

シリーズ解説

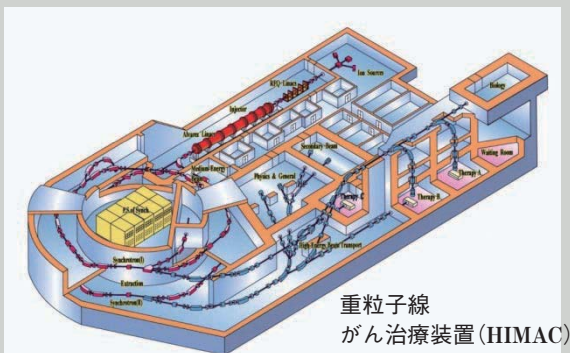
我が国の最先端研究開発

No. 28 放射線医学総合研究所
(第4回)

26 放射線医学総合研究所における 重粒子線がん治療の現状

重粒子線治療は、腫瘍への線量集中性と腫瘍に対する効果が、これまでのものより格段に勝る。最先端をいくその放射線治療を紹介する。

鎌田 正



重粒子線
がん治療装置(HIMAC)

解説 「匠」たちの足跡 第5回

30 日本のラジオアイソトープ製造 の基礎を築いた RI 棟—国産 RI 製 造拠点として貢献

原研(現：原子力機構)は1960年に RI 試験製造工場、試験製品の頒布サービスを開始。1962年には本格的な出荷を始めた。この RI 製造棟であげてきた研究成果を紹介する。

山林尚道, 棚瀬正和, 源河次雄



RI 出荷風景
(1961年)

巻頭言

1 最近思うこと

北野 大

時論

2 核不拡散・核セキュリティ技術 開発について

IAEA 保障措置シンポジウムが昨年秋に開催された。

菊地昌廣

4 海水ウランと化学法濃縮による 新フロントエンド

海水から採取した天然ウランを、核拡散抵抗性が高い化学法で濃縮してはどうか。

常磐井守泰

解説

13 多国間設計評価プログラム (MDEP)とその影響—Part I. シビア アクシデントを対象とした規制につ いて

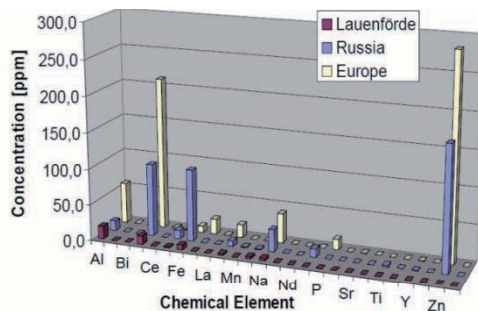
MDEP の活動を中心に国際的な規制改革の動向を紹介するとともに、今後のシビアアクシデント規制を考えていく上での課題を整理した。

辻倉米蔵, 大島俊之, 阿部清治

21 核鑑識技術の確立にむけて

「核の鑑識」。核燃料の組成を分析することで、その出所や履歴を特定することができる。不正取引や核テロを防止・抑止する有効な手段の一つだ。その技術の現状と今後について解説する。

久野祐輔, 桜井 聡, 堀 雅人



ウラン中の不純物濃度プロフィールの一例

表紙の絵 「春更く岸边」 製作者 店網富夫

【製作者より】「春更く岸边」は、私のライフワークとしている渡良瀬川をテーマにした一連の作品のひとつで、佐野市周辺を流れる川の晩春の風景です。水面の表情や、岸边の草・木の緑、そして空の色に季節を表現しました。

第41回「日展」へ出展された作品を掲載いたします。(表紙装丁は鈴木 新氏)

報告

36 事故やトラブル時にどう対応するか？—原子力安全・保安院「緊急時対応センター」(ERC)について

JCO 事故後に国内の原子力防災体制が強化された。保安院の緊急時対応センターの設備や体制を中心に、現在の防災体制について紹介する。
前川之則

41 シニアネットワーク第11回シンポジウム報告—我が国のこれからのエネルギー政策はどうあるべきか

原子力発電所の設備利用率目標や新規建設の実現性、安全規制体制の問題、我が国原子力技術の国際展開などの課題を討論した。
金氏 顯, 林 勉

45 アクチノイド・マネジメントに必要な炉物理実験

マイナーアクチノイドの核変換技術やプルトニウムの高度利用が注目されているが、実験施設の不備が研究開発の進展をはばんでいる。この問題を検討した研究専門委員会の検討結果を紹介する。
岩崎智彦

談話室

52 大学等の専門家と中学校・高等学校の連携強化はいかにあるべきか？

—第5回放射線教育セミナーの考察と今後の活動について
古田雅一

54 立地地域からみた原子力

市民と事業者や関係機関との間には、安全と安心に対する認識にギャップがあるのではないかと。
山田治之

55 組織で活躍する女性を育てるためには—有賀早苗先生のご講演を聞いて

小川順子

会議報告

56 核融合で広がるトリチウム研究の国際化—第9回トリチウム科学技術国際会議

宇田達彦

57 原子力熱流動と安全に関して日韓で活発に議論

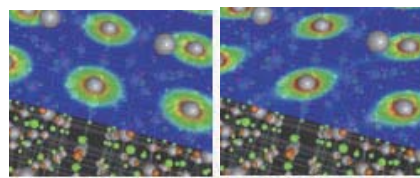
大野修司

58 活気見せるアジアの原子力開発—2nd Nuclear Power Asia 2011

白川智章

6 NEWS

- 原電、ベトナムと原子力で協力協定
- 2011年度原子力予算案、微増に
- IHI と東芝がタービン製造で合併会社
- 原子力協定4件が国会提出へ
- 東通1号機が17年運転開始めざし着工
- 高浜3号機がプル利用運転入り
- 浜岡5号機、震災後1年半ぶりに起動
- ウラン化合物における「隠れた秩序」を解明
- 回転運動から磁気の流れを生み出す手法を発見
- 海外ニュース



URu₂Si₂の電子状態の概念図。大きい球形がウラン原子。17.5 Kを境に状態が変化した。
(News p.7)

ATOMOS Special

世界の原子力事情(12) 東欧編

50 ウクライナ—チェルノブイリを超えて

ウクライナでは総発電量の49%が、原子力発電で賄われている。
杉本 純

ジャーナリストの視点

61 合理性なき安全審査の悲劇 江刈内雅史

20 From Editors

35 新刊紹介 竹田敏一

62 「2011秋の大会」研究発表応募・参加事前登録のご案内

68 会報 会告, 原子力関係会議案内, 主催・共催行事, 人事公募, 英文論文誌(Vol.48, No.4)目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

69 日米欧学生国際交流 竹田 敏

WEB アンケート

12・1月号のアンケート結果をお知らせします。(p.59)
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はこちら

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

最近思うこと



明治大学理工学部 教授

北野 大 (きたの・まさる)

東京都立大学大学院工学研究科博士課程修了(工学博士)。化学物質評価研究機構、淑徳大学教授を経て、2006年から現職。専門は環境安全学。

テレビや新聞などのマスコミに登場する機会を与えられている数少ない自然科学系の人間として、また還暦を過ぎた人間として、発言すべきことはきちんと発言するのが私の社会に対する義務であると最近思うようになりました。ここでは、私の専門である化学物質の安全性、特に農薬についてと、専門外ではありますが、遺伝子組み換え作物、ダム、および原子力発電について、私見を述べたいと思います。

農薬についてまず考えねばならないことは、なぜ農薬が使われるかということです。農業の3大外敵として雑草、病気、害虫があります。農耕地はある一種の作物を栽培するという、極めて人工的な生態系であります。一般に生態系は多様性があるほど安定します。また農作物は人により意図的に品種改良されており、上記の3大外敵に対しては極めて弱いわけです。そのために農薬が必要になります。趣味で家庭菜園などを楽しんでおられる方は無農薬栽培も可能でしょうが、農業となるとそれは無理です。ちなみに除草剤は雑草取りという重労働からお百姓さんを解放しました。農薬のおかげで収量も多くなり、結果として私たちは安定して農作物を安価に購入できるわけです。農薬の安全性試験は哺乳動物等を用いて、現在、私たちが考え付くありとあらゆる試験を行い、さらにそれらの結果より人間は100倍も感受性が高いという考え方で残留基準が決められています。農薬は正しく用いる限り安全といえます。

遺伝子組み換え作物とは人が合目的に品種改良を行ったものといえます。従来の試行錯誤的な品種改良ではなく、ある特定の機能を持った遺伝子を組み込むことで除草剤に強い大豆などが作られるわけです。遺伝子組み換え作物の安全性は「実質的同等性」という考え方です。すなわち非組み換え体と比較して、それよりも安全性が高いとか低いとかでなく、安全性は同じであるという意味です。遺伝子組み換え作物の最大の誤解要因が表示です。表示は組み換え体については、ある一定以上含まれている場合は義務がありますが、現在は組み換えていない作物について、業者が自主的に表示をしており、これがいかにも組み換え体になにか悪いような印象を消費者に与えてしまうわけです。無農薬、無添加のような表示の効果を与えるわけです。このような新しい技術の評価で大切なことは、まず安全性が第一ですが、それに加えて、その技術の将来の発展性を考えることです。現在では、種苗メーカー、農家が利益を得ていると思われがちですが、この技術の将来の発展により寒冷地や乾燥地等の耕作不適地での栽培が可能となり、また糖尿病やアレルギーの治療に使われるおコメの開発など、多くの面で期待があります。

「ダムはムダ」などと言う人もいますが、本当にダムは無駄でしょうか。我が国のように川は急流であり、また降水量が季節で大きく変化する状況では、治水、利水の面からはダムに依存せざるを得ないと思います。ダムへの最大の反対理由として環境破壊が言われています。確かに過去にはそのような例があったかもしれませんが、現在では魚道を整備したりと、環境保全に力を入れています。ダムに満たされた水は冷たい「水の塊」でしょうか。私の友人は「太陽エネルギーの1次貯蔵場所」と表現しました。すなわち太陽の熱エネルギーが位置のエネルギーとして貯蔵されているという意味です。

最後に原子力発電ですが、我が国は世界で初めて原爆を落とされ、米国のビキニ環礁での水爆実験で船員が被ばくして死亡、さらには最近では核燃料製造工場での従業員の被ばくなどがありました。これらから、原子力は危ないという考えを持つ方が多いのも事実です。過去を振り返りますと、我が国では原子力発電が開始されて以来、原子炉が暴走したという事故は全く起きておりません。欧州の反原発派の理由は原子力発電の安全性に対する懸念ではなく、高レベルの廃棄物を次世代に残すという世代間倫理からです。地球温暖化対策、エネルギーの安定供給の面で、今後、原子力発電の役割がさらに大きくなります。原子力発電の課題は安全性ではなく最終処分地の確保と処分の実施です。リスクコミュニケーションにより国民の合意を得て、この問題が解決されることを祈っています。

(2011年 1月24日 記)



核不拡散・核セキュリティ技術開発について



菊地 昌廣(きくち・まさひろ)

財団法人 核物質管理センター 理事
1976年日本大学理工学部物理学科卒業。
1980年～現在；財団法人核物質管理センター。主に保障措置アプローチの研究開発業務に従事。1999年，工学博士(保障措置の計量管理研究)。1999～2001年，IAEA保障措置局システム研究課(出向)。

はじめに

IAEA 保障措置シンポジウムが2010年11月に開催された。1970年に第1回がカールスルーエで開催されてからおおむね4年に1回の頻度で開催されてきており，今回で11回目となる。これまでのシンポジウムでは，それぞれの時代を背景として，時宜を得た話題や課題がハイライトされてきた。筆者は，1982年の第4回シンポジウム以来，継続して参加し，論文を発表するとともに，保障措置技術開発課題の国際的な動向を把握してきた。

このたび本シンポジウムに参加して得た印象に基づき，今後の核不拡散・核セキュリティに関連する技術開発の在り方について述べてみたい。なお，この内容は筆者個人の見解である。

シンポジウムの概要

これまでのシンポジウムは，いわゆる学会形式を取っていたが，今回は，パネルやフォーラム形式の聴衆参加型を採用し，口頭発表の件数を減らして，多くをポスターによる発表とした。確かに学会の華である口頭発表の機会は減じたが，一方で数多くのパネルやフォーラムに参加する機会が増えたことによって，国際的に認識されている開発課題の傾向を知ることができた。筆者もひとつのフォーラムの議長を務め，ひとつのパネルにパネリストとして参加した。

今回のシンポジウムには70カ国，20の国際機関から700名以上の参加があり，開会セッション，技術開発セッション，13の口頭発表セッション，7つのパネルセッション，5つのフォーラム，9つのポスターセッションおよび閉会セッションからなる全体で37のセッションで構成された。261件の論文が提出され，73件が口頭発表，188件がポスター発表された。

我が国からは文部科学省から核不拡散・保障措置室長をはじめ，国，大学，核物質管理センターや日本原子力研究開発機構などの関係機関から26名が参加し，口頭で4件，ポスターで11件を発表した。特筆すべき事項として文部科学省と日本原子力研究開発機構が共著でポスター発表した「アジアのための核不拡散及び核セキュリ

ティ総合支援センター」に関する論文が優秀ポスター賞を受賞したことがあげられる。

本シンポジウムのトピックスとして，IAEAの追加議定書を背景とした保障措置の新たな国際核不拡散枠組みのひとつとしての役割と他の大量破壊兵器拡散防止のための枠組みとの協調，保障措置の実施をより効率的に進めるためのIAEAと加盟国との協調の在り方，今後の保障措置が挑戦すべき事項，新規原子力導入国および原子力先進国で計画されている新規施設に対する保障措置技術，新たに検知対象となった未申告(秘密裏)の原子力活動や核物質の検知のための先進技術，保障措置実施のための人的，財政的資源の有効活用方法等があげられる。

国際的な開発課題と我が国の開発視点との差異

これまでの保障措置は，核物質に特化してその平和利用状況の確認を目的として設計されていた。このことから，査察頻度に代表される保障措置活動の強度は，国に存在する核物質の量と比例関係にあり，多くの査察業務量が我が国に投入されていた。現在適用されている統合保障措置は，保障措置協定に基づく核物質の検認活動と，追加議定書に基づく未申告の原子力活動や核物質の検知を目的とした活動とを組み合わせる実施している。

IAEAが追加的に情報分析や環境サンプリング等，国の原子力活動全般にわたる未申告活動検知のための検認技術を保有したことから，発電炉や低濃縮ウラン施設等への従来の査察頻度は緩和される傾向にあるが，なお，我が国に対する査察業務量は目に見えて減少していない。これはプルトニウムの平和利用を基幹としたバックエンド施設が，唯一我が国に存在することによる。

これまでの保障措置技術開発の認識は，査察業務量を多く消費する我が国固有の施設に対する保障措置技術を高度化することにより，IAEAの査察業務を効率化し，結果としてIAEAの査察業務量低減に貢献しようとするものであった。そして今回我が国からの発表の多くは，このような視点に立ったものであった。

しかし，前記したように国際社会の注目点は，国際的

な原子力進展の潮流の中、新たな核拡散の脅威に対抗する枠組みや技術の開発を多く求めていることがわかった。確かに原子力開発利用が向かい風にあった時代は、我が国の平和利用を証明するための高度化された保障措置技術開発を志向することは妥当な判断であったと考えるが、国際的な原子力開発利用に追い風が吹いている時代を迎えてみると、我が国が目指していた保障措置技術開発は、特異な存在になってしまった、あるいは「ガラパゴス化」してしまった、との印象をぬぐい得なかった。

新たに加わった技術開発要因

2001年9月11日の同時多発テロは、国際社会を大きく震撼させ、原子力関連施設も非国家主体によるテロの対象となり得るとの懸念を我々に抱かせることになった。原子力とテロリストの関連は、ソ連邦崩壊後、旧ソ国境において微量の核物質や放射性物質の密輸が摘発された事例にある。これを受けて、日本をはじめとした国際社会は、旧ソ諸国の原子力関連施設の核物質管理強化策や、不必要に保有している高濃縮ウラン等の低濃縮化による民生利用への転化対策に貢献してきた。これは、対象施設からの核物質のテロリストへの不法移転防止を、主たる目的としたものであった。しかし、同時多発テロは、さらに一歩進んで、施設への大規模攻撃による放射性物質拡散に関する脅威対策の必要性を示唆した。

核物質管理も単に正確、確実かつ透明度の高い管理を行うだけでなく、悪意を持つ者への対策強化の必要性を認識せざるを得なくなった。冷戦時代は、核兵器保有国の増加を防止すること、すなわち国家への拡散の防止が主眼であったが、冷戦終了後は、非国家主体への国家からの拡散を防止する新たな視点が追加された。

2010年4月には、ワシントンにて「核セキュリティサミット」が開催され、47カ国、3つの国際機関が参加した。この会合で、参加国は、非国家主体への核セキュリティに対する国家の責任を共有し、今後4年のうちに各国の脆弱な核物質の管理を徹底することに合意した。核物質管理に対する事業者責任だけでなく、公安、警備警察を含めて国の対応責任が強調された。

一方、IAEAにおいても、このような国際情勢を受けて、テロリストから原子力関連施設が攻撃されたときの放射線防護対策と連携を強化し、対象を核物質だけでなくラジオアイソトープを含む放射性物質まで拡張した防護のガイドラインを策定した。

このように、核不拡散対策は、現存するイランや北朝鮮のような国家への拡散対策だけでなく、非国家主体を対象とした核セキュリティ対策へと拡大してきている。

今後期待される技術開発の視点

(1) 核不拡散・保障措置技術開発

従来どおり、我が国の特異な原子力開発利用環境を受

けて、これらの施設に対する査察業務の効率化を目的とした保障措置技術の高度化は継続すべきであろう。IAEAの保障措置実施は、基本的には国際社会全体を視野に入れた標準的な技術を基幹としたものであり、我が国のような高度化された核燃料サイクル施設に特化した適用は、困難であるとともに非効率である。国固有の核燃料サイクルの特徴を踏まえた保障措置技術の高度化は、国および事業者の協力なくしてIAEAだけでは到底達成できるものではない。このような視点から、施設の特徴や運転環境を配慮した高度な検証技術(保障措置技術)開発を、IAEAと共同で実施していくことが求められるよう。

この中には、従来から使用されている測定技術の高度化も含まれよう。例えば、保障措置機器の高精度化、可搬性を向上させるための小型化等である。

一方で、国際的な新たな技術開発への貢献も求められよう。イランや北朝鮮に見られる未申告原子力活動の懸念を払拭するために、これらの活動を検知するための技術開発である。例えば、未申告核反応(中性子照射)に起因する反ニュートリノを検知するための技術開発や、未申告原子力関連施設建設を監視する衛星画像解析手法などである。これ以外にも、我が国の科学技術力を結集することにより、有効な機器開発が可能となろう。

(2) 核セキュリティ関連技術開発

まず核鑑識技術の開発が上げられよう。核鑑識技術は、国境や港湾等で不法取引された核物質や放射性物質が検知され押収された場合に、この物質を分析し、出所を明らかにし、搬出方法や移動経路の特定捜査に役立てようとするものである。

核鑑識に関連する化学分析手法は現在、計量管理で実施している定量分析と環境サンプルを対象に行っている極微量分析とは異なり、核種の定量分析だけでなく、粒径や形状等も測定の対象となる。重要なことは、押収物と比較検討するための膨大な背景情報のデータベース化である。核鑑識技術開発は核セキュリティサミットにおいても当時の首相がコミットしているところであり、緊急に具現化する必要がある。

喫緊の事項として、9.11の事例からIAEAのガイドラインにおいて、新たに想定すべき脅威としてあげられた空域からの施設侵入の脅威対策や、従来から提起されている内部者(インサイダー)対策の更なる強化がある。

おわりに

核不拡散・核セキュリティ対策は、常に国際政治からの要請を色濃く反映した事業である。このようなことから、上述したように、今後新たな原子力開発利用や核テロの脅威などの国際的な潮流を見定めて、国内対応だけでなく、国際貢献できるような技術開発を行う必要がある。(2011年2月14日記)



海水ウランと化学法濃縮による 新フロントエンド



常磐井守泰(ときわい・もりやす)

1976年に(財)電力中央研究所(電中研)に入所。軽水炉のSCC, 被覆管の照射, 高速炉金属燃料サイクルの研究に従事。2005年に電中研を退職(現在は同名誉研究顧問)。2009年に東工大発ベンチャー第55号(株)NuSAC(Nuclear Solution Academy)を設立し, 同代表。専門は核燃料サイクル。工学博士(原子炉材料)

原子力の平和利用技術は軽水炉発電で実ったが, 同時に核兵器用の高濃縮ウランを製造する技術が拡散した結果, 核兵器国も増え続けたのが20世紀だった。

21世紀も既に10年が経った今, 時代は大きく変貌し軽水炉の輸出が国策となっている。国民は, 官民一体となったこの国策を強く支持している。

ただ, 受注する海外の軽水炉への燃料供給を保障するための濃縮ウランについて, どの程度を外国の役務に頼るのか, いつごろ, どこで, どのように濃縮ウランを生産するのか, その場合に国際的な核拡散防止の要求とどのように整合させるか, などの複雑な連立方程式を解くという新しい課題も生まれた。

また, レアアース問題に象徴されるが, これまでのように, 必要なときに必要な量の資源を入手することを前提にできない時代となった。

本稿では, 上記の問題への回答例を用意するために注目している2つの技術, ウラン濃縮化学法と海水ウランについて述べ, それらを結合する新フロントエンドの構想, 最後に, 再処理, 高速炉との関係についても簡単に述べてみたい。

平和利用のためのウラン濃縮化学法

軽水炉用には5%程度の低濃縮ウランで十分であるが, 核兵器用には95%程度の高濃縮ウランが要る。

では, 低濃縮ウランは大量生産できるが, 高濃縮ウランを製造するのは大変難しいという, 平和利用に特化したウランの濃縮技術はないのだろうか。

高濃縮ウランがプロセス中に存在できない原理が備わっているならば, それは平和利用に特化した濃縮技術といえる。そう考えると, 水溶液を用いるウラン濃縮技術, 湿式の濃縮技術が浮かび上がってくる。その理由は, 水溶液は良好な中性子の減速材であるので, ^{235}U の濃度が高くなると必然的に臨界となるからである。

それでは, 水溶液を用いる湿式のウラン濃縮法はどのような技術であろうか。

それには, 化学法と呼ばれる濃縮法が該当する。40年前の世界の常識では, 天然ウラン中の ^{235}U を3%にまで濃縮するのに化学法では500年以上掛かるとされていた。濃縮にあずかる反応速度が遅いためであった。

しかし, その常識を覆す技術が旭化成工業(株)(以下, 旭化成)によって開発された。これをウラン濃縮化学法と呼ぶ。20年以上前だが, ^{235}U を約2ヶ月間で3%にまで濃縮したのである。ウランを含む塩酸水溶液中の高速のイオン交換反応を利用し, 大型の超多段の置換クロマトグラフィー装置の連続運転が行われた結果, 累積で17kg相当の3%濃縮ウランが生産された(濃縮塔の内径は1mと商用濃縮塔の約1/6のスケール)。

経済性の評価結果によると, 濃縮コストの低減ポテンシャルは大きく, 他の商用の濃縮技術と競合できると評価された。例えば, 濃縮のための消費電力は約100kWh/kgSWUと遠心法と同程度で, さらなる改良によって50kWh/kgSWUも可能と報告している¹⁾。

前述の臨界の制約に関しては, 商用規模の濃縮塔では約30%以上に濃縮すると臨界になると試算されている。臨界を回避する策として, 濃縮塔径を細くする, 中性子吸収剤を混入する, などが考えられるが, いずれも濃縮の効率を著しく低下させ, 高濃縮ウランが製造できないか, できても長期間の運転が必要である。また, そのための施設の改造も査察で容易に検知できる。要するに, 低濃縮用に建設された濃縮施設を秘密裏に高濃縮ウランの製造用に転用することは極めて困難といえる。

ちなみに, “米国でも化学法濃縮の研究はやった, しかし高濃縮ウランの製造が難しいので開発する意義が見出せなかった”と最近尋ねた米国の元DOE高官は述べた。

ウラン濃縮化学法の発明者は垣花秀武東工大名誉教授であり, また, なぜウランのように重い元素の同位体分離ができるのかについては, 21世紀になって, 藤井靖彦東工大名誉教授らが, 核の重さ(体積)の違いが核の電荷密度に差を与え, それが電子の運動に影響することによって化学的な同位体効果を生むという, 分子振動とは

異なるモデルで説明した。バブル崩壊1年前の1991年に、旭化成は原子力ビジネスからの撤退を決め、開発を中止し、機器も解体された。当時は、国際的な濃縮ウランの価格は低下傾向にあり、冒頭の海外の軽水炉建設の受注も、ましてや受注競争力としての燃料の供給保証も、核の拡散問題がかくも深刻になることも想定されていなかった。ここで、筆者が言いたいことは、時代の変化に対応する国策として、早期にウラン濃縮化学法を再評価し、その開発を再開してはどうか、ということである。

海水ウラン

海水中から採取したウランを海水ウランと呼ぶ。1,000トンの海水中には炭酸ウラニルの形態でウランが3.3 g溶解している(3.3 ppb)。そのウランの総量は膨大で、陸地のウラン総量の約1,000倍といわれている。

20世紀後半に、高性能のウラン捕集材、アミドキシム型捕集材が日本で開発された。黒潮海流中に60日間係留した捕集材1 kg 当たり約2 gのウランが捕集でき、捕集されたウランは薄い硝酸、塩酸などと接触させると容易に脱着し、そのウラン捕集コストは約3.2万円/kgU程度と試算された²⁾。最近の鉱山ウランの約3倍程度にまでコスト差が縮まることを期待させる試算値である。

さらに最近、地球温暖化防止政策の観点で、これまでと違う海水ウランの開発意義が提起された³⁾。その内容を筆者なりに要約するところである。発電中にCO₂を出さないことが太陽電池発電と原子力発電に共通しているが、発電コストは太陽電池の方が約8倍高く、そのコスト低減のための研究が行われている。仮に、海水ウランの値段が鉱山ウランよりも約10倍程度高いと仮定すると、その時の原子力の発電コストは現在の5.5円/kWhから8.8円/kWhに上昇する。もし、太陽電池の発電コストが現在の1/5程度にまで安くできれば、両者は発電コストで同等になる計算となる。このことを放出CO₂量の削減政策として見た場合、原子力が基幹電源であることを勘案すれば、政策資金の一部を海水ウランの研究に投入することには十分な合理性がある、という提言である。確かに、21世紀に相応しい海水ウランの意義付けであり、政策に反映されて研究が大きく進むことを期待したい。

新フロントエンドの構成

前述した2つのコア技術を直接繋ぐと、海水から採取した天然ウランを核拡散抵抗性が高い化学法で濃縮するという新しいフロントエンドが構成できる⁴⁾。

海水からウランを採取する究極のゴールは何か、というところ、世界のどの国もウランというエネルギー源を入手できる時代を作ることだと思ふ。これら海水から採取する国産の天然ウランを備蓄することを提案したい。鉱山ウラン価格上昇の抑止力となるからである。

やがて、ウランが資源ナショナリズムから無縁になる

とともに、高性能のウラン捕集材は、今後増える廃止ウラン鉱山の廃水処理にも大いに役立つこととなろう。

海水ウランの位置づけ

過去には、海水ウランが実用化すると、その無尽蔵性から、再処理も高速炉も要らなくなり、核拡散の心配もなくなるというような議論があった。それに対する筆者の考えは以下の通りである。

ウランを海水から採取する時代が来ても、再処理の必要性は変わらない。なぜなら、再処理は最良の使用済み燃料の減容技術だからである。その再処理が核拡散に繋がるのではないかという問いに対しては、熔融塩電解法を用いる乾式再処理⁵⁾が回答になると考える。

高速炉の実用化についても、その必要性は不変と考えたい。なぜなら、軽水炉時代の長期化の中で、熱中性子を利用する軽水炉ではできない役割を、高速炉が果たす時代が早く来ることが望ましいと思うからである。その高速炉の役割は多様で、従来の資源論だけではなく、高速炉に相応しい新型燃料の導入による、速くて大きい負荷変動への良好な追従性であり、受動的安全性のもう一段の強化であり、効率よいアクチニドの燃焼であり、燃料寿命が長い小型炉などが挙げられる。

おわりに

新フロントエンドは、科学技術立国、原子力立国、海洋立国が国策の日本、IAEA 事務局長の出身国の日本が取り組むのに相応しいテーマではないか、と筆者らは考えている。次期原子力大綱の審議が開始されたことでもあり、ウラン濃縮化学法や海水ウランの今日的な位置づけがなされることを期待したい。

筆者らは、注目している上記技術の評価検討とともに、東工大との共同研究などによって、自ら要素研究を行っているところであり、学会や国際会議の場でそれらの成果を発表し、批判を受けたいと考えている。

(2011年 1月19日 記)

— 参考文献 —

- 1) 武田邦彦, “ウラン濃縮—いまなぜ化学法か”, 原子力工業, 34[4], 63~69(1988).
- 2) 玉田正男, 瀬古典明, 笠井昇, 清水隆夫, “モール状捕集材による海水ウラン捕集のコスト試算”, 日本原子力学会和文論文誌, 5[4], 353~363(2006).
- 3) 杉山大志, 今中健雄, 新これが正しい温暖化対策, エネルギーフォーラム社, (2010).
- 4) 常磐井守泰, “海水ウランと化学法濃縮技術の今日的な意義”, 原子力 eye, 54[11], 21~28(2008).

⁵⁾乾式再処理では熔融塩電解法が適用されるので、核兵器に転用可能な高純度のプルトニウムがプロセス内に存在し得ないという固有の性質が備わっている。



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。

原電、ベトナムと原子力で協力協定

日本原子力発電は2月15日、ベトナム電力公社(EVN)と原子力発電導入に関する協力協定を結んだ。EVNがニトゥアン省で進めている原子力発電所第2サイトにおける導入可能性調査(FS)実施のための相互確認と、EVNのプロジェクト活動に対する技術支援・情報提供を行うもの。EVNは、発電、送電、配電事業を運営し

ている国営企業で、ベトナム政府における政策の企画立案を担当する商工省の管轄下にある。2006年にElectricity of Vietnamから、持株会社であるベトナム電力公社(Vietnam Electricity Holding Company)と改められた。

内閣府が2011年度原子力予算案まとめ、総額で微増に

2011年度の原子力関係経費政府予算案は、総額4,330億円、対10年度比0.2%増となった。内閣府が1月18日の原子力委員会会合で報告したものの、

策特別会計・電源開発促進勘定は、10年度とほぼ横ばいの3,161億円だった。

(資料提供：日本原子力産業協会)

一般会計は、同0.7%増の1,169億円で、エネルギー対

IHIと東芝が合弁会社設立、タービン機器製造で協力

IHIと東芝は1月17日、国内外で原子力発電所向けタービン用機器を製造する合弁会社「IHI・東芝パワーシステム」を設立した。IHIの横浜事業所内に拠点を置き、約3万m²の敷地に最新鋭の大型製造設備を効率的に配置、最新IT技術を駆使して、東芝設計のタービン用機器を高品質で製造し、世界で受注するBWR、PWR向けに提供する。

いてきたほか、米ウェスチングハウス社に出資して、PWR市場への参入拡大にも取り組んでいる。本合弁会社の設立により、IHIでは原子炉圧力容器や格納容器の製造に加え、タービン機器製造にも事業領域を拡大。東芝は、タービンの製造能力を拡大することで、原子力事業のサプライチェーン強化を図っていく。

(同)

両社は従来、BWRの建設、運転保守で協力関係を築

原子力協定4件が国会提出、ヨルダン、露、韓、越と協定批准へ

第177通常国会が1月24日、開会した。政府は今通常国会で、ヨルダン、ロシア、韓国、ベトナムの各国との原子力協力協定の批准を求める方針を決めたほか、アラブ首長国連邦(UAE)との二国間原子力協定が実質的に合意済みであること、ブラジルとも今後、原子力協定締結に向けた交渉を行う方針であることを明らかにした。

原子力関係では、国際競争力の向上を図る日本政策金融公庫からの「国際協力銀行」の分離・機能強化を行う国際協力銀行法案(仮称)(財務省)、原子力協力協定として日・ヨルダン協定(前臨時国会で参院審議未了・廃案)、日・ロシア協定(口側批准済み)、日・韓国協定(昨年12月20日署名済み)、日・ベトナム協定(1月20日署名済み)を批准のため提出する予定。

(同)

また政府は来年度政府予算案のほか、法律案64件(うち予算関連法案26件)、条約18件の提出方針を決めた。

東京電力・東通1号機が17年運転開始めざし着工

東京電力の東通1号機(ABWR、138.5万kW)が1月25日、経済産業省による第1回工事計画認可を受け、着工となった。東京電力にとり4ヵ所目の立地点。同社の

新規原子力発電所着工は、1978年の柏崎刈羽1号機以来33年ぶりとなる。運転開始は17年3月の予定。

(同)

関西電力・高浜3号機がプル利用運転入り

定期検査中だった関西電力・高浜原子力発電所3号機は1月21日、国の検査を終了し、プルサーマル運転を開始した。国内では、九州電力・玄海3号機、四国電力・

伊方3号機、東京電力・福島第一3号機に続き、4基目となる。(同)

中部電力・浜岡5号機、震災後1年半ぶりに起動

中部電力の浜岡原子力発電所5号機が1月25日、09年8月の駿河湾で発生した地震による停止以来、およそ1年半ぶりに原子炉を起動した。この間、06年に損傷した低圧タービンの取替も行い、停止中に予定された点検等はすべて完了。震災後、3、4号機はいずれも、設備の点検、健全性確認を終え、同年10月に完全復旧している。

09年8月の地震で、5号機は他号機に比べて観測記録

が大きく、同社では、要因分析と、これを踏まえた耐震安全性の確認を実施し、国の専門家ワーキンググループに報告の上、評価が行われていた。地震の観測記録が顕著だった主要因は、5号機の地下浅部に分布するS波低速度帯と推定。これを分析し、想定東海地震に対しても、同機の耐震設計上重要な施設の機能維持に支障がないことを確認している。(同)

ウラン化合物における四半世紀の謎「隠れた秩序」を解明

京都大学、大阪大学および日本原子力研究開発機構の研究グループは、ウラン化合物 URu_2Si_2 が絶対温度17.5K(マイナス256℃)で引き起こす相転移の起源が、独特の電子状態の変化を伴うことを明らかにした。相転移の存在は1985年に発見されていたが、その詳細はわからず、四半世紀もの間、謎とされていた。研究グループでは、これまでより高い感度をもつ方法を用いて測定を行った結果、このウラン化合物の電子状態が独特の状態に変化することをつきとめた。

解明に成功したのは、京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻の芝内孝禎准教授、松田祐司教授、岡崎竜二大学院生(現名古屋大学助教)と大貫惇睦大阪大学教授、日本原子力研究開発機構の芳賀芳範主任研究員等の研究グループ。

同グループでは、ウラン化合物 URu_2Si_2 を極低温まで冷やした後に磁場を回転させて発生したトルクを測定するという、従来の磁化測定に比べて数千倍高い感度を持

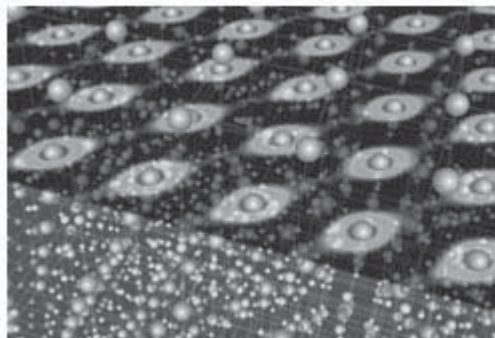
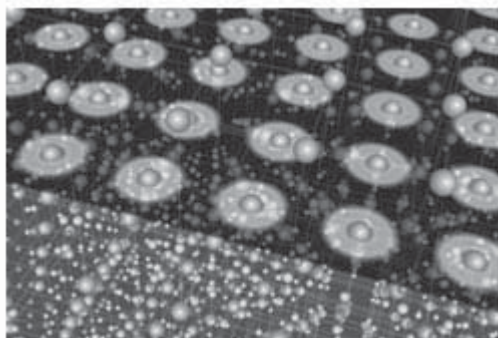
つ方法を用いて、磁気的な異方性の精密測定を行った。

その結果、物性の対称性が17.5Kで変化することがわかった。この物質の結晶は、底面が正方形である正四角柱の中におさまるような構造(4回対称性)をしており、物性もその対称性を反映している。ところが、17.5K以下では、底面の電子状態が変化し、正方形ではなくひし形のような形(2回対称性)に変形していることがわかった。

17.5Kで起きるこの物性変化の原因についてはこれまで、20以上もの様々な理論が提唱されてきた。けれども、今回明らかになった対称性の変化は、それらの理論の前提を覆すものとなる。また、この化合物を1.5Kまで冷やすと超伝導が現れることが知られており、今回の解明は、新しい超伝導発現機構の解明に役立つと期待される。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2010/p11012801/index.html>)

(資料提供：京都大学、日本原子力研究開発機構)



URu_2Si_2 の電子状態の概念図

大きい球形のものがウラン原子。17.5Kより高温(左図)では4回対称性が保たれているが、それ以下の低温(右図)では4回の対称性が破れた状態となっている。(岡崎竜二氏作成)

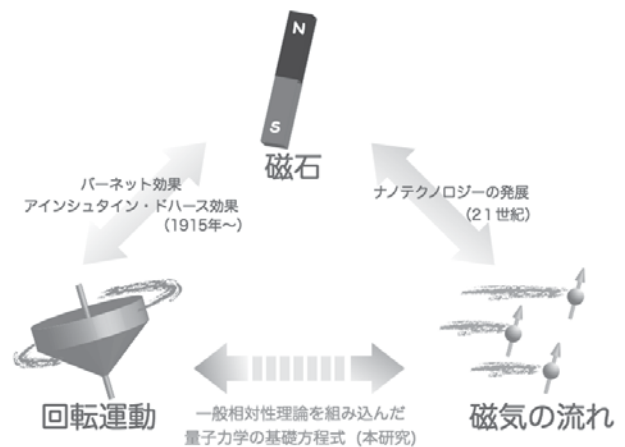
回転運動から磁気の流れを生み出す手法を発見—ナノスケールのモーター・発電機の開発に道

日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターの前川禎通センター長、東北大学の齊藤英治教授、京都大学基礎物理学研究所の松尾衛博士等は、物体の回転運動によって磁気の流れを生み出す手法を発見した。

アインシュタインは「一般相対性理論」と、磁気を帯びた物体が回転する「アインシュタイン・ドハース効果」を発見し、磁気と回転運動とが密接に結びついていることを示した。また、その後の量子力学の発展によって、電子は磁気によって「自転」していることがわかった。しかしながら電子の性質はこれまで、静止した物体中で成り立つ量子力学を用いて解析されてきたため、回転する物体の電子の性質の詳しい様子は、不明だった。

今回、原子力機構等の研究グループは、量子力学に一般相対性理論を組み込むことで、回転運動する物体中で電子の電気と磁気の流れを明らかにする基礎理論を構築。これをもとに、回転する物体に磁場をかけることによってミクロの世界にある電子の自転方向を一齐にそろえ、磁気の流れが生み出される新現象を発見した。

この発見は、電子が持つ自転の運動エネルギーを取り出す可能性を示すもの。将来は量子力学的な原理で作動する発電機や、電子のミクロの自転運動を用いて微小物



磁石と回転運動、磁気の流れに関する相関図
本研究では、物体の回転運動から磁気の流れを直接取り出すための基礎理論を見出した。

体の回転運動を駆動するナノスケールのモーターの開発に結びつくことが期待される。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2010/p11021501/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構、東北大学、京都大学)

動画配信のご案内

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。

2010年12月～2011年2月の番組は以下の通り。

- ・高速炉実用化を見据えて—高速増殖原型炉「もんじゅ」

のいま(12/15公開)

- ・原子力の将来に備える 高レベル廃棄物処分への環境整備と人材基盤の強化(1/17公開)
- ・原子力発電所の保安活動—電気を安定的にお届けするために(2/15公開)

(資料提供：日本原子力産業協会)

海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

デューク社とプログレス社が合併

米国で新規原子力発電所の建設を計画しているデューク・エナジー社とプログレス・エナジー社は1月10日、両社が260億ドルの株式交換による合併で合意し、新たに企業価値650億ドルの企業が誕生することになったと発表した。財政基盤の強化を図るとともに、事業推進能力の大幅増強を狙ったもの。

合併に伴う株取引条件は、プログレス社株1株に対してデューク社株2.6125株という率。合併後の社名は

「デューク・エナジー社」となる予定で、原子力の発電設備容量は1,000万kWを超え、エクセロン社と並んで米国でも最大規模になるほか、火力などを合わせた総設備容量は5,700万kWに達する。サービス区域も、南北の両カロライナ州、フロリダ州など6州にわたり、顧客件数は710万件に膨らむ見込み。

デューク社はウィリアム・ステーツ・リーⅢ原子力発電所としてAP1000を2基、プログレス社はレヴィ・カウンティ原子力発電所、および既存のシェアロン・ハリス原子力発電所・増設分としてAP1000を各2基、建設するための建設・運転一括認可(COL)を米原子力規制委員会(NRC)に申請済みだ。

合併取引は両社の株主による承認のほか、NRC や連邦エネルギー規制委員会および南北カロライナ両州の公益事業委員会の承認が必要で、両社は今年末までに手続きを完了する予定である。

「クリーン・エネで電力の8割を」 米オバマ大統領の一般教書演説

米国のB・オバマ大統領は1月25日、今後1年間の施政方針を示す一般教書演説の中で、「2035年までに原子力を含めたクリーン・エネルギーで米国の電力需要の8割を賄う」との目標を掲げた。

オバマ大統領は昨年1月の一般教書演説と翌月の予算教書演説で、クリーンな新世代原子炉の建設を通じた雇用創出促進や原子炉建設に対する融資保証枠の3倍増を訴えるなど、大胆な原子力支持政策を表明。それに比べて今回の演説では原子力発電の扱いは格段に縮小した。

同大統領はまず、「米国が将来を勝ち取る第一歩は技術革新の奨励だ」と述べ、今後、投資に力を入れるべき分野として①生物医学研究、②情報技術、③クリーン・エネルギー技術を挙げた。中でも、クリーン・エネルギー技術への投資は「ブレイクスルーにより雇用創出につながる」と強調し、2035年までに全米の電力の80%をクリーン・エネルギー源で供給するという新たな目標設定に挑むよう国民に対して要請。「ある人たちは風力と太陽光を求め、またある人々は原子力やクリーンな石炭、天然ガスを欲するだろう」と述べるなど、原子力を改めて再生可能エネルギーと同等に位置付けるとともに、「民主・共和両党が協力してこの目標を実現しよう」呼びかけた。

〔南米〕

ブラジルとアルゼンチンが多目的 研究炉を共同開発

ブラジルとアルゼンチン両国は1月31日、2基の多目的研究炉を共同開発することで合意に達した。

ブラジルのD・ルセフ大統領がアルゼンチンのフェルナンデス大統領を公式訪問した際、両国それぞれの原子力委員会であるCNENとCNEAが具体的に実施協力していくとして、両国の担当大臣が合意文書に署名したものの。放射性同位体の生産や燃料および放射性物質の照射試験、中性子線の研究など多目的に利用するとしているが、炉型や立地サイト、建設スケジュールなどの詳細は明らかにしていない。

両国とも原子力利用については、すでに商業炉が2基ずつ稼働中のほか、アルゼンチンでは重水炉用核燃料サイクルのフロント・エンド施設がほぼ完備。ピルカニエ

ウでは再処理工場も建設中だ。

08年に両国は民生用原子力分野の協力で共同宣言に調印しており、CNENとCNEAが「二国間原子力委員会(COBENA)」を設置。昨年8月には、フェルナンデス大統領とブラジルのルラ・ダシルバ前大統領が両国間の原子力共同プロジェクトを統合し、その実施を促進するようCOBENAに指示していた。

その後、今年の1月1日付けでブラジル初の女性大統領となったルセフ大統領は、就任後初の外国公式訪問先としてアルゼンチンを選択。フェルナンデス大統領も「両国の国益は相互に深く関わっている」と指摘しており、原子力以外にも複数の分野で協力関係を結んだと伝えられている。

〔イタリア〕

原子力発電復活法で国民投票実施へ

イタリアのS・ベルルスコーニ政権が2009年に制定した原子力発電復活法が4月～6月の間に国民投票にかけられることになった。同法の撤回を求める国民投票の実施について、野党が収集した署名を憲法裁判所が1月12日に適格とし、その実施を認めたもの。有権者の過半数が同投票に参加し、かつ賛成票が有効投票の過半数に達した場合、同法は廃止される。

イタリアでは1987年の国民投票により徹底した脱原子力政策を遂行していたが、化石燃料の輸入量削減やEU内でも高額な電気料金の低減を目指す同国議会は09年7月、新たな建設候補地の選定や建設で影響を受ける住民への補償方法の策定など約20年ぶりの原子力発電復活に道筋を開く法案を承認。2013年までに新規原子炉の建設に着手し、20年までに完成させるという目標の下、国内に4基の欧州加圧水型炉(EPR)を建設するFS実施でフランス電力(EDF)と協定を結んだほか、米国とも原子力部門の産業協力で二国間合意締結に至っている。

同国憲法では50万人の有権者または5つの州議会の要求により、(予算や国際条約批准の承認関係などを除く)法律の一部または全体を廃止する国民投票の実施が可能になることから、野党側は昨年夏に必要な署名数の収集活動を展開するなど、国民投票の実施に向けて手続きを進めていた。

〔フランス〕

アレバ社の増資計画、剰余額9.35億ユーロに

仏アレバ社は1月25日、優先株式の販売で総額3,500万ユーロの増資に成功したと発表した。昨年末にクウェート投資庁(KIA)とフランス政府から合計9億ユーロ

口の出資を取り付けたのに続き、1月3～14日までの間、一般投資家から無議決権・優先株の購入申込みを受け付けていた。

同優先株は解約不可で、申込み総数は108万5,535株。申込み率は当初予定の91.15%に及んだ。これにより、同社の全株式の4%という一般投資家の株保有率が維持されるとともに、同社の累積剰余額は9億3,500万ユーロに到達。同優先株の決済と配送、および証券取引市場への上場は1月27日付けとなっている。

アレバ社は次世代原子炉の開発や世界の原子力市場での競争力増強のため、また、フィンランドのオルキオ3号機(EPR)建設工事遅延による経費超過やアレバNP社との合併を解消した独シーメンス社の持分34%の引取り経費に当てるため、今回、15億～30億ユーロの増資を計画。クウェートやカタールなど中東の政府系ファンドや、第3世代の中型原子炉・ATMEA1の開発で提携している三菱重工業などと交渉を重ねていたという。

最終的に昨年末、KIAがアレバ・グループ資本全体の4.8%にあたる6億ユーロの株式取得に合意したほか、フランス政府が3億ユーロを申し出て、約8%だった保有率を10.1%に引き上げた。カタールの政府系ファンドや三菱重工とは出資条件が折り合わなかったほか、フランス電力(EDF)からの増資提案は見送ったと見られている。

今回の合計増資額が目標額に達しなかったこともあり、アレバ社は今後の財政状況により、三菱重工等と再び増資協議を行う可能性もあると伝えられている。

[ポーランド]

閣僚会議が原子力法改正法案を承認

ポーランドの閣僚会議は1月25日、原子力損害賠償規定や原子力庁の設置など、同国初の原子力発電所建設に必要な法的枠組みとなる包括的原子力法改正法案を承認した。今後、議会での審議を経て6月末までの施行を目指す。同閣僚会議はまた、経済省が提出した2030年までの原子力開発利用計画(PPEJ)の現状報告を了承、6月末までに最終版を承認する段取りになっている。閣議後、D・トゥスク首相は、「当初計画どおりに2020年から原子力による発電が可能」と発言しているが、法整備問題のほかに資金調達や人材不足などの課題もあり、昨年9月に経済省が改訂計画を提出した際のように22年にずれ込む(昨年11月の最終案で20年に再修正)との見方も残っている。

この日、閣議決定した原子力法改正法案では、原子力事故時の事業者による賠償措置限度額を3億SDR(約500億円)に引き上げるとともに、原子力施設から出る放射性物質の輸送についても義務事項を導入。これらは

ウィーン条約およびその改訂議定書の規定に準じたと説明している。

また、国際原子力機関(IAEA)の勧告に従って、原子力庁の設置を規定。原子力に関する専門知識の基盤としてポーランドの原子力発電所開発や操業を管理することになる。一般国民の原子力発電に関する知識や教育のシステム創設についても明記しており、事業者は発電所の立地地域に情報センター設置の義務を負うことになる。

一方、経済省が作成したPPEJは原子力発電所の立地候補地やコスト、資金調達計画、放射性廃棄物の管理や国民への広報規則など、2030年までの実行タイム・テーブルを示したものの。

GE 日立、ポーランド企業と協力覚書

GE日立ニュークリア・エナジー(GEH)社は1月26日、ポーランドの大手造船業者であるグダンスク造船所、および欧州のボイラ機器製造業者であるRAFAKO社と協力していくための了解覚書(MOU)に調印した。

ポーランド政府が進めている同国初の原子力発電所建設受注に備えて、地元の大型機器供給チェーンと連携関係を構築するのが主な目的だ。

ポーランドでは国営エネルギー・グループ(PGE)が中心となり、2つのサイトに各300万kW、合計600万kWの原子力発電設備建設を計画。初号機の完成は2020年以降を予定しており、135万kWのABWR(新型BWR)と152万kWのESBWR(高経済性・単純化沸騰水型炉)も最初の2基について採用設計の候補に挙げられている。

GEH社はまた、機器供給のみならず、ポーランドの原子力人材育成にも協力する考えで、今年の夏にはポーランド人大学生を対象とした原子力技術訓練の一環として米国での実務研修を提案する計画だ。

[ベラルーシ]

初の原子力発電所、露の協力で9月に掘削へ

ロシアの総合原子力企業のロスアトム社は1月25日、ベラルーシ初の原子力発電所建設、およびそれと並行して実施する電力網の整備作業の2件について両国が二国間協力協定を結ぶことで同社のS・キリエニコ総裁とベラルーシのM・ミャスニコピッチ首相が合意したと発表した。ロシア側の国内手続きが整えば、2月下旬から3月初旬の間にベラルーシの首都ミンスクで開かれる「ベラルーシ・ロシア連邦国家」の次回会合で調印する見通し。今年9月までに建設契約を締結し、サイトの掘削にかかりたいとしている。

ベラルーシはすでに2009年1月、ロシアのアトムスト

ロイエクスポート(ASE)社を主契約者に選択。第一立地候補地である同国北西部のグロドノ地区オストロベツ村に、AES-2006シリーズ(120万kW級のロシア型PWR)の原子炉2基をターン・キー契約で建設するとしている。

建設費は関係インフラ経費を除いたプラント分だけで60億~70億ドルと試算しており、1、2号機の運開はそれぞれ、2016年と18年に予定。09年末にはベラルーシ側の国内手続きは完了していたが、原子炉建設に関する二国間協定を電力網の整備作業に関する協定とタイアップさせたいとするロシア側の意向を受けて、その作業を待っていたもの。

[ロシア]

新規原発立地点にサイト認可

ロシアの連邦環境・技術・原子力監督庁(ROSTEKHANADZOR)は1月25日、モスクワの東約400kmに位置するニジニ・ノボゴロド州ナバシノ地区を原子力発電所の建設サイトとする認可を、同国の民生用原子力発電会社であるロスエネルゴアトム社に発給した。

FSや公聴会を含めた同サイトでの準備作業は2008年、原子炉建設への投資に関する意志表明書にロスエネルゴアトム社と地元州政府が署名したのを契機に始まっていた。

サイト認可は5年間有効で、限定的なエンジニアリング作業の実施が可能。ロスエネルゴアトム社は今後、ノボボロネジ原子力発電所・2期工事で建設中のAES2006シリーズのVVER(117万kWのロシア型PWR)と同型の原子炉をナバシノ地区で2基、設計・建設する認可の取得に向けて、インフラ建屋や関係構造物、エンジニア用居留地などに関する綿密なエンジニアリング調査の結果を2012年までに原子力監督庁に提出する計画だ。

1、2号機の完成はそれぞれ、2019年と22年に予定している。

[インド]

タラプールで4つ目の再処理工場竣工

インドで4つ目となる再処理施設が1月7日に同国西海岸のタラプールで竣工した。

記念式典で祝辞を述べたM・シン首相は、同国で豊富なトリウムを利用した核燃料サイクル実現に向けた3段階の原子力開発利用計画において、第2ステージである高速増殖炉(FBR)への移行を見据えた再処理工場増設という重要な節目になったと評価した。

カイガ4号機を送電網に接続

インド原子力発電公社(NPCIL)は1月19日、インド南西部カルナタカ地方で建設中だったカイガ原子力発電所4号機(加圧重水炉、22万kW)を国内送電網に接続したと発表した。

昨年11月に初臨界を達成した同炉はインドで20基目の商業炉となり、同国の原子力発電設備容量は478万kWとなった。また、カイガ原子力サイト全体の設備容量は88万kWとなり、タラプール発電所の140万kW、ラジャスタン発電所の118万kWに次ぐ規模に達している。

カイガ発電所はカクラパー、マドラス、ナローラの3原子力発電所と同様、国際原子力機関の保障措置下に入っておらず、インド国産のウラン燃料を使用。発電電力は地元カルナタカのほか、アンドラ・プラデシュ、タミルナドゥなどの地域に供給される。

VVERを導入したクダングラム発電所の健全性試験が完了

インド原子力発電公社(NPCIL)は1月25日、2002年からインド南端で建設中だったクダングラム原子力発電所で1号機・格納容器の健全性試験が成功裏に完了したと発表した。

ロシア製PWR(VVER)を導入した同発電所では、1988年に印露両国が締結した既存の協力協定の下、アトムストロイエクスポート(ASE)社が100万kW級の最初の2基の建設工事を実施中。現在は、原子炉や格納容器、1次系および2次系配管の健全性や強度などについて、起動前の様々な実証試験を行っている。

格納容器機密性の健全性試験には10日ほどを費やした模様で、4.6kg/cm²の圧力下で容器の安全確保という設計意図が十分満たされることを確認したとしている。

NPCILでは今年の第1四半期中にも1号機の初臨界を達成する予定。同2号機については年末頃になると予想している。

なお、同発電所サイトではVVERをさらに4基、増設することで08年に印露両国が合意に達したほか、09年にはインド西ベンガルのハリプールでも100万kW級VVERを6基建設することで枠組み協定を締結済みだ。

[中国]

再処理パイロット・プラントでホット試験に成功

中国核工業集团公司(CNNC)傘下の中核404有限公司

は1月3日、甘粛省蘭州で調整・試験中だった使用済み燃料再処理パイロット・プラントで、実際の使用済み燃料を使ったホット試験に成功したと発表した。

原子力開発利用において核燃料サイクルの確立を目指す中国は、ゴビ砂漠南辺に位置する甘粛省で大規模な商用再処理施設の建設を計画しており、2007年に仏アレバ社にFS実施を依頼、昨年11月にはこの件を商業契約に進める最終段階の協力支援で合意。「中国は独自設計、独自建設、独自開発で技術的なブレイクスルーを遂げ、フランス、英国、ロシア、日本、インドなどに続いて再処理技術を会得した」として自信を深めている。

新規2地点で建設の準備作業

中国核工業集团公司(CNNC)傘下の遼寧核電有限公司は1月8日、遼寧省の沿岸部に位置する徐大堡で基礎掘削の前段階の起工式を行った。

徐大堡原子力発電所では100万kW級PWRを合計6基建設する計画で、第1期分の2基について準備作業を実施する。同計画については国家発展改革委員会が、田湾原子力発電所3、4号機(VVER2基)建設計画とともに第12次5か年開発計画の最初の案件として、5日に事前作業の実施を承認。今年9月に1号機のコンクリート打設を行う予定だ。

採用炉型については、まだ正式に発表されていないが、今回の作業はCNNCの子会社として発電所建設の初期作業や設計・調達・建設(EPC)等を担当する中国核電工程有限公司(CNPE)が受注している。

一方、国家発展改革委員会は中国広東核電集团有限公司(CGNPC)に対しては昨年12月29日、広東省東部に位置する汕尾市管轄の陸豊における準備作業実施を正式に承認した。

陸豊原子力発電所計画では、中国がフランスの技術をベースに開発した100万kW級のCPR1000を6基建設する予定で、今回の認可により1期工事の2基について作業が開始されることになる。

[マレーシア]

原子力導入計画で開発担当会社を設立

マレーシアのナジブ・ラザク首相は1月11日、原子力発電開発利用計画など19件の投資プロジェクト(EPP)を公表し、2021年頃の運転開始を目指して同計画を担当する原子力会社の創設を明らかにした。

火力発電で電力の安定供給を図ってきた同国も、天然

資源の枯渇問題が現実味を帯びてきたことなどから、周辺国に10年以上遅れてようやく原子力導入に本腰を入れる。100万kWの原子炉2基建設で2016年にも入札を実施するとの情報もあり、すでに韓国が建設技術協力を提案する一方、日本も片山善博総務相が13日にナジブ首相に原子炉建設を含めたインフラ整備協力を申し出るなど、受注に向けた働きかけを活発化している。

ナジブ首相が公表したEPPは、同国経済改革プログラム(EPT)における10の国家重要経済分野に含まれている。原子力導入に関してはまず、半島部のエネルギー供給構造を多様化するとともに将来の需要を賄い得るエネルギー源の開発可能性調査を実施中だと説明。同イニシアチブを牽引し、将来の原子力発電所の建設に向けた調査・計画を立案するため、マレーシア原子力会社を設立するとしている。プロジェクトの準備段階から運転開始まで、11~12年間の開発計画をリードする同社の最高経営責任者(CEO)には、国有電力会社(TNB)のM・ザムザム原子力部長を任命した。

建設費の見積もりに関しては、昨年6月に政府のエネルギー・グリーン・テクノロジー・水省(KeTTHA)が、人材養成や規制基盤構築などのインフラ経費や研究開発費を除いて、100万kW級原子炉で25億~40億という試算結果を明らかにしている。

また、建設サイトの選定および原子炉の安全確保に関しては、国際原子力機関(IAEA)など国際的な基準を採用して行う旨、表明している。

[国際]

米口原子力協定が発効

米務省は1月12日、ロシアとの二国間原子力平和利用協力協定が発効したと発表した。核を保有する2超大国が戦略核兵器の削減など核不拡散体制の強化で協力するだけでなく、民生用原子力分野でも米国産業界からの原子力機器や技術の輸出、ロシア側からは原子炉用燃料の供給など、双方が企業レベルで長期にわたって商業的な利益を得るための基盤がようやく整った。

同協定により、両国は軍縮・核不拡散支援のための技術開発を共同で実施する条件が整うほか、研究炉を高濃縮ウランから低濃縮ウランに仕様転換するのに必要な法的枠組みが整備される。

また、米国の国立研究所や原子力産業界がロシア側と核拡散リスクの少ない原子炉設計で協力したり、燃料加工や革新的燃料、新型炉など新たな協力分野の開拓を目的とした先進的共同研究開発プロジェクトを実施するための条件が整備される。

多国間設計評価プログラム(MDEP)とその影響

1. シビアアクシデントを対象とした規制

日本原子力研究開発機構 辻倉 米蔵,
原子力安全・保安院 大島 俊之, 原子力安全基盤機構 阿部 清治

原子力安全部会は、「2010年秋の大会」において「多国間設計評価プログラム(MDEP)を巡る原子炉安全の諸課題—『原子力安全の論理』の検討に向けて—」と題する企画セッションを開催し、座長・辻倉の下でシビアアクシデント問題を対象として以下の3件の報告を行った。

- ・報告1：多国間設計評価プログラム(MDEP)について(大島)
- ・報告2：シビアアクシデントと安全目標に関する論点(阿部)
- ・報告3：世界標準と安全設計について(東芝・佐藤 崇)

本稿はその要点をまとめたものであり、Part 1とPart 2で構成される。Part 1は報告1および2に対応するもので、MDEPの活動を中心に国際的な規制改革の動向を紹介するとともに、今後、シビアアクシデント規制を考えていく上での課題を整理する。Part 2(次号で紹介)は報告3に対応するもので、そうした国際動向の中で世界標準を目指す新設計炉の一案を紹介する。

I. はじめに

原子力産業がグローバル化する中、新規の原子炉設計評価における規制当局間の協力を進め、新設の原子炉に対する安全規制の国際的調和(Harmonization)を目指して、多国間設計評価プログラム(Multinational Design Evaluation Programme: MDEP)なる国際活動が進められている¹⁾。この活動には、日本を含む10か国の規制当局が参加している。事務局はOECD原子力機関(Nuclear Energy Agency: NEA)が務めている。主要な会合にはIAEAも参加しており、MDEPでの議論を通じて得られた共通認識は将来、IAEA国際基準に反映されることが予定されている。

MDEPでの重要な検討課題のひとつに、シビアアクシデントに対する規制がある。シビアアクシデント問題の経緯についてはⅢ-1節で述べるが、最初のきっかけは1979年に米国スリーマイル島2号機で起きた炉心が溶融する事故であり、シビアアクシデント対策の重要性が国際共通の認識になった。その後1986年には、旧ソ連チェルノブイリ4号機で多くの死者と周辺環境の放射能汚染をもたらす大事故が起きた。設計の違いから、チェルノ

ブイリと同様な事故は我が国では起こりえないものの、万一このような事故が起ると周辺公衆に広く大きな健康影響を与え得ることが再認識された。

こうした事故を契機として、シビアアクシデント時に原子炉や格納容器内で起き得る様々な事象や現象について広範な研究がなされ、多くの知見が蓄積されてきた。また、これと並行して確率論的安全評価(Probabilistic Safety Assessment: PSA)の手法が整備され、シビアアクシデントへの合理的な対策を考えることも可能になった。我が国では1990年代に、念には念を入れるとの考えの下、シビアアクシデント時のリスクをさらに低減させるとの観点から、各発電所においてアクシデントマネジメントの整備が進められた^{2,3)}。

近年になって、IAEA, MDEP, 西欧原子力規制者会議(Western Europe Nuclear Regulator Association: WENRA)等で、シビアアクシデントの規制上の位置づけに関する議論が再び進んでいる。原子力安全部会はこうした状況を踏まえ、今後、我が国でシビアアクシデント問題を考えていく上で、関係者に共通の認識を持ってもらうことを期待して、企画セッションを開いたものである。(辻倉米蔵)

Ⅱ. 多国間設計評価プログラム MDEP

1. MDEPの目的および経緯

MDEPは、新規に原子力発電所の建設を検討、計画している国の規制当局の間で、規制要件の収斂

Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) and its Impacts—Part 1. On the Regulation for Severe Accidents: Yonezo TSUJIKURA, Toshiyuki OSHIMA, Kiyoharu ABE.

(2011年 1月21日 受理)

(Convergence)を図ることを目的とした国際協力プログラムである¹⁾。そこでは、新型炉に関する設計評価の経験・知識を共有し、規制プロセスの効率化と実効性の向上に係る評価を図ることにより、安全審査の質と安全レベルの向上を目指している。2005年に米国NRCのディアズ委員長(当時)がOECD/NEAの場において、新規に導入が予定されていた原子炉の安全に係る情報交換等を目的としたプログラムを提案した。この提案を受け、10か国がウィーンで計画会合を開催し、EPRに関する安全評価についての多国間の協力と、既存の規制の枠組みの中での規格基準および安全目標に関する協力を推進することを目指すこととした。

まずはプログラムの実現可能性を評価するために、2006年秋から1年間、パイロットプロジェクトが実施された。そこでは、非常用炉心冷却系、シビアアクシデント、デジタル計装制御(I&C)を例にとり、規制の収斂が図れるかどうかを検討された。このパイロットプロジェクトの結果、新型炉に関して多国間で協力を継続することの意義が確認された。

2008年3月、MDEPが当対象とする課題(第1表に示す)とMDEPの体制について参加各国が合意し、当初は2年間の予定で本格的なプログラムが開始された。次いで2009年3月に、MDEPの目標を達成するためプログラムを少なくとも5年以上に延長することが合意された。

2. MDEPの体制等

MDEPではプログラムを効率的かつ効果的に推進するため、付託事項(Terms of Reference)を定めている。

MDEPへの参加要件は、新型炉の導入が決定されているか、近い将来に新型炉を導入する確固とした計画がある国、それと新型炉のメーカーが所在する国である。参

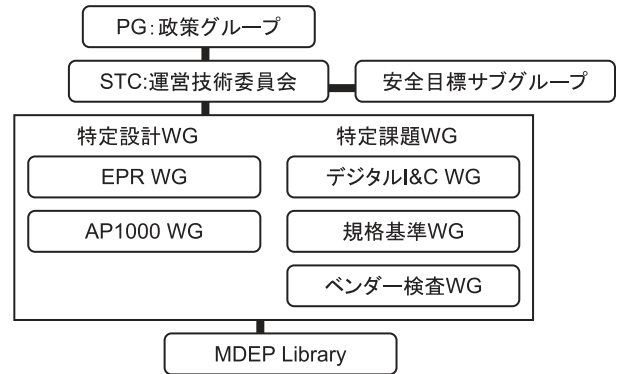
第1表 MDEPで取り組む10課題と担当組織^{a)1)}

特定設計についての情報交換(特定設計WG)
多国間ベンダー検査(VICWG)
圧力バウンダリー構造機器の規格基準(CSWG)
デジタル計装制御機器の規格(DICWG)
シビアアクシデント(STC→特定設計WG) ^{b)}
安全目標(STC直属の安全目標サブグループ)
運転経験の新設計への反映(CNRA/WGRNR) ^{c)}
建設中の経験の審査への反映(CNRA/WGRNR) ^{c)}
情報共有のための法的枠組み
電子図書館(MDEP Library)

^{a)}WG: Working Group。MDEP内各組織の略称や担当業務についてはII-2節参照。

^{b)}担当は当初STC、後に特定設計WGに変更。

^{c)}CNRA/WGRNR: OECD/NEA原子力規制活動委員会の新設炉規制WG。



第1図 MDEPの体制¹⁾

加国はMDEP発足以来、カナダ、中国、フィンランド、フランス、日本、韓国、ロシア、南アフリカ共和国、英国、米国の10か国であり、IAEAも主要活動に常時参加している。

MDEPの組織としては、第1図に示すように、最上位に政策グループ(Policy Group:PG)があり、参加機関の代表者で構成されている。その下にプログラム全体の管理・運営を行う運営技術委員会(Steering Technical Committee:STC)が設置され、参加機関の上級者で構成されている。STCの下にはそれぞれの課題に取り組むワーキンググループ(WG)が設置されている。WGには、特定設計WG(Design Specific Working Groups)と特定課題WG(Issue Specific Working Groups)がある。

PGは、MDEPの全体方針に関してSTCにガイダンスを提供し、プログラムの進捗を確認する。PG議長は、MDEP発足以来、フランス原子力安全機関(ASN)のラコスト委員長である。STCは、具体的課題の検討のため、技術的な課題や方法等についてWGに指示している。STC議長は、これもMDEP発足時から、米国NRC新設炉規制局のホラハン次長が務めている。

MDEPの成果は、その要点が毎年の報告書によって公開されている。また、2009年9月には、MDEPに参加していない国の上級規制者や、産業界、学協会の代表も招へいたMDEPカンファレンスが開催され、23か国170名が参加している。

3. 各ワーキンググループの活動

(1) 特定設計ワーキンググループ

特定設計WGは、それぞれの型式の新型炉に関する設計審査と建設に関する知見の共有と協力を目的として活動しており、当該新型炉を建設中、あるいは具体的な建設計画がある国に参加資格がある。特定設計WGの設置には、3か国以上の参加という条件がある(2か国ならマルチの協力でなく2国間協力の枠組みを使えばよいとの認識による)。現在、EPRとAP1000の2つの炉型について設置されている。

EPR WGは、カナダ、中国、フィンランド、フラン

ス、英国、米国が参加しており、4つのサブグループを設け、デジタルI&C、PSA、シビアアクシデント等を中心に議論が進んでいる。

AP 1000 WGには、カナダ、中国、英国、米国が参加しており、3つのサブグループを設け、金属・複合材料を使用したモジュール型格納容器の審査、爆裂バルブ(Squib Valves)等を中心に議論が進んでいる。

特定設計WGはメーカー(ベンダー)の機微情報等を取り扱うので、詳細な検討結果はWG外には非公開であるが、一般性を有する結論等は随時STCにも報告されている。

(2) 特定課題ワーキンググループ

特定課題WGは、特定の新型炉に限定せず、共通的な課題に関して、参加各国の規制当局の経験・知見を共有するとともに、規制要求や規制基準の調和を促すことを目的として活動している。現在は、ベンダー検査、規格基準、デジタルI&Cに関するWGがある。

ベンダー検査WGは、パイロットプロジェクトの一部として、原子力発電所で使用される設備の製造工程に伴う規制要求と審査について検討した。検討結果を踏まえ、各国のベンダー検査制度についての共通事項および相違事項の理解を深め、他国の検査に同行するなどの活動を実施している。また、ベンダー検査を行うに当たっての品質保証(QA)要求について意見交換を行っている。

規格基準WGは、設計に係る規制要求の収斂を目指し、まず圧力バウンダリー機器の設計に関する規格基準の比較検討を実施している。このWGの活動には、各国の規格基準作成団体(Standards Development Organizations)も参加しており、これまでクラス1機器等における、米国(ASME)、フランス(RCC-M)、日本(機械学会)、韓国(KEPIC)、カナダ(CSA)の規格基準を比較している。

デジタルI&C WGは、デジタルI&Cに関する規制要求の統合化を目指し、まず参加各国の知見、要望等を整理し、優先順位を決定した上で、規制上の共通見解(Common Positions)の作成を進めている。同WGでは、IEEEおよびIECと密接に協力し、世界共通の規格基準の策定に貢献している。

4. 安全目標サブグループ

MDEPパイロットプロジェクトの10課題の一つとして、各国の安全目標(Safety Goals: 確率論的安全目標を含むが、新型炉が満足すべき規制要求のうち高次のもので、ほとんどは決定論的な要求)がどのように導かれているか比較検討し、どの程度同等の目標となっているかを検討することとしていた。この検討は、WGを設置せず、STCのメンバーを中心とするサブグループによってなされた。

安全目標サブグループの活動は、(1)各国の安全レベルの要求についてのレビュー、(2)決定論と確率論の役割の明確化、(3)安全目標に関連した活動を行っている他の組織との連携、とされた。

高次規制要求としての安全目標あるいは確率論的安全目標については、多くの国際機関が関与している。IAEAの国際原子力安全諮問グループ(INSAG)では、確率論的安全目標やリスク情報を参考にした意思決定等に係る報告書を取りまとめている。過去には、INSAG-12で原子力発電所の基本安全原則を取りまとめた⁴⁾。最新のINSAG-25では、安全上の意思決定に確率論と決定論をどう統合化して用いるかについて、「A Framework for Integrated Risk-informed Decision Making Process」なる報告書を取りまとめ中である⁵⁾。OECD/NEAにおいては、新設炉規制WG(WGRNR)において、新型炉の立地、審査、規制監督に関わる規制要件を検討中である。また、原子力施設安全委員会(CSNI)のリスク評価WG(WGRisk)は、各国の確率論的安全目標の現状を調査、整理している⁶⁾。西欧原子力規制者会議(WENRA)では、その下部組織である原子炉ハーモナイゼーションWG(Reactor Harmonization Working Group: RHWG)において、新型炉に対する安全目標(Safety Objectives: ここでいう「安全目標」も、新型炉が満足すべき規制要求のうち高次のもの)をまとめている⁷⁾。

MDEP安全目標サブグループは、これらの機関との議論を行った上で、高次規制要求としてどのようなものがあり、それらはどのような構成になっているかを示す「Framework 文書」を作成している。具体的な安全目標の案については、WENRAの安全目標とともにⅢ-3節に記述する。

今後は、IAEAが2011年4月に安全目標に関する専門家会合を開催する予定であり、MDEPの成果についても、この会合で報告される予定である。(大島俊之)

Ⅲ. シビアアクシデントと安全目標に関する論点

1. シビアアクシデント問題の経緯

原子力安全の確保は、その昔は安全設計に重心が置かれ、十分な安全性の確認も設計基準事故についての検討がほとんどであった。しかしながら、スリーマイル島の事故、チェルノブイリ4号機の事故で、それまでは想像でしかなかったシビアアクシデントが現実の事故となった。このため、シビアアクシデントが周辺公衆に及ぼすリスクを低減する方策を用意することが急務となり、1990年代には各国でシビアアクシデントへの対処策、アクシデントマネジメントが用意されるに至った。ここでアクシデントマネジメントは、深層防護(Defence in Depth)において、設計における3つのレベルの防護に続く第4レベルの防護と位置付けられている。

我が国では、1987年に原子力安全委員会(以下、「安全委」)が原子炉安全基準専門部会に共通問題懇談会を設け、シビアアクシデントに対する考え方、PSA、シビアアクシデントに対する格納容器の機能等について検討することとした。安全委は同懇談会での議論に基づき、1992年にシビアアクシデントの発生防止および影響緩和のためのアクシデントマネジメントの整備を勧告した²⁾。

これを受けて当時の規制行政庁であった旧通商産業省は、同年7月に「アクシデントマネジメントの今後の進め方について」を発表した³⁾。それによれば、同省は、我が国においてはシビアアクシデントの発生の可能性は十分小さいので、アクシデントマネジメントは電力会社が自主保安の一環として実施するものであると位置づけ、したがって、アクシデントマネジメントがなされているか否か、あるいはその具体的対策内容のいかんによって、原子炉の設置または運転を制約するような規制的措施を要求しないとした。

第2図は、アクシデントマネジメントによるリスクの低減を模式化したものであり、安全設計での想定を超えて、原子炉の炉心が損傷するようなシビアアクシデントが、起きそうになってしまった、あるいは起きてしまったあとの対処策である⁸⁾。

対処策の第1は炉心損傷の発生防止である。万一、設計の想定を超えた事象が発生し、あらかじめ設計で考えていた安全系の設備だけでは事故の拡大が困難な場合には、安全系以外の既存設備を有効利用することによって、あるいは新たに付け加える設備によって、炉心が損傷するのを防止しようとするのである。

炉心が損傷したあとも、その拡大を防止し影響を緩和するために、様々な対処策が考えられる。炉心が溶融すると、その一部分もしくは大部分が原子炉容器の底部に落下すると考えられる。溶融炉心からの熱によって原子炉容器底部鏡板が溶融貫通すると、格納容器内で様々な現象が起きて、事故は著しく複雑なものとなる。そう

なる前に、溶融炉心と原子炉容器を冷却し、溶融炉心を原子炉容器内に閉じ込めたままで事故を収束させる(In-vessel Retention: IVR)ことが図られている。

次の段階は、放射性物質放出に対する最後の工学的障壁である格納容器が破損しないための対処策である。たとえば、格納容器が内圧で破損するような事態が予見される場合に、放射能放出に先立ってあらかじめ格納容器を開放して圧力を下げることとか、安全系以外の水源を用いて格納容器を冷却すること等が考案されている。

ところで、アクシデントマネジメントの整備当時から、国内外の関係者は、いずれはシビアアクシデントに設計で対処することが必要と認識していた(たとえば、後述のIAEA安全基準)。しかし、原子力の停滞とともにこの課題の検討も停滞していた。

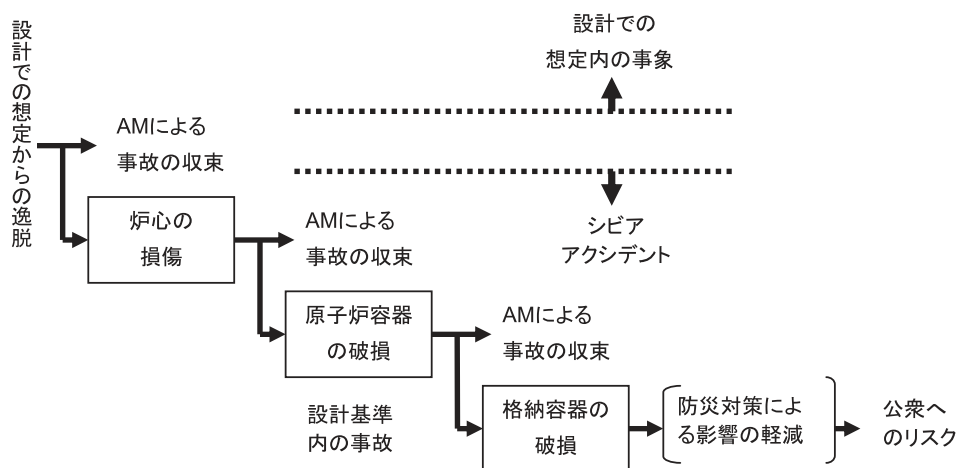
近年になって、原子力の復興に伴う新設計炉の提案とともに、シビアアクシデント対処設計を規制要件化することも国際的検討課題になった。特に、II章で紹介したように、次の2つの国際活動では、シビアアクシデント対処設計を含め、今後の発電用原子炉に対する規制要件が広く議論されている：

- ・多国間設計評価プログラム(MDEP)
- ・西欧原子力規制者会議(WENRA)

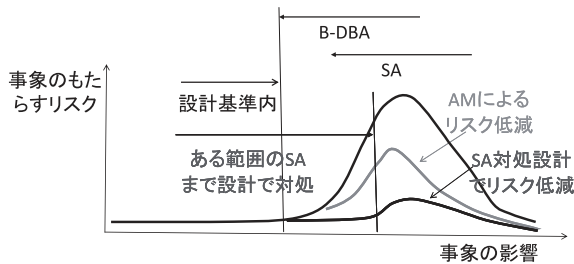
ここでは、ある範囲のシビアアクシデントには設計で対処すること、そうした設計の妥当性は規制当局が確認することが必要とされている。こうした状況から、国内でも、この課題について検討が始められている。

2. シビアアクシデント対処設計の規制要件化

シビアアクシデント対策の目的は、「残存リスク(Residual Risk)」の低減である。ここで残存リスクについて説明しておく、原子力施設の安全は適切な安全設計と事業者による安全管理によって担保されるが、どんなに安全設計・安全管理を強化しても何がしかのリスクは残ってしまう。これが残存リスクであり、原子力発電所のPSAで定量評価されるものである。



第2図 アクシデントマネジメントの位置付け⁸⁾



第3図 設計基準, AM, シビアアクシデント
対処設計と残存リスクの関係

第3図は、設計基準、アクシデントマネジメント(AM)、シビアアクシデント対処設計と、残存リスクの関係を概念として示すものである。

従来の設計の最大の目標はシビアアクシデントを防止することと、シビアアクシデントに至る前はリスクが十分に抑制されることである。安全審査では、いくつもの設計基準事故(Design Basis Accidents:DBA)について解析を行い、その影響があらかじめ設定された判断基準を満足することを確認する。これは、シビアアクシデントが起きる手前で事故が収束することを確認することでもある。かくして設計基準の範囲内では、リスクは十分小さく抑えられている。

しかし、どんなに安全設計・安全管理を強化しても、設計基準を超える事故(Beyond DBA:B-DBA)が起きる可能性は残り、それが進展してシビアアクシデントに至る可能性もある。従来の設計はシビアアクシデントを対象にしていなかったから、原子力発電所のリスクとしては、たとえその発生頻度が低くてもシビアアクシデントの寄与が大きくなる。で、万一設計の想定を超えるような事故が発生したときに、既存設備の有効利用、あるいは最小限の追加設備によって事故の影響緩和、ひいてはリスクの低減を図るのがアクシデントマネジメントである。

これに対して、シビアアクシデント対処設計とは、はじめからある範囲のシビアアクシデントを設計で想定する事象に含め、その影響を抑制するための具体的設備を用意することである。これは、設計基準をずっと過酷な側に移すことを意味する。新しい設計基準の内側では当然にリスクが抑制されることになる。

設計基準そのものを変えることであるから、用語の方も従来のDBA、B-DBAでは混乱を起す。IAEAの国際基準委員会(Commission of Safety Standards:CSS)の下部委員会である原子力施設基準委員会(Nuclear Safety Standard Committee:NUSSC)では既にこうした用語の再定義も議論されている。

さて、それではシビアアクシデントの対処設計の規制要件化検討はどのような方向性で考えるべきかといえは、おおむね次のようなものではないかと思われる。

- (1) 国際的動向を把握し、可能な限り同じ方向性を

もった規制が必要であろう。もし、それと異なる規制をするなら、それでいいと説明できることが必要になろう。

- (2) 一方で、日本に特有の状況を十分考慮に入れることが必要であろう。すなわち、現行規制(段階規制、性能規定化など)の枠組みと整合を図ることや、日本の施設でのリスク支配因子に合わせた考慮、地元等への説明性も重要であろう。

3. 国際的な動向

シビアアクシデントの対処設計の規制要件化は国際的動向に沿って検討すべしと述べた。新設炉が満たすべき安全要件については、以前から多くの国際機関・国際合会で議論されている。この問題についての国際共通認識は、おおむね次のように整理できる。

- ・ある範囲のシビアアクシデントに対しては、設計で対処することが必要。
- ・新設炉は既設炉より安全であるべし。
- ・シビアアクシデントのリスクを評価するPSAの結果の利用は当然。
- ・しかしながら、PSA結果の絶対値を判断基準(Criteria)と比べるような規制には慎重であるべし。

まず、IAEA安全基準では、ずっと以前から次の要件が示されている⁹⁾。「設計は、その目的のひとつとして、設計基準事故および選定されたシビアアクシデントの結果としての放射線被ばくの発生を防止し、それに失敗したときは、影響を緩和すること。」

次いでMDEPであるが、新設炉に対する「安全目標(Safety Goals)」として「Framework文書」が提案されている¹⁾。ただし、II-4節で述べられているように、ここでいう「安全目標」は、いわゆる確率論的安全目標ではなく、新設炉が満たすべき安全要件のうち高次のものであり、大部分は決定論的な要件である。そこでは確率論的安全目標とその利用法について紹介するとともに、新設炉に求めるべき安全要件としてこういうものがある、それらの相互関係はこうである、という要件全体の枠組みを提案している。各項目の内容についての具体的提案ではない。具体的要件は、IAEA/CSSによって議論・決定されるべきものとの認識による。

MDEPでの新設炉が満たすべき要求事項としては、以下の項目が挙げられている。

- (1) 原子力発電施設からのリスクが既存のリスクに対して僅かな増加しかもたらさないこと。
- (2) IAEA基本的安全基準(Basic Safety Standards:BSS)に適合する従事者および公衆のリスク限度。
- (3) 事故による放射性物質の敷地外放出の可能性が現実的な範囲で十分小さいこと。
- (4) 発生し得るいかなる敷地外放出においても一定限

度以上の緊急時対応を要さないこと。

(5) 安全目標を超える改善が適切な費用で実施できるなら、その改善を実施すること。

一方 WENRA は、WENRA 参加国の新設炉が満足すべき「安全目標(Safety Objectives)」をまとめている⁷⁾。WENRA の安全目標も、WENRA 地域の新設炉が達成すべき安全要件である。これらは、IAEA の基本的安全原則(Fundamental Safety Principles)¹⁰⁾の各項を新設炉に対する要件として具体化したものであり、もっぱら定性的あるいは決定論的なものであり、次の目標が挙げられている。

O1：通常運転，異常事象，事故発生防止

- ・通常運転を維持する機能の向上による異常事象発生頻度の低減
- ・異常事象を制御する機能の向上による事故への拡大可能性の低減

O2：炉心溶解を伴わない事故

- ・敷地外への放射線影響は、ゼロもしくは僅かの影響のみ
- ・合理的に達成可能な限り、炉心損傷頻度および放射性物質放出量の低減
- ・立地および設計において、外的ハザードおよび意図的行為の影響を低減することを考慮

O3：炉心溶解を伴う事故

- ・早期もしくは大量の放出に至るような炉心溶解事故を実際になくす(Practically eliminated)こと、また、そこまでいかない事故については最小限の敷地外対応で済むように設計で対処することによる、潜在的な放射能放出の低減

O4：深層防護の全レベルの間での独立性

- ・合理的に達成可能な限り、特に、多様性の採用により、深層防護の全レベルの間での独立性の向上

ここで、目標O3は、深層防護の第4レベルに設計での対処を求めるものである。

4. 確率論的安全目標

PSA の結果や確率論的安全目標を今後の規制にどう用いるかは現在でも大きな検討課題である。MDEP と WENRA の安全目標の間にも大きな相違点がある。MDEP では、決して個別プラントの安全を直接判断するクライテリアとして用いることは意図しなくとも、まず最初に達成すべき安全のレベルとして確率論的安全目標を置き、それを達成するための規制要件の枠組みを描いている。これに対して WENRA では、確率論的安全目標は置かずに IAEA の基本的安全原則から新設炉に対する上位規制要件を定め、PSA の利用は補足的な位置付けになっている。

我が国においては、安全委が安全目標(ここでは確率論的安全目標)の提案を「中間とりまとめ」として示して

いる¹¹⁾。これは定性的目標と定量的目標からなり、定量的目標は以下のように記述されている。

- ・原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる、施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。
- ・原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

また、原子力発電所に対しては、以下の性能目標も導出されている¹²⁾。

- ・炉心損傷頻度(CDF)： 10^{-4} /年
- ・格納容器破損頻度(CFF)： 10^{-5} /年

安全目標では、その数字とともに、それをどう使うかが重要である。我が国の安全目標案では、「安全目標は、まずは規制体系の合理性、整合性といった各種規制活動の全体にわたる判断の参考として適用し、個別の施設に対する規制等、より踏み込んだ適用は、安全目標適用の経験を積んだ段階で着手するのが適切」、「(安全目標を)満足していない施設は不安全と直ちに結論付けることはせず、……規制の見直しが行われる」、「個別の施設が安全かどうかの判断は、こうして見直された規制体系に基づいてなされる」と、安全目標の当面の適用のあり方を定めている。

各国の確率論的安全目標については、II章に述べたように、OECD/NEA/CSNI のリスク評価WG(WGRisk)が広範な調査を行っている⁶⁾。これは、単に数字の比較でなく、その利用目的、数字の根拠等をレビューしたものである。目標のレベルとしては、定性的目標、定量的健康影響目標や、施設に注目しての炉心損傷頻度や放射能放出頻度などに整理されている。炉心損傷頻度については、既設炉は、ほとんどの国で目標値が 10^{-4} /炉・年ないし 10^{-5} /炉・年。新設炉は 10^{-5} /炉・年とする国の方が多数である。放射能放出頻度(あるいは格納容器破損頻度)については、既設炉はほとんどの国が 10^{-5} /炉・年、新設炉は半数ほどの国が 10^{-6} /炉・年となっている。

5. 検討すべき事項

シビアアクシデント対処設計を規制要件化することを検討するに当たっては、上述の国内外の動向を参考にしながら、多くの事項について検討が必要である。以下は単に、検討すべき事項の列挙である。各項目について具体的にどうするかは今後の議論を待ちたい：

- ・シビアアクシデント対処設計の要求は、そもそもリスクの適切な抑制のための要求なのか、それとも設計における第4レベルの防護なのか？
- ・前者の場合、リスクが小さければシビアアクシデント対処設計は不要か？

- ・後者の場合、炉心溶融後にどんな安全機能を要求するか？(原子炉冷却系の減圧、炉内での炉心融体の冷却、炉外での炉心融体の冷却、格納容器の冷却・減圧など)
- ・段階規制におけるどの段階で、また、どのような方法で、シビアアクシデント対処設計の妥当性を確認するか？
- ・シビアアクシデント対処設計はどこまでを性能要求にし、どこからを詳細規定にするか？
- ・要求の方法は、安全委の指針(設計指針、評価指針、その他)改訂か、従来通り(実効的な要求としての)アクシデントマネジメントか、それとも別の形か？
- ・設計指針の場合、個々の安全機能の妥当性はどうか判断するか？
- ・評価指針の場合、設計基準シビアアクシデントシーケンス、解析の方法、判断基準はどうやって決めるか？
- ・立地指針、防災指針との整合性あるいは役割分担を説明できるか？(格納容器破損までの許容時間との関係など)
- ・PSA 結果の提出は要求するか？要求する場合、段階規制におけるどの段階で受け取るか？また、受け取った結果はどのように用いるか？
- ・新設炉への要求として、世界標準に合致するか？
- ・既設炉にどこまでの要求をすべきか？(法制の問題、確率論的安全目標との関係、費用対効果を考慮しての合理性)
- ・我が国の確率論的安全目標について、新設計炉への適用等、検討すべき事項が残っていないか？
- ・新設炉と既設炉で要求のレベルが異なった場合、どう説明できるか？
- ・事業者が特定されない段階で、安全設計のレビューだけ行うことは可能か？

これらの各項目についてはもう少し丁寧に解説が必要であろうが、ページ数の制限もあるので、最初の「リスクの抑制か、設計における第4レベルの防護か」という項目についてのみ、簡単な解説を加える。

シビアアクシデントのリスクを低減するには様々な方策が考えられる。リスク評価結果を小さくするためだけでなく、深層防護の前段の方の対策、たとえば、非常用ディーゼル発電機を増やすことや、炉心冷却のための水源を増やすことなどが、一番明瞭な方策である。これに対して後段の対策は、リスク低減効果が明瞭でないことがある。

たとえば、アクシデントマネジメント策としては第2図にも含まれているが、「炉心損傷後の原子炉容器の溶融貫通防止(IVR)」がある。しかし、炉心損傷時にIVRが成功する条件付き確率は一般にそれほど大きくない。水がないから炉心損傷になるのであり、水がなければ

IVRもできないからである。同様に、これまでに実施されたPSAは、炉心損傷時に格納容器が破損する条件付き確率がなかなか十分小さくならないことを示している。多くの水源は炉心冷却と格納容器冷却に共通に使えるものなので、事故シナリオによっては、炉心が冷却できないなら格納容器も冷却できないことになるからである。加えて、炉心損傷後の現象は複雑極まりないから、炉心損傷後の状態に対する設計は本当に有効かという不確実さもある。

しかし一方で、深層防護の考え方は、各レベルにおいて有効な防護策を講じることによって(計算上、だけではなく)確実にリスクが小さくなるというものである。IAEAの基本安全原則では、「原則8：事故の発生防止」に深層防護についての記述があるが、そこでは「防護レベル間の独立性」が要求されている¹⁰⁾。WENRAの目標O4は、これに忠実に対応するものである⁷⁾。新設計炉によっては、IVRのために、炉心損傷後にだけ専用用いる水源を用意する(その水は炉心損傷防止には用いないことになる)との提案もある。なお、MDEPの安全目標には「防護レベル間の独立性」は入っていない。これも、MDEPとWENRAの安全目標の顕著な相違点である。

国際的趨勢としては、単にリスク評価結果を小さくするのではなく、設計における第4レベルの防護に向かっているが、両者の得失については国内でも議論が必要と思われる。

6. まとめ

原子力発電所は、従来の設計基準事故への対応で既に十分な安全が確保されている。しかし、「念には念を入れる」との考えの下、1990年代に全軽水炉でアクシデントマネジメントを整備した。近年、国際的な原子力利用の復興に合わせ、シビアアクシデント対処設計の規制要件化の動きがある。我が国でもシビアアクシデントのリスクが十分小さいことを、事業者の自主保安にとどまらず、規制において適切に確認する枠組みが必要になっている。シビアアクシデントに対する規制については多くの検討課題がある。こうした課題を包括的に検討するためには、各分野の専門家の協力が必要である。

(阿部清治)

IV. おわりに

シビアアクシデントに係る規制のあり方は我が国でも重要な検討課題になっている。この問題を考えるに当たっては、Ⅲ-2節にもあるように、可能な限り国際的な共通認識に沿ったものであるとともに、国内の状況に合わせる必要があると考える。「2010年秋の大会」での原子力安全部会企画セッションは今後、シビアアクシデント問題を総合的に検討するのに資することを目的として開

催したものである。企画セッションでの講演,あるいは今回の記事により,シビアアクシデント問題に係る過去の経緯から最新の状況,多くの課題の相互関係等が俯瞰的にとらえられることを期待している。(辻倉米蔵)

—参考資料—

- 1) OECD/NEA, *Multinational Design Evaluation Programme 2009 Annual Report*, (2010.6).
- 2) 原子力安全委員会, 発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメントについて, (1992.5).
- 3) 通商産業省資源エネルギー庁, アクシデントマネジメントの今後の進め方について, (1992.7).
- 4) IAEA, *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*, 75-INSAG-3 Rev.1, INSAG-12, (1999).
- 5) IAEA, *A Framework for Integrated Risk-informed Decision Making Process*, INSAG-25, To be published.
- 6) OECD/NEA/CSNI, *Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals*, NEA/CSNI/R, (2009).
- 7) WENRA/Reactor Harmonization Working Group, *Safety Objectives for New Power Reactors*, (2009.12).
- 8) 阿部清治, 原子力発電所のシビアアクシデント—そのリスク評価と事故時対処策, JAER-Review 95-006, (1995).
- 9) IAEA, *Safety of Nuclear Power Plants: Design Safety Requirements*, NS-R-1, (2000).

- 10) IAEA, *Fundamental Safety Principles*, SF-1, (2006).
- 11) 原子力安全委員会安全目標専門部会, 安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ, (2003.12).
- 12) 原子力安全委員会安全目標専門部会, 発電用軽水型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対応する性能目標について, (2006.3).

著者紹介



辻倉米蔵(つじくら・よねぞう)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)原子力発電所の安全



大島俊之(おおしま・としゆき)
原子力安全・保安院
(専門分野/関心分野)原子力安全に係る規格基準



阿部清治(あべ・きよはる)
原子力安全基盤機構
(専門分野/関心分野)原子力の安全評価

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—
(3月4日第9回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・英文論文誌の共同出版への変更に関して理事会運営ボードにて説明し、次回の理事会の議題とすることが了承された旨、報告された。

- ・2012年度の各分野の編集委員数を決定した。
- ・編集委員会独自の表彰の可能性について、具体案を検討することとした。
- ・論文の著作権について、検討を進めることとした。
- ・英文誌のインパクトファクター向上策の一つとして、メールを利用して掲載論文情報を会員へ事前周知することとした。

【学会誌関係】

- ・専門委員会規程の変更に関する編集委員会の対応方針を審議した。
- ・春の年会の講演・報告の中から14件の記事候補を選びフォローする担当編集委員を決めた。
- ・主要記事候補の検討の他、「ほっとする記事」のアイデアを募集することにした。

編集委員会連絡先 <<hensyu@aesj.or.jp>>

核鑑識技術の確立に向けて

日本原子力研究開発機構¹⁾ 東京大学²⁾

久野 祐輔¹⁾²⁾, 桜井 聡¹⁾, 堀 雅人¹⁾

近年、核兵器等によるテロリズムの脅威を未然に防ぐための国際的な取組みとして「核の鑑識(nuclear forensics)」がクローズアップされている。核物質等の不法取引や核・放射性物質を伴う破棄行為の際に押収または採取された核燃料等を分析し、その出所、履歴、輸送経路、目的を特定するというものであり、不正取引や核テロを効果的に防止かつ抑止する上で極めて重要な技術である。2010年4月の核セキュリティーサミットにおける合意に基づき、今後、我が国でも核鑑識技術の確立に向け取り組んでいくことが必要となった。本稿では、核鑑識技術の現状について国際的な取組み状況を含め解説するとともに、今後、我が国として対応すべき核鑑識の技術開発およびこの分野における国際協力のありかたについて併せて考察する。

I. はじめに

冷戦後の1990年代より核物質や核技術の違法取引が急激に増加していることから、核兵器等によるテロリズムの脅威が現実のものであることが世界的に認識されつつある。米国における2001年9月のテロ攻撃以来、核物質およびその他の放射性物質の管理および防護の強化の必要性が強調されるようになった。IAEAの統計によれば、1993年から2007年末までに、核物質・放射性物質が関係する1,300件を超える事象が確認されている。このような脅威を未然に防ぐための国際的な取組みの一つが「核の鑑識」(nuclear forensics)である。核鑑識技術は、欧米の国立研究所などで積極的に技術開発が行われてきたもので、核物質等の不法取引や核・放射性物質を伴う破棄行為の際に押収または採取された核燃料等を分析し、その出所、履歴、輸送経路、目的を科学的に特定するというものである。不正取引や核テロを効果的に見つけ防止するとともに、そのような活動により、特定の国家や組織・個人の関与が明らかになる可能性があるために、各国がより一層核セキュリティーや核物質等の管理に注意を払うという「抑止」、およびテロリスト支持者が協力をためらうということによる抑止の効果をもたらすことが期待される¹⁾。

本年4月、米国ワシントンDCで開催された核セキュリティーサミットにおいて、我が国は核鑑識の技術開発に関連する国際協力を行うことが声明に記載されている。同サミットにおける合意および我が国首脳による国

Establishment of Technologies for Nuclear Forensics Analysis : Yusuke KUNO, Satoshi SAKURAI, Masato HORI
(2010年 11月25日 受理)

際的なコミットメントを踏まえ、今後、我が国でも核鑑識技術を確立し国際的に共有していくために、関連する分析技術の開発、国際共同演習・分析への参加など、核鑑識技術確立に向け取り組んでいくことが必要となった。技術的には、IAEAの保障措置において培われてきた環境サンプリングのための分析・測定技術などがある程度有効に適用できると思われるが、実際の事象への対応やより洗練された技術の導入など今後の検討課題も多い。

II. 核鑑識の歴史

1. 東西冷戦後の核物質の不正取引の増加

ソ連の崩壊、東欧諸国の民主化に伴い、旧ソ連および東欧諸国から西側諸国への核物質の流出が増加し、東西冷戦後の新たな課題として対応が求められた。この課題に対処するため、G8核不拡散専門家グループ(NPEG)の後援を受けて、1996年に「核物質の違法移転に関わる国際技術ワーキンググループ(ITWG:Nuclear Smuggling International Technical Working Group)」が設立された。これ以降、ITWGが中心となり、核物質の不法移転を防止するための技術手段として核鑑識の取組みが行われてきた。

2. 9.11同時多発テロ以降の核テロの脅威

一方、2001年9月に米国で起きた同時多発テロ以降、核テロの脅威に対する緊張が高まり、核物質および放射性物質の管理の強化、国境における検知といった取組みが強化された。IAEAにおいては、2002年以降、他の国際機関と協力して、不法取引の防止等に関する技術文書を発行し、各国の核テロ対策の取組みの支援を行ってき

た。また, ITWG と協力し, IAEA は, 核セキュリティシリーズの一つとして, 核鑑識の国内体制を整備するための技術指針として「核鑑識サポート」を2006年に発行した。

3. 核セキュリティサミットと核鑑識

先述の核セキュリティサミット(47ヶ国3国際機関が参加)では, 核セキュリティ向上のための国内措置・国際措置, 核セキュリティにおける IAEA の役割等について活発な議論が行われた。同サミットは, 核テロの防止に向けた核物質の国際的な管理体制の確立を目指すコミュニケを採択し, 核物質の測定・検知技術に加え, 核鑑識技術の開発および情報共有に関する協力を行うことが合意された。

III. 核の鑑識活動

1. 核の属性割出し^{1,2)}

「核の属性割出し」は, 不法に使用された核物質または放射性物質を確認し, そのような物質の出所および輸送経路を見つけ, 最終的にそれらの責任を訴追するためのものである。そのためには(1)放射性および物質的な特徴, (2)核鑑識用サンプルの分析結果, (3)核物質および核兵器の製造に使用する方法ならびに開発経緯に関する知識, (4)法執行当局やその他のソースからの情報, など多くの情報に基づき解析することが必要となる。すなわち, 核の属性割出しは, 核物質の密輸事件を確実に説明できるようなデータにまとめ上げるための仕事である。活動に必要な基礎科学データとしては, ①物理的特徴: 寸法, 形状, ②化学的特徴: 化学組成, ③元素的特徴: 主要元素, 微量元素, ④同位体的特徴: 同位体組成, ⑤従来の科学捜査: 指紋, DNA, 花粉, 繊維などが考えられるが, 上記の目的を達成するためには関連する分析技術の確立のみでなく, 比較解析のための基礎データベースの構築が不可欠となる。

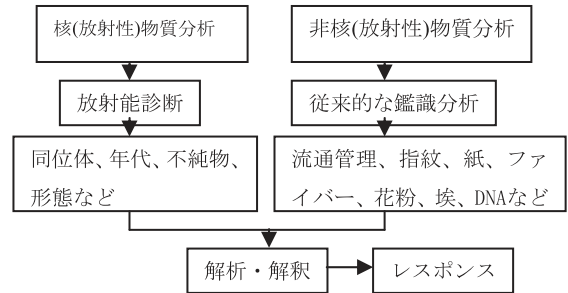
2. 事象への対応²⁾

具体的な事件によって生じる脅威に対処するためにはカテゴリ化が重要となる。核物質・放射性物質のカテゴリ化としては一般に次の5つの分類となる; ①未照射の直接使用物質, ②照射済みの直接使用核物質, ③代替核物質, ④間接的使用核物質, ⑤市販の放射線源(ここで, 直接使用核物質とは, 高濃縮ウラン, ²³³U, Pu(²³⁸Pu含有量が80%未満)および照射済み核燃料物質を, また代替核物質は Am, Np, 間接使用核物質は劣化ウラン, 天然ウランおよび低濃縮ウランならびに²³⁸Pu含有量が80%以上のPuをそれぞれ指す)。これらの物質を対象として, 核の鑑識活動としては, 以下の5つのカテゴリに対し対応することが必要となる。

—事件の対応(放射線障害防止も含めた現場対応)

- 核物質鑑識のためのサンプリングおよび分析所への試料輸送・配布
- 核物質(放射性物質)の鑑識分析
- 伝統的鑑識分析(一般的な分析)
- 核物質の鑑識的解析・解釈

採取された試料は次のパターンで分析されることになる。



また, 経時的な要求としては, ITWG などでの議論を経た結果, 第1表のような対応が望ましいとされている。

IV. 国際的な取組み

1. ITWG

前述のとおり, ITWG は1996年に核鑑識技術の開発, 共通の手法や技術を提供するために設立された非公式な会議体である(従来の名称から, 核鑑識に関する国際技術ワーキンググループ(ITWG: Nuclear Forensics International Technical Working Group)に変更している)。年1回会合を開催し, 不正取引に対処した事例を含めて, 核鑑識に関する情報共有の場として中心的な役割を果たしてきた。

第1表 IAEA が提案する分析手法と実施時期

手法	24時間	1週間	2カ月
放射線学的分析	推定総放射能強度 線量率(α, β, γ, n) 表面汚染度		
物理的分析	目視検査 放射線透過写真撮影 写真撮影, 重量, 寸法 光学顕微鏡, 密度	SEM/EDS XRD	TEM (EDX)
通常鑑識	指紋, 繊維組織		
同位体分析	γ 線分光測定法 α 線分光測定法	質量分析法 (SIMS, TIMS, ICP-MS)	放射線化学分離
元素/化学的分析		ICP-MS, XRF 滴定 IDMS	GC-MS

SEM/EDS: エネルギー分散型検出器を装備した走査電子顕微鏡, TEM: 透過型電子顕微鏡, SIMS: 2次イオン質量分析法, TIMS: 熱イオン化質量分析法, ICP-MS: 誘導結合プラズマ質量分析法, XRF: 蛍光X線分析, IDMS: 同位体希釈質量分析法, GC-MS: ガスクロマトグラフィ質量分析法

2010年6月、オックスフォードにおいて16回目の会合が開催され、21カ国とEU、2つの国際機関が参加した(アジア諸国として、韓国、日本が初参加)。ITWGでは現在、核鑑識に関するガイドラインの作成、教育・普及、演習、ラウンドロビンエクササイズ(共同分析)、国家核鑑識ライブラリー(核鑑識データベース)の作成等に取り組んでいる。

2. IAEA

IAEAは、各国が核鑑識体制を整備するための支援活動として、前述の技術指針「核鑑識サポート」の発行に加え、「放射性物質を伴う犯罪と核鑑識」に関する5日間の包括的なトレーニングプログラムを作成し、2009年、シンガポール、インド、2010年、アルゼンチン、カナダでトレーニングコースを開催している。また、2008年より、「核物質・放射性物質の不正取引における核鑑識の適用」に関する調整研究プロジェクト(CRP)を加盟国の協力の下で進めており、これまで、オーストラリア、ブラジル、EC、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、韓国といった国が、研究プロジェクトに参加している。

3. GICNT

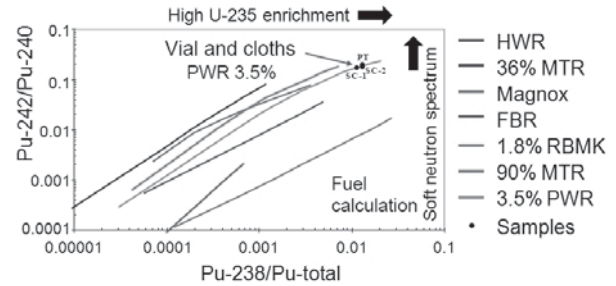
核テロの防止、検知、対応能力を国際的に強化することを目的とした国際パートナーシップとして、2006年7月、核テロに対抗するグローバルイニシアティブ(GICNT)が設立された。

GICNTは、提唱国である米国とロシアが共同議長を務め、これまで、高級レベル会合(プレナリー会合)を7回開催しているのに加え、GICNTの「Statement of Principles」に関連する分野の国際的ワークショップ、演習を行っている。GICNTは、国際パートナーシップで、現在、81カ国とIAEA、EU、InterpolおよびUNODC(United Nation Office of Drugs and Crime)が参加している。

核鑑識に関しては、2010年6月にエルサレムにおいて、「核鑑識および核・放射線テロに対抗する法的側面」に関するワークショップを開催し、核鑑識の普及活動を実施している。GICNTは、政府レベルイニシアティブであることから、たとえば、核鑑識データベースの協力といった、政府レベルのコミットメントが要求される対応において、中心的な役割を果たすことが期待されている。

V. 核鑑識技術の現状および今後求められる技術の開発

核鑑識技術に関してIAEAは第1表に示された分析手法を提案している。様々な手法が開発されており³⁾、これらのなかから、特徴的なものを以下に述べる。



第1図 原子炉での中性子照射によるPu同位対比の変化

1. 核物質等の元素・同位体組成分析

採取された試料に含まれるウラン、プルトニウム、超ウラン元素等の元素および同位体組成分析を行い、その同位体比より、核物質が照射された原子炉のタイプといった核物質の起源等を特定するものである(第1図は、Puの同位体組成から照射された原子炉が推定される例)。

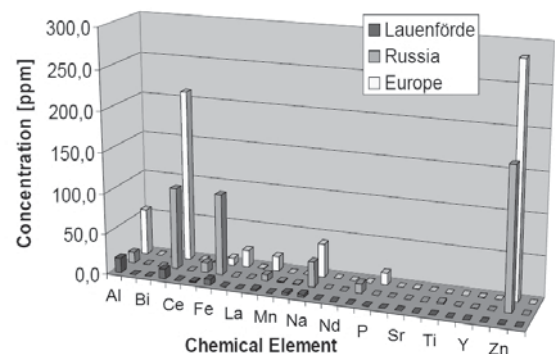
Pu-242やU-232といった従来の計量管理では分析対象となっていない同位体の組成分析が必要であり、分析のための技術開発が必要である。また、新しいシグネチャとなる可能性のある微量の同位体の測定技術開発が求められる。

2. 不純物組成分析

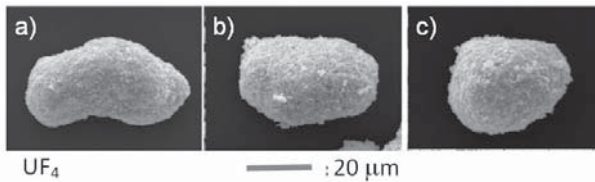
採取した試料に含まれる不純物を分析し、その組成から、核物質が取り扱われた原子力施設を特定することによって起源等を特定するものである(第2図は欧州とロシアで製造されたウランに含まれる不純物の濃度プロフィール)。計量管理では測定していない元素の測定が必要であり、分析手順等を開発し、確立する必要がある。また、新たなシグネチャとなる可能性のある微量の元素の測定技術の開発を行う。

3. 粒子形状分析

原子力施設によって、取り扱われる核物質の粒子の形状、寸法が異なることを利用して、粒子形状等より、核物質の起源等を特定する技術である(第3図はUF₆粒子



第2図 ウラン中の不純物濃度プロフィール



第3図 UF₄粒子の電子顕微鏡写真
形状はロットで異なる(工程条件に依存)

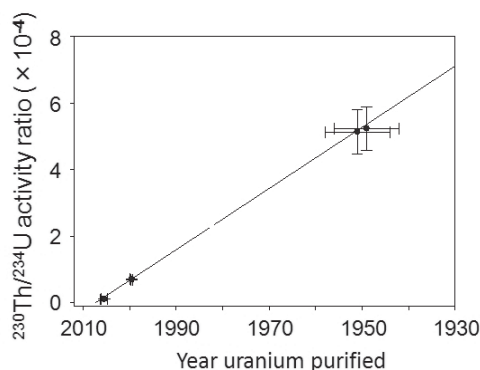
の電子顕微鏡写真)。保障措置環境試料分析の一環で、粒子の形状等の観察を行っているが、より細密に形状を記録するとともに、多様な粒子サンプルの形状等の分析を行い、施設特有の特徴(シグネチャ)の特定を行う。

4. ウラン等エージデータミネーション

放射性崩壊によって生成する核種の親核種との存在比等より、ウランが分離、処理された時期を特定し、原子力施設等の操業期間と比較して、対象施設を絞り込む技術である(第4図は²³⁰Thと²³⁴Uの比から生成時期を推定する例)。保障措置環境試料分析の一環で、プルトニウムおよびMOX粒子の年代を特定する技術開発を実施しているが、プルトニウムのバルク試料に適用できる技術開発を行うとともに、より技術的に難しいウランのエージデータミネーションの技術開発を行う。

5. データベースの整備

核鑑識分析の結果得られた同位体組成、不純物組成等から、核物質の起源等を特定するためには、核鑑識データベースの整備・充実が重要である。データベースには、試料のIDと分析実施施設、容器、物理的特性(寸法、密度など)、化学的特性(化学形、元素組成、同位体組成、微量成分、生成時期など)、形状(粒子の平均粒径と粒度分布、粒子の形、結晶構造など)、使用履歴(製造施設名、使用目的など)、データの信頼性などに係る情報が含まれる。データベース作成は各国が行うこととされており、そのためのプログラム制作、分析結果から属性(アトリビュート)を評価する手法の開発に加えて、試料の保管体制を整備する必要がある。



第4図 ²³⁰Th/²³⁴U比による生成時期の推定

VI. 品質保証

1. 核鑑識の特徴

核鑑識で得られるデータは、最終的には核物質などの不法使用の責任を訴追する証拠となりうる信頼性を有していなければならない。そのためには、文書化された分析手順の整備、分析要員の質の維持、熟練度の試験、分析結果報告書の標準化など、厳密な品質保証が必要であり、マネジメントシステムと技術能力を含めた一般要求事項を規定した国際規格であるISO 17025の認証を取得することが必須とされている。また、分析能力だけでなく、証拠を扱うという特殊性や安全・許認可の面からも考慮する必要がある。

2. ラウンドロビンエクササイズ

ITWGは核鑑識技術の有効性の評価と改善を目的に、これまで2回のラウンドロビンエクササイズを実施している⁴⁾。1回目(1999~2000年)はプルトニウム(試料は原子炉で照射した3.28%濃縮ウラン燃料から調整)を対象としたもので、オーストリア、フランス、ポーランド、EU、米国、リトアニアの研究機関が参加した。1つの分析所では、同位体比の測定結果から原子炉を、また、Npの分析結果から再処理工場を特定したが、これは分析担当者の知識と計量管理データベースへのアクセスが可能であったことによる例外的なものであった。課題として、(1)Amを用いた精製時期の特定では、正しい結果を得られなかった、(2)原子炉のタイプを特定することはできなかった、(3)分析結果を解釈するために必要なデータベースや知識が不足していた、の3点が指摘された。

90%高濃縮ウランを対象とした2回目(2000~2002年)では、上記の研究機関に加えて、チェコ、ドイツ、ハンガリー、トルコ、英国が参加した。ここでは、データベースや知識の共有が十分でないため製造元の帰属ができなかったことのほかに、「組成が未知の物質」の輸送に係る問題や試料調整時の汚染回避の重要性などが指摘された。このエクササイズで得られた知見をもとに、実際に核鑑識を行う際に適用すべき分析手法について優先順位をつけたリスト(第1表)を作成した。

VII. 核鑑識ワークショップ

日本原子力研究開発機構は、今後の我が国の核鑑識技術に対する取組みを議論するとともに、国内外の関係者間の情報共有を図ることを目的として核鑑識に関する国際ワークショップを、2010年10月5、6日、テクノ交流館リコッティにおいて開催した。同ワークショップには、核鑑識に係る国内外の政府機関、国際機関、研究所等から約80名の専門家が出席して、核鑑識技術、データベースの現状と課題、国際協力に関する発表と議論が

行われた。

本ワークショップでは、1日目は、核鑑識技術、データベース等に関する発表と議論、2日目は、核鑑識に関して取り組むべき課題、新たな技術開発、データベースの作成、国際協力等に関するパネル討論が行われた。

1日目の発表では、原子力機構から、機構が貢献可能な技術分野について発表を行い、米国国土安全保障省より、米国の核鑑識の対応体制、開発状況についての説明があった。続いて、核鑑識に対する国際的な取り組みを行っている「核テロに対抗するグローバルイニシアティブ(GICNT)」、「核鑑識に関する国際技術ワーキンググループ(ITWG)」、「国際原子力機関(IAEA)」より、各国際イニシアティブ、組織の取り組みについて発表が行われた。

その後、技術セッションでは、欧州共同体超ウラン元素研究所(ITU/EC)、韓国原子力研究所(KAERI)、原子力機構、ロスアラモス国立研究所(LANL)、ローレンスリバモア国立研究所(LLNL)、連邦調査局(FBI)から、核鑑識に関連する分析技術、核鑑識データベース、法執行上の課題に関する発表が行われ、発表に対して活発な議論が行われた。

2日目は、「核鑑識を支える技術」「情報と協力」をテーマに、核鑑識に求められる情報、技術、手順、データベース、国際協力に関するパネル討論が行われ、多様な分野の専門家から核鑑識の今後の方向性等に関する意見が出された。

本ワークショップは、核鑑識に焦点を当てた、国内で開催された最初の会合であり、核鑑識に関連する国際機関、国際イニシアティブの関係者に加え、核鑑識技術、データベースの専門家、法執行当局者が参加し、発表やパネル討論を通じて、本分野の相互理解を深めるとともに、今後の核鑑識技術の方向性に関する有意義な議論が行われた。

VIII. おわりに

核の鑑識には、本稿で示したような信頼性および感度の高い分析等の技術の確立がまず必要となる。しかし、同時に鑑識活動を有効なものにするためには、的確な対応体制を構築することが不可欠である。核物質・放射性物質分析結果と、一般的(伝統的)な鑑識分析結果との効果的なリンクなど、全体を一元的に扱い解析評価するための体制作りが求められる。現在のところ我が国では、両者を併せたような対応体制の構築の議論はあまりなされておらず、その協力体制構築は今後の課題と考えられる。さらに物質起源の特定などをより確実にするためには、上述の各国の保有するデータベースの共有化を図るなど国際協力が不可欠と考える。これまで主に自国の防衛のために作り上げてきたデータベース等情報について、他国との共有がどこまで可能かということについては疑問が残るものの、幸い、GICNTにおいて、北朝鮮

を除き、核セキュリティ上重要な国の参加が見られ、今後の国際連携・協力の充実が期待される。

核セキュリティサミットにおける声明では、我が国は今後、3年後を目途により正確で厳格な核物質の検知・鑑識技術を確立し、これを国際社会と共有することにより、国際社会に対して一層貢献していく、とされている。

核鑑識に係る技術の開発整備については主に日本原子力研究開発機構(JAEA)を中心に検討が進められているが、今後、核鑑識機能をより有効なものにするためには、上述の体制整備とともに、法整備についても取り組んでいくことが重要と考える。フルスケールで核燃料サイクルを推進する我が国としては、核の鑑識に関しても国際的に大きな役割を担うべきと考える。

— 参考資料 —

- 1) http://www.nids.go.jp/publication/kiyo/pdf/bulletin_j10_3_4.pdf(須江秀司：核の鑑識活動)
- 2) IAEA Nuclear Security Series No.2 “Technical Guidance Reference Manual”, (2006).
- 3) 例えば, K. Mayer, M. Wallnius, *et al.*, “Nuclear forensics — a methodology providing clues on the origin of illicitly trafficked nuclear materials”, *Analyst*, **130**, 433-441 (2005).
- 4) G.B. Dudder, R.C. Hanlen, *et al.*, “International Technical Working Group Round Robin Tests”, in “Advances in destructive and non-destructive analysis for environmental monitoring and nuclear forensics”, IAEA, (2003).

著者紹介

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
(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

桜井 聡(さくらい・さとし)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)保障措置, 環境試料分析

堀 雅人(ほり・まさと)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)核不拡散, 保障措置

我が国の最先端研究開発

シリーズ解説 第28回

放射線医学総合研究所における重粒子線がん治療の現状

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 鎌田 正

近年、情報処理技術の医学応用により、コンピューター断層撮影(CT)、核磁気共鳴診断法(MR)、ポジトロン断層撮影(PET)などが開発され、画像診断は飛躍的な発展を遂げている。最近では、原子核などの重粒子を超高速に加速した重粒子線を精密に制御し、人体の3次元的な画像情報をもとに体内の病巣(がんなどの悪性腫瘍)に集中させ、安全に治療することが可能となっている。放射線医学総合研究所では、1994年6月以来、がん治療を目的に建設された重粒子加速器(HIMAC)を用いて炭素原子核を加速した重粒子線(炭素イオン線)を用いて様々ながんを安全かつ確実に治すための研究を行っている。

I. はじめに

がん治療法には、外科切除、放射線療法、化学療法などがあり、近年、いずれも急速に進歩している。特に放射線治療は最新の画像医学、あるいは情報工学技術の応用により飛躍的な進歩を遂げつつある。

放射線治療の主な特長として、以下の3点が挙げられる。

- (1) 患部を切除しないので形態や機能の温存を図れる。
- (2) 手術できない部位も含め、どのような部位でも照射できる。
- (3) 手術に比べて体の負担が少なく、高齢者でも無理なく受けられる。

一方、これまでの放射線治療の問題点として、腫瘍周辺の正常組織に放射線が照射されることによる放射線障害のリスクと、このリスクから腫瘍の治療を得るのに必要な線量を照射できないことが挙げられる。この問題を克服するため、放射線をできるだけ腫瘍に集中させ、かつ周辺組織の障害を少なくするよう、長年にわたって様々な研究開発が行われてきた。腫瘍への線量集中性(空間的線量分布)に加えて、腫瘍に対する効果(殺細胞効果)

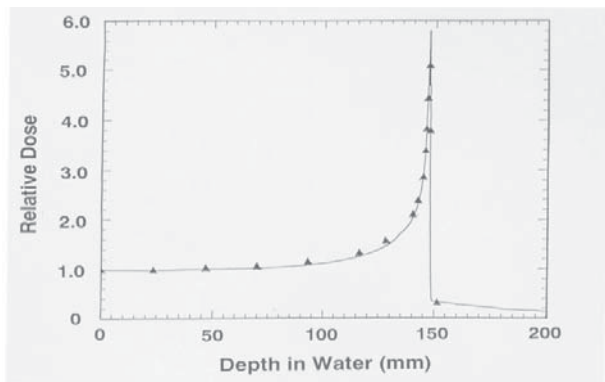
についても従来の放射線に比べて格段に勝る最先端の放射線治療として、日本が世界を先導する重粒子線治療がある。本稿では放射線医学総合研究所における重粒子線がん治療の現状について述べる。

II. 重粒子線治療

我が国では、原子番号が2より大きな原子核(重イオン)を光速近くまで加速したものを、一般に重粒子線と呼んでいる。重粒子線は、体内に入ると直進し、エネルギーに対応した深さで停止するが、その寸前に線量が急激に増える。その結果、他の放射線に比べ、急峻な線量ピークを形成する(第1図)。このピークを病巣部に合わせることで、周辺の正常組織への障害を抑えて、がんだけに線量を集中することが可能となる。また、放射線ががん細胞を殺傷するのは主にがん細胞のDNAに損傷を与えることによるとされているが、X線によって生じるDNA損傷は修復されやすい。一方、重粒子線によるDNA損傷は回復しにくいいため、X線に抵抗性の難治がんにも有効とされる。ちなみに、重粒子線のピーク部では、X線の約3倍程度の細胞致死効果があるとされている。こうした知見を踏まえて、放医研では、世界で初めて医療を目的とした重粒子線がん治療装置(HIMAC)(第2図)を建設し、1994年以来、炭素線を用いた重粒子線がん治療臨床試験を行うとともに新たな研究開発を進めてきた。既に5,500名近いがん患者が重粒子線治療を

Carbon Ion Radiotherapy at NIRS-HIMAC: Tadashi KAMADA.

(2010年 11月27日 受理)



第1図 重粒子(炭素)線の線量分布

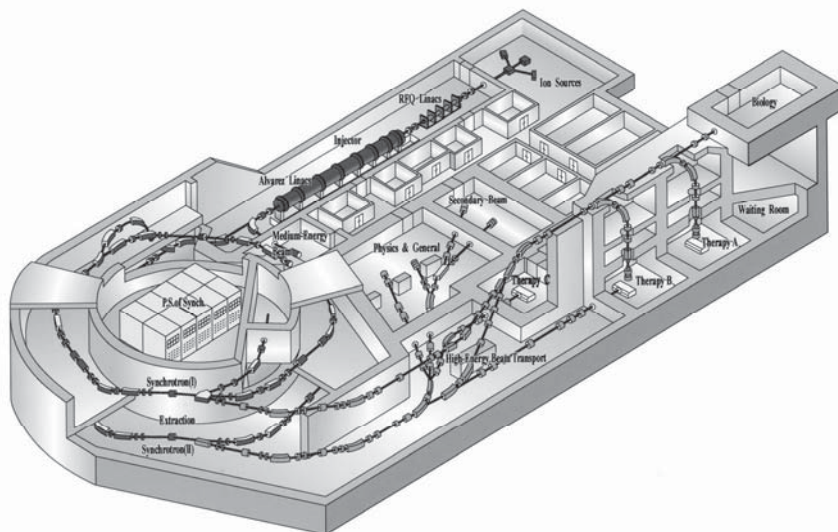
受けており、年度別の治療症例数を第3図に示すが、2009年度の新規患者登録数は700例近くになっている。疾患部位ごとの内訳(第4図)では、前立腺、骨軟部肉腫などが多い。これらの部位ではいずれも優れた治療効果が観察されている。また

重粒子線では、肺、肝などにおいて1週間以内に治療を終了する短期照射が有効であることが明らかとなり、また頭頸部、前立腺、骨軟部肉腫などそれ以外のほとんどの部位でも4週間以内に治療を終了できることが明らかとなっている¹⁾。

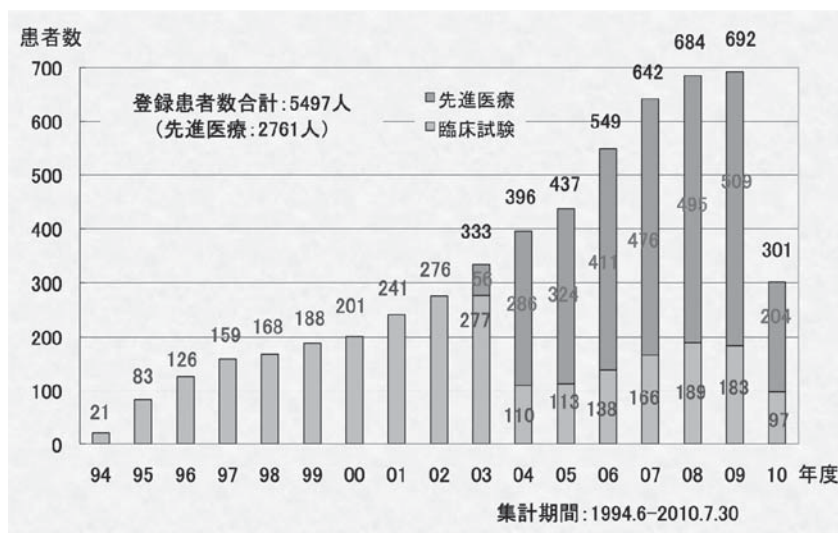
すなわち、これまでの臨床試験の対象となった疾患は、従来の放射線治療を含め他の治療では十分な効果が期待できないとされたものが多く、他の治療法と優劣を直接比較することは困難であるが、

- ・他の治療法では治らないがんが治ること
 - ・同じ治るにしても、より短期間で安全に治ること
- 等が明らかになってきている。

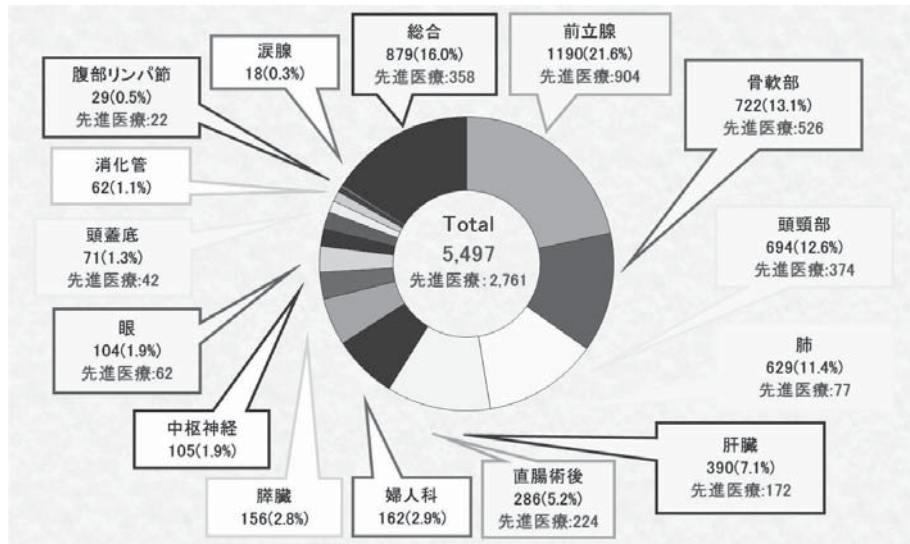
放医研の重粒子線治療は2003年11月、「固形癌に対する重粒子線治療」として厚生労働省の(高度)先進医療の認可を得ている。現在、先進医療として重粒子線治療を受けるためには314万円の自己負担が必要であるにも関わらず、逆に患者数は増加している。低浸襲(手術のよ



第2図 重粒子線がん治療装置(HIMAC)



第3図 放射線医学総合研究所での重粒子線治療登録患者数の年度別推移



第4図 1994年6月から2010年7月までに放射線医学総合研究所で重粒子線治療を受けた患者の疾患部位

うに直接、体を傷つけることが少ない)で身体的な負担が少なく、優れた効果のあるがん治療として重粒子線治療が多くのがん患者に受け入れられていると言える。

一方、大きな質量を持つ重粒子(炭素の原子核)を人体内の奥深くまで到達させるには非常に高いエネルギー(光速の約80%)まで加速することが必要で、直径42mのシンクロトロンリングを持つHIMACの建設費は、実験設備も含めて約330億円であった。重粒子線治療の普及のためには、装置の低コスト化・小型化が最重要の課題であったが、放医研では治療装置としてはHIMACと同等の性能を持ちながら、1/3程度のコストとサイズの小型重粒子線治療装置の開発に成功し、その実証器が2010年3月に群馬大学で稼働したところである。

現在、全世界で稼働中の重粒子線治療施設は5ヵ所で、うち3施設は、日本に存在し、一国あたりの施設数としては、日本は世界最多となっている。さらに国内では小型重粒子線治療装置の導入が2ヵ所(佐賀県および

神奈川県)で決定しているほか、ドイツ(2ヵ所建設中)、フランス、イタリア(稼働準備中)、オーストリア、中国、韓国、マレーシア、サウジアラビア、米国メイヨークリニックなど、日本以外でも10を越える計画が進行中である(第1表)。一方、現在、世界の先端医療機器の市場は、そのシェアの大部分を欧米の企業が占めている。そのような状況にあって現在までに重粒子線治療を受けた患者数は全世界で7,000名を越えているが、その8割以上を放医研をはじめとして国内で実施しており、重粒子線治療においては、臨床経験、装置製造技術のいずれにおいても我が国が高い優位性を有しており、この分野においては将来大きく成長することが期待されるといっても過言ではない。

これまでに得られた治療結果から重粒子線の優位性が多くのがんで明らかになってきた。しかしながら現在の治療装置は、第一世代ともいえるものであり、各国で建設が始まりつつある今、単なる小型化の追求ではなく、

第1表 世界の重粒子(炭素)線治療施設

施設名	開始(予定)	治療数	集計日	
放医研	1994	5497	2010.7	日本
GSI(終了)	1997	440	2008.7	ドイツ
兵庫県	2002	788	2010.3	日本
中国近代物理	2006	109	2009.7	中国
ハイデルベルグ大	2009	200	2010.10	ドイツ
群馬大	2010	53	2010.9	日本
CNAO	2011			イタリア
PTC,Marburg	2011			ドイツ
Nrock,Kiel	2012			ドイツ
HIMAT,佐賀	2013			日本
MedAustron	2013			オーストリア
Fudan(上海)	2014			中国
神奈川	2014			日本

☆ In Progress : KIRAMS(韓国), ETOILE(フランス), Taipei(台湾), Guangzhou(中国), KACST(サウジアラビア), USM(マレーシア), Mayo(米国).

(研究協力協定締結)



第5図 スキャニング照射用新治療研究棟

さらに第2, 第3世代ともいうべき次世代の先進的な重粒子線治療装置開発も重要である。すでに放医研では、日本発で世界初の重粒子線照射技術である呼吸同期スキャニング照射法(肺の病巣など呼吸により動いている病巣に対して細い重粒子線ビームを呼吸による動きに同期させて(実際には息をはき終わる付近で)高速に照射して病巣にのみに重粒子線を集中させる技術)について2011年3月治療開始すべく、建屋の建築を終了、装置を設置中である(第5図)。

本照射技術の実現により、より強くより優しい重粒子線治療が実現できると期待されている。さらに超伝導技術の重粒子線治療装置への応用についても基礎的な検討も開始されており、より小型軽量の次世代装置として更なる発展も期待されている。これまでに培った基礎から臨床応用に至るまでの世界に類を見ない抱負な経験と研究成果を基に次世代の重粒子線治療装置の研究開発に取り組み、世界の重粒子線治療を先導するとともに、その運用に必要な人材の育成に努め、活力が乏しくなってい

る日本経済の活性化にも寄与したいと考えている。

Ⅲ. ま と め

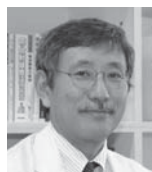
重粒子線治療は1994年の臨床試験開始以来、全世界で7,000名以上に治療が行われ、治療施設数も急速に増加しつつある。その経験から重粒子線治療によって初めて高い確率で局所制御が得られ、治癒に結びつくがんが存在していることが明らかとなった。また、重粒子線により短期間で安全に治癒が得られているがんも少なくない。これらのがんでは、重粒子線により痛みもなにも感じることなく、数日から3~4週間以内に元の通り治ることが現実のものとなっている。今、重粒子線治療は安全・確実ながん治療法としての地位を確立したといえよう。

放医研では今後、次世代の重粒子線装置開発を通じてより強く、より優しい重粒子線によるがん治療を必要な人であれば、いつでもどこでも誰でも提供可能とするように研究開発を実施してゆく予定である。

— 参 考 文 献 —

- 1) T. Okada, T. Kamada, H. Tsuji, *et al.*, "Carbon ion radiotherapy: clinical experiences at National Institute of Radiological Science (NIRS)", *J. Radiat. Res.*, (Tokyo), **51**, 355-364 (2010).

著 者 紹 介



鎌田 正(かまだ・ただし)
放射線医学総合研究所 重粒子医科学
センター
(専門分野/関心分野)放射線腫瘍学/重粒子
線治療



日本のラジオアイソトープ製造 の基礎を築いた RI 棟

国産 RI 製造拠点として貢献

旧 日本原子力研究所 アイソトープ部 山林 尚道, 棚瀬 正和, 源河 次雄

日本の RI 製造は、昭和32年に原子力利用の柱の1つとして日本原子力研究所(現、日本原子力研究開発機構)で RI 製造研究室の設置とともに始まった。まもなく建設された RI 試験製造工場では、昭和35年に JRR-1を利用した RI の試験製品の頒布サービスを始め、37年には JRR-2の利用を主体とした本格的な RI の出荷が始まった。本稿では、この RI 製造を実施した建屋の建設、研究開発について述べるとともに、その建屋で行われた大きな成果と自負する、高レベル放射性廃棄物中の元素の群分離の研究、核融合炉燃料のトリチウムの製造研究、RI 製品の高品質を維持する検定技術の開発について述べる。また、最近始められた RI・放射線技術者の養成についてもその優れた成果を紹介する。

I. ラジオアイソトープ製造棟の建設

1. 建設初期の背景

昭和(以下、省略)25年、仁科芳雄博士のご尽力でオークリッジ国立研究所から人工ラジオアイソトープ(RI)が、日本国内に初めて輸入され、同年、放射性同位元素協会(現、(社)日本アイソトープ協会)が設立された。28年12月、国連総会でアイゼンハワー大統領が「原子力平和利用(Atoms for Peace)」の演説を行い、29年には日本学術会議は原子力の研究と利用に関して、民主・自主・公開の三原則遵守の声明を出した。翌年ジュネーブで「第1回原子力平和利用国際会議」が開催され、RI の利用の機運も高まってきた。

31年6月に原子力委員会は、RI の国産化、技術者の養成および利用技術の開発を骨子としたアイソトープセンター構想を立案した。それを受けて日本原子力研究所(原研)は32年7月の東海研究所の設置とともに、正式に放射線応用部内に「RI 製造研究室」を創設した。33年当時、RI の国内使用件数は4,454件に達しており、年間輸入額は2億円になっていたもので、バラ色の明日の世界を描く原子力解説書は、口をそろえて「原子力利用の右足は原子炉であり、左足は RI」と書いていた。

2. RI 試験製造工場の建設

34年、RI の本格的製造施設を建設するため「RI 試験製造工場」の建設準備を開始した。35年5月には「放射線利用研究室」と「RI 製造工場準備室」を併設し組織基盤を明確にし、本格的な RI の研究・生産体制を整え、「RI 試験製造工場」の設計、建設に着手し、36年3月に建屋の竣工、内装設備の整備後、37年初めには短寿命 RI の試験製造を実施した。これは同時に、37年度以降に建設を予定していた「RI 製造棟」の基本設計を行うためのパイロットプラントでもあった。

当時、少量の¹⁴C 標識化合物を合成する製薬会社の施設はあったが、非密封 RI を製造するために参考となる施設はなかった。欧米の RI 製造施設の調査を行う一方、フランスのサクレー研究所から R. Henry 氏を招聘し、討論の中から基本的な設計を建設部と RI 試験製造工場建設準備室でまとめていった。その骨子は、(1)管理区域内を高放射性区域(サービスエリア)と低放射性区域(オペレーションエリア)に区分けすること、(2)管理区域内の室内気圧を放射能レベルに応じた負圧を維持する換気方式、(3)放射性廃液をホット排水系、セミホット排水系に濃度区分する排水方式、(4)放射線エリアモニタ、室内・排気口ダストモニタ、廃水タンク水位モニタなどの集中管理方式など、今日の施設設計では常識的ともいえる事項を細部にわたり検討した。建屋の構成は、地下1階廃液貯蔵室、1階製造施設、2階部分排気設備とした鉄筋コンクリート造りで、延べ面積は325 m²である。39年9月に着工し、6ヶ月で完成するという異例の早さは当時の意気込みを感じるころである。竣工後、直ちに製造設備の据付を実施し、セミホット実験室にフード、

RI Production Laboratory which formed the basis of Domestic Radioisotope Production in Japan—Contribution as a key building to the production: Hisamichi YAMA-BAYASHI, Masakazu TANASE, Tsuguo GENKA.

(2010年 11月22日 受理)

グローブボックス、鉛セルを設置し、36年後半から²⁴Na, ⁴²K, ⁶⁴Cuなどの短寿命RIの試験製造を行った。

建屋中央に配置したRI製造室には、³²P, ³⁵S, ¹³¹Iを製造するプロセスユニットを整備した。いずれも大量に扱ううえ、揮発性で汚染を起ししやすい核種であり、密閉性を重視したインナーボックス内蔵型のセル構造とした。そのためトングブーツなどは二重構造とし、配水管、排気管、各種貫通孔に対する機密性を考慮した。特に、設備に直結した排気フィルタの性能を重視し、当時あまり使われていなかった活性炭フィルタを備えた。38年には、この設備で、³⁵Sの国内需要を満たす規模の生産を可能とした。RI製造棟の建設後は400番台の部屋番号を有する建屋として一括管理され、群分離研究室のα核種実験施設、トリチウム37 TBq(1,000 Ci)製造施設として改修、利用されてきた。

3. RI 製造棟の建設

RI試験製造工場の内装設備の製作と並行して、37年からRI製造棟の設計がスタートした。RI製造棟は精製RIおよび線源RIの製造技術開発と生産を実施するための施設であった。

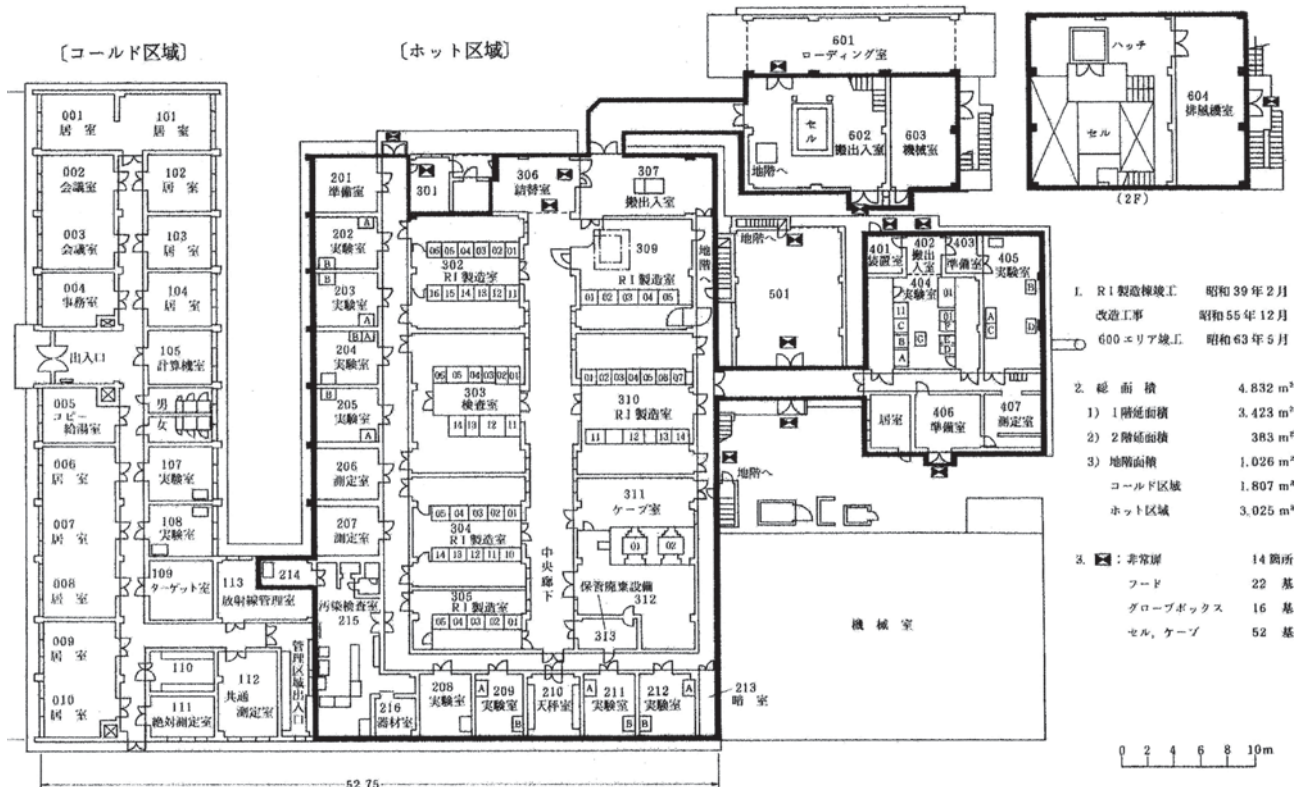
建屋内に設置する製造設備は次の区分により設計し、建設した。①短寿命RI, 中長寿命RIの製造, 検査室およびRI製品を貯蔵する非気密型の鉛セル室, ②¹⁴C, ³²P, ¹³¹Iを製造するための気密型インナーボック

スセル室, ③原子炉照射したキャプセルを搬入, 開封を行うための詰替えセル室, ④短寿命FP, 線源RIを取扱う重コンクリート製汎用ケーブルを設置するケーブル室, ⑤化学実験を主体とするフード室に区分した。

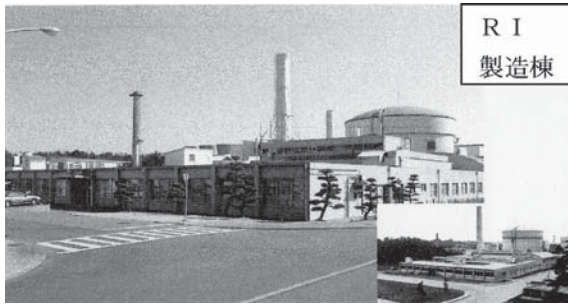
建屋全体は第1図に示すように非管理区域と管理区域に分割し、管理区域には上記①~④の製造設備を設置するホットエリアと、⑤のフード, 測定室などを置くセミホットエリアに区分した。建屋内でのRIの移動には鉛遮蔽容器を用いるため、運搬用の室内走行クレーン, 中央廊下走行クレーンと台車を整備した。このほか、放射線管理設備, 換気設備, 給排水設備, 電気設備などに当時としては最新の設備を整備した。

38年3月に着工し, 途中, 地下水脈による湧水など予想外の出来事もあったが, 39年1月に建屋は竣工した。同時に, ホットエリア内の詰替えセル, 短寿命RI製造セル, RI検査セルの一部が完成して稼動にこぎつけ, 引き続きほかの内装設備への整備へと進んだ。建屋の延べ面積は2,870 m²で, RI試験製造工場の約9倍, 建屋建設費は2億500万円であった。

その後, 内装整備の後, JRR-3の改造に伴って, 照射済み試料の搬入(気送・水力ラビットおよび, キャプセル)および, 永年の懸案事項であった高レベル固体廃棄物の詰替え施設としても利用できる600エリア建屋及び鉄セルを増設した。RI製造棟を第2図に, その平面図を第1図に示す。



第1図 RI製造棟平面図



第2図 RI製造棟

4. RI・放射線技術者の養成のためのRI製造棟実験設備の整備

施設整備では、平成8年から14年にかけて、200エリアセミホットのフードおよび302, 303, 304, 305, 309, 310, 311号室の鉛セル等の使用設備, 311, 501号室の核燃料物質及び放射性物質の廃液貯留槽, 排気, 排水設備, 貯蔵設備等, 施設内設備全体にわたる解体, 整備工事を実施した。特に、平成13, 14年度には、東京駒込にあったRI研修部門をRI製造棟内に移転するための工事を行い、平成15年度から国際原子力研修センター(現、原子力人材育成センター)が実施したRI・放射線技術者の養成のための実験・実習が行われている。

II. RI製造・研究・検定技術の変遷

1. RI製造技術の開発と定常製造

当初、RIの国産化では、寿命が短くて輸入が困難なRIの製造、海外にない日本独自の高品質RIの製造、需要が安定している中長寿命RIの製造を重点に製造技術の開発を進めた。当時はRI製造に必要な技術の蓄積もなく、そのうえ先進国からの情報が乏しいという困難な時代であった。このような状況の中で、JRR-1が32年8月に臨界に達し、本格的なRI製造がスタートした。35年のJRR-2臨界, 37年のJRR-3臨界に伴い、35年には、 ^{32}P , ^{35}S , ^{131}I , ^{24}Na , ^{42}K , ^{64}Cu , ^{82}Br , ^{198}Au , ^{177}Lu の試験製品の頒布サービスを開始し、37年には6核種(^{24}Na , ^{32}P , ^{42}K , ^{64}Cu , ^{82}Br , ^{198}Au)の販売を開始した。出荷の様子を第3図に示す。



第3図 RI出荷風景(36年)

その後、JRR-4, JMTRの稼動に伴いRI製品は、数度のカatalog改定を重ね、高比放射能化と多品種化、大量化へと展開した。RI製造棟において製造技術を確立し、生産頒布をしてきたRIは44核種, 57製品に達し、さまざまな用途に利用されてきた。

RIの本格的な製造には多くの技術開発が必要で、各原子炉における照射技術, 揮発性, 飛散等を考慮した大量非密封RIの遠隔操作による安全取扱技術, ターゲットの品質管理, 製品の貯蔵, 配分, 梱包技術の確立など広範囲にわたる技術開発とコンプライアンスに則った工程管理がRI製造棟で実施され、多くの成果を上げてきた。

その主なRI製品として次のような核種があげられる。半減期が数日以内の輸入の困難な短寿命核種 ^{24}Na , ^{42}K , ^{64}Cu , 我が国独自の技術開発 Szilard-Chalmers 反応(ホットアトム効果)を利用した高比放射能の ^{51}Cr と ^{64}Cu , 血流量測定, ステンレス鋼中のCrの同位体希釈分析用 ^{51}Cr , 大需要RIの甲状腺治療用 ^{131}I , 放射性医薬品 ^{198}Au コロイド用原料 ^{198}Au , 工業用計測機器用 ^{60}Co 小線源, ジェット機エンジン, プラント溶接部の非破壊検査用 ^{192}Ir 線源, 再処理工場薄肉配管溶接部非破壊検査用 ^{169}Yb 線源, ^{75}Se 線源, ソーダ業界の水銀電解槽中の水銀インベントリ用 ^{197}Hg , 新薬開発などに欠かせない標識化合物原料 $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ のJMTR照射による $\text{Al}^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 反応を利用した37 GBq オーダーの製造, 核医学会からの強い要望による核医学診断用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の親核種 ^{99}Mo の $^{235}\text{U}(n,f)^{99}\text{Mo}$ 法と $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ 法による ^{99}Mo , 骨粗しょう症診断用 ^{153}Gd 線源, がん治療リモート・アフターローディング・システム(RALS)用 ^{192}Ir 線源, 舌がん治療用 ^{198}Au 小線源, がん治療用各種挿入用小線源 ^{192}Ir 線源などがある。線源RIの製造頒布の伸びは顕著で、平成3年度の頒布総額は1億円に達した。

製造に従事した科学技術長官賞受賞者は9名を超え、51年度には「RI定常生産技術の確立」で日本原子力学会特賞を受賞した。こうした国産RIの製造頒布の成果は、研究炉・材料試験炉部門, ホットラボ関係者, 保健物理部門, 技術部門の方々の支援があつてのことであつた。

しかし、一方で、平成7年2月の閣議決定「特殊法人の整理合理化」において原研における放射性同位元素の製造頒布事業の合理化を推進することとなり、研究開発用RIを除き、海外から輸入可能なRIの製造頒布の中止, 需要の大きい工業用 ^{192}Ir 線源および ^{60}Co 小線源, 医療用線源(^{192}Ir , ^{198}Au)の民間移転による合理化が決定された。現在、医療用線源は民営化により(株)千代田テクノルに引き継がれ、RI製造棟施設を活用し、国内供給を継続している。

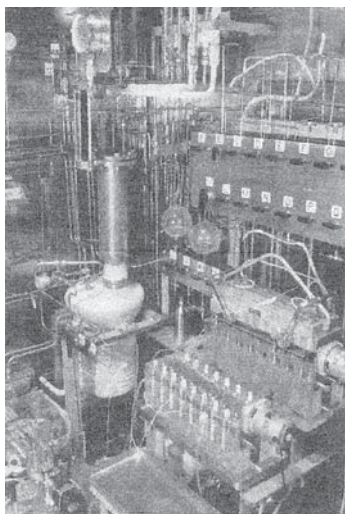
2. 群分離の研究とトリチウム製造研究

(1) 群分離の研究

高レベル放射性廃液(HLLW)には長寿命核分裂生成物、発熱源となるもの、希少価値の高い白金族元素など様々な元素が含まれる。これらの元素を化学的性質や放射能毒性に応じて化学処理する方法を群分離という。

この群分離の研究開発において、48年頃から59年にかけて、HLLW中の元素を超ウラン元素(TRU)群、Sr-Cs群、その他の元素群の3群に分離するプロセスを検討した。このプロセスの特徴は、硝酸で脱硝したHLLWより新規抽出剤であるジイソデシルリン酸(DIDPA)によってAm、Cmを抽出すること、分離後の廃液よりチタン酸およびゼオライトによってそれぞれSrおよびCsを吸着分離することである。AmとCmの希土類元素からの分離には、陽イオン交換法を適用した。

一連のプロセスについて実際のHLLWを用いた試験を行うため、54年にはRI製造棟内に群分離試験装置(第4図)を整備するとともに、56年にはわが国初の高レベル廃液輸送容器を完成させた。57年には旧動燃からのHLLW(約12TBq)を用いた試験により、AmやCmが99.99%以上回収できることを明らかにし、3群群分離プロセスの有効性を実証した。



第4図 RI群分離試験装置

このように、RI製造棟で実施されたこの研究は、4群群分離プロセスへと発展し、この分野における先駆的、先導的な役割を果たした。この4群群分離プロセスは、63年に原子力委員会において「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」(通称オメガ計画)に採用された。また、この処理により、地層処分が必要な高レベル放射性廃棄物の体積を約1/3に減少させることが可能であることが示された。

(2) トリチウム製造研究

この研究テーマは、核融合炉設計計画に基づき、49年度固体ブランケット候補材料である酸化リチウム中のトリチウムの化学挙動の研究として開始された。その後、

研究の重点を初装荷のトリチウムを供給するためのトリチウム製造技術の開発に移した。51年に、⁶Li-Al合金をターゲットとするトリチウム製造技術開発計画を策定し、まず、1回4TBq(100Ci)規模の製造試験を56年度に成功させた。60年度には40TBq(1kCi)の製造試験ができるようになった。トリチウムは、JMTRで照射した⁶Li-Al合金を真空融解炉で973Kに加熱しガスを放出させ、ゲッターである活性化ウランに回収(収率:98%)した。その放射化学的純度は99.9%以上、同位体純度は95%であった。この際、当然ではあるが、製造試験における作業環境や周辺環境への放出は全く認められなかった。特に、装置である真空融解炉最内壁からのトリチウムの内壁への漏洩は少なく、10⁻⁶程度であった。この減少は、ひとえにヒーターを最内部に置き、容器の壁を介さなかったことによるが、この発想は当時かなり革新的だと思った。最初は不安であったが、スムーズに操作が進み、満足な結果を得たことは大きな喜びであった。なお、この40TBq(1kCi)のトリチウム製造試験の成功についてはプレス発表を行い、数社が記事とした。その1例を第5図に示す。



第5図 トリチウム1kCi製造に成功
(出典:日本経済新聞 1986年3月14日)

また、このトリチウムガスはさらに同位体純度99.9%以上の高純度ガスにする技術を見だし、東京大学および理化学研究所のグループが実施していた、最先端の実験であるミュオン触媒核融合反応についての研究に利用された。この研究で、ミュオン触媒核融合反応に付随して生成するミュオン原子から放射される特性X線の直接測定に世界で初めて成功し、我々の技術が実を結んだ。

3. RI検定技術の開発

わが国におけるRI国産化の黎明期にあつては、外国製品に勝るとも劣らない高品質のRI製品を安定的に供給するため、信頼性ある品質データの基礎となる放射能測定技術および化学検定技術の確立が求められた。

RI製造棟は39年に完成したが、このとき放射能検査および化学検査専用の鉛遮蔽セルが整備され、同時にマスタースレーブマニピュレータ付き化学実験用セルも完成した。その後、47年までに機器分析を主体としたRI製品の検査体制を確立した。

RI製造棟が完成する前の初期の段階では、輸入が困

難な短寿命核種の開発を優先させていたため、放射能の値付けの基準を標準線源に頼ることができず、 $4\pi\beta$ 計数法、 $4\pi\beta-\gamma$ 同時計数法など、絶対測定技術を順次確立していった。

42年頃より RI の国産化も次第に軌道に乗り、比較的大量の製造頒布が行われるようになった。例えば非破壊検査用 ^{192}Ir 線源の供給が開始され、重コンクリートセル内に線量測定器を組み込んで放射能検定を行った。

50年代には、核医学診断用の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の急速な需用の伸びに応えるべく、その親核種である ^{99}Mo の製造技術の開発が行われ、52~54年に核分裂法により、58~60年には (n, γ) 反応による製造頒布がなされた。そのため $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射平衡体の絶対測定技術を確立するとともに、放射化学的純度検定の手法を確立した。平成6年以降、 ^{186}Re 、 ^{188}Re の標識化合物の合成技術開発に必要な放射化学的手法の研究開発を進めた。

一方、58年から国際放射能計測委員会(ICRM)との連携のもとに、 γ 線スペクトル解析について国際比較プロジェクトに参加し、国際技術水準の維持に努めた。平成8年から9年にかけて名古屋大学と長寿命マルチ γ 線放出核種である ^{152}Eu および $^{166\text{m}}\text{Ho}$ を高効率 $4\pi\gamma$ 計数法による精密測定を行い、両核種を混合した γ 線スペクトロメータ校正用線源を開発した。また、国内認定事業所の電離箱を校正するための $^{166\text{m}}\text{Ho}$ 密封標準線源を製作し、放射能標準トレーサビリティ体系化を進めていた電子技術総合研究所(現、産業技術総合研究所)に提供した。この頃設計製作した高圧窒素ガス封入井戸型電離箱は国際度量衡局(BIPM)に設置されている国際標準登録システム(SIR)用電離箱と同等またはそれ以上の性能を有していた。

57年には核融合炉の燃料となる大量トリチウム製造計画に呼応して、トリチウムの崩壊熱測定による非破壊放射能測定技術の開発に着手し、そのために設計した微少熱量計を用いて59年に $^6\text{Li}-\text{Al}$ 合金ターゲット中に生成するトリチウム量を非破壊的に定量する技術を確立し、 ^{14}C 、 ^{35}S 、 ^{32}P 等の純 β 放出核種にも適用した。このような熱量計による放射能測定では、試料を完全密封状態で測定できるので放射線安全取扱い上も非常に有利である。崩壊熱測定技術の高感度化を追求する過程で、大気圧変動による気体の膨張・収縮熱に起因する温度ノイズ発生のメカニズムを解明して感熱素子まわりを気密構造とした熱量計を設計製作するなど、一般の理化学用熱量測定機器の設計技術に対しても波及効果を及ぼした。

RI 検定技術は種々の形状や性質をもった高放射性物質を遠隔操作で取り扱いながら、安全かつ正確に測定し分析する技術である。RI 製造棟においてこれまでに蓄積された技術・ノウハウは国内の関連業界や途上国に多少なりとも貢献できたものと自負している。

Ⅲ. RI・放射線技術者の養成

RI と放射線に関する技術者の養成は、32年の東京駒込の原研の RI 研修所の開設以来、継続され、その役割は、平成15年度から原子炉特別研究棟と RI 製造棟の施設の一部で担うこととなった。

研修コースとして、平成15年度は、RI・放射線初級コース(平成16年度をもって終了)、RI・放射線中級コース(平成20年度は放射線基礎課程)、専門課程として RI コース(平成20年度の放射線安全管理コース)、指定講習として第1種作業環境測定士講習と第1種放射線取扱主任者講習(研修の様子を第6図に示す)の全5コースを開催した。平成20年度の時点では、放射線防護基礎コースと登録講習として第3種放射線取扱主任者コースが加わっている。



第6図 表面汚染密度の測定実習

平成20年度における RI・放射線技術者の養成の各研修コースのこれまでの累積受講者数は、一般研修として、放射線基礎課程8,242人、放射線安全管理コース321人、放射線防護基礎コース210名、登録講習では、第1種作業環境測定士講習601人、第1種放射線取扱主任者講習5,037人、第3種放射線取扱主任者講習231人と大きな成果を上げており、RI 製造棟もその役割の一端を十分に果たしている。

—参考資料—

- 1) 日本原子力研究所東海研究所アイソトープ部, アイソトープ製造35年誌, 平成7年3月31日発行.
- 2) 日本原子力研究所原研30年史編集委員会, 原研三十年史, 昭和61年6月1日発行.
- 3) 日本原子力研究所原研史編集委員会, 日本原子力研究所史, 平成17年3月発行.
- 4) 原子力研修センター, 原子力研修センター50年の歩み, JAEA-Review 2009-033, 平成21年12月発行.

著者紹介

山林尚道(やまばやし・ひさみち)



(株)千代田テクノロ 大洗研究所
(専門分野/関心分野)ラジオアイソトープ
の製造と利用, 放射線測定器の校正

棚瀬正和(たなせ・まさかず)



(株)千代田テクノロ 大洗研究所
(専門分野/関心分野)ラジオアイソトープ
の製造技術開発, ^{99m}Tc の製造開発

著者紹介

源河次雄(げんか・つぐお)



日本原子力研究開発機構 大洗研究開発
センター
(専門分野/関心分野)ラジオアイソトープ
計測技術, 核医学診断用 ^{99m}Tc ジェネレータ

新刊紹介

君は原子力を考えたことがあるか
福井県原子力行政40年私史

来馬克美著, 286 p. (2010.10), ナショナルピーアール
文藝春秋企画出版部. (定価2,500円)

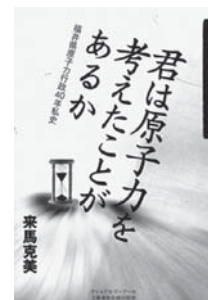
本書では, 原子力開発の進展に伴う福井県民の原子力に対する考え方が見事に示されている。日本原電が敦賀半島を原発の候補地に推した時代(1970年)には, 福井県は原子炉建設のための道路などのインフラ整備の発展を期待した。しかし, 福井県の工業が劇的に発展する見込みは外れ, 県をあげての原子力立地への過大な期待は現実とのギャップによって落胆に変わっていった。1972年には, 大飯町で原発建設をめぐる誘致派と反対派の争いが激化した。

この大飯町紛争の真っ只中, 来馬氏は福井県初の原子力職の技師として福井県庁に入庁された。入庁後の美浜1号機の蒸気発生器伝熱管のピンホール発生, 大飯1号機の ECCS(緊急炉心冷却装置)の誤作動等に対する福井県の技師としての

来馬氏の対応の経緯が鮮明に書かれている。来馬氏が福井県民の安全・安心に全力を注がれた様子が手に取るようにわかる。原子力問題に関しては, 原発で何か起これば県も独自の調査を実施しており, 来馬氏も各問題に対して県としての判断を実施しなければならず, それが事業者との話し合いの中にも態度に出て, 事業者側から嫌われてしまったことなども書かれている。

最後に, 来馬氏は県民の安全を守るための立地県の使命について述べており, 「福井県は原子力と地域社会との共生に関する現実的なモデルケースになりうる。そして, 原子力の平和利用が行われている世界の各地で, 参照されるべき先駆的モデルケースとして福井県は貢献できると, 私は心から信じている。」と結んでいる。来馬氏は冒頭で, 自分自身を「ヒネクレ者と受け取られることもよくあったが, 私は至って素直な性格だ」と言っている。この気持ちで本書を書かれたものと想像する。どう判断するかは, 読者におまかせする。

(福井大学附属国際原子力工学研究所・竹田敏一)



報 告

事故やトラブル時にどう対応するか？

原子力安全・保安院「緊急時対応センター」(ERC)について

原子力安全・保安院 前川 之則

我が国の原子力防災体制は、1999年に発生したJCO ウラン加工施設での臨界事故の教訓を踏まえ、オフサイトセンター等の施設整備を含め大幅に強化された。それから約10年を経て、この原子力防災体制は一般の方々に意外と知られていないと実感される。このため、これまであまり紹介したことのなかった原子力安全・保安院の緊急時対応センター(ERC)の設備や体制の説明を中心に、現在の我が国の原子力防災体制について、改めて紹介する。

I. はじめに

いまさら原子力防災体制に関する報告？ 何か大幅な変更を考えているの？ と問われそうな記事だが、何も変わったことを報告するものではない。

原子力安全・保安院では、昨年(2010年)10月、当院の原子力安全規制について事業者、メーカー、地元住民等、原子力に関心を寄せる方々との対話を行う試みとして、「原子力安全規制情報会議」を開催した。その際に、当院の原子力防災の中心を担う緊急時対応センター(ERC: Emergency Response Center)の見学ツアーを開催したところ、「こんな設備があることを知らなかった。もっと多くの方々にも広く知ってもらいたいのではないか。」といったご意見を多数いただいた。当方の認識とは異なり、一般にはあまり知られていないことから、改めて原子力防災の現状について、このERCを中心に報告する。

II. 原子力防災体制

我が国の原子力防災は、我が国初の商業用原子力発電所である東海発電所の建設が進められていた1962年8月に災害対策基本法上の災害の定義に、「放射性物質の大量の放出」の場合が加えられたところから始まる。しかしながら、原子力防災が劇的に強化されたのは、1999年9月30日に発生した茨城県東海村JCO ウラン加工施設の臨界事故を経験した後である。

JCO事故では、(1)事故対応における事業者、国、県、市町村の関係が整理されておらず混乱が生じたこと、(2)事故そのものに対する情報収集がうまくいかず全体に情報不足となっていた、(3)各省庁、地方自治体など複数の組織間の情報共有や連携が不足した、(4)事故の収束への

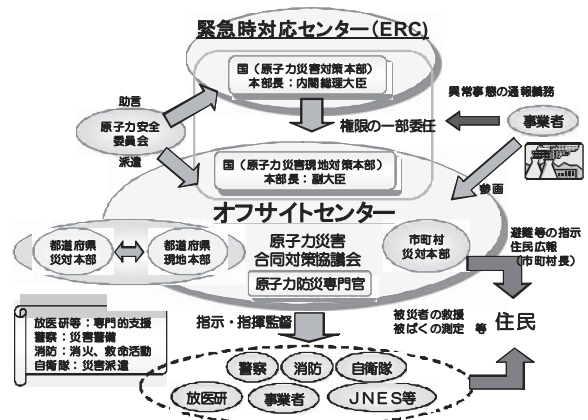
活動だけでなく、住民対応や広報対応を含め支援準備が不足したことが反省点として指摘されている。

これを踏まえて、1999年12月に原子力災害対策特別措置法が制定され、災害対策基本法と相まって原子力災害への備えを強化した。原子力災害特別措置法では、原子力災害が発生した場合に、国が中心となって原子力災害対応体制(いわゆる「原子力防災体制」)を構築することとした。

現在の原子力防災体制を第1図に示す。

JCO事故の教訓は、(1)国が中心となって防災体制を構築し、県、市町村、事業者との連携を図る、(2)事業者の義務として「異常事態の通報」を明確化し、情報収集を強化する、(3)原子力防災の中心として緊急事態応急対策拠点施設(いわゆる「オフサイトセンター」)を定め、情報の集約と発信、災害からの防護措置の調整、決定、実施を行う、(4)国からの適切な情報提供を行うとともに、県、市町村を中心に住民への伝達体制を整備、維持する、という方針で現在の原子力防災体制に反映させている。

オフサイトセンターを中心に防災活動を見ると、国や地方自治体、事業者等は、それぞれ自らの庁舎に対策本



第1図 原子力防災体制

部を置くとともに、オフサイトセンターに参集して「原子力災害合同対策協議会」を開催して情報共有と対策協議をすすめる。この検討を踏まえて、国が防護措置を決定し、参加各機関がこの決定に従い、防護措置を的確に実施する体制をとっている。

このうち国の本部は内閣総理大臣を本部長として総理官邸に設置されるが、実質的な本部事務局は、主管官庁に設置されている緊急時対応センターがその中心となる。商業用原子力施設の災害の場合、原子力安全・保安院のERCがこれを担当する。

オフサイトセンターは災害対策の最前線となり、災害対策に参加している関係機関の情報の共有と意志の統一を図る前線指揮所の役割を担う。

Ⅲ. 原子力安全・保安院緊急時対応センター

当院のERCは2001年1月、原子力安全・保安院が発足した際に設置された。広さ約245 m²(約74坪)の空間で、第2図のような配置がなされており、緊急時には約130名がここで活動を行うよう計画している。

1. ERC 内活動体制

ERC内の活動は、大きく7つの機能班体制を採用し、プラント状況把握や環境放射能の確認、放出可能性を踏まえた住民安全のための防護対策検討、広報活動等を行っている。各機能班の役割は以下のとおりである。

- 総括班 事務局内の総合調整、関係省庁との調整、防護対策の総合調整
- 広報班 プレス対応、広報資料の作成、等
- プラント班 事故の情報収集、事故進展の予測
- 放射線班 放射線モニタリング計画、影響の予測等を実施
- 住民安全班 住民避難等の防護措置の検討、防護措置実施のための調整
- 医療班 住民等への緊急医療措置への対応

運営支援班 ERC内防災活動全般の兵站管理、ERC内衛生管理

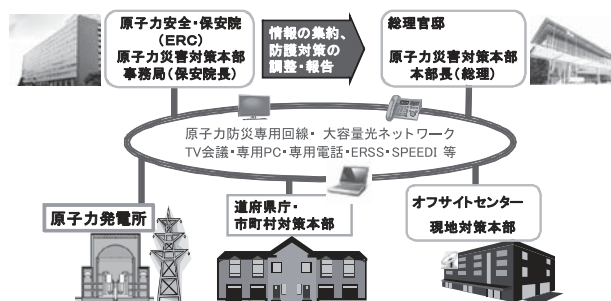
2. ERC 内設備概要

ERCの施設には、TV会議システム、大型表示装置(3台)、LAN設備(専用PC22台)、FAX/コピー(7台)、プリンタ(4台)、電話回線(一般35回線)、衛星電話(2台)、報道確認用TV(10台)等に加え、緊急時対策支援システム(ERSS)の端末、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の端末が置かれている。

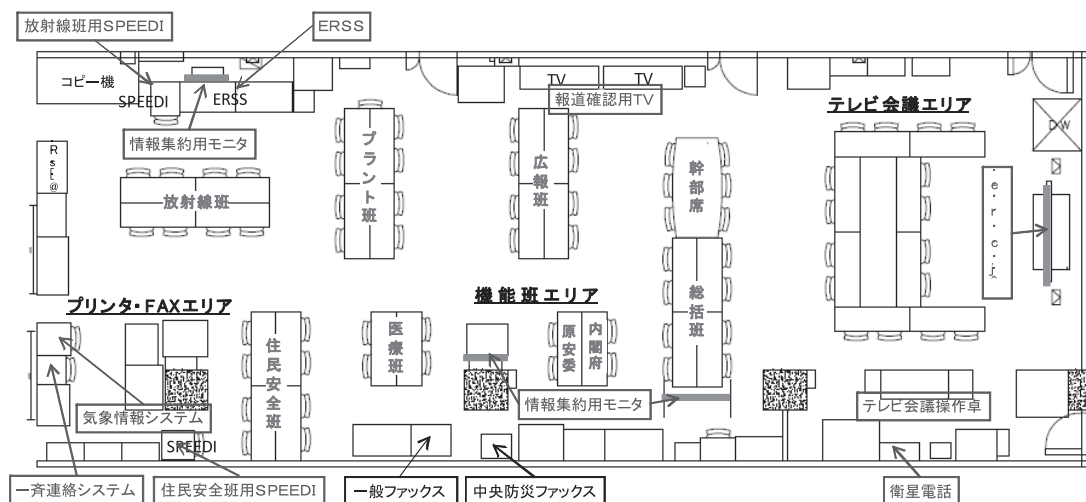
2009年からは、当初に設置した主要な機器の更新を行った。特に第3図のように官邸、当院ERC、各オフサイトセンター、各道府県市町村本部を大容量化・多重化した専用ネットワークで接続し、災害時の信頼性の向上を図った。また、TV会議システムの通信帯域も最大1.5Mbpsを確保し、最大30地点と同時会議が可能となるほどに能力向上をした。

3. 緊急時対策支援システム(ERSS)

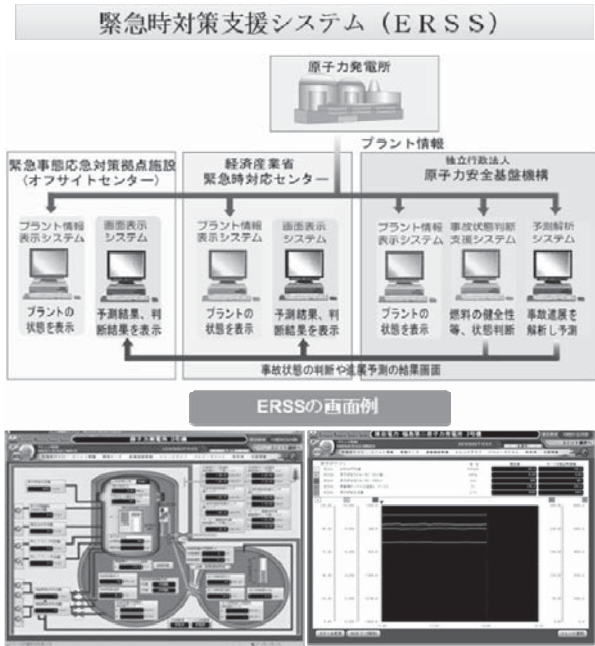
緊急時対策支援システム(ERSS:Emergency Response Support System)は、原子力発電所等で原子力災害やそれにいたる恐れのある事故が発生した場合、原子力事業者から送られてきた情報をもとに、コンピュータで事故状況把握を行うとともに、今後の事故進展の予測



第3図 防災ネットワークの概要



第2図 原子力緊急時対応センター(ERC)内配置図



第 4 図 緊急時対策支援システム (ERSS)

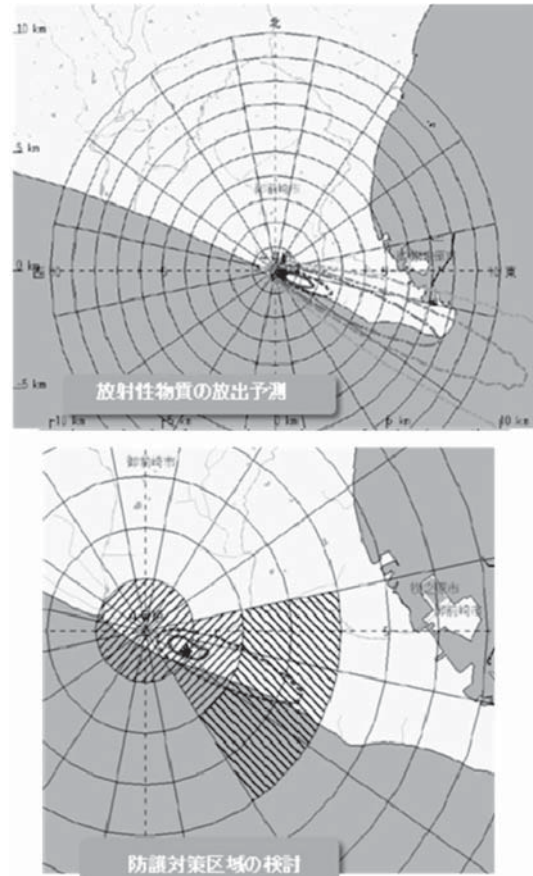
を行うシステムで、独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) が維持管理している。

システムは第 4 図のように、「プラント情報表示」、「事故状態判断支援」、「解析予測」、「画面表示」の各部で構成している。このうち「事故状態判断支援」と「解析予測」は JNES にて実施し、予測結果を ERC や全国のオフサイトセンターに送信し、「画面表示」をさせ、防護措置の検討に活用することになる。

また、「プラント情報表示」は、原子力事業者の理解を得て常時接続化されており、全国の原子力発電所 54 基、もんじゅ等から、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」機能に関する基本パラメータをリアルタイムで確認できるシステムとなった。これにより災害時だけでなく、運転中の運転状況の確認、大規模自然災害時のプラントの迅速な状況把握に十分活用できるシステムとなっている。

4. 緊急時迅速放射能影響予測 (SPEEDI) ネットワークシステム

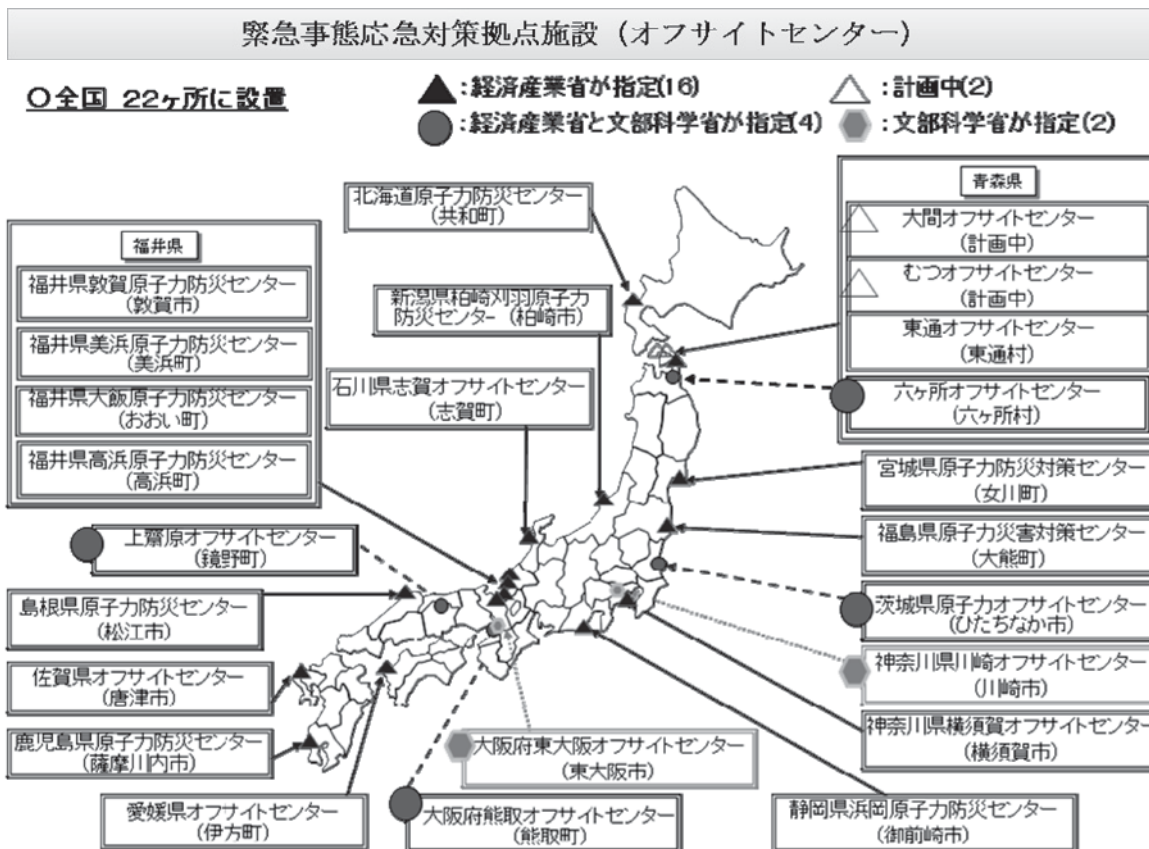
原子力施設から大量の放射性物質が放出したりその恐れがある緊急時に、周辺環境における放射性物質の大気中濃度や被ばく線量などを、放出源情報、地形データから迅速に予測するシステムで、文部科学省、財団法人原子力安全技術センターが維持管理をしている。(第 5、第 6 図参照)



第 6 図 SPEEDI の画面表示

	項目	内容	入力方法	用途
刻々変わるデータ	気象データ	風向、風速、降水量、大気安定度、日射量、放射収支量 GPVデータ(風速(U,V成分)、気圧、気温、比湿、降水量、雲量) AMeDASデータ(風向、風速、降水量)	地方公共団体からオンラインで入力 (財)日本気象協会からオンラインで入力	局地気象予測計算、風速場予測計算 濃度予測計算、線量予測計算
	放出源情報	サイトおよび施設名、放出開始時刻、放出継続時間、核種名とその放出率	手入力	濃度予測計算、線量予測計算
格納データ	地理情報	地名、海岸線、河川、道路、鉄道、緯経線等	データベースから自動的に検索	出力図の下絵
	社会環境情報	人口分布、学校、病院、避難施設等		出力図の下絵
	サイトデータ	サイト名、施設名、緯度、経度、スタック海拔高度、炉型		濃度予測計算の放出点の情報
	線量換算係数	実効線量等への核種別換算係数等		線量予測計算
	核種組成比率データ	希ガスとヨウ素の炉型・燃焼度別の燃料棒内組成比率等		希ガス・ヨウ素同位体の環境中組成比率の推定等
地形データ	50mおよび250m数値地図、土地利用データ	局地気象予測計算、風速場予測計算 濃度予測計算、線量予測計算		

第 5 図 SPEEDI で使用される各種データ



第7図 オフサイトセンターの配置図

本システムでは放出源情報は手入力となっているが、前述のERSS等により予測された予測放出量や放出開始時間を勘案して入力値を定め、予測を進めることとしている。

また、SPEEDIには各原子力施設立地地域の地区ごとの人口分布などの社会環境情報や地理情報をデータベース化して取り入れており、住民安全の観点から、避難等の防護対策を講じる際に活用されている。

Ⅳ. オフサイトセンター

1999年、JCO事故の教訓として、国、地方自治体、原子力事業者、原子力の専門家等関係者が一体となって情報を共有し連携した対応が大変重要と認識された。このために原子力災害対策特別措置法において原子力施設ごとに緊急事態応急対策拠点施設(オフサイトセンター)を平常時から指定しておくことが規定されている。

現在、第7図に示すとおり、全国で22ヶ所のオフサイトセンターが大臣により指定されている。オフサイトセンターでは、国の現地対策本部、県や市町村の現地対策本部などが設置される。原子力安全委員会の緊急技術助言組織構成員に任命された原子力防災の専門家や関係機関の要員も参集する。これら関係者による「原子力災害合同対策協議会」を組織し、情報共有や対策検討、迅速な対策の実施を指揮していく。

国としても、災害現場の状況に即した措置を迅速に講

じるため、災害対策本部長である内閣総理大臣から自治体の長に対する住民避難の指示を行う権限などの、権限の一部をオフサイトセンターに派遣した現地対策本部長に委任することとしている。

オフサイトセンターにおいても、ERCと同様に、7つの機能班体制を構築し、プラント状況の把握、環境放射能の測定、住民避難や被災者の救援、原子力施設の復旧といった防災業務に適切に対処する体制としている。また、十分な通信施設やTV会議システムを設置するとともに、ERSS、SPEEDIの端末も設置する等、ERCと同様の機能を有する機器を備えている。

なお、指定されたオフサイトセンターが事故の進展により施設内の適切な被ばく管理が困難になった場合や、大地震、洪水、火災等の災害によりセンター施設が使用不可能となった場合を考え、移動可能な距離内にある既存の会議室等を、代替の施設として選定し、移動手順等の整備がなされている。

Ⅴ. 運用・訓練

これまで説明した装置等を運用して、避難等の防護措置の検討は、(1)事故の進展をERSSにより予測しながら、万一の場合の放射能放出量と放出開始時間を想定する、(2)想定された放射能放出量をSPEEDIに入力し、発電所を中心として拡散量分布や予測被ばく線量の画像(第6図参照)を作成する、(3)地域の社会環境を勘案し

て、避難、屋内退避等の防護措置の内容と対象地区を決定する、(4)防護措置内容に従って住民避難等を実施する、という手順で行うことを基本としている。

運用には、人的スキルの確保とその維持のための防災要員への教育・訓練が不可欠である。特に、国、地方自治体の職員は2～3年単位で人事異動しており、過去11年間行ってきた国の原子力総合防災訓練であっても、2010年度の参加者中に占める原子力防災訓練経験者の割合は約半分に止まっている状況下では、その重要性を強調しすぎることはない。

原子力安全・保安院では、教育・訓練として、年度計画を作成し、a.大規模自然災害発生時の初動対応力の維持向上、b.原子力災害に対する総合的な防災の対応能力を高める訓練、c.輸送や火災等事故特性に対応した訓練の3分野で体系的な訓練の計画立案、実施に努めている。

また、原子力防災のための施設・設備の取扱いについて、原子力災害に至らない事故・トラブルであっても情報連絡の起点として、またプラントの安全性の把握の手段として、ERC、オフサイトセンターの設備を活用し、日頃から機材の扱いに習熟するよう努めている。

Ⅵ. おわりに

原子力安全・保安院のERCを中心に、原子力防災体制の現状を述べた。JCO事故から10年強を経て原子力防災体制は、JCO事故の教訓に基づく現行の災害対策基本計画や原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」(いわゆる防災指針)に示された防災戦略に従い、国、道府県、立地市町村、原子力事業者等の各所で整備強化がなされるとともに、関係機関間の協調を図りつつ体制の維持管理を行い、原子力災害に対して備えている。

幸いにもJCO事故以降10年以上、原子力災害対策特別措置法の対象となるような原子力災害は発生していない。また、今後についても原子力災害は、原子力施設の幾重にも備えられている深層防護のすべての各層をすり抜けたような、きわめて発生確率の小さい事象といえる。しかしながら原子力安全・保安院は、万万が一にもこのような事態が発生した場合でも的確に対応できるよう準備に万全を期す方針である。

一方、原子力防災に関する最近の議論の動向として、原子力安全委員会が、IAEA安全基準やICRP Pub.103などの国際的な動向を踏まえ、『防災指針への国際基準の取入れの検討』を進める方針を2010年12月に決定した。防災の実効性向上のため、予防措置を行う地域の範囲(いわゆるPAZ:Precautionary Action Zone)をあらかじめ定める等の現行の防災指針本文には含まれない新しい防災戦略の検討の実施が予想される。また、2001年9.11米国同時多発テロ以降、2004年には、いわゆる国民保護法が制定され、武力攻撃原子力災害への対応も明確に制度化された。このように、新しい視点から現状の原子力防災体制を一層改善していく検討も進められている。

原子力安全・保安院は、この原子力安全委員会等で進められる新たな防災戦略の検討結果を踏まえ、また武力攻撃原子力災害への対応も念頭に置きつつ、さらに適切な原子力防災体制への改善を目指していく方針である。

著者紹介



前川之則(まえかわ・ゆきのり)
原子力安全・保安院 原子力防災課
(専門分野/関心分野)機械工学





シニアネットワーク第11回シンポジウム報告 我が国のこれからのエネルギー政策はどうあるべきか 原子力にどこまで期待できるか

三菱重工業(株) 金氏 顯, 元(株)日立製作所 林 勉

シニアネットワーク連絡会(SNW)では毎年1回、シンポジウムを開催することになっている。本年は8月7日(土)に第11回として、東大武田先端知ビル大ホールにて開催した。今回のテーマは、諸外国の実状から見たわが国の原子力政策の問題点を俯瞰しながら、設備利用率や新規建設の実現性や安全規制体制の問題、わが国原子力技術の国際展開などの課題に焦点を当てて討論したので、報告する。

シンポジウムの狙い

今回のテーマは、この1年間を振り返り、かつ将来展望を視野に入れて何回も議論を重ねて決めた。諸外国の原子力政策の実状から見たわが国の問題点を俯瞰しながら、設備利用率や新規建設の実現性や安全規制体制の問題、わが国原子力技術の国際展開などの課題に焦点を当てて討論することを狙いとした。

午前中は基調講演を行い、午後にパネル討論を行うこととした。基調講演者の選定では、「諸外国の原子力政策の実状から見たわが国の問題点」については、最もふさわしい方としてIAEA 滞在の経験を持っている原子力委員の尾本彰氏に、一方「我が国の原子力政策」については経産省原子力政策課長の三又裕生氏にお願いした。

午後のパネル討論のパネリストには、基調講演のお二人のほかに、奈良林直氏(北大大学院教授)、丸茂俊二氏(電事連・原子力部部長)、水町渉氏(IAEA・NEA ISOE 第7代議長、JNES、元東芝)にお願いした。

開会挨拶 (シニアネットワーク会長・宅間正夫)

今、世界中で地球温暖化対策とエネルギー安定需給のために「原子力カルネサンス」といわれ、原子力の再評価と期待が高まっている。本日のシンポジウムは、世界的に優れた技術と経験を持つわが国の原子力がこれに応えられるかを皆さんと共に考えようというものだ。

かつて世界トップレベルの運転実績を誇ったわが国の原子力では、近年の異常な設備利用率低迷に象徴され、あるいは「技術は優れているがビジネスに弱い」といわれるように、国際的なルールやプロセスとかけ離れた「ガラパゴス化」ともいえる特異なガバナンスが目立ってきた。なぜこのようになったのであろうか。

本日のシンポジウムでは、より本質に迫る議論と課題

Report of SNW 11th Symposium: "How should Japan's Energy Policy be made? —To what extent can we rely on nuclear energy? : Akira KANEUJI, Tsutomu HAYASHI.

(2010年 10月29日 受理)

解決への道を探る実りある、本音の討議を期待する。

5人の登壇者の主張、提言など講演概要

(1) 原子力発電を中心に見た世界と日本

(原子力委員・尾本 彰)

過去6年間のIAEAの経験をもとに、海外から見た日本は世界と乖離が多くあり、この乖離解消の必要性について次のように主張した。

世界の原子力発電に対する期待は高く、原子力発電を行っていない68カ国がIAEAの導入支援を要請している。供給者、発電事業者、教育がグローバル化し、さらに研究開発の地域協力の拡大や、欧州においては統一した安全基準の制定なども進みつつある。

この世界の動向の中で、日本は理念や基準などの発信が少なく路線が硬直化し、その結果、多くの国で当り前に行われている世界の標準的な慣行から乖離している。

このような事例として次のことを指摘した。

- (1) 炉停止の発生頻度は低いですが、一たん停止するとなかなか起動できず、燃料交換と点検保守のための停止期間も長く、結果として諸外国に比して大変稼働率が低い
- (2) 原子力産業が経済成長と雇用との関連で見られていない
- (3) 温暖化ガス放出削減への寄与という原子力の特徴が原子力推進の世論に繋がらない(IAEAが多数の国を対象とした世論調査で日本が特異であることが示された)
- (4) 規制のダブルチェックと規制当局の職員の頻繁な移動
- (5) 階層構造を欠いた基準類
- (6) 地方自治体が施設運転を左右する大きな影響力
- (7) 食品照射の適用範囲が極めて小さい
- (8) 放射線による診断、治療が少ない

日本は国内で閉じずに、国際関係の中で原子力科学・技術を利用した持続可能な発展を再び考える時である。

(2) 原子力発電をめぐる内外の動向とわが国の政策
(経産省資源エネルギー庁原子力政策課長・三又裕生)
世界の原子力新時代に日本が対応するため、昨年6月に総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会が「原子力発電推進行動計画」を公表し、これを反映して今年6月18日に「エネルギー基本計画」が閣議決定された。そのポイントを次のように解説。

(1) 原子力は供給安定性と経済性に優れた低炭素電源であり、基幹電源として利用を着実に推進させる。具体的には、

- ①原子力発電所(原子炉)の新增設を2020年までに9基、2030年までに少なくとも14基以上
- ②設備利用率を2020年までに約85%、2030年までに約90%

このために、地方自治体との間で原子力の政策的重要性の共有、国の原子力広聴・広報のあり方について国がより前面に出て双方向性を強化、電源立地交付金の更なる改善などを図る。また、設備利用率の向上には、新検査制度の下で運転期間18ヵ月、定期検査期間2ヵ月となった場合には90%の設備稼働率が実現するはずである。

- (2) 核燃料サイクルを中長期的にブレない確固たる国家戦略として着実に推進する。
- (3) 世界のエネルギー安定供給等への貢献、技術・人材基盤の強化、原発技術の海外展開等の観点から、原子力産業の国際展開を推進する。国別のニーズに合わせた対応として、米欧には公的金融支援のもとに新規建設への積極的支援、中国へは資機材の輸出を支援、インドには不拡散条件のもので展開、東南アジアや中近東に対しては将来のビジネスチャンスのため「システム」型の輸出を推進すべき。これらの活動を支援するため、核不拡散・原子力安全に向けた環境整備に早急に取り組まなければならない。

(3) 原子力の技術基盤、人材育成の視点から

(北海道大学大学院工学研究院教授・奈良直)

原子力カルネッサンスを実現するには、人材不足が世界共通のネックとなると考えられる。北海道大学でも2005年に原子力工学科は機械工学科と統合、原子力工学科の名称が消えたが、近年、原子力人材育成教育公募事業が開始され、教育支援プログラムを充実し、講義内容の改良も進めている。たとえばプロジェクト形式の演習教育も取り入れ、興味ある設計(駅ビル型原子力発電所、原子力船、洋上都市など)などを導入、その結果、学生の取組みが活性化された。

発電所との連携授業や原子力関連機関、他大学との交流や学会発表なども、学生の視野を広め意識を高めるのに役立っている。

原子力産業に必要な人材は技術的に優れているととも

に、プロジェクト推進力、国際性と倫理感を併せ持つスーパーエンジニアである。このようなねらいで、北大原子力グローバル教育プログラムを推進している。

(4) 事業者の立場から

(電気事業連合会原子力部・部長・丸茂俊二)

電気事業者は原子力を基幹電源とし、2030年以降も総発電量の30~40%以上を原子力発電が担うという目標達成と、2020年度までに原子力を中心とする非化石燃料比率を50%とすることを目指している。

既存原子力発電所は米国に比べ、自動停止回数が少ないが、設備利用率は低迷している。これは、米国ではプラント運転に支障を及ぼさない機器の点検を運転中に行うことで、プラント停止期間中の機器点検作業が軽減、燃料交換日数が短縮している。また、日本では計画外停止の際の再立ち上げまでの期間が長いことにも起因している。

これらの改善のためには、法整備や新しい基準取込みなどの環境整備が必要である。具体的には設置許可や工認制度、検査制度の改善のための原子力法規制の検討を進めている。例えば、型式認定、プロセス型の確認や検査、運転開始前の総合レビュー検査の導入などである。

国際水準を踏まえた実効的で信頼性のある法規制などを行い、優れたハード技術に加え、ソフト面を改善し、高いパフォーマンスを達成したいと考えている。

(5) 原子力安全規制の最適化—7回の海外調査より

(IAEA・NEA 職業被曝情報システム(ISOE)委員会
元議長・水町 渉)

これまで第1~7次にわたり海外の原子力規制に関する調査を実施してきた。この成果として、フィンランドにおける予防保全や予備品の即時交換可能体制による世界最短の計画停止期間達成や、米国NRCの事業者の自主性を重んじた規制の成果など、規制や検査制度に好事例や技術の進歩を取り入れ、科学的、合理的な制度の改善に取り組んでいる。世界の検査制度の趨勢を日本の制度と比較し、日本の制度には次のような問題があることが明らかになった。

- (1) 定期検査制度は日本だけ。世界は燃料交換期間が定められているだけ。
 - (2) 世界では、検査は運転中8割、燃料交換時期中2割。日本は逆で、運転中2割、燃料交換時8割。
 - (3) 機器故障でプラント停止すると原因究明するまで立ち上がらない。
 - (4) 安全系の運転中検査が許可されない。
 - (5) 検査官、審査官は2~3年で他部署へ。専門性の醸成が難しい。
 - (6) 検査官は1週間に4日のみしか検査しない。
- わが国でも目標の設定や行動計画、制度の見直しが行

われているが、その実現に向けては強いリーダーシップが必要である。

パネリスト間の討論

わが国の原子力が期待に応えることができるのか、あらかじめ3つの質問を金氏座長から5人にして、事前に回答を頂いた。当日はそれらを会場で紹介し、討論の材料とした。なお、当日のパネル討論の壇上の様子を第1図に、フロアの様子を第2図に掲げる。

Q1：目標「原子力発電所の設備利用率を2020年までに約85%、2030年までに約90%」の実現可能性とその施策・課題は？

「2020年までの約85%」は、5人のパネリスト全員が、長サイクル運転や運転中保全などの制度改正によらずとも実現できなければならないし可能であると考えている。過去の実績や、現状でもPWRでは達成しているからである。

しかし、「2030年までに約90%」については全員から、現状では様々な課題があり、抜本的な施策が必要と指摘された。主なものは次の通り、既に米国等海外では導入されているものであり、世界的標準からの乖離が設備利用率低迷の要因であることを物語っている。

- (1) 計画外停止後の早期立ち上げ。具体的には原因の機器が復元(もしくは予備品と交換)すれば即起動し、その後に原因究明や水平展開。



第1図 パネル討論の壇上の様子



第2図 フロアの様子

- (2) 運転中保全(OLM)や状態監視保全(CBM)により定期検査期間の短縮。
- (3) 長期サイクル運転の導入。
- (4) 事業者間でのベストプラクティスやトラブル情報の共有、活用。

そして、これらの施策導入に当たっては、規制当局と事業者間のコミュニケーション改善、また立地地域住民と立地自治体の国の安全規制への理解・信頼が不可欠であることも指摘された。逆にいうと、これらが設備利用率低迷の真の要因であるともいえる。

パネリストの一人からは「米国は1992年72%、2002年に91%、わずか6年間で約20%も向上している。20年間というペースでは韓国等との受注競争に負ける。」と政策目標への疑問が出され、また別のパネリストから「ムチばかりでなく、国際標準の性能評価指標(PI)を導入し成績の良いプラントは最小限の検査にするなどアメも必要」、また「100点満点の検査制度はない、規制側は技術の進歩も取り入れ、民間の意見を謙虚に聞き、制度改善を継続的に図るべき」と規制当局への手厳しい意見もあった。

Q2：目標「原子力発電所の新規建設を2020年までに9基、2030年までに14基」の実現可能性とその施策・課題は？

どのパネリストも、条件付きで新規建設は可能であるとの意見であり、「条件」はほぼ次のようなものに集約される。

- (1) 人口減少の中で輸送の電化など産業構造革新による電力需要が増えること(夜間電力主体)
- (2) 低炭素社会に向けて、原子力の役割重視の国民的合意に基づく政治的意思決定がなされること
- (3) 新規建設や増設が地域の雇用、生活環境、経済活性化に繋がる具体策と民意が形成されること
- (4) 許認可や検査の法制度見直しによる標準審査制度が導入されること

中でも立地地域の理解・合意は非常に大きな要素であり、あるパネリストは「サルコジ大統領やブッシュ前大統領の“哲学”を日本の首相が示し、地方の非科学的な要求を、科学的・合理的に処理すること」、また「原子力発電所の安全性評価は国の専管事項とすること」が望ましいと指摘。また別のパネリストからは「地元やマスコミとの対話を通じて理解促進を進めれば可能であり、怒号が飛び交う中でも依頼があれば喜んで講師を引き受けたい」との頼もしい発言もあった。さらに立地地域活性化の具体策として、日本原子力研究開発機構による地域産業のシンクタンク活動など施設設置者の知財提供、発電所地元の安い電気を利用したデータセンター設置など起業、地域での大学教育や放射線医療施設への貢献など豊かな環境作り、サイト周辺10 kmの電力料金を無料とし

大電力を消費する大工場を誘致, などの案も出た。

なお, パネリストの一人は建設・計画中の14基を個別に評価し, 実現可能性あるのは建設中3基と計画中11基中の7基, すなわち4基は無理ではないかと予測した。これまでの建設計画の実績からこの辺りが現実的と思われる。

Q3: 目標「開発途上国の原子力発電所建設受注」の実現可能性とその施策・課題は?

5人のパネリストとも我が国の原子力発電所の建設, 運転, 管理の技術力は十分な競争力があるにもかかわらず, UAEとベトナムI期の商談で敗退した反省として, 日本勢の受注実現に必要として提起された条件や施策を列挙すると次のようになる。

- (1) 国内市場だけでは駄目だという危機感の下にメーカー, 電力, 国が一体となった受注体制構築と運転保守, 人材育成等を含むシステム輸出力(「国際原子力開発(仮称)」など)
- (2) 価格競争力とリスク対応能力
- (3) 相手国のニーズに応じた協力提供の提案力(相手国産業育成支援, 医療農業工業での放射線利用, 海水淡水化など)
- (4) 我が国の優れた技術力を実績で示すこと(設備利用率, 従業員被ばく量など)

これらのほかにも「大学では, 海外展開の布石として留学生受け入れを通じて人材育成を推進します」との力強いメッセージもあった。また, 「国内規制を科学的合理性のあるものに改善し実績を作り, 規制スキームもセットで展開すべきだ」との意見もあった。しかし, 一方で「発展途上国にはインフラが整っておらず, コンクリート強度ですら心配, 運転や保守のミスも設計責任にされるおそれ等リスクがあることも懸念材料として認識すべきである」との指摘もあった。そういう意味で「発展途上国にこだわる必要があるのか, 中国やインドなどの大きな市場をどうするのか, なども議論すべきだ」と指摘があった。その上で, 「当面の受注相手国は, 先進国である欧米諸国と発展途上国ではベトナムとインドネシアであろう」という現実的な見解も出された。

パネリストと座長のまとめ

(水町氏) 今後のキーワードとして, 設備利用率が重要である。例えば, 韓国がUAEからの原発受注成功したのも, 日本の設備利用率の低さがその理由の一つとされている。外国のプラントと比較しても遜色ないことが重要である。

(丸茂氏) 電事連では40以上の原子力関連の委員会では日々課題解決に向けた取組を行っている。シニアの皆様からも前向きな意見を期待したい。

(奈良林氏) 世論形成においてマスコミの影響が大き

い。正確な報道のためには, 彼らとの対話が必要であり, これからも場所・時間に関係なくマスコミとの対話を積極的に推進していくべきである。

(三又氏) 原子力を推進するうえで, 好ましい状況が増えてきた。政策を実現するうえでは好機であり喜ばしい状況といえよう。

(尾本氏) 原子力カルネッサンスといわれる今日, 世界に向けて日本の力を発揮すべき時である。ここで話だけしていても始まらない。シニアネットワークの方々の貢献できる場所は世界にたくさんある。

(金氏座長)

座長総括として, またSNW代表幹事として, 3つのことを提言した。

1つ目は, わが国の原子力には, 現行の制度, 慣行, 体制などにいろいろと課題, 問題があることは十分にかかった, 問題解決の答も海外もしくは過去の実績の中に見ることができる。そこで, もう議論することは止めて, ただちに関係部署で実行に移すときではないだろうか。

2つ目は, 今日ここに集われた皆様には, 原子力に関係する方々やステークホルダー(国, 事業者, 地方自治体, メーカー, 大学, 学協会, マスコミなど)とのコミュニケーションの継続と拡大をお願いしたい。

3つ目は, 我々シニアもステークホルダーとのコミュニケーションとともに, 次世代の若者や一般市民への啓発, 教育, 対話を継続し拡大し, 国民の意識改革を草の根的に行っていきます。

まとめ

猛暑にもかかわらず, 参加者は約160名と盛会であった。時宜にあったテーマ選定であり, わが国の原子力界が抱える諸問題について本音で深く考える場となったとの評価を得た。今後とも毎年最もふさわしいテーマを選定していき, わが国の原子力の健全な発展に少しでも貢献できればと考えている。

著者紹介

金氏 顯(かねうじ・あきら)



三菱重工業(株)
(専門分野)エネルギー教育全般, 原子力プラント技術伝承全般

林 勉(はやし・つとむ)



元(株)日立製作所,
(専門分野)エネルギー教育全般, 原子力プラント技術全般

報告

アクチノイド・マネジメントに必要な炉物理実験

「アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験施設」

研究専門委員会活動報告

東北大学 岩崎 智彦

マイナーアクチノイドの核変換技術や MOX 燃料の本格利用に伴うプルトニウムの多重リサイクル等、「アクチノイド・マネジメント」の必要性は年々高まってきており、原子炉物理学や核データといった核工学の分野の主要な研究テーマのひとつとなっている。しかし、多量のマイナーアクチノイドや高次化プルトニウムを使用可能な炉物理実験施設は世界的にも存在しないため、この分野の研究の進展に停滞を招いており、実験環境の整備が喫緊の課題である。本報告は、約 2 年にわたる研究専門委員会での検討結果を取りまとめたものである。

I. 委員会設立の背景と目的

核分裂エネルギーを利用するには、ウラン(U)やプルトニウム(Pu)といったアクチノイド元素を用いることが必須になる。さらに、近年では、プルトニウムの多重リサイクル利用や高レベル放射性廃棄物の処分に係る負担軽減を目指した分離変換技術といった観点から、ネプツニウム(Np)、アメリシウム(Am)、キュリウム(Cm)などのマイナーアクチノイド(MA)元素や、²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu など高次化プルトニウム核種が注目されている。ウラン-プルトニウム・サイクルの利用に関わる主なアクチノイド核種を第 1 表に示す。MA や高次化プルトニウムの特徴は、その多くが α 線を放出して崩壊し、単位質量当たりの放射線強度が強く、一部は高い発熱性を有することにある。

本稿のタイトルにある「アクチノイド・マネジメント」は、これらの元素の原子炉中での生成・変換から、最終的な処分までを適切にコントロールすることで、核燃料サイクルを含む原子力システム全体に要求されるエネルギー源の確保、資源の有効利用、環境負荷の低減、核不拡散性の向上などの性能目標を高いレベルで達成することを目指したもので、原子力の持続的利用に欠かせない概念となってきている。

アクチノイド・マネジメントとの関連が強く、原子力に特有の研究分野として、原子炉物理学や核データといった「核工学分野」が挙げられる。核工学分野では、軽水炉、高速炉、再処理施設などの設計や安全性評価などのために、核反応断面積の測定や理論計算に基づく核

データファイルの整備、主にウランやプルトニウムを用いた様々な臨界実験施設による炉物理実験などが盛んに行われ、これまでに多くの成果をあげてきている。しかしながら、MA や高次化プルトニウム核種の多くは、前述のように放射線強度や発熱が大きく取り扱いが難しいことから、これらを用いて現有的実験施設において実施できる炉物理実験は限定的なものとなっている。

これらの状況に鑑み、アクチノイド・マネジメントの観点から今後、必要となる炉物理実験施設について検討することを目的として、平成20年6月、日本原子力学会に「アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験施設」研究専門委員会(主査:東北大学・岩崎智彦)が設置された。本委員会は、平成22年3月までの2年弱の間に7回の会合を開催し、アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験のニーズの調査・検討、その実験を行うために必要となる実験施設の仕様・性能の検討・議論などを行い、このほど提言を取りまとめ、活動を終えた。本報告は、同研究専門委員会での検討・議論の内容を取りまとめたものである。

II. 検討の対象とした原子炉システム

前章で定義した「アクチノイド・マネジメント」を広い意味で捉えると、軽水炉の高燃焼度化によって使用済燃料の発生量を抑制することなども相当する。しかし、アクチノイド・マネジメントをより積極的に効率よく行うためには、高速増殖炉(FBR)や加速器駆動核変換システム(ADS)など、高速中性子系の原子炉システムを用いて、プルトニウムと MA の生成・変換を適切にコントロールすることが重要である。ここで、ADS とは、MA を主成分とする燃料を用いて未臨界炉心を形成し、核分裂の連鎖反応を強力な加速器中性子源で維持する概念(第 1 図参照)であり、MA 核変換の専用システムである。高速中性子を用いるのは、

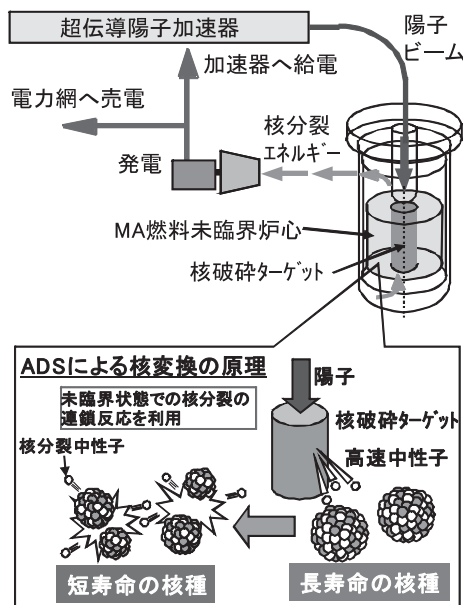
Reactor Physics Experiment Necessary for Actinide Management; Research Committee on Reactor Physics Experimental Facility for Actinide Management, Atomic Energy Society of Japan : Tomohiko IWASAKI.

(2010年 10月25日 受理)

第1表 ウラン-プルトニウム・サイクルに関わる主なアクチノイド核種*

	同位体	半減期(年)	主な崩壊形式	γ 線強度($\gamma/g \cdot s$)	中性子線強度($n/g \cdot s$)	発熱(W/g)
ウラン (U)	^{235}U	7.038×10^8	α 崩壊	1.1×10^5	0.002	-
	^{238}U	4.468×10^9	α 崩壊	1.4×10^3	0.013	-
ネプツニウム (Np)	^{237}Np	2.14×10^6	α 崩壊	3.0×10^7	1.1	2×10^{-5}
プルトニウム (Pu)	^{238}Pu	87.74	α 崩壊	1.0×10^{11}	4.5×10^4	0.57
	^{239}Pu	2.41×10^4	α 崩壊	1.3×10^8	120	0.002
	^{240}Pu	6564	α 崩壊	1.3×10^9	1500	0.007
	^{241}Pu	14.35	β 崩壊	1.4×10^9	4.1	0.013
アメリシウム (Am)	^{241}Am	432.2	α 崩壊	7.9×10^{10}	8400	0.11
	^{243}Am	7370	α 崩壊	6.5×10^9	420	0.006
キュリウム (Cm)	^{242}Cm	0.446	α 崩壊	2.0×10^{13}	3.2×10^7	122
	^{243}Cm	29.1	α 崩壊	3.2×10^{12}	1.6×10^5	1.8
	^{244}Cm	18.10	α 崩壊	4.5×10^{11}	1.1×10^7	2.8

* γ 線強度、中性子線強度、発熱は各アクチノイド同位体の酸化物に対してORIGENコードで計算



第1図 加速器駆動核変換システム(ADS)

離変換技術の効果および意義、研究開発の現状、技術の達成度の評価、研究開発の基本方針と今後の取組み方法などが広範囲にわたって取りまとめられている。この中の「概要課題に対する取組のあり方」では、FBRおよびADSによる核変換システムに対して、それぞれ、以下のように今後の研究開発のあり方が提言されている。

FBRについては、MA核データに関する微分実験および積分実験についての既存施設での取組の強化、評価済み核データライブラリーの充実および数値シミュレーション技法等の高度化を図るべきとし、こうした方法に残る不確実性の減少方法を探求するために、特にMA燃料を用いて、冷却材ボイド反応度などを臨界実験装置において測定する環境を整備するべきであるとした。

また、ADSに関しては、工学的・経済的な面からの成立性を確認する段階に移行するには、さらなる基盤的データの蓄積等が必要であるとし、核破砕中性子源と高速未臨界炉心を組み合わせた模擬実験は世界的にも未着手であり、J-PARC等の活用が期待されるとした。

さらに、今後の進め方として、種々の基礎データの獲得やベンチマーク実験、あるいは、工学研究の実施に必要な施設や設備に関して、国内施設や海外施設の利用計画などを含めた合理的かつ戦略的な方針が提示されるべきであるとした。

これらの提言は、分離変換技術の研究開発を進めるに当たって考慮すべき事項であり、本委員会における議論でも、これらの提言への対応を念頭において検討を進めた。

IV. アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験のニーズ

実験施設の検討に先立ち、FBRやADSなどアクチノイド・マネジメントに主要な役割を果たす原子炉システムに共通して必要な炉物理実験並びに各システムに固有の実験に関するニーズを調査・検討した。

- (1) 核分裂あたりに発生する余剰中性子数が多く、この余剰中性子を核種の生成・変換を行うための核反応に利用しやすい
- (2) MA核種は一般に数百 keV以上の高速中性子によって核分裂しやすくなるため、MA核変換に有利である

ことによる。したがって、本委員会では、高速中性子系システムのみを議論の対象とした。

III. 分離変換技術検討会で示された検討課題

本委員会と並行して、平成20年8月より、原子力委員会の研究開発専門部に「分離変換技術検討会」が設置され、約7か月にわたり、分離変換技術の研究開発の現状および今後の研究開発についての調査・検討がなされた。

平成21年4月に示された同検討会の報告書¹⁾では、分

1. MA 核変換システムに共通のニーズ

(1) MA 核種の反応率比測定およびサンプル反応度価値測定

MA を対象とした核変換システムにおいては、MA の核データが非常に重要であり、MA を使った臨界実験等による核データの積分テストを活用して核データの信頼性を向上する必要がある。

(2) MA 核変換システムの模擬実験(部分模擬)

MA を大量に装荷(kg オーダー)した炉物理実験は、ロシアの臨界実験施設 BFS で²³⁷Np を用いた実験が行われただけであり、こうした実験に対するニーズは高い。BFS の実験では、約10 kg の²³⁷Np を装荷した高速炉模擬体系が構成され、ナトリウムボイド反応度の上昇、制御棒反応度価値の減少などの影響が観測され、貴重なデータとして活用されている。

(3) MA 試料の照射実験

MA 試料の照射実験に関しては、主要な MA 核種だけでなく MA 装荷炉心の燃焼過程で生成される核種についての実験情報を得ることができ、MA 装荷体系の燃焼特性を把握するために重要である。

2. FBR に固有のニーズ

(1) 設計の高精度化に資する実験

現在、日本原子力研究開発機構(原子力機構)が中心となって我が国で進められている「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」(FaCT)においては、軽水炉から高速炉への移行期には最大5%程度の MA を炉心に均質に装荷することが想定されている。このような MA 均質装荷炉心の核設計精度を担保することは重要な研究開発課題である。核設計手法を向上するための手法として、効果的な炉物理実験と、その情報を活用して核断面積データの誤差を低減する「炉定数調整法」や、対象とするシステムの核設計値に積分実験情報を反映して核設計の誤差を評価し、この誤差を最小にする「拡張バイアス因子法」が開発されている。今後、合理的に核設計の目標精度を達成するためには、炉物理実験と解析手法の高度化により、設計精度の向上が重要である。

(2) 高次化プルトニウム、MA に関する積分実験の拡充

上述した炉定数調整法等が有効であるためには、信頼できる共分散データと、厳格に誤差評価がなされた互いに独立した炉物理実験データが必要である。しかし、高次化プルトニウムや MA については、一部を除いてほとんど実験データが存在しないのが現状である。そこで、高次化プルトニウム、MA に関する積分実験の拡充(反応度価値測定、捕獲反応率測定技術開発、スペクトル調整による系統的なデータ取得等)が必要になる。

3. ADS に固有のニーズ

ADS については、MA 濃度の高い核変換専用燃料の模擬だけでなく、以下に示すような様々な炉物理的な課題があり、実験的な検証のニーズが高い。

(1) 核破砕中性子源と高速中性子増倍体系の結合実験

核破砕中性子源は数百 MeV から数十 keV に広く分布するエネルギースペクトルを持ち、空間的にも分布を持つのが特徴である。これまで、京都大学原子炉実験所において、核破砕中性子源と熱中性子増倍体系の結合実験が行われているが²⁹⁾、高速中性子増倍体系との結合実験を行った例はない。したがって、高速中性子増倍体系において核破砕中性子源の存在が核特性に及ぼす影響(出力ピーキング、核破砕中性子源の実効強度、高エネルギー中性子の影響)を実験的に検証することが必要である。

(2) 未臨界度モニタの開発

システムの未臨界を担保するだけでなく、システムの出力決定に影響する未臨界度の精度の良い予測および測定は、ADS システムにとって最も重要な事項であり、未臨界度測定技術の確立を図ることが必要である。

(3) 加速器の不安定性の影響評価

ADS では中性子源強度の調整でシステムの出力を制御するため、陽子ビーム電流の調整による出力のフィードバック制御やビームトリップ時のシステムの挙動等を実験的に検証することが重要である。

以上のように、アクチノイド・マネジメントに主要な役割を果たす原子炉システムに対しては、MA や高次化プルトニウムを用いた炉物理実験のニーズは高く、さらに ADS に関しては、未臨界状態で運転することに起因した固有の様々な実験課題が新たに生じていることが明らかとなった。

V. 国際的な検討状況

国際的にも、新たな炉物理実験の必要性が示されつつある。OECD/NEA の原子力科学委員会(NSC)には、2009年、MA を用いた炉物理実験に必要なアクチノイドについての必要量、取扱技術、調達方法等について議論するため、「MA マネジメントに関する積分実験専門家会合」が結成された。これまで、既存施設での実験のレビューなどがなされている。

また、OECD/NEA は「原子力科学と技術に必要な研究・試験施設」に関する報告書³⁰⁾を2009年に発刊している。その中で、原子炉に関する研究開発では、核変換技術に重要な高次化プルトニウム核種や MA 核種の核データが重要であること、汎用性のあるゼロ出力臨界/未臨界集合体が必要であること等が述べられている。さらに、ADS と核変換に関しては、幅広い項目をカバーするために国際協力が重要であること、実証段階に進む

前に、MA 核データの積分的検証や陽子加速器と高速中性子増倍体系の結合に関する実験を行うための基礎的実験施設が極めて重要であること等が述べられている。この観点から、後述する J-PARC の核変換実験施設が重要な役割を果たすことが期待されると述べられている。

以上のように、国内外で、アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験のニーズは高く、施設の整備を含めた将来展望を早急に示していくことが求められている。

VI. 核データに起因する核設計誤差の現状

アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験のニーズの最大のポイントは、これまでに使用経験の少ない MA や高次化プルトニウムを用いた実験によって、原子炉システムの核設計の精度を検証することにある。そこで、MA 装荷 FBR および ADS を対象として、核データに起因する核設計値の解析誤差について以下の 2 つの手法で検討した。

手法-①：核データの「共分散データ」と呼ばれる誤差情報と、対象システムの核特性に対する核反応断面積データの変化が与える影響の大きさを表す「感度係数」から、核データ起因誤差を推定

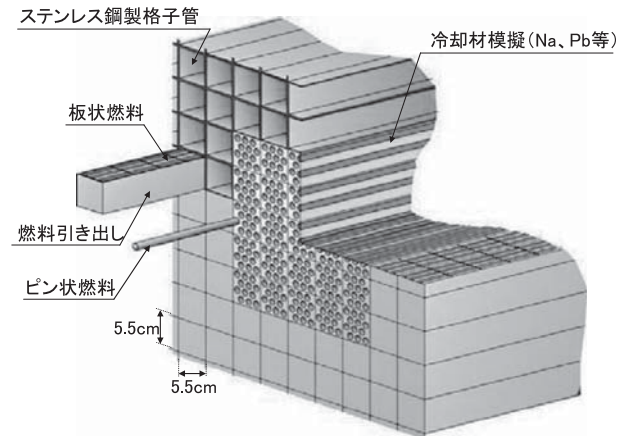
手法-②：異なる核データファイル(JENDL-3.3, ENDF/B-VII, JEFF-3.1.1)を用いて解析した結果の比較

検討の詳細は文献^{4,5)}に譲るが、ここで明らかとなったのは、上記の手法-①は、核データに起因する解析誤差を小さく見積もる傾向があることである。例えば、ADS の冷却材ボイド反応度に対しては、手法-②で評価した異なる核データを用いた解析値間の相違は、手法-①で見積もった解析誤差の 3～4 倍もの大きな値となることが明らかとなった。また、ADS ではこれまでにほとんど使用経験のない MA を主成分とした燃料を用いているにもかかわらず、手法-①によると、実効増倍係数の核データ起因誤差は、MA を 5% しか装荷していない FBR と大差ない結果となっており、MA の誤差が過小評価されている可能性が高いことがわかった。

以上の検討から、アクチノイド・マネジメントに主要な役割を果たす原子炉システムに対しては、核設計の信頼性を担保するためには、MA や高次化プルトニウムを用いた実験による検証を行うことが必要不可欠であると結論できる。

VII. 必要な実験施設の性能

最初に述べたように、MA や高次化プルトニウムを扱うのは簡単ではなく、そもそも、これらの物質の入手方法や加工できる施設も極めて限定されている。したがって、MA や高次化プルトニウムを扱う量は可能な限り少



第 2 図 MA 装荷炉心の部分模擬実験の概念図
(中央部分のピン状燃料に MA が装荷される)

なくしつつ、効果的な実験を行うことが求められる。そこで、効果的に解析精度を上げるために必要な MA 装荷量を検討した。この検討では、例として J-PARC の第 II 期として計画されている核変換物理実験施設の構想を基に、第 2 図に示すような中心部だけにピン状の MA 燃料を装荷した高速中性子系の臨界実験装置を想定した。この実験装置に装荷する MA 量を系統的に変えて炉物理実験を行った場合に核データ起因誤差がどの程度低減されるかを、前述の手法-①を応用して評価した。

検討の詳細は文献⁴⁾に譲るが、MA を部分的に装荷した実験体系での炉物理実験によって、特に、冷却材ボイド反応度など、中性子のエネルギースペクトルの形成状況が重要な核設計パラメータの精度の向上が期待できることがわかった。

VIII. 実験施設検討にあたっての課題

第 2 図に示したような部分模擬によって冷却材ボイド反応度などに関する有効な実験結果を得るには、模擬対象組成にも依存するが、MA を数 kg 以上装荷することが求められる。前述のように、ロシアの BFS では²³⁷Np を 10 kg 程度使用した実験がなされているが、第 1 表に示したように、10 kg の²³⁷Np の発熱は高々 2 W 程度であり、従来の実験で用いられている²³⁹Pu と比べて放射線量もそれほど高いわけではない。これに対し、同量の²⁴¹Am では、発熱は 1.1 kW となるため強制冷却が不可欠となるとともに、 γ 線も中性子線も桁違いに高くなり、遮蔽や遠隔取扱設備の採用が避けられない。²⁴⁴Cm は中性子放出率と発熱がさらに大きく、臨界集合体での実験の際には、取扱量の制限を設ける必要がある。

原子力機構では、輸入した MA を用いて 100 個規模の MA 含有燃料ペレットを製造した経験を有するが、kg オーダーの MA を調達して取り扱える分離施設は今のところ国内には存在しない。

このように、MA の取扱や入手方法に大きな課題があり、既存の臨界実験施設で対応するためには、大規模な

改造などの手当てが必要であり、今のところ、世界的にもそのような施設は存在しない。したがって、MAを用いた新たな実験ニーズに対応するためには、アクチノイド・マネジメントに関わる分離技術、燃料製造技術などの一連の研究開発をリンクさせて、国際的な連携体制も構築しつつ、実験施設の実現を図る必要がある。

IX. 提言

以上の検討結果を踏まえ、本委員会の提言を以下のようにまとめた。

原子力における新たな長期的な開発目標としてアクチノイド・マネジメントの確立が共有されつつある。しかしながら、原子力委員会の分離変換技術検討会で指摘されているように、本分野に関する基礎データや評価ツールの整備はいまだ不十分な状況であり、アクチノイド・マネジメントに資するFBRやADSといった原子力システムの研究開発には実験的な検証が不可欠である。したがって、本分野に関する研究開発のグランドデザインの中で、互恵的な国際協力の可能性を含め、原子力技術の基礎・基盤的なインフラとして、MAや高次化プルトニウムを多量に用いた臨界/未臨界実験が可能な施設を具体化していくことを提言する。

X. おわりに

原子力利用が世界的に見直されつつある現在、原子力の平和利用の先頭に立つ我が国は、アクチノイド元素の適切なマネジメント方策を率先して示し、そのための基盤となるデータの蓄積を着実に進めていくことが求められる。炉物理実験施設のみならず、MA元素や高次化プルトニウム核種を扱えるホットラボの整備、燃料照射施設の充実など、様々な分野が連携して、今後の原子力の研究、開発および利用を支える基盤的なインフラストラクチャー群を整備していくことが必要である。このことは、本委員会とは別に進められた「分離変換・MAリサイクル」研究専門委員会での技術成熟度評価と、そこから導かれた今後の研究開発の方向性の提言⁶⁾とも合致し

ている。このような最新の研究設備群の整備は、人材育成、実験技術や知識の伝承、国際貢献の観点からも極めて有意義である。国レベルおよび国際的な場での活発な議論を経て、具体化が図られるよう、関係各所と協力していきたい。

—参考文献—

- 1) 原子力委員会研究開発専門委員会分離変換技術検討会報告書「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」, 2009年4月28日.
- 2) C. H. Pyeon, T. Misawa, J. Y. Lim, *et al.*, "First Injection of Spallation Neutrons Generated by High-Energy Protons into the Kyoto University Critical Assembly," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**, 1091 (2009).
- 3) OECD/NEA, "Research and Test Facilities Required in Nuclear Science and Technology", NEA No.6293, OECD, (2009). 日本語版は「原子力の科学技術で必要とされる試験研究施設」, NEA No. 6947, OECD, (2010).
- 4) 菅原隆徳, 佐々敏信, 大井川宏之, 他, 核変換システムの核設計精度検討とMA装荷実験の効果, JAEA-Research 2009-033, (2009).
- 5) T. Sugawara, K. Nishihara, K. Tsujimoto, *et al.*, "Analytical Validation of Uncertainty in Reactor Physics Parameters for Nuclear Transmutation System", *J. Nucl. Sci. Technol.*, **47**[6], 521-530 (2010).
- 6) 「分離変換・MAリサイクル」研究専門委員会, "分離変換技術はどこまで成熟したか?", 日本原子力学会誌, **52**[12], 796-800 (2010).

著者紹介

岩崎智彦(いわさき・ともひこ)



東北大学, 「アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験施設」研究専門委員会主査
(専門分野)原子炉物理学および中性子工学を専門とする。

ATOMOS Special

東欧編

世界の原子力事情 第12回

ウクライナ—チェルノブイリを超えて

日本原子力研究開発機構 杉本 純

ウクライナ国土の大半は緩やかな丘陵地帯であり、特に中央部は肥沃な黒土地帯で穀倉地帯として知られている。1991年に旧ソ連から独立したウクライナは政治的独立のみならず、エネルギー分野での自立を目指している。同国は、2010年末現在、フメルニツキ、ロブノ、南ウクライナ、ザポロジェの4つのサイトで計15基の原子炉を運転している(第1～3図参照)。すべて旧ソ連の加圧水型軽水炉である。ザポロジェには6基の原子炉があり、総出力5,718 MWeで欧州最大の原子力発電所となっている。総発電量に占める原子力発電の割合は約49%と、リトアニア、フランス、スロバキア、ベルギーに次いで世界第5位である。石炭と天然ガスが約41%、水力が7%である(2009年末)。2007～2009年の3年間の原子力発電所の平均設備利用率は78%と我が国の63%と比べても高い。旧ソ連型の原子炉の寿命は、当初設計では30年であったが、ロブノ1および2号機の寿命延長のための整備がウィーンに本部がある国際原子力機関(IAEA)との協力により3億ドルを投資して進められ、2010年12月に20年の寿命延長がウクライナ国家原子力規制委員会により認可された。当局によればロブノ1および2号機は寿命延長の最初の原子炉施設であり、今後、全原子炉に同様に拡大していくとのことである。

ウクライナといえば、首都キエフから北北西に約120 kmにあるチェルノブイリ発電所4号機で1986年に発生した事故を思い浮かべる人も多いであろう。事故後の1990年、ウクライナ最高会議は原子力発電所建設の凍結を決議したが、1993年に撤回し、事故前に着工していた原子力発電所の建設を継続した。これは、国内のエネルギー不足を解消するためには原子力が不可欠との政府の認識を示すものである。ところが実際は、ウクライナにウラン資源はあるが、その加工や燃料の製造と供給、さらに使用済燃料の貯蔵と再処理もすべてロシアが行ってきた。そのため、ロシアからの経済的な圧力を受けやすく、同国のエネルギー確保体制は脆弱である。しかし、2006年1月のロシアによる天然ガス停止問題をめぐる対立を契機に、同国政府は2006年3月、エネルギー源をガスから石炭、原子力へ移行させるため、2030年までに11基、16.5 GWeの新規原子力発電所を建設し、9基、10.5 GWeの原子炉をリプレースすることにより、同国の原

子力のシェアを約5割とするウクライナエネルギー戦略を発表している。

事故後、先進7ヶ国を初めとする西側諸国は、事故を起こした黒鉛減速チャンネル型炉の安全性を疑問視し、同型の原子炉を有する同発電所の閉鎖をウクライナに要求した。1994年には、IAEAの調査結果に基づき、同発電所の安全性が基準以下で早急な改善が必要とウクライナへ警告した。その後、ウクライナ政府と先進7ヶ国並びに欧州連合は、ウクライナへのエネルギー開発支援の



第1図 フメルニツキ原子力発電所 ©Energoatom



第2図 ロブノ原子力発電所 ©Energoatom



第3図 ザポロジェ原子力発電所 ©Energoatom

Ukraine—Beyond Chernobyl Accident : Jun SUGIMOTO.
(2011年 1月11日 受理)

融資と補助金を条件に同発電所を閉鎖することで合意し、2000年末、最後まで運転していた3号機を停止させた。事故を起こした4号機を覆う石棺は、事故直後に応急的に建設されたが、本体に複数の亀裂が生じているため、内部に大量の水分が浸入し、周辺地域を汚染する可能性が懸念されている。そこで、石棺の長期的な安全性を確保するため、1997年に新シェルター計画が作成され、29ヶ国が中心となって欧州復興開発銀行に石棺基金が設立され、我が国からの5,500万ドルを含む計11億ドルを拠出している。2007年9月に新シェルターの建設と石棺を補修するための4.3億ユーロの契約がフランス主導のコンソーシアムとの間に署名が行われた。

筆者は、チェルノブイリ事故時には、科学技術庁(当時)に出向しており、原子力安全委員会に設けられたソ連原子力発電所事故調査特別委員会(都甲委員長[東大教授、当時])の事務局主担当として、事故状況の把握、事故原因の検討、我が国への教訓の導出等、委員会運営で苦勞した経験があり、この事故にはとりわけ思い入れが深い。事故発生から20年後の2006年、原子力機構ウィーン事務所長として赴任中に同発電所を訪問する機会があった。キエフから車で約1時間半後、立ち入り禁止の30 km ゾーン入口の検問に並んだ(第4図)。ゾーン内には環境モニターなどに従事する技術者らがいて、キエフから月曜朝から木曜夕方まで「木屑月来」で通勤する人も多いとか。発電所到着後、展示建物から4号機を覆う巨大な石棺を窓ガラス越しに見て、これが世界を震撼せしめたあのチェルノブイリかと思しげ感じ入った(第5図)。ビデオ、石棺の模型、パネル等に基づき説明を受けた。ビデオでは、日本でも放送された有名なシーンもあるが、当時の生々しい状況と困難に勇敢に立ち向かう人々の姿に改めて感銘を受けた。事故状況についていくつか質問したが、従来以上の情報は得られなかった。3名の説明担当者はいずれも事故後に発電所に赴任したとのことであり、20年の歳月を感じさせた。発電所では新シェルター計画以外にも、新燃料貯蔵施設の建設、廃止措置などを進めている。発電所から約60 km の場所に新たに造成されたスラブチッチ市に約3,000人の職員とその家族が居住している。人口は25,000人ほどだが、最盛期には5万人を数えたという。現場の職員は真摯に仕事



第4図 チェルノブイリ30 km ゾーン入り口の検問



第5図 チェルノブイリ4号機石棺の前で



第6図 最後の段だけ高い階段

に当たっており、ロシアへのエネルギーの過度な依存を避けるため、新原子力発電所の建設を熱く語る専門家もいたし、昼食をとったカフェテリアも比較的若い職員が多く、全体に予想より活気を感じた。なお、30 km ゾーンを出る時に放射能を詳細にチェックしたが被ばくはゼロであったことを付記する。

余談であるが、同発電所管理棟の会議室に向かう階段の最後でつまずき、カバンを投げ出すほど派手に転倒してしまった。事故時には事故調査特別委員会事務局メンバーとして仕事に追われた筆者も、20年の歳月を経てそろそろ年かなと悲嘆に暮れそうになった。すると「ここでしばしば転倒がある」と通訳の女性が意外なことをいう。階段をよく見ると最後の段だけ5 cm ほど高くなっている(第6図)。下を見ないで階段を上った筆者も不注意だったが、このような設計・施工ミスや転倒者が続出しても長年放置しておくことにも事故の遠因があったのではないかと、痛い足をさすりながらふと考えたことを思い出す。

(2011年 1月10日 記)

参考：World Nuclear Association Web.

著者紹介

杉本 純(すぎもと・じゅん)



日本原子力研究開発機構 原子力人材育成センター
(専門分野)軽水炉シビアアクシデント、システム安全原子力人材育成

談話室

大学等の専門家と中学校・高等学校の連携強化は いかにあるべきか？

第5回放射線教育セミナーの考察と今後の活動

大阪府立大学 古田 雅一

はじめに

わが国には現在、53基の発電用原子炉が運転され、全発電電力量の約3分の1を担っている。原子力発電は地球温暖化の原因とされるCO₂の排出がほとんどなく、今後ますます需要が高まることが予想されている。また放射線は、工業、農業、医学・医療等の分野で幅広く利用され、わが国においてすでに総額4兆1,117億円の経済規模に達している¹⁾。

このような状況にもかかわらず原子力や放射線に対するリテラシーはまだ不十分であり、原子力委員会の原子力政策大綱の政策評価においても、放射線利用に関して「社会への技術情報の提供や理解促進活動の一層の必要性が指摘されている」と、知識普及活動の必要性が求められている。我々、関係者は従来から、学校教育における「総合学習の時間」を利用して放射線教育を行おうとして活動を行ってきた。幸い、中学校学習指導要領の改訂により、平成24年度から「放射線の性質と利用」に関する内容が理科の単元となり、これをいかに活用するかが次なる課題となっている。

大阪では放射線関連団体(大阪府立大学、(独)日本原子力研究開発機構、(財)電子科学研究所、(社)大阪府立放射線技師会、(社)日本アイソトープ協会、(社)日本原子力学会関西支部、関西原子力懇談会)が実行委員会を作り、20年以上にわたり、親子を中心とした市民向けに「みんなのくらしと放射線展」を開催してきたが、ここ数年は「放射線教育セミナー」を同時に開催し、学校現場における放射線教育の実践事例の紹介などを行ってきた。筆者は本実行委員会の委員としてメンバーの関西原子力懇談会と協力して本セミナーの企画に携わった。この関係上、セミナーにおける議論から感じた問題点を考察し、今後の抱負について述べてみたい。

放射線教育セミナーから明らかになった問題点

第5回放射線教育セミナーは、8月19日(木)の午後1時に開催された。今回のセミナーはこれまでの実践事例の紹介を中心としたものではなく、エネルギー環境教育、理科教育、エネルギー教育や放射線の啓蒙活動を実践されている専門家と教育委員会事務局による討論形式で行った。この理由は、放射線教育を学校教育に定着させるためには、大学等の専門家と中学校・高等学校の現場の先

生方の連携が不可欠であるのにもかかわらず、大学等の専門家の思いと現場教員のニーズがかみ合っていない、すなわち連携に必要な課題の共有化が不十分ではないかと考えたからである。今回は京都教育大学 山下宏文教授にコーディネータをお願いし、4人のパネリスト(近畿大学 渥美寿雄教授、仁愛大学 伊佐公男教授、川西市教育委員会 今北真奈美指導主事および筆者)によるパネルディスカッション方式とした。

まず筆者によるミニパネリスト講演「学習指導要領の改訂内容とこれまでの放射線教育について」において次の3点の問題提起し、議論していただいた。

- ・理科教育(物理、化学、生物)や社会科教育(歴史、平和教育)との連携は？
- ・専門家と現場との連携は？
- ・相互理解のために何が必要？

その結果、以下に示すような問題点や要望が明らかになった。

まず「専門家と現場との連携」に関しては、現場教員の放射線に関する知識が不足しており、専門家によるサポートを求めているが、専門家は学問的体系や正確さにこだわり、教員の求めるレベルに応じた知識の提供がなされないケースが多いこと、さらに教員養成課程における放射線も含めた理科教育が不足しており、理科系に強い教員が育っていないことも指摘された。また実際に中学校理科新指導要領で扱われる放射線教育に使える授業時間はせいぜい50分授業2コマ分程度しかなく、「この時間内でどこまで放射線を理解させればよいのか、指導技術に不安を感じている」という問題点も指摘された。

これらの問題点を克服するための方策として現場教員と専門家をつなぐ役割を担う人材(コーディネータ)の必



教育セミナーにおける筆者の発表

要性、専門家による教員養成大学への教育支援の必要性、問題意識の高い教員が集う研究会などとの連携の必要性が提言された。

次に、「理科教育(物理, 化学, 生物)や社会科教育(歴史, 平和教育)との連携」に関しては, 現場教員にもわかりやすい両教科をつなぐ副読本, 教案例の必要性が指摘された。すなわち, “ここまでは教えておきたい”と専門家が要求するレベルの深さと“限られた授業時間の中で多くの単元をこなさなければならない”という現場教員のニーズとが適切に折り合った内容の教材開発が求められた。内容については放射線の扱いを原子力と放射線というエネルギー環境教育の枠組みだけに限定せず, 放射線の性質や利用についてさらに深く展開する必要性についてもコメントされた。

また, 会場に参加していた作家で総合資源エネルギー調査会・原子力部会のメンバーである神津カンナ氏から「理科だけでなく他の教科との連携が必要」「ゼロリスクを好む」複雑な現代社会において, 数値を読み取る力の教育が必要」とのコメントがあった。

これらの議論を受けて, 司会の京都教育大学の山下宏文教授は, 「学校教育において放射線という題材をどのように扱っていくのか, 専門家サイドと現場サイドの目的の共有が必要であり, また放射線に対する科学的な認識と社会的な判断を適切に実現していくためには社会科と理科の教科間の有機的な連携が不可欠である」と総括された。

今後の活動へ向けて

では専門家サイドと現場サイドの「目的の共有」と教科間の「連携」を実現するために不可欠なコーディネータの役割を担える人材とはどのような人材であろうか。本セミナーの議論を踏まえると, 筆者には, 原子力や放射線の専門家に相当する知識レベルを有し, 現場の事情にも通じた人材であると感じられた。例えば, 本学会においてはオープンスクール活動に参画されている会員の方々が十分その役割を担えるのではないと思われる。

本学会のオープンスクール活動はすでに10年を超え, 活発な活動を展開している。関西支部においても原子力・放射線関係の学科や施設を有する大学の研究者(京都大学, 大阪大学, 近畿大学, 大阪府立大学, 大阪産業大学および神戸大学計20名)が「かんさいアトムサイエンス倶楽部(略称「K-ask」)を結成し, 筆者自身もメンバーとして参画している。K-askは関西や福井で広くオープンスクール活動を展開しており, このオープンスクール活動を通じて一般の人たちにわかりにくいと評される原子力や放射線の基礎知識をわかりやすく効果的に伝えるために必要なノウハウが蓄積されつつある。

そこでこれらの人材の経験やノウハウを活用し, 「目的の共有」と「連携」を進めていくために必要な要点を明らかにすることができないかと考え, 短期的, 長期的な観点から以下の活動案を考えた。

・短期的活動 「目的の共有」「専門家と現場教員のギャップの認識」

セミナー等の会合を利用して専門家の考える放射線教育の目標と放射線の知識普及活動(一般を対象にしたもの)の狙いを明らかにし, 小中高の各段階で生徒に教えてほしい内容と先生に知っておいていただきたい内容を整理する。同時に, 教育現場でエネルギー教育に取り組んでいる先生方のグループ(例えば全国中学校理科教育研究会など)の関係者と「目的の共有」(関係者間の連携)を図り, 相互にギャップを認識し, 理論整理を進めていく。

・中長期的活動 「実践の展開」

上記の目的の共有の活動を通じて, 放射線に関する教育について, 整理を行い, 生徒向けテキスト, 教員向けの解説や実習カリキュラムを作成する。

すでにいくつかの副教材が作られ, 公開されているので, それらをベースに, 副教材をつくるかまたは, 既存の副教材を使ったモデル授業を作り, 実践しつつ, 現場の教員に評価していただく。この段階では, 上で述べた研究グループに加え, 放射線やエネルギー環境教育に携わってきた学会や業界団体にも関与してもらい, 広く意見を集約する。

これらの活動を通じて得られた様々な教材や教案は, その実践の過程でオープンスクール活動を利用することができるだけでなく, 活動に参画するメンバーの経験やノウハウを生かしながら継続的に評価検討を行うことで, 放射線教育の「目的の共有」と「連携」のために現場の教員や教員養成課程の学生に提供すべき知識, 教材のレベルや指導方法を改善し, 明確化していくことが可能である。一方, 参画するメンバーにとってはこれらの実践の過程で専門家サイドと現場サイドの橋渡しとしてのコーディネータ能力を磨くよい機会が得られることになり, 今後, 産業界など各方面でのコーディネータ養成のリーダーとしての役割を担えることが期待される。

これらの実現を夢に見つつ今後とも活動を継続していきたい。
(2010年12月9日記)

—参考文献—

- 1) T. Kume, M. Furuta, S. Todoriki, N. Uenoyama, Y. Kobayashi, “Quantity and economic scale of food irradiation in the world”. *RADIOISOTOPES*, 58(1), 25-35 (2009).

談話室

立地地域からみた原子力

新潟県防災局原子力安全対策課 山田 治之

立地地域の不安感

東京電力柏崎刈羽原子力発電所は、2007年7月に発生した新潟県中越沖地震で設計時の想定を大きく超える揺れを受けた。原子力発電所の安全機能は確保され、周辺環境に影響を及ぼすことはなかったが、火災の発生や公表の遅れなど対応に不備もあり、住民の原子力発電所への不安は助長された。

2010年12月現在、7基のうち4基が運転を再開している。そしてこの間の安全性評価や様々なトラブルに際して、つねに課題として意識してきたことが「安全と安心」ということである。科学的・客観的に安全性が評価されても、それが立地地域住民の安心感につながらなければ、事業者と立地地域との良好な関係は構築できない。

「安全・安心」…リスクに対する認識差

それでは、立地地域での「安全と安心」とはどういうものなのであろうか。

このテーマについては、すでに多くの識者が論じておられる。ただ、立地地域にいる者の実感として「安全と安心」の質的な違いを論ずるより先に、そもそも市民と、事業者や関係機関との「安全と安心」に対する認識にギャップがあるのではないかと感じている。

そしてこの認識差は、いささか短絡的ではあるが「市民はどのようなリスクを感じているのか」と考えてみると整理しやすい。原子力発電所へのスタンスにかかわらず、市民が感じる主なリスクは以下の3つに大別されるのではないと思う。

【技術的要素】技術的に大丈夫なのだろうか？

【規制的要素】この基準で大丈夫なのだろうか？

【組織的要素】この会社は大丈夫なのだろうか？

これらに対して、事業者や関係機関が意識するリスクは、当然ではあるが科学的に語られることが多い。

【技術的要素】「技術的に問題はない」

【規制的要素】「基準値に比べて無視できるレベル」

【組織的要素】「過去にも例があり安全上問題ない」

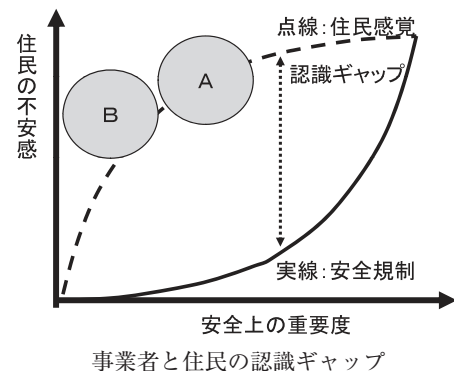
しかし、市民が感じるのは漠然としたリスクであり、「ごく微量とはいえ大丈夫か」、「過去にもあったが大丈夫か」などで、これが不安感や不信感につながる。

「安全と安心」を論ずる前に、リスクに対する認識差を考えてみる必要があるのではないか。

「出し手情報」と「受け手情報」のギャップ

「リスクに対する認識差」は、情報の出し方に端的に現れる。事業者側が重要視する事象は、速やかに公表されるが、軽微な事象は積極的には公表されない例が多い。

以下の図は、事業者や関係機関の認識するリスク意識（安全上の重要度）と、住民が漠然と感ずるリスク意識（不安感）について、単純化し対比を試みたものである。



上図でみると、「原子炉等規制法」や「電気事業法」に該当しないごく軽微な事象(A領域)や、あるいはこれらの法規制の枠外での事象(B領域)などが発生したときに、「リスクに対する認識差」が顕著化する。

例えばA領域として、「燃料棒からの放射性物質の漏えいの兆候確認」などがあつた。事業者のリスク感覚と「放射性物質の漏えい」を不安視する市民感覚にはかなりのギャップがあつた。またB領域には、「構内での小火災」などが考えられる。事業者にとっては安全運転に係わるレベルのことではない。しかし住民は不安になる。

このような事業者側の「出し手情報」と知りたい側の「受け手情報」との認識ギャップが、不安感を招き信頼性を損なう事態につながることを危惧するのである。

信頼性につながるコミュニケーションが必要

東京電力柏崎刈羽原子力発電所では、このようなリスクの認識差を意識し対応を図っているが、課題も多い。すべてを公表することの是非についても様々な意見がある。情報発信の手法についても検討が必要であらう。

情報の認識ギャップは、埋まらないかもしれない。しかし、この差を意識したコミュニケーションを心掛けていくことは、原子力についての透明性向上と信頼性醸成のためには不可欠であると思う。(2010年12月14日記)


 談話室

組織で活躍する女性を育てるためには 北海道大学大学院 農学研究院・生命科学院 有賀早苗先生のご講演を聞いて

東京都市大学 小川 順子

北海道大学で開催された「2010年秋の大会」は、日本の科学技術分野の男女共同参画のリーダーの一人である同大の有賀早苗(ありが・さなえ)教授にご登壇いただいた。有賀先生のご専門は生命科学で、大学院農学研究院・生命科学院の教授でいらっしゃるほか、副理事・女性研究者支援室長を兼務されている。有賀先生のお話は、人を惹き付ける不思議なパワーがあり、男女共同参画のシンポジウムなどで引っ張りだこである。今回は、会場が北海道ということで、ご登壇の好機を得た。以下有賀教授の話されたポイントを記述する。

世界から遅れた日本の男女共同参画の実情と北大方式

国連が発表している国の状況を表す指数の中に、人間開発指数とジェンダーエンパワーメント指数がある。前者は、平均寿命、識字率、個人所得など生活水準に関する指数であり、後者は能力発揮の機会の男女差を表す指数である。その数値をみると、日本は人間開発指数では10位と上位にあるが、ジェンダーエンパワーメント指数では57位となっており、生活水準は高いが、女性の能力を社会に活かす点では非常に遅れているという結果になっている。

国は、平成18年(2006年)第3次科学技術計画の中で、2020年までに、女性研究者数の数値目標を自然科学系で25%、一番少ない工学系でも15%と明示し、新規採用はなるべく女性を、とした。また科学技術振興調整費の中に女性研究者育成支援事業が設置され、北海道大学でも応募し、採択された。北大では、トリプルトウェンティ2020と謳い2020年までに20%を、ということで、2006年時点で、わずか7%の正規教員を、2020年までに非正規教員も含めた数値ながら20%達成を目標にしている。

ポジティブアクション北大方式は、大学独自の費用で、女性教員を採用したら、人件費の4分の1を大学から出すというインセンティブをつけている戦略の人員配置策である。

特に女性教員割合の低い「理工農」分野では、さらなる振興調整費を獲得し、女性教員の新規採用に対しては、3年間は全額、続く5年間は半額について大学が負担するという思い切った措置をとることにより、出産・育児期の女性のハンディを軽減している。その他、採用するには、女子の応募を増やすことが肝要であるので、次世代

の女子たちをターゲットに理工系にいざなう実験教室、年代を超えたミーティングの場の提供、様々なロールモデルの提示により理工系にもいろいろな選択肢が用意されていることを伝えること、困ったときに手を差し伸べるメンターの存在など、ベストプラクティスとして北大が提供できる施策を積極的にとっている。

デマンドに気付く体制、デマンドを出せる環境を

男女共同参画自体も総論賛成、各論反対になっているので、この折り合いをどのようにつけるかが悩ましい。組織全体の意識を変えることと、個々の人々のニーズを把握することの両方が必要である。トップダウンで牽引し、ボトムアップで推進しつつ、女性研究者・女子学生サイドのデマンドに気づき、デマンドを出せる環境づくりを常に用意しておくべきである。

保育の施設整備、充実、病児への特別な保育体制の整備など、それがあることによって、同僚の研究者が、安心して、子育て中の女性研究者を当てにできることは、本人だけではなく、周囲へのしわ寄せを軽減するので、全体の研究成果向上に貢献できるはずである。ゆえにこうした環境整備は、この事業にとって欠かせないものである。

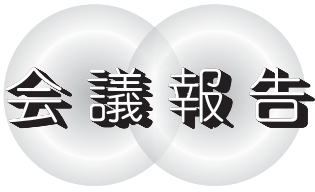
女性研究者支援を人材育成の拠点プロジェクトへ

女性も男性も、自分のキャリアを客観的に見つめる必要がある。家族との関り方を含めて、優先順位を自分の中で作っていくことが大事。研究者としてのプロ意識と、家族の一員である自分の生き方について考え、ライフワークバランスをとることにより、両方ともよりよく活かせることができると考えてほしい。女性研究者支援が、男女共同参画の拠点としてというより、人材育成の拠点へと大きく変わってきていることを実感している。

Girls and boys, be ambitious!!

有名なクラーク先生は、Boys, be ambitiousと言われたが、Girls and boys, として初めて満点である。なぜなら、“No quality without equality”だと信じているからである。

(2010年 11月29日 記)



核融合で広がるトリチウム研究の国際化 第9回トリチウム科学技術国際会議 TRITIUM 2010

2010年10月25～29日(奈良県新公会堂)

放射性水素同位体であるトリチウムをテーマとした第9回トリチウム科学技術国際会議が、自然科学研究機構・核融合科学研究所主催のもと、日本原子力学会などが共催、米国や欧州などの原子力学会や国内の関係学会が協賛して開催された。

会議の経緯

トリチウム科学技術国際会議は、米国原子力学会 ANS 分科会から発展し、第1回が1980年に米国オハイオ州デイトンで開催された。その後はほぼ3年ごとに、米国、カナダ、欧州、日本で開催され、最近では2007年に米国ニューヨーク州ロチェスターで開かれ、わが国では2001年につくば市で開催されてから2回目となる。この会議では、原子力、核融合ならびに各種のアイソトープ利用から廃棄を含む水素同位体としてのトリチウム全般に係わる科学技術研究について最新の成果が発表されてきた。

トリチウムは、その水素および放射性同位元素としての特質を利用して、化学や生物研究分野などではトレーサ物質や標識化合物として学術研究に、また中性子発生用加速器のターゲット材などに利用されてきた。しかし、原子力や高エネルギー加速器施設で発生するものは放射性廃棄物とされている。一方、将来のエネルギー源として期待される核融合炉では燃料として取り扱う。核融合の研究は核融合科学研究所や日本原子力研究開発機構における大型プラズマ実験装置などで進展しており、国際的にはフランスで実際にトリチウムを燃焼させる国際熱核融合実験炉 ITER の建設が進んでいる。今後、核融合の研究開発の進展とともに大量のトリチウム取扱い技術の確立に向けて、基礎的な特性の理解から広く関連分野の研究開発が国際的な取組みと相まって進展する状況にある。

会議の概要

本国際会議の参加者は、国外15カ国から146名、国内から125名ほどあり、発表件数は、基調講演5件、招待講演18件、口頭発表28件、ポスターによる発表191件であった。講演は奈良県新公会堂の能楽堂を使って行われた。

会議初日は、S. Willms 国際運営委員長の挨拶、文部科学省研究開発局担当 森山善範大臣官房審議官の来賓挨拶などで開会された。本会議に移り、まず ITER 機構の M. Glugla 氏がフランスに建設中の ITER における燃料循環系ならびに閉じ込め回収系に関する現状について基調講演を行った。続いて ITER に関する閉じ込め安全

系の設計目標や考え方、回収除去方式などの検討状況が報告された。以降、分野ごとに、また各国のトリチウム研究状況について講演された。分野別では、慣性核融合の点火ターゲットに関わる研究開発、異常時を含む大気や水系の環境挙動と影響のモデル評価、燃料貯蔵、分析測定と計量、プラズマ対向材へのトリチウム堆積、透過挙動の評価や透過防止、低線量を中心にした生物影響、植生などの有機結合型トリチウム分析、同位体分離技術、核融合燃料循環系、トリチウム増殖ブランケットなど多岐にわたった。

国別では、米国は慣性核融合、欧州は ITER 建設との関係で生物を含む環境安全研究も多く、ルーマニアは環境影響評価モデルの研究、ロシアは環境植生などのトリチウム分析や挙動評価の研究、韓国は燃料貯蔵合金システムの開発、中国は水素に関わる金属材料研究について報告した。ドイツからはトリチウムのβ崩壊過程で発生するニュートリノ研究に関わり、ラマン分光による計量技術が報告された。現在、トリチウム発生は原子炉や再処理施設からのものが主であるが、発表は核融合に関わるものが多く、ITER との関連で国際化が広がっている。なお、会議で報告されたものはポスター発表を含み、査読を経たのち ANS の Fusion Science and Technology 誌に論文として掲載される予定である。

若手向けの企画

会議では若手優秀ポスター賞が企画され、ポスター発表日ごとに2名、計6名を参加者投票方式で選考し、ブランケットの場で表彰された。また、閉会後には若手向けの特別講義も持たれた。

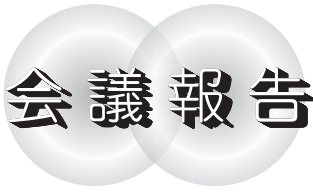
日本文化と国際交流

講演会場となった檜づくりの能舞台は神聖な場であり、登壇者には一段と強い印象を与えた。また、会議期間中は平城遷都1300年記念事業一色という中、世界遺産である法隆寺見学や能舞台での雅楽の演奏や舞を鑑賞するなどのイベントが組み込まれ、海外からの参加者には日本の歴史文化に触れるよい機会となった。

会議を終えて

閉会式において、次の開催地をフランスのニースとすることが紹介された。国際共同による ITER 建設の進展とともに、トリチウム研究の国際化がさらに進むと思われる、今から興味が尽きない。

(核融合科学研究所・宇田達彦、
2010年 11月19日 記)



原子力熱流動と安全に関して日韓で活発に議論

7 th Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety

2010年11月14～17日(春川市, 韓国)

2010年11月14～17日に、韓国・春川市(Chuncheon)で「第7回原子炉熱流動と安全に関する日韓シンポジウム」が開催され、最新の研究・開発について情報交換と活発な議論が行われるとともに、原子力の熱流動と安全に関する日韓両国の研究の共通点と相違点が垣間見えた。

本シンポジウムは日本原子力学会と韓国原子力学会の熱流動部会が2年に1回の頻度で共同開催する会議であり、韓国・釜山での第1回会議(1998年)以降、福岡、慶州、札幌、済州島、沖縄で開催してきた。今回は、韓国ドラマの舞台として知られる北東部の地、春川市での開催である。会場はLADENA Condominium、湖と周囲に溢れる自然に因んで名づけられた滞在型ホテルである。

概要

Plenary 講演、基調講演を含めて計95件の論文発表があった。参加者は、地元韓国103名、日本から43名の計146名、そのうち学生が39名(韓国22名、日本17名)である。発表件数は、過去最多であった前回 NTHAS 6 よりは少ないものの、ほぼ平均的な件数であり、参加者数は過去2回と同程度に多く、盛況であった。学生の中には、この直前に同じく韓国・大田市で開催された「原子炉熱流動に関する日韓学生・若手研究者セミナー」から続けて参加する人もいた。

Opening Ceremony では「地球規模の環境問題を背景に、日韓両国は今や原子力で世界をリードするパートナーである」とスピーチがあった。Plenary 講演では、韓国から沸騰伝熱に関する研究が、日本から高速炉開発の歴史について、2件の講演が行われた。毎日の午前中に配置された基調講演では、両国から計6件の講演があった。

テクニカルセッションの構成と発表件数

分野(セッション名)	韓国	日本	計
熱流動基礎	7	2	9
二相流実験と解析	7	3	10
CFD, 伝熱	4	5	9
限界熱流動	4	2	6
流体構造相互作用	1	5	6
水炉の熱流動と安全	8	3	11
液体金属炉の熱流動と安全	3	7	10
ガス冷却炉の熱流動と安全	3	1	4
安全解析コード	8	1	9
シビア・アクシデント	7	6	13
計	52	35	87

韓国

- ・次世代原子炉に向けた熱流動研究
- ・韓国の原発の規制における熱流動・安全解析
- ・熱流動安全解析コード SPACE の開発

日本

- ・日本原子力学会における軽水炉の熱流動・安全に関するロードマップ
- ・ナトリウム冷却高速炉の熱流動研究の現状
- ・ナトリウム中における溶融金属の分裂挙動

テクニカルセッションは3部屋に分かれて進められた。その構成と件数を下表に示す。会議では、対象とする原子炉の型式が複数ある中で、基礎研究、試験研究、解析コード開発と適用など、多岐にわたる研究・開発の情報と成果が紹介・議論された。日韓に共通して研究が行われ、関心が強いと感じられた領域は、現象解明用の実験・観測、数値解析コードの高度化・妥当性評価・適用に関するものである。一方、日韓の発表の相違点を例示すると、特に韓国側は水冷却炉の分野において、試験データによる解析コードの妥当性評価および解析コードを用いた事故解析を扱った研究の発表が非常に多いことである。それは表の「水炉の熱流動と安全」と「安全解析コード」における日韓発表件数の差異に現れている。MARS コードや新たに SPACE コードなど3次元熱流動効果をも考慮する独自の安全解析ツール開発が盛んで、かつ、その妥当性確認のための試験(ATLAS, VISTA等)も精力的に行われている韓国の状況が反映されたものと考えられる。

所感

本会議全体を通じて、発表後の質疑応答・議論は活発に交わされていると感じた。回を重ねてきた2国間会議であるがゆえか、あるいは会議の規模(参加者数)が適当であるためかも知れない。また、上記のごとく韓国の研究活動は活発と感じられる中、質疑でさらなる研究者数の充実化および次代を担う若手の活躍を期待する言葉が聞かれた点は印象的であった。

11月15日の夜に開かれたバンケットでは、スピーチやアトラクション鑑賞もあり、親睦を深められた。日本側参加者の多くはカルチャーツアーにも行き、韓国文化に触れた。本シンポジウムは日韓の原子力熱流動・安全分野の技術的交流と人的交流の両方を進める場として貴重である。次回は、2012年に日本で開催の予定である。

(日本原子力研究開発機構・大野修司、

2011年 1月31日 記)

会議報告

活気を見せる東南アジアの原子力開発

2nd Nuclear Power Asia 2011

2011年1月18, 19日(ハノイ市, ベトナム)

近年、東南アジアの国々は、電力需要が毎年2.5%と着実に伸びており、2030年までに2007年と比べ76%も増加するとの見方も出ている。この東南アジア諸国を含めたアジアの旺盛なエネルギー需要に対し、中長期的には化石燃料は徐々に不足しつつあり、価格も上昇傾向にある。また、この地域には将来、化石燃料の有効な代替エネルギーとなる可能性のある原子力発電所が、1か所も存在していない状況にある。

このような状況で、ベトナムは、他の東南アジア諸国に先んじて、原子力発電の建設のためにロシア、日本と次々と手を組み、2020年、2021年の原子力発電所の運転開始を目指し、手を打ち始めたところである。このベトナムの動きに刺激されるように、東南アジア各国も、次々と2020年代に運転を開始とする原子力建設計画を発表、原子力3大プラントメーカーである東芝、日立、三菱重工を抱える日本も、その動きを最も注目している地域の一つである。

その日本も、昨年10月までは、UAEやベトナム第一原子力発電所の受注競争に次々と敗れており、その反省から国の強力な支援のもと、全電力、3大メーカー出資で、原子力導入時の基盤整備検討を主に行う「国際原子力開発」を設立、待望のベトナムの第二原子力発電所の受注につなげることができた。

その東南アジアにおける原子力建設の先陣を担うベトナムで、1月18, 19日に「2nd Nuclear Power Asia 2011」が開催された。ベトナムを含む原子力導入の計画国であるインドネシア、タイ、マレーシア、フィリピン、シンガポールに加え、原子炉の供給国である日本、韓国、フランス、ロシア、中国や原子力基盤整備支援を進める米国、英国といった国々の様々な思惑が交差する国際会議となった。



東南アジア諸国代表による基調討論

本会議では、人材育成やファイナンス、燃料供給といった原子力を初めて導入する国が最初に検討すべき基盤整備の関する要件を中心に説明、議論が熱心に行われた。

具体的には、原子力導入を計画しているベトナム、マレーシア、インドネシア、タイ、フィリピンの導入計画の状況の紹介、ベトナムやチェコ等の新規導入国による原子力導入初期段階での経験・課題の紹介、韓国やヨルダン等からの国内の人材育成の紹介、英国、米国等からのファイナンスの考え方、米国、ロシア等からの原子力の新技術の紹介、韓国、日本からの燃料サイクルの状況の紹介が行われた。特にファイナンスと人材育成については、今回の会議の目玉であり、比較的多くの時間が割かれていた。

本会議は、ベトナムで開催されているにもかかわらず、原子力の導入を既に決めたベトナム以上に、これから原子力を導入しようと考えているマレーシア、インドネシア、タイ等の東南アジア諸国からの質問が多く、これらの国々の原子力導入に対する真剣さ、熱意がひしひしと伝わってきた。

私は、「日本の原子力の経験、専門性」というタイトルで、原子力の優位性、沸騰水型軽水炉(BWR)、加圧水型軽水炉(PWR)の概要、日本の原子力導入時の状況、日本の建設実績、建設期間の短縮方策等についてラウンドテーブル方式で説明を行った。最近では、海外の原子力建設において建設工期が想定を上回り、問題となるケースも発生しており、日本も海外プラントの建設を行う際の重要な課題と考えている。

また、東南アジア諸国に原子力を売り込みに来ているロシア、フランス、韓国、中国は、すべてPWRのみを供給しているため、東南アジアにおいては、PWRと比べBWRの認知度が低く、誤解も多い。このため、BWRについてもPWR以上に、丁寧に特徴やメリット等の説明を行った。

本会議において、東南アジア諸国からは、国際原子力開発の業務に関する熱心な質問や、国際原子力開発に対して原子力開発の検討協力依頼の声もあり、日本が過去から長年にわたり地道に取り組んできた人材育成やODA等の国際協力が、ここにきて着実に実を結びつつあることを実感できた会議だった。

(国際原子力開発(株)・白川智章,
2011年2月23日記)

原子力外交や科学技術の戦略に高い関心

表紙の新シリーズも依然として好評

(12月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」12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46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。12月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	解説	原子力機器材料への技術的挑戦と国際展開	4.16
2	解説	炭素14環境中移行に関する研究	4.00
3	解説	原子力技術者・研究者を育成「武蔵工大炉」	3.95
4	時論	核軍縮の新たな流れ：好機を逃がすな	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	解説	原子力機器材料への技術的挑戦と国際展開	3.89
2	Relay Essay	ドナウ川の畔から オーストリア10年の体験	3.84
3	表紙	白い朝	3.71
4	時論	核軍縮の新たな流れ：好機を逃がすな	3.67

解説が、「内容」の上位にきています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 掲示板において、「東欧諸国の原子力事情」が掲載されることを知り楽しみにしている。
- (2) 学会誌が届くと同時にアンケートを回答できるようにしていただきたい。
- (3) 現在の学会誌を補うものとして、会員間の情報交換ができるブログなどによる情報発信についても検討してほしい。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記コメント(1)について、「東欧諸国の原子力事情」は4月号から連載予定です。普段、情報が得にくい東欧の小国についても連載する予定です。
- (2) 上記コメント(2)について、昨年、Webアンケートシステムのトラブルがあった関係で、回答依頼が遅れていますが、学会誌が届いてすぐに回答できるように是正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。

全体の構成とデザインが好評

科学技術報として役立つようにとの期待も (1月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」1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70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。1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	インタビュー	国内市場に安住していた成功体験からの脱却が必要	4.00
2	解説	王禅寺センタ今昔物語—輝かしきパイオニア研究路の軌跡	3.92
3	原子力外交シリーズ	原子力協定	3.83
4	羅針盤	「電子紙芝居」の落とし穴	3.79
4	NEWS	NEWS	3.79
4	連載講座	実験炉物理 次世代の安全基盤の確立に向けて	3.79

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	表紙	雪の参道	3.75
2	羅針盤	「電子紙芝居」の落とし穴	3.70
3	ジャーナリストの視点	伝えたい平和利用の使命感と誇り	3.67
4	特別寄稿	「日米原子力協定の成立経緯と今後の問題点」を巡って	3.64

表紙のデザインが好評です。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 原子力協定の記事は参考になった。なお、日米原子力協定に関する特別寄稿はこの原子力協定のすぐ後の頁に配置した方が良かった。
- (2) 海外情報がほとんどないので、WNA(World Nuclear Association)のレターを読まざるを得ない。
- (3) 全体の構成とデザインが以前から刷新されてよくなったという印象が強い。今後とも、内容だけでなく配色、構成にも気を配って、さらに素敵な科学技術報として役立つよう期待している。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記コメント(2)について、今後は海外情報の記事も増やしていきたいと思えます。

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

合理性なき安全審査の悲劇

日刊工業新聞社 江川内 雅史

「幹の部分の審査を強化しなくてはならないのに、枝葉の部分にこだわっているのが審査の遅れのもとだ」。原子力関係者には、原子力発電所の審査についての言葉と思われるかもしれないが、さにあらず。原発とは縁もゆかりもないある建築士が2007年秋頃に私の取材に対して発した言葉だ。

当時、建設業界を担当していた私にとって最大の取材テーマが、その年の6月になされた改正建築基準法の施行と、それに伴う建設業界の混乱だった。

05年から06年ごろにかけて世間を騒がせた「姉歯事件」のことは、読者の記憶にも新しいだろう。社会の一大関心事となったこの事件で、国民は建物の安全審査体制に大きな不信を持った。それに背中を押された国土交通省は、「審査の厳格化」のため建築基準法の改正をあせり、「建築現場に精通した者の意見が十分に反映しない」(前出の建築士)まま、改正作業を断行した。

これで現場に何が起きたか。例えば、審査書類に誤字脱字が見つかり、書類は再提出で審査を初めからやり直し。工事中に、施主の要望で内装の模様を変えらるとなると、設計変更の審査が終わるまで工事は中断等々。

書類の誤字脱字や内装の模様が、建物の強度に関連のないことは素人でもわかる。だが、これらの事例は施行直後に続出。そして、施行から3か月目の9月には、住宅の着工戸数が前年同月比で、約半分にまで落ち込んだのである。資金繰りが苦しい中小業者の倒産も相次いだ。

この混乱の原因は、「審査の厳格化」の実態が、建物の強度に直結する「幹」の部分と、まったく関係のない「枝葉」の区別をしないまま、両方の審査の手間を機械的に増やしたただけだったことだ。その結果、強度のチェックにはまったく不要な枝葉の審査に時間と労力をとられて、肝心の幹の審査が遅れて審査全体が滞った。

役人は建物についての技術的、科学的な知見は持っていない。その彼らが、専門家の声に耳を傾けず、「審査の厳格化」という実績づくりを急がされる。そうになると、彼らの悪弊である事なかれ主義と相まって、何でもかまわずに規制を強めておけばいいという発想になる。それが最悪の結果を生んだのだ。

この問題は結局、審査の柔軟化を進めることで徐々

に収束に向かった。混乱もすっかり収まった09年4月には、私は建設からエネルギーに担当が変わり、机の席も国交省内の記者クラブから、各マスコミのエネルギー担当が集うエネルギー記者会に移った。

ところが、このクラブにいても、時折、改正建築基準法のことを思い起こす。それは電力会社の広報が原発の事故や不具合に関するお知らせを持ってくる時だ。大半は安全性には全く関係ない軽微なもの。時には作業員が金槌で自分の指を誤って打ったというお知らせに、再現写真までご丁寧に付けてくる。

無論、これらを記事化することはまずない。広報の労力と紙資源の浪費への後ろめたさに心を痛めながら、ゴミ箱に捨てるのが常である。

かつて原発での事故隠しなどで厳しい批判を浴びた電力業界。こうした些細な事故でも知らせてくるのは、その反省があるからなのはおそらく。だが、記者にせよ、国民にせよ、開示してほしい事故情報は、原発の安全性に関するものだけだろう。原発だからと言って、とにかく何でも開示しておけばいいという姿勢は、「審査の厳格化」の実績作りを焦る余り、意味のない規制を作って建設現場を混乱させた改正建築基準法騒動に通じるものを感じてしまう。

かつて、一人の不届き者のために、不合理な規制ができ、それで大多数の真面目な建設業者が被害を被った姿を目の当たりにした身としては、その悲劇をエネルギーの世界で繰り返してほしくないと思う。そのために科学的、技術的に合理的な規制づくりで、原発の安全性を真に向上させるために、原子力の有識者のみなさんの役割に期待している。ついでに言えば、その合理性が電力会社の広報にも伝播して、本当に科学的、合理的に必要な事故情報だけを伝えるようになれば、記者としては、資源の無駄づかいを気に病むことも減って、本当に助かる次第である。

(2011年 2月21日 記)



江川内雅史(えかりない・まさし)
日刊工業新聞社編集局第二産業部記者

1998年札幌大学外国語学部卒、日刊工業新聞入社後、環境担当、茨城支局、建設担当を経て、09年からエネルギー担当。