

特集

19 制御棒引き抜け事象調査委員会の報告について

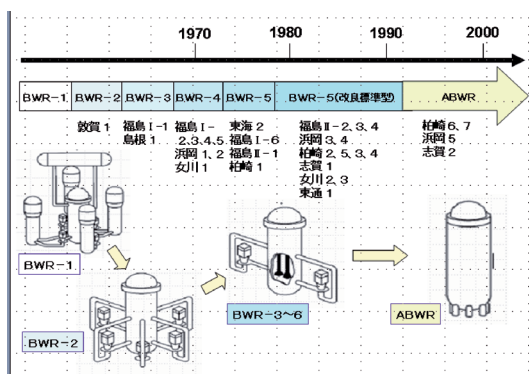
志賀1号機で起きた臨界事象について、日本原子力学会の調査委員会はその原因やメカニズムを分析し、この事象は潜在的にも炉心の健全性に大きな影響を与えるものではなかったとする報告をまとめた。また再発防止へ向けて、知識管理の構築や組織風土の問い直しなどを提言している。

松井一秋, 澤田 隆, 山本章夫, 中島 健, 阿部清治, 北村正晴

連載講座 軽水炉プラント —その半世紀の進化のあゆみ(8)

43 日本の軽水炉開発(2) —軽水炉の導入(BWR)

BWR-1からBWR-6, そしてABWRへと受け継がれているBWR。今回は国内初のBWRである敦賀1号と福島第一・1号, 島根1号について説明する。 久持康平, 守屋公三明



BWR 原子炉タイプ概略図とその該当図
(連載講座「軽水炉プラント」)

巻頭言

1 地球の直面している危機をどうやって救うか。本音で話そう

有馬朗人

時論

2 核廃絶へ向けた新たなパートナーシップを J.ダナバラ

4 サステイナブルな社会を目指して

明日が今日よりも無条件に明るいという時代が続くことはありえない。世界はこれから、さまざまな問題に直面する。それが最初に、日本に降りかかってくる。私たちがこれからめざすべきは、資源を浪費せず、みんながそれなりに幸せに暮らせる社会ではなからうか。

住 明正

解説

32 環境とエネルギーに関する科学情報を発信するNPO—活動の紹介と報道の自己検証制度

環境やエネルギーに関する情報が、一般の人々にはなかなか適切には伝わらない。報道と科学的見解とのギャップを埋めるためには何をすべきか。鹿児島を拠点として、この問題に取り組んでいるNPOの活動を紹介します。

三田和朗

37 原子炉水化学ロードマップ

原子炉の冷却に使われる「水」は、炉内の構造物や燃料棒とさまざまな相互作用をひき起こす。その作用を包括的にとらえようとする「水化学」の今後の研究・開発戦略シナリオを、ロードマップとしてまとめた。

内田俊介, 勝村庸介, 布施元正, 高守謙郎, 土内義浩, 前田宣喜

会告

6 平成20・21年度代議員選挙について

表紙イラスト Baden-Baden バーデン・バーデン/ドイツ・シュヴァルツヴァルト地方

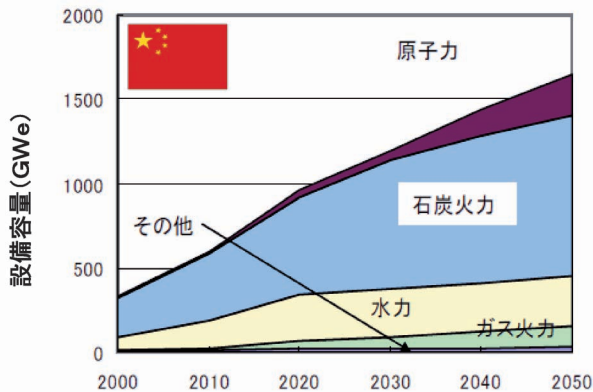
バーデン・バーデンは、ドイツ南西部シュヴァルツヴァルト(黒い森)に隣接する国際的な温泉保養地である。温泉やカジノ、フェストシュピールハウス(フェスティバルホール)は、世界的な名声を誇っている。町の中はとても洗練されていて、全体が公園のようだ。

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

連載講座 高速炉の変遷と現状(10/最終回)

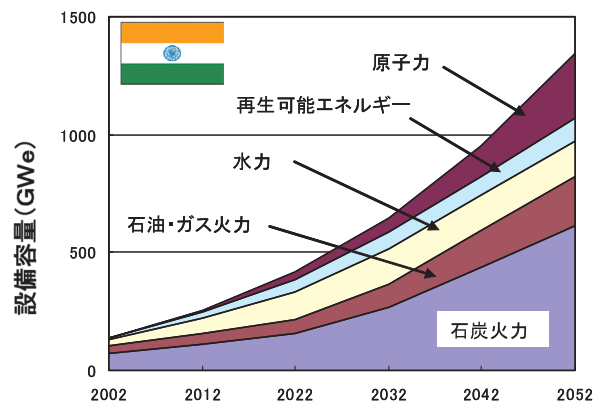
48 最近の高速炉の位置づけと国内外の開発動向

2050年頃に商業ベースでの高速増殖炉を導入をめざし、ロードマップづくりが整備されつつある日本。一方、先進国だけでなく、中国やインドでも、高速炉開発に向けて積極的な動きがでてきた。 中井良大



2050年時点で、中国(上図)は原子力発電規模を250 GWe、うち高速増殖炉を200 GWeと想定。またインド(右図)は、260 GWeを開発し、その大部分を高速増殖炉でまかなう計画だ。(連載講座「高速炉の変遷と現状」)

- 柏崎市で「地震国際シンポ」を開催
- 原産、「原子力産業実態調査」を発表
- 原子力委、アジア原子力協力フォーラムで会合
- 再処理工場の竣工は本年5月に
- 原子炉廃止措置研究開発センターが発足
- 「トリチウムターゲット」の製作に成功
- 駐日カザフ大使が JAEA の研究施設を視察
- 安全委が英文 HP を大幅改訂
- 武蔵工業大学が「原子力安全工学科」を新設
- 海外ニュース



会議報告

54 将来の核燃料サイクル先進的保障措置に関するワークショップ

久野祐輔, 麻生良二

55 「サステナビリティと原子力教育研究」をテーマに講演と討論—東大原子力グローバル COE 拠点創立記念第2回国際シンポ

岡 芳明, 福崎孝治

リレーエッセイ

58 「季節感を取り戻すこと」柴田洋二／「六ヶ所村の方から学んだこと」松井恵美子

ジャーナリストの視点

61 「書を持ち、街へ、人へ。」

栃尾 敏

56 支部便り 北関東支部 伴 秀一
関東・甲越支部 猪飼正身

59 書評 久保 稔

From Editors

62 英文論文誌 (Vol.45, No.5) 目次

63 日本原子力学会「フェロー一覧」

64 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, フェロー基金寄付のお願い, 寄付者芳名一覧, 専門委報告, 原子力総合シンポジウムプログラム, 主要会務, 編集後記

WEB アンケート

1月号のアンケート結果をお知らせします。(p.60)

学会誌記事の評価をお願いします。 <http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました

<http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/atomos/>

地球の直面している危機をどうやって救うか。 本音で話そう



日本科学技術振興財団会長

有馬 朗人 (ありま・あきと)

昭和28年東大理学部卒，理学博士。東大教授，東大総長，参議院議員，文部大臣を経て現職。科学技術館館長，武蔵学園長を兼ねる。日本学士院賞，名誉大英勲章などを受章。文化功労者。

人類は明らかに様々な点で危機に直面している。誰でも知っ
ながら，そして心のどこかで心配しながらも，何となくずっと先のこと
の事と思ひ，自らは行動を起こしていない問題が沢山ある。その中
で最も深刻なものは，化石燃料
の枯渇の問題，それにも増して化石燃料を燃やして生じるCO₂が原因と

思われる地球温暖化の問題である。そこでまず化石燃料の消費を大幅に減らすべきである。しかし，誰もが，どちらも太陽光，風力そしてバイオなどの新エネルギー技術や，核融合，さらにCO₂吸収・閉じ込め技術の開発などによって解決されるものと信じている。私も新エネルギーに大きな期待を持っているし，その開発のためRPS法(電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法)の推進の一翼を買って出たこともある。しかし，現状から冷静に判断すると，核融合発電が動き出すには後30～40年かかるであろうし，太陽光，風力，バイオなどの新エネルギーも現在の開発・導入のスピードではきわめて遅く，30～50年の中期的な展望をするとき，そのどちらも間に合わないと判断せざるを得ない。例えば，2010年に日本は新エネルギーを2000年の3倍にしようと努力している。すなわち，この間太陽光発電を約15倍に，風力発電を約20倍にしようとしている。2000年に新エネルギーの占める割合は1次エネルギーの1.2%であったので，この努力目標を完全に達成しても2010年に3%となるに過ぎない。10年間で2%増であるから，このスピードで増やしても2050年に11%となる程度である。欧米諸国もあれ程努力しながらドイツも含め3%前後で，日本とそれ程変わらない。

一方，地球温暖化を防止するため，産業革命以前の温度に比べて2050年の気温を2～2.4℃の温度上昇に止めるためには，CO₂発生量を現在の半分にしなければならないという。しかし，中国やインドのCO₂発生量は今後急激に上昇し，2030年に中国では現在の1.8倍，インドでは2.6倍に達すると予想される。今までどんどんエネルギーを消費し，CO₂を放出してきた国々は，現在経済発展に総力を挙げて努力している国々に対して，省エネルギーの努力をしてほしいとは言えても，エネルギー消費を増すとか，CO₂の放出を半減せよとは言えないのではないか。したがって，まず先進国は，CO₂発生量を50%以下に下げなければならないと言うことになる。2050年に2.0～2.4℃の上昇という厳しい条件を多少ゆるめても，中国やインドのことを考えると，先進国は，50%以上の大きな割合でCO₂を減らさなければならない。それ以前に，日本は京都プロトコルに従って，1990年の6%減をまず図らなければならないが，それどころか，2006年には，逆に6.4%も増えてしまっている。このような状況にどう対処すればよいのであろうか。まず化石燃料の消費を大幅に減らさなければならないことは火を見るより明らかである。

2004年のInternational Energy Annualによれば，世界の1次エネルギー需要は，水力6%，原子力6%，その他1%で，残りの87%が化石燃料に依っている。これだけの化石燃料がCO₂を放出する。まだまだCO₂の閉じ込め技術は発展していない。しかも総エネルギー需要が増すことは止められない。仮に総エネルギーを現状に抑えるとして，CO₂の半減を新エネルギーだけで行うとすれば何年かかるであろうか。現在の日本では10年間で2%増であるから250年かかる。私も，絶対に新エネルギー技術を開発しなければならないと思う。また国も新たにエネルギー税をとり，各家庭に太陽光発電を強制的に備えさせるなどの手を打つべきだと思う。しかし，新エネルギーだけでこの30～50年の温暖化の危機が救えるであろうか。

ここに原子力を見直すべきだという考えが出てくる理由がある。そこで市民の原子力への不安に対し，安全性について過去の事実及び現在の技術水準に基づいて，原子力関係者がもっと積極的に市民と語り合うべきである。例えば，中越沖地震を経験した柏崎刈羽原子力発電所において，あれだけの大きな地震動を受けても原子炉に安全上問題となるような損傷がなかったこと，日本の原子力発電では原子炉本体の事故による放射線人身災害が皆無であったこと等々をもっと積極的に伝えるべきである。そのような努力で原子力について市民に安心感を与えてほしい。また，使用済核燃料の処理について，さらなる研究開発を行ってほしい。

今は，30～50年先きに人類が危機に直面しないよう，地球温暖化の恐ろしさ，化石燃料の枯渇，新エネルギーの現状，原子力の安全性などについて，市民とともにもっと本音で話し合う時代ではないだろうか。

(2008年 3月31日 記)



核廃絶に向けた新たなパートナーシップを

Jayantha DHANAPALA

「核廃絶」構想は、英国のマーガレット・サッチャー元首相により、「絵に描いた餅」だとして一蹴された。このように、多くの政府機関や、非同盟諸国による新アジェンダ連合、さらにはバグウォッシュのような非政府組織によって提唱されてきた軍縮シナリオは、これまで冷たい目でしか見られてこなかった。しかし、著名な元米国政府指導者4名が、保守系米国紙であるウォールストリート・ジャーナル紙に2年連続で、核廃絶にむけての論説を執筆したのは、まさに画期的な変化として注目された。

歴代の国務長官、国防長官、並びに上院議員であったシュルツ、キッシンジャー、ナン、並びにペリー各氏による、この歓迎すべき構想とは、これまで「絵に描いた餅」といわれていた「核廃絶への具体的道筋」を提唱したことで注目された。核兵器は安全保障上、すでに役に立っておらず、米国をはじめとする核兵器国が率先して、核廃絶へのリーダーシップをとるべきだ、と提唱したのである。今こそ、この構想に対し、より幅広い支持が必要とされている。核兵器保有国(NWS)の多く、および北大西洋条約機構(NATO)は、核兵器の先制使用に関する政策を維持しているだけでなく、中には(プッシュ政権のように)広島や長崎の悲劇以来のタブーを犯すことも辞さずに、核による先制攻撃や新核兵器の製造を計画している国もある。

核兵器を維持するのみならず、その使用までを肯定する核政策が依然堅持されている中で、核兵器の95%を保有する米国・ロシアがともに今年重要な大統領選挙を行う予定になっている。この結果は、両国のみならず、世界に大きな影響をもたらさう。したがって、世界中の2万6,000基の核兵器の廃絶へとつながる核軍縮に対し、まさにその2国を含むNWSの政府やその国民から強い支持が得られることが重要となる。

同時に、相互依存性の高まるグローバル化した世界においては、非核兵器保有国(NNWS)もまた、核廃絶促進にむけて、NWSとは別の意味で権利と義務を有している。しかし、NNWSも一枚岩ではない。NWSと「核兵器の共有」を伴う同盟関係を結んでいたり、または「核の傘」という安全保障上の利益を享受するNNWSもある。一部のNNWSが核戦略と明らかに関係している弾道ミサイル防衛(BMD)計画に関与していることは、核廃絶を進めるとい見地からすると、これらNNWSの立場を危うくしているといえる。

しかし、いま我々は、NWSとNNWSが、立場が異

なるとはいえ、相互の義務を達成することにより、共に核兵器のない世界へと誘導していくことができる絶好の機会を迎えているのである。それが、ウォールストリート・ジャーナル紙の同論説が求めている「パートナーシップ」である。以下はその具体的措置例である。

- ・既存国際条約の遵守を強化する。例としては、従うべき核不拡散条約(NPT)、国際原子力機関(IAEA)の包括的保障措置協定(CSA)および追加議定書、非国家主体への大量破壊兵器拡散を防止するための国連安全保障理事会決議1540、核テロリズム防止国際条約(International Convention for the Suppression of Nuclear Terrorism)、および核物質防護条約(Convention on the Physical Protection of Nuclear Materials and Nuclear Facilities)などがある。包括的核実験禁止条約(CTBT)もまた重要だ。同条約は発効していないが、これは、条約発効のために必要とされている44カ国のうち9カ国が、依然署名または批准をしていないためである。
- ・NPTに参加せず、かつ核武装した諸国がNWSによって特権を与えられることは、核軍縮および不拡散体制を弱体化させることにつながる。たとえば、提案されている米国・インド原子力協力協定は、インド・パキスタンの核実験に対して、非核化を要請した安保理決議1172に公然と逆行するものである。NNWS、中でも原子力供給国グループ(NSG)に加盟する諸国が、核保有国主導の現実的な政治力におかれてこの協定を承認すれば、核軍縮並びに不拡散体制の原則を侵しかねないことに十分注意する必要がある。
- ・エネルギー価格の高騰、気候変動の科学的知見に基づく環境への懸念の増加が、原子力に対する需要の増加につながっている。こうした状況の下、NPTメンバー国でNNWS諸国は、NPTの第IV条(侵しえない平和利用の権利)を強調している。一方、第IV条に組み込まれている権利は絶対的なものではなく、「第I条(核兵器国の核不拡散義務)並びにII条(非核保有国の核不拡散義務)に準拠して」という文言によって資格を与えられているのだ、と主張しているメンバー国もある。平和利用をめぐるこの権利の解釈はしばしば主観的なものであり、その論争が核不拡散問題に大きな課題をもたらしてきた。たとえば、NPTの遵守をめぐる解釈の相違(軍事転用の証拠をめぐる米国・IAEAが対立)が2003年のイ

ラク侵攻をめぐる論争につながったことは未だ記憶に新しい。このことは、北と南の間の溝を際立たせている二重基準につながっている。NNWSにおける新規原子力プロジェクトを一時的にでも停止しようとするれば、どの国に対しても差別なく世界的に受け入れられる基準でないと、実施可能とはならないであろう。一方、IAEAなどが提唱している、燃料供給保証をインセンティブとした核燃料サイクル多国間アプローチの提案は、原子力平和利用と核拡散防止を両立させるための新たな基盤となり得るであろう。新エネルギーの模索もまた、二酸化炭素排出規制の手段として、そしてまた原子力への依存を減少させる方法として促進される必要がある。

- ・2010年のNPT再検討会議が近づきつつある現在、我々は、2000年NPT再検討会議で合意された最終文書の「核兵器廃絶の明確な約束：13の行動指針」を実行することをまず優先しなければならない。スウェーデン政府が支援した、2006年の大量破壊兵器委員会報告書(WMDCR)が勧告しているように、

世界首脳会議もまたこの問題に焦点を当てるべきであろう。

最後に、WMDCRの文言を紹介することとしよう。

「このような大量破壊兵器—とりわけ核兵器—を保有する国がある限り、他国はそれを欲することになる。このような兵器がどこかの国に残っている限り、それらがいつの日か、故意かまたは偶然によって使用されることになるという脅威が存在する。いかなるものであれ、このような使用は壊滅的なものとなる。」

(ここに示された見解は、同氏の個人的見解である。)

(2008年 2月13日 記)

Jayantha DHANAPALA (ジャヤンタ・ダナパラ)



スリランカ大使、国連軍縮問題担当事務次長を経て、現在は国連大学理事長、バグウォッシュ会議会長、カナダのサイモン・フレーザー大学客員教授を務める。



サステイナブルな社会を目指して

東京大学サステナビリティ学連携研究機構
地球持続戦略研究イニシアティブ 住 明正
統括ディレクター・教授

東京大学では、サステナビリティ学の確立を目指して、新しい研究活動を開始した。その背景には、21世紀に入り世界を取り仕切るパラダイムが大きく変化しつつあるということ、そして、現在は、それに向けての激動期であり、その先頭に東京大学が立たねばならないという認識からである。

状況を踏まえて物事を考えるには、常に、歴史意識を持つことが必要である。我々は、何も無いところから突如降りてきて生きているわけではない。長くは、地球の46億年の、短くは、数千年の人類の歴史の結果として現在を生きているのである。いわば、時の流れの先端に生きているということが言える。その観点から考えてみると、20世紀は、大量生産・大量消費・大量廃棄の時代であったとすることができる。しかしながら、覚えておいてほしい。「右肩上がりの社会、明日が今日よりも明るい、そして、このような時代が無限に続く」と多くの人々が感じられた時代は、歴史上、存在したことがないのである(あったとすれば、栄枯盛衰という言葉があるように一定の時間、一部のみに存続しただけであろう)。どの時代でも、「昔の栄光の時代、神の時代から、どんどん、悪くなる」という認識が普通であった。第2次大戦後の世界の異常なほどの成長は、ひとえに、サウジアラビアでの大油田が発見され、エネルギー価格が低く抑えられたからである

また、戦後の日本にとっては、第2次大戦による敗北により、多くの被害を受けた産業施設も、その後の展開の中で新規の設備をいち早く導入する結果となったし、石油コンビナートの登場は、海岸線の長い島国に有効に作用した。また、2度にわたる石油ショックは、原子力発電の導入を加速した。しかし、これらの対応も、所得倍増論や、日本改造論に見られるように右肩上がりの成長路線を歩んでいる時代にのみ可能であった。意図して、成長路線を歩んでいたのなら、バブル期の「下品な振舞い」や、その後の「なすすべもない撤退」などはなかったことであろう。今から考えれば、ただただ、流れに流されてきた感じが強い。そして、その責任の一端は、我々団塊の世代にもあると思われる。

しかし、それにしても、最近の我々は、「失われた10年」と揶揄されるように、うつむき加減になっているようである。最近の日本に課題が多いことは、小宮山東大総長が喝破しているように、「一番最初に、日本に21世紀の課題が降りかかった」だけなのである。狭い国土、

多くの人口、資源の希少さ、少子高齢化など、今のまま行けば将来の世界が直面する問題である。中国などは、今のまま行けば、数十年後には、日本以上の少子高齢化社会になるのは間違いがない。

どんなに考えても、今のまま、やっていけるとは思われない。そんなことは、皆が感じている。しかしながら、たとえば、地球温暖化対策に熱気が出てこないのは、全体像が描けないからである。地球温暖化対策に動いているのは、うまく行っている企業が多い。自信があり、次が読めると思うからであろう。かつての、高度成長を目指しているときは、特定の目標に集中していればよかった。言い換えれば、ほかの事に目を配らなくてもよかったが、今は、全体を見通して、全体に目配りしながら問題に対処しなければならぬことになる。したがって、「自信」がなければ行動が起こせないことになる。「大変だな」という気はするが、しかし、避けては通れないとすれば、覚悟をするしか仕方がないであろう。

地球温暖化に対する対策などの議論をすると、「医療、福祉など、今ある他の問題をどうするのだ?」と反対する声を聞く。将来に備えることは今日先の問題をないがしろにすることではない。むしろ、大事なことは、将来を見据えて、目前の問題に対応してゆく必要がある、ということである。将来のサステイナブルな社会に向けては、省エネルギーの脱炭素社会、そして、資源を浪費しない循環型社会、さらに、人に優しい生物多様性を保持する社会を同時に実現してゆく必要があると考えている。ここで強調したいことは、サステイナブルな社会の実現を目指すのは、世界中の人が、それなりに、幸せに暮らせる社会を作るためである。このような目標に向かって進むプロセスは、必然的に、既存の枠組みを壊すことになり、必ず、「勝ち組と負け組」を作ることになる。したがって、必ず、「負け組」に対するセーフティネットを用意する必要がある。個人に犠牲を強いるような社会はぜひとも避けなければならない。

このような中で、やはり、エネルギー問題は大きな地位を占めるであろう。化石燃料に代わるエネルギー源が必要なのは間違いがない。核融合という声もあるが、やはり、22世紀は、自然再生エネルギーに頼る世界となろう。幸いなことに、世界の人口も経済成長を続けてゆけば頭打ちになり、やがて、減少してゆくことが期待される。したがって、我々は、21世紀をしのげば、22世紀につなげることができると考えられる。核拡散につ

ながら、核廃棄物の処理の問題を克服した次世代原子力は、21世紀の過渡的な技術であると考えられるが、国際テロリズムや放射性物質の管理コストを考えると、無しで済ませることができれば、そのほうが良いと思われる。

そもそも、幸せが、エネルギーを多く消費すること、物資を多く消費することであったのは、日本が貧しかったからである。戦後の多くの日本人にとっては、「腹いっぱい食べること」、「きれいな服を着ること」、「自分の家を持つこと」などは、問題なく、幸せであった。しかし、今は、状況が変わったのである。現在は、多くの人の家は物にあふれている。今こそ、エネルギーを使わず、物も消費せず、楽しく過ごす道を確認すべきであろう。

それでは、それは何であろうか？それは、おしゃべりである。中年女性の井戸端会議でもよいし、華麗なパーティでの洒落た会話を思い出してもよい。しかし、会話が楽しいためには、良好な人間関係を築く必要がある。「嫌いな相手」との会話など、決して、楽しいわけではない。そうすると、結局、楽しい会話ができるコミュニティを作ることになる。

かつての日本は、農本主義と家父長制の下に、ある種の束縛と優しさがあった。言い換えれば、戦後の高度成長は、戦前型のしつけ、教養の下に、自由に振舞うことによって可能になったことが大きく寄与していると思う。全体を統括する管理コストを払わなくてもよかったわけである。

したがって、21世紀の日本を作り上げてゆくには、サステイナブルな社会を作り上げるという理念の旗の下、生き生きとした人間関係が存在する社会を設計し、実現してゆくことが重要である。そのためには、一人一人の国民が、新しい課題に挑戦する勇気と、異なる意見や人を許容する寛容さが必要であろう。

(2008年 1月11日 記)

住 明正(すみ・あきまさ)



東京大学大学院理学研究課修士修了。
気象庁、東京大学気候システム研究
センター長などを経て、06年から現職。



各機関および会員からの情報をもとに編集します。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp 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。

柏崎市で「地震国際シンポ」を開催

日本原子力産業協会は、日本原子力技術協会、電力中央研究所と協力して、2月26日、27日の2日間、柏崎市産業文化会館で、「原子力発電所の耐震安全性・信頼性に関する国際シンポジウム」を開催した。同シンポには、日本を含む10ヵ国・地域から約550名の専門家や地元の市民が参加した(写真)。

このシンポは、柏崎刈羽原子力発電所が新潟県中越沖地震の被害を受けたことを受け、産業界の立場から、耐震安全性・信頼性向上を図るために、設備の維持・管理、運転管理について、内外から幅広く技術的知見を結集することを目的としたもの。同時に、立地地域住民と国民の理解に役立ててもらうことも狙っている。



シンポでは、①地震の影響を受けた機器の健全性評価、②地盤変状の影響とその対策、③防災・火災防護——の3点に焦点をあて、16編の講演発表、パネル討論、会場との質疑応答が行われた。

来賓として挨拶に立った会田柏崎市長は、「市民は国策に協力しているという誇りと、その恩恵を受けながらも、何かことあるごとに、発電所の安全は大丈夫かどうかということが最大の関心事だ」と指摘。また品田刈羽村長は、地震影響についてわかりやすい説明を求めた上で、「自然にはかなわないとの謙虚さを持ち、自然との調和、自然の脅威をうまく受け流す知恵を持って対処してほしい」と述べた。

東京電力の武黒副社長は、現在行っている設備の健全性評価について、原子炉建屋のひずみ評価では「1～7号機すべての建屋が弾性範囲内にあることを、解析によって確認した」と指摘。代表的な主要機器の応力解析では「地震による荷重の計算値は設計規格で定める許容応力を下回っている」と述べ、重要施設に影響は見られなかったと報告した。

シンポでは、被災経験を世界で共有すること、今回の教訓を世界に発信すべきことなど、多くの意見・提案が出された。

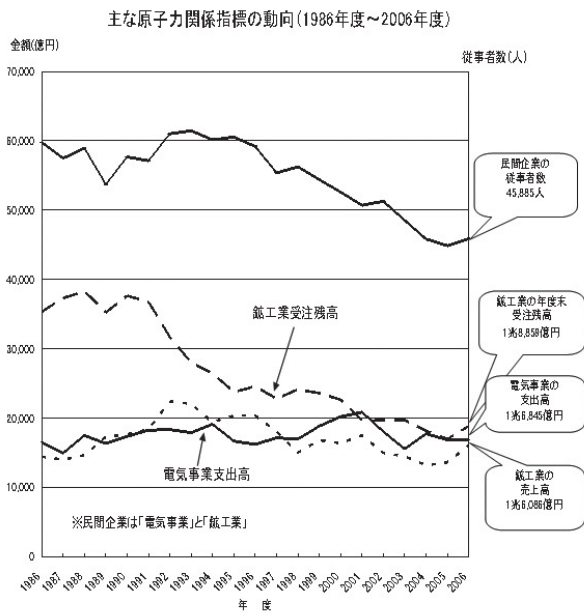
(資料提供：日本原子力産業協会)

2006年度「原子力産業実態調査」を発表 —売上高など下げ止りの兆し

原産協会は2月29日、2006年度「原子力産業実態調査」の概要を取りまとめ発表した。同調査によると、鈾工業の原子力関係売上高は約18%増の約1兆6,000億円となり、2年連続の増加となった(グラフ参照)。また鈾工業の2006年度末受注残高は、その前の2年間連続減少から一転し、約11%増の約1兆8,900億円となった。電気事業者の原子力関係支出

は、ほぼ例年並みの1兆7,000億円。

原子力機器等の輸出高は約42%増の540億円で、過去最高だった1999年度(645億円)に次ぐ高実績。今後も、米国やアジアなどの海外市場での新規プラント建設や既存炉の取替え用機器の受注等から、2008年度には2006年度の117%に、2011年度には同123%に成長が予測されるなど、明るい見通し



である。

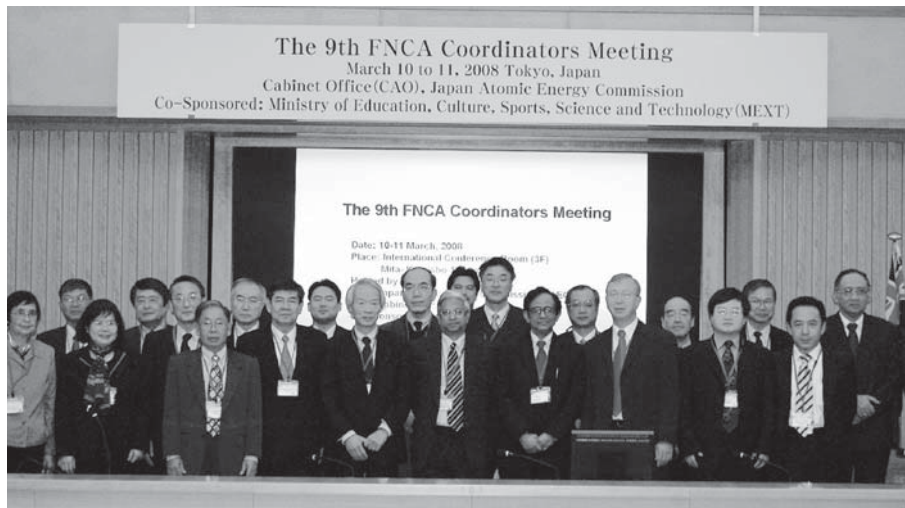
電気事業および原子力産業における原子力関係従事者数も2002年度以降、初めて2.2%増加し、約4万6,000人となった。特に原子力産業では2002年度以降、初めて従事者数が増加し、3万5,000人となった。

(資料提供：日本原子力産業協会)

内閣府 原子力委員会，アジア原子力協力フォーラム コーディネーター会合を開催

平成20年3月10日(月)から11日(火)にかけて、三田共用会議所(東京)で第9回アジア原子力協力フォーラム FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia)コーディネーター会合が、内閣府、原子力委員会の主催、文部科学省の後援にて開催された。FNCAは、原子力技術の平和的で安全な利用を進め、社会・経済的発展を促進することを目的とする日本主催の地域パートナーシップであり、8分野で原子力の平和利用技術に関する個別プロジェクトに

ついての協力活動を進めるとともに、原子力発電の導入に伴う課題などについて議論を行うパネル会合を行っている。今次会合には、FNCA参加国であるオーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムの全10ヶ国から、自国におけるプロジェクトの実施に責任を持つとともに、協力活動全体を総括して参加国相互の連絡調整を行う役割を持つコーディネーターが一堂に出席し、我が国からは、



第9回FNCAコーディネーター会合

近藤原子力委員長をはじめ原子力委員、内閣府、文科省、外務省、経産省の関係者、町日本コーディネーターおよび各プロジェクトリーダー等が参加した。

今次会合は、近藤原子力委員長の開会挨拶で開幕し、その後、8分野11の個別プロジェクト(研究炉利用(研究炉基盤技術、中性子放射化分析)、医学利用(放射線治療、医療用PET・サイクロトロン)、農業利用(放射線育種、バイオ肥料)、工業利用(天然高分子の放射線処理)、放射線廃棄物管理、原子力広報、原子力安全文化、人材養成)の活動報告、評価および今後の計画について議論が行われた。活動報告では、癌の早期発見・治療、大気汚染モニタリングおよびアジア原子力教育訓練プログラム(ANTEP)など、各国の社会・経済的發展に貢献す

る多くの具体的な成果が報告された。今次会合の評価対象である6プロジェクトにおいては、新たに3年間(2008~2011年)、おのこのプロジェクトを延長することが承認された。

会合2日目は、昨年12月に開催された第8回FNCA大臣級会合の報告と同会合で発出された「持続的発展に向けた原子力エネルギーの平和利用に関するFNCA共同コミュニケ」のフォローアップ、第1回「アジアの原子力発電分野における協力に関する検討パネル」会合の報告と今後の計画、FNCAとIAEAによるアジア原子力地域協力協定(RCA)との協力活動などについて議論が行われた。

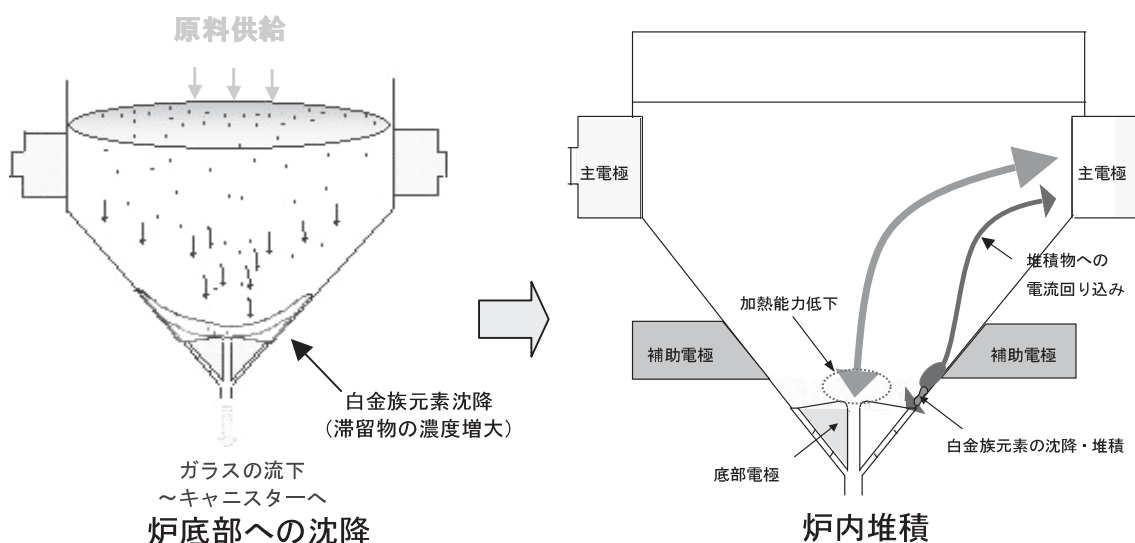
(資料提供：内閣府 原子力政策担当室)

日本原燃、再処理工場しゅん工時期を本年5月に延期

日本原燃は2月14日、青森県六ヶ所村の再処理工場において、アクティブ試験(実際の使用済燃料を用いた試験)の最終段階である第5ステップを開始するとともに、高レベル放射性廃液のガラス固化設備の試験が当初の計画より時間を要する見通しから、工場のしゅん工時期をこれまでの「平成20年2月」から「同年5月」に延期する旨を2月25日に発表

した。

同社は第4ステップにおいて、再処理の工程で発生した核分裂生成物を含む高レベル放射性廃液のガラス固化設備に係る試験を昨年11月より初めて行い、ガラス固化体を57体製造したが、「安全性維持の下で設備の安定した運転が可能であることは確認できた」ものの、白金族元素がガラス溶融炉の底部



* ガラス溶融炉は、高レベル放射性廃液とガラス原料を炉に連続的に供給し、電極で直接通電して発熱させ、非常に高い温度で溶融することにより、廃液をガラスに一体化させる装置。廃液に含まれるガラスに溶けにくく比重の重い白金族元素(ルテニウム、ロジウム、パラジウム)が炉底に溜まり、ガラスの粘性を高くするなどの影響を及ぼすことから、これを管理しながら運転することが重要。

白金族元素がガラス溶融炉の底部へ沈降・堆積したとみられる状況一断面図

へ沈降・堆積したとみられる状況(図参照)が発生し、「白金族の影響を考慮し、管理された運転状態を維持できる」ところまでは確認できなかったという。このため昨年末より溶融炉内の溶融ガラスをすべて抜き出す作業を行い、第5ステップでは、炉内の詳細点検および炉内残留物の除去・分析を行った上で、今後の運転方法をまとめ、国の確認を経た上

でガラス固化設備の試験を再開する予定としている。

会見を行った日本原燃の児島社長は、「安全を第一として、厳しい心構えと使命感を持って、しゅん工を目指して取り組み、わが国のサイクル元年の扉を開くための挑戦を着実に続けていく」と語った。

(資料提供：日本原燃)

「原子炉廃止措置研究開発センター」が発足

日本原子力研究開発機構(原子力機構)は2月12日、新型転換炉ふげん発電所(福井県敦賀市)の廃止措置計画について、経済産業大臣より認可を受け、「原子炉廃止措置研究開発センター(通称「ふげん」)」に組織変更して、廃止措置に向けた第一歩を踏み出した。

「ふげん」の廃止措置は、使用済燃料と重水を搬出しつつタービン系設備等の解体を行う期間、原子炉周辺設備の解体期間、原子炉本体の解体期間、そして建屋解体期間の4つの段階に分けて解体工事等を進め、平成40年度末までに完了する計画である。また、原子炉本体の遠隔水中解体技術や重水系統設備

のトリチウム除去技術等の「ふげん」特有設備の解体の技術開発を進めるとともに、既存技術も最大限に活用して、最適な解体工法を適用していくこととしている。

「ふげん」は、安全を第一に合理的で環境負荷低減に配慮した廃止措置を着実に進め、原子力発電所の廃止措置の先駆的役割を果たしていくことが期待される。

(参考：http://www.jaea.go.jp/04/turuga/jturuga/josirase/080213__topics.html)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)



原子炉廃止措置研究開発センター(通称「ふげん」)

核融合研究に必要な中性子源用「トリチウムターゲット」の製作に成功

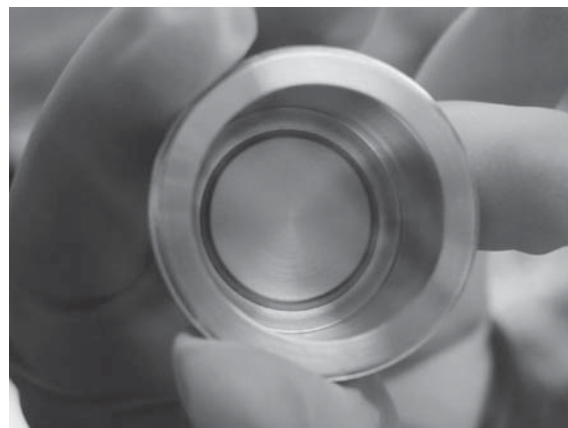
原子力機構は、東海研究開発センター原子力科学研究所のトリチウムプロセス研究施設を用いて、核融合研究に必要なFNS(Fusion Neutronics Source, 加速器型核融合中性子源)用トリチウム(三重水素)ターゲットの製作に成功した。

トリチウムターゲットは、銅製基板に蒸着させたチタン層にトリチウムを吸蔵させて製作する。この製作には、トリチウムを取り扱う施設が必要であり、また取扱いに高度なノウハウを必要とすることからフランスのメーカーが市場を独占しており、将来の安定確保に向けた見通しが不透明であった。

原子力機構は、トリチウムプロセス研究施設に、今回新設した吸蔵装置を用いて輸入品とほぼ同量(約400GBq, 約1mg)のトリチウムを吸蔵させたターゲットを製作し試験を行った。その結果、発生中性子量の時間変化と使用期間ともに、輸入品に勝ることを確認した。

国産化に伴う調達コストの大幅削減と安定供給は、現在計画されているITER用各種機器の中性子環境試験やBA用材料の中性子照射効果研究開発等にも大いに資するものである。

今回の成果は、核融合炉の研究開発のみならず、



製作したトリチウムターゲット
(銀白色部分がトリチウム吸蔵チタン)

原子力の基礎研究(放射線計測機器の開発, 核反応データ測定, 校正用標準中性子場等)にも使用可能である。また、原子力以外の分野(鉱物資源探査, 非破壊検査, 放射線医療等)にも幅広く応用できるため、今後、国内外に広く成果を展開していく予定である。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p08030401/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

駐日カザフスタン大使が原子力機構の研究施設を視察

カマルディノフ アクルベク駐日カザフスタン大使およびエルガリムヌルサリムウリー等書記官が2月13日、原子力機構大洗研究開発センターの高温工学試験研究炉および核熱利用研究施設、J-PARCセンターおよび那珂核融合研究所のJT-60を視察した。

カザフスタンは世界第2位のウラン埋蔵量を有する資源国であり、技術立国を国の政策に掲げ、経済発展に伴う急速な電力需要の増大に対処するため、原子力エネルギーの導入を積極的に進めようとしている。発電および熱供給が可能な小型高温ガス炉は、広大な国土に多数の都市が点在するカザフスタンに最適な原子炉であることから、大使は原子力機構の高温ガス炉技術に強い関心を示した。



高温工学試験研究炉(HTTR)にて
(前列向かって右から3人目がカマルディノフ
アクルベク駐日カザフスタン大使)

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/news2007/080225/index.html>)

(資料提供: 日本原子力研究開発機構)

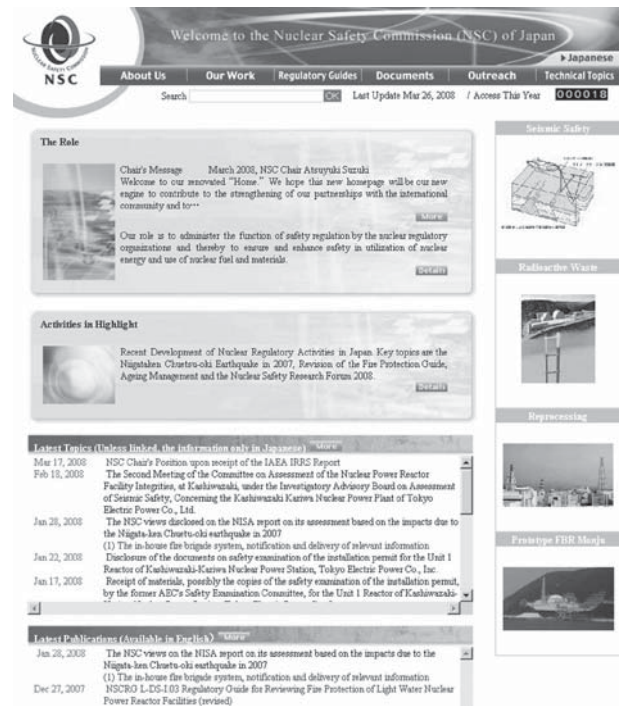
原子力安全委が英文 HP を大幅に刷新

原子力安全委員会は英文のホームページを大幅に刷新し、3月から運用を始めた。同委員会の活動だけでなく、原子力安全に関わる日本国内の動きを、広く海外に発信していく。(http://www.nsc.go.jp/NSCenglish/)

トップページでは、原子力安全委員会の役割のほかに、最近の活動のハイライトを掲載。海外から関心が高い項目を中心に、わかりやすくタイムリーに紹介する。また原子力安全委員会の決定や委員会としての見解、刊行物の発行やシンポジウムの開催案内などをトピックスとして随時掲載し、主要な専門部会の報告書については、その概要を英文で掲載する。

さらに耐震や放射性廃棄物、再処理、もんじゅなどの分野別の取組みについても、わが国全体の視点から、図解を交えて紹介する。

(資料提供: 原子力安全委員会)



武蔵工業大学が「原子力安全工学科」を新設

1990年代以来、大学の学科名から原子力工学あるいは原子核工学の文字が次々に消えていったが、東京・世田谷にある武蔵工業大学(昭和4年創立、中村英夫学長)は、本年4月から新たに「原子力安全工学科」を発足させ、3日の入学式に34人の新生を迎え入れた(写真)。新学科は原子力工学、放射線工学、原子力政策の三つのコースからなり、1年次では工学基礎科目を、2年次では原子力・放射線の基礎を学び、3年次からは安全性を柱に原子力・放射線の実習・訓練を積み重ね、原子力技術を体得してゆくことになる。

我が国の原子力利用の黎明期に教育訓練・研究用原子炉を設置し、原子力分野の草分けである同大学は、これまでも工学部「環境エネルギー工学科」および大学院「エネルギー・量子工学専攻」のなかで原子力の教育研究を継承し発展させてきたが、世界規模で

原子力再興の新時代を迎えつつある今、さらなる第一歩を踏み出したことになる。なお、同大学は平成21年より東京都市大学に名称変更し、科学を基盤に持続可能な社会発展をもたらすための人材育成と学術研究への貢献をめざす。

(資料提供: 武蔵工業大学)



海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

[カナダ]

NB州がFS報告書を受領—エネルギー・ハブ化構想実現へ前進

カナダ・ニューブランズウィック州政府は2月4日、ポイントブロー原子力発電所2号機の増設に向けたフィージビリティ・スタディ(FS)報告書を受領したと発表した。今後、州政府は同FS報告書をレビューすることになるが、S・グラハム州首相は、「ニューブランズウィック州のエネルギー自給体制を確立するとともに、国際規模のエネルギー供給源となりうる」と指摘し、増設に前向きな姿勢を示した。

同FSは、コンソーシアム「チーム CANDU」が昨年8月より半年かけて実施したもので、ACR1000型炉(120万kW規模)の採用を前提に、同2号機の技術面・事業面での成立可能性や環境面や地域経済に与える影響などを検討した。

州政府は同FSと並行して、第三者機関であるMZコンサルティング社に、2号機増設の事業実現可能性を多角的なアプローチから判断するバイアピリティ・スタディ(VS)を委託。同VSは、「一定の条件下において、2号機増設は事業として実現可能」と結論している。そのため同州のJ・キアー・エネルギー大臣は、「チーム CANDU のFS を詳細に検討し、VS が指摘する事業成立条件に合致するかどうかを見極めたい」と同FSのレビューに意欲を示している。

MZコンサルティング社は、2号機の電力は、米国ニューイングランド地方への輸出だけでなく、およそ半分をニューブランズウィック州、ノバスコシア州、プリンス・エドワード・アイランド州の3州で、石油火力・石炭火力の代替として利用することが可能と指摘。3州がいずれも石油火力や石炭火力への依存率が高いことから、「環境面に配慮すると、大型水力が大型原子力が必要となる」とした。

その一方で、米国への輸出の問題点として、①送電インフラが未整備、②米国向け電力市場では長期売電契約の締結が困難——の2点を挙げた。

またプロジェクト自体の問題点として、(1)プロ

ジェクトへの州政府の関与がなく民間資本に丸投げであること(カナダでは例のない形態で、長期投資家の確保ならびに親会社や政府からの支援の取付けが必要)、(2)ACR1000は設計段階の新型炉で運転実績がない(初号機ならでの費用が発生)——等を指摘。経済面での事業成立性は「建設コストと電力価格動向次第」としながらも、2号機が運開する頃には、CO₂排出が取り引きされるようになる可能性が高く、プロジェクトの経済性は改善される可能性もある、との見方を示している。

今後、州政府はチーム CANDU が提出したFSを検討するが、その際にはVSの指摘を踏まえ、①新型炉ACR1000建設のリスクと新型炉を実証することによる便益、②2号機の出資者の明確化、③プロジェクトの責任の所在、④確実な電力輸出のための見通し——等を検証し、総合的に判断することになる。

[米国]

ユニスター社、ニューヨーク州で新設を計画—一年内に新たなCOLを申請

ユニスター・ニュークリア・エナジー(UNE)は2月12日、ナインマイルポイント3号機(ニューヨーク州)の建設を目指した建設・運転一体認可(COL)を、今年10~12月をメドに原子力規制委員会(NRC)へ申請する方針を発表した。2月8日にNRCへ通告済みだという。

UNEは、米国で原子力発電所の新規建設を目指し、COLの実証を目的として設立されたコンソーシアムの一つで、仏電力公社(EDF)と米コンステレーション・エナジー社との合併会社。供給者として仏アレバ社が、アーキテクト・エンジニアとして米ベクテル・パワー社が、参加している。採用炉型は、アレバ社製EPRを米国向けに改良した160万kW級原子炉USEPR。

UNEのM・ウォレス会長(兼コンステレーション・エナジー社上級副社長)は、「実際に建設する最終判断を下したわけではない」としながらも、「現時点ではメリーランド州とニューヨーク州双方で新規建設プロジェクトを推進し、多角的な観点から最終判断をする」と述べた。

また同会長は、「ニューヨーク州当局はCO₂を排出しない大型発電所の建設に好意的」と指摘。ニューヨーク州では将来的な電力不足が予測されていることや、原子力発電所が建設されれば、建設時に数千の臨時雇用、運開後も350の常用雇用が生まれることなどから、当局からの支持が得られていることを強調した。

UNEはメリーランド州で、カルバートクリフス3号機の建設に向けたCOL申請作業を進めている。すでに昨年7月にCOL申請書を分割し、環境影響評価書をNRCへ提出。今年3月までに、COL申請書の残りの部分、安全解析書等をNRCへ提出する予定だ。

またUNEは、USEPRを採用するアメンUE社のキャラウェイ増設プロジェクトやPPL社のサスケハナ増設プロジェクトのCOL申請に対し、支援を行っている。

プロGRESS社、ノースカロライナ州のシアロンハリス・サイトで新たなCOL申請

プロGRESS・エナジー社は2月19日、シアロンハリス・サイト(ノースカロライナ州)の2基増設分を対象とした建設・運転一体認可(COL)を、原子力規制委員会(NRC)へ申請した。米国では昨夏より続々と新規原子力発電所のCOLが申請されており、今回が6つ目。

同サイトでは現在、シアロンハリス1号機が運転中(PWR, 96万kW)だが、同社はこれにウェスチングハウス社製のAP1000(出力110万kW級)を2基増設する計画だ。ただし同社としての正式な建設決定に至ったわけではなく、今回のCOL申請はあくまでも「原子力発電所建設オプションの保持」のためだと強調している。そして建設決定については「最終的な判断は数年先になる」とし、運開時期を2018年以降と見込んでいる。

シアロンハリス・サイトは当初、4基の原子力発電所建設を予定していたが、1970~80年代にかけて電力需要低迷による経済性の悪化により、1号機しか建設されなかった経緯がある。そのため十分な建設用地と水も確保されている。また、送電インフラも整備されていることから、建設コストが大幅に低

減されるとみられている。

プロGRESS・エナジー社は、5基(合計グロス出力:447万7,000kW)の原子力発電所を運転する全米屈指の電力会社で、2007年の原子力発電電力量は348億3,602万5,000kWh。フロリダ州レヴィー郡のサイトを対象としたCOL申請も計画している。また同社は、原子力発電所の新規建設をめざしたコンソーシアム「ニュースタート・エナジー・デベロップメント」のメンバー企業でもある。

[ロシア]

カーリーニン教授がロシア動向を講演 —日口原子力産業の共存を

日本原子力産業協会は1月28日、「ロシアの原子力産業の動向に関する講演会」を開催。モスクワ大学のアレクセイ・カーリーニン教授を招聘した講演会には、70名を超える聴衆が詰め掛けた。

ロシアでは、政府が2030年までに40基の原子力発電所の新規建設構想を表明し、原子力庁「ロスアトム」を廃止し、原子力事業すべてを管理する国営企業「ロスアトム」を設立するなど、原子力分野の大規模な再編が進んでいる。

同教授はロシアでの原子力発電プラント製造に関して、「原子力蒸気供給システム(NSSS)以外は海外からの輸入が必要」と述べ、「ロシア国内で稼働中の原子力発電所には大規模な改修が必要と考えられることから、相当額の改修機器の輸入が必要になる」との見方を示した。

また、ロシアへの販売実績のある欧州企業のリストを示した上で、「すでにロシア国内の原子力発電プラント設備の30~40%が欧州からの調達になっている」と紹介した上で、日口の原子力産業が共存共栄することへの期待を表明した。

また、日口の合併会社の設立については、「ロシア指導者は合併設立に厳しい立場をとっており、合併の製造設備はロシア国内に置き、株式の51%以上はロシア側が保有、またロシア国内ではロシア側が独占販売権を持つ等の条件がつけられる」と指摘した。

カーリーニン教授は、「核燃料はロシア製、原子力発電プラントは日本の設計で日本が建設するという形で、協力が進むことを期待する」と述べた。

一方、参加者からの「核燃料サイクルで日本から協力する分野はないのか」との質問に対しては、「カザフスタンのウランをロシアで濃縮し、日本で燃料製造、という構想もあるが、ロシアとしては燃料分野はできるだけ自国で押さえておきたい考えがあるようだ」と、実現は難しいとの見解を示した。

[イラン]

ブシェール発電所を運営する合弁会社を設立

露アトムストロイエクスポート社のS・シュマトコ総裁は2月14日、イランで建設中のブシェール1号機に関し、「3ヵ月以内に同発電所を運営する合弁企業を設立する」考えであることを明らかにした。ただし同合弁企業の詳細に関しては明らかにされていない。

ブシェール1号機では昨年12月から今年1月にかけて、核燃料が搬入され、現在、起動に向けた準備が進められている。

シュマトコ総裁は、中国で実施した田湾原子力発電所建設プロジェクトを例に挙げ、「試運転中に多くの問題が判明することが多い」として、ブシェール1号機の運開スケジュールについての言及は避けた。

[南ア]

南アへの軽水炉供給プロジェクトめぐり、米仏各勢力が対決

南アフリカ電力公社(ESKOM)が計画する新規原子力発電所建設プロジェクトへの入札が1月末に締め切られ、同社から入札を要請されていた仏アレバ社と米ウェスチングハウス・エレクトリック社の2社が応札した。新規プロジェクトは軽水炉が採用されるが、南アフリカの産業力強化も視野に入れたプロジェクト提案が求められている。

昨年11月にESKOMが両社に要請した入札案件は、①2010年をメドに合計出力300~350万kW規模の軽水炉を建設準備、②2025年をメドに合計出力2,000万kW規模の軽水炉を建設——の2件。それぞれの応札期限は2008年1月31日と08年末に設定されていた。

1月31日に発表されたアレバ社の声明によると、同社は南アフリカのエンジニアリング会社AVENG社、仏建設大手ブイグ社、仏電力公社(EDF)とコンソーシアムを結成。第1の案件に関し、2基のEPR(出力各160万kW規模)建設を提案。第2の案件については、さらに10基のEPR建設を提案する方針だという。

アレバ社は旧フラマトム社時代、南アフリカで唯一運転中のクバーグ原子力発電所(PWR×2基)を建設した実績がある。またアレバ社は2006年11月、同発電所への各種サービスを提供するレセディ・ニュークリア・サービシーズ社(南アフリカの黒人支援プロセス「BEE」対象企業)の51%株式を取得し、傘下に収めている。また昨年7月には、カナダと南アフリカに事業拠点を持つウラン探鉱会社ウラミンの買収を完了。南アフリカの上流部門も押さえ、同国での地歩を着実に固めている。

一方、ウェスチングハウス社も2月1日に声明を発表。南アフリカのエンジニアリング会社マリー&ロバーツ社、米建設大手ショー・グループとコンソーシアムを組み、2016年の初号機運開を目指し、3基のAP1000(出力各110~120万kW規模)を建設することをESKOMに提案したことを明らかにした。

ウェスチングハウス社もアレバ社に対抗し、昨年7月に南アフリカのエンジニアリング会社ISTの原子力部門を買収。南アフリカでの事業基盤とし、同国への技術移転を積極的に進める姿勢を示した。同時に、韓国、スペインなどにおける、ウェスチングハウス社によるこれまでの技術移転実績を強調している。

昨年7月に発表された決算によると、ESKOMの税引き前利益は11億3,600万ドル。同国の急激な経済成長に伴い、同社の投資計画は加速を余儀なくされている。発電設備容量の不足だけでなく、送電網の脆弱さも指摘されている。

石炭資源に恵まれた南アフリカでは、総発電電力量の9割以上を石炭火力発電でまかなっている。しかし需要が増加傾向にあるのは、ケープタウン近郊や東西沿岸部で、需要地近接立地が可能な原子力発電所に注目が集まっている。

[タイ]

原子力導入に向け事務局を設立

タイのP・アムラナン・エネルギー相は1月31日、同国初となる原子力発電所の導入を視野に、「原子力発電開発事務局」を設立したことを明らかにした。

同局は今後、2011年までの期間をメドに、4基の原子炉建設に向けたフィージビリティ・スタディを実施。同時に、建設候補サイト、法規制、人材育成など詳細について検討を実施する。また国民を対象に、原子力発電の安全性や放射性廃棄物管理に関するPA活動も実施する計画だ。

アムラナン大臣は、「2011年にフィージビリティ・スタディが完了した後、政府が原子力発電導入の最終判断を行う」との見通しを示し、「原子力発電の導入には12～13年ものリードタイムを要するため、建設に備えておく必要がある」と同局の意義を強調。そして、原子力発電は多大な建設コストが必要となるが、燃料コストや発電コストが安く、タイが国際競争力を維持するために不可欠な電源だと指摘した。

現在の計画では、100万kW級原子炉を4基建設。うち1～2号機は2020年に運開させる。建設コ

ストは80億ドルと試算されている。

[フィリピン]

フィリピン 原子力の人材育成に着手

フィリピンのG・アロヨ大統領は2月15日、同国が将来、原子力発電の導入オプションを保持できるよう、原子力分野の人材育成に着手していることを明らかにした。これは大統領がマニラで開かれたフィリピン経済フォーラムで発表したもの。

フィリピンでは1976年、バターン原子力発電所が着工されたが、1985年に工事進捗率90%で建設が中断されている。その後、政府は、原子力発電の導入を再検討するため、1995年に原子力発電運営委員会を設置。同委員会が原子力発電開発に必要な施策、行動計画等の立案を担当し、「2020年に原子力導入のオプションを持つ」とした同国の長期エネルギー計画の実現に向けて、可能性を模索していた。

近年の原油価格高騰に伴い、原子力導入を求める声がフィリピン国内で高まっており、昨年には「必要な人材開発・能力育成に15年かかる」との試算が発表され、政府が人材育成プログラムを承認していた。

特集

制御棒引き抜け事象調査委員会の報告について

(財)エネルギー総合工学研究所 松井一秋,
 三菱重工業(株) 澤田 隆, 名古屋大学 山本章夫,
 京都大学 中島 健, 原子力安全基盤機構 阿部清治,
 東北大学 北村正晴

I. はじめに

2002年の東京電力の原子力発電所における自主点検作業記録不正問題(いわゆる東電問題)のあと、2006年にはさらにほかの電力の水力・火力の発電設備におけるデータ改ざん、必要な手続きの不備などの問題事案が相次いで発覚した。これに対して経済産業省 原子力安全・保安院は2006年11月30日、全電力会社に対してすべての発電設備における同様な問題がないか過去にさかのぼって総点検を行い、報告するよう指示した。

各電力会社は4ヶ月間で、検査や点検記録、工事の仕様書や実施記録の調査、さらに現役はもとより退職した社員、協力会社やメーカーの関係者など延べ7万人以上にヒアリングし、徹底的に調査した。

電力会社は、2007年3月30日に総点検の結果についての報告を保安院に提出した。その報告によると、全電力会社のすべての発電設備における改ざん・隠ぺいなどの不正は、合計で316事案、うち原子力関係は98事案であった。ただしどの事案も事故につながったり、従業員を含む人々や周辺環境に影響を与えたりするものではなかった。

原子炉の安全確保にとって臨界の管理は最も重要な作業だが、沸騰水型軽水炉(BWR)で制御棒引き抜け事象が10件、うち炉停止中の予期せぬ臨界事象が2件、東電福島第一3号機(1978年11月2日)、北陸電力志賀1号機(1999年6月18日)が公になり、死傷者を出したJCO臨界事故(1999年9月)もあって、「臨界事故」として今となって世を騒がせることになった。

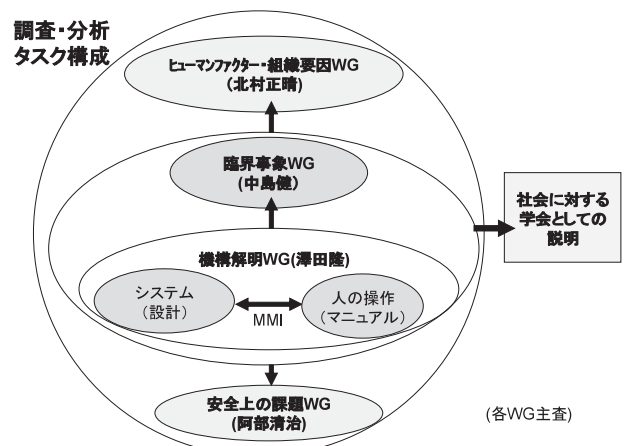
日本原子力学会は「2007年春の年会」(3月、名古屋大学)での北陸電力志賀1号機の臨界事象について、その時点で判明していることについて報告会を開催した。その結果を受け、多様な専門家集団として調査・分析し、社会に説明・提言するべく調査委員会を設置することに

なった(2007年4月13日、理事会)。調査委員会の構成を第1図に示す。また、学会ホームページに委員会設置趣旨を掲載し、意見を募集した。

北九州市で開催された本会「2007年秋の大会」(9月27～29日)では、28日に「制御棒引き抜け事象」調査委員会報告セッションを開き、検討状況の報告と会員との意見交換の場を設けた。報告資料は学会ホームページからも利用可能とした。

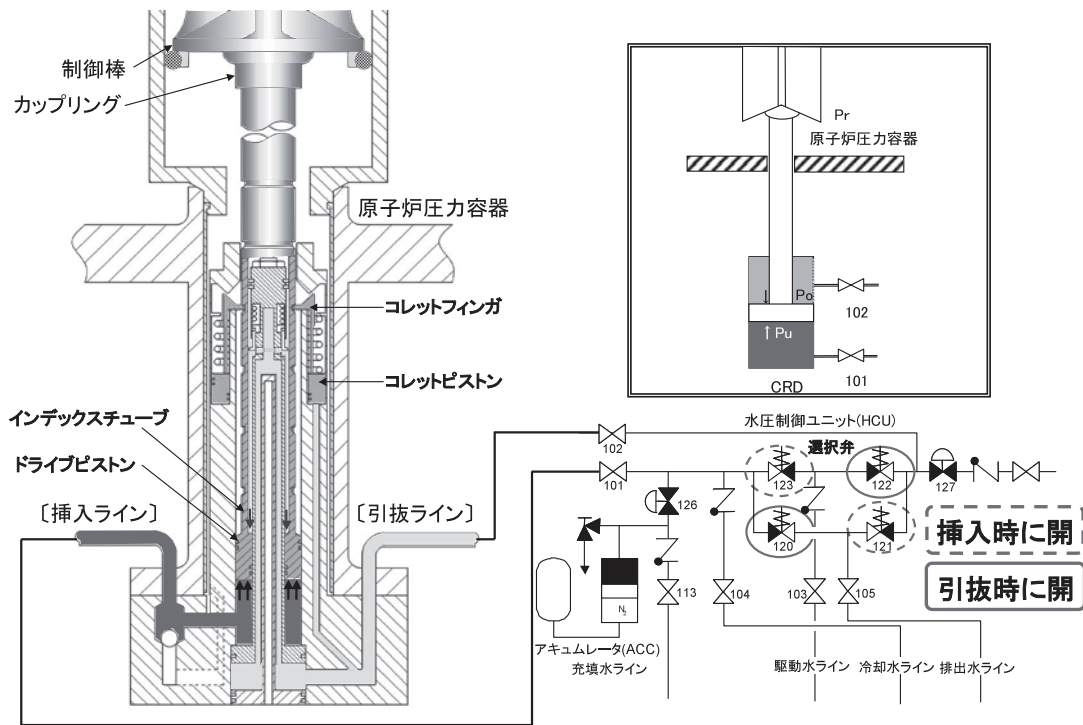
2007年10月3～5日に、日本で開かれたIAEAの「反応度制御の安全管理に関する技術会合」“Technical Meeting on the Effective Management of Safety of Reactivity Control during Power Change and Shutdown in Nuclear Power Plants”では、停止時および低出力時の反応度制御に関する効果的な安全管理に関して討議され、本委員会の検討結果を報告すると同時に、会議の取りまとめにも貢献した。

調査委員会での調査、議論の大半は半年以内で終了したが、その後の報告書作成においても追加の議論や修正がなされ、今般報告書が完成したのでここにその概要を報告する。なお、本報告書は学会ホームページよりダウンロード可能とする予定であるが、印刷物(定価2,000円)も学会から入手可能である。¹⁾ (松井一秋)



第1図 調査委員会の調査・分析タスクの構成 (MMI: Man-Machine Interface)

AESJ Study on Control Rods Withdrawal Events in BWRs : Kazuaki MATSUI, Takashi SAWADA, Akio YAMAMOTO, Ken NAKAJIMA, Kiyoharu ABE, Masaharu KITAMURA. (2008年2月12日受理)



第2図 制御棒駆動機構構造

II. 制御棒引き抜きの機構説明

1. 概要

本章では、北陸電力志賀1号機のケースを基に、どのような操作の結果、なぜ意図せぬ制御棒引き抜けが発生したのかそのメカニズムを説明する。

なお、北陸電力報告書では、志賀1号機ではARI試験^{a)}を並行して実施したため、作業手順が錯綜し、引き抜けに至ったと報告されている。しかし、このように特殊な場合でなくとも制御棒引き抜けは発生しており、本委員会では制御棒引き抜け事象の発生とARI試験の有無とは直接は関係ないと判断しており、制御棒の意図せぬ引き抜きの機構説明に関してはARI試験とは無関係に一般論として記載する。

2. 制御棒駆動機構の構造と作動のメカニズム

(1) 制御棒駆動機構の構造

制御棒駆動機構の構造を第2図に示す。コレットフィンガがインデックステューブの溝に入る形となっている

^{a)}ARI試験：代替制御棒挿入(ARI: Alternative Rod Insertion)は、アクシデント・マネージメント策のうち「止める機能」の強化策のひとつ。原子炉緊急停止系作動回路とは別に設置した計測制御系によって、異常(原子炉圧力高または原子炉水位低)を検知してすべての制御棒を挿入するもの。ARI試験は、この対策のための工事を行った定期検査時において、機能を確認するために実施した試験。すべての制御棒が動作することを避けるため、試験対象制御棒を1本とし、それ以外の制御棒は動作しないように機械的に隔離することとしていた。

ことで、制御棒の不慮の落下を防止する構造となっている。

制御棒挿入の動作は、第3図に示すとおり、駆動すべき制御棒に対応する水圧制御ユニットの選択弁123を開き、駆動水圧を制御棒駆動装置ピストン下部室に導き、同ピストン上部室からの水は同選択弁121を開いて冷却水ヘッダーに導く。

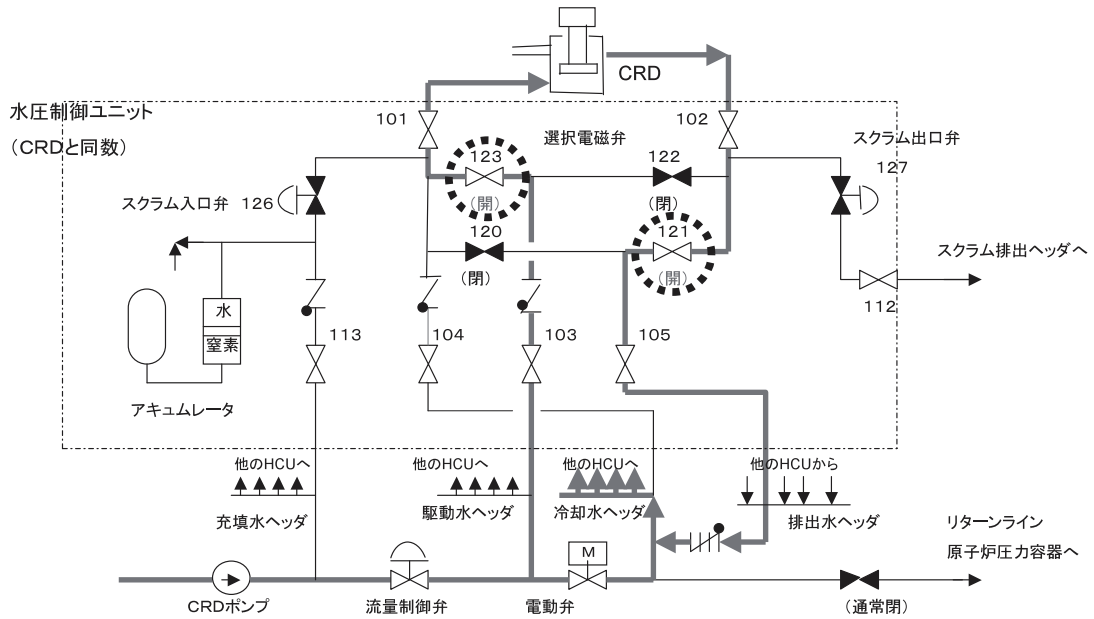
制御棒引き抜きの場合、第4図に示すとおり、まず、自動シーケンスタイマによって約1秒間挿入弁を開けてインデックステューブを持ち上げ、コレットフィンガによるラッチを外してから引抜弁122を開けて(シーケンスタイマによる)ピストン上部に作動圧力を与える(第5図)。制御棒駆動装置から戻ってきた水は、同様に冷却水ヘッダーに導かれる。

3. 制御棒引き抜け事象のメカニズム

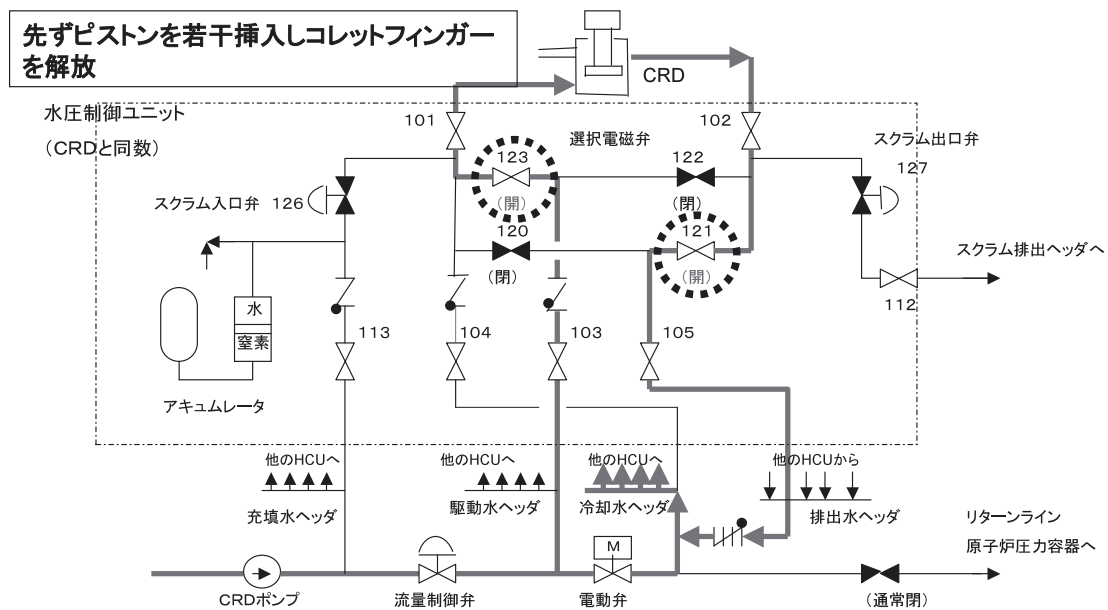
(1) HCUを全数隔離する理由

制御棒引き抜け事象は、HCU(水圧制御ユニット)の全数隔離を行おうとしている際に発生した。HCUの隔離とはHCUから制御棒駆動機構に伝わる圧力を遮断すべく、HCUの弁をすべて閉じることである。

なぜHCUを全数隔離するかは、事業者によれば炉停止時に不必要な制御棒の動きを予防するには、制御棒駆動機構に加わる圧力を遮断(HCUの隔離)することが一番確実と考えたこと、また原子炉容器内に格納容器外から流れ込む水を止めることで格納容器漏えい率試験への影響をなくすことなどの理由が挙げられている。



第3図 制御棒挿入動作



第4図 制御棒引き抜き時(ステップ1)

(2) 制御棒引き抜けのメカニズム

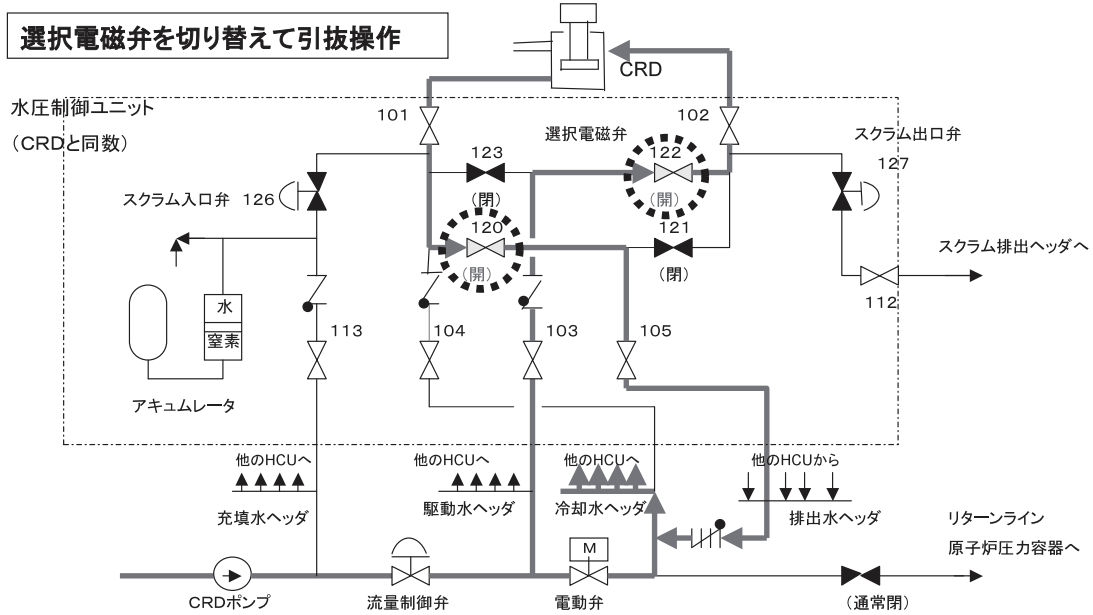
HCUを隔離すると、隔離されたHCUから制御棒駆動機構を経て原子炉容器へ流入していた冷却材の流れが遮断される。系統流量は流量制御弁により一定流量にしようとして制御されているため、隔離されるHCUの数が増えていくと、隔離されていないHCUに対しては冷却水圧力が次第に高くなる(第6図)。これを防ぐために、HCU全数隔離を行う際には、通常時閉じている原子炉容器への戻りライン(リターンライン)の弁を開ける(リターン運転)方法と系統流量をゼロとする運用とがあり、いずれかの方法により系統圧力の上昇を防ぐようマニュアルには定められている。

また、冷却水圧力は異常圧力高の警報が出るように

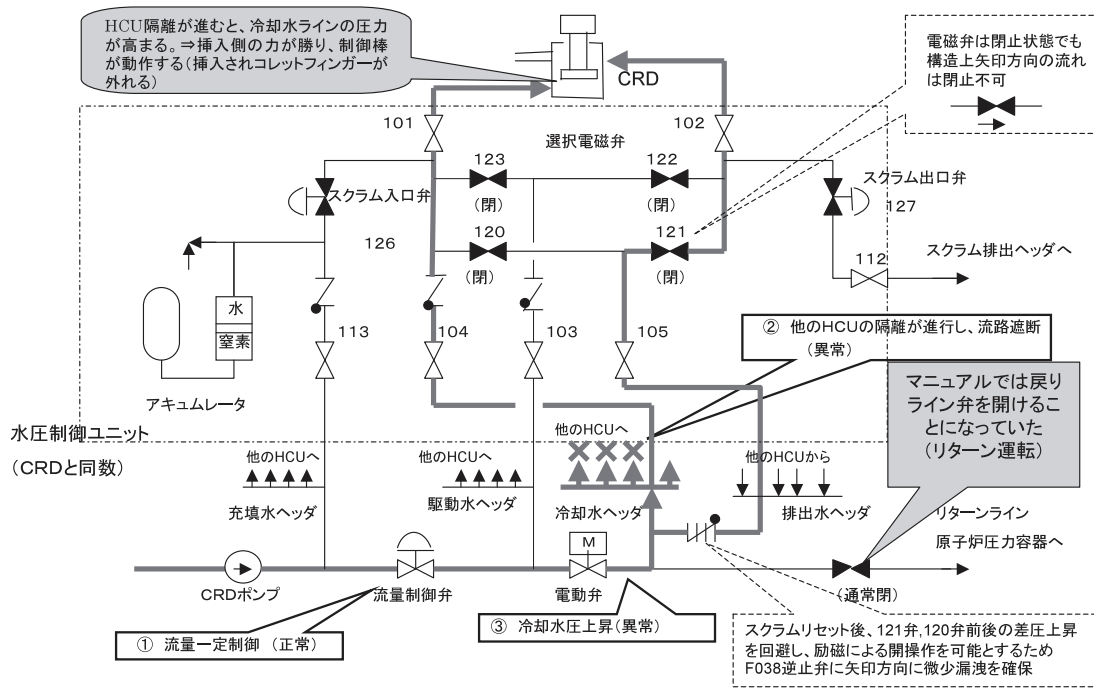
なっていたが、このとき警報が外されていた。

リターン運転しない状態で隔離するHCUの数が増加すると、隔離されていない制御棒駆動機構のピストンの挿入側と引き抜き側の両方に加わる圧力が高まる。ピストンの受圧面積は挿入側が大きく設計されているので、ある圧力を超えるとピストンは一たん挿入側に動く。これは第4図の通常の引き抜き操作の第1ステップと同じで、コレットフィンガーが外れた状態となる。

このコレットフィンガーが外れた状態で、そのHCUを隔離するために101弁を閉止すると、挿入側からの圧力が加わらなくなり、引き抜き側からの圧力がピストンを押すため、制御棒の意図せぬ引き抜けが発生する(第7図)。なおこの場合、コレットフィンガーは引き抜き側の



第5図 制御棒引き抜き時(ステップ2)



第6図 隔離HCUが増えた状態

圧力により、外れた状態が維持される。

(3) 引き抜けた制御棒の停止

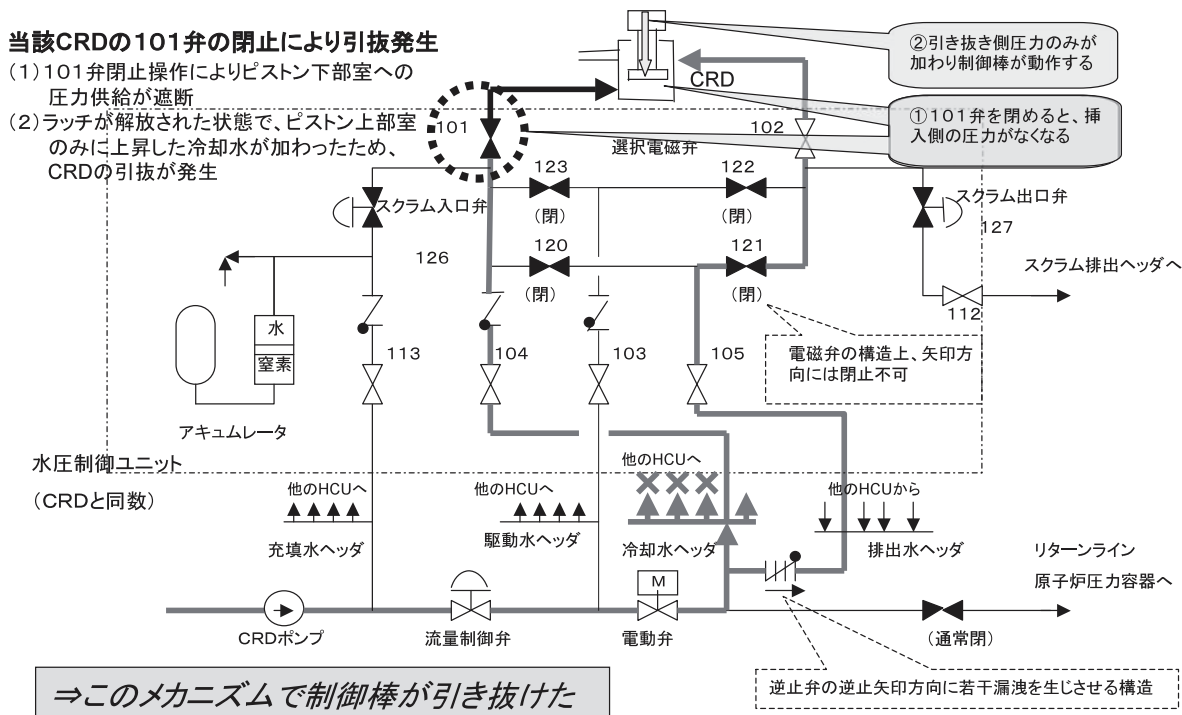
作業員が101弁の閉止に引き続き、102弁を閉止すると、それ以上は引き抜き圧力が加わらなくなるため、制御棒の引き抜きは止まる。

また、102弁が閉止されなくとも、スクラム信号が出るとスクラム出口弁が開き、引き抜き側の圧力が開放されるため引き抜きは止まる。

(4) 引き抜けた制御棒の位置

系統圧力上昇は、隔離したHCUの数に関係しており、ある程度の数のHCUを隔離した後でなければ制御棒の引き抜き事象は発生しえない。

一方、実際の作業は、志賀1号機の場合、4人の作業員が入口に近いHCUから順番に隔離していった。HCUは炉心内の制御棒の配列に対応して配置されている。このため、制御棒引き抜きが発生したのは、隔離作業の終わりに近い時、すなわち炉心の端の方のHCUで作業している時に発生した。



第7図 制御棒引き抜けの発生

4. マニュアル記載事項と遵守状況

マニュアルには、HCU全数隔離をする際には、あらかじめリターンバルブを開けリターン運転を行うか、系統流量をゼロにするよう定められていた。なんらかの理由によりこの手順が行われなかったことが直接の原因といえる。警報除外の上、ひとつの操作を忘れることが意図せぬ制御棒引き抜けの直接の原因になるという「設計+運転管理」には問題があったといわざるを得ない。

なお、電力会社は、2006年4月にプラントメーカーとともに、BWRプラントに関する情報を共有し、必要な技術的検討を行い、わが国のBWRプラントの安全性および信頼性をさらに向上させることを目的として、「BWR事業者協議会」を発足させた。BWR事業者協議会では、制御棒引き抜け事象に対する対策として、電力会社において実施されている水圧ラインの圧力上昇防止のためのリターン運転などの対策が有効であることを確認し、運用面(ソフト)、設備面(ハード)の両面からさらなる再発防止対策を抽出している。(澤田 隆)

III. 臨界事象の解明

1. 概要

本章の目的は、(1)制御棒引き抜けに伴って実際にどのような現象が炉心で発生したのか、(2)本事象に関連して潜在的にどのような炉心の挙動までが想定されたのか、を示すことにある。制御棒引き抜けに伴って臨界事象が発生した炉心は、東京電力の福島第一原子力発電所3号機(1978年)および北陸電力の志賀1号機(1999年)である

が、本章では、比較的多くの情報が得られており、添加反応度がより大きかったと推定されている志賀1号機を対象とした。また、調査は、これまでに公開されている報告書²⁻⁵⁾および関係者からのヒアリングなどの情報に基づいて行った。

2. 事象発生時の炉の状況

本事象発生時に、炉心にどのような状況が発生したのかを時系列で整理しておくことは再現解析などのために重要である。しかし、情報としては、プラントの警報などを印字記録するアラームタイパーの記録がほぼ唯一のものであるとよい。そのため、発生事象の時系列整理はアラームタイパーの記録に基づいて行った。

アラームタイパーの記録には炉心挙動を推定するための「足跡」が多数残されており、この記録がなければ、事象の実態解明に大きな障害が生じたものと考えられる。このことから、アラームタイパーの重要性が改めて認識され、その記録が保存されていたことは、事象の解明に極めて有用であった。アラームタイパーの記録に基づき、臨界事象発生時の炉心挙動などを時系列に並べてまとめたものを第1表に示す。

3. 炉心挙動解析の評価

(1) 再現解析の評価

(a) 解析条件の設定

本臨界事象において、「実際にどのような現象が炉心で発生したのか」を理解するために、再現解析は極めて重要である。この観点から、再現解析においては、解析

第1表 時系列に沿った炉心の核的挙動

時刻	制御棒引き抜け開始からの時間(s)	臨界到達からの時間(s)	炉心挙動に関連する事象
2時17分27秒	0		制御棒引き抜け開始(全制御棒挿入信号“No”)
2時18分40秒頃	約73	0	臨界到達*
2時18分41~43秒	74~76	1~3	SRM 炉周期「短」, SRM「高」
2時18分43秒	76	3	SRM(B)炉周期「オーバーフロー」
2時18分44秒	77	4	IRM「高」
2時18分44秒	77	4	原子炉スクラム信号発信(IRM「高高」)
2時18分45秒	78	5	IRM 測定レンジ逸脱
2時18分46秒	79	6	SRM(A)(C)炉周期「オーバーフロー」
2時18分47秒	80	7	SRM(D)炉周期「オーバーフロー」
2時18分47秒頃	約80	7	制御棒引き抜け停止*
2時18分53~57秒	86~90	13~17	SRM 炉周期正常復帰(出力上昇率低下)
2時19分59秒	152	79	CRD スクラム排出容器(B)水位高
2時32分19秒	892	819	制御棒の挿入に伴い, 中性子束低下, IRM「低」
2時32分19秒	892	819	SRM 炉周期(D)(マイナス側に)レンジ逸脱
2時32分24秒	897	824	SRM 炉周期(A)(マイナス側に)レンジ逸脱
2時32分44秒	917	844	SRM レベル(D)正常復帰
2時33分00秒	933	860	制御棒全挿入

*アラームタイパーに記録はないが、参考のために記載した。

条件が不明確な点についてはいたずらに保守的な解析条件を設定するのではなく、合理的な推定に基づいてできる限り不確定性の範囲を縮減しつつ、解析条件の不確定性が結果にどのような影響を及ぼすかを含めて評価することを基本方針とした。本来、再現解析においては解析結果が一意に決まるべきものであるが、本事象に関しては解析条件に不明確な点があるため、「実際に発生した事象はこの範囲である」という形の再現解析に止まらざるを得ない。

制御棒が引き抜かれる事象において、炉心の核的な挙動に影響を及ぼす条件としては、以下のものが考えられる。

- (1) 燃料配置(炉心内燃料タイプ^{b)}および燃焼度分布)
- (2) 引き抜けた制御棒の位置
- (3) 制御棒引き抜けの順番(シーケンス)
- (4) 制御棒引き抜け速度
- (5) 初期冷却材温度
- (6) 冷却材圧力
- (7) 初期炉心出力
- (8) 初期冷却材流量

これら項目のうち、反応度添加量と反応度添加率に直接影響を及ぼす(3)および(4)は、記録に残されている情報のみからでは確定できず、不確定要素が含まれている。したがって、実際に発生したと合理的に推定できる範囲で解析条件を変更して炉心挙動を評価することが必要である。調査の結果、これらの不確定性は以下のように評

^{b)}燃料タイプとは、濃縮度、可燃性毒物(ガドリニア)濃度、幾何形状などの違いを示すものである。

価することが妥当であると判断した。

反応度添加量： $0.489\% \Delta k/k \sim 1.089\% \Delta k/k$

($0.789\% \Delta k/k \pm 0.30\% \Delta k/k$)

炉心解析コードによる推定(実効増倍率の評価)結果に基づく。また、整定出力を基に推定した結果も参考とした。なお、炉心解析コードは測定値との比較により妥当性が検証されており、十分な信頼性があると考えられる。

反応度添加率(制御棒引き抜け速度)：18~47 mm/s

制御棒のモックアップ試験による測定結果および制御棒引き抜け開始・停止時刻と引き抜け量の記録を基に推定した。

また、その他の条件についても不確定性を含んでいるものがあるが、これらは炉心挙動に大きな影響を与えるものではなかった。

(b) 解析結果の評価

(a)の条件設定に基づき炉心挙動の評価結果を整理した。反応度投入事象で重要となる燃料エンタルピー増分の最大値および燃料エンタルピーの最大値の評価結果を最も詳細な解析モデルを採用していると考えられる原子力基盤機構の解析結果⁵⁾に基づいて取りまとめたものを第2表に示す。第2表より以下のことがわかる。

炉心の最大到達出力は定格出力の1%未満~13%と幅がある。基本的には反応度添加量が大きくなるほど最大到達出力も高くなる傾向にある。なお、反応度添加量と同じであっても、制御棒引き抜け速度が遅い場合には、ドップラーフィードバック効果により、最大到達出力は小さくなる。また、炉心に加わる反応度の最大値が1 \$

第2表 臨界事象再現解析結果のまとめ

反応度 添加量 (%Δk/k)	正味の添加 反応度の 最大値 (%)	制御棒引き 抜け速度 (mm/s)	炉心出力 の最大値 (%)	ピーク出力部燃料エンタ ルピーの増分の最大値 (cal/gUO ₂)		燃料エンタルピーの 最大値 (cal/gUO ₂)	
				結果	判断基準	結果	判断基準
0.489	<0.76*	18	<1*	—**		<17*	
0.489	0.76	47	1	—		17	
0.789	0.96	18	3	—	85	31	92
0.789	1.08	47	13	15		35	
1.089	1.09	47	12	15		42	

* 他のケースからの推定による評価

**明瞭な出力ピークが発生しないため、評価の対象にならず

(本炉心では約0.593% Δk/k)を超える場合には炉心は即発臨界状態となり、最大到達出力は大きくなる。一方、炉心に加わる正味の添加反応度の最大値が1%を超えない場合には、炉心の挙動は穏やかなものとなり、最大到達出力も小さくなる。

燃料エンタルピー増分の最大値は15 cal/gUO₂以下であり、燃料被覆管のPCMI破損^①のしきい値である85 cal/gUO₂より十分小さい結果となっている。また、エンタルピーの最大値についても、17 cal/gUO₂未満～42 cal/gUO₂と燃料被覆管の高温破裂のしきい値(92 cal/gUO₂)より、十分に小さいものとなっており、実際に炉心で発生した事象は炉心や燃料の健全性に影響を及ぼすものではなかったことが改めて確認された。

(2) 炉心挙動の感度解析

(a) 条件設定

制御棒引き抜け事象において、どの位置の制御棒が引き抜けるかは、HCU隔離の手順に依存して決まる。したがって、引き抜け制御棒の位置は、ある範囲で偶然に支配されることになるものと考えられる。そのため、制御棒引き抜けの結果として生じる炉心挙動も、ある範囲で偶然に左右されるものと推定される。制御棒引き抜け事象の潜在的な影響を評価するためには、炉心挙動が「偶然」によってどの程度の範囲で変化し得るのかを評価することが重要である。「偶然」によって、炉心挙動に影響を与えうる項目としては以下のものがあげられる。

- (1) 臨界到達からスクラム信号発信の間に引き抜けつつある制御棒本数
- (2) 制御棒引き抜け速度
- (3) 引き抜けた制御棒の反応度値
- (4) 引き抜けた制御棒の位置関係

これらの項目の変動要因について検討した結果、実事象では炉心が臨界に到達したときには2本の制御棒が同時に引き抜けつつあったと推定されるが、仮に「作業員^①PCMI破損：燃料ペレットと被覆管の機械的相互作用による燃料破損

が実際(4人)よりも1人多い5人」であり、「この5人の作業員が同時に101弁の閉操作をする」という(およそ現実的ではない)想定をすると、未隔離の隣接制御棒を含む5本(引き抜けたもの3本+未隔離のもの2本)が47 mm/sの速度で同時に引き抜けたとの設定をすることが可能になる。また、当然ながら、このような保守的(事象を厳しくする)想定は、実際のHCU隔離作業の手順などを考慮して合理的に設定できる引き抜け制御棒価値(反応度添加率)を包絡しているものと判断できる。なお、このような状況になることは、隔離作業の手順や隔離のタイミングなどを考えると、實際上極めて小さな確率になることについては十分に強調されてしかるべきである。

(b) 解析結果

(a)での条件設定(引き抜けたもの3本+未隔離のもの2本の合計5本の制御棒が47 mm/sで同時に引き抜け)に基づいて行われた炉心挙動の評価結果では、炉心の最大到達出力は定格の29%で、燃料エンタルピーの増分の最大値は18 cal/gUO₂以下(破損しきい値：85 cal/gUO₂)、燃料エンタルピーの最大値は38 cal/gUO₂以下(破損しきい値：92 cal/gUO₂)となっている。反応度添加率が大きくなっていることから、炉心挙動は再現解析に比べて当然ながら厳しくなっている。しかしながら、このように保守的な解析条件においても、制御棒引き抜け事象によって燃料破損に至ることはなく、「運転時の異常な過渡変化」の判断基準を満たしている。すなわち、「偶然」の範囲を考慮しても、本事象は炉心の安全性に大きな影響を与えるものではなかったと判断できる。

4. まとめ

本章では、(1)実際にどのような現象が炉心で発生したか、(2)潜在的にどのような炉心挙動までが想定されたか、という2点について検討した。

引き抜けた制御棒の価値や引き抜け速度などに不確定要素は残っているものの、実事象としては、炉心の最大到達出力が定格出力の1%未満～13%、燃料エンタル

ピー増分の最大値は15 cal/gUO₂以下、燃料エンタルピーの最大値は17 cal/gUO₂未満～42 cal/gUO₂であったことを把握した。実事象の再現解析の結果はいずれの解析条件を用いても燃料破損のしきい値以下であり、燃料破損の恐れはなかったことを確認した。この結果は、実際に燃料破損がなく、燃料の外観検査においても異常が見られなかったという事実と符合している。

なお、解析条件によってはごく短時間(1s以下)、出力の上昇率が大きくなる即発臨界状態となることから、実事象においてもごく短時間、即発臨界状態であった可能性は否定できないものと考えられる。ただし、燃料温度の上昇に伴うドップラーフィードバック効果により、出力の上昇は急速に抑制されており、反応度が投入された際の原子炉の固有の安全性が改めて確認されることになった。

本事象が潜在的に炉心にどの程度の影響を及ぼし得たかを評価するため、「偶然」によってどの程度のより厳しい炉心挙動が発生し得たかについても検討した。その結果、制御棒5本が同時に引き抜けるという非常に発生確率が低く、およそ現実的ではないと思われる厳しい条件の下で本事象が発生したと仮定して解析しても、燃料破損に至る炉心挙動は確認されず、運転時の異常な過渡変化の範囲に止まることを確認した。このことから、本事象は潜在的にも炉心および燃料の健全性に大きな影響を与えるものではなかったと判断することができる。

(山本章夫, 中島 健)

Ⅳ・安全上の検討課題

本章では、志賀1号機での臨界事象をはじめ、多くのBWRで発生していた原子炉停止時の制御棒引き抜け事象を分析した結果として、何が問題だったのか、今後、原子力関係者(産業界や規制当局、原子力学会など)の取り組むべき課題や、風化させることなく留意すべき教訓は何かについてまとめる。

1. 事象の重要性

1999年6月18日の志賀1号機の臨界事象は、原子炉停止中に想定外に3本の制御棒が部分的に引き抜けて臨界に至ったものである。

志賀の事象は、炉心、燃料や、プラントや環境に大きな影響を与えたものではない。北陸電力報告書²⁾によれば、燃料集合体外観点検で異常は認められなかったし、放射線モニタの記録紙にも有意な指示はなかった。保安院の報告書³⁾でも、燃料エンタルピーの評価結果は安全審査における「運転時の異常な過渡変化」の解析に対する判断基準を十分満足しており、燃料の健全性への影響がなかったことが記されている。このことは本調査によっても再確認されている(第Ⅲ章)。

しかしながら、結果として大きな影響はなかったからといって、志賀1号機の事象をはじめとする一連の制御棒引き抜け事象が安全上重要でなかったということではない。従来考えていなかったメカニズムで、複数の制御棒が同時に引き抜けてしまった、そのこと自体が重要である。

志賀1号機の事象ではさらに、原子炉が臨界状態になったので、原子炉スクラム信号が発せられ、制御棒の引き抜けは止まったが、引き抜けた制御棒の再挿入はなされなかった。制御棒挿入デマンドがあったにもかかわらず、それが挿入できなかったことも重要である。

また、「十分あり得る偶然」の重なりによっては、本事象はより大きな影響をもたらす得るものであった。ここで「十分あり得る偶然」としては、引き抜ける制御棒周辺の燃料の燃焼度、引き抜ける制御棒の数、引き抜ける制御棒の位置関係(隣接するものが抜ければ厳しい)、引き抜ける制御棒の順序(一般には複数の同時引き抜けが厳しい)、引き抜ける制御棒の速度などが挙げられる。それぞれの要因ごとに、その変動範囲には限界があるから、事象の影響もおのずと限定されたものになるが、要因の組合せによっては、実際に生じた事象より大きな影響を与えた可能性が存在したといえる。この意味から、実事象において大きな影響はなかった、と済ましてよいものではない。様々な影響因子の組合せを考えて、潜在的にどれほどの影響が生じ得たかは、第Ⅲ章に示されたとおりである。ただし、「偶然が重なる」ということは、その分事象の発生確率が小さくなることであるから、それによって事象のリスクが極端に大きくなるというものではない。

また、志賀1号機の臨界事象は、原子炉格納容器および原子炉圧力容器が開放された状態で生じている。この状態は、炉心での発熱が崩壊熱レベルと低いことなどによる安全上の特性から許容されているものであるが、放射性物質閉じ込めのためのバリアの数が少なくなっており、安全の確保には十分な配慮が必要である。こういう状況下で当該事象が起きた点も重要である。

2. 運転経験活用の重要性

志賀1号機の臨界事象以外の制御棒引き抜け事象を含め、一連の事象は、運転経験が適切に反映されなかったために起きている。

運転経験を分析・評価して得られた教訓を、当該原子力施設だけでなく、その他の原子力施設にも反映することが重要であるということは、スリーマイル島2号機の事故(1979年、米国)の反省であり、国際的にも認識されていた。しかしながら、わが国のBWRにおける停止時の意図せぬ制御棒引き抜けは、1978年の福島第一3号機の臨界事象についても、その他の制御棒引き抜け事象についても、当該事象を起こした事業者において分析評価

と再発防止対策がとられただけで、他の事業者を含め広く関係者に知らされることがなかった。結果として、制御棒の異常作動事象が多数起きていることが共通の知見とならず、類似事象が断ち切られることなく発生した。これらの事象は、2006年11月に経済産業省が電気事業者に命じた「総点検」で、徹底して過去の不正を調べ上げた結果、やっと明らかになった。

現在では、こうした状況は改善されている。2003年10月には規制の大改革がなされたが、それ以降については、重大な事象の隠ぺいは見つかっていない。これは、効果的な規制を行うことで、こうした不正が生じるのを抑制できることを示している。電力会社においても、同じ時期に「原子力発電情報公開ライブラリー(NUCIA)」を開設し、トラブル情報や、トラブルには至らない軽微な事象を一般にも公開するなど、多くの改善がなされている。また、2006年4月には、電力会社はプラントメーカーとともに、BWRプラントに関する情報を共有し、必要な技術的検討を行い、わが国のBWRプラントの安全性および信頼性をさらに向上させることを目的として「BWR事業者協議会」を発足し、制御棒引き抜け事象についても対策の有効性を確認するとともに更なる再発防止対策を抽出している。

今後とも運転経験の的確な反映が期待されるが、特に制御棒引き抜け事象に関しては、下記の検討がなされることが望まれる。

- (1) 一連の制御棒引き抜け事象は、類似のシナリオで起きている。当該シナリオでの制御棒引き抜けによる臨界発生の防止は、同じ設計の原子炉に対して適用されることは当然なされるべきであるし、また、シナリオがわかっているのであるから、適切な防止策が考えられるはずである。
- (2) 停止時に、他のシナリオで異常な臨界に至ることがないかの検討も必要である。また、FMEA⁴⁾などの手段で制御棒駆動機構と制御システムの信頼性の分析がなされることも有効である。
- (3) 志賀1号機の制御棒引き抜け事象では、引き抜けた制御棒が、原子炉スクラム信号が発信しても炉心に再挿入されなかった。引き抜けた制御棒が炉心に再挿入できない状態とならないようにするにはどうすればよいかについても、検討の対象とすべきである。

3. 停止時の反応度制御に係る深層防護

停止時の反応度制御に関しては、原子力安全確保の基本思想である「深層防護」の考え方がどこまで必要か、どこまで具体化されているかを確認する必要がある。

一連の制御棒引き抜け事象では、①事象発生前、全制

御棒は全挿入されていた、②そのうち何本かの制御棒が不意図的に引き抜けた、③引き抜けた制御棒はしばらくの間挿入できない状態だった。

志賀1号機の臨界事象では、アキュムレータ(スクラム時には高圧のガスを用いて制御棒を緊急挿入するが、そのガスをためておく容器)が充填されていない状態にあり、挿入元弁が閉められていたため、原子炉スクラム信号が発信しても制御棒が緊急挿入されなかった。実際に、現場においてHCU隔離操作を中止し、挿入元弁および引抜元弁を個々に戻す作業を実施した結果として順に制御棒の挿入が始まり、約15分後に3本の制御棒が全挿入となり原子炉は未臨界状態となった。

停止時に制御棒が不意図的に引き抜けた場合、まずはそれを直ちに再挿入することが必要になる。一連の事象が発生したことを踏まえ、制御棒挿入を阻害する要因(例えば、アキュムレータが充填されていない状態、挿入元弁が閉止されており緊急挿入できない状態)を取り除いて速やかに再挿入できるような操作手順書を確立する必要がある。

また、深層防護の思想に基づき、そうした操作をしてもなお制御棒を挿入できない場合の対応についても、検討されることが望ましい。

BWRは、反応度制御のための2段目の安全設備として、制御棒とは異なる原理によって負の反応度を与える「ホウ酸水注入系(SLC: Standby Liquid Control system)」がある。SLCは一般に、運転中にスクラムができず原子炉出力が低下しなかった場合に起動する想定である。設置許可申請書添付書類八に記載の基本設計のとおりであり、停止時にSLCを使う状態を想定していないものと考えられる。

ただし、電力会社によっては、SLCは停止時に使う想定で設計されていないものの、定格出力運転状態から低温停止させることができるだけの反応度制御能力があることから、今回のような反応度添加量であれば十分停止機能は確保されていると考えているところもある。実際に停止時に臨界になってしまったことを考えれば、今後、停止時にSLCがどこまで有効なのか、また、それはどういう条件のときに起動すべきかなどについて、事業者による検討がなされ、その結果が広く共有されることが期待される。

4. 停止時の安全に係る包括的検討

一連の制御棒引き抜け事象が停止時に起きていることに鑑み、停止時の安全全般についての再考察も望まれる。

そもそも、停止時、特に冷態停止時には、炉心は未臨界の状態にあり、燃料および冷却材の保有エネルギーも低いことから、異常発生時の核熱水力的な厳しさは出力運転時より低い。このため、単一故障基準の適用除外、

⁴⁾故障モード影響解析: Failure Mode and Effect Analysis

安全系の作動バイパスなど、出力運転時に求められている安全確保の要件が緩和されている。

しかしながら、過去になされた国内外の幾つかの確率論的安全評価(PSA: Probabilistic Safety Assessment)では、停止時の炉心溶融事故の可能性は、運転時に比して小さくないことが示されている。これは、停止時には様々な操作がなされること、また、安全系の隔離もなされることなどが理由となっている。加えて、停止時には、原子炉格納容器および原子炉圧力容器が開放されている状態であることも多い。停止時の安全については、反応度制御に限定せず、下記のようなより広い観点での再検討が必要と考えられる。

停止時においては、諸作業工程の計画・管理が重要である。どこかの工程に遅れが生じた場合などに予期せぬ状態になりうる。志賀1号機の事象も、そもそも工程の遅延、圧迫が背景となり、2つの作業工程が適切に管理されなかったことが原因のひとつとなった。原子炉圧力容器や格納容器が開放された状態でなされるべき作業なのかどうかといった観点も含めて、全体として点検や保守をどんな手順で扱うのが安全の観点から最適なのかについて、さらなる検討がなされることが期待される。また、そうした検討に当たっては、必ずしも停止時でなくともできることは運転中に行うことで、停止時における工程の重なりを低減することにつながることに留意すべきである。

5. 設計と管理に係る問題について

トラブルが発生すれば、その原因が設計にあったのか運転・保守管理にあったのかは常に議論されるところである。しかしながら、その一方にだけ原因を押し付けることは適切でないことが多い。

一連の制御棒引き抜け事象は、第II章の機構解明WGの検討結果にあるように、設計と運転管理のミスマッチによって起きた。安全の確保・向上のためには、適切な安全設計と安全管理が両輪であり、一方だけでは安全が達成されない。

設計が与えられたときにどのような管理が最適なのかを考えるとともに、管理を容易にするために設計に工夫をする余地がないのかを考えるという、調和の取れた設計と管理が必要である。(阿部清治)

V・ヒューマンファクタ・組織要因の解明

本章では、制御棒引き抜けとそれに伴う臨界事象および隠ぺいを対象として、そこに含まれるヒューマンファクタならびに組織要因について専門的視点に立って分析した結果を示す。そしてその分析結果を踏まえ、再発防止策についても若干の提言を述べる。

1. 調査の手順

ヒューマンファクタ要因を解明する立場からは、事象発生直後の現地調査や関係者インタビューは欠かせないが、本件に関してはそのような手段は採用できない。それゆえ検討は北陸電力報告書の精査を通じて進めた。ただし可能な範囲で北陸電力の担当者へのヒアリングは実施している。この作業を進めるに当たっては、以下の基本的方針を採用した。

- (1) 犯人探しの原因追求を行うことが目的ではない。再発防止策を適切に策定することが主たる課題である。
- (2) 原因や誘因の分析については年月が経過している事情もあって推測による面が少なくない。しかし再発防止策との関連で合理性、妥当性があれば、推測事象であっても了承した。
- (3) 主として北陸電力問題を対象とするが、他電力でも類似事象(意図されない制御棒の挙動)が起こっていた事態も視野に入れて考察を進めた。

2. 原因分析

(1) なぜ臨界現象が発生したか

北陸電力の報告書を吟味した当初段階では、通常の引き抜き試験とARI試験が複合的に行われていたことが事象生起の主な要因であると推測していた。しかし第II章でも述べているように、引き抜けは複合試験の有無にかかわらず、HCUを隔離する作業に際しては、系統圧力高の条件でリターンラインが確保されていないと起こりうる事象である。それゆえ複数の試験の混在は主因ではなく誘因として大きな影響を及ぼしたと考えている。ヒューマンファクタに目を向ける立場からは、作業環境の狭隘さ、作業スケジュールの時間的切迫など、一般的な過誤生成要因が影響した可能性が当初は懸念された。しかし結果としては、これらの要因が事象の発生に支配的な影響を及ぼした可能性は小さいと判断している。

(2) なぜ隠ぺいを考え、通用すると判断したのか

(a) 北陸電力による根本原因分析を踏まえて

北陸電力報告書では隠ぺいを引き起こした根本原因として以下の項目を挙げている。なお、()内の文言は報告書の説明内容を簡単に要約したものである。

- (1) 経営層の責任(経営層と原子力部門の日常のコミュニケーションが不足していた)。
- (2) 工程優先意識(工程遵守が最優先だった。その後には経営計画の重点事項としてトップからの指示がなされていた)。
- (3) 真実究明からの逃避(コンプライアンス意識、真実を究明して公表するという意識が低かった)。
- (4) 意思決定に係わる閉鎖性と決定プロセスの不透明性(責任者が明快でない閉鎖的な会議で決定した。また発電所に閉鎖性があったため、本店原子力部へ

情報が正確に伝わらなかった)。

- (5) 議論できない組織風土(いわゆる「一家意識」による閉鎖性を持った原子力組織内部には強い権威勾配があった)。

これらの根本原因分析結果に関しては、総体として妥当と判断した。後述するような意味で掘り下げがやや浅い点も見受けられるが、提示されている再発防止策まで参照すれば問題点は適切に把握できている。しかし、将来的には、新しい知見を反映するなどの方策を踏まえてさらに考察を深めることを通じ、より広範な視点に立って不適切な行為の芽を摘み取る努力が継続的になされることを期待したい。

ひとつの例として、根本原因(2)で言及されている「工程優先意識」について述べる。この根本原因は当時、志賀2号機の着工を間近に控えた状況との関連も含め、経営層からの方針表明があったことを意味する形で言及されている。企業における経営層の意向はたしかに大きな要因である。しかし将来的には、技術者本来の行動規範として工程や納期を遵守する姿勢があることにも注意を向けるべきであろう。いうまでもなく、この姿勢は非難されるべきものではない。高い能力と矜持を有する技術者は、本来このような姿勢を有している。専門技術者として、今回の事象が手順を正しく守れば再発が考えにくい一過性のものであるという認識があれば、工程の遵守に意識が向かう可能性も否定できない。人間は無能力や怠慢のために規範に背くよりも、別な規範を重視して、結果として誤った判断に至ることがある。このようなヒューマンファクタ的側面にも将来的には目配りすることが望まれる。

他の例として、根本原因(4)で言及されている「閉鎖性」と「不透明性」に関して考察を示す。意思決定に係わる閉鎖性と決定プロセスの不透明性が問題であることは間違いない。しかし「閉鎖的状況」での意思決定はある程度までどんな組織でも避けえないのが現実である。すべての意思決定を公開条件下で行うことは現実性を欠くことはいうまでもない。したがって「閉鎖性」の存在は単独に責められるべきではない。「不透明性」の問題の方を重点的に検討することが合理的である。

「不透明性」を回避する、言い換えれば「透明性」を確保するためには、意思決定以後の、決定プロセスと決定結果に対する情報の「トレーサビリティ」が必要である。なぜそんな決定がなされたかの理由が、北陸電力報告書でも、ヒアリング調査でも作業記録の上では見い出せていない。このことはまさに当時の発電所メンバーによる意思決定が、トレーサビリティを欠いた形でなされていたことを意味している。今回の臨界事象に関していうならば、「担当組織外部には通報しない」という決定が、トレーサビリティとは両立しない形でなされたことが、大きな問題なのである。トレーサビリティの重要性が組織メン

バーに理解されていたならば、隠ぺいするという行為の不適切さは自律的に判断できたはずである。「閉鎖性」と「不透明性」の問題に関しては、後者を重視した対策を策定することが、より効果的な再発防止策であろう。

なお、以上に述べたコメントは、事象が発生した1999年6月時点での志賀原子力発電所の状況推定を前提としてなされている。北陸電力を含め日本の原子力発電所における重大な不正・不適切事例の発生数は、2002年8月の、いわゆる東電問題表面化以降は、明らかな減少を示している。現在(2008年時点)北陸電力をはじめ各電力会社が原子力発電所のトラブルに向かい合う姿勢は、当時より大きく修正されているという認識を関係各方面が共有することが公正であろう。

3. 再発防止策の検討

(1) 「引き抜け」事象の再発防止

第Ⅱ章でも述べているように、引き抜け事象発生は、HCU全数隔離というBWRプラント共通の方策に関連していることも事実である。長期的にはこの方策の必要性を改めて吟味すること、必要性が高いと判断されたのであれば、それに付随する重要な留意事項の明示と意味の継承がしっかりなされることを期待したい。臨界発生の抑止措置に関する認識が、年月の経過につれて歪んだ形で継承されてしまった結果生じたJCO事故の教訓は、原子力発電所においても活用されるべきと考える。

(2) 改ざん・隠ぺいの再発防止

既述したように、北陸電力報告書に述べられている再発防止対策は、基本的な妥当性は有していると評価できる。しかしこのような組織的判断エラーが生起する可能性を将来にわたって抑止するためには、より視野を広げるとともに分析を深めた検討も随時行うことが望まれる。前項に示した技術者の職業的規範としての工程遵守意識を適切に維持しつつ安全重視という規範をその上位に位置づけること、「不透明性」の問題をトレーサビリティと関連付けることなどを確実に踏まえ、時間の経過につれて風化する再発防止策にならないように留意する必要がある。

(3) 総合的再発防止策

制御棒の予想外挙動という事象は、明らかに原子力安全の根幹に係わる問題である。この事象を公表しなかった点は、水平展開の機会を損なったという意味で技術的に見ても大きな誤りである。加えて、社会的な影響を不適切に評価した(2号機着工への影響を避けることを最重要視した結果、隠ぺいなどを行うという反社会的行為に踏み切ってしまった)ことも重大な判断誤りであった。このことを再発防止の観点から見直せば、経験する事象の重要性について現場技術者が技術的ならびに社会的な評価・判断能力を身につけていることが重要なのである。加えてその判断結果を上位者や経営層に過不足な

く伝達し納得させる力量も必要である。むろん経営層の理解力も必要である。そのような状況を作り出すことは単独の企業では困難かもしれない。BWR 事業者協議会の役割はこのような面についても期待したい。

(北村正晴)

Ⅵ. ま と め

原子炉停止中の予期せぬ臨界事象が2件報告されているが、いずれも人間や環境に害をもたらす事故とはならなかったものである。本件については当該事業者ならびに規制当局を含む関係機関による調査報告がなされ、さらに対策が提示されている。日本原子力学会は多様な専門家集団として、本件を見直し一体何が起こったのか、今後考えるべき点について以下の提言をまとめた。

まず制御棒駆動機構とはどうなっているのかの調査から始めて、どうして引き抜けたのか、どのような臨界であったのかなどの調査と分析を行った。

- ・制御棒引き抜け事象は、制御棒1本1本についている水圧制御ユニット(HCU)の全数隔離を行おうとしている際に発生した。
- ・警報除外の上、ひとつの操作、HCU全数隔離のときは水圧が上がらないように戻り弁を開にすることを、を忘れることが意図せぬ制御棒引き抜けの直接の原因になるという「設計(設備)+運転管理」のミスマッチには問題がある。
- ・HCU全数隔離の意味を考えると、合理的な保守点検のあり方についての検討、工程管理、作業手順の工夫はもちろん、定期検査の仕組みも検討されるべきである。
- ・北陸電力志賀1号機の臨界時の炉心の最大到達出力は定格出力の1%未満~13%で、いずれの解析条件を用いても燃料破損の恐れはなかった。
- ・ごく短時間、即発臨界状態であった可能性は否定できない。ただし、燃料温度の上昇に伴うドブラーフィードバック効果により、出力の上昇は急速に抑制されており、原子炉の固有の安全性が改めて確認されている。
- ・「偶然」によってどの程度厳しい状態が発生し得たかについての検討によると、燃料破損に至る炉心挙動は確認されず、本事象は潜在的にも炉心および燃料の健全性に大きな影響を与えるものではなかった。

以上の調査・分析に基づく安全上の課題と人間と組織因子の分析に基づく提言を次のようにまとめた。

- ・不具合や異常が発生した場合は、適切な措置がなされるとともに、分析評価がなされ、再発防止の対策が取られる必要がある。その経験は、他の運転者や設計者などへ伝達され、他の原子力発電施設で同様な不具合

や異常事象の発生の再発が十分防止されることが原子力発電施設の安全運転上、重要なことである。改ざん・隠ぺいなどの不正は論外として、知識管理(Knowledge Management)システムの応用、構築は一考に値する。

- ・原子炉停止時の反応度制御のための安全設備のあり方やその有効性の確認についての検討と、「停止時の安全」全般についての再検討が求められる。
- ・改ざん・隠ぺいなどの不正行為に対する北陸電力の示した再発防止方針は評価する。経営層の責任の大きさを認識すること、それと表裏の関係にある組織風土の問い直し、安全最優先意識の定着を継続すること、について十分な努力を傾注することが必要と考える。
- ・「組織風土の変革」は極めて困難な内容を含んでいて、この難しさの認識を組織内部で共有した上で、安全重視、社会との関係重視意識の風化、形骸化への対処策を積極的かつ継続的に推進されるべきである。
- ・外部環境因子である、規制、自治体、メディアなどの影響評価も重要である。JCOの事故調査委員長であった吉川弘之氏が、以下の二律背反の例を挙げて、規制や監視の行き過ぎあるいは過度なマニュアル化への警鐘を挙げていることに留意して対策を考えるべきであろう。

JCO事故調査報告書(吉川弘之委員長)⁶⁾より、二律背反のジレンマ

- *安全性を向上させると効率が低下する。
- *規則を強化すると創意工夫がなくなる。
- *監視を強化すると士気が低下する。
- *マニュアル化すると自主性を失う。
- *フルプルーフは技能低下を招く。
- *責任をキーパーソンに集中すると、集団はばらばらとなる。
- *責任を厳密にすると事故隠しが起きる。
- *情報公開すると過度に保守的となる。

- ・規制のあり方や社会との関係という観点からの検討も当然ながら必要なことである。この課題に関しては、今後、産官学をつないだりより大きな枠組みでの建設的討論が立ち上がることを強く期待する。

日本原子力学会はこうした調査と分析の結果にこたえて、安全確保・安全規制に何が欠けているかを自ら検討して、規格整備や安全研究のロードマップに反映していくことも必要である。そして、その組織的な対応として、「原子力安全部会」を創設して既存の数々の活動とも協力して当たることが適切であると考えられる。(松井一秋)

— 参 考 文 献 —

- 1) 制御棒引き抜け事象調査委員会報告書, 日本原子力学会, 平成20年3月。

- 2) 「志賀原子力発電所1号機の臨界に係わる事故についての報告」, 北陸電力(株), 平成19年4月6日.
- 3) 「北陸電力株式会社志賀原子力発電所1号機における平成11年の臨界事故及びその他の原子炉停止中の想定外の制御棒引き抜け事象に関する調査報告書」, 原子力安全・保安院, 平成19年4月20日.
- 4) 「北陸電力(株)志賀原子力発電所1号機で発生した臨界に係わる事故の解析について」, 日本原子力技術協会, 2007

年4月17日.

- 5) 「平成11年に発生した北陸電力株式会社志賀原子力発電所1号機の臨界事故に係わるクロスチェック解析に関する報告書」, 原子力安全基盤機構, 平成19年6月15日.
- 6) 「ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告」, 原子力安全委員会ウラン加工工場臨界事故調査委員会, 平成11年12月24日.

著者紹介

松井一秋(まつい・かずあき)



(財)エネルギー総合工学研究所
(専門分野)原子力化学工学, エネルギー分析, 重質油分解

中島 健(なかじま・けん)



京都大学
(専門/関心分野)原子炉物理, 臨界実験, 核燃料の臨界安全および臨界事故, 原子力施設の安全性

澤田 隆(さわだ・たかし)



三菱重工業(株)
(専門/関心分野)原子力安全一般, 安全に関する研究開発, 原子力に関するマスコミと世論

阿部清治(あべ・きよはる)



原子力安全基盤機構
(専門/関心分野)安全評価, 安全基準の体系, 合理的な規制, 新設計炉の規制。

山本章夫(やまもと・あきお)



名古屋大学
(専門/関心分野)原子炉物理, 高精度炉心解析技術, 大規模数値解析技術, 最適化・並列化など計算科学の応用, 原子力工学教育, エネルギー・環境問題一般。

北村正晴(きたむら・まさはる)



東北大学
(専門/関心分野)ヒューマンファクタ, 技術倫理, 科学技術コミュニケーションなどの分野で研究と実践活動に従事

環境とエネルギーに関する科学情報を 発信する NPO

活動の紹介と報道の自己検証制度

NPO 環境エネルギー21 三田和朗

NPO 環境エネルギー21は、鹿児島県在住の技術士と大学関係者が中心となり、2006年5月に結成されました。現在の会員数は24名(2007年12月)、そのうち技術士ないし技術士補が15名、理学・工学系の教授や准教授が5名です。鹿児島県在住者を中心として活動し、県外の会員も活動を支援しています。環境問題やエネルギー問題は、なかなか適切な姿では伝わらないことが多いものです。本稿では、報道と科学的見解とのギャップに心を痛めた地方の技術者たちの活動と議論を紹介します。

I. 環境とエネルギーに関するクイズ

多忙な会員が、なぜボランティア活動を始めたのでしょうか。その説明のために環境とエネルギーに関する簡単なクイズを用意しましたので、ぜひ挑戦してみてください。

第1表に示す問題1～5で、最も適切と考えられる答を解答選択欄の①～⑤のうちから選択願います。

第1表 環境とエネルギーに関するクイズ

問題1	地球温暖化で予想される21世紀までの海面上昇量はいくらかですか。
解答選択	①3～8m ②1～3m ③18～59cm
問題2	日本でダイオキシン汚染を引き起こした主な原因は次のうちどれですか。
解答選択	①ごみ焼却炉 ②山火事 ③農薬
問題3	BSE(通称:狂牛病)の影響により、日本で発生するよ予想された新型クロイツフェルトヤコブ病の死亡者数は年間何名ですか。
解答選択	①100名以上 ②10名程度 ③0.1名以下
問題4	癌の発生原因として最も重要と考えられているものはどれですか。
解答選択	①食品添加物 ②農薬 ③普通の食べ物
問題5	設備容量100万kWの原子力発電所1基分の発電量を風力発電でまかなうとすると、風力発電設備が何基必要ですか。風力発電1基当たりの設備容量を100kWとして求めてください。
解答選択	①1000基 ②2000基 ③4000基

質問の答えは、いずれも③が正解です。①は、一般人に多いと推定される考えです。下記に簡単な説明をしましたので、不正解の箇所に興味がある方はご覧下さい。③は、科学者や専門家の間では一般的な見解です。

NPO which Transmits Information on Environment and Energy; Introduction of Activities and Self-verification System of Media Reports: Kazuro MITA.

(2008年 1月25日 受理)

問題1 2007年に出されたIPCC(地球温暖化に関する専門家の政府間機構)4次報告書の要約版では、温室効果ガスの今後の排出量の違いによって6つのシナリオを想定しています。6つのシナリオのうち、海面上昇量の最低の場合が18cmで、最大の場合が59cmとなっています。『予測には、気候-炭素循環のフィードバックの不確実性を含んでおらず、また、氷床流出の変化の効果がすべて考慮されているわけではない。そのため、表中の上限値は海面水位の上昇の上限と理解されるべきものではない。』とただし書きもついています。海面上昇量を理解する場合には、第一に紹介されてよい基本的な数値でしょう。日本でも、地球温暖化による海面上昇量が数m以上と印象づけられています。その結果、多くの国民は、海面上昇で100年後には都市が水没するかもしれないと思っています。

問題2 日本のダイオキシン汚染源の大部分が1960年ごろから70年代末まで使用された農薬(水田除草剤)に含まれていたダイオキシンであることを、横浜国立大学の益永・中西グループが1998年から2000年にかけて発表しました。1990年代の初期の日本・ベトナムの共同研究で、ベトナムで枯葉剤がまかれた地域のダイオキシン濃度と、日本の水田のダイオキシン濃度を比較すると、日本での濃度が2倍以上高かったと報告されています¹⁾。環境中のダイオキシンは、現在でも大半が過去の農薬の不純物といわれて、徐々に濃度が低下しています。

問題3 英国で発生したBSE感染牛数は184,508頭です。この数と変異型クロイツフェルトヤコブ病で亡くなった死亡患者数165人の比率を、日本で発生したBSE

感染牛32頭に当てはめた場合、日本での総 BSE 死亡者数は0.03名となります。英国では変異型クロイツフェルトヤコブ病を引き起こす原因となる異常プリオンを多量含む牛の脳を食べる習慣がありました。日本ではその習慣がないので、この習慣の違いも考慮すると、日本で予想される死亡者数はもっと少なくなります。

問題4 癌の疫学者は、最も癌を発生させる原因になる物質は、食品添加物でも農薬でもなく普通の食べ物と考えています。サイエンス誌(Vol.236, 1987)に掲載された Ames 博士の論文では、動物の半数に癌を発生させる化合物の量を記載しています。その結果から計算すると、1日の食事から摂取すると予想された DDE(農薬 DDT の代謝物)による発癌の危険性は、あぶったイカ54gを食べる場合の200分の1になります。また、使用が禁止された食品添加物の AF-2(殺菌剤)がもつ発癌の危険性は、平均的な AF-2 の摂取量であれば、ワイン(250ml)の23,500分の1に過ぎません。健康に良い野菜も含め、通常の食品は相当量の化学物質(量が多いと毒性を示す物質)を含むことが少なくありません。

問題5 総合資源エネルギー調査会の資料²⁾では、原子力発電の利用率を80%、風力発電の利用率を20%として評価しています。したがって、100万kWの原子力発電所1基分の発電を風力発電でカバーするには、400万kWの設備が必要になります。さらに、風力発電では出力が不安定ですので、出力低下時のバックアップとしての火力発電設備などが必要になってきます。参考までに、日本の風力発電の総設備容量は2007年3月時点で149万kW(1,314基)です。

これらの問題は一例ですが、クイズの回答①はマスメディアの影響が顕著かも知れません。科学的な事実や定説と異なる世論が掲載されることは多いものです。結局、私たちのボランティア活動は、環境とエネルギーの問題を、本来あるべき自然な姿に戻そうという活動に過ぎません。

II. NPO の活動状況

NPO のメンバーは、全員が企業・大学などの組織に属しているため、ボランティア活動には時間的に大きな制約を受けます。その中で、これまで3回の地球市民講演会と環境とエネルギーに関するパンフレットを3万部作製し、鹿児島市内を中心に配布しました。また、半年に1回の割合で第2表に示す講演会を鹿児島市で開催し、科学情報の広報を試みています。

1. 地球市民講演会

地球市民講演会の講演者は、これまでは鹿児島大学・高知大学・大阪市立大学の教授ないし准教授で、第一線で活躍中の方々です。参加者は、技術者、主婦、学生、会社員、公務員、議員と多様です。講演会の内容は、第2表に記載しましたように、第1・2回はエネルギー関連の話題が中心でしたが、第3回は、趣が変わり、森林環境や感染症・食などの話題としました。そのため、第3回の講演会(第1図)参加者も、それまでとは異なり主婦が目立つ特徴がありました。

今日では、各種のメディアから多種多様な情報を容易に入手できます。そのため、講演会場にわざわざ人が集まるのか、講演会の開催に意義があるのか多少の疑問もありました。しかし、講演内容には一般のマスメディアに記載されていない事実や見解もあり、講演者の意思も直接伝わりやすい点に意義が感じられ、参加者には比較的好評でした。ただ、講演会は、一般の市民を対象としているため、不特定多数の参加者への広報は容易なことではありません。

2. パンフレット配布

NPO の紹介パンフレット(第2図)には、下記の事項を取り上げ、情報伝達を試みています。配布規模数の限界や、配布しても広告のチラシと一緒に処分されるケースも多いと予測されますので、情報伝達の効率は低いものでしょう。しかし、配布先の20名のうち1名でも関心を寄せて頂ければ成功とわれわれは考えています。以下にパンフレット記載内容を要約します。

パンフレットへの掲載事項の要約

- (1) 地球温暖化 京都議定書を達成した場合の二酸化炭素排出量レベルでは、2100年に約0.2℃の気温上昇抑制効果がある。
- (2) 日本のエネルギー自給率 日本のエネルギー自給率は僅か4～5%である。
- (3) ピーク・オイル 現在、1年間に約300億バレルの石油を消費しているのに対し、年間の石油発見量は100億バレル以下であり、石油大量消費時代の終えんを迎えつつある。



第1図 第3回地球市民講座の状況

第2表 地球市民講演会の講演内容

講演内容	開催日時	参加者数
第1回 地球市民講演会	平成18年12月2日(土) 13:30~16:00	約40名
演題1 海からみた地球の環境とエネルギー		
第2回 地球市民講演会	平成19年5月26日(土) 10:30~16:10	約320名
演題1 ビーク・オイルとメタンハイドレート-海からみた地球の環境とエネルギー-		
演題2 環境・エネルギー問題と暮らしの課題		
演題3 高レベル放射性廃棄物処分場の地質環境		
第3回 地球市民講演会	平成19年11月24日(土) 13:30~16:30	約50名
演題1 環境・健康・食-安全性と利便性のバランス		
演題2 森林と環境-身近な環境から地球環境-		

- (4) 原子力発電 原子力カルネッサンスと呼ばれる原子力発電の推進が、現在の世界の潮流である。
- (5) 地層処分 高レベル放射性廃棄物をガラス固化体にし、厚さ19 cm 程度の鋼製容器に入れ、300 m 以上の岩盤に埋設する技術である。
- (6) プルサーマル 過去30年以上にわたって燃料集合体4,000体の実績がある技術である。
- (7) 風力発電 日本で利用可能な風力エネルギーは、立地制約などを考慮すると原子力発電所約1基分と見積もられている。
- (8) 地熱発電 現状では高コストである。
- (9) 波力発電 安全対策とコストが実用化の壁となっている。
- (10) 太陽光発電 不安定な発電量と発電効率を解決できれば良質な発電方法であり、研究が進められている。
- (11) バイオマス発電 小規模発電で効率的な利用ができる可能性がある。

Ⅲ. 鹿児島県と原子力

鹿児島県は、今年放映中のNHK大河ドラマ「篤姫」の故郷であり、西郷隆盛・大久保利通・大山巖・東郷平八郎らの明治の英傑を輩出した地でもあります。鹿児島県は江戸時代末期には、重工業も盛んでしたが、その後、工業生産は低迷し、現在は日本第2位(出荷額)の農業県で、肉用牛・豚・鶏肉の出荷額は日本一です。

あまり知られていませんが、鹿児島県は最大級の巨木が多い県でもあります。日本最大級の巨木20位までのうち4本が鹿児島県にあります。中でも第3図に示す蒲生の大楠は日本一の幹周(高さ1.3 m 部分で測定)24 m を持つ巨樹です。写真の破線より内側は木の幹です。この巨樹の太さを語るとき、幹のどの位置の数値を語るかで巨樹のイメージは随分違ったものとなります。写真の右下に小さく写っているご婦人と比較するとその巨大さがわかるでしょう。なおこのご婦人は、初対面でも快く撮影に協力してくれました。共生社会の雰囲気が鹿児島県にはまだ色濃く残っているのです。

本誌が対象とする原子力関係では、第4図の地図に示す薩摩川内市に2基の原子炉があり、年間約132億 kWh を発電しています。これは九州全体の発電電力量の約15%に相当する発電量です。薩摩川内市では現在3号機の地質調査が行われています。また、鹿児島県においては、下記の使用済み核燃料の中間貯蔵施設や最終処分場の誘致も話題となりました。

- (1) 2000年 種子島に隣接した馬毛島に使用済み核燃料の中間貯蔵施設誘致の噂があり、議会で誘致施設建設に反対する条例が可決された。
- (2) 2005年 薩摩半島南西端の笠沙町(当時)で、町長が町所有地の宇治群島(無人島)に高レベル放射性廃棄物処分場を誘致すると発表し4日後に撤回した。
- (3) 2006年 奄美大島の宇検村で高レベル放射性廃棄物処分場の勉強会が行われたことが報道され、知事が反対表明を行った。
- (4) 2007年 大隈半島南西部の南大隅町でも、議会関係者が参加した高レベル放射性廃棄物処分場の勉強



第2図 NPO のパンフレット



第3図 日本一の巨樹 蒲生の大楠

会実施が報道され、知事の反対表明を受け、町は勉強会を開催しない方針を決定した。

第5図は、2005年の笠沙町の庁舎中庭の様子です。町長が地層処分場誘致を庁内で表明した4日後の町役場の様子です。漁民は、報道の内容から「核廃棄物をドラム缶に入れて野積みする」、「自分たちの命が危ない」と思って反対に結集したようです。平穏な過疎地では、かつてない大騒ぎでした。

IV. NPO 内でのマスメディア報道に対する議論

NPO 環境エネルギー21の活動は、報道で形成された世論と、科学的な見解とのギャップを埋める活動でもあります。この活動においては、必然的にマスメディアの報道のあり方も議論されることとなります。その事例を以下に紹介します。



第4図 鹿児島県付近の地図



第5図 役場に集まった反対漁民

1. 実効報道量でのバランス

放射線の人体への影響を表す単位として実効放射線量という言葉があります。同じ放射線量でも、各臓器によって受ける影響が異なるため、各臓器の放射線に実際に与える影響量を考慮した指数です。ここで用いる実効報道量という語は、同じように報道の量のみではなく、情報を受け取る側に与えるインパクトの強さが重要なので、報道の受け手に対する影響量を示す言葉として本文中で使用します。

実効報道量のバランスを取るとは、安全意見と危険意見を両論併記して公平な記事を目指して記載した場合、危険意見が圧倒的に強い影響力を読者に与えるので、記事の公平ではなく、読者に与える影響力の強弱を考慮して報道のバランスを計る必要があるとする考えです。

哺乳類の一種でもある人類には、生存のための本能が刻み込まれています。その本能の一つが危険情報への敏感な反応でしょう。危険を察知する臭覚、安全な音に混じったかすかな音から危険を抽出する聴覚、未知のものを不安に思う大脳、人類はこのような未知や危険に対する敏感な反応体質を持たずして今日まで生存できたか疑わしいものです。人類誕生の頃から危険情報は命を救う情報であり、一方で、安全情報は常に変化しやすい不安定な情報でした。このため、私たちは、危険情報を重視し安全情報を受け流す脳を持つようです。

安全情報と危険情報がたとえ論理上は公平に併記されたとしても、安全情報は聞き流され、危険情報のみが深く人々の心に刻印されやすいのです。一たん危険と認識すると、安全情報はどんなに信頼性が高い情報であっても、容易には人々の心に届きません。

現代社会においては、安全情報提供に多大の労力・経費・時間・頭脳を投資していますが、安全情報はなかなか真正面から受け止めてはもらえません。したがって、危険情報の報道は、過剰な反応が人々に起こらないように実効報道量でバランスを取って適切に報道する必要がありますとする考えです。

2. 報道機関の自己検証

メディア報道の今後のあり方を示唆する事例、すなわち報道の自己検証が2007年に地元のM紙で行われ、新聞紙面とM紙のインターネットサイトで公開されました。検証した内容に、2007年2月に鹿児島地裁で冤罪裁判事件として全員の無罪が確定した志布志事件へのM紙の対応も含まれます。

志布志事件とは、公選法違反容疑で起訴された13名に対し、警察が作成した構想に沿って自白が強要された事件のことで、違法性がある執拗な取調べに取調べ中に容疑を認めた6名を含め、裁判においては全員が容疑を否認し、買収会合などの事実が警察の作文であることが明らかになった架空の事件のことで。

M紙は、自社ホームページに第18回「読者と報道」委員会の結果として、「容疑が濃厚であるという印象を読者に与える見出し」があり、一方で、「記者が早い段階から無理やりで恐ろしい捜査をしている県警の異変を感じ取っていたにもかかわらず、裁判で無罪が確定するまでその(記者の)記録ノートが活かされなかった。」との外部委員のコメントを掲載しています。過去の報道内容を検証し、M紙自身に不利な内容も公表し良質な報道を目指す姿勢です。

報道した内容の正誤やその報道の価値は、時間を経て明らかになることが多いものです。このように、マスメディア自身が報道内容を後々検証し、自ら検証結果を公開して記事の公正を保とうとする姿勢は、インターネット時代を迎え、これまで以上に既存のマスメディアには重要になるでしょう。メディアリテラシーが義務教育に

組み込まれていない日本では、国民はそのようなメディア自身による自己検証制度を法に持つ必要があるとする意見です。

日本社会では、「報道の自由」の言葉はよく聞かれますが「報道の責任」の言葉はそれほど聞かれませんが自由と責任は表裏一体であり、報道機関がもつ社会的影響力が非常に大きくなった今日では、「報道の責任」の方も今後重視される必要があるでしょう。そのことがマスメディアの社会的存在意義を高め、日本をより豊かな社会に導くはずで。NPO環境エネルギー21は、科学と世論のギャップが解消されたとき、その初期の主な役割を終えます。そのような社会が早期に到来することを期待するものです。

— 参 考 文 献 —

- 1) 中南元, ダイオキシン・ファミリー, 北斗出版, (1999).
- 2) 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料, 2001年6月.

著 者 紹 介

三田和朗(みた・かずろう)



NPO環境エネルギー21
(専門分野・関心分野)斜面崩壊, 超耐久性
の斜面对策工

原子炉水化学ロードマップ

「水化学ロードマップ検討」特別専門委員会

日本原子力研究開発機構 内田俊介, 東京大学 勝村庸介,
日立-GE ニュークリアエナジー(株) 布施元正, 東京電力(株) 高守謙郎,
原子燃料工業(株) 土内義浩, 原子力安全基盤機構 前田宣喜

原子炉水化学は、従事者の受ける線量の低減、構造材および燃料健全性の維持・向上ならびに放射性廃棄物発生量の低減等において重要な役割を果たしてきた。今後も、軽水炉利用の高度化、燃料の高度化、プラントの高経年化対応等の課題に対して、一層の貢献が求められている。一方で、水化学は、接液するすべての構造、材料に影響を及ぼすと同時に、その影響を受けるため、上記諸課題への貢献に際しては、特定の課題にのみ偏ることなく、プラント全体を俯瞰した最適な制御が求められる。平成17～18年度に、原子力安全基盤機構からの請負契約により、産官学の役割分担・取組みを念頭において調和的な研究・開発戦略シナリオを水化学ロードマップとしてまとめた。水化学全体を、共通基盤技術ほかの合計11課題に分割し、それぞれのターゲットと対応策を示した。

I. はじめに

軽水炉の安全性および信頼性確保に関する研究には、明確な戦略と計画が必要とされている。このため、日本原子力学会では、平成16年度に原子力安全基盤機構からの請負契約により、産官学の専門家が参加する特別専門委員会を組織して、安全性および信頼性確保に係わる主要な課題である「燃料の高度化」、「高経年化対応」および「軽水炉利用の高度化(炉出力向上)」についてロードマップをまとめた¹⁾。この中でも、燃料・構造材の信頼性向上に対する水化学の寄与は議論されているが、水化学の特徴は、燃料・構造材のいずれとも相互作用することで、このためそれぞれを独立に議論するよりも、プラントシステム全体を包括的に捉えた議論によって、水化学の特徴がさらに明確になる。また、放射性腐食生成物の発生、放射化、蓄積、除去といった軽水炉固有で、しかもプラントの線量率増大あるいは放射性廃棄物発生量増大に影響する水化学固有の切り口からの議論も不可欠と考えた。このため、平成17～18年度に原子力安全基盤機構からの請負契約により、新たな特別専門委員会を組織して、原子炉水化学についてのロードマップをまとめた²⁾。

(内田俊介, 前田宣喜)

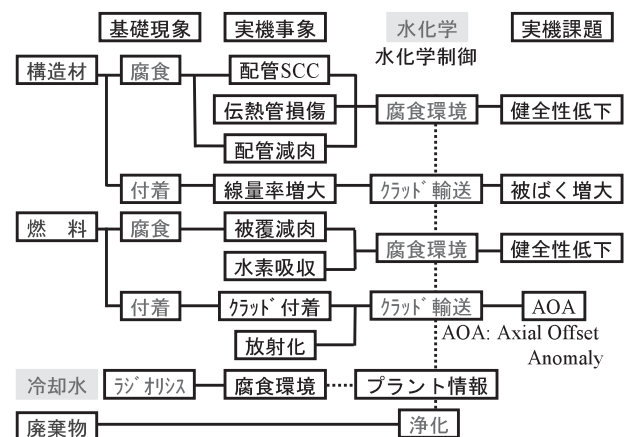
Road Maps on Research and Development Plans for Water Chemistry of Nuclear Power Systems : Special Committee on "Water Chemistry Road Maps" Shunsuke UCHIDA, Yosuke KATSUMURA, Motomasa FUSE, Kenro TAKAMORI, Yoshihiro TSUCHIUCHI, Noriyoshi MAEDA.

(2008年 2月1日 受理)

II. 水化学ロードマップのねらいとその意義

軽水炉において冷却水に求められる主な役割は、原子炉からタービンへのエネルギー輸送と核分裂維持のための中性子の減速であるが、高温の冷却水が構造材、燃料被覆材と接触することにより、腐食に起因するさまざまな事象が派生する。また、冷却水はさまざまな構造、材料の間を流れて、さまざまな材料の影響を受け、同時に影響を与える。このため、特定の部材に偏ることなく、すべての材料にとって好ましい冷却水水質が望まれる。

技術課題を、燃料、構造材、冷却水、廃棄物、それぞれに係わるものに分類し、各課題に係わる基礎現象、実機事象、実機課題を明示した(第1図)。これらを横糸とすると、水化学には、各実機事象、各実機課題(横糸)を



第1図 水化学と構造材、燃料被覆材との相関関係

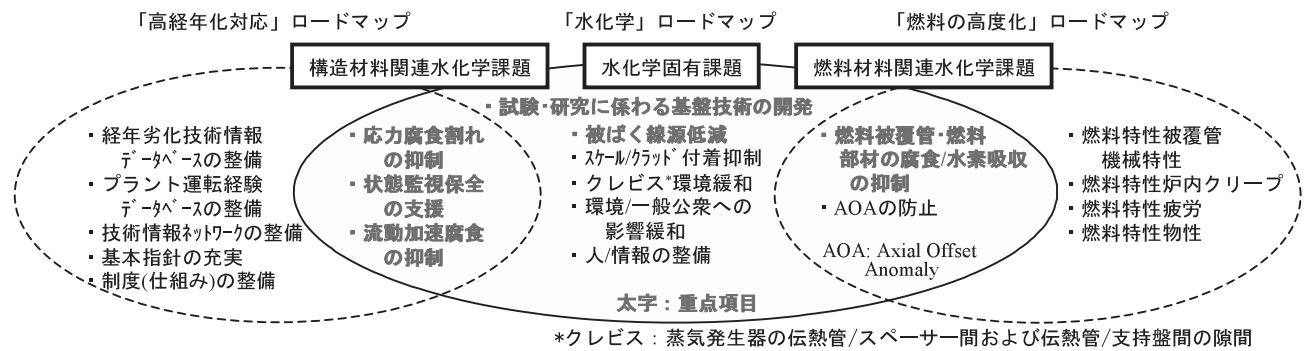
つなぐ水化学制御という縦系の機能がある。水化学の最適化に当たっては、プラント全体を俯瞰して、各実機課題(横系)への確実な対応と同時に、いずれの課題に対しても悪影響を与えることのない水化学制御(縦系)が必要となる。また、最適化に当たっては、各基礎現象、各実機事象、各実機課題と水化学を定量的につなぐための現象、事象のモデル化が必須となる。

水化学ロードマップの検討では、最終目標を「水化学による原子力発電プラントの安全性及び信頼性維持への貢献」として、被ばく線源の低減など水化学の固有課題、構造材料関連課題、燃料材料課題の3つのグループでの問題点の抽出を行った。各グループおよび共通基盤技術について、第2図に示す合計11の課題に分割して、各課題について目標と対応戦略を4期20年にわたる水化学ロードマップとしてまとめた。さらに74の具体的項目に細分して、それぞれについて詳細調査票を作成して、新たなブレークスルーを生み出す基礎研究の活性化と産官学の連携による投入研究資源の重点化と開発の効率化により、新しい最適水化学制御技術を確立することを目指した。第1表に水化学に係わる研究開発の展開の全体像を示す。(内田俊介)

Ⅲ. 線量率の低減と放射性廃棄物の発生抑制

一時、世界トップレベルにあったわが国の「放射線作業従事者の集団被ばく線量」は近年、残念ながら諸外国と比較して高く推移している。プラントの線量率は諸外国に比べ必ずしも高くないが、点検・保守作業に係わる作業量が多いことが集団被ばく線量の差に現れている(第3図)。諸外国でも一層の線量率低減の努力が続けられていることを配慮すると、プラント運用の高度化に伴う線量率上昇の可能性を阻止するとともに、更なる線量率の低減を推進し、検査制度見直し等による作業量低減と合わせて、適切な被ばく線量低減対策を進める必要がある。

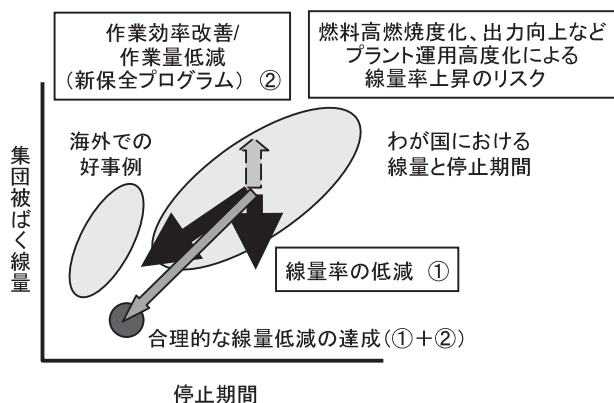
一方、「個人被ばく線量」は規制値を十分満足する管理がなされているが、熟練技術者を確保し、高度な点検・保守作業を余裕を持って行うためにも、線量率低減等の作業環境の改善に継続して取り組むことが水化学の使命である。線量率の低減は、点検・保守作業の円滑化により、プラントの信頼性向上に貢献するのみでなく、社会の原子力発電に対する安全・安心意識の醸成に対しても貢献する。しかし、線量率低減策は、放射性廃棄物発生量を増大させる可能性もあるため、線量率低減と放射性



第2図 水化学ロードマップの主要課題の相関および既存ロードマップとの関係

第1表 水化学に係わる研究開発の展開

	ターゲット				プロセス	
	'07 第I期	'12 第II期	'17 第III期	'22 第IV期	第I期	第II期
最適水化学制御	世界トップの低線量率達成	水化学指標のパフォーマンス指標への適用	最適水化学制御	燃料・構造材の信頼性向上と線量率低減のトレードオフ	腐食生成物蓄積のプロセス別低減	構造材、燃料への水化学の影響の定量化
被ばく線量低減	構造材の信頼向上のための水化学制御	照射下での腐食環境の緩和と腐食への影響抑制	腐食環境の緩和と材料対策による長寿命化対応	燃料部材の腐食・水素吸収の機構論的評価のための水側機構の解明	直接照射下での腐食環境定量化	ジルコニウム合金の腐食への影響解明
構造材の高信頼化	状態監視保全への寄与	安全実績指標による定検間隔最適化	水化学指標による構造材料異常の早期検知	水化学指標による構造材料異常の予測	水化学指標による構造材料異常の早期検知	状態監視保全への寄与
燃料の高燃焼度化	腐食損傷の水化学への影響の定量化と水化学管理の民間規格	水化学指標の直接測定	材料・冷却水相互作用のモデル化と水化学の材料への長・中期影響の予測	水化学の体系化、理論化、ドキュメント化	腐食環境緩和評価手法の標準化、ドキュメント化そして透明化	
定検の期間短縮・間隔伸長						
水化学規準の作成と確立						



第3図 被ばく線量の状況と線量低減の取組み

廃棄物発生量低減のトレードオフに留意することが肝要である。

以上から、水化学による被ばく線量低減の目標として、わが国の原子力発電プラントにおいて、将来にわたって国際的にトップレベルの低線量率プラント(クリーンプラント)を実現することとした。

被ばく線量の原因となる配管や蒸気発生器などの機器への ^{60}Co 、 ^{58}Co などの放射性腐食生成物の蓄積は、材料の腐食に伴うコバルトなどの微量成分の溶出と燃料表面への付着・放射化、さらにそれが冷却水により各部位に運ばれ沈着するという複雑な過程を経る。このため、これまででも多くの検討がなされてきたが、一段階上の低減策を確立するためには、溶出、沈着の基礎挙動に対する一層の理解が不可欠であり、基礎研究を進める学术界と産業界との有機的な連携による新たなブレークスルーを得て、高度な課題に挑戦したい。

さらに、新保全プログラム導入の動きとも連動し、安全実績指標(PI)等を活用したクリーンプラントの定量化、可視化を進めることにより、総合的な被ばく線量低減のための合理的なシナリオ策定・見直しが可能となるものと期待される。(布施元正)

IV. 構造材料の腐食損傷と腐食環境緩和による高経年化対応

原子炉水化学技術はこれまで構成材料の健全性維持に大きな役割を果たしてきた一方で、今後も原子力プラントの高経年化対応等においてますます貢献が求められている。応力腐食割れ(SCC)については、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について(平成17年8月31日、原子力安全・保安院)」や「高経年化ロードマップ(平成17年3月、日本原子力学会)」等の報告において、応力腐食割れの抑制が高経年化対策の重点項目として抽出されており、既存の腐食環境緩和策の高度化や新たな技術開発が望まれている。また、維持規格の導入によりこれまで単に予防保全の1つであったこれら腐食環境緩和策は、その適用や効果の有無がき裂進展評価

や点検頻度の設定にも関連する位置づけとなった。このため、腐食環境緩和策の規格化による維持規格での適用が管理の高度化においても求められている。

流動加速腐食(FAC)による配管減肉については計画的な点検を中心に管理が進められてきているが、「高経年化対策の充実に向けた基本的考え方(平成17年4月、原子力安全・保安院)」においては、減肉傾向が大きい箇所は点検の頻度が高く、取替えなどの対策が進む一方で、比較的減肉傾向が小さい部位については高経年化により減肉が進むケースがあることが予想されるため、今後は減肉発生状況のデータベース化と分析および減肉メカニズムの解明に基づく評価管理手法の確立が有用であるとしており、減肉評価の高度化について水化学技術の研究開発が望まれるところである。

また、「原子力発電施設に対する検査制度の改善について(案)平成18年9月、原子力安全・保安院」や「検査のあり方検討会」において、高経年化対策の充実のために状態監視保全や運転中を含めた新しい監視・評価技術の導入が有効であると検討している。将来的には材料の劣化パラメータとしての腐食環境のモニタリングを通じて状態監視保全を支援することが望ましく、原子炉冷却系の腐食環境測定・評価技術の高度化を進めてゆく必要がある。

腐食環境緩和策については個々の事業者が単に材料劣化抑制方策として任意に展開するのみでなく、適用効果を明確に示し、効果的な運用方法を定め、規格・基準化等を通じて高経年化対応における点検・評価の高精度化・合理化に反映すること、さらに状態監視保全を支援することが望まれる。これにより予防保全効果の向上によるプラント信頼性向上、稼働率向上、被ばく低減、原子炉高度利用化支援、コストダウンへの貢献が期待される。同時に、モニタリングや適切な情報発信の組合せによって「見える化(プラントの状態が外部から見えるようにしておくこと)」に資することができ、安全・安心意識の醸成も期待される。具体的には、

- (1) SCC/FAC緩和のための既存技術の高度化と新たな水化学制御技術の開発
 - (2) 実機腐食環境モニタリング技術およびSCCモニタリング/FAC評価技術の開発
 - (3) 腐食環境緩和技術/クライテリアの規格・基準化と腐食環境緩和効果の点検規準への反映
- に重点を置いた施策を推進する。(高守謙郎)

V. 燃料高度化における被覆管の腐食および水素吸収に対する水化学の課題

原子炉における冷却材としての水は、燃料、構造材ともに直接接している。このため、基本的には燃料の健全

性を確保しつつ、被ばく線量の上昇を抑制し、構造材の健全性を確保するための水化学手法の適用が望まれる。従来、冷却材への亜鉛注入やPWRの1次冷却材における運転サイクル初期のリチウム濃度上昇のように、被ばく線量や高経年化の観点から構造材の腐食やSCCの抑制に重点を置いた水化学手法の適用が行われ、燃料の健全性確保については被覆管・部材の腐食や水素吸収挙動が適用前後で有意に変化しないことを確認することで対応してきた。国内プラントにとって被ばく線量の低減や高経年化対策に主眼をおいた水化学の改良は今後も重要であるが、実機先行照射による実証試験型の燃料健全性評価は長い年月と膨大なコストを要することから、腐食および水素吸収の評価に適用する手法を、メカニズムに立脚しつつ、より合理的なものに改良していくことが望まれている。

ジルコニウム合金の腐食量や水素吸収量は燃焼度に対して比例的に増加することはわかっており、温度、時間等をパラメータとした経験式に基づくモデル化は行われているが、腐食や水素吸収のメカニズムについてはその複雑さゆえに統一的な理解には至っていないため、今後も積極的な研究が望まれる。また、ラジオリシスによる水分解生成物、水中添加物・不純物、クラッドや放射線の影響を分析し、より精緻なモデルを構築する必要がある。

モデル開発および健全性評価のためには、実証のために必要な照射試験環境やモニタリング技術等の試験関連設備からなる試験技術の整備も重要である。さらに、実機燃料挙動に関するデータベースを構築・拡充し、モデル評価結果との比較検討によってモデルに改良を加えつつ実証性を高めていく。整備されたモデルについては、産官学が連携して標準化に努める。

このように新しい燃料健全性評価手法確立にあたっては、腐食および水素吸収モデルの開発、検証、標準化等が必要である。また、燃料、水化学ともに高度化が図られる中で、このような成果を燃料分野に展開していくためには、水化学分野と燃料分野が協調を図ることが重要である。

このような戦略的シナリオを踏まえ、燃料被覆管・部材の腐食および水素吸収抑制に係わるロードマップを作

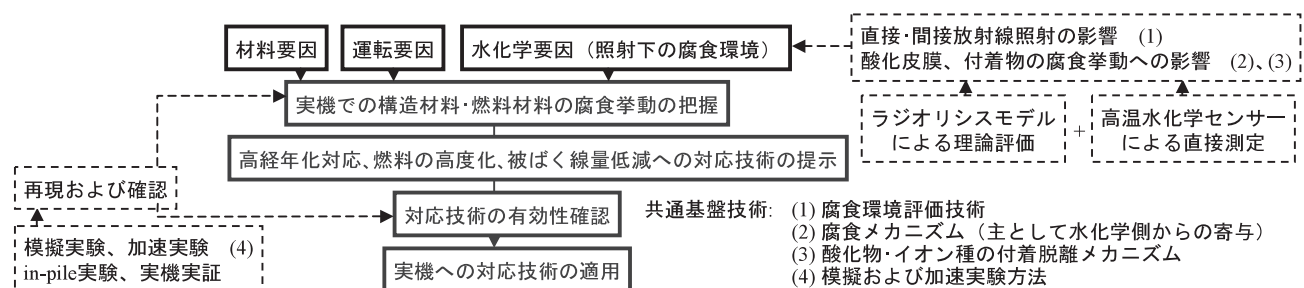
成した。炉出力向上や柔軟な運転サイクルといったプラントの高度化に伴って燃料への負荷が増大する中で、新しい水化学の適用範囲を検討するためには、より優れた燃料健全性評価手法が必要であるが、その必要性和関連技術の整備状況に合わせて、従来の現象論的な手法から機構論的な手法に徐々に移行していくことが合理的と考えられる。また、腐食メカニズムの理解を深めることで、水化学による燃料健全性の裕度向上開発の可能性も考えられる。(土内義浩)

VI. 水化学共通基盤技術

燃料・構造材の腐食あるいは付着物析出に起因する諸事象の本質を理解し、燃料・構造材の健全性を確保すると同時に、線量率の低減・廃棄物発生量の抑制を図るためには、水と被覆材・構造材の相互作用の基礎メカニズムの解明と、プラント全体の腐食環境の把握が不可欠である。原子炉における腐食環境が火力発電プラントの他の冷却系と本質的に異なる点は、放射線照射の影響が顕著である点である。

放射線の直接あるいは間接照射が腐食環境に与える影響を定量化し、実験室での再現実験を可能とする技術の確立が急務となる。腐食環境の定量化は理論的な評価、すなわち、ラジオリシスモデルによる評価と高温水化学センサを用いた実験的な評価を両輪として、展開する必要がある。同時に、放射線の直接あるいは間接照射効果を加味した上で、腐食環境が材料に及ぼす影響評価を、材料と水の境界に位置する酸化皮膜の挙動、特性評価を通して、主に水側からアプローチすることが不可欠となる。また、相互作用の結果生成する腐食生成物の材料表面への析出過程を解明するとともに、析出物の腐食の及ぼす、主として間接的な影響を評価する。上記、技術を確立し、材料と水化学の相互作用の再現実験、加速実験技術を確立して、線量低減、構成材料および燃料健全性の維持・向上ならびに放射性廃棄物発生量の低減のための技術開発に資することが重要である。

共通基盤技術としては、各課題に共通な技術として、第4図に示すように、4つの具体的項目を取り上げた。



第4図 水化学を支える共通基盤技術とその適用

- (1) 腐食環境評価技術
- (2) 腐食メカニズム(主として水化学側からの寄与)
- (3) 酸化物・イオン種の付着脱離メカニズム
- (4) 模擬および加速実験方法

腐食環境評価技術の中では、BWR, PWR の 1 次系, 2 次系の各冷却系の腐食環境評価にとってラジオリシスモデルが共通となる。ラジオリシスモデルは中性純水である BWR の腐食環境評価のために開発されてきたが、ボロン, Li 濃度を変えて pH 制御を行う PWR 1 次系では、冷却水中でのボロンの $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応でのアルファ線照射の寄与も大きく、すでに PWR 用に改修され、PWR 1 次系での水素濃度低減の評価のためにも使用され始めている。また、PWR 2 次系では、酸素除去のためヒドラジンほか添加されるため、この場合も流路に沿って反応が進行し、場所ごと、部位ごとに酸素濃度が微妙に変化するが、ラジオリシスモデルをベースにした流動解析と化学反応解析の結合により、酸素の濃度分布を得ることができている。こういった解析ツールは、腐食環境を理解するために適用されてきたが、さらに積極的にツールの標準化を図り、BWR の水素注入などの腐食環境緩和策の定量的な評価と同時に、プラントの信頼性向上策として認知されることが重要である。また、これまで実験室でしか採用されてこなかった、各種高温水化学モニタがプラントの信頼性確保のためのモニタとして採用されるよう信頼性確保を図ることも急務である。

(内田俊介)

Ⅶ. 水化学ロードマップの今後の展開

今回準備した水化学ロードマップは、これまで過去24年間、水化学関連研究専門委員会で推進されてきた水化学関連の活動を集大成したものと考えられ、今後の水化学研究開発の推進、既存の3つのロードマップとの協調、棲み分けのための第一歩と見なすことができる。2007年6月に設立された水化学部会の中に設置されたロードマップフォローアップ委員会が中心となって推進することになっている。今回の水化学ロードマップは限られた時間の中で作成したものであり、さらに深い分析評価を行うべき課題も残っており、引き続き、内容の精選、適切な見直しを継続するとともに運用、フォローアップを続けることになる。

現在、水化学部会では、高経年化対応といった観点から、具体的な取組みとして水化学管理のベース明確化、具体的にはPWR, BWR に対応した水化学管理手引書、化学分析標準法の整備を、原子力学会における水化学関連標準作成の枠組みの中で進めている。これらは「構造材の腐食損傷の防止」、「燃料性能・健全性の保持」、「被ばく線量の低減」、「放射性廃棄物の発生抑制」の観点から、よりよい水化学管理の方法を模索するとの位置づけ

である。

さらに、SCC 抑制・プラント維持管理への貢献として、SCC 腐食環境は炉内各所で異なり、直接測定には制約があることから、腐食測定法の標準化、精度の検証と水化学センサの高度化などからなる測定技術課題と、ラジオリシス・腐食モデルを用いた「炉内 SCC 腐食環境評価方法標準」(仮称)の作成を通じ、モデルの検証と精度向上などの解析技術課題に取り組み、「炉内 SCC 腐食環境緩和手法と腐食評価基準」(仮称)としてまとめようとしている。

今後の取り組むべき課題としては、流動加速腐食(FAC)による配管減肉評価・抑制、その他の状態基準保全、環境疲労抑制などを取り上げたいと考えている。

上に紹介した現在の活動課題および水化学ロードマップで整理、摘出した技術課題が実際に議論の対象に選択され、実際の研究技術課題として採択され、プロジェクトとして実施されなければ、絵に描いた餅に終わってしまう。ここで、水化学は材料、燃料と互いに切り離せない、いわばトレードオフの関係であることを十分に認識し、原子力システム全体を俯瞰しつつ、保全、高経年化のマネジメントシステムにどう反映させていくかが重要である。しばしば、分野によっては言葉の意味合いも異なることが指摘されており、水化学をより普遍的な形で広げねばならない。そのためには、高経年化ロードマップや燃料のロードマップと重なる課題についてはすりあわせを進めるとともに、水化学特有の課題の区別を行い、水化学関係以外の関連する委員会への積極的な参加を行う必要がある。すでに、高経年化ロードマップの定期的な見直し・修正を行っている高経年化対応技術戦略マップアドホック委員会に水化学関係者が委員として参加している。ここでの議論は安全研究WGを経て、技術情報調整会議の議論を経て、原子力安全・保安院安全基盤小委員会に諮られ、評価や承認を受けることになる。最終的に、このような活動を経て得られる成果が、規格・基準への橋渡しになることが望ましい。

(勝村庸介)

Ⅷ. おわりに

水化学に関する11の課題に対応したロードマップには、各課題に対応した戦略性を掲げ、重点項目を明示した。一方で、74の具体的項目について、研究開発の必要性、運営主体、資金計画および研究・開発時期を明示した。重点化は難しい問題ではあるが、強いてあげれば、第2図に示した6項目を重点項目としてあげることができる。

- (1) 共通基盤技術
- (2) 被ばく線源低減
- (3) 応力腐食割れの抑制

- (4) 燃料被覆管の腐食/水素吸収抑制
- (5) 状態監視保全の支援
- (6) 流動加速腐食の抑制

本ロードマップは、今後さまざまな形で運用してゆくが、原子力をめぐる今後の動向にあわせて、適宜見直し、項目の追加、補足、修正を行うとともに、実施時期、役割分担についても修正してゆく必要がある。

最後に、本ロードマップを短時間でまとめるに当たり、ご尽力いただいた特別専門委員会委員諸兄、レビューいただいた「水化学標準」研究専門委員会の乙葉啓一主査、石樽顕吉特別顧問、ほか委員各位に謝意を表す。

(内田俊介, 前田宣喜)

— 参考文献 —

- 1) 澤田 隆, 岡本孝司, 寺井隆幸, 関村直人, 木村逸郎, 前田宣喜, “原子力発電の安全に関する研究開発ロードマップ”, 日本原子力学会誌, 48[2], 94 (2006).
- 2) JNES 報告書「原子力安全研究ロードマップ整備」, 07基調報-0004, (2007).

著者紹介

内田俊介(うちだ・しゅんすけ)



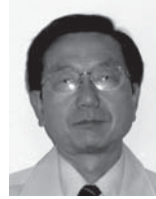
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)原子炉水化学, 原子炉材料・燃料, 計測

勝村庸介(かつむら・ようすけ)



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

布施元正(ふせ・もとまさ)



日立-GE ニュクリアエナジー(株)
(専門分野/関心分野)沸騰水型原子炉の水化学

高守謙郎(たかもり・けんろう)



東京電力(株)
(専門分野/関心分野)原子炉構成材料の水化学と腐食

土内義浩(つちうち・よしひろ)



原子燃料工業(株)
(専門分野/関心分野)原子燃料の開発と設計, 核燃料システムと安全性, 技術開発におけるシナリオプランニング

前田宣喜(まえだ・のりよし)



原子力安全基盤機構
(専門分野/関心分野)原子力発電プラントの検査

連載
講座軽水炉プラント
—その半世紀の進化のあゆみ

第8回 日本の軽水炉開発(2)—軽水炉の導入(BWR)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 久持 康平, 守屋公三明

我が国の商業用原子力発電は、昭和41年、日本原子力発電(株)東海発電所(出力166 MWe, コールダーホール改良型)が運転開始し、昭和45年に軽水炉型として敦賀1号機(出力357 MWe, 沸騰水型)が運転を開始したことに始まる。現在では、BWRは我が国で32基が運転されるまでになっているが、本稿ではその導入期についてプラントの特徴を整理する。以下では、BWR導入・開発の変遷において導入期の位置付けを説明し、続いてBWR導入期の動機・経緯および導入期のプラントとしてユニークな特徴を持つ敦賀発電所1号炉、福島第一原子力発電所1号炉、および島根原子力発電所1号炉について説明する。

I. BWR 導入・開発の変遷

沸騰水型原子炉(BWR)の変遷は、大まかに原子炉のタイプ、原子炉格納容器(PCV)に特徴を持つ。以下では、それぞれの項目における我が国の導入・開発の変遷を簡単に説明し、その中でBWR導入期の特徴について整理する。

1. 原子炉のタイプ

BWRを実用化したGE社のBWRシリーズは、BWR-1からBWR-6までであり、その後ABWRは、GE/日立/東芝と我が国の電力会社が共同で開発した炉型である。

LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(8): Light Water Reactors Development in Japan②; Introduction of LWR Technology (BWR): Kohei HISAMUCHI, Kumiaki MORIYA.

(2008年 3月3日 受理)

各回タイトル

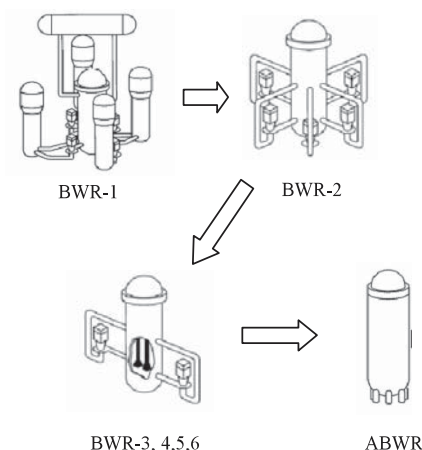
- 第1回 原子力発電前史
- 第2回 軽水型発電炉の誕生
- 第3回 日本の研究用原子炉の始まり
- 第4回 日本の原子力発電の始まり
- 第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR)
— Shippingport から美浜1号機まで
- 第6回 軽水炉の改良研究(BWR)
— ドレスデンから敦賀1号機まで
- 第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)

このシリーズにおける原子炉周りの形状を第1図に示す。

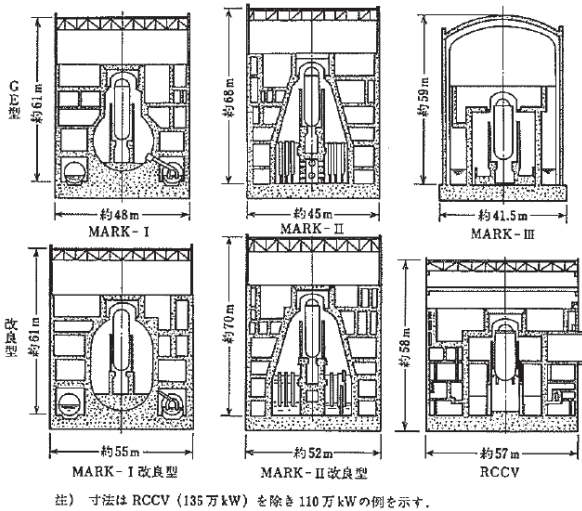
このBWRシリーズの特徴を要約すると、BWR-1は二重サイクル、BWR-2は二重サイクルから単一直接サイクル強制循環への変更、BWR-3~BWR-6はジェットポンプの採用、ABWRはインターナルポンプの採用等である。このBWRの原子炉タイプの変遷は、その時々での設計改良を加えた単純化の歴史をたどっている。我が国では、BWR-2から導入が始まり、BWR-3, 4, 5までが導入され、さらに国内の運転実績を基に改良標準化が行われた。ABWRは上述のように導入ではなく共同で開発されたものである。

2. 原子炉格納容器

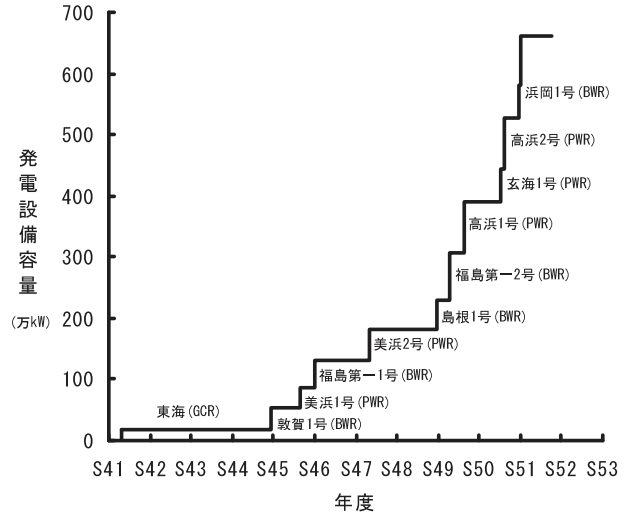
原子炉プラントは、想定される事故時に環境中に放射性物質が漏えい拡散しないように気密耐圧性の原子炉格納容器を持ち、原子炉を収容している。GE社はBWR-1ではドライ型の格納容器としていたが、BWR-2より圧力抑制型のコンパクトな格納容器を開発し、Mark-I型と称し、その後Mark-II, Mark-IIIと改良を重ねた。ABWRについては、鉄筋コンクリート製格納容器(RCCV型)が採用されている。形状は、第2図に示すように、Mark-Iは電球形、Mark-IIは円錐形、Mark-IIIおよびABWRは円筒形である。Mark-I, II, IIIで



第1図 BWR原子炉タイプ概略図(文献¹⁾より作成)



第2図 BWR 原子炉格納容器概略図^{7,13)}



第4図 商用炉導入期の発電設備容量⁸⁾

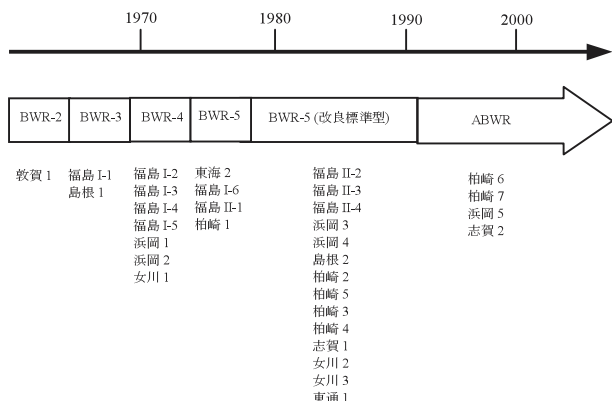
は、1次格納容器は鋼製であるが、ABWRはコンクリート製である。我が国では、Mark-III以外のMark-I, IIとそれらの改良標準化型およびABWRがある。

3. 導入期のプラントの特徴

原子炉のタイプおよび原子炉格納容器の変遷におけるBWRプラントとその該当時期を第3図に示す。BWRの国内導入の歴史は、GE社からBWR技術を導入後、国産化を経てGE技術を改良・発展させた歴史であるといえる。

第4図は、導入期における発電設備容量の累積の変化である。ここで、軽水炉の国内における導入期のプラントとしては、最初の3基のBWRとして敦賀原子力発電所1号炉、福島第一原子力発電所1号炉および島根原子力発電所1号炉を取り上げることとする。これらのプラントは、導入期の発電設備容量を200万kWまで上昇させることとなった。これらのプラントの原子炉のタイプはBWR-2, 3, 原子炉格納容器はMark-I型であり、導入期のプラントとしての個性が現れている。

次章では、これら3プラントについて説明する。



第3図 BWR技術の変遷(文献⁷⁾より作成)

II. 導入期のBWRの動機・経緯および特徴

1. 敦賀発電所1号炉

我が国初の商業用原子力発電所である日本原子力発電(株)の東海発電所(コールドタービン改良型, 166 MWe)が昭和41年7月に運転開始し、引き続き昭和41年から昭和42年にかけて日本原子力発電(株)の敦賀発電所1号機(BWR, 357 MWe), 関西電力(株)の美浜発電所(PWR, 340 MWe), 東京電力(株)の福島第一原子力発電所1号機(BWR, 460 MWe)が着工した。

遡って1961年(昭和36年)には、原子力委員会は「原子力開発利用長期計画」を発表し、「実用規模の二号炉は軽水炉が適当と考える」との方向を示していた。

建設における原子炉圧力容器、原子炉格納容器、原子炉再循環系、蒸気タービンなどの主要機器については、この当時ほとんど国産化され、国産化率は55%に達していた。また、昭和45年3月、着工以来48ヶ月という短期での完成により営業運転を開始した。この営業運転開始日の3月14日は大阪万博の開幕日であり、この会場に敦賀発電所の電気が灯されたといわれている。

敦賀発電所1号炉は、出力357 MWeのBWR-2タイプであり、原子炉格納容器はMark-I型である。また、再循環系は完全外部ループを3ループ持つ。

第5図は敦賀発電所1号炉の外観である。2次格納施設の機能を持つ原子炉建物は、鉄筋コンクリート造地下1階、地上5階建てで、外壁は内径約36mの円筒状、屋根は球殻状であり、内部に原子炉格納容器を収納している。円筒状の原子炉建物は、その後のBWRが長方形の原子炉建物を持つことに対して外形上の特徴となっている。

安全設備に関する特徴として、本プラントは非常用復水器を持つ。非常用復水器は、主蒸気隔離弁閉鎖時(タービン・トリップ時にタービン・バイパス弁の開放失敗、



第5図 敦賀原子力発電所の外観
(日本原子力発電㈱ホームページより)

主復水器真空低下または主蒸気管破断事故など)のように主復水器が利用できない場合に、原子炉の崩壊熱を除去するためのものである。この非常用復水器は次に示す福島第一原子力発電所1号炉まで採用されたが、その後のプラントでは原子炉隔離時冷却系の採用に伴い不採用となっている。近年では、米国において審査されているESBWRにおいて採用されている機器である。

非常用炉心冷却系は、炉心スプレイ系と高圧注水系を持つ。炉心スプレイ系は、冷却材喪失事故によって炉心が露出した場合に、燃料の過熱による燃料および被覆の破損を防ぎ、さらにこれに伴うジルコニウムと水の反応を防止するためのものである。サプレッション・チェンバ内のプール水を炉心上に取り付けられたスパージャ・ヘッドのノズルから、燃料集集体上にスプレイすることで炉心を冷却する。この炉心スプレイ系は、再循環系の破断のような大破断時に作動するが、中小破断の場合には、高圧注水系が作動して燃料溶融を防止する。高圧注水系は、ディーゼル・エンジン・ポンプ、配管、弁などからなり、ポンプはディーゼル・エンジンで直接駆動されるため、冷却材喪失時に外部電源喪失を仮定しても、機能するものである。このディーゼル・エンジン・ポンプを持つ高圧注水系もその後に続くBWRにはない特徴である。

このように敦賀発電所1号炉は、我が国初の商用軽水炉でありながら、短工期での完成実績や負荷の喪失に対して強固なシステムを運用した経験は、現在でも有用な経験であるといえる。

2. 福島第一原子力発電所1号炉

東京電力㈱の第一号機である本プラントの契約の形態は、設計・建設および試運転まで含めるターン・キー方式であった。また、原子炉格納容器、原子炉压力容器およびタービン発電機等は国内で下請けし、来るべき国産化に備えることとなった。

福島第一原子力発電所1号炉は、出力460 MWeのBWR-3タイプであり、原子炉格納容器はMark-I型である。再循環系は、ジェットポンプと外部の2ループで構成される。

第6図は福島第一原子力発電所の外観である。1号炉

は、この福島原子力発電所の中央に位置している。原子炉建家は地下1階、地上5階で、基礎底面からの高さは約57mである。燃料取替床までは鉄筋コンクリート造で、その上部は鉄骨造である。平面は約40m×約40mの正方形をなしており、屋根は陸屋根であり、敦賀発電所1号炉の形状とは大きく異なることとなっている。

また、本プラントは敦賀発電所1号炉と同様に非常用復水器を持つ。

非常用炉心冷却系は、炉心スプレイ系と高圧注水系を持つ。特徴としては、高圧注水系においてタービン駆動ポンプが採用されている。このタービン駆動ポンプは、主蒸気管の原子炉格納容器内の隔離弁上流から抽出した高圧蒸気によって駆動するため、外部電源喪失を仮定しても機能するものである。

このように安全設備等は、敦賀発電所1号機に類似した点を多く持つが、導入期における本プラントの画期的な位置付けとしては、やはりジェットポンプの採用である。以下では、炉内の冷却材の流れとともに、ジェットポンプの働きを説明する。

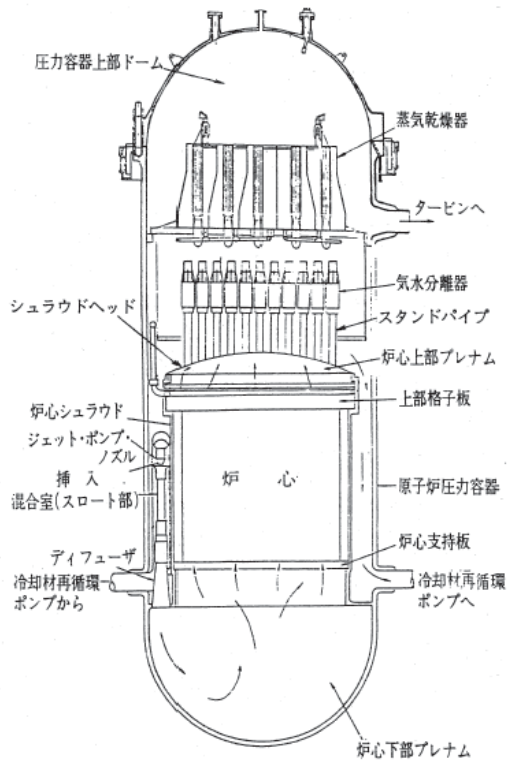
第7図に炉心シュラウドと炉内の冷却材の流れを示す。炉心は炉心シュラウドによって取り囲まれている。炉心シュラウドはステンレス鋼の円筒で、炉心内の上向きの流れと、その外側の環状部を下向きに流れる再循環流を分離する。シュラウド・ヘッドでは、炉心上部プレナムを形成し、燃料集集体ごとに別々に出てきた気水混合流を気水分離器のスタンドパイプに入る前に均一に混合する。燃料集集体から出てきた気水混合流をタービンへ送る蒸気と、再び炉心へ循環する水とに分けるために、気水分離器と蒸気乾燥器が設けられている。

分けられた水を炉心へ強制的に送り込むために外部再循環系が設けられているが、この外部再循環系へ取り出す冷却材流量を少なくできるようにジェットポンプを用いる。ジェットポンプは、第8図に示すように、原子炉压力容器の炉心シュラウドと原子炉压力容器の間の環状部に20個配置し、再循環系と連結させ、冷却材を炉心に強制循環させる。

原子炉上部の気水分離器から出た再循環水の一部は、ジェットポンプ駆動用として炉心シュラウド外周下部から原子炉压力容器の外部に取り出され、再循環ポンプで昇圧されて、ジェットポンプのノズルから噴出される。残りの一部は、この高速噴出流によりノズル出口に生じた低圧部からジェットポンプ内に吸引される。駆動およ



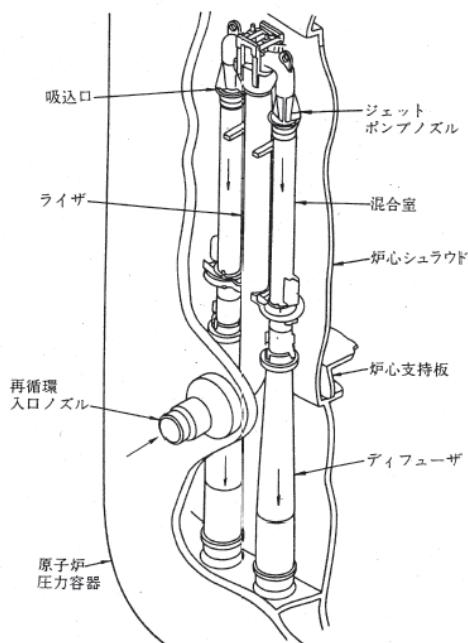
第6図 福島第一原子力発電所の外観
(東京電力(株)ホームページより)

第7図 原子炉容器内の冷却材の流れ⁵⁾

び吸引の両流体は、ノズルに続く混合室で混合された後、ディフューザで圧力を回復し炉心へ送られる。

また、炉心シュラウドと原子炉压力容器底部およびジェットポンプは炉心を包む一つの容器を形成する。この容器には、外部再循環配管は直接には接続しない。したがって、外部再循環配管の破断の場合に、非常用炉心冷却設備による炉心の再冠水が可能となっている。

このジェットポンプは、再循環系の物量を低減するこ

第8図 ジェットポンプ外形図⁶⁾

とつながり、原子炉格納容器の設計に対する柔軟性を与えることとなっただけでなく、安全上の性能も向上した。このようなことから、福島第一原子力発電所1号炉は、その後のBWRのコンパクトな設計および安全性の確保につながる重要なジェットポンプの技術が初めて採用されたプラントとして位置付けられる。

3. 島根原子力発電所1号炉

島根原子力発電所は、日本原子力発電(株)、東京電力(株)、関西電力(株)に続いて中国電力(株)により昭和45年2月に着工した。当時、建設の実績のある国内先行炉の中からBWRを採用することとされた。本プラントの契約は、外国メーカを主契約者とししない、いわゆる国産プラントとして我が国最初のものであった。また、国産化率も93%であり、国産1号炉と呼ばれるにふさわしいものとなった。

島根原子力発電所1号炉は、出力460 MWeのBWR-3タイプであり、原子炉格納容器はMark-I型である。再循環系は、ジェットポンプと外部の2ループで構成される。

第9図は島根原子力発電所の外観である。原子炉建物は地下1階、地上5階で、基礎底面からの高さは約60mである。燃料取替床までは鉄筋コンクリート造で、その上部は鉄骨造である。平面は約42m×約42mの正方形をなしており、屋根は陸屋根であり、ほぼ福島第一原子力発電所1号炉の原子炉建家と同等である。

本プラントは、非常用復水器を持たないが、原子炉隔離時に崩壊熱を除去するための原子炉隔離時冷却系を持つ。原子炉隔離時冷却系は、タービン駆動ポンプを持つことで外部電源を必要としない構成となっている。

また、非常用炉心冷却系として、低圧注水系、炉心スプレイ系、高圧注水系を持つ。低圧注水系は、炉心スプレイ系のバックアップとして、もしくは他の系統と連携して炉心を水浸けにする。高圧注水系は、タービン駆動ポンプを持つ構成となっている。高圧注水系は、機能として原子炉隔離時冷却系と炉心スプレイ系とも異なることから、これらの系統の起動信号を発生する水位とは異なる水位を起動信号としている特徴を持つ。この考え方は、後のABWRに採用されることとなった。このよう

第9図 島根原子力発電所の外観
(中国電力(株)ホームページより)

に、原子炉のタイプは福島第一原子力発電所1号炉と同じBWR-3であるものの、非常用炉心冷却系は系統が増やされており、この後に続くBWR-4と同等の構成となっている。これは、非常用炉心冷却設備に対しては計画当時の最新方式が採用されたものである。

なお、島根原子力発電所1号炉は、可燃性ガス濃度制御系に他のBWRにない特徴を持つ。他のBWRの可燃性ガス濃度制御系は、再結合器を持つ方式であるが、本プラントでは窒素ガスの注入を行う方式である。

Ⅲ. BWRの導入期から標準化へ

本稿では、軽水炉の導入期において重要な役割を果たした初期の3プラントをみてきた。我が国初の軽水炉である敦賀発電所1号炉、ジェットポンプを採用した福島第一原子力発電所1号炉、国産化第一号となった島根原子力発電所1号炉は、いずれも先行炉の実績を重視しつつ、ユニークな特徴を持つプラントとなっている。しかも、これらの3プラントは、最新のプラントに活用されるような重要な技術的特徴を持っているといえる。

この後は、導入期の経験をベースに、BWR-4タイプ、BWR-5タイプのプラントが順次建設され、量産・標準化、改良標準化の時代へと移っていった。

参考文献(下記の文献を全般的に参考に記載した)

- 1) 軽水炉改良標準化計画総合資料集, アイ・エス・ユー(ISU), (1985).
- 2) 軽水炉, 同文書院, (1988).
- 3) 原子炉がひらく世紀, 日本原子力学会, (1998).

- 4) “BWR nuclear power plant equipment”, *Hitachi Rev.*, 33 [6], (1984).
- 5) 軽水炉発電所のあらまし, 原子力安全研究協会, (1992).
- 6) 日本原電の挑戦, 扶桑社, (2004).
- 7) 原子力ハンドブック, オーム社, (1989).
- 8) 原子力ポケットブック 昭和51年度版, 日本原子力産業会議, (1976).
- 9) 電力百年史 後編, 政経社, (1980).
- 10) 敦賀発電所原子炉設置許可申請書(1号炉), (1983).
- 11) 福島第一原子力発電所原子炉設置許可申請書(1号炉完本), (1992).
- 12) 島根原子力発電所原子炉設置許可申請書(1号炉完本), (2005).
- 13) 原子力発電所の計画設計・建設工事, 電気書院, (1979).

著者紹介

久持康平(ひさもち・こうへい)



日立GEニュークリア・エナジー(株)
(専門分野/関心分野)軽水炉安全設計/安全評価

守屋公三明(もりや・くみあき)



日立GEニュークリア・エナジー(株)
(専門分野/関心分野)次世代エネルギー技術開発, 原子力プラント安全設計/熱流動

連載
講座

高速炉の変遷と現状

第10回(最終回) 最近の高速炉の位置づけと
国内外の開発動向

日本原子力研究開発機構 中井 良大

I. 原子力政策における高速増殖炉開発
の位置づけ

21世紀においては持続的な発展が可能な循環型社会の構築を目指しており、資源の安定供給の観点だけでなく、環境負荷の低減の観点も重視されてきている。原子力政策においても、このような視点から高速増殖炉開発の重要性が再認識された。また、高速増殖炉の商用導入に向けたマイルストーンや研究開発の進め方が政策として明示された。

1. 原子力政策大綱

政府は原子力委員会の「原子力政策大綱」を原子力政策に関する基本方針として尊重し、原子力の研究、開発および利用を促進することを2005年10月に閣議決定した。

「原子力政策大綱」では、高速増殖炉サイクル技術は、長期的なエネルギー安定供給や放射性廃棄物の潜在的有害度の低減に貢献できることから、実用化に向けた研究開発を、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)を中核に着実に推進するべきとした。また、高速増殖炉開発について、2050年頃からの商業ベースでの導入を目指すとの方針が明示された。「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」の取りまとめを踏まえ、高速増殖炉の2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について、2015年頃から国としての検討を行うことを謳っている。

Fast Breeder Reactor: The Past, the Present and the Future
—(10)Recent Status and Trend of Domestic and International Fast Reactor Development : Ryodai NAKAL.

(2008年 3月10日 受理)

各回タイトル

第1回 高速炉の誕生

第2回 高速炉型式の変遷

第3回 米国の高速炉開発の歴史(I)

第4回 米国の高速炉開発の歴史(II)

第5回 欧州・アジアの高速炉開発の歴史

第6回 日本の高速炉開発の歴史(I)

第7回 日本の高速炉開発の歴史(II)

第8回 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の成果

第9回 再処理関連の歴史と現状

2. 国家基幹技術

我が国は「科学技術創造立国」を国家戦略として打ち立て、政府は長期的視野に立って体系的かつ一貫した科学技術政策を行うため、「科学技術基本法」の下、科学技術基本計画を策定・実行している。「長期的なエネルギーの安定供給を確保する高速増殖炉サイクル技術」は、エネルギー資源の乏しい我が国にとって、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム・ウラン等を燃料として有効利用することを可能とし、我が国のエネルギー安定供給に大いに貢献し、産業の発展と国民生活の向上に資する技術である。このことは、「環境と経済の両立」のみならず、「科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化」および「世界の科学技術をリードする」といった政策目標の実現にも貢献する。このため、高速増殖炉サイクル技術は2006年3月に閣議決定された第3期科学技術基本計画(2006~2010年度)において、国主導で取り組む大規模プロジェクトで今後5年間、集中投資すべき科学技術「国家基幹技術」のひとつに位置づけられた。

3. 原子力立国計画

経済産業省総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会において、高速増殖炉サイクルの早期実用化についての検討が行われ、「原子力立国計画」(2006年8月8日)が取りまとめられた。原子力政策大綱に沿って、具体的な実用化ステップを検討するため、基本シナリオが提示され、実証炉は2025年頃の実現、商業炉は2050年前の導入を目指すこととされた。

また、実証プロセスへ円滑に移行するためには、関係者(経済産業省、文部科学省、電気事業者、メーカー、原子力機構)が開発スケジュールと実証ステップのあり方などを検討し、認識を共有させながら研究開発を実施すべきとしている。

4. 高速増殖炉開発の基本方針

原子力委員会は、文部科学省による「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」の評価を踏まえた研究開発方針(後述)などにに基づき、2006年12月に「今後10年程度の間における高速増殖炉サイクル技術の研究開発に関する基本方針」を決定した。性能目標を達成できる高速増

殖炉サイクルの実用施設の概念設計およびその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を2015年に提示することを目指す。2008年度に高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転を再開し、その後、10年程度以内に「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」および「発電プラントとしての信頼性の実証」の所期の目的を達成する。関係者は、実証プロセスへ円滑に移行できるよう、実用化に至るまでのロードマップの検討を継続的に進め、おのおのの役割を着実に果たしていくことなど、研究開発の進め方が示された。

II. 各国における高速炉導入機運の高まり

京都議定書が発効し、温室効果ガスの排出量削減が国際的義務となる中、地球温暖化への対応が急務となってきており、発電過程でCO₂を排出しない特性を持つ原子力発電は極めて有用であり、各国においても原子力の位置づけの見直しや新規導入に向けた動きが出てきている。高速炉の開発は数年前までは停滞していたが、各国において積極的な開発が進められるようになってきた。

1. 米国

2006年2月6日、米国エネルギー省(DOE)は、包括的な構想であるグローバル原子力エネルギー・パートナーシップ(GNEP 構想)を発表した。GNEP 構想のねらいは、(1)核燃料リサイクルによるエネルギー再生産とともに廃棄物を低減する、(2)化石燃料を低減、クリーンなエネルギー開発を奨励し、世界の成長と繁栄を促進する、(3)最新の技術を用いて核拡散リスクを低減することである。GNEP 構想は、第1図に示されるように、7つの開発要素およびそれらを機能させる国際枠組みにより、そのミッションの達成を目指している。

DOEは2006年8月にGNEP 構想を加速するため、2トラックアプローチを公表した。トラック1では、統合核燃料取扱センター(CFTC)と先進燃焼炉(ABR)の2つの商業規模施設の導入を検討している。産業界を活用して2020~25年の商業規模施設導入という短期の核燃料サイクルの立ち上げを目指すものである。トラック2で

は、軽水炉使用済燃料に加えて高速炉使用済燃料も処理し、マイナーアクチニド(MA)含有燃料を製造する将来のTRU(超ウラン元素)リサイクル技術に備えた試験施設として、先進的燃料リサイクル研究施設(AFCF)の建設を行い、研究開発を進めようとするものである。このことは、ワンスルー政策を進めてきた政策の転換につながるものである。

2. フランス

フランスは1998年に経済的理由から実証炉 Super-Phenix を放棄して以来、原型炉 Phenix を中心に MA 燃焼等の研究開発、ならびに高温熱源の多目的利用(水素製造など)と核燃料サイクルを両立させる次世代炉としてガス冷却高速炉の研究開発を推進してきた。ナトリウム冷却炉に関する研究開発については後述の Gen-IV 計画の中で継続してきた。

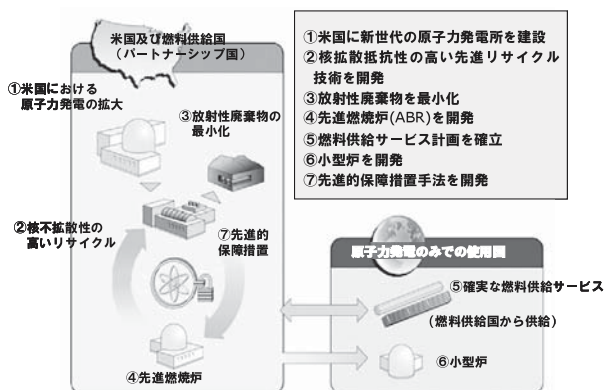
2006年1月にシラク大統領は所信表明の中で、Gen-IV 炉の原型炉を2020年の運転開始を目指すと言明した。2006年6月には、1991年に制定された放射性廃棄物法(バタイユ法)に基づく研究の結果を踏まえ、「放射性物質および放射性廃棄物の永続的管理に関する計画」法案が可決された。この中で、「核種分離・変換」、「深地層処分」、「中間貯蔵」の3つの技術的選択肢は相互に補完的なものであると位置づけ、現段階でどれか1つに最終的に絞り込む代わりに、今後も3技術の研究を継続することとしている。ナトリウム冷却炉の開発については、2009年の設計オプションの選考、2012年の設計仕様の選定を経て、2020年までに原型炉を運転する計画である。

3. ロシア

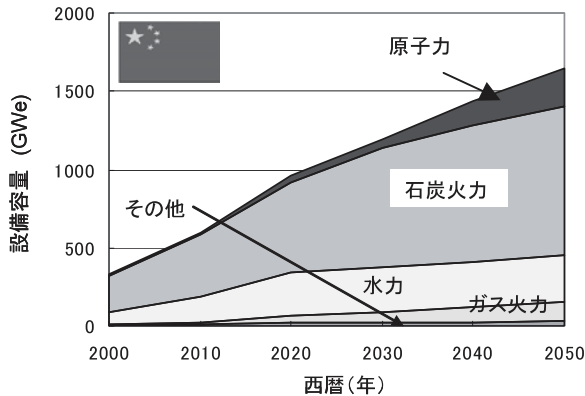
50年以上も前から高速炉の開発を進めてきており、実験炉 BR-5/-10(廃止)、BOR-60(運転中)、原型炉 BN-350(廃止)、BN-600(運転中)の運転実績を有している。特にBN-600は長期にわたって稼働率が70~80%という優秀な運転実績を残している。2004年にはロシア議会在、高速炉建設と核燃料サイクル開発計画の達成を基本とする持続的な経済発展のためのエネルギー戦略(2005~10年)を承認し、積極的なFBR 開発を進めることとなった。これにより停滞していた実証炉 BN-800の建設も再開し、2012年の運転開始を予定して建設を進めている。

4. 中国

原子力の研究開発の進め方は、著しい経済成長の下、人口に対してエネルギー源が不足している現状に鑑み、長期にわたって持続的エネルギーを供給する観点から核燃料サイクルを基本としている。現在、高速実験炉 CEFR (2万 kWe)を建設中であり、2009年に初臨界の予定である。今後も積極的な高速増殖炉開発を行うこととしている。2050年には原子力の発電規模を250 GWeとし、そのうち高速増殖炉の発電規模を200 GWe と想定している(第2図)。このため、原型炉 CPFR(60万 kWe)、



第1図 GNEPの主要な7つの取組みと国際枠組み



第2図 中国の発電設備容量

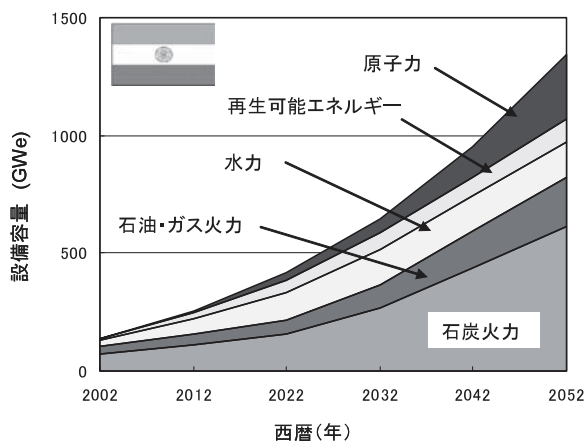
実証炉 CDFR(100~150万 kW_e), 商用炉 CCFR(100~150万 kW_e)を順次導入していくことを検討している。

5. インド

多くの人口を抱え経済発展の著しいインドでは、経済成長に伴う急速な電力需要の伸びに対応するために原子力開発を積極的に進めている。自国のウラン資源の制約から高速増殖炉の早期導入が不可欠と考えており、国家主導の下、2020年ごろの商業炉導入を目指している。高速増殖試験炉 FBTR は1985年に運転を開始しており、20年以上の運転実績を持つ。50万 kW_eの高速増殖原型炉 PFBR を建設中で2010年に初臨界の予定である。また、2020年までに50万 kW_eのツインプラントを2セット(計4基)導入する計画である。2050年ごろには原子力発電の大部分(260 GW_e)を高速増殖炉でまかなう予定としており(第3図)、このため、酸化燃料から高増殖が期待できる金属燃料炉心を有する高速増殖炉を順次導入する計画としている。

Ⅲ. 国際フォーラムによる高速増殖炉研究開発

革新炉に関する国際フォーラムが結成され、国際協調



第3図 インドの発電設備容量

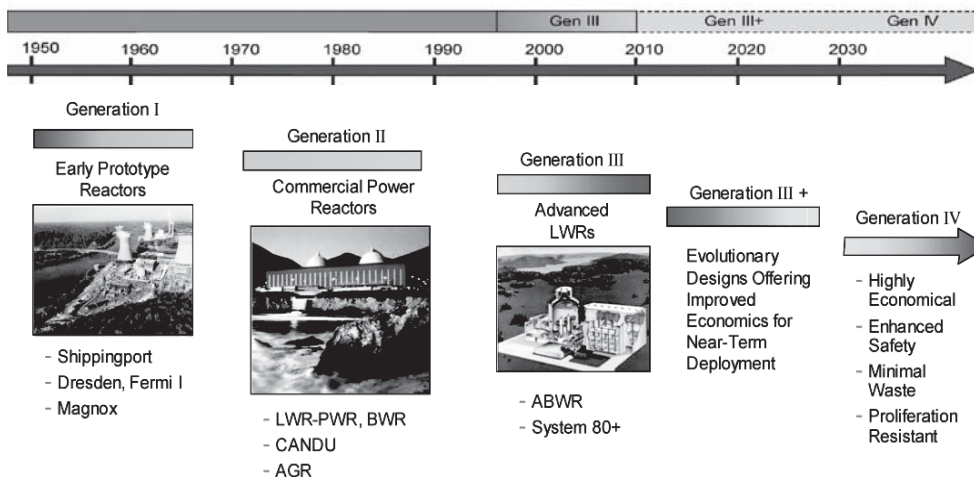
による研究協力が開始されている。その開発目標は、資源有効利用、廃棄物低減、核拡散抵抗性、経済性、安全性の視点を掲げており、我が国の「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」で設定した開発目標と方向性が一致していることから、積極的な協力を行っている。

1. Gen-IV (第4世代原子力システム開発協力)

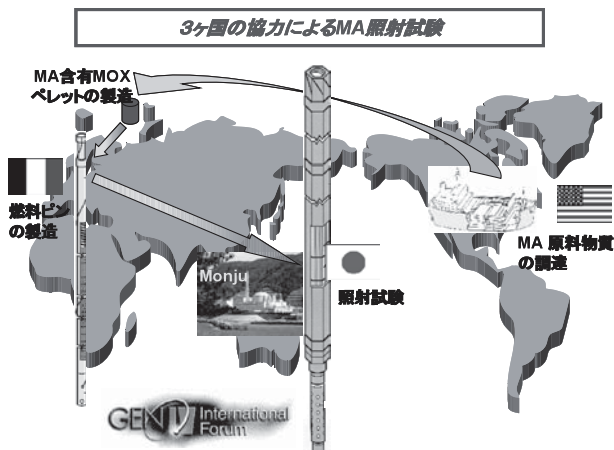
2000年1月にDOEが主催した第4世代原子力発電システム国際ワークショップを契機として、21世紀前半の実用化を目指す次世代原子力技術開発計画を国際枠組みで推進する Generation-IVプロジェクトが開始された。Gen-IVは、持続可能性(資源の効率的利用、廃棄物の最小化、核拡散抵抗性)、経済性(ライフサイクルコストの優位性)、安全性/信頼性(安全/信頼できる運転、敷地外緊急時対応の不要)に優れた、第3世代のABWRやEPRに続く次世代の原子力システムを目指しており、2030年ごろまでの初号機導入を目指して検討が進められている(第4図)。協力体制確立のため、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)が発足し、現在までにアルゼンチン、ブラジル、カナダ、中国、フランス、日本、韓国、ロシア、南アフリカ、スイス、英国、米国、EUの12カ国1機関がGIF憲章に署名している。GIFではこれまでに、有望な6つの概念(ナトリウム冷却高速炉、ガス冷却高速炉、鉛冷却高速炉、超高温ガス冷却炉、超臨界水冷却炉および熔融塩炉)の選定と技術開発計画の策定(2002年12月)が行われた。2005年2月にはフレームワーク協定が締結された。2006年2月にはナトリウム冷却高速炉を共同研究するためのシステム取決めが締結され、日・仏・韓・米・EUが参加している。我が国はナトリウム冷却高速炉について議長国として積極的に議論をリードし、先進ループ型ナトリウム冷却炉をレファレンス概念のひとつとして提案している。ナトリウム冷却炉の研究開発の具体的なプロジェクトとしては、先進燃料プロジェクト、機器・BOPプロジェクト、包括的アクチニドサイクル国際実証プロジェクトGACID(第5図)が調印され、研究開発協力が動き出している。GACIDは、日米仏の3カ国が協力してMA含有燃料の工学規模の照射試験を実施し、MA全量がりサイクルできることを実証する計画である。また、安全・運転プロジェクト、システム統合・評価プロジェクトの取決めは締結に向けた協議が行われている。

2. INPRO

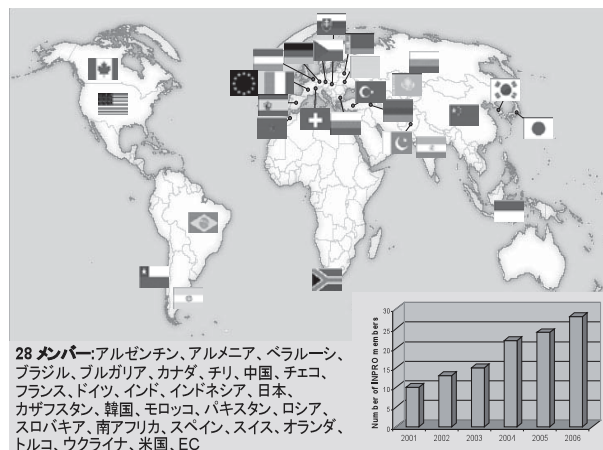
原子力エネルギーの持続的発展への貢献をより確実なかつ有意なものにするためには、技術と制度の革新が必要であり、持続的発展への寄与可能性に関する指標づくりや技術や制度の革新に向けた国際フォーラムがINPRO(International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles: 革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト)である。IAEAが事務局となり、毎年、参加国を増加させ、現在までに28の国と機関



第4図 GIF 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム



第5図 包括的アクチニドサイクル 国際実証プロジェクト (GACID)



第6図 INPRO 革新的原子炉および燃料サイクル 国際プロジェクト

が参加している(第6図)。2001年の発足から2006年6月までに実施されたフェーズ1では、主に革新的原子力システム(INS)評価手法の開発が中心に行われた。INS評価手法は、持続的発展に貢献すべきINSに期待される要件を7分野(経済性、安全性、環境、廃棄物管理、核拡散抵抗性、セキュリティ、インフラ)にわたり基本/ユーザー要件/評価基準の3段階に分けて包括的に定めた。続いてこれらの手法を用いて適用研究が実施された。我が国は2006年4月より参加し、現在の高速炉の主要な開発国であるフランス、ロシア、インド、中国、韓国などとともにINPRO手法を用いた適用研究の一環として「高速炉を用いたクローズド燃料サイクルに基づくINSの合同評価スタディ」を実施した。これらの共同研究を通じて持続的な発展のために具備すべき要件を検討し、高速炉サイクルに対する認識の共有化を図っている。

GIFは、技術保有国による技術開発のためのフォーラムであるのに対し、INPROは原子力発電を計画しているユーザー国も含め技術と制度の革新を考えるフォーラムで評価手法や制度などユーザーからの期待を重視した

国際フォーラムになっている。

IV. 国際標準化に向けた国際協力

日米、日仏などの2カ国間の技術情報交換、共同研究、研究員の相互派遣などの協力に加えて、最近、国際標準化に向けた国際協力の取組みに着手している。

1. 日米

GNEPに関する国レベルの協力では、2007年4月に日米原子力エネルギー共同行動計画を政府間で締結し、その下で、GNEP構想に基づく原子力研究開発の日米2カ国間協力を行っている。高速炉技術WG、燃料サイクルWGなどを組織し、高速増殖炉サイクル技術に関する研究協力を実施している。高速炉技術分野の初期フェーズでは、原子炉タイプ、燃料に関する比較検討、今後の共同研究計画の策定などを行っている。

2. 日仏

原子力機構とフランス原子力庁(CEA)の間では2005年12月に「原子力研究開発分野における協力のためのフ

レームワーク協定」を再締結し、その下でナトリウム冷却炉などの先進エネルギーシステムおよび核燃料サイクル技術分野で具体的な研究協力テーマを設定し、研究協力を実施している。ナトリウム冷却炉については、設計概念・設計研究、先進燃料、燃料被覆管材料、構造材料、システム技術、「常陽」・「もんじゅ」・フェニックス運転経験の分野で共同研究や情報交換、ならびに研究者の相互派遣などを行っている。

3. 日米仏の3ヵ国協力

原子力機構、CEA、DOEは、ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉開発に取組みの協力を強化するため、2008年1月31日に実証炉/プロトタイプ炉の協力覚書に署名した(第7図)。各国はナトリウム冷却高速炉の開発目標の方向性が同じであり、実証炉/プロトタイプ炉を導入しようとしているスケジュールが近いことから、互いに協力することが可能と判断した。各機関は、自国の開発計画に従い、先進的な実証炉/プロトタイプ炉開発に取り組みつつ、各国の高速炉技術の開発が重複しないよう、本協力において、必要な技術と資源を相互に活用することとした。具体的には、①設計目標、ハイレベルの設計要求および共通の安全原則の設定、②建設費、運転費、保守費の削減等のために必要な革新技術の抽出、③実証炉/プロトタイプ炉の出力、炉型、燃料およびスケジュールの検討、④各機関の共同利用可能な施設の抽出、整理を行う。本覚書による作業は2008年6月までであるが、必要に応じて延長を考えるとともにさらに次のステップについて協議を行い、実証炉/プロトタイプ炉を導入するという最終的な目標に向けた研究開発協力を行っていく予定である。

4. GNEP 公的資金プログラム

DOEはGNEPトラック1に関する具体的な進め方として、2007年5月に産業界を対象とした公募資金プログラムの公表(FOA)と募集を行った。これに対し、三菱重工業(株)・仏 AREVA・日本原燃(株)などがチームで応募し、DOEと契約を締結した。初期フェーズでは、ABRおよびCFTRCに関するビジネスプラン、技術開発ロードマップ、概念設計などを検討する。この連合チームによる概念設計の検討については、原子炉は我が国の高速増殖炉開発の中核メーカーである三菱重工業(株)が主導す

ることとし、先進ループ型ナトリウム冷却高速増殖炉を提案している。燃料サイクルはAREVAが主導して提案している。これに対し、原子力機構とCEAは覚書を締結し、これらを技術的に支援している。

以上の活動を通じて、開発目標・設計要求の共有化、革新技術の共有化、設計概念の共有化と進展していけば高速増殖炉技術の国際標準化に近づいていくものと考えている。国際協力を推進し効率的な研究開発を行うことにより研究開発資源の節約、研究開発リスクの低減となることが期待される。

V. 我が国における実用化に向けた取組み

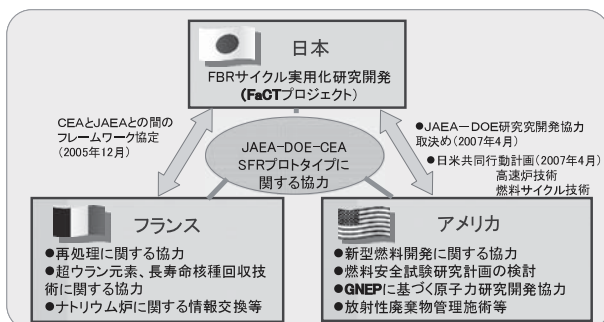
1. FaCT プロジェクトの開始

文部科学省は「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズIIの成果について評価を行い、2006年11月、「高速増殖炉サイクルの研究開発方針」をまとめた。現在の知見で研究開発により性能目標を達成できる可能性が最も高い高速増殖炉サイクル技術のシステム概念として、「ナトリウム冷却高速増殖炉、酸化燃料、先進湿式再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組合せを選定し、その実現可能性に寄与する革新的な要素技術の成立性を見極めること等を目指すこととした。今後は革新技術の具体化に重点をおいて、高速増殖炉サイクルの研究開発を加速すべきとした。

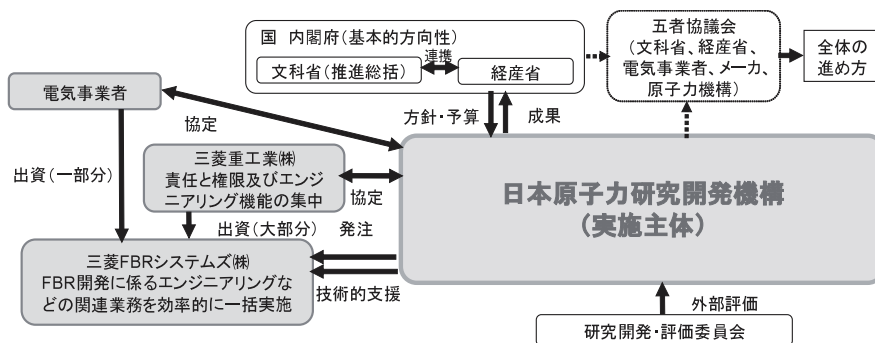
原子力機構は、この研究開発方針および原子力委員会の基本方針等を受け、高速増殖炉サイクルの実用化に向け、電気事業者とともに、「FBRサイクル実用化研究開発」(FaCTプロジェクト)をスタートさせた。すなわち、「もんじゅ」やさまざまな核燃料サイクル研究施設等を活用し、国際協力を積極的に進め、「実用化に集中した技術開発」に開発の段階を移した。FaCTという呼称には、要素技術に裏打ちされた開発によって、「概念」を「事実」へと具体化していくとの思いが込められている。

2. 実証段階へ向けて

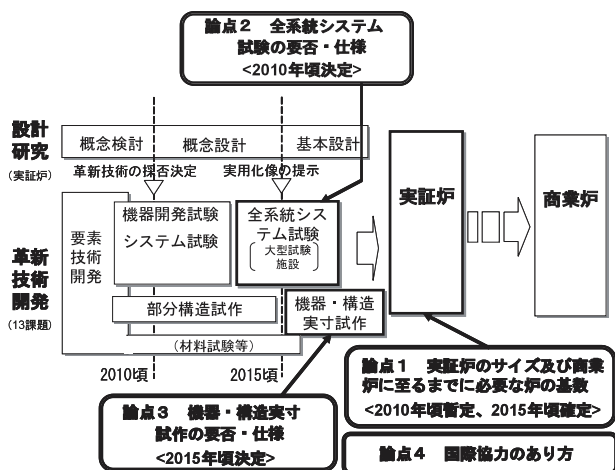
2006年12月27日に、「FBRサイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」(経済産業省、文部科学省、電気事業者、メーカー、原子力機構)において、高速増殖実証炉の基本設計開始までの研究開発体制に係る方針を決定した。具体的には、これまでの護送船団方式を脱却し、明確な責任体制のもとで、効率的に高速増殖炉開発を実施できるよう、中核メーカー1社に責任と権限およびエンジニアリング機能を集中することとした。これを受けて、原子力機構は中核メーカー選定のための委員会を設置し、高速増殖炉の技術開発能力・技術開発実績・我が国産業界全体の実力の涵養等の観点から中核メーカーを選定することとし、選定作業の結果、2007年4月18日に三菱重工業(株)を選定した。また、三菱重工業(株)は高速増殖炉の研究開発、設計、エンジニアリングを



第7図 日米仏間の高速増殖炉研究開発協力



第 8 図 高速増殖炉研究開発体制



※ 太枠は、論点に位置付けられるステップを示す。

第 9 図 実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのイメージ

行う三菱 FBR システムズ(株)を設立し、2007年 7 月 1 日に業務を開始した(第 8 図)。

また、五者協議会は、実証段階への移行にあたっての課題の 1 つである、ナトリウム冷却高速増殖炉の実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのあり方について、中間的な論点整理を行い、現時点で想定されるステップのイメージを示す(第 9 図)。高速増殖炉ははまだ研究開発段階にあり、現時点でこうしたステップおよびその内容をすべて確定することは困難である。比較的早い時期に実施すべきものとしては、機器開発試験・システム試験、部分構造試作が挙げられる。当面の概念検討の対象とするサイズを 50~75 万 kW の範囲とした上で、実証炉の概念検討を実施することとした。現時点で決定できない論点を摘出・整理し、実証炉の規模と基数、全システムシステム試験と機器・構造実寸試作の可否と仕様、国際協力のあり方については、将来の判断ポイントとして関係者で共有して開発を進めていくこととなった。

Ⅵ. あとがき

高速増殖炉サイクルの性能を飛躍的に向上させる枢要

技術については、国際協調を図りつつ世界標準技術としてリードしていくことが重要である。研究開発は、関係機関が密接に連携して推進することが肝要である。このためには、国のリードの下に、国内の総力を結集した研究開発体制を維持し、実用化のためのロードマップの共有と更新、必要資金の確保、国際的な協調と分担を行っていく必要がある。

— 参考資料 —

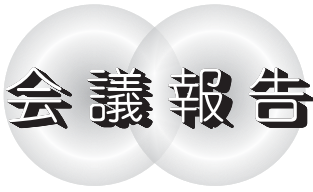
- 1) 原子力政策大綱, 原子力委員会, (2005年10月).
- 2) 科学技術基本計画, 閣議決定, (2006年 3 月).
- 3) 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告書「原子力立国計画」, (2006年 8 月).
- 4) 高速増殖炉サイクル技術の今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針, 原子力委員会, (2006年12月).
- 5) <http://www.gnep.energy.gov/>
- 6) Mi Xu, "Status and Prospects of Sustainable Nuclear Power Supply in China," GLOBAL 2005, Tsukuba, Japan, Oct. 2005.
- 7) <http://www.dae.gov.in/>
- 8) <http://www.gen-4.org/>
- 9) 尾本 彰, 他ほか, "INPRO の活動状況と今後の計画", 日本原子力学会誌, 49(2), 89~111(2007).
- 10) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ II 最終報告書, JAEA-EVALUATION 2006-002, (2006年 7 月).
- 11) 高速増殖炉サイクルの研究開発方針について, 文部科学省研究開発局, (2006年11月).

著者紹介

中井良大(なかい・りょうだい)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 高速炉安全工学, 高速炉システム設計, 確率論的安全評価



JAEA-IAEA 共催「将来の核燃料サイクル先進的 保障措置に関するワークショップ」

JAEA-IAEA Workshop on Advanced Safeguards Technology
for the Future Nuclear Fuel Cycle

2007年11月13～16日(茨城県東海村)

原子力平和利用のグローバル的拡大に伴う核拡散リスクの増大が懸念されるが、これに対処するためには、現状の保障措置を超えた核不拡散対策の構築が必要である。本ワークショップでは、関係国からの専門家約130人(うち外国人参加者46名)の参加を得て、将来の核燃料サイクルの方向性を見据えながら、先進的保障措置を中心とした今後の核不拡散技術について議論を行った。会議の概要は、以下のとおりである。

セッション1では、核燃料サイクル開発をリードする日米仏による同サイクルに係る開発の現状および方向性について、日本はFaCTプロジェクト、米国DOEはGNEPについて、フランスはLWRからGenIVへの今後の変遷について紹介した。これに続きセッション2では、核燃料サイクル等における今後の近未来の保障措置のあり方・問題点について発表・議論がなされた。特に、核拡散抵抗性と保障措置の相関関係についての考え方(IAEA)、プルトニウム燃料施設を例とする今後の統合保障措置のあり方(JAEA)、次世代再処理への合理的な保障措置のあり方(JAEA)などが話題となった。セッション3では、核燃料サイクルに対する将来の先進保障措置概念および保障措置設計について議論がなされた。保障措置について、核物質転用の検知確率から核拡散抵抗性の有効性を評価(BNL)、次世代の再処理において物理的な核拡散抵抗性を高めることに伴う保障措置の緩和可能性について(核物質管理センター)などが目を引いた。さらにセッション4では、将来の新たな保障措置技術について発表がなされた。中性子、ニュートリノ、ガンマ線などによる最新の測定技術の紹介、六ヶ所再処理工場における良好な保障措置技術(プロセスモニタリング、ソリューションモニタリング、プルトニウムインベントリー測定等)の組合せなどが紹介された。

以上のセッションでの発表・議論をベースに3つのワーキンググループ(WG)が持たれ、将来の方向性について討論が行われた。主な意見は次のとおりである。

WG1「近未来の保障措置の挑戦」： 早期の保障措置設計が重要であること、そのための保障措置デザインクライテリアが必要、モニタリングや適時な検知システ

ム、査察官に対しリアルタイムに情報取得・解析ができる情報マネジメントシステムの構築が重要、ただし経済性も考慮されるべきであり、最小限で高効率な保障措置が設計されるべき、そのためには装置の最適化等も併せて検討することが重要。

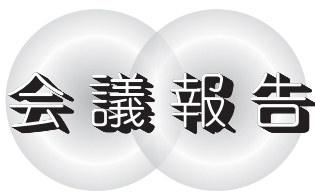
WG2「将来の核燃料サイクルに対する先進保障措置概念および保障措置設計」： たとえ核拡散抵抗性のある技術が導入されても計量管理は基本であり必要、核拡散抵抗性は定量化が難しいが保障措置との適切なバランスが重要、サイクルの設計に際してはまず拡散リスクを評価し、それに対し必要となる保障措置の概念を設計すべき、将来の保障措置技術開発に必要なことは、さらなる新装置開発ではなく、施設側との情報の共有化や情報処理能力向上へむけた取組みの必要性である。

WG1とWG2の結果を踏まえ行われたWG3「将来の燃料サイクルにむけた先進保障措置技術」では、設計時点における保障措置取り込みの重要性、その場合の保障措置デザインガイドラインを作るべき、施設・査察間の情報共有について取り組むこと(リアルタイムプロセスモニタリング情報など)、膨大な保障措置情報を処理できる機能が必要、核拡散抵抗性措置の位置づけや保障措置とのバランスを検討すべき、査察ツールの標準化、核不拡散に係る人材育成の重要性などが結論として挙げられた。

本国際会議の企画にあたり、当初IAEA側より主題を「将来の保障措置技術開発」とするよう提案がなされたが、日本原子力研究開発機構(JAEA)としては焦点をより具体的かつ我が国にとって興味深いものにすべきと主張、結果的に上記テーマで会議を開催するに至った。今ワークショップにおいては、原子力機構がすべてのセッションやWGで共同議長を担当するなど会議のイニシアティブをとることができたのは幸いであった。非公式ではあるが、今後、本ワークショップを継続開催すること(隔年)について合意されたことも今回の試みが成功であったことを意味するものと思われる。

(日本原子力研究開発機構, 久野祐輔, 麻生良二,

2008年 1月24日 記)



「サステナビリティと原子力教育研究」をテーマに講演と討論

東京大学原子力グローバル COE 拠点創立記念

第2回国際シンポジウム

Int. Symp. on Sustainability and Nuclear Education and Research

2007年12月3～6日(東京大学武田ホール)

東京大学グローバル COE プログラム「世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ」(以下「本拠点」)では、第2回国際シンポジウムを2007年12月3日から4日間、東京大学武田ホールで開催した。これは10月の第1回「社会と原子力の調和を目指して」とシリーズをなすもので、今回のテーマは「サステナビリティと原子力教育研究」であった。

12月3日は本拠点の概要紹介、4日はサステナビリティと原子力につき講演と討論、5日は原子力エネルギー時代の教育研究につき講演と討論、6日は若手研究者と欧米専門家による専門別のワークショップが行われた。新たな視点から原子力教育研究のあり方を浮き彫りにでき、今後の本拠点の活動にとり得るところ大であった。以下12月4日、5日の内容を報告する。

12月4日

「サステナビリティと原子力」と題し、講演とパネル討論があった。サステナビリティ・シナリオではエネルギー確保と環境保全の両立が求められる。本拠点では新たな原子力世紀の創成を目指して、サステナビリティ等原子力以外の学内外の活動との連携、原子力村からの脱却の活動を進めている。今回は気候変動や新エネルギー開発の専門家も交え、サステナビリティ・シナリオと原子力につき議論した。

まず、原子力外の専門家から講演があった。電力中央研究所の仲敷憲和氏は「地球温暖化予測」で、海面上昇はCO₂濃度安定化後も続く、予測モデルには不確実性があると報告した。東京大学の湯原哲夫氏は「トリプル50のアジアへの展開」で、2030年の日本のエネルギー需給ビジョンとして、自給率50%、化石燃料依存率50%、利用効率50%の提案を示した。エネルギー総合工学研究所の高倉毅氏は「新エネルギーの開発見通し」で、再生可能エネルギーはサステナビリティの要件を満たすが、エネルギー密度、出力変動、経済性の面で制約要因も多いと述べた。

この後、電力中央研究所の長野浩司氏「エネルギー供給の安全保障と原子力の役割」および日本原子力研究開発機構の一宮正和氏「FBR サイクルの導入シナリオ」の講演をはさみ、パネル討論に入った。講演者5人にパネリストとして東京大学の松橋隆治氏、モデレーターとして同じく田中知氏が加わり、「サステナビリティ・シナリオの中での原子力の貢献策」を主題に討論した。エネ

ルギーを人類の文化的発展の中で捉えるには地政学的考察が必要、高レベル廃棄物問題やパブリックアクセプタンスの視点から原子力の持続可能性評価が必要、マスメディアとの係わりに大学関係者の意見発信が必要等、今後の本拠点の活動に期待する提言があった。

12月5日

この日以降は英語で講演討論が行われた。「原子力エネルギー時代における教育研究」と題すセッションでは、東京大学の岡芳明が、原子力国際専攻と原子力専攻(専門職大学院)の設立と教育内容、および本拠点の概要を紹介し、原子力社会学は「原子力利用と関係する各種のリスク・不確定性を低減する活動」であると述べた。テキサス A&M 大学 Yassin Hassan 氏とカリフォルニア大学パークレー校 Jasmina Vujic 氏は、各大学の原子力教育の概要や狙いを紹介した後、米国では原子力教育を受けた人材が多数必要で、学部・大学院とも学生数が増大している、9.11テロ以降はセキュリティ関係の研究資金が増大している、と述べた。各大学とも、原子力を取り巻く環境の変化に対応し、人材育成に力を入れている姿勢が示されていた。

続くパネル討論では、上記講演者3名にパネリストとしてローレンス・リバモア国立研究所 Tom Isaacs 氏、モデレーターとして東京大学の勝村庸介氏が加わり、現代の原子力工学の教育のあり方について議論した。基礎的な科目の修得、(特に政権交代の影響を受ける米国で)大学の教育研究予算の長期的な確保、教育研究における大学・研究所の国際的連携が重要であるとされた。

最後に「原子力工学研究の新たな展開」と題して6件の講演があった。Hassan 氏が数値流体力学の新たな展開、Isaacs 氏と田中氏が核拡散問題と廃棄物処分問題に対する原子力社会学への期待を示した。Vujic 氏が放射線応用技術、東京大学の上坂充氏が小型 LINAC 加速器、仏ラウエ・ランジュバン研究所 Bruno Guerard 氏が中性子工学研究につき紹介した。

シンポジウム出席者は約150名で、大学関係者に留まらず企業、官庁、報道と多方面からの参加者を迎え、今後の本拠点の活動に対する関心の高さがうかがわれた。(東京大学原子力グローバル COE 岡芳明(拠点リーダー、教授)、福崎孝治(特任教授)、2008年1月31日 記)

支部便り

北 関東支部 平成19年度オープンスクール実施報告

2007年10月27日(日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所)

原子力の日(10月26日)前後の土曜日に、毎年、日本原子力研究機構(原子力機構)那珂核融合研究所で施設一般公開が行われている。北関東支部主催の「オープンスクール」も、この日に合わせて、例年、那珂研内に会場を貸して頂いて行われてきた。今年は10月27日に開催されたが、あいにく台風接近による大雨の日であった。食堂の前という絶好の場所を提供して頂いたのと、雨の中、支部役員が積極的に呼び込みを行ったこともあり、オープンスクールには489名の方々に参加して頂いた。

出展企画

子供連れで来られる方が多く、わかりやすい内容にする、展示だけよりは参加体験できる企画がよい、という点があらかじめ議論された。参加機関が得意で特徴の出る企画を集めて、以下の6つを出展した。真空・低温などの基礎技術や原子力・発電の仕組みなどを、クイズ・実験・工作で学べるようになっている。

(1) 原子力発電の仕組み(日本原子力発電株)

アクリル容器に入った原子炉の模型の中で、水が沸騰して蒸気が噴き出し羽根車を回す展示を見ながら、原子力に関するクイズに答える。

(2) マグデブルグの半球実験(原子力機構 那珂研)

「マグデブルグの半球」を17世紀に馬が引いた大気圧を示す実験を模擬し、減圧した半球を参加者に引っ張ってもらう。半球の中に入れた菓子袋が破れて飛び出した菓子を貰える。

(3) 空気が薄くなるとどうなるの(同機構 那珂研)

アクリル製の容器内に袋入りのお菓子を入れ、容器を減圧すると、袋が膨らんで破れるのが見える。ペットボ

トルの中の空気を抜き圧縮されるのを見る「大気圧を感じよう」の実験。

(4) 電子オルゴールを作ってみよう(同機構 原科研)
抵抗・トランジスタといった電子部品を組み立てる工作をして、出来上がった電子オルゴールをもらえる。

(5) 液体窒素と超伝導で遊ぼう

(東大 原子力国際専攻)

液体窒素で冷やした超伝導体の磁気浮上を実演する。花・野菜も液体窒素に浸けて冷やして、変化を見る。

(6) エネルギーの不思議にチャレンジ(日立 電力・電機開発研究所&エネルギーを考える会ひまわり)

理科工作のような参加型の展示で、身近な材料でフランクリン(静電気)モータを自作してもらう。静電気発生器を手で動かして、作ったモータを回す。並行して、原子力文化振興財団のパソコンクイズ「エネルギーの広場」を使って、親子でクイズに挑戦してもらう。

アンケート調査

出口でアンケート調査を実施し、参加者の31%から計151件の回答を頂いた。回答者のうち小・中・高校生が26%(昨年は45%)であり、大人の方の割合が増えた。例年、良い評価を頂いているが、今年は更に向上している。

「内容はよくわかりましたか」に対しては「わかりやすかった」が81%、「教え方はどうでしたか」には「ていねいだった」が98%、「参加しておもしろかったですか」には「おもしろかった」が99%、「原子力についてもっと知りたいと思いますか」は、「もっと知りたい」が87%、である。小・中・高校生だけの回答を取り出しても上記の回答率はほぼ同じで、内容のわかりやすさが向上しており、出展者のご努力と熟達の賜物である。

おわりに

当日は大雨で、静電気を起こす実験は大変であったが、多くの参加者があり、各企画とも好評であった。企画の概要、アンケート結果は、北関東支部のホームページにも記載しております。

(http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/shibu/n_kanto/index.htm)

(文責 高エネルギー加速器研究機構・伴 秀一、
2008年2月4日記)



会場の様子

支部便り

関東・甲越支部 講演「最新情報、低線量放射線の生体への影響」
第6回“Atoms for Future”において開催

関東甲越支部は12月6日、大手町の電力中央研究所で第6回“Atoms for Future”を開催した。毎回、原子力関連の講演会を開催。今回は、低線量放射線影響研究の最新情報について講演を行った。講師は、電力中央研究所放射線安全研究センター長の石田健二氏。参加者は約40名。原子力学会員のほか放射線影響の専門家も多数参加した。

講演では、電力中央研究所の最新の研究成果を例に、低線量・低線量率の放射線の影響が高線量放射線の場合とは異なることが紹介された。電中研は、急性的な短期照射の生体影響については年間自然放射線量の数百倍まで、慢性的な長期照射については自然放射線の数千倍の線量率までを対象に研究を行っている。ショウジョウバエを使った実験では、低線量の領域で突然変異の発生率が放射線を当てない場合の自然突然変異の発生率よりも小さくなる現象が見つかった。また、マウスを使った実験では、低線量率の放射線を当てるとがんの発生率が低下したり、糖尿病マウスの寿命が延びたりしたという。以下に講演内容の要点を紹介する。

[LNT 仮説に反する実験結果]

ICRP の勧告は放射線防護規制の基本的な指針として国際的に広く認められている。このICRP 勧告の確率的影響に対する考えは、「しきい値なし直線(LNT)仮説」が基本となっている。この仮説は、突然変異やがんなどの確率的影響は受ける線量に比例し、どんな低い放射線量にもその関係が適用されるというもの。

電中研は、ショウジョウバエの放射線に対する影響を調べる実験で、DNA 修復機能を失う前の未熟な精子を使うことを試みた。その結果、線量の低い領域において、突然変異の発生率が放射線を当てない場合よりも小さくなることを示した。これは、LNT 仮説に反して、「しきい値」があることを示す。LNT 仮説は、1930年に行われたショウジョウバエの実験結果に基づいている。この実験ではDNA の修復機能を失った成熟精子が使われた。電中研は、この実験結果をヒトのがんリスクの推定に適用することに疑問を持ち、ヒトの体細胞と同じく、DNA 修復機能を持つ未熟な精子を使って実験を行った。電中研は、その実験結果について、低い線量の放射線を当てたことでDNA の修復機能が活性化し、自然突然変異の発生率が下がったと分析している。

[発がんの抑制と糖尿病進展の抑制]

電中研は、マウスを使った実験で、低い線量率の放射線が発がんを抑制したり、糖尿病マウスの寿命を延ばしたりする可能性があることを明らかにした。

発がんの抑制効果は、がんを誘発する化学物質を投与したマウスの実験で観察された。低い線量率の放射線を当てながら飼育した場合は、放射線を当てない場合より、がんの発生率が低かった。

糖尿病進展の抑制効果は、遺伝的に糖尿病を発症するマウスを使った実験で観察された。低い線量率の放射線を当てながら飼育した糖尿病マウスは、放射線を当てないものより平均寿命が長く、毛並みも良かった。この効果は、低い線量率の放射線を受けたことにより、糖尿病の原因であるインスリン分泌の低下が抑制されたからと電中研は分析している。

[自然放射線が高い地域に住む人たちの健康調査]

電中研では、中国で自然放射線が高い地域に住む人たちの健康調査を支援している。この調査は長年にわたって日本の研究者と中国の研究者が共同で実施しているもの。この調査の結果では、ある種の染色体異常は、受けた放射線の量に比例して増えているが、がんによる死亡率に変化は認められていない。

[放射線の影響には有害と無害の領域に加えて生体に有効となる領域がありそう]

放射線の影響には線量だけではなく、線量率も重要ということがわかってきた。電中研では、他の多くの研究機関で得られた研究成果を線量と線量率に着目して分析を試みた。その結果、有害な領域と無害な領域の間に、何か生体に有効な影響を与える領域がありそうということがわかってきた。

[電中研の新たな取組み]

電中研は、合理的な放射線防護体系の構築を目指して、2007年5月に放射線安全研究センターを設立した。研究者は、生物、化学、原子力工学、保健物理の異なる分野から構成される。放射線安全研究センターは、合理的な放射線防護基準とその基準を達成するための線量計測技術や環境への影響評価技術の開発を総合的に進め、原子力利用の道を拓げる大きな役割を担っていく。

(支部企画委員・猪飼正身、2008年1月4日記)

季

季節感を取り戻すこと

最近では、様々な連絡事やお願い事をメールで済ませてしまうことが多く、手紙をほとんど書かなくなりました。私のようなズボラな輩では、改めて時候の挨拶をしたためるようなまともな手紙を書くことは皆無に近い。そんな輩が、最近、久々にまともな手紙を書く必要があり、改めて時候の挨拶を調べてみた。わが国には、実に多様な表現があり、寒さをいうにも、真冬の「厳寒の候」から立春を境に「余寒の候」となり、なんとなく暖かさを期待する表現になる。この拙文が皆様の目に触れる頃は心地よい暖かさも過ぎ、「惜春の候」となっていることでしょうか。私が小学生の頃は、戦後の復興期真最中であつたが、学校では「日本は四季にめぐまれた国」と教わり、それを実感できていたように思う。家の戸はガタガタと風に揺れ、冬には隙間風に体を震わせていたが、それだけに、春を迎え、暖かさを感じ、周りの木々も芽吹きから淡い緑色となり、日々その緑が深くなっている変化を感じながら生活をしてきた。しかし、科学技術の目覚ましい進歩の結果、今や、季節に関係なく好きな野菜や果物を食べることができるようになり、真冬でも暖かい住宅で過ごせるようになった。いつのまにか、季節の移り変わりはテレビの映像の中に存在するようになり、日々の生活の中での季節感は観念的な存在になりつつある。

ところで、私達の大量のエネルギー消費が地球温暖化を招いている、という危機感から、1994年に「気候変動に関する国際連合枠組条約」が発効し、1997年に「京都議定書」として地球温暖化防止に向けた国際的な行動計画が合意された。しかし、各国の思惑から、温暖化対応はなかなか本格的な取組みになっていない。昨年、ようやく「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書」において、人間の活動が地球温暖化に関係していることが科学的にも評価され、世界的に「待ったなし」であることが再認識された。

これまでの生活水準を維持しながら地球環境を守っていくためには、選択肢は原子力エネルギーの利用拡大しかないことは自明なのに、なかなか社会的理解と支援が広がらない。地球上の極薄い「大気圏」の中で生存していることの微妙さを認識するためにも、自然の豊かな彩を肌で感じ、私達は、もう一度、「実感としての季節感」を取り戻すことが必要になってきていると思う。

柴田洋二(日本電機工業会)



交

六ヶ所村の方から学んだこと

昨年秋、「六ヶ所村・首都圏 女性のための交流会」に参加させていただいた。六ヶ所村を訪ねるのは初めてではなかったが、地元の方とお話する機会はこれまでなかった。

初日は六ヶ所村の方々と再処理工場の見学やむつ市の方々と交えての意見交換会。六ヶ所村の方々は農業や漁業に携わっている方、主婦などで、エネルギーの専門家ではない。しかし六ヶ所村に核燃料サイクル施設が出来ると決まってから、村の人たちは、不信感や心配を、勉強に勉強を重ねて正しい知識を身につけることによって軽減させ、ようやく施設との共生ができるまでとなったという。六ヶ所原燃PRセンターも六ヶ所村の方と一緒に回ったが、石川さんという方がPRセンターのスタッフによる説明の後に必ずご自身の言葉で解説下さったことが印象に残っている。

翌日はじゃがいも掘り。畑でものを掘るのは中学の技術家庭の授業以来だ。すぐに終わるだろうと高を括っていたが、地面を掘ってもなかなかじゃがいもが見つからず、六ヶ所村の方があつという間に掘って下さったものをほとんどいただいた。都市で暮らしていると、こんなことすらうまくできないのだと実感した。日本の食料自給率も年々下がってきているし、大げさかもしれないが、少し生命の危機感を覚えた。

昼食会では、長芋のすいとん、いかめし、牛乳、ヨーグルト、そしてミルク餅とすべて六ヶ所村の名産で作ったお料理を頂いた。ミルク餅は、牛乳が余ってしまい、その使い道を検討していた時に岩手に行き研修で習ったものとのこと。その後、東京に戻り、六ヶ所村の海産物を取り寄せたが、とても新鮮で自然な味がして美味しく、また同封のお手紙を読み、六ヶ所村の方々が地元の名産品に誇りを持っていることが感じられた。

今年初め、首都圏に珍しく大雪が降った日に、今度は六ヶ所村の方々が来られた。ご高齢の方も変わらずお元気で来られたことを嬉しく思い、私も誇りをもって前向きにいききたいと改めて実感した次第である。

松井恵美子(財社会経済生産性本部)





書評

本格的な中国の原子力報告 —「中国原子力ハンドブック 2008」

編集責任者 窪田秀雄, 編集 テピア総合研究所, A4判,
バインダー綴じ, 350 p. (2008. 1), 発行 日本テピア株,
(価格280,000円)

やっと、中国の原子力事情についての本格的な報告書に接することができたというのが実感である。これまで、中国の原子力の現状、将来計画については、よくわからないところが多くて、何が本当なのかいつも頭の中で疑問が残ったが、この1冊で多くの疑問点が氷解した。よくぞここまで調べたと代表編集者をはじめとする関係者の努力に敬意を払いたい。特記すべきは、中国の目覚ましい経済発展に伴うエネルギー需要に対する原子力の位置付けを明確に分析していることである。

具体的に例示してみると以下のように大別できる。

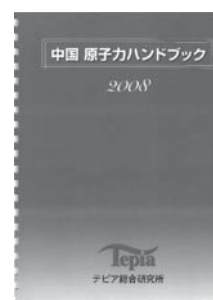
- ・中国政府が相次いで2006年から2007年にかけて発表した、中国の原子力ロードマップと位置付けられる「原子力産業『第11次5ヵ年』発展計画」, 「加圧水型(PWR)原子力発電所の基準体系構築に関する『第11次5ヵ年』計画」, 「原子力発電中長期発展計画」。

- ・このうち「原子力発電中長期発展計画」では、2020年までに原子力発電設備容量を4,000万kWに拡大する目標。また、2020年時点での建設中の設備容量を1,800万kWにすることも計画。「熱中性子炉(PWR)―高速炉―核融合炉」路線に加えて、リサイクル路線を堅持することを改めて確認。

- ・環境問題の視点から、石炭火力に代わるクリーンな電源として、中国政府の原子力発電に対する期待。

これまで、日本の関係者が中国の原子力の情報に接する機会は限られていた。中国では、原子力に関係した情報はかなり開示されているが、中国の原子力の全体像を理解できるような1冊にまとめたものは中国国内にもないということを知っている。日中両国に拠点を置くテピア総合研究所がこのほどまとめた「中国原子力ハンドブック 2008」は、そうした基本的な情報を押えながら、最新の動きについても紹介している。エネルギー関係者や中国に関心のある方々に、中国の原子力の将来を見通すうえでぜひ一読することをお勧めしたい。とくに、原子力国家計画の全訳は有益である。ただ、残念なのは、一般向けにまとめたものではないため、発行部数がきわめて少なく値段が高いことである。

(日本原子力研究開発機構・久保 稔)



From Editors 編集委員会からのお知らせ

○英文論文誌の全通過論文に 対して英文 Editorial Correction を開始しました



— ホームページ更新情報 —

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/> (4/10 現在)

- ・学会誌ホームページに、解説記事、連載講座、会議報告用の Word テンプレートを掲載しました。記事執筆の際にご利用いただき、規定頁数に収まるよう、あらかじめ頁数の見積をお願いいたします。

(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/index.htm>)。

- ・英文論文誌について、全通過論文に対する英文 Editorial Correction (素読校閲: 主として文法上のミスの修正や冠詞・接続詞などのチェック) を実施中。詳しくは、<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/publication/071001suyomikosei.html> をご覧下さい。



— 最近の編集委員会の話題より —
(4月4日 第10回幹事会)

【論文誌関係】

- ・2008年度編集委員選任の方針を検討した。
- ・昨年韓国にて開催された第4回 Radiation Safety and Detection Technology 国際会議の Proceedings を英文論文誌の Supplement として刊行することを了承した。

- ・投稿論文の掲載否が増えてきている状況を改善するために、論文の基本的要件、掲載否にならないような経験に基づく対策等を「経験から学ぶ実例」として記事としてまとめて作成することとした。

【学会誌関係】

- ・洞爺湖サミットに向けての学会声明を6月号に和文/英文で掲載することとした。
- ・「春の年会」において、主要な総合講演や企画セッションが特定の時間帯に集中しており、一部分しか聞けなかった。多くの出席者からプログラム編成に当たっては聴講者が多くの主要な総合講演、企画セッションが聴講できるように配慮すべきだ、という強い要望が出ている。
- ・原子力学会 50周年記念号について、編集委員会としてWGを設け、作業/工程管理を行うこととした。今後、記事編成案に基づき、執筆者等の検討を進める。
- ・7月以降の通常号に「50周年記念」の特別記事を一般募集することとした。そのテーマ案を検討中。
- ・50周年記念号には、賛助会員会社のご協力を得て、広告を掲載する予定。
- ・著者が記事を執筆の際に、頁数見積の目安となるようテンプレートを作成して、学会誌ホームページに掲載した。印刷経費等の節減のため、規定頁数の厳守をお願いする。特集、連載講座、会議報告、書評、訪問記事、執筆者の所属、氏名等の記載についても執筆要領を見直して、学会誌ホームページに掲載した。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

「ジャーナリストの視点」が好評

マスコミから原子力界がどう見られているかに関心(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168名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。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	巻頭言	「モノ言う科学者に期待」	3.84
2	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(4) 日本の原子力発電の始まり	3.80
3	時論	再生可能エネルギーと原子力発電	3.75
4	解説	急激な伸びを示すインドの電力量—順調なトリウムサイクル開発と大型軽水炉の導入計画	3.74

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	「モノ言う科学者に期待」	3.82
2	インタビュー	「原子力の基本は、安全最優先と透明性の確保」	3.66
3	リレーエッセイ	「拓魂」六ヶ所村に暮らして 「怖くない放射線」	3.54
4	特別寄稿	ガリレオ・ガリレイとその生きた時代	3.44

今月は、巻頭言「モノ言う科学者に期待」に共感が集まりました。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 「当月号の当月発行」。実に気持ちのいいことである。
- (2) 「Journalist's eye」は興味深い。いろいろな分野の方の意見を今後も載せてほしい。
- (3) 主なマスコミに学会誌は送られているのだろうか。社会的に興味を持たれている問題の記事くらいは、こちらから積極的に送ることも必要では？
- (4) 解説に関して、気にはなりながら、まとまった情報の乏しいインドの状況を簡潔にまとめていただき、参考になった。
- (5) 連載講座に関して、長い連載で執筆者も変わるのに、話の方向がぶれないのが良い。編集者がもっと介入し、連載の一貫性をさらに高めてもいいと思う。
- (6) 講演に関して、近年の原子炉メーカーの動向がよくわかる興味深い内容である。また、講演とカラーの広告が対応していて迫力があつた。
- (7) 講演に関して、企業の動向を学術誌である学会誌に掲載することに抵抗を感じる。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(3)のコメントに関しては、以前より原子力サイト報道機関の23社に、3月号から主要マスメディア15社の関係者へ学会誌を送付しています。また、従来から原子力サイトの53の地方自治団体、10の国の機関、14の電力会社等の広報関係先等に原子力学会誌を送付しています。また、これらの送付先にその活用状況をアンケートで確認する予定にしています。
- (2) 講演に関しては、上記(6)、(7)のように、いろいろな意見がありました。

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

書を持ち、街へ、人へ。

東京新聞 栃尾 敏

「きぼう、宇宙の旅へ」「新時代の幕開け」「開発陣の夢乗せ」……。不要論もあるし先行き不安だけど、まあいいか。とにかく「宇宙のロマン」だもんな。

「耐震性に不安」「核のごみ行き場なし」「事故隠した発覚」……。やっぱり原発はいやだな。放射能が怖い。やってる連中だって信用できないし。

宇宙と原子力。同じ科学技術なのに市民の印象はズいぶん違う。善と悪、明と暗。よくみれば宇宙は華々しい打ち上げで関心を集めているが期待したほどの成果は出ていない。国際宇宙ステーションに日本の実験棟「きぼう」を取り付ける作業は始まったが、先のことはすべて米国次第だ。一方、原子力(発電)は国内の電力の3割をまかなう。地域の雇用、税収だけでなく地場産業へも一定の貢献をしている。有力な輸出産業になる可能性だってある。なのに「アトムの火」「夢の発電」ともてはやされた時代は遠い過去に。いまは「悪者」扱いされることの方が断然多い。

なぜか。多発する事故・トラブルや放射性廃棄物の問題があるが、ここではやっている人たちの姿が見えないことを挙げたい。15基の原発を抱える全国一の原発集中立地県福井ではほぼ四半世紀、原発を中心に取材活動を続けてきた。電力事業者の人たちとは酒を飲んだり、事故やトラブルのときは激しくやりあう“目に見える関係”がある。だが、メーカーの技術者や開発者、ましてや原子力学会の研究者や専門家とはほとんど接触がなかった。ブンヤがそうだから、一般の市民はもっと疎遠だ。この学会誌に載せてある編集委員会の名簿を見ると、所属は大学、メーカー、研究機関、商社と幅広い。ただ“原子力村”から出て自分たちのやっていることを理解してもらおうと動いている人がどれだけいるだろうか。

原発立地地域に長くいても原子力学会とはなじみがなかった。学会が研究開発や技術向上だけやっていればいい時代ではない。情報発信や外部との双方向の意思疎通も大切な仕事になっている。新型万能細胞(iPS細胞)を開発した京都大学の山中伸弥教授。研究に専念したいはずだが、国へ、マスコミへと積極的にアピールする。中身はよく分からなくても熱意は伝わり、相場観もでき、国民の期待は膨らむ。“宇宙陣営”は宇宙食のカレーの試食会を開き、研究者が開発の苦労を話す。写真展もやるし、宇宙飛行士が登場しマスコミへ

の話題提供も怠りない。では、“原子力陣営”はどうか。いつも出てくるのは電力事業者ばかり。つまり営業マンだ。それも「隠した」「うそをついた」「ミスをした」と謝るシーンばかりでは親しみもあこがれも持てるはずがない。研究者や技術者が夢を語りかけ、原子力の光と影をわかりやすく話し、理解してもらおうことがあっていい。

昨年、北九州市であった日本原子力学会秋の大会。新潟県中越沖地震について報告があった。一般にも参加してもらったのはいいことだ。だが、それなら日本語で話してほしかった。原子力村の言葉で「いろいろ言われるけど大したことなかった。マスコミの過剰反応」と言われて納得する村外の人はい少ない。自信がなかったり、後ろめたさがあったりするほど他人のせいにするのを普通の人にはよく知っている。地震や地質の専門家、あるいは原子力利用に慎重・反対の立場の人たちとの“対外試合”で鍛えることをお勧めする。これからの原発の海外展開をにらんでも必要になると思うが。

長く逆風下にあった原子力だが、いまは地球温暖化対策とエネルギー安定供給をうしろだてに「ルネサンス」だという。本当にそうか。欧米の動きとは対照的に国内では課題山積だ。今年は今六ヶ所再処理工場稼働、高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転再開を軸にプルサーマル、高レベル放射性廃棄物最終処分地選定、そして柏崎刈羽原発の運転再開—に厳しい目が向く。対応を間違えれば流れは一気に変わる。国や電力事業者だけで乗り切れるほど原子力は国民にとって「安全」「安心」とは思ってもらっていない。理屈や言い訳ではなく研究者や専門家の誠意が信頼につながる。ときは春。書(知識)を手に村から出て、街を歩き、人に伝えるのも楽しいのでは。やることはいっぱいある。

栃尾 敏(とちお・さとし)



東京新聞科学部編集委員
1976年航空機部品メーカーに入社、海外営業を担当。その後、週刊誌記者、地方新聞社記者を経て82年に中日新聞社入社。主に福井県政を担当。敦賀1号機放射性廃液漏れを皮切りに美浜2・3号機、もんじゅ、JCOなど多くの原発事故を取材。2007年8月から現職。