

シリーズ解説

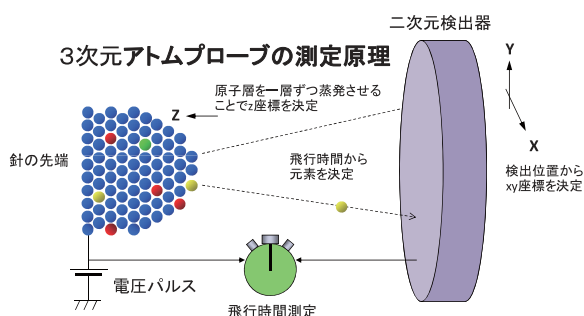
我が国の最先端原子力研究開発

電中研 No. 11

18 3次元アトムプローブによる軽水炉材料のナノ組織観察

軽水炉材料の経年変化メカニズムを明らかにするため、電中研では最先端のナノ組織観察技術の活用を進めている。今回はそのしくみと、軽水炉材料への適用例について紹介する。

土肥謙次、曾根田直樹



報告

38 東海発電所廃止措置におけるクリアランス物と放射性廃棄物でない廃棄物(NR物)の搬出—原子力施設からクリアランス物とNR物を搬出するには

放射能レベルがきわめて低く、放射性廃棄物として扱わないクリアランス物と、もともと放射性廃棄物ではない廃棄物について、それぞれ概念と、それを取り巻く制度について説明する。

山内豊明

平成21年度副会長あいさつ、役員紹介

2 学会の社会的役割と会員にとっての学会

平山英夫

2 次の半世紀に向けて一層の積極的な活動を

工藤和彦

3 副会長就任にあたって 楽しく語り合いながら責任を果たす場の提供を目指して

辻倉米蔵

表紙イラスト フランス / コロン・ラ・ルージュ

フランスの最も美しい村々の一つに認定されている「コロージュ・ラ・ルージュ」は、その名の通り村の建物はすべて赤味を帯びた石でできている。木々の緑とのコントラストが美しく、雨が降ると一層その赤が深みを増して美しい。これといった産業のない貧しい村だったが赤い村というのを売り物にして今では多くの観光客が訪れる人気の村となった。

巻頭言

1 会長就任にあたって

横溝英明

時論

4 世論を喚起しよう

原子力発電に関する社会からの興味と関心を呼び起こそう。

榊本晃章

6 低炭素社会と原子力

持続可能な社会とは、地球の限界の範囲内で営まれる社会であり、本当の幸せをつくり出す社会でなければならない。

枝廣淳子

解説

24 核物質標準の国内調達に向けて—保障措置上不可欠な核物質標準をいかに確保するか

保障措置上の要求を満たすためには、的確な計量管理が必要だ。そこでの鍵となる「核物質標準」の役割、国際的動向、国内調達に向けた動きについて解説する。

鈴木 徹、久野祐輔

29 スイスのエネルギー・原子力発電・地層処分—スイスを通して日本を学ぶエネルギー環境教育情報

世界のトップレベルの設備利用率を維持し発電量の4割を原子力に頼るスイス。教育現場で活用できる原子力発電や地層処分など、同国のエネルギーをめぐる最新情報を提供する。

杉山憲一郎

34 原子力発電所に対する規制の課題と考察

原子力法規制は、技術に関して法の骨格に係る改正は約半世紀行われておらず、規制のバランスに欠け、早急に法の運用改善を実施すべきだし、中期的には抜本的な法改正により、原子力規制の在るべき姿を実現することが望ましい。

西脇由弘

絵 鈴木 新 ARATA SUZUKI

日本美術家連盟会員・JIAS 国際美術家協会会員

連載講座 21世紀の原子力発電所廃止措置の技術動向(1)

43 廃止措置の世界の概況と我が国の現状

我が国の初期の軽水炉は2030年には運転開始後60年になるが、発電施設によってはそれ以前に廃止措置の開始が想定される。廃止措置時代の到来に備え、現状や規制、規格、技術などの動向について紹介する。

石倉 武

連載講座 軽水炉プラントの水化学(6)

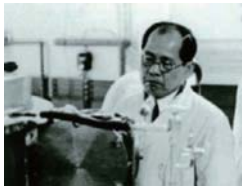
48 水化学の基礎—水の浄化と浄化装置

軽水炉プラントの系統水に含まれる微量の不純物は、原子炉や蒸気発生器で濃縮されて、構成材の腐食や被曝線源増加をもたらすことがある。今回は、その不純物を除去する装置やそのしくみについて紹介する。

大橋伸一

談話室

53 速い中性子による対称核分裂(その1) —日本の発見とアメリカの追試



ウランに速い中性子を照射すると鉄などの放射性核種が生成する対称核分裂は、仁科が世界で初めて発見した。

中根良平

55 「核兵器のない世界」と原子力開発

ハンフォード再処理工場の近くにある高校では、校章に原爆のキノコ雲が描かれている。

河田東海夫



会議報告

57 世界の炉心・燃料管理のプラクティス(ANFM-IV)報告

山本章夫

58 「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」第3回検討会合

村岡 進, 澁谷朝紀

追悼

70 柴田俊一先生追悼記—先生が身をもって示されたこととその意義

木村逸郎

8 NEWS

- 中部、四国、九州電の仏 MOX 輸送船が着岸
- 柏崎刈羽7号が試運転入り
- RI協会が Mo 99供給ネット作り
- 日本製鋼, 原子力部材堅調で最高益
- 早大・東京都市大が原子力で共同教育課程設置
- 東工大がアスベスト溶融無害化で実証実験
- アジア原子力人材育成へ—東海大学が開講式
- 肝移植後の拒絶反応と治療効果を PET で画像化
- 東大グローバル COE, 高レベル廃棄物の社会的側面を議論
- 福井大学に附属国際原子力工学研究所が開所
- 「重い電子」が作るフェルミ面の直接観測に成功
- 地層処分安全評価のための収着拡散 DB を更新
- 海外ニュース

日米欧学生交流

60 SLAC 滞在記

夏井拓也

ジャーナリストの視点

62 「夢」与えるアピールを

神田 望

定点“感”測

63 いま、原発にがりを打つとき

重原靖子

37 新刊紹介「原子炉入門」

高木直行

42 From Editors

59 支部便り 関東・甲越支部

金澤真吾

64 会報 原子力関係会議, 人事公募, 意見受付公告, 奨学金基金寄付者, 第42回日本原子力学会賞受賞候補者推薦募集, 英文論文誌目次(Vol.46 No.8), 主要会務, 編集後記

WEB アンケート

5月号のアンケート結果をお知らせします。(p.61)
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/atoms/>

会長就任にあたって



第31代(平成21年度)会長

横溝 英明(よこみぞ・ひであき)

50年の長い伝統と7,000名を超える会員を擁する日本原子力学会の会長に選任され、その責任の重大さを感じると同時に、微力ながら少しでも学会の発展に貢献したいと気持ちを新たにしているところです。

現在、資源の枯渇、原油価格の高騰、地球温暖化などの課題に対して、エネルギーの安定供給と低炭素社会を目指した革新的な技術開発が求められるなか、種々なエネルギー源の中でベースとして原子力エネルギーが見直されています。世界的に原子力発電所の建設が再開され、これまで原子炉がなかった国でも、新たな原子力発電所の建設が計画されています。原子力発電の拡大においては、安全性、核不拡散性および核セキュリティの確保が大前提になり、その建設や運転では人材の確保など多くの課題があります。原子力の推進にあたっては、国、産業界、大学などが、それぞれの立場で責任を果たすことが必要ですが、国や事業者とは独立した立場の学会に新たな役割を果たすよう期待が高まっております。数年来掲げている「行動する学会」および「原子力村からの脱却」のスローガンのもと、周囲からの期待に応えていこうではありませんか。

学会は、定款に定める目的「原子力の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり、原子力の開発発展に寄与すること」に従って、専門家の自発的な集まりとしていろいろな活動を行っておりますが、社会の変化とともに自ら進化していく必要があります。今一番大きな課題は、公益法人制度改革関連3法の施行に伴う5年以内の新法人への移行であります。昨年度から新公益法人対応検討ワーキンググループを作り、外部の専門家、経験者の意見も聴取しながら鋭意検討を進めてきました。学会の目的、事業を堅持しつつ、法律に沿って学会の定款、細則、各種規程などを見直し、整合性を図って再構築する必要があります。法律が規定している公益認定基準や公益目的事業としての適合性などと照らして、公益法人か、一般法人かを選択することになります。今は公益法人への移行を基本として準備を進めていますが、公益法人に移行したときの利、不利を精査し、他学会の動向も参考にして、次年度に移行方針を最終決定する予定にしております。どちらの法人を選択するにしても、新法人ではガバナンスが強化され、理事は役割、責任を果たすことが求められ、経理的基礎、財務状況の健全性、財産の管理運用への役員との関与、経理の精通者による適切な情報開示などが求められます。新法人への移行にともない、経理の一元管理、事業区分ごとの会計処理などにおいて、会員皆様のご協力が不可欠であります。

学会では、事務処理を効率的に行うために、数年来IT化を進めてきております。昨年度、会員のデータベースが完成し、運用に入りました。論文査読システムの構築も進めており、これが完成すれば、投稿、査読、採択の作業の効率化が図られます。今年度は、TV会議システム、旅費精算システム、請求書管理システムなどのIT化に取り組みます。TV会議システムは、東京事務所に参集できない理事、委員に対して、理事会、委員会に容易に参加できる機会を提供する強力な手段となるでしょう。IT化が進めば、事務局のスリム化にも繋がります。

原子力村からの脱却のひとつとして、異常事象解説チームの準備が進められています。原子力施設などで異常事象が起きたときに、自治体や報道機関からの求めに応じて、国や事業者とは独立した専門家の立場から、科学的かつ分かりやすい解説を提供するものであり、広報情報の一環として活動します。

これらの活動を推進し、社会に成果を還元していくことを念頭に、安全・安心な原子力平和利用に貢献していきたいと考えております。会員皆様の一層のご指導、ご支援とご協力をお願い申し上げます。

(2009年 6月25日 記)

学会の社会的役割と会員にとっての学会

平成21年度新任副会長 平山 英夫

新副会長として、支部協議会、倫理委員会、企画委員会、標準委員会および男女共同参画委員会を担当させて頂くことになりました。以前に、理事を務めさせて頂いた時と比べて、「迅速に判断し、行動する学会」として、学会の活動が広まり、社会的な役割が大きくなっていることを実感しています。原子力に対する期待の増大と厳しい見方が存在する中で、立場にとらわれない中立的な立場で学会が行動することは、ますます重要になってきていると思います。

同時に、学会活動の基本は、原子力分野の研究者のボランティアな活動であり、学会は、その基盤の上に立つてこそ、学会としての社会的な役割を果たすことができる存在だと思っています。支部をベースにした組織が定着し、部会の数も多くなり、研究者集団としての活動も多様になっています。学会としては、引き続き新公益法人にどのように対応していくかという課題への対応が迫られていますが、この学会活動の2つの側面からあるべき方向を検討する必要があるのではないかと考えています。

会員の活動を基盤とし、「行動する学会」を目指す会長を補佐して貢献していきたいと考えておりますので、ご指導、ご協力をよろしくお願い申し上げます。
(2009年 6月23日 記)

次の半世紀に向けて一層の積極的な活動を

平成21年度新任副会長 工藤 和彦

平成20年度は学会が創立50周年にあたり、多くの会員のご協力と参加により記念事業を予定通り進めることができましたことを、実行委員長として深く感謝申し上げます。特に、「原子力歴史構築賞」を新たに創設しましたところ、予想を上回る応募をいただきました。その結果、65件という多くの受賞が決まり、貴重な写真や資料も集まりましたので、整理してホームページ等に公開する準備を進めています。本賞は毎年の募集を予定しておりますので、今後も積極的なご応募を期待しております。

この1年間は部会等運営委員会、教育委員会、広報情報委員会、奨学生選考委員会などを担当しました。14年前にも学会理事を務めました。改めて学会の活動が非常に広がっていることを再認識しました。学会誌やホームページをはじめとする情報提供が増加してきたのはIT時代として当然のことですが、多くの部会や連絡会による学会員の多様な活動が充実しているのを実感しました。

岡前会長が言っておられる「原子力村からの脱却」を目指して、昨年度は広報の強化、社会への積極的な情報発信に向けて、「原子力学会ポジションステートメント」、「原子力異常事象解説チーム」の発足が決まりましたが、本年度はこれらの実動を支援していきます。学生、市民、若年層に対する原子力・放射線に関する教育は、近年さらにその重要性を増していますが、学会として多面的な活動とその支援を進めたいと考えます。

また、会員にとって魅力的な学会となることで会員の増加が望めますが、学生会員にとってより有益な学会となり、多くの学生会員が正会員に移行するよう努力したいと思っています。

2年目の副会長としてさらに気を引き締めて、学会の運営に当たりたいと決意を新たにしております。会員各位からのご助言、ご鞭撻をお願い申し上げます。
(2009年 6月22日 記)

副会長就任に当たって

楽しく語り合いながら責任を果たす場の提供を目指して

平成21年度新任副会長 辻倉 米蔵

原子力学会の副会長に再任され、最も古参の副会長となりました。これまでの取り組みで出来たこともあるものの、今後、取り組まねばならないことが多く残っているように思う。学会としての本務は定款に記載のとおり、原子力平和利用を「学」の立場から促進することにある。

種々のボランティアな活動の集合体として、この目的を達成していくことが求められている。企業体のように目標を設定し組織的に活動するものでもなく、また、事務局が全体のステアリングを担っているわけでもない。学会としての統一的な活動となるよう各要素の活動の調整機能を果たす仕組みは存在するが、その機能は現状で十分とは言いがたい。

一方で、学会活動の一部は、すでに社会活動の一部としてその仕組みに取り込まれており、大きな責任を持ってきている。原子力を取り巻く環境も大きく変わろうとしているこの時期に、原子力学会の磐石の礎を築くことが必要である。

また、本来、学会とはその分野の専門家が意見を交わす場であり、生き生きとした討論やその結果としてのやりがいなど、極めて楽しい活動であるはずである。学会への参加が自発的に高まるような、楽しく意義のある活動にしていくことが求められているようにも思う。

このようなことが、少しでも実現に近づくよう職責を果たして行きたい。

(2009年 6月16日 記)

平成21年度役員紹介

会長		副会長				総務担当	
							
横溝英明 (独)日本原子力研究開発機構 高エネルギー加速器研究機構	平山英夫	工藤和彦 九州大学	辻倉米蔵 電気事業連合会	久保田健一 (株)東芝	池本一郎 (財)電力中央研究所		
財務担当		編集担当			企画担当		
							
山内 澄 三菱重工業(株)	黒田雄二 リサイクル燃料貯蔵(株)	野村茂雄 (独)日本原子力研究開発機構	森山裕丈 京都大学	小澤通裕 日立GEニュークリ ア・エナジー(株)	小川順子 日本原子力発電(株)	石井慶造 東北大学	
部会等運営担当			教育担当			監事	
							
佐藤正知 北海道大学	中安文男 福井工業大学	寺井隆幸 東京大学	川俣 晋 東京電力(株)	服部俊幸 東京工業大学	上村勝一郎 (独)原子力安全基盤機構	関根啓二 日本原燃(株)	



世論を喚起しよう



榎本 晃章(ますもと・てるあき)

(社)日本動力協会会長、東京電力(株)顧問
横浜市生まれ。早稲田大学政経学部卒。1962
年から2007年：東京電力(株) 常務、副社長。
電気事業連合会副会長などを務める。2008
年5月より現職。日本経団連環境安全委員
会アドバイザー。

2兆円超の海外流出

関係者ともどもまず確認したいことがある。原子力発電所の稼働率が低いがために、どのくらいの逸失利益があるかである。そのために国富が海外の産油・産ガス国に流出してしまっている。稼働率の実績を平成16年度から20年度まで見てみると、68.9、71.9、69.9、60.7、60.0(それぞれ%)となっている。仮に、発電所が80%の稼働率で動いたとすると、5年累計で、約3,200億 kWh の損失となる。その分、石油や天然ガスあるいは石炭を多く燃やす火力発電に多く頼っているわけで、それによる燃料費増加額は全くの概算だが2兆円前後に達する。たかが“お金”と思ってもらっては困る。これだけの金額を稼ぎ出すとしたら、大勢の人達が、相当の時間をかけて働かなければならない。それほどの金額が、原子力発電所の稼働が異常に低くなってしまったために、海外に流出してしまったのだ。

何とか脱したい現状

一方、世界的に昨今の原子力開発をめぐる状況を見ると、“原子力ルネッサンス”といわれて、原子力発電が見直されている。低炭素社会が目指されているのだから、世界的に原子力開発が追い風を受けていることは間違いない。目を転じて、足下の日本の原子力開発はと見ると、社会的に往時の強い反対も何かがえないが、原子力を進める側も勢いを感じさせない。極めて残念なことだが、前述の運転中原子力発電所の低稼働に始まり、六ヶ所村の再処理などの原子力施設、10数年ぶりに稼働を目指す“もんじゅ”、高レベル放射性廃棄物の最終処分候補地選定など、足下には、一様に難しい状況が続いている。

原子力発電についての一般社会からの視線を見ると、必要性についての認識は高い。それとは裏腹に、一種の無関心というか、覚めた眼に気づく。21世紀において、温暖化ガスの排出削減とエネルギー安定確保を同時達成しようとするれば、必定、原子力発電に頼らざるを得ない。多くの人がそう考えているのに、原子力発電を進めようという動きは国内では、今ひとつ社会的な広がり欠ける。何かが足りないように思われる。この感想は間違っているだろうか。

何とかして、現状から脱し、原子力発電の持つ可能性

を引き出してほしい。

原子力関係者に もう一度情熱と意欲を期待

筆者の理解が間違っていればよいと思いながら、率直に書かせてもらう。

日本の原子力関係者に疲労が見える。自信喪失までには至っていないと期待したい。中央・地方の行政上必要とされる手続き、立地地域での政治的社会的事情等々、原子力関係者は、筆者の個人的理解だが、なかなか煩瑣で、思うように進まない事情に重層的に囲まれている。こうした事情は、欧米と比較すると耐震設計とともに、日本の原子力関係者がそれだけ配慮しなくてはいけないことが多いということである。心身に負担がかかり、時間も取られざるを得ない。別な面で見れば、コストもその分だけ高くなっているのだ。

目を内部に転ずれば、時が世代交代を進め、開発の初期から苦労を重ねてきた経験豊かなベテランがほとんど一線から身を退いてしまった。これまでのトラブルを熟知し、プラントの隅から隅までを自分の庭のように知っている現場職員も少なくなってきた。さらに、現場一線では、コンプライアンス遵守や内部統制に関する仕事にも時間とエネルギーを割かねばならない。ルネッサンスの足下実情は相当に大変だ。しかし、嘆いていても何も始まらない。関係者が“司、司”で、着実にやるべきことをやり、事態を快方に持ってゆくしか道はない。

日本の場合、政策と言う点では、「原子力大綱」と「原子力立国計画」がある。次世代軽水炉開発の検討も進められているし、高速増殖炉実証炉の基本設計を進める会社も出来ている。将来を見据えると同時に、いま必要なのは足下固めをしっかりと行うことだ。それには、原子力施設の現場を中心として、社会的状況も含め、バランスよく、あたかも、全体を連携させて動かすような具体的アクション・プランが必要ではないだろうか。このアクション・プランでは、中央・地方の行政関係者、重電メーカー関係者も含め、誰がその責任主体かを明確にしたい。それにより、原子力現場を本来現場でしかできないこと、そして、第一線でやるべきことに誇りを持って注力できるようにしたいものだ。アクション・プラン作りを支えるのは、単なる“仕事をこなす”といった取組みではな

い。“鮮明なリーダーシップ”と中核的関係者の問題意識と当事者意識、そして、“意欲”と“情熱”であってほしい。

信頼回復が第一

それでは何をするか。

おそらく、第一に必要とされるのは、2002年に発覚した東京電力のデータ改ざん問題と、その後、顕在してきた事々によって失われた社会からの信頼回復だろう。これには、いわば、トップから一職員に至るまでの、電力ならびに原子力関係者全員の徹底した言行一致が欠かせない。仕事に取り組む背中を見てもらい、謙虚に耳を傾け、率直に語りつつ、一步一步、信頼を回復するしか他に道はない。

この点については、中核的関係者の指導に譲ることとして、本稿では、“社会とのかかわり”，平たくいえば，“広報”という視点から、必要と思うことを述べたい。

“安心”は“信頼関係”から

広報の寄って立つ基本の一つは、“信頼関係”に尽きる。“信頼関係”のないところでは、どんな優れた仕事も色あせてしまう。信頼関係にとっては、日頃の“情報公開”と“透明性確保”が重要だ。この点については、ここ6、7年いろいろと大変な経験をしてきたので、現場の隅々まで、浸透していると期待する。このところ常用語になった感のある「安全は当然，“安心”を」という言葉・「安心」の意味は、「あなた方を“信頼”しているといえるようになってほしい。しっかりしてくれ」といわれているのだと受け取ろう。

世論の支持を高めよう

広報の目的は、社会から原子力開発についての理解と支持を得ることである。一言でいえば、“世論”の支持だ。“世論が原子力開発について支持をする”状況さえあれば、国会議員さんや知事さんであっても、これを無視することはできない。この点は、意見の異なる人達であっても同様だ。“世論の喚起”が焦眉の急だと考える。

原子力広報に関わる人達の基礎

まず、原子力発電について他人に話したり、説明をしたりする広報マンの基礎について述べたい。第一に、技術専門家から、教科書を覚えるようにして、教えてもらうことだけでは全く十分ではない。どうするか、2つのポイントを書き記したい。

第1は、歴史を知る。第2は、自分なりのイメージを持つことだ。歴史は、1953年年末の米国アイゼンハワー大統領の平和利用宣言に始まる。軽水炉についていえば、米国の軽水炉開発初期から今に至る取組みの推移なども知っておいたほうがよい。第2の自分なりのイメージづくりだが、筆者の場合について、一つの例を紹介し

ておきたい。これは、軽水炉開発の歴史とも深く関わる。文系の筆者が何で、人に原子力は安全だと思うなどといえるのか。それは、1960年台に米国が軽水炉開発初期に行った原子炉暴走実験を知ったからだ。この実験によって、“危なさ”の大本をつかんだ科学者達は軽水炉の基本安全を考えてゆくことになる。もう一つ、放射線安全についても、特に、微量放射線について、自分なりのイメージを持ってほしい。

話題を発掘し、メディアに提供しよう

ところで、日本では軽水炉が動き出してからすでに40年の歴史がある。この間に、多くの関係者の血のにじむような努力や素晴らしい工夫がある。現場にもたくさん人間ドラマがある。一、二、事例を述べる。

第1は、原子燃料とそのチューブの品質改良だ。難題にぶつかり、それを克服してきた品質改良物語があるのだ。そして、この燃料棒改良の結果、プラントは、作業員などが受ける放射線という点で、過去に比べ大幅にきれいになった。第2は目を転じて、発電所建設の分野にだって、興味深い改善がある。あれだけの大型の土木工事や重量物の組立て、据付なのだから、普通であれば、予定通りの工事進捗はなかなか難しい。この分野にも、関係者の多様な工夫とアイデアが隠れている。だからこそ、日本には、厳然たる“工期”、“納期”がある。その他、改良標準化、ABWRやAPWRの国際共同開発などにも興味尽きない考え方と知恵が隠れている。見るべきは、そうした改良が必要となった、過去にぶつかった難題である。これを知ると、関わった人達の人間ドラマが見えてくる。これらを社会に伝えなくてはいけない。

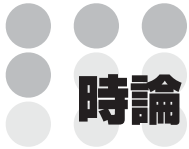
重要なトウ・ウエイ・コミュニケーション

字数余地がなくなってきた。最後に、トウ・ウエイ・コミュニケーションの重要性について述べたい。

原子力発電については、反対や異論があるのが普通なのだから、一方的な説明だけでは不十分だ。対話あるいは相手とのやり取りが欠かせない。説明をしている広報マン自身も、やり取りを周りで聴いている人たちも、対話の中で共感したり、反発したりする。そして、理解が深まってゆく。説明にあたっている広報マンは、相手とのやり取りの過程で新たな問題に気付き、考える。要は、“トウ・ウエイ・コミュニケーション”が欠かせない。今であれば、再生可能エネルギーとの比較など、大いに議論があってよいのではと考える。

後輩の皆さん。大いに勉強し、大いに議論し、大いに考えてほしい。大いに訴え、行動してほしい。そして日本社会の原子力発電に関する関心を誘起し、高め、支持を広げてほしい。社会全体の水準が上がってくれば、おのずから、世論形成への道が開けると確信する。

(2009年 5月31日 記)



低炭素社会と原子力



枝廣 淳子(えだひろ じゅんこ)

有限会社イーズ 代表取締役

東京大学大学院教育心理学専攻修士課程修了。(有)イーズ, (有)チェンジ・エージェンの2社を経営するかたわら, 執筆, 講演, 翻訳, 環境 NGO 運営など, 環境を軸にマルチキャリアを展開中。

低炭素社会は手段である

今日, 日本のみならず世界中で「低炭素社会」へシフトの必要性が叫ばれています。しかし, 低炭素社会は実は手段にすぎません。「低炭素社会」は確かに重要ですが, 今の日本では, あたかもそれが目的であるかのように一手段が目的化してしまうことはどこでも起こり得るわけですが—なっているのではないかと思っています。

低炭素社会が手段だとすると, 目的は何でしょう? それは「持続可能な社会」です。持続可能な社会にするために, 低炭素社会をつくらないといけない。つまり, 社会の CO₂を減らさないといけない, ということです。

では, 低炭素社会をつくる上位の目的である「持続可能な社会」とはどのような社会なのでしょう?

持続可能な社会に必要な2つの要素

必要な要素が2つある。私はそう考えています。1つは「地球の限界の範囲内で営まれる社会」ということです。地球には限界があります。さまざまな資源など地球が提供できるものにも, 二酸化炭素や廃棄物など地球が受け入れられるものにも, 限界があります。その地球の限界の範囲内で営まれる社会でないと, 持続可能ではありません。

2つめの要素は, その中で「本当の幸せをつくり出す社会」だということです。単なる GDP や経済の拡大・成長を求めるのではなく, 本当の幸せは何か, 幸せにつながっている経済や GDP と, そうではない経済や GDP を区別して, 経済成長至上主義ではなく, 本当の幸せをつくり出すことを社会や経済の目的とすることです。この2つの要素があってはじめて, 持続可能な社会になるのだと考えています。

そう考えると, 「低炭素社会」だけを考えていては落ちてしまうさまざまな視点があることがわかります。たとえば低炭素社会に資するものであっても, 温暖化以外の危険や危機につながるものであったとしたら, 持続可能な社会のためにはならないということもあるのです。

地球の限界を超えてしまっている私たち

ここでは, 持続可能な社会に必要な最初の要素を取り上げたいと思います。私たちの社会は, 「地球の限界の

範囲内で営まれる社会」でしょうか? 残念ながら, いまの私たちは, 地球の限界を超えてしまっています。「世界の人間活動を支えるために, 地球は何個必要か」を示すエコロジカル・フットプリントという指標があります。その最新の数字を見ると1.4となっています。つまり地球は1個しかないのに, いまの人間活動を支えるために, 地球は1.4個必要になっているのです。

地球は1個しかないわけですから, 1.4というのは不可能です。これがいま短期的に可能になっているのは, 私たちが過去の遺産を食いつぶし, 未来世代から前借りをしているからです。持続可能ではありません。

現時点ですでに地球の限界を超えていますから, 遠くから限界の範囲内に戻らざるをえません。そのとき, 限界を超えた地球からの強制的な是正の力(深刻化する温暖化や食糧不足, 生態系の崩壊など)によってではなく, 私たち人間が意識的に持続可能な社会に切り替えていくことによって, 限界の範囲内に戻ることを願っています。

温暖化や低炭素社会についていえば, 現在, 私たち人間は化石燃料を燃焼することで, 1年間に72億トン(炭素換算)の CO₂を排出しています。それに対して, 地球が吸収できる量は, 森林が9億トン, 海洋が22億トンと合わせて31億トンです。地球が吸収できる31億トンという限界をはるかに超えて排出してしまっているため, 大気中に CO₂がたまって温暖化が進んでいるのです。

低炭素社会の作り方

このような状況で, 社会の排出する CO₂を減らし, 低炭素社会を作っていく必要があるわけですが, その作り方には3つのアプローチがあると考えています。

1つめのアプローチは, 「状況は変えず, 技術によって高炭素〇〇を低炭素〇〇に置き換える」というものです。

エネルギーでいえば, 現在のエネルギー需要の増大はそのままにして, エネルギー燃料を入れ替えることで低炭素化を図ろうというアプローチです。燃料転換ですね。たとえば, 石油や石炭よりは天然ガスがいい。化石燃料よりも再生可能エネルギーや原子力がいい。石炭ならクリーンコールがいい。需要の増大はそのままにし

て、主に技術によって燃料転換を図り、低炭素化を図ろうというものです。

2つめのアプローチは、ライフスタイルなどを変えることで、需要を少し減らしつつ、やはり技術による解決を待つというものです。

エネルギーでいえば、「こまめに電気を消しましょう」という呼びかけなどで、日常生活での行動を変えることで、消費量を減らす努力をする。それでもまだまだエネルギーは必要ですから、やはり主に技術的な解決策を求めて、エネルギー転換を図っていくこととなります。

3つめのアプローチは、より根本的にそのものを考え直すというものです。つまり、地域のあり方や一人ひとりのあり方、エネルギーのつくり方や、エネルギーの作り手そのものまでを考え直し、変えていくというやり方です。

メンタルモデルに気づき、ゆるめること

このときに大事なことは、それぞれが持っている「メンタルモデル」に気づき、問い直すことです。メンタルモデルとは、私たちがいろいろなものについて「こういうものだ」と思い込んでいるものです。「自分はこういう人間だ」「うちの会社はこういう会社だ」「原子力とはこういうものだ」「エネルギーとはこういうものだ」「社会とはこういうものだ」「住民とはこういうものだ」——それぞれ私たちは、意識、無意識の中に思い込みを持っています。

たとえば、「電力は電力会社がどこかでまとめて効率よく作り、各家庭に運んでくれるものだ」というメンタルモデルを持っている人は多いことでしょう（これまでそうだったわけですから）。でも、そうでなくてもよいかもしれない、それぞれの地域がそこにある資源を使って作ったっていい、発電効率よりも大事なものがあってもよい、と硬直化したメンタルモデルをゆるめることができます。

そういう意味でいうと、太陽光発電は「それぞれの家庭や会社で発電できるんだ」という例証として、エネルギーに対する社会のメンタルモデルを変える大きな起爆剤になっていると考えています。

低炭素社会とはパラダイムシフト

いまは低炭素社会というと、技術革新ばかりが目立っていますが、その真髄はパラダイムシフトなのだと思います。もしかしら、そのパラダイムシフトを認めたくなくて、技術的な解決策に走っているのかもしれない。

ひとつのパラダイムシフトは、「資源やエネルギーを使いたいだけ使うのではなくて、地球の限界の範囲内で

折り合いをつけて使っていく」というものでしょう。そして、「どこかでまとめてつくって、送電線で配るのではなくて、それぞれの地域や人が必要な量だけ自分たちでつくる分散型へ」というシフトです。そういった時代にいま移行していると思うのです。

そう思うと、低炭素社会のエネルギーとは、それぞれの地域の特性を活かした、地産地消型のエネルギーになっていきます。温泉がある地域には地熱があるでしょうし、森林がある地域はバイオマスがあるでしょう。太陽光、太陽熱、風力、小水力など、それぞれの地域がその地域にあるエネルギー資源を使っていくようになります。

このようなパラダイムシフトの枠組みから見ると、原子力というのは、「中央で大きくつくって配ります」という旧来型のメンタルモデルのそのままだなあとよく思います。

原子力関係の方はよく「自然エネルギーがいい」という発言を聞くと、「太陽光発電で100キロワット発電しようと思ったら、山手線内全部に敷き詰めないといけないんですよ。そんなことができますか」とムキになっておっしゃるんですね。自然エネルギーはそれぞれ必要なところで必要なだけ作れるのが特徴なのであって、それでもやはり「まとめてつくれるかどうか」で見てしまうんだなあ、と思うのです。

これからの時代

これまでは、大量生産・大量消費の時代でした。ここではエネルギーをたくさん使って、CO₂をたくさん出します。温暖化の問題が出てきて、「これではまずい」と、いま移行を進めています。大量生産、大量消費は変えずに、大量リサイクルを追加し、省エネ・再生可能エネルギーなど技術によってCO₂を減らそうとしているのが現状です。これは終点ではなく「途中」にすぎません。これからは、本当の幸せのための「足るを知る生産・足るを知る消費」の時代です。エネルギーの必要量そのものが減っていきますから、低炭素化技術とあわせて、CO₂を劇的に減らしていくことができます。

このようなシフトを考えたときに、原子力発電は、核廃棄物や地震国日本での操業、社会とのコミュニケーションなどの問題に対応したうえで、産業用に特化したエネルギー源になっていく可能性があるのではないかと考えています。家庭用は、それぞれの地域でそれぞれの人々が手綱を握ってつくっていく。しかし、産業用の大量の電力需要を減らし、電源を大きく切り替えていくには時間がかかるでしょう。その間の低炭素型の中継ぎとして、原子力の役割があるのかもしれない。

(2009年 5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。

中部，四国，九州電が共同輸送の仏 MOX 輸送船が着岸， 今秋にも玄海 3 号が初装荷運転へ

中部電力，四国電力，九州電力の電力 3 社の MOX (ウラン・プルトニウム混合酸化物)燃料を積んで，3 月 5 日にフランス北西部のシェルブール港を出航していた輸送船 2 隻が 5 月 18 日，静岡県御前崎港の中部電力専用岸壁に到着した。今後，輸送船は伊方，玄海と回り，九州電力の玄海 3 号機(PWR, 118 万 kW)では，次の定期検査で MOX 燃料を原子炉に装荷し，今秋にも全国に先駆けて，運転を開始する見通した。

全国の原子力発電所で唯一構内専用港を持たない中部電力の浜岡原子力発電所では，まず公共港湾の御前崎港の同社専用岸壁に使用済み燃料の輸送容器を陸揚げし，トレーラーに積み替えた後，公道を通してサイト内に搬入した。

MOX 燃料輸送の詳細については，今後，四国電力，九州電力の MOX 燃料受入れ作業が終了した時点で公表することとしている。

今回の電力 3 社の MOX 燃料は，フランス・アレバ社のメロックス工場で製造し，輸送船パシフィッ

ク・ピンテール号とパシフィック・ヘロン号の 2 隻で日本に共同輸送してきたもの。2 隻は船団を組んで，アフリカ最南端の喜望峯を周り，南西太平洋を航海してきた。今後，電力 3 社では次の定期検査で，取替え燃料の一部として MOX 燃料を炉心に装荷する予定。

欧州からの MOX 燃料輸送は，今回で 3 回目。99 年の東京電力と関西電力の共同輸送，01 年の東京電力の例があるが，関西電力は燃料加工委託先の英国原子燃料会社の検査データ改ざんで先方に返送済み，東京電力は原子力発電所構内に受入れ済みではあるが，定期点検記録の改ざん問題などで，装荷計画は実施されていない。

MOX 燃料の利用は，仏独などではすでに各原子力発電所で通常に行われている。日本では新型転換炉「ふげん」での多くの利用を除くと，軽水炉では美浜 1 号と敦賀 1 号で 85 年から 91 年にかけて，計 6 体炉内に装荷し，健全性を確認している。

(資料提供：日本原子力産業協会)

柏崎刈羽 7 号が震災から復帰し試運転入り，盛夏前に通常運転めざす

東京電力は 5 月 19 日，主発電機の仮並列により，新潟県中越沖地震に伴う停止から 1 年 10 か月ぶりに発電を再開し，当面の設定値である定格出力の 20% にまで達した。同発電所 7 基のうちで復帰した初めてのプラントとなる。今後は，発電機出力を定格の約 50%，75% と順次に上昇させ，必要な試験・点検を実施し，本格稼働を目指す。

今後，順調に試験運転が進めば，40～50 日程度で試験運転は終了する見込み。地元の新潟県，柏崎市，刈羽村が試験運転了承の条件とした同県技術委員会での「中間段階」と「最終段階」での審議・確認を経て，原子力安全・保安院による定期検査終了証の交付を受け，そのまま通常の営業運転に移行する。

(同)

RI協会が Mo 99供給ネット作り

日本アイソトープ協会は、5月19日の原子力委員会で「医療用アイソトープ原料の安定供給にかかえる現状と取組むべき対応」について報告した。

日本は、がんの診断薬(テクネチウム造影剤)の原料となるモリブデン99を製造していない一方、全世界の需要の14%を占めている。世界的にもテクネチウム造影剤の需要が増しており、モリブデン99製造のため新原子炉を建設する韓国や、2基の原子炉で製造する中国、原子炉オパールの製造開始が待たれるオーストラリアなど、周辺国でも供給対策が行われている。

また現在、モリブデン99を製造している原子炉は高経年化が進んでおり、今後、世界的な供給不足が予測される。2007年にはカナダ原子力公社(AECL)のNRU炉トラブルによる供給危機があり、大きなパニックは避けられたものの、より能動的な対策の

必要に迫られている。

こうした状況を踏まえ、同協会は安定した供給をめざす計画として、(1)JMTR(材料試験炉)によるモリブデン99の製造を開始し、2013年には日本の全需要の約20%を補完、(2)モリブデン99は製薬会社へ残し、病院等へは製剤で供給、(3)アジア・オセアニア圏におけるネットワークの構築、(4)中国・韓国・日本の3国ラジオアイソトープ(RI)協会が集結する今年10月開催の会議で3国共同体作り——などの提言を行った。特に供給危機の際には、国家間ネットワークが重要になるとしている。

折しもAECLは、NRU炉で15日、重水漏れが発見され、医療用アイソトープ生産企業であるMDSノルディオン社に23日からモリブデン99の供給が滞ることを通知、修理には1か月以上かかる見込みだ。

(同)

日本製鋼所、世界の原子力建設計画の進展受け、原子力部材堅調で最高益

日本製鋼所は5月22日、東京都内で09年3月期の決算説明会を開き、世界的な金融危機の影響がでてきているものの、原子力部門の順調な進展によって、全社的には連結売上高2,271億円、連結経常利益359億円と共に過去最高を達成した。同社では、「金融危機の足もと業績への影響を最小限にとどめ、堅調なエネルギー関連製品を柱に、さらなる企業価値向上を目指す」との方針を打ち出している。

同社の事業構成は、大きく分けて、①鋳鍛鋼部門、②鋼板・鉄構部門、③その他機械部門、④樹脂機械部門——の4部門からなる。鉄鋼製品関連事業のうち「電力・原子力」部門の売上高は前期比16.6%増の365億円となった。08年度の「電力・原子力」の受注高も、受注の前倒しと計画外案件の取込みによって、前回予想から大幅に増加し、前期比40.3%増の599億円となった。好調な受注増を受け、同部門の09年度の売上高は、前期比24.7%増の455億円を見込んでいる。

同社の大型原子力関連製品は、世界の主流となっているPWRでは、1次系の原子炉圧力容器、蒸気

発生器(SG)、加圧器、2次系の蒸気タービンのローター・シャフトと外側ケーシング、発電機のローターなどで、世界の主力重電メーカーに納入しており、輸出比率は約6割。「電力・原子力」部門の売上高365億円のうち、1次系の大型原子力部材は約3分の1を占める。

同社は、好調な海外受注に関連して、大幅な建設計画を発表している中国ビジネスについても説明。2020年時点で6,000万kWの原子力発電所を稼働させる計画が浮上してきているとして、同社には大型原子力部材の鋳鍛造品を造る設備の「枠取り契約」が次々と舞い込んできているとしている。「枠取り契約」は契約時に“枠取り保証金”の支払いを受け、同社の世界最大級の1万4,000トン水圧プレス機など製造機器の使用スケジュールを確保するもので、正式受注契約ではないが、今後の受注動向のさきげになるもの。

同社では、世界的な金融不安の影響で売上げが減少見込みの石油精製関連製品の代わりに、原子力関連機器の受注・製造に、さらに力を入れていく方針

だ。

次期社長に内定している佐藤育男常務(鉄鋼事業部副事業部長)は、「37年間、(原子力関連の主力工場である)室蘭製作所に勤務し、平成16年から所長

を務めてきた。大型投資を確実に実施し、技能・技術を伝承し、技術力・現場力をさらに進化させて、物づくり企業として発展していきたい」と挨拶した。(同)

原子力分野共同教育課程設置へ—早大・東京都市大が協定

早稲田大学と東京都市大学(旧武蔵工業大学)は4月27日、包括協定を締結した。来年度、原子力分野での共同教育課程設置を目指す。

教員や学生の交流、施設の相互利用、共同研究の推進などに加え、燃料電池や水素などの新エネルギーや原子力工学、加速器・放射線応用を中心にカリキュラムを組んだ共同教育課程(共同原子力専攻)を大学院に設置する。

東京都市大学の原子炉は再び動かす予定がないことから、新専攻では、実際の現場を持つ電力会社や日本原子力研究開発機構とも密に協力していく。初年度は、修士過程30人、博士課程後期8人の定員を予定している。

白井克彦・早稲田大学総長は「原子力研究は早稲田大学では未知の分野。原子力には安全性の問題もあるが、依存率は年々高まっており、世界的に見ても原子力エネルギーに頼らなければならない現実がある。その中で、原子力(発電)をやめたいというの

は無責任。原子力産業には、多くの日本人が関わっている。さらに技術を安全にしていかなければならない。この共同教育課程で、世界に対して技術を発信できるレベルの高い技術者を養成していきたい」とした。

中村英夫・東京都市大学学長は「日本の大学は、将来のエネルギー問題に無頓着。今後も、エネルギー研究を盛り上げていきたい。原子力エネルギーは、アジアでも発展し大きなニーズがある。東南アジアなどでは日本の教育に期待がある。その国々からも学生を積極的に受け入れたい」と語る。

新専攻は、新設の未来エネルギー大学院フォーラムと連動。早大と東京都市大を中心とし、協力大学に慶應義塾大学、立教大学、明治大学等の大学と産官が連携して運営する。エネルギー産業の活性化、学生と研究者の交流の場としてのシンポジウムや共同研究などを展開していくという。

(資料提供：科学新聞)

アスベストを溶融無害化—東工大原子炉研で実証実験

東京工業大学原子炉工学研究所は、(株)ナベカ中、愛知産業(株)と共同で、深刻な環境問題となっているアスベストを安全に収集、無害化し、ガラスとして再利用できる「モバイル型アスベスト溶融無害化リサイクルシステム」を開発。5月14日、同大大岡山キャンパス(東京・目黒区)内で、大学構内の研究機材・資材に含まれたアスベストの収集・溶融実証実験に成功した。

アスベストは地中から産出される繊維状ケイ酸塩鉱物で、地中で溶岩が冷えて固まっていく過程で、結晶が細長く成長して繊維状になったもの。耐久性や耐熱性、電気絶縁性などが優れ、かつ安価なため建築資材、電気製品等様々な用途に使用されてきた。一方で、アスベストのもつ化学成分ではなく、その形状(非常に細かい針状の構造)が原因で、飛散

したアスベストを肺に吸収すると肺ガンや中皮種といった病気を引き起こす確率が高く、現在使用が禁止され、アスベストの廃棄物は特別管理産業廃棄物に指定されている。

東工大原子炉研では、アスベストがガラスに似た成分であることに注目。溶かせば針状の構造が完全に消失できるという判断のもと、原子力分野の高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の応用として、2年前から共同研究を進めてきたという。アスベストの処理としては、定置型の大型溶融炉による処理が主流であるが、排気口からの排気ガスとともに溶融されなかったアスベストが大気中に飛散してしまうという問題点があった。

開発したシステムは、アスベストの除去・収集・溶融・ガラス(無害化)・最終処理の工程を備えたも

ので、まずアスベスト廃材を水に浸すと飛散防止ができ、体積もかなり圧縮できることから、小型モバイル仕様のバキューム機、沈降タンクへとへパフィルターで構成されたアスベスト廃材の収集装置、アスベスト廃材の含水量と処理量を制御できる連続運転可能なスクリー式水絞り機を開発した。またシステムのポイントである熔融では、電磁誘導加熱方式による熔融装置(加熱炉)を採用した。この装置は外側から高周波によって加熱するだけに、密閉した形で加熱ができ、処理工程で有害物質を排出しない利点がある。ただアスベストの種類によっては融点が1,600℃にもなり、炉を構成するつぼを処理ごとに交換しなければならないが、素材によっては数百万円する。それだけに電気が流れると同時に、高温に保てるつぼの素材としてジルコニアセメント製のつぼを装荷することで克服、数千円オーダー

ですむようになった。熔融装置で処理されたアスベストは、急速水冷却され、2～5 mmの粒形のガラスとなり、無害化(粒形状のガラスにはアスベストのもつ針状の形状は完全に消失)される。

東工大原子炉研の有富正憲所長の話「東工大のある東京・大田区は、優れた技術をもった中小企業がたくさんある。そのような技術を残さなければというのが研究開発を始めたきっかけです。システムは完成したわけで、大学としては法整備や技術的なサポートをしていくこととなります」

ナベカ牛の渡邊竜一代表取締役「アスベストの最も優れた無害化処理システムがようやく実用の段階に入ったといってもよいでしょう。アスベスト解体現場における作業員や周辺環境に十分配慮したシステムです」 (同)

アジア原子力人財育成へ—東海大学が第2回開講式開く

東海大学は、アジア人材資金構想による原子力発電分野における高度人財育成プログラム(GIANTプログラム)の第2回開講式を、5月11日に校友会館(東京・霞ヶ関ビル)で開催した。

GIANTプログラムは、経産省・文科省が実施するアジア人材資金構想により高度人財を育成する教育プログラム。日本企業に就職する意志のある、アジア地域の優秀な留学生を招き、大学院工学研究科応用理学専攻修士課程の通常カリキュラム(2年間)に入学させて、高度な日本語能力を習得させた後にエネルギー・原子力関連の専門教育をはじめ、日本企業で仕事するための日本ビジネス教育や企業実習などを行うプログラムである。留学生の育成教育には、関連企業がコンソーシアムをつくって協力している。

昨年10月に第1回の開講式を行い、来日したタイ、ベトナム、インドネシア、カザフスタン、モンゴル出身の5名が出席して、そのうちすでに日本語

を学んでいた1名が入学した。残り4名は日本語研修の後に今春に入学した。さらに今年4月にベトナム、インドネシア、タイ出身の3名が来日し、日本語研修をした後に今秋入学する。今回の開講式にはこれら8名が参加した。

開講式では、プロジェクトリーダーの内田裕久理事・国際教育センター長の挨拶に続いて、留学生8名が挨拶した。来日したばかりの3名から始めて、今春入学した4名、昨秋入学した1名の順に、日本語で一人ひとりが挨拶したが、短期間で結構、日本語をマスターしており、各自が懸命に努力している様子うかがえた。すでに受講している留学生からは、日本語の専門授業で難しいが、頑張ればやれると自信をのぞかせる言葉もあった。

開講式後の懇談会では、留学生8人とプログラム関係者、コンソーシアム企業関係者、東海大学関係者などが歓談した。 (同)

肝移植後の急性拒絶反応と治療効果をPETで画像化

放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター分子病態イメージング研究グループの辻厚至主任研究員らは、藤田保健衛生大学と共同で、ラット

同所性肝移植モデルを用い、肝移植後に起こる急性拒絶反応とその治療効果をPETで画像化することに世界で初めて成功した。

辻主任研究員によると、肝臓移植の患者の身体的負担の軽減や診断精度の向上のために、肝臓全体を非侵襲的に診断する方法が求められていることから研究を開始したという。そこで臨床に近いモデルとして同所性肝移植モデルラットを使い、全国で200以上の施設で使われており臨床応用が容易な FDG-PET での診断の可能性を検討したところ、病理診断と同等以上の早い時期に診断できることを明らかにし、さらに免疫抑制剤での治療の効果も診断できることも明らかにした。

具体的には、主要組織適合性複合体(MHC)の異なる DA ラット(DarkAgouti ラットのことで、毛色が野生種)と LEW ラット(近交系ラットの一種、毛色は白)を用い、非拒絶群(LEW ラットの肝臓を LEW ラットに移植、MHC の遺伝子が同じなので拒絶は起こらない)と急性拒絶群(DA ラットの肝臓

を LEW ラットに移植、MHC の遺伝子が違うので拒絶が起こる)のラット同所性肝移植モデルを作製。移植 2 日後から 9 日後まで経時的に FDG-PET を行い、画像解析を行っている。その結果、非拒絶群では、FDG の肝臓への集積はほとんど変化しないのに対し、急性拒絶群では、日に日に集積が増加していくことがわかった。また、すでに移植 2 日後には、両者には統計的有意さがでて、拒否反応の初期に FDG-PET で診断できることが示されたとしている。

辻主任研究員の話「この成果を臨床で検証し、急性拒絶の診断の患者、特に移植肝臓が小さい小児の負担が軽減されることが期待されます。また、治療効果の判定も可能であり、免疫抑制剤の使用量の軽減にも役立つと思います」 (同)

東大グローバル COE, 高レベル放射性廃棄物の社会的側面に関するワークショップを開催

東京大学グローバル COE「世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ」は 6 月 20 日、東大本郷キャンパスにて、第 2 回原子力社会論・公開ワークショップ「市民参加と高度科学技術—高レベル放射性廃棄物処分の問題を題材に」を開催した。HLW の問題をはじめとする高度科学技術に関わる問題では、しばしば反対・推進の声に注目が集まる一方で、そのどちらでもない「普通の人々」は議論から疎外されがちではないか、との問題意識のもと、このような問題を「公論」の場に救出するための知恵を出し合うことをねらって、本 WS は企画された。今回は科学技術社会論学会の後援も得て、パネリストは原子力関連のみならず、小林傳司氏(阪大 CSCD 教授)、武田徹氏(ジャーナリスト/恵泉女学園大学教授)、高橋祐一郎氏(農林水産政策研究所・主任研究官)など、様々な分野から招かれ、単なる制度的・技術的な議論をこえた、本質的な議論がなされた。



決してとっつきやすいテーマではないが、原子力関係者のみならず、官公庁、ジャーナリズム、NPO、様々な人文社会系の研究者など、幅広い市民が参加し、活発な議論が行われた。若干、フロアも含めた討論の時間が不足気味であったとの反省点はあるが、参加者からは次回を期待する声も多くあがった。(資料提供：東京大学)

福井大学に附属国際原子力工学研究所が開所

福井大学は 4 月 1 日、福井大学文京キャンパスで、大学附属国際原子力工学研究所の開所式を行っ

た。同研究所は、福井県内の原子力関連機関や全国の大学と連携して世界トップレベルの原子力研究・

教育を行うことが目的。研究分野は、「もんじゅ」などの先進型原子炉を有する福井県嶺南地域の特徴を生かした原子力工学研究開発分野を中心とし、高速炉、新型炉、燃材料、廃止措置などの研究を行う。また、敦賀地区にある原子力機構等の施設・設備を活用し、体系的な高度原子力人材教育と、アジアを中心とした国際的な原子力人材育成を行う。さらに学内外の関係機関等と協力して、医学物理・化学分野の教育研究や、防災工学の教育研究も視野に入れている。

開所式において、福井大学の福田優学長は、「ここまでは極めてスムーズにきたが、これからは成果



挨拶する福田優学長



抱負を述べる竹田敏一所長

が問われる正念場である」と挨拶した。また、竹田敏一所長は、「もんじゅ等を利用し特色ある研究と教育を行い、特に高速炉を推進する米・仏と協力体制を確立したい」と抱負を述べた。

(資料提供：福井大学)

原産協会提供の動画番組のご案内

原産協会では、原子力関係の情報を毎月、動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」として、原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、無料でお届けしている。

2009年5～6月の番組は以下の通り。

- ・解説 世界の原子力発電開発の状況(5月18日公開)
- ・原子力発電新規導入予定国の展望—第42回原産年次大会から(6月15日公開)

(資料提供：日本原子力産業協会)

「重い電子」が作るフェルミ面の直接観測に世界で初めて成功 —磁性と共存する不思議な超伝導の機構解明への糸口

日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門の岡根哲夫研究副主幹、東北大学大学院理学研究科物理学専攻の青木晴善教授、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻の藤森淳教授、京都産業大学大学院理学研究科物理学専攻の山上浩志教授らの共同研究グループは、異常に大きな見かけ上の質量を持つ「重い電子」が作るフェルミ面を世界で初めて直接観測することに成功した。これによって、重い電子が担う電気伝導の性質を様々な金属ごとに判別することを可能にした。

金属中の電子は、動き回って電気伝導を担う「電子」と、動き回らずに磁性を担う「局在電子」に分けられる。この2種類の電子の間に強い相互作用が働いて混じり合うと、見かけ上通常の電子の10～1,000倍にも重くなったように見える電子が現れる。これが重い電子で、その性質を明らかにすることは、伝導と磁性の絡み合う物理現象として注目を集めてい

る磁性と共存する超伝導の機構解明につながると考えられている。

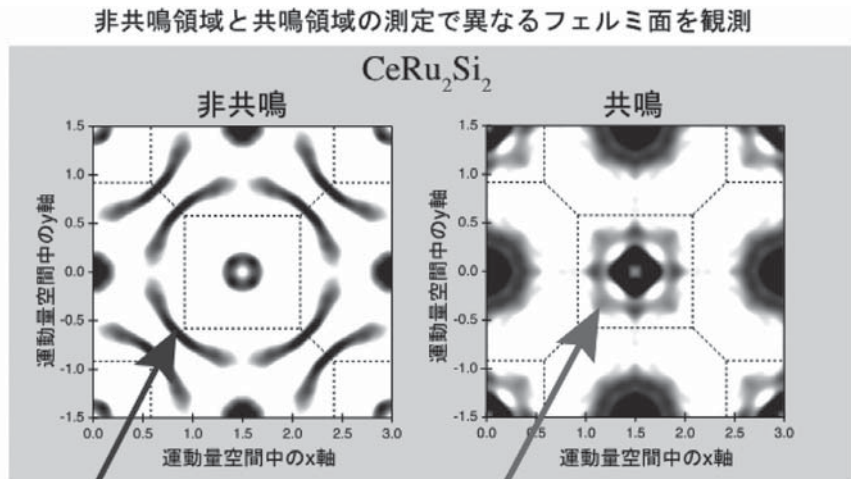
一方、金属は固有の形を持つフェルミ面を必ず持っており、各金属の電気伝導の性質がその形の違いとして現れるため、フェルミ面は「金属の顔」と呼ばれている。もし、重い電子が作るフェルミ面を観測できれば、重い電子が担う電気伝導の性質について金属ごとの相違点を精密に研究できるようになる。重い電子が作るフェルミ面を直接観測した実験はこれまでなかった。

今回、同研究グループは、大型放射光施設 SPring-8のビームラインにおいて、高いエネルギーをもつ軟X線放射光を物質に照射した際に放出される電子の様子を調べる「共鳴角度分解光電子分光」実験によって、従来の手法ではできなかった特定の電子軌道の選択的観察を行い、重い電子がフェルミ面を実際に作っていることを直接観測することに世界で初

めて成功した。今後、共鳴角度分解光電子分光法を用いて、重い電子がどのようなフェルミ面を作る時に超伝導や磁性が発現するかを系統的に明らかにしていくことで、重い電子を持つ金属で見られる磁性と共存する超伝導の機構解明の進展が期待される。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p09052601/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構, 東北大学, 東京大学, 京都産業大学)



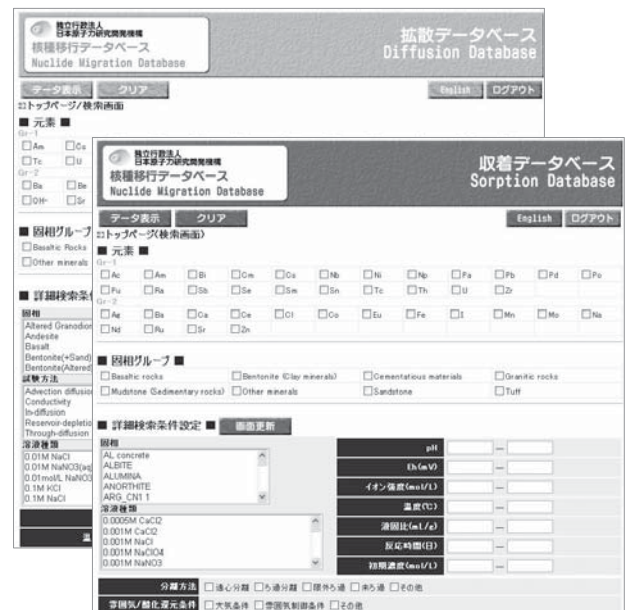
元の遍歴電子の性質が強いフェルミ面

元の局在電子 (4f 電子) の性質が強い「重い電子」が作るフェルミ面

角度分解光電子スペクトルによって調べたセリウム化合物 (CeRu_2Si_2) のフェルミ面。左が従来型の非共鳴領域, 右が今回の共鳴領域 (右) で測定したもの。右図では, 左図では観測できなかった局在電子のフェルミ面が見える。

地層処分安全評価のための収着・拡散データベースを更新

原子力機構地層処分研究開発部門では、地層処分の安全評価において重要な緩衝材や岩石中の核種の収着分配係数および拡散係数に関する収着・拡散データベース (JAEA-SDB/DDB) を大幅に拡充・更新した。今回の更新で、原子力学会標準などを参考とした信頼度評価ガイドラインの策定とそれに基づく個々のデータの信頼度情報、実際の地質環境条件に対するパラメータ設定支援機能など、今後の安全評価におけるニーズへの対応を可能とする機能や情報が大幅に拡充された。これにより、信頼性の高いデータ抽出とそれに基づくパラメータ設定を、一層の効率性、追跡性および透明性のある形で行うことが可能となり、安全評価の信頼性が一層向上すると期待される。本データベースは、国内外のユーザーのため、日英対応の Web アプリケーションによるデータベースシステムとして整備し、原子力機構のホームページ (<http://migrationdb.jaea.go.jp/>) を通じて誰もが利用することができる。今後、さらに



核種移行関連の各種データベースの拡充・更新を継続的に行っていく計画である。

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[ロシア]

日露原子力協定を締結、ロシアの ウラン濃縮に期待

日露原子力協力協定が5月12日、ロシアのプーチン首相の来日に合わせて東京の首相官邸で締結された。日本の原子力機器製造技術とロシアの濃縮ウラン供給能力など、「典型的な相互補完関係にある」(望月経済産業事務次官)両国が正式に協力関係を強化しようとするもので、日本としては米・英・仏・加・豪・中に次ぐ7か国目の原子力協力協定となる。中曽根弘文外相とセルゲイ・V・キリエンコ国営企業ロスアトム社長が署名した。今後、両国の国会で批准された後、発効する。同協定書自身は現段階では公開されておらず、どの程度の条文から構成されているかも明らかになっていない。

協定締結に合わせて同日、二階俊博経産相とキリエンコ社長が、具体的な協力を進めるために、「原子力の平和的利用における協力に関する経済産業省とロスアトムとの共同声明」に署名した。

同声明で両者は、原子力エネルギーが「21世紀における世界の繁栄および持続的発展に必要な不可欠かつ重要な役割を果たす」との共通の理解に立つ一方、世界的な関心が高まる中で、核不拡散/保障措置、原子力安全、核セキュリティの3S確保の重要性も増大している、と強調。両国の相互利益を追求するために、ウラン鉱山、燃料サイクル、原子力発電所の建設などで2国間協力を促進する、としている。

さらに、原子力エネルギーの導入を検討している他国に対しても、3Sが確保されるような方法で原子力が当該国のエネルギー・ミックスに含められることを奨励し、法律的、行政的、その他の必要な基盤を整備することを支援する、としている。また国際原子力機関やロシアなどが提案している燃料供給保証に関しても、国際的な議論に貢献し参加する。協力を円滑に進めるために、両者間で定期的に対話を実施し、意見交換していくことも決めた。

経済産業省では、同協定の締結で、わが国の電力会社が英仏に使用済み燃料の再処理委託をした結

果、両国に現在貯蔵されている回収ウランをロシアで再濃縮したり、ロシアの原子力メーカーが日本の原子力機器や製造技術を導入することなどがまず想定されているが、「十分にいろいろな展開があると思う」と説明している。

ロスアトム、サンクトペテルブルクの造船所で海上浮揚型原発の組立開始

ロシアの総合原子力企業であるロスアトム社は5月19日、サンクトペテルブルクにあるバルチック造船所(BZ)で世界初の海上浮揚型原子力発電所(FNPP)の組立てを開始したと発表した。

原子力砕氷船用の船用炉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)原発は「アカデミック・ロモノソフFNPP」と名付けられ、2007年4月にモスクワの北方セペロドピンスク市(アルハンゲリスク州)にあるセブマッシュ・プリドブリヤチェ造船所で製造が始まった。しかし、軍事関係契約の急増により、同造船所の作業は昨年8月にBZに移管され、ロスアトム社の傘下でFNPPの建設を担当するエネルゴアトム社は今年2月、BZと世界初のFNPP建設契約を締結した。

同社は、2011年までに最初のFNPPを完成させ、2012年第2四半期までに極東カムチャツカ地方のピリュチンスクに配置・運転を開始する考え。また、2番目のFNPPは2010年秋に建設を開始し、カムチャツカ地方に隣接するチュクチ自治管理区のペバク港に係留する計画。同管理区当局とはすでに協定を締結済みとなっている。

建設工期は3~3.5年と短く、費用は約3億ドル。発電だけでなく熱供給や海水脱塩も可能で、メンテナンスと放射性廃棄物の処理は専門企業が実施することになる。稼働年数は40年ほどで、燃料交換は10年に1回の頻度だと同社は説明している。

FNPPの利用は、自前の燃料資源を持たない上、燃料の輸送が難しいロシアの極北、極東地域などで特に適しており、可動式で大型河川の河床にも係留できるため、アジア太平洋地域の島国などでも活用が可能。エネルゴアトム社ではロシア用に最初のFNPP建設した後は、海外の顧客用に7基の建設を

検討していく方針だ。

[英国]

デコミ機構、新規建設用3サイトを競売

英国原子力デコミミッション機構(NDA)は4月29日、英国で新規原子力発電所の建設候補地である3サイトの競売で、2サイトをドイツのRWE エヌ・パワー社とE.ON 英国社の企業連合が、残りの1サイトはEDF エナジー社(英BE社を吸収して成立した仏電力の子会社)が落札したと発表した。

これら3サイトはすべて、新規原子力発電所建設計画の戦略的サイト選定評価(SSA)プログラムの一環として、英国エネルギー気候変動省が4月15日付けで公表した11の建設候補地リストに含まれていた。ドイツの企業連合が獲得したのは、グローセスターシャー州オールドベリー原子力発電所に隣接する48ヘクタールと、ウェールズのウィルファ原子力発電所に隣接してNDAとEDFが所有していた178ヘクタール。同企業連合では「英国で少なくとも600万kWの原子炉を建設するという我々の計画の最初の一步を踏み出すことができた」と強調している。

一方、EDF エナジー社が落札したのは、エセックス州ブラッドウェルの既設原子炉隣接区域の200ヘクタール。同社は競売終了時点で結んだ売買契約により、親会社のEDFがウィルファに保有していた区域の売却手続きを開始する。また、BE社買収時の欧州委員会との誓約、および英国政府による事業者の多様化政策に従い、同社はケント州ダンジネスとランカシャー州ハイシャムに所有する土地のいずれかを売却する予定で、まもなく手続きの第1段階を始めるとしている。

NDAが今回の3サイト売却で得る収益は3億8,700万ポンド。NDAは、これらは廃止措置費用などに当てたいとの考えを明らかにした。

なお、落札を逃したイベルドローラ社とGDF スエズ社およびスコティッシュ・サザン社の企業連合は、同日、声明を発表。今回の3サイトについては「技術的、経済的、財務的な基準に従い、これ以上の入札は行わない」とする一方、リストに載ったその他のサイトに関して、今後入手の機会を探ってい

くと明言している。

[UAE]

ドバイで10月に中東原子力サミット開催

世界中で大規模な国際会議・イベントの開催を手がける「国際品質生産性センター(IQPC)」は、今年10月4～7日までの4日間、独カールスルーエ技術研究所(KIT)の後援による「中東原子力エネルギー・サミット2009」をアラブ首長国連邦(UAE)のドバイで開催する。

英国の国際戦略研究所(IISS)の調べでは、中東・北アフリカ地域(MENA)の13か国がすでに原子力発電の導入を検討しており、UAEは2017年までに初号機の運転を開始するため具体的な活動を開始。これに続き、クウェートやバーレーン、サウジアラビアも原子力導入に関心を表明していることから、同サミットではこれらに効果的・効率的に対応し、安全な原子力開発を行うための方策を議論する。

[米国]

DOE 長官、2010会計年度予算要求でユッカ計画を打ち切り

米エネルギー省(DOE)のS・チュー長官は5月7日、2010会計年度(2009年10月～2010年9月)のDOE予算要求額を議会に提示し、ユッカマウンテン処分場計画に関しては、昨年からはじめた認可手続き経費として1億9,680万ドル(32%減)に抑えるなど、B・オバマ政権が正式に同計画を打ち切る判断を下したことを明らかにした。

放射性廃棄物処分に関する内訳説明文書の中で、DOEは同政権がユッカマウンテンでのさらなる用地取得や輸送、および追加のエンジニアリングなどの予算はすべて削除したことを明記。同計画の担当部署である民事放射性廃棄物管理局(OCRWM)用の予算は、放射性廃棄物処分のための代替案開発および、同計画の打ち切りに最低限必要な額であると説明している。具体的には、放射性廃棄物法に基づいて米原子力規制委員会が実施している同計画の認可申請(LA)手続き継続に当てられる。また、プロジェクト運営費はこのLA活動支援のために再構築

され、同計画に対する支援活動は最終的に、連邦政府計画の実施や公正な認可手続きのために法令や規制、指令が要求するものに限定される予定だ。

同政権はまた、使用済み燃料と高レベル廃棄物の管理・究極的な処分という連邦政府の責任を果たすために、代替方策を評価する特命の専門家小委員会を新たに招集する方針だと強調。この課題を解決するための最良の取組みについて意味のある議論の場とし、廃棄物処分に関する法定上の枠組み改定の基盤となる勧告を提供することになるとの見解を示した。

この委員会については、上院の議会スタッフがすでに共同法案の素案をエネルギー・天然資源委員会に提出。委員は連邦政府および地方自治体職員を除く専門的知見や経験を有する米国市民等の中から大統領が11名任命し、1政党からは6名までとしている。また、放射性廃棄物を安全に管理・処分する代替方策として、同委は、(1)1つの処分場に深地層処分、(2)現在のサイト内貯蔵場所に長期貯蔵する、(3)1か所以上の地方貯蔵施設に長期貯蔵する、(4)使用済み燃料を再処理する、(5)これらを組み合わせる、などについて調査する。得られた知見や結論および勧告は2年以内に報告書にまとめ、大統領と議会に提出することになる。

なお、このほかの予算として、「原子力発電2010」プログラム予算は第3世代原子炉の技術開発等、計画期間が終盤に近づいたことから2,000万ドル(88%減)に減額。一方、第4世代原子炉の研究開発予算

は前年度予算から1,100万ドル増額して1億9,100万ドルに。また、燃料サイクル研究開発費も高レベル廃棄物を長期間、安全に管理するための研究開発に必要ということで、32%増の1億9,200万ドルを計上している。

NRC 委員長にジャツコ氏

米国のオバマ大統領は5月13日、米原子力規制委員会(NRC)委員長に同委のG・ジャツコ委員を指名した。2005年からNRC委員を務めている同氏の委員長昇格には、上院の承認を必要としない。

NRCは通常、5名の委員で構成され、委員長はその中から大統領の裁量で任命される。これまで委員長を務めていたD・クライン委員をはじめ、K・スピニッキ、P・ライオンズ両委員が共和党員およびスタッフであるのに対し、ジャツコ新委員長は唯一の民主党員(残り1名は空席)。同氏は、ネバダ州ユッカマウンテンの高レベル廃棄物処分場計画の強硬な反対派であるH・リード上院院内総務の予算担当ディレクターや上院の科学政策アドバイザーを務めたことがあり、同院内総務と同じくユッカマウンテン計画には反対意見であると伝えられている。物理学博士号を持ち、ジョージタウン大学で非常勤教授として科学・政策を教えていた経歴がある。

なお、クライン前委員長は2011年6月までの任期を「委員」として務める考えだ。

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第11回

3次元アトムプローブによる軽水炉材料の
ナノ組織観察

(財)電力中央研究所 土肥 謙次, 曾根田 直樹

高経年輕水炉の運転・管理では、機器類の経年変化事象の傾向などを精度よく予測するため、経年変化事象の本質的なメカニズムを理解することが必要である。電力中央研究所では、軽水炉材料の経年変化メカニズムを明らかにするため、最先端のナノ組織観察技術の活用を進めている。本稿では、3次元アトムプローブを始めとする観察・分析機器類を相補的に活用した電力中央研究所のナノ組織観察技術の概要を述べるとともに、原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化メカニズム解明やニッケル基合金の応力腐食割れき裂先端の観察など、ナノ組織観察技術の軽水炉材料への適用例について紹介する。

I. はじめに

電力の安定供給と低炭素社会への対応を考える上で、軽水炉発電への期待と役割はますます大きくなりつつある。その一方で、国内の軽水炉発電プラントは初号機の運転開始から40年を迎えようとしており、軽水炉の高経年化への対応が着実に進められている。このような情勢の下、電力中央研究所(以下、電中研)では、軽水炉高経年化研究の重点的かつ総合的推進を図るため、2007年5月、「軽水炉高経年化研究(PLM:LWR Plant Life Management)総括プロジェクト」を発足させ、原子炉圧力容器の中性子照射脆化、炉内構成材の応力腐食割れ、配管減肉などの材料経年変化現象について、その基礎的なメカニズム解明と、経年変化の予測・評価方法の開発研究を進めている。

高経年輕水炉の運転では、機器類の継続的な状態監視や検査とともに、将来にわたって適切に運用・管理するため、主要な経年変化事象の傾向を精度よく予測することが必要である。その際、経年変化事象に対して科学的・合理的で信頼性の高い検査や予測を行うために、経年変化事象の本質的なメカニズムの理解が不可欠である。ここでは、経年変化を引き起こす実体を可能な限り「見る」

ことが、重要な鍵となる。この「見える化」を支援してくれるのが、最先端の観察および分析機器である。昨今の各種分析機器類の目覚ましい技術革新によって、ナノメートルスケールでの変化の「見える化」、すなわち、「ナノ組織観察」が実用的な手段となった。

本稿では、電中研の軽水炉高経年化研究において活用している3次元アトムプローブ観察技術および関連技術と、それらの適用例のいくつかを紹介する。特に、原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化メカニズムの解明については、単なる劣化要因の「見える化」に止まらず、脆化予測式の開発やそれらの規格への反映を通して“ナノ”と“マクロ”の橋渡しを実現した例として紹介したい。

II. 電中研のナノ組織観察技術と設備

電中研では、狛江地区の放射線管理区域内に3次元アトムプローブ、透過電子顕微鏡、陽電子消滅装置、集束イオンビーム(FIB)加工装置など、最新のナノ組織観察設備群からなる「軽水炉材料分析ステーション」を整備し、各種の軽水炉材料のナノ組織観察に基づくメカニズム研究を進めている。以下では、特に3次元アトムプローブおよびFIBなどの設備や利用技術について概要を述べる。

1. 3次元アトムプローブ観察法

3次元アトムプローブ法は、材料中の原子一つひとつ

Nano-structural Observation of LWR Materials by Three Dimensional Atom Probe : Kenji DOHI, Naoki SONEDA.

(2009年 6月8日 受理)

について、その3次元位置座標と元素の種類を調べることができる分析手法である¹⁾。位置座標についてはサブナノメートルの解像度を持ち、水素や炭素などの軽元素を始め、全元素に対してほぼ同等の分析感度を有している。このため、他の手法では調べるのが難しい微細な析出や偏析などを極めて高精度に測定および分析することができる。この装置を保有する機関は国内外でも限られるが、電中研では狛江地区の放射線管理区域に2台の3次元アトムプローブを設置し(第1図)、中性子照射により放射化した金属材料を中心に観察を行っている。

第2図に3次元アトムプローブの測定原理の概略を示す。3次元アトムプローブでは先端直径が100 nm(ナノメートル, 10^{-9} m)程度の極めて鋭く尖った針を試料として用いる。針と2次元検出器の間に電圧パルスを印加することで針先端の原子層を一層ずつイオンとして蒸発させる。このイオンを2次元検出器で検出することで位置座標を、また電圧印加からイオン検出までの飛行時間測定によりイオンの質量-電荷比スペクトルを得ることで元素を特定する。測定された原子位置の空間分解能はおおむね0.2 nm(xy 方向), 0.07 nm(z 方向, 試料の長手方向)程度である。例えば、鉄の原子間距離は約0.25

nmであるので、それに迫る分解能を有している。また、本手法は元来、金属などの導電性材料を対象としていたが、電圧パルスの代わりにレーザーパルスを用いる技術が開発され、半導体や非導電性材料を観察することが可能になった。電中研では後述する燃料被覆管の観察等にレーザーパルス法を用いている。観察できる領域の体積は試料の状態にもよるが、 x , y , z 方向にそれぞれ最大で100 nm, 100 nm, 1,000 nm 程度である。

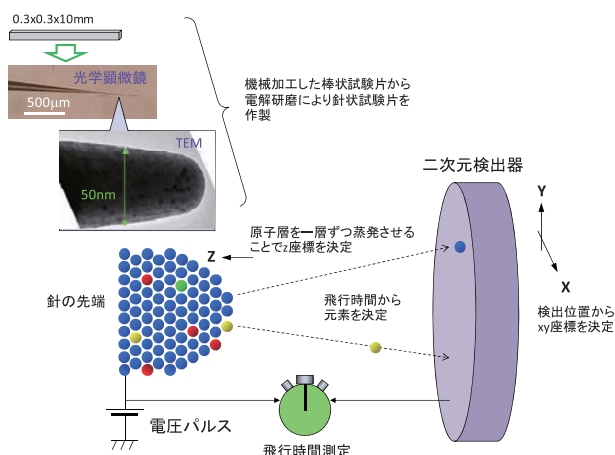
2. 集束イオンビーム加工法(FIB)

金属材料の3次元アトムプローブ観察用試料作製では、 $0.3 \times 0.3 \times 10$ mm 程度の棒状試料の先端部分を電解研磨法によって徐々に細めるという方法が通常用いられる。3次元アトムプローブによって観察が可能な領域は、針状試料の先端から高々数百 nm でしかないため、材料内の特定部位(例えば、結晶粒界やき裂先端など)を観察したい場合は、その部位を針状試料先端の限られた領域に一致させるような試料加工が必要であり、この微妙な加工を電解研磨法により実施することは極めて難しい。このような用途に威力を発揮するのが、集束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)加工法である。

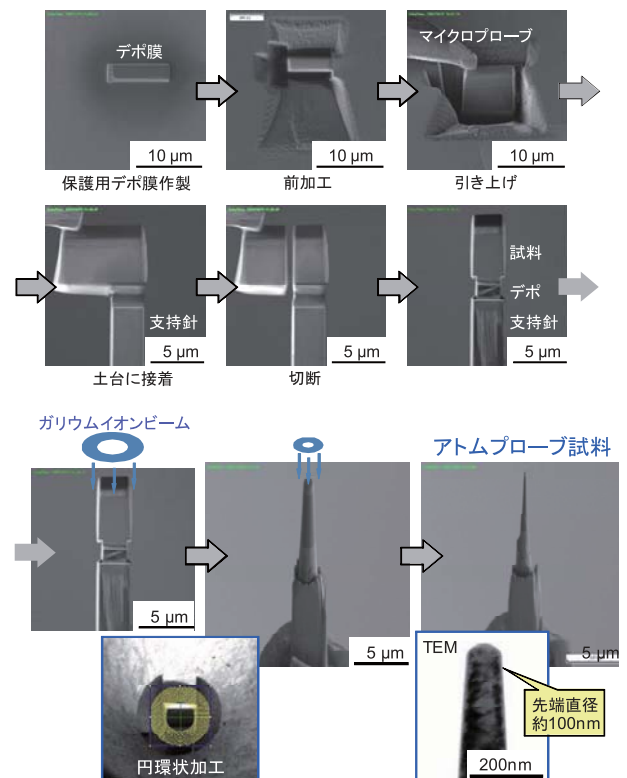
FIB加工は、加速したガリウムイオンを材料に衝突させることで材料を削り、10 nm 程度の加工精度で任意の形状の試料を作製する技術であり、近年、アトムプローブ試料の作製に用いられるようになってきた。第3図は、電中研で実施しているFIB加工法によるアトムプ



第1図 3次元アトムプローブの外観



第2図 3次元アトムプローブの測定原理



第3図 FIB加工法による3次元アトムプローブ観察試料の製作手順

ローブ試料の作製手順の例を示している。タングステンに堆積させた膜(デポ膜)で保護された試料部は、前加工の後、マイクロローブにより引き上げられ試料土台と接合される。その後、円環状のイオンビーム加工により先鋭化されアトムプローブ試料となる。FIB加工では、ガリウムイオンのエネルギーに依存して、試料の表面から数nm~数十nmの範囲に照射による損傷領域が生じる。そこで、電中研では、加工の最終工程でガリウムイオンのエネルギーを低めにするなど、損傷領域を低減する独自の低減対策を行い、電解研磨による加工と同等の結果が得られることを確認している。

この技術を用いて、後述するステンレス鋼中のSCCき裂の先端の測定、水素が入るために電解研磨法の使用が望ましくない燃料被覆管材、試料表面から1 μm 程度の深さの位置に損傷が形成されるイオン照射材のアトムプローブ観察を行っている。また、金属材料だけでなく、SiCなどの半導体の観察にも利用している。

Ⅲ. 原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化メカニズム解明への適用

1. 中性子照射脆化と脆化予測

軽水炉の原子炉圧力容器は、中性子の照射を受け材料特性が変化する。この事象は「中性子照射脆化」として知られており、特に脆化(粘り強さの低下)の程度を適切に把握することが重要である。脆化の程度は、シャルピー衝撃試験と呼ばれる破壊試験を様々な温度で行い、試験片の破壊に費やされるエネルギーが延性的な状態から脆性的な状態へ変化する温度(遷移温度)を中性子照射の前後で求め、それらの差分(遷移温度の移行量)により評価する方法などが一般的である。国内の商用プラントでは中性子照射脆化をモニタするため、シャルピー衝撃試験片等からなる監視試験片が圧力容器内に装荷され、定期的に取り出して容器の脆化の程度を調べるとともに、鋼

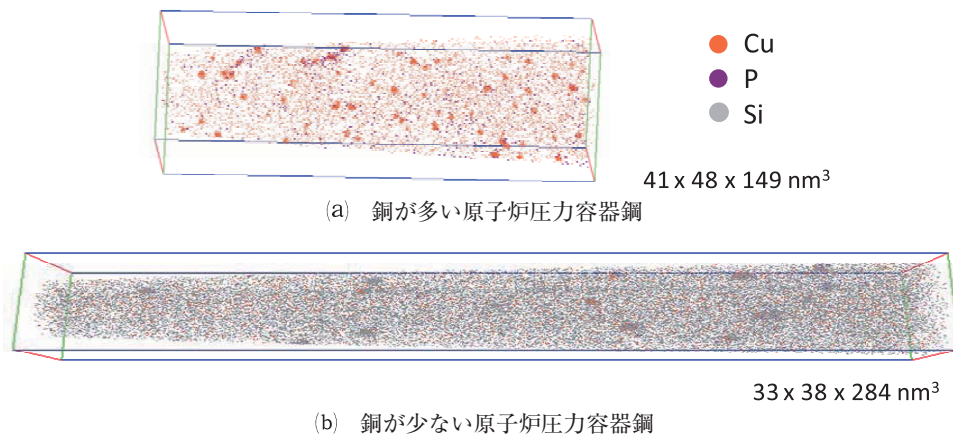
材の化学成分や中性子照射量などをパラメータとする脆化予測式を用いて、脆化傾向や安全裕度の確認が行われている。

中性子照射脆化については、1970年代から多くの研究が行われており、観察・分析技術の進歩と相まって中性子照射脆化の本質的なメカニズムの理解がかなり進んだ。こうした状況の下、1990年代後半から米国²⁾で脆化メカニズムに基づく予測式の開発が進められるようになり、電中研でもそれまで行ってきたメカニズム解明研究に加え、2000年頃からより精度の高い脆化予測法の開発研究に鋭意取り組んでいる。

2. 3次元アトムプローブによる溶質原子クラスターの観察

中性子照射脆化は、鋼材中の不純物である銅や他の添加元素の集合体(銅濃縮クラスター)の形成や中性子照射により導入された結晶中の原子配置の乱れ(格子欠陥)の集合体の形成が関与していることがわかってきた。このうち、銅濃縮クラスターは銅を含む原子の集合体ではあるが、鋼材の素地の結晶構造をほとんど乱すことなく存在し、大きさが2~3nmと非常に小さいため、透過電子顕微鏡での観察は容易ではなく、3次元アトムプローブ法が重要な研究手段として利用されてきた。3次元アトムプローブ法で得られた原子の3次元分布を解析することにより、個々のクラスターの大きさや化学組成だけでなく、クラスターの数密度や体積率なども精度良く評価できる。

電中研では、この3次元アトムプローブ法を用いて、監視試験片や試験炉照射材中に形成されるクラスターの観察を行っている。第4図は、銅含有量の異なる鋼材の3次元アトムプローブ観察結果である³⁾。同図(a)のクラスターは銅を多く含み、ニッケルやマンガンなどを主体とする銅濃縮クラスターであるが、同図(b)では銅を含まず、ニッケル、マンガン、シリコンを主体とするクラスターである。



第4図 銅含有量の異なる原子炉圧力容器鋼中に形成された溶質原子クラスターの比較
個々の点が原子1個を表しており、本図では銅、シリコン、リン原子のみを示す。
球状の塊が照射によって形成された溶質原子クラスターである。

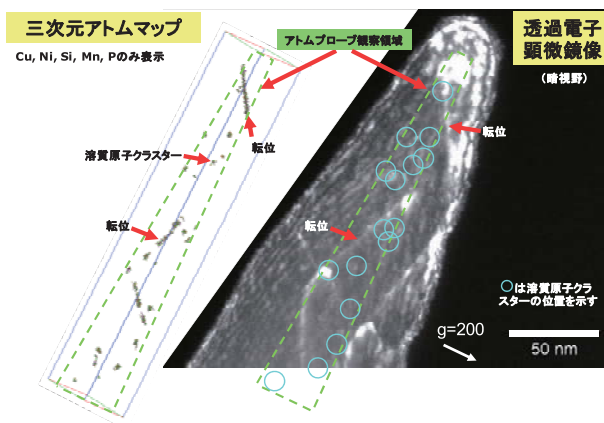
このように銅含有量の少ない鋼材でも数密度は低いものの銅を含まないクラスタが形成されることがわかった。これらの結果から、銅に限らず鋼材中に溶け込んでいる原子(溶質原子)がクラスタを形成することや、クラスタの形成には鋼材の化学組成や照射条件が影響することが明らかになった。なお、電中研では銅濃縮クラスタと銅を含まないクラスタを総称して「溶質原子クラスタ」と呼んでいる。

3. 透過電子顕微鏡と3次元アトムプローブの相補的活用

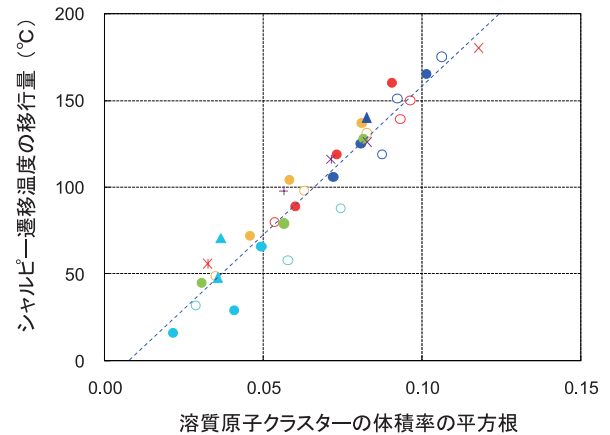
照射脆化のもう一つの要因として、前述のとおり格子欠陥の寄与が考えられている。格子欠陥は主に透過電子顕微鏡によって観察されるが、格子欠陥の集合体と溶質原子クラスタの相関は必ずしも明らかではない。第5図はあらかじめ透過電子顕微鏡によって直線状の格子欠陥(転位)や円環状の格子欠陥(転位ループ)などを観察し、同一試料の3次元アトムプローブ観察により溶質原子クラスタと格子欠陥との対応を調べたものである。材料中にもともと存在すると考えられる転位に銅、ニッケル、マンガン、シリコンなどが明瞭に集まっている。また、溶質原子クラスタのいくつかは転位ループと考えられる白いコントラストの位置と一致する。現在、データの蓄積を進めているが、このような透過電子顕微鏡と3次元アトムプローブの相補的活用から溶質原子クラスタと格子欠陥との関係などが明らかにできるものと考えられる。

4. 機械的特性との相関および脆化予測式の開発

種々の中性子照射された原子炉圧力容器鋼の3次元アトムプローブ観察を積み重ねることで、溶質原子クラスタと機械的特性との相関関係が明らかになってきた。第6図は、中性子照射された原子炉圧力容器鋼のシャルピー衝撃試験による遷移温度の移行量と3次元アトムプローブ観察による溶質原子クラスタとの関係を示してい



第5図 中性子照射された原子炉圧力容器鋼中の溶質原子クラスタと格子欠陥との関係



第6図 シャルピー遷移温度の移行量と溶質原子クラスターの体積率との関係

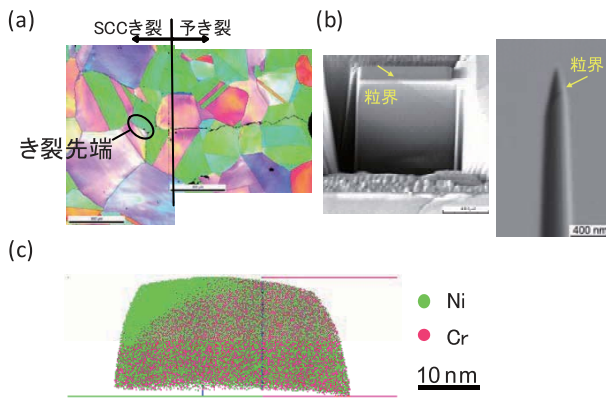
る⁴⁾。ここで溶質原子のクラスタ体積率とは、3次元アトムプローブ観察時の全体積あたりのクラスタの合計体積の比である。図から明らかなように、溶質原子クラスタの体積率の平方根は、シャルピー遷移温度の移行量と非常に良好な線形相関の関係にある。このことは、3次元アトムプローブ観察による高々ナノメートルオーダの微小体積内の材料変化が、シャルピー衝撃試験のようなセンチメートルオーダの機械的特性を左右することにはかならず、ナノとマクロを結び付ける重要な相関関係といえる。

3次元アトムプローブを中心とするナノ組織観察によって得られた最新の脆化メカニズムに基づき、電中研では新たな脆化予測式を開発した³⁾。開発した脆化予測式は、既存の予測式では考慮されていなかった照射速度や照射温度の影響を取り入れ、予測精度のより高いものとなっている。また、同予測式は(社)日本電気協会の技術規程に採用され、JEAC 4201-2007として発効されている⁵⁾。

IV. 他の軽水炉材料の観察

1. ニッケル基合金のSCCき裂先端の観察

軽水炉の炉内構造材料として用いられるニッケル基合金およびオーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れ(SCC)は高経年軽水炉における重要な検討課題である。従来、透過電子顕微鏡とX線分析装置の組合せによりき裂先端の組織観察や化学組成分析が行われ、例えばニッケル基合金のSCCき裂先端近傍の結晶粒界にはニッケルが濃縮することが報告されている。しかし、透過電子顕微鏡等を用いて結晶粒界を分析する場合、厳密に結晶粒界のみを分析することは難しく、結晶粒内の情報と平均化されてしまい、き裂先端近傍の結晶粒界に存在するニッケル濃度を正確に同定することは困難である。そこで、電中研ではSCCき裂先端近傍の化学組成変化を調べるためにFIB加工法と3次元アトムプローブ



第7図 Ni 基合金の SCC き裂先端のアトムプローブ観察
(a) SCC き裂周辺の結晶粒分布図,
(b) FIB による 3 次元アトムプローブ試料作製の様子,
(c) 3 次元アトムプローブ観察結果

ブ観察を組み合わせた分析を行った⁶⁾。

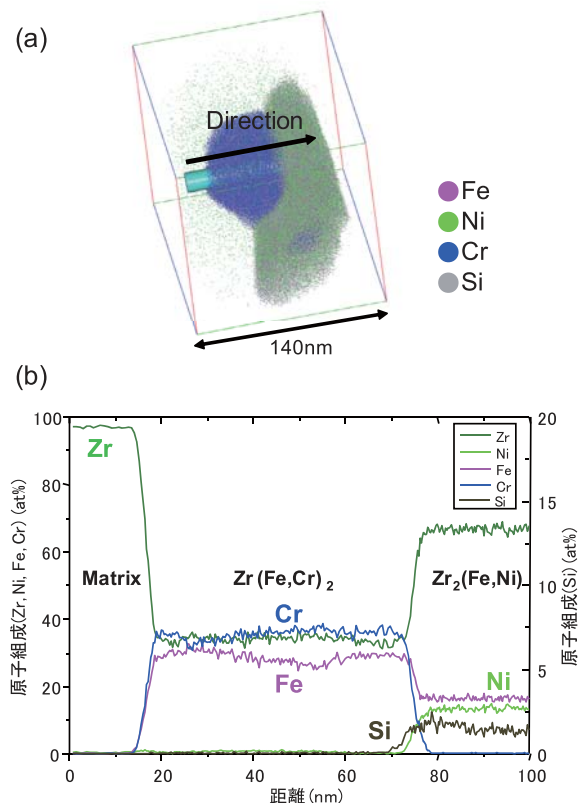
まず、ニッケル基合金 Alloy 600 の熱間圧延材を対象に、PWR 1 次系を模擬した高温高压水中の SCC 試験によりき裂を導入した。その後、第 7 図に示すように、走査電子顕微鏡および電子後方散乱回折像法を用いてき裂先端位置とその周辺の結晶方位を調べ、き裂先端近傍の粒界から FIB 加工によりアトムプローブ試料を作製した。3 次元アトムプローブ観察の結果、き裂先端近傍に形成されたニッケル濃縮部のニッケル濃度は 96.7% に達し、クロムはほぼゼロ、鉄が 2.7% であることがわかった。

このようにき裂先端の特定部位に的を絞った元素分析が可能のため、き裂進展メカニズムの詳細を検討する上で有効な情報を提供できると考えられる。

2. ジルカロイ燃料被覆管の観察

軽水炉燃料の高燃焼度化では、燃料被覆管の腐食や水素吸収などが検討課題となっており、これには被覆管中の金属析出物やシリコンなどの極微量元素が影響すると考えられている。しかし、透過電子顕微鏡と X 線分析装置の組合せにより材料中の金属析出物を分析する場合、前述の結晶粒界の分析と同様に、金属析出物の情報は素地の情報と平均化されてしまうため、析出物のみの高精度な化学分析は不可能である。また、シリコンのような微量元素の分析はさらに難しく、相当量の濃縮が生じていないと透過電子顕微鏡等による検出はできない。そこで、電中研では燃料被覆管中の金属析出物の 3 次元アトムプローブ観察を試みた⁷⁾。

対象とした材料は、未照射のジルカロイ-2 である。電解研磨時の水素の侵入を避けるために FIB 加工法により 3 次元アトムプローブ観察用試料を作製し、試料の透過電子顕微鏡観察を行って金属析出物の位置や結晶方位等を測定した。その後、レーザーパルス法による 3 次元アトムプローブ観察を行った。ジルカロイの場合、電圧



第8図 ジルカロイ-2燃料被覆管のアトムプローブ観察
(a) 未照射の燃料被覆管中に観察された金属析出物
(b) 金属析出物((a)の円筒部内)の化学組成分布

パルス法では経験的に試料の破損頻度が高くなるため、ここではレーザーパルス法を用いている。

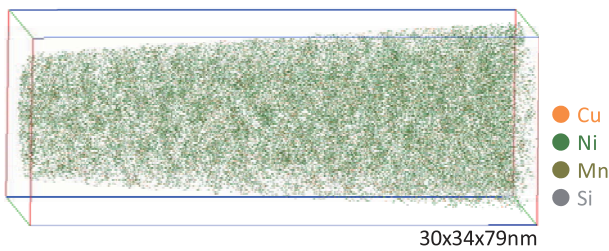
第 8 図に観察された金属析出物の一例として、析出物内の化学組成分布を示す。この例では、鉄-ニッケル系および鉄-クロム系の 2 種類の析出物が隣接して存在する様子が観察された。また、シリコンは鉄-クロム系析出物にはほとんど存在せず、鉄-ニッケル系析出物中に濃縮して存在することが初めてわかった。3 次元アトムプローブ法は水素以上の元素分析が可能のため、腐食とともに吸収される水素の分析手法として期待される。

3. イオン照射材の観察

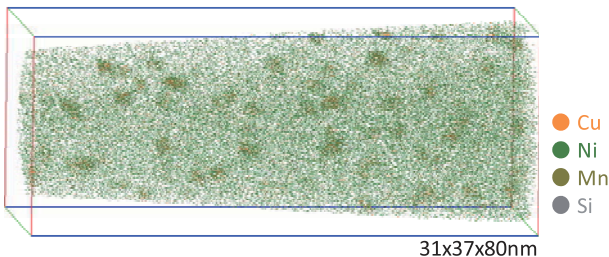
最後に紹介する適用例は、イオン照射された金属の 3 次元アトムプローブ観察である。イオン照射は、従来から中性子照射を模擬する目的で広く用いられている。イオン照射は、材料が放射化しないことが特徴であるが、イオンのエネルギーが数百万電子ボルト程度の場合、材料の損傷領域は表面から 1 μm 程度に限定されるという制限がある。この領域から試料を加工するには FIB 加工法が有効である。このため、電中研では FIB 加工法により損傷領域から作製したアトムプローブ試料を用いた観察を実施している。

第 9 図は、原子炉圧力容器鋼モデル合金の鉄イオン照射材の 3 次元アトムプローブ観察結果を中性子照射材の

(a) 鉄イオン照射材



(b) 中性子照射材



第9図 原子炉圧力容器鋼モデル合金の鉄イオン(0.3 dpa 照射)および中性子照射材(0.003 dpa 照射)中に形成された溶質原子クラスタの比較

結果と比較して示したものである⁸⁾。鉄イオン照射材の損傷量(0.3 dpa)は、中性子照射材に比べ約100倍とかなり大きい。鉄イオン照射でも中性子照射と同様に、銅、ニッケル、マンガン、シリコンを主体とする溶質原子クラスタが形成される。また、中性子照射材では明瞭なクラスタが形成されるのに対して、イオン照射材で形成されるクラスタはあまり明瞭ではなく数密度が高いことなどがわかった。

このようにイオン照射材と中性子照射材の違いをより詳細に調べることで、イオン照射試験の有効な利用法が明らかにできると考えられる。

V. 今後の展望

軽水炉材料で生じている経年変化事象は、ナノメートルスケールでの材料変化が本質的な要因となることが多い。経年変化事象を本質的に理解し、それらの知見を実機材料の運用管理へ反映することは、科学的・合理的なプラント運用の一つのアプローチといえる。ここ10年間の分析機器・技術の発展は目覚ましく、これらの技術を活用することで、軽水炉材料に対して多くの新たな知見を得ることができる。また、本稿でも紹介したように、それらの技術を相補的に活用して、現象を多面的に理解することも可能になった。電中研では今後ともこれらの先端技術を活用した軽水炉材料研究を推進していく予定である。

—参考資料—

- 1) M.K. Miller, *Atom Probe Tomography: Analysis at the Atomic Level*, Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York, (2000).
- 2) E. D. Eason, J.E. Wright, G.R. Odette, *Improved Embrittlement Correlations for Reactor Pressure Vessel Steels*, NUREG/CR-6551, (1998).
- 3) 曾根田直樹, 土肥謙次, 野本明義, 西田憲二, 軽水炉圧力容器鋼材の照射脆化予測法の式化に関する研究—照射脆化予測法の開発, 電中研研究報告, Q 06019, (2007).
- 4) N. Soneda, K. Dohi, K. Nishida, A. Nomoto, M. Tomimatsu, H. Matsuzawa, T. Osaki, "Microstructural Characterization of RPV Materials Irradiated to High Fluences at High Flux," To be published in *J. ASTM Int.*,
- 5) 原子炉構造材の監視試験方法, JEAC 4201-2007, 日本電気協会, 電気技術規程, 原子力編, 2007年.
- 6) 宮原勇一, 西田憲二, 加古謙司, 曾根田直樹, 土肥謙次, 新井拓, "SCC 研究への三次元アトムプローブ分析の応用", 平成20年度九州大学共同利用研究集会「材料照射効果基礎過程の解明—軽水炉材料高経年化技術の向上を目指して」資料集, 九州大学応用力学研究所, 2008年7月, p.41-53 (2008).
- 7) 園田健, 西田憲二, 土肥謙次, 北島庄一, 亀山高範, 大平幸一, 大塚康介, "3次元アトムプローブおよび透過電子顕微鏡による軽水炉燃料被覆管材の微視組織観察", 原子力学会「2009年春の年会」要旨集, A 09, (2009).
- 8) 土肥謙次, 西田憲二, 野本明義, 曾根田直樹, 渡辺英雄, 重イオン照射された原子炉圧力容器鋼モデル合金の三次元アトムプローブ観察, 電中研研究報告, Q 08029, (2009).

著者紹介

土肥謙次(どひ・けんじ)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野)原子炉材料の照射損傷評価, 原子炉圧力容器鋼の照射脆化

曾根田直樹(そねだ・なおき)



電力中央研究所
(専門分野/関心分野)原子炉材料の照射損傷評価, 原子炉圧力容器鋼の照射脆化, マルチスケールモデリング

核物質標準の国内調達に向けて

保障措置上不可欠な核物質標準をいかに確保するか

日本原子力研究開発機構 鈴木 徹,

日本原子力研究開発機構・東京大学 久野 祐輔

核燃料サイクル施設の長期的安定運転には、保障措置上の要求を満たすことが不可欠であるが、そのためには的確な計量管理が基礎をなす。ここでは、核物質の計量管理(保障措置)のための「分析」が非常に重要な役割を担っている。特にIAEAとの協定下で要求されている「国際標準レベルでの測定による報告」を実行していくためには、分析を高い品質で維持していくことが必須となる。そこでキーとなるのが「核物質標準」である。しかし、一部の核物質標準は近年、海外からの入手が極めて困難な状況に陥っており、その国内調達の必要性がクローズアップされてきた。本稿では、計量・保障措置分析における核物質標準の役割、国際的動向、国内調達に向けた動き等について解説する。

I. IAEA 保障措置体制における破壊分析の位置づけ

核燃料サイクル施設の長期的安定運転には、IAEA 保障措置協定の要求を満たすことが不可欠である。そのためには核物質の計量管理を的確に実施していくことが基本となるが、ここでは「計量・保障措置分析」が非常に重要な役割を果たしている¹⁾。

同保障措置協定に基づくIAEAの査察においては、核物質使用者により定められた「計量管理」が適切に行われているかを確認することが基本となる。計量管理とは、ある施設の一定区域に現在どのような核物質がどれだけ現存し、それ以前の一定期間にどれだけ核物質の受入れ・払出しがなされたかを厳格に管理する手法であり、いわば核物質の帳簿による管理である。保障措置は、この帳簿管理を繰り返し確認することにより、核物質の転用がないことをチェックしていく作業である。これは、施設からの計量管理報告をうけて当事国がIAEAに確認の報告をするステップと、さらに当事国からの報告内容が妥当であるかどうかをIAEAが確認するステップからなる。

この査察・チェック作業において、当事国およびIAEAは、非破壊測定(NDA)およびサンプリング作業による破壊分析(DA)を行う。NDAは適時性の点から重要であり、ガンマ線スペクトルや中性子測定法などさ

まざまな装置が導入されているが、適用範囲および精度において限界がある。すなわち、多量の核物質の抜取りの有無を短時間で検知するには適しているが、少量を分割して抜き取る場合の検出には不十分である。

施設側が行う計量管理システムにおけるわずかな偏向による欠損(バイアス欠損)の有無を検出するためにはDAは不可欠である。具体的には、次のような考え方に基づく。(1)施設は可能な限り精確な(偏りとばらつきが両方小さい)手法による計量分析-DAをベースに計量報告を行う。(2)査察側は、ランダム的にサンプリングした試料を同じく上記のような精確な手法(DA)で分析する。(3)この両者がDAの不確かさの範囲内(小さな誤差)で一致すれば、バイアス欠損がないであろうとの結論が得られるわけである。すなわち査察側がすべての試料を検証分析するのではなく、ランダムに分析を実施するだけでバイアス欠損の有無が確認できるというものであり、このような方法を「オペレータ測定システムの検証(検証)」という²⁾。

ここで重要となるのが、分析の精確さの維持である。仮に施設側、査察側の一方または両者のDA能力に問題があった場合、このような考え方は成立しなくなるからである。すなわち、施設側の計量分析を精確に保つことは、当該国の精確な申告を行うという目的だけでなく、「計量管理をベースとする保障措置」の考え方を成立させるために大きな意味を持つ訳である。

この観点から、IAEAとの協定(日本-IAEA保障措置協定)INFCIRC 255の55条では、「報告の作成に用いられる記録の基礎となる測定の体系は、最新の国際標準に合致するもの、またはこれと質的に同等なものとする」

Towards Accomplishment of Domestic Supply of Nuclear Reference Materials for Safeguards Analysis : Toru SUZUKI, Yusuke KUNO.

(2009年 4月28日 受理)

と約束されているのである。さらに、INFCIRC 225のパラグラフ75においても、計量分析・測定について、試料の採取、試料の処理と分析、測定器・装置の校正について規定が記載されている。

Ⅱ. 核物質分析の品質保証および核物質標準の役割

核物質計量は、原子燃料(ウラン酸化物燃料, ウラン合金燃料, MOX(U/Pu 混合酸化物)燃料, 濃縮ウラン(六フッ化ウラン等), 使用済核燃料, 回収ウラン・プルトニウムなどが対象となるが, 特に, プルトニウム系に関しては, その有意量(1個の核爆発装置の製造の可能性を排除し得ないおおよその核物質質量)が小さい(8kg)ことによる理由で, 分割的な小量抜取りを検知するためには高い精度の分析が求められる。これまでプルトニウムを中心とした核燃料サイクルでは, 日本原子力研究開発機構(以下, 機構という)の再処理施設, プルトニウム燃料製造施設などにおいて高いレベルの計量・保障措置分析技術が確立されてきた。それらにおける分析の品質保証は, ①認証標準物質(Certified Reference Materials; CRM)を用いた機器(および各手順)の校正, ②実試料における繰返し測定, ③品質管理(QC)試料(CRMまたはそれに順ずる標準物質)およびブランク試料による確認分析, ④異なった分析法によるクロスチェック, ⑤外部QCプログラム(共同比較分析等)への定期的な参加による性能チェック, ⑥実際の査察試料(査察作業外)をベースとした共同比較分析, などの実施を基礎としている。分析品質の実績評価における目標値としてITV(International Target Value)2000³⁾と呼ばれる値がある(第1表)。

これは, 当分野の各国の専門家が集まり議論した結果を「核燃料分析のルーチン分析において実際に達成できうる目標値」としてまとめたものであるが, 機構における核物質分析は, このITV 2000を十分満足する性能を有することが確認されている。そのような性能担保への重要な点は, 信頼性の高い標準物質を基準とした精確な

第1表 国際目標値[ITV 2000]
(基本的なDA技術および求められる分析不確かさ)

	ランダム (%)	システマティック (%)
²³⁵ U 質量分析 例えば1-2%濃縮度	0.1	0.1
U 滴定分析	0.1	0.1
U 重量法	0.05	0.05
U, Pu 同位体希釈 質量分析法(ホットセル)	0.2	0.2
Pu 滴定法	0.15	0.15
Pu クーロメトリー	0.15	0.15

第2表 国際的に利用されている主な核物質標準(Pu系)

用途	標準物質名称	組成, 形態	供給元
同位体測定	NBL CRM 128	Pu 239:242=1:1	NBL ^{a)}
	NBL CRM 136	軽水炉 Pu 同位体組成	
プルトニウム濃度分析	NBL CRM 126	プルトニウム金属	NBL
	MP-2		CETAMA ^{b)}
	IRMM-044	Pu-242	IRMM ^{c)}
	IRMM-1029	Pu-U 乾固物 (LSD スパイク)	IRMM

^{a)}New Brunswick Laboratory(米国 DOE 傘下)

^{b)}Commission d'ETablissement des Methodes d'Analyse du CEA(フランス CEA 傘下)

^{c)}Institute for Reference Materials and Measurements(EU 傘下)

分析を実現することである。このためには, 上記にもあるように, 信頼性のある核物質標準が不可欠である。核物質標準は, これまで海外から入手したのものによるところが大きかった。近年使用されている代表的なプルトニウム系核物質標準を第2表に示す。

一方, 我が国では, 一部のウラン系核物質標準を除き, 計量・保障措置分析を目的とした標準物質の作製に対してはほとんど取り組まれてこなかった。その背景には, かつて, 海外の核物質標準の供給体制が充実していたこと, プルトニウム系核物質標準のうち, 精確なプルトニウム濃度分析用標準には金属の形態が望ましく, そこのプルトニウムの同位体組成が, 核兵器級のプルトニウム組成に近いこと, すなわち, 非核兵器国として兵器級同位体組成をもつ金属プルトニウムを製造することは, 例え少量であっても核不拡散上容易ではないことが考えられる。しかし, 近年, 核物質の輸送は非常に困難になりつつあり, また海外の核物質標準の製造・供給体制も必ずしも安定しない状況にあり, 特に金属プルトニウム等, いわゆる計量上絶対的な位置づけに当たる1次核物質標準の入手は極めて困難な状況になっている。核燃料サイクルの本格化の時代に, 計量・保障措置分析のベースとなる核物質標準の獲得は, 原子力を推進する国にとっては死活問題といっても過言ではない。このような背景から, 機構では, 核不拡散上問題のない範囲で独自に核物質標準を確保することに取り組んでいる。

Ⅲ. プルトニウム系分析用核物質標準国内作製に向けての取組み

1. 日本原子力研究開発機構においてプルトニウム系核物質標準の作製試験を開始

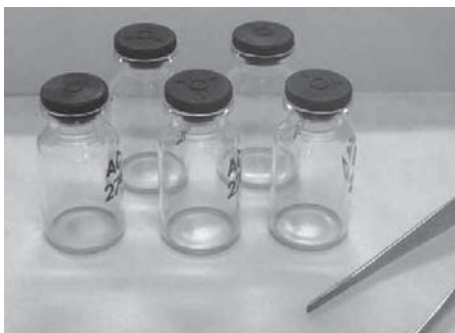
現在, 我が国のプルトニウム分析法としては, 主に同位体希釈質量分析法(IDMS)が適用されている。この方法は, 分析対象試料に, それとは大きく同位体組成の異

なるスパイクと呼ばれる標準物質を一定量添加し、添加前後の同位体組成比を質量分析計により測定することにより、試料中の元素量を定量するものである。一般的にはスパイクとして、希少な濃縮同位体元素が用いられるため、その添加量は極微量であるが、核物質分析では、セル等における分析前処理時の希釈操作による誤差を低減させる目的で、入手が比較的容易な濃縮同位体である ^{235}U および ^{239}Pu を用いることにより、スパイク量を多くするとともに、輸送中の安定性を考慮して形態を乾固物にした、LSD(Large Size Dried)スパイクと呼ばれる核物質標準(第1図)が開発され、広く使用されている⁴⁾。

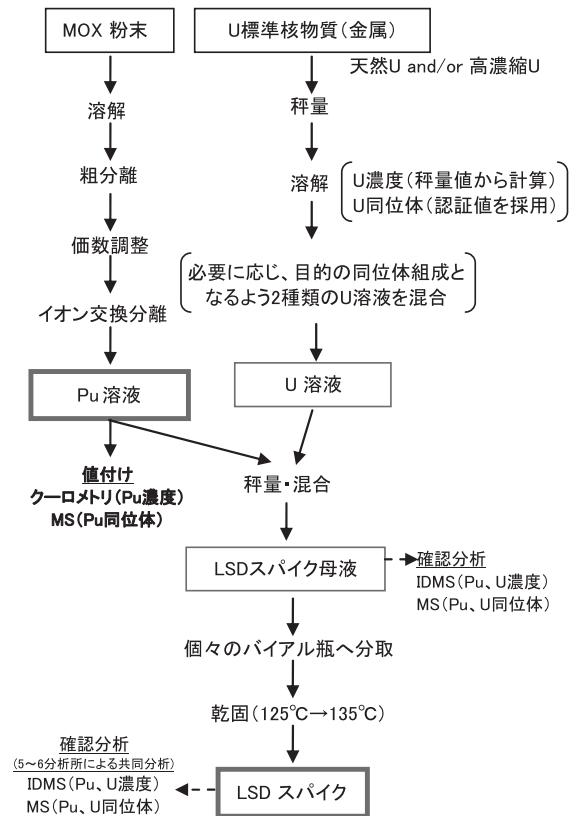
一般に、LSDスパイクは、1本あたりミリグラムオーダーのプルトニウムとウランを含み、プルトニウム金属標準物質とウラン金属標準物質を硝酸で溶解し、それぞれを適切な割合で混合したのち、バイアル瓶に所定量が含まれるように分取・加熱・乾燥して、硝酸塩の形態にすることにより作製される。

機構では、従来から再処理施設でLSDスパイクが使用されていたが、1996年にプルトニウム燃料施設においてもIDMSが導入されたため、スパイクのニーズが急増した。その後、プルトニウム金属標準物質の入手が困難な状況になったことを踏まえ、将来にわたって安定的にスパイクを入手できるようにするため、プルトニウム金属標準物質を使用せずに、第2図に示すフローでLSDスパイクを作製する技術開発を実施している。

LSDスパイクの原料として、プルトニウム燃料施設に保管されている核燃料物質のうち、比較的 ^{239}Pu 組成の高いプルトニウムを含む混合酸化物(MOX)粉末(以下「MOX粉末」)から、プルトニウムを分離回収精製して、プルトニウム溶液を調製する。ここで溶液中のプルトニウム濃度を、電解時の電気量からファラデーの法則により物質量を求める方法であるクーロメトリー法により定量し、値付けする。ウラン溶液は、現在のところまだ比較的入手が可能なウラン金属標準物質を溶解することにより調製し、プルトニウム溶液と混合したのち、一定量をバイアル瓶に分取し、乾固してLSDスパイクとする。なお、1回のプロセスにより、約500個のLSDスパイクが作製される。



第1図 LSDスパイク外観



第2図 MOX粉末からのLSDスパイク作製

LSDスパイク中のプルトニウム量は、プルトニウム溶液の定量値を基に、ウラン量は、ウラン金属標準物質の認証値を基に、秤量値、希釈倍率、分取量から算出する。プルトニウム同位体組成比は、プルトニウム溶液の質量分析法(MS)による測定値を、ウラン濃縮度は、ウラン金属標準物質の認証値を用いる。これらの値の妥当性については、製品LSDスパイクの一部を逆IDMS法により分析し、その結果と比較することによって確認する。さらに、国内外の分析所に製品LSDスパイクの一部を配布し、共同分析を行うことにより、最終的な確認を行う。

IDMSにおいて、前記のITV 2000を満足するためには、LSDスパイクに非常に高い信頼性が要求される。そのため、MOX粉末からLSDスパイクを調製するに当たって、プルトニウムの濃度・同位体組成の値付けの各工程には、細心の注意のもと、可能な限り高い精確さを追及することが重要になる。また、このLSDスパイクに認証値を付与する際には、LSDスパイク作製プロセスにおけるすべての不確かさの要因を評価し、統合的な不確かさを算出することも必要となる。以上のことから、機構では、クーロメトリー法については米国サバンナリバー研究所、質量分析法や分析値の誤差評価手法については米国NBLと共同研究を実施し、それらの技術の確立を図ってきた。これまでに、クーロメトリー法については、0.05%以内という非常に高い分析精度を実現している。

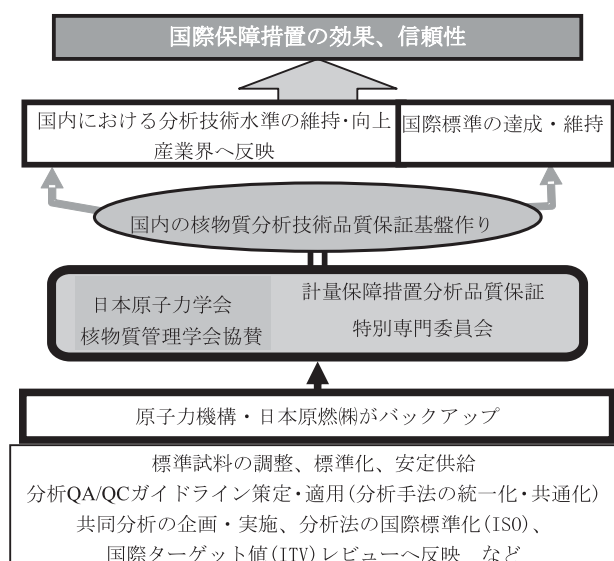
機構と日本原燃㈱は、LSDスパイクに関する共同研究の中で、このフローに基づき実際にLSDスパイクを作製し、六ヶ所再処理工場で実試料を用いて、IRMM製のLSDスパイクとの並行分析を実施した。その結果、両者の差は認められておらず、MOX粉末から作製したLSDスパイクが、計量・保障措置分析に十分使用できる見通しを得た。現在、国内外の分析所による共同分析を実施中であり、並行分析の結果とあわせて、このLSDスパイクの信頼性を最終的に確認する計画である。

今後、六ヶ所再処理施設とMOX燃料加工施設が本格稼働することにより、LSDスパイクの消費量が大幅に増加することが予想されている。加えて、将来LSDスパイクまたはその原料となる認証標準物質が海外から入手できなくなるリスクも考慮すると、国内でLSDスパイクを入手できるようにすることに対するニーズは大きい。そのため、まず、このLSDスパイク作製技術を確立し活用することが期待されている。

2. 原子力学会特別専門委員会における取組み

核物質標準のユーザーである産業界(日本原燃㈱等)、分析標準の認証に関する専門家(産業技術総合研究所および分析関連の大学)、核物質分析専門家(核物質管理センター)と共に、核物質標準の国内作製にむけ議論することは必要かつ有益である。また同時に、原子力産業界を視野においた計量・保障措置分析の品質保証維持向上のための施策を考えることは重要である。長期的に安定した計量・保障措置分析の品質レベルを維持する体制を構築することを目的に、日本原子力学会に核物質管理学会協賛のもと「計量保障措置分析品質保証」特別専門委員会(委員長 松本史朗埼玉大学名誉教授)が設けられた(2007年2月設立)。

本専門委員会を中心として、第3図に示すように、国内核物質計量・保障措置における品質保証支援について



第3図 国内における計量・保障措置品質向上への支援取組み

国内での基盤作りを図るとともに、核物質標準の国内作製体系確立について、学会の場により議論を重ね、また、それらに関連産業界へ反映させるために活動を展開している(これまでの委員会活動については学会ホームページ参照⁵⁾)。

3. 国内認証に向けて

MOX粉末から作製したLSDスパイクは、上述のように、共同分析などによってその信頼性を確保することにより、核物質分析用に使用しても問題を生じるようなことはない。しかしながら、このLSDスパイクのように、国内で作製した核物質標準は、その用途が核物質の計量・保障措置分析という国際的に重要な位置づけを持つものであるという観点で、現在、海外機関から頒布されている核物質標準と同等またはそれに匹敵する品質であることを国内外に示すことが重要となる。そのためには、作製する標準物質を、より信頼性の高い認証標準物質(1つ以上の指定された特性について、計量学的に妥当な手順によって値付けされ、指定された特性の値およびその不確かさ、並びに計量学的トレーサビリティを記述した認証書がついている標準物質)とし、さらに認証標準物質の生産に関する国際的な規格を満足していることを対外的に示すこと(その規格に対する認定を取得すること)が、最も有効であり、特に、核物質標準が持つ役割の重要性を考慮すると、その意義は非常に大きい。

認証標準物質を生産するための要求事項は、ISO 17025「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」およびISO GUIDE 34「標準物質生産者の能力に関する一般要求事項」に定められており、それらを満足することが必要となる。具体的には、適切な品質システムを運営し、値付けや不確かさ評価を行うための技術的な能力を有していることが求められる。

上記の専門委員会では、国内の分析所で認証核物質標準を作製するために、まずISO 17025の要求事項に対して、どのような課題があるかを検討している。例えば、試験所で使用する分析手法は基本的に公定法を用いるという要求事項があるが、現在国内で実施しているIDMSによるプルトニウム分析法の手順は、公定法である国際規格(ISO)と若干の違いがある。そのため、その違いが分析の精確さに及ぼす影響について議論がされた。その結果、計量・保障措置分析上問題がないことが確認されたため、今後、国内の手順の統一化を図り、それを公定法とすることが検討されている。これにより、国内のプルトニウム分析所がISO 17025を取得するための環境の一つが整備されることになる。

MOX粉末から作製したLSDスパイクを認証標準物質として位置づけるために、作製に携わっている分析所が、認証標準物質生産に関する規格に対して認定を取得

することが最終的な目標であり、今後も、それらの規格の要求事項を満足するための取組みを行っていく予定である。

IV. 今後の計画

III章では、一例としてLSDスパイクと呼ばれる標準物質の作製について示したが、核物質標準の国内作製は、未だ道半ばという段階である。しかし、上述のように、その核物質標準というものの重要性和海外からの調達困難性を考慮すれば、その必要性は極めて高いといえる。

既述のように、現在のLSDスパイクでは、ウランは金属標準物質を用いているが、今後は、プルトニウム同様、国内で確保できる物質を用い、精確な値付けおよびその認証により、完全なLSDスパイクの国産化を図っていくことが必要である。その他、今後取り組むべき核物質標準には下記のようなものが考えられる。

- (1) 原料標準物質として金属ウラン、金属プルトニウムに代わる核物質基準物質： 安定なウラン酸化物、プルトニウム酸化物(高温により調製)など。ただし、保管・使用などに配慮が必要。(安定化についての研究開発を伴う)
- (2) 溶液形態のU/Pu混合スパイクの作製： 必ずしも固体である必要のないニーズに対し適用
- (3) 異なるニーズに応じたウラン・プルトニウム混合核物質標準(多種多様なスパイク)
- (4) ウラン、プルトニウム各同位体測定用核物質標準
計量・保障措置分析のレベル向上には、核物質標準の作製とともに、II章で示した品質保証の充実が重要である。なかでも、核物質標準とともに我が国において困難とされるものに「共同比較分析」が挙げられる。これは、一般に、核物質標準作製ラボラトリーなどにより調製された信頼性の高い物質を用い、核物質標準のユーザーである分析所が分析を共同で実施、調製値(基準値)や他の分析所結果との比較からその性能を評価報告するものである(基本的に結果が報告されるまでユーザーには基準値は知らされない)。これについても、輸送の困難性およびプルトニウム試料の輸送費の高騰から、海外のラボラトリーが主催する共同分析への参加には限界がある。これに代わる国内共同比較分析を定期的に企画実施できるシステムの構築は、上記核物質標準の作製とともに重要である。

V. おわりに

先に述べたとおり我が国においては、核物質標準作製

について、一部のウランを除き、ほとんど取り組まれてこなかった。そればかりか、その重要性についても必ずしも理解されていないのが現実ではないかと考える。たとえばEUでは、ヨーロッパ委員会のもと、ユーラトムが、原子力開発・燃料供給から保障措置まで幅広く取り組んでいるが、そこには、核物質標準および分析の品質保証を専門に扱う研究所(標準物質・測定研究所IRMM)が設置され、EU諸国内の計量・保障措置の核物質標準や共同比較分析のニーズに対応する業務を行っている。米国においてもNBL研究所にて米国内研究所や核施設を対象に同様のサービスを一元的に実施している。原子力発電のみならず、核燃料サイクルという計量・保障措置上非常に重要な施設を多くもつ我が国として、核物質標準の作製を担当する組織を明確にするとともに、そのようなキーとなる分析所・研究所を有することが必要と考える。今回開始された日本原子力学会「計量保障措置分析品質保証」特別専門委員会を中心とした活動を契機に、この重要性について国、関係諸機関、および産業界が認識し、今後、核物質標準作製に本格的に取り組むことができる体制を確立する方向に進むことを切望する。

—参考資料—

- 1) 久野祐輔, “国際的な核不拡散における分析の役割”, ぶんせき, No.1, p11-17(2003).
- 2) IAEA Safeguards Glossary 6.55(2001).
- 3) H. Aigner, et al., IAEA STR-327, (2001).
- 4) Y.Kuno, et al., *Trans, Am, Nucl, Soc.*, Winter Meeting, 229(1989).
- 5) http://www.aesj.or.jp/special/2008_hokoku.htm

著者紹介

鈴木 徹(すずき・とおる)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)核燃料分析, 保障措置分析

久野祐輔(くの・ゆうすけ)



日本原子力研究開発機構
・東京大学原子力国際専攻
(専門分野/関心分野)核不拡散: 核拡散抵抗性, 保障措置・保障措置分析, 透明性

解説

スイスのエネルギー・原子力発電・地層処分

スイスを通して日本を学ぶエネルギー環境教育情報

北海道大学 杉山 憲一郎

20世紀のキーワード「成長」は、21世紀初頭に「持続可能」に取って代わられた。高品質大量生産で世界的に注目された日本型成長モデルは過去の物語となり、日本は原子力・省エネを含めたエネルギー技術と環境保全技術の国際競争力で少子高齢化時代の課題を克服していかなければならない。この観点から、次代を担う学校教育世代が、関連する学習単位を通して原子力を含めた持続可能な近未来世界を総合的にイメージできるように、専門家が適切な情報を提供していく必要がある。日本人が好感を持つスイスの原子力発電・地層処分を含めたエネルギー環境情報は、教師と児童・生徒にとって日本の現状を客観的に知る効果的なエネルギー環境教材になり得る。

I. 文明転換期のエネルギー環境教育

エネルギー資源を含む資源制約と環境制約を受けずに走り続けることができた20世紀科学技術文明は、日本を含めた先進国を中心に物質的な豊かさの実現において大成功を収めた。しかし、21世紀に入り、エネルギー資源も含めた資源・環境制約と世界人口の急激な増大により、発展途上国も含めた1人当たりの生産性の劣化が顕在化し、20世紀モデルが限界に達したことが誰の目にも明らかになってきた。この文明の転換期に、先進各国は持続可能な社会(国家)へ移行するため、国民的コンセンサス形成を意識した総合的なエネルギー環境教育という視点で教育改革に取り組み始めている。

山下がその代表的な取組みとしてフランスの教育改革について次のように要約している¹⁾。

『日本と同様にエネルギー資源が乏しいフランスでは石油危機があった1970年代からエネルギーの問題を教育の重要な課題として取り上げてきた。近年、エネルギー環境教育の扱いをさらに強化し、2005年、中学校の科学の学習指導要領改訂において、「総合的テーマ」という必須科目が創設された。この科目の目的は次の通りである。「生徒が中学校教育を修了した時に、自分の生きている世界を総括的にイメージできるようになっていることが求められる。このイメージは、個人にとっても社会にとっても必要な問題を学習することによって得られる。共通な知識の習得という目的を明確にすることで、

Energy, Nuclear Power and Repository in Switzerland for Energy and Environmental Education in Japan: Ken-ichiro SUGIYAMA.

(2009年 4月17日 受理)

生徒は学習科目間の密接な関係を認識でき、また総合的な視点から現代社会の現実を分析することができるようになるのである。』

こうした目的に基づいて、六つのテーマが選定されている。それは、「網羅的なものではなく、科学の知識ベースとして生活に直接応用できる」という観点で限定されている。第一テーマ「エネルギー」、第二テーマ「環境と持続可能な発展」、第三テーマ「気象学と気候学」である。そして以下「科学的視点での世界の統計的考察」、「健康」、「安全」と続く。上位三テーマから分かるように、フランスでは現在、「エネルギー」、「環境」や「地球温暖化」といった課題に教育がきちんと対応できるような態勢を着実に整えようとしている。こうした教育は、「持続可能な社会を目指す教育」として、国の教育方針にも明確に示されている。

総合的なテーマとしての「エネルギー」に関しては、エネルギーやエネルギー資源に関わる問題は、公平な考えを必要とする重要な社会的課題であること、さらに、地球の未来のために世界的規模でのアプローチが必要であること、といった認識を強調する。そして、「将来、選択しなければならないときに、市民として見識のある議論ができるようにこの分野での知識を持つことが望ましい」としている。このテーマの学習は、小学校からの継続・発展として、様々な分野の用語を使用しながら「まとまりのあるエネルギーのイメージをつくりあげ、エネルギーの概念理解の基礎をつくる」ことである。小学校では、主に、エネルギー資源について学習し、中学校では、エネルギー資源とエネルギー変換の概念を中心に学習する。そして、これらの概念が「生命体の機能の仕方を理解すること、機械や経済構造を分析すること」に不

可欠であり、持続可能な発展の視点から安全、環境、社会経済の問題を合理的にとらえる基礎でもありとしている。

また、総合的テーマ「エネルギー」の内容は、科学・技術的だけでなく、歴史的かつ地理的にもとらえられなくてはならないとし、教科の枠組みを超えるまさに総合的な扱いを求めている。そのためこの科目は、固定した時間枠はなく、さまざまな教科の各科目の中でテーマの関連させた形で総合的に学習されることを求める。固定した時間枠を持たない学習というのは曖昧になりがちであるが、そうならないようにするために「必須」科目としているわけであろう。』

このフランス教育改革を再度整理すれば、「21世紀の世界が求める持続可能な社会を目指し、総合的なエネルギー環境教育を通して、現代社会(世界)の現実と近未来を数量的把握も含めて総括的にイメージできるようになることが義務教育の大きな目標である」となる。現在の日本の学校教育の関心は、このような明確な目標に向かうのではなく、もっぱら網羅的な学力の向上に向けられているように見える。エネルギーの専門家として当面できることは、学校現場の実情を把握している教師との対話に基づき、学校教育世代が日本の技術力の長所を生かした持続可能な社会像(世界像)を持てるように、具体的な学習単元に合わせて展開できるエネルギー環境情報を提供することである。

著者は日本の教育の現状を踏まえて、エネルギー資源小国、二酸化炭素削減、質の高いGDPと平和の維持をキーワードとして、学校現場の教師との対話交流に基づき、初等・中等教育現場の学習単元で展開できる「スイスを通して日本を学ぶエネルギー環境教育」を文科省プロジェクトの一環として進めている。本稿では、会員への情報提供の視点も踏まえて、エネルギー小国スイスの原子力発電・地層処分を含めたエネルギー環境情報を順次紹介する。

II. 資源小国スイスのエネルギー事情^{2,3)}

スイスは周囲を大国であるドイツ、フランス、イタリア、オーストリアに囲まれ、この地理的環境のためドイツ語を母国語とする国民が64%、フランス語を母国語とする国民が20%、イタリア語を母国語にする国民が7%を占める。スイスは直接民主主義の長い伝統を持ち、国、州、自治体レベルでその仕組みを徹底している。面積は4.13万km²で、北海道の面積の約1/2で九州より大きい。その70%はアルプスを含む山岳地帯であり、現在の人口は750万人である。歴史的には1815年のウィーン会議においてスイスの独立と永世中立が正式に承認されて以来、20世紀の2回の大戦時にも戦争に巻き込まれることなく平和を維持し繁栄を続け、経済的に安定した国として高い評価を受けてきた。国民1人あたりの国内総生産

は2006年で3.77万ドルと高く、失業率はEU加盟国の平均の1/2以下である。3次産業がGDPの72%、2次産業が27%、1次産業が1%を占めている。

スイスは京都議定書で1990年の温室効果ガスの放出量に対して-8%の削減が求められている。2005年時点で第1表に示すように、1990年の値に対して1.7%の増加に留まっており、2007年時点で9%増加の日本に比べて優等生といえる。日本との違いは産業構造の違いに由来している。

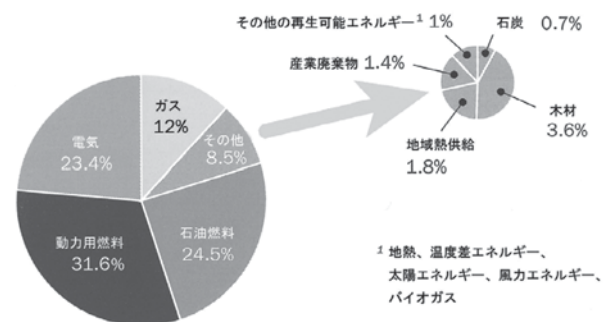
2006年のスイスのエネルギー消費量は2,468億kWhでその内訳は第1図の通りである。1950年まで石炭が最も重要なエネルギー源であったが、今日では石油と天然ガスが68.1%を占め、石炭は0.7%となっている。日本との大きな相違は、CO₂の排出量が多い石炭からの脱却がすでに済んでいることである。総エネルギー消費量中の電気の割合は2000年から連続して上昇しているが、今日でもまだ1/4以下である。水力を含めた再生可能なエネルギーはエネルギーの最終消費量の1/6となっている。スイスの電力消費量は2006年に578億kWhとなり、最大値を更新した。消費量の伸びには、経済の発展と人口の増大が寄与している。消費量と発電量の内訳を第2図に示す。発電量の52.4%は水力発電で、42.2%は原子力発電による。

第3図に示す変動の大きいカーブは、スイスの電力生産および電力消費の5年間の周期的移り変わりを示している。雪解けの後、夏には水力発電所のタービンがフル回転する。しかし、北海道より北に位置するスイスでは、

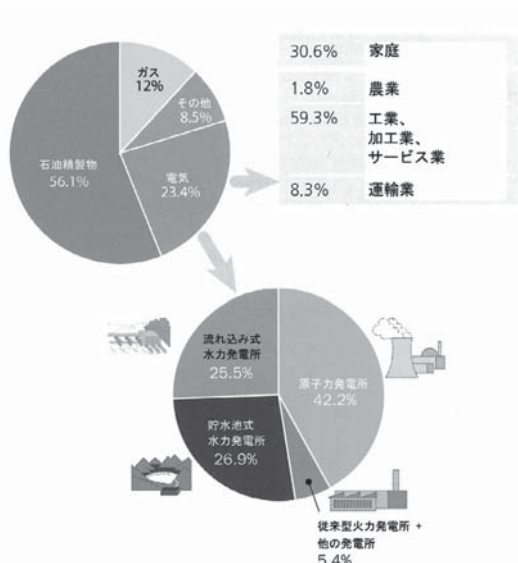
第1表 スイスの温室効果ガス排出量(CO₂換算)(1990年, 2005年)

GHG	Emissions, Mt CO ₂ eq.		Share, %		Change, %
	1990	2005	1990	2005	2005/1990
CO ₂	44.5	46.0	84.3	85.7	3.3
CH ₄	4.4	3.5	8.3	6.6	-19.5
N ₂ O	3.6	3.3	6.9	6.1	-9.9
F-gases*	0.2	0.9	0.5	1.7	365.6
Total	52.8	53.6	100	100	1.7

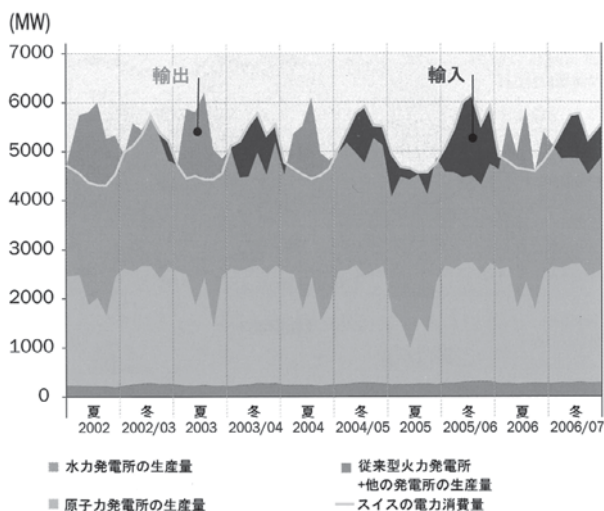
* HFCs (hydrofluorocarbons), PFCs (perfluorocarbons), SF₆ (sulphur hexafluoride).
Source: National Inventory Report 2007 to the UNFCCC.



第1図 スイスの一次エネルギーの内訳と電気エネルギーの割合

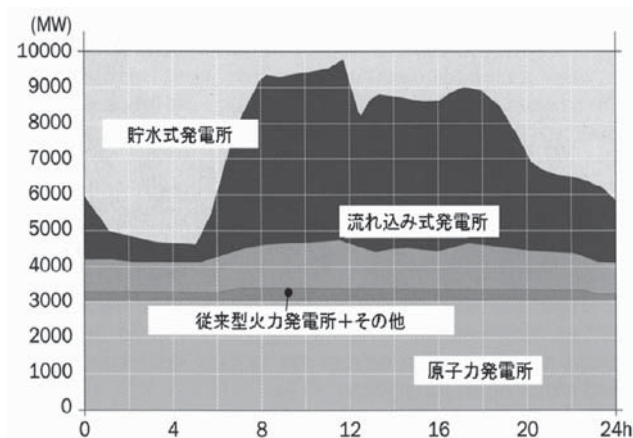


第2図 スイスの電力消費量と発電量の内訳



第3図 スイスの電力消費量と輸出入量

夏に冷房の必要がないことに加えて多くの会社が休暇になるため電力の需要が少なくなり、余剰の電力が輸出されることになる。この輸出により、国外の石炭火力発電所を停止でき、CO₂が放出されなくなる利点がある。一方、冬季の半年間には電気調理器や照明の使用時間が増えることに加えて、暖房のため電力消費が多くなる。河川の水量も減少するため、寒い季節には5基の原子力発電所(スイスでは夏に検査や燃料取替のため停止する)のフル稼働に加えて、フランスの原子力発電を含めた国外からの電力輸入に頼ることになる。現在、水力発電との関係で12か月運用を行っているスイスの原子力発電所の設備利用率は2006年には93.9%で、フィンランドの93.1%を抜いて世界トップであった。3位は韓国の92.5%である。加えて、スイスの運転開始時からの累積設備利用率は85%で日本を大きく引き離している。スイスの原子力発電所の稼働率が日本に比べて高い理由は、中等教育



第4図 スイスの1日の発電量の変化

の学習単元で比較対象として議論できる。

スイスの1日の電力生産量を第4図に示す。原子力、火力および流れ込み式発電所は運転の中断がなく電力の基本需要をまかなうベースロード発電所となる。貯水式発電所はダムにためられた水を利用して、需要により1分以内に運転を開始し再停止できる。したがって、これらは電力消費量が増大する昼間の時間帯の負荷をまかなうために使用される。この中には揚水発電所がある。上部貯水湖と下部貯水湖を使い、電力消費量が少ない夜間に上部貯水湖に水を汲み上げ、電力消費量が多くなる昼間に再び電力生産に使用される。揚水ポンプを動かすためにスイスの総電力生産量の約5%が使われている。日本は、水力発電に限られるため、スイスの貯水式発電に対応する負荷増大時の大部分は火力発電が担っている。

ヨーロッパ諸国は、高電圧網で相互に結びついているため電力の輸出入が可能であり、また障害があった場合には相互に助け合うことができる。すなわち、電力の輸出入により、国境を越えた生産と利用がより経済的にできかつ環境負荷を小さくできる。スイスでは2006年には国内生産量が国内需要を下回り、27億kWhの輸入超過となった(2005年は64億kWhの輸入超過)。スイスはこのように周囲の先進国と協力できる内陸国である。海のみで囲まれている日本はエネルギーセキュリティをどう考えるべきか。ぜひ日本の近未来の電力供給を教育現場で議論してほしい。

Ⅲ. スイスの未来への準備：水力と原子力発電

予測ではスイスの電力需要の上限は2050年に今日の消費量のおよそ1.5倍に、下限では約1.2倍に達すると考えられている。原子力発電所の寿命はおおよそ50~60年、水力発電所は定期的な保全と修理によりこの期間をより長くできる。天然ガス複合火力発電と代替エネルギー発電により発電量を増やしたとしても、電力輸入の契約が増えないとすれば、原子力発電所が寿命を迎える2020年頃

から需要と供給のギャップが急速に開き始める。

スイスはその地理的状況とフレキシブルな貯水湖式水力発電所によりヨーロッパの電力取引に強い役割を果たしているが、来るべき需要と供給のギャップをフランスなどからの電力輸入の契約更新のみによりカバーできるという保証は全くない。スイスの未来に向けての取組みを以下に紹介する。

1. 揚水発電貯水湖拡張への投資⁴⁾

花崗岩層を対象にしたグリムゼル地層処分試験場があるオーバーハスリ地方の KWO 水力発電機は、スイスの水力発電量の約 6%を生産している。アルプスの尾根を境界とする集水域から流入する約 7 億 m³の水を 6つの貯水湖と自然湖に貯め、9つの発電所で KWO は年平均 2,300 GWh の電力を供給している。そのうち 761 GWh は揚水発電であり、この量は 100 万人の住人に十分な電力である。しかし、現時点では需要が集中する冬季に約 2 億 m³の水のみが利用されているに過ぎない。投資によりアルプス山系の水利用を大きく改善できる。

KWO の投資プロジェクト「KWO plus」では、水力発電の可能性を最大限に利用し、既存の設備の性能を向上することを目指し、最も重要なグリムゼル貯水湖を 23 m かさ上げすることを計画している。このかさ上げにより、貯水量は 0.95 億から 1.7 億 m³に増え不足する冬季間のスイスの電力需要に答えることができるようになる。グリムゼル湖の現在の湖水面積は約 80 km²であり、氷河でできた U 字谷のダムを 23 m かさ上げすることにより、湖水面積は 0.8 km²だけ拡大する。その拡大は 1% に止まり、自然環境破壊は最小限に納まっているといえる。またアルプスの景観に対しても十分配慮し 23 m の値を決めている。環境に配慮した電気エネルギー供給情報として学校現場で児童・生徒に紹介したい例である。

2. 原子力発電所建設の申請⁵⁾

第 2 表に現在スイスで稼働中の 5 基の発電所の容量と運転開始年を示す。なお、表中には記していないが、ベツナウ発電所の 2 基とゲスゲン発電所では 70 年代の石油危機後に原子力地域熱供給を開始し、現在も続けている。この件については、著者が原子力熱利用のスイスモデルとしてその経緯を本誌にすでに報告している⁶⁾。

第 2 表からわかるように、スイスの 3 基の運転年数はほぼ 40 年である。この古いベツナウ原子力発電所の 2 基とミュレバルク原子力発電所の 1 基が 2020 年頃に寿命を迎えること、加えてフランスからの電力購入契約も 2018 年以降徐々に期限切れとなることから、2008 年 12 月、所有者であるスイスの大手電力会社である AXPO グループと BKW-FMB エネルギー社は、同一サイトにリプレイス炉としておのおの 1 基の原子炉を建設するための申請をスイス連邦エネルギー庁に提出した。具体的

第 2 表 スイスの操業中の原子力発電所

Name	Type	Net capacity (MW _e)	Commissioning date	Electricity generation in 2006 (TWh)
Beznau 1	PWR	365	1969	2.95
Beznau 2	PWR	365	1971	3.07
Mühleberg	BWR	355	1972	2.88
Gösgen	PWR	970	1979	8.10
Leibstadt	BWR	1 165	1984	9.37
Total		3 220		26.37

Source: International Atomic Energy Agency Power Reactor Information System.

な炉型および原子炉メーカーなどの詳細は建設認可の申請段階で決定することになるが、両社は世界的に認知された技術を有するメーカー 1 社を選択し、出力は最大 160 万 kW で全く同一設計を想定し冷却塔は近代的なハイブリッド型を採用するという点で合意に達している。温排水によって近隣河川に影響を及ぼすことが少なく、高さが従来型より低いため周辺の景観を損なわず、蒸気が大量に立ち上がることもない冷却塔である。

これら 2 基の建設計画は今後、地元および近隣の州政府や近隣諸国などから承認を得るため審査を受けることになるが、最終判断が下るまでにスイス連邦参事会(連邦内閣)と議会、国民投票により承認を得なければならない。現段階で両社は 2012~13 年頃に国民投票にかけたい考えであり、その後さらに建設と操業についても所定の手続きを踏むことになる。

なお、この 2 件に先立ち、2008 年 6 月には電力会社である ATEL 社の子会社(ニーダーアムト社)がゲスゲン原子力発電所の隣接サイトに新規原子炉を建設する申請を政府に提出しており、スイスでは上記の 2 基と合わせて合計 3 基の申請について審査が行われる見込みである。これらの計画が認められれば、同国で約 30 年ぶりの新規原子炉の建設に向けて動き出す。もちろん、これらの申請はスイスの将来の電力確保に加えて、京都議定書後のスイスの二酸化炭素放出量削減目標を睨んでの申請である。京都議定書後の目標値との比較で、教育現場でぜひ議論してほしい内容である。

3. 高レベル放射性廃棄物地層処分候補地の提言⁷⁾

スイス連邦内閣は、2008 年 4 月に地層処分サイト調査を実施するための根拠となる「地層処分」基本計画を決め関係する法規を定めた。この地層処分サイト調査は 3つのステップからなっており、第 1 ステップは処分サイトの複数の選定であり、2017 年頃に国民投票により処分サイトの最終決定を行いたい予定である。なお、スイスは長期安全性と回収可能性を融合させた「監視付長期地層処分」概念を採用し原則国内処分としているが、国際共同処分も可能なオプションとしている。

これを受けて NAGRA(放射性廃棄物管理協同組合)は、2008 年 10 月末に、連邦当局に対して地層状態の超長

期の見通しと建設・運用等の技術上の観点から、最も適切であると判断した3カ所の高レベル地層処分サイトと6カ所の低・中レベル地層処分サイトの候補地を提言した。これらのサイト候補地は、充分深く、広く厚い岩盤層からなっており、過去において長期間にわたり安定であったこと、かつ、将来的にもその状態が続き、技術上の観点も含め地下処分場を建設・運用・閉鎖が可能であるとしている。予定では約2年間かけてNAGRAの提言が連邦政府の安全性に関する委員会と州の専門家委員会等によって検討される。この第1ステップの最後に連邦内閣がどのサイトをさらに続けて調査・検討するかを決定することになる。なお、州政府はこのプロセスに対して拒否権を持たない。

スイスの国土は、60%を占める南部のアルプス山脈と10%を占める北西部のジュラ山脈とその間の30%を占める中部平原(氷河期にアルプス山脈の氷河によって押し出された砂礫岩が堆積していることがこの平原の特徴である)からなる。アルプス山脈は、アフリカ側のプレートが北上し浅海が押し上げられて出来上がった。このため褶曲した地層は複雑で断層も存在し、現在でも毎年1.5mmずつ高くなっているとのことである。それゆえ、高レベルの処分地層として適しているとはいえない。フランスと国境を接するジュラ山脈西側の地層はかなり平坦に横たわっているが、やはり地殻変動の擾乱を受けている。スイスアルプス西側とジュラ山脈西側の間にある中央平原の地層も、変形は小さいが地質構造上の複雑性を示す。結局、過去および将来的に最も安定した地層はジュラ山脈東側とこの部分の南側に接する中部平原北側中央の地域である。

地形情報システム(GIS)も使って最適な高レベル地層処分サイトの候補地として提言された3カ所を第5図に示す。チュルヒャー・バイナランド、北レーゲレンおよびベーツベルグは、スイスの5基の原子力発電所のサイトやチューリヒ市から近い。また、ドイツ国境に近いが接している。これらの地層は、当然のことながら、低、



第5図 スイスの高レベル廃棄物地層処分候補地
中レベルサイトとしても運用でき、地層は単純かつ安定

しており地質学上の特長が際立っている。提言された処分地層となるオパリナス(乳白)粘土岩層は深さ400mから900mの間に堅い岩盤で横たわっていて、構造地質学的活動に関する兆候がなく十分な広がりを持っている。専門外の著者が見ても処分場として非常に優れていると感じる。このような情報は当然、学校現場の地質・地層の学習単元で活用できる。

IV. あとがき

現在、日本は少子高齢化の課題と併せて、科学技術創造立国として21世紀の技術戦略の具体化を迫られている。21世紀の最大課題であるエネルギー資源の制約と気候変動防止対策として、原子力技術に対する期待は世界各国で格段に大きくなっている。日本は、この10年間の建設実績で世界をリードしている。地震のリスクも考慮し、日本も米国のように安全目標を明記することにより、国内での合理的な議論が可能となり、世界への貢献目標も具体化できると考える。

この観点で著者は、文部科学省 原子力基礎基盤戦略イニシアティブ「学校現場との対話に基づく原子力、放射線学習プログラム開発」の研究活動の一環として、学校教育世代のためにスイスのエネルギー環境情報を収集、分析した。本稿では学会誌ということで、スイスの最新情報の紹介という色合いを強くして報告させていただいた。参考になる内容があれば幸いである。

—参考資料—

- 1) 山下宏文, 持続可能な社会を目指すエネルギー環境教育の実践, 国土社, (2009).
- 2) IEA, Energy Policies of IEA Countries—Switzerland 2007 Review, (2007).
- 3) VSE&AES, Strom 2007/2008: Zahlem and Falken, 2008
- 4) KWO, Investitions Programm「KWO Plus」, (2007).
- 5) 日本原子力産業協会, 原子力産業新聞, 2008年12月18日.
- 6) 杉山憲一郎, 他, “原子力地域熱供給: スイスの実績”, 日本原子力学会誌, 48(2), 119-124(2006).
- 7) NAGRA, Standortgebiete für Geologische Tiefenlager, Warum gerade hier?, (2008).

著者紹介

杉山憲一郎(すぎやま・けんいちろう)



北海道大学
(専門分野/関心分野) 高速炉を含む原子力
発電の安全性と熱流動/エネルギー環境教育

原子力発電所に対する規制の課題と考察

東京大学 西脇 由弘

2006年12月に投稿した和文論文「原子力発電施設の課題と考察(以下「課題と考察」と略)が、このほど、日本原子力学会賞論文賞という大変名誉ある賞を頂いたことに感謝いたします。

受賞に対し皆様から寄せられた言葉の中に、「数式を用いない論文賞は初めてではないか」というご指摘があったところ、確かに技術を法の枠組みから見る論文に対しては、原子力学会では論文賞は初めてであり、論文賞以外の賞でも受賞の例がない。原子力は、潜在的な危険性を内包する技術であり、法の枠組みなくしては社会で活用され得ない。我が国の原子力法規制は、技術に関して法の骨格に係る改正は約半世紀行われていないが、今後、種々の側面から原子力法制に関する論文が投稿されることにより、法制面での考察が深まり、在るべき法制の実現へ動き出すことを期待する。

論文「課題と考察」は、規制や訴訟の実務を通じて得た経験から、原子力法制について課題を提示し考察を加えた。本稿では、最初に同論文の紹介を行った後に、2007年3月に発足した東京大学の「原子力法制研究会」の「技術と法の構造分科会」の議論を踏まえ、原子力発電所を念頭に原子力の法規制の在るべき姿についての最新の検討について紹介する。

I. 論文「課題と考察」の主要なポイントの紹介

1. もんじゅに対する二重規制の課題

実用発電用原子炉に関しては、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(以下「炉規制法」と略)の設計及び工事方法の認可および施設定期検査等は適用除外とされ、電気事業法(以下「電事法」と略)により規制されていることから、2つの法の規制を同時に受けるという二重規制の問題は回避されているが、発電を行う研究開発段階炉である「もんじゅ」に関しては、この適用除外はなく、電事法の工事計画の認可、使用前検査、溶接検査及び定期検査が炉規制法に加え適用されるという、二重規制の問題があることを指摘した。

2. 炉規制法と電事法の規制の一本化

原子力の安全を直接に担保する炉規制法と、事業者の自主保安を前提とする電事法は、法の性格が異なることから、両法にまたがる法の適用は解消し、炉規制法に一本化して規制すべきであることを指摘した。

3. 設置許可に関する課題

炉規制法第23条の設置許可については、許可基準であ

る第24条を具体化した政省令が存在せず、原子力安全委員会の内規にすぎない各種指針類を判断基準として使用している問題^{a)}を指摘した。

また、同許可の際に原子力安全委員会の意見を聴く、いわゆる狭義のダブルチェックに関し、同一の対象を同一の基準で二度審査することは実益に乏しく、トピカルレポート制度^{b)}を導入し審査の繰返しを回避するとともに、原子力は運転管理の時代に入っていることから、原子力安全委員会の役割を、設置許可のダブルチェックから、運転管理や事故トラブル対応まで含めた1次行政庁の監査(広義のダブルチェック)とするよう提言した。

さらに、設置許可の変更要件が、形式的に申請書本文記載事項の変更とされ、安全上の重要性によって判断されていないことから、仮に、本文記載事項の安全側の変更(例えばディーゼル発電機を1台追加する場合など)であっても設置許可の変更が必要なこと、あるいは逆に、本文記載事項ではない非安全側の変更を行う場合は設置許可変更の申請ができず、運用上、このような行為は禁止されているという問題点を指摘した。

また、申請者とは異なる計算コードを用いて解析の妥当性を検証するクロスチェックについては、これを多用する実益が乏しいことを指摘した。

Problems and Study of Regulations on Nuclear Power Plants : Yoshihiro NISHIWAKI.

(2009年 5月15日 受理)

^{a)}IAEAのIRRS報告書の勧告9においては、保安院が指針の策定に主たる責任を負うべきとされている。

^{b)}本制度については、2008年12月に原子力安全・保安院がその導入を決定した。

4. 工事計画の認可に関する課題

工事計画認可の申請は、その約90%が建屋や機器の図面や構造計算であり、省令62号が性能規定化され、告示501号等が廃止されたにもかかわらず、計算手法が定着化し間違いの発生の恐れが少ない構造計算に偏重しており、工事計画認可における構造強度の確認は極力簡素化されるべきであると提言した。

5. 段階規制に関する課題

いわゆる段階規制、すなわち炉規制法の設置許可(基本設計)と電事法の工事計画認可(詳細設計)に関しては、技術的知見や経験により、その両者の役割が変化する相対的な関係にあり、知見が高まり経験が豊富になれば、基本設計の審査は簡素化され、相対的に詳細設計段階での審査に依存することを指摘した。また、両許認可の構造に関しては、段階的に安全規制を実施していることを明確にするために、設置許可の許可基準と工事計画の認可基準が整合性・一貫性を保ち、各段階における審査が段階的安全規制を実現するように行われること、すなわち許認可基準により段階的安全規制の統制を図ることを提言した。

また、電事法の工事計画認可については、認可基準である省令62号は、安全設計審査指針とは整合がとられているが、安全評価指針等は整合性の検討の対象外とされており、設置許可全体を受けておらず、運転管理段階の規制を行う基礎とするには判断基準が不足していることから、工事計画認可の記載・認可基準・審査において機能・性能を重視することを提言した。

さらに、炉規制法第37条の保安規定については、その違反が設置許可の取消しなどの厳しい措置となっていることから、罰則の適用の前に遵守義務を課すような段階を法定することが望ましいと指摘した。

6. 検査に関する課題とその他事項

国産燃料体は輸入燃料体と同等以上の品質を有しているにもかかわらず、燃料体の検査に関しては、輸入燃料体について省略されている設計の認可や加工の工程ごとの検査が行われていることから、発注事業者に設計や加工の工程ごとの検査の義務を負わせた上で国の直接検査は廃止し、さらに、燃料体は量産的性格を持つことから、型式認定制度を導入することを提言した。

また、定期検査については、検査対象のハードとソフトのバランスをとること、第三者機関の活用によって事業者の活動の透明性を向上させ説明責任を果たすことを求めた。

さらに、軽微な事象を含め、事故・トラブルや保全情報を取り扱う体制等を保安規定に盛り込み、日本原子力技術協会の原子力施設情報公開ライブラリー(ニューシ

ア)の的確な運用を法的に裏打ちすることを求めた。

Ⅱ. 法の運用改善による原子力規制の在り方

論文「課題と考察」の執筆の後に東京大学の原子力法制研究会が発足し、原子力法制に関して多角的な検討が開始され、また、国際原子力機関(IAEA)が我が国の実用発電用原子炉の規制を対象としたレビューを行い、2008年3月に、IRRS(Integrated Regulatory Review Service)報告書を策定・公開した。

本章では、論文「課題と考察」の執筆後の各種議論を念頭に、IRRS報告書の内容を踏まえ、我が国の原子力規制の在り方について、法改正を伴わない法の運用の改善の範囲で実施し得る方策について考察を行う。

1. 設置許可の在り方

炉規制法の設置許可の抱える問題は、(1)何が許可されたのか、すなわち「許可の要素」が不分明であること、(2)設置許可の変更や届出要件が形式的に申請書本文事項の変更とされており、当該設置許可変更の安全上の重要性が判断要件とされていないこと、(3)変更や届出のみならず、軽微な変更も行いにくく、許認可図書がアズ・ビルトされていないことが挙げられる。

これら諸問題は、炉規制法第26条の変更や届出の要件を、当該変更の有する安全上の重要性によって決定[○]し、軽微な事項の追補・補完の手続きを明確にすることによって解決することができる。

2. 工事計画認可及び使用前検査の在り方

構造強度は、原子力安全の基本ではあるが、機能・性能と比較し安全に対する影響は間接的であり、また、建屋や機器・設備の構造強度に関する設計・製造は技術的に成熟しているといえる。しかしながら、諸外国のように民間第三者検査制度が導入されていない我が国においては、国自らが工事計画の認可や使用前検査によって、その健全性を直接確認せざるを得ない。したがって、我が国も、民間の第三者認証であるASME類似制度を導入した上で、設置者の行うべき品質保証の義務を明確にし、規制はその確認を行う体系に移行すべきであろう。

すなわち、構造強度の設計に関しては、PE(Professional Engineer)制度を確立し、PEが第三者的立場で設計を確認し、製造段階については、民間第三者機関であるAIA(Authorized Inspection Agency)が認証を行う制度の導入を図る。その上で、現行の制度を見直

[○]米国の10 CFR Part 50.59は、安全解析報告書中の事故の発生確率や結果が有意に増大する場合などでなければ、変更や試験は事後届出で実施できることとされている。(東京大学原子力法制研究会技術と法の構造分科会、平成19年度報告書 2-31ページ参照)

し、工事計画認可は、構造強度設計の方針、概要、体制や使用する民間規格の審査として設置許可に盛り込み、具体的な設計が固まった段階で設置許可申請書の追補・補完を行うとともに、使用前検査については、第三者認証を含む事業者の義務履行確認のプロセス型検査に移行する。

機能・性能については、現行の工事計画認可と使用前検査の体系は維持するが、その内容の充実を図る。すなわち、設計については、設置許可申請書添付書類の添八と添十の内容が十分であるか見直した上で、工事計画認可の熱出力計算書と制御能力計算書等との記載の同一化を図る。また使用前検査についても、単に技術基準適合性確認の完成検査から、発注、設計から製造、据付、検証に至る一連のプロセスの妥当性確認の検査(技術基準適合性を確認する事業者の検査の記録確認もサンプリング検査の対象に含める)に拡大する。

構造強度について設置許可で審査し、機能・性能について設置許可と工事計画認可の審査事項を同一化すれば、設置許可と工事計画認可の関係は限りなくワン・スルーに近づき、段階規制に起因する諸課題も解消される。

この一連の現行法制の運用の見直しを通じ、規制の重点を、技術的に成熟した構造強度の確認から原子炉の安全にシフトさせ、全体として整合的な規制システムの実現を図るべきである。

3. 保安規定の在り方

現行の保安規定は、(1)設置許可において原子炉の安全設計の観点から運転管理に要求している事項(運転上の制限値)と、(2)設置許可の段階での運転管理面の仮定が具体化された事項(品質保証、運転手順、教育訓練等)に分類される。

前者の(1)については、原子炉安全と直結しており、その違反は現行の設置許可取消などの非常に強い措置を持って禁止するのが相当であろう。しかし、後者の(2)は、設計の具体化という観点からは、保安規定でなく設置許可に盛り込むべき性格を有していると見ることができる。また、違反の軽重にも依存するが、原子炉安全に直結する度合いは前者の(1)と比較すれば相当に低く、罰則の適用も相当慎重になされるべき(法改正を行うならば、この二者は区別した上で罰則を適用すべき)であろう。

なお、後者の(2)は、現在は運転開始後に保安検査が実施されているが、本来、保安規定が認可された後、事業者が運転を開始しうる能力があるか検査で確認すべきであり、燃料搬入から運転開始までの段階を追って保安検査が実施されるべきであろう。

4. 包括的安全解析報告書について

IAEAのIRRS報告書の示唆5および6において、運転を開始する前に、一連の規制行為によって許認可されたもの(許認可ベース)全体の安全文書(包括的安全審査報告書)の策定・更新と、ホールドポイントを持ったレビューの実施を求められた。

我が国は、設計について二段階規制をとっており、一般的には規制行為の後段に位置する工事計画認可の方が現実に近いと考えられるだろう。しかし、工事計画認可のドキュメント、すなわち工認図書は、認可時の確認は行っているものの、詳細に過ぎ認可後のアズ・ビルトは不能であり、また、機能・性能については設置許可ほど体系的に記載されていない。設置許可申請書と添付書類を、変更許可や届出、あるいは追補・補完を行うことによってアズ・ビルトされた図書とし、設置許可申請書を包括的安全審査報告書と位置づけるべきであろう。すなわち、包括的安全解析報告書は、設置許可本文と添付書類、および、運転管理面のドキュメントである保安規定の総体となすべきであろう。

また、上記3節の(2)に示す事項の保安検査を運転前に実施し、事業者が原子炉の運転管理を実行できることを確認した上で、使用前検査のホ項検査を実施し、運転開始前の最終確認検査とすべきであろう。

5. 検査に関する課題やその他の事項の在り方

燃料体については、論文「課題と考察」で指摘した加工の工程ごとの検査の見直しに加え、原子炉安全に影響を与えない範囲での少数先行照射については、設置許可の変更要件としないこと、取替炉心解析はサイクルごとに行い、運転制限値を定めることを提唱する。

また、信頼性データベースなど、国内プラントの運転から得られるデータについては、日本原子力技術協会と原子力安全基盤機構の双方が整備しているが、事業者側の所有し、収集分析すべきデータに関しては日本原子力技術協会のデータベースに一本化し、原子力安全基盤機構は日本原子力技術協会とのMOUなどに基づきデータベースをチェックし、それらデータが規制に使用しうる信頼性を有しているか確認する役割を担うべきであろう。

さらに、原子力安全基盤機構は、人事異動が少ない専門家集団であり、長期に同一業務に従事できることから、設置許可や工事計画認可の審査や各種検査を実質的に担うべきであり、また、審査内規(スタンダード・レビュー・プラン)や検査マニュアルの策定も行うべきである。

III. 原子力規制のあるべき姿

II章においては、法の運用改善の範囲での原子力規制の在り方を論じた。現在の原子力規制は、規制の重点の

置き方や詳細さのバランスが欠けており、全体として総合的な法執行とするために、法の運用の範囲で改善を行った案となっている。早急に、これら事項を実現すべく、関係各位が具体化のための検討を開始するよう望む。

しかしながら、中期的には、抜本的な法改正により、原子力規制のあるべき姿を実現することが望ましい。このためのポイントを以下に述べる。

- (1) 電事法の工認以降の規制を廃止し、炉規制法のみで規制を行うこと。この際、電事法の技術基準適合義務は炉規制法に取り入れることが望ましい。また、タービンなどの炉規制法の対象ではない設備についても、電事法から外し、炉規制法により規制するとともに、電事法の公共の安全のための規制全般、すなわち安全規制は炉規制法に任せる。
- (2) 設置許可のダブルチェックは廃止し、原子力安全

委員会は、1次行政庁の行為全体を監査する広義のダブルチェックの役割を担うこと。

- (3) 炉規制法の設工認は、設置許可に包摂させ、設計の二段階規制は解消させる。
- (4) 運転開始前に原子炉を運転してよいか確認する検査を新設するとともに、使用前検査、定期検査、保安検査等は統合し、計画的検査とし、これらと、立入検査の3本立ての検査体系とする。

著者紹介

西脇由弘(にしわき・よしひろ)



東京大学
(専門分野)法工学

新刊紹介

原子炉入門

鶴田隆雄著, 183 p. (2009. 3), 通商産業研究社,
(定価 2,100円) ISBN 978-4-86045-037-3

この10年ないし20年の間、テキストとして好適な原子炉工学関連の新書発刊は、洋書・和書を問わず、ごくわずかであったが、原子力カルネッサンスが叫ばれて以降、少し様子が変わってきたようだ。ここに紹介する本は、原子炉工学の中核をなす「原子炉」を対象とした入門書であり、これから原子力工学を学ぼうとする学部生や、原子力を専門としないエネルギー関連技術者や中高の教員に格好の書である。炉物理のテキストとしては、原子力黎明期時代に書かれた名著がいくつかあるが、この本は以下の点で特徴的であるため、これまでにない読みやすい原子炉入門書となっている。

一つの特徴として、「原子炉を所有する大学施設における著者の教育経験に基づき構成・執筆されている」ことが挙げられよう。著者は近畿大学原子力研究所で25年以上にわたり研究・教育に携わり、数多くの学生・院生を輩出するとともに、小中高の教員や原子力に関心の深い市民を対象とした原子炉実験・教育研修を長年実践してきた。本書はそうした活動のノートをまとめたものであり、炉理論を目の前にある実験装置を使いながら具体的に噛み砕いて理解できるよう配慮されている。さらには、全部で200ページと限られたコンパクトさの中で、原子炉の法規制や安全文化にもページが割か

れており、原子炉を取り巻く環境全体を概観できる。長年、実際の原子炉に向き合ってきた著者ならではのユニークな構成だ。

もう一つの本書の特徴は、数学的な記述が必要最小限にとどめられており、それを正確な定性的解説と多くの図表で補っていることである。これにより、(過去の有名な炉物理テキストとは異なり、)学部1,2年生で

も、もしくは理系を目指す高校生でも拒絶反応を起こすことなく原子炉初等理論を学ぶことができるよう工夫されている。

一方で、内容が充実しているだけに残念に感じられるは印刷のクオリティだ。今や個人でもパソコンを使って出版社顔負けの美しい印刷物を作成可能な時代というのに、特に図表に関しては部分的に「かすれ」があり低品質なのだ。本書は「入門書」ゆえ、中学高校の参考書ばりのカラフルな印刷を採用してもよいと思えるだけになお惜しい。

著者は、「技術開発の成果をいかに人間の幸せに結びつけていくか」について憂慮している。民主主義社会において、技術開発の方向性や活用法を決定するのは一般市民でありながらも、判断をしようにもそれに役立つまとまった材料が乏しい状況ではままならない。本書を記した背景には、原子力を専門とする人たちだけでなく、将来のエネルギーのあり方を考える人々全てに役立つ書という思いがあったようだ。公共の図書館にも広く導入してほしい好著である。

(東海大学・高木直行)



報 告

東海発電所廃止措置におけるクリアランス物と放射性廃棄物でない廃棄物(NR物)の搬出

原子力施設からクリアランス物とNR物を搬出するには

日本原子力発電(株) 山内 豊明

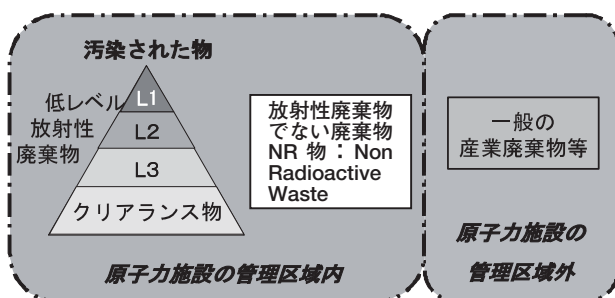
人の健康に対する放射線影響が無視できるものを放射性の物として扱わないクリアランス物(クリアランスされた物)と、管理区域内の汚染されていない「放射性廃棄物でない廃棄物」について、それぞれの概念および判断等の制度を説明する。さらに、これらの運用例として、現在、廃止措置を進めている東海発電所における経験・実績を報告する。東海発電所に引き続き多くの原子力施設がこれらの制度を適用してリサイクルを推進することで、原子力分野における循環型社会形成の一助となることを期待する。

I. クリアランス物と放射性廃棄物でない廃棄物(NR物)とは

原子力発電をはじめとした原子力利用に伴って、必ず不要となる資機材等が発生する。放射性物質に汚染された物はその放射能濃度レベルに応じて放射性廃棄物として適切に処理処分する必要がある。第1図に示すように、一般的には汚染の度合いが少ないものほど、より多く発生する。このわずかな放射性物質の汚染が、自然界の放射線の変動レベル以下で、人の健康に対する放射線影響が無視できる線量以下のものを放射性物質として扱わない行為を「クリアランス」という。

一方、放射性物質は原子力施設の管理区域内で取り扱われるが、管理区域内のものがすべて汚染されている訳ではない。管理区域内で発生した汚染されていない資機材を「放射性廃棄物でない廃棄物(NR物)」という。なお、この概念には再利用品など廃棄物とならないものも含まれるが、総称として放射性廃棄物でない廃棄物と呼んでいる。

クリアランス物と放射性廃棄物でない廃棄物とはともに



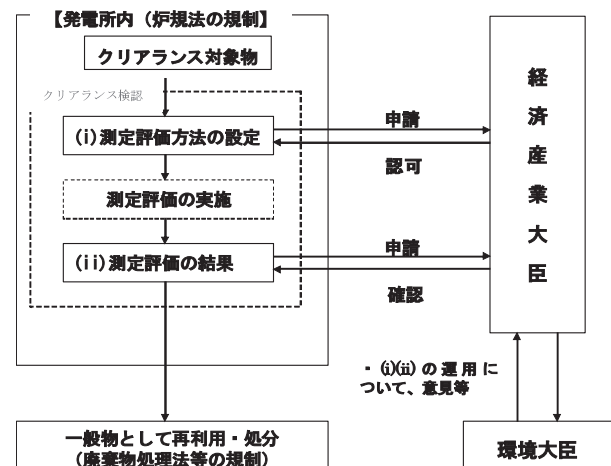
第1図 原子力施設で発生する廃棄物等

Release of Clearance Material and Non Radioactive Waste (NR) from Tokai-1 Decommissioning: Toyoaki YAMAUCHI. (2009年 3月27日 受理)

放射性物質として扱わないものであるが、その概念は第1図のように異なり、判断する制度も異なる。両者の取扱いは明確に区別する必要がある。

II. 制度の概要

クリアランス制度は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」2005年の改正で規定された。同法第61条の2に基づき、各原子力事業者は、主務大臣の放射能濃度の確認を受けた物を核燃料物質によって汚染されたものでないと扱うことができるという制度である。法制度の概要を第2図に示す。主務大臣の確認を受ける前に、放射能濃度の測定および評価の方法について主務大臣の認可を受けなければならない。クリアランスできる放射能濃度については、核種ごとに原則として免除線量の $10 \mu\text{Sv/yr}$ をベースに種々のシナリオ(極端なシナリオ等の場合は除く)を考えた最大放射能濃度として求められる。法令では、国際基準IAEAのRS-G-1.7で推奨されている核種ごとの濃度値(Co-60 で 0.1 Bq/g など)を規定している。対象物に複数の核種が混



第2図 クリアランスの法制度(発電用原子炉施設の例)

在している場合は、核種ごとの評価濃度とクリアランス濃度との比を合計して、1以下であること(具体的には第6図参照)を確認する。核種ごとのクリアランス濃度、測定および評価方法の認可手続きおよび確認の手続きについては、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第61条の2第4項に規定する製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則」または「試験研究の用に供する原子炉等に係る放射能濃度についての確認等に関する規則」に規定されている。クリアランス物の扱いについては、法令上は放射性として扱う必要がないものとなるが、同制度整備にあたって、国民の理解が前提とされていることから、当面の間は撤出先について自主マニフェスト管理を行うとともに、第3図に示すように、電力または原子力関連施設での利用に限定している。

一方、放射性廃棄物でない廃棄物については、そもそも汚染されていない規制対象外のものであることから、法令上の規定はない。従来より、対象物が汚染しているか否か、その汚染レベルに応じた分別管理等は事業者の運用で行っている。原子炉設置者の場合においては、原子炉施設保安規定で放射性廃棄物でない廃棄物の判断方法を規定して、事業者で判断等を実施することとなる。放射性廃棄物でない廃棄物の判断および取扱いの流れを第4図に示す。これらの一連の行為については、事業者が自主的に行って、定期的な保安検査の中で主務大臣の検査を受けることとなっている。放射性廃棄物でない廃棄物の判断方法については、2007年10月に原子力安全・

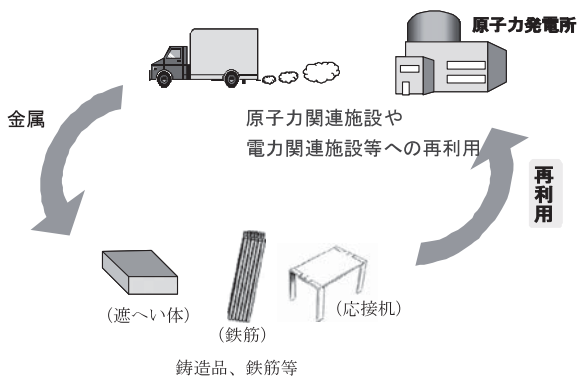
保安部会で報告書がまとめられており、同報告に基づいて2008年5月に原子力安全・保安院より内規(ガイドライン)¹⁾が発行されている。同内規では、設置状況および汚染履歴記録等に基づいて汚染がないことを判断することとされ、放射能測定では判断せず、判断後に念のための測定を推奨している。念のための測定は、規制上、必須ではないが、万が一事業所外で放射能が検出されることへのリスク回避の観点から重要と考えられる。

なお、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」をはじめとする原子力事業ごとの各主務省令では、管理区域からの物品の持出し基準について、管理区域の設定レベルの1/10と規定されている。しかし、現行法令上この規定は汚染のないことの確認する規定ではなく、管理区域から持ち出してよい汚染レベルの確認規定であることから、放射性廃棄物でない廃棄物の判断およびその後の物の扱いを混同しないように注意しなければならない。今後、これら日常的に確認、撤出が必要な少量物品に対する合理的な判断、取扱い制度の改善が望まれる。

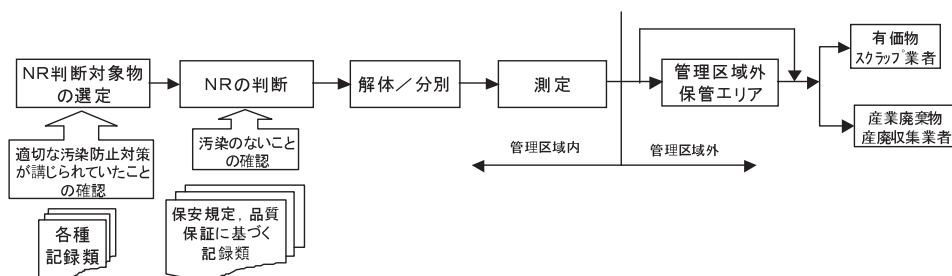
Ⅲ. 東海発電所廃止措置での実績

東海発電所は、我が国初の商業用原子力発電所として英国より導入された国内唯一の黒鉛減速・炭酸ガス冷却炉(GCR)であり、燃料には天然ウランを用いていた。1966年7月に営業運転を開始して、1998年3月に運転を停止した。運転停止後約3年かけてすべての燃料を英国に撤出後、2001年12月より廃止措置を実施している。廃止措置の初期5年間で、タービンほか周辺機器撤去で非管理区域の機器の解体撤去等を実施した。2006年からは管理区域内の機器である熱交換器の解体撤去を行っている。原子炉領域については、安全貯蔵の後、解体撤去する計画である。東海発電所は、商業規模の原子力発電所として初めての廃止措置ということで、廃止措置を実施しながら関連する制度整備も進めており、廃止措置の安全規制について、2005年に当初の届出制から認可制に改正されている。

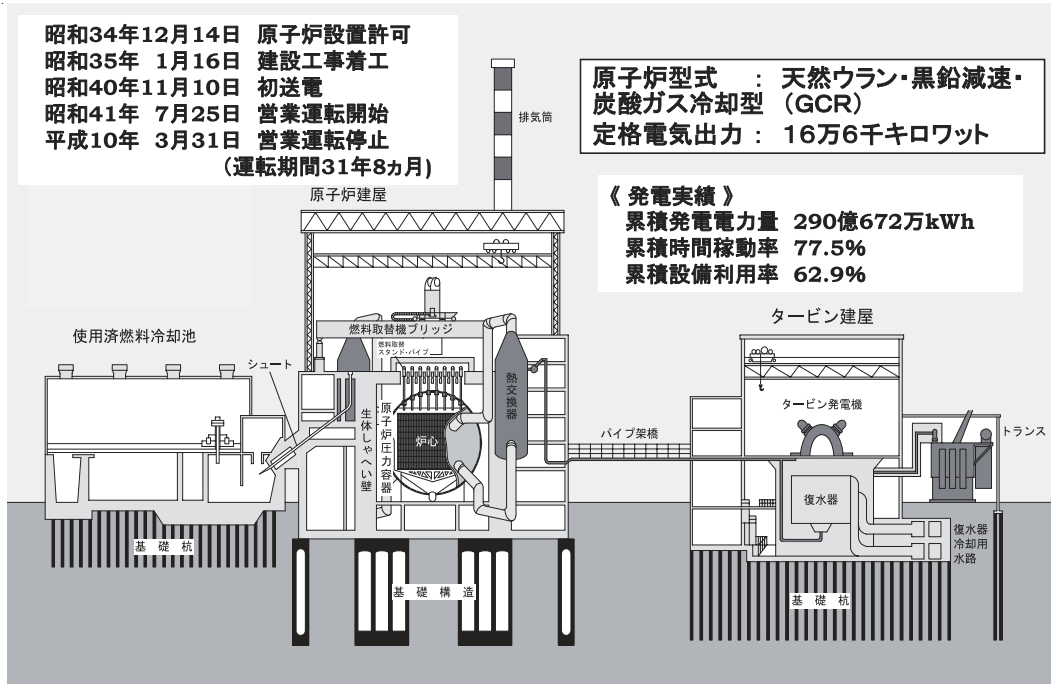
クリアランス制度整備後の初適用として、東海発電所の解体撤去で発生する撤去金属約2,000tを対象に2006年6月に放射能濃度の測定および評価の方法の申請を行い、同年9月に認可を受けた。測定および評価の方法を



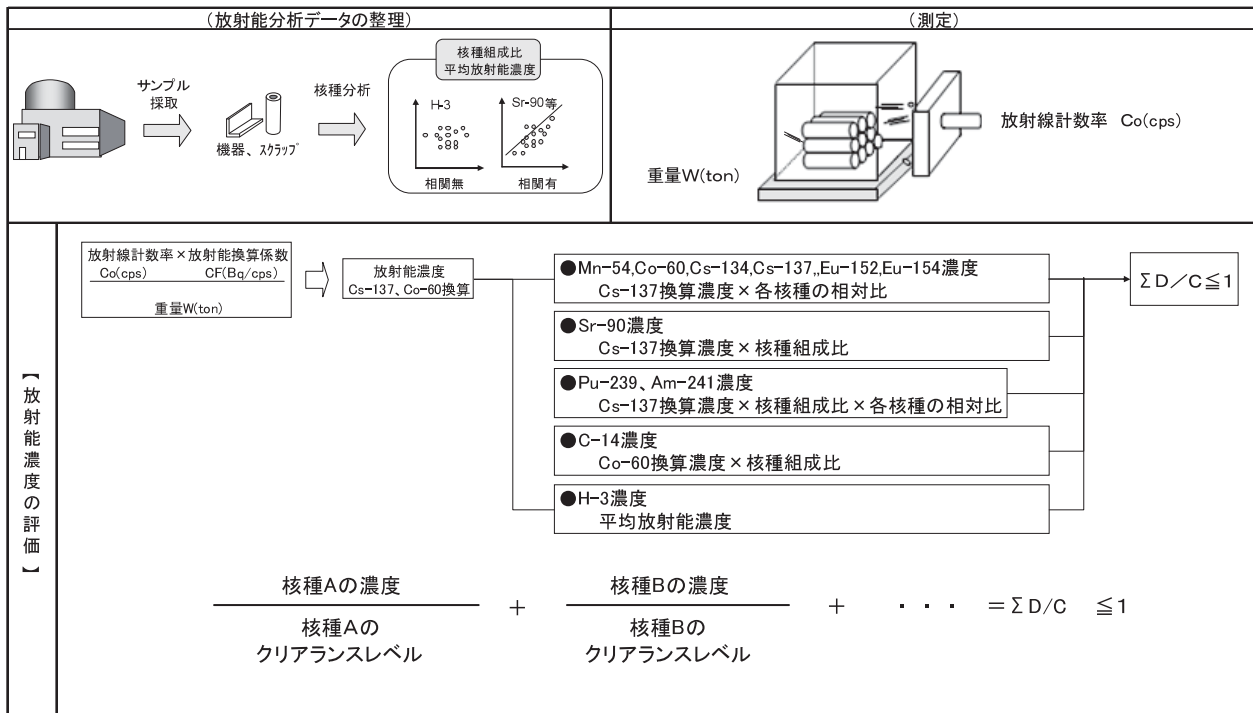
第3図 当面のクリアランス再利用先



第4図 放射性廃棄物でない廃棄物の判断、扱いの流れ



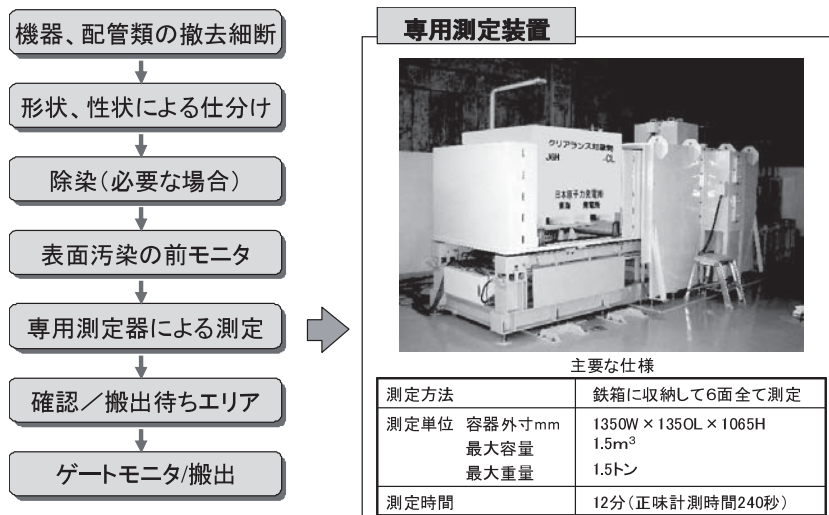
第5図 東海発電所の概要図



第6図 クリアランス測定と判断手順

決定するに当たっては、対象物について事前にサンプル分析および現場調査を行って汚染源別の核種組成比を設定するなど、日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法2005」²⁾を参照した。具体的には、原子炉施設の場合、汚染源は主として構造物等の放射化と燃料からの核分裂生成物となる。東海発電所の汚染調査結果に基づき、これらの汚染源からの寄与別に大きく汚染パターンを3つに区分して、それぞれの重要放射性核種を選定してい

る。申請対象として、2,000 t 金属に対する放射能濃度評価方法としては、第6図に示すように、核種間の相関を踏まえて、Co-60およびCs-137をKey核種にした核種組成比法、 γ 線放出核種を換算係数から求める全 γ グループ測定法、並びに施設内の平均濃度で割り付ける平均放射能濃度を組み合わせて評価することとしている。現場におけるクリアランス対象物の取扱いフローと γ 線測定に用いた専用測定装置を第7図に示す。2006年



第7図 クリアランス取扱いフローと専用測定装置



第8図 クリアランス金属と搬出時のゲートモニタ通過の様子

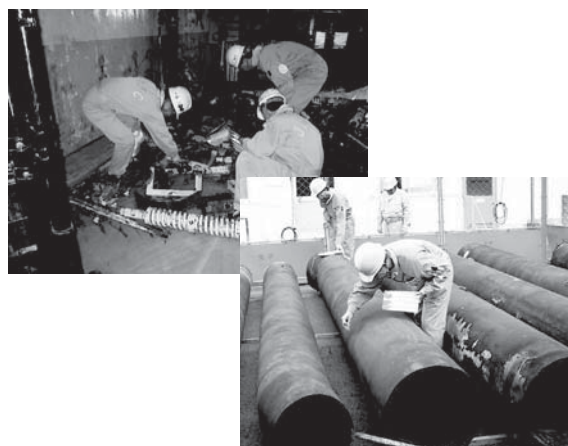
1月の原子力安全・保安院の内規³⁾に基づき、クリアランスの判断単位は、原則1t以内として、前モニタによって、100kgごとにクリアランスレベルの10倍以上の偏在汚染がないことを確認している。このフローに基づき、事業者で判定した対象物について、2007年5月に初めての国の確認を受けて、同年6月に初の構外搬出をした。なお、構外搬出に当たっては、金属加工メーカーの搬入の際に行われるゲートモニタを構内でも通過させてクリアランス物以外の線源の混入がないことを確認している(第8図)。

搬出したクリアランス金属は、一般の鋳物工場加工し、これまでに遮へい体としてJ-PARC(高エネルギー加速器研究機構および日本原子力研究開発機構)に79体(約40t)納入している。さらに、クリアランス制度の理解促進のため、クリアランス金属をベンチや応接テーブルの脚等に加工して東海および敦賀発電所構内に配備するとともに、原子力関係機関にも購入いただき積極的に理解促進に活用して頂いている(第9図)。

放射性廃棄物でない廃棄物についても、東海発電所は原子力安全・保安院が定めたルール制定後の初適用として、2008年9月初旬に原子炉施設保安規定を改正して、事業者の自主的な放射性廃棄物でない廃棄物の判断方法を定めた。この保安規定およびその下部規程(社内規程)に基づき判断対象物を選定し、発電所内に保存されてい



第9図 再生加工した遮へい体と理解促進用ベンチ(脚部にクリアランス金属を使用)



第10図 現場におけるNR物の分別作業と念のための測定作業

た品質保証に基づく記録類を判断根拠として、放射性廃棄物でない廃棄物の判断を行った。その後、念のための測定を経て、2008年9月末に初めての構外搬出を行った。なお、放射性廃棄物でない廃棄物の搬出については、クリアランス物のような当面の間の限定利用等の措置はなく、一般のスクラップ等と同様の搬出処理を行っている(第10図)。

Ⅳ. 今後の展望

クリアランスについて、東海発電所では近々熱交換器本体および周辺機器の解体撤去で発生する撤去物を対象とした測定および評価方法の認可申請を計画している。クリアランス制度は国民理解を踏まえた上でフリー・リリースすることとしているため、東海発電所に引き続いてクリアランス制度を適用して対象物を施設外に搬出していく原子力施設が増えることを期待する。各原子力事業者等におかれては、クリアランス制度を適用する際には、核種組成が異なる汚染物が混合しないよう施設内でトレーサビリティも含めた管理をきちんと行うことで、クリアランス測定および評価が容易になるとともに、測定判断における過度な保守性を排除することが可能になると考えられる。

放射性廃棄物でない廃棄物については、汚染したことがないという設置状況と記録だけで判断するものであることから、施設を使用開始した当初からの区域管理記録等を整備しておくことはもちろん、汚染物を扱う場合はその汚染レベルに応じて扱う区域を分けるなどの管理を当初から行っていくことが重要と考える。

以上の観点に留意して、東海発電所に続いて、クリアランスおよび放射性廃棄物でない廃棄物の制度適用を各原子力事業者で確実に進めていくことを期待する。また、原子力施設の廃棄物関係者以外の利用者について

も、研究開発や原子力事業を行った後に発生した廃棄物(有価物も含む)の後始末について、一般家庭同様に分別管理するだけで、後処理の手間や環境負荷を減らすことができるということを念頭に入れて分別に配慮して頂ければと考える。

—参考資料—

- 1) 経済産業省「原子力施設における放射性廃棄物でない廃棄物の取り扱いについて(指示)」(平成20・04・21原院第1号,平成20年5月27日)。
- 2) 日本原子力学会標準 AESJ-SC-F 005:2005「クリアランスの判断方法:2005」(2005年7月)。
- 3) 経済産業省「放射能濃度の測定および評価の方法の認可について(内規)」(平成17・11・30原院第6号,平成18年1月30日)。

著者紹介

山内豊明(やまうち・とよあき)



日本原子力発電株
(専門分野/関心分野)廃止措置,放射性廃棄物処理処分

From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました
執筆要領と合わせてご利用下さい



<http://www.aesj.or.jp/atomos/atomos.html>

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を
改定しました。

<http://www.aesj.or.jp/publication/ronbunshi.htm>

—最近の編集委員会の話題より—

(7月4日 平成21年度全体会議,第1回編集幹事会)

【平成21年度運営方針】

- ・学会誌の編集理念として,
「広く社会に向けて原子力・エネルギー等に関する時宜を得た情報を提供」,
「将来を担う若い人材、学生、分野を異にする会員に読まれ役立つ情報を提供」
「編集委員会による自主的な編集・運営」が表明された。
- ・論文誌運営方針として,「投稿件数の一層の増加を目指す,査読期間の短縮化を図る,論文投稿・審査のWeb化を実施,欧文論文誌のインパクトファクターをさらに

向上させたい,海外からの投稿の割合を高めたい」などが表明された。

【学会誌関係】

- ・2008年1月から掲載を始めた「ジャーナリストの視点」にはさまざまな提案があり,その対応についてフェロー企画委員会が検討している。
- ・学会誌,論文誌の著作権に関する検討を進めており,「原子力学会誌における著作権委譲の確認方法と記事利用規定案」をもとに,今後具体的な手続き等を決定することとした。
- ・巻頭言,時論,インタビュー,解説などの各記事提案について検討した。第1回(平成20年)原子力歴史構築賞受賞者の中から記事化可能なものを検討する。

【論文誌関係】

- ・質の高い論文誌の継続的な発行を進めるために,編集委員や査読委員の協力が要請された。また,今年度中には,論文審査Web化を進めるとの方針が示された。
- ・同時に投稿された論文の審査指針が承認された。
- ・日韓熱流動国際会議の小特集号および特集編集委員会が承認された。
- ・今年度の論文賞編集委員会推薦の手順が承認された。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

連載
講座21世紀の原子力発電所廃止措置の
技術動向

第1回 廃止措置の世界の概況と我が国の現状

(財)エネルギー総合工学研究所 石倉 武

I. はじめに

我が国の原子力発電施設の廃止措置は、日本原子力発電(原電)の東海発電所が2001年に、日本原子力研究開発機構(JAEA)の「ふげん」が2008年に開始されている。今後の計画としては、2008年12月に中部電力が浜岡1,2号機の運転終了と廃止措置を決定し、また、原電が2010年での停止を公表していた敦賀1号機の停止時期延期を検討すると今年2月に発表した。現在、53基の軽水炉が供用中であり、それらの稼働年数は事業者が実施する高経年化対策により60年までの延長が可能とされている。このため、廃止措置が次々に実施される時期は稼働年数を一律60年と仮定すれば2030年代となるが、浜岡1,2号機や敦賀1号機のように、事業者の判断によってはそれ以前に供用中の軽水炉が停止され、廃止措置が順次行われる可能性があると思定される。廃止措置時代の到来に備え、我が国ではこれまで廃止措置を安全かつスムーズに行うために、政策、規制、技術開発などについて着実に準備が進められてきた。このような現状を踏まえ、エネルギー総合工学研究所(エネ総研)の「21世紀における原子力発電炉廃止措置のあり方に関する調査検討委員会(委員長:石榎吉東京大学名誉教授)」では、今後の原子力発電施設廃止措置に係る調査検討を進めていることから、委員会の委員を中心に、廃止措置に関する主要な技術動向について9回にわたり連載することとした。

第1回は、その緒論として廃止措置の現状、廃止措置の規制と規格、廃止措置の主要技術動向、廃棄物管理、廃止措置費用について概説する。次回以降は、解体、放射線計測、除染、処理処分、再利用の各廃止措置技術について取り上げる予定である。

II. 廃止措置の現状

1. 廃止措置とは何か

廃止措置とは、役割を終了した原子力施設を規制上の

Trend on Decommissioning Technology of Nuclear Power Plants in 21st Century(1): Status of Decommissioning in the World and in Japan: Takeshi ISHIKURA.

(2009年 2月3日 受理)

管理から解除するために行われる行政上および技術的措置をいう。具体的には、原子力施設の供用終了後における解体、核燃料の譲渡し、汚染の除去(除染)、汚染物の廃棄などの措置であり、当該原子力施設に残存する放射性物質による周辺公衆への放射線被ばくのリスクを安全で合理的な水準まで低減させる行為である。廃止措置の実施にあたっては、安全確保を大前提として、環境影響へ配慮し、費用を極力低く抑えることが重要である。

2. 廃止措置の選択肢

廃止措置の方式にはいくつかの選択肢がある。米国の原子力規制委員会(NRC)では安全貯蔵(SAFSTOR)、即時解体(DECON)、遮蔽隔離(ENTOMB)の方式に分類している。安全貯蔵方式では、施設を供用中のままの状態に密閉管理する方法から、原子炉領域(原子炉容器および炉内構造物など)以外の系統・機器類を解体撤去するような方法まで幅のある選択が可能である。国際原子力機関(IAEA)では、早期解体と段階的解体に分類し、段階的解体とは一定期間の安全貯蔵後に解体撤去する方式としている。

我が国の廃止措置の基本方針は、1982年に原子力委員会が「原子力開発長期計画」において、運転を終了した原子力発電施設は解体撤去し、地域社会との協調を図りつつ、敷地を引き続き有効利用する、とする方針を示した。1985年には通産省(現・経産省)の総合エネルギー調査会原子力部会が商業用原子力発電施設の廃止措置について、運転停止後、使用済燃料搬出、系統除染、5~10年程度の安全貯蔵期間を経て、解体撤去する標準工程を示した。その後、2001年に経産省の総合資源エネルギー調査会廃止措置安全小委員会は、実用発電炉廃止措置の系統除染から解体撤去までの期間として30年程度を目途とする方針を追加している。

3. 世界の廃止措置の動向

これまでに閉鎖された世界の原子力発電施設は100基余りであり、1サイトあたり1施設の単基サイトを中心に十数基の即時解体例がある。主要国の原子力発電施設の廃止措置動向をみてみよう。

米国では、1990年代に、規制強化の中で、単基サイト

を中心に解体する施設が増加した。単基サイトの施設では長期の安全貯蔵は合理的でなく、早期の解体が経済的であるとの評価が定着した。その例としては、ヤンキーロー、コネチカットヤンキー、メーンヤンキー、トロージャン、ビッグロックポイントなどがあり、これらの施設はすでに解体され、廃止措置が終了している。廃止措置に関するこれまでの経験から、米国では他の国に比べ規制や指針が整備され、適用する技術が絞り込まれてきた。しかし、2000年以降は、電力自由化、大手発電会社再編などによる発電所運転管理の効率化、NRCによる運転認可有効期限の延長(40→60年)などの影響から、原子力発電施設の停止事例が減少している。

フランスでは、当初選択したガス炉は効率が低く、燃料再処理費用も高いため、加圧水型原子炉(PWR)に転換した。フランス電力庁(EDF)は、停止した発電所を50年間程度の安全貯蔵をする方針から、2001年に第1世代の原子炉とガス炉の9基を前倒しで解体する方針に変更した。これまでの廃止措置は、プレニリス(重水減速ガス冷却炉)、ショーA(PWR)、スーパーフェニックス(高速炉)、黒鉛型ガス炉6基(シノンA3基、サンローランA2基、ビュージェイ1基)において原子炉領域周辺設備から早期解体が進められている。

英国では、従来は発電所停止後、原子炉領域を100年間程度保全保守するシナリオであったが、英国燃料公社(BFNL)に代わって、2004年より原子力廃止措置公社(NDA)が原子力施設の廃止措置を全般的に管理し、国際的な入札により、25年程度で廃止措置を終了する工事を進めている。すでに運転停止したパークレー、ハンターストンA、トロスフィニスなどのガス炉では、原子炉領域以外をすでに解体撤去し、蒸気発生器を解体現場に横倒しにした状態で、原子炉領域を原位置で保全保守している。100年程度の長期間の保全保守方式では線量率が低減し、解体工事従事者の被ばくが低減するのに対し、早期解体方式では遠隔操作などの技術を用いて従事者の被ばくを抑えることにより、現状の従事者を活用し、将来世代に汚染したサイトを取り残さないなどの利点がある。

ドイツでは、おおむね長期安全貯蔵方式が採用されているが、グンドレミンゲンA、ヴィルガッセンおよび旧ソ連型のPWRのグライフスバルトなどでは早期解体を行っている。現在、放射性廃棄物は受け入れる処分場が操業されていないため、サイト内に貯蔵保管されている。

以上が主要な欧米諸国での廃止措置の概況であるが、これらの経験は、わが国でも原子力発電施設の廃止措置の計画と実施に参考にされており、今後得られた教訓を廃止措置の実施に活かす必要がある。

Ⅲ. 廃止措置の規制と規格

1. 廃止措置の特徴

廃止措置時の規制・規格指針類は対象設備の規模や特性などの特徴を念頭に置く必要がある。

原子力発電施設の廃止措置時には、運転が終了し、燃料が炉心から取り出されていることから、原子炉が高温高圧での連鎖反応など運転に伴う急激な過渡変化が生じる可能性がなく、これに起因する大量の放射能放出の恐れがない。また、原子炉から燃料が取り出されているため、常温常圧で、燃料体落下等に伴う放射能の放出も小さく、さらに、使用済燃料の搬出後には内蔵放射能量は桁違いに小さくなり、リスクが減少する。また、原子炉の安全確保のために必要な機能も運転時における「止める」「冷やす」「閉じ込める」から、燃料が搬出された段階では「閉じ込める」に変化する。

このように廃止措置段階では、安全上のリスクの水準および必要な機能は運転中とは全く異なることになる。

2. 廃止措置の規制

廃止措置規制のあり方については、東海発電所および「ふげん」の廃止措置を契機に、原子力安全委員会は2005年2月に「原子力施設の廃止措置規制のあり方について」において、廃止措置の特徴を考慮した安全規制制度のあり方と規制を潜在的な危険性の程度に応じた段階的なものにすべきことを提言した。また、総合資源エネルギー調査会廃止措置安全小委員会は2004年12月に「原子力施設の廃止措置のあり方について」において、廃止措置における国の関与の明確化、廃止措置段階の特徴に基づく義務や検査の必要性などを提言した。これらの報告書を踏まえ、原子炉の廃止措置規制を含めた原子炉等規制法および関連政省令の改正が2005年に行われた。この改正には、従来の解体届から廃止措置計画の認可制への変更および廃止措置終了時の確認を明確化することを柱とする次のような項目が含まれている。

- (1) 廃止措置計画書の記載事項、認可基準の明確化(維持すべき施設の保守管理の方針と目標などを含む)
- (2) 燃料搬出後の巡視点検頻度の見直し(巡視点検毎日1回→巡視毎週1回)
- (3) 10年ごとの定期安全評価不要
- (4) 燃料搬出後の施設定期検査不要(事業者実施)
- (5) 保安規定記載事項の明確化
- (6) 保安検査頻度の見直し(毎年4回→4回以内)
- (7) 廃止措置終了時の確認基準の明確化

3. 廃止措置の規格指針類

原子力発電施設廃止措置の規格指針類に係る海外の状況と我が国の概況をみてみよう。

米国では、原子力発電施設廃止措置の指針類は規制当局であるNRCが規制指針文書(Regulatory Guide, NUREG)として留意事項を文書化している。民間では、米国材料試験協会(ASTM)が10件以上、米国規格協会(ANSI)が1件発行しているが、原子力施設一般などを対象にした標準類であり、原子力発電施設に限定したものではない。

IAEAでは安全文書として、原則、要件、指針、報告書などに体系的に分類整理しており、指針としては「原子力発電所と研究炉の廃止措置」WS-G-2.1に原子力発電施設全般の留意事項が取りまとめられている。

民間基準ではないが、規制当局の集まりである西欧原子力規制者協会(WENRA)は「廃止措置安全レファレンスレベル」報告書で、廃止措置規制のあり方をIAEAの文書に照らし検討した内容を取りまとめている。

我が国では、総合資源エネルギー調査会原子炉安全小委員会は2002年7月に「原子力発電施設の技術基準の性能規定化と民間規格の活用に向けて」において、規制当局の定める技術基準は要求される性能を中心とした規定(性能規定)とし、詳細かつ具体的な仕様規定は民間規格を活用する方針を提示した。これに対応して、日本原子力学会、日本機械学会、日本電気協会などが民間規格の整備を進めている。

廃止措置に関する民間規格としては、日本原子力学会が標準「原子力施設の廃止措置の計画と実施：2006」を発行している。この標準は、廃止措置の計画立案における技術的要求事項を規定するとともに、廃止措置の実施に必要な手引き(ガイドライン)を規定している。現在、この標準は原子炉の廃止措置計画の部分について、東海発電所および「ふげん」の経験を踏まえた見直しが進められており、今後、同標準の再編拡充が行われる計画である。

Ⅳ. 廃止措置の主要技術動向

原子力発電施設の廃止措置では、解体、除染、汚染物の廃棄を行うために、第1図に示すような広範囲な技術が必要になる。

我が国では原子力発電施設の廃止措置技術については、旧日本原子力研究所の動力試験炉(JPDR)解体実地試験、原子力発電技術機構(NUPEC)およびエネ総研による開発実証および調査などが行われてきた。JPDRでは、主要な解体、除染、廃棄物処理技術について1981年度から開発が行われ、1986年度からのJPDR解体実地試験に活用された。NUPECでは、実用炉廃止措置に関する約60の主要な要素技術とシステム化に関する確証試験が1982年度から2003年度まで行われた。また、エネ総研では、実用炉廃止措置に関するシナリオ、技術調査などが1976年度から2002年度まで行われた。

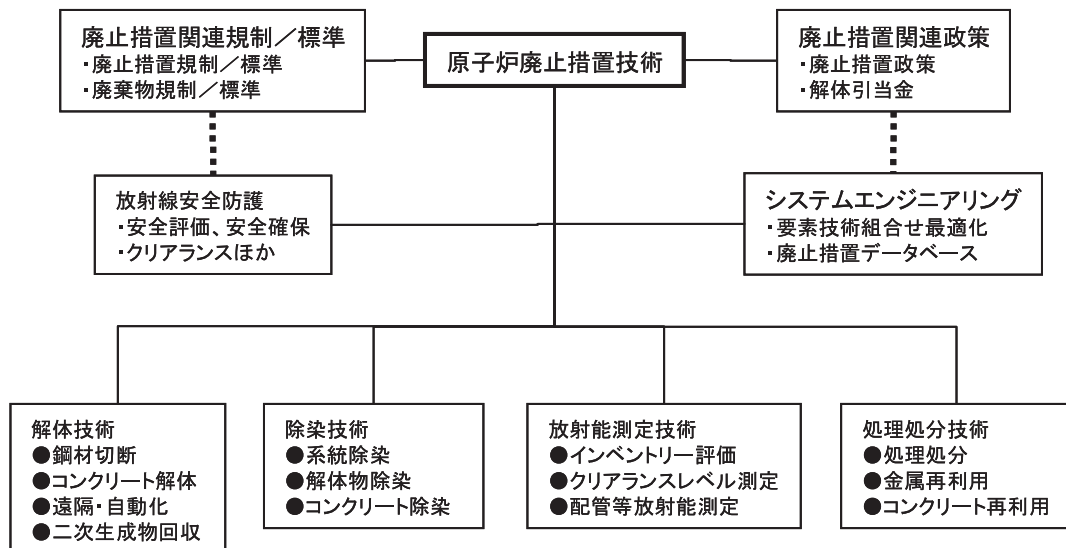
これらの国内における技術開発および国外の解体経験からみて、原子力発電施設の廃止措置は、解体、除染、廃棄物処理などのいずれの分野においても技術は成熟し、廃止措置を実施することは十分可能な水準に達しているとの評価が定着している。今後はこれらの技術をいかに組み合わせ、合理的に実施するかの段階である。

こうした観点から、国内外の動向を踏まえて、今後の我が国の原子力発電施設廃止措置技術についてのトピックスを紹介する。

1. 解体技術

解体技術としては、大型で堅牢な原子炉容器、炉内構造物などの鋼構造物切断、放射化した生体遮蔽壁内側などのコンクリート構造物切断解体、遠隔解体などが重要である。

鋼構造物の解体については、我が国では当初はアーク



第1図 原子炉廃止措置技術と政策、規制などとの関連

ガウジング+ガス切断法、レーザー法など切断性能の優れた熱的切断法が注目された。最近の海外の実績からは、炉内構造物や原子炉容器の切断にはアブレイシブ水ジェットや機械的切断法など、放射性飛散粉塵の少ない切断方法が採用される傾向がある。

生体遮蔽壁の解体に対しては、遠隔解体が可能なディスクカッタ法などが当初注目されたが、放射性コンクリートを廃棄物区分ごとに精度よく切り分け、かつ切断深さを深くできるダイヤモンドワイヤソー(ダイヤモンドを取り付けたワイヤを循環する方法)が、また大量の極低レベルコンクリートを迅速に解体できる制御爆破が有利であるとされている。

遠隔解体については、JPDRではマスタースレープ方式(ハンドル操作のように、連続的に遠隔操作する方式)マニプレータ型ロボットおよびマスト型駆動装置を用い、プラズマアーク切断法で炉内構造物の水中切断を行った。また、NUPECでは、把持、切断、2次生成物回収の機能を備えたマストアーム式遠隔解体装置により、ガス炉原子炉容器の実規模レプリカを対象に遠隔操作での解体撤去を実証した。東海発電所では、熱交換器の解体をジャッキダウン方式で遠隔解体を行っている。

2. 除染技術

除染技術は、解体前除染と解体後除染に分類される。

解体前除染は解体作業従事者の被ばく低減が主な目的であり、供用中の系統除染としてすでに国内外に多くの実績がある。廃止措置時の系統除染としては、国外でCORD法(シーメンス(現、アレバ)開発)、DfD法(米国電力研究所(EPRI)開発)などが用いられた例がある。我が国では、供用中の除染法として適用されたHOP法(日立(現、日立GE)開発)やT-OZON法(東芝開発)などの経験を踏まえ、廃止措置時に適した改良を加えた方法が適用できると考えられる。

解体後除染は、汚染した放射性金属をクリアランスレベル以下まで除染することを主な目的としている。物理的除染(ブラスト法)、化学的除染(電解法、強力化学法、有機酸法)およびその組合せ方式がNUPECなどにより確証されている。実機への適用には、除染対象の汚染性状などに応じた方法を選定することが重要である。

3. 放射能測定技術

放射能測定技術としては、広範囲に及ぶ建屋コンクリート表面と多様な形態の解体物が主要な対象である。建屋コンクリート表面の放射能汚染分布の測定には、2層式プラスチックシンチレーション検出器を用いた密着走査法が、また、解体物に対する測定には、対向する2台の大型プラスチックシンチレーション検出器を用いたバスケット型クリアランスレベル測定装置などがNUPECにより確証された。

東海発電所におけるクリアランスレベル検認に、これらを応用した設備が使用されている。

4. 解体廃棄物再利用技術

解体に伴い金属やコンクリートなどの解体物が大量に発生する。

解体コンクリートを再生利用する技術として、新規原子力施設に使用できる高品質再生骨材の製造法がNUPECにより、壁、建屋などのモデル試験を用いて確証された。この確証が契機となり、高品質再生骨材が日本工業規格JIS A 5021として2006年に制定され、一般建築物においても利用しやすいように整備されている。

放射性解体物の有効利用技術としては、コンクリートの破碎・粒度調整を行い、処分容器の充てん固型化材として利用する方法および放射性金属を溶解し廃棄体へ充てんする方法がNUPECにより確証された。

放射性金属の再利用については、汚染物を除染・溶解し、再利用するプロセスが欧米で実用化されている。

V. 廃棄物管理

廃止措置時における気体状および液体状の廃棄物は供用中に比べ放射能濃度も量も少ない。一方、固体状の廃棄物は、供用中に比べ多種多様で大量かつ比較的短期間に集中して発生するという特徴がある。

1. 放射性廃棄物の管理

廃止措置時に発生する固体状の廃棄物は、低レベル放射性廃棄物と放射性物質として取り扱う必要がない廃棄物に分けられる。低レベル放射性廃棄物は放射能濃度に応じて放射能濃度が比較的高いもの(L1廃棄物)、放射能濃度が比較的低いもの(L2廃棄物)、放射能濃度が極めて低いもの(L3廃棄物)に3分類される。なお、放射性物質として取り扱う必要がない物にはクリアランス物および放射性廃棄物でない廃棄物がある。

低レベル放射性廃棄物については、供用中に発生するL2廃棄物の埋設が日本原燃により実施されている。L1、L2およびL3廃棄物に関する法令などの整備はほぼ完了し、これに対応して、日本原子力学会が標準を順次整備している。また、廃止措置時に発生するL2などの廃棄物の埋設処分施設についても廃止措置の実施にあわせて準備が進められている。

大量に発生するコンクリートなどの再生利用は、資源の有効利用により循環型社会形成に寄与する重要事項であるが、廃棄物の再利用は新規材料に比べ経済的に不利なことが多いため、事業者、国、地元、工事業者が連携して再利用を促進する方策を各方面から検討する必要があると考えられる。

2. クリアランス制度と民間規格

クリアランスとは、放射性物質の放射能濃度が極めて低く、人の健康への影響が無視できることから「放射性物質として扱わないもの」として規制対象から外すことをいう。原子力発電施設の廃止措置時に発生する解体物はその大部分が極めて低い放射能濃度であるため、再生利用する制度の確立が極めて重要である。

海外においては、すでに、ドイツ、スウェーデン、英国などで1,000トン以上の金属に対するクリアランスの実績があり、また、米国では制度化はされてないが、施設ごとにNRCの承認を得て再利用や処分が行われている。

我が国では、2005年の原子炉等規制法の改正に基づき、放射能濃度確認規則(経済産業省令112号)が制定された。クリアランスレベルは、どのように再生利用または処分されても個人の実効線量が $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ に相当する放射能濃度として核種ごとに定められている。核種ごとの濃度はIAEA安全指針RS-G-1.7の推奨値を取り入れている。

クリアランス制度において、国は測定・判断方法の認可および結果の確認の2段階のチェックにより確認する。事業者は事前の評価、対象物の選定、測定・判断方法の設定を行い、国による認可を受ける。クリアランス制度は東海発電所の解体物で再生利用が2007年より開始されたところであり、定着するまでの当面の間、事業者が業界内で再生利用することになっている。

クリアランスに関する民間規格として日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005」が2005年に制定された。この標準には、事業者が原子力施設の管理区域から発生する固体状物質をクリアランスと判断する方法について、事前調査、測定計画、測定、クリアランスの判断の手順などが定められている。

3. 放射性廃棄物でない廃棄物

2008年5月、経産省の原子力安全・保安院は「放射性廃棄物でない廃棄物」の取扱いに関する各原子力事業者への指示をガイドラインとして発行した。このガイドラインは、総合資源エネルギー調査会廃棄物安全小委員会による2007年10月の「原子力施設における『放射性廃棄物でない廃棄物』の取扱いに関する報告書」を踏まえたものである。「放射性廃棄物でない廃棄物」とは、管理区域で発生するもののうち、その使用履歴や設置状況によりまったく汚染がないと判断されるものである。東海発電所の廃止措置工事で発生した廃棄物について、2008年9月より運用が開始された。また、汚染部位の特定・分別を行った対象物は廃棄に当たり、当面の間は、念のための測定を行うこととしている。

VI. 廃止措置費用

原子力施設の解体や廃棄物処分を安全に実施するために、廃止措置費用を確保することは欠かすことができない。解体費用は多額であり、発電に伴って生じる費用であることから、1987年に通産省電気事業審議会料金制度部会は廃止措置費用を引当金方式により料金原価に算入することを提言した。1989年に原子炉等廃止措置引当金に関する通産省令が制定され(有税積立)、1990年に「原子力発電施設解体引当金」と名称変更され、解体に要する全費用見積額の90%などを限度に引当金を損金扱いにする制度が開始された(租税特別措置法57条の4)。積立費用の範囲には当初、1985年の標準工程に基づいていたため解体廃棄物の処理処分費用が含まれていなかった。このため、1999年の総合資源エネルギー調査会原子力部会の中間報告書を踏まえて処理処分費用が積立額に含められ、さらに2007年にクリアランス制度や廃止措置に関する安全規制の整備などを踏まえた積立額の見直しが総合資源エネルギー調査会原子力発電投資環境整備小委員会により行われた。110万kWe級軽水炉の廃止措置費用は2004年度価格でBWR 659億円、PWR 597億円である。

—参考資料—

- 1) 石樽顕吉, “我が国における原子力発電施設廃止措置の現状と課題—ふげんの廃止措置に期待すること”, 敦賀国際廃止措置セミナー2008, アクアトム(敦賀), 2008年10月20日.
- 2) 石倉 武, 堀川義彦, “軽水炉廃止措置実施に向けたロードマップ”, 原子力 eye, 54[6], 34(2008).
- 3) 荀込 敏, “小特集『原子燃料サイクル』8. 原子炉廃止措置”, 火力原子力発電, 59[8], 740(2008).
- 4) 佐藤忠道, “日本初 商業用原子力発電所の廃止措置”, 日本原子力学会誌, 48[8], 551(2006).
- 5) 小栗第一郎, 石倉 武, 井上 隆, 大西一彦, 山口 昇, 新堀邦明, 大森信哉, 梅津博幸, 藤井 悟, “実用発電用原子炉の廃止措置に関する技術開発成果”, 原子力学会「2004年春の年会」, 岡山大学, (2004).
- 6) T. Ishikura, “Status and Development of Nuclear Power Plant Decommissioning Technologies”, IAEA Conf. on Safe Decommissioning for Nuclear Activities, Proceeding of International Conference Berlin, 14-18, Oct., 2002.

著者紹介

石倉 武(いしくら・たけし)



(財)エネルギー総合工学研究所, 日本原子力技術協会
(専門分野)廃止措置, コンクリート再利用, 放射性廃棄物処理

連載
講座

軽水炉プラントの水化学

第6回 水化学の基礎—水の浄化と浄化装置

オルガノ(株) 大橋 伸一

I. はじめに

軽水炉プラントの系統水には、プラントへの補給水による持ち込みや、定期点検時に使用された防錆剤などの副資材に由来する微量のイオンおよび不溶解性物質が含まれる。これらの不純物は原子炉や蒸気発生器で濃縮されて構成材の腐食や被曝線源増加の要因となる可能性があり、系統水から極力除去する必要がある。このため軽水炉プラントでは不溶解性不純物を除去するろ過装置とイオン不純物を除去する脱塩装置を単独で、あるいは組み合わせで設置し、系統内の不純物濃度を制御している。

また、タービンの排蒸気を水に戻す復水器では冷却水として海水を使用しているが、まれに発生する復水器の海水リーク時に海水由来の不純物が原子炉や蒸気発生器に持ち込まれることを防止することも水浄化装置の重要な役割である。

上記の役割を担う水処理装置として、沸騰水型原子炉(BWR)プラントでは、原子炉への不純物持ち込みを防止する復水浄化系と、原子炉で濃縮された不純物や放射性物質を除去する原子炉冷却材浄化系が設置されている。BWRの系統水は復水、炉水とも中性の純水であり、これらの設備には中性水中の微量不純物を除去する性能が求められる。

一方、加圧水型原子炉(PWR)プラントでは、復水浄化系を設けて蒸気発生器への不純物持ち込みを防止するほか、蒸気発生器(SG)の器内水の一部を復水器に排出して不純物の過度な濃縮を防止している。

PWRの系統水はアンモニアやエタノールアミンが添加されてpH 9~10に維持されているため、復水浄化系には海水リーク時の海水成分に加えて、これらのイオン

を捕捉する性能が求められる。

またPWRの炉水中には反応度制御のためのホウ素と、pH調整のためのリチウムが添加されており、浄化装置にはこれらのイオンの濃度を変わらずに放射性物質のみを除去する性能が求められる。

II. 水浄化装置の原理

1. ろ過

ろ過装置は使用しているろ材またはろ過膜のろ過精度、すなわちどの程度の粒径の不純物を排除できるかにより精密ろ過(MF)装置、限外ろ過(UF)装置、逆浸透(RO)装置に大別される。第1図にろ過精度によるろ過装置の分類を示す。

どのろ過精度の装置を用いるかはその系統に含まれる不純物の粒径や濃度によって決められる。例えば発電所の復水や炉水に含まれる0.1~数 μm の金属酸化物粒子などのろ過にはMF膜が用いられる。UFは放射性廃液からの不溶解性の放射性物質の除去への適用例がある。RO膜は補給水に含まれる高分子量の有機性不純物除去に用いられるほか、イオンを排除できるため、後述の脱塩技術として用いられるケースが多い。

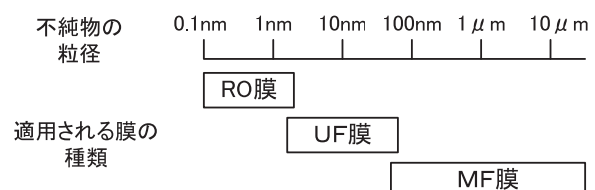
復水ろ過装置などで使用されるMF膜が不純物を除去するメカニズムは、捕捉する不純物の粒径とそのろ過精度により表層ろ過と体積ろ過の2つに大別される。表層ろ過はケーキろ過とも呼ばれ、ろ過膜の表面のみで不純物を捕捉する方式である。不純物捕捉量に比例して差圧が増加するが、適切な洗浄操作でケーキ層を排出すれば差圧はほぼ初期状態まで回復する。これに対して体積ろ過はろ過膜の内部でも不純物を捕捉する方式で、砂ろ過器によるろ過や不織布を用いたカートリッジフィルタがこれにあたる。ろ過層内部まで濁質が入り込むため洗

Water Chemistry of LWR Plants(6); *Fundamental of Water Chemistry—Water Treatment Techniques and Its Apparatus*: Shinichi OHASHI.

(2008年 9月8日 受理)

各回タイトル

- 第1回 軽水炉プラントにおける水の役割と水化学制御
- 第2回 水化学の基礎—腐食と電気化学
- 第3回 水化学の基礎—酸化皮膜特性
- 第4回 水化学の基礎—放射線化学
- 第5回 水化学の基礎—水質計測



第1図 不純物の粒径と適用される膜の種類

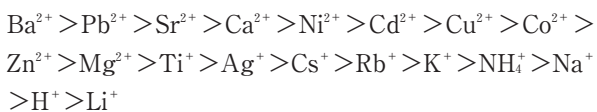
浄操作で濁質を完全に排出することは難しいが、初期の差圧上昇が非常に緩やかであるという特徴がある。

2. 脱塩

(1) イオン交換樹脂

水中に含まれるイオンの除去(脱塩)には一般にイオン交換樹脂が用いられる。イオン交換樹脂はスチレン-ジビニルベンゼン共重合体などの母体にイオン交換反応を行う交換基を有する合成樹脂である。イオン交換反応は交換基に捕捉したイオンと水中のイオンを可逆的に交換する反応で、適当なイオン形にあらかじめ調整しておくことにより対象のイオンを水中から除去することができる。第2図にスチレン系カチオン交換樹脂構造の模式図を示す。

イオン交換樹脂はその交換基の種類により分類でき、陽イオンを交換する強酸性や弱酸性カチオン交換樹脂、陰イオンを交換する強塩基性や弱塩基性アニオン交換樹脂、特定のイオンのみを吸着する選択性樹脂などに分類される。交換基に対する親和性の高さ(選択性)には順列があり、選択性の高いイオンほどイオン交換樹脂に取り込まれやすい。例えば強酸性カチオン交換樹脂の場合は以下の順序になる。



したがって、あらかじめH⁺形に調整した強酸性カチオン交換樹脂は、pHの低い溶液からでも他の陽イオンを捕捉でき、かわりに放出されるH⁺は水中のOH⁻と結合して解離平衡に達するため不純物イオンが増加しない。OH⁻形に調整した強塩基性アニオン交換樹脂も同様に、高いpHの溶液からでもイオンを捕捉できる。このため、これらの樹脂は高純度の純水を製造する復水脱塩装置や純水製造装置に用いられる。

一方、PWRの炉水のように、添加したLi⁺の濃度を変わらずにイオン状放射性不純物を除去したい系統では、あらかじめLi⁺形に調整した強酸性カチオン交換樹脂が用いられる。Li⁺形の樹脂はLi⁺とは交換せず、捕捉した

極微量のイオン状不純物相当量のLi⁺のみを放出するため、炉水中のLi⁺濃度をほとんど変えずにイオン性放射性物質を除去できる。

イオンを捕捉したイオン交換樹脂を選択性の低いイオン形に戻すためには、選択性の低いイオンを大量に流す操作を行う。すなわちカチオン交換樹脂の場合は濃度の高い塩酸や硫酸などと接触させることにより再びH⁺形に調整され、アニオン交換樹脂は多量のNaOHと接触させればOH⁻形に再調整できる。弱酸性カチオン交換樹脂は交換基(-COO⁻)が酸性では解離せず(-COOH)陽イオンを捕捉できないが、一方で、少量の酸で容易に再生されるという利点がある。弱塩基性アニオン交換樹脂も同様に、少量のアルカリで容易に再生できるため、これらの樹脂は補給水処理装置において樹脂への選択性が高いイオン(Ca²⁺, SO₄²⁻など)を除去し、強酸・強塩基型の樹脂への負荷を低減する用途などに用いられる。

イオン交換樹脂は粒径が小さいほど比表面積が大きくなり、樹脂層の反応速度が高くなるが、一方で通水時の圧力損失が増加するため、一般には0.5~0.6 mm程度の粒径のものが用いられる。また、後述するプリコート式過脱塩装置にはイオン交換樹脂を粉碎して数十μm程度にした粉末樹脂が用いられる。

(2) その他の脱塩技術

近年はイオン交換樹脂に代わり、RO膜装置や電気再生式脱塩装置¹⁾による脱塩技術についても報告されている。これらの装置はイオン交換樹脂による脱塩と異なり薬品再生を行う必要がないため連続処理が可能で、かつ高濃度の薬品を含む再生廃液が発生しないという利点がある。

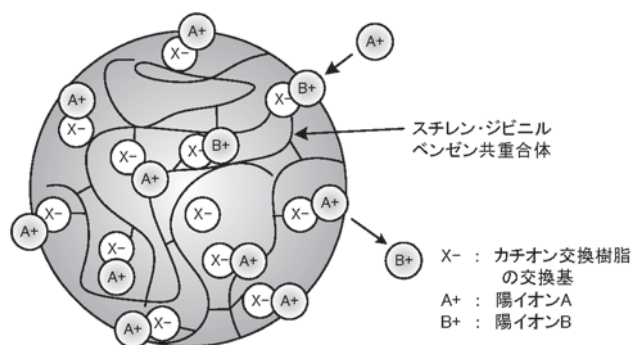
その一方で、ROや電気再生式脱塩装置は膜面への不純物の濃縮によるスケールの発生や水質低下を防ぐため、例えば標準的な工業用水を処理する場合には、処理水量の20~30%に相当する濃縮水を連続的に排出する必要がある。このためROや電気再生式脱塩装置は補給水処理装置や廃液処理装置など、処理水量が比較的小さいか濃縮水をそのまま外部に放出できる系統での脱塩技術として適用される。

これに対してイオン交換樹脂を用いた脱塩装置は、同様の水を処理した場合でも再生廃液量が処理水量の3%程度と非常に少ない。したがって復水脱塩装置など処理量の多い装置には、従来通りイオン交換樹脂式の脱塩装置が好適である。

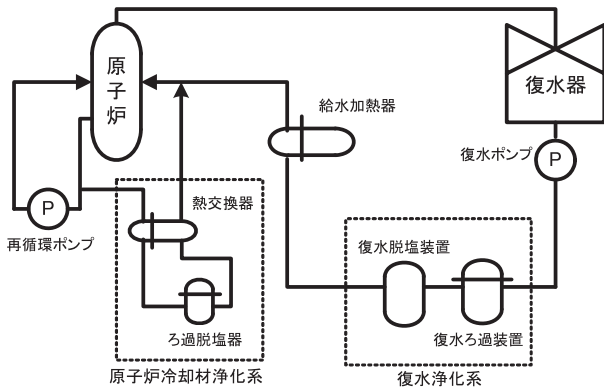
Ⅲ. BWRの水浄化装置

BWRの原子炉水の水質は、前述の通り復水浄化系と原子炉冷却材浄化系の2つの系列で維持されている。第3図にBWRの主系統にある水浄化装置を示す。

復水の流量は1,100 MW級のBWRプラントでは約



第2図 スチレン-ジビニルベンゼン系
カチオン交換樹脂構造の模式図



第3図 BWR 主系統の水浄化装置

6,600 t/h に達する。このため復水浄化系には大流量の水を高純度に浄化する性能が求められる。

また原子炉では蒸発に伴い不純物が濃縮されるため、原子炉冷却材浄化系で給水量の約2~4%の炉水を連続して浄化し、過度な濃縮を防いでいる。炉水には放射性核種が含まれているため、原子炉冷却材浄化系の装置には放射性物質の蓄積を防ぐ工夫が求められる。

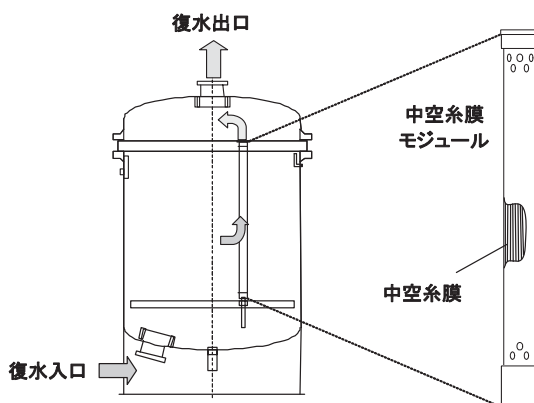
1. 復水浄化系

(1) 復水ろ過装置

BWR の復水には配管や機器の腐食により発生する金属酸化物の微粒子(クラッド)が含まれる。このクラッドの主成分は酸化鉄で、粒径分布は0.1~数 μm 程度、濃度は鉄濃度として数ppb~数十ppb程度である。BWRでは原子炉炉水で放射化されたクラッドが配管表面に付着し、定検時の被曝量が増えるのを防ぐため、復水ろ過装置を設置して復水中のクラッドを除去して給水中の鉄濃度を0.1ppb程度に維持する管理が行われている。

BWR の復水ろ過装置として近年主流となっている中空糸膜ろ過器の構造例を第4図に示す。

中空糸膜ろ過器には、外径1mm程度、孔径0.1~0.2 μm 程度の中空円筒状のMF膜を数千本程度集積したフィルタモジュールが100本/塔前後装着されている。このため中空糸ろ過器は1塔当たりのろ過面積が非常に大きく、他のフィルタに比べて装置をコンパクトにできる



第4図 中空糸膜ろ過器の構造例

という特徴がある。中空糸膜の孔径はクラッドの粒径より充分小さいため、クラッドは中空糸膜の外表面ではほぼ完全に捕捉され、典型的な表面ろ過の差圧上昇特性を示す。復水ろ過装置は捕捉したクラッドを定期的に洗浄操作で塔外に排出し、上昇した差圧を回復させながら運用される。

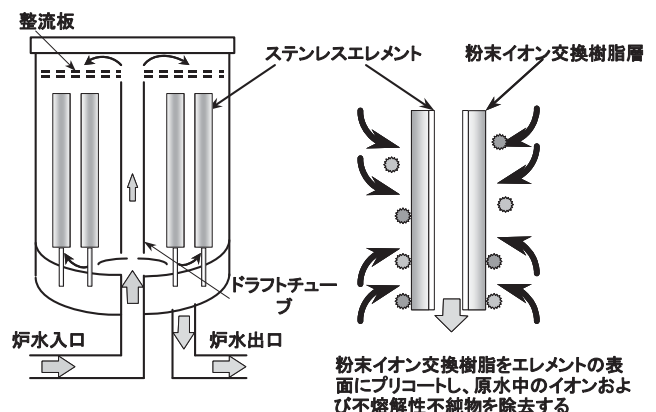
(2) 復水脱塩装置

復水中のイオン不純物の除去は、復水ろ過装置の後段に設けられた復水脱塩装置で行われる。復水脱塩装置には H^+ 形の強酸性カチオン交換樹脂と OH^- 形の強塩基性アニオン交換樹脂を適当な比率で混合充填した脱塩塔が複数基設けられ、復水器でまれに発生する海水リーク時のイオン負荷を除去できる性能を有している。復水脱塩装置はこの脱塩塔と、混床状態のイオン交換樹脂を分離して薬品再生を行い、脱塩性能を回復させる再生設備から構成されている。

最近のBWRでは復水器の信頼性向上により海水リークの発生が非常に少ないため、復水脱塩装置へのイオン負荷で最も多いのは定期点検時などで系内に持ち込まれる炭酸であり、脱塩塔のイオン交換容量に対して年間数%~十数%の負荷量である。このためBWRでは脱塩塔を薬品再生なしで数年~10年程度通水し、炭酸などの負荷や樹脂の劣化で所定の水質が得られなくなった時点でイオン交換樹脂を交換する非再生運用が主流となっている。また新設の発電所では非再生運用をさらに進め、再生設備を設置せずに建設コストの削減を図る場合もある。

2. 原子炉冷却材浄化系

炉水中の不純物は他の系統と比べて比放射能が高く、装置に蓄積すると塔内の点検やフィルタの交換が非常に困難となる。このため原子炉水の浄化には不純物の排出性に優れたプリコート式ろ過脱塩装置が採用されている。プリコート式ろ過脱塩装置はステンレス鋼製筒状フィルタの外表面に混床の粉末樹脂層(プリコート層)をあらかじめ形成し、ここに炉水を透過させることによりろ過と脱塩を同時に行うことができる。第5図にプリ



第5図 プリコート式ろ過器の概念図

コートろ過器の概念図を示す。

プリコート層はステンレス鋼製フィルタの内側から外側へ水および空気を流す逆洗操作で容易に剥離し、捕捉した放射性不純物をプリコート層とともにろ過脱塩塔外へ排出できる。逆洗操作後は再び新しい粉末樹脂をプリコートして使用する。ステンレス鋼製フィルタは不純物を直接捕捉しないため、閉塞することなく長期間運用することができる。

Ⅳ. PWR の水浄化装置

PWR では蒸気発生器を介して原子炉を循環する1次系と、蒸気を発生させてタービンを回す2次系が分離されており、2次系には放射性物質が含まれない。第6図にPWRの主系統にある水浄化装置を示す。

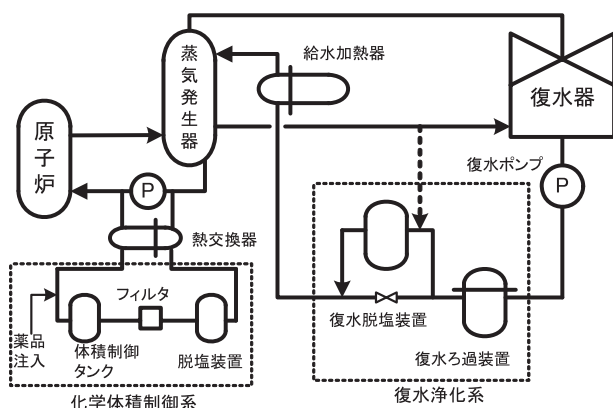
PWR では復水脱塩装置の薬品再生を行っても放射性廃液が発生せず、比較的自由に復水への防食剤の添加を行うことができる。このためアンモニアおよびヒドラジンを添加して給水をpH 9.2程度に調整する全揮発性処理(AVT)が広く行われている。最近AVTのアンモニア濃度を上げて給水をpH 10程度にする高pH運用や、アンモニアの代わりにエタノールアミンを添加して給水をpH 9.2程度にする運用が主流となっている。

一方、PWRの1次系の水は原子炉内での水の沸騰が起らないよう加圧されている。したがって蒸発による不純物や添加剤の濃縮が生じないため、1次系にホウ酸を添加して反応度を調整する運用が行われている。

以下にPWRの復水処理装置および1次系の浄化を行う化学体積制御系の概要を示す。

1. 復水浄化系

AVT処理によりPWR復水中のクラッド濃度はBWRのクラッド濃度はBWRの1/2~1/3程度である。またpHが高いため鉄イオンはほとんど存在しない。これに対してアンモニアやヒドラジンなどのAVT薬品の濃度は他の不純物に比べて非常に高く、通常運転時の復水脱塩装



第6図 PWRの水浄化装置

置のイオン負荷はほとんどがAVT薬品である。

その一方で、蒸気発生器の損傷を防止するため復水脱塩装置出口水への要求水質は高く、復水脱塩装置出口水はNaで数ppt以下、Clで10ppt以下程度の水質が求められる。

(1) 復水ろ過装置

PWRの復水中の鉄クラッドの濃度は数ppb程度である。また復水脱塩装置の薬品再生が頻繁に行われるため樹脂による除去効果が高く、復水脱塩装置出口のクラッド濃度は1ppb以下に保たれる。このため従来のPWR発電所では復水ろ過装置を設置せず、復水脱塩装置のみで浄化するのが一般的であった。

これに対して国内のPWRでは、定検後の起動工程の系統浄化時間を短縮する目的で10年ほど前から復水ろ過装置の設置が進められた²⁾。復水ろ過器の型式は、BWRで実績がある中空糸膜ろ過器が主流である。

最近ではこれに加えて復水脱塩装置のバイパス運転が行われるようになり、復水ろ過装置によるクラッド除去が必須となっている。このため国内のPWRでは中空糸膜型復水ろ過器の設置が標準となりつつある。

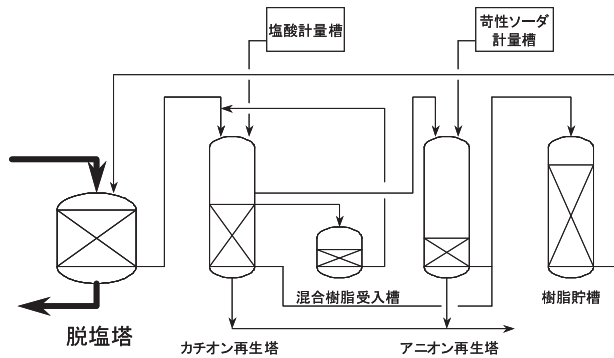
(2) 復水脱塩装置

PWRにおける復水脱塩装置の役割は、復水中のイオン不純物を除去し、高純度の復水として蒸気発生器へ供給するという目的ではBWRと同様である。ただしPWRでは復水中のAVT薬品がイオン負荷となるため、定期的に薬品再生を行う必要がある。

薬品再生時に種類の異なる樹脂が混入すると処理水水質の低下が生じる。例えばアニオン交換樹脂中にカチオン交換樹脂が混在すると、アニオン交換樹脂の再生薬品である水酸化ナトリウムに接触してNa⁺形のカチオン交換樹脂ができる。このNa⁺形のカチオン交換樹脂は採水時に水の解離で生じたH⁺イオンによりNa⁺イオンが押し出され処理水中に放出されるため水質が低下する。

イオン交換樹脂の分離は比重差による沈降速度の差を利用して行われ、樹脂の分離面付近には必ずカチオン交換樹脂とアニオン交換樹脂の混合層ができる。このためPWRの復水脱塩装置では、この混合層を別な塔に分離し、各再生塔に混合層が残らないように工夫された再生システムが採用されている。復水脱塩装置の再生設備の例を第7図に示す。

最近のPWRで行われている高pH運用では、復水中のアンモニア濃度が従来AVT処理時の10倍程度に増加する。復水脱塩装置は従来のAVT処理時に一定の再生頻度、例えば2日おきの薬品再生頻度で復水の全量処理できるよう設計されている。この再生操作には1回当たり10時間程度を要するため、イオン負荷が10倍になると再生処理が間に合わず、従来のように復水脱塩装置で復水全量を処理することは困難となる。このため高pH処理を行うPWRでは復水脱塩装置のバイパス運用が行



第7図 復水脱塩装置の再生設備例

われる。

バイパス運用時の復水脱塩装置は、復水の一部のみの処理や、復水を処理せずに蒸気発生器ブローダウン水処理(第6図の破線矢印参照)を行い、再生頻度を下げて運用される。他にも火力発電所で実績のあるアンモニア形運用の適用³⁾も検討されている。いずれの運用でも定検後のクリーンアップ時や復水器海水漏洩時には、従来AVT処理と同等量までAVT薬品濃度を下げ復水全量を処理する運転が行われる。

2. 化学体積制御系

化学体積制御系(CVCS)はPWRの1次系から抽出した1次冷却材を冷却、減圧、浄化し、薬品濃度を調整して再度1次系に供給するための設備である。抽出する水の量はBWRの原子炉冷却材浄化系に比べて非常に少なく、1,100 MW級の発電所でも17 t/h程度である。1次系は閉サイクルであり、外部からの不純物流入がほとんどないためこの流量でも1次系の水質を維持できる。

1次系の水には、燃料の反応度制御のための200～2,500 ppmのホウ素と、pH調整のための0.2～3.5 ppmの水酸化リチウムが含まれている。

(1) 冷却材混床式脱塩塔

1次系冷却材は化学体積制御系に設置された冷却材混床式脱塩塔で連続的に浄化される。この脱塩塔の樹脂は通水前にカチオン交換樹脂はLi⁺形、アニオン交換樹脂はホウ酸形に調整されるため、1次冷却材中のリチウムやホウ酸を吸着せずに放射性物質などの不純物のみを除去できる。

冷却材混床式脱塩塔のあとにはカートリッジ式のフィ

ルタが設置されており、樹脂塔で捕捉できなかった不溶性不純物などを除去する。クラッドの比放射能が高いため逆洗などの操作は行わず、捕捉した不純物はフィルタごと固体廃棄物として処理される。

(2) 冷却材陽イオン脱塩塔

1次冷却材中のLiは、炉心での¹⁰B(n, α)⁷Li反応による増加のため濃度が徐々に上昇する。冷却材陽イオン脱塩塔はH⁺形のカチオン交換樹脂のみを充填した脱塩塔で、間欠的に通水することにより1次系から余分なLiを吸着除去し、1次冷却材中のLi濃度を一定に保つ役割がある。

V. おわりに

軽水炉にはここに示した浄化装置のほかにも、発電所に純水を供給する補給水処理装置や、放射性廃液を処理して回収再利用または放出する放射性廃液処理装置、構内から出る非放射性的な排水を処理する排水処理設備など、さまざまな水浄化装置が設置されている。それぞれの系統の特徴や役割、設置されている浄化装置の概要については、より詳細な資料を参照されたい⁴⁾。

—参考資料—

- 1) 市毛秀昭, “PWR 2次系への新型水浄化システム適用化研究(その1)—EDI基礎特性の評価”, 原子力学会「1998年秋の大会」, (1998).
- 2) 南部透昭, “PWRプラント二次系への復水フィルタの運用実績”, 原子力学会「1998年秋の大会」, (1998).
- 3) 芥川大祐, “PWR二次系アンモニア型コンデミの実機適用性試験”, 原子力学会「2005年春の年会」, (2005).
- 4) 日本原子力学会編, 原子炉水化学ハンドブック, コロナ社, (2000).

著者紹介

大橋伸一(おおはし・しんいち)



オルガノ(株)

(専門分野/関心分野)原子力発電所および火力発電所向け水処理装置

談話室

速い中性子による対称核分裂(その1)

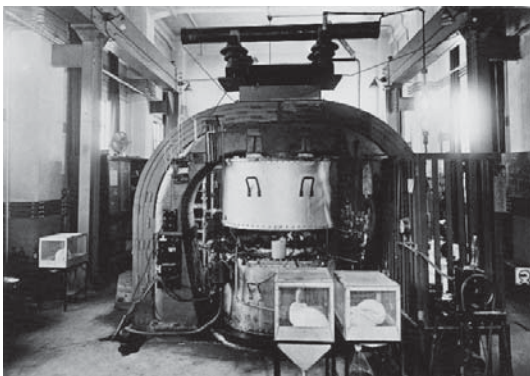
日本の発見と米国の追試

仁科記念財団 中根 良平

1938年、ノーベル物理学賞を受けたフェルミはストックホルムを訪れた後、米国に亡命してコロンビア大学に迎えられた。1939年3月、米海軍代表と核エネルギーの軍事利用を討議するために開かれた会議で、フェルミは「遅い中性子を利用すれば制御できる反応、速い中性子を利用すれば爆発性の反応が得られる可能性がある」と示唆した¹⁾。前者は遅い中性子をウラン(原子番号92番)に照射するとバリウム(56番)とクリプトン(36番)に分裂する、ハーンが発見した“非対称核分裂”、すなわち“原子炉”を示し、後者の速い中性子を利用した反応というのが“原爆”を暗示しているのである。速い中性子をウランに照射すると、パラジウム(46番)や銀(47番)など7種の放射性核種が生成する“対称核分裂”は、理化学研究所の仁科芳雄がサイクロトロンを利用して最初に発見した²⁾。それを聞いてセグレが直に追試し、後に述べるように銀ができることを確認したが、シーボルクも「1940年頃、速い中性子による核分裂の研究を始めたが、それより先にすでに仁科らにより対称核分裂が発見されていた」と述べている³⁾。

小サイクロトロンの建設と放射線生物学の曙

1935年、仁科は中性子発生源としてサイクロトロンを東京の駒込(文京区)に建設することを計画、1937年4月、直径23インチ、重量23トンのサイクロトロン(通称小サイクロトロン)の製作に成功した。まず重陽子Dをサイクロトロンで加速してベリリウムに当て、速い中性子を発生させて、ショウジョウバエ、ハツカネズミやソラマメ、ソバなどに照射し、動植物の中性子効果を研究した⁴⁾。またナトリウムやリンにDを当てて放射性ナト

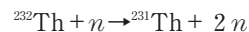


核分裂研究で活躍した小サイクロトロン

リウム(²⁴Na)やリン(³²P)をつくり、ゼラニウム、水草やネズミなどでトレーサー研究を行った。さらに炭素(¹³C)や窒素(¹³N)を利用した光合成や窒素固定の研究も行っている。日本の放射線生物学はサイクロトロンによって始められたのである。

速い中性子によるトリウムの核分裂

1938年3月頃から、人工放射能の研究を仁科は木村健二郎らと共同で始めた。やはりDをリチウムに当てて速い中性子を発生させ、トリウムに照射して、



放射性のトリウム²³¹Thを得た。(n, 2n)反応により、(4n)(トリウム系列)の核種²³²Thが(4n+3)(アクチニウム系列)の核種²³¹Thへ転換した最初の例として注目された⁵⁾。しかしこの時、それ以外にも多くの放射性物質を発見し、その半減期も測定しているが、化学的同定ができず、発表を見送った。ところがその年の暮、ハーンが核分裂を発見した。その報告を読んで仁科らは、自分たちが見つけた放射性物質も核分裂物質であることをはじめて認識して、それらがビスマス(83番)、水銀(80番)、アンチモン(51番)、銀(47番)などであり、“速い中性子によりトリウムも核分裂する”と発表した⁵⁾。

対称核分裂とウラン²³⁷Uの発見

次に速い中性子をウランに照射すると、原子番号がウラン(92番)のほぼ1/2のルテニウム(44番)、ロジウム(45番)、パラジウム(46番)、銀(47番)、カドミウム(48番)、インジウム(49番)、スズ(50番)の7種の核分裂核種が生成した。“対称核分裂の発見”である²⁾。遅れてセグレとシーボルクらも同様の結果を得た⁶⁾。

これら核分裂物質を除去した後のウラン部分にも、6.5日の半減期でベータ線を放射する放射性核種があることを仁科らは発見した。これもトリウムの場合と同様、(n, 2n)反応によって、(4n+2)(ウラン系列)のウラン²³⁸Uが(4n+1)(ネプチニウム系列)の新しい放射性核種ウラン²³⁷Uに転換したのである⁷⁾。自然界に存在する天然放射性核種は(トリウム系列)、(ウラン系列)、(アクチニウム系列)のいずれかに属している。しかし原子量が(4n+1)で表される(ネプチニウム系列)に属する核種は天然には存在しないので、この“ミッシング系

列”に属する核種を“人工的”に始めて作ったとして、“ウラン²³⁷Uの発見”は高く評価された。マクミランも同じ半減期の核種が存在することを確認し、半年後に発表した⁸⁾。92番元素ウラン²³⁷Uがベータ崩壊すれば当然、原子番号が1多い、93番元素が生成するはずである。木村はこの元素が周期律表の上に位置するレニウムに化学的性質が似ているだろうと考えて、レニウムを担体として分離を試みたが、性質が全く違うため分離することはできず、残念ながら超ウラン元素の最初の発見者になることはできなかった。

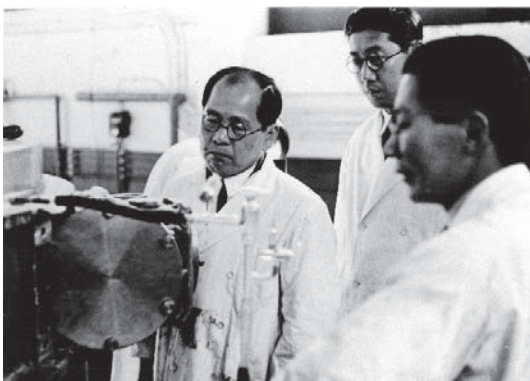
大サイクロトロン製作と失敗

仁科は小サイクロトロン製作を完成すると直ぐに、直径60インチ、重量210トンのサイクロトロン(通称大サイクロトロン)の製作を開始、1939年頃組み立てを完了したが、全体の調整がうまくできず、成果を上げることができなかった。その時、カリフォルニア大学の同規模のサイクロトロンがすでに稼動しているとの情報が入ってきたので、仁科は大改造を決意し、ローレンスの教えを受けるために矢崎為一ら3人を派遣した。1940年9月、渡米した矢崎らはローレンスを訪問して大歓迎を受け、サイクロトロンを詳細に見学して、いろいろな教示を受けた。感激した矢崎は11月に帰国するまで、8通の報告を仁科に送っている。それらは非常に貴重な内容を含んでいるので、とくに重要な部分を抜き出して記述し、おのおのについて説明を加えることにする。

「ローレンスが巧く取り扱ってくれましたので、今日すっかり見学でき、八分通り目的を達し一同喜んでいきます。我々の方の図面も見せてローレンス、クックセイ、マクミラン、アルバレーらが議論してくれましたが、皆の意見が一致して大改造せねば働かぬだろうというのです」(1940年9月4日)⁹⁾。この指摘を受けて、仁科は後にサイクロトロンの大改造を行う。

ローレンス、マクミランらの賞讃

「昨日、晚餐はローレンスの家に招かれました。その後、7時45分からのコロキウムでは私の論文^{2,7)}について話せとのことで、15分間簡単に話しましたが、ローレ



左から、仁科芳雄、矢崎為一、嵯峨根遼吉

ンス、オッペンハイマー、アルバレー、マクミランらが誉めてくれ、セグレと化学のシーボルクは別刷りを要求しました。マクミランは我々が半減期6日半と出したウランのアイソトープ⁷⁾を7日と出し、同じだといって喜んでいました。ただ93番はセリウム等に来て、レニウムには絶体に行かないよといっていました。セグレはこちらでもやったがフィッションプロダクトは分析が難しかったので、銀やカドミウムが出なかったが、16ミリオンでやれば銀が得られるはずだからやってみるといっていました。ローレンスは晚餐を食べながら、今度の問題も始めから政府から総長へ通達が来たので、どうしようもないが、個人的には全然問題はないからできるだけよく見たり、皆と相談してくれとあって、大体クックセイやマクミランに任せ、自分はわざと席をはずして、うまくやってくれています」(1940年9月4日)⁹⁾。ハーンの発見をポーアが伝えてから、核分裂の研究は専ら米国で行われた。しかし核分裂は遅い中性子による非対称核分裂のみが起こると考えられていた。

1940年6月、マクミランが93番元素ネプチニウム²³⁹Npを発見すると、さらにベータ崩壊してできる94番元素プルトニウム²³⁹Puの中性子捕獲断面積を測定してほしいという要請が、米国のウラン委員会から総長を通じてマクミランにあったらしい。これが政府通達のようなものである。そこで総長は訪問者に研究所を見せてはならぬという禁止命令を出した。しかしその直前、速い中性子による対称核分裂を仁科が発見し、発表したもので、予想もなかったローレンスは驚いて科学者としての興味を優先させ、大サイクロトロンを使って研究していた、戦後、ノーベル賞を受賞した多くの若い俊英たちを集めて、矢崎から詳しい研究結果を聞こうとしたのである。マクミランは喜び、セグレは追試に走った。さらにあえて総長の命令を無視して、大サイクロトロンを矢崎に見学させたが、さすがに政府の命令に違反したことになるので、その後は身をひいたという形をとったのであろう。(2009年3月19日記)

—参考文献—

- 1) H. D. Smyth, *Rev. Mod. Phys.*, **17**, 351 (1945).
- 2) Y. Nisina, T. Yasaki, H. Ezoe, K. Kimura, M. Ikawa, *Nature*, **146**, 24 (1940); *Phys. Rev.*, **58**, 660 (1940).
- 3) 斎藤信房, *Isotope News*, 2000年10月号, 18.
- 4) 中根, 仁科(雄), 仁科(浩), 矢崎, 江沢編, 仁科芳雄往復書簡集, みすず書房, (2006).
- 5) Y. Nisina, T. Yasaki, K. Kimura, M. Ikawa, *Nature*, **142**, 874 (1938); **144**, 547 (1939).
- 6) E. Segre, G. T. Seaborg, *Phys. Rev.*, **59**, 212 (1941).
- 7) Y. Nisina, T. Yasaki, H. Ezoe, K. Kimura, M. Ikawa, *Phys. Rev.*, **57**, 1182 (1940).
- 8) E. M. McMillan, *Phys. Rev.*, **58**, 178 (1940).

談話室

「核兵器のない世界」と原子力開発

原子力発電環境整備機構 河田 東海夫

キノコ雲の校章

手元に大文字のRとキノコ雲の図柄のピールジョッキがある。15年ほど前に、米国の知人から頂戴したものである。知人はハンフォード再処理工場のエンジニアであったが、当時、お嬢さんは地元のリッチランド高校に通っていた。その高校の校章がRにキノコ雲なのである。

リッチランド高校の校章は、もとはコロンビア川に住むビーバーであった。1945年、原爆投下を契機に日本が降伏すると、戦勝記念のために校章を原爆の象徴であるキノコ雲に変更した。当時のリッチランド市民は、大半がハンフォードでのプルトニウム生産活動に関係していた。「原爆は、日本に早期降伏を決断させ、本土上陸作戦で失われたかもしれない100万人近い米軍兵士の命を救った。我々はそれに直接貢献したのだ」という市民の高揚感がキノコ雲を選択させたのである。被曝国日本の国民からすればあまりにも無神経で許しがたい図柄であるが、リッチランド高校内でも、この校章の是非は何度か議論になってきた。とくに1988年はじめには、何人かの先生と生徒のグループから、この校章は教育現場には相応しくなく、もっと平和的なものに変更すべきとの問題提起がなされ、その使用継続可否について全校投票にまで発展した。その論争は、NBCの人気キャスター、トム・プロコウの全米ニュース番組でも取り上げられた。投票の結果は、1,300人の生徒の約90%と教職員の75%がこの校章の使用継続に賛成した。リッチランド市民の間では、今でも「対日戦争早期終結への市民の貢献」は誇るべき歴史的事実として語り継がれているのである。とはいえ、この論争はその時点で完全決着したのではない。今年の3月も、地元のトライシティヘラルド紙に、「そろそろ校章を変更すべきだ」との投書が行われ、それ

を機に論争が再燃している。

エノラ・ゲイとスミソニアン

「原爆は、対日戦争早期終結を招き、100万人近い米軍兵士の命を救った」という見解は、一般の米国民の間に広く浸透している。この伝説的見解は、「私は、50万人のわが息子たちの命を救いたかった。……私は、自分が下した(原爆投下の)決断によって、一晩たりとも睡眠を妨げられたことはない」という大統領引退後のトルーマン発言などによって戦後の米国民の間に定着していった。しかし、その後の歴史家の研究によって、原爆投下で回避された推定死者数のこうした数値がまったく根拠のないものであったことが明らかにされている。事実、トルーマン自身、大統領在任中は25万人という数値を使っており、レーヒ提督の1945年6月18日付の日記には、「マーシャル将軍の見解では、この作戦(九州侵攻)による死者数は6万3千人を超えることはない」と記されている。原爆投下の正当性強化のため、本土上陸作戦における推定死者数は故意に水増しされていたのである¹⁾。

第二次大戦終結から50年目の1995年、ワシントンのスミソニアン航空宇宙博物館が、広島に原爆を投下したB-29「エノラ・ゲイ」の展示にからめ、「原爆展」の開催を企画した。この企画を指導したのはマーチン・ハーウィット館長で、この企画を単なる「エノラ・ゲイ」の展示ではなく、広島犠牲者の遺品の展示なども含め、原爆投下と大戦終結に関する歴史的意味を問う展示とする事をもくろんだ。しかしその計画概要が明らかになると、退役軍人協会や空軍協会、保守派議員などから、対日戦で戦った軍人を冒瀆する内容の企画であるなどとの猛烈な批判と抗議運動が起こり、メディアを含む大論争に発展した。エノラ・ゲイの機長でこの爆撃機の命名者(エノラ・ゲイは自分の母親の名)でもあるポール・ティベツ准将(当時は大佐)は、「原爆使用の決定についてのくだらない憶測など止める。(エノラ・ゲイについては)この飛行機は最初原爆投下に使われた、という説明のみで十分だ。ほかに何の説明も必要ない」と述べ、この論争に大きな影響を与えた。スミソニアン側は、計画の修正を重ね、批判勢力との妥協・協調を図る交渉を続けたが、遂に1995年1月に「原爆展」は中止に追い込まれた。同年5月2日、ハーウィット館長は辞任し、翌月の



リッチランド高校の校章

末から、航空宇宙博物館にエノラ・ゲイの胴体の頭部から2/3のみが展示された。その解説には、原爆の使用が本土上陸作戦を不要にし、日米双方の膨大な犠牲を回避したという、従来からの伝統的説明が採用されていた²⁾。

エノラ・ゲイは、現在はワシントンのダレス空港の近くに2003年に開設されたスミソニアン航空宇宙博物館の分館に全体が復元されて展示されている。その解説には、技術的な説明に加え、ティベッツ准将の勧告に従ったかのように、この爆撃機が広島への原爆投下に使用されたことのみが淡々と述べられている。ティベッツ准将は、2007年11月に92歳で亡くなった。彼は生前、自分の墓が原爆投下を批判する人々の抗議の場所になることを心配し、墓への埋葬は行わず、荼毘に付した後に遺灰を英国海峡に撒くようにと周囲に話していたという。

フェルミの警告と「開発」

軍事、平和の両面での核分裂エネルギー利用実現への道を拓いたのは、1942年12月にシカゴ大学のCP-1で最初の核分裂連鎖反応を成功させたエンリコ・フェルミである。彼は1944年、戦争終結の後に進めるべき平和利用の原子炉開発の方向性を議論する新型パイル委員会で、「これほど多量の放射能を生み出し、しかもその燃料が原爆に転用可能なエネルギー源を大衆が受け入れるかどうかは、よくわからない」との懸念を表明した³⁾。今日、原子力はOECD諸国の電力の1/4近くを供給しており、温暖化対策などの観点から、今後一層の利用拡大が期待されている。しかし、フェルミが懸念した放射性廃棄物処分問題と核拡散問題は、半世紀以上を経た今なお、未解決の重要課題として残ったままである。原子力が、基幹エネルギー供給源として何世紀にもわたり本当に人類に貢献できるのか否かは、まさにこの2つの未解決課題をどう克服できるかにかかっている。

ところで「開発」という言葉は、もともとは仏教用語で、「かいほつ」と読んだ。仏教界で「開発」とは、修行を重ね精進することにより、人が生まれ落ちたときに背負ってくる様々な煩惱を一つ一つそぎ落とし、解脱していくことを意味するという。原子力にとっては、放射能の心配と核戦争の恐怖は、それがこの世に生れ出た時から背負ってきた2つの深い煩惱であるといえる。「原子力開発」の根本は、この2つの重い煩惱をそぎ落とし解脱すること、すなわち放射能の心配と核戦争の恐怖から人類を解放することにある、と私は思う。

2つの煩惱からの解放に向けて

4月5日、米国のオバマ大統領は、プラハ市民の前で演説し、「核兵器のない世界」を目指すとして述べ、「核兵器を使った唯一の核保有国の道義的責任」として核軍縮をリードする決意を表明した。5月にニューヨークで開か



スミソニアン航空宇宙博物館分館に展示のエノラ・ゲイ

れたNPT再検討会議準備委員会は、オバマ発言歓迎の雰囲気の中で議論が進み、来年の本会議に向けての議題設定が円滑に行われた。北朝鮮やイランの核開発問題など当面の難題もあり楽観視は許されないが、明るい兆しといえる。また、米口間で失効間近いSTART-1に代わる新たな核軍縮交渉も年内合意に向けて開始された。各国が、様々な立場の違いを乗り越え、核軍縮と核不拡散強化の実現に向け共に歩み始めることを期待したい。

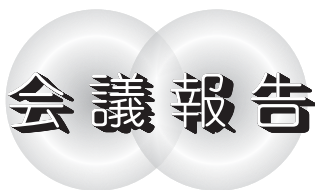
高レベル放射性廃棄物の処分問題については、昨春秋、安全審査を開始した米国のヤッカ・マウンテン計画が、オバマ政権の計画中止宣言によって迷走を始めたことは極めて残念な事態といえる。しかし欧州では、フィンランドのオルキルオト処分場計画は着実に進んでおり、昨年は英国とスイスでサイト選定に向けての新たな前進があった。今年6月はじめには、スウェーデンがフォルシュマルクを最終処分地とする決定を行い、年末までにはフランスが候補地の絞り込みを行うことを計画している。わが国では、東洋町の反省を踏まえた取組強化策に従い、NUMOと国が連携して、全国各地で理解増進活動を展開している。国によって展開のペースはそれぞれ異なるが、世界的には処分問題は一歩ずつ前に向かって進んでいる。

核不拡散／核軍縮も高レベル廃棄物処分も、政治や社会と深く複雑に絡み合う問題であり、一朝一夕には解決しがたい困難な課題である。しかし、恒久平和を実現し、人類の持続的発展を可能とするために、私たちは、根気強い取組みによりこれらを克服し、原子力を、もって生まれた2つの深い煩惱から解放してやる重い責務を負っている。

(2009年 6月10日 記)

—参考文献—

- 1) B. Bernstein, "A Postwar Myth: 500,000 U.S. Lives Saved", *Bull. At. Sci.*, 38-40, June 1986.
- 2) M. ハーウィット, 拒絶された原爆展—歴史のなかの「エノラ・ゲイ」, みすず書房, (1997).
- 3) A. M. Weinberg, *The First Nuclear Era*, AIP Press, (1994).



世界の炉心・燃料管理のプラクティス Advances in Nuclear Fuel Management-IV (ANFM-IV) 報告

2009年4月12~15日(ヒルトンヘッドアイランド, 米国)

会議の概要

ANFMは主として軽水炉の炉心・燃料管理およびそれに関連した研究・開発についての国際会議であり、不定期に開催されている。これまでに1986年、1997年、2003年と開催されており、今回(2009年)が第4回目にあたる。筆者は、(まだ炉物理の道に入る前の大学生だった)1986年の第1回目を除き、第2回以降はTechnical Program Committeeのメンバーとなって本会議の運営に協力している。今回は200名強の参加者+百十数件の発表を得て、実質3日間にわたって行われた。

本会議の大きな特徴は、プラクティカルな観点から、燃料・炉心管理関係の研究発表が行われることである。炉物理関係の国際会議としては、他にM&C、PHYSORなどがあるが、これらの国際会議にはどことなくアカデミックな雰囲気が漂っているのに対し、ANFMはまさに進行形の実世界の議論を行う、現場密着型の会議であるといえる。

したがって、燃料や炉心のトラブルおよびその対策などについての発表も多く、大学にいるとなかなか入手できない情報の宝庫でもある。予稿集(CD-ROM)はANSのホームページからオンラインで購入が可能である。

トピックス

すべての議題を紹介することはできないため、いくつかのトピックスについて紹介したい。

Zero by Ten: 近年、米国においても燃料破損は急速に減少しつつあるが、これをさらに改善し、2010年までに燃料破損を「ゼロ」にしようとするINPO主導、EPRI技術支援のプログラムである。燃料の製造のみならず、水質管理から運転・炉心管理まで幅広い分野が連携して燃料破損の防止に取り組む。例えば、炉心解析では、安全性の観点のみならず、燃料破損防止の観点からのリス

ク評価(たとえば径方向や軸方向の出力偏差の推移)も取り込むことを考えているらしい。このような分野横断型のプログラムがどの程度の成果を上げるのか、興味ももたれる。

最適化の応用: 炉心内の燃料配置の最適化に関しては、数理的な最適化手法の開発というよりも、実際のプラントへの応用とそれに関連する実運用上の問題点への対処に焦点が移ってきている。一方、集合体内の燃料棒配置と炉心内の燃料集合体配置の同時最適化、複数サイクルを同時に対象とした最適化など、これまでは難しく手がつけられていなかった複合的な最適化によって、経済性を向上させる試みが行われるようになりつつある。

濃縮度5wt%超燃料: 高燃焼度と長サイクルを両立させるために必要な技術的課題として、濃縮度5wt%超燃料が取り上げられた。エルビア・ガドリニアといった中性子吸収材を用いることで臨界安全性を担保しようとする試みのほか、濃縮度を10wt%まで上昇させたときの臨界安全性への影響などが議論された。本件は、米国でも広く関心を集めているようである。

トリウム燃料: 軽水炉・重水炉・熔融塩炉などでの利用について報告がなされた。現在は原子力発電を行っていないノルウェーから、軽水炉でのトリウム利用について報告があった。ノルウェーはトリウムの埋蔵量が多く、将来のエネルギー源の候補として注目されているとのこと。ノルウェーの取組みは、現行の軽水炉・燃料の利用を想定した非常に手堅いアプローチをとっていることが特色である。また、米国の政権交代後、トリウム関連の研究予算がDOEについたらしいとの話も聞いた。

最後に

世界中を巻き込んだ形になっている金融危機が米国の原子力業界にどのような影響を与えたのかが、著者のもう一つの興味の焦点であった。この点については、「スローダウンしたが、正常に戻っただけ。これまでが普通ではなかった。」という声を何人かから聞いた。

本会議のもう一つの特徴は、12時から16時までの長い昼休みである。ヒルトンヘッドアイランドはきれいな砂浜が有名リゾート地であり、著者は趣味であるランニングを十分に堪能することができた。

ANFM-Vがいつ開催されるかは現時点ではアナウンスされていない。次回のANFMでは米国新規プラントの性能試験についての報告を聞きたいものである。

(名古屋大学・山本章夫, 2009年5月18日記)



会場のホテルの入り口付近

会議報告

「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」第3回検討会合

Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management
—Third Review Meeting of the Contracting Parties—

2009年5月11～20日(ウイーン, オーストリア)

「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」(2001年6月18日発効)は、放射性廃棄物等の管理の安全を規律する法令上の枠組みを定めること等を締約国に義務付け、高い水準の管理の安全を世界的に達成し、維持すること等を目的とする国際条約である。

そのため締約国には、安全に関する共通および個別課題について、互いの解決策から学び合い、意見交換等を行うことにより、放射性廃棄物等の管理の安全向上に貢献することが求められている。検討会合では、

- 放射性廃棄物等管理施設の立地、設計および建設並びに運転の各段階での施設の安全を確保するための措置
- 作業者および公衆が放射線に曝される程度が、可能な限り低く維持されること等を確保するための措置
- 緊急時計画が準備されること等を確保するための措置
- 国境を越える移動に関する目的地国への事前通報等

について、履行状況を報告し、相互レビューを行うことが義務づけられている。検討会合は3年ごとに開催され、事前に提出された国別報告および国別発表と質疑等に基づいて、義務の履行状況を相互レビューする。

第1回検討会合(2003年11月)には33ヵ国が参加し、Laurence Williams氏(英国)が議長を務め、第2回検討会合(2006年5月)には41ヵ国が参加し、Andre Claude LaCoste氏(フランス)が議長を務めた。今回の第3回検討会合(2009年5月11～20日)には、45ヵ国とオブザーバとして経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)と欧州復興銀行(EBRD)が参加し、早田邦久原子力安全委員会委員長代理が議長を務めた。

日本からは、代表代理を務めた経済産業省原子力安全・保安院の平岡英治審議官を含め、関係省庁および関

係機関の総勢26名からなる政府代表団が参加した。日本の国別報告についての相互レビューでは、放射性廃棄物等の管理の安全について包括的な報告書を作成し、詳細な説明を行ったことや地層処分安全規制の法制化など、制度的な整備に取り組んでいること等が良好事例として評価された。

各国の相互レビューの結果、以下の事項について、良好事例(Good Practices)や引き続き取り組むべき課題(Challenges)が抽出された。

良好事例：(1)放射性廃棄物等管理のための実効性のある国家戦略や政策、(2)法律や規制の枠組み、(3)国際協力と公衆の参加

引き続き取り組むべき課題：(1)高レベル放射性廃棄物・使用済燃料の処分を含む長期的な使用済燃料管理のための国家政策の実施、(2)放射性廃棄物等の処分施設の立地・建設・操業、(3)軍事利用に関わる廃棄物の管理、(4)使用されなくなった密封線源の措置と身元不明線源の回収、(5)知識管理と人的資源、(6)資金調達財源

第3回検討会合では、多くの国から放射性廃棄物等の管理の安全を向上するための諸活動についての報告があり、条約の趣旨が浸透していることが伺われた。他方、長期的な放射性廃棄物等の処分については、各国とも引き続き取り組むべき課題として抽出され、わが国も含め、さらなる努力が求められたことが印象的であった。

なお、今回の検討会合の議長をわが国から輩出し、早田議長の適切な議事進行の下に円滑な運営が図られたことは極めて意義深い。また、本条約の策定や検討会合運営等にIAEA事務局で担当者として携わった日置一雅氏(現JAEA)が、議長特別補佐としてIAEAの招請により今回の検討会合の運営等に加わったことが、円滑な会合の運営に重要な役割を果たしたことは、わが国からの貢献としても特記すべきである。

今後とも、国際的な会合等においても、わが国は原子力平和利用国家として、リーダーシップを発揮し、貢献していくためにも、引き続き、安全確保に係る取り組みやその基盤となる研究開発を着実に進めていくことが重要であると感じた。

(参考；<http://www-ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention/htm>)

(原子力安全委員会事務局・村岡 進, 澁谷朝紀,
2009年 6月4日記)



会議の全体風景(Photo:IAEA)

支部便り

大学院生らが互いの研究成果を発表!!

関東・甲越支部 第2回学生研究発表会—原子力・放射線分野

2009年3月13日(東海大学 湘南キャンパス)

関東・甲越支部では、関東・甲越地区にある大学で原子力・放射線を学ぶ学生を対象とし、学外での口頭発表の機会を与えるとともに、大学間のより一層の交流を図ることを目的として、「第2回学生研究発表会」を開催した。

学生研究発表会

発表会では、東海大学、武蔵工業大学、東京大学、東京工業大学、湘南工科大学、日本大学、芝浦工業大学から、総勢26名の学生による口頭発表が行われた。本発表会は、原則として各大学内で発表した卒論・修論を持ち寄り発表することとし、6つのセッション(放射線とその応用: 6件, 放射線の測定と分析: 6件, 再処理と地層処分研究: 6件, 原子力プラントとその特性: 5件, 放射線生物学: 2件, 原子力教育: 1件)が設けられ、まだまだ荒削りな面もあるが、創造的で夢のある研究成果が発表され、時折、学生とは思えない非常に洗練された発表も見受けられた。また、座長やタイムキーパーを学生が主体的に行う形式がとられ、学生にとっても良い経験になりユニークで良かった。会場のベテラン学会員や学生からは、1件の発表につき、おおむね5件以上の質問やコメント・アドバイスがあり、活発な討論が行われた。

また、特別講演として、東海大学の高木直行氏より「近未来の核分裂エネルギー利用体系」というタイトルで、原子力の基礎から高速炉や地層処分など「原子力の今」に

ついでの講演をいただき、学生にも非常にわかりやすく、とても参考となる解説をいただいた。

懇親会、表彰式

発表会終了後には、懇親会と発表者の表彰式が催され、参加者は50名を越える盛会となった。表彰式では、優秀賞(2件)、奨励賞(10件)の発表が行われた。なお、優秀賞は下記の2名であった。懇親会の終わりの言葉として、嶋田和真氏(東京大学)の次回開催幹事校としてのとても印象的なコメントをいただき、幕を閉じた。

各発表の詳細については、関東・甲越支部ホームページをご参照願いたい。

(<http://www.aesj.or.jp/shibu/kanto/index.html>)

優秀賞(2件)

- ・「高エネルギー中性子照射によりコンクリート中に誘導される放射能の空間分布」

小川達彦(東京大学 M2)

- ・「 μ WMSを用いた狭隘流路内気液二相流計測手法の開発」

下原康彰(日本大学 B4)

おわりに

今回は学生が主体となって、発表と討論、そして司会、さらに交流の場を提供することが達成され、第2回学生研究発表会は盛大のうちに幕を閉じた。次回は東京大学にて開催される予定である。

(東海大学・金澤真吾, 2009年4月11日記)



第2回学生研究発表会参加者による集合写真

日米欧原子力国際学生交流事業派遣学生レポート

SLAC 滞在記

東京大学工学系研究科
原子力国際上坂研究室 博士課程2年

夏井 拓也

私は、日本原子力学会の平成20年度日米欧原子力学生国際交流事業の派遣学生として、2009年1月12日から3月23日の間、米国カリフォルニア州にあるスタンフォード線形加速器センター(Stanford Linear Accelerator Center: SLAC)に滞在しました。SLACでは、Accelerator Technology Research DepartmentのProf. Sami TantawiグループのProf. Juwen Wangにスーパーバイザーになっていただき、x-band linacにおける高電場加速の研究に携わりました。主に私は、SLACの研究員であるDolgashov Valeryとともに高電場試験のための空洞設計を行いました。

私の研究課題は非破壊検査用 x-band linac の高性能化であったので、SLACにおける x-band(11.424 GHz) linac の技術を実際に体感できるのは私にとって非常に有意義でした。はじめにSLACの加速器開発における設備を見学させていただきましたが、そのシステムとしての完成度に驚かされました。加速器開発はさまざまな技術の複合体であり、加速空洞を加工するための超精密加工、空洞を接合するための真空炉、性能評価のための高周波測定器なども必要になります。SLACではそれらが1ヵ所に集められ、非常に効率的に開発を行うことができるようになっていました。

また、SLACは本当の専門家が集まっているのだということも実感できました。私の研究について紹介したときも鋭い質問が投げかけられ、また、私たちが解決できていない問題点を議論すると、さまざまな観点からの解決策を示唆してくれました。1対1で議論を行うと、彼らの加速器研究に対する知識の深さや問題解決手法の感覚の鋭さを感じることができ、よい刺激になりました。



Juwen にナパバレーに連れて行ってもらったときの写真

本事業は、日本原子力学会と米国原子力学会シカゴ支部(アルゴンヌ国立研究所)の間で1979年に開始されました。その後、米欧全域へと派遣先が拡張され、現在に至っています。交換留学生の公募は毎年行われていますので、詳しくは、<http://www.aesj.or.jp/gakuseikouryu/index.html> をご覧ください。

特に、スーパーバイザーの Juwen の知識の深さや、Valery の解析の正確さを知ることは私のこれからの研究に非常に有益になりました。

私はSLACでは主に、高電場による放電の材質試験のための空洞設計を行いました。これは、空洞内に意図的に電磁場を発生させてその熱と電磁場による放電特性をさまざまな材質で評価するためのものです。はじめに設計の方針を Valery と話し合い、解析結果を議論しながら研究を進めていきました。進捗があったときには週に1度あるグループ内ミーティングでも報告を行いました。はじめは英語での議論がうまくできるかが不安でしたが、話しているうちに、研究内容の議論については私のつたない英語でもなんとかいいたいことは伝えられるということがわかってきました。相手も私に合わせて話してくださり、英語が苦手でも案外研究の支障にはならないということがわかりました。また、Valery に現在の空洞設計の重要さや研究全体における位置づけ、これからの方針などを説明してもらったときは、研究を完成させようとする情熱が伝わってきて、自分のやっていることについての重みを知ることができ、とてもやる気が沸いてきました。

生活面では、Valery には週末にレンタカーを手配してもらって、ドライブを楽しんだり、Juwen には、カリフォルニアワインの産地であるナパバレーに連れて行ってもらうワインの試飲をしたりなど、楽しい時間をすごさせてもらいました。Juwen は私のことをいつも気にかけてくれて、米国での生活を安心して送ることができました。

10週間という短い期間ではありましたが、研究面ではSLACという世界的にもトップクラスである米国の研究機関で空洞設計という一つの仕事をやり遂げたことは、私のこれからの研究をよりよいものにしてけると確信しています。また、米国の雰囲気存分に楽しめ、よい経験になりました。

最後に、私を快く迎えてくださった Sami グループの皆さん、特に Juwen と Valery には改めて感謝したいと思います。そして、このような貴重な機会を与えて下さった日本原子力学会および本国際交流事業の関係者の皆様方に深く感謝いたします。

(2009年 4月22日 記)

原発の社会における位置づけはどうあるべきか

立地地域の住民の座談会が好評

(5月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」5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96名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

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

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	座談会	共生から創発へ 高浜町に生まれ育って… これが私たちの本音ですワ	4.10
2	巻頭言	エネルギーと原子力	3.95
3	時論(1)	原子力機器材料の歩みとルネッサンスへの対応強化	3.90
3	時論(2)	原子力施設におけるクライシス・コミュニケーションとメディア対応—災害や事故は忘れた頃にやってくる	3.90

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	エネルギーと原子力	3.94
2	時論(1)	原子力機器材料の歩みとルネッサンスへの対応強化	3.74
2	座談会	共生から創発へ 高浜町に生まれ育って… これが私たちの本音ですワ	3.74
4	NEWS	NEWS	3.71

今月は、立地地域の住民による座談会が上位に入っています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 「座談会」に関して、原子力発電所の設置周辺の活性化はどうあるべきかわかってきたような気がする。一般の読者のために、高浜町の背景説明があるともっとよかった。
- (2) 「NEWS」に関して、原子力関係の各国の事情がよくわかる。さらに放射線利用の新しいニュースなど、さらなる話題提供を期待している。
- (3) 「解説(1)「小中学生への環境・エネルギー学習支援活動」」に関して、原子力の理解を深めるためには、小中校生を的にすることが効果的である。ただ、父兄や教師に理解してもらうことが難関である。地道に活動をやっておられる方に声援を送りたい。
- (4) 「ジャーナリストの視点」に関して、今のところ、新聞社の方のみであるが、テレビの報道機関からも出してほしい。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(4)のコメントに関して、2008年11月号には、NHKの方の記事も掲載していますので、テレビ関係の方の記事も増やしてほしいというご意見と捉え、今後の企画の参考とさせていただきます。
- (2) 毎月の Web アンケートから、読者は現在の知識以外に、過去や原子力に関係する社会とのつながりなど、広い知識を求めていることがわかります。今後は、さまざまな世界にも目が開けてきた読者の要望に応じて、多方面の知識や意見を集約していきたいと思います。

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

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

「夢」与えるアピールを

時事通信 神田 望

原子力工学を学ぶ学生の数が、この10数年間長期的な低落傾向にあるという。文部科学省によると、1984年の時点で「原子力」や「原子炉」などの名称が入った学科や専攻は19あったのに対し、90年代後半には東工大と京大のわずか2つにまで減少。将来の人材育成の観点から危機感を抱いた同省や経済産業省などの後押しもあり、増加の兆しを見せ始めたものの、依然7つに止まっているという。

原子力エネルギーに追い風が吹いているとも言われるこの時期、もう少し人気が出てもおかしくなさそうなものだが、奮わないのはなぜだろう。この3年ほど、外から見て感じる限りでは、原子力工学を取り巻く環境に、若い学生を引きつける「夢」や「将来への展望」が見えにくいことが一因になっているのではないかと思う。

ご多分に漏れず報道機関も人手不足の折、私も原子力のみを担当という訳にもいかず、科学担当として原子力以外のさまざまな分野を取材する機会が多い。どちらかという人のアラを見つけてやろうというのが我々の商売ではあるが、宇宙や生命科学、素粒子科学にいたるまで、さまざまな分野で「夢のある話」が大きく取り上げられる。それがいつ実現するのか、日々の生活に本当に役立つかどうかは不透明であっても、だ。

それに引き替え原子力の分野はというと、普通に動いて当たり前、紙面に登場する時は大抵の場合、事故やトラブル、そして地震など「後ろ向き」な話を中心という印象はぬぐえない。

このように書くと、「そういう報道ばかりしているからだ」とお叱りの向きもあるのかもしれないが、そこはすでに社会に欠かせない成熟した技術として定着しつつあるものの宿命で、安全と安心が社会の側からの最大の関心事になることはやむを得ない。また、常に外部から見られているという緊張感が、安全に寄与している側面もあると言える。

問題はそこではなく、むしろ技術者や専門家の側から、「夢」や「将来」を感じさせるような前向きなアピールが足りない、もしくは下手な点にもあるのではないだろうか。

日本の場合、原子力発電に対するアレルギーが根強いのか、自然と広報の重点が「トラブル対応」や「安全性の強調」に偏重しているきらいがある。電力会社を例に挙げると、法令報告に該当するような重大なトラブルから、作業員が転んでけがをしたというレベルに至るまで、逐一情報を集約し、「安全性に問題はありませんでした」と提供する能力は非常に優れている。

その一方で、安全性や効率の向上のためどんな技術革新が進められているのか、未来の原子力発電はどう変わっていくのか、などといったことを、技術者や専門家が表に出て、機会を捉えて行う類の情報発信は、さほど多くない。電力会社を一つの例に挙げたが、プラントメーカーにしても、大学などの専門家にしても、技術が10年1日のものでない以上、それぞれの立場で知恵をしぼり、外へ向けての情報発信の機会をもっと作れるはずだ。

実際に最先端の現場で活躍する技術者の姿に脚光が当たれば、今よりももっと魅力的な分野に見えることだろう。情報発信の増加は、専門家と社会一般との知識の乖離(かいり)を少しでも減らせると同時に、技術者や専門家の側にも、社会に対してどう働き掛けるのが効果的なのかを知る機会にもなりうるのではないだろうか。

エネルギーをどう確保していくかは、人類にとって、まさに「将来」そのものの課題である。そこを目指す人材に、夢や将来が感じられないような事態は避けなければならない。我々も立場は異なるが、相互にアイデアをぶつけ合い、有効な手だてを考えて行ければと思っている。
(2009年 6月30日 記)



神田 望(かんだ・のぞむ)

時事通信社 社会部記者

1994年早稲田大政治経済学部卒。時事通信社入社後、社会部、大阪支社を経て2000年社会部。警視庁クラブ、司法クラブなどを担当後、06年から現担当。



② いま、原発にがりを打つとき

新潟県柏崎市 重原 靖子



ながい空白のとき

「お陰さまで本日〇時〇分、無事起動しました。長い間ご支援いただき、ありがとうございました」

東京電力柏崎刈羽原子力発電所からの電話である。こんなご丁寧な挨拶をもらうのは久しぶりだなあと思いながら、「おめでとうございます。まだスタートラインですからね……」と言葉少なく気持ちの引き締めを促し、受話器を置きながら長かったなあと考えた。

案じてしまう私

一昨年7月の新潟県中越沖地震で甚大な被害を受け、耐震補強工事などで停止していた7号機がようやく動き出した。試験段階とはいえ、営業運転に爪がかかった瞬間だ。新潟県中越沖地震は別名“原発地震”とも呼ばれる。家屋損壊など多大な被害と15名の尊い命を奪ったこの地震は、人の記憶を“黒煙の上がる原子力発電所”という姿に集約してしまった。普段は姿を潜めている原発への恐怖がこの“黒煙”によって炙りだされたのだ。センセーショナルな報道を、当時の私は病室から静観していた。発電所には私の大切な友人たちも数多くかかわっており、まず彼らの上に思いを馳せた。休日であったその日を思いのままに過ごしていた彼らは、一斉に職場である“原発”の身を案じ、自転車で疾走した人、詰められるだけの水や食糧の入ったリュックを背にひたすら歩いた人、すでに数日は戻れないことを覚悟し、倒壊した我が家を家人に託して仲間への安否・救出に奔走した人……枚挙にいとまがないほど種々の行動が繰り返されていたにもかかわらず、本人たちから語られることのない物語は誰が拾い上げるのだろうか……。

作為的な報道が多発する中で、いまさらのようにその労苦を労いたい。仕事なのだから当然という声があるのを百も承知で、それでも私は言いたい。立ち位置によって異なる原発への思いの複雑さに嘆息が出る。原発は誰によって支えられているのだろうか、答えのない答を探す。私は一住民として、原子力発電所建設の積極推進の立場を一貫していると自負しているが、この30年ほどの変遷に戸惑うこと暫しの昨今だ。不偏という言葉がある。時移れど色変えず「初志貫徹」……墓場までこの思いを持っていく気概の先輩を数多く知っている。誰でも自由に物がいえるようになったこの時代……原発を語ることがタブー視されていた頃を知る者には隔世の感がある。いい時代になったといえればそれまでだが、発電所の中にそれらを語り継ぐ「語り部」は存在しないのだろうか……とつい案じてしまう。

にがりを打つとき

「水を飲む人は井戸を掘った人の恩を忘れない」と中国の故事にいう。発電所から声をかけられることを意気に感ずる人々が多い。私達は、いわば原発誘致の地ならしという井戸を掘って、その後も支えてきたことを誇りに

思っている。しかし、疎遠になれば、「もう俺たちは不要なのか……」と自嘲的につぶやく者もいる。置き去りにされるような寂寥感辛い。長年育んだ愛が、ささいなことで憎悪に転化するの、なにも男女間のことだけではない。

運転再開の報は原発を支えてきた多くの地元民が身近な喜びとして共有すべきことだ。かつて、原発推進派というと、金と引き換えに魂を売った守銭奴のような言い方さえされた。誹謗中傷は日常茶飯事であった。それは今もある。原発のことが日常的に平易に語られるとよいなあとと思う。原発を巡る社会情勢は、いまだ混沌とした面が拭えない。しかし、私達がもうすでに長く原発と一緒に暮らしているのも事実だ。1兆円産業ともいわれるこのような巨大産業を抱えながらも、地域振興にはうまくいっていない面もあり、悩みである。私は、原発は地域にとってにがり(苦汁)のようなものであるべきだと思っている。中越沖地震という、天災を乗り越えた今こそ、この“原発にがり”を有効に打って、真の共生に向けて町と人の様式が固まらないといけない。一番大切なのは心の充実感だ。効果が逆なら、そもそも原発が存在する意味がない。

これからのこと

“原発”の恩恵はこれまでも確かにあった。しかし、今後は、原発のもたらすさらに多種多様な有形無形のタネを育てていかなければならない。それができないなら、そこに住むものに知恵がないと笑われても仕方ない。共生とは、発電する側と地元で生活する者の側、双方に投げかけられた課題だと思う。結局は人間関係なのだ。私たちは国策としてのエネルギー安全保障に貢献している自負がある。国策が無策と同義で語られるようでは、私たちサポーターは虚しい限りである。何はともあれ、運転再開に漕ぎ着けた東京電力にエールを送り、“とにかくみんなで一緒に歩もう!!”という言葉で締めくくりたい。

(2009年 5月22日 記)

重原靖子(しげはら・やすこ)

柏崎の老舗の和菓子『美野屋』専務取締役。結婚後、夫が所属していた会議所(柏崎青年会議所)の手伝いがきっかけで原発の誘致問題に関わるようになった。約20年前、柏崎刈羽6、7号機の着工に関する公開ヒアリングで意見陳述。家族は、夫と娘2人。家業の物産展や原子力関係の審議会などで、越後と東京を激しく行き来する日々。東京を基点に心の安らぐ交流会を立ち上げたいと画策中。

趣味：ゴルフと酒(酒量ではかなわない……とは旧友の証言)
好きな言葉：悪女の深情け