

### 時論

## 2 核廃絶に真剣に取り組もう —パグウオシュ会議評議員に 就任して思うこと

戦争の廃絶を訴える科学者による国際的なこの会議は、1963年の部分的核実験禁止条約や米ソの核軍縮交渉への貢献などが評価され、95年にはノーベル平和賞を受賞した。「核廃絶」を現実的な目標とするために、さらにどのようなことが必要だろうか。

鈴木達治郎

### 解説

## 24 放射性廃棄物の分離変換技術に どこまで期待できるか?—「分離 変換サイクル」研究専門委員会 活動報告に代えて

高レベル放射性廃棄物に含まれる元素や放射性核種を、その半減期や利用目的に応じて分離するとともに、長寿命核種を短寿命核種あるいは安定な核種に変換するのが、分離変換技術だ。この研究技術は、これまでの20年余りに及ぶ基礎的な研究から、実用化に向けてを旨とした研究開発へと動き出しつつあるが、その導入効果はどのようなものだろうか。

「分離変換サイクル」研究専門委員会

## 30 原子力立国にふさわしい原子力 法制を—原子炉等規制法の問題点

昭和32年に制定された原子炉等規制法は、その基本的な規制の仕組みを変えずに、数十回もの部分的な改訂を経て、今日に至っている。国内外の状況の変化に対応するためには、枠組みの見直しを含めた法制度の検討と議論が必要ではなかろうか。

田邊朋行, 下山俊次

### 巻頭言

## 1 「あんたも放射線だしてるんですよ」

竹村健一

### 解説

## 13 最終処分地における参加型意志 決定過程

高レベル放射性廃棄物処分地の選び方は、国によって異なる。しかし、どの国においても、徹底した透明性と、それを保証する独立した専門家組織があること、そしてそれを基に自治体が意志決定を行うことが、重要なコンセプトとなっている。

山野直樹, 澤田哲生, 鳥井弘之

## 18 ウラン廃棄物等の諸課題について

ウラン燃料を製造すると、その過程でウラン廃棄物が発生する。核分裂生成物やTRU核種とは扱いが異なるこれらの廃棄物については、管理の安全基準や安全規制など、実際に処分へ向けた制度の整備が重要である。

山名 元, 前田 充

### 連載講座 軽水炉プラント —その半世紀の進化のあゆみ(6)

## 35 軽水炉の改良研究(BWR) —ドレスデンから敦賀1号炉へ

BWRの開発はPWRより少し遅れてスタート。1960年には、コモンウェルスエジソン社のドレスデン発電所1号機が完成する。その後BWRは、急速な進化、大出力化を遂げ、経済性もめざましく向上していく。日本では、敦賀1号機が商業用軽水炉初号機としてBWRを採用。

星出明彦, 前川 治

### 表紙イラスト Castle Combe カッスルクーム/イギリス・コッツウォルズ地方

英国の最も美しい村と言われる「カッスル・クーム」は蜂蜜色をした石材で建てられた家、川に架かるアーチ型の橋、昔のマーケット跡があり、その名の通り谷間に位置している。ここは現在ホテルとして使用されている17世紀の壮麗なマナー・ハウスの入口で、良く手入れされたガーデニングが美しい。

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

### 40 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の成果

JAEAなどが検討してきた実用化戦略調査研究フェーズⅡは、さまざまな選択肢の中から、ナトリウム冷却炉(MOX燃料)と先進的湿式法再処理、簡素型ペレット法燃料製造が最も優れた概念だと評価した。今後は商業ベースでの本格導入へ向けた段階的取り組みへと、焦点が移る。

根岸 仁, 小竹庄司, 丹羽 元

### 海外便り

### 47 「スウェーデンの原子力の今」—現地からの原子力をめぐる現状報告

高谷浩樹

### 会議報告

### 48 第8回トリチウム科学技術国際会議に参加して

大塚哲平

### 49 第11回環境修復と放射性廃棄物マネジメントに関する国際会議

佐々木道也

### 50 第15回放射性物質輸送容器及び輸送に関する国際会議

三枝利有, 広瀬 誠

### リレーエッセイ ~いろいろな視点から~

### 51 「私の好きな作家たち」工藤和彦/ 「ある日の我が家の風景より」大澤京子

### 機関紹介・訪問

### 52 JAEA 安全研究センター体験記

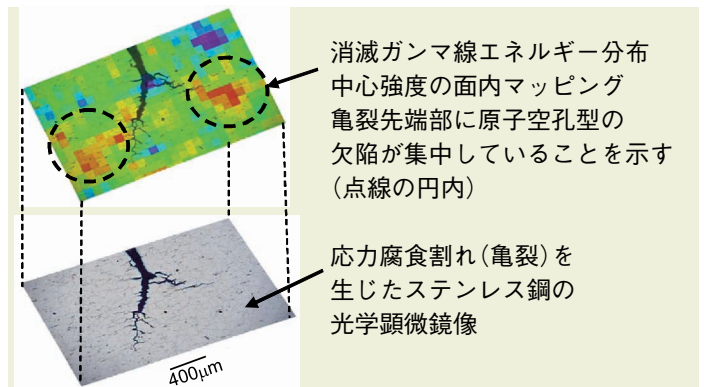
筑城卓也, 淀 忠勝, 前田修平  
松井亮太, 朝比奈 遼, 石橋直樹

### 53 東芝 電力・システム技術開発センター滞在記

Thomas Conboy

## 4 NEWS

- 原子力委, アジア地域の原子力協力で大臣級会合
- 東電が柏崎刈羽7号機の設備点検計画書
- JAEA, 世界最高レベルの収束度を持つ小型陽電子顕微鏡を開発(下図)
- 1万km離れた欧州から日本の核融合実験に成功
- DNAレベルで被ばく線量評価ができる放射性核種DBを開発
- エネルギーエキスポ2007でハノイに代表団を派遣
- 原産インターネット動画で原子力情報を提供
- 海外ニュース



消滅ガンマ線エネルギー分布中心強度の面内マッピング  
亀裂先端部に原子空孔型の欠陥が集中していることを示す(点線の円内)

応力腐食割れ(亀裂)を生じたステンレス鋼の光学顕微鏡像

小型陽電子顕微鏡がとらえた応力腐食割れ(News p.5)

### ジャーナリストの視点

### 56 「複雑さの壁」を乗り越えて」

古谷秀綱

- 23 From Editors
  - 54 書評
  - 57 英文論文誌(Vol.45, No.2) 目次
  - 58 「2008年春の年会」の見どころ
  - 64 「2008年秋の大会」研究発表応募・参加事前登録のご案内
  - 65 平成20年度新役員候補者ご推薦のお願い
  - 66 会報 原子力関係会議案内, 人事公募, 専門委報告, 新入会一覧, 主要会務, 編集後記
- 後付 入会案内

## WEB アンケート

10月号のアンケート結果をお知らせします。(p.55)  
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/>

# あなたも放射線だしてるんですよ



## 竹村 健一 (たけむら・けんいち)

昭和5年大阪生まれ。京大文学部卒。第一回フルブライト留学生としてエール大およびシラキュース大大学院、その後ソルボンヌ大へ留学。「英文毎日」記者、山陽特殊製鋼調査部長、追手門学院大助教授、拓殖大客員教授を経て現在に至る。フジTV系「報道 2001」他出演多数。著作は600冊を超える。

ボクはラブロック博士の近著「ガイアの復讐」を翻訳しましたが、原子力と地球温暖化の問題には早くから関心を持っていました。しかし、ボクの関心をさらに後押しするきっかけが、二つありました。ひとつは、あのチェルノブイリ事故の発生直後に、その直接の影響で亡くなった人がわずか31人<sup>†</sup>であることが知ったこと。人類史上最悪の事故でもその程度だったのかと。ボクは一般の方むけに講演をよくしますが、皆さん少なくとも数百人の死者が直後にでたものと思っていますよ。マスメディアから聞こえてくることからそのように思い込むようです。これは恐ろしいことです。もうひとつは、ラブロックさんが「地球が復讐するぞ」と言ったことです。ラブロックさんがマザーテレサに会ったとき、「めぐまれた人々の仕事は、めぐまれない人々を救うことです。地球全体のことは神に任せるしかありません」と諭されたようです。しかし、彼は文明の進歩が地球を怒らせていると断じました。西洋の伝統的な考え方では、地球は無機質な塊だったのです。ところが、ラブロックさんは地球自体を有機的な生き物とみた。ガイア理論です。これは、日本人が伝統的に山川草木すべてに生命が宿るとみた宗教観にとっても似ています。ガイア理論は日本人に特にうったえらと思ったのです。ボクたち日本人の出番じゃないかと直感的に思ったのです。

歴史を振り返れば、日本が今これだけ原子力発電の恩恵を被っているのは1970年代の石油ショックのおかげです。石油ショックの頃は、原子力のシェアは3—4%です。石油ショックによって原発を増やざるを得なくなったのです。しかし、一方で広島長崎の被爆体験が重くのしかかって、原発の推進には社会の大きな反発もありました。ボクは素人なりに勉強して、原子力発電所はいくつもの防壁に守られていて、そんなにコワくないと理解しました。このことをいく先々の講演で皆さんに訴えかけました。

水素爆弾の開発で有名なテラー博士が、米国のプレイボーイという強大な影響力をもつ雑誌のインタビューに答えて言いました\*。「原子力発電所から外の環境に出てくる放射線は非常に弱い。壁にもたれて受ける被ばく線量は、男と女がセックスして相手から受ける線量よりも少ないのです」と。人も放射線をだしてるなんて聞いたことなかったんで、ビックリしましたよ。なんでこんな大事なことを誰も教えてくれなかったんやと。飲食物と一緒に身体に入った放射性物質が線源なんですね。ボクは1930年の生まれで、広島長崎のことはよく知ってる。直後には「広島では100年は草木も生えない」といわれたけど、全然ちがうでしょう。原発ができたら魚も貝も採れなくなるなんて騒いでたね。ところが、温排水には魚がうじゃうじゃ集まってきて、みんな釣りがってる。学者が言うべきことを言っていない。その一方で、マスコミは恐怖心をあおっている。そういうことじゃないですか。むしろ原子力発電所は人間の生命や環境を大切に作るものだと、もっと強調しないといけないんじゃないかな。

今はタイミングが良い。地球温暖化といえば誰もが耳を傾けてくれますね。これまで温暖化対策にもっとも渋かったブッシュ大統領までその方向に動き出した。今後は化石燃料をあまり使えないということも、普通の人々の頭に浸透してる。

こんな状況の中で、世界一安全な原子力発電所を作れるのは日本のメーカーでしょ。広島長崎で艱難辛苦を受けた日本の原子力界こそが、地球を救うために世界に先鞭をふるう。これが21世紀の日本の役割だとボクは思うんですよ。原子力のメーカーにはより優れた技術の開発に精をだしてもらって、電力会社には運転や保守のノウハウを広め、ものの言いやすい学者は一般に向けてもっともっと発言してもらおう。地球を救うために、日本の原子力関係者はいろいろできることがあると思いますよ。

(2008年 1月11日 談)

<sup>†</sup> ATOMICA ([http://www.atomin.gr.jp/atomica/dic/dic\\_1176\\_02.html](http://www.atomin.gr.jp/atomica/dic/dic_1176_02.html)) による

\* “Interview of Edward Teller (Father of the H-bomb)”, *Playboy Magazine*, August 1979.



## 核廃絶に真剣に取り組もう

### パグウォッシュ会議評議員に就任して思うこと

東京大学公共政策大学院客員教授 鈴木 達治郎

2007年10月、イタリアのバーリで開催された第57回世界パグウォッシュ会議年次大会において、新会長にスリランカのダナバラ前国連軍縮担当事務次長を選出するなど、今後5年間の新体制が承認された。そのなかで、筆者は新たな評議会(Pugwash Council)のメンバーに選ばれた。日本からは豊田利幸、小沼通二、大西仁氏に続く4人目となり、27名の評議会の一員として、パグウォッシュ会議の意思決定に深く関わることになった。そこで、パグウォッシュ会議の歴史を振り返るとともに、今後5年間で出来ることは何か。原子力学会の皆さんにも考えていただきたいと思い、本稿に投稿させていただくことにした。

#### パグウォッシュ会議とは：その起源と隠れた業績

パグウォッシュ会議の原点は、1955年7月9日に発表された「ラッセル・アインシュタイン宣言」にさかのぼる。この宣言は、1954年のビキニ環礁水爆実験を機に、哲学者バートランド・ラッセル卿とアインシュタイン博士の呼びかけで、ノーベル賞級の物理学者など11人が「核兵器と戦争の根絶」を訴えた宣言であった<sup>1)</sup>。この宣言は、核兵器の脅威を科学的に訴え、人類滅亡の危機から救うためには、核兵器と紛争の廃絶が不可欠だとして、科学者が世界の人間の良心に訴える宣言として有名である。この宣言を契機として、科学者による「核兵器反対」運動は世界規模で広がることになる。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真剣な討議を行った。この会議には、米国、カナダ、西ヨーロッパ、オーストラリア、ソ連、東ヨーロッパ、中国、日本(湯川秀樹・朝永振一郎・小川岩雄)の物理学者を中心とした自然科学者たちが参加した。パグウォッシュでの会議が成功に終わったことから、核兵器と戦争の絶滅を目指すために世界の科学者の会議を継続していくことが決定され、科学と国際問題に関するパグウォッシュ会議(Pugwash Conferences on Science and World Affairs)が定期的開催されることになった。これが、パグウォッシュ会議の起源であり、2007年はその50周年であった。

パグウォッシュ会議の業績は、あまり知られていない。それは、会議そのものが、東西の科学者が非公開で議論を尽くし、その成果を各国に持ち帰って政策に反映

させる、という目的であったからとされている。ここで注目すべき点は、冷戦時代下において、米国とソ連の科学者が同席できたという事実である。政治的にはきわめて危険な行動であったとされるが、そのなかでも「科学」という国境のない分野の世界にいる人間として、会議に参加できたうえに、貴重な意見交換を行った事実が、その後の軍縮交渉への道筋を作るうえで大きな役割を果たした。

それが実現したのが、「1963年部分的核実験禁止条約(Limited Test Ban Treaty)」である。科学者たちは、核廃絶への第一歩として、核実験の禁止をまず訴えることからはじめた。この分野は科学者たちの独壇場であった。核実験による大気、水、土壌汚染の深刻さ、放射能の人体に与える影響など、核実験禁止のメリットを科学的に訴えることで、政策に大きな影響を与えることができた。

このほか、ABM条約、核不拡散条約における技術的な査察、保障措置概念の提唱、1980年代には、ゴルバチョフソ連書記長の核廃絶宣言とその後の米・ソ核軍縮交渉への貢献など、数々の隠れた業績が知られている。これらの成果が評価されて、1995年当時のロートブラット会長(2005年逝去)と世界パグウォッシュ会議はノーベル平和賞を受賞することになったのである。

#### 最近のパグウォッシュ会議：広がりを見せるも影響力は低下?

現在、パグウォッシュ会議は、世界50カ国に広がり、各地で独自の活動を広げている。一方、ローマ本部が主催者となる「年次大会」は毎年、回り持ちで世界から150~250名の参加を得て、ほぼ1週間の期間で開催されている。非公開の自由討論を重視する方針は変わっていないが、最近は公開セッションを増やし、政治家や著名な活動家などの講演も多くなっている。組織は、運営母体である本部事務局、意思決定機関として評議会と実行委員会があるだけで、メンバー制をとっているわけではなく、きわめて緩い組織となっている。一度でもパグウォッシュ会議の会合に参加した人は「パグウォッシュャイト(Pugwashite)」と呼ばれ、その人数は世界中で3,500人になっている。

また、年次大会以外にも、各テーマごとに様々な場所でワークショップが開催されており、会合には必ず延べ番号がつけられているが、2007年11月現在で330回を重ねている。テーマは、核問題をはじめ、中東・南アジア・

北東アジア各地域の安全保障問題、化学・生物兵器問題、科学と倫理問題、温暖化と安全保障、アフリカとAIDS問題等、多岐にわたっている。このように、活動が多岐にわたってきているため、メンバーも科学者のみならず、国際政治、安全保障、人権、エネルギー環境問題といった多方面の専門家が参加するようになった。

これは、冷戦後の安全保障問題が「核の対立」という大きな問題から、多様な問題へと広がったことを反映していると考えられるが、一方でパグウォッシュ会議の相対的な重要性や影響力は低下しているのではないかと、いう懸念につながっている。

### 核廃絶への回帰：新たな好機？

ところが、ここに来て、再び核問題が大きな注目を浴びようになった。イラン・北朝鮮問題に始まり、核不拡散問題は深刻な安全保障課題として取り上げられ、9/11同時多発テロ以降は、核テロリズムの脅威も現実化するなど、核問題は安全保障上の最も重要な政策課題として注目されるようになった。

そんな中、2007年1月4日のウォール・ストリート・ジャーナル紙に掲載された論文「A World Free of Nuclear Weapon」は、その著者がヘンリー・キッシンジャー、ジョージ・シュルツ、ウイリアム・ペリー、サム・ナンという共和党・民主党の歴代国務・国防長官ならびに上院議員の大物4人ということで、非常に注目された<sup>2)</sup>。4氏は、この論文の中で、「もはや核兵器は現在の新たな脅威に対抗できる有効な兵器ではない。核兵器のない世界を実現するために、米国はリーダーシップを発揮し、他の保有国と共同で核廃絶への具体的道筋を明らかにしていくべきだ」と主張し、具体的に8つの提案を掲げている。この提案は、世界の核廃絶運動に新たな契機を与え、今年春にはこの提案を具体化するための国際会議も計画されていると聞く。

こういった動きでさらに注目されるのが、英国トライデント・ミサイル更新問題における英国内の議論である。2020年代に耐用期限を迎える英原潜の核ミサイル「トライデント」について、前ブレア政権が更新を提案した白書を発表し、昨年3月にはこの政府提案を支持する動議が英国下院を通過した。しかし、トライデント潜水艦の基地を抱えるスコットランドでは、「非核」を訴えるスコットランド議会が、ミサイル更新に反対する動議を6月14日に採択、さらに自治体政府首相は10月22日、核不拡散条約(NPT)加盟国に対し、更新反対の立場を伝えるとともに、NPTの「オブザーバー」地位を確保したい旨の書簡を送った。この動きは、単に英国内の核問題にとどまらない。もし、英国がトライデント更新を否決し、非核保有国になることを決定すれば、歴史的には大きな転換期になると注目されるのである<sup>3)</sup>。

### 日本への期待

このような動きの中で、パグウォッシュ会議は、再び核廃絶に向けて焦点を当てようとしている。ダナパラ新会長は、就任演説で「核の脅威を減少させるために、全力を尽くそう」と力強く訴えた。被爆国で「核廃絶」を国是にする日本に対する期待は大きい。

具体的には何が出来るであろうか？2005年に逝去したパグウォッシュ会議の生みの親のひとり、ロートブラット博士は、日本の「平和憲法と非核へのコミット」が世界のモデルになるべきだと、強く訴えられたことを忘れることはできない。被爆国、平和憲法を持つ日本が、この分野でリーダーシップをとることは、大きな説得力を持つと期待されている。核廃絶は決して「理想」ではない、「現実の目標」として、掲げていくべきものである。もうひとつ重要な役割は、「原子力平和利用と核廃絶の両立」を理想として日本が先頭に立つことではないだろうか。この分野においても、日本が果たす役割はきわめて重要である。

パグウォッシュ会議評議員として就任した今、ロートブラット博士の言葉を胸に、「核廃絶」を現実的な目標として、日本から発信できる声を上げて行きたいと思う。原子力学会員の皆様で、趣旨に賛同される方は、ぜひ声をかけていただきたい。一緒に、核廃絶に取り組みませんか？最後にラッセル・アインシュタイン宣言からこの言葉を皆様に伝えて最後としたい。“Remember Humanity, Forget the Rest(人間性を心に止め、そしてその他のことを忘れよ)” (2007年12月28日記)

#### —参考文献—

- 1) ラッセル・アインシュタイン宣言(1955), 日本パグウォッシュ会議ウェブ, [http://www.pugwashjapan.jp/r\\_e.html](http://www.pugwashjapan.jp/r_e.html) 日本からは湯川秀樹博士が署名に参加している。
- 2) George Shultz, William Perry, Henry Kissinger, Sam Nunn, “A World Free of Nuclear Weapon,” The Wall Street Journal, January 4, 2007. <http://online.wsj.com/article/SB116787515251566636.html>
- 3) “Scotland asks for observer status at the NPT,” [http://www.2020visioncampaign.org/pages/307/Scotland\\_asks\\_for\\_observer\\_status\\_at\\_the\\_NPT](http://www.2020visioncampaign.org/pages/307/Scotland_asks_for_observer_status_at_the_NPT), 「自治政府, 『非核スコットランド』を宣言, 英のトライデント更新問題に新局面」, ピースデポ, 「核兵器・核実験モニター」, No. 292, 2007/11/15.

鈴木達治郎(すずき・たつじろう)



東京大学工学部卒, マサチューセッツ工科大学修士修了, 工学博士。MIT 国際問題研究センター主任研究員, 電力中央研究所上席研究員, 慶應大学大学院教授などを経て, 現在は電力中央研究所研究参事と兼務。



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](mailto: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。

## 内閣府 原子力委員会，アジア原子力協力フォーラム(FNCA) 大臣級会合を開催

内閣府 原子力委員会は昨年12月18日に東京の三田共用会議所で、第8回アジア原子力協力フォーラム FNCA (Forum for Nuclear Cooperation in Asia) 大臣級会合を開催した。FNCAは、原子力技術の平和的で安全な利用を進め、社会・経済的發展を促進することを目的とする日本主催の地域パートナーシップ。農業・医療・工業の各分野での放射線の利用、研究炉の利用などの協力を進めるとともに、近年では、参加国におけるエネルギー安定供給および地球温暖化防止の意識の高まりを受け、原子力発電の役割や原子力発電の導入に伴う課題などについて議論を行っている。会合には、FNCA 参加国であるオーストラリア、バングラデシュ、中国、インドネシア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナムの全10ヶ国から原子力を所管する大臣級代表が出席し、我が国からは、岸田内閣府特命担当大臣(科学技術政策)が会合議長として出席するとともに、近藤原子力委員長をはじめ、原子力委員、内閣府、文科省、外務省、経産省の関係者および町

日本 FNCA コーディネータ等が参加した。

会合では、冒頭、セッション議長である近藤原子力委員長によって本会合の開催によせた福田総理大臣からのメッセージが読み上げられ、続いて岸田大臣が開会挨拶を行った。その後、2007年度のFNCA活動報告、各国の原子力エネルギーに係わる政策全般およびFNCA活動への取組などの報告、今後のFNCA活動に対する討議が行われ、最後に「持続的発展に向けた原子力エネルギーの平和利用に関するFNCA 共同コミュニケ」の署名式が行われた。

共同コミュニケは、①2013年以降の地球温暖化対策の枠組みにおいて、原子力発電の導入を促進し、原子力発電をクリーン開発メカニズム(CDM)および気候変動特別基金の対象とすべきことの重要性を世界的な認識とすべく働きかけを行うこと、また、②原子力発電の利用は、核不拡散、原子力安全および核セキュリティの確保が大前提であり、地域として協力してこれらに係わる取組を行っていくこと、③原子力発電の利用を推進するための政策対話を積極的に促進すること、④原子力発電に係わる技術的基盤や社会的基盤の情報交換や経験共有を促進することなどを骨子としたもので、温暖化対策の一環としての原子力発電の推進について地域としてこのような共同コミュニケを発出したのは世界で初めてのことである。今後、各国においてコミュニケの内容に沿った政策を実行していくとともに、我が国は岸田大臣より、今後関係する国際会議でこのコミュニケの内容を紹介し、情報を発信していくとの意図表明がなされた。(資料提供：内閣府原子力政策担当室)



第8回 FNCA 大臣級会合

## 東電、柏崎刈羽1・7号機の設備点検計画書をまとめる

東京電力は昨年11月27日、新潟県中越沖地震の影響を受けた柏崎刈羽原子力発電所7号機の各機器の

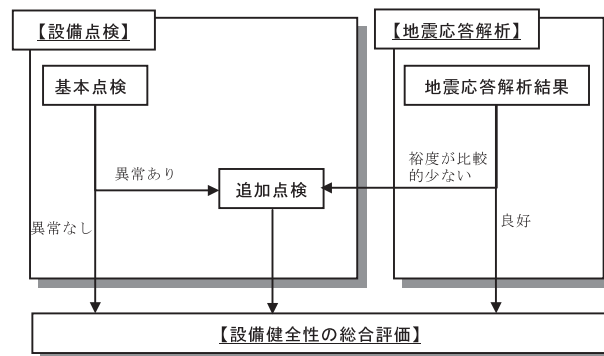
健全性を点検・評価する計画書をまとめ、原子力安全・保安院に提出した。同月9日に保安院から受領

した指示に基づいて行ったもので、同社ではこの計画書に基づいて点検・評価を開始した。

東電がまとめた7号機の「新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書」は、これまでに確認された設備の損傷や地震後の機器の運転状況を踏まえ、設備の損傷の有無、損傷の程度、原因について確認を行うことがねらい。また、今回の点検・評価を経て、原子炉の蒸気を発生することが可能となった時期以降に行う性能確認試験等に先立ち、地震による設備への影響も確認する。

設備点検は、各設備に共通的に実施する「基本点検」と、基本点検の結果や地震応答解析結果等に応じて実施する「追加点検」からなる。工事計画書に記載されているすべての設備を対象とする。

点検方法の策定にあたっては、原子力発電所耐震設計技術指針における機種分類や、地震による機能・構造への影響を考慮して、機種を「動的機器」、



点検・評価の全体フロー

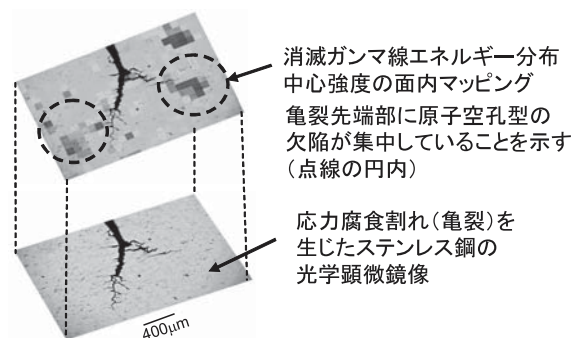
「静的機器」、「支持構造物等」、「その他」に大別。それぞれの要求性能を整理し、地震による損傷を想定した上で、機種ごとに点検方法を定めた。

また東電は今年2月6日に1号機の点検・評価計画についても取りまとめ、同院に提出。今後その他の号機についても同様に計画書を取りまとめる予定だ。  
(資料提供：東京電力)

## 世界最高レベルの収束度を持つ小型陽電子顕微鏡を開発 —原子力材料のミクロな劣化診断が可能に

日本原子力研究開発機構(原子力機構)の先端基礎研究センターの前川雅樹研究員らは、次世代原子炉の開発で課題となる材料劣化の新たな評価法として、陽電子マイクロビーム技術の開発を行っている。当研究員らは、この技術を発展させ、陽電子線源として放射性同位元素(Na-22)を用いた世界最高レベルのビーム収束度(直径 $1.9\mu\text{m}$ )を持つ小型の走査型陽電子顕微鏡( $1.5\times 1\text{m}^2$ )の開発に成功した。これにより、従来の顕微鏡手法では不可能な材料局部における原子レベルの劣化診断や微小材料の品質評価が可能になった。

この顕微鏡を用いて高温高圧水中で応力腐食割れ(亀裂)を生じたステンレス鋼を観察したところ、亀裂よりも先端部分において、光学顕微鏡では判別できない原子空孔が存在することを世界で初めて発見した。本技術は、原子力分野だけでなく、半導体デバイス開発や材料微細加工分野においても応用が期待される。



消滅ガンマ線のエネルギー分布図と光学顕微鏡像

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p07120601/index.html>)

(\*)本研究成果は、旧電源開発促進対策特別会計法および特別会計に関する法律(エネルギー対策特別会計)に基づく文部科学省からの受託事業として原子力機構が実施した平成18年度および平成19年度「陽電子マイクロビームによる原子力材料のミクロ劣化解析」の成果である。

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## 1万 km 離れた欧州から日本での核融合実験に成功 —ITER サテライト・トカマク計画での遠隔実験への適用性を 実証

原子力機構は、那珂核融合研究所(茨城県那珂市)にある臨界プラズマ試験装置(JT-60)を使って、約1万 km 離れたドイツのマックスプランク・プラズマ物理研究所から遠隔で実験を行うことに成功した。これは、原子力機構が開発した高度なセキュリティと高速のデータ通信機能を合わせ持つシステムにより、欧州の研究者が現地にいながらインターネット回線を通じて日本の研究者とほぼ同等の環境で実験を実施できることを、世界で初めて実証したものである。

今回の成功により、欧州に建設される「国際熱核融合実験炉 ITER」の遠隔実験と日本で実施される「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動(幅広いアプローチ活動)」のサテ



遠隔実験風景(JT-60制御室)

ライト・トカマク計画での遠隔実験の成功に向けた中核的な技術開発のめどが立った。

遠隔実験は、装置保護と安全運転を担保する制御システムへの不正侵入防止のために高度なセキュリティ確保が必要である。実験中は実験条件の作成・変更と設備状態の確認等を迅速かつ頻繁に行い、これらをリアルタイムで反映させるため、データ通信の高速・安定化が不可欠である。また、高度なセキュリティ保持には通信の監視、認証、暗号化等のセキュリティ関連プロセスが必須であるが、通信の応答速度が低下するために高度なセキュリティと高速データ通信の両立が課題であった。

原子力機構は、システム計算科学センターが開発したグリッド・コンピューティング基盤(IT Based Laboratory(ITBL)基盤ソフトウェアを進化させた Atomic Energy Grid InfraStructure(AEGIS))で使われているセキュリティ技術を用いて、高度なセキュリティ環境下でのインターネット回線を用いた遠隔実験システムを開発してきた。同システムの高いセキュリティは、過去に国内で行った遠隔実験により実証済だが、今回、国内に比べて回線の遅延が懸念される約1万 km 離れた欧州からの遠隔実験においても有効であることを実証した。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p07121302/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

## DNA レベルでの正確な被ばく線量評価を可能にする放射性核種 データベースを開発 —核医学診断・治療，分子イメージング研究の進展に貢献

原子力機構の遠藤章\*グループリーダーは、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)のKeith Eckerman 博士と協力して、核医学検査・治療に伴う患者の被ばく線量評価で世界をリードする米国核医学会の線量計算用放射性核種データ集“MIRD: Radionuclide Data and Decay Schemes”を改訂

し、その“2nd Edition”(第2版)を完成させた。

核医学検査・治療とは、放射性同位元素(RI)で標識されたブドウ糖等の医薬品(放射性医薬品)を用いて病気の診断や治療を行うもので、患者の苦痛が少ない方法として世界的に広く利用され、国内では、年間約165万件(平成14年実績)の事例が報告されて



いる。核医学検査・治療では、投与される放射性医薬品による患者の被ばく線量を適切に管理する必要があり、その際に、精度の高い放射性核種の基礎データが必要となる。

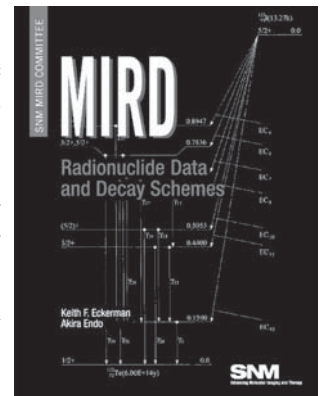
今回改訂されたデータ集は、第1版に比べ、(1)今後新たに利用が見込まれるエルビウム(Er-169)、ルテチウム(Lu-177)等91核種の追加、(2)原子核崩壊に関する最新の基本データに基づく編集、(3)DNAレベルでの線量計算にも対応できる詳細データの追加など大幅に拡充されている。遠藤は、(3)を可能にする「Auger 電子の詳細なエネルギー分布を計算する手法」を開発したことが特に評価され、第2版の共著者となった。

米国核医学会のMIRD委員会が開発した線量評価法は、核医学分野の標準的な手法として世界中で

幅広く利用されている。今回改訂されたデータ集は、病気の診断や治療の安全評価の基礎資料としての利用はもとより、近年、進展が目覚ましい分子イメージング研究にも活用されていくものと考える。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p08010801/index.html>)

(\*)原子力基礎工学研究部門環境・放射線工学研究ユニット放射線防護研究グループ・グループリーダー  
(資料提供：日本原子力研究開発機構)



今回改訂された線量計算用放射性核種データ集(米国核医学会)

## エネルギーエキスポ2007でハノイに代表団を派遣

2007年10月30日～11月2日の4日間、ベトナムエネルギー協会(VEA)等の主催により、第1回国際エネルギーエキスポがベトナム・ハノイ市で開催され、日本からは、原産協会が代表団(団長：伊藤範久・電事連専務理事)を派遣するとともに、日本連合(原産協会、電事連、原電、日立GE、三菱重工、東芝、JETRO)が出展を行った。

原子力関係では、ベトナムのほか、日本連合、フランス、ロシア、韓国、中国が出展。また、インド企業が電力設備を出展した。

開会式には、ハイ副首相以下、政府・関係機関の

首脳が出席し、また、伊藤団長がテープカットに参列した。開会式の後、日本ブースにはベトナム側首脳が訪れ、PWR、BWRのモデル・パネル等を視察した。

ベトナムの原子力発電導入での日本のプレゼンスを示すため、展示出展と併行して、当協会代表団はミン国会議員(科学技術環境委員長)、ホアン商工大臣、フォン科学技術環境大臣等を表敬訪問し、日本の原子力発電所への視察を要請した。

(資料提供：日本原子力産業協会)



## 原産協会、インターネットで動画による原子力情報の提供を開始

日本原子力産業協会は1月から、インターネットを使った動画による原子力情報の提供を始めた。原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、インターネット・テレビの形で、毎月15日に新番組を公開する。

第1回としては、1月15日から今井敬・原産協会会長とのインタビューを放映する。今井会長は、エネルギー資源の高騰など、原子力を取り巻く世界的

な潮流と、原子力安全や耐震性の確保を通じて原子力への信頼を回復し、原子力推進に取り組む考え方等について語る。

(資料提供：日本原子力産業協会)



### 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

#### [カナダ]

### ブルース・パワー社がアルバータ社の新規プロジェクト計画を買収

カナダ・オンタリオ州を本拠地とするブルース・パワー社は07年11月29日、エネルギー・アルバータ社(EAC)の新規原子力発電所建設プロジェクトを買収する方針を正式に発表した。アルバータ州への原子力発電導入を掲げて発足した民間企業EACのプロジェクトは、実現に向けて大きく前進した。

カナダ原子力公社(AECL)と協力協定を締結しているEACは、アルバータ州でのCANDU炉の独占利用権を保持している。ブルース・パワー社とEACは同利用権を、新たに発足するブルース・パワー・アルバータ社へ譲渡することで基本合意。EACが進めてきたアルバータ州での新規建設プロジェクトは、ブルース・パワー・アルバータ社が継続することになる。EACのW・ヘニューセット社長は、ブルース・パワー・アルバータ社の顧問に就任する。

またブルース・パワー・アルバータ社は、ピーク時以外の余剰電力を利用した水素製造も視野に入れており、カナダ水素協会(CHA)と協力し可能性を検討する方針だ。水素製造が実現すれば、電力供給とオイルサンド回収の2つを目的として計画されたEACのプロジェクトは、新たに電力供給と水素製造の2つを目的とするプロジェクトに生まれ変わる。

EACは05年10月に、原子力によるアルバータ州への電力供給とオイルサンド回収の事業化を掲げて設立された民間企業で、06年8月にAECLと協力関係を構築。07年8月、アルバータ州ピースリバーを対象としたサイト準備認可(SPL)を、カナダ原子力安全委員会(CNSC)に申請した。AECL製のACR1000型炉(出力120万kW級)2基を2012年に着工し、2017年にも運開させる計画だ。建設コストは62億加ドル(58億ドル)と見積もられている。

カナダ唯一の民間原子力発電会社であるブルース・パワー社は、ブルースA3、4号機(CANDU、各80万5,000kW)、ブルースB1～4号機(CANDU、各84万kW)の計6基を運転しており、オンタリオ州の電力の20%以上を供給している。しかし、うち5基は2015～20年頃に大規模な改造もしくはリプレースが必要になると見込まれている。そのため同社は06年8月、ブルース・サイトを対象としたSPLをCNSCに申請している。

ブルース・パワー社のD・ホーソン社長兼CEOは、「新規建設に一番重要なのは地元自治体の意向」と指摘。これまでEACが培ってきた地元自治体との友好関係を引き続き強化していくとした。

ホーソンCEOは、地元住民の間に反対運動があることにも触れ、「アルバータ州にこれまで原子力発電所がなかったのだから、当然の反応だ。まだ原子力発電に関する十分な知識も普及していない」との認識を示した。そして今後3年かけて、「環境影響評価と並行してPA活動を実施し、地元住民との対話を重ねていく」と強調した。

[米国]

## ドミニオン社、ノースアナ・サイトの COL を申請

米電力会社のドミニオン社は07年11月27日、ノースアナ・サイト(バージニア州)を対象とした建設・運転一体認可(COL)を、原子力規制委員会(NRC)に申請した。

ドミニオン社は、既存のノースアナ原子力発電所(PWR 2基)に、3号機(152万kW級ESBWR)を建設する計画だ。ESBWRのCOL申請は今回が初めてで、同機はESBWR実証のテストケースとなる。早ければ2010年にも着工し、2015年にも運開させる考えた。

5億ドルと見積もられるCOL申請コストは、ドミニオン社とエネルギー省(DOE)との間で折半される。さらにドミニオン社は、3号機建設計画に関し、GE日立ニュークリア・エナジー社(GEH)、ベクトル社とパートナー契約を締結しており、ドミニオン社の負担分はわずか6,000万ドルに抑えられている。

もちろんCOLの申請は、最終的な建設計画を意味するものではない。ドミニオン社としては、今後急増が予想されるバージニア州の電力需要へ対応するために、3号機増設のオプションを保持したい考えた。

NRCのD・クライン委員長は、「COLの審査には42ヶ月かかると想定されているが、ノースアナ3号機はESPを取得しているため34ヶ月に短縮される」との見通しを示している。

## ニュークリア・エナジー社、エクセロン社と資機材調達契約を締結

GE日立ニュークリア・エナジー社(GEH)は07年12月11日、米国最大の原子力発電事業者であるエクセロン社と資機材調達契約を締結したと発表した。

契約内容の詳細は公表されていないが、GEH製ESBWRの建設に必要な大型鍛造品や、工程上重要な原子炉やタービンの部品など、調達のリードタイムが長い資機材の確保を狙いとしている。

エクセロン社のT・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しながらも、「建設を決定した場合に、確実に着工することができる」と述べ、新設オプションを保持するために事前の資機材調達契約が欠かせないと強調した。

一方、エクセロン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をめぐる、建設候補サイトに挙げられた2地点が誘致合戦を繰り広げている。

エクセロン社は07年6月、建設・運転一体認可(COL)の申請対象となる候補サイトとして、マタゴルダ郡とビクトリア郡を選定。すでに両サイトで実地調査を開始し、並行してPA活動も実施している。

ビクトリア郡はこのほど、地元自治体および公社で構成した『チーム・エクセロン』を発足させ、エクセロン社に対し誘致攻勢を展開。「原子力発電所プロジェクトを、他の産業プロジェクトと同様に積極的に支援する考えで、今後、具体的な優遇策について話し合っていきたい」(D・ファウラー・ビクトリア経済開発公社社長)としている。

他方、郡内にNRGエナジー社のサウステキサス・プロジェクト原子力発電所(STP)を抱え、原子力発電所立地自治体としては一日の長があるマタゴルダ郡は、これに対抗。N・マクドナルド郡判事は、「マタゴルダ郡も、いつでも優遇策を提示する用意はできている」と指摘し、特に以下の3点により、マタゴルダ郡は優位な立場にあると強調した。

(1) STPが立地しているため、緊急時体制が確立している。ビクトリア郡は白紙から緊急時体制を準備することになり、マタゴルダ郡のレベルに達するには数年かかる。

(2) STPと良好な関係を保っており、住民も原子力発電に好意的で、理解がある。

(3) 内陸部であるビクトリア郡は、グアダループ川からの水供給を提示しているが、マタゴルダ郡は沿岸部であることから、メキシコ湾からの海水を無制限に利用することができる。

エクセロン社は、08年11月をメドに、原子力規制委員会(NRC)へCOLを申請する計画だ。07年11月には、採用炉型をESBWRに決定していた。

## デューク・エナジー社、 W・S・リーⅢで COL 申請

米電力会社のデューク・エナジー社は07年12月13日、W・S・リーⅢ原子力発電所を対象とした建設・運転一体認可(COL)を、米原子力規制委員会(NRC)に申請した。COLが申請されたのは5件目(うち1件は分割申請)。07年には7月(ユニスター・ニュークリア・エナジー)、9月(NRGエナジー社)、10月(テネシー峡谷開発公社)、11月(ドミニオン社)と、続々とCOLが申請されている。

デューク・エナジー社は、サウスカロライナ州チェロキー郡へ新規に原子力発電所(旧デューク・パワー社のエンジニアで、後に会長まで上り詰めたW・S・リーⅢ世の名を冠している)を建設する計画だ。採用される炉型は、ウェスチングハウス社製 AP1000×2基。テネシー峡谷開発公社が申請したベルフォンテ・サイトを対象としたCOLも、同じ炉型を採用しているため、今回の申請にあたり参照ケースになったという。

同日の記者会見で、同社原子力部門のトップであるB・バロンCNOは、「サウスカロライナ州およびノースカロライナ州で増大する電力需要に対応するための原子力発電オプションの保持に一步近づくとCOL申請の意義を強調した。同社は、2027年までに新たに1,070万kWの追加設備容量が必要になると予測しており、うちリーⅢ発電所で約240万kWの設備容量をまかなう考えだ。

同社は05年10月、COLの申請方針を発表。06年3月には建設サイトを選定し、サザン・カンパニーと共同所有することを発表。しかし07年5月、サザン・カンパニーは「自社のA・W・ボークル・サイト(ジョージア州)への新規建設プロジェクトに資金と人材を集中させる」としてリーⅢプロジェクトから撤退。その後、デューク・エナジー社が同プロジェクトを単独で継続していた。

実際に建設する場合、プロジェクトの総コストは40~60億ドルと試算されているが、運転収益により回収は確実視されている。またサウスカロライナ州、ノースカロライナ州ともに、デューク・エナジー社のプロジェクト・コストの回収を認めている。これは、プロジェクトが頓挫した場合でも、プロジェ

クトにかかったコストを将来の電気料金に上乗せすることを認める法律で、電力会社にとってはプロジェクト・リスクを確実に回避することができ、積極的にプロジェクトを推進する強いインセンティブとなる。

チェロキー郡のサイトは、原子力発電所が立地する既存のサイトではないが、デューク・パワー社(当時)が1970年代にチェロキー原子力発電所(PWR, 128万kW×3基)として着工した経緯がある。

当時の経済情勢や電力需要の低迷予測、規制体制の不確実性などから、2,3号機の建設計画は1982年にキャンセルされ、1号機の建設作業も1983年に中止された。

1989年に公開されたSF映画『アビス』(J・キャメロン監督、E・ハリス主演)の水中シーンを、放置されていたチェロキー1号機の建屋で撮影したことは有名だ。

### [英国]

## BE社、リプレースを見据え準備調査を強化

政府のエネルギー政策に、原子力発電所の新設が盛り込まれるかどうか注目が集まる英国で、ブリティッシュ・エナジー社(BE)が既存炉のリプレースに向け、サイト準備調査を強化している。

英貿易産業省は07年5月、懸案となっていた新しいエネルギー政策案を発表。パブリック・コメントに付した後、政府内で協議を行っている段階だ。新しいエネルギー政策は、08年初頭にも発表される見込みで、原子力発電所の新設方針が決定された場合、戦略的サイト評価が実施される。

BEは政府が新設方針を下した場合、できるだけ迅速かつ効率的にサイト評価を実施できるよう、従来から実施してきたサイト準備調査を、今後、一層強化するという。BEのB・コーリーCEOは、「BEの既存サイトはすべて、技術面ではリプレースが可能」と指摘した上で、「地元自治体との良好な関係を継続・強化し、規制当局との緊密な協力を継続することが重要」との認識を示した。

サイト準備調査では、環境影響評価だけでなく、送電システムの確保等も検討されている。BEはす

に、英国の送電部門を所管するナショナル・グリッド社と、サイズウェル、ヒンクリー・ポイント、ダンジネス、ブラッドウェルの4サイトを対象に2016年以降の送電網へのアクセス契約を締結している。これにより前述の4サイトでのリプレースに関し、送電インフラの整備はナショナル・グリッド社が保証することになる。

## バーチャル再処理方針を決定

英ビジネス・企業・規制改革省(BERR)はこのほど、海外からの受け入れ使用済み燃料の対応について、「使用済み燃料を再処理したものと仮定し、国内在庫から相応のプルトニウム、ウラン、廃棄物を発生者へ返還する(バーチャル再処理)」との方針を決定した。

英国はセラフィールドにある酸化燃料再処理工場(THORP)で、海外からの使用済み燃料を再処理していたが、05年5月に発覚した硝酸溶液漏洩により、操業を停止している。そのため、海外諸国と再処理契約を締結して受け入れた使用済み燃料は、再処理されないまま保管されている状態だ。

THORPを所有する英原子力廃止措置機関(NDA)は、解決策として「バーチャル再処理」のオプションを示し、貿易産業省(当時。BERRの前身)が07年6月からパブリック・コメントに付していた。

### [フランス]

## アレバ社、米国向け EPR 建設を視野に設計認証申請

仏アレバ社は07年12月11日、米国向けに開発した出力160万kW級EPR(USEPR)の設計認証(DC)を、米原子力規制委員会(NRC)へ申請した。同社は2015年までに米国でUSEPRの初号機を運開させると、意気込んでいる。

同社のEPRはこれまでフランス、フィンランドで設計認証を得ており、英国でも事前審査段階にある。今回の米国での申請は、EPRとして通算4ヶ国目となる。5ヶ国目は中国になる予定だ。

アレバ社は、フランス電力公社と米コンステレーション・エナジー社との合弁会社ユニスター・ニュークリア・エナジー(UNE)に、供給者として

参加している。

UNEはUSEPRを建設炉型とし、カルバートクリフス3号機(メリーランド州)の建設に向けた建設・運転一体認可(COL)申請作業を進めている。すでに07年7月にCOL申請書を分割し、環境影響評価書をNRCへ提出。08年3月までに、COL申請書の残りの部分、安全解析書等をNRCへ提出する予定だ。

## 三菱重工とアレバ ATMEA を正式発足

三菱重工業と仏アレバ社は07年12月7日、合弁会社ATMEA(アトメア)を正式に発足させた。

06年10月以来、両社は110万kW級中型炉ATMEA1の基本概念設計を実施していた。今後はアトメア社がATMEA1の開発を進めるとともに、拡販に向けたマーケティング、各種許認可の取得、受注活動などを行う。当面の課題はATMEA1の早期市場投入としており、両社の全面的な支援を受け、2009年末までに許認可申請を開始する方針だ。

本社はパリに置かれ、資本金は6,600万ユーロ(折半出資)。

### [欧州]

## フランス・イタリア両国の電力公社が戦略的連携を強化

仏二一で開催された仏伊首脳会談で07年11月30日、フランス電力公社(EDF)のP・ガドネ会長兼CEOとイタリア電力公社(ENEL)のF・コンティCEOが、パートナーシップ協定を締結。EDFのフラマンビル3号機(EPR, 165万kW)建設計画に、ENELが12.5%出資すること等が盛り込まれた。

これによりENELは、同機からの発電電力量の12.5%を確保するだけでなく、技術者をフラマンビルへ派遣し、EPRの最新技術を吸収することが可能になる。出資金額は20億ユーロで、同3号機は2012年の運開を目指している。

またENELは、EDFが今後、2023年までに実施する5基のEPR建設プロジェクトに対し、12.5%を上限に出資する権利を持つことになる。逆にEDFも、ENELが欧州で実施する原子力発電所建設プロ

プロジェクトに対し、同様の条件で出資が可能となる。  
EDFとENELは今回のパートナーシップ協定を原子力だけでなく、他電源分野にも応用することを視野に入れている。

## 欧州委、ベレネ建設計画を承認

欧州委員会は07年12月7日、ブルガリア電力公社(NEK)が計画するベレネ原子力発電所の建設再開計画を承認した。

欧州委員会は、同発電所に関するNEKのデコミ基金や放射性廃棄物管理基金の積み立て計画は問題がないと指摘。採用炉型であるVVER1000の設計についても、安全性に問題はないと結論した。ただし、今後、ブルガリア政府は、ベレネ発電所から発生する放射性廃棄物の長期管理計画を策定する必要があると指摘している。

同計画は、ルーマニアとの国境に位置するベレネ地点に、露アトムストロイエクスポルト社(ASE)製VVER1000(100万kW)を2基建設するもの。ASEを主契約者とし、2008年の建設再開、2014年の初号機運開を目指し準備作業が進行中だ。建設コストは40億ユーロと見積もられている。

NEKは07年5月、ベレネ発電所を所有するベレ

ネ電力(BPC)を設立し、BPCへの共同出資者を選定するため、競争入札を実施。現在審査中だ。

[ロシア]

## 国有会社ロスアトムが発足

ロシアのV・プーチン大統領は07年12月6日、連邦原子力庁のS・キリエニコ長官を、新しく設立される原子力国有会社「ロスアトム」の総裁に任命する方針を明らかにした。

ロスアトムは、民生部門を統括するアトムエネルギーゴプロム社(AEP)はもちろん、軍事部門、基礎科学研究部門、放射線安全部門など、ロシアのすべての原子力関連部門を傘下に納める国有会社。政府が決定した原子力政策を実施し、原子力業界の一体性を確保し、各部門へ安定した資金を供給する役割を担う。

ロスアトム発足後は、連邦原子力庁の現在の業務がすべて移管され、連邦政府内に原子力を専門とする組織はなくなる。

同大統領は07年12月3日にロスアトム設立法案に署名しており、08年初めにもロシアの新しい原子力体制が始動しそうだ。

## 解説

## 最終処分地における参加型意志決定過程

東京工業大学 山野直樹, 澤田哲生, 鳥井弘之

日本における高レベル放射性廃棄物処分地選定の解決には、日本に適した合意形成と意志決定プロセスの構築が必要である。東京工業大学では、諸外国の処分地選定における参加型意志決定過程に関する知見を共有し、理解を深める目的で国際シンポジウムを開催した。本稿では、フランスを中心として意志決定過程に実際に携わった当事者の講演、日本の関係者を交えたパネル形式の意見交換の内容を通して、フランス、フィンランドや韓国の意志決定過程で何が問題点であり、その解決にはどのようなことが有効に働いたのかを明らかにし、近い将来に期待される日本の処分地決定に係わる意志決定過程の要件を考察した。

## I. はじめに

東京工業大学21世紀 COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」(COE-INES)では、原子力と社会の共進化を一つのテーマとしており、原子力が日本の基幹エネルギー源として今後も社会に受け入れられるためには、放射性廃棄物処分に対する課題の解決が必須であると考えている。そのため、廃棄物処分に対する合意形成と意志決定がどのように行われるべきかを考察する必要がある。

COE-INES では処分地決定に成功した諸外国の意志決定過程の理解を深めるため、2回の国際シンポジウム(2006年12月1日:国際文化会館, 2007年9月6日:本学百年記念館)を開催した。第1回は韓国、フィンランドの事例、第2回はフランスの事例について、意志決定過程に関与した当事者を招聘し、講演と日本の関係者を交えたパネル形式の意見交換を行った。

第1回目の概要は、すでに本誌会議報告(49[5], p.371-372, 2007)で既報であり、報告書<sup>1)</sup>も発行されているので、説明は省略し、第2回目の会議を中心に解説する。

## II. COE-INES 国際シンポジウム“最終処分地における参加型意志決定過程”の概要

標記国際シンポジウムは、東京工業大学百年記念館フェライト会議室で開催された。参加者は110名で、使用言語は日本語、フランス語で仏日同時通訳を行った。

最初に、放射性廃棄物管理機構(ANDRA)国際参与のベルナルド・フォシェ氏、オート＝マルヌ県議会の副議長アントワーヌ・アルメルシュ氏、フランス国立科学研

*Participatory Decision-Making for Final Disposal Site:*  
Naoki YAMANO, Tetsuo SAWADA, Hiroyuki TORII

(2007年 11月30日 受理)

究センター(CNRS)のフィリップ・ディリバルヌ氏の3名による廃棄物処分に対する合意形成と意志決定過程の講演が行われた。

## 1. フォシェ氏(ANDRA)の講演

地下処分研究のためのビュール地下研究所の所長を務め、200回以上のステークホルダー(利害関係者)との会議も経験したフォシェ氏は、研究所選定の概略と、可逆性(reversibility)<sup>a)</sup>を選んだ理由、2006年6月制定された「放射性物質および廃棄物の持続可能な管理計画法」の概要と将来計画についての講演を行った。

1987-89年にかけてフランス政府は地層処分の研究施設の設置を住民の合意なしに決めた。そのため非常に激しい反対運動が起き、その計画は中止された。その後、国会議員を中心とした調査が行われ、1991年12月に「放射性廃棄物に関する管理研究法」が成立した。この法律の原点は、住民の意向を理解することであり、人間の安全と保護が放射性廃棄物の管理の究極の目標であると規定している。フランスの放射性廃棄物すべての管理に関する法律である。調査対象となり得る地域には事前に情報提供と相談を行う。地下研究所の設置に関する決定には住民投票を行う。また調査対象地域の経済発展計画も規定された。

1991年の法律では、科学的鑑定を保証するため、安全庁・放射性廃棄物管理機構(ANDRA)・政府から全く独立した専門家からなる国家評価委員会(CNE)が設置された。そして地元住民・代表者・議員たちが独立性のあ

<sup>a)</sup>可逆性(Reversibility)とは、将来の科学技術の進展によって、現在の処分概念や方法を、次世代の人々が変更することができるという政策的な決定方法を意味する。廃棄物の回収可能性ではない。後で述べるが、2006年の法律では、可逆性の保証期間が1世紀未満であってはならないほか、処分場閉鎖は議会による再検討が必要である。



国際シンポジウム会場風景

る情報を得ることができるよう、地域情報監視委員会 (CLIS) の設置を提言した。この委員会は独立した予算を持ち、あらゆる情報にアクセスでき、安全庁や廃棄物発生者とは独立した聞き取り調査や会議を行うことができる。

ANDRA は一般的な地震や地球物理学的な調査を実施し、地層の詳細調査のため、深さ約500 m の地下に研究所を設置する申請を行った。法律に従い民意調査が実施され自治体が投票を行った。政府はビュールの近くの土地「ムーズ・オート＝マルヌ (MHM)」にすることを決定した。地元自治体の求めに応じ、可逆性を前提としたものに限りということを決めた。

ANDRA は2005年に科学的報告書を発表し、安全庁やCNEなどが内容を検討した。可逆性のある地層処分はビュールの粘土層で可能であり、この可逆性は数世紀にわたって維持されるだろうと確信している。フランスの元老院と国民議会の特別委員会である「科学技術選択評価局 (OPECST)」も、社会学的・経済的・政治的な視点からプロセスの評価を行った。

ANDRA はビュール地下研究所で得られた調査結果より、地層処分が可能なゾーンを特定した。このゾーンは約250 km<sup>2</sup>に及び、地層処分に必要な面積は地上で2～3 km<sup>2</sup>、地中で4～5 km<sup>2</sup>で、フランスの原子力発電所の耐用期間中に発生すると想定されるすべての廃棄物を処分するのに十分な場所がある。

2006年に原子力の透明性と安全性に関する法律が採決された。これにより独立した組織である「透明性と情報提供に関する高等委員会」が設置された。2006年6月28日に「放射性物質および廃棄物の持続可能な管理計画法」が可決された。

ANDRA は2015年に認可申請を提出し、認可されると2025年までに施設を開設する。しかし ANDRA がその認可を得るまでには、独立専門家委員会や安全庁による評価が行われ、さらに当該地域の県議会と市議会による投票が行われる。当然 OPECST も評価に参加する。最終的な認可は、処分の可逆性の条件が元老院と国民議会の両院によって承認された場合に限り実施に移されることになる。

資金の問題について、フランスでは汚染者負担の原則

が確立されている。この法律に引き続いて「ビュール地方の地域開発のための高等委員会」が設置され、委員長は大臣が務め、EDF・AREVA・CEA・ANDRA が参加している。ANDRA は研究所の近くに科学技術開発センターと常設の環境監視所を設置する。またこの研究所は、地層処分の実現可能性の調査、最終的な実現可能性の判断、最適化にかかわる任務を終了した後は、放射線がない環境に関わる地中の研究に利用する。

可逆性は自治体・地方議員・住民が要求し、1998年に義務化された。2006年の法律では、可逆性の保証期間が100年を下回ってはならない、また議会が再検討を行うことが規定されている。可逆性とは回収可能性ではなく、処分のプロセスそのものについて後戻りをする、コンセプトを変える可能性である。最終的に技術の進歩により可逆性が不要となっても、これは地元の政治的な要求である。ANDRA は政治的な意志決定のプロセスとしても可逆性を含める。つまり一定の期間、政治が逆戻りの決定を行うことができるという概念を提案していることが述べられた。

## 2. アルメルシュ氏(オート＝マルヌ県議会副議長)の講演

オート＝マルヌ県議会副議長のアルメルシュ氏は、ビュール地下研究所の問題を経験した県議会の副議長として講演した。

研究所の設置に私や他の議員が大きく関与しなければ、研究所の設置はなかった。私達が関与したのは、国民は誰でも子供や孫のことを考えなければならない時があり、廃棄物管理の問題はフランスに限らず世界的な問題だと思ったからである。

研究所の設置に対する決定を下す際に重要事項について投票が行われた。研究所に関するプログラムは必ず可逆性が保証されること。地方議会の議員や地域の住民に対して情報の透明性が保証されること。重要な条件として、実行された活動を評価委員会の報告書によって監視することが決められた。

研究を通じて、その地域に若者を引き止めておく地域開発という点が重要だった。公益団体(GIP)にも焦点を合わせた。GIPはオート＝マルヌ県とムーズ県全体の経



済開発を管理する。2006年までに各県に給付された額は940万ユーロで、対象地域の建物・住宅・学校改修などのインフラ整備のための年間の補助金の80%に相当する。

廃棄物の問題に関する適切な解決法を次の世代が見つけるために最善を尽くすのが、我々の世代に与えられた任務であり役割だと考える。現在はまだ研究段階で処分について決定を下そうとは思わない。次世代の人たちが決定を下すことだ。今の私の世代の責任は、次世代が必要とする生活環境を維持し、次世代が下す決定が正しくて最適なものとなるように研究体制を整えることである。

私達は、高等委員会や大臣に、そして原子力関連の3大グループである AREVA・EDF・CEA に、私達の地元の経済開発に貢献するよう求めてきた。AREVA はムーズ県とオート＝マルヌ県の企業に発注するようになった。EDF は県内の個人向けの援助を含めたエネルギープランを策定した。私達にとって特に重要なのは研究所の周辺にバイオマス工場が近く設置されることであり、これは特別な意味を持っている。雇用の問題、若者を引き止めるという住民との10年来の約束が実現しつつあることが述べられた。

### 3. ディリバルヌ氏(CNRS)の講演

ディリバルヌ氏は、フランス人の廃棄物管理に関する意識を調査分析した結果について、そして合意形成を図るための考え方、思想についての講演を行った。

従来から放射性廃棄物に関する世論調査は行われているが、2年前に EDF・CEA・AREVA・ANDRA から放射性廃棄物に関するフランス人の意識調査を依頼された。それは世論調査ではなく民族学的な調査だった。ビュール周辺の住民だけでなくフランス全土の人々の気質に接し、理解するためのものだった。グループごとに意見を聴き、110人の意見を聞いた時点で調査を終了した。

人々の間には3つの種類の不安があることが判明した。まず1番目の不安は、技術的な知識が不確実であることによる不安。2番目の不安は、「形而上学的な不安」といえるもので、「人間は神様ではない」とか「有限は無限を制御できない」というような言葉で端的に表現される。放射性廃棄物のように何百万年も寿命がある物質であれば、優れた専門家や物理学者、地質学者でさえも予測できないことが起きるのでないか。これは一つの確信となっている考え方であり広く普及している。3番目の不安は、学者、政府や政治家がいうことをどこまで信用できるかという不安である。

放射性廃棄物に関して、一般的なフランス人はほとんど知識を持っていない。専門家から見た現実とは全く異なるイメージを抱く。放射性廃棄物に対する基本的なイメージは「生き物」。「寿命」から「生き物」を想像する。生

きているだけではない。殺すこともできない悪意に満ちたモノである。容器に閉じ込めることは不可能で、文明社会よりも長い寿命を持っている。

そうしたことから、永遠に耐用可能な檻、もしくは牢屋、箱に入れよう(これが、不可逆的な処分のイメージを想起させる)としているこの「被造物」を人々は恐れる。不可逆的な処分に関して、少し前まで、ANDRA は「私たちの箱は、確実に、10万年、いや100万年は大丈夫です」という傾向があった。これではフランス人は信じない。

それとは矛盾するが、科学そのものを信じているので、この被造物を「無害にできる」、「放射能を除去できる」と信じている。彼らにとって未来の進歩とは、結局、自分達が信じていることに落ち着く。

ビュール周辺が地震地帯ではないことは学者も地元の人々も知っている。それでも「学者は過去と現在を知っているが、千年後・十万年後いつか動き出す可能性を誰が否定できるのか？」という。このとき、聖書の中の地震の場面が想像される。地震が起きる、牢屋がある、地震で牢屋の壁が壊れる、囚人が全員逃げ出す。不安の要素はまさに、「そこにいるのか分からない、有害性の限度が分からない」ことである。

フランス人はガラス固化体について、ガラスのビンやコップを想像する。そして、「ガラスは割れる、信頼できない」。粘土のイメージは粘土の壺なので、「壺を捨てる、壺が壊れる」。したがって「廃棄物をガラスの中に入れて、それを粘土の中に入れる」というと、そこから広がるイメージは、これは本当に信用できないということになる。

また大多数の人々にとって自然は、汚してはならないもの、神聖なもの、敬うべきものであり、単なる道具として扱ってはいけないものである。長期間残留する廃棄物は、早く消化・消失するものとは異なり、地球を本当に汚染するものである。それも物理的な汚染だけでなく、形而上学的な汚染ともいえるものである。今まで述べた点についてはフランス人の間で意見の一致が見られる。

関係者や学者は、有能、概して正直、そして最も高度なビジョンを持っているカテゴリーの一つだが、しかしステレオタイプのイメージがある。昔の19世紀のフランスのアニメに登場するコサイン博士という人物、偉大な学者で自分の希望と現実とを取り違える人物。あるいは、未熟な魔法使いの弟子のように、自分の知識の限界もよく知らずに自分たちの手に負えなくなってしまって人間に害を及ぼすものを作ってしまうこともあり得ると思われている。

企業については、これはフランス特有、ヨーロッパの国々に特有と思うが、大きな警戒感がある。それに対して抽象的な国に対しては信頼感がある。しかし個々の政

治家についてはあまり信頼感がない。数年前にチェルノブイリから放射性的の雲が出てライン川まで来た。ライン川はフランスとドイツの国境で、ドイツ側では、政府が「牛乳は飲まないほうがいい」とかいつているにもかかわらず、フランス政府は「問題ありません、フランスには問題が及びません。ライン川が砦になっています、安心して下さい」といった。フランス国民は、このときフランス政府は専門家も含めて明らかに嘘をついたと認識した。

ビュール周辺では、国が何度もいつているように、これは研究所であって処分施設については何も確定していないというのが圧倒的な考えであるが、「研究センターなら、こんなにたくさんのお金を注ぎ込まない。お金を注ぎ込むのは研究ではないからだ。こんなに多くのお金を周辺自治体にばらまくということは…。別の考えが裏にあって我々に嘘をついている」と人々は思っている。

このように、いろいろな不信感がある。アルメルシュ氏は真実を知るための独立委員会をようやく設置することができたという話をされた。本当のことを知ることができる体制を整えること。これは、公開討論においても指摘されたことで、調査においても裏づけられている。

調査では、国から3つの解決方法が調査対象者に示された。1つ目は、廃棄物を地中深く埋める、2つ目は、地上に貯蔵する、3つ目は、放射性をなくす核変換を試みることだった。

20年前に得た最初のアイデアは、廃棄物を埋めることだった。人々の反応は非常にネガティブだった。これは全員一致ともいえる。2つ目の解決方法は、「地表に置いておく」、「(今のまま)ラ・アーグに置いておく」というもの。これについては多くの人々が不安を示し、「地上にあれば悪意を持った人間が入手して悪いことに使うかもしれない」といった。理想は廃棄物とその放射能を失うように変換すること。これは誰もが夢見る解決法であり、最も無知な人達でさえも本当に実現可能だと信じている。この解決方法には大なり小なりの期待があった。魔法や錬金術というイメージは少なかった。

全体的に見ると、専門家が次のように答えれば、フランス人は彼らを信用する用意ができています。「いつの日にか廃棄物を無力化しますが、それまでの間、問題が起きないように何とかします。でも現在、問題が起きないようにするための技術的な解決方法が必要です」。置く場所は地下500mがいいか地上保管がいいか、そういう技術的な手段については専門家に任せていいと考えている。

第2のポイントは、しっかりとした監視システムの構築である。「いつの日にか回収できるということで満足していません」、「きちんと監視しています」、「私たちはプロです、私たちは有能な技術者を抱えています」といえること。技術者が魔法使いを気取るのではなく、工学

的な事案に対処できる立場を貫くのであれば、フランス人は彼らを信頼する。

最後のポイントは、フランス人が科学の進歩に対して盲目的な信仰、素朴な信念を持っていて、それがあまり根拠のないものだということ。そのため、どのように科学があるモノを別のモノに変えることができるかを説明しなくては行けない。

この調査はフランス人を対象に行い、フランス人の想像の世界に踏み込んだものであり、この想像の世界のいくつかの要素は、フランスやヨーロッパ文化、ヨーロッパの架空の話と結びついていることは明らかである。日本ではどうだろうか？ 廃棄物に関する技術が日本人にどのように理解され、受け止められているかを知ることが興味深いことだと述べられた。

### Ⅲ. パネル討論による意見交換

講演の後、フランスの3氏を交えてパネル討論が行われた。日本からのパネリストは、前原子力委員の木元教子氏、東工大経営工学専攻教授の渡辺千仞氏、資源エネルギー庁放射性廃棄物等対策室長の渡邊厚夫氏および電力中央研究所顧問・元読売新聞社論説委員の中村政雄氏である。コーディネーターは鳥井弘之東工大教授が務めた。

国民性や思考の違いに関する渡辺千仞氏の質問について、フォシェ氏は透明性を保証する、検証・科学的鑑定・情報提供の独立性に関する原則が日本のプロセスではよく見えないとコメントした。

可逆性の受け入れ、反対者への対応に関する中村政雄氏の質問には、ディリバルヌ氏は、不可逆性処分はあらゆる方面からの強い拒否反応があった。「不可逆性の放棄」が、十分ではなくとも必要最低限の条件だったと述べた。アルメルシュ氏は、建設的な反対派は健全な民主主義に必要だが、破壊的な反対派は無用であると述べた。

木元教子氏は、原子力行政では、市民や国民と対話ができる機会を数多くつくるのが重要だと思っていると前置きしたうえで、CLISについて質問した。アルメルシュ氏は、CLISの運営は当初、非常に生産的だったが、多くの破壊的な反対派が実体のないNPO法人を設立して押しかけ、CLISの委員長(県知事)は収拾のつかない会議を放置した。この教訓から新しいCLISに参加できるのは、ポジティブな団体で、委員長は関係する県の議員が交代で務めることになったことが述べられた。

原子力の総合的な受入れに関して、ディリバルヌ氏は、意見を聴いた人たちの多くは、原子力は現在必要であるが廃棄物の問題を解決しない限りは持続可能なものにはならない、と思っている。これが、最終的な、少なくとも長期的な、原子力に関する受入れ条件であり、廃

棄物の問題を解決できなければ、原子力以外のものを見つけないといけないうと述べた。

渡邊厚夫氏は日本の最終処分事業の現状と今後に向けた考え方を説明した。ディリバルヌ氏からは、決定プロセスに関して、フランスと日本との間には大きな文化的差異がある。フランスにおける決定プロセスは、方針を早く決定して、多くの不確定要素を残したまま実行に移す。これは日本の方式とは異なると思うと述べた。

パネリストはフランスや日本の取組みの違いや学ぶべき点について活発な議論を行った。会場からも多くの質問やコメントを受けた。誌面の制約から細かな内容は省略するが、報告書<sup>2)</sup>には発言内容のすべてを掲載した。

#### IV. 考察と今後の取組み

COE-INES では、大学という客観的で学際的観点から意思決定過程のシンポジウムを開催し、諸外国の事例に学ぶところが多かった。当事者から直接話を聴くことで、信頼感が生まれることに重要なポイントがある。前回の会議で、フィンランドと韓国においては、処分地決定に至る過程や要因はそれぞれ異なるが、両国とも推進者と地域市民の信頼関係に基づいた協働活動を粘り強く継続したことが特徴であった。特にフィンランドでは原子力規制局(STUK)が市民の信頼を得る活動を積極的に行った。フランスの事例では、住民の意向と自治体の決議を尊重したことが共通点であるが、文化的な違いによりその進め方は異なる。重要なコンセプトは、徹底した透明性と、それを保証する独立した専門家組織があり、それを基に自治体が意思決定を行ったことである。

日本では、法律で定められた処分地選定プロセスを進めているが、必ずしも国民の合意を十分得ないまま進めるという、一方通行的な理解促進策が、逆に国民の信頼感をなくしているのではないか。この問題には、国民が建設的な考えで、自ら解決方法を作り上げるための合意形成の場と意思決定プロセスが必要であると考えられる。筆者らは、対話によってステークホルダーの理解促進がどのように行われるかを実験的に検証する「地域市民フォーラム」を3年間、博士課程学生と一緒に進めており、合意形成のあり方やその方法論について研究している。重要な点は、対話と参画によって当事者間の心理的な距離が縮まり、信頼関係が構築できるかどうかに着目する。

原子力と社会が共進して持続的発展するために、筆者

らはこれらの知見を活かして、地方自治体や市民との対話により相互理解を深めるシンポジウムを継続的に提供していきたいと考えている。なお、今回のシンポジウムの講演・討論内容を記載した報告書は前回と同様、一般公開している。

最後に、筆者らの活動に対し、電気事業連合会、原子力発電環境整備機構、(財)原子力環境整備促進・資金管理センター、(独)日本原子力研究開発機構、(社)日本原子力産業協会の協賛および経済産業省・資源エネルギー庁、在日フランス大使館の協力を得たことに深謝する。

#### —参考文献—

- 1) 山野直樹(編), 第2回 COE-INES 国際シンポジウム, INES-2サテライトシンポジウム“最終処分地:それは一体どのように決まったのか?”報告書, 東京工業大学21世紀 COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」, ISBN 978-4-903054-09-4, (2007).
- 2) 山野直樹(編), COE-INES 国際シンポジウム, “最終処分地における参加型意思決定過程”報告書, 東京工業大学21世紀 COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」, ISBN 978-4-903054-18-6, (2007).

#### 著者紹介

山野直樹(やまの・なおき)



東京工業大学  
(専門分野/関心分野)原子力の社会的責任, 原子力と社会の共進化, 核データ評価・積分検証, 放射線利用, 放射線遮蔽工学

澤田哲生(さわだ・てつお)



東京工業大学  
(専門分野/関心分野)原子力工学, 核不拡散, 原子力知識マネジメント, 沙漠緑化, 都市緑化

鳥井弘之(とりい・ひろゆき)



東京工業大学  
(専門分野/関心分野)社会と科学技術の相互作用が関心分野で、両者が相互に影響しながらダイナミックに変化する共進化を提唱

# ウラン廃棄物等の諸課題について

京都大学 山名 元,

原子力研究バックエンド推進センター 前田 充

ウラン廃棄物は、製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工の各工程の運転および解体に伴って発生する廃棄物であり、核分裂生成物や TRU 核種などを含む放射性廃棄物とは扱いが大きく異なる。このためもあって、クリアランスや処分に関する安全上の基準も今後整備される予定である。ウラン廃棄物に関する様々な課題を振り返り、その処分等の方向性について解説する。

## I. はじめに

ウラン燃料を製造するための鉱石の製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工の各工程の運転および解体に伴って、ウラン等を含む廃棄物およびクリアランス対象物が発生(以下、「ウラン廃棄物等」という)する。民間のウラン燃料加工施設、日本原子力研究開発機構のウラン濃縮施設、日本原燃のウラン濃縮施設においてかなりの運転廃棄物が蓄積しているだけでなく、今後は解体廃棄物の発生も予想される。また、研究機関や大学などにおいて発生してきたものにもウラン廃棄物等が含まれている。ウラン廃棄物等は、汚染が主としてウランであり、核分裂生成物や超ウラン元素(TRU)などの放射性廃棄物とは、扱いが大きく異なることが特徴である。本稿では、ウラン廃棄物等に関する様々な課題を振り返り、その処分およびクリアランスに向けての方向性について解説する。詳細については、文献1)を参照されたい。

## II. ウラン廃棄物等の諸課題

高レベル放射性廃棄物や発電所廃棄物のような、主に人工放射性核種を含む放射性廃棄物の処分や制度については、共通的な考え方や安全上の基準が整備されてきたが、ウラン廃棄物等はこれらと本質的に異なる点が多い。ウラン廃棄物等にかかわる課題を紹介する。

### 1. ウラン廃棄物等の発生量

ウラン廃棄物等は、主に燃料加工事業者、日本原子力

研究開発機構(JAEA)、日本原燃(JNFL)の3者から発生する。これら事業者による調査(第1表)によると、2005年時点ですでにドラム缶92,000本程度が蓄積している。今後、JNFLのウラン濃縮施設の運転が進むとともに、JAEAのウラン取扱施設の解体が予定され、2050年度末には、496,530本にまで、ウラン廃棄物等が増加すると予想されている。

これらを貯蔵する貯蔵能力については、燃料加工事業の場合、事業者によって異なるものの、現状のままでは2020年頃に貯蔵庫が満杯になるケースが発生すると予想される。立地自治体の事情などから、貯蔵庫の増設を簡単には期待できない実情があり、燃料加工事業への将来的な圧迫につながる懸念される。また、ウラン廃棄物の処分方策が定まらないうちは濃縮施設など老朽化施設の廃止・解体を行うことができない。2050年までに発生するウラン廃棄物等のうち4/5程度が1 Bq/g<sup>a)</sup>を下回ると予想される(第1表)。

### 2. ウラン廃棄物の放射化学的特徴

ウラン廃棄物等に含まれる放射性核種としては、基本的には天然に存在する<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U、<sup>234</sup>Uがほとんどである。なお、回収ウランを取り扱った履歴を持つ施設(濃縮施設、加工施設)から発生するウラン廃棄物等には、<sup>232</sup>Uおよび<sup>236</sup>U、並びに核分裂生成物などが含まれる可能性があるが、これらの放射能はごくわずかである。<sup>234</sup>Uの比放射能が他の核種よりも圧倒的に高いために、濃縮度の高いウランほど、比放射能が高くなるのが特徴である。ウランの同位体組成が厳密にわからない廃棄物もあり、評価に際して慎重が必要である。

他の人工放射性核種に見られないウラン廃棄物の特徴として、子孫核種の成長による放射能の増加(ビルドアップ)を挙げることができる。第1図に、精製した天然ウランの放射能の経時変化を示す。1,000年以降、<sup>230</sup>Thや<sup>226</sup>Raの成長により放射能が増加し、10万年以降に系列全体の放射平衡が達成されることがわかる。ウラン廃

Issues for the Rational Management of the Uranium-contaminated Materials : Hajimu YAMANA, Mitsuru MAEDA.

(2008年 1月11日 受理)

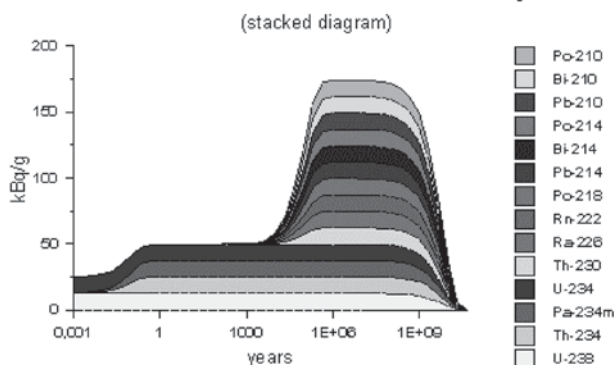
<sup>a)</sup>Bq(ベクレル):毎秒原子核が1個崩壊する放射能量の単位。

第1表 ウラン廃棄物の発生予測<sup>1)</sup>

事業者別	2005年3月 現在	2050年度末予測 (JAEA については2048年度)			
		運転廃棄物		解体廃棄物	
		1Bq/g 未満	1Bq/g 以上	1Bq/g 未満	1Bq/g 以上
日本原燃六ヶ所ウラン濃縮工場	4,000	133,970	14,460	3,170	2,870
燃料加工メーカー	41,000	35,250	53,270	82,180	3,070
日本原子力研究開発機構	47,000	40,860	24,840	101,180	1,410
合計	92,000	210,080	92,570	186,530	7,350
全国合計	2050(2048年)度末予測				
1 Bq/g 未満	396,610				
1 Bq/g 以上	99,920				
合計	496,530				

引用：ウラン廃棄物発生事業者による「ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書(平成18年)」

### Natural Uranium Activity



第1図 天然ウランの精製後の放射能の経時変化

第2表 日本の土試料中のウラン濃度

	平均 (U Bq/g)	最小 (U Bq/g)	最大 (U Bq/g)
地殻	0.059		
高速道路近傍	0.003	0.007	0.073
森林土	0.043	0.006	0.112
表層土	0.048		
非農耕地土壌	0.036		
河川堆積物	0.031	0.003	2.191
水田土壌	0.070	0.040	0.119
畑土壌	0.062	0.026	0.107
河川水	0.000	0.000	0.002

放医研・研究レポートより

棄物の処分地の地形変化もなく、かつウラン核種および子孫核種がその場に10万年間以上、留まって蓄積すると保守的に想定すると、処分地周辺での被ばく影響は10万年后付近で最大となるはずである。これは、時間とともに放射能が減衰する他の放射性廃棄物にはない特徴であり、ウラン廃棄物の処分やクリアランスの評価において本質的な課題となる。

### 3. ウランの自然界での賦存状況

ウランは地殻中に広く分布する元素である(3 ppm程度)。第2表に、国内の環境試料中のウラン濃度の実測値の例を示す。土中に、平均で数十 mBq/g 程度のウランが含まれているのがわかる。土壌や河川堆積物では、最大値で数100 mBq/g 以上の値を示すケースも見られる。ウランは、その化学的な特性から地下水や雨水中で溶解したり沈殿したりするため、場所に応じて賦存状況が異なる。

我々は、1年に平均して約1.5 mSv<sup>b)</sup>の自然被ばくを受けているが、このうち、ウラン起源の、①ラドンの吸

<sup>b)</sup>Sv(シーベルト)：放射線の種類等による人体への影響度を表す被ばく線量の単位。mSvはSvの1/1,000。

入、②食物経路によるウラン系列核種の摂取、③ウラン系列核種による大地からの外部被ばく、の合計は約0.6 mSv/年に上る。ウラン廃棄物等の評価結果を考察する際には、自然界におけるウランの存在やその影響の存在、自然環境中でのウランの挙動の特徴など、バックグラウンドの存在が十分考慮される必要があるだろう。

### 4. ウランの検出および定量の難しさ

ウランの主要核種はすべてα崩壊核種であるが、崩壊に際してほとんどγ線放出を伴わない。廃棄体外部からの定量については、<sup>235</sup>Uに同伴する186 keVγ線(放出率：壊変当たり54%)等を利用して、ある程度の精度の範囲で測定可能であるが、基本的には、シンチレータや電離イオン式測定器によるα線検出、あるいは放射化学的な手法に頼る必要が少なからず出てくる。放射線計測によって測定できない核種が存在するため、検出可能核種の定量結果から核種組成の代表値を用いて推測する方法などを利用せざるを得ない。検出精度と検出下限の限界の存在は、処分に係る廃棄体確認やクリアランス検認に際してのハンディキャップとなる。

### 5. ウランの化学毒性と産業廃棄物処分との関連

ウランは化学毒作用があり、慢性毒性と発ガン性を考慮する必要がある。慢性毒性は他の重金属と同様に耐用品日摂取量(TDI)で評価され、例えばWHOの暫定値(mg重金属/kg体重/日)では、Cdの0.001やHg(総水銀)の0.005に対し、ウランは0.06である。WHOはこれらをもとに飲料水水質ガイドライン第3版において、暫定値として0.015 mg/lを示した。なお、我が国の飲料水に関する厚生労働省令(2004年)の管理目標値や環境基準に係る環境省令(2004年)の要監視項目は、0.002(mg/l)のままで改訂されていない。

一方、産業廃棄物についても、毒性、感染性等健康または生活環境に被害をもたらすおそれのある廃棄物は、遮断型処分場または管理型処分場に埋設することが求められ、構造・維持管理基準、廃止基準等が定められている。処分場の廃止により、廃棄物処理法の規制から解放され、環境基準が適用される。これはウラン廃棄物を含む放射性廃棄物の浅地中処分施設についても同様であろう。

### 6. 長期原子力利用の中でのウラン廃棄物等

我が国での現在までの濃縮ウラン燃料累積使用量は約23,000 t程度であるが、原子力政策大綱による原子力利用の長期展望に基づいて概算すると、2100年にはこれが約110,000 t程度に上ると考えられる。この累積使用量の一定割合(0.1%以下程度)がウラン廃棄物として発生することは、我が国の宿命といってもよい。海外から大量に輸入したウランの利用については、ダウンストリームまで含めて、国内で責任を持てる仕組みが確立されることは、長期的な原子力利用国としての必須要件であるといえる。

ウラン廃棄物の処分はこのように、我が国における原子力の長期利用を支える上で本質的な問題の一つであるが、原子力発電の経済メカニズムの中ではその位置づけは見えにくい。ウラン廃棄物処分にかかるコストは原子力発電コストの中では極めて小さい部分に過ぎない上、核燃料費の中に含まれるため、ダウンストリームに必要なコストとしては表に見えにくいというのが実情である。一方、ウラン廃棄物の処分やウラン汚染物のクリアランスに係るコストは、燃料加工事業や濃縮事業の加工コストの中ではかなり大きなインパクトを与え得る可能性がある。国内での燃料供給体制を長期に安定化させ、ウラン廃棄物等に対する社会的な受容性を確保していくことが、原子力の長期利用に必須であることを考えると、ウラン廃棄物等の課題は、特定の事業の個別問題ではなく、我が国の原子力利用全体における課題の一つと考えるべきではないだろうか。

## III. 規制等の制度整備に関する課題

ウラン廃棄物の管理を具体化する上では、規制等の制度や処理処分システム等の仕組み整備が必要となる。課題整理の観点から、国内外における取組みの現状について概要を述べる。

### 1. 我が国における検討

原子力委員会は平成12年、ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方を取りまとめ、ウラン廃棄物についても、“核種濃度等により適切にレベル区分し、合理的な処分方策を検討する必要がある、素掘り処分等の浅地中処分も考えられる”とし、“線量目標値、濃度基準の検討に当たっては、ICRPなどの放射線防護の考え方や海外事例を勘案し、また天然に普遍的に存在すること、長期性に伴う不確実性を考慮した上で、発生の可能性も考慮した適切なシナリオの設定が望まれる”<sup>2)</sup>としている。

一方、原子力安全委員会は、これまで発電所廃棄物を主対象に浅地中処分に関して安全規制の考え方、安全審査の考え方、基準値等を示してきたが、最近、余裕深度埋設等の長寿命核種を含む廃棄物の処分に関して重要事項、濃度上限値、安全規制の考え方等の報告書を取りまとめた。

「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間報告)」(平成19年)では、“極めて長期間に及ぶ安全評価では不確実性を考慮し、シナリオの発生の可能性とその影響を組み合わせたリスク論的考え方が有効”とし、発生の可能性に基づいて基本シナリオ、変動シナリオ、人為・稀頻度事象シナリオを想定することを求め、各シナリオ評価のめやす線量を示している。基本シナリオは“発生の可能性が高く通常考えられるシナリオ”とし、被ばくの管理を必要としないめやす線量として10  $\mu$ Sv(0.01 mSv)/年の値を提案している。

ただし、ウラン廃棄物については、“天然の放射能との関連なども考慮する必要があると考えられることから、濃度上限値とともに埋設計画が具体化する段階で検討する”としている<sup>3)</sup>。同様の但し書きは、平成16年の共通の重要事項、平成18年の研究所等廃棄物の浅地中処分、平成19年の濃度上限値に関する報告書等でも認められ、例えば、研究所等廃棄物の報告書では、ウランの天然賦存性やビルドアップ等の特徴を考慮し、IAEAやICRPの提案する考え方や諸外国の規制を参考にすることを検討すべきであるとしているが、具体的な検討は開始されていない。

### 2. 国際機関等での検討

欧米ではウラン廃棄物という区分概念はないが、天然起源核種のクリアランスレベルや天然起源の放射性物質

を含む物質(NORM)の免除レベルにおいてウランの特徴を踏まえた考え方が示されており、ICRP, IAEA, EC委員会等において多くの検討がなされてきた。

### (1) 放射性廃棄物処分の放射線防護の考え方

ICRP は、Pub 77(1997), Pub 81(1999), Pub 82(1999)等において、“放射性廃棄物処分に対しても、行為(Practices)に関する放射線防護の3原則が適用できる”として、正当化、最適化、線量限度の適用の考え方について多くの勧告を行ってきた。

線量限度を1 mSv/年とし、この値とⅢ-2(2)項で述べる規制免除レベル10  $\mu$ Sv/年との間において、複数の線源からの被ばくの可能性を考慮して設定される単一线源に関する線量拘束値を指標として最適化を行うことを求めている。地下水汚染等の自然過程から生じる線量またはリスクの算定では、0.3 mSv/年の線量拘束値または約 $10^{-5}$ /年のリスクと比較されるべきとしている。

なお、Ⅲ-1節で述べた基本シナリオのめやす線量は規制免除レベルと同じであり、ICRP が勧告する最適化の検討が必要のない値となっている。

### (2) 規制免除

放射線量が非常に低いため、個人にとって無視できるようなリスクレベルの線量域があることが広く認識されており、NORM を含む放射線源の規制免除レベルやクリアランスレベルに関して幅広い検討が行われてきている。

IAEA は電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準(いわゆる BSS)において、行為または行為の中で使用される線源に対し、正当化の枠組みの下で、一定の基準以下であれば、規制の適用を受けない免除レベルとして下記を提案し、国際的に幅広く受け入れられている。

- ・公衆の構成員に予想される実効線量が年間10  $\mu$ Svのオーダーか、超えないこと。
- ・年間の預託集団実効線量が、おおよそ1人・Svを超えない、あるいは防護の最適化評価から免除が最適の選択肢であること。

この背景として、IAEA は数10  $\mu$ Sv/年(some tens of microsieverts per year)を取るに足らない線量(trivial dose)と考えており<sup>4)</sup>、免除とクリアランスに関する EC 委員会は、“10  $\mu$ Sv/年に切り下げたことは複数の免除された線源から起こり得る被ばくに関連した便宜上のこと”と述べている<sup>5)</sup>。

これに対して、天然起源核種のクリアランスレベルは、宇宙線、体内カリウム、鉛物中放射性物質等による被ばく管理は規制の実行可能性や効率性等の観点から、規制になじまないとする規制除外の概念により導かれている。天然土壌よりも濃度が高められた廃棄物等が除外対象とならないようレベルが導出されている。

天然起源核種に対する同様な配慮は、NORM の免除

レベルの検討においても採用されており、EC 委員会は、“天然起源線源に対する値は、trivial risk に基づいて行うことは適切ではなく、NORM に係る作業活動に伴う個人被ばくは10  $\mu$ Sv/年よりずっと高い場合があり、10  $\mu$ Sv/年を課すならば、自然のバックグラウンドの変動よりも低く抑制することであり、そのような小さい増加を管理体系に適用することは一般に不可能である”と述べている<sup>6)</sup>。このような考え方は、いずれも規制の実行性、合理性、効率性を重視する国際的な考え方に基づくものであろう。

### (3) ウラン含有低レベル放射性廃棄物等の取扱い

米国、英国、フランス、フィンランド、スウェーデン等において、ウランを含む低レベル廃棄物は浅地中埋設場または特定の産廃処分場において処分されている。公衆の安全性の判断基準はいずれも100~300  $\mu$ Sv/年の範囲内にある。主要な例としてフランス<sup>7)</sup>とスウェーデン<sup>8)</sup>の現状について述べる。

フランスでは、微量の  $\alpha$  核種を含む低レベル廃棄物がオープン中低レベル廃棄物処分場<sup>9)</sup>およびモルビリエ極低レベル廃棄物処分場<sup>10)</sup>で受け入れられており、前者の  $\alpha$  核種受入濃度基準は、容器詰めの場合、単位廃棄体平均で3,700 Bq/g である。この値の策定の経緯として、1980年代当時、長寿命核種廃棄物の処分場は存在せず、処分場の活用策として長寿命核種が1~2%の廃棄物をマンシュ<sup>11)</sup>に受け入れることを決定し、この考え方がオープン処分場にも適用されたものとされている。

一方、モルビリエ極低レベル廃棄物処分場の受入濃度基準は、放射能毒性に基づいて4区分された IRAS という指標で定められ、ウランは Class 2 に指定されており、これからウラン単独の場合、最大で、バッチ当たり：100 Bq/g、パッケージ当たり：1,000 Bq/g となる。

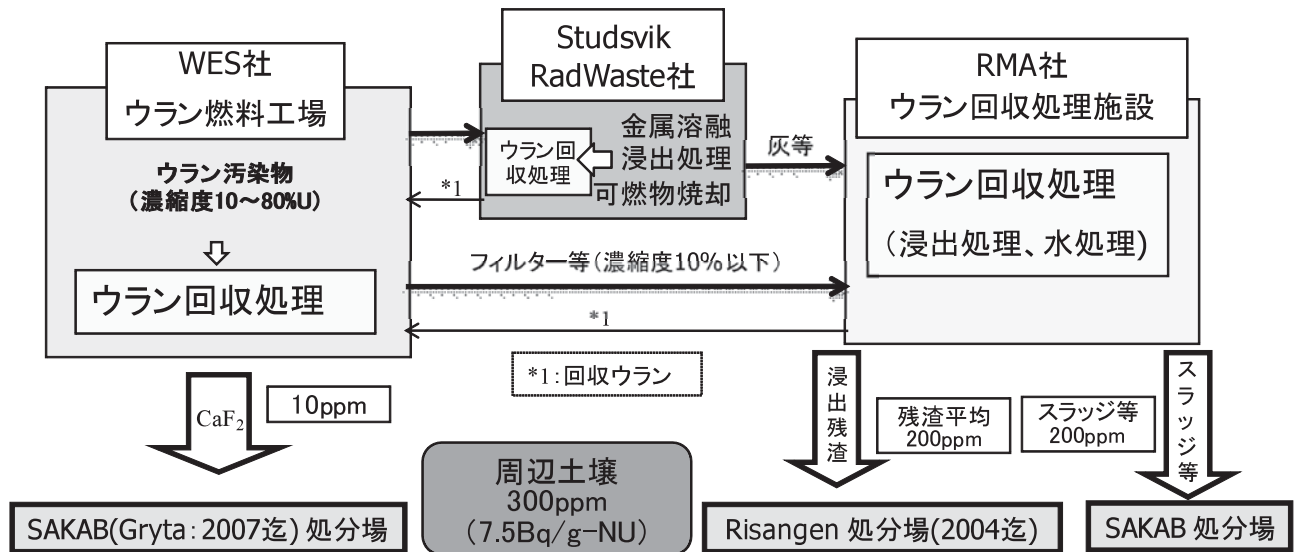
スウェーデンは、ウラン汚染物は潜在的資源物質であるとして極低レベル以上のものはすべてリサイクルするため徹底した回収除染処理を行っており、“いわゆるウラン廃棄物は発生していない”としている。

一例として、Westinghouse Electric Sweden(WES)社のウラン燃料加工施設(UF転換を含む)で発生するウラン汚染物の処理の流れを第2図に示す。ここではRanstad Mineral社(RMA社)、Studsvik社といった社外処理施設のほかに、特別に許可された地方自治体の産廃埋設施設(Gryta, Risangen, SAKAB)の機能が適切に

<sup>9)</sup>原子力施設で発生する半減期30年以下の  $\beta\gamma$  核種主体の中低レベル廃棄物を調整・埋設する基本原子力施設で1992年以来、放射性廃棄物管理庁(ANDRA)が運転している。

<sup>10)</sup>極低レベルの原子力施設解体廃棄物のほか、濃縮 NORM 廃棄物、有害廃棄物等を受け入れ、調整・埋設する特定環境防護施設で2003年以来、ANDRA が運転している。

<sup>11)</sup>1970年代初頭より操業を開始した中低レベル廃棄物埋設施設。すでに埋設容量が満杯となり、2003年から公式に管理段階に入っている。オープン処分場はこれを引き継いだ役割。



第2図 Westinghouse Electric Sweden (WES)社ウラン燃料加工施設におけるウラン汚染物処理の主な流れ

組み込まれ、総合的なリサイクル・処分システムが構築されている。割愛したが、RMA社、Studsvik社を中心とするシステムでは、ドイツ等国外からのフローも含まれる。回収・除染に伴う微濃度のウランを含むCaF<sub>2</sub>、スラッジ等は、条件付きクリアランス物質として図示した産廃施設で埋設されている。

### 3. 我が国における課題

上述のように欧州では、実行性や合理性を考慮した規制と合わせ処理処分のインフラが整備されている。我が国において、今後、具体的な検討が期待されるところである。

現行の安全審査の基本的考え方では、廃棄物中の放射能の減衰を前提に段階管理の適用を定めているが、ウランについては現実的期間内での放射能レベルの低下は期待できないばかりか、II-2節で述べたように、ビルドアップにより放射エネルギーが増加する。

我が国のウラン廃棄物について行われた試算例(初期ウラン(天然組成)濃度100 Bq/g)では、跡地利用に伴う潜在被ばくにおいて、埋設処分後約1万年間は数10 μSv/年オーダーであるが、数万年以降、100 μSv/年を超える可能性があることが示され、環境中濃度の変動幅等を参考とする新たな判断指標の必要性を指摘している<sup>9)</sup>。

## IV. おわりに

以上、ウラン廃棄物等の課題とこれにかかわる国内での取組みや海外での状況について解説した。自然放射性物質としてのウランの特殊性を加味した上で、科学的かつ合理的な、ウラン廃棄物等の処理処分およびクリアランスの制度化が重要である。前述した原子力委員会原子

力バックエンド対策専門部会報告書<sup>2)</sup>では「ウラン廃棄物の特徴や処分方法を考慮した安全規制の基本的考え方や線量目標値の設定をはじめとした安全基準などが、原子力安全委員会において検討され、これを踏まえて、必要な制度の整備が図られることの重要性」を述べているが、筆者らもこれに同感である。ウラン廃棄物等の問題が、軽水炉による長期的な原子力利用の根幹にかかわる問題の一つであることに鑑み、その処分およびクリアランスの制度化に向けての検討が早期に進められることが期待される。

### —参考文献—

- 1) 日本原燃, 日本原子力研究開発機構, (株)グローバル・ニュークリアーフuel・ジャパン, 三菱原子燃料(株), 原子燃料工業(株), (株)ジェー・シー・オー, ウラン廃棄物の処分およびクリアランスに関する検討書, (2006).
- 2) 原子力委員会, ウラン廃棄物処理処分の基本的考え方について(平成12年).
- 3) 原子力安全委員会, 低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間報告)(平成19年).
- 4) IAEA, *Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control*, IAEA SS No.89, (1988).
- 5) European Commission, *Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption*, RP-122 Pt. I, (2001).
- 6) European Commission, *Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption*, RP-122 Pt. II, (2001).
- 7) Jean-Marie Lavie, “フランスにおけるα廃棄物の浅地処分およびクリアランスの考え方と現状”, デコミッションング技報 No.36, p 11 (2007).
- 8) 宮坂靖彦, “スウェーデン及びドイツにおけるウラン廃棄物の処理処分の現状(仮題)”, デコミッションング技



報 No.37, (2008), 投稿中.

9) 川妻伸二, ウラン廃棄物処分方策の提案, 原子力学会

「2007年秋の大会」企画セッション(ウラン廃棄物の処分に関する検討)(2007).

著者紹介

山名 元(やまな・はじめ)



京都大学  
(専門分野/関心分野)再処理等に関わる湿式・乾式系でのアクチニド化学研究, 放射化学研究, 核燃料サイクル工学など。

前田 充(まえだ・みつる)



(財)原子力研究バックエンド推進センター  
(専門分野/関心分野)原子力バックエンドの技術および安全性

**From Editors** 編集委員会からのお知らせ

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



— ホームページ更新情報 —

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/> (2/10 現在)

- 学会誌ホームページに, Web アンケートで評点が高かった記事 (2007年 1~10月号) を掲載しましたのでご覧下さい (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/index.htm>)。
- 英文論文誌について, 全通過論文に対する英文 Editorial Correction (素読校閲: 主として文法上のミスの修正や冠詞・接続詞などのチェック) を開始しました。詳しくは, <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/publication/071001suyomikosei.html> をご覧下さい。



—最近の編集委員会の話題より—  
(2月8日 第8回幹事会)

【論文誌関係】

- 論文誌への投稿から審査終了までのインターネットを利用した電子化を進めている。電子化に伴い, 英語版投稿規程の改訂することとし, その内容を検討した。

【学会誌関係】

- 原子力学会 50周年記念号は学会誌 2009年4月号とし, 現学会活動と今後の展望を主体とする若い層向けの記事とし, 110ページ程度とする。今後, 編集委員会と学会 50周年記念事業WGとで連携して進めることとした。
- 主なマスメディア関係者へ学会誌を送付することとし, 従来送付している機関とあわせて, アンケートによる活用状況の確認をする予定。
- 学会誌 Web アンケート回答数が若干減少したため, 引き続き部会モニターの方々に回答を依頼することとした。
- 学会誌等を送付する際の封筒の透明ラップ化を検討中。4月号を目処に封筒デザインを決めることとした。

編集委員会連絡先 [hensyu@aesj.or.jp](mailto:hensyu@aesj.or.jp)

# 放射性廃棄物の分離変換技術にどこまで期待できるか？

## 「分離変換サイクル」研究専門委員会活動報告に代えて

### 「分離変換サイクル」研究専門委員会

日本原子力学会に平成15年に設置された「分離変換サイクル」研究専門委員会では、4年間にわたり、分離変換技術に関わる要素技術や、地層処分に対する分離変換技術の導入効果について検討を実施してきた。その間、国内外で、分離変換技術による放射性廃棄物の処分に係る負担の軽減効果が再評価される動きが活発化してきており、本専門委員会の果たした役割も大きい。本稿は、この4年間の活動で得た成果を総括し、今後の展望についてまとめたものである。

#### I. はじめに

日本原子力学会では、放射性廃棄物の合理的な処理処分に資することを目指した「分離変換技術」について、1991年からの「消滅処理」研究専門委員会を皮切りに、「消滅処理工学」(1995年～)、「分離変換工学」(1999年～)、「分離変換サイクル」(2003年～)の各研究専門委員会を設けて、広範囲にわたる検討・調査を継続的に実施してきた。

特に、2003年からの「分離変換サイクル」研究専門委員会では、分離変換技術の導入効果を廃棄物処分の観点から、定量的に明らかにすることを目指し、炉物理、核燃料サイクル、廃棄物処分等に関わる多くの委員が協力して検討作業を実施してきた。ここで、「分離変換サイクル」とは、マイナーアクチノイド(MA)等の長寿命核種を分離回収してリサイクルする概念を指す。

本専門委員会の期間中には、米国において分離変換技術によるユッカマウンテン処分場の容量増大をその目的の一つとした「GNEP計画」<sup>1)</sup>が開始され、また、フランスでは1991年からの15年に及ぶ分離変換技術を含む廃棄物処理・処分方策に関する研究開発の総括がなされる等、国際的にも分離変換技術が表舞台に立ち始めた画期的な時期と重なった。

我が国では、1999年から2000年にかけて原子力委員会の原子力バックエンド対策専門部会においてチェックアンドレビューがなされ、それに基づいて高速炉サイクルや加速器駆動システム(ADS)を用いた分離変換技術

の研究開発が行われてきている。2006年には高速増殖炉の実用化研究開発に関する国の方針においてMAの核変換が廃棄物の負担低減に寄与することが明示されるなど、過去20年余りに及ぶ基礎的な研究がいよいよ実用化に向けて動き出しつつある状況である。

本稿は、この4年間にわたる「分離変換サイクル」研究専門委員会の活動のうち、分離変換技術の導入意義に関する検討、アクチノイドリサイクルと核拡散抵抗性に関する考察、近々に実施が期待される我が国の分離変換技術に関するチェックアンドレビューにおける論点について検討結果等をまとめたものである。

#### II. 分離変換技術の導入意義

分離変換技術の導入意義としては、これまで主に長期にわたる潜在的放射能毒性の低減が強調されてきたが、最近では、処分場の有効利用の観点での議論が盛んとなっている。「分離変換サイクル」研究専門委員会では、タスクフォースを設置して、分離変換技術の導入効果に関する独自の評価活動を展開するとともに、国内外での検討状況の調査を行った。

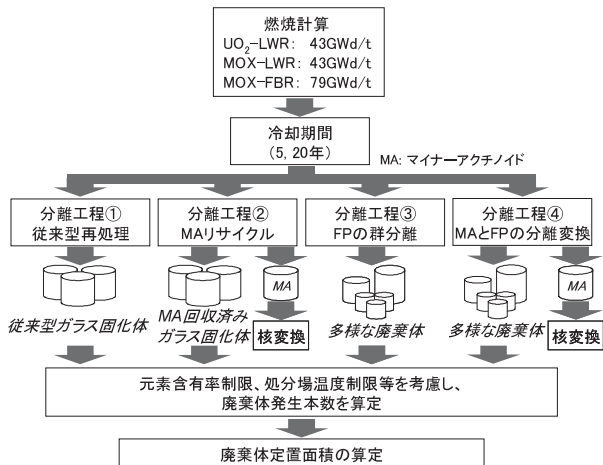
##### 1. タスクフォースでの検討<sup>2,3)</sup>

本検討では、第1図に示すように、使用済UO<sub>2</sub>燃料(UO<sub>2</sub>-LWR)、MOX燃料(MOX-LWR)および高速炉MOX燃料(MOX-FBR)について、以下に示す4種類の方法で再処理および群分離処理を施すものとした。なお、再処理までの冷却期間は5年と20年の2種類と想定した。

- (1) PUREX法による従来型再処理のケース。高レベル廃液をガラス固化体として処分する。
- (2) 上記の高レベル廃液からMAのみを回収して核

*Status and Perspectives of Partitioning and Transmutation Technology*: Research Committee on Partitioning and Transmutation Cycle, Atomic Energy Society of Japan.

(2007年 11月29日 受理)



第1図 分離変換技術の導入効果検討の流れ

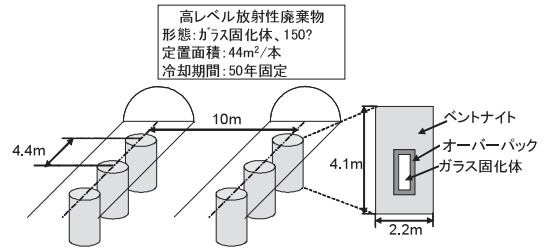
変換システム(高速炉またはADS)でリサイクルするケース。MAをほとんど含まないガラス固化体を生じる。

- (3) 高レベル廃液を群分離し、それぞれの群の特性に応じて分別廃棄するケース。MAは核変換しない。発熱の大きなSrやCsは焼成体として保管し、冷却後に廃棄する。
- (4) 高レベル廃液を群分離してMAを核変換するとともに、FPを分別廃棄するケース。

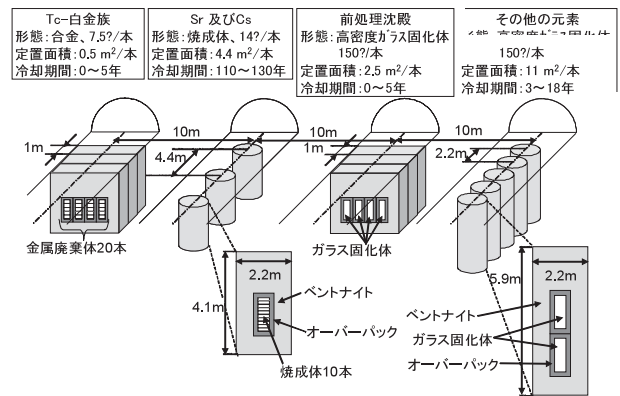
上記の様々な分離工程について、ガラス固化体や焼成体といった廃棄体の単位発電量あたりの発生本数を算定し、その廃棄体を処分場に定置する際に必要となる面積を評価した。この面積には、発熱や処分坑道の安定性等を考慮して決められる廃棄体と廃棄体の間隔が含まれており、ここでは「廃棄体定置面積」と呼ぶ。評価に用いた条件や仮定は参考文献<sup>2,3)</sup>を参照されたい。処分場概念としては、1999年に旧核燃料開発サイクル機構によって取りまとめられた報告書<sup>4)</sup>の硬岩系岩盤に対する処分孔堅置き方式を参考に、処分坑道離間距離(トンネル間隔)を10m, 処分孔間隔(廃棄体ピッチ)を4.4mとした場合(第2図(a)参照)を想定した。廃棄体発生本数を決めるに当たっては、廃棄体に含まれる元素割合の制限や廃棄体製造時の発熱量だけでなく、処分場の温度変化の計算を行い、緩衝材となるベントナイトの温度が100℃を超えないように発熱性物質の含有量を調整した。

群分離で生じる様々な廃棄体の廃棄方法については、第2図(b)に示すような配置が可能であると仮定した。発熱性の焼成体は130年程度冷却することで従来のガラス固化体と同様の定置が可能であり、他の廃棄体はもはや発熱性物質を含まないため、高密度の定置が可能となる。

廃棄体定置面積の算定結果を第3図に示す。従来型再処理の場合、UO<sub>2</sub>燃料からMOX燃料に変わると、ガラス固化体の定置面積が増加し、冷却期間の依存性が大きい。これは、<sup>241</sup>Pu(半減期14.4年)の崩壊によって生じ



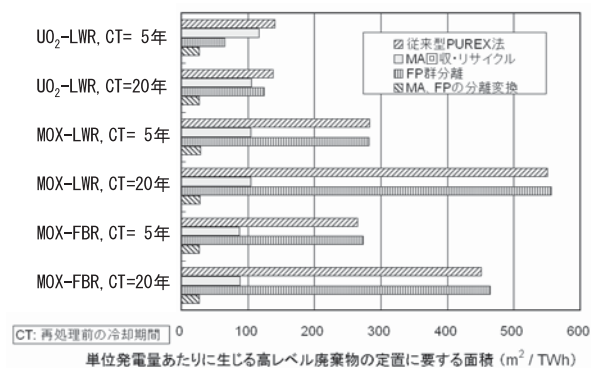
(a) 従来型再処理およびMAリサイクルの場合



(b) FPの分離変換を採用する場合

(ただし、MAを廃棄する場合、その他の元素にはMAが含まれるため、発熱の影響により従来型と同様の定置間隔が必要となる。)

第2図 廃棄体処分方法の概念



第3図 単位発電量あたりに生じる高レベル放射性廃棄物の定置に要する面積の比較

る<sup>241</sup>Am(半減期432年)が長期の発熱源となるため、処分場における緩衝材温度の制約が支配因子となることによる。

MAの回収・リサイクルを採用すると、<sup>241</sup>Amの影響を除去できるため、炉や燃料の型式および冷却期間によらず、一定の処分場面積を維持することが可能となる。したがって、MAの回収・リサイクルは、来るべきプルトリウム・リサイクルの時代においては廃棄物処分の負担軽減の観点から極めて重要であるといえる。

MAを廃棄してFPのみを群分離する場合は、UO<sub>2</sub>-LWRで冷却期間が短い場合には一定の効果があるが、MOX燃料利用で問題となる<sup>241</sup>Amを廃棄することにな

るため、将来的には魅力に乏しい。

一方、MA 核変換と FP 群分離を組み合わせると、すべての場合において廃棄体定置面積の大幅な削減が可能である。このことは、ある敷地面積を確保した場合の処分容量の増大を意味している。例えば、2 km<sup>2</sup>の定置面積なら、電気出力 1 GW の UO<sub>2</sub>-LWR 58基を約30年運転すると満杯になるが、分離変換技術を導入すれば約150年の運転で生じる高レベル廃棄物を収容することが可能である。このことは、国土の狭い我が国において原子力を持続的に利用するために、極めて重要な意味を持ち得ると考えられる。

本検討では、群分離プロセスで生じる廃棄体の処分方法が工学的に成立することを前提としていること、MA 核変換で新たに生じる廃棄体や分離プロセスで生じる二次廃棄物等を相対的に少量として無視していること、処分場の岩種や廃棄体定置方法を固定していること等、今後検討すべき課題は多い。しかしながら、得られた結果は分離変換技術の導入効果を俯瞰的・定量的に示すものであり、今後の研究開発目標を示す重要な成果を上げることができた。

## 2. OECD/NEA での検討<sup>5)</sup>

OECD/NEA では、12カ国の専門家が参加し、使用済燃料の直接処分も含めて様々な核燃料サイクルオプションを設定し、それぞれで生じる放射性廃棄物のための処分場性能を評価した。評価項目は「廃棄物中の放射能」、「廃棄物の崩壊熱」、「高レベル廃棄物の体積」、「処分場の処分坑道の総延長」、「処分後の被ばく線量」、「燃料サイクルコスト」、「総コスト」等である。

評価結果の詳細にはここでは触れないが、これらの項目のうち廃棄物処分の観点からの要点を挙げる。前述のタスクフォースでの検討と同様、ここでも、崩壊熱が処分場設計に及ぼす影響が示されている。例えば、粘土層に処分する場合、TRU をリサイクルする閉サイクルを採用すれば、直接処分に比べて処分坑道の総延長を1/3.5に低減でき、さらに Sr と Cs を分離すれば1/9に低減できるとしている。一方、被ばく線量評価では、どの場合も十分に低い水準に抑制されており、サイクル間の相違は顕著ではない。これは、放射性核種は地下水によって運ばれると想定することから、主に<sup>129</sup>I、<sup>135</sup>Cs等の水溶性 FP が被ばく線量を支配するためである。

以上の評価結果は、タスクフォースでの検討結果と一致しており、TRU の閉サイクルが原子力の持続的利用に有利であることを示している。

以上で説明したタスクフォースでの検討や、OECD/NEA での評価のほかにも、米国や欧州にて処分場概念に対する分離変換技術の導入効果に関する検討がなされているが、いずれも処分場の有効利用の観点から、分離変換技術の優位性を示した結論となっている<sup>6,7)</sup>。今後、

分離変換技術の導入による核燃料サイクルコストの増加と、処分場有効利用によるメリットを比較する等、総合的な議論が必要になってくるであろう。

## III. MA リサイクルと核拡散抵抗性

GNEP や Gen-IV など先進炉・リサイクル技術開発を対象とした世界の取組みでは、MA リサイクルを行うことにより、燃料サイクルの核拡散抵抗性が高められる可能性のあることが指摘されている<sup>1)</sup>。しかしながら、その効果の度合いや、根本的なメカニズムについては必ずしも明確にされておらず、また原子力専門家の間で共通の認識がもたれている状況にない<sup>8)</sup>。

核拡散抵抗性の程度を量る因子として、例えば米国 AFCI(先進的核燃料サイクルイニシアチブ)の研究グループは、①物質の魅力度、②濃度、③取扱性、④計量管理、⑤接近性を挙げている<sup>9)</sup>。「分離変換サイクル」研究専門委員会では公開文献を基に、これらのうち①の因子に着目し、燃料への MA 添加がいかに「物質の魅力度」に影響するかについて考察した。

### 1. 燃料組成とその魅力度

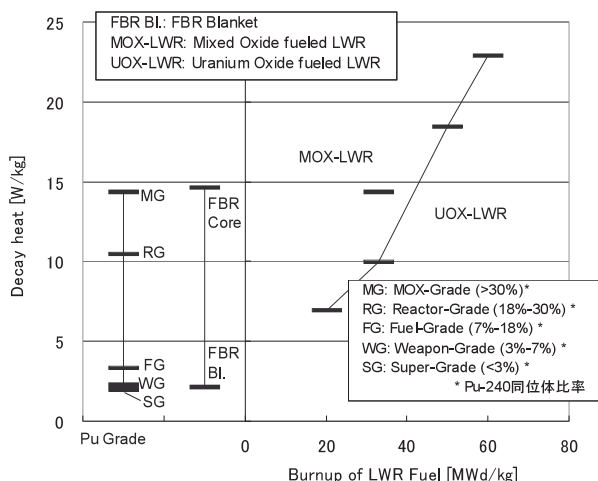
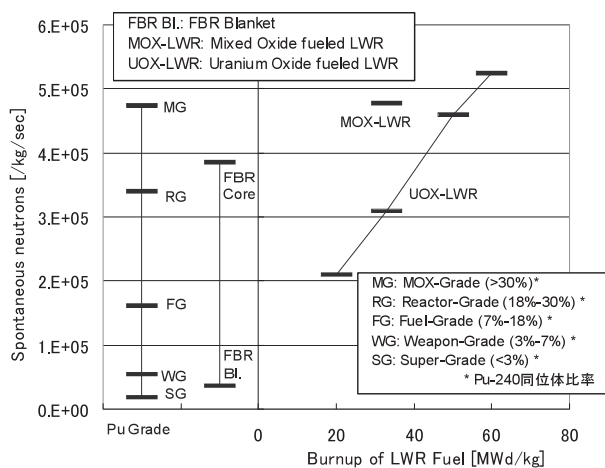
Pu を燃料とする爆縮型爆弾は Pu の周囲に高性能爆薬を配置している。そのため燃料の発熱量が高いと火薬の劣化を加速したり、爆弾としての製造を困難にするため、発熱増大とともに「物質の魅力度」は低下する<sup>10)</sup>。

第4図の通り、軽水炉使用済燃料中の Pu の単位重量当たりの発熱量は燃焼度とともに増大し10~20 W/kg の範囲にあるが、スーパー級や兵器級 Pu の発熱は高々 2 W/kg 程度である。一方、MA の中で比較的半減期の短い<sup>241</sup>Am や<sup>244</sup>Cm はそれぞれ114 W/kg、3 kW/kg と高いため(第1表)、これらが数%でも Pu に混入すると、その発熱量を顕著に増大させることになる。

ただし文献によれば、火薬外側への放熱機構や表面積を増大させる中空型の球状 Pu ピット(芯)など、発熱間

第1表 重核種の物理特性

同位体	半減期 (年)	裸の臨界質量 (kg, α相)	SF中性子 (個/kg/sec)	崩壊熱 (W/kg)
Pa-231	32,800	162	nil	1.3
Th-232	14.1×10 <sup>9</sup>	∞	nil	nil
U-233	159,000	16.4	1.23	0.281
U-235	700×10 <sup>6</sup>	47.9	0.364	6×10 <sup>-5</sup>
U-238	4.5×10 <sup>9</sup>	∞	0.11	8×10 <sup>-6</sup>
Np-237	2.1×10 <sup>6</sup>	59	0.139	0.021
Pu-238	87.7	10	2.6×10 <sup>6</sup>	560
Pu-239	24,100	10.2	22	1.9
Pu-240	6,560	36.8	1.03×10 <sup>6</sup>	6.8
Pu-241	14.7	12.9	49	6.4
Pu-242	376,000	89	1.7×10 <sup>6</sup>	0.1
Am-241	433	57	1.54×10 <sup>3</sup>	114
Am-243	7,380	155	0.9×10 <sup>3</sup>	6.4
Cm-244	18.1	28	11×10 <sup>9</sup>	2.8×10 <sup>3</sup>
Cm-245	8,500	13	147×10 <sup>3</sup>	5.7
Cm-246	4,700	84	9×10 <sup>9</sup>	10
Bk-247	1,400	10	nil	36
Cf-251	898	9	nil	56

第4図 Pu組成と発熱量<sup>11)</sup>第5図 Pu組成と自発核分裂中性子数<sup>11)</sup>

題を軽減する爆弾構造も存在する様子であり、発熱量と魅力度の相関の詳細は不明である。

次に、核物質の自然崩壊の一種である自発核分裂(SF)で生じる中性子の影響について考察する。爆縮型爆弾では、その中心位置に配した燃料を極めて短時間のうちに均一に圧縮し、理想的な超臨界状態にして核分裂をスタートさせる必要がある。この爆縮の過程で系は臨界状態に達するため、もし途中で中性子が入射すると十分な臨界超過になる前に核分裂連鎖がスタートし、所定の収率を得られない早期爆発(predetonation)を生じることとなる<sup>10)</sup>。

第5図にはPu組成と自発核分裂中性子数の関係を示す。スーパー級や兵器級Puでその数は $0.5 \times 10^5$ 個/kg/s程度であるが、これが原子炉級の $3.5 \times 10^6$ 個/kg/sと数倍になると、設計爆発力が得られる確率はほぼゼロとなるため<sup>11)</sup>、SF中性子数の多い物質ほど「物質の魅力」は低下する。例えば、MAを1%程度含むアクチノイド閉じ込めFBR平衡サイクル燃料のPu+MAのSF中性子数は $10^7$ 個/kg/sと兵器級に比べ2桁程度も高いため、このまま兵器に転用することは考えられない。

ただし近年では、高性能爆薬による爆縮速度向上や、均一爆縮技術の発展による必要Pu量減少等により、SF中性子数(すなわち燃料組成)によらず信頼度の高い爆弾設計が可能とする情報もあり、どの程度SF中性子数が多くなると兵器転用が不可能になるかの定量的相関は不明である。

## 2. 代替核物質<sup>237</sup>Npの課題

MAの中でも存在比が大きい<sup>237</sup>Npは、<sup>235</sup>Uに比べて裸体系の臨界量はやや大きいもののSF中性子数は無視できるレベルであり(第1表)、構造が単純な砲身型の爆弾技術で兵器転用できる可能性がある。発熱も無視できるレベルである。

しかも<sup>235</sup>Uと異なり、核不拡散上大きな技術的ハードルである同位体濃縮が不要であるため、Npを分離回収する施設を商業規模で運転する場合には、Npの取扱い、計量管理に新たな対応が必要となる可能性がある。

そもそもIAEA憲章にて保障措置の対象となる核物質の定義を決定する時点では、分離されたNpやAmを意味のある一定量集められるという可能性はなく、定義の対象からはずされていた。1994年には、核兵器保有国である仏、口、英および米が、Npの非核兵器国への輸出管理について合意し、1998年11月にはIAEA理事会がNpとAmの管理に着手することを合意して、NpとAmの国外移転や抽出の実績・計画の報告を受けるとともに、分離施設設計上のMAの流れを確認するフローシート検認(FSV)を実施している。

昨今の先進リサイクルシステムの開発で米、仏、日等は、(1)サイクルの全工程でPuを単体分離(以下、単離)しない、(2)燃料に少量のMAやFPを含有させ、放射線バリアや発熱を高め、難接近・難取扱とすること等により、核拡散抵抗性を強化する方向を模索している。これらの手段を施すことにより、兵器転用のためには純粋Puを分離する工程追加が必要となり、Puを単離するシステムに比べて、転用までの工程数が多い、技術的ハードルが高、転用時間長(→検知確率増大)となるため、定性的には核拡散抵抗性が向上するものと考えられる。ただし、MAリサイクルによる燃料の発熱、SF中性子数、線量の増大は、いずれも相対的な問題であり、決定的に拡散の懸念を排除するようなものではない。逆に大量の単離Npは新たな懸念を生む可能性もあり、MAをリサイクルすることが原子力システム全体の核拡散抵抗性にどう働くか、今後継続的な検討が必要である。

また「物質の魅力」は拡散抵抗性を考える上で一要因に過ぎず、計量管理の容易さ、アクセスの困難性、扱い易さ、炉・サイクル設計、不拡散の制度等の総合的視点を持って核拡散抵抗性を考えていくことが肝要である。

#### IV. チェックアンドレビューの必要性和要点

2000年に行われた前回のチェックアンドレビュー(以下、C&R)から8年が経過した。この間、日本における分離変換技術の研究開発を主導してきた日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構が統合し、また、フランス、米国や国際機関等において分離変換技術の評価が行われている。これらの状況から、我が国でも「長寿命核種の分離変換に関わる研究計画；通称オメガ計画」のC&Rが行われることが期待される。

当委員会では、これまで様々な観点から、分離変換技術の導入効果や研究開発の現状について調査・検討を実施してきたところであり、学会の立場から、C&Rの論点を整理することを試みた。様々なテーマについて、各委員の専門性や興味を背景に掘り下げた議論を行い、以下のような提言をまとめた。

##### 1. 分離変換技術の意義

分離変換技術の主要な目的の一つである放射性廃棄物の処理・処分の合理化に関しては、より定量性のある評価によってメリットを明らかにすべきである。例えば、核種の分離工程を付加する等のコスト増加と処理処分コスト削減効果を評価した上で、サイクル全体として分離変換のコストメリットがあることを示すことが考えられる。その評価検討の中では、対象核種や回収率目標の設定の妥当性についても議論の必要があると考えられる。ただし、想定する処分場の条件によって評価結果が左右されることから、コスト以外の新たな評価指標を検討することも必要と思われる。また、分離技術や加速器の技術の高度化などによる他分野への波及効果も論じられるべきである。

##### 2. 開発ロードマップの策定

FBRサイクルの技術開発計画と相互に関連付けて、分離変換技術の導入シナリオと開発ロードマップを提示することが必要である。ロードマップを策定する際には、技術的課題として、核変換処理用燃料やFPターゲットの研究開発、MAやSr/Csの分離や貯蔵の技術的成立性検討、核データ等の基盤データ整備など要素技術の進捗を踏まえて検討することが必要である。

また、オメガ計画の概要、当初計画あるいは前回のC&Rに対する現在の状況や海外との技術的ベンチマークを整理して広く情報発信すべきである。

##### 3. 人材育成・国際協力

分離変換技術は、優秀な人材を集めるための夢を語れる技術でもある。また、技術的観点においても、分離変換の基盤研究は人材育成に好適なテーマと考えられる。

したがって、大学入学前の学生や大学初期課程の学生などにも啓蒙を図るべきである。また、分離変換研究の国際協力の枠組みを作っていくことも必須である。

#### V. 終わりに

本研究専門委員会では、分離変換技術について炉物理、炉工学、分離化学、サイクル工学、バックエンド工学等の広範囲な分野から委員の参加を得て検討を進めてきた。本稿ではその活動の報告として、これまで毒性指標の低減の視点から議論してきた分離変換技術について、処分場面積への効果という視点で議論することを提案するとともに、MAを含んだ燃料サイクルを採用するに当たり、製品の放射性物質としての性質という観点から核拡散抵抗性について考察を試みた。前者においては、分離変換技術を導入することにより処分場面積が低減できる可能性があり、それは今後MOX燃料を使った場合に顕著になることを定量的に示した。ここで実施した評価は処分場評価の前提や二次廃棄物の検討などまだ初歩的なものであり、今後、経済性視点も加え詳細な評価が望まれる。また、後者においては、MAを含有するリサイクル製品は放射能強度やその性質などにより軍事転用することが相対的には困難となるが、定量的な相関把握には更なる検討が必要である。

一方、最近の次世代燃料サイクルに関する議論や海外の状況を鑑みると、高速炉時代にはMAのリサイクルが現実的なオプションとして検討されてきており、MAの分離変換について技術開発の現状、その効果、経済性に与える影響など再評価する時期に来ていると考えられる。この観点からも2000年に実施したオメガ計画のC&Rに続く評価を近い将来実施する必要性を感じるものである。

今後、学会における更なる活動としては、「分離変換・MAリサイクル」研究専門委員会として、分野横断的な取組みを継続し、新たな原子力革新技術の可能性を拓いていきたい。

(執筆担当：井上 正(主査)、  
大井川宏之、高木直行、鴨志田 守、藤田玲子)

#### — 参考文献 —

- 1) “Global Nuclear Energy Partnership”, [http://www.world-nuclear.org/info/inf117\\_gnep.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf117_gnep.html) など
- 2) H. Oigawa, T. Yokoo, K. Nishihara, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **44**(3), 398(2007).
- 3) H. Oigawa, K. Nishihara, T. Yokoo, “Partitioning and Transmutation Technology in Japan and its Benefit on High-level Waste Management,” *Proc. Global 2007*, Boise, USA, (2007).
- 4) 核燃料サイクル開発機構, 我が国における高レベル放射

- 性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—総論レポート, JNC TN 1400 99-020他, (1999).
- 5) Advanced Nuclear Fuel Cycles and Radioactive Waste Management, OECD/NEA, (2000).
- 6) R. A. Wigeland, T. H. Bauer, T. H. Fanning, *et al.*, *Nucl. Technol.*, **154**, 95 (2006).
- 7) W. von Lensa, L. Boucher, E. Gonzales, *et al.*, *Proc. ICAPP 2007*, Nice, France, paper #7457 (2007).
- 8) N. Takaki, N. Inoue, M. Kikuchi, *et al.*, "Comparative analysis of proliferation resistance assessment methodologies," *Proc. Global 2005*, Tsukuba, Japan, (2005).
- 9) A. E. Waltar, R. P. Omberg, "An Evaluation of the Proliferation Resistant Characteristics of Light Water Reactor Fuel with the Potential for Recycle in the United States," Final Report, Pacific Northwest National Laboratory, (2004).
- 10) J. C. Mark, *Sci, Global Security*, **4**, 1-13 (1993).
- 11) B. Pellaud, *J. Nucl. Mater. Manage.*, **31**, 30-38 (2002).

### 原子力学会誌 広告のご案内

社団法人 日本原子力学会

日本原子力学会誌は、毎月8千部を発行しており、全国の主要大学、原子力研究機関、電力会社、メーカー、地方自治体、メディアなど、原子力に関係する多くの方々が目を通しています。また、一昨年4月号から誌面を一部刷新し、学会誌のWebアンケートも開始しました。

さらに、昨年4月号より表紙デザインと名称を変更し、より親しまれ、さらに多くの読者に読まれる学会誌として引き続き、刷新を行ってまいります。

この機会に、学会誌への広告掲載をぜひ検討していただけることをお願いいたします。

#### ■ 広告料金(1頁あたり)

表2	110,000円	前付	80,000円
表3	100,000円	後付	70,000円
表4	130,000円	差し込み	160,000円
前付色紙頁	95,000円	記事中	80,000円(1/2頁40,000円)*書籍・文献等広告に限る
※年間契約(一括お支払い)の場合、4回以上10%、12回20%割引			

■ 生原稿の場合は版下・フィルム製作費として20,000円、版下支給の場合はフィルム製作費として5,000円を別途申し受けます。

#### ■ 連絡先

105-0004 東京都港区新橋2-3-7新橋第二中ビル3F 社団法人 日本原子力学会  
学会誌編集担当 富田, 野口 TEL 03-3508-1262 FAX 03-3581-6128 Eメール: hensyu@aesj.or.jp

## 原子力立国にふさわしい原子力法制を 原子炉等規制法の問題点

電力中央研究所・大阪大学 田邊朋行,  
日本原子力発電 下山俊次

平成18年に総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告書「原子力立国計画」が発表され、我が国の原子力開発利用の進むべき方向性が示された。現行原子力法制が「立国計画」の着実な推進の阻害要因となっている面はないか、阻害要因を克服するには何が必要か、等について、幅広い立場から検討・議論することが必要になっている。本稿では、原子力法制のうち、我が国の原子力研究開発利用法制の柱となる原子炉等規制法を取り上げ、「原子力立国計画」の着実な推進、近年の原子力開発利用を取り巻く情勢の変化への対応等といった点から現行法の抱える問題点を紹介し、同法のあり方に関する問題提起を行った。

本解説記事は、日本原子力学会「2007年秋の大会」社会・環境部会チェーンディスカッション(標準委員会共催)「原子力の法制度はどうあるべきか」における講演内容を講演者(田邊)と座長(下山)が加筆・修正したものである。なお、本稿における見解は筆者個人のものであり、筆者が所属するいかなる団体や産業、また参加する研究会等の公式見解を示すものではない。

### 高まりつつある原子力法制見直しの機運

今日、原子力法制、とりわけ原子力安全規制のあり方が原子力関係者の強い関心を集めている。それらを議論する場がもたれ、またそれらをテーマとする論考なども増えつつある<sup>1)</sup>。

これまででも、リサイクル燃料の中間貯蔵や原子力損害賠償制度の見直しなどといった個別問題に応じて法制上の課題が議論の対象とされ一部の関係者の強い関心を集めることはあった。しかし、今日進行中の原子力法制を巡る議論と関心は、(1)例えば、検査制度のあり方についての問題から情報公開に関する問題まで、非常に多岐にわたる課題を対象に据えている、(2)これらの多岐にわたる個別具体的な課題とともに、その背景要因としての規制システムそのもののあり方についても視野に含めている、といった点で、従来のそれとは様相をいくぶん異にしている。様々な問題や事象が発生するたびに、いわば「パッチワーク的」な規制・運用の強化・改定で対応が図られてきた現行規制システムの矛盾点が、今日に至って限界に達して、実務の様々な局面で一気に「噴出した」感もある。

*An Amendment Proposal of Japanese Nuclear Energy Regulation ; Some Problems of the Law for the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors* : Tomoyuki TANABE, Shunji SHIMOYAMA.

(2007年 12月 6日 受理)

### 原子炉等規制法が制定されてから原子力 開発利用を取り巻く環境は大きく変化した

原子力法制を巡る今日の議論の中で、とりわけ注目されているのが、原子炉等規制法(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律)のあり方に関する議論である。

原子炉等規制法は、我が国の原子力活動全般を規制する、我が国原子力法制の要となる法律である。同法は、昭和32(1957)年の制定以来半世紀にわたり、数多くの法改正を経ながら(中村(2005)<sup>2)</sup>によると平成17年5月20日までに34回の法改正を繰り返したという)も、その基本的な規制の仕組みは変えることなく、今日に至っている。その基本的な規制の仕組みとは、法律の規定によってあらかじめ定められた原子力開発利用活動の類型(事業等)に応じて、法定の要件を満たす者に対して事業等の許可(あるいは指定)を与え、その者に対して当該事業の枠内での保安責任を負わせることを通じて規制を行う、という縦割り型の規制スタイルである。

しかし、現在の我が国における原子力開発利用を取り巻く環境は、原子炉等規制法の制定時から大きく変化してきた。それらの中には法律が当初想定していなかったような変化も含まれている。

まず、第1に、発電施設中心から燃料サイクル産業へと産業の裾野が広がった。また、それに伴い産業に関わる利害関係者も広がり、複雑かつ多様な様相を見せるこ



ととなった。第2に、こうした複雑・多様な利害関係が産業の継続的な発展にとって大きな影響を及ぼすようになった。とりわけ、潜在的なリスク要因となるケースも増えてきた。第3に、施設の立地・建設に関わるフェイズから運転・保守に関わるフェイズに政策と経営の重点が移行した。そして第4に、ウラン燃料確保や核不拡散問題への対応等、国際対応・戦略の必要性が増大した。

こうした状況の変化に対応するためには、あらかじめ決められた産業施策を爾々と遂行するという「計画経済的な」産業政策アプローチでは限界があり、ブレのない確たる政策枠組みを中心に据えつつも柔軟かつ大胆な対応を可能とする戦略が必要となる<sup>3)</sup>。もちろん、法制度もこれを可能とするものでなければならない。

### 原子炉等規制法はこれからも変化に対応 することができるか？

とはいえ、原子炉等規制法は、制定以降の様々な情勢の変化に対して、その都度パッチワーク的な法改正を講じることによって対応を図ってきた。

それを可能とした第1の理由は、原子炉等規制法の規制の枠内で対応可能なものであれば、法律本体を改正することなく、政省令や告示などの行政立法の改正である程度柔軟に対応することができたことである。原子力安全に関わる技術的要請については、その専門性ゆえに、法律本体では実施すべき施策の目的・内容等の枠組みを定めるにとどめ、細部事項は専門的な知見を有する行政に命令定立の権限が委ねられている。技術を規制する法律のこのような性質がプラスに働いたといってもよい。

第2は、実務において規制運用の「妙」が成立したと考えられることである。すなわち、非合理的あるいは形骸化したとみられるルール、また不明瞭な基準が「放置」されていたとしても、運用や裁量によって適正に対応することがある程度可能であった。こうした適正対応が可能であった背景には、被規制者側に十分な技術的知識基盤が備わっていたという事実があったことも見逃せない。

第3は、立法府の「55年体制」が原子炉等規制法のパッチワーク的な改正・修正を比較的容易にしていたことである。すなわち、そこでは、原子力開発利用に対して理解のある長期安定政権与党等が政府提出の法改正案に賛成票を投じることがほぼ確実に期待できた。このため、原子力産業の裾野が広がっても、そのつど法改正を実施し、新規事業を規制に取り込むことは比較的容易であった。

第4は、非合理的な規制が温存され、またそれが「コスト」を生じさせたとしても、過去においては被規制者の経営体力に相対的な余裕があり、それを吸収することができたと推察できることである。

そして第5は、過去の我が国においては、テロや核物

質防護対策の緊急性が相対的に低かった、あるいは社会一般において低いと認識されていたことである。このため、テロや核物質防護対策の観点から規制の仕組みを抜本的に変えなくとも、社会で問題とされることはなかった。また、原子力産業の発展の初期段階にあつては、核物質を取扱いまた利用することができる事業者の数が非常に限定されていたことも、規制の抜本的改正を不要とされていた。

しかし、微修正的改正による対応を可能としてきた上記諸要因は、その成立条件を覆しかねないような大きな変化に直面しつつある。

第1に、規制機関による規制運用等に対して透明性及び説明責任が以前より増して強く求められるようになってきた。これは、原子力行政に対する国民の信頼性確保、規制行政の一貫性確保を通じた事業者の予測可能性の向上といった面で、好ましい変化である。しかしその一方で、この変化は、「運用の妙」による柔軟な規制運用に制約を課すことにつながる。また、このような変化の中で、政省令や告示などの行政立法の制定・改定においても、事前に国民の意見を求めるなどの慎重な対応がとられることがこれまで以上に強まるものと予想される。そうなれば、これまで可能であった、行政立法の制定・改正を通じた即応的・柔軟な対応が一定の範囲内で制約を受ける可能性もある。

第2に、立法府の「55年体制」が瓦解しつつある。原子力開発利用に批判的な旧勢力がその政治的影響力を著しく減衰させたとはいえ、「55年体制」の国会内勢力構図の下で可能であった、原子力関連諸法の即応的改正・修正が将来的にも可能であるという保証はない。むしろ、昨今の海上自衛隊による給油活動再開のための支援法案を巡る一連の駆け引きのように、二大政党制による政党間の競争・駆け引きは、ともすれば国益に関わるような重大事項を「政争の具」としてしまうリスクを有している。我が国の原子力政策や原子力関連諸法がこうした「政争の具」とされてしまう潜在的危険性は否定できない。

第3に、非合理的な規制の放置が、事業経営、またともすればコンプライアンスや公共の安全確保にとって深刻な潜在リスクとなってきた。まず、経営効率改善の潮流の中で、被規制者は非合理的な規制の放置に伴う「コスト」を吸収することが困難となってきた。また、平成14年8月に発覚した原子力発電所自主点検データ不実記載案件に見られるように、非合理・不明瞭な規制は、被規制者の不適切な行為につながり得ることが明らかとなった。こうして引き起こされた不適切な行為は、その内容によっては公共の安全の阻害要因にもなり得る。

そして第4に、テロ・核物質防護対策の緊急性が高まりつつある。2001年に米国で発生した9.11同時多発テロは、我が国を含む国際社会に対して、テロの脅威が現実性を帯びていることと、新たなテロの脅威に対して国際

レベル・国家レベルの両面での対策を講じることが必要であることを強く認識させた。事実、原子力開発利用行為に対するテロの脅威は海外では現実のものとなっており<sup>4)</sup>、例えば2007年11月には、南アフリカにあるペリンダバ原子力研究施設が武装集団によって襲撃されるという事件が発生している。また、我が国においてもテロ行為までには至らないものの、一民間人が所有していたモナサイト鉱石が北朝鮮に輸出されそうになる事件(後述)が起きている。

これらの変化に加え、原子力産業の国際再編など、原子力を巡る国際化の動向も、「世界標準」の規制システムの採用を我が国に迫る可能性があるという意味で、微修正的改正を通じた対応を難しくする可能性がある。

### ■ 現行法のどこが問題なのか？

我が国原子力法制の要の一つである原子炉等規制法は、「原子力立国計画」に見られるような確たる国家戦略の実現を法的側面からサポートするとともに、事業者の原子力事業経営の自律的存立・発展を可能とするものでなければならない。これは、同法の目的である原子力の計画的利用の実現とともに、公共の安全の確保にもつながるものである。しかし、実際には、現行法は、これらを阻害する潜在的なリスクを有している。これらのリスクは、主に次の2つの原子炉等規制法の「規制の仕組み」に起因していると考えられる。第1は、先述のように、同法が、法律の規定に基づいてあらかじめ規定された原子力事業の枠組みの中で、その事業ごとに各種安全規制等が実施されるという縦割り型の「事業規制」<sup>5)</sup>方式を採用していること。第2は、核燃料物質の所持・利用がなんらかの事業行為等に付随していなければ許可の対象とはされないことである。ここでは、3つほどその具体例を紹介しよう。

第1に、現行法の下では、そのつど法改正を経なければ、原子力に関わる新しいビジネスに門戸を開くことができない。このため、様々な不都合が生じている。例えば、ウラン資源確保戦略は、「原子力立国計画」の中でも、我が国にとって重要な課題の一つとして位置づけられている(同59頁)。しかし、現行原子炉等規制法の下では、法改正を経ない限り、核物質の流通移転の過程に存在する様々な関連事業や企業を法律上の事業者とすることができず、民間企業のウラン鉱山開発権益への参画や商社による天然ウランの直接輸入が認められない<sup>6)</sup>。すなわち、現行法は、原子力に関わる重要ビジネスの参入障壁となり結果として国家のウラン資源確保と安定供給政策の潜在的阻害要因となっている。

第2に、現行法は、同一サイト内で複数の法定原子力事業を営んでいる会社に対して、重複する施設投資を強いる可能性がある。なぜならば、縦割り型の「事業規

制」方式を採る現行法の規制アプローチでは、事業ごとにその許可体系が異なるため、その事業に付随して実施される運搬、貯蔵、廃棄に係る設備を共有することが困難だからである。このため、現行法を厳格に解釈・運用する限り、例えばある実施主体が、同一サイト内で、加工の事業、再処理の事業、核燃料物質等の使用等の3つの「事業」(「使用」もまた法定「事業」カテゴリーの一つであるといえる)を行っている場合、そのそれぞれに対応した放射性廃棄物貯蔵施設を建設しなければならなくなるおそれがある。この問題への対応は、すでに一部の民間企業や研究機関等で現実的な課題として認識されている。

そして第3に、現行法は、核物質保持に対する規制の不徹底を招いている。これは、現行の原子炉等規制法の下では、既存の法定事業に付随しないでなされる核燃料物質の保持・利用についても、他の事業の場合と同じように「核燃料物質を使用しようとする」意思がその保持・利用者に備わってはじめて、「核燃料物質等の使用等」という法定カテゴリー(「事業」カテゴリー)の下で規制対象とされることによる。このため、平成12年6月に発覚した、一個人が明確な使用意思を持たずモナサイト鉱石を大量に保管していた事案では、当時の処分庁(科学技術庁)が、所持者に対して使用許可の前提となる「使用しようとする」(原子炉等規制法第52条第1項)と使用許可(同法第52条)の申請を求めるとどまり、その結果、首相官邸等の政府機関に告発文書がモナサイトとともに郵送され、警視庁公安部が捜査に着手するまで有効な対策とられなかった。しかもこの事案では、平成12年のはじめに北朝鮮関係者から同国へのモナサイトの輸出話が持ちかけられており、実際に新潟港から荷積みする段取りまで決められていたことが、後日、新聞報道等によって明らかにされている(平成12年6月15日付毎日新聞夕刊)。

### ■ 法制改革の方向性

以上の問題点を放置することは、我が国の原子力政策の着実な推進と原子力事業の自律的存立・発展の双方にとってリスクとなるのみならず、ともすればテロなどの脅威にもつながり得る潜在的危険性を有している。しかし、これらの問題に対して、現行法規制の柔軟な解釈・運用のみを通じて対処を図ることは実際問題として不可能に近いと考える。したがって、原子炉等規制法のなんらかの改正措置が必要となる。

法制改革の方向性を、抽象的に示すならば、(1)原子炉等規制法の再編をも視野に入れた原子力規制体系の「全面的改定」と(2)原子炉等規制法の問題点を従来のパッチワーク的な方法で修正する「部分的補強」の2つのアプローチに分けることができる。2つのアプローチにはそ

れぞれ一長一短がある<sup>7)</sup>。

第1の「全面的改定」アプローチは、我が国の原子力開発利用に潜在的リスクをもたらす、原子炉等規制法の「規制の仕組み」を抜本的に見直すというアプローチである。具体的には、原子炉等規制法を含む現行の規制システムを(1)原子力設置・利用施設に対する許可制を主軸に据えた法律と、(2)原子力利用行為の過程で核物質の内容・性質が大きく変化しないもの、または核物質そのものを規制したほうが施設を通じて規制するよりも合理的であるものを、単純所持をも含めて規制する、包括的な物質許可制を定めた法律の2系統に整理・再編するなどの方法が考えられる。このアプローチは、特に後者(2)に着目して「物質規制」アプローチと紹介されることも多く、韓国を除く多くの原子力開発利用先進諸国がこうした規制アプローチをとっていることが知られている<sup>8)</sup>。

このアプローチの利点の第1は、現行原子炉等規制法の「規制の仕組み」に起因する問題点のほとんどすべてを克服できると考えられる点にある。例えば、このアプローチによれば、施設を事業ごとの規制枠組みの中ではなく、すべての原子力利用者を対象とする包括的な施設許可制の下で規制するため、同一サイト内の同一内容の施設をその事業ごとに複数用意しなければならないという規制上の必然性はなくなり、重複施設の「制度的強制」の問題を回避することが可能となる。また、包括的な物質許可制(「物質規制」)の導入によって、核物質の流通移転の過程に存在する様々な関連事業や企業を法律上の主体に据えることが可能となり、我が国の資源問題への対応に寄与することができるほか、事業規制枠組みから外れる核物質の所持を規制対象とすることにより、万が一のテロリスト等への物質の譲渡を未然防ぐことが可能となる。

また第2に、施設許可制においてその法定事項を厳選し、詳細な安全規制については政省令の規定に委ねることにより、情勢の変化に応じた即応的な法的対応と国会での法改正に伴う「政治問題化」を回避することが可能となる。例えば、包括的な施設許可制を採用するドイツでは、我が国の場合とは異なり、特段の法改正を行うことなく使用済燃料の敷地外中間貯蔵を実施することができた<sup>9)</sup>。

もっともこのアプローチについては、制度改変に関して、規制サイドと被規制サイドの双方に多大な制度移行コストを強いてしまうという欠点がある。また、施設の立地の段階にあっては、事業認可の取得が「お墨付き」として地域理解を促進する面を持っているため、制度改革により事業規制の枠組みを外すことに対して懸念を示す者も多い<sup>10)</sup>。加えて、施設許可制の詳細規制を政省令に委任し、法改正を経ない即応的対応を可能とすることに対しては、国民の合意を重視する立場などから批判が寄せられている。さらに、政省令等の行政立法の制定・改

正を通じた即応的・柔軟な対応が、今後、一定の範囲内で制約を受ける可能性があることについては、すでに指摘したとおりである。

一方、もう一つのアプローチである「部分的補強」アプローチは、資源備蓄や(テロの潜在的脅威にもなり得る)単純所持へ対応を図るために包括的な物質許可制に類似した規定を現行原子炉等規制法の中に盛り込みつつ(これを別法とすることも考えられる)も、その他の問題点については、その内容ごとに特例規定等を現行法に設ける等して対処する、というものである。特例規定の例としては、一定の要件を満たす場合の重複施設回避の規定などが考えられる。

このアプローチの第1の利点は、漸進的に改革がなされるため、「全面的改定」アプローチのように「瞬間風速的」に多大な制度移行コストがかからずに済むことである。第2に、事業規制枠組みがそのまま残るため、同枠組みの撤廃に伴って懸念される問題(先述の、施設立地の促進等)を回避することができる。加えて、新規に原子力ビジネスを行うたびにそのつど国会によるチェックが入るため、民意を反映した原子力事業の展開(あるいは制御)が可能となるという主張もある。

しかし、このアプローチは我が国でこれまでなされてきた微修正的法制改正アプローチと基本的に変わりがない。先述のように、立法府の「55年体制」の瓦解により、従来のような即応的・パッチワーク的な法制改正が今後とも可能であるという保証は必ずしもない。また、細かな法制改正による軌道修正を今後ともとり続けるならば、原子炉等規制法の規制内容は、現行規定よりもさらに複雑かつ理解しにくいものとなる。そうなれば、原子炉等規制法の全体像をつかむことは、現場はおろか、国民にとってもますます難しいものとなる可能性がある。複雑・理解困難なルールが、原子力施設を抱える自治体との関係や原子力推進体制に対する国民の信頼にマイナスの影響を与える可能性もないわけではない。

以上述べたように、これら2つのアプローチにはそれぞれ長短があり、その優劣を判断することは容易ではない。しかし私見では、どちらのアプローチを採用するにせよ、包括的な物質許可制(「物質規制」)あるいはそれに類似する規制システムを導入することが、我が国の原子力法制改革の一つの要諦になるのではないかと考える。国家の資源確保戦略、外部脅威(先述のモナサイト輸出未遂事案)等からの国民の保護、という国益につながる重要な問題への対応を可能とする意味でも、物質規制アプローチの規制システムの導入は大きな意義を持つ。また、このような規制システムは、「物質の特性、物質利用・管理の特質に応じた規制」という視点を法により強く反映させることにもつながるため、現在、懸案となっている、複数事業に伴う放射性廃棄物処理(貯蔵)の共有化に向けた特例規定の導入等を容易にする効果も期待で

きる。さらに、放射線障害防止法との調整や一元化の検討も視野に入ることとなるだろう。

### 「原子力立国計画」を画餅に帰させないために

平成18年に総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告書「原子力立国計画」が発表され、我が国の原子力開発利用の進むべき方向が示された。そして、同計画は、原子力政策の着実な推進には「[国家戦略]に沿って、民間事業者による原子力関連投資が円滑に行われることが必要となる」としつつも、民間事業者の投資環境が技術開発動向や国際情勢の変化等の要因に左右されることに鑑み、「政策目標を実現するための具体的な個々の施策や時期については、状況の進展に応じてタイムリーに適切な形で導入できるよう「戦略的柔軟さ」を備えていることが必要」とした(同1頁)。

しかしながら、これまで述べてきたように、現行の原子炉等規制法は、ここに示されているような「戦略的柔軟さ」をサポートし、また促進するような法システムとはなっていない。現行法をそのまま放置することは、ともすれば「立国計画」の着実な推進を阻害することにもなりかねない。法制度が障害となり、「立国計画」が絵に描いた餅に帰してしまうという最悪のシナリオすらあり得る。

したがって、本稿で述べた原子炉等規制法に関わる問題提起とともに、「立国計画」で示された様々なアクション・プラン、シナリオについて、法制度上の阻害要因はないか、またあるとしたらどの点が阻害要因となるか、についてさらに幅広い立場から検討・議論することが、今後ますます必要になるものと考えらる。

#### — 参考文献 —

- 1) 原子力 eye, 2007年10月号特集記事「原子力新時代-法規制の改革へ」.
- 2) 中村 進, “安全規制改革の現状と課題”, 日本機械学会 2005年度年次大会講演資料集, Vol.8, 449-450(2005).
- 3) 資源エネルギー調査会電気事業分科会「原子力部会報告書—原子力立国計画」, 平成18年 8月.
- 4) 板倉周一郎, 核物質及び原子力施設の物理的防護の体系化に関する研究, 京都大学大学院エネルギー科学研究科博士学位論文, p.28~33(2007).
- 5) 塩野 宏, “核燃料サイクルを中心とする原子力法制の特色—概要”, 核燃料サイクルと法規制, 塩野 宏編著, 第一法規, p.3~4(1980).
- 6) 下山俊次, “原子力”, 未来社会と法, 山本草二, 他編, 筑摩書房, p.510(1976).
- 7) 詳細については, 田邊朋行, 中込良廣, 神田啓治, “我が国の原子力規制構造にみる制度的硬直的と潜在的脅威—原子炉等規制法における問題点と改善提案, 社会技術研究 論文 集, Vol.2, 251-274(2004). <<http://shakai-gijutsu.org/ronbun/2/251.pdf>>よりダウンロード可能(平成19年12月25日現在); 田邊朋行, 原子炉等規制法の構造的課題と改善のための立法試案, 電中研研究報告 Y04006, 平成17年3月を参照のこと.
- 8) 近藤駿介, “特別講演「原子力学界にお願いしたい課題」”, 日本原子力学会誌, 49〔7〕, 471(2007).
- 9) 田邊朋行, わが国の原子力法制の特色と課題—物質規制方式への一試論, 電中研研究報告 Y97011, p.31(1998).
- 10) 鈴木孝寛, “サイクル施設・輸送に対する規制の体系”, 原子力 eye, 53〔10〕, 32(2007).

#### 著者紹介

田邊朋行(たなべ・ともゆき)



(財)電力中央研究所 兼大阪大学  
(専門分野/関心分野)エネルギー・環境  
政策, 有事法制, 技術者倫理

下山俊次(しもやま・しゅんじ)



日本原子力発電株  
(専門分野)原子力法

連載  
講座軽水炉プラント  
—その半世紀の進化のあゆみ第6回 軽水炉の改良研究(BWR)  
—ドレスデンから敦賀1号炉へ

東芝 星出明彦, 前川 治

## I. 米国における BWR 発電プラントの開発

アイゼンハワーの1953年12月「Atoms for Peace」の国連演説により、米国内においても原子力平和利用の動きが活発になった。米国の代表的重電メーカーである GE 社はそれまでも原子力の分野で活動していたが、アルゴンヌ国立研究所(ANL)の沸騰水型原子炉 BORAX がその年運転を開始し、BWR の運転の安定性、安全性が実証されると、実用機への応用を真剣に考えるようになった。

## 1. GE 社の原子力発電プラント開発への転換

GE 社内でも1954年、原子力開発をいかに進めるべきかの研究グループを立ち上げた。研究グループは原子力発電を GE 社が商業的に参画すべき分野であると結論を出したが、炉型の選定が問題になった。BORAX の結果から、安全性が実証され、経済的にも BWR に期待ができ、先行されている PWR に対しても十分太刀打ちできると考えた。GE 社は将来の原子力製品構成に BWR を選定することを決断した。

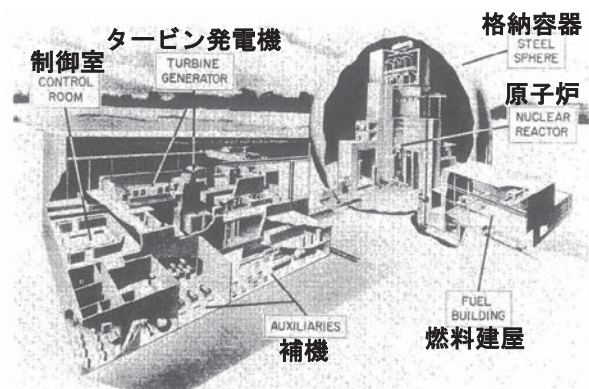
1955年5月、米国原子力委員会(AEC)から BWR の実験炉となる EBWR(20 MWth, 5 MWe)計画が公表され、GE 社はこの実験炉の製作に参画し、翌年12月には発電に成功している。同年7月には、コモンウェルズ・エジソン社は BWR 実証炉(192 MWe)を建設すること

を決定し、GE 社にターンキー(完成後受渡し)契約として発注した。初めて純民間資金で建設した商用原子力発電所である。当時200 MWe 規模の発電プラントは非常に大きい設備であり、実証炉建設は両社も必ずしも成功するとは確信できない大計画であった。

実証炉を受注した GE 社はこの頃までには軍用方面を含め40基近くの各種原子炉の製作実績をもっていたが、BWR を独自に建設して経験を積んでおくことが必要であると考え、1956年に社内の原子力発電組織をニューヨーク州スケネクタディからカリフォルニア州サンノゼに移動させ、原子力機器製造工場と、近くのバレットスに原子力研究所を建設した。バレットス原子力研究所には BWR の原型炉となる VBWR(5 MWe)を主に BWR 燃料の開発を進める目的で設置したが、実証炉の多くの設計、運転員の訓練や技術者の養成にも利用された。VBWR は1957年10月にコモンウェルズ・エジソン社のグリッドに送電を開始し、AEC の発電炉認可第1号を受けている。

## 2. ドレスデン原子力発電所1号機の設計と運転

ドレスデンプラントは電気出力192 MWe で設計され、1956年5月に着工、1960年8月に商業運転に入った。第1図にプラント全体の鳥瞰図を、第1表に BWR のシステム構成を示す。負荷追従性を持たせる目的から

第1図 ドレスデン原子力発電所1号機 プラント鳥瞰図<sup>7)</sup>

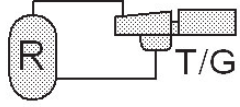
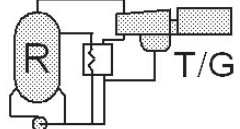
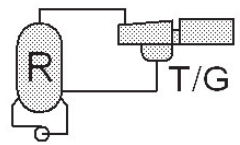
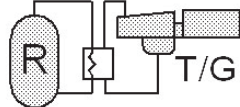
*LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(6): Development for the BWR Type Nuclear Power Plant in the USA and Japan; From Dresden NPP to Tsuruga-1 NPP: Akehiko HOSHIDE, Osamu MAEKAWA.*

(2008年1月17日 受理)

各回タイトル

- 第1回 原子力発電前史
- 第2回 軽水型発電炉の誕生
- 第3回 日本の研究用原子炉の始まり
- 第4回 日本の原子力発電の始まり
- 第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR)  
— SHIPPING PORT から 美浜1号機まで

第1表 BWR のシステム構成と代表プラント

サイクル		システム構成	プラント名	電気出力 MWe (Gross)	完成年	シリーズ
直接 サイクル	自然 循環 型		EBWR (米国、ANL) VBWR (米国、GE社) フンボルトベイ (米国) JPDR-I (日本)	5MWe 5MWe 65MWe 12.5MWe	1956年 1957年 1963年 1963年	- - BWR/1 -
	強制 循環 型		ドレスデン1号 (米国) ガリリアノ (イタリア) グントレミンゲン (独) JPDR-II (日本)	215MWe 164MWe 237MWe 12.5MWe	1959年 1964年 1966年 1972年	BWR/1 BWR/1 BWR/1 BWR/1
		単一 サイク ル		ビッグロックポイント (米国) オイスタークリーク (米国) ナインマイルポイント (米国) 敦賀1号 (日本) ドレスデン2号 (米国) 福島第一1号 (日本)	75MWe 650MWe 630MWe 357MWe 832MWe 460MWe	1963年 1969年 1969年 1970年 1970年 1971年
間接 サイク ル	自然循環型		エルクリバー (米国)	22MWe	1964年	-
		核過熱炉	BORAX-V (米国) BONUS 炉 (米国) VESR (米国) パスファインダー (米国)	2MWe 17MWe 0MWe 62MWe	1961年 1964年 1965年 1966年	-

熱交換器を備えた二重サイクルと呼ぶシステムを採用した。その後建設したインドのタラプール、イタリアのガリリアーノ (SENN)、西ドイツのグントレミンゲン (KRB) など、他の二重サイクルプラントのモデルとなった。

ドレスデン1号機は、運転開始当初、制御棒や燃料被覆管の材料面での不具合が発生したが、B、Cを充填した制御棒に改良された後は良好な運転成績を残し、原子力発電の実用性を実証していった。1961年の非常に厳しい冬には、石炭火力の石炭が凍り付き、運ぶのも燃やすのも苦労していたとき、ドレスデン1号機はフルパワーで発電し続け原子力発電の良さを見せ付けた。1962年には73%の稼働率を記録するとともに米国の原子力発電所で初めて累積20億 kWh に到達し、原子力発電が優秀なエネルギー源であることを証明した。

### 3. 商用 BWR 発電炉の改良研究と GE 社の取組み

1957年の SHIPPINGPORT (PWR)、1960年のドレスデン1号機 (BWR) が運転を開始し、国内の電力網に接続されると軽水炉は技術的には大きな成功を収めた。しかし、経済性では火力発電に太刀打ちできるには至らず、経済的にも火力発電に勝る大型炉が必要であることが強く認識された。1960年に至り、AECは1968年までに経済的で実用的な原子力発電を実証すること、そして長期的には経済的な増殖炉を実現するという2つの目標を掲げた。

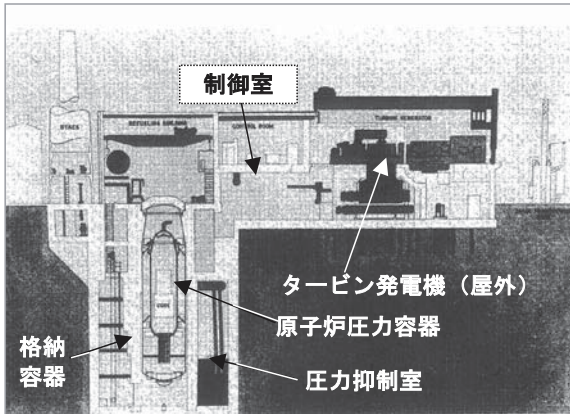
GE社は1958年にはオペレーション・サンライズ計画と称する開発戦略を発表し、経済性を追求した BWR 発電プラントの開発に乗り出した。そして、ドレスデン1号機に続く BWR 発電プラントに新たな設計要素を織り込んで実験を行い、改良のためのデータを蓄積した。

#### (1) ビッグ・ロック・ポイント原子力発電所

現在の BWR と同じ強制循環・直接サイクルの BWR として設計された。(第1表、第3図(a))特に、負荷追従に関して再循環流量制御方式を採用し、二重サイクルシステムの蒸気発生器を不要とする設計を指向した。大出力の原子炉を目指して設計データを採取するため、高出力密度の45 kW/l と60 kW/l の2種類の異なる炉心で運転が行われた。被覆管材質や燃料ペレットの仕様が異なる燃料も試された。初めてコンピュータを使用して制御棒の最適配置による炉心出力分布の最適化や燃料の燃焼度管理が行われるようになった。また、圧力 (800~1,500 psig)、流量 (定格60~100%)、出力を変えて運転特性データが採取された。この時代に AEC がスポンサーとなって軽水炉の経済性最適化のための評価が行われ、BWR の炉圧は1,000 psig が最適であることが検証されている。

#### (2) フンボルト・ベイ原子力発電所

プラントを極力単純な構成として、建設費の低減を目指した改良を取り入れた。炉心での冷却材の循環方式を自然循環として、外部の循環ポンプおよび循環配管をなくし、気水分離器を圧力容器内蔵型にした。また、格納



第2図 フンボルトベイ原子力発電所 プラント断面配置図<sup>7)</sup>

容器内に圧力抑制式システムを採用して格納容器の容積を大幅に小型化した。タービン発電機は屋外に設置された。(第1表, 第2図)この発電所の発電単価は8.5ミル/kWhであって, 同カリフォルニア北部に建設する火力発電所の発電単価と同じにすることが設計の目標とされた。

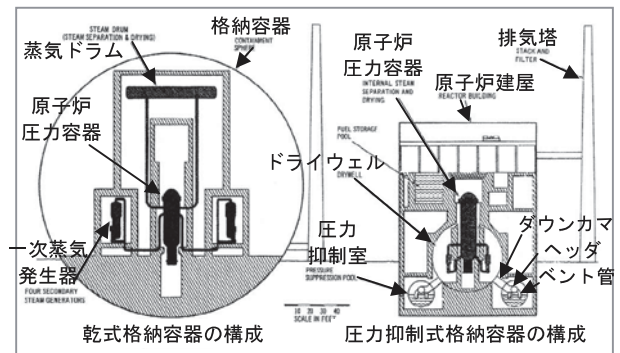
#### 4. 大型化に向けた技術開発

ドレスデン1号機の運転によりBWR発電所の優秀さが証明された。その後, ビッグ・ロック・ポイントやフンボルト・ベイの原子力発電プラントで高出力密度化やシステムの単純化などの設計改良が加えられ, 在来火力と経済的に太刀打ちできる高出力でより単純, コンパクトな大出力BWRが設計されるようになり, 1963年オイスター・クリーク(650 MWe)原子力発電所が発表されると画期的なブレイクスルーとして大きな反響を呼んだ。これを契機に以後, ナイン・マイル・ポイントに始まり, ドレスデン2号機, 3号機等, 次々とBWR原子力発電所が発注され建設が開始された。

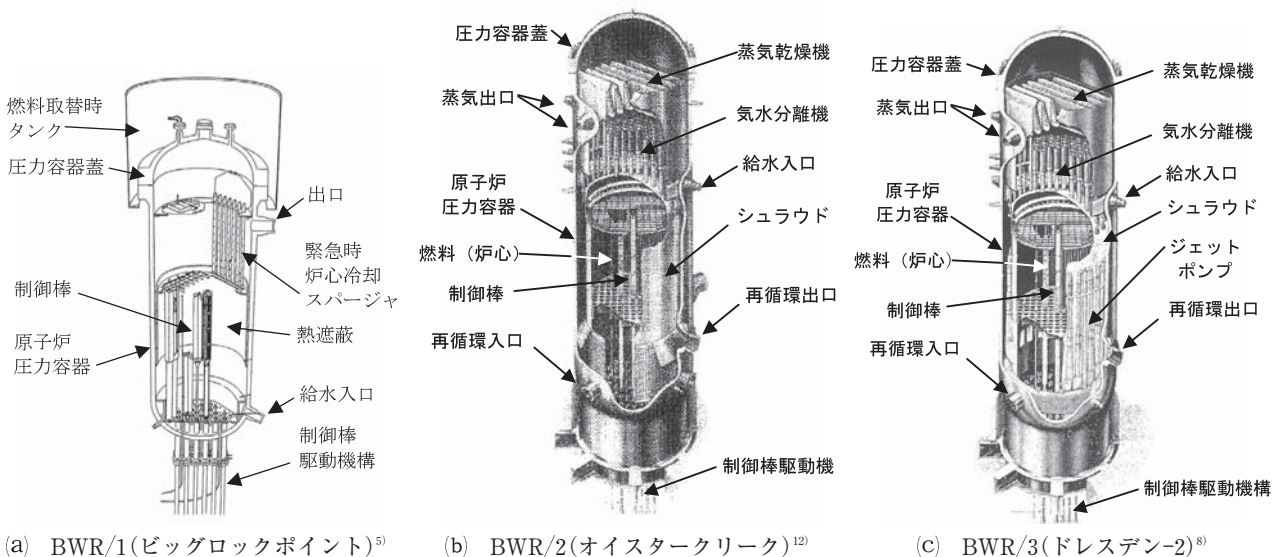
#### (1) オイスター・クリーク発電炉

GE社は1963年に至り, BWRの標準炉としてオイスター・クリーク(650 MWe)原子力発電所を火力発電所の発電コストに十分対抗できる原子力発電プラントとして世に問うた。これをBWR/2と称しBWRを標準化し, 野心的なオファーを公表した。それまでのドレスデン1号, ビッグ・ロック・ポイント, フンボルト・ベイ等のBWRはBWR/2に対しBWR/1と称せられるようになった。BWR/2は格納容器(Mark-I型)に初めて圧力抑制室を採用し大幅な小型化を図っている。再循環ループは100~120 MW 当たり1系列の外部ループを設けることにした。敦賀1号機(357 MWe)はこのオイスター・クリークをリファレンスプラントとしており, 再循環系は出力に比例して3ループとなっている。(第3図(b), 第4図)

Mark-I型原子炉格納容器は, 原子炉圧力容器および再循環回路を取り囲むフラスコ型の鋼製のドライウェルと圧力抑制系(ウェットウェル)から構成される。圧力抑制系は円環型の圧力抑制室とこれに連結するベント管, ベントヘッダおよびダウンカムからなる。



第4図 BWR/1とBWR/2,3の圧力容器の大きさ比較<sup>8)</sup>  
(出力200 MWeで同一のプラントで比較した場合)



(a) BWR/1(ビッグロックポイント)<sup>5)</sup> (b) BWR/2(オイスタークリーク)<sup>12)</sup> (c) BWR/3(ドレスデン-2)<sup>8)</sup>  
第3図 原子炉圧力容器構造を示す鳥瞰図

一方、炉心に関しては、熱水力学的分野の研究の進歩により、熱出力上限の予測式(限界熱流束相関式)の精度が向上し、従来設計における過度の保守性が見直された新しい設計基準の採用により出力密度の向上が可能となった。さらに、プロセス計算機の積極的採用により最適な制御棒配置が設定できるようになり、可燃性毒物を使用して初装荷燃料の反応度を抑制する技術など、炉心内の出力分布の平坦化を進めて高出力密度化、高燃焼度化が図られるようになった。単機出力の増大と燃料サイクル費の低減が達成され、建設単価、発電単価の大幅な向上に寄与したことが挙げられる。

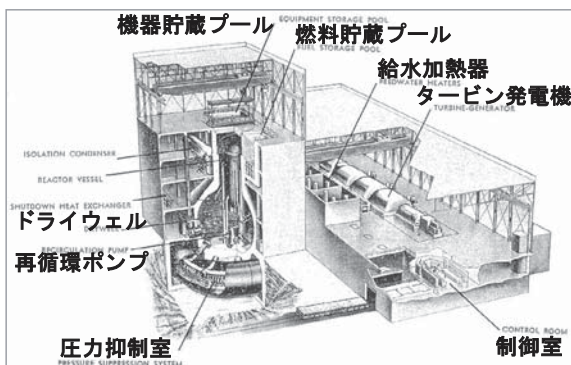
## (2) ドレスデン2号機発電炉

GE社はオイスター・クリークからわずか1年遅れの1966年1月に、BWR/3の初号機ドレスデン2号機を着工した。BWR/3は出力によらず再循環ループを2本に抑えようとする野心的なものであった。福島第一1号機はこれをリファレンスプラントとして建設された。これは压力容器内にジェットポンプを設置することにより再循環ポンプの流量を数倍に増加させようという計画で、再循環ポンプはジェットポンプの駆動水を供給するため従来よりも数倍の吐出圧力を必要とし、所要動力は増加したが、外部循環流量が数分の一に減少したことにより再循環ループ配管系の経済性向上に役立った。また、これにより格納容器の大きさを小さくすることが可能となった。その結果、再循環1ループ当たりの電気出力は約120 MWeから250~500 MWeまで大幅に増大し、発電所建設費の低減に著しい影響を与えた。原子炉压力容器に多数の大口径ノズルを設ける必要をなくし、再循環ループに破断事故が生じたとしても炉内水位の保持に対する信頼性向上に役立ち、さらに事故時の原子炉冷却材の自然循環能力が増加するという特徴をもっている。(第3図(c), 第5図)

## II. 日本の原子力発電炉の開発研究

### 1. 日本の原子力研究と産業基盤の進展

原子炉に関する研究は1955年、日本学術振興会に設置



第5図 ドレスデン2号機(BWR/3)のプラント鳥瞰図<sup>6)</sup>

された「原子炉設計の基礎研究委員会」に始まる。これに民間企業も参加して、国産1号炉と呼ばれた天然ウラン重水炉の実験用原子炉 JRR-3(1962年臨界)の設計研究に着手した。東芝においても、1955年社内外との協力連携の体制を整え、原子力基本法、原子力委員会設置法など原子力三法が施行された1956年、本社に原子力事業開発部を開設して開発体制の一步を踏み出した。原子力の研究は、鶴見研究所およびマツダ研究所に専門組織を設置した。

動力用原子炉については日本で十分な資料が得られなかったが、同年6月から将来の電力資源確保に熱心であった東京電力(株)と共同研究会を結成し、原子力平和利用国際会議の資料や AEC レポートなどをベースに発電所設計の研究に着手し、他の電力会社もそれぞれメーカーと組んで同様な研究に入った。

同1956年、国内民間機関としては、(社)日本原子力学会、(社)日本原子力産業会議が設立され、米国の原子力産業会議に加盟して多種の海外情報を集め、専門部会における調査研究や海外専門家による講演会、国内動向の把握と会員への資料・情報提供等が行われ、これを基に勉強会を始めた。他方、国の原子炉関連機器に関する研究助成金によりメーカーでは、原子炉容器、ポンプ、熱交換器、弁、計測制御機器等の試験研究が開始された。

当時、原子力開発のためそれぞれの重電メーカーを中心に原子力発電5グループが結成された。1958年9月には三井グループとして日本原子力事業(株)(NAIG)を創立し、東芝、IHI を中心に原子力部隊へ人材を集結させた。そして、NAIG を中心に国の計画として進められた研究炉や実験炉の建設に参加していった。1959年には科学技術庁の補助金を受け、社内研究用に東芝小型研究用原子炉(TTR:1962年臨界)を建設し、炉物理、放射化学、遮蔽、原子炉の運転制御、雑音解析等の研究を進めた。引き続き臨界集合体(NCA:1963年臨界)を建設し、炉心解析技術の向上に役立てるなど動力炉開発の準備を整えた。

### 2. 原子炉、動力炉の建設、国産化に向けた取組み

我が国の動力炉の建設は、日本原子力発電(株)により1959年英国型ガス炉の発注に始まるが、その頃、米国において開発されていた軽水炉が将来有望であると考えられたところから、日本原子力研究所が軽水炉の動力試験炉(JPDR)を導入する計画が持ち上がり、1960年にはGE社に発注することが決定された。JPDRは熱出力45 MWth、電気出力12.5 MWe の自然循環型のBWR 発電プラントである。主な建設目的としては、原子力発電所の建設・運転・保守の経験を得ること、動力用原子炉の特性把握、研究開発等を通して国産化に資する等が挙げられた。JPDRの建設では電力、メーカーなど多くの技術者の参加を得て、また、機器の供給を通し、多くの経験



を得ることができた。この経験は、その後の商業用原子力発電所の建設に大きく貢献している。JPDRは1963年10月26日初めて発電に成功し、それが「原子力の日」に決められている。

東芝グループとしてもJRR-3、自社の研究炉、JPDR等の建設に参画し、臨界達成に携わった原子炉は6基に上る。並行して、原子炉設計の基盤となる核設計、熱水力設計技術の研究開発をはじめ、原子炉制御機器・原子力計装・制御機器・燃料の研究開発、伝熱流動、訓練用原子炉を用いた運転自動化等の研究を進めるなど、動力用原子炉の国産化に向けて技術力の向上と経験の蓄積に努めた。しかし、1962年に立地が決定し、今にも始まると思われた商用炉の建設はなかなか現実のものとはならず、しばらく足踏み状態が続いた。

### 3. 商用軽水炉発電プラントの建設と技術提携

1963年米国GE社と、WH社が軽水炉のオファーを出し、自由世界では軽水炉の将来性に着目し、発注が相次いだ。我が国でも1965年1月から、日本原子力発電㈱がGE社、WH社に商用原子力発電プラントの正式見積を依頼し、技術検討を始めると共に契約条件などの詰めを開始した。

いよいよ商用炉が立ち上がるということで、東芝は過去からの長年の協力関係からGE社との間でBWR技術の導入について交渉を始めていたが、1966年6月、交渉が妥結し、1967年4月、システムライセンス契約が発効した。技術契約は最終的に、GE社—東芝、GE社—日立製作所でそれぞれ同一の契約形態で結ばれることになった。

敦賀1号機、福島第一1号機とGE社の下請けではあったが、原子炉系、タービン系を含めプラント全体を経験することができた。これと並行して、GE社とシステムライセンスを通じて米国技術を学び、原子炉のシステム、プラントエンジニアリング、原子力機器の国産化、プラント建設等の技術を消化していった。敦賀1号機、福島第一1号機における国産化率はおおの55%程度であったが、この経験を基に、機器の国産化のみならず、プラントの全面的な国産化を達成する基礎を築くことができた。

#### 謝辞

執筆に当たっては、原子力事業に初期から携わってこられた益田恭尚氏、吉島重和氏に多大なご協力を頂きました。感謝申し上げます。

#### —参考文献—

- 1) ANS, *Controlled Nuclear Chain Reaction—The First 50 years*, (1992).
- 2) 原子炉研究班, “動力用原子炉(3)—沸騰水型炉”, 東芝レビュー, 11〔7〕, (1956).
- 3) 原子力事業開発部, “沸騰水型原子炉(BWR)”, 東芝レビュー, 12〔7〕, (1957).
- 4) L. Kornblith, Jr., et al., Operating experience with the Vallecitos Boiling Water Reactor, *Electrical Engineering*, April (1959).
- 5) R. L. Haueter, et al., “Operating Big Rock Point”, *Nucleonics*, Nov. (1964).
- 6) G. White, “Development in boiling-water reactors”, A/Conf. 28/P/205 USA session 1.2.
- 7) V. L. “Stone, Operating experience with boiling- water reactors”, A/Conf. P/204 USA session 1.2.
- 8) R. B. Richards, et al., The 1965 Boiling Water Reactor, *Proc. American Power Conf.*, Vol.27, (1965).
- 9) M. J. Mcnelly, “The evolution of the boiling water reactor”, *Nucl. Eng.*, 222-224, (1965).
- 10) M. Douglas, et al., “Jet pump advance BWR recirculation flow-design”, *Nucleonics*, Dec. (1965).
- 11) M. J. Mcnelly, “Boiling water nuclear reactors”, *Chem. Eng. Prog.*, 61〔11〕, (1965).
- 12) D. H. Kregg, et al., “Oyster Creek BWR sets 4-mill target”, *Electrical World*, June 14, 87-90, (1965).
- 13) 葦原悦朗, “最近の沸騰水型原子力発電所”, 東芝レビュー, 20〔6〕, (1965).
- 14) 稲葉栄治, 葦原悦朗, “最近のBWR発電所”, 東芝レビュー, 22〔7〕, (1967).
- 15) H. Fujii, A. Morishima, *Directory of Nuclear Power Plants in the World 1994*, Japan Nuclear Energy Information Center, (1994).

#### 著者紹介

星出明彦(ほしで・あけひこ)



(株東芝)  
(専門分野/関心分野)伝熱流動, 原子力  
広報

前川 治(まえかわ・おさむ)



(株東芝)  
(専門分野/関心分野)原子力発電プラ  
ント, 機器設計

連載  
講座

# 高速炉の変遷と現状

## 第8回 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の成果

日本原子力研究開発機構 根岸 仁, 小竹庄司, 丹羽 元

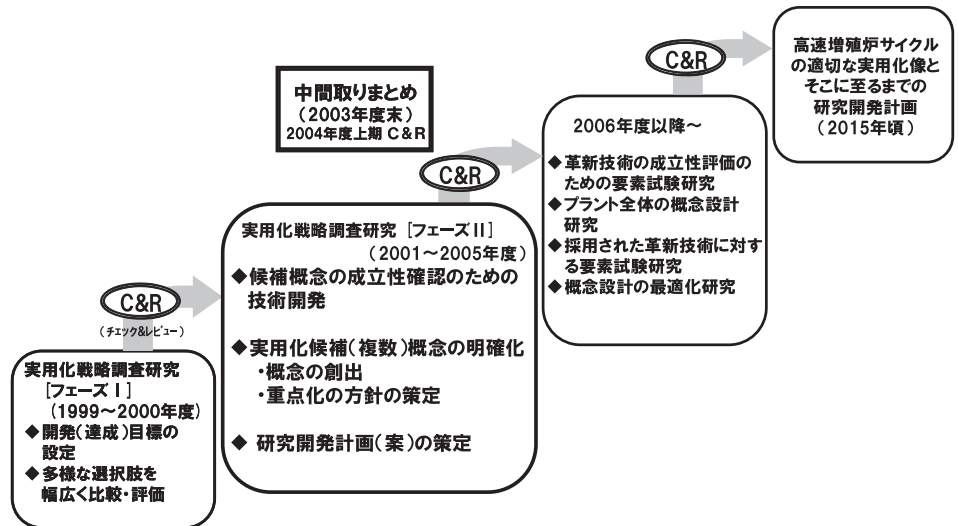
### I. はじめに

1997年12月の原子力委員会「高速増殖炉懇談会」の報告等を踏まえ、日本原子力研究開発機構と電気事業者は、電力中央研究所、メーカ等の協力を得て、1999年7月から『高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示する』ことを目的とした「高速増殖炉(FBR)サイクル実用化戦略調査研究(FS)」を開始した。

FSは段階に分けて実施することとし、革新技術を採用した幅広い技術的選択肢の検討評価を行い、有望な実用化候補概念を抽出するフェーズIと、引き続き、工学的試験等を踏まえてFBRサイクル全体としての整合性を図り、実用化候補概念の絞り込み(複数)を行って実用化に向けて今後開発すべき技術に対する必須の研究テーマを特定するフェーズIIで構成される(第1図)。以下にFSの成果の概要を示す。

### II. フェーズIの成果

フェーズI(1999~2000年)では、FBRサイクルに対する5つの開発目標(第2図)と各システムに対する設計要求の策定を行うとともに、これまでの国内外の研究開



第1図 実用化戦略調査研究の展開

第1表 FBRシステム技術の評価結果

対象技術	炉型の評価	燃料形態の評価			
		MOX	窒化物	金属	
ナトリウム炉	大型タンク	B	A	B	A
	大型ループ	A			
	中型モジュール	A			
	小型炉	A			
ガス炉	CO2ガス炉	B*	A*	A*	C
	Heガス炉ピン型	B*			
	Heガス炉粒子型	A*	B	-	
	小型炉	B*	B*	A*	-
重金屬炉	大型	C	B	A	A
	中型モジュール	A			
	小型炉	A			
水炉	BWR型	A	A	-	-
	PWR型	A	A	-	-
	超臨界圧水型	A	A	-	-
溶融塩炉	C	C [塩化物溶融塩]			

A: フェーズIIで引き続き検討する技術  
 B: 国内外で実施される研究の進捗状況をレビューし再評価する技術  
 C: 検討結果をデータベースとして残す技術  
 \*: 2001年度にさらに検討の上、有望な候補概念を抽出する

*Fast Breeder Reactor: The Past, the Present and the Future*  
 —(8) Results from Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor Cycle System: Hitoshi NEGISHI, Shoji KOTAKE, Hajime NIWA.

(2007年 12月28日 受理)

各回タイトル

- 第1回 高速炉の誕生
- 第2回 高速炉型式の変遷
- 第3回 米国の高速炉開発の歴史(I)
- 第4回 米国の高速炉開発の歴史(II)
- 第5回 欧州・アジアの高速炉開発の歴史
- 第6回 日本の高速炉開発の歴史(I)
- 第7回 日本の高速炉開発の歴史(II)

- 一 安全性 : 社会に既存のリスクに比べて小さいこと
- 一 経済性 : 将来の軽水炉の発電単価に比肩すること
- 一 環境負荷低減性 : 放射性廃棄物による負荷を低減すること
- 一 資源有効利用性 : 持続的に核燃料を生産するとともに、  
多様なニーズへ対応できること
- 一 核拡散抵抗性 : 核物質防護及び保障措置への負荷軽減

第2図 FBRサイクルの開発目標

発の蓄積を活用した技術的選択肢の幅広いサーベイと革新的技術の導入を図り、FBRシステムおよび燃料サイクルシステム(再処理システムと燃料製造システムをいう)の概念検討を行い、以下のとおり有望な実用化候補概念を抽出した。

1. FBRシステム(第1表)

基軸電源対応の大中小型炉に対し、ナトリウム冷却大型および中型モジュール炉概念、鉛ビスマス冷却中型炉概念、ガス炉概念、水冷却大型炉概念を抽出し、開発目標達成の可能性のあるシステムを提示した。また、多目的利用の小型炉システムに対してナトリウム冷却炉概念および鉛-ビスマス冷却炉概念を抽出した。

2. 燃料サイクルシステム(第2表)

酸化物(MOX)燃料および窒化物燃料を対象とした先進湿式法と簡素化ペレット法、振動充填法との組合せ、および乾式法[酸化物電解法(窒化物燃料を除く)、金属電解法]と振動充填法の組合せ、並びに金属燃料を対象とした金属電解法と鑄造法の組合せを抽出し、開発目標達成の可能性のあるシステムを提示した。

Ⅲ. フェーズⅡの成果

第2表 燃料サイクルシステム技術の評価結果

対象技術	燃料形態				
	MOX	窒化物	金属		
再処理	先進湿式	A	A	-	
	乾式	酸化物電解法	A	C	C
		金属電解法	A	A	A
		フッ化物揮発法	B	B	B
燃料製造	簡素化ペレット	A	A	-	
	振動充填	湿式法対応	A	A	-
		酸化物電解法対応	A	C	-
		金属電解法対応	A	A	-
		フッ化物揮発法対応	B	B	-
	鑄造	射出鑄造法	-	-	A
遠心鑄造法		-	-	A	

A:フェーズⅡで引き続き検討する技術  
 B:国内外で実施される研究の進捗状況をレビューし再評価する技術  
 C:検討結果をデータベースとして残す技術

フェーズⅡ(2001~2005年度)は、FBRサイクルとして開発していくべき実用化候補概念の明確化を図るとともに、FBRサイクルの技術体系整備に向けた2015年頃までの研究開発計画を立案し、それ以降の進め方に関する課題について取りまとめることを目的としている。

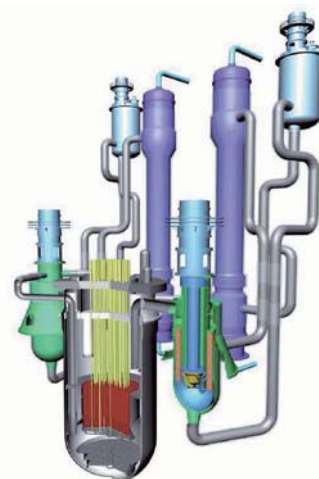
以下にフェーズⅡの成果の概要について述べる。

1. FBRシステムの技術総括

(1) ナトリウム冷却炉(第3図)

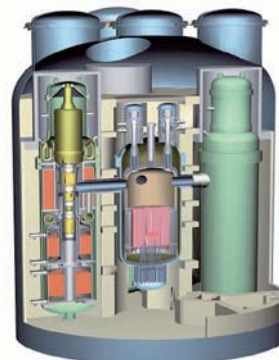
経済性向上のために、ODS(酸化物分散強化型)鋼や高クロム鋼などの新材料の採用や、ポンプ組込型中間熱交換器、冷却ループ数の削減(150万kWe級で2ループ構成)等の革新技術を採用するとともに機器の大出力化を図り、従来概念を大幅にコンパクト化したプラントシステム概念を構築し、プラント物量や建屋容積を大幅に低減した。また、炉心燃料の高燃焼度化(炉心平均で15万MWd/t)による燃料費の低減、連続運転期間の長期化(18ヶ月~26ヶ月)による運転費の低減により、発電コストの目標を達成できる可能性を見出すことができた。資源有効利用性や環境負荷低減性などの設計要求についても、高いレベルの適合可能性を有することがわかった。

技術的実現性について、技術的難易度の高い革新技術は既存技術の延長である代替技術の適用が可能である。また、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)ではナトリウム(Na)冷却炉が候補炉型の一つに選定されており、国際標準の概念へ発展していく可能性があるうえ、その実現に向けた研究課題を国際的に分担することにより技術的実現性の向上が期待できる。



第3図 Na冷却炉の概念

さらに、Na冷却炉は金属燃料を利用することで高燃焼度化による経済性向上に加え、高増殖炉心、低Pu燃料インベントリーでの炉心設計が可能となる。これらのことから、



第4図 Heガス冷却炉の概念

高速増殖炉の導入が急がれる場合や原子力発電容量の増加など、将来のウラン需給が予想以上に逼迫した場合にも柔軟に対応できる能力が期待できる。

(2) ヘリウムガス冷却炉(第4図)

設計要求への適合可能性については、窒化物燃料ですべてに適合できる可能性があるが、Na冷却炉に比べ燃焼度が低く、燃料サイクルコストが高くなる。一方、原子炉出口温度を850℃程度にでき、高温熱源としてNa冷却炉にはない魅力を有する。

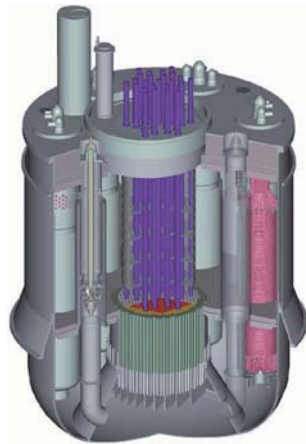
技術の実現性については、重要な技術課題として窒化物被覆粒子燃料開発があり、代替技術の準備は困難な段階である。その一方でGIFでの候補炉型の1つに選定され、国際協力の活用によってこれらの基礎的課題をブレークスルーできる可能性がある。

(3) 鉛ビスマス冷却炉(第5図)

窒化物燃料を用いることでNa冷却炉と同等の炉心性能を達成し、設計要求に適合する可能性がある。技術の実現性については、窒化物燃料の開発に加え、燃料被覆管等の鋼材の腐食問題があり、代替技術の準備は困難な段階である。

GIFでの候補炉型の1つに選定されているものの、現状では運営委員会の議長国としてその開発を主導する国はない。

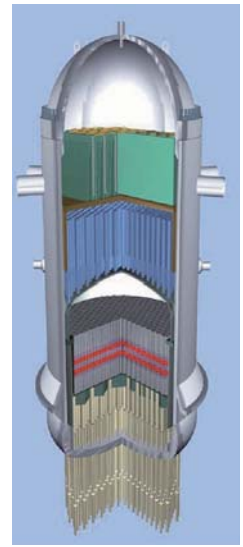
(4) 水冷却炉(第6図)



第5図 鉛ビスマス冷却炉の概念

図)

軽水炉技術に立脚しており、運転・保守性に優れ、研究開発課題は炉心・燃料関連に限定されている。一方、資源有効利用の点で、高増殖比の達成という点においては限界を有する概念である。また、軽水炉の使用済燃料から回収されるマイナーアクチニド(MA)を燃焼させる能力は他の概念と比べて低い。その他の設計要求である安全性、経済性、核拡散抵抗性については適合する可能性がある。技術の実現性については、被覆管材料の開発や炉心損傷時の影響緩和対策の検討が必要である。



第6図 水冷却炉

第4表 高速増殖炉システム候補概念の技術総括

	ナトリウム冷却炉	ヘリウムガス冷却炉	鉛ビスマス冷却炉	水冷却炉
設計要求への適合可能性	全ての設計要求に対して、高いレベルで適合する可能性がある。金属燃料を採用した場合にはさらなる炉心性能の向上が見込める。	全ての設計要求に対して適合する可能性があり、高温熱源としての魅力を有する。	全ての設計要求に対して適合する可能性がある。	資源有効利用性および環境負荷低減性に制約がある。上記以外の設計要求に対しては、適合する可能性がある。
技術の実現性	開発課題が明確であり、また代替技術が準備できることから、高い確度で実現性を見出すことが可能	実現性を見通すためには、概念成立性に係る課題を解決することが必要		実現性を見通すための課題が炉心燃料関連に限定
(国際的視点)	国際協力を期待することが可能	国際協力を期待することが可能	国際協力を期待することが困難	国際協力を期待することが困難

■ は優れた部分

第3表 FBR システムの設計要求への適合可能性

設計要求	ナトリウム炉(1,500MWe) 窒化物燃料(金属燃料)		He炉(1,500MWe) 窒化物燃料		Pb-Bi炉(750MWe) 窒化物燃料		水炉 (1,356MWe) 窒化物燃料		
	資源重視	経済性重視	資源重視	経済性重視	資源重視	経済性重視			
安全性	受動的安全機構及び再臨界回避方策について炉外・炉内試験実施中				炉心加熱昇圧に伴う燃料流出とコアキャッチャーによる再臨界回避の可能性		燃料浮遊による再臨界回避の可能性	吸収体設置などによる再臨界回避の可能性	
資源有効利用	増殖比(1.0~1.2程度)	1.10(1.11)	1.03(1.03)	1.11	1.03	1.10	1.04	1.05	
	初装荷炉心に必要となる核分裂性物質質量	5.7(4.9)t/GWe	5.8(5.1)t/GWe	7.0t/GWe	7.0t/GWe	5.9t/GWe	5.9t/GWe	11t/GWe程度	
	高速増殖炉に全てリプレースするために必要となる期間	60年程度	—	110年程度	—	70年程度	—	250年程度	
環境負荷低減	低除染条件(FP含有率0.2vol%)で、軽水炉使用済み燃料条件のMA含有率5%程度まで受入可能							低除染条件でMA含有率4%程度まで受入可能	
	炉心部及び径ブランケット領域に装荷することで、自己生成成分のLLFP(I-129とTc-99)を核変換できる可能性あり							未検討	
経済性	燃料費削減	炉心平均(15万MWd/t以上)	14.7(14.9)万MWd/t	15.0(15.3)万MWd/t	12.1万MWd/t	12.3万MWd/t	15.4万MWd/t	15.5万MWd/t	8.8万MWd/t
		全体平均(6万MWd/t以上)	9.0(13.4)万MWd/t	11.5(15.3)万MWd/t	6.9万MWd/t	8.9万MWd/t	10.5万MWd/t	12.8万MWd/t	4.5万MWd/t
	稼働率向上	連続運転期間(18ヶ月以上)	26(22)ヶ月	26(22)ヶ月	18ヶ月	18ヶ月	18ヶ月	18ヶ月	18ヶ月
		稼働率(計算値)(90%以上)	95(94)%程度	95(94)%程度	92%程度		93%程度		93%程度
	熱効率向上	出口温度	550℃		850℃		445℃		287℃
		熱効率率/所内負荷率	42.5%/4%		47%/3%		38%/3%		35%/3%
資本費削減	建設単価(20万円/kWe以下)	相対値:90%程度		相対値:100%程度		相対値:100%程度		相対値:100%程度	

■ は優れた特性

資源重視: 倍増時間を短縮し、より効率的にPuを増殖させる炉心仕様  
 経済性重視: 平均燃焼度向上により燃料サイクルコスト低減を図った炉心仕様

### (5) FBR システムの有望概念

FBR システム候補概念の設計要求への適合可能性(第3表)および技術総括結果(第4表)をもとに有望な概念を抽出した。Na 冷却炉は、設計要求に対する適合可能性と技術的実現性の両者で他の炉型に比較して優れている。また、国際標準の概念となり得る可能性があり、国際協力により技術的実現性の向上も期待でき、最も有望な FBR システム概念である。

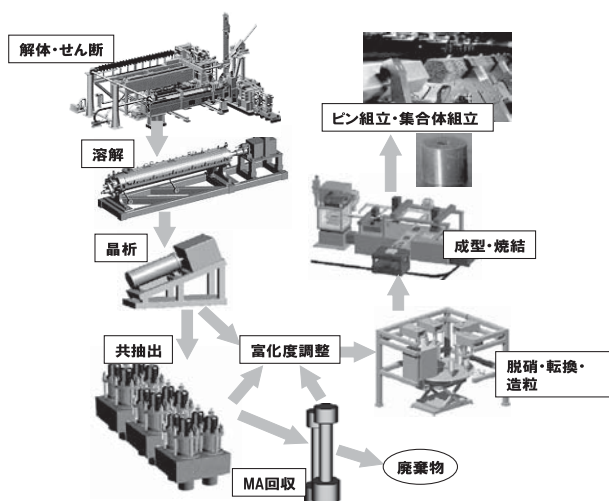
He ガス冷却炉は、すべての設計要求に適合する可能性があり、他の炉型と異なり高温の熱源として多様なニーズに対応できる可能性がある。概念成立性に関して基礎的な研究開発を要する課題を有するものの、国際協力によりこれらを解決できる可能性がある。

その他の概念は、設計要求への適合可能性や技術的実現性の観点から、上述した有望な概念を上回るものとはならない。

## 2. 燃料サイクルシステムの技術総括

### (1) 先進湿式法再処理と簡素化ペレット法の組合せ(第7図)

FBR サイクルでは中性子経済が良いため、軽水炉ほどの高い除染(核分裂生成物(FP)の除去)が必要とされないことから、従来技術の主要工程の一つである「ウラン製品およびプルトニウム製品の精製工程」を削除できる。また、使用済燃料溶解液中のウランの約7割をあらかじめ粗取りする晶析技術の導入により、後工程での処理量を大幅に削減し、設備合理化を可能としている。一方、再処理については MA 回収工程が付加されることなど、経済性に対する効果は一長一短があるが、先進湿式法再処理施設では従来技術と比べ建設費が半減するなど、合理化に寄与する部分の効果が大きい。そのため、経済性についての設計要求に対して適合する可能性があり、資源有効利用性、環境負荷低減性および核拡散抵抗性の設計要求に対しても適合する可能性がある。



第7図 先進湿式法再処理と簡素化ペレット法燃料製造

また、先進湿式法では、新たな革新技術が必要であるが、東海再処理工場や六ヶ所再処理工場における多くの技術的知見を活用できることから、高い確度で技術的実現性を見通すことができる。またフランスでも湿式再処理概念を開発の中心としていることから、国際協力により技術的実現性の向上が期待できる。ホットセル内での燃料製造となるため、遠隔保守・補修性を考慮した機器の開発が必要であるが、簡素化ペレット法の基本的なプロセスは従来のペレット製造と共通しているため、高い確度で実現性を見通すことができる。

### (2) 金属電解法と射出成型法の組合せ

使用済金属燃料から電解精製の原理によってUおよびTRUを回収する金属電解法再処理、並びに回収したUおよびTRUを溶融して燃料体に成型する射出鋳造法燃料製造は、他の燃料サイクルシステムに比べて工程が簡素である。これまでの検討の結果、すべての設計要求に適合する可能性が示され、小型サイクル施設の経済性については、他のシステムと比べて適合可能性が高くなる見通しとなった。ただし、大型施設の経済性については、バッチ処理方式であることからスケール効果が期待できず、「先進湿式法と簡素化ペレット法の組合せ」には及ばない見通しである。また、金属電解法再処理から発生する放射性廃棄物には人工鉱物を用いた高レベル廃棄物固化体を適用するが、この固化体に混合できるFPの量が限られており、単位発電量あたりの高レベル廃棄物固化体(体積)が多くなる。

米国での開発実績などを踏まえれば、主要プロセスの成立性はほぼ確認されていると考えられるため、技術的実現性を見通すことが可能である。課題として、使用済燃料を用いたプロセス成立性確認、高レベル廃棄物固化体発生量の削減、遠隔保守・補修性を考慮した機器開発などがある。これらの技術的難度は高くないが、国内に開発インフラが少ないため、開発には長期を要する見込みである。このため、開発実績を有する米国などとの国際協力が重要である。

### (3) 先進湿式法と振動充填法の組合せ

先進湿式法と組み合わせる場合の振動充填法燃料製造では、高温ガス炉用の燃料製造で実績のある「ゲル化法」によって球形の燃料粒子を製造し、これらを被覆管内に充填する。そのため、従来のペレット法の多くを占める粉末混合工程が不要となるうえ微粉末の発生がなく、簡素化ペレット法に比べ遠隔保守・補修性に優れるという特長がある。しかし、必要な燃料充填率を達成するために大小2種類の粒子製造ラインを設けることが必須となることから、簡素化ペレット法に比べて経済性が劣る見通しとなった。設計要求に対してはすべてに適合する可能性はあるが、簡素化ペレットを上回るものとはならない見通しである。

課題として、遠隔保守・補修性を考慮した機器開発、

燃料充填率の軸方向分布の検査技術の開発などがある。技術的知見は簡素化ペレット法に比べて少ないが、MA含有燃料の製造実績などによりプロセスの成立性は確認されており、実現性を見通すことができる。

(4) 酸化物電解法と振動充填法の組合せ

使用済酸化物燃料から電気分解の原理によってUO<sub>2</sub>およびMOXを回収する酸化物電解法再処理、および回収物を粉碎して得られる燃料顆粒を被覆管内に充填する振動充填法燃料製造は、金属電解法と同様に工程が簡素である。検討の結果、経済性をはじめ、すべての設計要求に適合する可能性が示された。しかしながら、MOX回収やMA回収などについては原理確認の途上であり、材料腐食への対策、遠隔保守・補修技術の開発など多くの技術的課題がある。このため、技術的实现性は他の概念に比べて低い。

(5) 燃料サイクルシステムの有望概念

燃料サイクルシステム候補概念の技術総括結果(第5表)をもとに有望な概念を抽出した。酸化物および窒化物燃料に対応可能な「先進湿式法と簡素化ペレット法の組合せ」は、設計要求に対する適合可能性があり、既存技術の延長線上にあることから技術的实现性も高い。また国際協力の可能性もあることから、最も有望な燃料サ

イクル概念である。

「金属電解法と射出鑄造法の組合せ」は、設計要求に適合する可能性があり、特に、小型サイクル施設の経済性が他と比べて高くなる可能性がある。技術的实现性については、米国などとの国際協力を期待することが可能であるため、有望な概念と考えられる。

その他の概念は、設計要求への適合可能性や技術的实现性の観点から、上述した有望な概念を上回るものとはならない。

3. 研究開発の重点化の方針

FBRサイクルの有望概念選定にあたっては、FBRシステムと燃料サイクルシステムの個別の有望な概念の検討結果を踏まえて、FBRサイクルシステムとしての有望な概念を構築した。それらの結果を以下に示す。

- (1) 「Na冷却炉, 先進湿式法再処理および簡素化ペレット法燃料製造の組合せ」(MOX燃料)
- (2) 「Na冷却炉, 金属電解法再処理および射出鑄造法燃料製造の組合せ」(金属燃料)
- (3) 「Heガス冷却炉, 先進湿式法再処理および被覆粒子燃料製造の組合せ」(窒化物燃料)

研究開発の重点化については、「主として開発を進めていく概念(主概念)」として、技術総括の結果、総合的に最も優れた概念と評価された上記(1)を選定した。また、「補完的に開発を進めていく選択肢(補完概念)」としては、将来のニーズなどの不確実性を考慮し選択肢に多様性を持たせる観点から、主概念を超える魅力を有する概念を選定することとし、上記(2), (3)を選定した。

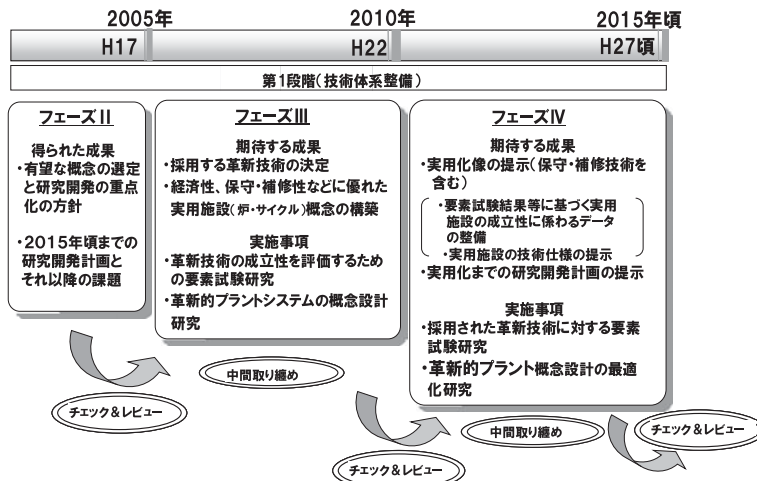
今後の研究開発については、限られた研究資源の効率的な活用の観点から、主概念に重点的に投資していくとともに、補完概念に関しては、技術的实现性などの観点から重要と判断される課題を中心に研究開発を進める。

第5表 燃料サイクルシステムの候補概念技術総括結果

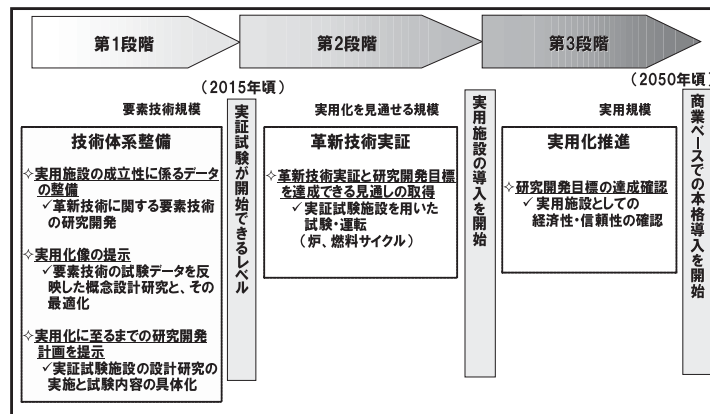
	先進湿式法+ 簡素化ペレット法	金属電解法+ 射出鑄造法	先進湿式法+ 振動充填法	酸化物電解法+ 振動充填法
設計要求への 適合可能性	全ての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性があり、スケールアップ効果のため大規模施設の経済性が高い。	全ての設計要求に対して含する可能性があり、小規模施設の経済性が高い。	全ての設計要求に対して適合する可能性がある。	全ての設計要求に対して含する可能性がある。
技術的实现性	実現性を見通すことが可能	実現性を見通すことが可能だが、インフラ整備が必要などから比較的長期の開発を要する見込み	実現性を見通すことが可能	技術的課題が多く開発に長期を要する
(国際的視点)	国際協力を期待することが可能	国際協力を期待することが可能	国際協力を期待することが困難	国際協力を期待することが可能

■ は優れた部分

4. 今後の研究開発計画案と課題



第8図 2015年頃までの研究開発の展開



第9図 FBR サイクル技術の段階的研究開発

### (1) 2015年頃までの研究開発の展開(第8図)

フェーズⅡ終了以降は、2015年頃を目途に、『実用化像とそこに至るまでの研究開発計画の提示』を目的に、要素試験結果などに基づく実用施設の成立性にかかわるデータの整備、実用施設の技術仕様の提示などの技術体系整備を行うこととした。ここでは、中間取りまとめ時および各フェーズごとに、研究成果のチェック&レビューを実施しながら効率的に研究開発を進めていくとともに、各フェーズごとに国際的な開発動向、エネルギー需給状況などの諸情勢を踏まえて、主概念および補完概念の進め方について検討することとした。

### (2) 2015年以降の段階的研究開発

FBR サイクルの商業ベースでの本格導入に向けて、多くの革新技術を含んだ中・大型の商用施設の建設・運転に直ちに進むことはリスクが大きく困難なため、施設・機器の規模を段階的にスケールアップさせ、開発目標への適合性や革新技術の実現性・信頼性を検証していく必要がある。そのためには、FBR サイクルの研究開発は、2050年頃からの商業ベースでの本格導入に必要なリードタイムを考慮して、第9図に示すように、3段階に分けて進めることが適切と考えた。

第1段階(技術体系整備)は、2015年頃までのFBRサイクルの技術体系整備の段階であり、革新技術に関する研究開発およびそれらの成果を反映した設計研究を実施し、実用施設の概念および技術仕様を提示する。さらに、実用化に至るまでの研究開発計画とその具体的な試験内容を提示する。

第2段階(革新技術実証)は、実用化を見通すためのFBRサイクル技術の実証段階であり、第1段階で体系化した革新技術を対象として、実用化を見通せる規模での実証試験施設を用いた試験・運転により成立性を実証し、開発目標達成の見通しを取得する。また、実証試験の成果を反映した実用施設の設計概念を提示する。

第3段階(実用化推進)は、商業ベースでの本格導入を目指して実用化を推進する段階であり、実用規模の施設の建設・運転を通して、FBRサイクルの経済性、信頼

性などの開発目標の達成を確認する。

### (3) 2015年以降の課題

国は、2050年頃からの商業ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について2015年頃から検討を行う(原子力政策大綱)としている。それら検討に資するため、関係者間で以下の課題について、より具体化を図るための検討が必要である。

(a) 各ステップにおける研究開発(高速増殖炉システム、燃料サイクルシステム)のあり方

第2段階(革新技術実証)および第3段階(実用化推進)における研究開発の内容、実施時期、規模、必要資金、国際的な開発分担など

(b) 実証段階以降の開発の役割分担、技術維持

第2段階、第3段階における官民役割分担(文部科学省、経済産業省、民間)および技術維持などを考慮した開発体制

## Ⅳ. 今後の展開

FS フェーズⅡの成果については、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究開発・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会において評価され、「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」(文部科学省、2006年11月)がまとめられた。

本評価報告書では、我々が最も優れた概念とした上記の技術が、現在の知見で実用施設として実現性が最も高く、今後研究開発を特に進めるべき主概念に選定されるとともに、これまで行ってきた幅広い戦略的な調査という段階からステップアップし、今後は「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として実用化に集中した技術開発を行い、高速増殖炉サイクルの研究開発を加速すべきとの方針が示された。

日本原子力研究開発機構としては、上記の方針に基づき、FSを「FBRサイクル実用化研究開発」(英名を“Fast Reactor Cycle Technology Development”プロジェクト、通称“FaCT”プロジェクト)とし、FBRサイクルの

早期実用化に向けた研究開発を推進することとした。

— 参 考 資 料 —

- 1) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅠ報告書, JNC TN1400 2001-006, (2001年10月).
- 2) 平成16年度研究開発課題評価(中間評価)報告書 評価課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」, JNC-TN1440 2004-003, (2004年7月).
- 3) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ中間報告—原子炉プラントシステム技術検討書, JNC-TN 1440 2004-035, (2004年6月).
- 4) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ中間報告—燃料サイクルシステム技術検討書, JNC-TN 1440 2004-036, (2004年6月).
- 5) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ中間報告—総合評価技術検討書, JNC-TN 1440 2004-053, (2004年9月).
- 6) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究; フェーズⅡ最終報告書, JAEA-Evaluation 2006-002, (2006年7月).
- 7) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ技術検討書, 1; 原子炉プラントシステム, JAEA-Research 2006-042, (2006).
- 8) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ技

術検討書, 2; 燃料サイクルシステム, JAEA-Research 2006-043, (2006).

- 9) 高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ技術検討書, 3; 総合評価, JAEA-Research 2006-044, (2006).
- 10) 高速増殖炉サイクルの研究開発方針について, 文部科学省研究開発局, (2006年11月).

著 者 紹 介

根岸 仁(ねぎし・ひとし)



日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)構造工学, 高速炉  
プラント工学

小竹庄司(こたけ・しょうじ)

本誌, 50〔2〕, pp.119(2008)参照。

丹羽 元(にわ・はじめ)



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

この連載記事の執筆者であり, 編集委員も務められた丹羽元氏が他界されました。心よりご冥福をお祈りいたします。

「丹羽 元氏を偲ぶ」

丹羽元さんは2007年11月21日, 突然の病に倒れ急逝されました。丹羽さんは東京大学大学院工学研究科の博士課程を修了した後, 1982年4月に日本原子力研究開発機構(当時の動力炉・核燃料開発事業団)に入社され, 以来一貫して高速増殖炉(FBR)の研究開発に従事されました。

丹羽さんは専門のFBR安全解析やリスク評価の分野で研究実績を積みながら, 2年間のフランス勤務を経験し, また, 研究の範囲を安全研究から安全設計へ, さらにはFBRプラント設計全般へと拡げられ, 最近では研究開発部門の研究ユニット長としてプロジェクト管理の力も発揮されました。国, 学会, 研究機関等からの要請を受けて数多くの専門委員を務め, それぞれ立派に期待に応えられました。また, 海外との協力においても, 第4世代原子力システム, 米国や欧州との協力において日本を代表する役割を担い, 自他ともに認める国際的なオピニオンリーダーでありました。一流の専門家であるとともに, 温厚で誠実な人柄により国内外の信望も厚く, 国際協力の基本は個人の信頼関係にあることを教えてくれました。

丹羽さんは, 常に日本のFBR開発の中心に身を置き, 周囲からの期待に応えるための献身的な努力を惜しまず, 精一杯全力で走って来られました。私生活では, 敬虔なキリスト教徒でもあり, 教会の役員として熱心に活動されたと伺っています。どうか安らかにお眠り下さい。そして, 天国から, 最愛のご家族, そして日本のFBRの行く末を見守り続けてください。

日本原子力研究開発機構 次世代原子力システム研究開発部門 近藤 悟





## 「スウェーデンの原子力の今」 現地からの原子力をめぐる現状報告

在スウェーデン日本大使館 高谷浩樹

北欧最大の原子力発電国スウェーデンでも、最近では世界的な「原子力カルネッサンス」の例に漏れず、原子力を積極的にとらえることが多くなってきている。しかし、20年以上、段階的廃止政策をとってきたこの国の原子力をめぐる政治論争は実は根が深く、新規建設についての本格的な議論にはどうもしばらく時間がかかりそうである。日本で触れる機会が少ないこの国の原子力をめぐる現状を、現地から簡単に紹介してみたい。

日本より少し広い土地におよそ900万の人々が住むスウェーデンでは、現在10基の原子力発電所が総発電電力量の約半分を支えている。これらの発電所は60年代から70年代にかけて建設が始められてきた。しかし、80年の原子力発電に関する国民投票により段階的に廃止するとの方針に転じ、実際、南部のパーシュベック発電所にあった2基は政府により強制的に停止させられた。

ところが、最近、この流れが変わりつつある。

直接のきっかけは、2006年秋の総選挙による政権交代である。社民党から代わった新しい中道右派連立政権は、原子力発電について「廃止も新規建設もしない現状維持」とした。さらには原子力推進に向けた話題も出てくるようになり、中でも自由党のレイヨンボリ高等教育・研究大臣は熱心で、それまで20年以上行ってこなかった大学の原子力研究に対する政府予算措置を2007年より再開した。

これを後押しするのが気候変動問題である。スウェーデンは環境問題に熱心な国として知られ、国民一人一人も環境への意識は高い。新聞には気候変動問題が連日のように取り上げられており、その中で二酸化炭素排出削減策として原子力を積極的に活用すべきとの論調もみられるようになった。

今では世論調査でも原子力を容認する意見が多い。2007年11月の調査では、44%が既存の発電所が稼働する限り維持、33%は新規建設を認めるとの立場で、段階的廃止は20%にとどまっている。

ただし、ここで注意しなければならないのは、「現状維持」以上の国を挙げての本格的な政治的議論は遅々として進まない、むしろ進められそうにないことである。

今の政権は原子力を推進する自由党などとともに、これまで強く原子力に反対してきた中央党も連立の一角を成している。実は「現状維持」というのは、社民党に対抗する連立を組むことを優先するため、難しい議論を封印した妥協の産物にすぎない。

スウェーデンでは、原子力は70年代から80年代初頭にかけて最大の政治課題であった。当時、中央党のフェルディン首相は原子力問題によって政権運営が行き詰まり、政権が崩壊した歴史がある。「この激しい政治闘争を知る世代が有権者である限りは、政治の場で原子力に

は触れられない。原子力の今後に関する本格的な議論は国民の世代交代を待つしかないだろう。」とはこの国のエネルギー史が専門の王立工科大学カイセル教授の話である。

それでは、スウェーデンの原子力関係者は現状をどう見ているのか。全国的な原子力の産学連携の中心であるスウェーデン原子力センターのヨンソン所長は「原子炉の寿命を考えた場合、2025年ごろから電力不足が生じる。原子力発電所のリードタイムを考えると、急がなければならない。」と話した上で、「原子力発電所の新規建設には現在の原子力法の改正が必要であり、政治的議論は欠かせないが、今はとてもその状況にはない。現在準備を進めている使用済燃料の直接処分が順調にはじめられ、さらに電力会社が風力など新エネルギーの導入に最大限努力してようやく政治的議論ができる状況となる。早ければ2010年の次の総選挙、あるいは2014年のその次の総選挙のタイミングとなるだろうか。」

このように私たちの想像以上に原子力が政治と密接に絡み合っているスウェーデンは、今後の世界の原子力の流れを見ていくうえでも目が離せない国ではないだろうか。

最後に、ヨンソン所長が「いまや世界の原子力を支える日本のメーカー、さらにスウェーデンの大学と研究協力を行ってくれている日本の大学の原子力関連学科の関係者に敬意を表したい。」と話しておられたことを付言しておきたい。  
(2007年 12月11日 記)



スケートを楽しむストックホルム市民

# 会議報告

## 第8回トリチウム科学技術国際会議に参加して

8<sup>th</sup> International Conference on Tritium Science and Technology

2007年9月16～21日(ニューヨーク州ロチェスター, 米国)

2007年9月16～21日にかけて、300名近いトリチウム研究者が集い、トリチウムの物性からその利用までを対象とした標記会議が開催された。開催地は米国ロチェスター、場所はレーザー核融合研究の最先端を担うロチェスター大学がある市街地区のホテルであった。参加者は、6割が北米(米国およびカナダ)、2割がヨーロッパ各国、2割がアジア(主に日本)からであった。本会議では、口頭発表72件、ポスター132件の報告がなされた。

冒頭のセッションは、いよいよ建設が本格化するITERにおけるトリチウム関連施設の紹介やロシア・米国および隣国カナダ原子力機関からの研究施設紹介であった。引き続いて行われたITERと銘打たれたセッションでは、各国からのITERへの研究アプローチが紹介され、ITERで取り扱うことになる膨大なトリチウム量に対処していく科学・技術の成熟が熱・磁場核融合研究の存続に欠かせないということを改めて認識させられた。

次に印象深かったセッションは、ご当地ロチェスター大学を始めとするレーザー核融合研究に関する報告であった。わずか数10ミクロンの固体トリチウム燃料とこれに照射するための

テニスコート2面分に相当する大型レーザー設備とが対照的な印象であったが、会議中に行われたロチェスター大学へのピクニックツアーではOMEGA装置を目の当たりにし、レーザー慣性核融合実現に向けて着実に研究が積み重ねられていることを実感した。

各論に入って、核融合ブランケット材料、トリチウム環境モニタリング、同位体分離、除染、廃棄物処分、測定技術開発について報告があった。材料側としては、透過膜や構造材料としての金属や増殖材料としての酸化物・液体金属におけるトリチウム透過現象や吸収・放出現象について、またトリチウム側としては極めて低い環境トリチウム濃度が与える生態系への影響からITER規模のトリチウム濃度で問題となる壁材や配管の除染・廃棄に関するものが主であった。特に、放射線強度にして数十桁にわたるトリチウム濃度を安全にハンドリングし、リサイクリングまたは除染・廃棄する技術に関しては、ITERを緒とする核融合研究を成功に導いていくために、トリチウム研究者に課された大きなテーマであると感じた。

最後に、ロチェスターはニューヨー

ク州といっても五大湖に近く、ナイアガラの滝やカナダ・トロントへのアクセスが良いところに位置している。このため、カナダ原子力機関から多数の参加があった。街の雰囲気は、煉瓦造りや凝ったコンクリート建築が立ち並び、かつてはエリー運河の交通要所として拓けたという歴史の面影がある。

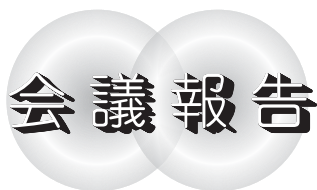
Eastman Kodak(創業時)やXEROX, Bausch & Lomb(ボシユロム)が本社を置いていることでも有名である。しかし、これらの生産拠点はすでにアジア各地に移行していることに加えて、郊外の大型ショッピングセンター建設により町中心部の空洞化が進んでおり、まさにシャッター商店街と化していた。いつか日本の中規模都市でも起こりうることもかもしれない。このような、かつては米国経済を動かした企業の創業の地にふさわしい、歴史あるゴルフコース(Oak Hill Country Club)にてバンケットが催された。普段ゴルフをしない私にもそれとなく由緒正しいことがわかる木造クラブハウスであった。ロチェスター大学のある人曰く、PGAツアー(最近では2003年)が行われる有名なコースで、優勝できなかったタイガーウッズが、“今までプレイした中で、最も難しく、かつフェアなコースだ”といったそうである。また、会期中には、全米3大音楽院に称されるEastman music schoolの教員および学生の協力により、パイプオルガンとバイオリン、ソプラノ歌手による音楽会が催され、クラシック音楽に縁のない私も楽しむことができた。

今回は2010年10月24～29日、奈良県新公会堂にて、核融合科学研究所のお世話にて開催される予定である。

(九州大学 大塚哲平,  
2007年10月31日記)



会場風景



## 第11回環境修復と放射性廃棄物マネジメントに関する国際会議

The 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation  
and Radioactive Waste Management (ICEM' 07)

2007年9月2～6日(ブルージュ, ベルギー)

### 概要

環境修復と放射性廃棄物マネジメントに関する国際会議(ICEM)は、低中レベル放射性廃棄物のマネジメント、使用済燃料、長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU)、高レベル放射性廃棄物、施設の除染と解体、環境修復、環境マネジメントにおける社会とステイクホルダーの問題、Global Partneringと多国間プログラム等に関する国際会議であり、2年に一度、主として欧州を中心に開催されている。会議は、ベルギーのブルージュの中心近くにあるOud Sint-Jan 会議センターにて行われた。

なお、ブルージュは、屋根のない博物館と称される風光明媚な観光都市である。街全体に広がるレンガ造りの建物と石畳の街路、入り組んだ運河、一際高くそびえ立つ鐘楼、重厚な造りの劇場が、中世と変わらない雰囲気を作り出し、撮影者の腕前はさておいて、デジタルカメラで撮影した写真すべてが絵葉書になるような街並みであった。

会議には、欧米を中心に30を越える国々から、600人程度の参加者と300件を超える発表があった。発表は、57のセッションに分かれており、250件程度の口頭発表と、50件程度のポスター発表があった。通常の研究報告のほか、パネルセッション、Roundtable(討論会)といった形式のセッションも見られた。各セッションには4～8件程度の発表があり、環境と放射性廃棄物に関連した多岐にわたる内容であった。

### 発表内容

以下に報告者が聴講した発表の中から、抜粋して内容を紹介する。

Removal—クリアランスの代替として Jörg Feinhals 氏(ドイツ)

ドイツでは原子力発電所からの廃棄物に対し、Contamination Control, Clearance, Removalの3つのいずれかにより、非放射性物質としての取扱判断をしている。Contamination Controlは剥離性のある汚染に適用され、その平均化面積は300 cm<sup>2</sup>であり、考え方としては年間10 μSvが規準となっているクリアランスと同等である。他方、Removalは1988年に出された報告書SS-89におけるデミニミスレベルが参考にされており、値としては核種ごとにクリアランスレベルの1/10、つまり1 μSv/yrが判断基準となっている。Removalについて、Clearanceが国による認可が必要であるのに対し、Removalは必要でないことから、コストの面で非常に有利であり、ドイツでは、2004年から2005年にかけては約4,000トン、2006年には1,000トン程度がRemovalを経て一般物化されている。なお、同時期におけるクリアランス物は、2006年に95トンのみである。

Removalシステムは、主として汚染履歴などを参考にして判断されることから、フランスの「ゾーニング」、我が国の「放射性廃棄物でない廃棄物」の考え方にほぼ等しい。

原子力発電所の低中レベル放射性廃棄物のスケーリングファクタ法 ISO標準化 柏木誠氏(日本)

放射性廃棄物に含まれる放射性核種濃度を評価するためのスケーリングファクタ(SF)法のISO化についての発表である。BWRとPWRではSUS金属の種類が異なることにより、腐食生成物のSFが異なる測定事例が紹介された。SFの検討手法についてのISO

化(ISO-21238)が進められ、現在は、IAEAの技術文書TECDOCでもSF法に関する内容がまとめられつつある。

コンクリートの事前解体放射能特性 Sven Boden 氏(ベルギー)

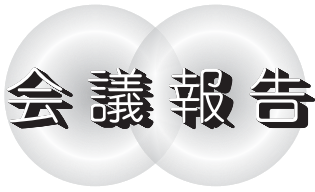
BR-3はベルギーにある加圧水型炉で1987年に運転を終了している。1998から2003年にかけて圧力容器の切断、2002年には燃料の取り出し、2005年には蒸気発生器の解体、2007年には中性子遮蔽タンクの切断が行われた。このとき発生した廃棄物の90%はクリアランスされ、2%が中～高レベル廃棄物、8%が低レベル廃棄物である。コンクリートについては、全体の発生量のうち、2.5%が低レベル放射性廃棄物であった。遮蔽体として重コンクリートを使用しているため、放射化核種としては<sup>133</sup>Ba、<sup>152</sup>Eu、<sup>60</sup>Coがメインであり、汚染としては<sup>137</sup>Csおよび<sup>60</sup>Coがメインである。採取した代表サンプルをGe検出器で測定し、効率をISOCSで求め、放射能濃度が評価された。

### おわりに

本会議は、複数のセッションが同時進行され、かつ専門性が多様ではあったが、各国の廃棄物マネジメントの取組み状況や研究開発状況を幅広く知ることができる会議である。その他の発表については、ICEMのホームページ <http://www.icemconf.com/>に最終プログラムおよび要旨が掲載されているので、ご参照いただきたい。

なお、2009年のICEMは、英国での開催が予定されている。

(電力中央研究所 佐々木道也、  
2007年11月20日記)



## 第15回放射性物質輸送容器及び輸送に関する国際会議

The 15<sup>th</sup> International Symposium on the Packaging and Transportation of Radipactive Materials

2007年10月21～26日(マイアミ, 米国)

### 700人が参加し、300編の論文が発表された

パトラム(PATRAM: International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, 放射性物質輸送容器及び輸送に関する国際会議)は3年ごとに開催される放射性物質の輸送に関する最大規模の国際会議である。今回のパトラムは第15回目であり、米国のマイアミで2007年10月21日から26日まで、米国運輸省(DOT), 米国原子力規制委員会(NRC), 米国エネルギー省(DOE)の主催, 核物質管理学会(INMM)と国際原子力機関(IAEA)の協賛にて開催された。

パトラム2007のセッション論文構成は、下図に示すとおりで1セッションあたり8編の論文が含まれていた。総論文数は300編で、その内訳を図に示す。参加者は約700名、日本からは、約60名が参加した。

### 規則基準外試験や輸送安全もテーマに

開会・全体セッションで発表された次の論文は、今回パトラムの特徴の一端を示す。

- ・ユッカマウンテンプロジェクトの最新情報(米国: DOE)
- ・ドイツにおける規則試験基準を超える環境でのB型輸送物の試験(ドイツ: 連邦材料試験研究所)
- ・日本における使用済燃料貯蔵/輸送容器の試験(日本: 電力中央研究所)
- ・ロンドンでのPo-210の除染—緊急時の関係機関の業務の経験(英国: ウェストミンスター市庁)

次に、規則適合輸送物の安全裕度確認の経験を総括しようという動きから、規則基準外試験に関する2セッションが設けられたのも今回の特徴である。

また、輸送・貯蔵兼用キャスクの一般化、MOX燃料・解体廃棄物・大型輸送物の登場という最近の傾向に加え、新たな動きとして、輸送保安(セキュリティ)の強化、輸送拒否・遅延

問題等があげられる。

最後に、パトラムの永年功労者および優秀論文に贈られる青木賞が発表された。この賞は、元東京工業大学教授の故青木成文氏がパトラム1992(横浜)の際に設立されたものである。下記に紹介する論文が受賞論文であり、これらもまた、最近の活発な技術開発・事業の一端を示している。

#### (1) 優秀口頭発表論文

- ・D. Ammerman(米国・サンディア国立研究所): 異なる標的への衝撃に対するB型輸送物の挙動評価
- ・F. Nitsche(ドイツ・連邦放射線防護局)他: 放射性物質輸送物の輸送物設計安全報告書に関する欧州技術ガイド
- ・白井孝治他(日本・電力中央研究所): 強い地震にさらされるフリースタANDINGの使用済燃料キャスクの実験的研究

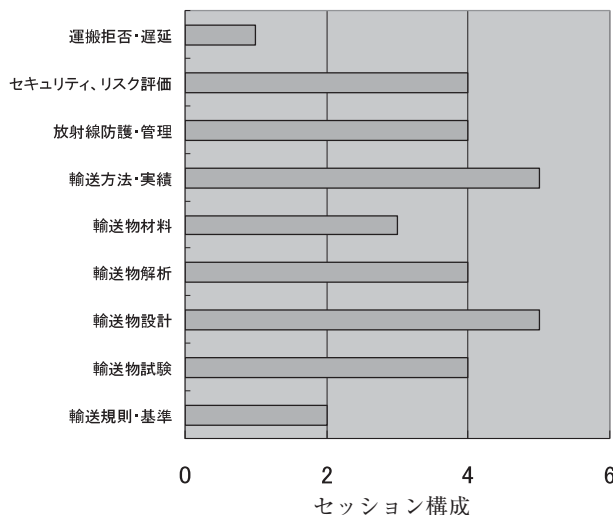
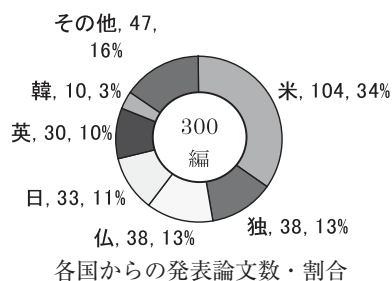
#### (2) 優秀ポスター発表論文

- ・S. L. Mao 他(フランス・放射線防護研究所): 輸送容器設計安全評価のための放射線防護研究所の経験フィードバックのリスト
- ・W. Steinwarz(ドイツ・ジンベルカン原子力技術社): 金属廃棄物の最適利用による最終処分用容器
- ・G. Morandin(カナダ原子力社)他: 多目的輸送容器—解析による設計と認可

### 次回は2010年に英国で開催

今回のパトラムは2010年に英国で開催されることが、英国運輸省より発表された。英国での開催は初めてとなる。

(電力中央研究所 三枝利有, 原燃輸送 広瀬 誠, 2007年12月11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

### 私の好きな作家たち

#### 書

仕事に役立てようと考えて小説を読んでいるわけではないが、この20年ほどはどうもモノの見方や人の生き方を拾い取ろうという読み方になってきているのを感じる。これは感動を覚えにくくなった歳のせいなのかもしれない。

司馬遼太郎の戦国時代の歴史小説を読み始めた時は、ひたすら面白い押し付けがましくない語り口に引かれたが、「峠」など明治維新前後を取り上げた小説群や、「坂上の雲」あたりから近代日本史を学ぶような読み方になった気がする。

著作数は少ないが、江藤淳の「海は甦える」や「明治の群像—海に火輪を」なども我が国の興隆記として興味深く読んだ。テレビドラマ化された場面(1976年)を時々思い出す。

第2次大戦に関する小説に引かれて吉村昭を読み出した。自分が理系なので「戦艦武蔵」や「零式戦闘機」、「深海の使者」の技術的にも正確な記述は心地よかった。「ポーツマスの旗」などの日露戦争に関する著作によって「坂上の雲」とはまた違った人々の活躍を知った。

深く考えさせられたのは、塩野七生の「ローマ人の物語」だ。1992年から1年に1巻のペースで執筆され、その最初から愛読しているうちに15年たってとうとう一昨年末に完結してしまっただけで、前半はローマの勃興から世界帝国への足取りをたどる気分のよい歴史で、彼女の大好きなカエサルも痛快な一生に刺激されて「ガリア戦記」や「内乱記」まで読んでしまった。後半の「終わりの始まり」(11巻)からはトーンが変わり、坂道を転げ落ちるとまではいかないが、次第に黄昏れていくローマをやきもきしながら毎年見守っていった。ローマ衰退の原因はもちろん複数あるだろうが、塩野七生がどう考えるかが11巻以降の楽しみだった。ほとんど終りになってようやくキリスト教の国教化と深く関係しているという彼女の思考が暗示されて、それまでの伏線が一挙に整理された気分になった。世界の紛争の多くが宗教や民族間の軋轢が大きな原因であるが、この問題を乗り越えて統一していったローマ帝国の前半と、分裂・衰亡していった帝国の後半とがどうやら結びついた思いがした。歴史は繰り返すというが、現代世界がローマ帝国のどのあたりの状況に近いのかあるいは近くないのか、自分なりに観察、分析していくのがひとつの楽しみになっている。同好の方と語り合いたいものである。

田中治邦さん次をお願いします。

工藤和彦(九州大学)



### ある日の我が家の風景より

#### 考

「パパのバカ！自分でやりたかったのに！」食事の後片付けの最中にリビングに響く声、涙を浮かべる長女と困ったような顔の夫。『またか〜』と思いつつ、手を止めなだめにかかる私、われ関せずの次女。

娘が夫に勉強を聞くと、かなりの確率でこの有様である。何が悪いのかというと、彼は『全部』教えてしまうのである。そう、『答え』まで。しかし、彼女が知りたいのは『なぜ、そうなるのか』という解き方のヒントであり、最終的な目標は『自分で考えて解くことができること』なのである。ところが夫は、彼女が「わかった」といった後もご丁寧に説明し続け、挙句に答えまで出してしまうので始末が悪い。

これは実は親という生き物がとてもやりやすい失敗ではないかと私は思う(ここでは夫を悪者にしてしまったが、本当のことをいうと私も時々やってしまう)。子どもは未熟で何も知らないのだから、親が答えを用意してやらねば…でも、本当にそうなのだろうか？子どもは確かに知識も少なく、危なっかしいけれど、ちゃんと考える力は持っている。親がすべきことはその場で適切な知識と助言とを与えることである。そうすると、意外に子どもはちゃんと考えて結論を出すものである。

ここまで読んで『単なる子育て論?』と思われるかもしれませんが、この親と子の関係、そのまま専門家と一般市民と置き換えてみてはどうでしょう？科学的な知識が非常に乏しい一般市民には、科学者が出した『答え』を丁寧に説明して理解してもらうことが大事、という考え方を少し変えてみるヒントになるのではないのでしょうか。専門家と一般市民、お互いが意見を出し合い、考えていく機会を持つことが本当は大事なのかもしれません。そして、専門家と一般市民を橋渡しし、ただ推進、反対、ではなく、社会全体で考え、将来の方向を選んでいけるような取り組みができればいいな～、そんな活動に携われたらいいなあ～、という願望を私は持っているのです。

大澤京子(WIN-Japan 準会員)



## 原子力機関・研究所紹介

### 日本原子力研究開発機構 安全研究センター体験記

名古屋大学 筑城卓也, 京都大学 淀 忠勝, 前田修平, 松井亮太,  
北海道大学 朝比奈 遼, 茨城大学 石橋直樹

2007年夏, 私たち6名は夏季実習生として3週間を日本原子力研究開発機構(原子力機構)の安全研究センターで過ごした。その経験を「研究機関紹介・訪問記」として報告しようと思う。西日本の4名と東日本の2名が, 専門の異なる下記の2つのグループ(G)に分かれて活動した。

#### 1. 複雑な多次元気液二相流動の流動特性

この研究Gでは, OECDプロジェクトをはじめ, 軽水炉の事故時や過渡時での炉心の冷却確保に関する実規模実験や, 安全評価に必要な精度の良い解析手法の開発や整備が行われている。

筑城は, 制御棒落下等による反応度事故(RIA)時に, 炉心の局所出力が急上昇して冷却水に生じる蒸気泡(ボイド)の解析に挑戦した。ボイドの発生は非常に短時間のサブクール沸騰現象で不明な点も多い。また, 炉心出力を抑制するボイドフィードバック効果を生じることもあり, 燃料の高燃焼度化に伴って安全評価が求められつつある。

私は, BWR RIA時の過渡ボイド挙動を, 非均質・非平衡二相流解析コードTRACで解析する手法を学んだ。最初の週は英語マニュアルの理解に努め, 次の週はワークステーションでプログラムを回して結果を出し始め, 最後の週でやっと解析に慣れて結果が考察できた。本来は複雑な3次元の現象を1次元のコードで評価する方法がよく議論でき, 今後の研究に有用な見解

を得ることができた。

淀, 前田, 松井の3名は, 軽水炉をはじめ, 多様な工業装置に利用される気液二相流について, 基礎的な実験を体験した。大型非定常試験装置LSTFに併設される大口径管試験部(内径20cm, 高さ23m)に水/空気の気液二相流を生成し, ボイド率, 界面積濃度や界面速度などを測定した。測定には, 別に開発してきた5センサー光ファイバプローブを用いた。流動様式は高速度ビデオカメラで確認した。

実験初日に落雷でエレベータが壊れ, 猛暑の中, 11階建てのLSTFを階段で上り下りする体力勝負の実験となった。装置の使い方に戸惑って様々なミスもしたが, 現場の人達の手厚いご指導でスムーズに実験ができた。結果, チームプレイで行う実験・研究に対する考え方と平素からの体力作りの大切さを学ぶことができた。

短い間であったが実習の経験はとても貴重だった。研究Gの歓迎会の席上, 学生4人で, 家の隣に原発が建つとどう思うかなど議論となったが, 研究Gの人達の安全性の話は大変説得力があり, 自身の知識の不充分さにも気づかされ有意義だった。

#### 2. 放射性廃棄物処分の安全評価

朝比奈と石橋は, 高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価手法の研究を体験した。夏季実習の対象となる学年は幅広いが, 所属した研究Gが専門教育未履修の大学3年生を受け入れるのは今回が初めてということで, 研

究員の方からは非常に丁寧な指導を受けた。

放射性廃棄物の処分システムの安全機能の持続性を予測するために, 処分場の環境を想定した実験から人工バリアの変質過程と地下水の移行(透水)挙動をモデル化する必要がある。この研究Gは, これらの試験を行うとともに, 物質移行—変質連成解析コードを開発している。私達は, 人工バリアのひとつであるベントナイト系緩衝材を用いた試験に参加し, 塩水, 高アルカリ水, 硝酸塩, 腐食生成物等が人工バリアの性能にどのように影響するかを勉強した。

この研究Gではこのほかにも, 廃棄物の処分に関して様々な実験・解析テーマが関係し合いながら進んでいる。また, 原子力施設の廃止措置もテーマであり, 今後増えていく原子炉や核燃料サイクル施設の解体, そしてサイト開放までも考慮に入れた安全基準作りに必要な研究が行われている。

今回の実習では, 用意された実験メニューをこなすのに精一杯の感があった。しかし, せっかく原子炉・臨界・再処理・廃棄物・廃止措置とスコープの広い安全研究センターにいるのだからと, 研究G以外の人たちと話しをする機会を設けてもらった。そこで感じることができた, 原子力機構の方たちの研究への取組み姿勢は自分たち学生にとってとてもよい刺激になった。

(2007年12月10日記)

## 原子力機関・研究所紹介

### 東芝 電力・社会システム技術開発センター滞在記

MIT Thomas Conboy

2007年の夏、私は東芝の電力・社会システム技術開発センターにおいて貴重な夏季研修を経験することができました。私の研修内容は、BWR(沸騰水型原子炉)における核熱水力安定性に関するものでした。

東芝の優れた改良型BWRの実績に加え、さらに革新的な設計には、より詳細な過渡・安全解析が要求され、その中でも出力および流動の安定性は重要な項目の一つです。この核熱水力安定性はメカニズム的にも複雑で、非常に多くのパラメータに依存します。研修の最初は、核熱水力安定性の物理的なメカニズムを理解し、それを数値的に解析するためにはどのような解析モデルと解析手法が必要かを学びました。

安定性解析には周波数領域の線形安定性解析コードを用い、安定性の指標である減幅比および固有周波数をいろいろな運転条件で比較することにより、どのようなパラメータがBWRの核熱水力安定性に重要なかを理解することができました。

解析には、対象とするBWR炉心の形状や特性、それに基づくプラント動特性などプラントの特徴を反映したモデル化を実施しました。炉心安定性と

領域安定性という異なる核熱水力結合安定性モードをそれぞれ精度よく模擬するため、それぞれに異なる炉心ノード体系を用いました。また、純粋な熱水力安定性(チャンネル安定性)を評価するため、炉心安定性解析時には最も熱的に厳しいホットチャンネルを設けました。

世界でも有数の原子炉設計部門における最先端の熱水力解析の専門家と共に学び、実習する機会を与えられたことへの感謝の気持ちがインターンシップ期間中に増してゆきました。また、東芝における同僚の暖かさと親切には今でも言葉がないくらいです。彼らは魅力的で独自の日本を私に見せてくれました。例えば、横浜の繁華街のカラオケバーから、日光の不思議なくらいのおもしろさまで。毎週末のように私を観光やいろいろな催しに誘ってくれましたので、実習先から1時間ほどの距離にある横浜の静かな郊外の寮に住んでいた私にとっては、大いに慰めとなりました。

夏休みの期間を利用して、米国から訪れた数人の友人達と関西を訪れました。横浜とは全く異なる大阪の喧騒とたこ焼きの屋台、1日かけて歩き回っ

た京都の美しい町並み、私が日本で訪れた4つの城の中で一番のお気に入りになった驚くべき建造物、姫路城。また彼らとは富士山を見るために、箱根にも行きましたが、ちょうど大きな台風に見舞われ、また新潟で起きた大きな地震の揺れも感じ、この2つの大きな自然災害はある意味では日本での生活の現実を、より身近に私に体験させてくれたものだと思います。富士山を見ることはできませんでしたが、この2つの旅行を通じて、日本の文化と自然の多様性を感じる良い機会になりました。

もう一つの思いも寄らない喜びは、東芝における週2回の日本語教室でした。この教室のおかげで、日本での生活への順応が楽なものになりました。また、日本国外からの他のインターンシップの仲間たちとも知り合うことができました。彼らとはお互いに日本での経験を分かち合い、共通のトラブルなどを助け合うことにより、それぞれの母国に帰っても末永く続く友情を築くことができました。

最後に、このような貴重な経験を与えてくれた東芝の皆様へ感謝いたします。(2007年11月6日記)



世界遺産日光にて(左端が筆者)



研修先の仲間達と



## 書評

### Fundamentals of Radiation Materials Science (放射線材料科学の基礎)

Gary S. Was 著, 872 p. (2007.7), Springer-Verlag 社.  
(価格 US\$129.00) ISBN-10 3540494715

本書は、原子力材料に特有でかつ重要な分野である放射線照射効果に関する最近の教科書である。著者は米国の名門ミシガン大学の原子核工学・放射線科学科と材料理工学科の教授であり、この分野で先進的な研究を精力的に進めている。

著者の専門に添って主として金属材料を取り上げ、わかりやすい図と式を用いて、放射線が材料に及ぼす変化について基礎から工学的実用まで、そして軽水炉から核融合炉まで、幅広く書いている。レベルとしては大学院学生や若手研究者が対象であるが、軽水炉の高経年化対策や新型炉開発において、原子炉まわりの材料と構造分野に取り組んでいるベテラン研究者や設計者にも座右の書として使える。

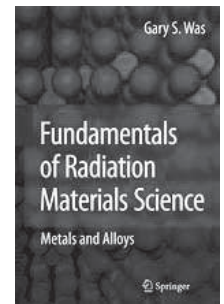
章立は、大きくは次の3部で、Ⅰ. 放射線損傷(放射線と材料の相互作用の物理的な素過程)、Ⅱ. 放射線損傷の物理的効果(損傷によって材料に生ずる物理的な変化)、Ⅲ. 放射線損傷の機械的効果(実用上重要となる強度などの機械的な性質変化)、基礎から系統立てて学べるように工夫されている。それぞれの章は、1. 放射線損傷イベント、2. 原子のは

じき出し、3. 損傷カスケード、4. 点欠陥の生成と拡散、5. 放射線促進拡散と欠陥反応の速度論、6. 照射誘起偏析、7. 転位組織、8. 照射誘起ポイントとバブル、9. 照射下の相安定性、10. イオン照射特有の効果、11. イオンによる中性子照射のシミュレーション、12. 照射硬化と変形、13. 破壊と脆化、14. 照射クリープと照射成長、15. 照射材の環境助長割れ、であり、12章以降には、最新のデータや見解が盛り込まれていて貴重である。

読者の理解を深めるために、いくつか工夫がこらされているが、まず、各章で取り上げる現象について、金属物理、転位論、破壊力学、応力腐食割れなど基本的なことが解説されていて、読み進めやすい。また、対応するアニメーションがWebsiteに準備されていて、印刷物では表しきれない「動き」を見ることができるようになっているのもユニークな新しい試みである。

原子力材料の放射線効果については、東京大学石野葉名譽教授の名著『照射損傷』(東大出版会)が絶版になって以降、本格的な教科書が途絶えていたが、原子力リネッサンス時代にWebを活用した本格的な教科書が出版されたことは意義深く、広く読まれることを勧めたい。

(原子力安全システム研究所・木村逸郎、福谷耕司)



## ■お知らせ■

### 日本原子力学会誌・日本原子力学会和文論文誌

#### 電子アーカイブ作成に伴う過去論文の著作権取扱いについて

このたび、当学会発行の「日本原子力学会誌」・「日本原子力学会和文論文誌」が、(独)科学技術振興機構(JST)電子アーカイブ事業に採択されました。これにより、1959年の創刊号に遡り、電子アーカイブ化され、インターネットで無料公開されることとなります。

電子アーカイブ化を行うにあたり、当学会は著者から著作権の権利譲渡・許諾を受ける必要があります。和文論文誌につきましては、著作権が当学会に帰属する旨明記しており、更に著作権譲渡の書面を著者と学会との間で取り交わし、著作権の学会への帰属を明確にしております。しかしながら、1959年～2001年に刊行された日本原子力学会誌に掲載された論文(技術報告、総説、ショート・ノート等を含む)につきましては、国内学会誌でそのような慣行がまだ明確化されて

いなかったため、論文の著作権譲渡について明確な記述がない状況です。そのため、1959年～2001年に刊行された日本原子力学会誌に掲載された著者の皆様には、本電子アーカイブ事業の目的と意義をご理解いただき、著作権の譲渡・許諾をお願いする次第です。

掲載論文の著作権の譲渡・許諾にご同意いただきたくことにつきまして、異議がございましたら、2008年3月31日(月)までに当学会までご連絡くださいますようお願い申し上げます。期限までに異議が無い場合は、順次電子アーカイブ化の準備に入らせていただきます。

本件連絡先 社団法人 日本原子力学会 事務局  
TEL 03-3508-1261, FAX 03-3581-6128  
E-mail: hensyu@aesj.or.jp



# 軽水炉，高速炉の連載が同時進行中！

## 開発の歴史がわかると好評だった Web アンケート結果10月号

「原子力学会誌」10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138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。10月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	報告	柏崎刈羽発電所の安全機能はなぜ維持されたのか —中越沖地震による影響と今後について、学会が特別セッション	4.30
2	時論	リスク学の立場から見た柏崎原発災害	4.22
3	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(2)	3.93
4	連載講座	高速炉の変遷と現状(4)	3.86

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	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(2)	3.82
2	時論	リスク学の立場から見た柏崎原発災害	3.74
3	連載講座	高速炉の変遷と現状(4)	3.55
3	会議報告	WIN-Japan 講演と女性交流会報告	3.55

今月は、秋の学会の特別セッションが好評でしたが、軽水炉，高速炉の連載講座も毎号好評です。

### 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 話題として中越沖地震の話が多数であり、記事としてタイムリーな印象を受けた。
- (2) 量的にもひと月でゆったり読みきれなくなったし、原稿の選び方にも、「専門外の専門家」の興味を喚起するように工夫されている。「会議報告」、「セミナー報告」、「支部便り」等は、特にひきつけられるような書きぶりではないが、記事の性格上仕方がない。
- (3) Web アンケートのコメントの内容を実際にどのように実行していくか、具体的な提案があれば載せてほしい。
- (4) 軽水炉の連載講座に関して、原子力の発展で、なかなか知ることのできない実際的な部分が、簡潔にわかりやすく書かれている。
- (5) 会議報告に関して、アンケート結果は図表にまとめて提示すべきである。非常に読みにくかった。
- (6) リレーエッセイに関して、学会誌の中には少し離れたこういった内容を載せるのも良いと思う。

### 3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(3)のコメントに対して、具体的な改善に関しては、随時、お伝えしていきます。以前から疑問の声が多かった、学会誌の発行時期については、11月号と12月号を合併することにより、1月号から毎月月初めに会員に送付できるように改善しました。

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

### 「複雑さの壁」を乗り越えて

毎日新聞 古谷秀綱

新聞記者になって20年余り。もし「記者とは何か」と問われたら「素人であることの玄人です」と答えたい。ご承知のように、ある時は事件を追い、ある時は新たな社会現象や科学的知見などに会うたびに、いわば読者の代表として、必要なら初歩から専門家に教を請い、分かりやすくご紹介する仕事である。私は現在、主に県政や大学、そして原発取材を担当している。

初めて取材した原発は、初任地・鹿児島県の九州電力川内原発だった。私は文系ながら昔はアマチュア無線を楽しみ、大学では物理や天文学、プログラミングの実習(まだパンチカードを使った)も履修し、理工系の世界には親しみがあつた。ただ原発は放射能・放射線の単位一つを取っても複雑で、少し敷居が高かつた。

参考になったのが、ノンフィクション作家・柳田邦男氏の著書「恐怖の2時間18分」だった。米TMI事故を分析したこの本で私は、原発とは要するに、蒸気機関だと理解した。その後、川内原発の管理区域内を見学し、資料でしか知らなかった原発を現実のメカニズムの集合体としてつぶさに眺め、出入りの際は全身の線量を測定する、厳しい安全管理も初めて味わつた。

原発報道に携わる者が一番注目するのは、言うまでもなく安全性だ。私が取材を学んだ80年代にはチェルノブイリ事故があり、大きな衝撃を生んだ。旧ソ連の黒鉛チャンネル型炉は日本と炉型が異なるが、川内と同じPWRで起きたTMI事故の記憶がまだ鮮やかで、私も「日本の軽水炉は本当に安全か」と素朴な疑問を持った。こうした疑問は、大なり小なり誰でも抱くと思うが、実は解消するのが大変難しい。原発は「核分裂の熱で湯を沸かし、タービンを回す」という原理こそ簡単だが、構造や運転・管理技術は、素人目にも複雑を極める。また各種のトラブルはしばしば複雑な現象を伴い、日常生活から大きくかけ離れている。いわば原発は「複雑さの壁」に囲まれた存在だ。

航空評論家の佐貫亦男氏がかつて、航空機はまず「音の壁」を突破し、空力加熱による「熱の壁」も克服したが、やがて「不信の壁」に出会うという説を紹介した。航空機の安全性は年を追って高まるが、一般市民は安全性を死亡率ではなく事故件数で実感する。事故の減少率が便数激増に追いつけず、もし世界で2日に1件

の致命事故が起きるとパニックが芽生え、社会は航空機を許容しなくなる恐れがある、といった論旨だった。

原発の致命事故は、幸い努力の積み重ねによって、航空機より極端に少ないが、万一の場合は被害が甚大で、巨大な社会的衝撃を生む。原発の潜在的リスクを許容するかどうか最終判断するのは一般市民だが、市民は原発が宿命的に持つ「複雑さの壁」によって事実上、安全性を自らの力で評価する自由からは疎外されている。これを解消するには、やはり時間は掛かっても、地震など潜在的な危険に関する知見を含む、徹底した情報公開を続けるしかない。付言すれば、いわゆる事故隠しは、市民の疎外を拡大する、とんでもない行為である。

私たち記者が「複雑さの壁」を引き下げる努力をするには、もちろん専門家の皆様のご協力が大前提となる。四国電力・伊方原発を取材して3年余りになるが、同社の発表は、大は制御棒のずれなどから、小は定検中の空調装置水漏れや、作業員のけんかによる軽傷事件まで詳細を究める。ほぼ毎月数件のトラブル発表があり、最初は件数の多さに驚いたものの、取材を通じて原発が、いかに多くの冗長系を持ち、膨大な労力により維持・改良を続け、故障時には詳細な原因究明が行われているか、多くの事例を通じて学んだ。こうした密度の高い広報は結局、電力会社と報道機関の間に信頼を生む。

伊方3号機では、2010年をめぐりにプルサーマルが計画され、推進・反対両派が討論する機会があつた。反対派からは形式や内容などに不満が出たが、それでも論議を重ねた分、市民に届く情報量は増える。全国原発関係各位には、「複雑さの壁」に負けず、誰も切り捨てず、一層の情報公開を進めることを、切にお願いしたい。



古谷秀綱(ふるや・ひでつな)

毎日新聞松山支局記者

東京出身。慶大法学部中退、1981年毎日新聞社入社。鹿児島支局や整理記者(本社で紙面編集)、舞鶴支局などを経て04年秋から現職。