ATOMOΣ 日本原子力学会誌 2008.2

巻頭言

1 地球温暖化時代の原子力

黒川 清

インタビュー

14 「オープンな姿勢が，信頼につながる」

四国電力 常勤顧問 太田克己氏に聞く

聞き手 石橋すおみ

四国電力は2000年から，軽微なものも含め，所内でのトラブルを全面公開しはじめた。閉鎖的な風土だった原子力部門のスタッフに，この意義をどう納得してもらうか。当時，原子力部門のトップだった同社の太田克己氏はまず，意識改革のために，ある取り組みを企画する。

時論

2 原子力安全のためナレッジマネジメントへの積極的取組みを

企業経営で使われ始めたナレッジマネジメントは，個人や組織がもつ知識を創生，蓄積，活用することによって，企業価値の創出と拡大を図ろうとするものだ。原子力分野でも，この手法を生かした取組みに国際的関心が集まっている。 松浦祥次郎

解説

19 チェルノブイリ新シェルター・プロジェクトの概要

老朽化が進むチェルノブイリ4号機のシェルター。事故後，緊急避難的に作られたこのシェルターを，新たに作り変えようとするプロジェクトが本格化してきた。新シェルターは，早ければ2011年には完成し，これから同炉を100年間，管理することになる。 武田充司

解説

24 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」

原子力を学際複合領域ととらえ，人文社会系科目を含む体系的な原子力教育研究を行う。そんな野心的な計画が，東京大学工学系研究科の原子力国際専攻を中心に始まった。

岡 芳明，班目春樹，田中 知，高橋浩之

29 リスク情報を活用した臨界安全評価に関する国内外の動向

PSAなどのリスク評価技術の向上にともない，安全規制にリスク情報を活用する検討が進んでいる。ここでは，臨界安全規制や臨界管理へのリスク情報の活用について，内外の動向を紹介する。

玉置等史，内藤俶孝，鈴木忠和，三橋雄志

35 原子力防災訓練におけるIAEAの考え方と日本の実施状況との比較

IAEAの原子力防災訓練実施要領に関するガイダンスの紹介と日本における原子力防災訓練の実施状況についての紹介を行い，双方の比較および今後の展望をまとめた。 船橋俊博，柴田高広

表紙イラスト **Honfleur** オンフルール/フランス・ノルマンディ地方

印象派の画家達が愛した小さな港町オンフルールは，16～17世紀にセーヌ河口近くの海運の港町として栄えた。モネやセザンヌ・デュフィなどがこの町を訪れ，彼らの創作意欲をそそった。

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

Short Report

40　制御棒引き抜け報告会に思う
松井一秋

連載講座　軽水炉プラント —その半世紀の進化のあゆみ（5）

41　米国および日本の軽水炉の改良研究（PWR）—シッピングポートから美浜1号機まで

潜水艦用の動力炉として開発されたPWR。WHはこれをもとに，発電炉を建設する。同社の技術支援をうけて，関西電力は三菱原子力工業とともに，美浜1号機を完成。「万博に原子力の灯」を送る。
嶋田昭一郎

連載講座　高速炉の変遷と現状（7）

46　日本の高速炉開発の歴史（Ⅱ）

1967年に発足した動燃は，高速炉の開発に着手。実験炉「常陽」に続いて，原型炉「もんじゅ」を完成させた。しかし，その「もんじゅ」は試運転中に，ナトリウム漏れ事故を起こす。
伊藤和元，小竹庄司

会議報告

52　第8回臨界安全性国際会議
三好慶典

54　先進燃料サイクルシステムに関する国際会議 GLOBAL 2007に参加して
尾形孝成

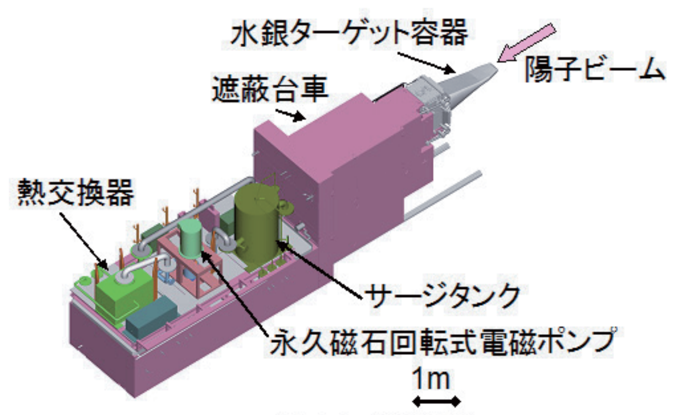
55　「軽水型原子力発電所高経年化対策研究と今後の方向」国際シンポジウムの報告
木村逸郎，土橋嘉和

機関紹介・訪問

56　日立GEニュークリア・エナジー滞在記
Shikha PRASAD

4　NEWS

●原子力委，原子力と国民・地域社会の共生で政策評価
●御前崎市議会，浜岡プルサーマル計画受け入れ
●日本原燃，新型遠心分離機の開発が最終段階へ
●J-PARC 中性子源の水銀連続供給試験に成功（下に図）
●原産協会　日韓セミナーをプサンで開催
●パグウォッシュ会議，鈴木氏を評議員に選出
●海外ニュース



中性子源の水銀循環設備

リレーエッセイ　～いろいろな視点から～

57　「塩」橘内久美／
「友たれ永く友たれ」澤村貞史

ジャーナリストの視点

59　「住民の安心と科学」
小野広司

34　From Editors
60　英文論文誌（Vol.45,No.1）目次
61　会報　原子力関係会議案内，人事公募，専門委報告，主要会務，編集後記

WEBアンケート

9月号のアンケート結果をお知らせします。（p. 58）
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 : //wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/

地球温暖化時代の原子力

政策大学院教授，内閣特別顧問
黒川　清（くろかわ・きよし）
1969―84在米。79年 UCLA 医学部教授。89年東大医学部教授，その後，東海大医学部長，日本学術会議会長他を経て現職。
＜http://www.KiyoshiKurokawa.com＞

今年のノーベル平和賞に IPCC（気候変動に関する政府間パネル）とゴア前米国副大統領を選出したのは，常に時代の象徴，時代への警告を意識した委員会の見識の伝統といえよう。去年の平和賞がグラミーン銀行とユヌス氏であったことも「社会起業家」の重要性の認識を喚起し，グローバル化の進む中の社会格差の解決へのひとつのあり方を示す高い見識を示した。

地球温暖化へ向けてクリーンエネルギー，エネルギー効率化，新技術開発，炭素排出キャッピングなどが議論され，また京都議定書への行動計画からも，世界も急速に動き始めている。

1973年のオイルショック以来，日本の生産現場のエネルギー利用効率は世界一。とはいえ日本の炭素排出はビル，住居，運輸等で大きく増えている。京都議定書へはいくつもの思い切った政策導入が必要だが，各省庁からの持ち上がり政策では国家の意志と計画は進まない。炭素排出キャッピングについても同じことが言える。はじめは抵抗していたかに見える米国も，大企業をはじめとして，10余の州が中央政府とは独自に炭素排出へ積極的政策を打ち出している。東京都でも新しい試みが導入されている。炭素取引も日本を除いて欧米で進み始めている。またもや外から規則をはめられ，日本は受動的なままで行くのか。世界第２の経済大国として，思い切った政策もなく，世界でのイニシャティブを積極的にとるつもりも，行動もできないのか。

2007年，ドイツのＧ８サミットで，この難しい時期にＧ８首脳が大きなヴィジョンに合意できたのは日本提案「CoolEarth 50」。国際社会では高く評価されている。2008年，日本はＧ８ホスト国であり，どんな具体的な政策を出してくるか，世界が注目している。だが，07年11月現在になっても，何のサインも見えない。

炭素排出のない原子力発電に世界の注目が集まるのは理解できるが，日本ではまだまだやれることは多い。政治，企業，行政，学者などがそれぞれの役割を遂行し，政治の強いリーダーシップの元で，世界第２の経済大国にふさわしいグローバル時代の責任を果たす必要がある。世界のお手本になるような大きなヴィジョンであり，そこへのロードマップを示し，行動で示し，世界に協力を呼びかけることである。

原子力については，最近の地震と原子力発電所での対応をみていても，後付けの理由はいろいろ言うものの，世界が見ているという意識に欠けがちなことが散見された。日本は世界に冠たる地震大国である。建設，維持，リスク，廃棄物処理等のコストを考えれば，低炭素社会へ向けてやれることはまだまだいくらでもある。核廃棄物にしても，「巨大」島国の米国でさえ，埋蔵場所がまだ決められないでいることをどれだけの人が知っているのだろうか。地震大国の日本ではどうなのか。

低炭素社会へ向けて日本以外の先進国の動きは加速する様相を示し始めている。クリーン，グリーン技術では，日本が世界に貢献できるところは大きい。米国での原子力発電も日本の貢献が必要なのである。これらの日本の技術こそが，地球規模の地球温暖化という大きな課題を世界が背負い込んだ認識が広まった今こそ，大いに活用して世界へ貢献し，これが日本経済の成長エンジンとなり，また外交，開発援助への最大に有効な手段，したがって，安全保障の根幹になりうることを認識すべきである。国内では地域ごとのエネルギー自立，環境維持への政策誘導こそが，地方活性化にも有効な１石２，３鳥であることを認識したい。

21世紀に入って，産業と経済社会構造は今までとは違うパラダイムで動き始めている。国内政策もこれに対応した変化が求められている。日本の多くの技術では優れているが，それを十分に生かしきれる企業，国家の政策に戦略的思考と能力がかけてはいないか。科学者は，この学会は何をするのか，これが問われている。

（2007年 11月13日 記）

時論

原子力安全のためナレッジマネジメントへの積極的取組みを

(財)原子力安全研究協会　顧問　松浦 祥次郎

気がかりなこと

現在ではたいていの場合，国際場裏で何かが問題になりますと，ほとんど同時に国内でも問題とされるのが普通です。しかし，国際的に大きい問題として議論されていても，国内的にはあまり関心を呼ばないことが時々あります。以前,「セーフティ カルチャー」の重要性がチェルノブイリ事故(1986年)直後に国際的に大きく取り上げられましたが，それが「安全文化」としてわが国で大きな関心を呼ぶようになり，具体的対処がなされるようになったのはJCO事故(1999年)以後のことでした。原子力分野でのナレッジマネジメント(知識管理)の重要性が数年来，IAEAやOECD/NEAでしばしば議論になってきていますが，国内的にはこの問題の重要性や範囲の大きさに比べて，かなり限られた範囲でしか関心を持たれていないのが気がかりです。

国際的な問題がわが国に至る場合はまず外国語で入りますが，その語感や訳語が人々の感性に違和感を覚えさせるときにはその本質の理解や問題対処への着手に心理的障壁ができるかのようです。安全文化がそのようでしたが，ナレッジマネジメントもその例かもしれません。しかし，今のまま放置するには重要性が大きいと懸念します。

ナレッジマネジメントの手法は，もともとは経済・経営分野で取り上げられたもので，企業活動に関連する諸々の知識を経営上の重要な資源と位置づけ，その創生，蓄積，活用によって企業価値の創出，拡大を継続的に図ろうとする理論的かつ実践的手法です。原子力分野でこの手法に関心が向けられるようになってきたのは2000年前後からのようです。スリーマイル島事故，チェルノブイリ事故などの影響から生じた1980～90年代の逼塞状態から，この数年来ようやく脱し始め，「原子力ルネッサンス」とも呼ばれる潮流を見るようになりました。この潮流の今後の展開を長期に確実なものとする上で，ナレッジマネジメントが重要で実効的な手法であるとの認識が国際的に広まったことによると理解しています。

国際的な動き

原子力安全確保に関するIAEAやOECD/NEAの会議，あるいは筆者がこの4年間メンバーとして参加していたIAEAのINSAG(国際原子力安全グループ)の会合で，現在の状況を勘案して世界共通問題と常に指摘されているのは，すでに広く認識されている以下のような問題です。

・過去半世紀に原子力利用に関する膨大な知識・経験が世界に蓄積されているが，その消滅を防ぎ，次世代に伝え，活用するにはどうするか。
・現在の原子力事業は，1980年代以前に原子力界に入った熟達者によって支えられている部分が極めて大きい。間もなくその人達が一時に大量に引退する。その人達の知識・経験を消滅させず，どのように次世代に継承するか。
・原子力エネルギー利用の拡大に応じて，次世代をどうリクルートし，どう教育・訓練するか。
・原子力利用の経験が少ない国々が，新規に原子力エネルギー利用に参入するに際して，そのインフラストラクチャー整備をどう支援するか。
・原子力界は安全確保において一蓮托生の状況にある。世界のどこかで懸念すべき事故が発生すれば，その影響は直ちに世界に広がる。このような状況において，安全情報を世界で共有するにはどうするか。
・今後の原子力利用展開には外部ステークホルダー(原子力の利用決定や実施への関与は限定的であるが，その結果による直接的あるいは心理的影響を受ける人々)の繰り込みが不可欠である。そのための情報共有をどうするか。

IAEAはこれらの問題へ対処する最も実効的な手段としてナレッジマネジメントの活用を提唱しました。これは2002年と2003年のIAEA総会の決議に採択され，2004年にはIAEAとフランス原子力庁共催のナレッジマネジメントに関する初めての国際会議がパリで開催されました。その後，立て続けにワークショップや国際会議が開催されており，2007年10月には，わが国でもIAEAワークショップが開催されています。

やるべきこと

原子力の全分野についてのナレッジマネジメント・システムを構築し，運用するのは，原子力利用に関する分野の内容の広さと深さを想像するだけで気が遠くなりそうです。しかし，まず原子力安全分野の領域に関するものだけでも，ナレッジマネジメント・システムの構築に

取り掛からなくてはならないのではないでしょうか。原子力安全分野だけといっても，その仕事の広さと内容は優にひとつの新しい原子炉システムを開発するのに匹敵するくらいのものになることでしょう。とても簡単に手をつけられるものではありませんが，世界の将来を考えるとやるべき価値のある事業と確信します。

上記の国際会議やワークショップに提出された論文や議論を見ると，それぞれの国ごとに取組み振りには大きな差異があります。国レベルでかなり総合的に取り組んでいるのは未だ多くはなく，フランス，ドイツ，韓国など少数です。特定の分野で進んだシステムができている例はいくつかあるようですが，総合的システムへの取組みは想像も困難なほど大きく複雑で手が出せないのかも知れません。

しかし現在の INTERNET やコンピュータの発展を基盤にすれば決して不可能な事業とは思えません。必要な人員と資金が用意されれば十分挑戦できるでしょうし，それに値する価値を世界は享受できると考えられます。このことは，これまでのわが国で生じたほとんどの事故・トラブルの原因が「ナレッジマネジメントの欠陥」と「安全文化とコンプライアンスの不全」によるものであったこと，さらに社会的不信の原因も多くは知識伝達の不十分さと情報の透明性の低さにあったこと，それによる社会的，経済的損害の大きさを考えますと，使い易く，よく機能するナレッジマネジメント・システムは十分なコスト・パフォーマンスを発揮することができると考えられます。

例えば，現在調査が進行中の柏崎刈羽原子力発電所地震影響について，その調査結果が世界中のユーザーに使いやすいナレッジマネジメント・システムに収められ，そこに収められた知識・経験に世界のどこからでも自由にアプローチできるとなれば，世界の原子力界は当然のこと，その利益を受ける国・社会から極めて高い評価と感謝を受けるに違いありません。

日本原子力学会の役割

上に述べたナレッジマネジメント・システムは原子力に関係するすべてのステークホルダーがその利益を受けることになりますし，内容の大きさ，深さから考えても，それこそ産学官の共同事業でなくては遂行できるはずがありません。しかし，取組みを先行しているフランスやドイツの例を見ると，わが国ではやはり中心的役割を独立行政法人の日本原子力研究開発機構と原子力安全基盤機構そして大学連合が果たさざるを得ないと考えます。それに他の関連組織や企業が支援する体制を組織しなくてはなりません。原子力学会が他の関連学会と連携して，その間の調整役を果たすことが望まれます。ひとつの小さなモデルとしては，かつて日本の核データファイル JENDL を構築したときの仕組みが参考になるように思われます。核データファイルとその維持・運営は小型のナレッジマネジメントと考えられます。

（2007年 12月 5 日 記）

松浦祥次郎（まつうら・しょうじろう）

京都大学大学院工学研究科修了。日本原子力研究所（現：日本原子力研究開発機構）理事長，原子力安全委員会委員長を経て，現職。

News

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。

原子力委，原子力と国民・地域社会の共生で政策評価

原子力委員会は2007年11月20日，政策評価部会より，原子力政策大綱に示している原子力と国民・地域社会との共生に関する取組の基本的考え方の評価についての報告書を受領した。

同部会が評価の対象としたのは，①透明性の確保，広聴・広報の充実，②学習機会の整備・充実，国民参加，③国と地方との関係，④立地地域との共生の４項目。なお部会は，関係省庁，事業者，研究開発機関，地方自治体等から取組の現状等に関してヒアリングを行い，また，国民から直接意見を聴取するために「ご意見を聴く会」を愛媛県で開催。その上で，作成した報告書案に対して国民の意見募集を行い，10名の方から頂いた23件の意見を議論・検討した結果を報告書として取りまとめた。

報告書では，この４つの領域のいずれにおいても，大綱が示した基本的考え方に沿った取組が進められてきていると結論し，引き続き，大綱の基本的考え方に則って取組を進めることが適切とした。その上で，関係行政機関等に対し，その取組を一層効果的で効率的なものにする観点から，改良や改善を促す15の提言を行っている。このうち，学会等に対しては，異常事象に関する事業者等の発信情報や報道内容等に対して専門家の見解が求められる場合に，国や事業者から独立した中立的な立場から，適宜にわかりやすい解説をすることができるような窓口として原子力110番を設置するなど，体制の整備について検討することを期待するとしている。

原子力委員会は同日，報告書の内容を妥当と判断するとの委員会決定を行った。同決定では，その上で，国民の目線に立った情報発信，国，広域自治体および基礎自治体の三者の相互理解促進等の６つの課題を，喫緊に取り組むべきものとして示している。今後，原子力委員会は，毎年度決定する原子力経費についての審議等の機会に関係行政機関等の取組状況を聴取し，必要な対応を求めていくこととしている。

なお，部会では今回評価した「国民・地域社会との共生」の次に「放射性廃棄物の処理・処分」の領域を評価していく予定である。

※政策評価部会報告書および原子力委員会決定は原子力委員会ホームページ（http://www.aec.go.jp/）に掲載している。

（資料提供：内閣府原子力政策担当室）

御前崎市議会，浜岡４号機プルサーマル計画受入れを表明

静岡県の御前崎市議会は2007年11月27日に開催した全員協議会で，中部電力浜岡原子力発電所４号機（BWR，113万7,000kW）でのプルサーマル計画の受入れへの同意を賛成多数で了承した。プルサーマル計画の地元同意は，（安全協定を締結している）立地および周辺の４市（御前崎市，掛川市，菊川市，牧之原市）では初めて。御前崎市長はすでに受入れの意向を表明しており，この日の議決で最終的に市として同意することとなったもの。

御前崎市長，御前崎市議会議長らが11月29日に経済産業省を訪れ，経産副大臣や資源エネルギー庁電力・ガス事業部長と会談。プルサーマル実施了承の報告を行うとともに，高レベル放射性廃棄物の最終処分についての方策や立地地域の一層の振興を求める要望書を提出した。会談では，ウラン資源の有効活用とエネルギーの安定供給に貢献するプルサーマルの実施は必要とした上で，立地地域の実情の理解と地域住民の声を原子力政策に反映することなどを求めた。

また，12月３日には，御前崎市長，御前崎市議会議長らが中部電力本店に社長を訪ね，プルサーマル計画の受入れを表明するとともに，浜岡原子力発電

所の安全・安心や長期停止中の１，２号機の早期運転再開などを求める要請書を手渡した。これを受け，中部電力社長は，「私どもの力ある限り万全を尽くす。地元の方々の期待を裏切らないようにこれからも安全運転し，安心を感じていただけるよう努力する所存だ。」と改めて強調した。

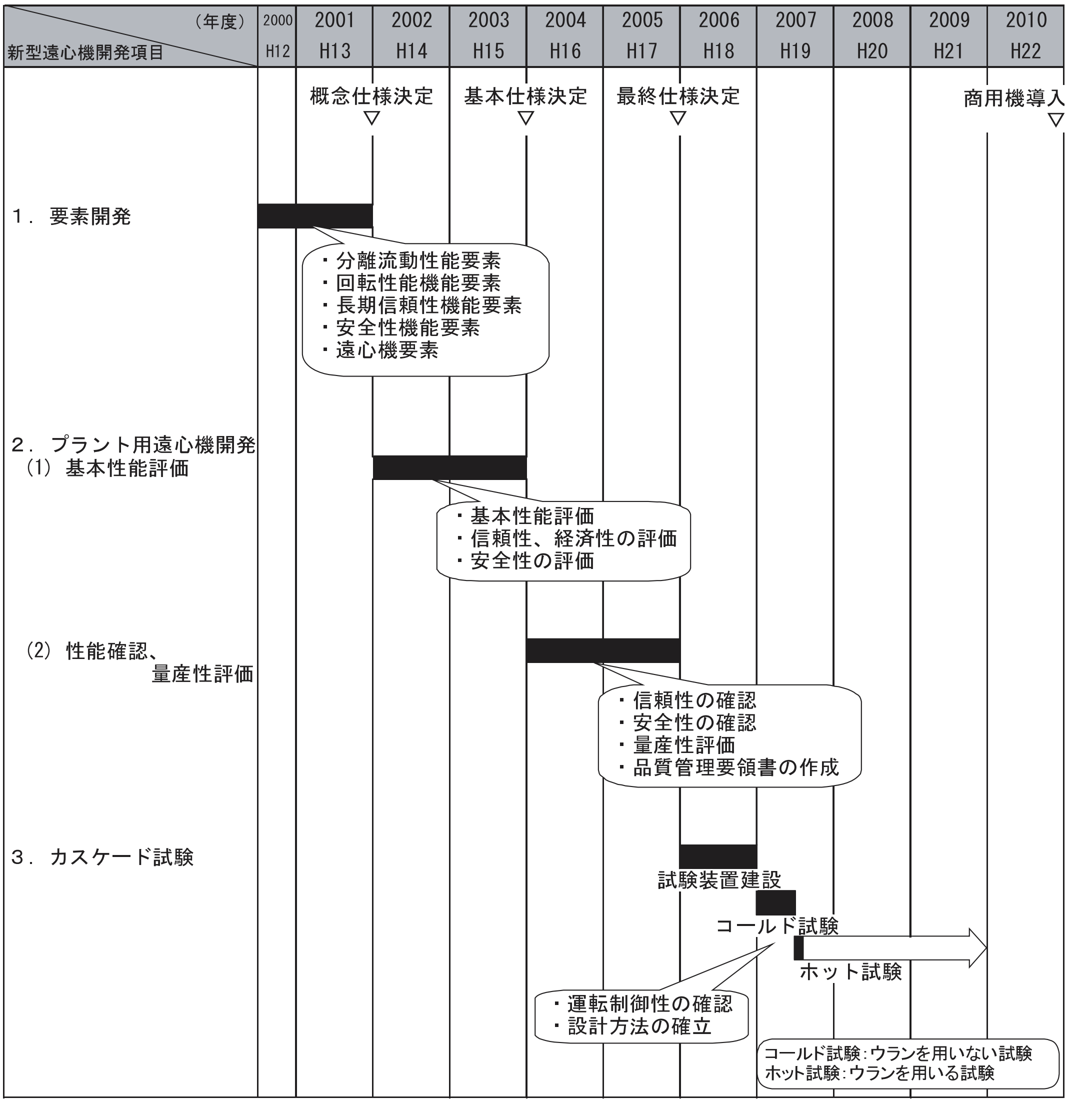
今後，中部電力は，周辺３市への理解活動を進め，2010年度のプルサーマル実施を目指す。

（資料提供：東京電力）

日本原燃，新型遠心分離機の開発が最終段階へ—ウランを使用した試験を開始

日本原燃は2007年11月12日，開発中のウラン濃縮のための新型遠心分離機を複数連結した試験（カスケード試験）の中で，実際のウランを用いて設備の運転特性や分離性能等を確認する試験を開始した。

同社は2000年から国内の技術者を集め，ウラン濃縮工場の敷地内にある研究開発棟において，既設*の遠心分離機の後継機種として国際的にみて遜色のない経済性と性能の実現を目指し，既設に比べ４～５倍程度の高い性能をもつ新型遠心分離機の開発に取り組んできた。そして，2005年３月に新型機の最



新型遠心機開発工程

終仕様を決定，2007年４月からはカスケード試験に入っている。実用化については，2010年度頃に既設の遠心分離機のリプレースによる新型遠心分離機の導入を目指し，その後，10年程度かけて年間1,500トン SWU**規模にする計画としている。

*既設のウラン濃縮工場：　1992年から青森県六ヶ所村で操業を開始し，設備を当初の年間150トン SWU 規模（１系統）から1998年までに年間1,050トン SWU 規模まで増設し運転を行ってきたが，その後，遠心分離機の停止状況や電力からの受注濃縮度などを踏まえ系統を順次停止させ，2007年11月現在は年間300トン SWU 規模で運転を行っている。

**SWU（Separative Work Unit）：　ウランを濃縮する際に必要となる仕事量の単位（分離作業単位）のこと。100万 kW 級の原子力発電所が１年間に必要な濃縮ウランの仕事量は約120トン SWU，1,500トン SWU は12〜13基分が１年間に必要とする濃縮ウランの仕事量に相当。　（資料提供：日本原燃）

J-PARC 中性子源の水銀連続供給試験に成功 ―液体金属用小型電磁ポンプを新開発

日本原子力研究開発機構（原子力機構）と高エネルギー加速器研究機構の共同運営組織である J-PARC センターは，大強度陽子加速器施設（J-PARC）内にある中性子発生用水銀循環設備に，新たに開発した永久磁石回転式電磁ポンプを設置した。これにより大容量の水銀（総量約20トン）を安定してターゲット容器に供給することが可能になった。

J-PARC の中性子源装置は，光速近くに加速した大強度の陽子をターゲットに衝突させ，核破砕によって中性子を発生させる。従来の中性子源では，固体重金属ターゲット材を用いてきたが，J-PARC で目指すような高出力ターゲットでは，固体内部で発生する熱による負荷が大きくなり，固体ターゲットの破損するおそれがあった。

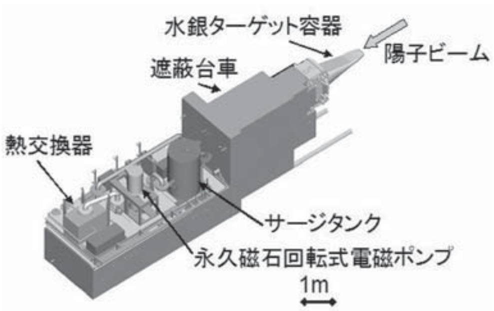
J-PARC では，ターゲット材自身が冷却材として機能する水銀をターゲット材として用いる方式を採用した。この方式を可能とする循環設備には，放射化した液体水銀を封じ込めた状態で，ターゲット容器に安定して供給することが求められていた。電磁ポンプは水銀と外部との接点がないため水銀の漏洩の懸念は低いものの，効率が悪く，ターゲットの冷却に十分な流量を確保することが困難だった。

原子力機構は，助川電気工業（株）と共同で，小型で高効率の永久磁石回転式電磁ポンプを開発した。新開発の電磁ポンプは，世界最高クラスの磁場強度を持つ実用永久磁石を用いており，また水銀流路の寸法と形状を最適化したことで，小型化と十分な流量の確保の両立を可能とした。

新開発の電磁ポンプは，その特長から，溶融金属の駆動用ポンプとして，自動車のエンジン製造に用いるアルミ合金の鋳造用ポンプ等，一般産業への利用も期待される。

（参考：http：//www.jaea.go.jp/02/press2007/p07110101/index.html）

（資料提供：日本原子力研究開発機構）



中性子源の水銀循環設備

原産協会　日韓セミナーをプサンで開催

日本原子力産業協会（原産協会）と韓国原子力産業会議は，2007年10月29，30日の両日，韓国の釜山（プサン）で第29回日韓原子力産業セミナーを開催，日本からは，服部拓也・原産協会理事長を団長に，電

力，メーカー，研究機関等の専門家27名からなる代表団が参加した。

同セミナーには，韓国からは170名に及ぶ原子力産業界の関係者が参加，開会セッションでは，韓国水力原子力会社の金鐘信（キム・ジョンシン）社長が「韓国の原子力産業の現状と展望」と題して基調講演を行った。金社長は，韓国がいまや世界第６位の原子力発電国に成長したことを強調したほか，2006年の原子力発電の設備利用率は92.3%と2000年以来，７年連続で90%を超えていると指摘。韓国最初の原子力発電所である古里１号機が初臨界以来，30年を経過し，現在，運転継続の許可申請中で，年内には安全審査が終了する見込みだと述べた。

セミナーでは，原子力プラントの建設や人材養成，次世代型原子炉などをテーマにしたセッションでの発表や討論が行われた。日本からは，東京電力が柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の影響と耐震設計などについて講演した。

代表団は，セミナー終了後，斗山重工業・昌原工場，蔚珍原子力発電所，中低レベル放射性廃棄物サイトを視察した.　（資料提供：日本原子力産業協会）

２月に柏崎市で「地震国際シンポ」を開催

日本原子力産業協会，日本原子力技術協会，電力中央研究所は，３機関共催で，2008年２月26，27日の２日間，新潟県柏崎市で「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」を開催する。

昨年７月の新潟県中越沖地震の際，柏崎刈羽原子力発電所が被害を受けたことに関して，このシンポでは，原子力発電所の耐震安全性・信頼性向上を図るため，設備の維持・管理および運転管理について技術的知見を集約するとともに，その知見を立地地域をはじめ国民の理解に役立ててもらうことを狙ったもの。同シンポジウムでは，地震の影響を受けた機器の健全性評価，地盤変状の影響と対策，防災・火災防護に焦点を当て，国内外の専門家が一堂に会し，一般の参加を得て開催する。

（資料提供：日本原子力産業協会）

パグウォッシュ会議，鈴木達治郎氏を評議員に選出

すべての核兵器を廃絶し，究極的には，国際紛争を戦争以外の手段で解決することを願って設立された科学者の集まりである「パグウォッシュ会議」は2007年10月，イタリアのバリで年次大会を開催し，新会長にジャヤンタ・ダナパラ元軍縮問題担当国連事務次長を選出した。また27人いる評議員の一人に，東大公共政策大学院客員教授で本誌編集顧問でもある鈴木達治郎氏を選んだ。

パグウォッシュ会議は，1955年に発表されたラッセル・アインシュタイン宣言がきっかけとなって，1957年世界各国の22人の科学者がカナダの漁村パグウォッシュ（Pugwash）に集まり，核兵器の危険性，放射線の危害，科学者の社会的責任について討議を行ったことが始まり。第１回会議には湯川秀樹氏，朝永振一郎氏らが参加するとともに，同じ年の秋にはパグウォッシュ会議日本グループが発足した。また1995年にはその活動が評価されて，同会議と当時の会長ロートブラット氏が，ノーベル平和賞を受賞している。

なお新しく評議員になった鈴木氏は，東大で原子力工学を，米国マサチューセッツ工科大学（MIT）大学院で技術と政策を専攻。MITエネルギー環境政策研究センターなどを経て，現在は，（財）電力中央研究所研究参事，および東大大学院で客員教授を務める。専門は原子力政策，エネルギー環境政策，科

右から３番目が新会長のダナパラ氏，２番目が鈴木氏

学技術政策。なお同氏は1998年から，日本パグウォッシュ会議のメンバーとして活動に参画している。

また新会長となったダナパラ氏は，スリランカ政府の外交官として，スイス大使や国連大使，在米大使を歴任。1998年から2003年までは国連事務次長として軍縮問題を担当した。

海外情報　（情報提供：日本原子力産業協会）

［国際］

IAEA が2030年の原子力見通し—設備容量は大幅拡大するが，シェアは低下

国際原子力機関（IAEA）は2007年10月23日，世界の原子力発電開発の現状と今後の見通しを取りまとめ，「世界の原子力発電設備容量は，控えめに見積もっても2030年には4億4,700万 kW に達するが，原子力シェアは若干低下する」との予測を明らかにした。

IAEA は2030年までの原子力発電見通しを，①原子力ルネサンスが着実に進展，②新規導入を検討する諸国には国際協力の枠組みで導入支援，③地球温暖化への懸念が高まる——と仮定した「高成長ケース」と，①OECD 諸国での経済成長率が低い，②反原子力の世論により各国政府が原子力オプションを断念，③原子力の新規導入を検討する諸国で導入計画が頓挫——とした「低成長ケース」の2ケースに分類して検討。

具体的には，低成長ケースでは「現時点で建設中の原子力発電所が，すべて運開する」ことのみを想定，高成長ケースでは「建設中の原子力発電所に加え，ある程度確度の高い新規建設プロジェクトも実施される」と想定した。そして，2006年には3億7,000万 kW だった原子力発電設備容量が，2030年には低成長ケースで4億4,700万 kW に拡大。高成長ケースでは6億7,900万 kW に拡大すると予測した。いずれのケースでも，運転寿命の終了に伴う廃炉が考慮されている。

また，2006年には17兆5,250億 kWh だった総発電電力量が，2030年には低成長ケースで25兆7,850億 kWh，高成長ケースで38兆6,020億 kWh に拡大すると予測されている。そのため，2006年に15.2％だった総発電電力量に占める原子力シェアは，2030年には低成長ケースで12.9％，高成長ケースで13.3％となり，いずれも低下傾向にある。

2006年から2030年にかけた原子力シェアの変化を地域別に見ると，今後，原子力シェアが大幅に拡大するのは，東欧地域（17.8％→低成長ケースで23.0％，高成長ケースで19.9％）と中東および南アジア地域（1.6％→6.4％，9.2％）。逆に大幅に縮小するのは，西欧地域（29.1％→14.5％，21.1％）だという。

OECD/IEA が2007年版世界エネルギー見通し，中印と政策連携を提言

OECD の国際エネルギー機関（IEA）は2007年11月7日，『2007年版世界エネルギー見通し』を発表した。IEA が2006年版の同見通しで強調した，新規原子力発電所建設の加速に関する重点姿勢は鳴りをひそめ，中国・インドでのエネルギー需要拡大への対応に焦点を絞った内容となっている。

IEA は，「世界の1次エネルギー需要は，各国の政策が変わらない限り，2030年までに55％の増加（2005年比）を示す」と予測。増加分のうち半分近くは中国とインドが占めるとした。そして，供給を確保するためには，2030年までに世界全体で22兆ドルもの供給インフラ向け投資が必要と試算した。

世界の石油需要は，2006年の日量8,400万バレルから，2030年には日量1億1,600万バレルへ37％増。必要な投資が実施されれば，新規油田が今後5年間増加するとしながらも，「それが既存油田の生産減少を補い，予測される需要増を満たせるかどうかは不透明」と指摘。2015年までに供給が逼迫し，石油価格の急騰を招く可能性もあるとの見方を示した。

一方，世界の石炭需要は，2030年までに2005年比73％に増加。石炭の増加分の5分の4は，中国とインドが占めると予測。OECD 諸国の石炭需要はわずかな増加にとどまるが，増加の大半は米国が原因となるとした。ただし，石炭の需要見通しは，相対的な燃料価格，各国政府の電源ミックス，気候変動等に関する政策，クリーン石炭発電の開発等に大きく依存すると分析。石炭火力の発電効率向上は発電

単位あたりの石炭使用量を減少させるが，他の燃料に対する石炭の魅力を高め，結果として石炭需要の増大につながるだろう，と予測している。

また，世界のCO_2排出量は，2030年までに2005年比で57%増加し，米国・中国・ロシア・インドの4ヶ国だけで増加分の3分の2を占めると指摘。2007年には米国に替わって中国が世界最大のCO_2排出国となり，インドは2015年前後に世界第3位のCO_2排出国となる，と予測。排出量削減には，省エネ，原子力，再生可能エネルギーが大きく貢献するとしながらも，長期的方策としてはクリーン石炭技術の普及拡大に大きな期待を寄せている。

そしてIEAは，エネルギー・セキュリティや気候変動などエネルギーをめぐる世界的課題に取り組むには，各国の共同行動が重要と強調。IEA加盟国は中国・インド両国とエネルギー政策を協調させ，石油の緊急時対策の強化や，クリーン石炭技術の開発促進に向けた財政支援のメカニズムを強化する必要があるとし，IEA加盟国に対し，より一層の財政負担を求めている。

PIME 2008，今年2月にプラハで新広報ツールを検討

今年2月に開催される原子力広報に関する国際会議「PIME2008」で，ウェブサイトを使った新しい広報ツールについて検討することが明らかになった。

PIMEは，欧州原子力学会の主催で毎年開催され，各国の原子力機関からPA担当者が集い，原子力の広報手法について意見交換をするもの。

PIME2008では，ポッドキャスト（インターネットTVやインターネット・ラジオ）やブログ等を利用した新しい広報形態に焦点を当て，ワークショップを開催する。

最近のインターネットツールの進化は著しく，海外では原子力機関がブログを開設し，コメント欄を通してウェブ上で討論を実施していることも多い。また個人レベルでの原子力関連ブログも数多く存在し，プロ顔負けの情報収集力を誇り，原子力を推進する立場から論説を展開する「原子力ブロガー」なる人々も存在する。

また近年増加している，ポッドキャストの手法も画期的だ。ポッドキャストは個人レベルでも開局できる放送局のようなもので，ユーザーはネット環境にあるパソコンから，気に入ったポッドキャストに登録する。以降は番組が更新されるたびに，自動的にユーザーのパソコンに取り込まれていく仕組みだ。

もちろん，こうしたインターネットツールは，ネット環境にない人々にはまったく効果はないが，ネット環境が当たり前になっている若年層には大きな効力を発揮するだろう。逆にいえば，ターゲットを絞った原子力広報ができるということだ。

仏アレバ社が2007年6月，セカンドライフ（インターネット上の仮想空間）で学生を対象に就職セミナーを開催したが，3日間で約700名が来訪したという。

PIME2008は，今年2月10日から4日間，チェコのプラハで開催される。

［米国］

TVAがコンソーシアムでベルフォンテ・サイトにCOLを申請

テネシー峡谷開発公社（TVA）は2007年10月30日，米国で2番目となる建設・運転一体認可（COL）を，アラバマ州のベルフォンテ・サイトを対象に，原子力規制委員会（NRC）へ申請した。採用炉型はAP1000で，2基を建設する。早ければ2011年にもCOLを取得する見込みだ。これはTVAが，ニュースタート・エナジー・デベロップメントの一員として申請したもの。

COLを取得した段階でTVAは，①自社のみで建設する，②他社と共同で建設する，③COLを他社へ売却する，④計画を凍結するの4つのオプションを持つことになる。

ニュースタートは，原子力発電所の新規建設に向けた新しい許認可プロセスの実証を目的として設立されたコンソーシアムで，TVAのほかにコンステレーション・エナジー，デューク・エナジー，EDFインターナショナル・ノースアメリカ，エンタジー・ニュークリア，エクセロン・ジェネレーション，フロリダ・パワー＆ライト社，プログレス・エナジー，サザン・カンパニー，SCANA社，GEエナジー，ウェスチングハウス社が参加している。

ニュースタートは，2002年に米エネルギー省

(DOE)が発表した『原子力発電2010プログラム』を受け，2004年に発足。ベルフォンテ・サイトにウェスチングハウス社製 AP1000を，グランドガルフ・サイトに GE 製 ESBWR を建設することを目標としている。

グランドガルフ・サイト(ミシシッピ州)への建設プロジェクトは，エンタジー社が主導しており，すでに2007年 3 月に事前サイト許可(ESP)を取得済み。COL は2008年の申請を予定している。

米科学アカデミー，再処理より新規炉建設拡大を提案

米科学アカデミーの検討委員会はこのほど，「米国は先進的再処理技術の開発よりも，新規原子力発電所の建設を加速させるべき」とした報告書を発表した。

同委員会はエネルギー省(DOE)の要請により，DOE の原子力研究開発プログラムを検討。DOE が掲げる国際原子力エネルギー・パートナーシップ(GNEP)について，国際的なパートナーシップの構築に関しては言及を避けたものの，「先進的再処理技術の開発・実証は時期尚早で，事業規模での再処理施設建設の見通しが立たない」と結論。また，再処理によって高レベル廃棄物を減容させる必要があるとする DOE の主張について，「その必要性を議論するにあたり，十分な検討がなされていない」と指摘した。

一方で委員会は，新規原子力発電所(軽水炉)を2010年までに建設するとした『原子力発電2010プログラム』を取り上げ，新規炉建設実現へのスケジュールが遅れていることは否めないと指摘。同プログラムへの予算をさらに強化し，スケジュールを加速する施策を講ずるべきだと強調した。

新規炉建設で融資保証論争 ―ミュージシャンらが反対，NEI は「事実に反する」

米国で2007年10月，ミュージシャン(ジャクソン・ブラウン，グラハム・ナッシュ，ボニー・ライトら)が反原子力団体と連携し，新規原子力発電所建設プロジェクトへの政府の融資保証に反対するキャンペーンを実施。米国のマスコミがそれを無批判に報道し，話題となった。

エネルギー省(DOE)が同月に発表した「融資保証プログラムの最終規則」では，建設プロジェクトの全コストの最大80%までが保証される，と定められた。ミュージシャンらは従来通りの反原子力の主張に加え，融資保証プログラムを取り上げ，「新規原子力発電所の建設のために，無制限に国民の税金が投入される」と誤った事実認識に基づいて反対している。

なお米原子力エネルギー協会(NEI)の R・マイヤーズ副理事長(政策担当)は，「ミュージシャンらの主張は，事実誤認，単なる嘘で塗り固められたもの」と一蹴し，新規炉建設を促進する融資保証に反対することは，以下の 5 点から誤っていると分析している。

(1) 消費者の利益に反する。融資保証があればこそ，建設コストを安く調達し，原子力発電所がより安い電力を提供することができる。そのため融資保証に反対することは，一般の電力消費者や，商業，産業部門の電力利用者を苦しめることになる。

(2) 地球温暖化防止に反する。米電力研究所(EPRI)は，電力部門の CO_2排出量削減のためには，省エネ，CO_2回収・貯留，クリーン石炭火力，再生可能エネルギーに並んで，原子力発電利用が不可欠であることを示している。

(3) 雇用確保と労働者の利益に反する。米国の労働者も融資保証の恩恵を受ける。新規原子炉 1 基を建設すると，建設時には平均1,400～1,800人分の雇用(ピーク時は2,400人に達する)，運転時には400～700人分の常勤雇用を創出し，さらに原子力発電所の従業員の生活を支える財・サービスを提供するために400～700人の雇用(カーディーラー，ドライクリーニング，スーパーマーケットなど)を地域社会にもたらす。これらの数字を裏付ける多くの経済分析が行われている。

(4) 製造業の利益に反する。米国の製造業者も，融資保証の恩恵を受ける。新規炉の建設によって，コンクリートや鉄鋼，さまざまな構成機器といった物資の需要が創出される。新規炉 1 基あたり，約10万立方ヤードのコンクリート(世

界第2位の高さを誇るシカゴ・シアーズタワーの基礎と床版に使用されたコンクリート量の5倍)，6万6,000トンの鉄鋼，44マイルの配管，300マイルの配線，13万点の電気関連構成機器が必要になる。

⑸ 経済成長を阻む。米国で新規炉を建設しない場合，電力供給の安定性を確保し，経済成長を持続させるためには，より多くの天然ガス火力発電所の建設が必要になる。その結果，天然ガスの供給は逼迫し，価格は高騰し，化学関連産業などにさらに打撃を与える。現に近年の天然ガス価格高騰に伴い，化学産業では，この5年間に10万人の雇用の機会が海外に流出した。住宅所有者にとっても，暖房に必要なガス価格が上昇する。

エクセロン社，テキサス州にESBWRを選定

米国最大の原子力発電事業者であるエクセロン社は2007年11月12日，同社がテキサス州で計画している新規原子力発電所建設プロジェクトの採用炉型として，GE日立ニュークリア・エナジー社製のESBWRを選定した。

ESBWRはAP1000(ウェスチングハウス社製)とともに，ニュースタート・エナジー・デベロップメント(新規建設に向けた新しい許認可の実証を目的とするコンソーシアム)とエネルギー省(DOE)が『原子力発電2010プログラム』で支援対象としている炉型だ。そのためコンソーシアムのメンバー企業であるエクセロン社は，コンソーシアムが実施する建設・運転一体認可(COL)申請作業を，テキサス州での自社プロジェクトに応用することが可能となる。

エクセロン社は2007年6月，テキサス州の2地点，マタゴルダ郡，ビクトリア郡をCOL申請対象候補サイトとして発表。2008年11月をメドに原子力規制委員会(NRC)へCOLを申請する考えで，最終的なサイト選定を目指し，両サイトで実地調査を開始している。並行して，両サイトおよび周辺地区を対象にPA活動も実施している。COL申請作業コストは，計2,300万ドルと試算されている。

テキサス州では，原子力発電が長期的な解決策として注目を浴びており，テキサス州のサイトを対象としたCOLは，すでにNRGエナジー社が2007年9月に申請。TXU社も2008年をメドに申請する方針を表明している。

エクセロン・ニュークリア社のT·オニール副社長(新規プラント担当)は，「テキサス州では新たに2,400万kWの発電設備が必要となる」と指摘。原子力発電は安全かつクリーンな低コスト電源であり，エネルギー自立を目指すテキサス州の電源ミックスの中で重要な役割を果たす，とテキサス州への原子力発電所新設に向けて強い意欲を示した。

ただし，オニール副社長は，エクセロン社としては実際に原子力発電所を新規建設する決定を下したわけではない，と強調。バックエンド問題，原子力発電所の新設に関するPA問題などの解消に加え，新型炉の経済性が保証されるまでは建設決定を下すことはない，との従来からの主張を繰り返している。

NRC，ドミニオン社のノースアナサイトに事前サイト許可を発給

米原子力規制委員会(NRC)は2007年11月20日，ドミニオン社が申請していたノースアナ・サイト(バージニア州)を対象とした事前サイト許可(ESP)を発給した。

ドミニオン社は2003年9月，既存のノースアナ原子力発電所(PWR2基)にESBWR1基を増設することを目指し，ESPをNRCに申請していた。今回のESP発給は3件目で，NRCはこれまでにエクセロン社(クリントン・サイト)とエンタジー社(グランドガルフ・サイト)のESPを発給している。

ほかにも現在，サザン・カンパニーがA·W·ボーグル・サイト(ジョージア州)を対象としたESPを申請している。

ESPの申請は，①サイトの安全解析，②環境影響調査，③緊急時対応計画の3つで構成されている。NRCによる検討手続きの各段階で，連邦政府だけでなく，州政府，地元自治体，一般市民が審議に参加できる機会が与えられている。

電力会社はESPにより，原子力発電所建設を決断する前にサイトの承認を取得することができる。建設プロジェクトに実際に資金を投入する前に，当

該サイトが原子力発電所を建設する上で適切かどうかという問題がすべて解決されることになる。

ESP は20年有効。電力会社は ESP と建設・運転一体認可（COL）を組み合わせることで，原子力発電所建設の決断から運開までのリードタイムを大幅に短縮することができる。ドミニオン社は2008年末までに，ノースアナを対象とした COL も申請する予定である。

［リトアニア］

共同建設プロジェクトで環境影響評価実施へ

リトアニアの環境省はこのほど，建設を計画している新規原子力発電所の環境影響評価プログラムを承認した。同プログラムはフィンランドのコンサルティング会社，プーリ・エナジー社とリトアニア・エネルギー研究所が策定したもので，両者は今後21ヵ月かけ，環境影響評価を実施する。

環境影響評価では，複数の建設候補サイトや炉型の検討に加え，建設計画の白紙撤回というオプションも検討される予定だ。

リトアニアの新規建設プロジェクトは，4ヵ国の共同建設プロジェクト。既存のイグナリナ原子力発電所サイト近郊に160万 kW 級原子炉を2基建設するもので，2015年の初号機運開を目指している。建設コストは220億リタス（64億ユーロ）と試算されている。これはリトアニアの年間予算に匹敵し，同国独立以来，最大のプロジェクトだ。

ただし参加各国の出資比率をめぐり，調整は困難を極めている。当初計画していた「立地国であるリトアニアが34%，エストニア，ラトビア，ポーランドが22%ずつ」との目算は，ポーランドが出資比率の33%への拡大を要求しているため，決着がついていない。

リトアニアのキルキラス首相は，「リトアニアが必要としている原子力発電設備容量は100万 kW。エストニアとラトビアが50万〜60万 kW ずつ。ポーランドが100万〜120万 kW だろう」との見通しを示している。

環境影響評価の結果，計画通りに160万 kW 2基が建設できないと判断された場合，出資比率をめぐって参加各国間でさらに軋轢が生じそうだ。

［イタリア］

「原子力は危険」との政府見解は変わらず

イタリアの経済発展省の A·ジャンニ次官はこのほど，イタリア国内で原子力発電の再開を求める声が出ていることに対し，「1987年の国民投票結果は，そうやすやすと覆せるものではない」と指摘。「原子力発電は危険である」という従来からの政府見解に，揺るぎはないことを明言した。

イタリア国内では最近，ミラノ市営エネルギー会社 AEM の G·ズッコリ会長が，政府に対して原子力発電プログラムの迅速な再開を要求している。

ズッコリ会長は「原子力発電は危険で高コストだという誤った思い込みを捨てるべき」と指摘し，イタリア北部での原子力発電所1基の運転再開と同3基の新規建設を提案していた。

これに関連して次官は，「原子力発電は建設/廃止措置/廃棄物管理といずれも高コストで，問題外だ」と強調。「太陽電池などの再生可能エネルギーに注力すべきだ」との見解を示した。ただし次官は，「次世代炉開発への参画は例外」としている。

［エジプト］

大統領が原子力発電導入を正式発表

エジプトのH·ムバラク大統領は2007年10月29日，原子力発電開発プログラムに着手することを正式に発表した。具体的には，「原子力発電導入に向けた上級審議会」を設置し，検討を開始する。なお米国は，即座にエジプトの原子力導入を歓迎するコメントを発表している。

大統領は，エネルギー源を多様化させることにより，石油やガス資源を将来世代のために維持させると指摘。同国初となる原子力発電所の導入について，エネルギー・セキュリティの観点から，「原子力発電は国家の安全保障を担う重要な一要素」とした。

そして，諸外国の協力や国際原子力機関（IAEA）の支援を仰ぎながら，核不拡散の観点から透明性を持った枠組みの中で，初号機を運開させる意向を明らかにした。

建設する基数や炉型，着工時期などの詳細については，一切言及されていない。また，今回の大統領の発表が，与党党大会の数日前というタイミングであったことから，「国威発揚のためのプロパガンダではないか？」と疑問視する向きもある。今後，新年度予算案に原子力発電導入関連予算が盛り込まれるかどうかが，大統領の“本気度”を測る指標となりそうだ。

エジプト原子力庁は2基の研究炉を所有・運転しており，20年以上前からエルダバ原子力発電所（PWR，93万6,000kW×2基）の建設計画を掲げている。IAEAが2005年2月に発表した報告書も，「エジプトの原子力研究開発は，核兵器開発およびウラン濃縮を目的としていない」と結論している。なおエジプトは，NPTに加盟している。

［中 国］

台山にEPR建設へ―仏アレバ社，原子炉供給等で中国側と合意

中国を訪問中のフランスのN･サルコジ大統領は2007年11月26日，胡錦濤国家主席と首脳会談を開催。サルコジ大統領にはアレバ社のA･ローベルジョンCEOら仏財界首脳も同行し，両国は原子力，航空関連などの分野で計300億ドル相当の大型契約を締結した。

原子力分野では，アレバ社は広東核電集団（CGNPC）と第3世代炉2基の供給で合意。建設地点は広東省台山サイトで，EPRを2基建設するという。アレバ社側は両機向けの燃料についても，2026年まで供給を保証する。両国は，同サイトに建設される原子力発電所を運転する合弁会社を設立することでも合意。フランス電力公社（EDF）が30％を出資する。

また，アレバ社が2007年7月に買収したウラミン社の35％株式を，CGNPCが取得することも決まった。ウラミン社はアフリカに権益を持つウラン探鉱会社。

一方，アレバ社と中国核工業集団（CNNC）は，ジルコニウム分野の合弁会社を設立。中国での再処理工場建設も視野に，フィージビリティ・スタディを開始する計画だ。

アレバ社とCGNPCはこれまで，広東省陽江サイトにEPR×2基を供給することで基本的に合意していた。しかし同サイトは，国務院の承認が得られないまま整地された状態でペンディングされており，現在ではEPRではなくCRP1000（フランス製ベースの中国国産炉）の建設サイトにすり替わっている。

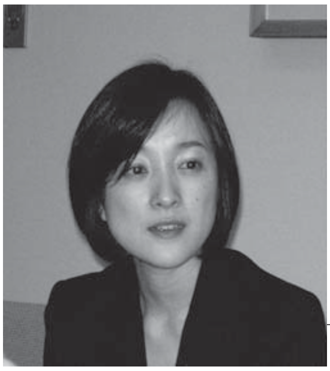
今回の台山サイトも国務院の承認は得られておらず，先行きは極めて不透明だ。

インタビュー

「オープンな姿勢が,信頼につながる」

四国電力(株) 常勤顧問　太田克己氏に聞く

ひと昔以上前の電力会社は，今ほど情報公開に熱心ではなかった。四国電力常勤顧問の太田克己氏は，「当時の原子力業界にはややもすると，不都合な情報の公開には消極的という文化があった」と述懐する。そして1999年，四国電力は地元との安全協定を改訂し，所内で起きた正常ではないことがらを全面公開することになる。同氏は「当初は，これは大変なことになったと思った。ともあれ，まずはその意義を納得してもらうために，階層をなくしたフラット活動である『伊方ネット21』を始めた。この活動が定着していくとともに，協力会社を含めた一体感と，透明性に対する意識改革が進んだ。それがひいては，地元やマスコミからの信頼を得ることにつながった」と，説明する。四国電力が2000年から取り組んできた意識改革の経緯と，それがめざしたことがらについて，話を聞いた。



太田克己　氏
昭和41年に京都大学大学院工学専攻修士課程修了後，四国電力に入社。原子燃料部長，取締役原子力本部副本部長伊方発電所担当，取締役副社長原子力本部長を経て，平成19年６月から現職。

日本原子力学会 編集委員会諮問委員　石橋すおみ
東京電力(株)

原子力業界の風土の意識改革

石橋　太田さんは長く，原子力本部長を務められ，意識改革に取り組まれました。どのようなことに意を尽くされましたか。

太田常勤顧問　８年間のうち，前半は意識改革というより，体質を変えようということに力を尽くしました。後半は，技術レベルの向上という次の課題に取り組みました。

ーその意識改革に取り組むことになった動機は何でしょう。

私は1999年６月に，原子力本部長になりました。そのころの原子力業界の体質というのは，各社とも，一言でいうたら閉鎖性が強く，ものをいわない集団だったから，会社の中でも社会からも，何となく毛嫌いされているような状態だった。

そして1999年の暮れに，社内であるトラブルが発生しました。これを契機に，それに対応するために，地元と安全協定を改訂して，情報公開や通報連絡の内容を一気に拡大しました。具体的には，正常な状態ではないと認められる事態についてはすべて通報します，という協定に変えました。これが，意識改革に取り組むことになったきっかけです。

当時，電力各社では，自治体に通報しプレスに公表していたトラブルは，「国へ報告する義務のあるもの」で，それだと２～３年に１度ぐらいしかない。ところが，正常でないと認められる事態は年間50件ぐらいある。だから，それを全部公表し連絡するということは，大変なことになると思いましたね。

それで私たちは，どうせやるのならば，完全にオープンにしてしまおうと思ったんです。要するに外へ出て行く情報については，コントロールしないということにしました。

—この情報は出すとか出さないといった判断を介さず，すべて出すということですね。

社員も協力会社の人たちなど現場にいる人たちが，正常ではないと判断したことについてはすべて，情報を公開し，通報のルートに乗せる。そのように方針が変わったということを，まずはしっかり認識して納得してもらわなければならない。これが最初の課題でした。

現場の人たちが，意識を改革して，正常ではないすべての情報が自然に出てくるようになるためには，みんながそれを，心で納得してくれなければなりません。

階層を越えたフラットな活動を，始めた

—私も柏崎刈羽原子力発電所に4年間勤務していましたが，現場には「まず第一報」という紙が，至るところに貼ってありました。社員だけじゃなくて協力企業の人も含め，現場の方が最初に発見したことを知らせてくれるかということに，すべてがかかっているのですね。そのために，どういうことに取り組んだのですか。

地元との安全協定を改訂し，正常な状態ではないことがらはすべて報告するように変わったことを，まずはみんなに納得してもらうために，何度も発電所に行きました。幹部4，50人ほどを前にして，辻説法のように一生懸命話しました。最初のうちは，10人中9人までが，何をいっているの，というような顔をして聞いている。しかし回数が重なって5回目ぐらいになると，半分ぐらいの人間には，こちらは本気でいっているらしいということが伝わってくる。けれども，この方法では限界があると思うようになったんです。

なぜかというと，僕がしゃべる4，50人のうちの半分が理解したとする。その理解した半分の人が，彼ら自身の部下に話しても，理解する人はさらにその半分でしょう。理解しない人は決して，部下には話さないだろうから。だから，2分の1が4分の1になり，さらに関連会社，協力会社となると，こんな説法を1年間続けても，全体でいえば10人に1人ぐらいにしか伝わらないだろうと思ったんです。組織の中には，いくつもの階層がありますから。

だから，階層を越えた活動，階層をなくしたフラットな活動を，四国電力の発電所の組織内に事務局を置いて，2000年春から始めた。これに，「伊方ネット21」という名前をつけた。

これはフラットな活動だから，業務上の指揮命令というようなものはない。ボランティアで，レクリエーションなどからまず，始めたんです。この活動が，1年ぐらいでわりと根づいたので，2001年春には業務を拡大しました。

—伊方ネット21の活動を，もう少し具体的に。

大きく分けると，一つは安全文化の醸成に関するいろいろな活動で，あいさつ運動やノーミス・ノートラブルのためのいろいろな工夫や，作業環境の改善など。もう一つが，社員や協力会社の人たちを含めた一体感の醸成のためのレクリエーション活動。スポーツ大会や写真コンテスト，コンサート，芋炊きや餅つきなどです。

さらに情報の共有化のために，安全新聞「虹」を発行したり，あちこちに掲示板を作ったりした。それは，今は電子掲示板になりました。また，安全に関して地道な貢献をした人たちにスポットを当てた表彰をした。安全標語も募集し，1回あたり何百点という標語の応募が来ました。それから女性の目で，安全かどうかというのを見てもらうために，女性職員によるパトロールも始めた。

—技術系の女性職員によるパトロールですか？

いやいや，事務職の女性もやるんですよ。

—事務系の人もパトロールに参加するというのには，驚きました。上下も横も階層はすべて取り払って，みんなでやっていくということなのですね。

そうです。また，そこでは，「やらされる」という雰囲気があってはいけない。それをすることが職場のため，あるいは皆さんの幸せのためにいいんだというような，共感や評価されるようなものでなければならない。それをめざした活動を始めたら，協力会社の人たちは非常に喜んでくれた。それまでは，これをやれといわれてやって「できました」，「ああ，そうか，ご苦労さん」の一言で終わりという世界だった。それが懇親会やスポーツ大会をするようになると，そういう場で話ができるようになる。そうすると，いろいろな活動についても，ともにやっている，参画しているという喜びがあるようになって，だんだん盛り上がっていきました。

設備に点検者や保修者の人の写真を貼った

—レクリエーションのような懇親を深めるようなことと，現場の作業環境をよくするような安全活動などを全

閉鎖体質の改革なんて，無理じゃないかと思った。けれども，オープンでフラットな活動「伊方ネット21」を始めたら，みんなの意識が徐々に変わっていった。一体感が醸成され，情報公開も進んでいった。

部ひっくるめたのが，伊方ネット21の活動なんですね。

この活動に関しては，所長から掃除をする人まで，全く同じ参画資格があるわけです。そういうフラットな組織をつくったということです。

なお，この活動は，組織の横串に相当するものですが，横串でもう１つ申し上げておきたいのは，マイプラント意識の高揚です。

発電所の運営には，発電をするグループと，保修維持するという２つのグループが必要です。発電は我々の会社の当直員がやりますが，保修維持は関連会社がやったり，協力会社の人に頼んだりすることがある。そういう人たちに，自分たちが点検や保修をしたものについて，そこに名札を立てるようにしたんです。

―所属の会社名と氏名を立てて，この機器は私たちが点検しましたというふうに見せるわけですね。

これは抵抗があるかなと思ったら，逆に現場の人たちがわりと喜んでおられる。定検で，一つのバルブをていねいに保修しても，昔だったら「あ，ご苦労さん」といわれてそれっきりだったのに，「これは私が保修しました」という結果が１年間，残る。ホテルの……

―ホテルの部屋に「私がお掃除しました」って書いてありますね。

そう，あれをイメージした発想なんだけれども，それをやったら，達成感があるというんですね。今は名前だけでなく，顔写真まで貼ってあります。

これがすごく役に立ちましたね。というのは，自分がした仕事が顕在化するから，すごく愛着ができる。これらが，横串を通すような，いわゆるフラットな活動です。

一方，オープンな体質になるためには，やっぱりトップがオープンやないとあかんのね。

本音を見せる。それが信頼を生む

―はい，太田さんご自身が。

そうそう(笑)。だから，懇談会やミーティングや本部会議などのいろいろな場では，できるだけ本音でしゃべるようにした。また，そこでは所掌，いわゆる職場の壁を取れということを強調してきた。

もっとも，最初の大きな車輪がゴロリと動き始めるところまでは，結構抵抗がありました。壁があちこちに，いっぱいあった。電気や機械などの部門間の壁もあって，それぞれが，こそこそっとやっている。そんなことで，安定運転ができるわけなかろうが，ということで，みんなでそういうものをオープンにしようとしだした。そのためには，まず自分が本音で絶えず話をするしかない。

トップが何を考えているかということが，最も影響が大きいので，こちらも本音で行くしかないわね。経営者が組織面で経営者の責任として意識すべきことは，従業員の安全と事業集団のモラルなんです。この２つは，経営者が責任を持って良くしなきゃいけない。だから，自分が精一杯やっているところを見せてしまえという，そういうふうな意識でやりました。

なお原子力発電所の究極の目的は，安全に安定運転するということなので，すべてがそれに向かって活動している。それは，棒倒し競争のイメージなんです。

棒をしっかり支えて，外敵が来ても支えきる。そこでは，それぞれの役割がある。けれども，下を支えている人が，風邪をひいて力が入らないと，そこを突かれて負ける。そこが弱ければ，まわりがカバーするということが必要で，所掌を超えて仕事に協力してもらわにゃいかん。だから，壁をなくせと。

そこでは，成果主義はなじまない。成果主義というのは，壁がないと見えませんからね。壁を超えての仕事というのは数値化できない。むしろ，そういうところで，どんな協力をしたかということに関して，こちらが関心を持っているというようなメッセージを流すわけです。そういう気風に，みんながだんだん染まってきたということですね。

―太田さん自身は，情報をもっとオープンにするべきとの考えが昔からあったのですか。それとも伊方に行かれてからですか。

安全協定の改定を契機に，これまでにない情報公開をすることになった。最初に思ったのは，広報関連部隊の増強と班員の増強，組織の強化，そして通報連絡基準の見直し。これは，簡単にできる。だけど，これは，本当の意味での効果があるかどうか。だから，そういう策はとらないでおこうと。

その２年ほど前，伊方の人たちといろいろ話し合う機

会があって，彼らが本当に望んでいるのは，電力会社で働く社員の人たちのオープンな姿勢，本音ありのままの姿勢だということがわかった。

それで，どうせ情報公開をやるのなら，その情報公開とオープンな姿勢への意識改革の両方に挑戦してみようかと。もし安全協定の改定がなければ，うちもいまだに意識改革ができずにいただろうと思うんですね。

—そうすると，太田さんの思いと，知事と社長が安全協定を改定して情報公開を約束したことで，やらざるを得ないような状況になったということですね。

そう。それが，幸せな結果に結びついた。その機会をうまく利用できたんですよ。最初は，とんでもないことになるかもしらんと思って心配しましたけれどもね。

—取組みの後半は，技術レベルの向上だったということでしたが，具体的には。

うちの会社には松山に，保安研修所という教育訓練所があるんですが，そこのカリキュラムの強化と門戸の開放をやったんです。なぜ技術レベルの向上をやろうという気になったかというと，オープンになって透明性が高まったことによって，自分たちの技術レベルの弱点(もろさ)が見えてきたからなんですね。

一方，この取組みに入っていく前に，それまでの取組みで，体質が変わっていってた。地元の伊方町の人たちやマスコミ，県の人たちが，電力は変わってきた，信用できる，というようなムードになってきた。だから，そちらの方に対してエネルギーを使わなくてよくなってきた。

僕がやってきたのは内政ばかり。体質を変えるために，いろいろな工夫をしてゴチャゴチャやっておったら，外回りが自然によくなった。

—先ほど，地元の方はオープンということを望まれているというお話がありました。今はさらに，どういうことを望んでいるとお考えですか。

包み隠しのない本来の姿を見せてくれたらいい。それに尽きると思うんです。各社とも地域共生策として，全戸訪問や掃除などのボランティアなど，いろいろな活動をしている。けれども，そういう数値じゃなくて，そこへ行った連中がどんな気持ちでやっているかというのを，町の人たちはよく見ているんですね。強制されて，いやいややっているというのは，100人出しても意味がない。その地域を良くするために喜びを感じていますよという気持ちが必要なんです。

簡単にいうと，喜んで来てくれている人10人のほうが，いやいや来てくれている人100人よりずっと効果があるんですよ。地域共生のポイントは，喜んでいくということについて，会社がきちっと意識づけするということやろなと思います。

プラントに貼られた保修者や点検者の社名と名前の一例

地元が望むのは，オープンな姿勢

—太田さん自身が，伊方の方たちの中になじんでいくというところに，ご苦労はなかったのでしょうか。

僕は酒が弱いのですが，伊方は「杜氏の町」といって酒造りの町ですから，非常に酒飲みが多いんですね。伊方駐在として赴任するときに持っていったのは，健康管理センターのカード。「この人は酒の飲めない体質です。皆さん，この方に酒の無理強いはしないでください」と，健康管理センター長が判を押してくれた。

—へーえ(笑)。

それで，地元の人は，いったいどんなんが来たんやろってな感じで見ていて，酒を注ぎに来るんですね。だけど，酒がもう要らんときは，そのカードを出すんですわ。そうすると，みんなは，ビール注ぎに来んようになる。それで僕が，「ビール注いでくれ」というと，「あんた，酒飲んだらいかんのやろ」，「いや，これ，よう読んでくれ。無理強いはしたらいかん，と書いてあるだけや」と(笑)。まあ，こんなやり取りがあって，おもろいやっちゃなというように見られはじめた。

もう一つは，議会。そこでも，発電所と地元振興のことがらについて，体裁よく答えるべきところを，「それは知りません」と本音で正直にいうたら，そのことがかえって，評価された。ずーっと本音でやっておったら，逆に，何となくみんなに受け入れられた。やり取りの中で，ていねい言葉できちんきちんというよりは，本音でいった方が，ずっと相手は理解しやすいし，安心もする。向こうがいいたいこともいいやすいということがわかった。それで，彼らが望んでいるのは，オープンな姿勢そのものなんだなと思いました。

反対運動が衰退してしまった

—プルサーマルの実施に対する地元の方たちの受止め方というのは，今，どんな状況なのでしょうか。

2004年5月に地元了解願いを出し，その年の秋に，四

国電力がプルサーマルの説明会というのを地元で開催したんです。その参加者は新聞で公募しました。そうしたら，その２～３日後に，反対派が八幡浜で出席ボイコットという声明を出した。彼らは地元では浮いてしまっていて，反対運動も難しい状態なんですよ。

その後，しばらくして申請の了解をいただき，１年半ほどで安全審査の許可ももらいましてね。それから，国がシンポジウムで安全審査の説明会をやった。これにも反対派は来ませんでした。最後に松山で討論会をしたのですが，その時は30人ぐらいの反対派しか来なかった。

いつもの限られた顔ぶれがワーワーいっているだけで，彼らの反対運動も地域に根をはったものではないということです。

―うらやましい限りです。でも，それも，それまでずっといろいろな取組みをやってこられた成果ですね。

もう一つ，エピソードを話しましょう。東電問題が発覚したのは2002年８月末。その翌月の９月末に，伊方１号機のタービンの架台にひびが入ったことを隠したままで運転を継続しているというふうに，東京の原子力情報資料室が，内部告発という形でプレスしたんです。時刻は午後の２時ごろ。これを受けて，こちらも翌日朝刊の原稿締切前に，カウンタープレスを，その日の６時に，東京と松山と高松でやりました。

私は松山で説明したのですが，内部告発事案だから，最初は詰問調の質問が来たけど，すぐに落ち着いた。要するに四国電力はオープンにしているから，こんなことをわざわざ隠してまで運転をするということはせんじゃろうということがわかっているムードができているんですよ。会社が全面的な情報公開に踏み切ったのが1999年で，体質の改善が進んでいた2002年には，大体一定の定評ができておった。それで，あくる日の新聞は，大体両論併記ですわ。先方の話だけでなく，それに関して四国電力はこういっているということが，必ずきちっと書かれてあった。

それで，この問題は，運転を止めることもなく，大体１ヵ月で収束しました。四国電力の体質について，オープンな体質なんだという評価が定着していたのですね。

この体質改善がうまくいったのは，ボトムアップという要素が多かったことです。上からだけのトップダウンでは絶対うまくいかなかっただろうなど思っています。僕が得た体験は，フラットなイメージのそういうもの。誰しも何がしかの愛社精神があるんですよ。事業所や会社を愛する，あるいは自分が携わっているものを愛する。愛着というものがあるでしょう。それは必ず共通してあるので，ボトムアップのポテンシャルはあるんですよ。だけど，それを往々にしてつぶすのは上からの強制で，やらされ感がないようにしていった。また，情報公開をして何でもさらけ出していくということの肩の荷の軽さ。これを今の従業員は体験していますから，これは元に戻ることはない。

―プルサーマルの実施について，今後の見通しをお聞かせいただけますか。

今はプルサーマルは，海外で燃料を製作するという段階に入っています。製作中は社員が常時何人か向こうへ行ってウォッチしながら，いいものをつくるために努力していきます。

これからの課題ということでは，MOX 燃料の輸送などは国際間の業務を円滑にやらにゃいかん。また今は電力数社が，プルサーマルをやる意向を示していますが，そのベースになるのは，安全に安定運転すること。大きなトラブルを起こしたらいかんですね。

―最後に，原子力学会へのメッセージを。

原子力といっても，いろいろな分野があって，実は発電部門なんていうのはごく一部なんですね。僕はホルミシスの信奉者で，低線量の放射線は体に益があるに違いないと思っていますが，放射線利用など，原子力を利用したいろいろな活動分野がこれからも増えると思います。

発電部門についていえば，私見ですが，核融合の実用化には乗り越えなければならないハードルがたくさんあり，なかなか困難ではないかと思っています。ウランだけじゃなくて，トリウムも使うようなことで，ずっと先まで需要を賄うことができる，原子力を中心に，これからも文明は進んでいくだろうと思っています。

学会誌は，学会員だけの雑誌というより，もう少し視野を広げて，学会誌のおかげで，原子力の進展が阻害されないようになった，そんな学会誌にしていただきたい。また学会誌が，店売りができるような時代が来るといいなと思っています。

―わあ，大きな宿題をいただきました。がんばります。今日はありがとうございました。

解説

チェルノブイリ新シェルター・プロジェクトの概要

原子力安全研究協会　武田 充司

世界の多くの国々の資金協力によって進められてきたチェルノブイリ新シェルター建設プロジェクトは，新シェルター建設工事の実施主体となる事業者が選定され，去る2007年9月17日，ウクライナの首都キエフにおいて，関係者の間で正式契約の調印式が行われた。この契約調印は，世界を震撼させた未曾有の大事故によって崩壊したチェルノブイリ4号機を以後100年にわたって安全に管理する新シェルター建設へ向けて大きな一歩を踏み出したことを意味する画期的な出来事である。筆者は，このプロジェクトの国際顧問団の一員として，当初からプロジェクトの重要な技術的事項の決定に深くかかわってきたので，この機会に，新シェルター建設へ向けてのこれまでの歩みをまとめ，この困難な国際プロジェクトに対する一般の人々の理解を深め，関心を喚起したいと思う。

Ⅰ．新シェルター建設計画に至るまでの歩み

チェルノブイリ原子力発電所は，ソ連時代に建設された電気出力1,000 MW の RBMK 型炉(黒鉛減速沸騰軽水冷却チャネル型炉) 4基から構成されている。1，2号機は第1世代 RBMK 型炉で，3，4号機は第2世代炉である。それぞれ2基が壁によって隔てられた2軒長屋のようにセットになっている双子プラントである。

1986年4月26日未明，4号機が事故によって崩壊したが，残る3機はその後も運転を継続した。1991年にソビエト連邦が崩壊して以後，この危険な状況にあるチェルノブイリ発電所に対する西側の関心と憂慮が表面化したが，1号機は1996年11月に閉鎖され，2号機は1991年に発生したタービン火災以後運転を停止した。そして，最も問題とされていた3号機も2000年12月に閉鎖された。こうして，2000年末までにはチェルノブイリ発電所のすべての原子炉が閉鎖された。

事故によって崩壊した4号機では，その直後から放射性物質の封込め作業が行われ，同年12月には一通りの作業が完了した。こうして作られたのが現在のシェルターである。これは石棺，あるいは，サルコファガス(Sarcophagus)とも呼ばれていた。しかし，この封込め作業は放射性物質による激しい汚染と，強烈な放射線環境下で行われたため，作られたシェルターは緊急避難的な仮の施設というべきものであった。実際，崩れ残った発電所建屋や構造物を利用して作られていて，部材の固定もほとんどされず，構造物としては不安定であり，不完全な封込め施設であった。当初から，雨水の流入や，汚染ダストや汚染水の漏洩など，多くの問題を抱えていた。さらに，老朽化の進行によってシェルターの部分的崩壊の危険性も指摘されていた。

1991年にウクライナが独立して以後，目に見える形での西側の支援が可能となり，シェルター問題を根本から解決するための具体的な動きが活発になった。1992年から93年にかけて，「キエフ92コンペティション」が実施され，いくつかの対策が検討された。そして，1994年から95年にかけて，EU による「Alliance Study」が提案されたが，これには，現状のシェルターを大きなドーム状構造物で覆うという現在の新シェルター概念の基礎となる構想が含まれていた。

1995年12月，ウクライナ政府と G7 および EU との間で覚書が交わされ，シェルター問題の抜本的な解決を目指した包括的な西側の支援が約束された。この中には，2000年末までにチェルノブイリ発電所のすべての原子炉を閉鎖することが含まれていた。

1996年11月，ウクライナ，EU，米国，日本の合同チームによる「行動計画」(Recommended Course of Action)がまとめられたが，この報告書作成には，それ以前に EU と米国がそれぞれ独自に実施した調査結果が活用された。

1997年5月，ウクライナ政府と G7 および EU との間で「シェルター実施計画」(SIP：Shelter Implementation Plan)が合意されたが，これは前年に作成された「行動計画」のシナリオに沿ったものであった。

How is the Chernobyl New Shelter Project going forward? : Atsushi TAKEDA.
(2007年 10月29日 受理)

1997年7月のデンヴァー・サミットにおいてSIPは承認され，G7諸国によって総額3億ドルをSIPのために拠出することが約束された。これに続いて，同年11月，ニューヨークにてゴア米国副大統領とクチマ・ウクライナ大統領の出席の下に，52ヶ国が参加する「資金拠出国会合」が開催され，13ヶ国が合計約3,700万ドルを拠出することを約束した。こうして，同年12月，欧州復興開発銀行(EBRD：European Bank for Reconstruction and Development)に「チェルノブイリ・シェルター基金」(CSF：Chernobyl Shelter Fund)が開設された。

Ⅱ．シェルター実施計画(SIP)と国際顧問団(IAG)

SIPが開始された当時，この事業は8～9年を要し，費用総額は850億円程度と想定されていたが，当初計画の楽観的不正確さと，その後の計画の遅れや物価上昇などから，2007年現在，費用総額は1,500億円を超えるであろうといわれている。なお，2007年6月現在，この事業に対する資金拠出国の総数はEUを含めて世界24ヶ国に及んでいる。わが国も主要な資金拠出国として大きな貢献をしている。

2007年9月17日に新シェルターの設計建設工事の主体となる事業者との正式契約が結ばれたので，新シェルターの完成は2011年末かそれ以降になると予想される。したがって，SIPが開始された1997年末から起算すれば，このプロジェクトは14年あるいはそれ以上の期間にわたるものとなり，当初計画より6～7年以上長くなる。

シェルター実施計画(SIP)は，このように長期にわたって巨額の資金を投入する国際プロジェクトであり，しかも，その技術的内容は多岐にわたり，我々がこれまで経験したことのない不確実性とリスクをはらんだものであるため，資金を管理し事業の推進を任された欧州復興開発銀行は，重要な技術的事項の決定に当たっては，中立の専門家集団の助言を求めることとし，国際顧問団(IAG：International Advisory Group)を編成することにした。IAGは1998年6月の第3回資金拠出国会合で正式に承認され，同年10月5日，最初のIAG会合が開かれた。

IAGのメンバーは，イタリア，ノルウェー，フランス，スイス，ウクライナ，ドイツ，日本，フィンランド，米国，英国の10ヶ国から推薦された専門家10人と，銀行側から推薦された議長の11人によって構成された。筆者は，日本政府(外務省)の推薦によってIAGのメンバーとなった。

IAGのメンバーは専門家個人の立場でEBRDの求めに応じて技術的助言と勧告を行うもので，出身国および帰属する機関の利益や政策を代弁するものではないとされている。そのため，筆者らは極めて自由に重要問題を討議し意見を具申してきた。その結果はその都度IAG勧告としてまとめられ，SIPの重要な分岐点では，その

チェルノブイリ現シェルターと国際顧問団(IAG)メンバーほか(1999年4月撮影)

勧告に従って決定がなされてきた。以下で述べることは，筆者がIAGメンバーとして直接あるいは間接に知りえたことに基づいている。

Ⅲ．シェルター実施計画（SIP）の概要

SIPは，新シェルター建設に先立つ現シェルターの安定化工事と新シェルターの設計建設の段階との２つの部分からなっている。新シェルターは正式にはNSC（New Safe Confinement）と呼ばれているが，ここでは，一般の人にわかり易いように「新シェルター」という呼び方にしておく。

現シェルターは事故直後に応急処置として作られたため，主要な部材が固定されていないなど，構造的に不安定なものであったうえに，SIPが開始された1997年時点で，すでに作られてから10年余の歳月が流れ，老朽化も進んでいた。それ以前に，米国など個別の支援によって，３～４号機共用の排気塔の補強など若干の安定化工事がなされていたが，新シェルターが完成するまでの間に，現シェルターが部分崩壊など起さないよう事前に適切な安定化工事を実施する必要があった。

それまでも様々なモニタが実施され，得られたデータの解析によってシェルターの状況が把握されていたが，安定化工事を開始するに当たって，不安定部分の評価が行われ，それぞれについて改善対策が考えられ，費用対効用の対比で，具体的な対応策が決定された。現シェルターはやがて解体されるのであるから，安定化工事は必要最小限にとどめるべきもので，解体時に不都合となるような補強は避けなければならない。また，工事に伴う被曝リスクの評価も通常の原子力プラントでの場合と異なり，難しいものがあった。したがって，それぞれの問題箇所について，最適解を決定するためには微妙な判断を迫られることもあった。

SIPの実施に当たっては，プロジェクト全体を管理するPMU（Project Management Unit）が現地に置かれ，このPMUが工事計画の作成から，それぞれの工事の発注と現場管理を行った。安定化工事は緊急を要するものと，新シェルター完成時期までを考慮した主要な安定化工事とに分類され，緊急性の高いものについては，1997年末に入札招請がなされ，翌年（1998年）には作業が始められた。この部分では，わが国から日揮㈱がフランスの主契約者の傘下で一部の仕事を受注した。

SIP開始から10年を経た2007年夏，安定化工事は完了し，現シェルターの信頼性は格段に向上した。今後10～15年はこの状態を維持できるので（これは工事の条件として設定されたもの），その間に新シェルターが完成することになる。そして，新シェルター完成後に一部の不安定部分は撤去されることになっている。

安定化工事と並行して，FCM（Fuel Containing Materials）の除去方法と現シェルターの解体方法の検討がなされた。FCMとは，事故時に溶融した燃料が他の物質と交じり合い，反応して固まった物質を指す名称である。原子炉に装荷されていた燃料の約95％はFCMやその他の状態でシェルター内に残存している。国際プロジェクトとしてのSIPのスコープには，現シェルターの完全撤去もFCMの除去も含まれていないが，これらの作業は，いつの日か，新シェルター内で実施されるので，その時の作業に支障のないよう新シェルターを設計しなければならない。こうした観点から，これらの検討がなされ，その結果が新シェルターの設計に反映されている。

Ⅳ．新シェルターの概念設計

安定化作業と並行して新シェルターの概念設計研究が進められたが，新シェルターをどのようなものにするかという基本構想で，３つの案が検討された。第１案はフレーム構造，第２案はカンチレヴァー構造，第３案がアーチ構造であった。これらの案の違いは，現シェルターの構造物をどの程度利用して新シェルターを構築するかという点にあった。第１案は最も多く現シェルターを利用し，コンパクトな新シェルターとするもので，その結果費用も少なくて済む。第３案は完全に独立したアーチ構造で，現シェルターとの干渉が最も少ない。第２案はこれら２つの案の中間であった。

最終的に第３案が選ばれたが，この結論に至るまで約１年が費やされた。その原因のひとつにはウクライナの関係者との基本的な考え方の相違があった。彼らは，大掛かりな新シェルター建設に時間と費用をかけるよりも，できるだけ早い時期に全体の解体撤去作業を開始し，そのために時間と費用をかけるべきだと考え，最も簡易な第１案にこだわった。事故現場を国内にもつウクライナがこうした考えに傾くのは理解できるのだが，しかし，これはSIPの基本方針に合わない。SIPの範囲は，新シェルターによって現シェルターを完全に覆い，長期にわたって安全に管理できる状態にすることまでであって，完全な解体撤去は含まれていない。こうした底流における微妙な不一致に距離を置きながら，IAGは純技術的観点から，第３案（アーチ構造）が最適であるという勧告をまとめ，この問題に決着をつけた。

アーチ構造の新シェルターの概念設計を進めるにあたって，いくつかの基本的な問題が提起された。新シェルターは，風雨から現シェルターを守る単なる上屋ではなく，特殊ではあるが，格納容器の一種と考えるべきではないか，そうであるならば，どのような設計条件を課すべきか。また，耐震設計の入力，現地特有の竜巻の荷重，冬季の積雪荷重などが議論された。

Ⅴ．建設業者の選定

概念設計研究が終ると，これを基礎に新シェルター建設の業者を選定するための入札招請(Tender Invitation)を行うことになり，入札希望者に与える詳細な設計要求条件書(Design Requirements)が作成された。その過程において，受注業者の技術力を十分引き出すことができるよう，機能要求(Function Requirements)に重点を置き，不用意に，構造，材料，数値などの具体的条件を与えて業者の自由な発想を縛ることのないよう注意が払われた。

2004年，２段階方式による国際的な入札招請が告知された。最初に，技術的能力による選別を行うため，概念設計に沿った新シェルター建設にかかわる技術的提案書のみの提出を求めた。2004年末に入札は締め切られ，その後，入札業者と技術的事項を詰める厳しい議論が繰り返された。その結果，２つの業者が技術的適格者として選別され,第２段階に進むことになった。2005年９月末，選ばれた２つの業者から費用詳細を含む完全な見積書が提出された。しかし，これらの見積書を検討した結果，発注者の要求事項を満たしていない部分があったため，それら指摘事項を考慮した新たな見積書の提出を求めた。

2005年11月後半に，改定された見積書が２つの候補業者から提出され，業者選定作業は最終段階に入った。これまで同様，まず，現地のプロジェクト管理グループ(PMU)と新シェルターの所有者となるチェルノブイリ発電所の専門家による評価がなされ，同年12月のクリスマスが近づいた頃，２つの候補業者の優劣判定を含む結論が出された。しかし，問題の重要性ゆえに，この結論に対して中立の第三者による適正審査(Due Diligence Review)を行うことになった。

適正審査は２つの独立したグループによって行われることになった。ひとつは，当然のことであるが，IAGによるものであり，他は，本プロジェクトに関係していない原子力建設の専門業者によって行われることになった。適正審査は翌2006年１月末までに完了し，報告書を提出しなければならなかった。しかし，議長を含む11人のIAGメンバー全員が集まって作業することは現実的でないため，IAGメンバーの中から筆者と米国人のメンバーの２人が選任され，極秘裏に作業することになった。

クリスマスも近づいた頃，突然，ロンドンに呼び出された筆者と米国人の同僚は，適正審査を依頼された。作業は１月３日からロンドンで開始され，同月末には我々２人の共同報告書が銀行側に提出された。その後，我々の審査結果はIAGの全体会議に諮られ，承認された。IAGの公式見解となった我々の結論は，もう一方の適正審査の結論と一致していた。両者とも，現地のPMUと発電所が出した結論を支持するものであったが，それは無条件ではなく，多くの重要な確認すべき付帯事項が付けられていていた。

すべての手続きが公正に問題なく終了し，2006年３月には資金拠出国会合が開かれて，業者が決定される見通しとなったが,そこで新たな問題が起こった。最後に残った２業者のうち，落選した業者が審査に不備があったとして，異議を申し立てた。そのため，第三者による公正な調査が実施された。そして，業者選定作業は適切かつ公正になされたという調査結果が出され，2006年10月の資金拠出国会合で，選定された業者との契約に向けて手続きを進めることが承認された。こうして，半年間の停滞の後，新シェルター建設プロジェクトは再び動き出した。

2007年９月17日，ウクライナの首都キエフにおいて，新シェルターの所有者となるチェルノブイリ原子力発電所と建設を請負うヨーロッパの共同企業体NOVARKAとの間で正式契約の調印式が行われた。

Ⅵ．新シェルターについて

NOVARKAは今後，建設準備作業と並行して新シェルターの詳細設計を行い，新シェルターの建設を行うが,建設完了は2011年末かそれ以降となるだろう。新シェルター完成後直ちに，現シェルターにおける一部の不安定部分の撤去作業が行われる予定である。

新シェルターは高さ105 m，長さ150 m，幅260 mの蒲鉾型の鉄骨構造物である。新シェルターは現シェルターの西側(３号機の反対側)の空地で組み立てられるが，工事開始前に現シェルターの南北両側から平行に西側空地まで特殊なレールが敷かれ，新シェルターはそのレール上に組み立てられる。組み立て完了後，新シェルターはレール上を東に移動して現シェルターを覆う位置に固定される。

鉄骨構造の新シェルターは外皮と内張りとの間にできるアニュラス部を空調することによって，格納容器としての機密性を保持する。また，内部には天井走行クレーンが設置され，現シェルターの解体工事がすべて新シェルター内でできるようにする。そのため，現シェルターと新シェルターとの間に十分な作業空間がとられている。また，特に問題となる長尺のビームの撤去作業の手順などが新シェルターの設計段階で検討されている。

新シェルターは100年間，その機能を健全に保持するよう設計されるが，そのためには適切な保守と補修工事が必要となる。すなわち，新シェルター完成後長期にわたって，保守と補修のための組織を維持し，それに必要な予算措置を継続的に講じなければならない。一部のウクライナの関係者が当初からこのようなSIPには懐疑

的で，むしろ早期解体というシナリオを模索したのもこうしたことを心配してのことであろう。

Ⅶ．おわりに

最後に，こうした国際プロジェクトの難しさについて若干の感想を述べたい。技術的事項ではあるが，ウクライナの各種規制法と規制当局との関係で，これまで多くの困難に遭遇している。その結果，工程の遅延，思わぬ支出の増加などがあった。現在，こうした問題はウクライナ側の協力によって大部分解決されているが，本格的な新シェルター建設に向けて，まだ予断は禁物である。このような困難によって生じる非効率と戦うのも国際プロジェクトに携わる者の宿命である。

新シェルターが完成し，予定している一部の不安定部分の撤去が済めば，以後，長期にわたってチェルノブイリの現場は周辺環境から安全に隔離され，このプロジェクトは終了するが，これでチェルノブイリ事故の後始末がすべて終ったわけではない。新シェルターの維持管理と本格的な解体撤去に向けて今後，国際社会がどのように関わってゆくべきか考えさせられる。しかし，国際社会がなし得ることにも限界がある。

原子力に携わる者として，このようなプロジェクトは，これが最初にして最後のものであることを願う。否，最後のものとしなければならない。それが我々の義務である。

—参 考 文 献—

1）佐藤一男，他，“チェルノブイリ事故から15年—私たちが学んだこと”，日本原子力学会誌，44〔2〕，154（2002）．

著 者 紹 介

武田充司（たけだ・あつし）

㈶原子力安全研究協会。欧州復興開発銀行チェルノブイリ新シェルター・プロジェクト国際顧問団メンバー。

広告記事（PR のページ）新設と募集のお知らせ

1．広告記事（PR のページ）の募集

学会誌では，一般広告以外の広告記事（PR のページ）を新たに掲載することとしました

・掲載場所

①　従来の広告のページと同じ位置

②「学会誌記事の最後で会報の前」（新規）

・掲載料金

①　従来の広告のページと同じ位置に掲載する場合は，一般の広告料と同じ

②　学会誌記事の最後（会報の前）は80,000円/頁

・広告記事のページ数：１～２頁（２頁の場合は「見開き」とする）

・掲載条件：広告記事ページの右上に（広告記事）または（PR のページ）と記載する

2．広告記事原稿の提供等

・版下は広告出稿主が提供する

・カラーの場合は出稿主がカラー印刷代を負担する

・生原稿の場合は一般広告と同じ（版下・フィルム制作費として20,000円，版下支給の場合はフィルム制作費として5,000円を別途申し受けます）

（学会誌の広告記事としてふさわしくないと編集委員会が判断した場合は掲載をお断りする場合があります）

解説

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」

東京大学　岡　芳明(拠点リーダ)，
班目 春樹，田中　知，高橋 浩之

東京大学では，文理の学際複合領域である原子力の特徴を世界に先駆けて教育研究に取り入れ，人文社会系科目を含む体系的原子力教育の基礎の上に，原子力社会学，原子力エネルギー，放射線応用のイニシアチブを一体的に推進する。計画が文部科学省グローバルCOEプログラムとして採択されたので紹介する。

本プログラム(以下　拠点という)は，東京大学の3研究科8専攻1研究所からの事業推進担当者23名で構成され，中核専攻は工学系研究科原子力国際専攻である。なお拠点略称を“GoNERI”とした。“ゴーネリ”と呼ぶ。

Ⅰ. グローバルCOEプログラムとは

「グローバルCOEプログラム」は，文部科学省が「21世紀COEプログラム」の成果を踏まえ，それをさらに発展させるために今年度より開始したプログラムである。(COEはcenter of excellenceの略である)

「世界的に卓越した教育研究拠点の形成」，「大学院教育の抜本的強化」，「世界的に魅力ある大学院構築の取組みの加速」などを目的としており，求められる人材像として以下が挙げられている。

- 人材技術などの知的資産をめぐる国際競争に勝てる専門力と応用力を併せ持つ人材
- グローバル化の一層の進展に対応できる世界的な場でリーダシップを取れる人材
- 科学技術創造立国の実現のための優れた科学技術系人材

平成19年度の募集は，「生命科学」，「化学・材料化学」，「情報・電気・電子」，「人文科学」と「学際・複合・新領域」でなされ，本拠点は「学際・複合・新領域」で採択された。

Ⅱ. 本拠点のプログラムの背景：社会の中の原子力問題解決と原子力新世紀対応の必要性

原子力利用の進展に伴い，国民の安全・安心，核不拡散，原子力発電，放射線利用，社会と原子力のかかわりなどにおいて，個別・断片的であった従来の原子力工学では解決できない多くの問題が生じている。社会の中の原子力の諸課題を理解し対処できる人材の育成が求められている。

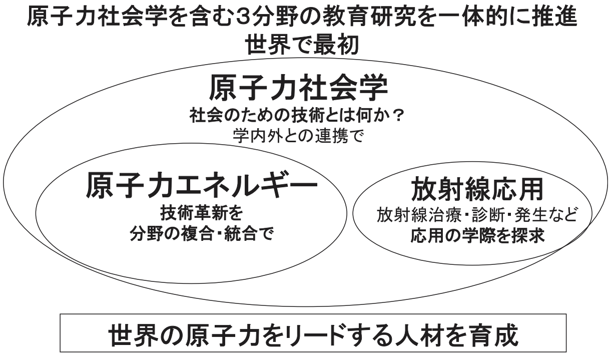
現在，日本の原子力産業は海外進出，国際化という歴史的転回点にある。原子力メーカの国際的な統合，提携がすすんでいる。核不拡散をはじめ国際機関の役割が増大している。安全基準，規格基準，標準などの国際化が進行している。研究開発においても国際的な研究開発が進行している。原子力の特徴をよく理解し，国際舞台で世界をリードして活躍できる人材の育成は急務である。

東京大学では，平成17年度に原子力国際専攻と原子力専攻(専門職大学院)を開設し，人文社会系科目を取り入れた体系的な原子力教育研究を開始している。この基盤の上に本拠点では，「原子力社会学」，「原子力エネルギー」，「放射線応用」のイニシアチブを一体的に推進する。拠点の概要と各分野の構成を第1～4図に示す。

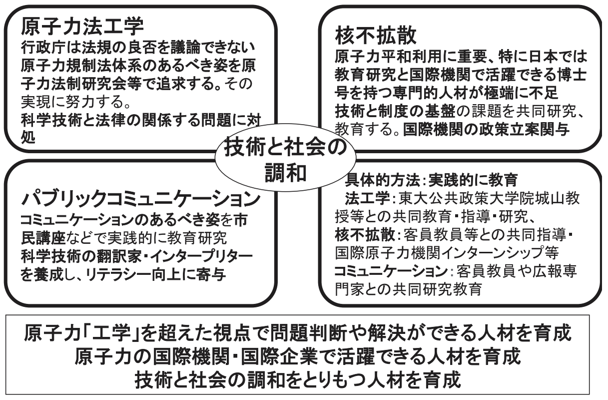
Ⅲ. 原子力社会学

西側の原子力発電所の原子炉の事故で死亡した公衆は1人もいない。しかるに大部分の公衆は，原子力は極めて危険とのイメージを持っている。社会をよく騒がせる原子力安全問題は技術のみならず，法律・規制・規格基準，技術倫理，国民理解などの複合する問題である。従来の原子力工学一辺倒の教育は社会心理などの基礎を知

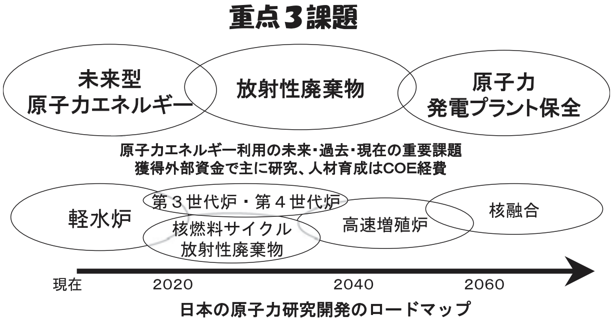
Global COE Program “Nuclear Education and Research Initiative”: Yoshiaki OKA, Haruki MADARAME, Satoru TANAKA, Hiroyuki TAKAHASHI.
(2007年 12月3日 受理)



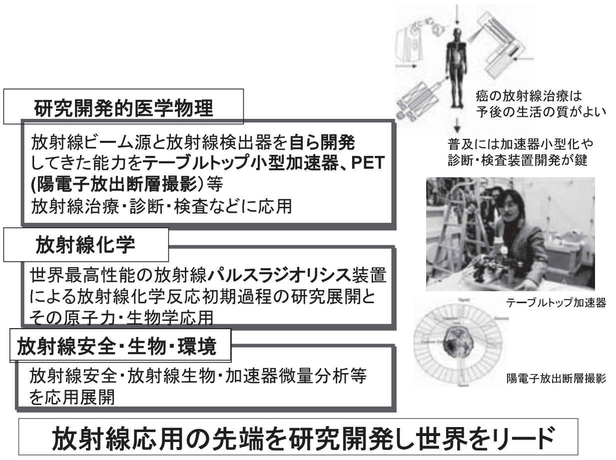
第 1 図　プログラムの概要



第 2 図　原子力社会学コア分野



第 3 図　原子力エネルギー
東大発日本主導分野を核に展開し，世界に貢献



第 4 図　放射線応用
研究開発的医学物理など応用に重点を置いて
学際・複合領域を展開

らない原子力専門家を世界中で生み出し，的外れの理解と対応に終始してきた感がある。核不拡散など原子力の法律・政治的側面を工学的側面と一体で理解する教育は行われていない。原子力社会学は，班目春樹教授をリーダとして「原子力法工学」，「核不拡散」，「パブリックコミュニケーション」を重点分野として教育研究を行う。

「原子力法工学」は，科学技術と社会との規範である法律や規格基準との関係を扱う。行政庁は現行の法規に基づいて行政を行うので法規そのものの良否を議論するところではない。そこで学が主導し，産と官を集め，原子力規制体系のあるべき姿を原子力法制研究会で検討している。検討結果は，国の審議会に反映し，原子力の制度を改革したいと考えている。総合大学としての東大の利点を生かし，東京大学法学研究科，公共政策大学院（城山英明教授ら）とも連携し，工学系，法学系それぞれの立場からこの問題を研究するとともに，お互いに共同研究・教育を行っている。これらにより原子力規制のみならず科学技術と法律の関係する問題に対処できる博士号を持つ人材を育成する。

核不拡散と原子力平和利用の両立は，世界で原子力利用を進めるために極めて重要である。日本の立場を国際的に主張することが重要であるが，そのための人材が極端に不足している。核不拡散の技術と制度の基盤にかかわる課題と問題点を検討整理し，解決策を研究し，それを推進する。この分野を専門とする博士号を持つ人材を育成し，国際原子力機関等に送り込む。本拠点ではこのための教育研究を行い，国際機関の政策立案に深くかかわることのできる博士号を持つ人材を育成する。大学院生の国際原子力機関などでの研修もすでに開始している。平成17年度に原子力国際専攻を開設した際に，日本原子力研究開発機構の協力を得て国際保障学講座を運営開始している。拠点の採択を受けて，東京大学の国際政治学を専門とする法学系の教員や役所の専門家の協力を得て活動を強化している。さらに，核不拡散抵抗性の概念，技術およびそれに関する枠組みの教育研究・実践を強化するため，ローレンスリバモア研究所のジョーシャン・チョイ博士が特任教授として2008年２月より着任する。

パブリックコミュニケーション，原子力の国民理解は原子力利用にとって長年の課題である。理工系の人間がこの問題の多様さ・困難さをよく理解できていないのが根本的な問題と考えている。「科学技術と社会の調和」を目指してこの問題を教育研究する。「技術の安全」，「科学技術と報道」などのテーマを毎回設定し，それぞれの分野で著名な講師を迎えて一般公開の市民講座を土曜日に開講している。市民へのサービス提供とともに，参加者の声を聞いて問題点を考えるとともに広報の在り方の研究，広報素材の蓄積に役立てている。参加定員は200名であるが毎回，受付後約２週間で満員となっている。

インターネットの普及を踏まえ，市民参加型のコミュニケーションを行う「ファシリテーションフォーラム」をウェブ上に構築して実践的に教育研究を行っている。これらにより科学技術の翻訳家・インタープリターを養成し，リテラシー向上に寄与できる博士号を持つ専門家を育成する。

原子力の利用には様々なリスクが伴っている。リスクとは単に技術的なリスクの意味ではなく，経営・経済・投資面でのリスク，訴訟のリスク，さらには規制や放射性廃棄物処分なども含めた，原子力利用に伴う不確定要因のことである。これを低減することが原子力利用にとって喫緊の課題である。原子力社会学は原子力利用に伴うリスクの低減を目指した活動である。

Ⅳ．原子力エネルギー

原子力利用の中核であるこの分野では，「未来型原子力エネルギー」，「使用済み核燃料のリサイクルと放射性廃棄物処理処分」，発電プラントの安定で安全な運転を目ざした「原子力プラント保全」の原子力利用の 3 主要課題を取りあげる。利用に伴って発生する使用済み燃料のリサイクル・放射性廃棄物の処理処分と多数の原子力発電所の安全安定運転は，環境にやさしく競争力ある未来型原子力エネルギーシステムとともに，原子力エルギー利用の重要課題であり，そのフロンティアを開拓する。具体的には，実用中の軽水炉とその改良の第 3 世代原子炉，第 4 世代原子炉，高速増殖炉，さらには核融合とつづくロードマップを念頭に，東大発日本主導の得意分野を核として外部資金を獲得しつつ研究教育展開を図る。例えば，水冷却炉の設計研究，粒子シミュレーション科学の原子力応用，放射線と伝熱の複合，放射性廃棄物・リサイクルのアクチニド化学，材料腐食と放射線水化学の複合，保全・診断・探傷研究などがある。これらの研究を通じて原子力学諸分野の限界を複合研究(例えば，材料と水化学の複合研究)で突破する。直拠点としては特定の原子炉型を推進するとことはせず，大学の特徴を生かして原子力エネルギー分野の課題の解決に貢献する所存である。

原子力工学の炉物理，熱流動，構造，材料などの諸分野は，それぞれの研究室が担う研究教育により進展したが，その限界も明らかになりつつある。すなわち，多くの残された問題が複数の分野にまたがる問題であり，さらに実用の進展に伴い，プラント保全のように実践や現場との連携がより重要になっている。これらを踏まえて複数分野が集まった複合研究を進める。設計研究では分野のつながりを有機的に理解できる人材を育成する。実用面で関心の高いプラント保全では，学会活動や省庁や研究開発機関の活動との連携によりその進展と人材育成を図る。

Ⅴ．放射線応用

放射線応用は，研究開発が加速されつつある医学物理分野を中心に，応用に重点をおいて，医学・生物学・農学・物理学・化学・薬学などと連携し学際・複合領域として展開を図る。たとえば放射線ビーム源や放射線センサと信号処理系開発を自ら行え，レーザービーム加速，微細加工技術利用放射線検出器などその先端を開拓してきた能力をテーブルトップ小型加速器，マイクロ PET など放射線治療・診断・検査などの時空制御に応用し，医学界・産業界等と協力して応用展開を図る。世界最高性能の放射線パルスラジオリシス装置による放射線化学研究，加速器微量分析による地球環境分析，放射線安全・放射線生物学研究などを展開する。

癌の放射線治療は入院が必要ではなく，手術に比べて予後の生活の質が良いため，米国では癌治療の60%が放射線治療であるが，日本では10%台にとどまっている。そのためには一般病院への治療の普及のために加速器や陽重子放出断層撮影装置などの診断・検査装置を小型化する研究開発がその人材の育成とともに必要であり，この分野を「研究開発的医学物理」と呼び，重点分野として取り上げている。

Ⅵ．人文社会系科目を含む体系的原子力教育研究と他機関との連携

東京大学では，原子力国際専攻と原子力専攻(専門職大学院)を平成17年度に開設し，社会人文系科目を含む体系的な原子力教育研究を開始している。人文社会科目としては，「リスク認知とコミュニケーション」，「ヒューマンマネジメント」，「原子力危機管理学」，「原子力マネジメント」，「国際保障措置」，「原子力政策」などがある。原子力専攻ではロールプレイなどのメディアトレーニングなどの実習も行っている。人文社会系科目のみならず，この40年間の実用の進展にも対応する19科目の教科書を作成中である。

原子力人材育成における大学の役割を果たすべく，日本原子力研究開発機構などの研究機関や民間の協力を得て，教育には多くの客員教員，非常勤講師が参画してくださっている。核不拡散と平和利用の両立や原子力法規制や安全行政の新展開を目標とする講座を役所・独立行政法人からの客員教員を得て設立し教育研究を行っている。テーマは派遣機関の課題でもあり，従来の連携大学院よりも深い連携となっている。本拠点の教育研究はこれらの基盤の上に構築されている。

Ⅶ．若手育成プログラム，海外活動

グローバルCOEプログラムは，若手の育成を通じた日本の競争力強化プログラムである。若手とは博士課程の大学院生，ポスドク，助教(研究教育に携わる助手)を指す。なお修士課程の大学院生はグローバルCOEプログラム予算の対象ではない。

拠点としてさまざまに工夫をした若手育成プログラムを実行することが求められている。グローバルCOEはプログラムである。具体的な達成目標があり，それに向かって仕事をするプロジェクトではない。

博士課程大学院生の研究業績を評価し，リサーチアシスタントとしてその研究に対して謝金を支払っている。これによりアルバイトなどに時間をとられることなく研究と勉学に励むことができる。本拠点では謝金の額を業績により3ランクとし，毎年その評価を見直し，努力を促す方式としている。

「海外武者修行」と呼ぶプログラムは，若手が海外研究者とのアポイントを含めてすべて自分で手配して自分の研究について発表し意見交換をする。これにより海外センスや人脈のみならず，若手の自主性と独立心を養わせている。このほか，海外インターンシップや国内外への研修プログラムへの参加などを行っている。

パブリックコミュニケーションはじめ，原子力社会学に関する問題を理解する大学院生を育成するため拠点に共通講義を設定した。2007年度各学期は「リスク認知とコミュニケーション」と「市民講座」を指定し，履修させている。

原子力各分野を複合的に理解し問題に対処できるようにするため，博士課程の大学院生が自分の所属する研究室以外のゼミ(研究室会)に希望があれば出席でき，自分の研究について討論できるようにするところである。

教員の設立したベンチャ企業が複数あり成功している。これらと関連する研究テーマではベンチャ企業に大学院生に参加させ，ベンチャ経験のある研究員との共同研究をさせることで研究成果の社会還元のプロセスと実務家との交流を経験させている。

カリフォルニア大学バークレー校に交流オフィスを作り，若手を常駐させて両校の交流とバークレー周辺の大学や研究機関との交流を開始している。すでに米国大学の日本と異なる研究・教育環境にふれた若手からの新鮮なレポートが届いている。2008年1月にはバークレー校で3日間にわたり，「Nuclear Technology and Society-Needs for Next Generation」と題して共同ワークショップを開催する。教員が自らの研究と経験を，若手が自分のキャリアを考えるのに参考になるように語り，その後，若手のワークショップを開催する。2008年夏にはサマースクールも準備中である。中国などアジア諸国の大学とのシンポジウムやワークショップなどの交流も計画している。

東京大学では1989年以来，大学院原子力留学生特別コースを開設し，英語の講義も行ってきた。この卒学生は100名を越えている。教員の研究室には多くの海外からのポスドクや留学生が在籍している。これらの人脈も活用して海外交流による人材育成と情報発信を図りたいと考えている。COE(Center of Excellence)の定義である，情報と人材と資金が自然に拠点に集まる状態を目指して活動したいと考えている。

Ⅷ．シンポジウム・ワークショップ

社会への発信は，拠点の活動の重要項目である。創立記念シンポジウムは2回に分けて開催した。第1回は2007年10月15，16日に，「社会と原子力の調和を目指して」と題して原子力社会学のテーマを中心に開催した。「原子力eye」の2007年12月号と2008年1月号にその報告が掲載されている。パブリックコミュニケーションの理論家，実践家として著名な米国のAnn Bisconti博士を招聘し，シンポジウムでの講演と，それまでの時間を利用して日本の専門家との対話の機会を設けた。人材育成について質問したところ，米国の原子力エネルギー協会(NEI)などでコミュニケーションのエキスパートは新聞記者出身であることを知った。どのような情報をどのような形で出せばメディアが取り上げてくれるか，市民が理解するかを知っているのは新聞記者である。コミュニケーションエキスパートはオーケストラの指揮者のようなもので，自ら演奏(コミュニケーション)に携わるのではなく，楽団員である技術者の集団を訓練，指導，指示するとのことであった。参加者は講師を含めて200名近くと盛況であり，サステナビリティについて講演した武内教授の発表の様子とインタビューはテレビ東京のワールドビジネスサテライトで取り上げられた。

東大には，サステナビリティ学連携機構という全学の組織があり，今後もサステナビリティなど全学や学外・海外の活動との連携により，拠点の原子力活動の発展と理解を図りたいと考えている。

第2回は，「サステナビリティと原子力教育研究」と題してシンポジウムとワークショップを2007年12月3～6日に開催した。大学の原子力教育研究とともに原子力エネルギーと放射線応用について海外招聘者を含めた講演やワークショップを行った。12月4日には地球温暖化とエネルギー供給問題の講演とパネルを開催した。12月6日は3分野に分かれて若手主催のワークショップを開催した。

Ⅸ．ま と め

応用，実用上の問題の対処を考えるには常に基礎に戻る必要がある。「原子力」を冠した専攻と，体系的な原子力教育は原子力の研究開発や利用の基盤である。

原子力の新展開に対応する基盤として，東京大学では原子力国際専攻，原子力専攻(専門職大学院)を開設した。原子力国際専攻を中核専攻とした教育研究活動がグローバルCOEプログラムとして採択されたことにより，その基盤をよりしっかりとしたものとし，活動を大きく展開することが可能となった。その責任を自覚して拠点の活動を進める所存である。諸兄のご鞭撻とご指導・協力をお願いする。

原子力社会学は，原子力利用に伴う，広い意味のリスク低減を目指した活動である。

ホームページアドレスは，http：//www.n.t.u-tokyo.ac.jp/gcoe/index_j.html である。

著 者 紹 介

岡　芳明(おか・よしあき)

(専門分野)東京大学原子力エネルギー工学，原子炉工学，原子炉設計，計算科学

班目春樹(まだらめ・はるき)

(専門分野)東京大学原子力社会工学，原子力安全工学，原子力法工学，技術倫理

田中　知(たなか・さとる)

(専門分野)東京大学核燃料サイクル工学，放射性廃棄物工学，核融合工学

高橋浩之(たかはし・ひろゆき)

(専門分野)東京大学放射線応用工学，医学物理，放射線計測

解説

リスク情報を活用した臨界安全評価に関する国内外の動向

日本原子力研究開発機構 玉置 等史,
㈱ナイス 内藤 俶孝，鈴木 忠和,
三菱原子燃料㈱ 三橋 雄志

近年，わが国においてリスク情報を活用した安全規制導入の検討が進められている。2007年，サンクトペテルスブルグで開催された第8回臨界安全国際会議 ICNC 2007（本号52ページ参照）において，リスク情報活用経験の報告が，英国および米国から3編ずつあったので，臨界安全に着目して，国内のリスク評価研究の現状と ICNC 2007会議での英米の報告内容を紹介する。

Ⅰ．はじめに

近年，確率論的安全評価（Probabilistic Safety Assessment,：PSA）[1]に代表されるリスク評価技術の向上に伴い，各国において，PSAより得られるリスク情報を活用した安全規制および安全管理の導入に関する検討が進められている。リスク情報には，リスクの顕在化する頻度および影響に加え，系統や機器等のリスクへの寄与度に係る情報が含まれる。この情報を活用することにより，安全規制の合理性・整合性・透明性の向上，効果的な規制活動の実現が期待されている。海外諸国，特に米国および英国では，原子力施設すべてを対象に，リスク情報を活用した安全規制を行うとしている。わが国においても，リスク情報を活用した安全規制の導入の検討を進めているが，運転経験やリスク評価研究の成熟度および評価に必要なデータの蓄積等の観点から，当面は発電用原子炉施設を対象にリスク情報の活用方法について検討するとし，その他の原子力施設についてはリスク情報の活用の可能性や課題について検討する[2]としている。

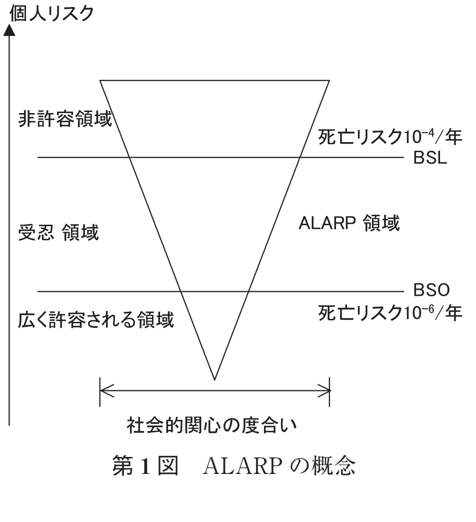
このような状況のもと，ICNC 2007において，核燃料サイクル施設へのリスク評価研究の応用について報告があった。そこで本稿では，上記会議における英国および米国の報告を紹介するとともに，臨界安全を切り口として，わが国の核燃料サイクル施設を対象としたリスク評価研究の現状および臨界安全に関するリスク評価例を紹介する。また，今後の展望について考察する。

A Review of Activities for Risk–informed Criticality Safety Assessment in U.K., U.S.A. and Japan：Hitoshi TAMAKI, Yoshitaka NAITO, Tadakazu SUZUKI, Takeshi MITSUHASHI.
（2007年 11月16日 受理）

Ⅱ．英国における評価活動

1．安全規制の概要

英国における保健安全法の主な要素は，労働者と公衆へのリスクを合理的に実行可能な限り低く（As Low as Reasonably Practicable：ALARP）することである。原子力施設検査局では，ALARPの考え方を盛り込んだ安全評価原則（Safety Assessment Principles：SAPs）を発行している。SAPsにおけるALARPの基本的な考え方は，さらにリスクを減じるための財政的，時間的な負担がそれにより得られる利益と不釣合いでない限り，リスク低減のための施策が講じられなければならないことである。第1図にALARPの概念を示す。ALARPでは，リスクの受忍範囲の上限を示す基本安全限度（Basic Safety Limit：BSL）およびリスクの改善を求められない限界値を示す基本安全目標（Basic Safety Objective：BSO）を定めている。BSLとBSOの間は，ある種の恩恵を保証された下でリスクと共存する個人的・社会的意



第1図 ALARPの概念

思決定を行う領域で，リスク受忍領域と呼ぶ。

2. リスク情報を活用した臨界安全評価例

ICNC 2007で報告された臨界安全評価にリスク情報を活用した例として，リスク情報を利用した安全対策の追加，改良の検討およびその後の運転実績に関する報告[3]と，中レベル廃棄物処理貯蔵施設の臨界管理においてBSL/BSO概念を導入するための新しい臨界評価法を紹介する報告[4,5]があった。前者の報告では，旧式の施設であるセラフィールドのマグノックス燃料再処理工場を対象に，設計基準事故解析で必要な安全対策を同定するとともに，PSAを用いて臨界リスクの定量化を行っていた。この結果を利用して警報の数を増やすとともに必要な運転管理のルールや異常時の対応時間を明確に定め，ALARPを満たすことを示していた。後者で紹介している手法は，BSL/BSOの代わるALARPの境界として核分裂性物質量を用いるバンド法であった。ここでは，バンド法を利用した臨界管理について説明する。

（1） バンド法の概要

一般に，臨界リスクの数値的評価が困難なため，多くの場合，ALARPを臨界安全評価へ適用することは難しい。そこで，この評価法の最初の段階はALARP領域の境界を定義するBSL/BSOに代わる2つの臨界に関する限度を導くことである。この限度には，廃棄物貯蔵容器中の核分裂性物質量を用いる。BSOに対応する限度は，廃棄物中の物性に依存するため，物質スクリーニングレベル(Material Screening Level : MSL)と呼ばれる。MSLによる死亡リスクが10^{-6}/yr以下とするため，MSLは保守的な臨界解析モデルを用い，さらに中性子増倍率Kが0.95となるときの核分裂性物質量とする。BSLに対応する限度は，装荷限度(Package Loading Limit : PLL)と呼ぶ。PLLはMSLの導出に用いた臨界解析モデルより現実的なモデルから導かれる。貯蔵容器内の核分裂性物質量をPLL以下に管理することで，死亡リスクが10^{-4}/yr以下となるようなPLLを設定する。

（2） MSLの導出

MSLの算出には，最悪の場合を想定して，非常に保守的な臨界解析モデルを設定する。一般的な保守的な条件として，中性子全反射，最適減速，均一分布および球形状を想定する。この他に臨界解析モデルに必要な廃棄物中の核分裂性物質の物性値として，同位体組成比や濃度を保守的な値に設定するとともに，酸化ウランに対して金属ウランを想定するような臨界安全上厳しくなる核分裂性物質の化学形態を仮定する。以上の条件を反映した臨界解析モデルにおいて$K=0.95$となる核分裂性物質質量を算出し，これをMSLとする。このように非常に保守的な条件で導出されたMSLによる死亡リスクが10^{-6}/yより小さいことは明らかである。

（3） PLLの導出

PLLはBSLに代わる限度であり，この値を超えて貯蔵容器内に核分裂性物質を装荷することは許容できない。よってPLLは幾分保守的ではあるが，より現実的な廃棄物の物性値に基づく臨界解析モデルより算出される。PLLを算出する臨界解析モデルの形状は，中性子の漏れがないような無限に広がっている体系を仮定する。また，廃棄物の物性を表す中性子吸収材量，同位体組成比，濃度等は，実測値から分布を仮定し，保守側95～99%値の値とする。以上の条件を反映した臨界解析モデルにおいて中性子無限増倍率K_{∞}が0.98となるときの核分裂性物質量を求める。しかし，現実的な解析には，付加的な安全マージンを考慮することが英国内の産業界では行われている。安全マージンは，現在もその値について議論が行われているため，その中間結果である0.05とした。よって，K_{∞}が0.93以下であるような核分裂性物質量をPLLとして求める。

次に，PLL超過時の臨界による死亡リスクがBSL以下であることを臨界発生頻度が10^{-4}/yr以下であることを利用して示す。ここでは，臨界解析モデルで想定した廃棄物の物性値を超える確率に着目する。この確率が10^{-4}程度であれば，PLLを超えて装荷される容器の存在確率等の要因により，臨界発生頻度が10^{-4}/yr以下になり，死亡リスクもBSL以下と判断できる。例えば，廃棄物の物性値としては確率分布の保守側95%値を採用したものが3種類あった場合，3つすべてが設定値を危険側に超える確率は$(1-0.95)^3=1.25\times10^{-4}$となり，この場合の臨界による死亡リスクは$10^{-4}$/yr以下であると判断する。

Ⅲ. 米国における評価活動

1. 核燃料サイクル施設に対するリスク情報を活用した安全評価の導入[6,7]

米国原子力規制委員会(NRC)は，リスク情報を活用した規制を核燃料サイクル施設に導入するため，10 CFR 70を2000年に改訂した。この改訂によって，最小臨界質量以上の量の核物質を取り扱う施設に適用するリスク評価手法として，総合安全解析(Integrated Safety Analysis : ISA)の採用を決めたSubpart H(10 CFR 70.60～76)が追加された。

ISA評価は，機器の仕様書，配管計装系統図，図面，要領書等を基に，ある特定のしきい値を超える放射線被曝または化学被曝をもたらす事象の特定，その事象に対して発生防止または影響緩和の効果をもたらす安全確保項目(Items Relied On For Safety : IROFS)の同定，IROFSを用いてリスクが許容レベルに低減できることの実証という手順で行われる。

ISAの評価結果に基づいてISAサマリーが作成される。これについてはNRCによる内容確認と承認が必要

	頻度区分		
	非常に起こり難い Highly Unlikely(1)	起こり難い Unlikely(2)	起こりうる Not Unlikely(3)
影響過酷度高(3) 作業者1 Sv以上 公衆　0.25 Sv以上	許容リスク (3)	非許容リスク (6)	非許容リスク (9)
影響過酷度中(2) 作業者0.25 Sv以上 1 Sv未満 公衆　0.05 Sv以上 0.25 Sv未満	許容リスク (2)	許容リスク (4)	非許容リスク (6)
影響過酷度低(1) 作業者0.25 Sv未満 公衆　0.05 Sv未満	許容リスク (1)	許容リスク (2)	許容リスク (3)

第2図　放射線影響に対する判断基準

となる。また，設備・機器等の更新・改造に伴って，毎年ISAサマリーのアップデート版が提出される。10 CFR　70.61(b),(c)より放射線影響に対する判断基準を**第2図**に示す。

ISA評価では，放射線被曝または化学被曝をもたらすすべての事故シーケンスのリスクが許容範囲内にあることが要求される。なお，上記の第2図の頻度区分については，事業者が各区分の定義(しきい値)をISAサマリーに記載する必要がある(10 CFR 70.65(b)(9))。

また，ISAでは，事故の頻度評価に半定量的もしくは定性的な手法を許可している。この手法は指数法と呼ばれていて，IROFSの機能喪失頻度が10^{-4}/yrであるとき，マイナス4を割り当てる。指数を割り当てる方法としては，IROFSの過去の稼働実績や監視期間に基づく方法と，IROFSの制御の種類，冗長性，多様性，安全裕度などの頻度に影響を与える定性的要因を考慮する方法がある。事故シーケンスを構成するすべてのIROFSに指数を割り当て，その和が事故の頻度指数となる。この事故の頻度指数を基に事故を3つの頻度区分に振り分ける。

臨界事象については，米国のすべての核燃料サイクル事業者が「影響過酷度高の事象(作業者の被曝が1 Svを超える可能性がある事象)」と定義している。そのため，その頻度をHighly　Unlikelyにする管理が必要である。このような確率論的要求に加えて，決定論的要求として下記の事項を同時に満たすことが要求されている。

- 臨界事故のリスクは通常および想定される異常事象下において，すべてのプロセスが未臨界であることを保証することによって制限されること。(10 CFR 70.61(d))
- 新規施設の設計は，二重偶発性原理を厳守することを含む臨界管理を提供しなければならない。(10 CFR 70.64(a)(9))

2. ウラン加工施設へのISAの適用例[8)]

Nuclear Fuel Service(NFS)社では，ウラン加工施設の臨界事象に対する安全性を実証するために，IROFSを適用して事象の頻度区分をHighly　Unlikelyにすることと，二重偶発性原理の2つを適用している。NFS社ではHighly　Unlikelyを指数法で－4以下と定義している。以下にNFS社の臨界事象の評価例を示す。

ウラン溶液が閉じ込め機能を持つ設備内に3リットル以上漏洩すると臨界に至る可能性がある。この事象の進展を防止するため，設備内に適切な距離を置いて2つのオーバーフロードレインが設置されている。また，このドレインの状態は溶液移送中，作業員により監視されており，ドレインの閉塞がない限り臨界には至らない。

ウラン溶液の漏洩は，発生し得ると考えられることから，－1を割り当てた。オーバーフロードレインは，静的機器に相当すること，ドレインの状態は定期的に監視していることから，ドレインが閉塞している確率として，－4を割り当てた。また，2つのドレインは互いに独立に存在しているとした。移送作業中のドレインの閉塞は，作業員により容易に発見できることから，この人的管理に対して－2を割り当てた。以上の指数を合計した結果，この事故シナリオの発生頻度は－11となった。上記事象は，二重偶発性原理を満たしており，また，リスク評価においてもHighly　Unlikelyに区分されることから，当該臨界事象シナリオに対する安全性が示せた。

NFS社の評価結果では，想定されるすべての臨界事象について，頻度がHighly　Unlikelyであることが確認でき，ISA導入に伴う新たな安全対策を取る必要はないとした。

3. ISAの利点と改善課題

NRCは，今までのISAに基づく規制活動を基にISA活用の利点として，(1)リスクを評価する上でどのようなプロセス/シーケンスが最も重要であるかを，事業者およびNRCがより深く理解できたこと，(2)どのようなプロセス/シーケンスが最も重要であるかが判明したため，事業者が重点をおくべきIROFSが明確になったこと，(3)安全機能上，等価なプロセスと施設の変更に，より多くの自由度が認められることをあげている。また，改善課題とその対策を**第1表**に整理する。

Ⅳ. 国内における臨界安全へのリスク評価適用研究の現状

わが国の臨界安全に関する安全規制は，「核燃料施設安全審査指針」において，「技術的に見て想定されるいかなる場合でも，臨界を防止する対策が講じられていること」を求めており，臨界発生を防止する設計に主眼を置いている。具体的な臨界を防止する対策として，臨界管理を行う体系が未臨界であるための計量可能な制限値(核的制限値)を設定する。核的制限値の設定には，プロセス内における管理値の変動，地震等の発生の可能性を

第1表　米国における ISA の改善課題とその対策

改善課題	対　策
各事業者がそれぞれ異なる頻度評価手法を用いることになるため，規制の整合性を保つことが困難	頻度評価手法のガイダンスの整備
二重偶発性原理をみたしていても，事象の頻度区分を Highly Unlikely にできない場合がある(例：2人の独立な作業員の工程監視)	強固な二重偶発性(Robust double contingency)の概念の整理(安全性を担保するためには最低1つ以上の工学的管理を加えること等)
臨界事象に対して過度に保守側の頻度評価を行ったため，各臨界事象のリスクの大きさが判明しない(例：質量管理を行っている機器については、核燃料が常に最も臨界に達しやすい状態にあると想定して，頻度評価を行っている。)	臨界事象の頻度評価方法の改良検討(核燃料物質が常に最も臨界に達しやすい状態にあると想定するのではなく，より実際の核燃料物質取扱状態に対応した事象発生シナリオを作る等)

無視できない外的要因による外周条件の変動を考慮して十分な裕度を見込む。設定した核的制限値の管理を含め，「起こるとは考えられない独立した2つ以上の異常が同時に起こらない限り臨界には達しない」という二重偶発性原理に従った設計/管理が燃料加工施設では求められている。また，再処理施設では，設計/管理において具体的に「機器の単一故障又は誤動作若しくは運転員の単一誤操作を想定しても臨界には至らない設計であること」として,多重性もしくは多様性が求められている。

これらは，発生防止に重点を置いた多重防護の確認を基にするが，同時に事故の発生の可能性が十分に低いことを定性的に評価していると考えることができる。それぞれの発生防止対策の失敗の可能性や対策失敗時の影響の定量的情報を持つリスク情報は，現行の安全評価を補完するものとして，その有効性が認識されはじめている。

1. 国内における核燃料サイクル施設を対象としたリスク評価研究

核燃料サイクル施設は，取り扱う核燃料物質や想定される事故の種類，潜在的影響の大きさが施設ごとに異なることから，対象施設の特徴を考慮したリスク評価手法が適用されてきた。

再処理施設については，原子力安全基盤機構(JNES)，日本原子力研究開発機構(JAEA)および日本原燃(JNFL)が PSA を適用する際の課題を明らかにする目的で，潜在的影響の大きい事象を対象に PSA の適用研究を行ってきた。さらに JNFL では，潜在的影響が大きいと考えられる事故に対しては PSA 手法を，影響が小さいと考えられる事象に対しては PSA と ISA の中間の詳細さを持つ簡易な手法を適用するともに，得られた設備ごとのリスク重要度の情報を検査・運転分野の参考とするための検討を進めている。

濃縮度5％以下の燃料を取り扱うウラン燃料加工施設では，再処理施設と比較して潜在的影響は小さいと考えられている。そのため，詳細な検討を必要としない評価手法の整備を目的に，JNES が米国の ISA 手法の考え方を取り入れた評価手順を整備している。また，ウラン加工事業者は，リスク情報を活用した保守管理を目指し，JNES が整備している手法の適用を試みている。

潜在的影響において，再処理施設とウラン燃料加工施設の中間に位置付けられる MOX 燃料加工施設では，このような施設の特徴を考慮した PSA 実施手順の確立を目的に, JAEA が PSA 適用研究を行った。構築した PSA 実施手順は，施設全体から詳細な検討を必要とする事象を選出する概略的 PSA と，選出された事象を対象にリスク評価を行う詳細な PSA の2ステップで構成される。概略的 PSA では，ISA 手法を参考にした頻度および放射性物質放出量の簡易評価を行い，頻度と放出量で定義するリスクにおいて重要と考えられる事象を選出する。詳細な PSA では，原子炉施設を対象とした PSA とほぼ同等な評価を行う。

このように核燃料サイクル施設を対象としたリスク評価手法では，潜在的影響のレベルに応じて詳細度の異なる分析手法を用いる，いわゆる“Graded Approach”が採られている。

2. リスク評価手法の臨界事象への適用

核燃料サイクル施設を対象としたリスク評価では，運転の制限値(臨界であれば，核的制限値)を超えた場合を事故と判断する場合がある。現実には，核的制限値は十分な裕度を見込んで設定されるため，核的制限値を超過しても直ちに臨界には至らない。リスク情報を活用するための臨界事象のリスク評価では，現実的な評価が必要であるため，核的制限値の代わりとなる基準を検討することが必要である。この基準に関する検討例として，次の2件を紹介する。

(1) MOX 燃料加工施設のモデルプラントでの臨界事象のリスク評価[9)]

乾式で MOX 粉末の調整・成型をバッチ処理する MOX 燃料加工施設では，運転条件に近い条件で解析した場合に臨界と判断する質量と核的制限値との差が大きい。そこで，MOX 燃料加工施設 PSA における頻度評価では，核的制限値に代わる基準を臨界計算により求め，その基準を超える事故シナリオを分析し，その発生確率を求めた。この頻度評価手順では，まず臨界管理を行う設備における管理量(ここでは，MOX 粉末質量，

潤滑剤量，プルトニウム富化度）を同定する。次に，臨界と判断する中性子増倍率，運転条件を参考にした臨界解析モデルを設定し，プルトニウム富化度ごとに臨界と判断するMOX粉末質量と潤滑剤量を計算する。潤滑剤量は中性子減速効果を持つため，計算上MOX燃料中に含まれる水分に換算して含水率とし，MOX粉末の臨界量と含水率との関係をグラフ化する。また，同グラフに通常運転時に取りうるMOX粉末質量と含水率の範囲を示す。このグラフを利用し，通常運転範囲から逸脱し臨界と判断する状態に至る臨界発生シナリオを分析する。臨界発生シナリオとしては，質量管理の失敗，減速材管理の失敗，もしくはそれらの組合せが考えられる。それぞれの管理の失敗確率を設定し，1年当たりの作業回数から臨界発生の頻度が得られる。この手順により，核的制限値を事故発生条件とする頻度評価と比べ現実的な頻度評価が可能となる。

（2） 臨界解析におけるリスク情報の適用[10]

核的制限値は，臨界安全上，保守的な解析モデルに基づき設定されるが，その設定方法として，中性子実効増倍率が0.95のときの質量にする，得られた臨界質量に安全係数を乗じる，などがある。臨界事象の頻度評価において，臨界解析モデルに持たせた保守的な条件を臨界発生防止策として事故シナリオに組み込めば，頻度評価を通じて臨界防止設計や管理方法の有効性の比較が可能となる。ここでは，運転管理の失敗が核的制限値を超え臨界質量に至るシナリオを分析するとともに，臨界解析モデルに採用した保守的条件ごとにそれが損なわれる原因とその過程を分析し，すべてが同時に発生して臨界に至る頻度を求める。このように頻度評価を行うことで，臨界解析モデルに採用したおのおのの保守的条件が損なわれる確率がわかり，保守的条件の臨界発生防止対策としての有効性の比較が可能となる。

Ⅴ．おわりに

各国において，リスク情報を活用した安全規制の導入が検討されていることを背景に，リスク評価研究の応用として，臨界管理へのリスク情報の活用に係わる検討および研究についてICNC 2007における英米両国の報告および国内の動向を調査した。英国では，従来の二重偶発性原理による臨界安全性評価では，臨界の定量的リスク評価が困難であったため，設計基準事故の考え方や臨界に係わる2つの制限値（MSL，PLL）を導入し，臨界リスクの評価および管理が可能であることを検証している。米国では，核燃料サイクル施設へのリスク情報を活用した規制活動として，臨界リスクを許容レベルに低減するための対策が採られていることを確認するとともに，二重偶発性原理をこの規制の枠組みに融合していくことが臨界安全性を明確に証明する手段となると結論づけている。わが国においても，核燃料サイクル施設のリスク評価手順は整備されつつあり，次のステップとして，リスク情報の保守・運転管理への適用方法の検討に着手し始めている。

今後，わが国としては，英米両国の活用例を参考にしつつ国内関連施設に適用可能なリスク情報を活用した保守・運転管理方法を検討するとともに，規制等への導入を円滑に進めるために，リスク情報の基となるリスク評価の品質を向上させることも必要となる。リスク評価の品質向上に関しては，すでに研究機関および事業者が協力してリスク評価用データの整備を進めている。これらの活動の中で，臨界安全規制や臨界管理へリスク情報を活用するための検討を開始することが望まれる。

―参 考 文 献―

1）“連載講座 軽水炉の確率論的安全評価（PSA）入門①～⑦”，日本原子力学会誌，48〔3～10〕，（2006）.

2）原子力安全・保安院，原子力安全規制への「リスク情報」活用の基本的考え方，平成17年5月.

以下，3）～8）まで *ICNC 2007 Proceedings* より

3）M. Hobson, “Implementation of Modern Criticality Safety Assessment Standards to an Aging Fuel Reprocessing Facility”, 30-34 p.

4）N.T. Guilliford, W. Darby, “A Risk-Informed Approach to Criticality Assessment of Fissile Waste”, 128-132 p.

5）W. P. Darby, N. T. Guilliford, “An Application of A Risk-Informed Approach to the Criticality Assessment of Fissile Waste”, 35-38 p.

6）K. J. Morrissey, *et al*., “Transition from a Traditional Deterministic Nuclear Criticality Safety Framework to a Risk-Informed Integrated Safety Analysis Approach : Integrated Safety Analysis Summary”, 15-19 p.

7）C. S. Tripp, *et al*., “Transition from a Traditional Deterministic Nuclear Criticality Safety Framework to a Risk-Informed Integrated Safety Analysis Approach : Methodology”, 20-29 p.

8）W. R. Shackelford, *et al*., “Criticality Safety Using Double Contingency with Risk Indexing”, 156-158 p.

9）H. Tamaki, *et al*., “Present Status of PSA Methodology Development for MOX Fuel Fabrication Facilities”, *Proc. GLOBAL 2005*, Oct.9-13, 2005, Tsukuba，No.269, （2005）.

10）清野 赳，他，“臨界解析におけるリスク情報の適用―基本的考察”，原子力学会「2007春の年会」要旨集，E 51, （2007）.

著 者 紹 介

玉置等史(たまき・ひとし)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)確率論的安全評価/核燃料サイクル施設のシステム信頼性解析

鈴木忠和(すずき・ただかず)

㈱ナイス
(専門分野/関心分野)統計解析

内藤俶孝(ないとう・よしたか)

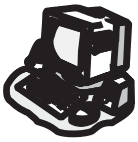
㈱ナイス
(専門分野/関心分野)　炉物理および安全評価手法

三橋雄志(みつはし・たけし)

三菱原子燃料㈱
(専門分野/関心分野)安全解析(臨界，熱流動，リスク解析)

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



ー　ホームページ更新情報　ー

http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/　(1/10 現在)

・学会誌ホームページに記事執筆関係の規程や手順書を掲載しておりますので，ご寄稿の際には一読をお願いします（http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/index.htm）。
・会員に広く読まれる学会誌づくりをめざして，学会 Web アンケートを実施中です。ぜひご協力をお願いいたします（http://genshiryoku.com/enq/）。
・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）を開始しました。詳しくは，http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/publication/071001suyomikosei.html をご覧下さい。

ー最近の編集委員会の話題よりー

(1 月 11 日 第 7 回幹事会)

【論文誌関係】
・論文査読電子化の進捗状況について説明があり，事務局が論文査読の進捗状況が把握できるように，管理ソフトを開発中。
・2007 年「秋の大会」勧誘投稿については，座長推薦論文が 39 件（うち 5 件は総説）あった。各座長に勧誘をお願いした結果，投稿を希望される方が多かった。
・論文の２重投稿に関して議論があった。一般に配布されている国際会議論文集に掲載された論文は学会論文誌に投稿できないが，ＣＤ等で会議参加者等に限定配布された論文集については，２重投稿と見なさない。
・最近和文論文誌への投稿が増加の傾向にある。技術的なものはできる限り英文論文誌に投稿するよう勧めることとした。

【学会誌関係】
・JAEA の協力を得て、我が国の最先端技術の研究開発を継続して掲載していく解説シリーズを計画中。また，活発な活動をしている部会に最新の技術・研究を概観した解説の寄稿を依頼することとした。
・著者からカラーでの掲載希望があった場合，実費負担をいただける場合は実施することとした。
・　Ｗｅｂアンケートの結果，評価の高い記事を執筆の参考にしていただけるよう，学会ホームページにて紹介することとした。
・報道機関等への学会誌配布について，送り先の追加を検討した。
・学会誌第三種郵便物認定については，最近の情勢を考慮し，廃止することとした。
・高速炉連載講座記事（第 8 回）で執筆者の一人，丹羽　元氏が急逝されたので，その旨記事の最後に追悼文を記載することとした。

編集委員会連絡先　hensyu@aesj.or.jp

解説

原子力防災訓練におけるIAEAの考え方と日本の実施状況との比較

原子力安全基盤機構 船橋 俊博,
㈱三菱総合研究所 柴田 高広

本稿では，原子力防災訓練の実施要領に関するIAEA（International Atomic Energy Agency：国際原子力機関）によるガイダンス（手引書）（Preparation, Conduct and Evaluation of Exercises to Test Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, 2005 & 2006）の概要について紹介し，日本における原子力防災訓練の実施状況との比較の観点から解説を行い，今後の原子力防災訓練の検討に資するものとする。

Ⅰ．背 景

IAEAは2005年および2006年に，原子力および放射性物質による緊急事態対策を検証するための訓練の準備・実施・評価の手引書[1]（以下，便宜的に，元文献の略称である「EPR-EXERCISE 2005」と略記（EPR：Emergency Preparedness and Response）），および教材集[2]（以下，同様に「EPR-EXERCISE/T 2006」と略記）を公開しており，この中で原子力防災訓練の実施方法について概説し，具体的な資料の紹介を行っている。本稿では，この資料の内容に関する概説と特長の紹介，および日本における原子力防災訓練の現状との比較の観点から整理を行った。ただし，両者は独立に発展したものであり，防災訓練の位置づけ等については異なる側面もある。しかしながら，実施される訓練内容は類似しており，訓練の実施という観点から比較を行い，今後の検討に資することを目的とした。

EPR-EXERCISE 2005の目的は，訓練企画設計者に緊急時対応訓練を効率的・効果的に準備・実施・評価するための実用的手引書を提供することにある。本文は10章構成となっており，2・3・9・10章は訓練の準備・実施・評価に関する全体的な知見の説明，4～8章は訓練準備作業の手引きとなっている。また，付録には，訓練企画において活用できる具体的な参考資料が添付されている。

一方，EPR-EXERCISE/T 2006は，緊急時対応関係者が緊急時対応訓練の準備・実施・評価のための実践的な知識と能力等を身に付けるための教材集となっている。本資料は「トレーニングマテリアル」との副題のとおり，具体的なトレーニングコースのカリキュラムと共に9つの講義テキストと7つの課題演習のテキスト，および具体的な訓練設計資料のサンプルが収録されている。

これらの資料の内容構成概要を，第1図に示す。EPR-EXERCISE 2005の手引書とEPR-EXERCISE/T 2006のトレーニングコース教材集には対応関係が見られる。

Ⅱ．IAEAガイダンスの特長

EPR-EXERCISE2005およびEPR-EXERCISE/T 2006の主要な内容を，以下の①訓練の目的，②訓練の種類，③訓練の記録・評価の考え方，④訓練の準備手順における留意点，⑤訓練設計における技術的な留意点の順に紹介する。

1．訓練の目的

IAEAは，訓練の目的として，以下の3つを挙げている。（内容を考慮し筆者訳）

⑴ 組織の遂行能力評価
⑵ 参加者のトレーニング
⑶ 実効性向上のための試行

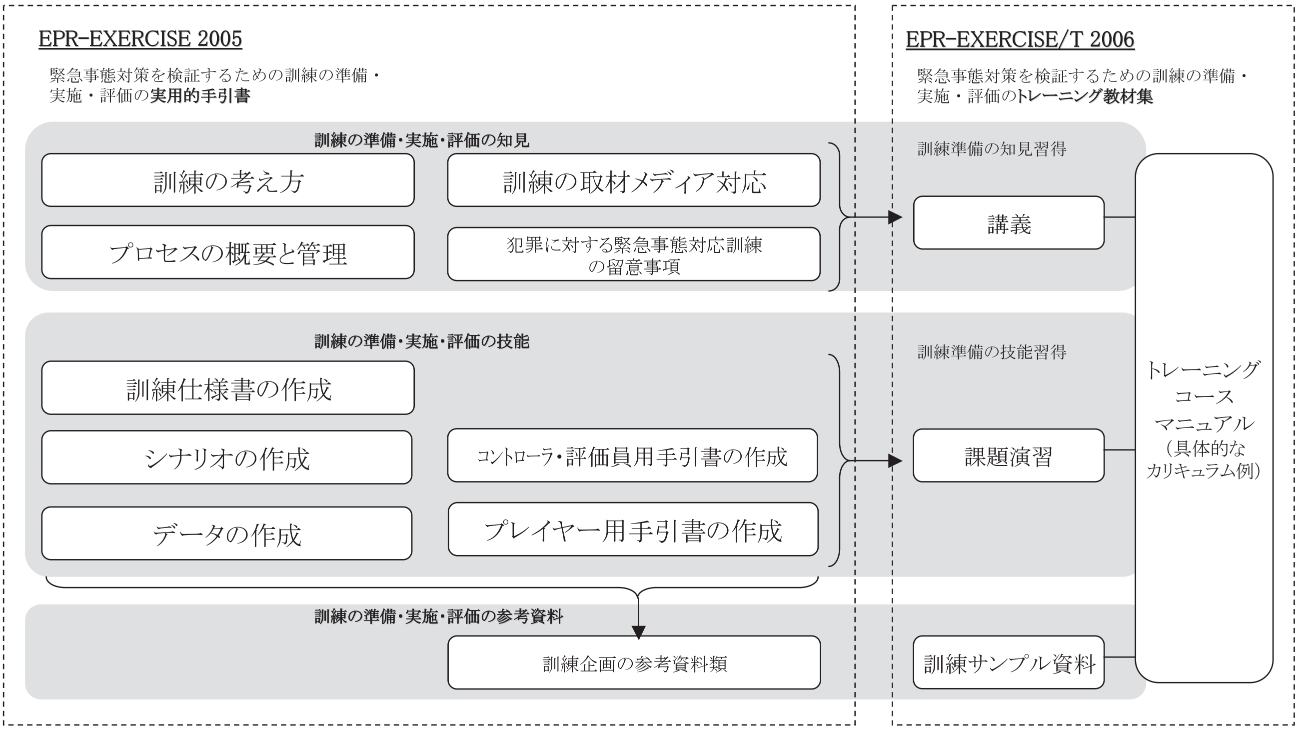
また能力評価に関しては，「訓練のすべてが順調である必要はなく，教訓が得られる訓練こそが良い訓練である」という考え方が強調されている。

2．訓練の種類

本資料における訓練にはいくつかの種類があり，これに関する定義を本文中から以下に抜粋する。

○複合的な訓練（Exercise）
○机上訓練（Table top exercise）
○実動訓練（Field exercise）

A Comparison of the Nuclear Emergency Preparedness Exercise between the IAEA's Guidance and the Practice in Japan : Toshihiro FUNAHASHI, Takahiro SHIBATA.
（2007年 11月21日 受理）



第1図　EPR-EXERCISEの主な構成

○限定的な訓練(Drill)

○テスト

これらの手法が，訓練の目的および範囲に応じて実施されている。

3. 訓練の記録・評価の考え方

訓練の記録と評価に関しては，以下の考え方が一貫して推奨，徹底されている。

(1)　訓練の評価は訓練終了後に実施し，訓練中に行ってはならない。

(2)　組織の遂行能力の評価は，活動の過程ではなく結果を対象とする。

これらの考え方に則り，以下のような記録・評価のあり方が推奨されている。

・訓練中の評価員(記録員)の役割は，組織の緊急時対応活動に関する事実を記録することであり，関連事実と観察結果をできるだけ多く記録することが重要である。

・訓練が終了して初めて評価員は評価を開始するべきである。パズルの部品が揃う前に訓練評価を行うべきではない。

・評価チェックリストは効果的な評価作業に資するものであるが，頼りすぎることは，次の理由により推奨されない。(1)組織の遂行能力から個々の活動手続きに評価の注意が向いてしまう。(2)複雑な訓練環境における意思決定等の評価に不向きである。(3)評価チェックリストの項目数が多くなり，紙面をめくることで活動記録に集中できなくなる。

・コントローラ(訓練進行を管理する要員)と評価員は理想的には同一人物が行うべきではない。

4. 訓練の準備手順における留意点

訓練の準備手順における留意点として，以下のような項目が指摘されている。

・訓練の計画は，一般的な長期計画と，詳細な年間計画の両方を実施するべきである。

・訓練仕様書は，「目的」，「範囲」，「制約」から構成され，この内容が合意されるまでは，その他の作業に着手するべきではない。

・省庁のような政府関係機関が参加する場合には，長い準備調整期間が必要となる場合があり，こうした理由により関係機関の参加を制限する場合もある。

・訓練では往々にして活動項目とテスト項目を詰め込みすぎる傾向があるが，これは推奨されない。訓練の項目は重要なものだけに絞り込むべきである。

・たった一つの小さな変更がシナリオ全体に大きな影響を与える可能性があるため，訓練直前(少なくとも訓練2日前以降)の大きな修正は推奨されない。

・1人の責任者が訓練シナリオの準備と構成に関する全責任を負うことが極めて重要である。この責任者は，原子力・放射線技術に関する十分な知識を持ち，訓練対象サイトの周辺地域に対して精通していなくてはならない。

5. 訓練設計における技術的な留意点

訓練設計における技術的な点に関しては，以下のよう

な項目が指摘されている。

・時間尺度の伸縮は，机上訓練やドリルでは時として適切であるが，連携活動を行う大規模訓練では慎重に実施されるべきである。

・災害を模擬するシミュレータにはそれぞれの限界がある。

・訓練開始にあたっては，プレイヤーが訓練環境に慣れる時間を確保したほうがよい。

・コントローラが使用する電話番号や無線の周波数はすべて訓練前日にテストしておく必要がある。

Ⅲ．日本の原子力防災訓練の現状

日本においては，1999年の JCO 臨界事故の発生を契機に原子力災害対策特別措置法が制定され，原子力災害が発生した場合の現地における迅速な応急対策活動を実施するための施設として緊急事態応急対策拠点施設(オフサイトセンター：Off Site Center，以下，OFC と略記)が設置され，原子力防災専門官が配置されるなど，原子力防災体制が整備された。現在，日本の原子力施設は，原子力発電所や核燃料再処理・加工施設などは経済産業省，研究炉等については文部科学省の管轄となっている。各施設においては，原子力防災体制に則った危機管理体制が構築されており，原子力緊急事態を想定した訓練が定期的に実施されている。

原子力防災体制には，経済産業省，文部科学省，自治体，防災関係機関(警察，消防，海上保安，自衛隊，医療関係機関，など)，原子力事業者，その他関係機関など，多くの要員が関係している。これらの関係者ごとに求められる役割は様々であり，必要となる訓練研修の内容・レベルも多岐にわたる。

第2図に，主に経済産業省，文部科学省関連の訓練・研修の実施状況を整理した。大きくは，個人の資質・能力の向上を狙った「研修」と，関係機関の連携機能の向上を狙った「訓練」から構成されている。(なお，第2図の分類上の標記を訓練研修としているが，これは訓練時に研修をあわせて行なうものが多かったためである。)

Ⅳ．日本の原子力防災訓練との比較

第2図に示した現在日本で実施されている原子力防災訓練の状況を，Ⅱ節の EPR-EXERCISE 2005および EPR-EXERCISE/T 2006の記載内容と比較し，以下に整理する。

1．訓練の目的

訓練目的は訓練ごとに異なるものであるが，実際には IAEA による訓練目的の3項目(①組織の遂行能力評価，②参加者のトレーニング，③実効性向上のための試行)をミックスしたような内容となっている場合が多い。

さらに欧米と日本においては，訓練目的の設定に関して，前出の3項目の力点に差異が見られる。米国における原子力防災訓練では，危機管理の日常的な備えに対する「①組織の遂行能力評価」の側面が重視されている。一

分類	訓練名称	構　成	回数/年
防災組織と連携した訓練研修	●原子力総合防災訓練(国)	国機関、OFC、自治体、防災関係機関、原子力事業者、住民	1 (数千人規模)
	●文部科学省原子力防災訓練(研究炉等対象)	国機関、OFC、自治体、防災関係機関、原子力事業者	1 (約100名)
	●自治体訓練	OFC、自治体、防災関係機関、原子力事業者、住民	1／各道府県 (千人規模)
	●OFC活動訓練(実用炉、核燃料再処理・加工施設対象)	OFC、自治体、防災関係機関、原子力事業者	17 (約100名/回)
	●広域支援訓練(図上訓練)	防災専門官、自治体、原子力事業者	5 (約15名/回)

分類	研修名称＼対象	自治体：モニタリング関係者	自治体：地元消防団関係者	自治体：災害対策本部、OFC対応者	自治体：救護所活動関係者	防災機関等：消防関係者	防災機関等：警察関係者	防災機関等：自衛隊関係者	防災機関等：海上保安部関係者	防災機関等：医療関係者	事業者
個人の資質・能力の向上を狙いとした研修	専門研修	緊急時モニタリング専門講座		防災訓練企画立案コース / 危機管理コース / 緊急時広報対応コース		核燃料輸送講習会				緊急被ばく医療セミナー / 緊急放射線計測セミナー / 緊急救護セミナー	ERSS運用研修
	実務研修	緊急時モニタリング実務講座 / SPEEDIネットワークシステム実務講座	消防団実務講座	防災行政実務講座	救護所活動実務講座	消防実務講座	警察実務講座	災害救助支援実務講座	海上防災実務講座	緊急被ばく医療基礎講座 ・除染コース ・WBCコース ・搬送コース	
	基礎(研修／講座)	緊急時モニタリング基礎講座	消防団基礎講座								
		共通基礎講座									

OFC：緊急事態応急対策拠点施設／ERSS：緊急時対策支援システム／SPEEDI：緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム

第2図　平成19年度原子力防災訓練・研修一覧

方，日本においては，防災訓練を活用した意識高揚や知識・技術の修得など，「②参加者のトレーニング」の側面に軸足を置いているものが比較的多い。より具体的には，避難等の防護対策の意思決定と実効性向上に関するトレーニングの傾向が強い。これは，規制の一環と捉えるか否かの制度上の相違と，人口の粗密の問題によるものと考えられる。

2. 訓練の種類

第2図に記載の訓練では多くの場合，訓練参加者がそれぞれの役割の模擬活動を行うロールプレイング型の訓練形態が取られている。図の“構成”の欄に記載されているように参加機関が多数の場合には，連携を重視した訓練とする場合が多い。また，訓練の種類は，緊急時放射線モニタリングや緊急被ばく医療，住民避難などの実動訓練(Field exercise)と，緊急時の情報収集・意思決定などの活動を担う各種組織を対象とした机上訓練(Table top exercise)に分類される。

これらのロールプレイング型訓練については，訓練参加者に対する事前の訓練シナリオの提示有無によって「シナリオ提示型訓練」と，「シナリオ非提示型訓練」に分類される。国の原子力総合防災訓練は，OFC 運用にかかわるシナリオ非提示型訓練を事前訓練とし，実動部分を多く含む本訓練をシナリオ提示型訓練としている。この両者を相補的に実施することにより全体的な訓練効果の向上を目指している。自治体の訓練も国の総合訓練と同様，主に実動部分を含めシナリオ提示型を中心として実施している。これに対して，オフサイトセンター活動訓練は，シナリオ非提示型ロールプレイング形式で各原子力施設を対象に実施されている。したがって，この両者を国の訓練と同様に相補的な位置付けとして実施することにより，全体的な訓練効果の向上が可能となっている。また，これらの訓練とは別に，第2図の下部に記載の研修が実施されている。

3. 訓練の記録・評価の考え方

日本の原子力防災訓練で現在実施されている訓練の記録・評価の方法は，先に述べた「訓練の目的」の差異に関連して，IAEA で推奨されている内容とは異なる点が多い。

例えば，欧米における原子力防災訓練の記録・評価は，「①組織の遂行能力評価」に重点を置いており，遂行能力評価に関しても評価者が作成した評価原案に対して被評価者からのフィードバックを受けた後に評価を最終確定している。

日本の原子力防災訓練では，訓練の目的として，「②参加者のトレーニング」，「③実効性向上のための試行」に重点を置いている場合が多く，訓練の記録・評価についてはそれぞれアンケートや，訓練目的に対応した記録・評価が行われ，おのおのの改善項目が抽出され，次回の訓練に反映されている。

4. 訓練の準備手順における留意点

訓練の準備手続きに関する留意点については，IAEA モデルも日本の原子力防災訓練も，共にロールプレイング型訓練を想定しており，留意点については共通したものが多い。

ただし，日本においても「①組織の遂行能力評価」に軸足を移していく場合には，「評価員の人材育成」を進めていくことが今後必要になってくると考えられる。

5. 訓練設計における技術的な留意点

日本の原子力防災訓練では，緊急時対策支援システム(ERSS)や緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)といった緊急時対応支援システムの活用という観点から，これらシミュレータを使用した防護対策検討を中心とした訓練設計が行われる場合が多い。これらの訓練設計においては，システム上の制約条件を把握し訓練設計時に配慮するよう，留意が必要である。

V. 今後の展望

原子力災害対策特別措置法が施行されてから7年が経過し，全国各地で原子力防災訓練・研修が実施されている。日本における原子力防災訓練の現状を海外およびIAEA 推奨のモデルと比較した場合，訓練の力点が異なるため一概に論じることは難しいが，現状の訓練実施内容はほぼ同等の観がある。しかし，先に述べた制度の考え方も含めて評価の考え方や，支援システム・予測システムの位置づけ，またここでは取り上げなかったが，行政機関の人員が比較的短年度で異動になることを考慮に入れた訓練の企画など，検討すべき項目もある。

今後の原子力防災訓練の実施に当たっては，これらの検討すべき事項も含め，緊急時対応要員の能力要件に関する体系的整理を行い，これを反映した全般的な訓練・研修体系の再構築，および危機管理的要素を考慮した平常業務の設計なども進めてゆく必要があろう。このような点を標榜し，IAEA モデルを参考にしつつ，原子力防災関係機関活動のより横断的・有機的な協調，および継続的な改善向上(PDCA サイクルの運用)を行っていくことが期待される。

―参 考 文 献―

1) *Preparation, Conduct and Evaluation of Exercises to Test Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency* (ERP-EXERCISE 2005), IAEA,April 2005.
2) *Preparation, Conduct and Evaluation of Exercises to Test Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency Training Materials* (ERP-EXERCISE 2006/T), IAEA,April 2005.

著者紹介

船橋俊博(ふなはし・としひろ)

(独)原子力安全基盤機構
(専門分野)原子力防災訓練の企画・立案・実施・評価業務を行っている。

柴田高広(しばた・たかひろ)

㈱三菱総合研究所
(専門分野)組織のリスク管理および危機管理に関する業務に従事している。

「2008年春の年会」見学会

○Aコース(JAEAもんじゅ・関電美浜コース)

●見学先　日本原子力研究開発機構エムシースクエア(もんじゅ展示館),FBRサイクル総合研修施設(ナトリウム取扱研修施設),高速増殖炉研究開発センター(もんじゅ),関西電力美浜発電所(PR館・SG保管庫)

●日　時　3月29日(土)(年会終了翌日)

●集　合　10:40　JR敦賀駅前交番横

●コース　集合(10:40)→敦賀駅発(10:50)→日本原子力研究開発機構エムシースクエア(11:20～12:10)→FBRサイクル総合研修施設(12:15～12:35)→高速増殖炉研究開発センター(12:40～14:30)→関西電力美浜発電所(14:40～16:50)→JR敦賀駅解散(17:30)

●定　員　80名(先着順)

●参加費　1,000円(昼食代含む)

○Bコース(阪大レーザー研コース)

●見学先　大阪大学レーザー研究所(激光XIIレーザー・LFEX・ターゲットチェンバー・パルス圧縮装置)

●日　時　3月28日(金)(年会最終日)

●集　合　16:40　大阪大学レーザーエネルギー学研究センター　慣性核融合実験棟

●見学所要時間　約1時間(17:40解散予定)

●定　員　40名(先着順)

●参加費　無料

○見学をご希望される方は,希望コース名(A·B),氏名(ふりがな),年齢,所属,役職,住所,電話番号,国籍(外国籍の場合)を記入して,**3月7日(金)**までに本会事務局へ,FAXまたはE-mailにてお申し込みください。
(FAX:03-3581-6128,E-mail:kikaku@aesj.or.jp)

○ご見学の際には,核物質防護の観点より学生証・免許証などの身分証明書(本人の写真があるもの)をご提示いただきますので,忘れずにご持参ください。また,外国籍の方はパスポートをご持参ください。身分証明書・パスポートをお忘れになりますと,見学できませんので予めご了承ください。

○見学の申し込みにあたっていただいた個人情報は,見学会以外の目的には使用しません。

Short Report

制御棒引き抜け報告会に思う

平成19年９月28日，原子力学会「2007年秋の大会」の中日の午後，およそ百人の参加を得ての標記報告会の模様の本件の調査委員会委員長ではあるが，まったく私的な感想である。

事の発端はご存知，いわゆる東電事故隠し，データ改ざん事件から発し，全事業者で今までのこと洗いざらい調べて報告せよとのお達しにより明らかになった古い事象，臨界である。おかげで企業倫理，科学技術者倫理だの法令順守・コンプライアンスの騒ぎとなったことはご存知のとおり。おかげで現場は書類と外部対応に追われることともなったようだ。確かにいんちきはいけないが，なぜそんなことをしたか，なったのかの分析が不十分であった。

この臨界の件も上述の傾向は強く，臨界を隠していたと新聞テレビも大騒ぎになり，おかげで志賀１号機はお仕置きで運転停止，ほかに地震やら何やらで北陸電力幹部はゴルフも自粛だそうだ。

まあともかく，なぜ制御棒が思いもかけず抜けたのか，臨界ってどの程度だったのか，どれだけひどくなりえたのか，そして安全の問題としてはどう取り上げるのかを調べて分析することとなった。もちろん人間のところがポイントでどうして隠すことになったのか，ということが大きい。

ほとぼりも冷めてというわけではないのだが，本件はまず実態として安全上の被害はまったくなかったにしては騒ぎすぎの感が強い，やはり臨界がJCO事故を想起させる。さて，この制御棒駆動システムだが，定期検査時に念には念を入れるつもりですべての制御棒のバルブを閉めて回る。ところが米国ではこんなことはしない，わが国ではおのおのの事業者によってやり方が異なることも判明した。したがって第一印象としては余計なことやって失敗したのではないかということになったが，このあたりは事業者自身の判断によるもので，保守保全の合理化，効率化の観点からも検討中とのこと。

さて臨界については，どれだけ最悪がありえたのかがだが，すなわち何人かかってバルブを閉めて回るのか，たとえば残り20本で，20人かかってせいので閉めることはいくら何でもあり得ない。また，臨界になったとたんにスクラムがかかり，制御棒の動きは止まる。すなわちそんな程度でお湯も沸きはしない(と思う)。

安全からいえばスクラムがかからない，作動しないことも考えてということだろうが，運転中はボロンを注入することとなっているが，炉停止状態での有効性など疑問が残るところ。

ところで，私には２つ疑問が残る。まず，当時現場は臨界事象と認識したことは間違いないわけで，それがどの程度で燃料棒などの検査を必要とせず，そのまま運転再開してもかまわないとの判断の根拠は何かということである。すべての計測値は問題ないことを示している，制御棒の位置からして臨界箇所は部分的であることなどからの判断ということであろう。その判断の根拠，基準はなんだろうか？

さらには，臨界が発生していたことを発電所管理のラインに報告し，ついで国並び地方の規制当局に報告していたらどうなっていたんだろうか。ミスはあったにしても炉心損傷なんてありえないとしてそのまま運転されたであろうか，いやそんなことは夢物語で，大騒ぎになり燃料棒点検だけでは収まらず数々の意味不明の点検と書類提出を命ぜられたことであろう，少なくともそう想像したに違いない。

確かに原子炉で何がおきているのかを説明する責任は第一義的には運転者にある。その説明を科学的かつ技術的に的確に判断する責務を規制は持っているはずである。ここらのやり取りの歯車がしっくり来ない，お互いに信頼感がないとすると，どうせたいしたことではないのだし，また報告したところでえらい目に会うのはわかっていると思ったとたん，隠蔽の誘惑が忍び寄ることになる。

人の問題では，まったくお粗末のきわみ，同一サイトでも情報は伝わっていない，報告するしないを越えて情報，知識として共有していかなければならないことに反していることが情けない。

まあいろいろ対策もうたれて，またさらに検討されることになっているが，何かそれがまたつまらない重荷にならずに前向きの，たとえば保守・保全の合理化につながるとかになることを切に望む。

（エネルギー総合工学研究所 松井一秋，
2007年 12月６日 記）

連載講座

軽水炉プラント
―その半世紀の進化のあゆみ

第5回　米国および日本の軽水炉の改良研究（PWR）
―シッピングポートから美浜1号機まで

元三菱重工業㈱　嶋田　昭一郎

連載講座の第5回としてWestinghouse社を中心に行われたPWR型軽水炉の開発，国内では自主開発された原子力船「むつ」の炉心の設計，美浜1号機までの国内での活動状況について述べる。

I．標準化以前のPWR炉心(1～4)

PWRは米国海軍の潜水艦用動力炉を発展させた発電炉である。潜水艦用動力炉にどのようなタイプの原子炉を採用するか，いろいろ検討された結果，加圧水型に決まりWestinghouse社（以下WH社）が担当することになった。WH社は1948年にベテイスに研究所を作り，リコバー氏の指導の下，潜水艦用動力炉の開発，ジルコニウム合金の開発を行った。一方，発電用動力炉開発の機運が高まり，それには熱効率がよいと考えられたBWRが選ばれた。したがって，発電炉としては，BWRがBORAX-1（1953.7），-2，-3，-4，-5，EBWR，VBWR（1957.8）を経てドレスデン（Dresden）（1959.10）を建設したのに対し，PWRは潜水艦用発電炉MARK-1（1953.6）からいきなり発電炉シッピングポート（Shipping Port）を建設した（1957.12，本講座第2回第5図参照）。

設計はベテイス研究所が中心となって進めたが，対象が発電炉であるので，別に完全にWH社独自の商業用の原子力事業部を作って仕事を進めた。この発電所に使用したPWRは船用炉で得た技術を使い発電炉としての可能性を実証したものである。燃料は高濃縮板状燃料と天然ウラン丸棒とを組み合わせ，制御棒にはハフニウムを使用した。

LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century―(5)Deveropment for the PWR Type Light Water Reactor in Japan and USA; From Shipping Port to MIHAMA Unit 1 Prant：Shoichiro SHIMADA.
（2007年　8月25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

商業用PWRとして次いで建設されたのはヤンキーロー原子力発電会社のヤンキーロー発電所（電気出力13.5万kW，1961.6）であった。ヤンキーロー炉で初めて低濃縮酸化ウランの棒状燃料を採用した。また，PWRではヤンキーロー炉以来，ステンレス鋼（304）を被覆材に使用しており，ジルカロイ-4が最初に採用されるのはスペインに建設され1969年に運転開始したゾリタ（ZORITA）炉である（**第1表**）。ジルコニウムと冷却材の水との反応で発生する水素の，ジルコニウム中に吸収される比率を減らすには合金中のNiを除く方がよいことがわかり，ジルカロイ-2のNiを除き，強さその他保持上，Feを50%増して改良したジルカロイ-4が開発され，冷却材使用温度の高いPWRに使用されるようになった。ヤンキーロー発電所の格納容器は1個の大型球形とし縦型の大型蒸気発生器を収納し，陸上プラントとしての配置の原型ができた。1次冷却水ポンプは密封型を使用した。

ヤンキーローとほとんど同時に，Babcock & Wilcox（B&W社）がインディアンポイント1号機（電気出力27万kW）を建設し，1962年に運開している。また，最初の原子力商船サバンナ号のPWR型原子炉はB&W社製である。Combustion Engineering（CE社）もPWRメーカーとして実績を上げているが，スタートは　WH社，B&Wに遅れている。以後，WH社のPWRに絞って解

第1表　Yankee炉以降，標準化以前のWH社製PWRプラント

プラント名称	設置場所	熱出力（MWt）	電気出力（MWe）	ループ数	完成年度
Yankee	USA	600	185	4	1960
SELNI	Italy	825	272	4	1964
SENA	France	850	285	4	1967
San Onofre	USA	1,347	450	3	1967
Connecticut Yankee	USA	1,500	490	4	1967
ZORITA	Spain	510	160	1	1969
NOK	Switzerland	1,130	350	2	1969
GINNA	USA	1,300	420	2	1970

説する。

1. ケミカルシムの採用

発電用PWR原子炉では炉心寿命初期において，通常30%近い余剰反応度を持っており，これをすべて可動式の制御棒で吸収させるには過大な制御棒を必要とする。そこで，時間的に速い応答を必要とする部分にのみ制御棒によって制御し，その他は軽水中にホウ酸を溶解させ，反応度を吸収させる方法を考案した。

これはケミカルシムと呼ばれPWR炉心の大きな特長の一つであるが，採用までには数多くの実験が実施された。ヤンキーロー炉の初期には，運転中にはケミカルシムを用いずに，原子炉を運転温度から常温に移行させる時のみ使用した。その後，運転時間を区切ってケミカルシムを使用して出力運転を行い，その特性を調べ，動力炉への使用の可能性を確かめた。さらに，動力試験炉であるサクストン炉における本格的試験により，採用に踏み切った。ケミカルシムを用いた原子炉の特長は，

⑴　制御棒の本数を大幅に削減できる。

⑵　運転中に制御棒がほとんど引抜き状態にあるので，平坦な出力分布が得られる。また，制御棒の寿命が長くなる。

ケミカルシムの欠点は，ホウ酸濃度が上がると温度係数が正に近づくことである。冷却材の温度が上がると冷却材密度が減少するため中性子減速能が減ること，およびホウ酸による吸収が減ることの2つの影響がある。前者は温度係数を負にする効果があるが，後者は正にする効果がある。冷却材中のホウ酸濃度が増すと，後者の効果が勝り正に近づく。これを避けるため可燃性毒物が開発されて使用されるようになったのはスイスに建設されたNOKプラントからである(第1表)。

2. 制御棒

WH社はサンオノフレ原子炉に対し，大幅な改良を行った。すなわち，Rod Cluster Control(RCC)の採用である。この型では，制御棒は燃料集合体内に棒状の吸収体を分散させている。この制御棒は長さも直径もほぼ燃料棒と同じであって，燃料集合体に配置された制御棒案内管の中を上下に動くようになっている。制御棒は頂上において放射状のスパイダ(複数の制御棒を一緒に挿入，引抜きできるように束ねる機能がある)によって結合され，さらに制御棒の駆動軸に連結されている。この方式は以下に述べるように優れた特色を持つ。

⑴　従来の十字型制御棒は引き抜かれたときに，大きな中性子束分布のピークができる。これを避けるため，制御棒の下部に中性子の減速，吸収共に小さい物質を付けておき，制御棒の抜けた後の水の進入を防ぐ方法が取られていた。これを制御棒フォロワーと呼んでいるが，そのため圧力容器内の炉心下部にはフォロワーが動きうる空間が必要であった。RCCの場合は，吸収体が抜けた後にできる水の領域が小さいため，中性子束ピークは小さくフォロワーを必要としなくなった。このことは単に制御棒構造が簡単になったばかりでなく，圧力容器が小さくなること，1次保有水量の減少に伴って，加圧器，格納容器を小さくできることになり，経済的メリットは大きい。

⑵　制御棒挿入時でも，吸収体は均一に分散されておりかつ1本1本の吸収が小さいので，出力分布のひずみを小さくできる。

⑶　制御棒が分散しているので，吸収体あたりの吸収効果は従来のものに比較してよい。

この型の燃料集合体およびRCCは現在も使用されている。その他の改良として，ⓐゾリタ炉以降，被覆管にジルカロイ-4を採用，ⓑサンオノフレ炉以降，スプリンググクリップの材料にインコネルを採用，ⓒさらに，ロチェスター(GINNA)炉以降，RCC案内管をステンレス鋼からジルカロイに変更。

このように，中性子経済を良くし，燃料サイクル費の改善に努力が払われてきた。最近ではグリッドにジルカロイが使用されている。

3. 可燃性毒物の採用

ケミカルシムを採用したPWRプラントでは，初装荷炉心のサイクル寿命が燃料経済の観点から，1年半程度に設計されているので，炉心寿命初期のほう酸濃度が高く温度係数が正になる。WH社は制御系の設計を正の温度係数を考慮して設計しているので，運転上問題ないと主張してきたが，NRCとの論争に破れ可燃性毒物の採用に踏み切った。そして，管状のホウケイ酸硝子をステンレス鋼の二重管の中に入れた可燃性毒物を開発した。

この形式の可燃性毒物がNOK，ロチェスター(GINNA)プラント以来採用されてきた。わが国のPWRプラントにおいても，美浜1号機以来使用されている。

4. その他の改善

PWRプラントはヤンキーローから始まり，上記のような種々の改良を重ねて性能を改善してきている。サクストンは米国Pittsburghの郊外に建設された種々の試験を目的とした動力試験炉(炉心直径 713 mm，炉心長 928 mm，集合体数 21，集合体中の燃料棒数 71，UO_2重量 1.01トン，濃縮度 5.69 wt%)である。プルトニウム燃料集合体も試験された。三菱原子力工業はこの炉へプルトニウム燃料集合体を含む3体の燃料集合体を試作して，この炉で照射実験を行っている。WH社はヤンキーローの建設中に西ドイツ(ジーメンス)とイタリア(フィアット)と技術提携を結び，ヨーロッパからいくつかの発電プラントを受注した。このため，SELNI，SENA，

（第１表）および動力試験炉 BR-3が設計された。

SELNI 炉は燃料実効長８フィート，15×15格子の燃料集合体数120体の炉心でサイズ的には美浜１号機に近い炉心である。SENA は SELNI に類似のプラントであるが，運開後，周辺集合体が圧力容器に近すぎるため，圧力容器の照射脆化が懸念され，周辺の集合体を取り除く検討を行っている。BR-3はベルギーに建設された。この炉で冷却材を重水から軽水に変換していくスペクトラルシフトの実証試験が行われたことが注目すべきことである。RCC 制御棒クラスタの使用はサンオノフレ（SCC）炉からである。SCC 炉へはジルカロイ-4被覆管使用の MOX 燃料集合体４体が試験的に装荷されている。ゾリタ（ZORITA）は熱出力510 MWt でスペインに建設された。燃料長は８フィートの14×14格子の燃料集合体69体の炉心である。PWR では被覆管にジルカロイ-4を最初に使用したのがこのゾリタ炉である。ゾリタ炉では室温での炉物理データが測定されている。

Ⅱ．PWR プラントの標準化

従来，原子力発電所は発展途上にあったため，一つ一つのプラントおよび付属機器は全く始めから設計するものであった。しかしいくつかのプラントを作り，実績を積み重ねることにより，技術的に完成度の高い分野も増えてきた。設計が完成された状態になれば，製品をある程度規格化することにより製作コストを低減すること，信頼性の増加を図ることも当然の成り行きである。このために WH 社では多くの開発研究を行い，1967年に PWR プラントの標準化を発表した（**第２表**）。これに対し，炉心構造も標準化し，２ループ炉心は14×14格子の燃料集合体121体よりなり，３ループ，４ループは15×15燃料集合体でそれぞれ157体，193体で炉心を構成することにした。

この標準化において，蒸気発生器，１次冷却材ポンプおよび配管のループ構成機器は出力に関係なく同一設計であり，圧力容器はそれぞれの出力区分に応じたものを用いる。

第２表　WH 社の PWR 標準プラント

区分	ループ数	熱出力（MWt）	送電端電気出力（MWe）
500 MW 級	2	1,606	約525
750 MW 級	3	2,370	約770
1,000 MW 級	4	3,090	約1,010

注１）この表は大型蒸気発生器（伝熱面積4,786 m^2）の場合である。
注２）出力は，蒸気発生器出口圧力54 kg/cm^2，給水温度221℃の場合である。
蒸気流量および圧力を適宜選択すると，出力に幅を持たせることができる。

また蒸気発生器は２種類（伝熱面積4,786 m^{2}および4,129 m^{2}のもの）のいずれも使用可能であり，出力の要求により多少の調整が可能になっている。

Ⅲ．わが国での開発

1．PWR の検討

２度のジュネーブ会議（1955年，1958年）の発表論文を日本原子力産業会議を中心として検討し，各種計算コードの開発などを日本原子力研究所（原研），産業界共同で検討した。シグマ委員会が発足し，核データの収集，散乱カーネルの検討などが行われた。

三菱グループでは，三菱原子力委員会（1955），三菱原子力政策会議（1956）などを設置し，三菱グループとして統一した開発に踏み出した。一方，電力会社も原子力開発に熱心で，関西電力が電気試験所，三菱グループと原子力発電研究委員会（APT 委員会）を発足させた（1956）。この委員会では，各種発電所の試設計を実施した。

三菱原子力工業が三菱グループの原子力専業会社として設立された（1958）。三菱原子力工業（MAPI）では，原子炉設計技術の確立として，シッピングポート炉（1957年12月に初発電），ヤンキーロー炉（1956年頃から設計が始まり，運開は1961年）の検討が中心であった。シッピングポート炉については運転データの検討，ヤンキーロー炉の設計については Yankee Hazards Summary Report のほかに，YAEC という多くのレポートで報告されており，WH 社の設計グループの苦労が滲み出ている。設計手法が不十分であったための設計変更が何度もなされている。例えば，濃縮度は2.6 wt%から出発して最終的に3.4 wt%に決定されるまでに，何度も変更された。減速材温度係数については臨界実験により確認しているが，燃焼の進んだ状態での値を予測するのは困難であった。

MAPI は WH 社と技術契約を1961年に結びトレーニを派遣し，WH 社製の PWR を検討した。WH 社はヤンキーロー炉の次の SELNI（運開は1965年）、SENA（運開は1968年）の設計を行っている時代であった。しかし動力炉の導入，国産化はかなり後になるというムードであり，技術開発は原子力船に向けてのものだった。

2．原子力船「むつ」の設計[6〜8]

（1） 設 計

原子力船「むつ」の試設計が始まったのは1961年であった。この年，MAPI が WH 社との技術提携を認可されている。しかし，この技術提携では，WH 社の船に関する技術情報は使用が認められていないので，陸上プラントの情報を参考とした。炉心についてのパラメータサーベイ計算を行い，燃料棒寸法，格子間隔などを決定した。

参考としたプラントはサクストン，ヤンキーロー，BR-3である。その中で特にヤンキーロー炉(第1表参照)，サクストン炉を参考としている。その後，何度か設計を修正して第1次基本設計を決定した。「むつ」炉心はヤンキーロー炉と比べて小型であるので，炉心からの中性子の漏れが多く，温度係数は負になりやすい。そこで，中性子経済を良くするように水対燃料の体積比を大きくした。設計上最も大きな問題は，ワンロッドスタックの状態での炉停止条件を満たすことであった。全制御棒挿入状態では10% $\Delta k/k$ の停止余裕があるが，ワンロッドスタック状態では常温での炉停止余裕が不十分であった。制御棒のスパン長を可能な限り大きくし，それでも不足だったので，可燃性毒物を採用して炉心の反応度を下げることにした。原子力船では沈没時を想定すると，ケミカルシムを使用することはできない。可燃性毒物については，ジルカロイをベースに B_4C を考えていたが，材料の問題で最終的には，WH社が採用し始めたホウケイ酸ガラスを採用することにした。**第1図**に燃料集合体を，**第3表**に「むつ」炉心の基本仕様を示す。

炉心は11×11本の燃料棒で構成される燃料集合体を，**第2図**のように，32体配列した。炉心の有効長は1.040 mである。

(2)　TCA臨界実験[7]

「むつ」炉心の核特性を検証すべく，原研は日本原子力船開発事業団との共同契約に基づき，「原子力船第1船用炉心の臨界実験に関する研究」を行った。実験は原研のTCAで1965年12月から開始され，翌年8月まで行われた。TCAでの臨界実験は径方向については「むつ」炉心を忠実に模擬しているが，高さ方向については半分の長さの520 mmである。この実験により核計算の精度が確認され[6]，その成果に基づいて第2次基本設計を行った。炉心構造や寸法はそのままにして，可燃性毒物の採用，制御棒を板状十字型ハフニウムから棒状十字型の銀，インジウム，カドミウム合金に変更した。また，燃料濃縮度は3.2%と4.4%の2領域に変更した。第2次実験計画は1966年9月から10月にかけて変更炉心に対する追加実験の形で行われた。

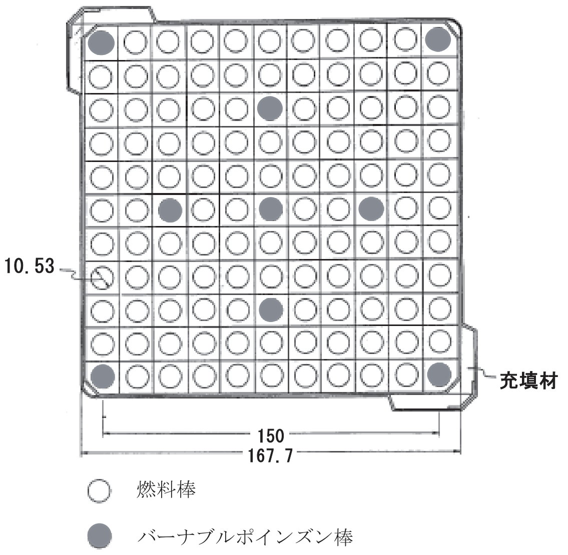
本研究は，MAPIにとって初めての本格的な軽水炉の臨界実験，設計検証に当たり，この経験は軽水炉核設計の基礎の確立に大きな意義があった。

(3)　MCFにおける「むつ」炉心陸上臨界実験

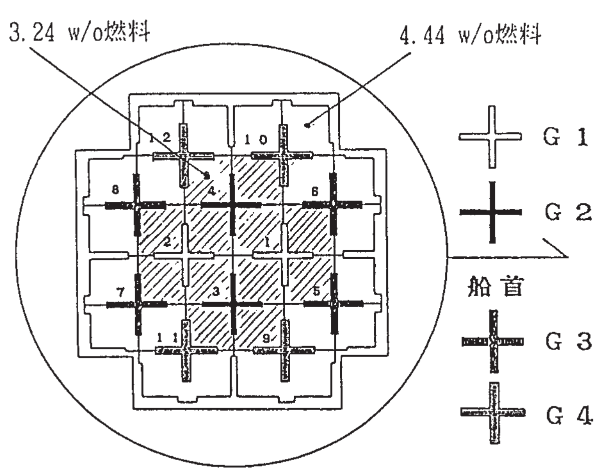
「むつ」炉心の仕様は，原研のTCAで行われた実験を通じて核設計手法の確認を行い，1967年に決定された(第3表)。この炉心の臨界と主要な炉物理試験は，炉心を船内に搭載する前に陸上で実施することになった。これは「むつ」炉心が国産実用炉の第1号であること，「むつ」

第3表　「むつ」炉心主要データ

原子炉熱出力	36 MWt	ガラス管外径	9.68 mm
炉心実効直径	1,146 mm	ガラス管肉厚(2種類)	0.45 mm (3.24 wt%) 0.30 mm (4.44 wt%)
炉心実効高さ	1,040 mm	バーナブルポイズン有効長	62.5 mm
定格システム圧力	110 kg/cm²	1集合体当りの本数	9
炉心平均冷却材設計温度	278.8℃	制御棒本数	12
燃料集合体ピッチ	179.6 mm	制御棒スパン	278 mm
燃料棒ピッチ	15.0 mm	吸収材	Ag-In-Cd合金
燃料棒被覆管外形	10.53 mm	UO_2重量	2.77 t
燃料棒被覆管内径	9.53 mm	炉心寿命	9,000 EFPH以上
被覆管厚さ	0.4 mm	燃焼度	5,530 MWd/MTU以上
被覆管・ペレット間隔	0.13 mm	燃料集合体数	32
被覆管材質	ステンレス鋼(SUS 27)	燃料棒配列	11×11
燃料ペレット密度	10.4 g/cm³		
燃料ペレット直径	9.6 mm		
バーナブルポイズン材質	ホウケイ酸ガラス		
外形	10.53 mm		



第1図　「むつ」炉心燃料集合体



第2図　「むつ」炉心断面図

は原子動力で駆動しながら試験を遂行しなければならないことなどの特殊要因によるものである。炉心の陸上臨界実験はMAPIのMCF(Mitsubishi Critical Facility)で行うことになり(炉心体系を完全に模擬した実炉心である),1971年9月から12月にかけて実施された。この陸上臨界試験により「むつ」炉心の性能上の特性を事前に確認することができた。特に船に搭載後では得られない貴重なデータが得られた。

MAPIはサクストン燃料3体を製作し,この燃料が原子炉に装荷された最初の三菱製燃料で,「むつ」の燃料はこの経験に基づいてMAPIの大宮研究所で製作した。

「むつ」の昭和49年(1974)の放射線もれは圧力容器の頭部の周辺で1次上部遮蔽体の補強不足が原因となっておきた。「むつ」はその後多難な経緯をへて平成3年(1991)に実験航海を完了した(本講座第4回参照)。「むつ」の設計が開始された頃は,原子力船時代が来るという予想で,米国,ドイツ(1964年に鉱石運搬船用の原子力船オットー・ハーン号を完成),旧ソ連などが原子力船を手がけたが,砕氷船レーニン号以来,砕氷船という目的を持った旧ソ連のみが民生用原子力船を定着させた。

Ⅳ. 美浜1号機の設計[8,9)]

昭和41年(1966),関西電力はPWRを選定,初号機美浜1号機(電気出力34万kW)の原子炉,原子力蒸気発生器をWH社から輸入,タービン発電機は三菱製を採用することを決定した。MAPIは原子炉1次系の設計助成のために技術者をWH社の主な部署へ送り込んだ。美浜1号機はこれに続く美浜2号機などの標準2ループとは異なり,スイスに建設されたNOKと同様に,燃料実効長が10フィートの炉心であるが,その他の面では標準プラントにつながる炉心構成である。美浜1号機の予備燃料2体を三菱が製作したのが商業用PWR用国産燃料の最初である。国産燃料の採用は第5領域(第3サイクルに使用予定)からである。なお,この第3サイクルには,WH社,国内PWR電力,三菱の共同プロジェクトによるプルトニウム(MOX)燃料集合体4体が装荷される計画であった。実際には昭和63年3月14〜17日,第9サイクルに装荷され3サイクル照射後取り出され(平成4年1月11日),三菱の燃料開発会社であるNDCで照射後試験が行われた。プルサーマルの実用化はいまだに実現していないが,計画はこのように早くからなされている。「万博に原子力の灯を」との合言葉のもと,関係者が一体となって取り組んだ美浜1号機は昭和41年(1966)12月着工,45年(1970)11月28日に営業運転を開始した。

—参考文献—

1) 小倉成美,“PWRを生み出した人々”,エネルギーレビュー,(1993.1).
2) 小倉成美,“温故知新53 準国産エネルギーと自主技術への道程”,日本原子力学会誌,**35**〔10〕,891〜898(1993).
3) 荻野周雄,“三菱の原子力開発への取り組み”,原子力eye,**46**〔1〕,(2000).
4) 森田敏夫,“最近の軽水炉の技術的発展について—加圧水型原子力発電所”,電気評論,(1969.10).
5) 横手光洋,近藤吉明,安部田貞昭,“わが国におけるPWR燃料—変遷と今後の動向”,原子力工業,**38**〔7〕,(1992).
6) 小倉成美,“原子力船「むつ」の設計”,エネルギーレビュー,(1991.8).
7) S. Matsuura, *et al*., *Critical Experiment and Analysis on the Core for Japan First Nuclear Ship Reactor*, JAERI 1166,(1968).
8) 嶋田昭一郎,“40年の核設計を振り返って”,第35回炉物理夏季セミナー,(2004).
9) 横手光洋,嶋田昭一郎,近藤吉明,安部多貞昭,“美浜1号機におけるPWRプルサーマル利用—小数体実証計画の歩み”,原子力工業,**38**〔5〕,(1992).

著者紹介

嶋田昭一郎(しまだ・しょういちろう)

元三菱重工業㈱
(専門分野/関心分野)軽水炉の炉心設計/核燃料サイクル

連載講座

高速炉の変遷と現状

第7回 日本の高速炉開発の歴史(Ⅱ)

日本原子力研究開発機構 伊藤 和元，小竹 庄司

Ⅲ．原型炉「もんじゅ」の開発

1．設計と研究開発

「もんじゅ」の主要仕様を第1表に示す。この最終仕様に至る推移を述べる。

第1表 「もんじゅ」の主要な仕様

項 目	仕 様
型式	ナトリウム冷却高速中性子型増殖炉
炉型	高所水平引き回し方式ループ型
出力	熱出力 714 MW，電気出力 280 MW
炉出入口温度	397/529℃(入口/出口)
燃料	プルトニウム・ウラン混合酸化物
増殖比	約1.2

(1) 予備設計の結果でループ型炉，ヘリカルコイル型蒸気発生器(SG)等を選定

動力炉・核燃料開発事業団(以下,動燃)発足(1967年10月)により，大学，電力，原研，メーカの原子力関係有識者を高速炉開発の担当として結集し,実験炉,原型炉,ナトリウム(Na)施設，計測制御等をおのおの担当して開発が開始された。原型炉の設計は予備設計から開始された(1968年9月～69年1月)。国の総力を挙げて行うため，原研での高速増殖炉研究開発委員会(1963年5月発足)に参加したメーカ5社(住友原子力，東芝，日立，富士電機，三菱原子力)に委託された。5社は，1976(昭和51)年度には臨界を達成する条件の下，それぞれが技術提携している海外企業の情報を入手しながらおのおの設計を進めた。予備設計に基づき動燃は，原型炉の基本仕様(混合酸化物(MOX)燃料，Na冷却型，電気出力30万kW，ループ型，ポンプ位置はコールドレグ，SGはヘリカルコイル型一体型,蒸気条件,単回転プラグ固定アーム方式燃料交換等の10項目)を選定した。

原子炉型式については，ループ型とタンク型の概念の構造上の問題，運転や保守の容易さ，安全性，実用炉への外挿性，研究開発上の問題等の多方面から比較検討を行った。その結果，⑴両型式とも将来の実用炉段階ではおそらくいずれも競合して並存するであろう，⑵タンク型の利点は，タンクおよびタンク内機器の信頼性が十分高いことが前提条件で，原型炉の開発時期より考えると若干の無理があり，また研究開発費もループ型に比してかなり大である，⑶原型炉は開発段階のものであるため，機器の保修，改良等が必要となった場合，接近性の良いループ型の方が有利と思われる，との事由から，我が国の原型炉開発としては，より自信のある確実なものと考えてループ型を採用することとした。

さらには，⑷耐震以外の課題に対しては，自主開発で困難となれば海外の技術を一部導入することも可能だが，耐震だけは日本以外でできるところがない，⑸タンクの支持，タンク内機器配置などの課題に対し多くのR&Dが必要となり，原子力委員会が想定した時期に間に合わない，⑹ナショナルプロジェクトとして複数のメーカが取り組むにはループ型が適している，といった点も理由といわれている。

また，SGに関しては，開発が世界的に競争状態にある中でヘリカルコイル型が優れた設計と評価され，開発に意欲的な国内メーカがあったことが選定の理由といわれている。

(2) 概念設計で1次系配管高所水平引回し方式等決定

基本仕様に基づき概念設計が実施された(1969年10月～73年5月)。概念設計では，原子炉容器ノズル位置に関し炉容器下部流入方式を採用，原子炉出口温度を当初の560℃から540℃に，SGは一体型から分離型に，1次系配管を二重管構造から一重管構造の高所水平引回し方式に，崩壊熱除去系を原子炉容器内直接2系統方式から2次系設置型(IHX分岐方式)に変更する等が行われ，国のチェックアンドレビュー資料を作成するとともに，

Fast Breeder Reactor : The Past, the Present and the Future —(7)History of Fast Reactor Development in Japan-Ⅱ: Kazumoto ITO, Shoji KOTAKE.

(2007年 11月19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)

安全設計方針のプラント全般への展開と調整が図られた。

（3）　研究開発が大洗工学センター発足により本格的に開始

「もんじゅ」の研究開発は設計と密接な関係を持たせながら，1970年4月，動燃大洗工学センター発足により本格的に開始された。この発足日に，当時の清成副理事長により，高速実験炉は「常陽」，原型炉は「もんじゅ」，そして新型転換原型炉は「ふげん」と命名された。

⑴　炉心：　原型炉炉心の模擬臨界実験は，旧原研のFCAにおける部分模擬実験と，英国原子力公社のウインフィリス研究所のZEBRA炉におけるフルモックアップ実験(日英共同研究プロジェクトMOZART計画1971年9月～73年3月)で行われ，設計に反映された。また，低密度ペレットの製造試験や集合体試作試験等の燃料の研究開発が東海事業所で進められた。

⑵　機器等：　制御棒駆動機構，燃料交換機，大型弁等のNa中機能試験，50 MW-SGの試験，核計装やNa中計測等の計測制御設備の試験，Na純度や材料との共存性を調べる試験，Na中で構造物が受ける熱膨張や熱衝撃の試験，炉内流動や炉心流量配分などの水流動試験等が大洗工学センターを中心に進められ，設計に取り入れられた。

⑶　構造材料：　「もんじゅ」の運転温度(529℃)は「常陽」(500℃)より高温であるため，高温，長時間での構造設計の制限がより重要となった。このため高温構造設計解析法の開発，基準の整備，それらに必要な材料試験とデータの蓄積が行われた。この結果，策定された「もんじゅ」の高温構造設計指針は，安全審査や詳細設計の判断基準となった。

⑷　安全性：　Na沸騰，溶融燃料との相互作用等の基礎的試験，海外試験炉を活用した反応度事故模擬試験等による炉心安全解析コードの整備が進められた。また，Na漏えい燃焼試験，Na-水反応試験，容器や配管の耐衝撃試験等が展開され，安全審査に反映された。

（4）　調整設計をしながらチェック＆レビューを受ける

調整設計(1974年2月～77年3月)では，設計基準の明確化，建設予定地(福井県敦賀市白木)の立地条件を加味したプラントの最適化など，設計の詰めの作業が行われた。また，1975年9月～76年8月，原子力委員会新型動力炉開発専門部会において「もんじゅ」建設のチェック＆レビューが行われ，基本設計の妥当性，関連研究開発の状況，開発体制等が確認された。

（5）　安全審査

調整設計の結果，基本設計が確定したので，設置許可申請書案の作成に掛かり，原子炉設置許可申請書案を作成(1978年12月)，安全審査に備えた。また，製作準備設計(1977年9月～79年3月)により機器の配置，配管引回し等詳細検討を行った。

1980年12月，関係機関や地元情勢など申請の条件が整ったので，原子炉設置許可申請書を科学技術庁に提出した。安全審査には2年半を要し，1983年5月，原子炉設置許可を受領した。この間の1982年7月には安全委員会による公開ヒアリングが地元で開催され，地元の意見が安全審査に参酌された。

2.　建設―工事ピークには1日3千名が従事

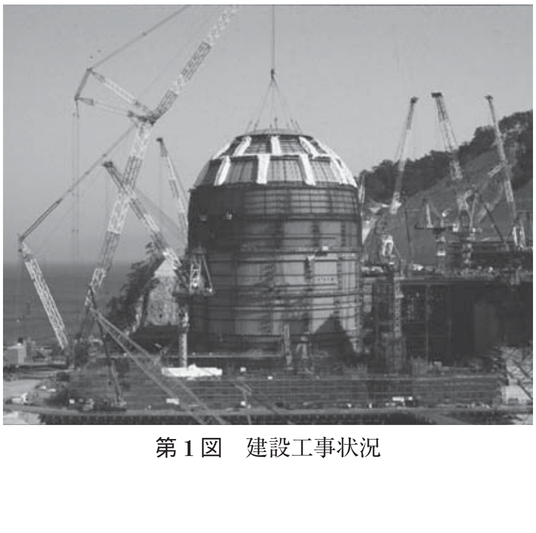
原子炉設置許可後，メーカとの機器設備第1回契約を締結し(1984年1月)，詳細設計を開始した。設計と工事の方法の認可(第1回分)を1985年8月に，同年10月に建築確認申請の確認通知書をそれぞれ受領し，建設工事に着手した(基礎掘削開始)。翌年5月に基礎岩盤の検査を終え，基礎コンクリート，原子炉格納容器，建物構築物，機器設備へと建設が進められた。サイトでは，コンクリートのバッチャープラント，格納容器鋼板の組立工場，1次Na系のライナーの組立工場が設置され，工程の短縮化が図られた。建設工事の管理は，動燃と電力との協力協定(1980年2月締結)に基づき，日本原子力発電㈱(以下，原電)の協力を得て実施した。工事のピークには1日3千名以上の作業員が建設に従事した。(**第1図**)

一方，メーカの工場では，まず材料手配が開始された。原子炉容器はリング鍛造品が用いられる設計となっており，直径8mは国内で製造可能な最大のものとなり，この切削加工・溶接・組立てのために大型工場が新設された。おのおの工場で製作された大型の容器，ポンプ，SGなどは海上輸送され，「もんじゅ港」にて水切りし，サイト構内を搬送し据付けられた。着工から約5年半，1991年4月，機器据付完了をもって工事は竣工した。(**第2図**)

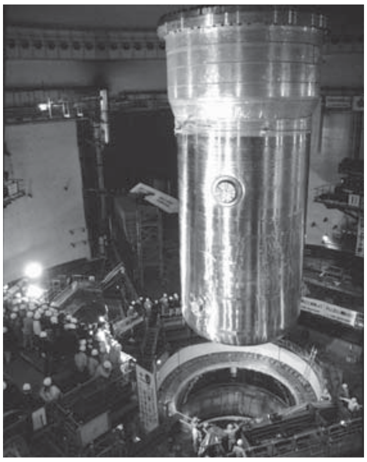
3.　試運転

（1）　総合機能試験：常温空気中，アルゴンガス中，Na中で試験

総合機能試験は1991年5月に開始された。Na系統についてはまず炉心に模擬燃料集合体を装荷し，常温空気



第1図　建設工事状況



第２図　原子炉容器の据付

中で制御棒駆動機構等の作動を確認し，次に系統内にアルゴンガスを封入し，機器配管の予熱を開始した。主要な機器の温度上昇は緩慢にし，部位による温度差が出ないよう細心の注意が払われた。その後，系統にNaを充填し，Na中試験を実施した。制御棒駆動機構，ポンプや燃料取扱い機器，計測制御機器の性能確認が行われ，最後にNaが系統に充填された状態での原子炉格納容器の漏えい率試験が行われ，総合機能試験が1992年12月終了した。この間の予熱試験の結果，２次系Cループで温度上昇による熱変位が設計と異なっていることが判明し，その対策が実施された。

（２）　性能試験―臨界，初送電を達成，しかしNa漏えい事故発生

(a)　臨界試験

プラント特性予備試験，燃料装荷前点検後，1993年10月から臨界試験を開始した。中性子源を装荷した後，炉心燃料集合体を１体ずつ模擬燃料と交換し，1994年４月，168体の装荷で最小臨界を確認した。同年５月に残りの30体を炉心に装荷し，初期炉心構成を完了した。(**第３図**)

(b)　炉物理試験

初期炉心構成を完了後，炉物理試験が開始された。出力分布評価のため核分裂箔や放射化箔を封入した燃料ピンを用いた試験を行った。併せて反応度価値特性評価，流量分布評価等が行われた(1994年11月終了)。この結果より「もんじゅ」炉心の増殖比は約1.2であると評価された。

(c)　起動試験

設備点検後1995年２月，原子炉を起動，出力を徐々に40%まで上昇させ，水・蒸気系の特性試験，タービンの特性試験，発電機や電気系統の確認を実施した。発電試験として同年８月，原子炉出力40%で電力送電系統に初併入し，電気出力５%で１時間発電し試験を終えた。なお試験の初期に水・蒸気系起動バイパス系フラッシュタンク圧力に異常が発生したため，対策工事を行った。

(d)　出力試験

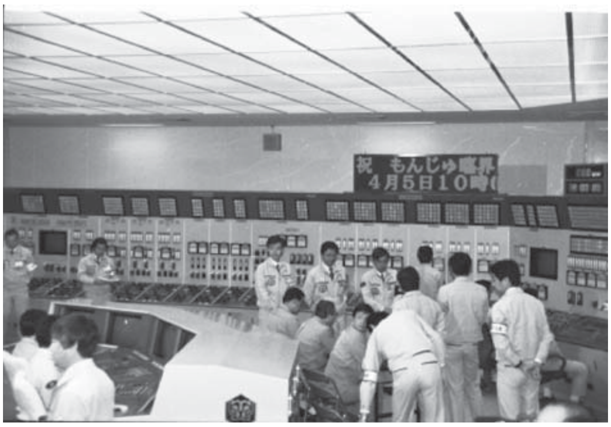
起動試験に引き続き出力試験では，電気出力40%でのプラント制御系特性，プラントトリップ特性を確認した。一連の試験により電気出力40%においてプラント全体が安定して制御され，タービントリップ時の過渡特性が確認された(1995年12月)。しかし，同月８日，２次系Cループ主配管からのNa漏えい事故が発生し，以降性能試験は中断している。

4. Na漏えい事故とその後

Na漏えいは，２次Na系Cループ主配管に挿入された温度計で発生，約480℃のNaが３時間40分にわたり漏れ，総漏えい量は約0.7トンとなった。温度計から部屋に漏れ出たナトリウムは燃焼しながら滴下し，空調ダクトや点検用足場を損傷させ，床ライナー上に燃焼生成物となって堆積した。また発生した煙(Naエアロゾル)は建物内に拡散し，一部は屋外に放出された。(**第４図**)

漏れの原因となった温度計の破損は，配管内に挿入されていた温度計保護管下流に対称渦が発生し，その流体力で保護管が振動，保護管段付き部の高サイクル疲労によって引き起こされたと判明した。

原因究明や事故後対応に対する調査検討により明らかとなった問題点，反省点を元に，プラント全体にわたる



第３図　「もんじゅ」初臨界達成

第４図　ナトリウム漏えい現場状況

安全性，信頼性の向上を目指してもんじゅ安全総点検が実施された。点検は，設備はもとより品質保証活動や運転手順書の見直し，最新知見の反映などハード，ソフトの両面から取り組み，改善策が具体化された。

（1）　主な設備改造

主な設備改造を以下に示す。これらの改造工事は，安全審査等の許認可を得て2005年3月から開始され，2007年5月に工事を完了し，工事部分の機能確認試験を2007年8月に終了した。

(a)　温度計の交換・撤去

事故を契機に策定された「配管中の流れによる流力振動防止の指針(日本機械学会)」に基づく改良型温度計に交換。

(b)　Na漏えい対策の強化

ドレン機能の強化，換気空調設備などの改造，窒素ガス注入機能の追加および区画化，総合漏えい監視システムの設置など。

(c)　SGの信頼性向上

蒸発器カバーガス圧力計および蒸気逃がし弁の追設

（2）　ソフト面の改善

(a)　品質保証体系・活動の改善

・品質保証活動推進体制の強化，文書の体系化，文書の制定・改正手続きの明確化など
・「設計審査要領」，「設計管理要領」の制定，本要領による改造工事の設計審査の実施

(b)　最新技術情報の反映機能の強化

これまで運用してきた国内外の軽水炉や海外高速炉などでの事故・故障情報の評価・検討システムに加え，新たに研究開発成果情報についての反映システムを構築

(c)　運転手順書の見直しと教育

・異常時および故障時の判断基準の明確化
・操作や状態確認のためのチェックシートの追加
・運転手順書の制定，改定等の審査および承認手続きの見直し
・種々の現場状況を想定した訓練の充実等，訓練内容の更なる充実
・運転シミュレータ設備機能の充実
・Na学校等訓練研修設備による教育訓練の充実

これらのソフト面の改善活動は，事故後から継続的に実施し，研修や訓練が計画的に実施されている。

5. 地元との共生

技術面のみならず，社会面も「もんじゅ」の歴史には重要であり，ここで少し触れておきたい。

（1）　建設同意に12年

「もんじゅ」は新規で，かつ国定公園内の立地であったことから，立地地域と深い関係を持つと共に周辺環境への影響に特段の注意が払われた。

誘致を受け敦賀市白木を原型炉建設予定地に選定したのは1970年4月であり，その後の事前調査，環境調査と国および県による環境審査等を経て地元の建設同意を得る(1982年5月)までに12年を要した。また同年7月に行われた公開ヒアリングは当時の強い原子力反対運動の中で実施された。原子炉設置許可後直ちに地元自治体と「建設工事等に伴う周辺環境の安全確保等に関する安全協定」を締結し(1983年5月)，その後の準備工事，建設工事，試運転における所要の報告や連絡，地元行事への参加等が継続されてきた。

（2）　Na漏えい事故で信頼ゼロに

しかし，Na漏えい事故(1995年12月)により地元での信頼を完全に失った。事故後約半年経って信頼回復活動として現場見学会，モニター制度，地元有識者との定期意見交換等が行われた。その結果，信頼回復の兆しが見えたが，東海事業所での火災・爆発事故(1997年3月)で再び動燃組織に対する信頼が失われた。サイクル機構への改組(1998年10月)，全社を挙げての意識改革，そのための外部企業への研修，敦賀市内全戸訪問，県下への説明会等を精力的に展開した。

（3）　「もんじゅ」裁判を乗り越えた理解活動

「もんじゅ」裁判(高裁)で国の敗訴(2003年1月)となり理解促進活動は危機的な状況となった。高裁の判決に対し全国の多くの有識者から疑問の声が上がり，地元での活動に大きな力となった。また地元で大きな力を発揮したのが女性職員を中心とした「出前説明会(“さいくるミーティング”と呼ぶ)」であった。県下の小さな集まりに出かけての説明会を精力的に行った。また，福井県「もんじゅ安全性調査検討委員会(主査：福井大学児島学長)」(2001年8月～03年11月)が「改造工事をした「もんじゅ」は工学的に安全である」との結論を出したのは県民理解に大きな影響を与えた。

6. これからの「もんじゅ」

「もんじゅ」は改造工事後の機能試験を終え，長期間停止していた機器を含めプラント全体の機能確認を進めている。また，初装荷燃料の変更に伴う安全審査への対応や耐震指針見直しのバックチェックを実施中である。これらの課題を解決し，まずは運転を再開し，所期の使命を果たすことが重要であり，安全，透明性の確保を最優先に，そして地元との共生を常に意識し，着実に進めていく。

Ⅳ. 実証炉設計研究

1. 実証炉設計研究の経緯

実証炉については，1978年から電気事業連合会において，先行炉の技術をベースに概念設計研究が実施された。その結果，経済性を向上させるには，向こう10年程度で期待できる革新技術の成果を設計研究に取り込んで

いくことが必要であるとわかった。そこで，１次系機器を逆Ｕ字型配管で結んだトップエントリー方式ループ型炉と，欧州で開発が進んでいたプール型炉の２つの概念についての設計研究が行われ，いずれの概念もプラント建設費を軽水炉の1.5倍以下にできる見通しが得られていた。

1985年から日本原子力発電㈱が９電力と電源開発㈱からの委託を受けて開始した実証炉研究においては，プラントの合理化検討，革新技術のシステム化検討，炉型の比較評価などが行われた。「もんじゅ」などのループ型炉は，個々の機器が独立配置され保守・補修性に優れる一方で熱応力緩和のための配管引回しにより物量が増大する欠点がある。それに対してスーパーフェニックスなどのプール型炉は，配管引回しが少なく格納容器スペースが小さく済むが，原子炉容器径は大きくなり，検査・補修性が劣るという特徴がある。わが国の実証炉は計画どおり安定した運転が行えること，そのためには検査・保守が極めて重要であること，また万一，主要機器の補修の必要が生じた場合でも速やかに対応がとれることが重要との判断から，1990年には実証炉にふさわしい炉型として「トップエントリー方式ループ型炉」が選定された。

このように，建設コストの見極めや炉型の選定を経て1994年１月には電力社長会により実証炉の基本仕様が選定された。実用炉の出力規模を見据えつつ，開発投資リスクも勘案したもので，電気出力約66万 kW・３ループとされた。

基本仕様の選定を受け，引き続きプラントの主要系統の最適仕様の検討などが進められたが，1997年度からは実証炉に関する新たな設計研究が開始された。これは，「もんじゅ」の Na 漏えい事故と軽水炉開発における急速なコスト低減に対応するためのものであり，それまでの研究成果をベースにプラント全体の最適化を目指したものであった。

2. 実証炉設計の概要

実証炉の主な目的は，実用段階の経済性見通しを得ること，大規模発電プラントとしての運転実績を確立すること，見通しの得られた革新技術を積極的に取り入れて実証することである。特に経済性に関しては，建設コストをいかに削減するかが設計研究における重要なポイントであった。

（１） 新しい設計概念の導入

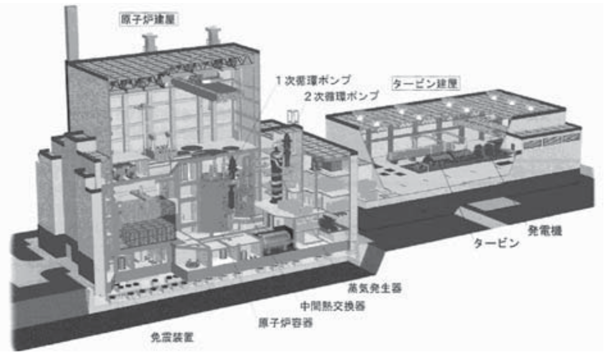
実証炉の建屋鳥瞰図を第５図に，原子炉・主冷却系の概念を第６図に示す。また，主要な仕様を第２表に示す。

実証炉では，「もんじゅ」と異なる次のような新しい設計概念を取り入れることにより大幅な設計合理化を図った。

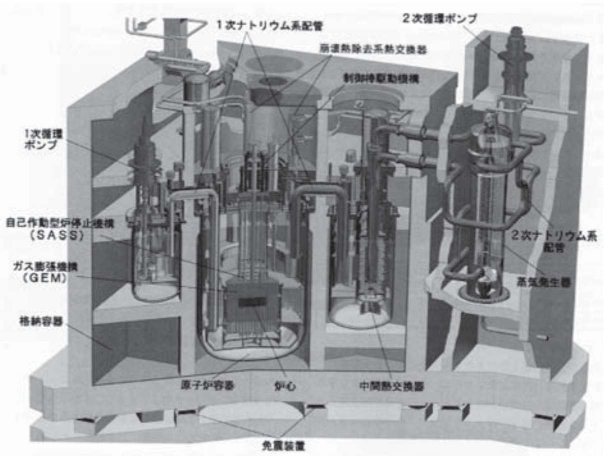
・１次 Na 系配管が原子炉容器の上部から出入りするトップエントリー方式を採用することなどにより，配管長とそれらの設置スペースの大幅な削減を図った。（１次系配管長は「もんじゅ」の約1/5に短縮）

・「もんじゅ」では，高温の水環境で使用される材料の制約から，SG が蒸発器と過熱器に分離されていたが，実証炉では高温強度と耐応力腐食割れ性に優れた新材料（改良９Cr１Mo 鋼）を採用し，蒸発器と過熱器を一体化することで，SG の大幅な物量削減を図った。（SG の物量は「もんじゅ」の約1/3に削減）

・「もんじゅ」では，格納容器に鋼製の円筒格納容器を採



第５図　実証炉建屋鳥瞰図（出典：文献５））



第６図　１次・２次冷却系および格納容器（出典：文献５））

第２表　実証炉の主要な仕様（出典：文献３））

項目	仕　様
出 力	熱出力1,600 MW（電気出力約672 MW）
炉 型	トップエントリー方式ループ型炉
原子炉出口温度	550℃
燃 料	U/Pu 混合酸化物燃料
燃焼度	約15万 MWd/t（高燃焼度段階炉心）
炉 心	均質炉心
増殖比	約1.2
原子炉停止系	独立２系統，うち１系統に静的炉停止機構を設置
崩壊熱除去系	４系統，直接炉心冷却方式
原子炉格納施設	ライナ張り矩形コンクリート格納施設
燃料交換方式	回転プラグ・マニプレータ方式
原子炉建屋	水平免震設計

用していたが，実証炉では建屋と一体となった鉄筋コンクリート製矩形格納容器を採用することにより，建屋容積の大幅な削減を図った。（原子炉建屋容積は，「もんじゅ」の約1/4に削減）

実証炉は，経済性，保守・補修性に配慮した「トップエントリー方式ループ型」を採用している。炉心で発生した熱は１次Na系配管，中間熱交換器を経て２次Na系に伝達され，SGで蒸気を発生する。すなわち，NSSSの基本的な系統構成は「もんじゅ」と同じである。

以上のほかに，原子炉構造の簡素化や原子炉容器径の縮小，燃料取出し機の削減による燃料取扱設備の合理化，水平免震建屋採用による構造物の薄肉化と物量低減などを図り，1997年当時に取りまとめた実証炉概念の建設コストは，電気出力100万kWe換算で軽水炉の1.5倍以下にできると推定した。

（２）「もんじゅ」事故の影響と更なる設計の合理化

一方，1995年12月に「もんじゅ」でNa漏えい事故が起き，稼働率確保の観点から，Na漏えい対策の重要性が認識された。さらには，1995年頃から電力自由化の動きが本格化し，発電コストの削減がさらに強く求められるようになった。

こういった状況の中で，1997年から３年間にわたっては，抜本的なNa漏えい対策の構築と更なるコスト低減のための設計研究（最適化研究フェーズ２）を実施した。最適化研究フェーズ２で検討された対策強化のポイントとしては以下のものが挙げられる。

- 配管を貫通する温度計のようなトラブルの原因となる可能性のある部位を極力減らす。
- ２次Na系に電磁ポンプを採用し，SGと一体化する。ポンプとSGを結ぶ配管を省くことで，２次Naバウンダリーの大幅な簡素化・縮小を図る。
- ２次系のNa配管，容器等を１次系と同様にエンクロージャで覆った二重構造とし，その二重構造の間隙には窒素ガスを封入する。これにより，万一バウンダリーからNaが漏えいしても，ただちに火災に至らないようにする。

プラント信頼性向上の観点からは，構造物はできるだけ簡素なものとするのが好ましい。この点でトップエントリー方式ループ型炉は原子炉構造が簡素であり，保守・補修性に優れたものといえる。将来のユーザの観点からも保守・補修性が重要視され，必要時には原子炉容器等の主要機器の体積検査ができるような設計とした。具体的には，原子炉容器内部構造の大幅な簡素化を図り，容器内部のアクセス可能な領域を炉心最下層部まで拡大した。

安全性については，基本的な安全機能である「炉停止」，「炉心冷却」，「格納」を確実に達成するよう安全設計を実施した。これらのうちの「炉停止」機能に関しては，原子炉停止系を独立２系統として多重性を強化すると共に，制御棒吸収体構造の分節化，吸収体形状（棒状や六角），異なる原理による検出機器の配置などで多様性を強化し，「炉停止」の機能喪失の可能性を低減している。さらには，「炉停止」の機能喪失を仮定しても，異常時の冷却材温度の上昇によって自然に制御棒が切り離されて自重落下する機構（自己作動型炉停止機構）を原子炉停止系２系統のうちの１系統に設置し，更なる安全性向上を図っている。また，「炉心冷却」機能については，原子炉容器内に熱交換器を設置した直接炉心冷却系を設けている。このような安全機能の充実などにより，実証炉は安全確保に万全を期したプラントとなった。

以上のような最適化研究の結果，Na漏えい対策の抜本的な対策強化を図った上で更なる経済性向上方策を講じることにより，実証炉の建設コストは，電気出力100万kWe換算で軽水炉の1.3倍程度にできる見通しを得た。

3. 新たなフェーズへ

ここまでに述べたように，実証炉設計では実用化をにらんだ経済性向上対策，安全性向上対策など種々の取組みがなされてきたが，天然ウランの需給緩和やFBRに対する更なる経済性向上の要求など，周辺状況変化の波を受けて，1999年度末をもって一通りの設計研究に区切りがつけられた。そして，そこまでに得られた多くの貴重な研究成果は，1999年から国と電力との協力に加え，メーカおよび研究機関の参加によるオールジャパン体制で進めることとなった「実用化戦略調査研究」に引き継がれることとなる。

—参 考 資 料—

1）稲垣達敏，“高速増殖炉（FBR）の開発動向と将来展望”，電気評論，**488**〔９〕，p.40-46（2005）.
2）植田正弘，“高速増殖炉（FBR）”，エネルギー・資源学会誌，**20**〔４〕，p.39-44（1999）.
3）火力原子力発電技術協会，火力原子力発電50年のあゆみ，（2000.10）.
4）植田正弘，高速増殖実証炉の開発状況，日本工業新聞社，エネルギーVol.28，（1995.1）.
5）植田正弘，“高速増殖炉開発”，火力原子力発電，**49**〔10〕，p.194～199　（1998）.

著 者 紹 介

伊藤和元（いとう・かずもと）
本誌，**50**〔１〕，pp.49（2008）参照。

小竹庄司（こたけ・しょうじ）

日本原子力研究開発機構
（専門分野／関心分野）安全設計・評価，高速炉システム設計，プラント機器技術

会議報告

第8回臨界安全性国際会議

The 8 th Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety ICNC 2007

2007年5月28日～6月1日(サンクトペテルスブルグ，ロシア)

第8回臨界安全性国際会議ICNC 2007が，5月28日から6月1日までの5日間，ロシアの古都サンクトペテルスブルグで開催された。この会議は，臨界安全に携わる各国の専門家が一堂に会する最大規模のものであり，1980年，米国エルパソで臨界安全の専門家の会合が持たれたのを皮切りに，1983年以降，4年に一度，仏日英米の4ヵ国の持ち回りで開催されている。1995年米国アルバカーキーで，ロシアが自国で起きた臨界事故等に関する情報を公開したことや，OECD/NEA原子力科学委員会(NSC)の臨界安全ワーキングパーティー(WPNCS)の下で現在進行している国際臨界安全ベンチマーク実験評価プロジェクト(ICSBEP)への貢献を背景に，今回初めてロシアで開催されることになった。会議は，ロシア連邦原子力庁(ROSATOM)が主催し，上記WPNCSが共催している。なお，前々回の1999年は，JCO臨界事故の直前にフランスのベルサイユで，前回の2003年は，東海村で開催されている。会議には，21ヵ国と国際機関から192名の参加があり，口頭発表98件，ポスター発表89件の報告があった。日本からは，日本原子力研究開発機構(JAEA)4名，原子力安全基盤機構(JNES)1名および民間企業から4名が参加した。技術セッションとしては，以下の9つのセッションと照射後試験PIEの特別セッションが設けられ，2会場のパラレルセッションとして進められた。

(1) 臨界安全の標準および方法論

英国および米国からリスク情報を活用した臨界安全評価について発表が多くあった。以前からリスク評価の考え方を導入している英国からはリスク情報の具体的な導入法が紹介された。従事者死亡リスクが10^{-6}/年と10^{-4}/年の間をALARAの考えを実現するものとして捉え，事業者側が臨界安全への規制の緩和を図る上での基本とする意向である。10^{-4}/年は日本では交通事故程度のリスクであり，社会的に受け入れられるか否か，議論が必要である。いわゆる確率論的評価を臨界評価にどう活用するか，その具体的な方法論が今後も議論されていくと考えられる。

(2) 臨界および未臨界実験

ロシアからは，VVER-1000のMOX燃料格子に関する臨界解析結果が報告された。フランスからは，放射線防護原子力安全研究所(IRSN)で最近実施したプルトニウム希薄溶液の温度係数に関する実験報告があった。再処理施設等で取り扱う溶液状燃料は通常，温度が上昇すると反応度が抑制される特性を持つと考えられていた。均質な溶液燃料でも正の温度係数を示す条件があることは，日本が1987年の東京会議で示したのであるが，20年を経て検証実験が実施されたことになる。JAEAから，溶解槽の臨界安全設計に核分裂生成物FPの中性子吸収効果を考慮する燃焼度クレジットレベルIIの導入に係わる定常臨界実験装置STACYの臨界実験結果が報告された。

FPの反応度効果に関しては，微小なサンプル反応度等がこれまで測定されているが，全炉心を用いた積分実験データは希少なもので，これまで評価を行っていないロシアの物理工学研究所(IPPE)のグループから強い関心が寄せられた。今後は，実験体系と臨界評価の対象との間の類似性を検討する必要があり，類似性を定量的に評価するTSUNAMIコードを開発しているORNLとの協力も有効であると考えられる。STACYの低濃縮ウラン均質体系の臨界データは，ICSBEPハンドブック等により活用されているが，IPPEのグループが最近統計的手法による実験の再評価を試みている。ベンチマーク評価作業については，英国ではMONK，フランスではCRISTAL等のコードシステムを用いて精力的に進めている。また，米国では，DOEの臨界安全研究プロジェクトの下，組織的にSCALE，MCNP等のモンテカルロコードの改良を進めている。

(3) 臨界および未臨界ベンチマーク評価

OECDから，ICSBEPを参考に，反応率などのさらに広い範囲の炉物理実験データの評価を実施している国際炉物理評価プロジェクト(IRPhEP)の概要が紹介された。IRPhEPは我が国からNEAへの任意拠出金によってサポートされている活動の一つであり，今後，臨界計算コードのベンチマークに利用されていくと思われる。筆者は，臨界解析上複雑な体系に属する再処理施設の溶解槽を模擬したSTACYの非均質炉心の実験解析結果についての報告を行った。燃料溶液と固形燃料が混在する体系に関する実験は，過去，米国のバッテルノースウェスト実験所(BNWL)で実施されているが，実験データの整合性がOECDの検討グループで問題視されており，新たなデータの提供を目的として実験を行ったものである。

ロシアからは，MOX燃料加工施設で取り扱われる粉末を模擬した臨界実験と解析結果についての発表があり，MOX粉末のデータとして注目される。

(4) 臨界安全管理の実際

各国の関心が高いトピックスに使用済燃料の処理処分に係わる臨界安全問題がある。フランス，日本等から，MOXあるいはUO_2の使用済燃料集合体4体を内包する処分容器に対し長期間の臨界評価を行った報告があった。臨界解析では，使用済燃料の燃焼度，軸方向の燃焼度分布あるいはFPやアクチナイド核種の影響について評価する必要があるが，長期間の評価においては，容器の健全性により左右される燃料集

合体の格子間隔，集合体間の距離，被覆管の腐食など，臨界解析に不確実性を与えるパラメータが多いため，評価のシナリオについて共通の認識を得ることが重要である。また，燃料組成の経時変化を求める上では燃焼計算の信頼性評価が重要であり，燃焼度クレジットについて検討してきた専門家の本格的な取組みが期待される分野である。

（５） 臨界解析コードの開発

米国のSCALEや英国のMONK，そしてフランスのCRISTALなどの計算システムでは，入力支援，計算モデルの可視化，入出力のデータベース化など，計算支援機能の整備に多くの精力が払われており，関連する報告が多かった。システムの整備には，ユーザーからの要求をフィードバックできる体制を構築することが重要である。また，モンテカルロコードによる臨界計算の収束性に関する報告が米国，日本，フランスからあった。この問題は，WPNCSの下でいくつかの標準問題に対して国際的な比較評価が行われており，今後，計算のためのガイド資料が作成される予定である。

（６） 燃焼度クレジット

核燃料の燃焼に伴う反応度低下を臨界安全評価・管理に取り入れる燃焼度クレジットに関しては，核種組成の安全側の検証・推定方法についての発表が主であった。燃焼度の軸方向分布に関しては，それを安全側に評価するための提案がドイツやフランスからなされた。フランスはラ・アーグ再処理工場での測定結果から標準的燃焼度分布を求めるなど，豊富な経験から必要な情報をまとめ上げる方向性が鮮明であった。東芝からは商用炉で実施される炉物理試験を計算コードの検証に利用するための，炉心解析コードによるKENO用核定数作成システムが提案された。燃焼度クレジット検証用のデータが不足している現状において有効な提案と考えられる。

（７） 核データ

各国の計算コードあるいは核データを用いた臨界ベンチマーク結果の報告が中心であった。フランスでは，ICSBEPハンドブックの評価を1,800ケースほど実施し，JEF 2.2とJEF 3.1の核データファイルを用いた結果を比較していた。MOX粉末に関する臨界解析では，従来用いられていた米国BNWLの燃料コンパクト実験の代わりに，ロシアのBFS臨界実験のデータを用いていた。その他の発表の中では，フランスの提案した不確実さuncertainty解析が新たな動きとして注目される。これまで，臨界実験の収集評価や種々の臨界計算コードと核データライブラリーの組合せによる検証計算が一通り行われているが，最近は，計算誤差の要因の分析とともに，そもそもベンチマーク計算をする上でどのような体系が適しているかといった基本的な問題について検討されるようになっている。核データについては，共分散データの整備以外にも新たな要求が今後出てくると考えられ，臨界評価のグループと核データを評価・整備するグループの緊密な協力が重要である。

（８） 臨界事故評価

フランスのIRSNから，ヴァルデュック研究所の２つの過渡臨界実験装置CRACとSILENEで実施された，高濃縮ウラン溶液を用いた臨界事故模擬実験に関するデータベースの構築や事故対応マニュアルの作成に関する報告があった。JAEAの過渡臨界実験装置TRACYで蓄積された超臨界時の核特性データ，線量測定データの活用を考える上で参考となるものであった。使用済燃料の長期貯蔵における臨界事故評価の報告があったが，これらは，SF燃料の処分の問題がクローズアップされていることを背景としている。動特性解析における体系のモデル化の影響について議論がなかったが，事故評価上の重要な問題であり，WPNCSの臨界事故評価専門家グループでも新たなテーマとして取り上げられる予定である。その他，MOX燃料加工施設粉末調製工程の仮想的臨界事象について，JAEAからミクロ粒子モデルを用いた粉末燃料と添加材混合系の事故評価コードDOCTORINEによる解析結果，英国のImperial Collegeから３次元解析コードFETCHによる解析結果の報告がおのおのあった。事故シナリオに基づく両コードの解析条件等についてはさらに検討する必要がある。

（９） 教育訓練

臨界事故等に対する緊急時対応に関連する発表としては，テネシー大学などから，米国での大学，民間企業の共同による教育プログラムについて報告があった。フランスのAREVAからは，事業社内の核燃料の輸送時に臨界到達の恐れのある事象が発生したことを契機に，臨界解析，動特性解析システムの整備を行ったとの報告があった。このような対応は，研究施設，商業施設に共通な課題であり，必要な情報の整備や解析コードの適用性の評価をしておく必要があるだろう。臨界事故対応の手引きを作成しているとの発表があり，今後，日本も同様の対応を検討する必要があると思われる。なお，最終日にテクニカルツアーとして，サンクトペテルスブルグ郊外にある1993年に開設された緊急時対応センターの見学があった。

終わりに

クロージングセッションでは，WPNCSの議長であるJ.Gulliford氏から，次回は，2011年に英国のエディンバーグで開催されるとの発表があった。今回の会議では，フランスが若い世代も含めて大挙して参加し，研究計画を積極的に提案していたことが目を引いた。我が国の研究ポテンシャルを向上するには，臨界解析システムの整備体制や研究拠点を中心とした産官学の研究協力を強化する必要がある。一方，各研究者には，現行・将来の核燃料サイクルシステムに係わる研究ニーズを的確に把握するとともに，国際的な共通課題にも斬新な発想で取り組むことが求められている。

（日本原子力研究開発機構・三好慶典，
2007年 11月７日 記）

会議報告

先進燃料サイクルシステムに関する国際会議 GLOBAL 2007に参加して

先進燃料サイクルシステムに関する国際会議GLOBALは，1993年の第1回以来，隔年で開かれている。第8回となる今回は米国アイダホ州の州都ボイジーにおいて2007年9月9日から13日までの会期で開かれた。会場のボイジーセンターは，多目的のコンベンションセンターだけあって設備や空調は申し分なく，広さや会議室数は565人の参加者にはちょうど良いものであった。会場から徒歩圏内にレストランやホテルが充実しており，航空機の便が悪いことを除けば，国際会議の開催には最適である。朝晩の冷え込みは上着が必要なほどであったが，午後3時頃には最高気温30℃ほどまで上がった。しかし，原野火災が起きるほど乾燥した空気のため暑さを感じるほどではなく，しかも会期中は好天続きだったので，快適な1週間を過ごすことができた。

GLOBALの対象分野は，サイクル概念，再処理，燃料・材料，廃棄物処理，原子炉，分離・核変換，水素製造，核不拡散技術，国際協力など，先進燃料サイクルに関するテーマのほとんどが含まれる。今回の技術的な発表は約340件であり，その内訳は，米国129，日本82，フランス40，ロシア26，韓国25，ドイツ9，英国6，オーストラリア5，カナダ2，インド2など。会場では，50件近い発表を行った原子力機構の方々の姿が目立ち，高速炉サイクルを始めとする先進燃料サイクルに対する原子力機構の意気込みが感じられた。

初日(10日)のプレナリーセッションでは，原子力委員会の近藤委員長や米国原子力規制委員会(NRC)のクライン議長らが講演し，威厳のある開会となった。アイダホ国立研究所(INL)のヒル副所長は，今回の開催地にアイダホ州が選ばれた理由として，「2005年の発足以来，INLが米国の先進燃料サイクルの分野の先導的役割を期待通りに果たしてきた」ことを挙げていた。2日目のプレナリーセッションでは，仏，日，英，韓，加，印，南ア，豪から先進燃料サイクルに関する各国の取組みが紹介された。この中で次の計画が注目される。フランスでは当面，ナトリウム炉とガス炉の開発を並行して進め，2012年にリファレンスと代替の決定，2020年には高速原型炉を建設する予定。インドでは，建設中の高速原型炉PFBRを2010年9月から操業予定，2020年までに500 MWeの金属燃料高速炉4基を稼動，高速炉の後はトリウムサイクルを目指す。

報告者は主に新型燃料関係のセッションに参加した。今回は米国での開催ということもあって，金属燃料に関する発表が多く，次いでMOX燃料およびガス炉用セラミック燃料に関する発表が目に付いた。金属燃料とMOX燃料では，MAを含む燃料体を対象とする発表が大半を占めた。新型燃料の分野では，様々な燃料サイクル概念や用途に対応して，研究開発の対象は多岐にわたっている。形態別にはMOX燃料，金属燃料，炭・窒化物燃料など，用途別には，商用炉用，研究炉用燃料，核変換ターゲット用等である。このように広範囲の研究対象をカバーするためか，特に燃料モデリングのセッションでは，技術的あるいは学術的な議論の深まりが少なく，物足りなさが感じられた。しかし，現在計画中あるいは実施中の照射試験が進んで，照射データが出てくる数年後には，新型燃料開発の論議が活発化するものと期待される。

一方，再処理・分離関係のセッションに参加した方からは，新たな分離プロセスであるフランスのDIAMEX，SANEXと並んで米国のUREXにも実験的な成果が報告されるなど，グローバル原子力エネルギーパートナーシップ(GNEP)を契機とした近年のサイクル技術開発の活性化を指摘する声が聞かれた。

次回のGLOBALは2年後の2009年にパリで開催される予定であり，次々回は2011年に，おそらくは日本で開かれる見通しである。日本の高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)や米国の先進燃料サイクルプログラム(AFCI)など各国の先進燃料サイクルの研究開発は年々充実してきており，次回，次々回のGLOBAL国際会議は一層盛り上がることとなろう。

(電力中央研究所・尾形孝成，
2007年 11月13日 記)

会議報告

「軽水型原子力発電所高経年化対策研究と今後の方向」国際シンポジウム

我が国で現在運転中の55基の軽水型発電炉(軽水炉)のうち，すでに13基が運転開始後30年を超え，さらに21基が20年を超えている。これらの原子炉が引き続き安全性を確保していくためには高経年化対策が極めて重要であり，電気事業者と国は重点的にこれに取り組んでいるが，なお進めるべき研究課題も少なくない。福井県では我が国で最初の商用軽水炉2基が建設され，また現在発電炉の基数が15と全国で最多であることから，その安全性，とりわけ高経年化対策に高い関心が払われている。そこで，筆者らの属する原子力安全システム研究所(INSS)では設立15周年を機に，地元の大学・研究機関の共催と国，県，美浜町，原子力安全基盤機構(JNES)，本学会の後援を得て，10月22～23日，福井県国際交流会館において標記の国際シンポジウムを開催した。プログラム委員のB. L. Eyre(Oxford大)，関村(東大)，柴田(福井工大)，R. W. Staehle(Minnesota大)各教授のご協力により，内外のトップクラスの研究者をお迎えすることができたので，非常に高いレベルの発表と議論ができ，全国から参会された200名以上の関係者から高い評価をいただいた。また20名を越す報道陣もその意義を認めてくれたようであった。

さて，プログラムは全体で7部構成とし，そのうち第1部(開会式と特別講演)と第2部(高経年化対策研究)は一般参会者も対象として同時通訳方式を取り，第2～6部は専門のセッション，そして最後に第7部(まとめと閉会式)を置いた。開会式では，INSS藤社長の挨拶の後，旭福井県副知事と原子力安全・保安院根井原子力発電検査課長から来賓祝辞をいただいた。次いで，原子力安全研究協会の松浦顧問が「今何が国際的に安全課題とされているか」という特別講演を行い，今後の原子力安全の課題を俯瞰するとともに，中越沖地震のことについても言及した。

第2部では，関村教授が基調講演で我が国の高経年化ロードマップと産学官の取組みを詳しく紹介した。続いてOECD/NEAの山本氏が我が国主導の国際協力プログラムの紹介を行った。第3にStaehle教授が多くの事例紹介を交えて高経年化対策における先見的取組み(proactivity)の意義を強調した。次に関西電力の八木常務が電気事業者としての高経年化研究の最近の取組みを報告し，最後に筆者の一人がINSSの高経年化研究センターを中心とした活動を紹介した。

第3部(環境助長腐食と割れ)では，米国のS. M. Bruemmer(PNNL)とG. S. Was(Michigan大)，英国のS. Lozano-Perez(Oxford大)および，庄子(東北大)，西本(阪大)両教授，高倉氏(JNES)とINSSの3名(戸塚，釜谷，寺地)が発表を行った。ここでは，(1)最新の分析機器や計算機の発達により腐食皮膜の構造やき裂先端の構造が明らかになりつつあること，(2)BWR/PWR環境下のステンレス鋼/ニッケル基合金の応力腐食割れの比較が進んだこと，(3)La添加溶接金属の特長などが注目された。

第4部(照射効果)では，米・英の重鎮G. R. Odette(California大)とC. A. English博士(Nexia Solutions)および長谷川教授(東北大)，曽根田氏(電中研)，鈴木氏(JAEA)，福谷(INSS)が発表した中で，(1)米国と我が国の新しい圧力容器脆化予測式への取組み状況，(2)最近の分析法(陽電子消滅とアトムプローブ)の活用，(3)中性子束効果，Mnの影響(late blooming)を含む，(4)電子照射との比較など脆化メカニズム究明の高度化が印象的であった。

第5部(熱疲労)は，第6部とともに比較的小さなセッションとし，3名ずつが発表した。まず第5部では，フランスのJ-P. Sermage博士(EDF)，笠原氏(JAEA)，中村(INSS)が熱疲労設計指針のベースとなる既存の理論を精緻化し，現実に発生している事象や今後起こりうる事象に対する新しい評価手法を提案した。この中ではいくつかの実験とその解析例も示された。

第6部(非破壊検査)では，まず米国のG. Selby氏(EPRI)が，原子力ルネッサンスとそれを支える合理的な検査の重要性を訴えた。また，古村氏(発電技検)がき裂深さ評価と実際の検査時の問題点と対策，超音波伝播シミュレーションの結果などを示し，黒住(INSS)が自ら開発した鋳造ステンレス鋼管の超音波探傷技術と新しい取組みを報告した。今回は小さなセッションであったが，今後重要さを増す分野である。

最後のセッションにおいて，B. Eyre教授と柴田教授が各セッションとシンポジウム全体の取りまとめを行った。

筆者としては，ここで出された新しい知見や議論の結果が我が国はもちろん，世界の軽水炉の高経年化対策に大いに役立つことを願ってやまない。本シンポジウムの開催に際し，多くの方々にお世話になった。ここに心より謝意を表します。

(原子力安全システム研究所　木村逸郎，土橋嘉和，2007年10月31日記)

原子力機関・研究所紹介

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)滞在記

ミシガン大学　Shikha PRASAD

私はミシガン大学の原子力工学科で博士取得を目指しており，米国原子力学会ミシガン大学学生セクションの副会長を務めている。2007年の７月４日から９月28日まで，インターンシップとして日立 GE ニュークリア・エナジー㈱(HGNE)の日立事業所原子力プラント部で，放射線測定と遮蔽に関して研修した。HGNE を希望したのは，ABWR 技術や R&D 分野で世界的に知られている同社で，BWR の炉心およびプラント工学をより詳しく学習したかったためである。優れた技術者と一緒に仕事をして，私の学術的/実務的知識を深めることができると考えた。

研修期間中，プラント設計/建設/運転/保守の考え方，プラント運転/燃料交換/使用済燃料貯蔵時の放射線遮蔽の概念を学んだ。また，建設現場，モジュール製造工場，圧力容器製造現場を訪問して原子力プラント建設の実態を知った。

最初の１ヶ月は，半導体検出器の性能計算を実施した。モンテカルロ計算コード MCNP 5 を用い，γ 線のピーク効率を確保しつつ全計数率(装置の不感時間)を低減させる方法を検討した。

次の２ヶ月は，使用済燃料貯蔵施設に関する遮蔽計算に従事した。貯蔵施設では放射線遮蔽と熱除去を両立させる必要があり，確率論的コード MCNP 5 と決定論的コード DORT を用いて施設モデルの簡略化について検討した。MCNP 5 での解析では，詳細な３次元モデルを作成し，分散低減法等の技術を学んで精度向上と計算時間短縮の両立を図った。この計算では，計算形状の３次元効果が高く，DORT よりMCNP 5 の方がより現実的な結果が得られた。

原子力の基礎知識を強化するために，様々な講義を受けた。炉心設計，熱流動，耐震設計，システム設計，配管設計，配置計画，プラント建設，建設管理，ABWR の設計概要などである。東海村の２つの展示館では日本の原子力計画全体を理解でき，HGNE のモジュール工場(制御棒駆動用水圧制御ユニットルームのモジュール製造中)では，原子力産業の最前線を知った。モジュール工法は日本独自のもので，建設時間/コスト/サイト作業員を大幅に低減できる。

プラント建設をより良く実感するために，建設中の中国電力島根３号機とバブコック日立呉工場を見学した。島根３号機では岩盤検査が終わり，建設作業が開始されていた。サイトの中はクローラクレーン，トラック等があふれており，地下18 m では整然と原子炉建屋のベースマットが敷設されていた。コンクリート製原子炉格納容器や原子炉圧力容器の基礎が建設中であった。呉工場では圧力容器の製造現場を見学した。直径７m の巨大な容器の製造は通常３年かかるそうで，曲げ加工や溶接等の工程を間近に見ることができた。

島根３号機(９月14日)

他にも，日本原子力研究開発機構の J-PARC で線形加速器，３GeV と50 GeV のシンクロトロン，物質・生命科学実験施設や，日立事業所でタービン，発電機，リサイクル固形燃料の製造工場を見学した。

私の日本での生活そのもの，人や文化との触合いが大きな学習経験であった。日本の伝統を楽しみ理解するため，様々な歴史的場所や景勝地を訪ね文化的行事に参加した。笠間，日光，東京，京都，大阪，奈良，牛久，松江，広島へ旅行し，キャンプ，夏祭り，花火，浴衣，そば打ち，味噌汁作り等を体験した。

清水寺(８月10日)

日本人は集団への所属意識が強いと感じた。地域は一つの大きな家族のようで，自分より他人を大切にし，非常に丁寧で謙虚である。例えば，欧米では他人の親切なしぐさに感謝するが，日本では他人の親切な行動に伴う不便さに謝罪する。日本人は細心さ，器用さ，整然としたチームワークで有名であり，私はそのことを実感でき日本人の生き方を学んだ。気遣いと平和を愛する日本人は，他人だけではなく，エネルギーや水等の資源や環境も大事にする。経済・技術大国の日本が純粋で自然を愛していることに驚かされる。人と機械も協調している。一言で日本を表すと誠実な「真心」である。

最後に，このような機会を与えてくれた HGNE の方々および日本に，心より御礼申し上げる。

(2007年 10月30日 記)

さまざまな人が、いろいろな視点から語ります■■■ Diversity Relay Essay

「塩」

塩

グリム童話に「泉のそばのガチョウ番の女」というお話があるのをご存知ですか？王様が３人の娘にどのくらい自分を好きかを質問します。すると末娘が「お父様を塩のように愛しています」と答えます。王様はその言葉に腹を立ててしまい，末娘を森へ追い払います。後に塩抜きのお料理を出されて，塩の大切さ，娘の愛の深さを知って，娘を捜し出し，幸福に暮らしましたとさ……。というお話です。

先日，25時間の間「塩」抜き生活をする機会がありました。食事からすべての「塩」をはずすため，口に入れてよいものは，穀物，芋，砂糖，卵，肉と若干の野菜や果物のみ。ちょっとでも塩気を感じるようなものはできる限り排除する25時間でした。始める前は軽く考えていたけれど，お醤油やお味噌，コンソメなど調味料には塩が入っているんですね。「塩」抜きの献立は浮かばず，とりあえず空腹を満たすために白米をお茶碗１杯食べてみましたが，味が単一でもう結構。そこで焼き芋を作り，バナナとりんごを組み合わせた献立に変更。朝食・ランチとも焼き芋やりんごをパクついたけれど，全然美味しくない。素材の味はするけれど美味しくないし楽しくない。結局，水で流し込むように胃に収めました。もちろん腹持ちはよくないので，あっという間におなかが空き，フラフラしながら１日の仕事を終え，25時間が過ぎるのを静かに待ちました。その夜，いつもより丁寧に出汁をとったお味噌汁は，胃腸から体中の細胞に NaCl が吸収・拡散されていくのが実感できるほど，美味しく感じました。

これほど料理に「塩」が影響しているとは…。塩抜きのお食事をした王様は，文字通り味気なく悲しくなって，娘の深い愛情をはっきりと確認したことでしょう。そして日常生活で当たり前にあるものの大切さを見直しましょう，ということをこんな童話として表現した先人の知恵に感心した１日となりました。

みなさんも１度塩抜きの食事を体験されるのはいかがですか？食材本来の美味しさを感じるとともに，それを調理してくれる人の大切さも見直せる素敵な機会となると思います。(でも１度でいいと思いますけれど…ね？)

橘内久美(日本原子力研究開発機構)

友たれ永く友たれ

懐

紅葉が映える10月の１日，札幌芸術の森美術館で開かれていた版画の展覧会に出向いた。この版画家に「白亜館」という作品がある。白亜館とは北海道大学工学部旧館のことであり，趣のある白タイル貼り２階建の建物で，私は学生時代この旧館で学んだ。この作品は当時の雰囲気をよく伝えており，学生時代を思い起こすよすがに，自宅の壁に以前から掛っている。そんな縁で出かけたのである。帰り際に，ふと，“有島武郎旧邸”の案内板が眼にとまった。しばらく歩くと，疎林に囲まれ木漏れ日の中に有島武郎旧邸が建っていた。

私が入学した昭和37年当時，この旧邸は有島寮とよばれて北海道大学の寮として使われており，行き帰りにその前を通った。有島自らが設計にかかわり，大正２年に新築されたモダンな洋風住宅で，本州から入学した私には異国めいた札幌の町並みによく似合っていた。有島武郎は札幌農学校の卒業生で，学生時代には新渡戸稲造教授宅に寄宿していたとのことである。後に，招かれて札幌農学校の英語講師，教授となった。今，旧邸には，木田金次郎の作品が飾ってある。木田金次郎は有島武郎の“生まれ出ずる悩み”のモデルになった画家であり，その作品は泊原子力発電所にいく途中で彼の出身地である岩内町の美術館に展示されている。また，有島武郎は北海道大学の校歌を作歌しており，“永遠の幸”という題名で歌われている。寮歌や校歌を歌う時には作曲，作歌した学生の名前を君づけで呼ぶことになっている。私たちは有島武郎君作歌と前置きして校歌を歌う。この歌を歌い始めてから早45年が過ぎ，今この地で定年を迎えた。この間，卒業論文で出会った放射線とその後一貫して付き合うこととなった。

生涯，岩内で岩内を描き続けた画家，札幌こそ真の故郷と記した有島武郎，北海道には清新な文化を育む素地があるように思われる。新しい文化として原子力文化が根付くよう地道な努力を続けたい。校歌は“永遠(とこしえ)の幸，朽ちざる誉，つねに我等がうえにあれ”で始まり，次の句で終わる“友たれ永く友たれ”。

それでは，北海道から九州へ，工藤和彦先生へバトンタッチ。

澤村貞史(北海道大学名誉教授)

社会問題や時事問題にも貢献できるような学会誌を

中越沖地震についてのコメントが多かったWebアンケート結果9月号

「原子力学会誌」9月号に対して寄せられたWebアンケートの結果をご紹介します。今回は122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。9月号で高く評価された記事について，「内容」，「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介いたします。

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	時論	中越沖地震について—学会がリードして原子力施設耐震安全学の構築とその研究・教育の振興を	4.00
1	解説	魅力ある大学でのエネルギー教育—学生の視点から	3.93
3	連載講座	原子力発電前史	3.91
4	連載講座	米国の高速炉開発の歴史	3.76

第2表　「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評　点(書き方)
1	解説	魅力ある大学でのエネルギー教育—学生の視点から	3.87
2	巻頭言	とある光景に想う	3.85
3	連載講座	原子力発電前史	3.75
3	リレーエッセイ	～いろいろな視点から語る生きがい，やりがい～	3.73

今月は，中越沖地震や学生の視点から書かれた教育についての解説が好評でした。

2. 自由記入欄の代表的なコメント，要望等

⑴　中越沖地震でまたもやクローズアップされた原子力の安全性のような社会的時事に関して，学会が貢献することは重要だと感じる。

⑵　中越沖地震に関しては，原子炉建屋の構造健全性だけではなく，いろいろな観点から検討されるべきだと思う。根拠のないセンセーショナルな報道姿勢が経営的にも有利となるような社会構造の分析とそれに対する有効な対策を講じる記事があっても良いと思う。

⑶　今後，地震の影響に関する学術的な知見などが多数掲載されていくと思うが，中越沖地震関連の記事が一覧としてまとめてわかるようなページを学会HP上に掲載してもらいたい。

⑷　9月号の主要記事(解説，連載講座，私の研究から)が，たまたまだろうが，「原子炉」に偏っているように感じた。もう少し，他分野もバランスよく配分したほうが良かったと思う。

⑸　巻頭言に関して，県民世論への過度なすり寄りや自己パフォーマンス，自己資産増殖に走りがちな知事がいる中で，このような明確なビジョンを持った知事の言葉や行動には重みがある。

⑹　リレーエッセイに関して，原子力に関わる人のバックグラウンドや心意気が伝わってくる。原子力に取り組んでいる中での緊張感を，ホッと和らげてくれるエッセイをこれからも期待している。

3. 編集委員会からの回答

⑴　上記⑵のコメントに対して，1月号より，「ジャーナリストの視点」という連載記事が始まっています。ジャーナリストからの意見，提言，問題提起も交えて，社会構造の変革について，いろいろな議論をしていくことができればと考えます。

⑵　上記⑶のコメントに対して，地震関連の記事に限らず，学会ホームページの有効な利用方法について現在，検討中です。ご期待ください。

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

ジャーナリストの視点

Journalist's eyes

「住民の安心と科学」

福島民友　小野広司

原発の健全性評価，いわゆる「維持基準」の議論が，ようやく始まろうとしている。というと，日本原子力学会の方々は極めて奇異に思われるだろう。しかし，福島県の「原発政策」の道のりは，まだ維持基準の導入論をクリアしていない。

福島県が原発課題を前進させる際は，立地地域だけでなく206万県民の意見を県議会で集約するプロセスをとる。維持基準はこの中で凍結されたままであり，自民党が凍結解除に動き始めたが，県民には時期尚早論もある。今後も，新耐震基準による耐震安全性の評価，原発の長期連続運転の判断，原子力安全・保安院の経済産業省からの分離または第三者機関の設置，高経年化対策の促進，東京電力福島第一原発7,8号機増設など政治的な難所が続き，政府が期待するプルサーマル推進は，はるかに遠い。

2006年秋，プロセスをつくった佐藤栄佐久前知事が逮捕された。出直し知事選を勝った佐藤雄平知事は，元通産相 渡部恒三氏の秘書を務めるなど，経産省はじめ霞が関とのパイプが太く，福島県の原発政策の大転換を予想された方も多かったろう。しかし，現実は雄平知事の当選から一年を経た今も，表面的に大きな変化はない。栄佐久前知事のもと，原発立地４町と県との間にあった緊張関係は，雄平知事のもとで地元の原子力関係会議に県幹部職員が出席するまでに改善したが，政府に対しては保安院分離を再三求めるなど，県は，国の原子力政策に対して「住民側の盾」になる構えを崩していない。

栄佐久前知事は，政権の目玉とした環境問題や地方分権推進で国と対峙する中，原発政策を象徴的な課題にした。戦う知事を誇張した面は否めないが，雄平知事の姿勢や新潟県知事が国に強い態度を示すのを見る限り，原発問題がこじれる要因はいつも，住民感覚や自治意識とずれた，国や事業者の一方的論理にある。

「安全・安心」が時代のキーワードになっている。行政や科学者が安全性を強調しても，責任ある機関が住民や消費者の安全を保障する体制が見えず，安心が得られない。特に放射能や有害物質，ウイルスなど不可視なもの，難解な技術は不安を大きくする。そこで住民や消費者は，安心を提供できない企業を市場から淘汰することで対抗するようになった。安心の盾になれない政治家，特に首長は即刻，政治の立場から退場を宣告されかねない。

福島県の原発政策でそれが決定的になったのは，02年８月の東京電力トラブル隠しだった。原発に無関心だった会津や中通り（県中央部）の住民たちは「原子力村」の体質を知り，政府や東電を信頼してきた立地地域の住民も30年以上欺かれてきた結果に憤った。住民のベクトルが大きく振れ，前知事は政府との関係悪化や政権長期化で揺らいでいた求心力を，一気に回復した。

雄平知事もそのことは参院議員の時代から見てきたし，知事選の支持勢力には民主党系だけでなく社民党系もいる。県庁幹部の多くは前知事が登用した人材で，常に県民の目線から考え，国に意見する「栄佐久イズム」をたたき込まれている。雄平知事の就任と前後して東電のデータ改ざん・隠ぺい問題が次々に発覚，県民注視の中で新県政は原発政策をやすやすと緩めるわけにはいかない。

維持基準は住民感覚と国の行動のずれを象徴する懸案だ。02年トラブル隠しを機に，政府が短時間で制度化したが，立地地域には，問題の検証も済まないまま隠ぺい結果を追認するような制度変更と映った。政府が「住民の安心」に配慮を欠いた結果，肝心の現場に維持基準が５年間も導入できない事態を招いている。

学会はどうか。02年トラブル隠しのすぐ後，緊急フォーラムがいわき市で開かれたが，緊張感のない会場の空気に，地元記者たちは一様に違和感を覚えた。米国で実証された維持基準を多くの科学者は「知っていた」と語ったが，制度導入の政府内論議が細々と始まったのは同年夏。科学者たちがもっと早い段階で国を突き動かしていたならば，翌年の東電原発の全基停止も，住民不安の長期化も避けられたのではないか。住民は，科学者からわかりやすい情報がほしいし，研究への情熱が成果になって「安心」をもたらしてくれると期待している。研究フィールドは原発構内だけでなく，住民の心の中にもあると考えていただきたい。

小野広司（おの・ひろし）
福島民友新聞社　編集局報道部副部長
1986年東京都立大学法学部卒。福島民友新聞社入社後，支社・支局，県政，東京支社を経て2005年から再度，県政担当。核燃料サイクル検証作業，原発トラブル隠し，電源地域振興，産消交流などを取材。原発立地町で育ち，両親や多くの友人が原発周辺で暮らす。