |
| 3  | 巻頭言        | 夢が実現するとき              | 3.88       |
| 3  | インタ<br>ビュー | 「稲作なんですよ!!高エネ実験も原子力も」 | 3.88       |

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<br>(書き方) |
|----|------------|-----------------------|-------------|
| 1  | 定点<br>“感”測 | 町の宝が逃げていく……           | 3.90        |
| 2  | 巻頭言        | 夢が実現するとき              | 3.87        |
| 3  | 私の主張       | 地域の「思い」と「期待」          | 3.85        |
| 4  | インタ<br>ビュー | 「稲作なんですよ!!高エネ実験も原子力も」 | 3.82        |

今月は、新連載「定点“感”測」が好評でした。

## 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 7月号は、教育に関連する記事が多かったように思う。毎月のテーマを決めて、それに沿った記事を集め、それをアピールするキャッチコピーを表紙にするなど工夫がほしい。
- (2) 今後、掲載を希望する記事として、各国の原子燃料サイクルに関する最新の政策・方針および研究開発の動向、人材育成の計画等の紹介を希望する。
- (3) 「解説(1)」に関して、原子力の平和利用は核廃絶と表裏一体ではないだろうか。国民の理解を得て原子力の平和利用を推進する上でも、核廃絶の大きな視点から捉えてほしい。
- (4) 「シリーズ解説 原子力産業を支える電中研の先端技術-新シリーズの連載に当たって」に関して、新シリーズ解説の第1回として全体像の紹介があった。研究内容を知る機会があまりなかったため、今後の解説を楽しみにしている。

## 3. 編集委員会からの回答

- (1) 今月から、新シリーズ解説として「電中研の最先端研究の紹介」、新連載として「定点“感”測」が、また、新不定期連載として、「未来型リーダーシップを拓く」が始まりました。乞うご期待!!。

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。

# 技術を法の枠組みから見る

法規制のあるべき姿について検討した記事が好評

(8月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」8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64名の方から、回答がありました。

## 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。8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<br>(内容) |
|----|--------|---------------------------------|------------|
| 1  | 解説(3)  | 原子力発電所に対する規制の課題と考察              | 4.09       |
| 2  | 談話室(1) | 速い中性子による対称核分裂<br>—日本の発見とアメリカの追試 | 3.91       |
| 2  | 談話室(2) | 「核兵器のない世界」と原子力発電                | 3.91       |
| 4  | 時論(2)  | 低炭素社会と原子力                       | 3.94       |

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<br>(書き方) |
|----|------------|------------------|-------------|
| 1  | 時論(1)      | 世論を喚起しよう         | 3.85        |
| 2  | 談話室(2)     | 「核兵器のない世界」と原子力発電 | 3.81        |
| 3  | ジャーナリストの視点 | 「夢」与えるアピールを      | 3.78        |
| 4  | 新刊紹介       | 原子炉入門            | 3.70        |

今月は、「談話室」や「新刊紹介」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) 会長の挨拶の中で、異常事象解説チームの準備が進められているという話題が提供されていたが、非常に良いことである。
- (2) 「時論(1)」に関して、日本人は世論に押されて意欲をなくしがちになるが、著者の言葉にはげまされて、堂々と自分達のやっていることをPRしたい。
- (3) 「NEWS」に関して、アスベストの溶融無害化、肝移植後の拒絶反応と治療効果の画像化、重い電子が作るフェルミ面の直接観測の3つの話題は、直接原発とは関係ないが、将来の日本のために大いに役立つ話題である。

## 3. 編集委員会からの回答

- (1) 原子力に関連する歴史を扱った「談話室」は、いつも読者に好評です。先人達の苦労や努力を知って、自分達のパワーにすることができるからでしょうか。
- (2) アンケートの表紙の設問について問合せがありましたが、表紙の場合の「内容」は企画について、「書き方」はデザイン性について評価してください。

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



## ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

### ぬぐい去りたい地震への不安

中日新聞(東京新聞) 永井 理

経産省クラブで2001年から約6年間、原子力取材を担当しました。この間、東電に始まるトラブル隠し、美浜原発の配管破裂、虚偽記載問題、新潟県中越沖地震…多くの問題が持ち上がりました。

人命を失う事故もあり、定検の偽装など誇り高い原子力人の仕業とは思えない事件もありました。嘆き、呆れながら記事を書きましたが、再発防止の点から言えばそれほど悲観的ではありませんでした。

例えば、配管のエルボーを減らしたり、非破壊検査の精度を上げたり、振動を厳しく評価したり、あるいは「なぜ、こんな細かいことを報告させるのか。プラントの安全は我々が一番よく知っている」と頭の片隅で考えている人が心根を入れ替えたりすることで、ほとんどが“原理的”には解決できると思えたからです。心根を入れ替えるのは簡単ではないかもしれませんが、でも道筋は見えているように感じました。

ただその中で、どうしても道筋がピンとこないままの問題がありました。耐震の問題です。

基準地震動のS1は「起こりうる最強の地震」、S2は「およそ現実的ではない地震」と説明を受けてきました。でも、2005年の宮城県沖の地震と2007年の能登半島地震で御承知のとおりあっさり破られてしまいます。

宮城県沖の地震は想定した固着の半分ほどが割れただけなのに、女川原発の加速度は「最強地震」を大きく超え、「現実的ではない」はずのS2スペクトルさえ部分的に超えました。「高周波が減衰しにくい特異な地質だった」と理由が解説されましたが、翌々年には遠く離れた志賀原発でも超えてしまったのです。そうすると「S2を超えた周波数帯には共鳴する機器がないので大丈夫」「基準地震動ギリギリではなく糊代を設けてあるから大丈夫」との説明も、その通りなのでしょうが、妙に言い訳がましく聞こえました。

さらに新潟県中越沖地震。発生後でさえ震源断層の特定に苦戦し、海域の断層が事前に探せるのか、という疑問もつけ加わりました。

今年8月の駿河湾の地震では、浜岡原発の5号機だけが他号機の約3倍も高いガル数を記録。国の委員会でも「近所の山のせいかなどと議論中ですが原因は分かっていません。私にとっては本当に疑問だらけ。地震直後に開かれた東海地震の判定会の会見で阿部勝征委員長が「自然に対しては謙虚に」と述べましたが、実にその通りだと思いました。

この流れからみて2001年に原子力安全委員会が耐震

指針の見直しを始めたのは先見的でした。でも地質、地震、土木、建築など専門家で意見が食い違い議論は困難を極めました。確かスタートから3年ほどたったとき、ある委員が「活断層の定義が各人まちまち。認識を統一すべきだ」と提案、傍聴席を埋めた人々に驚きが広がったこともありました。その後、慎重派委員が辞意を表明するなど曲折を経て5年かけて結論に。これは問題がそれだけ難しいことを示しているのだと思います。

また、安全規制の考え方と一般の認識の食い違いもあると思います。安全規制では、簡単に言えば原発が再起不能に陥っても封じ込めさえ担保されればいいわけです。

柏崎刈羽原発も、変圧器が燃えて事務棟は歪みましたが、放射能漏れは配線を伝った微量のプール水だけ。規制の思想通りで、視察したIAEAも合格点を出しました。でも地元で「大したものでしょう」とは言えません。規制の理念と現実の接点はどこか。原発は再起不能で封じ込めは健全、なんてことがどれだけ可能なのか…との疑問も抱きました。

新指針の下限ラインM6.8を超す断層は事前に見つかるのか、強震動は評価できるのか、プラントの強度をどう確認するのか…。地質学、地形学、地震学、土木工学、建築学、原子炉工学を通じた説明がどこかであればと思います。

阪神大震災のとき私は震度6強～7の場所にいました。幸運にも生き延びましたが、数年間はフラッシュバックに襲われて手に汗を握りました。だから私は地震に過敏かもしれません。でもそれは、どれだけ揺れるかを身をもって知っているからだとも思っています(N値50の上に建ったマンションと原発を一緒にするなど、どうか突っ込まずに)。

(2009年 9月24日 記)

永井 理(ながい・ただす)

中日新聞東京本社(東京新聞)編集局科学部記者



1989年、京都大学大学院理学研究科修士課程修了、中日新聞社に入社。伊勢支局(三重県)、名古屋本社整理部、志賀通信部(石川県)などを経て97年から東京本社科学部。科学技術庁、文部科学省、経済産業省の記者クラブを担当し、主に宇宙開発、地震と火山、原子力などを取材。