

### 対談

#### 1 「国は、原子力に対する決意を示せ」

原子力をめぐる状況が混迷を極めている。澤氏は「原子力に対し、国はどう取り組むのかというビジョンと決意がまだ見えない。それを検討して具現化する主体もプロセスも消失しようとしている」と訴える。これらの問題にどう向き合えばいいのか。



澤 昭裕  
澤田哲生

### 解説

#### 22 今後の原子力規制と国際関係について

日本では、安全向上をめざす本質的な議論が不在のままに放置された。全関係者の責任は重く、こうした姿勢やメンタリティと決別しなければならない。

大島賢三

#### 27 東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4号機の廃止措置等に向けた取り組み

東京電力は福島第一原子力発電所の事故収束をめざして、中長期ロードマップに基づき廃止措置等に向けた取り組みを進めている。ここではその現状と今後の見通しについて紹介する。

高儀省吾

#### 32 福島原子力事故の人間面・組織面の教訓と原子力安全改革の取り組み —事故を防ぐことはできたのか？

「巨大津波は本当に予測できなかったのか」、「事故を防ぐために事前に何らかの対策を取ることは出来なかったのか」、「より効果的な事故対応を取ることは出来なかったのか」を改めて問い直す。

川野 晃

### 時論

#### 8 福島復興本社の取り組み —福島の発展的な復興に向けて

福島復興本社は福島への責任を全うするため、賠償、除染、復興推進などに取り組んでいる。

石崎芳行

#### 10 カナダからのエール

「ムラ」は本当に悪いことなのか。

長崎晋也

#### 12 これからのリスクコミュニケーション

相手の価値観や考え方を共有した上で、どう信頼関係を作り上げていくか。

西澤真理子

#### 14 災害対応ロボットと運用システムのあり方の提言

事故直後にロボットの配備が遅れた原因は、実用化や運用の仕組みがなかったことに拠る部分が多い。

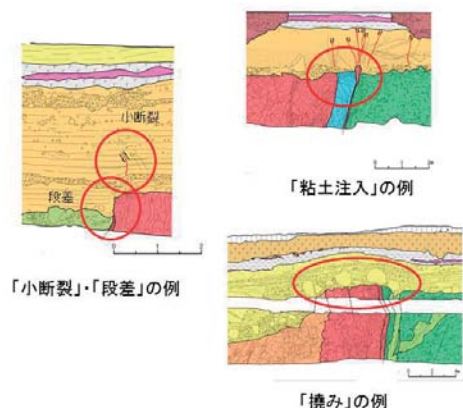
浅間 一

### 解説

#### 39 東通原子力発電所 敷地の地質・地質構造—敷地内断層に関する評価の現況

東通原子力発電所の敷地内には、10本の正断層がある。ここでは当社がこれまで行ってきた地質調査の概要を紹介し、これらの敷地内断層の活動性について考察する。

坂東雄一ほか3名

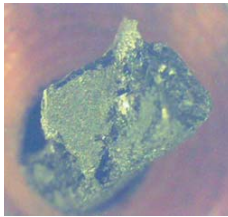


表紙の絵(日本画)「実り」 制作者 川島睦郎

【制作者より】 大きな柿の木を見つけました。その木を覆い尽くすように実る柿の群は圧巻で、秋の景色の中に異彩をはなっていました。小鳥達が集まりついでに様子、楽しげながらも、迷路に迷い込んだかのようにも見えました。京都大原の里でのことでした。

## 44 再処理技術開発の今後の展開 — 福島第一原子力発電所の事故を経て我が国の再処理技術開発はどうすすむべきか？

六ヶ所再処理工場で実用段階に至った我が国の再処理技術を、次の再処理施設導入までどう維持・発展させるか。また、再処理で培われた技術を、福島原子力発電所事故の対応にどう活用していくか。今後進むべき研究開発の方向を検討した。



TMI-2 デブリの  
電解還元後試料の断面

「次世代再処理技術」  
研究専門委員会

## 55 大阪府立大学大学院量子放射線工学 分野新設について—放射線利用分野 の人材育成への新たな決意

大阪府立大学大学院工学研究科にこのほど、放射線研究センターを母体とした新たな大学院専攻、量子放射線系専攻量子放射線工学分野が開設された。

古田雅一

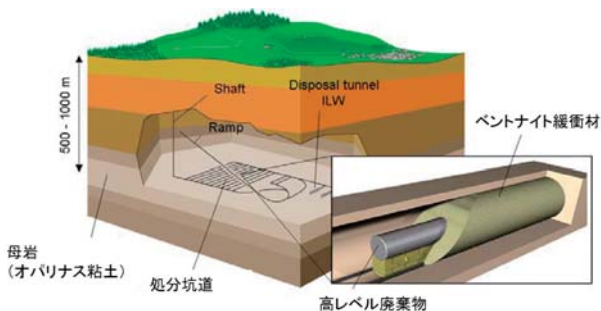
### シリーズ解説 A

## 高レベル放射性廃棄物処分の可逆性と 回収可能性 (2)

## 58 回収可能性を中心にした各国の検討 状況

処分事業の実施段階における可逆性・回収可能性に対する関心が高まっている。今回は回収可能性の技術的側面について、各国の取り組み状況を紹介する。

田辺博三



スイスの処分概念 (PEBS)

- インド原子力学会と協力覚書に調印
- 汚染水対策で関係閣僚会議
- 概算要求、廃炉や除染、安全強化に重点
- 規制委が福島廃炉計画を認可
- 国際廃炉研究機構が発足
- 文科省、群分離・核変換技術の検討開始
- リニアコライダーは北上サイトが候補
- 海外ニュース

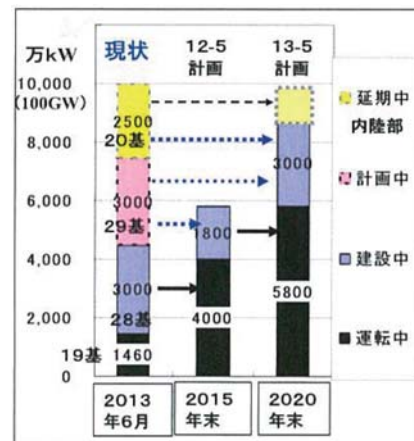
### シリーズ解説 B

## 世界の原子力事情 (1)

## 65 福島事故後の中国の原子力開発

世界一のエネルギー消費大国である中国。エネルギー源は石炭が主で、非化石エネルギーの導入を加速している。原子力は割合が1%程度と少なく、急拡大中であったがその矢先、東電事故が発生。その後はどのような進路を採ったのだろうか？

永崎隆雄



中国の原子力の現状と開発計画

### 54 From Editors

- 70 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、新入会一覧、寄贈本一覧、英文論文誌 (Vol.50, No.11) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧
- 71 福島第一原子力発電所廃止措置関連の研究論文募集

学会誌に関するご意見・ご要望は、学会ホームページの「目安箱」  
(<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>) にお寄せください。

### 誤記訂正

2013年10月号目次に掲載されたインタビュー記事タイトルに誤りがございました。お詫びして訂正いたします。

誤 「福島復興をまず第一に — 半谷輝己氏に聞く」  
正 「被災地の復興をまず第一に — 半谷輝己氏に聞く」



## 「国は、原子力に対する決意を示せ」

21世紀政策研究所 澤 昭裕  
東京工業大学 澤田哲生

原子力をめぐる状況が混迷を極めている。このうち安全規制について澤氏は「合理的な規制活動とはどのようなものかという最重要の議論が全くなされなままに炉規制法が改正され、規制委員会が発足したことに、この問題の根源がある」と語る。一方で、「原子力に対し、国はどう取り組むのかというビジョンと決意がまだ見えない。それを検討して具現化する主体もプロセスも消失しようとしている。今後、新設やリプレースが容認されたとしても、このままではファイナンスの問題ですら解決できない」と訴える。これらの問題にどう向き合えばいいのか。その処方箋を、二人の識者が議論した。

さわ あきひろ／一橋大学経済学部卒業後、通商産業省入省。同省資源エネルギー庁資源燃料部政策課長、東京大学先端科学技術研究センター教授などを経て、2007年から21世紀政策研究所研究主幹。NPO法人国際環境経済研究所所長、アジア太平洋研究所副所長を兼ねる。

さわだ てつお／京都大学理学部物理科学系卒業後、三菱総合研究所に入社。独カールスルーエ研究所客員研究員を経て、1991年より東京工業大学エネルギー工学部門助教、東京工業大学博士(工学)。

### 規制委にはミッションの誤認がある

澤田 電力会社の中にはさまざまな考えの人がいる。原子力に携わっている人たちの今の最大の関心事は、言うまでもなく原発の運転再開だ。一方で原発を、経済性の視点からとらえる人もいる。原発の発電コストは比較

的安いから、100万キロワット級1基を動かすことで年間1,000億円ほどの利益を生み出す。一方で各発電所では、追加的な安全対策で千億円以上も使っているところがある。こちらの視点に立つ人は、原発は動かせるなら大きな利益を生み出すから動かすべきだが、これからもなか



なか動かせないということであれば、安全対策の追加投資や原発そのものの推進に消極的になる可能性がある。

もう一つの問題がエネルギーセキュリティだ。けれども今の政権には、この問題に本気で取り組む覚悟が見えない。政権は国土強靱化による日本再建を訴えるが、その一つの礎になるのがエネルギー問題であるはずなのに。国策民営が宙ぶらりんになっている現状がある。このまま国が本気にならないなら、原発など止めてしまうというオプションもありうる。

これらの状況を踏まえて最近、活断層問題で揺れる敦賀や志賀などを視察された澤さんの感想をまず、うかがいたい。

澤 破碎帯の評価をめぐって規制委員会と原電の見解が対立している。その論拠となるデータを自分の目で確かめなかった。原電から聞いた話は、説得力があった。原電は昨年12月に評価報告書をまとめ、8月には追加調査報告書をまとめた。それに比べて規制委員会のこれまでの主張には、規制委なりの確固たる見方がない。いろんな文句を付けているだけだ。例えば規制委員会は、原子力安全委員会の「発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き」に基づいて審査したというのが、その手引きには、「耐震設計上考慮する活断層の認定においては、認定の考え方、認定した根拠及び認定根拠の情報の信頼性等を示すこと」と書いてある。つまり、規制側が認定した根拠や考え方を示すべきなのだが、事業者証明作業の否定でしかなく、ポジティブな論拠というものが見当たらない。

澤田 それは今ではなされていないということですね。

澤 規制委員会は、原電の説得的な追加報告書を否定するには、相当専門的な知見を駆使して議論しければならないのではないか。専門家同士のとてもハイレベルな判断が要求されていると思う。

澤田 規制委員会での今の議論は有識者を集めているものの、いくつかの論点を深く掘り下げることなく、結局それはグレーだなどというレベルにとどまっている。規制委員会の論理や論法は脆弱であり、科学的なデータに基づいた議論にまで至っていない。公正に議論すれば、論破されることを恐れているのではないか。

澤 澤田さんは他のメディアで規制委員会の島崎委員を交代させるべしとの意見を展開されているが、私は、問題は個人ではなく、委員会のミッションの方にあると思っている。委員会は自らに課せられたミッションが、原発を止めることにあるのだと思っているのではないかと感じるようなものごとの進め方だ。

澤田 私が名指ししているのは島崎さんだけではないですよ。しかし、規制委員会のミッションが原発を止めることとはどういうこと？

澤 改正された原子炉等規制法をもとに、規制委員会は自分たちの任務が、原子力施設の安全の確保の実施に

関することだけだと考えているのではないか。もともと原子力委員会や資源エネルギー庁がその任務として持っていた原子力の利活用を振興する側面と、原子力安全・保安院が任務としていた安全確保に関する規制を分離したことまでは当然の流れだったかもしれない。しかし新たな法体系の下では、炉規制法から原子力の計画的推進という目的を削除し、原子力委員会も役割縮小の方向で検討されるなど、振興の部分がバランスを欠くほど縮小してしまっている。そのため経済的資産である原子力発電所というものを動かすことを前提として、安全の確保がどのようにどの程度までできていけばいいのかという工学的発想が入らない状況になっている。これは法体系全体の問題であって、単に人を変えればすむ問題ではない。

また、バックフィットをめぐる審査にしても、大飯は特例としているが、なぜ、他の発電所はその方法ではだめなのか判然としない。法的解釈や運用面でぶれがあまりにも大き過ぎるし、規制手続きのプロセスも明確になっていないため規制委員会による恣意的な進め方が可能となるなど、このままでは規制の予測不可能性があまりにも大きい。これは大問題だ。

澤田 それは人の問題ではないと。

澤 例えば、本来なら、バックフィットとして行う基準適合検査をするプロセスを、炉規制法に政省令に委ねると書き、さらに政省令で明確に法令化していくことが当然の行政手続きだ。しかし、改正炉規制法にはそうした規定がなく、規制委員会の胸先三寸で決められることになっている。

澤田 それは制度的欠陥ということか。

澤 そうだ。だから規制委員会の個別の案件処理に文句を言ったり、委員を替えろとか言うのではなく、炉規制法自体どうあるべきかを、原子力の利活用推進の観点も含めて抜本的に審議したうえで改正をすべきだというのが私の考えだ。

これまでの規制機関の活動は、瑣末なミスを探すような審査・検査が多く、技術のイノベーションを促進する発想がなかったと言われている。一般には見えない規制活動のそれまでの実態と結果をきちんと分析しないままに、新安全基準の厳しさだけを強調すれば世間的な納得が得られると規制委員会が考えているとしたら、それは大きな判断ミスだろう。原子力技術が継承されるだけではなく、リスク概念が正しく理解され、そのリスクを総合的に低減するにはどのような許認可基準やプロセスが効率的・効果的なのか、さらに審査・検査を実施する規制機関の人材にどのような思考方法や行動原理を学ばせるべきなのかなど、規制委員会が取り組まなければならない本質的な問題は山積している。

澤田 それは随分本質的かつ深刻な問題ですねえ。

澤 例えば、バックフィットの基準適合の認可の件は、田中委員長私案が3月に規制委員会に出たが、そ

それを正式にはどう扱うことになったのか、私は議事録では見つけられなかった。その後、6月にでた国会への年次報告に「決定した」と書いてあったので、正式決定したのかと知ったのだが、その間どういうふうに文書化され、どのように法令上の位置づけを得たのかという意思決定プロセスが極めて不透明だ。「私案」とされた文書から、「私案」という文言が取り除かれたものへと修正された正式文書は、今はいったいどこにあるのだろうか。

笑い話にもなったが、設置変更許可等の申請を持って各社が初日にたくさん並んだ場合にはどうするのかというような細かいことが全く決まっていなかったことは皆よく知っている。破碎帯の評価会合の進め方でも、議論の進め方が乱暴だったとの批判が出ているが、原子力安全のような非常に重大な問題であるからこそ、その場の裁量で物事の処理をすべきではなく、きちんとした行政手続きを整備しておかなくてはならない。規制委員会発足後、すぐに取りかかるべきはこうしたことだったにもかかわらず、その点がおろそかになっていたと言わざるをえない。

澤田 根っこのところが極めて曖昧だと。行政手続上も不透明になる必然性がある。素人民主党政権のなせる技ですね。法制化のプロセスの見直しが必要ということか。

澤 民主党時代のストレステストや、浜岡を停止させた法的根拠もどこにもなく、こうした恣意的なやり方が原子力行政そのものに対する国民の信頼を喪失させた原因になっている。新たな規制機関として設立された規制委員会は、その反省に立って、法的なデュープロセスにもっとセンシティブになるべきだと思う。



「今は明確な原子力政策というものは存在しないに等しい。だからこそ、経済や安全保障論、外交など幅広い専門家や有識者を集めてラウンドテーブルや賢人会議のような場を作り、広い視野で検討していくべきだ」(澤)

## 国が原子力を本気で進める決意を示すべき

澤田 そのためにはどこが動けばいいか。

澤 政治的には自民党、内閣では原子力委員会がその役割を担うべきなのだろう。けれども原子力委員会は、今やその存在自体が風前の灯になっている。

澤田 見直すための有識者会合が始まった。

澤 原子力の振興と規制は5対5にすべきなのに、今は2対8くらいにしようとしている。だから、大綱も長計もなくなりつつある。原子力を国の政策として位置づける場所や主体がなくなってしまった。

澤田 なぜ、なくなってしまったのか。

澤 福島原発事故の後、ヒステリアの状態になって規制の部分だけが肥大化したからではないだろうか。日本にとって原子力は本当に必要なかどうかということ再度、国の意思として決めなければいけない。例えば1950年代の日本には、核兵器には強く反対するけれども、被爆国であるがゆえに原子力を平和利用する使命と権利は、他国に優先して持つべきだという国論があった。そのうえ原子力技術に対しては夢と期待があり、資金や人材を投じようとする国の意志があった。

それがだんだんと、風化してくる。1980年代半ばごろまでは、原産会議が官民一体性をとても強調していたし、新規立地にしても国の関与が大きかった。けれども、原子力立地が軌道に乗り始めると、国の関与はしだいに弱まるとともに、国として持つべき技術だという根本的な認識が薄れ始めたように思う。一方、原子力コミュニティの責任者のほうも、国のエネルギー政策を支えているという誇りが強く、国の原子力に対するコミットメントの微妙な変化に気づきにくかったのかもしれない。政治のレベルで定期的に原子力の特別性について、国のコミットメントを再確認していなかったとは言わないが、それがだんだんと形式的になり、形骸化しつつあったのではないだろうか。

90年代に入ると日本の産業の国際競争力を高めるために、高止まっていた電気料金の低廉化をめざし、電力の自由化が進められることになる。しかし、巨額のファイナンスが必要となり、かつ安定的な需要の伸びを前提としてベースロード電源として開発される原子力発電と、それらの前提を反転させる可能性がある電力自由化とは二律背反的なところがある。

澤田 再処理経費が19兆円という文書が出て、原子力に対する自由化の揺さぶりがかかった。

澤 競争原理を導入することによって電気を低廉にするべきだという世論の中で、原子力を軸として9電力体制が維持されることについては、電力ユーザーや構造改革を進める政府内部には批判的な見方があったことは事実だ。原子力も公益電源ではなく、競争電源にすべきだという考え方だ。一方で、原子力コミュニティの側には、エネルギー自給率の低い日本が原子力をやめるなど



ということは考えられないというある種の思い込みがあり、原子力が競争電源の一つになるなどありえない、という考え方が広く流布していた(今もだが)。そのことが原子力コミュニティの内部の人たちと外部の人たちとの温度差を作り出していたのだが、福島第一原発事故が引き金になって、そうしたマグマが噴き出した感じだ。

澤田 でも、ムラの人はそれをわかっていない。話を戻す。原子力委員会の役割を見直す有識者会合が立ち上がり、近い将来に見直し案を出すべく動き始めたが。

澤 将来はどこが原子力を振興することを担うのか。その政策を決定する場をなくしてはいけない。仮に原子力委員会を廃止する場合には、原子力推進行政の要を担う別の主体がぜひとも必要だと思う。3.11以降、原子力は政策的意義づけがブレにブレたため、いま明確な原子力政策というもの存在しないに等しい状況だ。だから、今こそ経済や安全保障論、外交など幅広い専門家や有識者を集めてラウンドテーブルや賢人会議のような場を作り、前の原子力委員会のレベルよりも広い視野で検討していくべきだ。

#### 国の支援なしにファイナンスは成立しない

澤田 核心部分に入ります。原子力をこれからどうするか。電力自由化や規制緩和があり、さらには総括原価方式をやめざるを得なくなるかもしれない。一方で40年たったような旧式のを捨てて、最新型で安全性が高く、比較的成本が安いものを実現していくためには、資金が必要になる。しかし今は、電力の内部留保もほとんどなくなっている。国策民営のような形も、実態として薄れている。民間ファイナンスしか道はなくなるかも。しかし、ファイナンスなんてできるのですか。

澤 政策当局もその点には気づいてきているので、これからどうやって整合的に進めていくかは議論されることにはなると思う。ただし、個人的な考えでは、リプレースや新設がなければ、この問題は解決しないと思う。仮にリプレースが、政治的・行政的に認められたとしても、次にファイナンスの問題がでてくる。フロントエンドである軽水炉の発電ビジネスは、民間金融市場から投資や融資が行われるような状況になっていなければならない。一方で廃炉やバックエンド、再処理については、それぞれの段階で深さは異なるとしても、国の関与が相当入らないとやれないと思う。

澤田 原子炉システムを含むフロントの方は民間によるファイナンスが可能だと。

澤 むしろ、可能にすべきだということ。そのためには原子力のビジネスが抱えるリスクを計算可能な状態にしないとファイナンスは成り立たない。例えば、現行の原子力損害賠償制度のように、事故に対しては原子力事業者が無限責任であるとする、金融機関にとっては原子力を引き受けるリスクが大きすぎるかもしれない。ま

たそれをカバーするための保険も、とても民間保険会社の引き受けによるだけではできない。それを考えると、例えば政府が債務保証や引取価格保証制度の導入等によって、リスクを分担することが必要だ。また、事故損害については電力会社が払えなくなる分については、国が補償するというリスクヘッジを制度化せざるをえない。今の原賠支援機構は、一定程度、すでにその形にはなっているが、政府は原子力事業者にキャッシュフローを補填しているに過ぎず、問題の抜本的な解決にはなっていない。こうした現行制度の改革も含め、原子力の事故が起こった時の規模に合わせて、原子力損害賠償制度を再整備し、事故による財務リスクの外延を同定できるようにしていくことが必要になってくる。これまではサイトや炉ごとの安全度の相違ということは「ない」ものと扱われてきたが、今後のリスク評価は財務的にも、安全的にも差別化の方向に向かっていくことは必至だろう。

澤田 個別リスクの洗い出しは、やらなければいけないですね。

澤 なぜこれまでそれを出さなかったのでしょうか。

澤田 これまでは護送船団方式で、型式認定と立地審査のセットで進めてきた。電事連的な体制のなかでは、差別化の文化が育たなかった。それが3.11で根底から破綻した。いい例は、女川、福島第二、東海第2の各原子力発電所の成功事例です。しかし、失敗と成功を相互俯瞰した上での巧い復元方法がいまだに見いだせておらず、沸騰水型よりは加圧水型なら安全っぽい的な貧相な状況にある

澤 東京電力を見たらわかるように原賠法上、国の安全基準に適合していたからといって賠償責任は逃れられない。すなわち、無過失責任。だから国(炉規制法)の安全基準は、原子炉を運転することが認められるための最低基準、つまり必要条件であって十分条件ではない。その認識が広がれば、必要条件をクリアしたところから本当の安全対策が始まるという意識になるのではないか。例えば地盤やサイトの形状が異なるなら、それに応じた異なる対策があってもしかるべきだし、人の訓練の仕方も異なって当然だろう。事業者が、その違いをより安全の方向に向かって競争するという仕組みにしていけないといけな。こうした安全競争をせざるをえない仕組みがビルトインされているということが社会に対する説明をより説得的にするのだから、民間によるファイナンス、そしてそれをバックアップする国の保証も付きやすくなるだろう。

澤田 まっとうな競争が安全文化を高める。

澤 自由化の流れの中で総括原価方式を全部廃止して、国策に位置づけられてきた原子力を競争電源にするのであれば、原子力よりもエネルギー政策的にも温暖化政策的にも力不足な再生可能エネルギーに対するフィー

ドインタリフ<sup>a</sup>は見直す必要がある。あれこそが、究極の総括原価だからだ。

澤田 その言葉が欲しかった。

澤 原子力については国が、そして政治が、日本の国力や国益にとって、あるいは地域振興にとって特別に必要なものであるということを認めるかどうかをもう一度再確認しなければならない。その政治的な意思とスピリットがあって初めてさまざまな原子力事業環境整備のための制度設計ができる。

澤田 今後のリプレースなどを考えた場合、民間からのファイナンスしかなく、総括原価方式も捨てなければいけないと。

澤 今の財政状況を考えるならば、民間がファイナンスしなければならない。そういう中で民の金を引っ張ってくる時に原子力のリスクに応じて、国が間接的支援をするという形をとらなければいけない。

澤田 現状において原賠法の最大の問題というのは何ですか。

澤 金融機関や資本市場がリスクをテイクできるような仕組みにしておかなければならないのに、今はそうになっていないことだ。つまり抜本的な制度改革としては、事業者の無限責任を有限責任にし、残る部分を国が補償する仕組みにすることだが、そこに政治的コンセンサスが成立するかどうか、厳しいハードルが待ち構える。現状の原賠支援機構の仕組みであっても、過渡的には原子力のファイナンスを支えることは可能かもしれないので、そこで妥協しようという関係者も現れるだろう。しかし、それでは抜本的な解決にはならない。

澤田 結局、政権の腹が決まらないとだめだということだけど、腹が決まりそうにない。どうすればいいんですか。

澤 まずは官僚が案をつくって、政治を動かしていくということしかない。原子力についての政策体系をもう一度つくり直すということだ。

澤田 それをやるのはエネ庁ですか。

澤 エネ庁ももちろん重要な主体だが、もっと強力な体制としては、例えば内閣官房に原子力問題解決チームのようなものをつくって原案をつくらせてもいいと思う。本来なら、原子力委員会にその役割を担ってもらいたいところだ。一方で自民党側に、そのカウンターパートになる「原子力問題調査会」のような原子力に特化した格の高い組織を設置してもらい、その2つが相談しながら未来像をつくっていく。現在の総合資源エネルギー調査会(自民党側は資源・エネルギー戦略調査会)がエネルギー基本計画原案を策定する中で、原子力政策の基本方針を策定し、それを受けて官邸に、内閣官房にそういうチームをつくるという決定をしてもらうという順番にな

<sup>a</sup> エネルギーの買取価格(タリフ)を法律により定めることで、その設備の普及を助成する制度。

るのが現実的だが。

澤田 今は全く、そんな動きはない。

澤 そう。ただ一方で東電は、柏崎を動かせないと早晚特別総合事業計画を見直さなければならなくなる。この東電問題が、フロントエンド側の考える引き金になるだろう。また原電の敦賀発電所の決着がどうなるかも重要なポイントだ。バックエンド側では、日本原燃が12月以降いつ再処理事業を開始できるかが核燃料サイクル政策のポイントになってくるが、最終処分や廃炉の問題も含めて、核燃料サイクル政策全体の在り方についての議論もそろそろ始めなければならない。エネルギー基本計画の見直しの中ですが、11月ごろには核燃料サイクル政策に対する基本的な考え方の骨格が見えていると思うが、少なくとも、核燃料サイクル政策は民主党政権時のブレをただして、継続してきちんとやるということを確認する必要がある。青森県やアメリカにも十分説明をしつつ、まずその点を原子力政策の基盤として固めるということが必要になる。

そのときに、原子力コミュニティの人々がどのような意見を述べるのか、福島第一原発以降、自らの意識がどう変化したのか、どのように原子力を社会の中に位置づけていくのがいいと考えているのか、こうしたことを新たな視点とロジックで表明していく必要がある。先に触れたように、「日本は、エネルギー自給率が4%でしかなく、原子力が不要だなどと考えられるはずもない」とだけ強調するような素朴な議論はむしろ逆効果になるだろう。そのような言い方は、自らの世界に閉じた発想でしかない。核燃料サイクルの再確認にとどまらず、原子力政策の総合的解決案を実現することは政治的には極めて困難であり、今のこの安定政権の時であっても、一步一步慎重にやらなければならない。何かを訴求していく際には、反対派の人たちが主張している点も含め相当いろいろな視点から分析したが、それでも原子力を維持することにはこうした政治的・経済的・社会的意義があるということ、謙抑的に議論する方が信頼度は高くなるだろう。

### ムラは内外の新たな視点を取り入れるべき

澤田 原子力ムラは孤立していて、中華思想を持っている。技術の新陳代謝のためには人材育成が重要だが、従来型のムラの意識をもった人をつくろうとしているにすぎない。澤さんにはどう見えていますか？

澤 原子炉系システム中心の発想から、発電所運営や原子力発電事業の展開を中心とした考え方に変えないとだめなのではないか。土木にしても電気にしても、プラント運営に必要な学問や人材、あるいは福島で活躍した人の9割9分は原子炉工学とは関係ない人だろう。人材育成を考える時には、狭い分野での育成に特化しない方がいい。今の原子力発電所の保安の現状を、別の産業界

のプロフェッショナル、例えば化学産業や鉄鋼産業の現場の保安責任者の目からみると、まだまだいっぱいやることのあるのではないかと。

澤田 電力会社の原子力部門というのは、企業の中でも、事業者の中でも非常に特殊な部門らしい。その特殊性にひそむ独善性はなくしていかなければならない。

澤 しかし、本人たちは自分を特殊だという自己認識はないだろう。例えば昔の大学病院では、胃がんで第一外科に入院した人がたまたまのどが痛くなって扁桃腺炎になった。そうすると、第一外科の胃がんを治した人がルゴールを塗っているみたいな世界があった。原子力の世界も似たようなことはないか。

つまり、自分のところで1回起こったトラブルは、そこで違うトラブルが起こっても、例えば土木の世界トップレベルの人がいないと解決しないというところでも、原子力部門内にいる土木の人たちに頑張らせることによって問題を解決しようとし過ぎているのではないかと。クローズドイノベーションスタイルなので、そこで起こるトラブルについても「大したことがない」のであれば出たくないということがデータ改ざんやするようにつながっていく。このやり方は当初は自分たちで直せるという自信だったのだろうが、実は単に外のプロに見せる自信がないことの表れだったとするならば、病根は深い。

澤田 今の若手の人材育成は、エリート教育になっている。ムラの中でいろいろな経験をさせようという方向にはいつているけれども、その程度。だから、ファイナンスなどの話は関心がない。

澤 少なくとも技術面では、日本に原子力が導入されたり、増設が盛んだったころの設計や建設などに携わっていた時代の人がヘッドになっている。しかし、今や実際の現場の中心は運転管理のほうに移っている。そうした変化にきちんと対応できているか。運転管理しかやったことがない若手に対してこんなことも知らないのかと、昔幅広い経験ができた時代の人が嘆いたとしても問題は解決しない。そうした時代変化に適切に対応した人材育成プログラムを考えることが必要だということなのだと思う。また他の世界の人、例えばトヨタの工場管理をやっている人に原子力発電所の運転管理を見てもらえば必ず役に立つ知見が得られる。原発を担っている人々には、外からは味方か反対派(敵)としか見えていない時代が長かったからか、そのような発想が浮かばない。

原子力分野の原子炉主任技術者は他産業の技師長クラスで緊密な交流をしてはどうだろうか。そうすれば、基本思想を変えようとか設計ベースをこういうふうに変えようとか、保全業務はこうすると効果的なのかなどという気づきがあるに違いない。

澤田 原子炉は70年前にフェルミが人類最初の原子炉CP-1(シカゴパイル-1)を作ってから、核分裂エネルギーを取り出すシステムは、工学的にはほとんど変わっ

ていない。そんな中で、少しだけ変わる方向を示したのが、ビル・ゲイツらの進行波原子炉(TransWave Reactor: TWR)です。原子炉もコンピュータでいうと、ノイマン型のコンピュータをいまだに使っているようなもの。イノベーションが実用化できていない。

澤 コンピュータは単体ではそれほど変わらなくても、ネットワークと連動して使うことで生き返っている。特にプラントのエンジニアリングとしては、そのあたりに改善の余地があると思う。

澤田 「技官の壁」の話に入ります。4年ほど前に、川口順子さんに日本軍縮学会でお会いした時に名刺を出したら「あ、技官ですか」と言われ、技官と事務官というカテゴリーを認識した。原子力分野では、東大や京大はじめ旧国立大や一部私大の工学系、理学系の、いわゆる技官系の人たちが、炉工学的な部分やその周辺を支えている。3.11に福島の事故が起こって以降、原子力ムラの欠陥が厳しく指弾された。そこには技官の壁があり、外の世界との交流ができない、あるいはそういう視点を持っていないところがある。「ATOMOS」誌は「離見の見」というのを理念に、自らの姿をちゃんと鏡に映してみてもそこから考え直そうということで編集をやっている。原子力ムラは、極論すれば技官の壁のようなものがあって、それを打ち破れないところがある。

澤 例えば東大の総長は、どういう属性の人がやるべきか。つまりマネジメントと専門家としてのリスペクトを受ける人という両面があることがベストだけれども、それをリアルな世界で探そうと思ってもそうそういない。技官の壁と同様に事務官の壁もあり、お互いにコミュニティには入れない。

原子力はプラントであり、既に要素技術の集合体ではない。だから要素技術がシステムとして動くように、か



「原子力ムラには、技官の壁のようなものがある。その独善性に自らが気づいていない」(澤田)



つ商業的に動かさなければいけない。そこでは、今言った両方の要素がうまく組み合わせられないといけない。

ところが、技官のコミュニティが事務官的な仕事も兼ねてやれるかという、それは生産的ではない。むしろ分業体制の中で、技術系と事務系をどう組み合わせるかというマネジメントが大切だと思う。それを体系的に、組織マネジメントを考えるときの分析のベースにしようということが、今まではあまりなかった。

### 「ウイングを広げていく」

澤田 トヨタは、それをやっているんですか。

澤 トヨタに限らず成功している企業や事業は、今はそれがうまく回っている。さらに、それを随時見直している。一方で原子力分野では、技術系の人たちが、事務系の人たちを低く見ていたのかもしれないし、技術系の中でも炉工学以外のところがセカンドレイヤー、サードレイヤーだという暗黙の序列みたいなものがあつたのではないか。あるいは電力会社と協力会社の関係のマネジメントにも巧拙があつたのではないか。協力会社もつ現場のノウハウが、発電所を運営する電力会社に蓄積する、あるいは電力会社本体の社員の身にも付くようにマネジメントされていたか。こうした長年にわたって形成されてきた構造やマインドセットを変革することは極めて難しい課題だが、原子力を維持していくためにはチャレンジしなければならない。それを体系立てて考えて、どう直せばいいかということ、原子力学会で考えてはどうか。原子力学会は、例えばプラントエンジニアリング、リスクコミュニケーション、ファイナンスなど異分野の人を含めて、原子力のことを広く考えるような、ウイングを広げていくような問題意識で取り組まないと。どんどん要素に分けるような形での分科会の構成になっていくとますます総合的なリスク評価能力を養ったり、原子力を他の分野との比較で相対的に見る視点を身につける可能性がなくなっていったりする懸念がある。この「ATOMOS」には、そうした学際的・業際的なトライをする発想があると聞いている。

澤田 「ATOMOS」は原子力学会の中でも、少し異色なんです。

澤 繰り返しになるが、違う業界の違う視点を積極的に入れていくべきだと思う。技術分野では、産業保安が一番向いているのではないか。例えば、別の業界の技術者の人に、原子力発電所や核燃料サイクル関連施設を見学して外部視点からみた改善点をレポートにしてもらい、それを参考にして対策を検討する、などの方法だ。多分、日本版 NEI の構想がこれから出てくるので、そのときの学会の関わり方を、例えばアメリカの事例をもとに調べておいた方がいいと思う。

澤田 原子力学会の若手、これからの原子力を担っていく人たちに対して一言。

澤 シニアの一番志の強かった時代の人と同じような能力とパッションを持っている若い人に入ってきてほしい。そのためには、原子力の技術体系がチャレンジするに価値があるということを示すことが必要だ。けれども、運転管理や廃炉だけに特化するようでは、そういう芽がなさそうに見える。だから、将来リプレースや新設があることを想定して、もし自分がプラントをつくとしたら、ここの設計思想にこういう改善を加えたいとか、あるいは新しい炉型、新しい原子力発電所システムやバックエンド・プラントを構想してほしい。

澤田 それは第4世代原子力システムの研究などで、ある程度動いている。ただし、それをやっている人も、ほとんどシニアに近いか中堅以上の人です。

澤 澤田さんも原子力の草創期の、事態が混沌としている中で、自分の役割が限定されなくていろいろなことができた時代から始まったのですよね。

澤田 私は草創期ではない。実はそういう草創期シニアしかいまだに残っていないというのが問題です。JAEA の理事長になった松浦祥次郎さんもそういう人で、その次の世代のリーダーがほとんどいない。

澤 それはどこかで意図的に養成しないとできないでしょう。例えば外国での建設現場を経験させるとか。

澤田 国際展開というのはまさにそういう意図があります。

澤 原子力分野でのさまざまな能力を学会で認定する仕組みがあればと思う。例えばシビアアクシデント対策のプロなど。各分野の有意義な仕事のかたまりを取り出して資格とし、それを認定して処遇にも反映し、教育もしやすくするというようなことを、学会ベースで考えるということも有意義だ。また、安全確保に関わるような基礎的な部分は、常に最新の技術や知見にアップデートされている必要があるのに、それがなされていない人が多いのではないか。これは若い人だけでなく、シニアの人も含めて。

澤田 それは確かに当たっている。自分の研究分野ではいろいろ新しいことをやっているつもりなのかもしれないけれども、他分野の動向、とりわけ最新動向についてはうとい。

澤 そういう知恵が有効に集まることで、原子力発電所が安全に運営されているという信頼性が高まる。各分野の英知が集まってきているわけだから、それを目いっぱいリカレント(再教育)して、統合していく工夫が求められる。そして原子力の信頼回復には、そうした人たちが施設を安全に運転・運営する実績を再度積んでいくことこそが一番の薬となると思う。

澤田 ありがとうございます。

(2013年8月1日実施、編集協力：佐田 務、齋藤 隆)



## 福島復興本社の取り組み 福島の発展的な復興に向けて



石崎 芳行 (いしざき・よしゆき)

東京電力(株) 副社長、福島復興本社代表  
慶應義塾大学法学部卒、東京電力入社。広報  
部長、福島第二原子力発電所長、福島原子力  
被災者支援対策本部副本部長を経て今年から  
現職。原子力・立木本部副本部長を兼ねる。

### はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故から2年5ヶ月余りが経過し、今なお、発電所周辺地域をはじめとした福島県の皆さま、広く社会の皆さまに大変なご迷惑とご心配をおかけしておりますことを、改めて心より深くお詫び申し上げます。

また、事故以来、日本原子力学会の皆さまが、大変厳しい世論の中においても、原子力施設の安全性、信頼性の維持・向上のための活動など継続的に取り組んでいたことに、心より感謝申し上げます。

「福島復興本社」は、東京電力として福島への責任を全うするため、賠償・除染・復興推進といった復興関連業務を統括し、「福島に寄り添う」をモットーに2013年1月1日に設立いたしました。双葉郡にあるJヴィレッジに復興本社を置き、福島県内を中心に配置した賠償・除染・復興の拠点と、従来から福島県内にある事業所が、福島の復興に向け一体となって取り組んでいく体制をとっています。私は復興本社代表として双葉郡のJヴィレッジに常駐し、福島復興の全体指揮を執っています。

設立以降、私自身、県内59市町村全てを訪問させていただき、事故のお詫びをするとともに、復興に向けた取り組みへの様々なご意見を伺ってまいりましたが、県内各地でいろいろな方と話をすればするほど、各地の現状を目の当たりにすればするほど、原子力事故の影響が広く、深く、かつ複雑なことを改めて痛感し、自分自身の使命感に気合いを入れ直しています。

### 復興本社における主な取り組み

#### (1) 原子力損害賠償

事故以降、多くの方が避難生活を余儀なくされており、避難区域に指定された地域へのご帰宅はいまだ実現していません。当社は、原子力事故で被災された方々のために、あらゆる手段を総動員し、責任に正面から向き合い、賠償を進めなくてはなりません。

そのため、賠償の実施にあたっては「5つのお約束(迅速な賠償、きめ細やかな賠償、和解仲裁案尊重、親切的書類、誠実なご要望への対応)」を掲げ、現在では、県内5拠点と東北仙台に事務所を設置し、さらには東京電力本体の各事業所にも体制を整備し、全体で約1万人の体制で賠償業務にあたっています。

これまでの賠償経緯を簡単に説明しますと、まず事故翌月の2011年4月に当面の生活資金としての賠償金「仮払い」を開始、同年9月には「本賠償」の受付を開始しました。また、2012年3月からは「自主的避難」に関する賠償を開始。そして、ようやく本年3月より、生活再建の礎である「宅地・建物・家財」の賠償を開始することができたところです。これまでの賠償金のお支払い総額は約2兆7千億円超で、お支払い件数では、個人様約40万件、自主的避難等約128万件となっています。

今後は、まだ本賠償のご請求を頂いていない方々に対して、ダイレクトメールでご案内する等の対策を講じるとともに、農地・山林等、賠償の受付を開始できていない項目についてできる限り早期にお支払いが実施できるよう努めてまいります。これからも、常に被害にあわれた皆さまの立場に寄り添って、賠償をやり遂げる決意です。

#### (2) 除染

除染は「放射性物質汚染対処特別措置法」に基づき、国又は市町村が主体となって、汚染状況を調査し、除染の計画を策定し展開されていますが、当社は事故当事者として、避難されている皆さまの早期のご帰還、福島の皆さまの安心につながるよう、国・市町村の除染にも要員の派遣等を行っています。具体的には、環境省から「除染活動推進員」として委嘱を受けた職員を中心に、各種モニタリング調査や国・市町村の除染実施計画策定、除染関連事業の発注業務等への対応を実施しており、発足以降7月までで延べ約15,000人が活動しています。

最近の活動例としては、福島県大玉村の学校施設の簡易除染や農林水産省からのご要請に基づく南相馬市・檜

葉町「穀物乾燥調整保管施設」のモニタリング等を実施しています。大玉村では、当社社員による中学校中庭の簡易除染を実施し、作業の結果、 $0.3 \sim 0.4 \mu\text{Sv/h}$ 程度であった空間線量を、その半分程度に低減させることができました。また「穀物乾燥調整保管施設」のモニタリングは、建物内外の空間線量、設備の表面汚染状況、汚染経路等を詳細に調査することで、施設再稼働の条件整備を図るものです。こうした活動を通じ、関係各団体との連携を図り、地域の営農再開に向けた活動のお役に立ちたいと思っています。さらに、地域の復興に欠かせない鉄道や道路など社会インフラ整備にも、人的・技術的な協力を継続してまいります。

今後の課題としては、福島復興につながる営農再開に向けた技術面での貢献、除染の進展により増加する廃棄物の仮置き場の確保及び減容化、安心につながる正確な個人線量の把握等が挙げられます。各課題の解決に向けた技術開発及び土壌のセシウム固定や植物の吸収分析等の研究が専門機関、大学等で取り組まれています。こうした機関との連携も積極的に図っていく所存です。

また、地域のご要望に応えるべく発足時100名の要員を300名規模に強化し、福島県の復興と県民の皆さまの安心につながる諸活動に全力で取り組んでまいります。

### (3) 復興推進

復興推進に関する取り組みは、家屋内の清掃・片付け、がれき撤去、仮設住宅の雪かき、墓地の除草・清掃、小中学校の移転、仮設住宅等での介護講習会実施等、関係自治体さまとご相談のうえ、ご要望に沿った形での活動を継続しています。

最近の活動としては、浪江町や富岡町の図書館における、地震で書棚が倒れ散乱してしまった書物の片付け、楢葉中学校の旧校舎解体に伴う教育資機材の搬出等が挙げられます。また、7月はお盆前ということもあり、神社や墓地の除草・清掃に力を入れて取り組みました。避難指示が続いている地域の墓地は、地震で倒壊した墓石がそのまま、雑草が生い茂っております。避難区域の見直しによりお墓参りができるようになった地域については、少しでもお参りしやすくなればと、多くの社員が汗を流しました。先祖代々大切にされてきたお墓を守っていくことができない状況をつくってしまった現実を目のあたりにし、携わった社員たちは、気持ちを引き締め、福島復興への思いをより強くしております。

これまで延べ2万人超の社員がこうした取り組みをさせていただいていますが、より地域のご要望に応えるため、役員も含めて全社員が復興推進活動に取り組むことで、年間延べ10万人の社員を派遣できる体制を確立していきます。

## 全社的な取り組み

浜通り地方を中心とした地域の経済復興や雇用回復に

ついては、地域からのご要望によく耳を傾けるとともに、復興庁など関係省庁とも連携を密にして進めています。今後、当社としては、世界最新鋭の石炭火力の建設、Jヴィレッジを核とした地域の復興、労務関係業務の福島浜通りへ移転等を進め、雇用創出にも努めてまいります。なお、現在復興本社を置かせていただいているJヴィレッジは数年後にはお返しすることになりますが、それに合わせて復興本社を、より福島第一原子力発電所に近い区域に移転させていくことも予定しています。

来年春からは福島県内の学校からの採用を再開します。県内の高校の先生から「原発事故は許せないが、事故の責任を果たす東京電力に対する地元の期待は大きく、東京電力を後押しすることで、故郷を復興したいと考える学生もいる」と聞き、採用再開を決めた次第です。県内の若い人たちにタスキを引き継いでもらえるなら、今後の長い道のりに、これほど心強い援軍はないと思っています。

復興の前提となる福島第一原子力発電所の安定化・廃止措置については、最近の度重なる汚染水問題等により、皆さまに大変ご心配をおかけしており申し訳ない限りでございますが、内外の英知を集め早急に対策に取り組んでまいります。合わせて、国際的な研究開発拠点の整備にも力を注ぎ、地域の復興にも寄与してまいります。

## 結びに代えて

当社は(前身時代を含め)、水力開発が主流であった明治期より、福島の皆さまとの信頼関係を築いてきました。しかし、福島第一原子力発電所の事故により、100年来築いてきた信頼関係を壊してしまいました。

福島第一原子力発電所の廃止作業や福島復興には長い時間がかかりますが、将来にわたり、福島に対する責任を果たせなければ、東京電力という会社が存続する意味はないと思っています。

私たちは、福島の皆さまともう一度信頼関係を築けるよう、単に原子力事故以前の状況を取り戻すのではなく、より発展的な福島の創造を目指してまいります。国家的難題を作り出してしまったのは当社ですが、それを解決するのも東京電力であらねばならないと考えています。決して逃げることなく、最後までやり抜く覚悟であります。

最後に、日本原子力学会の皆さまには、米国原子力学会の寄付等を基に、当社原子力発電所で働く社員に温かいご支援を賜り、心より厚く御礼申し上げます。この先、廃止措置等を推進するには、研究開発や中長期視点での人材育成等、原子力に携わる皆さま方のサポートが必要です。引き続きのご指導ご支援をくれぐれもよろしくお願い申し上げます。

(2013年 8月29日記)





## カナダからのエール

### 長崎 晋也 (ながさき・しんや)

マクマスター大学工学部教授  
 東京大学大学院原子力工学専攻修士課程  
 修了。四国電力、東大大学院教授を経て  
 2012年から現職。



著者は1年半前に日本を離れ、以後、日本の原子力に関する話は日本の知人に会ったときに耳にするだけである。そのような限定的な情報と、1年半前までの日本での経験、ならびにこの1年半のカナダでの経験に基づくものであることをお断りしておく。本稿では、5月のゴールデンウィークの後にマクマスター大学の学生7名を引率して、福島市ならびに警戒区域(当時の区分)、日立製作所(日立市)、東京大学原子力国際専攻を訪問した前後以降に感じていることを5つ、順不同に述べさせていただく。

#### 1. 「ムラ」は本当に悪いことなのか

東京電力福島第一原発事故(福島事故)以降、原子力ムラあるいは東大原子力ムラが批判され、その後の事故調査や新しい規制体系整備などでは東大をはじめとしての原子力ははずしが行われたように感じる。カナダの原子力界は日本の東大ムラ以上のマクマスタームラである。しかし学内に批判や嫉妬はない。子供のパパ友などに日本の原子力ムラの説明をした後に、マクマスタームラが形成されていることに懸念はないのかという質問をしたことがあるが、なぜそのような質問をするのか、その趣旨がそもそもまったく理解されなかった。単純に東京大学もマクマスター大学も、学生に将来の原子力の中核を担えるだけの教育を施し、実際に卒業生が中核を担ったというその社会的使命を果たしてきた成果であって、それ以上でもそれ以下でもない。東大原子力をもっと自信をもってそう発言すべきであった。

また、カリフォルニア大学バークレー校(UCB)に Visiting Professor として滞在し、今またマクマスター大学で教鞭をとるものとして、東大はもちろん、日本の原子力教育内容と教育環境のクオリティは高いということは明言できる。このクオリティは世界の共有財産であって、排除の対象であってはならない。問題は、形成されたムラが、周囲に堀や柵をめぐらし、外部との接触を回避するようになったかどうかにある。だとすると、やるべきことは東大はずし、原子力ははずしではなく、中

核を担うに相応しい実力と能力を本当に持っている人材の活用と原子力界の外との切磋琢磨を実践するシステム作りにあるのではないのか。そうでなければ、第2の新しい閉鎖ムラができるだけだと思う。

#### 2. 一宿一飯の恩義

東大原子力や電力会社に少しでも関わったものを原子力政策立案や規制に関わらせないということが、中立性の厳正化につながるという判断があるように見える。一宿一飯の恩義を受けたらきっとその恩義を一生忘れない、だから元の勤務先の会社に甘くなるに違いない、という判断からであろうと推測する。しかしこの考え方は、東大原子力(教員だけではなく卒業生や留学生、現役学生も含めて)や電力会社関係者全員への侮辱以外の何者でもない。政策や規制などに関わる委員各位がどこでどのような発言をし、どのような決定をしたのか、それを社会がいつでも容易にトレースできるようにするとともに、委員就任と任期更新時にオープンで厳正な評価を行うことで、日本原子力界のすべての英知の最適な活用が可能になると考える。ちなみに、カナダ原子力安全委員会委員の方々の中には、カナダ原子力産業界や政府の原子力推進側の官庁で要職を歴任されたことがある方も複数名任命されているが、それによって Ontario Power Generation の原子力発電所の refurbishment<sup>1)</sup>に関するライセンス発行が甘くなったなどと指摘する声は、マスコミからも慎重派の方々からも出ていない。ただし日本では、「四国電力の長崎です」、「東京大学の長崎です」と組織の中の個人という意識が強いため、個人レベル、組織レベル、社会レベルでの意識改革が伴わないといけないのかもしれない。

#### 3. 人材育成は幅広く

グローバルな情報化社会では、大学が若者に提供する魅力が一層重要となっている。世界で一流とされる大学は、世界の優秀な人材を学部を獲得し、いかに優れた「人財」として国内外の広い社会に送り出すか、すなわち

いかに自らの大学教育に普遍的価値のある魅力を持たせ、多くの分野の、様々な国の、そして世界のリーダーになるような卒業生を送り出すかに努力をしている。世界中に送り出す卒業生を通して、大学のそしてその国の信用を構築している。日本の原子力系の大学院を志願する学生が昨年は大きく減少したと聞く。この傾向が今後も続くのか、揺り戻しがあるのかは著者にはわからないが、世界を見渡すと多くの学生が原子力界を目指している。実際、マクマスター大学でも大学院への門は狭く(競争率は5倍を超える)、UCBのAhn教授によればUCBの原子力工学科では昨年は学部・大学院ともに競争率は10倍を超えたそうである。お世辞にもカナダの小学校から高校までの公立学校の教育レベルは高いとは言えない、はっきり言って日本の方が圧倒的に高い。またたとえば、15歳の子供を対象としたPISA調査<sup>2)</sup>ではアメリカはOECD加盟国の中でも決して上位にないことは周知の通りである。しかしThe Times Higher Education<sup>3)</sup>で上位100位までに入るカナダ(人口はわずかに3千万人)やアメリカの大学の数と日本の大学の数の違いはどこからくと読者は考えるだろうか。

日本には事故炉の廃止措置やそこでの保障措置・核物質防護、環境修復や放射性廃棄物処分、極低レベル慢性被ばく影響や避難住民の方々の様々な意味でのケアなど、総合工学に相応しい原子力工学の最先端の現場がある。5月のマクマスター大学生の日本訪問は、1人30万円相当の負担であった。1名は全額自己負担。6名は、10万円を指導教員から支援され、10万円を渡航助成に申請し、10万円を自己負担した。最先端の現場は、将来の世界の原子力界の中核になろうという若者にはそれほどまでに魅力的である。世界の原子力教育の貴重な財産としたい。

学生引率の目的の1つは、1人でも良いから将来の知日派・親日派になるきっかけをと思ったためであり、1人の取りこぼしもしたくなかったことから、10万円の渡航助成申請が不採択になった場合を心配し、日本に何か助成システムはないかと昔から原子力を所掌している役所と最近所掌することになった役所に問い合わせたところ、「外国人に使う金はない」、「そのような小さいことで本省は動いていない」と言われた。その反面、IAEAの事務所から何まで日本の国税で全額面倒を見て開設と聞く。ヒラリー・クリントン前アメリカ國務長官は、留学生は国益の要の1つであると言った。下品な表現だが、耳障りの良いことしか言わない一方、実力は二流で、金の切れ目が縁の切れ目のような外国籍学者を重宝するのではなく、ときには厳しいことも言うUCBのPigford教授のような本物の知日派・親日派の育成も日本人の育成と同程度に重要であること、そして福島事故の後には、日本の原子力界はPigford教授のような本物の知日派・親日派がいなくなっていることに気付いたと

思ったのだが、どうも著者の勘違いであったらしい。ちなみに、7名のうち1名の学生が日本の原子力メーカーへの就職も考えたいと言ってくるなど著者としては5月の引率は成功であった。

#### 4. 見捨てないという意識

今の我が家の最大の課題は、6歳の子供の日本語教育である。日本語勉強のモチベーションを与えるため、自宅では日本語でなら漫画とアニメのDVD鑑賞を許可している。その結果、宇宙戦艦ヤマト2199と機動戦士ガンダムにはまっている。その両方で、「自分たちは見捨てられていない、必ず仲間が助けに来てくれる」と思えることの重要性が説かれる場面がある。福島事故により避難を余儀なくされている方々のことを、原子力関係者は常に意識していく必要がある。賠償を求めての提訴や判決のときだけ紙面に登場し、「またやってる」、「まだやっていたんだ」とならないようにしなければならない。まだ事故後2年半しか経過していない今なら、綺麗事も言える。熊本県の水俣病は最初の患者さんの公式発見から60年が経過した。熊本市出身の学生にとっても遠い存在になっていた。福島事故の後始末は、事故炉の廃棄物最終処分なども考えると22世紀まで続く。どうすればずっと意識し続けられるのか、今から考えておかなければならない。

#### 5. リーダーシップ

宋文洲氏によると、偽リーダーの特徴は、(1)私用なのに会社の経費を使う、(2)自分の給料だけが他のメンバーより格別に高い、(3)責任を転嫁する、(4)高邁なことをよく言う、(5)変化を叫ぶリーダーは変化しない、(6)強気一辺倒のリーダーは弱い、(7)完璧を求める人はリーダーではない、(8)贅沢が好きな人はリーダーではない、だそう<sup>4)</sup>。マクマスター大学では他の大学に先駆けて、工学部教育の中にリーダーシップの教育を取り入れた。しかし、リーダーシップはアングロサクソンの十八番ではない。日本にも、より高尚な哲学や、美しさ、これは皆のために良いはずだという思いを持ち、野中郁次郎先生の言うphronesis<sup>5)</sup>に裏付けられる意思と実行力があるリーダーとして豊田喜一郎氏、本田宗一郎氏、井深大氏、盛田昭夫氏などがおられた。注目すべきは皆技術者であること。原子力技術者へのエールとしたい。

(2013年 8月2日記)

#### —参考文献—

- 1) <http://www.opg.com/power/nuclear/refurbishment/>
- 2) <http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/>
- 3) <http://www.timeshighereducation.co.uk/>
- 4) <http://www.soubunshu.com/>
- 5) <http://www.globis.jp/1917-2>



## これからのリスクコミュニケーション



西澤真理子 (にしざわ・まりこ)

(株) リテラジャパン代表

上智大学外国学部卒。平成23年度 福島県飯館村 いたて復興村民会議 健康・リスクコミュニケーションアドバイザー。東京大学農学部非常勤講師。専門はリスク政策とリスクコミュニケーション。

海外で日本の技術が信頼を勝ち得ているという話はよく聞かれます。これは何も原子力技術に限ったことではありません。私も先日、ベトナムへ海外出張に行った時、そのことを肌で感じてきました。現地では地下鉄がないため、みなさんバイクを愛用しているのですが、彼らに話を聞いてみると、ヤマハかホンダにしか乗りたくないという声が聞かれました。中国製は安いけれども安定性が悪く、日本製は一種の憧れだそうです。

日本は今、国を挙げて原発の輸出を進めています。輸出先の候補として挙がる東南アジアの国々がこれから発展しようという時に、はたしてハードだけ輸出するのはいいのだろうかとは感じています。技術者の人材教育はもちろん、すでに考えられているでしょうけれども、リスクマネジメントやリスクコミュニケーション(Risk Communication)、それを実践できる人材教育といったソフトの面を総合的にセットにしないと、何かトラブルが起きてしまった場合に、日本の技術への信頼に大きな傷がついてしまいます。何か重大事が起こる可能性は常にゼロではないのですから、これは今から考えておかななくてはいけないことです。

では、国内の原子力利用を見た時に、どれだけソフトの面が充実しているのでしょうか。残念ながら問題点が多くあります。ここでは、私の問題意識に着目して、大きく2つの問題点を挙げます。

一つ目は、技術とマネジメントの分離です。技術の問題とマネジメントの問題は全く別物ですから、日本の原子力技術のレベルが高いからといって、マネジメントがうまくできているとは限りません。両者は切り離して考えなくてはいけないのです。

二つ目は、リスクコミュニケーションという言葉に対する誤解です。特に福島第一原発の事故以来、いろいろなところでリスクコミュニケーションの大切さが説かれるようになりました。専門家の私でさえ、国内でこんなにリスクコミュニケーションという言葉が多用されている状況に戸惑うくらいです。ただ、そうした中で、リス

クコミュニケーションというものがさまざまな場面で勝手に解釈されている印象を受けます。

もともとリスクコミュニケーションという考え方は、アメリカで確立されたものです。それまでもリスク管理やリスク評価の重要性は言われていたのですが、スリーマイル島の事故などが起きて、いかにリスク管理やリスク評価をきちんとしていても、一般向けに正しくその情報が伝えられなければ無意味であるということに気付き始めました。それで、1970年代にリスクコミュニケーションの枠組みがきちんと確立されました。リスク管理やリスク評価だけでなく、リスクコミュニケーションも加えたトライアングルで、リスク分析というものを考える枠組みです。その枠組みが、アメリカ国内で1980年代半ばに普及し始め、1990年代にはヨーロッパに広がりました。ですから、リスクコミュニケーションというものは、もう20年以上も多くの人が研究をしてきた理論であり、いろいろな試行錯誤がなされてきた実践でもあるのです。

その点から今の日本の状況を少し辛口に評価すれば、リスクコミュニケーションという言葉が独り歩きしているように思えるのです。「リスクコミュニケーション」という語感がソフトなのか、非常に簡単に実践できるものだという印象を持っている人が多いのが現状です。私は海外の学会で発表しますし、海外の研究者とも共同研究をしています。そうした中で思うのは、日本国内だけの特異なリスクコミュニケーションを作り上げてはいけないということです。原子力技術に限らず、これから日本の技術が海外に出る時に、グローバルに通用するリスクコミュニケーションができていなければいけないと強く思います。

リスクコミュニケーションの目的もひどく誤解されがちです。「リスクコミュニケーションは何のためにやるのか」ということで、「安全情報を伝えるため」と考えている方が多いのですが、それはリスクコミュニケーションの第一歩にすぎません。その先が重要なのです。さま



ざまな利害関係者と意見交換しながら、相手の価値観や考え方を共有した上で、最終的には信頼関係を作り上げていかなければなりません。「リスクコミュニケーション」という言葉はソフトな語感に思えても、いざ実践するとなると並大抵の努力では済まないのです。

そもそも日本ではリスクコミュニケーションを成功させるのは難しいと私は思います。前提知識としてのリスクとハザードの区別が共有されていないため、リスクについて語ろうとすると必然的に混乱が生じてしまうのです。本来、リスクは定量的なもので、ハザードは定性的なものですから、両者は全くの別物なのですが、日本では「何々にリスクがある」と発表されると、すぐに「何々が危ない」という話になってしまいます。ハザードという質の話ばかりが議論されて、なかなかリスクという量の話に移っていきません。このことは、原子力の分野に限らず、食品や薬品をはじめ、どんなものでも当てはまります。そもそもリスクもハザードも、日本語では「危険」と訳されてしまっていて区別が分からなくなってしまう。この混乱があるため、日本ではリスクコミュニケーションが難しくなっているのです。

リスクコミュニケーションは「社会をよりよくするため」のツールです。社会のためにリスク評価とリスク管理を役立てることがリスクコミュニケーションの目的だと思うのです。ところが、「社会をよりよくするため」という部分を私たちは忘れがちです。ともすれば、自らを正当化したり自己防衛したりするためにリスクコミュニケーションをしているという側面が日本社会では多々あるのではないかと思います。ですから、これから私たちは、技術や利便性を享受しながら、どう社会をよりよくしていくかという視点に立たないといけません。そうしないと、「これだけ対応しておけば十分だろう」というふうに、言い訳としてリスクコミュニケーションが実践されるだけになってしまいます。

リスクコミュニケーションの目的を見誤らないようにするには、「リスクコミュニケーションには常に相手がいる」ということを意識することが重要です。伝える相手を意識するからこそ、分かるよう、そして不安にならないように伝えようとするのです。

福島第一原発事故の時は、緊急時のクライシスコミュニケーションは失敗してしまいました。それで、原子炉の状況が落ち着いた後、リスクコミュニケーションはどうだったかという、それもなかなかうまくいきませんでした。とりあえず放射線の基準値を下げればよいという話に傾いていき、福島の生産者の方々がたいへんな風評被害を受けてしまいました。他にも経済的にも大きな打撃を受けた方々が被災地に多数いました。

リスクコミュニケーションというものは本来、社会をよりよくするために実践されなければならないのに、リスクコミュニケーションが失敗したために、このような理不尽な状況を生み出してしまいました。リスクコミュニケーションの実践について、今の状況で本当によいか考え直す必要があります。平時にできていないことは、緊急時になってもできません。逆に言えば、平時からコツコツと何かできていれば、今回の緊急時にも多少何かできていたのではないかと思います。

一つの考えるヒントとして、先日オーストラリアで開かれた災害マネジメントの学会で印象に残ったことがあります。そこにはアジアの途上国の方々もたくさん来ていて、洪水をはじめさまざまな災害対策の担当者と話ができたのですが、私が感心したのは、彼らが災害を「起こり得るもの」として捉えていることでした。もちろん災害は起こらない方がいいですけれども、「起こらない」と考えて「防ぐ(prevent)」のではなく、「起こり得る」と考えて「管理する(manage)」のです。日本もこうした考え方に移っていかないといけないと強く感じました。災害を「防ぐ」のではなく、どのように「管理する」のか、日本の防災の考え方そのものを切り替えていかなければなりません。本当に日本でそれが受け入れられるのか疑問を持つ方もいますが、それは必然だと私は思っています。

(2013年8月17日記)

#### —参考文献—

- 1) 小島正美, 「メディアを読み解く力」, エネルギーフォーラム新書, 2013, 254p.
- 2) 西澤真理子, 「リスクコミュニケーション入門」, エネルギーフォーラム新書(近刊).
- 3) 西澤真理子, 「リスク評価ハンドブック」, リテラジャパン, 2012, <http://literajapan.com>



# 災害対応ロボットと 運用システムのあり方の提言



浅間 一 (あさま・はじめ)

東京大学大学院工学系研究科 教授  
1984年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986年理化学研究所研究員補。同副主任研究員等を経て、2002年東京大学人工物工学研究センター教授。2009年同大学院工学系研究科教授。工学博士。

## 1. はじめに

2011年3月11日、東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した際には、様々な場面でロボットの投入が求められた。原発事故現場では、これまでに20種類を超えるロボットや遠隔操作機器が導入され、緊急対応や廃炉対策に対して多大な貢献を果たしている<sup>1)</sup>。しかし、原発事故直後、メディアは、日本のロボットが迅速に投入されなかったと報道し、ロボット科学者に責任があると批判した。この批判は、いくつかの点で必ずしも正しいとは言えない。日本製の無人化施工機械は、外国製のロボットより先に活用されていたし、ロボットの配備が遅れた原因は、むしろ実用化や運用の仕組みがなかったことによる部分が大い。

しかし、災害が発生した直後には、必ずしもロボットをスムーズに投入することができなかったこと、過去に開発したロボットが有効に活用できなかったことは事実であり、その反省をするとともに、その教訓から問題点を明らかにし、今後の災害対応に対する備えとして、解決するための方策を考える必要がある。

## 2. 災害対応ロボットの社会実装における課題

福島原発事故対応で導入されたPackbotという米国製のロボットと、Quinceという日本製のロボットを例に取り、災害対応ロボットの社会実装における課題について述べる。Packbotは、米国のiRobot社が開発した製品であり、事故直後に米国から提供され、事故直後の2011年4月中旬に原子炉建屋の内部の調査に活用された、これは軍事用偵察ロボットであるが、アフガニスタンやイラクでの戦争などに使用された実績があり、極めて実用的で、完成したロボットである。米軍は、その研究開発を支援したのみならず、5,000台を調達している。ちなみに、ヨーロッパの原子力用ロボットに関しては、原子力事故などに対応したロボットを備えとして持つことが事業者には義務付けられている。これに基づいて原子力災害用ロボットが常に整備され、訓練も含めて、

非常時には迅速にオペレーションが可能な体制が整えられている。

一方、Quinceは、企業が開発した製品ではなく、研究機関が開発した、いわばプロトタイプである。実用化を目指したNEDOのプロジェクトで開発され、たまたま2011年3月時点で開発がほぼ終了していた状況にあった。原発事故後千葉工大やNEDOが支援を行い、現場のニーズに合わせて研究者が改造を行い、オペレータの訓練も行った上で、福島原発に投入した。これまで日本では、極限作業ロボット<sup>2)</sup>や原子力防災支援ロボットなど<sup>3)</sup>の原子力用ロボットが国のプロジェクトによって開発されたが、いずれもプロトタイプ開発にとどまり、実用化がなされていなかった。

原子力事故対応ロボットの社会実装が叶わなかった原子力特有の問題についてはすでに別報で指摘したが<sup>4,5)</sup>、そもそも災害対応一般に関して言うと、災害は頻繁に発生するわけではない。マーケットは限定的で、コストがかかる。すなわち費用対効果が極端に悪い。需要も官需が中心であり、企業が、自主的努力だけで災害対応ロボットを製品化することは難しい。特に、ユーザが調達に消極的になったり、需要が閉ざされてしまえば、企業はたちまちその開発から手を引かざるを得ない。

前述の米国やヨーロッパの例を見ると、国がロボットの需要を作ることによって、企業がビジネスとして参入することを可能にしている。企業は、需要があれば開発を進めることができる。それは、保有技術の高度化、イノベーション、産業競争力の強化、さらには開発に必要な人材の育成といった流れを作る。ヨーロッパのケースも、制度設計を国が行うことによって、間接的であるにせよ、ロボットの需要が作り出されていた。いずれもロボット技術が必要であるとの判断から、企業が参入できるような枠組みが戦略的に作られていた。

日本では、発生頻度の低いリスクは過小に評価されがちで、それに対する備えを構築することが難しい。たまた

にしか生じない災害に対して、備えとして何をなすべきか、どの程度の投資を行うべきかを判断することができない。災害や事故が発生した直後は備えの必要性を誰もが認めても、時間の経過とともに忘れてしまう。このようなことが繰り返されてきたのである。今こそ、備えの必要性を共有するとともに、それを実現するのに必要な投資や制度設計を行う必要がある。また、それを継続して行うための戦略を策定する必要がある。

### 3. 産業競争力懇談会プロジェクトの提言

産業競争力懇談会(COCN)「災害対応ロボットと運用システムのあり方プロジェクト」(平成23～24年度)では、今後の災害対応に備えるために開発が必要となる技術について洗い出すとともに、それを実用化し、いつ災害が発生しても、現場に即投入できるような開発・運用のあり方について提言をまとめている<sup>6)</sup>。平成24年度にまとめられた提言について紹介する。

#### (1)ハード面での提言(技術開発)

東日本大震災および福島原発事故への対応において様々なロボット技術が適用されているものの、これから起こり得る災害に対する備えとしては、まだまだ研究開発が必要な課題が多く残されており、実用化を指向した基盤技術研究や、高度実用化研究(基礎技術を現場に適用できるようにするための研究開発)を実施する必要がある。ソリューション導出のための技術開発においては、システムインテグレーション技術とそれを行う人材育成が必要であり、DARPA Robotics Challenge<sup>7)</sup>のようなコンペ形式の開発も有効な手段であると考えられる。

#### (2)インフラ面での提言(インフラ整備)

現場で活用できるような機器やシステムを開発するには、その実証試験や機能評価を行うのみならず、それをユーザが継続的に運用し、機器やシステムを日々維持、保守、改良を行いながら、オペレータの訓練まで行うことが重要であり、それを行うためのテストフィールド、モックアップセンターを構築する必要がある。米国テキサスには、Disaster City<sup>8)</sup>と呼ばれるレスキュー隊員などの訓練フィールドがあり、それが災害対応ロボットの機能評価や訓練に用いられている。日本国内にもそのようなテストフィールドを設置する必要がある。また、無人化施工システムが今回の震災や原発事故に迅速に投入できた要因として、雲仙普賢岳という工事現場において、無人化施工システムが継続的に開発、活用され続けていたことが挙げられる。それを考慮すると、長期的にシステムを利用する工事現場があり、それをフィールドとして継続的に活用することが肝要であることがわかる。さらに、有事においては、ロボットや遠隔操作機器を現場に配備するための組織・拠点・体制を整えることも必要となる。以上の考察から、これらの機能を有する災害対応ロボットセンター(仮称)を国のリーダーシップのもと設置する必要がある。

#### (3)ソフト面での提言(制度設計など)

上記の機能評価に関しては、ロボットや機器の機能評価のための標準化が重要となる。米国では、NIST(National Institute of Standards and Technology)がその機能評価の標準化を進めているが、日本でも同様な取り組みを行う必要がある。一方、実際に現場に投入可能なロボットや遠隔操作機器を開発するためには、防爆性、耐放射線性、耐久性、安全性などを評価し、それを認証できるような枠組みと組織が必要である。一方、ロボットや機器を維持し、継続的に運用するためには、その活動を事業として成り立たせる必要があり、そのための新たなビジネスモデルの構築が求められる。災害対応だけでなく、社会インフラや設備の点検、ヘルスマonitoring、メンテナンスなどにも併用可能なロボットや機器を開発し、平時にも継続的に利用されるような仕組みを作ることが有効である。それには、機器やロボットというハードウェアより、サービスを事業とすることを考える必要がある。また、導入を促進するための制度設計(特区をはじめとする規制緩和、ロボット配備を義務付ける規制強化、免税などの税制的制度設計、保険制度など)も極めて重要である。

#### 4. おわりに

現在COCNでは、新たに「災害対応ロボットセンター設立構想」というプロジェクトを立ち上げ、上記のセンターをいかに具現化すべきかの提言をまとめている。

今回の震災や原発事故の苦い経験を、むしろ一つの大きな機会と捕らえ、ロボット技術が実社会に実装できるような新たな枠組みを実現し、ロボット技術がナショナルレジリエンスの一端を担い、安全な社会構築への貢献を果たせるようになることを切に願っている。

(平成25年9月5日記)

#### —参考文献—

- 1) 浅間 一：“東日本大震災及び原子力発電所事故に活用されるロボット技術”，ITUジャーナル，Vol. 42, No. 2, pp. 44-47 (2012)。
- 2) 平井成興：“「極限作業ロボットプロジェクト」特集について”，日本ロボット学会誌，Vol.9, No.5, p.61, (1991)。
- 3) 間野隆久，濱田彰一：原子力防災支援システムの開発，日本ロボット学会誌，Vol.19, No.6, pp.38-45, (2001)。
- 4) 浅間 一：“東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題(その1)”，日本ロボット学会誌，Vol. 29, No. 7, pp. 658-659 (2011)。
- 5) 浅間 一：“東日本大震災および福島第一原子力発電所事故におけるロボット技術の導入とその課題(その2)”，日本ロボット学会誌，Vol. 29, No. 9, pp. 796-798 (2011)。
- 6) <http://www.cocn.jp/common/pdf/theme50-L.pdf>
- 7) <http://www.theroboticschallenge.org/default.aspx>
- 8) <http://www.teex.com/sitemap.cfm?Div=USAR>





このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。お近くの編集委員（目次欄掲載）または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。資料提供元の記載のない記事は、編集委員会がまとめたものです。

## 日本原子力学会とインド原子力学会が協力覚書に調印

日本原子力学会はインド原子力学会と協力覚書を結び、9月6日に東京のインド大使館でその調印式を行った。原子力学会が海外の原子力学会と協力協定を結ぶのは12か国目。覚書では両会が原子力の平和利用を促進するとともに、意見交換などの協力を進めることを定めている。

インドはトリウム炉やインド型高速増殖炉など、長年にわたり独自の原子力技術を切り開いてきた。日本原子力学会では、「インドは、原子力発電の実績が豊富で総合科学技術としての原子力の地位を築いている原子力先進国として学ぶべきものを多く有している国であり、日本とインドが学術分野で協力を進めていくことは、双方の原子力研究・開発・人材交流の発展のために有益である」としている。

詳細は <http://www.aesj.or.jp/information/INS-AESJ.pdf> (原子力学会編集委員会)



日本原子力学会の堀池会長とインド原子力学会の V.Venugopal 副会長

## 政府、汚染水対策で関係閣僚会議の初会合

原子力災害対策本部は9月3日、福島第一原子力発電所における汚染水問題に関する基本方針を決めた。対策本部の下に関係閣僚会議を、発電所近くに廃炉・汚染水対策現地事務所を設置する。汚染水問題については、①汚染源を「取り除く」、②汚染源に水を「近づけない」、③汚染水を「漏らさない」を基本方針として、対策を講じていく。

この方針に沿って政府は9月10日、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議の初会合を開き、汚染水問題に対応する廃炉・汚染水対策チームを設置した。茂木経産相を

チーム長とし、関係省庁副大臣や田中原子力規制委員長らで構成され、技術的困難性が伴う潜在的なリスクへの対応のあり方を検討して11月を目途に当面の追加対策をまとめる。

一方、中長期的な汚染水対策を検討するために経産省に設置されている汚染水処理対策委員会は13日に会合を開き、漏えい防止や地下水流入を減らす対策の実施状況や技術的な課題を議論した。今後、想定されるさまざまなリスクを洗い出し、対策を随時追加する。

(同)

## 各省の概算要求、福島廃炉や除染、安全強化に重点

政府の2014年度概算要求が8月末までに、各省庁より発表された。原子力関連では、経済産業省が「福島・被災地の復興加速」を重点政策の第一に掲げ、福島第一原子力発電所事故炉の廃炉に向けた取組で、対前年度比40億円増となる128億円を要求した。最速で20年度からの開始を見込む燃料デブリ取り出しに係る遠隔除染機器・装置の開発・実証のほか、汚染水対策として凍土方式による陸側遮水壁の設置など、抜本策を推進する。原子力の安全基盤構築・国際的取組では前年比70

億円増の244億円が計上された。

文部科学省はITER計画で前年度比136億円増の305億円、廃炉に向けた研究開発で同12億円増の78億円、原子力の基盤研究・人材育成で同29億円増の85億円を要求した。「もんじゅ」関連では同21億円増の195億円を計上しており、原子力規制委員会の措置命令を踏まえた約3万項目の点検・検査を含め、施設の安全対策・維持管理に必要な取組を実施する。

原子力規制・防災対策関連では、原子力規制委員会と

内閣府の計上分を合わせて、対前年度比 169 億円増の 880 億円を要求している。新規の要求事項としては、放射線監視施設整備、火山影響評価、事故の分析・評

価、医療体制の実効性確保などが挙げられている。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

## 規制委が福島廃炉計画を認可、汚染水対策を注視

原子力規制委員会は 8 月 14 日、事故が発生した福島第一発電所に関して東京電力より提出された特定原子力施設に係る実施計画を認可した。同委では今後、実施計画の遵守状況を確認する検査を実施し、廃炉措置の作業進捗に応じて計画の変更命令など、追加対応策を通じて

継続的に安全確保を図る。汚染水に関しては土壌中への漏えい、海洋への拡散についてリスクの最適化に向けた取組を求めた。地下水の流入抑制対策、保管タンクの信頼性向上策や増設計画では、引き続き計画通りに実施されるか確認が必要などと指摘した上で認可した。

## 国際廃炉研究機構が発足、山名理事長は廃炉終結で決意表明

原子力プラントの廃止措置に関する研究開発を一元的にマネジメントする「国際廃炉研究開発機構」が 8 月 8 日発足した。理事長に就任した山名元氏は同日、都内で記者会見を行い、福島事故炉の廃炉終結を「何が何でもやり遂げなければならないミッション」として、国内外の英知を結集し「世界に例を見ない困難」に立ち向かう使命感と決意を述べた。

「国際廃炉研究開発機構」は法令上、産業活動で利用される技術に関し、参画企業等が共同研究を行う技術研究組合という位置付け。同機構は日本原子力研究開発機構、大手メーカー、電力会社など計 17 法人を組合員として 7 月 23 日に認可申請し、8 月 1 日に経済産業相よ

り設立を認可された。新組織は廃炉技術の基盤強化を視野に、当面は福島第一廃炉対策推進会議による進捗管理のもとで中長期ロードマップに従い、現場からニーズを抽出。原子力機構を中心とする R & D 実施機関に合理的開発を主導し、得られた開発成果を共有して実用化を進める。その中で技術提案の公募を積極的に行うほか、海外関係機関からも技術・マネジメント面の助言を受け、将来的な廃炉対策に向け、関連技術の蓄積・高度化、人材育成などを図っていく。この点に関し山名理事長は、「日本における廃炉技術の底上げ」を通じ、原子力事故を受け世界に対する責任・貢献につなげていく考えを述べた。

## 文科省技術委員会、群分離・核変換技術の検討開始

文部科学省の原子力科学技術委員会は 8 月 7 日、高レベル放射性廃棄物処理・処分の負担低減につながる群分離・核変換技術の研究開発について検討する作業部会を始動した。加速器を用いた実験施設のあり方などについて調査検討を進め、10 月頃までに方向性を得る。

群分離・核変換技術は、原子力発電によって発生する高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種を、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

を短寿命核種や非放射性核種に変換するもの。廃棄物の潜在的有害度を低減し処分場をコンパクト化するほか、資源の有効利用にもつながる。国内で研究開発が実施されている分離変換概念には主に、発電用高速炉システムと加速器駆動システムがあるが、高速増殖炉サイクル確立の見通しが不明確な中、作業部会では陽子ビームを用いた核変換実験施設の整備など、新たな技術的選択肢の確保、バックエンド概念を検討する。

## 北上サイトが国内候補、リニアコライダーの立地評価結果発表

全長約 30km の線形加速器で電子と陽電子の衝突実験を行い、宇宙創成の謎の解明につなげる「国際リニアコライダー計画」について、国内の物理学者らで構成する評価会議が 8 月 23 日、東北の北上サイト(岩手県)を国内候補地として最適とする評価結果を発表した。

評価に当たったのは、高エネルギー加速器研究機構を中核とする戦略会議に置かれた研究者グループ。北上サ

イトと九州の背振サイト(福岡県・佐賀県)の 2 つに絞られた候補地について、国際設計のための新組織が本格稼働する今夏までの一本化を目指し、技術面や社会環境基盤面から精査を進めてきた。

評価結果では北上サイトについて、国際的に要請されている 50km の直線ルートを確認する上で、許認可や施工、運用上のリスク、工期、コストなど技術的観点か

らの確実性から「大きく優位」と結論付けている。社会環境基盤では両サイトとも、立地に支障をもたらす大きなリスクはなく、社会生活上の利便性に優れていると評価

している。ただし、外国からの長期滞在者に対するサポートが不十分なことなどから、地域と連携して国際化を飛躍的に進めることが必要だとしている。

## 海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

### 【米国】

## NEI「米原発の防護は万全」、脆弱性指摘する論文に反論

米原子力エネルギー協会(NEI)は8月16日、米国内の原子力関連施設のセキュリティ体制を不十分と結論付ける研究論文が公表されたのを受け、これに対する反論をウェブサイト上に発表した。

この論文はテキサス大・「核拡散防止プロジェクト(NPPP)」の研究者が作成したもので、原子力関連施設における潜在的な脅威を、(1)核兵器の盗難、(2)核兵器の製造に適した特種核物質の盗難、(3)放射性物質の放出等を目的とした原発での破壊工作、(4)使用済み燃料貯蔵プールからの冷却水排水で放射性物質を放出せしめる破壊工作——などに分類。米原子力規制委員会(NRC)を含む関連の3機関は核物質防護戦略として設計基礎脅威(DBT)に基づくアプローチを採用しているが、3機関で設定要件に統一がないため施設毎に最大規模の想定攻撃にバラつきが生じ、攻撃される可能性の低い施設に過度な防護を施すなど財源の浪費につながるとした。

また、テロリストたちがこうした既知の防護策に戦略的に対応するという現実を無視。経費負担が高額なレベルのセキュリティも要求しているため、多くの場合それらは実行されないとしている。

特に9・11事件以降、原子力産業界は施設の核物質防護システムのセキュリティ改善に20億ドル以上を費やしたが、そうした改善が適切であったかは不明だと報告書は言明。NRCのDBTアプローチに対する批判は、①想定する敵の数、②その使用武器、③航空機による衝突攻撃と冷却水取水設備等への海からの攻撃を除外——などの点に集中させており、①に関するDBTでNRCは、19名のハイジャッカーが関与した9・11以降も、改定前の想定である「1チームにつき3名」をわずかに5～6名に引き上げたただけだと指摘した。③に関しても、DBTでは新しく建設する原子炉設計に航空機衝突影響の緩和要件が加えられた一方、既存炉では要件が課されていないとしている。

### (NEIの反論)

これに対してNEIは、「原子力発電所が国内の重要イ

ンフラの中でも最も防護された施設の一つであることは広く知れ渡っている」と断言。このことは連邦捜査局(FBI)や国土安全保障省の評価も含め、独立の立場の専門家達も認めるどころだと反論した。

その上で、NRCが米国産業界内で最高レベルのセキュリティ基準を原発に設ける一方、産業界もこれをクリアしていると説明。連邦政府の情報機関や捜査当局との定期交流に基づいて、NRCは産業界が対処しなければならない脅威や民間の治安部隊が満たさねばならない厳しい基準を設定したと強調している。

NEIの見解では、NPPP報告は本格的なセキュリティ評価とは言えず、著者もそうした評価の際に必要な安全保障情報にアクセスしていない。また、商業炉からのウラン燃料盗難の可能性を調査した多くの評価報告と同様、NPPPも、攻撃者が高照射された燃料集合体を何重にも厳重に防護された原子炉や貯蔵プール、あるいはスチールとコンクリートで作られたコンテナからどのように取り出し、動かすことが可能なのか説明していないと批判した。

NEIによれば、全米62サイトの原子力発電所では総勢9千名の熟練した武装警備員が施設の防護に当たっており、このうち60%が9・11以降に増強された部隊。その多くに軍隊や警察での職歴があり、連邦政府の規制当局が評定する非致死性訓練弾使用演習も含め、定期的に訓練と試験が行われている。このように連邦および州の政府、地元警察機関などと連携した包括的なセキュリティ対応計画により、発電所サイトでは大規模かつ盤石な防御体制が敷かれていると明言した。

NEIはまた、米国原発のセキュリティは9・11以前から保証されていたが、その後、発電所サイトの核物質防護を実質的に増強するために追加した20億ドル以上のセキュリティ投資により、現在の状況は一層盤石になっていると指摘。これまで米国における総発電電力量の5分の1を生み出してきた既存原子炉のそれぞれで航空機衝突の可能性が評価されており、原子炉燃料や使用済み燃料の損傷リスクが十分低い点を請け合った。



## 控訴裁がユッカ計画で規制委に審査の再開命令

米国コロンビア特別区の連邦巡回控訴裁判所は8月13日、ネバダ州ユッカマウンテンにおける高レベル放射性廃棄物と使用済み燃料の最終処分場建設について、認可申請書の審査を再開するよう米原子力規制委員会(NRC)に命じた。NRCによる審査手続きの拒否は放射性廃棄物法の違反に当たるとの裁定を2対1で下した。米国では廃棄物の保有州から選出された民主党議員も地元の利益重視で動くなど、議会は同計画の認可審査継続を超党派で支持しており、審査が完了すれば、政治的理由から同計画を打ち切ったオバマ政権に対し、同地が処分場として技術的に安全か否かの回答を明確に突きつけることが可能になる。

処分場の特定調査活動は1987年の廃棄物政策修正法によりユッカマウンテンに限定され、2002年にエネルギー省(DOE)が同地を大統領に推薦。連邦議会がネバダ州の拒否権を覆して、同地を建設サイトに確定した。DOEは2008年に処分場の建設認可申請書をNRCに提出し、審査手続きが開始されたが、オバマ政権の打ち切り方針を受け、DOEは10年3月にこの申請書の取り下げを申請した。NRCの原子力安全許認可会議(ASLB)は「DOEに申請取り下げの権限はない」としてこれを却下したが、NRCのヤツコ委員長(当時)は5名の委員中2名が不同意のまま技術審査の中止をスタッフに指示。また、2012会計年度で審査予算が付かなかったことを理由に、NRCは11会計年度末の同年9月をもって、同計画に関するすべての審査活動を終了していた。

## 政府が輸出規則改定へ、厳格化で核拡散リスク低減

米エネルギー省(DOE)は8月1日、非機密扱いの原子力技術および関連支援の輸出管理規制に関わる連邦規則10CFRパート810を改定するため、「規則制定提案の補足告知(SNOPR)」をウェブサイト上に公開した。

輸出に際し、これまで一般的な審査だけで輸出できた相手国・124か国のうち80か国を政府の特別承認が必要なカテゴリーに再分類する提案で、審査の厳しくなる国数が倍加することから米原子力エネルギー協会(NEI)はこれに対する見解公表を取りあえず差し控えた模様。DOEはSNOPRを10月末まで90日間のパブコメに付すため、2日付けの連邦官報にも掲載した。

DOEがパート810の改定を目的とした「規則制定提

案の告知(NOPR)」で一般から意見募集したのは2011年9月。今回のSNOPRは集まったコメントに対する返答という位置づけで、規則の変更に伴う経済的影響に関してDOEが実施した分析評価の結果が盛り込まれている。

現在、米国の原子力技術の輸出相手国・地域は、パート810の下で一般的な承認(GA)により輸出が可能な124か国と、DOEによる個別審査など一層厳しい手続きが課される76の特別承認(SA)国に分類されている。

DOEの提案では、GAの中から80か国をSAに再分類する一方、現在SAに入っているウクライナ、アラブ首長国連邦(UAE)、カザフスタンの3か国をGAに変更。その主な狙いは、実質的な民生用原子力開発利用プログラムを持たない、あるいは大規模輸出のメリットがない一方で、技術移転およびその結果として核拡散のリスクが考えられる相手国への輸出要件を一層厳しくすることだとしている。

DOEは独自の貿易データベースを元に、過去数年間の輸出金額は年間20億～30億ドルと計算。分類変更による経済的な影響は貿易の取引量、GAの立場が輸出競争のさらなる激化につながる度合いに左右されるとしており、SAからGAに再分類される国との貿易取引により、そうしたマイナス影響が相殺されることは明らかだと強調している。

## エクセロン社に経営統合、コンステレーション社の原発5基

米国のコンステレーション・エネルギー・ニュークリア・グループ(CENG)とフランス電力(EDF)が米国の2州で共同所有する3サイト5基の原子炉の経営が、エクセロン社の10サイト17基の原子力設備と統合されることになった。

7月30日にエクセロン社が発表したもので、これに伴い、これら5基の運転認可が同社に移譲されるとともに、EDFは4億ドルの特別配当金を受け取る。EDFはこの配当金を債務の削減に充てると見られており、同社は同日、今回の合意をもって米国原子力市場における同社の合併事業は終了すると述べた模様。

CENGはコンステレーション・エネルギー(CE)社の原子力発電子会社で、EDFが2009年にCE社株を購入した際に両社の合併事業体として設立された。その後、12年にエクセロン社がCE社を買収したことから、両社の原子力発電設備も統合すれば、経営上さらなる相乗効果と合理化が期待できるとの認識に至ったと説明している。

エクセロン社は現在、CENG株の50.01%を保有す

る一方、EDF は残りの 49.99% を保有。この比率を維持したままで、エクセロン社は CENG が EDF に支払う特別配当金 4 億ドルを CENG に融資する。また、EDF は 2016 年から 22 年までの間に、この CENG 株を市場の適正価格でエクセロン社に売却するオプションも継続保持するとしている。

エクセロン社への統合が決まった原子炉は、ニューヨーク州のギネイ原発 1 基とナインマイルポイント原発の 2 基、およびメリーランド州に立地するカルバートクリフス原発の 2 基。これらの運転認可移譲申請は数日中に米原子力規制委員会 (NRC) に提出されるが、審査と承認の完了までに 6 ~ 9 か月かかる見通しだ。

## V ヤンキー原発閉鎖へ、ガス革命等により経済性悪化

米国のエンタジー社は 8 月 27 日、バーモント州で操業していたバーモント・ヤンキー原子力発電所 (BWR, 65.2 万 kW) を 2014 年第 4 四半期に閉鎖する方針を発表した。シェールガス革命や供給地域における電力卸売価格の低迷などの影響により、苦渋の決断を下すに至ったと説明。閉鎖後は安全貯蔵 (SAFSTOR) 方式による廃止措置を取ることになるとしている。

同炉は 1972 年に営業運転を開始。エンタジー社は 2002 年に同炉を購入したが、07 年の冷却塔倒壊や 10 年のトリチウム漏れなどトラブルが続いたことから、同社は 10 年 11 月、同炉の売却を検討し始めていた。翌 11 年 3 月には米原子力規制委員会 (NRC) から 32 年まで 20 年間の運転認可延長が認められたが、今回の閉鎖決定に至るまでには複数の経済的要因が根底にあると強調した。

すなわち、(1)シェールガスによる天然ガス供給シフトの変革により、天然ガス価格とエネルギー卸売価格が持続的に低迷、(2)単基の原子力発電所であるが故の高コスト構造により、02 年以降は安全操業のための投資に 4 億ドル以上を投入、(3)エネルギー卸売市場の構造的欠陥により、電力供給地域のエネルギー価格が人為的に低く抑えられた——などだ。

閉鎖時期を現在の運転サイクル終了時期となる来年に設定したのは、同炉の閉鎖を安全かつ整然と行う計画を立てるとともに、NRC への届け出準備の時間的余裕を得るため。エンタジー社は今後、安全で効率的な廃止措置を計画・実施する担当組織を新たに立ち上げるほか、閉鎖後は燃料を取り出して発電所を安全な監視付き貯蔵の状態に保つ計画だ。

## 規制委、原子力教育補助金交付先を発表

米原子力規制委員会 (NRC) は 8 月 19 日、2013 会計年度における原子力教育補助金約 1,400 万ドルの交付先を発表した。

連邦議会が原子力教育プログラムを通じて NRC に連邦補助金の提供を認めているもの。原子力工学や機械・電気工学、保健物理学および関連分野で将来必要とされる人材を育成するため、要件を満たした職業専門学校やコミュニティ・カレッジ、大学に対して毎年、関連奨学金や特別研究員奨学金等が交付される。

13 会計年度で NRC は、全米の 24 州に所在する 36 の高等教育機関に 48 件の補助金を提供。次世代原子力施設を設計、建設、操業、規制する能力を持った優秀な人材の育成に役立てるとしている。具体的には、(1)職業専門学校とコミュニティ・カレッジの 7 件の原子力教育奨学金に各 12 万 ~ 15 万ドル、(2)マサチューセッツ工科大やカリフォルニア大バークレイ校などの原子力工学部教育に 12 件、各 30 万 ~ 45 万ドル、(3)大学への 12 件の奨学金として各 12 万 ~ 40 万ドル、17 件の特別研究員奨学金として各 12 万 ~ 40 万ドルが割り当てられている。

### 【カナダ】

## 原子力公社とノルディオン社、メープル炉の争議で和解

医療用放射性同位体 (RI) の大手販売企業であるカナダのノルディオン社は 8 月 20 日、RI 生産専用炉のメープル炉プロジェクトに関して 5 年に及んだカナダ原子力公社 (AECL) との争議で両者が包括的な和解協定に合意したと発表した。

それによると、ノルディオン社は AECL から 1,500 万加ドルを現金で受け取る一方、AECL は調停経費として同社に要求していた約 4,700 万加ドルの請求権を放棄。RI 生産施設協定に基づいて双方がお互いを相手取って起こしていた訴訟も取り下げる。また、両者間で結ばれていた既存の RI 供給契約を修正し、AECL はノルディオン社への RI 供給を 16 年 10 月末まで、放射性廃棄物処分サービスを 26 年 10 月末まで継続することになった。

ノルディオン社は 1996 年の両者間の合意に基づき、熱出力 1 万 kW のメープル炉 2 基を AECL のチョークリバー原子力研究所内に建設したが、技術的問題により試運転段階で開発が停滞。投資総額も 2 倍に増大した

ことから、ノルディオン社は06年に建設費用ごとメープル炉の所有権をAECLに引き渡した。両炉が生産するRIは08年に運開後、40年間ノルディオン社に供給されることになっていたが、AECLとカナダ政府は08年5月、ノルディオン社への事前連絡なしに同プロジェクトの中止を表明していた。

AECLはこれまで、チョークリバー研究所内にある国立研究ユニバーサル(NRU)炉で世界の医療用RI需要の3分の1を賄ってきたが、運開後50年以上が経過し、設備も劣化していることから16年に生産を終了する方針。今回の合意もこうした事情を反映する内容となった。

また、カナダ政府は医療用RI供給の途絶という課題の中・長期的解決に投資を行いつつ、短期的取組として安定供給の基礎を築ける多様なイニシアチブとなる原子炉を使わない生産技術の研究開発プログラム案を10年に募集。今年7月には、「RI技術促進プログラム(ITAP)」から700万加ドルを提供した医療用RI製造サイクロロン施設がアルバータ州立大学に完成している。

## 【フランス】

### 安全規制当局、ビュージェイ4号機の運転認可10年延長で見解

フランス原子力安全規制当局(ASN)は7月29日、運開後30数年が経過したビュージェイ原子力発電所4号機に対し、一層の安全性改善など要件を満たせば40年までの運転継続が可能との見解を表明した。10年毎の包括的安全審査結果に基づくもので、フランス国内の5基で40年認可が認められたことになる。同国ではオランダ大統領がフェッセンハイム原発の2基を2016年までに閉鎖すると公言しているが、これらも同様に、ASNが40年間の安全な稼働を保証済み。政策的判断による正式な閉鎖手続きに4年以上を要した場合、任期中の閉鎖は実現しないとの見方も広がっている。

原子力発電所で10年毎に義務付けられるこの審査は、国の環境基準に基づいて行われるもので、ASNはビュージェイ4号機(PWR, 91.7万kW)での3回目の審査を2011年2月5日から6月25日まで実施。同年12月に報告書を関係省庁に提出した。同国ではこのほか、運開後30年以上が経過した時点でトリカスタン1号機、フェッセンハイム1, 2号機、ビュージェイ2号機でASNが3回目の10年検査を行っており、ビュージェイ4号機はフランスで40年の運転認可を受けた5基目の原子炉となった。

10年審査では関連規則の遵守状況に加えて、新たな

規制要件の達成を目的とする安全性の改善状況、国内外における安全審査上の経験や知見の進展を反映しているかなどの点を評価。また、設備のさまざまな劣化現象を少なくとも今後10年間、管理可能であるかについて審査する。

## 【欧州】

### WENRA、域内原発の圧力容器に欧州標準を適用するよう勧告

欧州の原子力規制者ネットワークである西欧原子力規制者協会(WENRA)は8月29日、圧力容器鍛造時に生じる欠陥の点検に当たり、欧州標準の安全審査を欧州のすべての原子炉に適用すべきだと勧告した。ベルギーの原子炉2基で圧力容器材料中の元素組成の偏りが毛状ヒビ発生の原因となったことから、圧力容器の製造会社に関係なく統一の取れた手法で審査することで、欧州域内の原発における材料物質の品質と構造上の健全性を確実に検証していく重要性を指摘している。

ベルギーでは昨年夏、ドール3号機とチアンジュ2号機(ともに100万kW級PWR)の超音波探傷検査で圧力容器母材に数千個の毛状ヒビの兆候を示す信号を検出。その後の徹底調査で鍛造時に材料中の水素が集まって発生した「白点」が原因であったことが判明した。ベルギー連邦原子力規制局(FANC)は両炉の状態について「永久閉鎖しなければならないようなものではない」とし、今年5月に運転再開を承認したが、製造業者のRDM社がすでに現存しない一方、同社製圧力容器を有する原子炉はこれら2基のほかに南北アメリカの11基を含めて20基にのぼっている。

WENRAは欧州連合(EU)加盟の原子力発電国およびスイスの原子力規制責任者で構成されることから、欧州のすべての原子炉でこの問題の適切な対策を取ることは重要かつ必要なことと認識。FANCから調査情報の公開と協力を得て、欧州で同一の基準に基づいた対策の実施を勧告するに至ったと説明した。

関係各国の規制当局はすでに、製造時の欠陥を検査する安全審査の実施を国内事業者に指示しているが、WENRAは、(1)まず圧力容器製造時およびこれまでの検査記録を包括的に審査、(2)その結果、その国の規制当局が必要と判断すれば非破壊検査技術(NDT)を用いた試験を実施——という2段階制の審査ガイダンスを勧告。ただし、審査の必要性や実施範囲、量的な特定、およびNDTの採用については、その圧力容器から得られる情報に基づいて各国当局の判断に委ねられるとした。



# 今後の原子力規制と国際関係について

原子力規制委員会 大島 賢三

福島原発事故が人災であったことを謙虚に對外説明するのは気が重いからと、怠ってはならない。内向きを克服し、安全文化の立て直しに全力を傾けるべきであり、フクシマの反省が上滑りに終わってはならない。3Sの統合により原子力規制委員会・規制庁の国際対応上の責務が増え、業務体制と人材インフラの強化が急務である。

## I. はじめに

東京電力福島第一原発事故(以下、フクシマ)から間もなく3年を迎える。2011年12月、原子炉の「冷温停止状態」が宣言された後も、汚染水処理や廃炉プロセスなど中長期にわたる難題が山積し、国全体に重くのしかかっている。

そんな中、2012年9月、原子力行政の抜本的改革の第一歩として原子力規制委員会が、これまた多くの課題を抱えてスタートした。設立間もない規制委員会がまとめた組織理念文書(ミッション・ステートメント)は「透明で開かれた組織」を5つの活動原則の一つとして掲げ、「国内外の多様な意見に耳を傾け、孤立と独善を戒める」としている。過去への反省があるからに他ならない。国際基準や国際協調の軽視は反省の一つである。

いま一つ、この機会に、核テロ対策など「核セキュリティ」(security)と核拡散防止のための「保障措置」(safeguards)が規制委員会の任務に新たに加わり、「原子力安全」(safety)と合わせて「3S」の業務が一元化された。この結果、規制委員会の責任範囲は広がり、国際業務が質量ともに増えることとなった。これも規制委員会にとり新しいチャレンジとなる。

本稿では、国際的な視点にしばり規制委員会の近況に触れ、感想を述べることにしたい。なお、以下は必ずしも規制委員会の立場を代表するものではなく、筆者個人の意見や感想であることをお断りしておく。

## II. 海外の強い関心

チェルノブイリ以来の巨大原子力事故であるフクシマへの海外の関心は引き続いて強いものがある。事故原因、使用済み燃料プールをはじめ事故原子炉の安全確保、学び取るべき教訓、新安全規制基準の理念と内容、

*A Fresh Start of Nuclear Safety Regulation and International Perspective* : Kenzo OSHIMA.

(2013年8月30日受理)

停止中原発の再稼働の成り行き、累積する汚染水の処理・今後の廃炉プロセス・除染の取り組み、規制組織改革の進展、さらには原子力の賛否を巡る国内世論の動向、原発輸出・燃料サイクルなどを含む国の原子力政策の将来—と多岐に及んでいる。

こうした関心を反映し、過去1、2年の間、フクシマにフォーカスした国際会議やワークショップなど多数開かれ、筆者はその一部に参加した。昨年末から今年半ばにかけて、NPO法人のSTSフォーラム(2012年10月、京都)、日韓中3国の上級規制者会合(同11月、ソウル)、IAEA原子力安全福島閣僚会議<sup>1)</sup>(同12月、福島)、同安全規制者会合<sup>2)</sup>(2013年4月、オタワ)、同専門家会合(同5月、ウィーン)、欧州安全規制者会議<sup>3)</sup>(ENSREG、同6月、ブラッセル)で講演やパネルに参加した。それ以外にも、米国、フランス、OECD/NEAなどの会合に、わが国から規制委員会、JNES、JAEA、東電、学界などより多くの参加者が加わっている。

## III. 対外発信

日本からの参加者の発言は、事故当事国であるだけに注目される。そこで何を、どのように発信していくか。一人の専門家、個人の立場から自由に言いたいことを言えば良い場合は別として、政府やその他組織・団体に所属し、多少ともオーソリティーをバックに説明や回答をするとなると、やや微妙である。

国会、政府、東電、民間、学会などの事故報告書が“乱立”している現状の下、筆者の場合は、幸い国会事故調の委員を務めたので国会事故調報告書を中心に据え、同工異曲ながら説明を繰り返してきた。海外では委員長の名前をとって「クロカワ・レポート」として知られているこの膨大な報告書は、その全文が早く英訳されて世界に配信されたこと、その突っ込んだ分析評価ぶりもあり、関心筋にはかなり読まれ高い評価を得ているようである。

これらの会議の席上やコーヒープレークの際に、出席

者から発せられる質問はいろいろだ。①この事故は防ぎ得たと思うか、どうすれば防ぎ得たか、②地震大国の日本は高いリスクを分かっていたはずだが、多数の原発を作るに至ったのはなぜか、③一か所複数基のリスクをどう考えていたのか、④地震と津波のそれぞれの影響は実際にどうであったのか、⑤過酷事故に発展した福島第一と、これを免れた女川、福島第二、東海第二の間の明暗を分けたのは何か、⑥日本の規制体制や危機管理の改善は今後どうなるのか、⑦住民避難はうまくいったのか、ボトルネックがあったとすれば何か、などなど。相手はかなり勉強し、冷静に見ていることをうかがわせるような質問、コメントが多い。

また、フクシマから受けた日本の衝撃は十分に察するが、新規制基準作成は余りに性急に進められているのではないか、新基準が極端に厳しい方向に傾くのではないかといった懸念も一部に聞かれた。

原子力事故という複雑な事象について、海外の識者やマスコミに対し科学的・技術的側面をしっかりと説明することは、筆者のように文系出身の者には手に余る。事故の間接的原因とか背景要因に及んで人的・構造的・組織的分野のことになれば、多少ましかもしれないがこれも容易ではない。

どこまで深く立ち入るかにもよるが、福島第一の事故原因とその背景を語るとき、日本の「安全文化」のこと、いわゆる「安全神話」のことを素通りで済ませるわけにはいかない。世界の原子力専門家達を前に、原発は安全でゼロリスク、電力事情が良い日本は長時間の電源ロスを想定する必要はない、過酷事故は起きない、その対策も事業者任せで良い…事故前の日本はそうのように考えておりました—といった類いの話をするに苦痛や抵抗感がないと言えばウソになる。国際場裡で国の失敗の話をするのは気が引け、できれば避けたい。

しかし、フクシマは世界的な大事故であり、近隣国だけでなく国際社会に対していろいろと迷惑や影響を与え、今後も心配を与え続ける可能性が高い。であるだけに、日本からの直接発信や国際会議等での発言では、納得性のある説明を繰り返し、反省や教訓を謙虚に語り、その上で日本自身が必要な教訓をしっかりと学び取り、自己改革につなげ、世界に範を示すことが求められている—と考えて対応すべきであろう。国際社会もそれを期待しているに違いない。そういう真摯な態度が日本に対する信頼・評価の低下を少しでも防ぐであろう—と考えれば、「抵抗感」とか「恥」とかに捕われているわけにもいかない。

もっとも、そうは言いつつ、「今日は、非常にフランクにストレートに説明していただいて良く分かった、よかったよ。」と聴衆に歩み寄られほめ言葉に接しても、満足はなく、複雑な気持ちを拭き切れない。また、被災国に対する遠慮や同情が働くのであろうか、参加者から大

いに困惑させられる質問やコメントが投げかけられた経験は、あまり記憶にない。ただ、2度か3度、会議後の雑談の際であったが、「日本の原子力安全規制が甘かった、安全文化に劣ったという反省を貴殿の口から聞いた。その通りなのであろう。だが、他の国のことならともかく、技術大国の日本、しかもヒロシマ・ナガサキを経験した日本でのことかと思うと残念である」という趣旨のコメントに接したことがある。日本人としては一まして広島出身者である筆者は一返す言葉につまってしまう。

#### IV. ヒューマン・ファクター

フクシマが「人災」であったという結論は、「クロカワ・レポート」では明確だ。他のレポートでも、表現の仕方はともかく共通認識になっていると言ってよい。当初、「想定外」として大自然災害のせいにしていた当事者の東京電力も、その後人災説を認めるようになり、上記5月のIAEA 専門家会合に出席した同社担当者もはっきりとそのように説明をしていた。

「人災」ということは、ヒューマン・ファクター、すなわち事故の原因や背景として人的・構造的・組織的問題を重視し、原子力安全文化のレベル、質を問いただすことにつながる。フクシマは、自然災害を直接原因としつつも多くの人的要因(多くは不作為)が複雑に重なり、その意味で「人災」を抜きには語れない事故であり、その意味でも不幸な大複合災害である。

#### V. スリーマイル島とチェルノブイリ

人的要因という意味では、米国スリーマイル島(TMI, 1979年)もチェルノブイリ(1986年)も、事故の主因の一つであった。この点、TMI事故の大統領事故調査委員会(ケメニー委員長)は、原子炉運転者による操作ミスといった次元を超え、当時の米国の安全規制システムが抱えていた人的・構造的・組織的な問題点や弱点を抉り出し、根本的な事故原因分析を行い、具体的な改善提言につなげた。それらの多くが—紆余曲折もあったようであるが—逐次実行に移されて今日の米国の規制委員会(NRC)をはじめとする強固な規制体制につながったと言われている。「ケメニー報告」と「クロカワ報告」を読み合わせると、二つの事故の間には、規模と状況に大きな相異があるものの、人的要因については多くの共通点が見出されて興味深いものがある。

その共通性はともかく、TMI事故の経験を米国がどのように「総括」し、規制改革のための具体的行動計画を立て、官民を挙げて息長く、着実に原子力安全の向上に向けて一連の改革・改善につなげたか、その取り組み姿勢は、わが国として大いに学ぶものがあると思う。例えば、事業者による自主的な相互監視システムたる「原子力発電運転協会」(INPO)はTMI事故後の反省の中から

誕生し、NRCと並んで米国の原子力安全確保の「車の両輪」としてユニークな役割を果たしている。このような仕組みがわが国でも育てば心強い。業界全体がフクシマを一社の経験として受け流すことなく、全体の自浄機能を高め、安全文化の強化に向け能動的に、力強く動くかどうか、国民は見守っているのではないか。

規制組織と業界の双方による安全文化の立て直しは、国民の信頼回復にとり不可欠の、最小限のステップであるが、それ以外にも課題は多い。国の役割の見直し、国と立地自治体との関係、危機管理体制のあり方などを含め、真のチャレンジはこれからだ。目前の事故処理に追われる中であって、フクシマの反省が上滑りに終わってはならない。立法府、行政府、業界、市民社会の間で建設的な議論が始まり、具体的成果につながっていくことを期待したい。国情が違うのでそのままフィットする訳ではなからうが、海外の良好事例や経験で学ぶべきものがあれば、その取り入れにも躊躇すべきではない。

## VI. 教訓の学び方—海外の例

海外はフクシマから何を学ぼうとしているのだろうか、若干の例を挙げてみる。

### 1. IAEA

世界の原子力規制の元締めであるIAEAでは、天野事務局長のリーダーシップの下に専門家を動員してフクシマの「総括レポート」の作成に着手し、2014年中の完成を目指して作業が始まっている。日本も協力体制を敷いてこれに臨んでいる。また、2014年3月に予定されているIAEA主催の「原子力安全条約検討会議」(3年に一度)の場も、日本から提出する国別報告とともにフクシマは一つの焦点として注目されるであろう。

### 2. 欧州

欧州諸国は、欧州連合(EU)と欧州原子力規制者グループ(ENSREG)の枠組みの下、傘下の原子力国(14カ国)が自然現象起因の過酷事故を想定し、各自の安全性チェック(ストレステスト)に着手した。その結果は、全体として直ちに原子力施設の安全運転に差し障るような問題は見当たらないものの、一般に自然災害への対策強化については幾つかの改善点が見出されたようである。各国それぞれのストレステストの結果は、EU規模でのピア・レビューに付され、その結果がENSREG会議に報告されて、各国の安全強化につなげる動きが進行中であり、引き続きフクシマの教訓への強い関心が持たれている。

ヒューマン・ファクターについて言えば、欧州の原子力指導国であるフランスは、自国規制機関(ASN)の中に、「人的、社会的、組織的ファクターに関するワーキンググループ、HSOF」なるものを設けて、日本の事故経験から学ぶべき教訓があればそれを自国の、ひいては欧州の原子力安全強化に資するべく独自の作業を進めて

いるようである。

### 3. 米国

米国では、議会の要請により「米国科学アカデミー」が福島事故からの参考事例の摘出を目指して調査に着手しているほか、「INPOレポート」など他にも幾つかの調査報告が作成されている。NRCは独自に「ジャパン・タスクフォース」を立ち上げ、約20名の人員を当てて参考事例や教訓の抽出に取り組んでいる。

## VII. 教訓の学び方—日本の対応

こうした欧州諸国や、世界で第一、第二の原子力国たる米仏の対応ぶりを見ると、海外の事故事例から素早く、積極的に学び、常に自らの原子力安全文化を高めるために役立てようという強い使命感で臨んでいるのが感じ取られる。フクシマ以前においても、これら諸国は、TMI事故やチェルノブイリ事故からの教訓を生かし、安全強化のための取り組みを積極化させ、2009年ころまでにはEU加盟国や米国は自国の安全規制をIAEA基準に整合化させていったとされている。

これに比べ、世界第三の原子力国たるわが国はどうであっただろうか。国会事故調などの報告書が明らかにしているように、フクシマ以前の日本は、規制当局は内向きで国際的な基準や海外良好事例の取り入れ姿勢が弱く、結果として海外の動向から遅れをとり、安全強化への取り組みにおいて劣後したと指摘されている。日本は「蚊帳の外におかれるという異常状態にあった」。

象徴的なのは、IAEAのピア・レビューの一つである「総合規制評価、IRRS」の受け入れ態度であろうか。日本はIRRSを受け入れたまでは良かったが(2007年)、その結果に対する適切なフォローアップを怠った。指摘事項の改善のための3年以内の「フォローアップ・ミッション」の受け入れも遅れたまま、2011年3月の事故を迎えることとなった。

この点について国会事故調報告は、「国内では“寝た子を起こすな”という空気が強く、既存の推進体制を維持することに固執し、日本の規制当局と事業者の議論において本質的に安全を確保するためには何が必要かという議論はなされず、国民や立地自治体、国際社会に対して、いかに既存の対策で安全が確保されているという説明をするか、ということに重点が置かれていた」と要約している。

一事が万事、こうした姿勢の蔓延は安全文化の劣化現象そのものであり、フクシマという極めて高い代償の支払いにつながってしまった、と慚愧の思いで認めざるを得ない。全関係者の責任は重いと言わねばならない。その反省に立ち、こうした姿勢やメンタリティと決別し、国際的に開かれた規制に向けての転換を図る緊要性は自明である。規制委員会はこれをリードして行く重要な責任の一端を負っている。



## VIII. 原子力規制委員会の国際対応

規制委員会が「3S」の問題をはじめ国際関係にどのような取り組みを開始しているか、簡単に触れておきたい。

### 1. IAEA との協力－ IRRS と IPPAS の早期受け入れ

日本と IAEA との間では、まずピア・レビューの受け入れが日程に上りつつあり、その第一は、IRRS (総合規制評価) ミッションである。上述の前回経験があったこともあり、日本側として出直しが必要だ。IAEA 側も早期受け入れを望んでおり、田中委員長と天野 IAEA 事務局長の間で、「IRRS の出来る限り早期の受け入れ」について原則的合意が確認されている。具体的時期については、十分な受け入れ準備を行い、しっかりした成果が得られることを重視して適切なタイミングを決めていく方針である。新安全規制基準の施行によりわが国の規制体制が改まったところで、この国際的ピア・レビューと真剣に向き合い、その結果を安全向上のために真摯に生かしていくことが肝要である。

第二は、同じく IAEA が運用している IPPAS (核物質防護諮問サービス) と呼ばれるピア・レビューの早期受け入れである。このサービスは、核テロ防止 (核物質防護) 制度の改善強化のため助言と援助を提供するもので、米仏など主要国、韓国などを含め既に 30 カ国が受け入れているが、わが国にはまだ受け入れ実績はない。このミッションを早期に受け入れるとの方針の下に、その事前準備のためにまずワークショップを IAEA の協力を得て今年度中に日本で開催することにつき国際的に意図表明済みであり (7 月の核セキュリティ閣僚レベル会議での外務副大臣発言)、具体的準備に入っている。

### 2. 核セキュリティ対策の強化

フクシマは、原子力発電所の全電源喪失がいかなる深刻な事態を招くか、脆弱性がどこに潜むかを露呈した。核テロは世界のどこであれ起きてはならないが、フクシマを経験した後、わが国の原子力施設や核物質輸送が仮にも「核テロ」の舞台になるようなことは絶対にあってはならない。このことを肝に銘じ、原子力安全とともに核セキュリティ対策についても万全を尽くす必要がある。

核セキュリティの問題は、2010 年ワシントンでのサミット会議以来、各国首脳レベルの関心が注がれており、この先 2014 年にはオランダ・ハーグで、2016 年には再度ワシントンでの開催が予定されている。

わが国の核セキュリティ対策は、従来、原子力委員会の核物質防護専門部会を中心に検討され政府関係省庁間の調整が行われてきた。この調整任務がこのたび原子力規制委員会に移管されたことに伴い、これまでの経緯を踏まえ対策の強化が図られていかねばならない。核セキュリティ対策には、累次の国際条約や IAEA 勧告な

ど一連の国際スタンダードがあり、わが国はこれらを国内規制に反映して強化に努めている。条約については「核物質防護条約」(1988 年批准)に続き、「改正核物質防護条約」(2005 年)の早期批准も日程に上ろうとしている。

その一方、懸念もないではない。例えば、米国 NGO 団体 (核拡散脅威イニシアティブ、NTI) が発表した国際的な総合評価ランキングによれば、わが国は 32 カ国中で 23 位という、芳しくない成績である (2012 年 1 月現在)。この低い評価は、わが国の場合は核物質保有量が多いこと、独立した規制機関が欠如していること (注: 評価当時のこと) などが関係していたようだ。その中で、「セキュリティ上の人事上の措置」については 30 位と、ほぼ最下位にある。何故そうなのか。

これには内部脅威対策の重要な柱の一つである「個人の信頼性確認制度」が関係している。この制度導入は IAEA 勧告で求められ、主要原子力国はすでに対応済みのところ、わが国のみは未導入である。原子力施設で働く職員や作業員個人の信頼性を確認し、内部脅威を未然に防ぐための個人情報の蓄積・照会制度の必要性は広く認められているが、個人プライバシー保護が関わるこの問題について、わが国はまだ宿題を片付けるに至っていない。

そこで、規制委員会は、この信頼性確認制度の導入をはじめ、その他の課題 (輸送時の核セキュリティ対策、放射性物質及び関連施設の核セキュリティなど) について具体的前進をはかるため、「核セキュリティに関する検討会」を立ち上げた。この検討会を中心に、外部専門家の参加と関係省庁の協力を得つつ、具体策の検討とその実現に向けた作業に着手している。上記の IPPAS の早期受け入れもその一環である。

### 3. 核拡散防止のための保障措置 (セーフガーズ)

従来、文部科学省－外務省のルートで扱われてきた保障措置関連の業務が、4 月に文科省の担当人員と関係予算とともに規制委員会に移管され、今後は規制委員会－外務省のルートで処理されることとなった。日本は、従来、IAEA に対する第二の財政拠出国であると共に、保障措置の対象国としてはダントツの首位である (IAEA は保障措置のための人材・資金の約 3 割を日本向けに当てている)。

こうした背景の下、わが国と IAEA との間には緊密な協力と信頼関係が「アセット」として築かれてきており、規制委員会はこれを引きついでスタートである。今後、このアセットを活かし、核不拡散分野における IAEA との協力関係をさらに強化し、わが国自身の保障措置に疑念など抱かれないように最善の努力を払うとともに、わが国の経験や保障措置技術を生かしてアジア地域その他における核不拡散に向けた国際協力にも力を注ぐことが望まれる。

#### 4. 米, 仏, 英, 露などのバイラテラル関係

わが国と主要原子力国との間では、従来、二国間ベースで情報共有を中心に一定の協力関係が持たれてきた。規制委員会の新スタートにともない関係強化の必要性が意識され、これを確認する覚え書きが幾つかの国と交わされた。

まず、米国とフランスとの間では、それぞれ両国規制当局間の協議の場を定期化することで新たな合意に達し(日米では Steering Committee, 日仏では Bilateral Committee と呼称)、規制委員レベルと専門家レベルで定期的に会合を持ち、協力・連携を深めることとなった。同様な合意は英国との間でも検討されている。従来、この種の関係が希薄であったロシアからも、フクシマ後の事態をにらみ日本側との関係強化の要望が寄せられており、覚え書きが近く合意される見通しである。

こうした合意を受け、情報共有、専門家の相互訪問、人材交流、セミナー・ワークショップの開催、共同プロジェクトの発掘などを含めた活動が活発化することが期待されている。

また、米国エネルギー省との間でも、日米原子力協定の下で、研究開発に関わる事項で原子力規制委員会の所掌範囲に属することについて取り決めを交わすことが検討されているほか、北欧諸国との新たな協力関係の樹立も課題として上ってきている。

#### 5. 国際アドバイザー

「フクシマ」の後、この分野で豊富な経験をもち、国際的に高い知名度を有する3名の海外専門家(米国規制委員会 NRC の元委員長メザープ氏、英国規制機関 ONR の元委員長ウェイトマン氏、フランス規制機関 ASN の元委員長ラコスト氏)を規制委員会の国際アドバイザーとして委嘱し、大所高所からの助言を得つつ、事業の改善に努めることとしている。

### IX. おわりに

わが国自身がフクシマから何を教訓として学び、これを安全文化の向上にどう生かすか、課題への挑戦は始まったばかりである。内向きを克服することも大事だ。真の安全文化の構築に終わりはなく、関係者による不断の努力とともに、事業者、規制当局、国民の意識改革が不可欠である。規制委員会の設立はスタートであり、終わりではない。国際関係については、上述Ⅷ-1 から5で概観したように、いくつかの取り組みが始まっているが、その多くの実行や肉付けはこれからだ。

冒頭で述べたように、フクシマを契機として、原子力規制委員会およびこれを支える規制庁における国際業務は量的にも質的にも増え、大事故を起こした国の責任として、適切に国際発信をしていく必要性も格段に高まっ

ている。こうしたニーズを満たしていくために、国際業務体制と人材インフラ強化が不可欠であることは多言を要しない。

この点は原子力規制委員会設置法(2012年6月)の立法にあたり、しっかり認識されて条文にも反映されている。すなわち同法は、原子力規制庁の職員について政府が速やかに講ずべき所要の措置として、「給与体系の整備その他処遇の充実」「新採用にかかる定員の十分な確保」「大学、研究機関、民間事業者等からの人材の積極的登用」「留学、国際機関、外国政府機関、在外公館等へ派遣、人材交流」「研修施設の設置と研修体制の整備」「原子力規制委員会の人的・物的な体制拡充を図るための財源確保、勘定区分の導入」等を明示列挙している(附則第6条)。そして、これは「国際的な動向に精通する優秀かつ意欲的な人材を継続的に確保する」ためであると強調されている。無論、これは国際業務に限らず規制庁業務の全体にわたって言えることである。また、同設置法には、規制機関の専門性を高めるため、(独)原子力安全基盤機構(JNES)の廃止、規制委員会への統合も盛り込まれている。

新しい組織の立ち上げに当たり、その組織と人材について、法律でここまで入念に、明確に、前向きに目標を示しているのは珍しいことではなかろうか。フクシマの反省を踏まえ、新規組織に対する立法府の強い期待がここにかがえると思う。

問題はこうした措置の確実な実現である。一部は既に着手されて動き出したものもあるが、腰を据えた取り組みはこれからだ。米国 NRC やフランス ASN のレベルに一気に到達できないにしても、“business as usual”のやり方以上の努力が求められる。霞ヶ関の役所組織・官僚文化の下、上記の施策の実現のためには相当なエネルギーの投入とともに政治レベルの理解と後押しも必要であろう。まずは規制当局はじめ政府関係当事者の最善の努力が求められている。

#### —参考文献—

- 1) [http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima\\_2012/index.html](http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/index.html)
- 2) <http://www.nsr.go.jp/english/data/20130422lff.pdf>
- 3) [http://www.nsr.go.jp/english/data/20130620\\_presentation.pdf](http://www.nsr.go.jp/english/data/20130620_presentation.pdf)

#### 著者紹介

大島賢三(おおしま・けんぞう)  
原子力規制委員会 委員  
元国連大使



## 解説

# 東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の 廃止措置等に向けた取り組み

東京電力(株) 高儀 省吾

福島第一原子力発電所の事故以降、政府等関係者の協力のもと、事故の収束に全力を挙げて取り組んできた。現在は、2013年6月27日に「東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議」で決定された改訂版中長期ロードマップに基づき廃止措置等に向けた取り組みを進めている。本稿では、現状と改訂版中長期ロードマップに基づく今後の見通しについて紹介する。

## I. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所における事故により、福島県の皆様をはじめ広く社会の皆様に対し、大変なご迷惑、ご苦勞、ご心配をお掛けしていることを誠に申し訳なく思っている。

私たちは、避難されている方々の1日も早いご帰宅を実現するとともに、国民の皆様にご安心していただけるよう、原子炉の安定的な冷却や放射性物質の放出抑制を継続しつつ、引き続き全力で廃炉作業に取り組んでいく。

## II. 現状

### 1. 原子炉・燃料プール

格納容器内の燃料デブリの冷却状況を確認するため、原子炉圧力容器底部及び格納容器内の温度パラメータを継続監視しており、号機や温度計の位置によりバラツキがあるものの、現状(2013年8月)では、約25～50℃で推移している。

使用済燃料プールについてもいずれも温度が安定した状態である。また、2013年8月時点での原子炉建屋からの放射性物質の放出量は最大で約0.1億Bq/hで安定しており、発電所敷地境界における被ばく線量は最大でも0.03mSv/年(自然放射線量の約1/70)と評価している。これらのことから、総合的に冷温停止状態を維持しており、原子炉が安定状態にあることを確認している。

### 2. 汚染水対策

建屋東側(海側)の地下水から5月下旬以降、高い濃度

のトリチウム等の放射性物質が検出されたことから、周辺の地下水及び港湾内の海水中の放射性物質濃度等の観測強化を進めてきたが、地下水の濃度、水位等のデータの分析結果から、汚染された地下水が海水に漏れ入していることが明らかになった。

放射性物質濃度の大きな変動は1～4号機取水口開渠内に限られており、港湾の境界付近(港湾口、北放水口、南放水口付近)では上昇が見られたが、至近2ヶ月間の変動の範囲内であり、沖合での測定結果にも有意な変動は見られないなど、港湾外において影響はほとんど見られていない(第1図)。

海洋への汚染拡大防止の緊急対策として、(1)汚染エリアの地盤改良等による港湾への流出防止(第2図)、(2)トレンチ内高濃度汚染水の除去による汚染源除去、(3)地下水バイパスによる汚染水の増加抑制を行う。

また、海洋への汚染拡大防止の抜本対策(第3図)として、①海側遮水壁の設置による海洋流出の阻止、②陸側遮水壁の設置による汚染水の増加抑制・港湾流出の防止、③サブドレンからの地下水くみ上げによる原子炉建屋等への地下水流入抑制を実施する。

## III. 今後の見通し

### 1. ロードマップ改訂の経緯、基本原則、期間区分の考え方

#### (1) 経緯

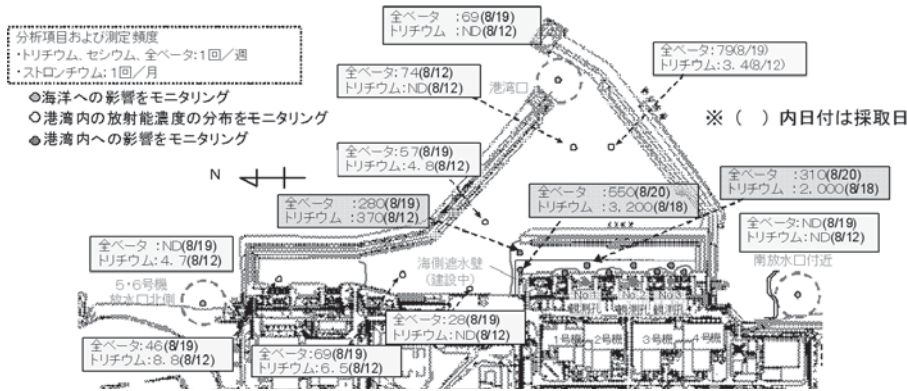
福島第一原子力発電所の事故発生以降、政府及び当社は中長期ロードマップを取りまとめ、これに基づいて廃止措置等に向けた取組を進めてきた。

2013年2月8日、原子力災害対策本部において、燃料デブリ取り出し等に向けた研究開発体制の強化を図るとともに、現場の作業と研究開発の進捗管理を一体的に進めていく体制を構築することを目的として、東京電力

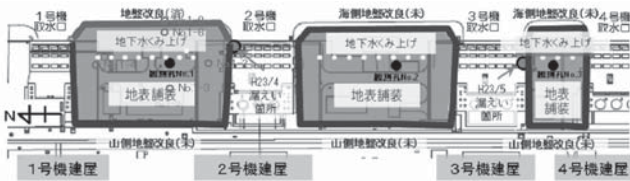
*The Work toward Decommissioning of Unit 1 through 4 of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company Incorporated : Seigo TAKAGI.*

(2013年9月12日 受理)





第1図 至近の水質測定結果(抜粋)(単位: Bq/l)



第2図 緊急対策(汚染エリアの地盤改良等)



第3図 抜本対策概要図(海側・山側遮水壁, サブドレン)

福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議が設置された。同年3月7日に廃炉対策推進会議(第1回)が開催され、燃料デブリ取り出しのスケジュール前倒しなど検討を進め、6月中を目途に改訂版ロードマップを取りまとめるよう、議長である茂木経済産業大臣から指示があった。

6月10日に検討のたたき台を公表し、福島県、地元自治体、有識者からご意見を伺い、6月27日に廃炉対策推進会議にて改訂版ロードマップを決定した。

(2) 4つの基本原則

中長期の取組に当たっては、以下の基本原則を踏まえ、ロードマップの実現の重要性を認識し、安全かつ着実に、適切な対応を実施していく。また、計画については定期的に見直すとともに、中長期の取組状況を公表するなど、透明性を確保していく。

【原則1】地域の皆様と作業員の確保を大前提に、廃止措置等に向けた中長期の取組を計画的に実現していく。

【原則2】中長期の取組を実施していくに当たっては、透明性を確保し、地域及び国民の皆様のご理

解をいただきながら進めていく。

【原則3】今後の現場状況や研究開発成果等を踏まえ、本ロードマップは継続的に見直していく。

【原則4】本ロードマップに示す目標達成に向け、東京電力と政府は、各々の役割に基づき、連携を図った取組を進めていく。政府は、前面に立ち、安全かつ着実に廃止措置等に向けた中長期の取組を進めていく。

(3) 期間区分の考え方

【第1期】ステップ2完了～初号機の使用済燃料プール内の燃料取り出し開始まで(目標はステップ2完了から2年以内)

【第2期】第1期終了～初号機の燃料デブリ取り出し開始まで(目標はステップ2完了から10年以内)

【第3期】第2期終了～廃止措置終了まで(目標はステップ2完了から30～40年後)

※ステップ2完了:放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられているという目標達成完了(2011年12月)

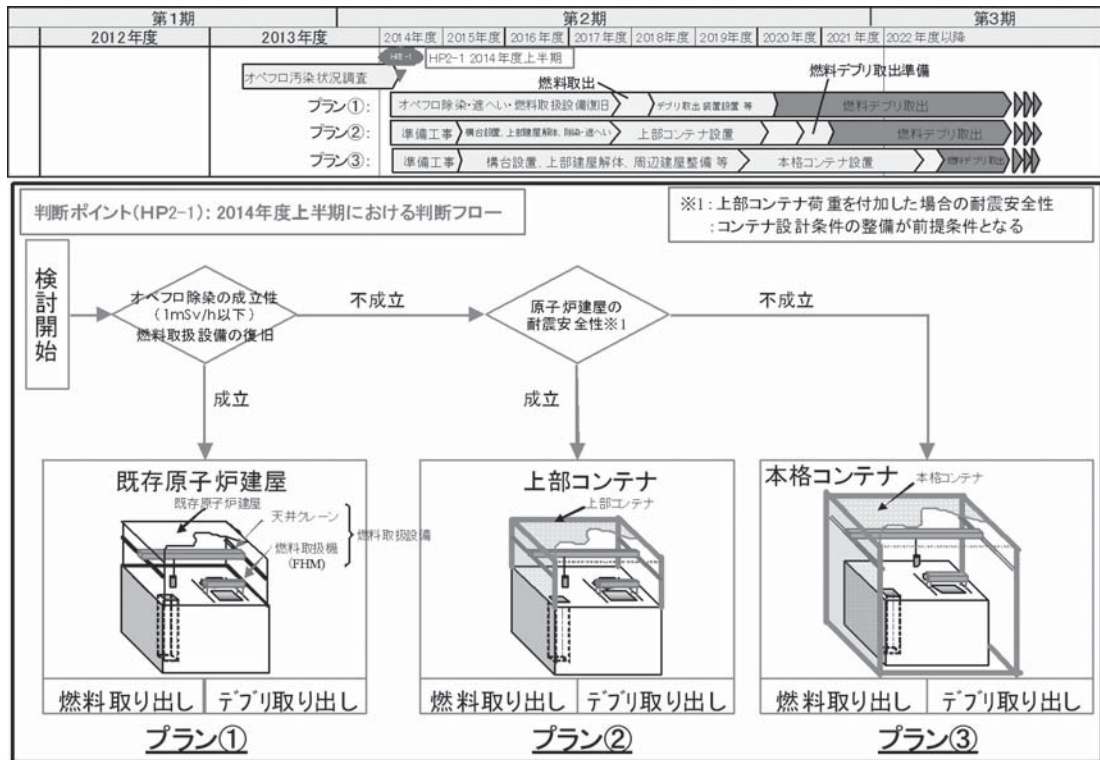
2013年8月現在、第1期の作業中であり、4号機使用済燃料プール内の燃料取り出しを2013年11月までに開始することにより、半年以内に第2期へ移行する予定である。第2期以降の各作業は技術的にも一層多くの課題があり、段階的に工程を進めていくことが必要となる。このため、次工程へ進む判断の重要なポイントにおいて、追加的に必要となる研究開発や、工程又は作業内容の見直しも含めて検討・判断することとしており、これを判断ポイント(HP)として設定している。

2. ロードマップ改訂の主要なポイント

ロードマップ改訂の主要なポイントは以下の通り。

(1)号機毎の状況を踏まえたスケジュールの検討(第4図, 第1表)

- ・号機毎の状況を踏まえたスケジュールを検討
- ・燃料取り出し・デブリ燃料取り出しにつき、複数のプランを準備
- ・初号機の燃料デブリ取り出し開始目標の前倒しを



第4図 燃料ならびに燃料デブリ取り出し計画(2号機の例)

第1表 号機毎のスケジュール(最速プラン)

	燃料取り出し	燃料デブリ取り出し
現行目標	2013年12月(初号機)	2021年12月(初号機)
1号機 (最速プラン=プラン2)	2017年度下半期	2020年度上半期 (1年半前倒し)
2号機 (最速プラン=プラン1)	2017年度下半期	2020年度上半期 (1年半前倒し)
3号機 (最速プラン=プラン1)	2015年上半期	2021年度下半期
4号機	2013年11月 (1ヶ月前倒し)	—

検討し、これを踏まえて研究計画を見直し

- (2)地元をはじめとした国民各層とのコミュニケーション
  - ・地元関係者への情報提供・コミュニケーションの強化を図る観点から、「廃炉対策推進会議福島評議会(仮称)」を設置。
- (3)国際的な叡智を結集する体制の本格整備
  - ・研究開発運営組織に助言する国際顧問の登用、国際連携部門の設置や海外各分野の専門家からなる国際廃炉エキスパートグループの設置

### 3. 燃料ならびに燃料デブリ取り出し計画

#### (1)1号機

##### 【プラン①】

建屋カバーを改造し、オペレーティングフロア上に燃料取り出し作業のための燃料取扱設備を設置し燃料を取り出す計画。燃料デブリ取り出しは、建屋カバーを撤去後に本格コンテナを設置し実施する。

##### 【プラン②】

建屋カバーの改造が実施できない場合に、燃料取り出しに必要な機能を持たせた上部コンテナを設置して燃料を取り出す計画。その後、上部コンテナを改造し、燃料デブリ取り出しに必要な機能を持たせた上で燃料デブリを取り出す。

##### 【プラン③】

建屋カバー改造の成立性、原子炉建屋耐震安全性の評価結果、コンテナの設計条件の整備において、プラン①とプラン②が成立しない場合の計画。

＜プラン①～③を決める HP＞

(HP1-1)燃料取り出し計画、燃料デブリ取り出し計画の選択(2014年度上半期)

燃料取り出し計画、燃料デブリ取り出し計画は、上部コンテナ及び本格コンテナを設計する上で必要となる条件の検討を進めるとともに、建屋カバー改造の成立性、原子炉建屋の耐震安全性の評価結果を踏まえ決定する。

＜燃料デブリ取り出し開始の時期を判断する HP＞

(HP1-2)燃料デブリ取り出し方法の確定

1号機の燃料デブリ取り出し設備設置が可能となるよう、燃料デブリ取り出し工法・装置の開発を行い、プラン①においては2020年度下半期、プラン②においては2019年度上半期、プラン③においては2020年度下半期までに取り出し方法を確定する。

#### (2) 2号機

##### 【プラン①】

除染・遮へいによりオペレーティングフロアの線量を低減した上で、既存の燃料取扱設備の復旧を行い、燃料デブリ取り出しは、原子炉建屋内に燃料デブリ取り出し装置を設置して行う計画。

##### 【プラン②】

オペレーティングフロアの除染と既存燃料取扱設備の復旧が成立しない場合に、燃料取り出しに必要な機能を持たせた上部コンテナを設置して燃料を取り出す計画。

##### 【プラン③】

オペレーティングフロアの除染、既存の燃料取扱設備の復旧及び原子炉建屋の耐震安全性の評価結果及びコンテナの設計条件の整備において、プラン①とプラン②が成立しない場合の計画。

#### <プラン①～③を決める HP >

(HP2-1)燃料取り出し計画、燃料デブリ取り出し計画の選択(2014年度上半期)

燃料取り出し計画、燃料デブリ取り出し計画は、上部コンテナ及び本格コンテナ設計条件の整備を進めるとともに、オペレーティングフロアの汚染状況調査、燃料取扱設備の復旧可能性及び原子炉建屋の耐震安全性の評価結果を踏まえ決定する。

#### <燃料デブリ取り出し開始の時期を判断する HP >

(HP2-2)燃料デブリ取り出し方法の確定

2号機の燃料デブリ取り出し設備設置が可能となるよう、燃料デブリ取り出し工法・装置の開発を行い、プラン①においては2018年度上半期、プラン②においては2018年度上半期、プラン③においては2021年度上半期までに取り出し方法を確定する。

#### (3) 3号機

##### 【プラン①】

使用済燃料プール内の燃料を燃料取り出し用カバーに設置された燃料取扱設備を用いて取り出し、その後、当該カバーを改造し、燃料デブリを取り出す計画。

##### 【プラン②】

プラン①において、燃料取り出し用カバーの改造が耐震性、施工性の面で成立しない場合の計画。

#### <プラン①、②を決める HP >

(HP3-1)燃料デブリ取り出し計画の選択(2015年度上半期)

燃料デブリ取り出し計画は、耐震性、施工性の観点から燃料取り出し用カバーの改造の成立性を検討し、その結果を踏まえ決定する。

#### <燃料デブリ取り出し開始の時期を判断する HP >

(HP3-2)燃料デブリ取り出し方法の確定

3号機の燃料デブリ取り出し設備設置が可能となるよう、燃料デブリ取り出し工法・装置の開発を行い、プラン①においては2019年度下半期、プラン②においては2019年度下半期までに取り出し方法を確定する。

#### (4) 使用済燃料プールからの燃料取り出しに係るステップ

使用済燃料プール内の燃料取り出しについては、まず、①原子炉建屋上部のガレキを撤去し(4号機は完了、3号機は実施中)、②原子炉建屋を覆うカバー(又はコンテナ)、プール燃料取り出しに必要な設備を設置する(4号機は設置作業中)。併行して、③使用済燃料プールから取り出した燃料を共用プールに移送するため、共用プール内に貯蔵している燃料を乾式キャスク仮保管設備に搬出し、空きスペースを確保する。その後、④使用済燃料プールから取り出した燃料の健全性を確認した上で、輸送容器に装荷し搬出する。

#### (5) 燃料デブリ取り出しまでの作業ステップ

燃料デブリ取り出しは、燃料デブリを冠水させた状態で取り出す方法が作業被ばく低減の観点から最も確実な方法であると考えられる。作業ステップを見越して、原子炉格納容器水張りに向けた調査・補修、燃料デブリの調査等に加え、燃料デブリの取り出し・収納・保管に必要な技術開発等を進める。

なお、過酷な事故の影響を受けた原子炉格納容器の上部まで冠水させるための技術は、多段階で難しい課題を抱えており、原子炉格納容器上部まで冠水することが困難となる場合も想定される。このため、原子炉格納容器に水を張らずに燃料デブリを取り出す代替工法についても併せて検討を進めていく

## 4. 中長期ロードマップの実現に必要な他の具体的計画

### (1) 循環ラインの縮小/小循環ループ化

現状、循環注水ライン(大循環)により滞留水の処理及び注水を実施しており、循環注水ラインの信頼性向上を継続するとともに、燃料デブリ取り出し及び建屋内の滞留水処理の完了を見据え、建屋外での汚染水の漏えいリスクを低減するために、小循環ループの実現を図る。

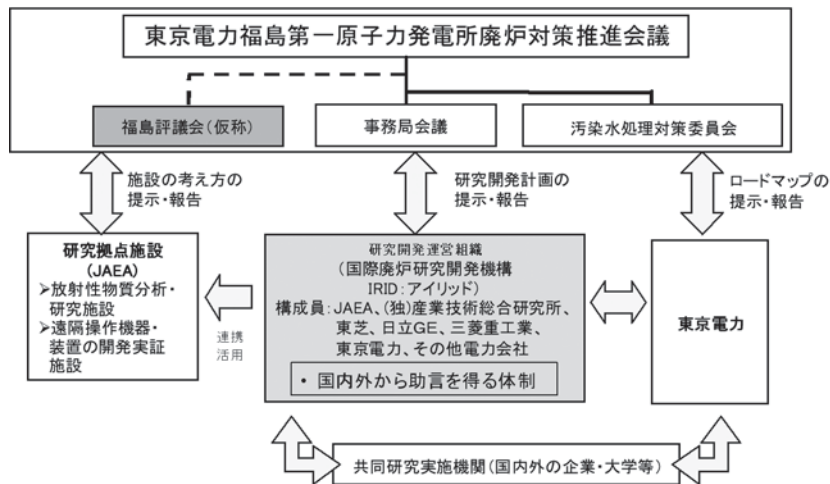
### (2) 陸側遮水壁の設置

凍土方式による陸側遮水壁を設置することで、地下水の流れを遮断し、建屋内への地下水の流入を抑制する。今後、凍土方式による陸側遮水壁の概念設計等を進めていく中で、技術的な課題の解決状況を検証していく。

### (3) タンク増設計画

地下水の流入抑制策を取ったとしても一定程度増加する汚染水を十分に貯蔵できるよう、中長期で必要とされるタンク容量を見通し、増設計画を策定する。





第5図 研究開発体制の強化

2016年度中に80万 $\text{m}^3$ に増設する計画の検討を進めるとともに、汚染水処理に向けた各対応策が機能しない場合に対応できるよう、対応策の進捗を見定めつつ、柔軟に増設計画を見直し、運用していく。

#### (4) 放射性廃棄物管理

固体廃棄物の保管管理を行う上では、敷地内の有効利用、管理のしやすさ、処理・処分の負荷を低減する観点等から、発生量をできるだけ少なくすることが重要である。そのため、「持込抑制>発生量最小化>再使用(リユース)>リサイクル」という優先順位に従った発生量低減対策により継続的に廃棄物発生量の低減を図っていく。また、処理・処分方法の検討のため、性状把握、分析手法等の研究開発を推進していく。

#### (5) 原子炉施設の廃止措置計画

事故の影響により残存設備の利用範囲や発生する廃棄物の種類や量が、通常の原子力施設の廃止措置と異なることから、最終的な形態を念頭に置いた廃止措置の安全確保の考え方については、広く国内外の事例を参考に整理し、合理的な廃止措置シナリオを検討・立案する。併せて、立案したシナリオを念頭に置いた安全規制上の対応のあり方と、今後必要となる制度化に向けた道筋についても論点を整理する。

### 5. 研究開発と人材育成、国際協力

燃料デブリ取り出し等の工程前倒しに伴い、個別の研究開発計画について、現場作業の工程や他の研究開発プロジェクトの工程との関連性も考慮して検討した結果、必要となる見直しを行った。

また、研究開発を一元的にマネジメントする研究開発運営組織「技術研究組合 国際廃炉技術研究開発機構(IRID)」を設立した。本組織に対し助言を行う国際顧問を登用すること、国際廃炉エキスパートグループを設置することにより、国内外の研究機関・関係者との連携を

強化することを検討している(第5図)。

さらに、中長期的視点での人材育成に関する重点分野、中核拠点を選定し、国・JAEA・民間が連携して人材育成を推進していく。

## IV. おわりに

避難されている住民の皆様の一刻も早いご帰還を実現し、地域及び国民の皆様の不安を解消するためにも、政府、当社を中心とする関係機関は、適切な協働体制の下、中長期ロードマップに基づき、廃止措置等に向けた中長期の取組を着実に進めていく。

併せて、今後の現場状況や研究開発成果等を踏まえ、廃炉対策推進会議において本計画の進捗状況を確認・公表するとともに、定期的に見直すことなどを通じ透明性の確保・向上を図る。

#### —参考文献—

- 1)「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」の進捗状況(2011年12月16日):原子力災害対策本部,政府・東京電力統合対策室。
- 2)東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(2011年12月21日制定,2012年7月30日改訂):原子力災害対策本部,政府・東京電力中長期対策会議。
- 3)東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(2013年6月27日改訂):原子力災害対策本部,東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議。

#### 著者紹介

高儀省吾(たかぎ・せいご)

東京電力(株)

(専門分野/関心分野)

原子力発電所の建設,保守,運営管理等



# 福島原子力事故の人間面・組織面の教訓と 原子力安全改革の取り組み 事故を防ぐことはできたのか？

東京電力(株) 川野 晃

2013年5月21日、国際原子力機関(IAEA)の主催した専門家会議に参加し、福島原子力事故の人間面・組織面にフォーカスした発表を行った。その中で、「巨大な津波を予測することが困難であったという理由で、今回の事故の原因を天災として片づけてはならず、人智を尽くした事前の備えによって防ぐべき事故を防げなかった」との当社の基本スタンスを明確にするとともに、改めて事故を振り返り、「巨大津波は本当に予測できなかったのか」、「事故を防ぐために事前に何らかの対策を取ることは出来なかったのか」、「より効果的な事故対応を取ることは出来なかったのか」を問い直し、それらを基に、2度とこのような事故を起こさないために何をなすべきかについて述べ、大きな反響を得た。発表内容は、当社が本年3月29日に公表した「福島原子力事故の総括および原子力安全改革プラン」に沿ったものであり、本稿ではその概要について紹介する。

## I. はじめに

原子力発電所における津波に関するリスク分析とそれを踏まえた対策は、土木技術者を中心に事故前から行われてきたが、設計段階から外的事象を起因とする共通原因故障への配慮が不足し、福島原子力事故を防ぐことが出来なかった。また、国内外から学ぶプロセスも十分ではなかった。

一方、事故発生後の発電所員を中心とした対応は過酷を極め、一人ひとり全身全霊を傾けて収束に当たったが、ハード、ソフト両面の準備が不十分であり、結果を残すことができなかった。

以下、津波高さ想定と事故対応の経緯を振り返ることを通じ、事故の人間面、組織面の背景要因を分析するとともに、それを踏まえて策定された原子力安全改革プランの内容について紹介する。

## II. 津波高さ想定と経緯に関する振り返り

今回の巨大津波を事前に予測すること、あるいは、津波高さの想定自体が不十分なデータに基づく不確かなものであることを認識した上で、最低限の防護措置をプ

ラント側で講じることは、本当に不可能であっただろうか。当時の原子力経営層にとって、シャープに判断するには難しい面があったと推察するが、同時に「安全を最優先し、保守的な意思決定を実行する意識をより強く持っていれば、必要最低限の対策は取れたのではないか」、「原子力発電所を運営する組織としては、そのような判断ができる強靭さを持ち合わせるべきではなかったか」という思いが浮かび上がってくる。以下、津波高さの評価に関する歴史的な経緯を振り返り、こうした問題意識をベースに、事故の根本原因分析により問題点の抽出を行う。

### 1. 経緯

福島第一原子力発電所における津波高さは、設置許可の申請段階においては、明確な基準もなかったことから、既往の最大津波として1960年に発生したチリ津波を設計条件として想定(小名浜港工事基準面(O.P.)+3.122m)した。

1993年北海道南西沖地震(津波)、1995年兵庫県南部地震を契機に、防災強化の気運が高まり、津波に関しても、原子力発電所の一層の安全性向上の観点から、土木学会は2002年2月、新しい津波評価手法を「原子力発電所の津波評価技術」としてまとめた。この評価手法は、過去最大の津波を参照しつつ、予測の過程で介在する種々の不確定性を考慮したもので(ただし、空白域における津波波源の存在に関する不確定性は考慮していな

*Lessons of TEPCO's Fukushima Accident from Human and Organizational Aspects and Challenge for Nuclear Safety Reform: Akira KAWANO.*

(2013年8月30日 受理)

い)、過去最大津波高さの約2倍の評価結果が得られる程度の保守性を有すると考えられた。この手法により、福島第一原子力発電所では設計条件を+5.4～5.7mに見直し、ポンプのかさ上げ、建屋の水密化等必要な対策を実施した。この時点で、本評価技術の枠内においては、過去に大規模な津波が発生した記録がないこと等から、福島県沖の日本海溝沿いには津波波源を想定していなかった。

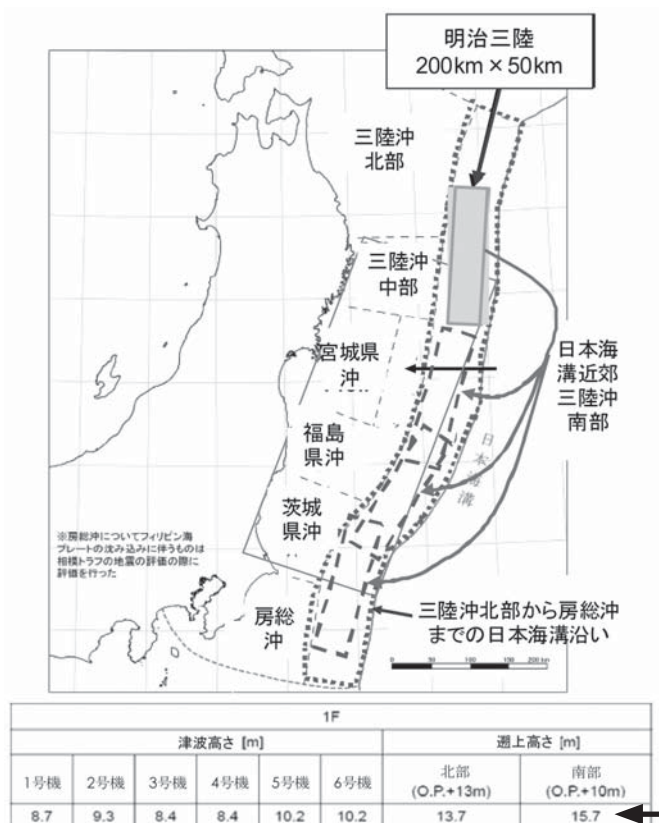
一方、同年7月に、国の地震調査研究推進本部(以下、「地震本部」)が「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」を公表し、三陸沖北部から房総沖の日本海溝沿いのどこでもマグニチュード8.2級の地震が発生する可能性があるとの見解を明らかにした。公表された内容に具体的な津波の波源モデルについては示されていないが、過去に経験のない福島県沖の日本海溝沿いでも、実際に大きな津波が発生するとすれば、福島第一、第二両原子力発電所の設計条件となる津波高さが増すことは容易に想像される。このような中、土木学会では2003年より、津波の確率的評価手法の検討が開始されるが、津波波源を推定するためのデータが少ないという限界が認識され、決定論に基づく後述の試算も2008年まで行われなかった。

一方、国の一般防災を担当する中央防災会議において、日本海溝沿いなどの地震について2003年末から2006年初頭まで2年数ヶ月にわたる審議を行っているが、地震本部の長期評価に記載されている福島県沖等のプレート間地震については近い将来発生する可能性が低いものとして、検討された上で除外されている。また、この時期、研究者の間では福島沖の日本海溝沿いの津波地震については、必ずしも意見の一致は得られていない。このような状況ではあるものの、今振り返ると、この時期が対策を検討し、迅速に何らかのアクションを取る最初のチャンスであった。

2006年1～7月、原子力安全・保安院(当時)では、米国での内部溢水の検討や2004年12月のスマトラ島沖津波の知見を受けて、溢水勉強会(外部溢水では、建屋設置レベル+1mの津波が継続することを前提にプラント設備への影響を評価)が開催され、当社も協力要請されオブザーバとして参加した。この時期、本店に駐在した研修生が、この溢水勉強会での検討内容も踏まえ、福島第一5号機を代表として想定を超える段階的な津波高さに応じた影響と対策について評価した。提案された対策の中には、有効なものも含まれていたが、土木学会の評価手法は十分な保守性を有していると考えていたため、当時の原子力経営層が具体的にその成果を取り上げ、検討を指示することはなかった。

2006年9月、耐震指針の改訂に伴い、新たな設計基準地震動を用いた耐震安全性の再評価(耐震バックチェック)が開始された。2007年7月、新潟県中越沖地

震が柏崎刈羽原子力発電所を直撃し、それまでの評価で活断層としていなかった断層が震源であったこと等もあり、同評価は一旦停滞したが、その後、新潟県中越沖地震の知見も踏まえた調査や検討を再開した。耐震バックチェックの最終報告書では、津波についても最新の知見を踏まえた評価を行うことが求められており、津波の波源モデルはないものの、地震本部の長期評価を何らかの形で反映することを求められると考えられたことから、2008年3～7月、地震本部見解を踏まえた社内検討として、北方に位置する明治三陸津波を仮の波源モデルとした試算(三陸沖の同モデルを機械的に福島沖に移動し解析)を行ったところ、最大で15.7mの津波高さを得た(第1図参照)。同年6～7月、津波を防ぐための防潮堤の建設費用(数百億円)や周辺区域への影響等について概略検討された。社内検討においては、試算の結果の信頼性についても議論されたが、当時使用していた土木学会の津波評価手法も十分な保守性を有しており、原子力発電所の安全性は担保されているものと考えられていた上、福島県沖の波源モデルについて、技術的な妥当性が確認できないことから、福島県沖の津波波源モデルの扱いについて、2009年6月、土木学会へ審議を依頼した。今振り返ると、この時も、2011年3月11日より前に、何らかの対策を講ずるチャンスであった。結果的には、想定を超える津波が来襲した場合全電源とヒートシンクの喪失から炉心溶融に至る可能性を認識した上で



第1図 地震本部の提言を受けた試算



組織横断的に十分な議論を尽くすには至らなかった。

津波高さの試算から2年後の2010年8月、土木学会の審議結果を待ってから対策を検討するのでは、耐震バックチェックの対応工程に影響が出ることを懸念した土木技術者の提言により、原子力部門内に津波対策ワーキンググループが設けられ、津波の影響を低減するための対策の本格的な検討に着手したが、結論を得るまでには至らなかった。

以上の通り、発電所建設後も新たな知見を踏まえて、津波高さ想定に関する様々な改善が図られてきているが、2002年の土木学会の津波評価技術が定まった以降は、有効な対策を検討する機会があったにもかかわらず、肝心の最後の一步を踏み出す決断がなされなかった。土木学会の検討だけに頼らず、自ら必要な対策を考えてバッテリー室の止水や予備電源の準備等の対策を取っていれば、今回の東北地方太平洋沖地震津波に対しても一定レベル以上の影響緩和が図られ、大量の放射性物質の放出という最悪の事態を防げた可能性がある。

## 2. 根本原因分析

当時の組織の考え方、行動を振り返り、何が問題で、その背後要因は何であったのか、また、どのような改善を行えば適切な行動が取れたのか、という視点に立って根本原因分析を行った。「安全意識」、「技術力」、「対話力」の観点から、以下に示すような事故を未然に防ぐ上での問題点が認識された。

### 「安全意識」

- 旧原子力経営層は、津波のデータは高々400年程度しかない限られたもので、それに基づく予測の不確実性は大きいことを認識した上で、安全性を重視し、積極的に対策を実施する姿勢、保守的な意思決定を行う姿勢が不足した。
- 具体的には、津波を直接防ぐ防潮堤等の検討(深層防護の第1層)にとどまり、事故発生時の対応手段、および、事故状況の緩和手段(深層防護の第3層と第4層)の増強対策を講ずる姿勢が不足した。

### 「技術力」

- 旧原子力経営層は、土木学会の判断に依存し過ぎ、自ら検討を深めて判断する姿勢が不足した。
- 実務レベルにおいても、土木学会の評価手法の特徴(福島沖の日本海溝沿いに波源がないことを保証するものではないこと、および、波源モデルの設定次第で結果が大きく変わること)に対する配慮が十分ではなかった、あるいは、費用対効果が大きく、短期で実施可能な対策を立案する柔軟な発想が足りなかった。

### 「対話力」

- 過剰な対策を求められることを恐れ、リスクを踏まえた津波対策の必要性について、率直に、立地地域や規制当局とコミュニケーションを図る姿勢が不足

した。

## III. 事故対応の経緯に関する振り返り

福島第一原子力発電所における事故復旧活動は過酷を極めた。事故当日だけでもマグニチュード5.0以上の余震が150回以上も発生し、津波警報が継続する中、中央制御室では、プラント状態が把握できず、連絡手段が限られ、暗闇の中、恐怖と絶望が交錯した。その中でも、運転員は自ら最低限の安全ルールを定め、状況把握とバルブ操作のために現場に向かった。発電所緊急時対策本部(ERC: Emergency Response Center)のある重要免震棟では、事故発生直後、700名近い所員および関係者を収容し、水や食料が不足、便所の機能維持が困難を極め、睡眠不足による疲労が重なる中、軽重様々な情報が飛び交い、冷静な判断が難しい状況に陥った。事故現場の所員は極限の努力をもって事態の収拾にあたったが、不十分な体制・資機材の下では対応に限界があり、1～3号機の炉心溶融、それに続く大量の放射性物質の外部への放出を防ぐことはできなかった。以下、過酷事故や複数号機の同時被災を想定し、実践的な訓練や資機材の準備をしていれば、事故対応でもその影響を少しでも緩和できたのではないかとの問題意識から、1号機と3号機における事故進展の転換点を振り返り、事故の根本原因分析により問題点の抽出を行う。

### 1. 1号機非常用復水器の機能停止の経緯

1号機では、津波到達以降、短時間で炉心溶融へと進展している。全電源喪失の状況下で、原子炉の冷却を担う設備のうち、非常用復水器(IC: Isolation Condenser)の機能不全は事故の進展に大きな影響を与えた。事故の主たる状況が解明された現在から見れば、炉心溶融を防ぐ唯一の手段は、被ばく低減措置をできる限り施した上で、原子炉建屋の4階にかけ上がり、ICの内側隔離弁(格納容器内部)の開状態維持を期待し、外側隔離弁を手動で開くことであった(第2図参照)。

津波警報が継続し、命を失う危険性のある現場に調査に行かせることははばかれる状況であり、線量も不明なICの現場に一目散に向かうことは困難であったと考えられるが、それでもなお、なぜICに対して最優先で状態の確認や再起動等の対応作業を行うに至らなかったのか、聞き取りと記録調査を元に分析したところ、以下の問題点(1)～(3)が明らかになった。

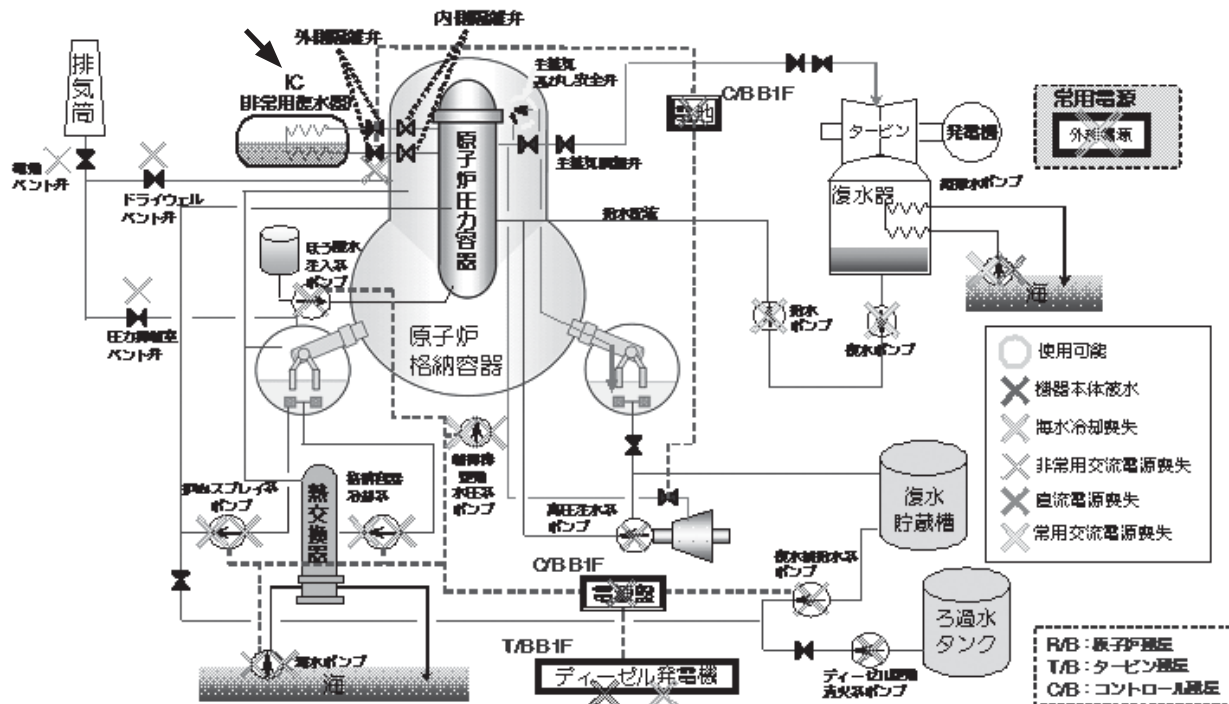
- (1) 発電所ERCは、必ずしも確かとは言えない情報が交錯する中、格納容器内の圧力が異常に高いことを確認した3月11日深夜までの間、ICは作動していると考えていた。

問題点(1)の背景として、主に以下の情報共有の実態が、発電所ERCの幹部の行動と思考に影響を与えたと考えられる。

- 16時44分、発電所ERCの発電班(中央制御室の

**津波浸水後**

海水ポンプが停止し、非常用ディーゼル発電機が停止。  
津波が建屋内に侵入し、電池や電源盤も機能を喪失。  
全ての計器類の表示、操作機能、照明が失われた。



第2図 津波襲来後の1号機の状況

運転操作支援を担当)の要員が原子炉建屋壁面にあるIC蒸気配管から蒸気がモヤモヤしていると報告したこと

○その後、ICからほとんど蒸気が出ていないのを見た人がいるものの、その状況が発電所ERCで明確に伝わるよう、ICの動作状況確認を目的として写真を撮るなど組織的な情報収集までは行われなかったこと

○18時25分、中央制御室からICの外側隔離弁を閉じたとの報告が、発電所ERC幹部に伝わらなかったこと

○21時半、水位計の指示が回復を示し(TAF+200mm:後に誤った指示値であったと認識)、他に比較するものがなく、この値を信じてしまった。一方、16時42分から17時にかけて、一時的に回復した水位計の指示が低下していることが確認され、それを元に技術班(プラント情報に基づく安全面の分析を担当)が18時頃に水位が炉心頂部まで低下すると予測している。

それでは、このように情報がはっきりとつかめない状況下において、なぜ、誰かが、大きな声で、「ICの運転状態は実際どうなっているのか?」と確認の声をあげ、何らかのアクションを取るに至らなかったのだろうか。背景として、さらに以下の問題点が考えられた。

(2) 発電所ERCの幹部メンバーは、6プラントが同時並行で事故進展する中、通報や外部への対応にも

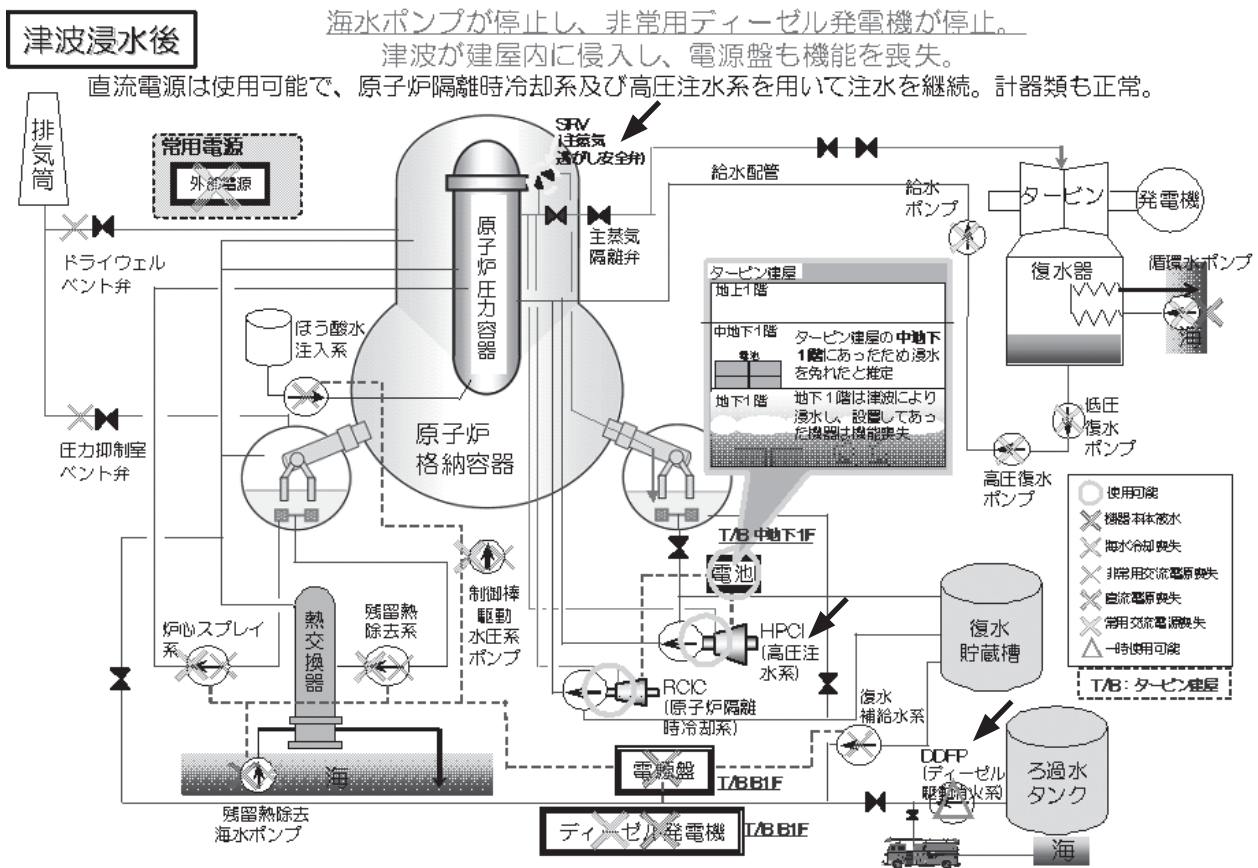
煩わされ、各号機に対する最善の策を落ち着いて考える余裕がなかった。

(3) 発電所ERCの幹部メンバーの多くが、ICの機能の細部を把握していなかった。運転員自身もICの実作動状態について、先輩運転員等から伝え聞いていたが、自身がサーベランス等で実体験していないことから、他の所員とコミュニケーションを通じて情報共有する状態にまでは至らなかった。

その他、発電所ERCの幹部メンバーは、2号機原子炉隔離時冷却系(RCIC: Rector Core Isolation Cooling System)の作動状況および原子炉水位が把握できず、2号機の方が危機状況にあると考えていたこと等も、判断に影響を及ぼしたと振り返ることができる。

**2. 3号機注水機能の喪失の経緯**

3号機は、津波到達後も直流電源が使用可能であったことから、初めにRCIC、次に高圧注水系(HPCI: High Pressure Core Injection System)による原子炉冷却が行われた。しかし、3月12日深夜には、HPCIタービン回転数が運転許容範囲を下回り、さらに低下傾向を示しており、タービンが損傷し、蒸気が漏洩する懸念があったこと、HPCIの吐出圧力が原子炉圧力と同程度となり、注水していない状況となったことから、HPCIを停止し、その時作動状態にあったディーゼル駆動消防ポンプ(DDFP: Diesel/Driven Fire Protection Pump)による原子炉注水に切り替えようとした。その際、中央制御室における主蒸気逃がし安全弁(SRV)の状態表示灯は点



灯しており、操作電源はあり開操作可能、すなわち、原子炉は速やかに減圧できると考えた。しかし、実際には減圧操作ができず、その後バッテリーを持ち込む等して減圧、DDFPへの切り替えを行うこととなり、約7時間にわたって注水が途切れた(第3図参照)。なぜ早い段階から減圧による低压系への切り替えを行うことができなかったのか、聞き取りと記録調査を元に分析したところ、以下の問題点が明らかになった。

- (1) 1号機 IC の機能停止に関する分析でも明らかになった複数プラントへの対応と様々な外乱の問題
  - (2) 12日午後の1号機の水素爆発により、仮設備敷設作業(電源車を用いた電源復旧、消防車を用いた原子炉注水機能復旧等)が滞ったこと、その背景に爆発による精神的ショックの影響があったことさらに大きな問題として、以下の問題点が考えられた。
  - (3) 原子炉注水の代替として消火系のDDFP(切り替え先)に対する十分な信頼感(HPCIやRCICと比較して)がなかった(切り替えにためらいがあった)こと
- 問題点(3)の背景には、1号機でDDFPが故障した実績(3月12日午前2時頃から)があったこと、DDFPの吐出圧は所定の圧力まで上昇しておらず、系統の信頼性が確かでなかったこと、DDFPはタービン建屋の地下1階にあり、余震が引き起こす津波による被害の可能性、燃料補給時の危険性が考えられたこと等があった。すな

わち、事故時のDDFPの使用については、様々な面で十分な準備が整っておらず、発電所ERCの幹部が切り替えを迅速に判断するに十分な要因が揃わなかったと言える。

### 3. 根本原因分析

上記事故対応の実態分析から、「安全意識」と「技術力」の両面から以下の問題点が認識された。

#### 「安全意識」

- 過酷事故や複数プラントの同時被災は起こらないという思い込みから、訓練計画が不十分で、訓練が形式的なものとなっていた。
- 同様に、必要な資機材の備えが不足した。

#### 「技術力」

- 緊急時の復旧に必要な作業を自ら持つべき技術として設定していなかったことから、当該作業を自ら迅速に実施できなかった。
- 過酷事故時においても計器類からプラント状態の情報が入手可能という想定であったため、情報が無い状態におけるプラント状態の推定、それを踏まえた対策の迅速な立案ができなかった。
- 全電源喪失下における情報共有の仕組みが準備されておらず、訓練も不十分で、円滑な情報共有が図れなかった。



## IV. 原子力安全改革へのチャレンジ

### 1. 原子力不祥事後の原子力再生活動

当社原子力部門は、2002年に公表した「当社自主点検記録に関する不正問題(炉内構造物点検記録の改ざん等)」の際に、組織として抜本的に生まれ変わることを志し、原子力再生活動を推進した。しかし、本活動は業務品質の向上等、一定の成果を残したものの、結果的には、徹底した安全重視の考え方を組織全体に浸透させ、今回の事故を防ぐことのできる実力を備えた強靱な組織を構築するには至らなかった。

当時不祥事を引き起こすに至った背景要因を徹底的に分析した結果、

- 安全最優先の意識が組織全体に浸透しておらず、業務の具体的なプロセスにも組み込まれていない
  - 自己満足に起因する組織内への閉じこもり
  - 学ぶ姿勢／疑問を呈する姿勢の欠如
  - 企業者倫理意識の欠如
  - 当社と協力企業間・本店と現場間のあいまいな役割分担、不明確な責任と権限
  - 規制当局や立地地域との間で業務品質の向上を目指した率直かつ合理的な議論を展開する機会が欠如
- 等の問題点が認識された。これらの問題点は、今回の事故後に分析された背景要因との共通点が多いためである。

これらを踏まえ、当社は、品質部門の強化と独立した品質監査部門の新設、品質保証システムの構築、企業倫理の強化、不適合管理システムの導入等、様々な方策を取った。さらに、「世界最高水準の安全性と品質レベルを有する信頼される原子力発電所」を構築すべく、変革の土台となる個々の意識改革を進めるリーダーシップ開発研修(LDE: Leadership Development Exchange)と、組織横断的に活動し3発電所共通のプロセス構築を目指した「業務プロセス改善活動」を2本の柱とした変革マネジメントの取り組みを、米国コンサルタントの支援を受けながら進め、実際スタートは順調であった。

LDEの期間は2週間、発電所および本店の第一線実務者を対象とし、主に米国で実施した。研修内容は、変革に必要とされるコミュニケーションと課題解決のスキルを実地演習を通じて教授するもので、受講者は2003年以降、日本での実施分を含めると最終的に900名近くに及び、意識面の土台は十分に構築されつつあった。また「業務プロセス改善活動」は、LDEの受講生を中心に、海外のベストプラクティスを参照しながら推進され、保全や運転の業務を中心に一定の成果を残していった。

しかし反面、業務の3発電所共通化のための詳細な調整に多くの時間が割かれ、その際に、活動計画を承認した経営層から共通化に向けた強いスポンサーシップとコミットメントが得られず、活動者自身が徐々に疲弊していく悪循環が生まれた。LDEに対しても、経営層の関

与は徐々に少なくなり、受講生、あるいは、そのスキルの積極的活用もされなくなっていく。各発電所は徐々に独自の活動に多くのリソースを割くようになり、発電所間の共通化や相互学習の試みは、スローダウンしていった。経営層が当初の志を一貫して粘り強く貫く姿勢に欠けていたこと、活動の成果等が目標通りに行かなくとも責任を取ることがなかった点に問題があったと考えられる。今回の原子力安全改革プランの実行に当たっては、原子力再生活動におけるこのような苦い経験を十分に踏まえる必要がある。

### 2. 原子力安全改革プラン

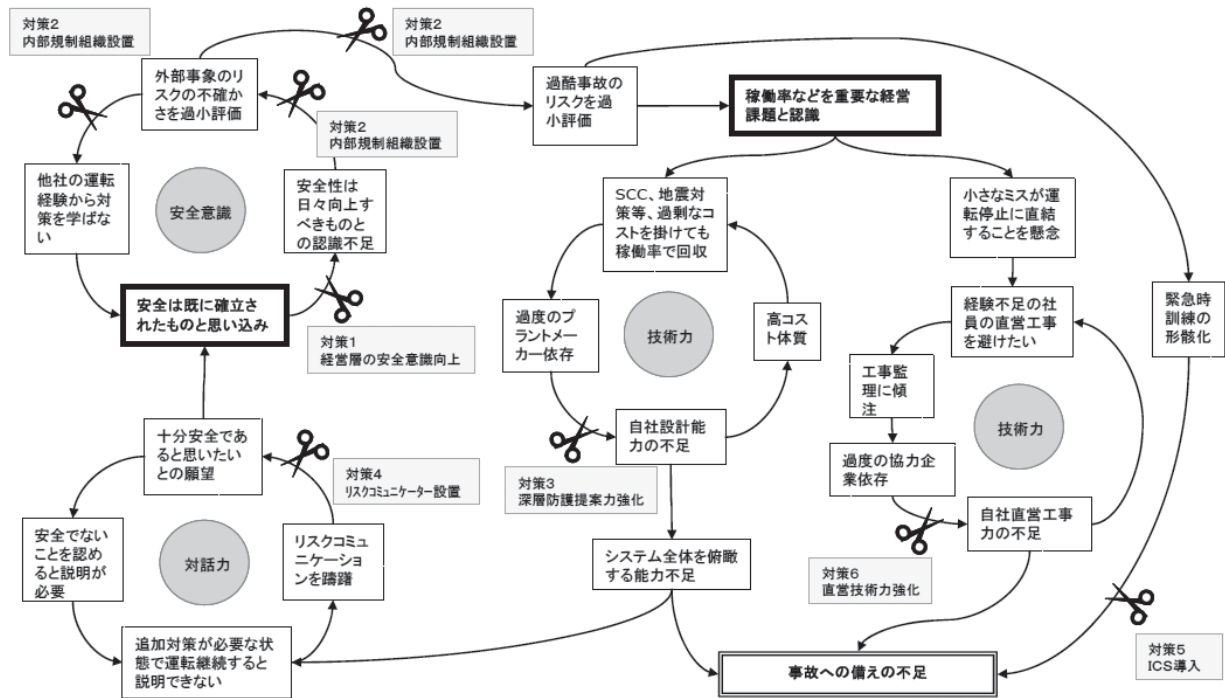
当社は2012年9月、「原子力改革特別タスクフォース」を設置し、事故の本質的な背後要因を分析するとともに、それを踏まえた対策案を構築し、本年3月29日に「福島原子力事故の総括および原子力安全改革プラン」として公表した。

福島原子力事故を防げなかった背後要因は、事故の備えが不足した負の連鎖が強固に組織内に定着していたものであり、これを解消するために複数箇所、同時に断ち切るために、以下の6つの対策を実施する。第4図に負の連鎖とそれを遮断する6つの対策(ハサミ)を示す。

- (1) 経営層からの改革(経営層の安全意識向上、原子力安全文化の組織全体への浸透他)
- (2) 経営層への監視・支援強化(内部規制組織の設置、ミドルマネジメントの役割向上他)
- (3) 深層防護提案力の強化
- (4) リスクコミュニケーション活動の充実
- (5) 発電所および本店の緊急時組織の改編
- (6) 平常時の発電所組織の見直しと直営技術力の強化

本稿で繰り返し述べてきているように、今回の改革の中心は経営層、すなわち、対策の(1)と(2)にある。現時点ではっきりと見えていないリスクに前もって手を打っていくことは難しいチャレンジだが、経営層は自ら、内外の情報にアンテナを高くし、組織内外とのコミュニケーションを通じて、相互に学びあい、疑問を呈することを慣習とし、自ら先頭に立って行動と態度で示すことにより原子力安全文化の組織全体への浸透を図っていくことが必要である。対策(1)としては、既に、経営層に対する原子力発電所の安全設計、防災、福島事故の経緯と教訓に関する研修、原子力経営層による原子力安全改革プランに関する徹底討論、他産業訪問等を実施した。

対策(2)としては、5月に原子力安全監視室を設置し、室長には、英国から原子力安全の専門家であるクロフツ氏を招聘した。同室では、当社の原子力部門が、世界最高レベルの安全を実現できる組織に生まれ変わるよう、世界のベストプラクティスを参照しながら、独立した立場から、原子力安全に関わる活動を中心に監視・助言するとともに、原子力安全文化の組織全体への浸透に対しても支援する。



第4図 負の連鎖の遮断

エンジニアリング力と現場技術力の強化は、対策(3)と(6)により行う。2002年不祥事以降、国による安全管理審査や保安検査等の規制が強化され、机上業務が増えた一方で、それらの合理的な進め方の検討や他の業務のスクラップが進まず、机上、現場の双方で、技術力の低下が顕著に見られた。自らの頭で考えて設計し判断する能力、自らの手を動かして現場のシステムや機器を直接扱う能力を再構築する必要性は今回の事故からの教訓の大きな部分を占める。対策(3)では、費用対効果の高い提案を広く募る「安全性向上コンペ」をスタート、その他、国内外の運転経験から学ぶプロセスの強化を図るとともに、外的ハザード(自然現象、外部人為事象)の分析を具体的に開始した。対策(6)では、安全強化のために設置した電源車や消防車の運転や設備診断業務、および、その他直営技術力強化に関する訓練をスタートした。

対策(4)では、4月にソーシャルコミュニケーション室を設立し、リスクコミュニケータを約30名配置、リスクを早い段階から明らかにし、規制当局、立地地域、メディア、その他の関係者と共有し、技術力を背景に、事実に基づいた率直な議論が展開できる土台を構築していく。

対策(5)では、今回の事故対応において、過酷な状況下で混乱を極めた指揮命令系統に鑑み、本年1月から、ICS (Incident Command System—米国等で標準的に採用されている災害時現場指揮システム)の考え方に沿った緊急時組織体制の整備を開始、3月からおおむねICSの考え方に沿った組織を運用し、訓練を継続的に行っている。

## V. おわりに

津波は想定外であったが、事故は想定外でしたでは済まされない。当社は原子力事業を運営していく責任を改めて担わせていただくための条件として、想定外の事象にも耐えられるハード面の強固な深層防護と、ソフト面の柔軟な対応力を、双方とも一定レベル以上の余裕を持って実現していく必要がある。これは事故を起こした当事者としての使命であり、原子力安全改革プランはそのためのプランであると考えている。

プランの実行は、策定の何倍も難しい。福島原子力事故の教訓から学び、本改革プランを確実に、また実効的に進めることが、日本はもとより世界の原子力の安全性向上に資するものと考えている。依然避難生活を余儀なくされている住民の皆様のことを強く思いながら、覚悟を持って推進していきたい。

### —参考文献—

- 1) 福島原子力事故調査委員会 福島原子力事故調査報告書(最終報告書)、平成24年6月20日、東京電力。
- 2) INPO 11-005 Addendum, August 2012, Lessons Learned from the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

### 著者紹介



川野 晃 (かわの・あきら)

東京電力(株)

(専門分野) 原子力発電所の設計、保守、運営管理、国際関連業務、電気工学

## 解説

# 東通原子力発電所 敷地の地質・地質構造

## 敷地内断層に関する評価の現況

東北電力(株) 坂東 雄一

東通原子力発電所の敷地内には、比較的連続性の良い10本の正断層が認められている。原子炉設置許可申請に係る安全審査では、敷地内断層について活動性はないとの判断がなされ原子炉設置の許可を得ている。原子力規制委員会の有識者会合では、敷地内断層は活断層の可能性があるとの見解が示されており、審議は継続中である。本稿では、当社がこれまで行ってきた地質調査の概要を紹介し、敷地内断層の活動性について考察する。

### I. はじめに

#### 敷地内断層に関わるこれまでの経緯

東通原子力発電所では、1970年代から1998(平成10)年の設置許可時までに、ボーリング調査(369孔、総延長約39,900m)、試掘坑調査(約3,700m)およびトレンチ調査(58カ所)を実施し、敷地内に主要断層として10本の断層があることを確認している。一方、後期更新世(約12万～13万年前)の地層にずれや撓み等の変状という現象(詳細後述)が認められるものの、これらの変状は局所的であり、系統的に連続しないこと等を踏まえて、当社は、東通原子力発電所敷地内の主要な断層は地震を引き起こすような活断層ではないと評価し、東通1号機の原子炉設置許可申請をしている。1996年8月から2年間にわたって行われた国による安全審査においても同様の評価が示され設置許可が下りたことから、東通1号機は1998年12月に着工、2005年12月に営業運転を開始している。

2006年9月に原子力発電所の耐震設計審査指針が改訂され、国は、既存の原子力発電所にも新しい指針に照らした地質調査や、その結果に基づいた発電所に影響のある活断層の評価等をあらためて行う耐震バックチェックの実施を事業者へ指示した。耐震バックチェックにおいて、当社は、東通原子力発電所の敷地内断層は地震を引き起こすような活断層ではないと評価し、2008年に耐震バックチェック中間報告書を国へ提出した。その後、「敷地内断層についてあらためて調査を行うべき」と

*Geology and Evaluation of Faults in the Site of Higashidori Nuclear Power Plant: Yuichi BANDO, Tadashi MIWA, Yuji TORIGOE, Shuichi HASHIMOTO.*

(2013年8月14日 受理)

いう国の審議会での意見を踏まえ、当社は、2012年7月から自主的に追加の地質調査を実施し、2012年11月にその実施状況を報告した。その間、国では、原子力安全・保安院および原子力安全委員会の事務業務等を一元化し、原子力規制委員会が2012年9月に発足した。耐震バックチェックに係る審議、特に敷地内断層の活動性評価に関しては、原子力規制委員会内に設置された会議体「東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」(鳥崎委員長代理に有識者4人を加えた計5名で構成)に引き継がれた。2012年12月13～14日には現地調査が行われ、現在までに「東通有識者会合」は計6回開催されている。

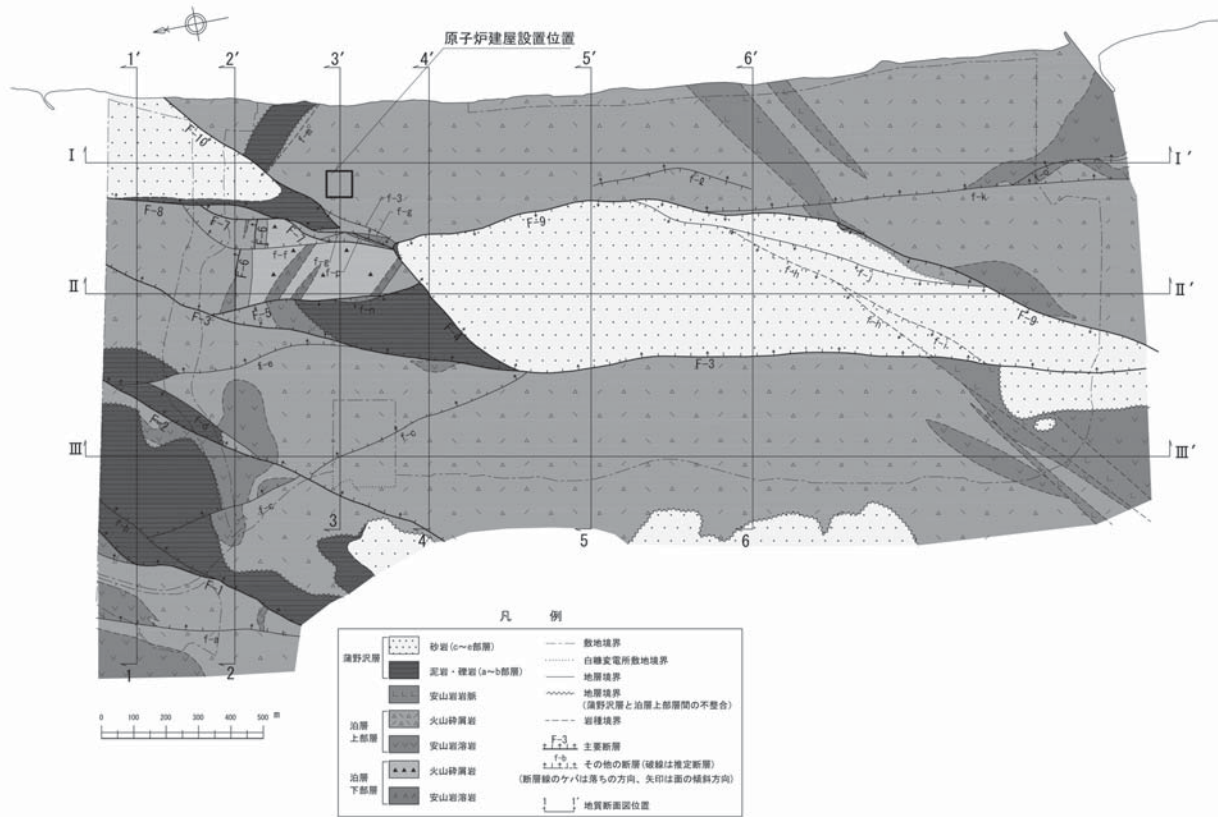
### II. 敷地の地質・地質構造

#### 1. 敷地の地質構造の概要

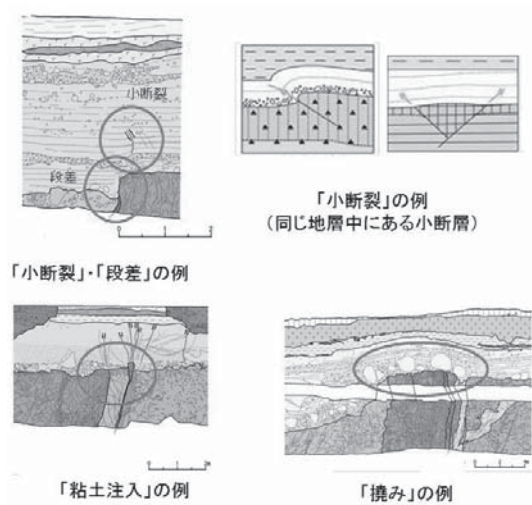
東通原子力発電所は青森県下北半島脊梁部の太平洋側に位置する。敷地周辺の地質は、下位から新第三系中新統の砂岩、泥岩を主体とする猿ヶ森層、玄武岩質～安山岩質の凝灰角礫岩を主体とする泊層、砂岩、泥岩、軽石凝灰岩を主体とする蒲野沢層および中部更新統～上部更新統の段丘堆積物からなる。

敷地の新第三系は、泊層上部層分布域に地塁状をなして泊層下部層が分布し、半地溝状～地溝状をなして蒲野沢層が分布する。これらの境界をなす主要な断層としてF-1断層～F-10断層が認められる(第1図)。主要な断層は主に、NNE-SSW方向で比較的連続性が認められる変位量の大きな高角度の正断層である。原子力規制委員会の有識者会合では、これらの一部の断層について、活断層の可能性を否定できないとの見解がまとめられている。





第1図 敷地地質構造図(原子力規制庁 HP<sup>1)</sup>(p.6)参照



第2図 第四系変状の例

2. 第四系の変状

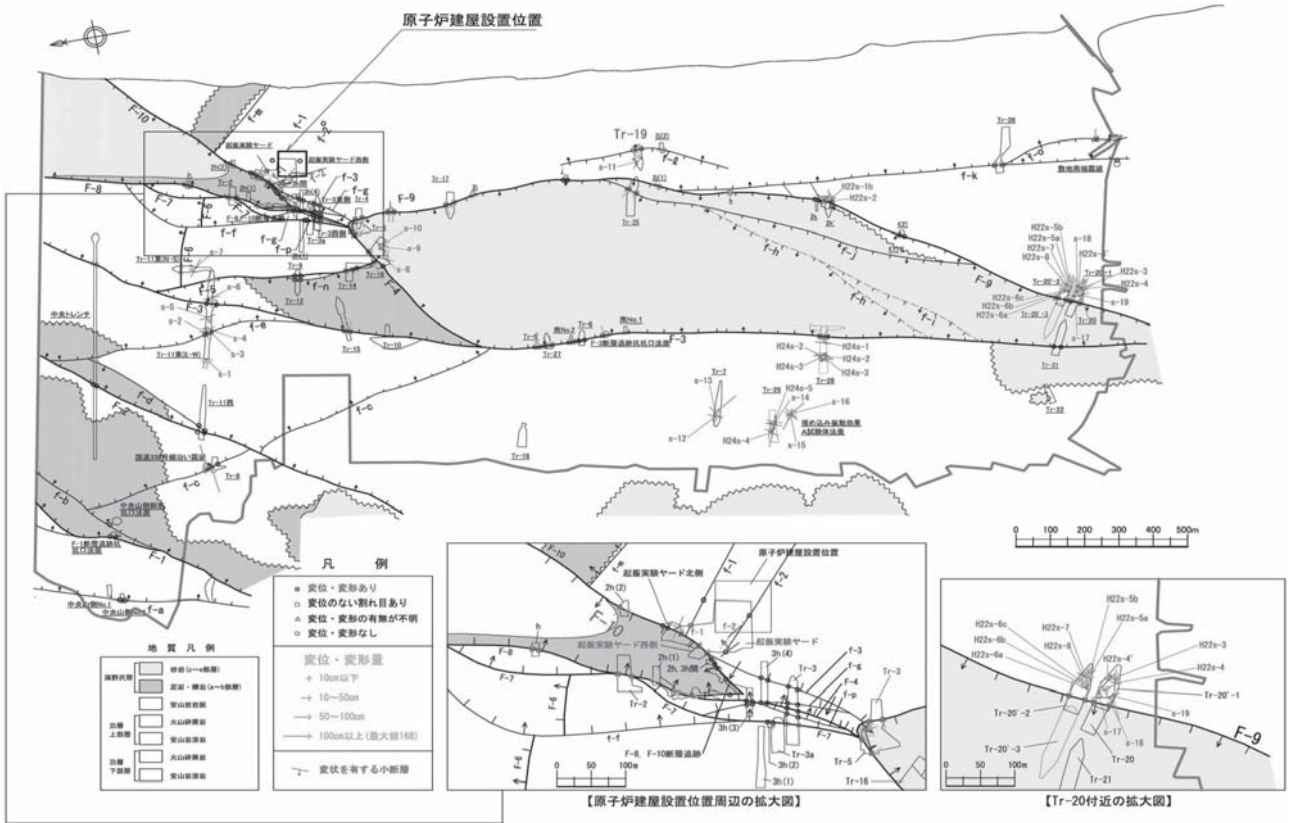
敷地内断層または新第三系の岩盤劣化部を被覆する第四系の一部には、第2図に示すような、第四系基底面の小規模な段差、破碎部粘土の第四系への注入、第四系中の小段裂および撓み等の変状が認められ、これらを第四系変状と呼んでいる。

第四系変状の特徴としては、(1)主要断層およびその他の断層における第四系変状の分布は限定的で、断層全体にわたって変状は認められない(第3図)。(2)第四系変状は岩盤劣化部の幅あるいは厚さが大きい箇所に対応し

て認められる傾向がある。また、岩盤劣化部には膨潤性粘土鉱物であるモンモリロナイトが周囲の地層に比べて多量に含まれている。(3)第四系変状のずれの量は小規模で、累積性は認められない。(4)第四系中の小断層には、正断層センスのものと逆断層センスのものが混在することがある。(5)変状が生じている小断層は、ごく浅部で消滅し、地下深部に連続しないものが多い。(6)第四系変状は断層のない箇所にも見られ、主として、上方への撓みからなる。(7)変状の形成時期は限定的で、おおむね標高の低い海側での形成時期は新しい傾向にある。

当社は、上記の特徴を考慮し、変状を発生させる成因として、①地震動による受動変位、②熱水等の圧入、③凍結・融解作用、④活断層による変位・変形の可能性を検討した。その結果、これらの成因では敷地内に見られる第四系変状が発生するとは考えにくく、第四系変状は、地表付近の断層破碎部、その近傍の劣化部および風化変質による劣化部に關係して形成されたものと考えるのが最も合理的であると評価している。形成メカニズムとしては、岩盤の劣化部(割れ目が多く発達、または風化に伴う軟質化した部分等)の一部が、敷地内の地下水位の変化に伴う吸水等によって体積膨張し、第四系の地層に変状を生じさせていると考えられる。

なお、東通原子力発電所の変状に似た事例が海外でも報告されており、詳細について調査・検討を進めているところである(詳細後述)。



第3図 第四系変位の分布(原子力規制庁 HP<sup>1)</sup>(p.68)参照)

### Ⅲ. 敷地内断層の活動性評価

当社は、以下の点から、敷地内断層が少なくとも中位段丘面形成期以降の活動性はないと判断している。

- ・断層の活動を示唆するリニアメントや段丘面内の連続性を有する高度不連続等は認められない。
- ・主要断層の形成時期は、東北日本の構造発達史、断層の形態等から新第三紀鮮新世以前と考えられる。
- ・正断層の形態・地質分布が明瞭であり、逆断層として反転した形跡は認められない。
- ・断層破砕部で確認される条線は高角のものが多く、横ずれセンスを示唆する特徴は認められない。
- ・一部の断層破砕部は、新第三紀の熱水変質作用によりセピオライト、石英で充填され、固結・岩石化しており、断層自体が再活動したとは考えにくい。
- ・反射法地震探査結果から、主要な断層は、地下500～1,000mで緩傾斜となり、地下深部へ連続しないことから、敷地の断層は地震を引き起こすような断層とは考えにくい。

主な論点について、詳細を下記に述べる。

#### 1. 敷地内断層の活動性(地下構造・深部固結)

当社は、敷地内のF-4断層、F-5断層、F-7断層およびF-8断層のボーリング調査において、破砕部の一部が固結・岩石化していることを確認している。一方、

有識者会合による評価書案<sup>2)</sup>では、「固結・岩石化については、断層活動後に破砕部が固結していく過程等を示す客観的証拠が示されていないため検討が不十分であり、したがって、固結・岩石化を根拠に活動性を否定することは困難」とされている。この評価書案の内容に対し当社は、断層ガウジの再固結ではなく、中新世の熱水活動等によって断層破砕部がセピオライト・石英に置換され固結・岩石化しており、この固結・岩石化した部分に、最近活動した痕跡が認められないことから、少なくとも500万年前以降に断層が活動した根拠はないと評価している。

なお、比較的データの少ない敷地南方を含めた敷地広範囲において、断層破砕部の深部性状を確認する目的で、ボーリング調査を実施中である。

反射法地震探査記録に基づく地下深部構造について、当社は、敷地内の主要な断層は地下500～1,000mで緩傾斜となり地下深部へ連続しないことから、地震を引き起こすような活断層とは考えにくいと評価している。一方、有識者会合の評価書案には、「事業者による記録の判読および地質構造解釈は不十分であるので、断層の地下深部への連続を否定することは出来ない」とだけ記載され、当社の見解を否定している。

なお、当社敷地を通り、下北半島を横断した広範囲の地質構造データを取得するため、海上および陸上で地震探査を実施し、現在、解析中である。



## 2. F-3 断層の活動性(横ずれ)

敷地内の主要な断層のひとつである F-3 断層の活動性について、有識者会合による評価書案では、「後期更新世以降(約 12 万～13 万年前以降)に活動した活断層である可能性が否定できない」とされている。その主な根拠として、(1)断層を被覆する M1 面段丘堆積物(約 12 万～13 万年前)に花卉構造(フラワーストラクチャー)に類似した小亀裂が認められることから、横ずれに特徴的である、(2)F-3 断層を被覆する海成の砂礫層が断層沿いの基盤中に深く落ち込み、この断層に取り込まれた扁平礫の長軸が断層に平行に並ぶように配列している構造があり、横ずれの動きを示唆することを挙げている。この評価書案の内容に対し当社は、敷地内には第四系基底面に断層のない箇所でも溝状に削剥され、上位の堆積物がくさび形～不規則形の断面形状で落ち込んでいる箇所が多々確認されており、軟質な破碎部では差別侵食により深い溝が形成され、礫がこの窪みを埋めるように堆積した可能性があるかと判断している。また、花卉構造に類似した小亀裂が認められるとの指摘には、敷地から延伸する断層について、敷地北側に隣接する東京電力(株)が実施した水平掘削面調査(トレンチにおいて上から順に水平スライス掘削を行い、その都度地質の詳細観察を行う調査)の結果<sup>3)</sup>から、横ずれの変位は認められないと考えている。

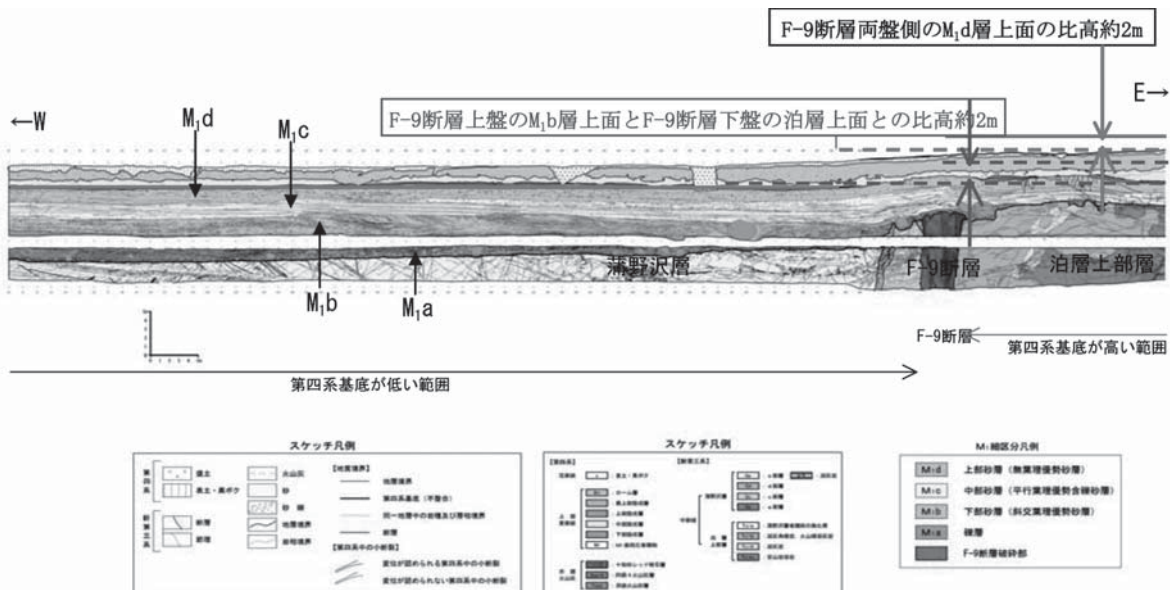
東京電力(株)の調査報告によると、(1)水平面において横ずれの変形構造に特徴的なせん断層の雁行配列は認められない、(2)礫層中の礫の配列および砂層中の葉理に水平方向の引きずりは認められない、(3)せん断層内部の礫に、水平方向の回転等の横ずれ変位を示す状況は観察されない、とされており、全ての掘削面について横ずれの変位は見られなかったとまとめられている。

以上のことから、当社は F-3 断層について、「少なくとも後期更新世以降の活動性はなく、耐震設計上考慮する活断層ではない」と評価している。

なお、F-3 断層について、当社敷地内でも水平掘削面調査を実施中である。

## 3. F-9 断層の活動性(累積性)

敷地内の主要な断層のひとつである F-9 断層の活動性について、有識者会合による評価書案では、「後期更新世以降(約 12 万～13 万年前以降)に活動した活断層である可能性が否定できない」とされている。その根拠として、F-9 断層西側の第四系基底面は東側に比べて低くなっている(第 4 図)こと等から累積の可能性を指摘している。また、F-9 断層を介して海側(東側)の方が山側より高まっている特徴的な地形が確認されており、断層活動によって断層の東側が隆起した可能性を指摘している。この評価書案の内容に対し当社は、(1)M<sub>1</sub> 面段丘堆積物中の斜交葉理から推定される旧河道の影響で、F-9 断層の西側に分布する蒲野沢層(堆積岩)が差別的に侵食されたことにより形成された凹状地形を、チャネル充填堆積物(第 4 図の M<sub>1a</sub> 層、M<sub>1b</sub> 層)が埋めている、(2)年代の異なる堆積面の各々の比高が同程度であることは、F-9 断層の変位の累積性を示すものではない、(3)F-9 断層の東側を隆起させるためには、正断層の下盤側が上昇することになるため、このような現象は考えにくく、指摘されている下盤側上がりの F-9 断層北側法面とは対照的に、F-9 断層南側法面では、上盤側の蒲野沢層が上昇するセンスの段差が確認されており、東側の地形の高まりを形成する動きとは非調和的であることから、この地形の高まりは断層運動によるものではないものと評価している。



第 4 図 F-9 断層周辺のスケッチ(原子力規制庁 HP<sup>1)</sup>(p.36)参照)



なお、F-9 断層破碎部の変形構造を詳細に観察するため、破碎部の試料を採取し分析中である。

#### 4. 第四系変状の成因

掘削されたトレンチ法面やボーリングコアにおいて、有識者会合による評価書案では、現在、岩盤劣化部が顕著に膨らんでいる様子が確認されない点や、最終間氷期（約 12 万・13 万年前～約 8 万年前）以後の高海面期である完新世（約 1 万年前～現在）に膨潤現象が確認されないこと等から、第四系変状の成因が体積膨張（膨潤）による主張は合理的でないとしている。この評価書案の内容に対し当社は、体積膨張は地下水位の上昇・下降や粘土鉱物の相転移等、いくつかの事象が複合して発生するものと考えており、トレンチ掘削、ボーリング掘進後直ちに膨潤が確認されないからといって、体積膨張による変状の発生が否定されるとするのは論理の飛躍であると考えている。

また、岩盤の体積膨張によって変状が形成されたとする説は世界的に見ても例がないとの有識者意見に対し、文献調査により類似事例があることが示された。詳細検討中ではあるが、形態的な類似事例として、米国コロラド州の Heaving bedrock による地盤変状等がある<sup>4)</sup>。この現象は、地層中に膨潤性粘土鉱物が含有されていると、地表に部分的な膨張が生じることがあるとの事例である。敷地内の断層破碎部および岩盤劣化部においても膨潤性粘土鉱物が周辺に比べて多量に含有される傾向にあり、上方に凸の撓み変形等が生じており、単純比較はできないものの、変状の範囲や隆起量の規模はコロラドの事例と比較して同程度であると考えられる。

なお、第四系変状の成因に関しては、検討を継続し、既往データ、類似事例の検討およびデータの更なる拡充を行っていく予定である。

#### IV. おわりに

これまでに開催された有識者会合において、当社はこれまで得られた科学的知見に基づき、敷地内断層は「耐震設計上考慮すべき活断層ではない」との見解を説明している。当社の見解は、これまでに蓄積した膨大な地質調査データに基づき、断層破碎部の性状や地下深部の構造等を含めた多面的、総合的な検討に基づくものであり、加えて、複数の学識経験者から当社の見解を技術的、客観的に支持する見解書も頂いている。これまでの評価会合では、評価書案の各論点についてまだ議論して

いない論点も残されており、また、議論いただいた論点についても、有識者と当社の見解には乖離があることを踏まえると、まだ議論を尽くすべき点が多々あると考えている。

当社は、東通原子力発電所の敷地内断層についての有識者意見を踏まえ、2013 年 12 月までの予定で地質調査等を実施しているところであり、あらためて敷地内断層の活動性の有無に関する評価・確認を行っていくこととしている。

原子力規制委員会においては、今後とも議論を継続し、地質調査で得られる新たなデータや知見を確認いただくとともに、これまでの審査に携わった学識経験者の意見も聞く等、科学的データに基づいた幅広い議論を行っていただきたいと考えている。

#### — 参考文献 —

- 1) 東北電力東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合 第 4 回評価会合  
[http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/higashidori\\_hasaitai/data/0005\\_06.pdf](http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/higashidori_hasaitai/data/0005_06.pdf)
- 2) 原子力規制委員会 東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合（第 6 回評価会合）、東北電力(株)東通原子力発電所の敷地内破碎帯の評価について(案)、  
[http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/higashidori\\_hasaitai/data/20130517-higashidori.pdf](http://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/higashidori_hasaitai/data/20130517-higashidori.pdf)
- 3) 原子力安全・保安院 東京電力(株)東通原子力発電所敷地の地質・地質構造 敷地の断層にみられる変状について(資料第 113C-10-5 号)、平成 22 年 11 月。
- 4) Noe, *et al.*, Steeply Dipping Heaving Bedrock, Colorado: Part 3 Environmental Controls and Heaving Processes, The Geological Society of America, Environmental & Engineering Geoscience, Vol. VIII, p.325-344, 2007.

#### 著者紹介

坂東雄一（ばんどう・ゆういち）

東北電力(株)  
(専門分野) 応用地質学

三和 公（みわ・ただし）

東北電力(株)  
(専門分野) 応用地質学

鳥越祐司（とりごえ・ゆうじ）

東北電力(株)  
(専門分野) 応用地質学

橋本修一（はしもと・しゅういち）

東北電力(株)  
(専門分野) 応用地質学

# 特集

## 再処理技術開発の今後の展開

### 福島第一原子力発電所の事故を経て我が国の再処理技術開発はどうすすむべきか？

「次世代再処理技術」研究専門委員会

六ヶ所再処理工場で実用段階に至った我が国の再処理技術は、次の再処理施設導入までの長い期間をどう維持・発展させるかが課題であった。そこへ福島第一原子力発電所の事故が発生し、再処理で培われた技術が様々な活用される一方、次の再処理施設の導入時期はさらに不明瞭となってきた。このような状況から、再処理の専門家が集まって進むべき研究開発の方向を検討し、現行 PUREX 技術を成熟化する技術開発、それを高度化する技術開発、将来に向けた革新的な技術開発から技術開発課題を選定した。さらに、再処理の経験をベースに福島第一原子力発電所の廃止措置を調査し、既存の再処理技術がどう役に立ち、あるいは役に立つにはどのような技術開発が必要かを検討した。

#### I. はじめに

我が国の核燃料再処理技術は、ガラス固化などに若干の課題が残るものの、東海再処理工場やホット試験施設での経験を経て、商業施設である六ヶ所再処理工場が竣工間近にあり、技術的にはほぼ完成段階にきている。ところが、その次の施設導入が今世紀中頃とかなり先に見込まれ、機微技術のため輸出も容易ではないため、せっかく培った再処理技術を今後どう維持・継承するかが大きな課題であった。そこで、2008年4月に比較的若手の再処理技術者・研究者が中心となり、「次世代再処理技術」研究専門委員会を立ち上げ、継承すべき技術と将来にあるべき再処理技術の検討を進めてきた。ところが、東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一）事故が起こり、委員の多くが事故処理に従事するようになって、再処理で培った技術を縦横に活用するとともに、デブリ取り出しやデブリ処理など、既存技術を超えた困難な技術課題に対峙するようになった。その一方で、燃料サイクルの研究開発は大幅にスローダウンし、将来の再処理施設に向けた技術開発の多くが中断された。

このような状況を鑑み、本委員会では福島第一の事故対応を再処理の専門家の目で検討するとともに、再処理技術開発を今後どう進めていくべきかを再度議論した。その結果、長期的な原子力利用に再処理は不可欠であ

り、非核兵器国で唯一再処理を国際的に認められた国として、六ヶ所再処理工場の竣工と安定な運転に向けた技術基盤の確立がまず重要と考えた。一方で、海外では核拡散抵抗性の強化など現行プロセスの改良を進めており、次の施設の導入時期に時代遅れとならないよう、世界の動向を見つつ必要な技術開発を継続することの重要性も指摘された。また、今後30～40年を要する福島第一の廃止措置については、遠隔技術や分析技術など、再処理要素技術を積極的に応用し貢献することがまず重要で、結果として次期再処理施設（40年後以降に竣工）に技術がフィードバックされると考えられた。特に、溶融固化燃料（以下、燃料デブリ）の取扱いでは、スリーマイル島原子力発電所2号炉（以下、TMI-2）のように再処理をしないで貯蔵・処分するのか、あるいは再処理して資源回収するかが大きな判断ポイントであり、デブリ燃料取出し開始後10年程度（現在から約20年後）で結論を出すこととなっている。このため、TMI-2事故以降の技術開発を踏まえ、再処理技術の適用可能性について十分に知見を集約し、政策判断に資することも重要と考えられた。

事故後の厳しい状況を見ると、これらの方向性で、必要性の高い研究開発課題を今後官民で絞り込んでいくことが不可欠であろう。本稿では、それぞれで重要と思われる研究開発課題とその現状について当委員会で検討した結果を紹介する。なお、長期的な人材育成がこれらの課題解決への鍵であることから、再処理の基盤に関わる人材育成の取り組みを最後に紹介する。

（主査・小山正史）

*Strategy on Nuclear Fuel Reprocessing Technologies for Future Deployment; After Fukushima Daiichi Accident* : Research Committee on Advanced Reprocessing Technology.

（2013年6月28日 受理）

## II. 再処理の基盤的課題と研究開発の状況

前述の通り、我が国では六ヶ所施設の竣工後は、新規施設導入までに相当期間を要すると考えられている。この期間を技術開発上の空白としないよう、再処理の知見・技術を維持、育成していくことが鍵である。具体的には、まず、東海や六ヶ所で用いられている PUREX 再処理技術を、様々なオペレーションに対して安定かつ合理的に運用できるところまで成熟させることが重要である。次には、その PUREX 法に、核拡散抵抗性や廃棄物負荷低減など国際社会から次世代の再処理に求められる性能を与える技術開発を進めること。さらには、次期施設までの時間的余裕を考慮し、PUREX の改良では対応しきれない性能の実現に向けて乾式再処理のような技術体系の全く異なる革新技術を検討することも重要であろう。本章では、これらの観点で重要と思われる技術開発を選定し、その現状とそれを支える基盤課題を整理・紹介する。

(幹事・笹平 朗)

### 1. 現行再処理技術(PUREX 法)の成熟化

#### (1) 再処理シミュレーション技術の開発

ホット試験に莫大なコストがかかる再処理の技術開発では数値シミュレーションは必要不可欠である。また、シミュレーションコード開発自身が、これまでの知見を整理する手段としても有効である。計算コストが大幅に低下した現在、シミュレーションコードの開発と、それらを有効に活用した研究を大いに進めるべきである。

これまでに、再処理工程で使用される装置については、それぞれシミュレーションコードが開発され、設計や運転に利用されてきた。特に PUREX 法の主工程である抽出分離プロセスに関しては、様々なシミュレーションコードが開発され公開されている。そこで、抽出分離プロセスを中心に、再処理シミュレーション技術の現状と今後の課題について述べる。

抽出分離プロセスでは、ミキサセトラおよびパルスカラムが用いられる。また、高速炉燃料の再処理においては、遠心抽出器が検討されている。ミキサセトラおよび遠心抽出器は、完全混合の仮定がほぼ成立し、さらに抽出反応速度が十分速い場合、平衡段とみなすことができ、物質収支式のみで抽出器出口における成分濃度を予測することができる。物質収支に必要な分配係数は濃度の関数として得られる。U、Pu および硝酸の TBP との平衡関係はよく整理されており、それらの分配係数も精度よく求めることが可能である。したがって、ミキサセトラおよび遠心抽出器における、これら成分の定常状態における濃度分布は、ほぼ正確にシミュレーションが可能である。MIXSET<sup>1)</sup>がこの種の代表的な計算コードである。

一方、パルスカラムは装置内の濃度分布が連続的に変

化する微分接触型の装置であり、装置内の流動状態に依存する非理想流れのパラメータや液々界面の物質移動速度を見積もる必要がある。前者は分散係数(軸方向拡散係数)や逆混合係数で、後者は物質移動係数でまとめられる。これらの係数の値は理論的に求めることはできず、実験結果を元に決定する必要がある。我が国では PULCO<sup>2)</sup> および DYNAC<sup>3)</sup> がパルスカラム専用の計算コードとして開発されているが、これら係数は既往の研究や実規模のカラムを用いた実験結果をもとに決定されている。

PUREX 法では U と Pu の分離は Pu の価数を調整して行われ、還元試薬等による溶液内成分の酸化還元反応速度もシミュレーションに不可欠である。これらは上記コードに既実装されており計算が可能である。また、Np や Tc などの複雑な酸化還元挙動を示す元素についても実装が進んでいる<sup>4)</sup>。ただし、これら成分の酸化還元反応と抽出挙動は共存成分の影響等によって大きく変化するため、今後とも実験による検証とコードの改良が必要である。

PUREX 法の抽出分離プロセスは複数の抽出器を組み合わせることで所定の分離を達成する。六ヶ所再処理工場では、共除染工程にパルスカラム、その他工程にミキサセトラを用いる。日本原子力研究開発機構(JAEA)で開発された PARC<sup>5)</sup> は、異なる抽出器を組み合わせたプロセスにも対応できる計算コードである。抽出分離プロセス以外も含んだ PUREX プロセス全体の計算が可能なシミュレーションコードも開発され、廃棄物低減に関する研究に応用された<sup>6)</sup>。また、シミュレーションの応用として六ヶ所再処理工場の運転訓練シミュレータも開発されている<sup>7)</sup>。

以上のように再処理シミュレーションについては精力的に開発が進められてきたが、シミュレーション技術の正確さの向上には必ずしも実験による検証が必要であることを指摘しておきたい。また、装置やプロセスのトラブルを解決するためには、物理現象のシミュレーションも交えて装置内の現象を把握する必要がある。例えば、ガラス溶融炉内のガラスの流動および白金族元素粒子の挙動は数値流体力学的な手法で可視化することができる<sup>8)</sup>。同様に、パルスカラムなど抽出装置内における液々混相流、蒸発濃縮缶における気液混相流および熱伝達なども数値流体力学を利用した研究の対象となるであろう。

(幹事・本間俊司)

#### (2) ガラス固化技術の開発

使用済燃料の再処理により発生した高レベル放射性廃液のガラス固化法としてこれまでに実用化されているのは、フランスのマルクールで開発されたカ焼炉付き高周波溶融炉(AVM法)と、米国やドイツ、日本などで開発されたジュール加熱セラミック溶融炉(JHCM法)の2種である。AVM法は高レベル放射性廃液をカ焼装置(カ



ルサイナー)であらかじめ蒸発乾燥し、高周波電磁誘導加熱炉でガラス化するもので、フランスでは18,000本以上のガラス固化体製造実績がある。しかし、工程が複雑で炉の大型化が難しく、また炉の寿命が短い等の課題もある。

一方、JHCM法は、高レベル廃液の蒸発乾燥とガラスへの溶融が一つの炉で行われる。米国では軍事廃液用として、ドイツではカールスルーエ再処理工場(WAK)の廃液用として、またロシア、英国では商業用として溶融炉が設置されている。近年も技術開発は進められて、処理速度の増大に向けて炉底部形状を工夫し、不溶性の貴金属FP(Rh, Pd, Ru)の凝集による粘性の増加や電気抵抗の低下を抑制したり<sup>9)</sup>、空冷方法の最適化により電極材料の長寿命化などが検討されている<sup>10)</sup>。

さらに将来に向けて、フランスやロシアではコールドクルーシブ誘導加熱炉(CCIM)によるガラス固化技術を開発中である。CCIMは高周波誘導でガラスを直接加熱する一方、炉壁を外部から冷却してガラスの凝固層を作ることで、炉壁の劣化を防ぎ長寿命化を図る新型炉である。

日本原燃では、JAEAが開発したJHCM法ガラス溶融炉をスケールアップして六ヶ所再処理工場に導入しているが、アクティブ試験(使用済燃料を用いた試験)では、白金族元素の堆積等による溶融ガラスの流下性低下という課題が見出された。原因究明と対策確認のため、JAEA 東海にある確証改良溶融炉(KMOC)での模擬試験の結果を基に改善を図り、ガラス固化試験は最終段階に入っている。まず溶融炉内の温度測定点を増やし、複数の温度測定値の変化を総合的に判断することで電力調整を行う運転方法を採用した。また、電力量から炉内温度を予測できる熱バランス計算プログラムを改良し、廃液組成や供給流量をパラメータとした安定運転範囲を確認した。さらに、白金族元素の沈降・堆積を抑制するため、ガラス温度と炉底温度の管理目標を設定するとともに、定期的な回復運転で長期連続運転を可能とした。洗浄運転時は模擬廃液の供給によりカ焼層を維持し、空気の流れを防ぐ断熱材で流下ノズル上部の温度低下を防いでいる。

なお、既存溶融炉の更新に備えた次期ガラス溶融炉の検討も進められている。まず、白金族元素コントロール性向上のために炉底構造・傾斜角度を変更すると共に、白金族元素に影響を受けない加熱手段を検討中である。また、運転モニタのためのガラス液位計測法の改善、新型ガラス素材導入/バブリング導入によるイエローフェーズ発生抑制、温度コントロール性向上のための炉底ガラス冷却機能の強化等も検討されている。さらに、異常状態からの回復を容易にするため、ストレーナ脱着による白金族元素除去や炉内挿入棒による白金族元素除去などの機能を取り入れている。(幹事・井関忠宏)

## 2. 現行再処理技術の改良

### (1) 核拡散抵抗性の向上

#### (a) PuとUの共回収技術(COEX法とCo-Processing法)

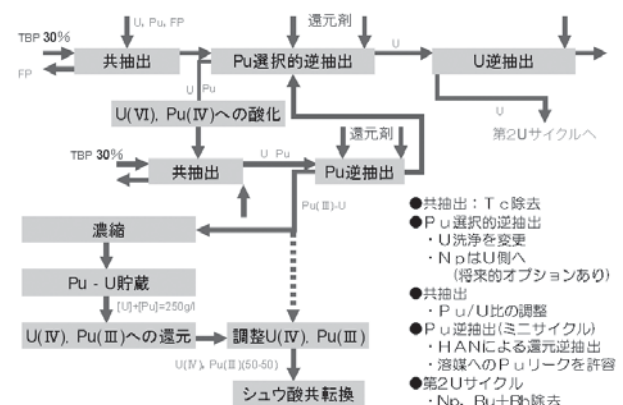
再処理プロセスにおける核不拡散性の向上策の一つとして、PUREX法では単離精製されるPuを他のアクチニドやFP元素とともに取り扱うプロセスが検討されている。その中でPuをUとともに取り扱うプロセスとしてフランスではCOEX法<sup>11)</sup>、日本ではCo-Processing法(以下「コプロ法」という)が研究されている。両者を比較しつつ紹介する。

COEX法では、プロセス概念を第1図に示すように第1サイクルでU、Puを共抽出した後、PuをIII価へ還元し、逆抽出する際に水相側にUをリークさせることでPuの単離を防止する。そのため、PUREX法におけるPuを含む水相からのU洗浄段は省略されている。この点はコプロ法でも同様であるが、コプロ法ではPu選択的逆抽出段で一定の範囲のPu富化度、例えば33~67%(U/Pu = 0.5~2)を目標に試薬や投入段を調整するのに対し、COEX法ではPu富化度を83%以下(U/Pu > 0.2)となるよう上限のみを規定することに特徴がある。そして、第2Pu精製サイクルの共抽出段でUを添加したストリップ液で洗浄することにより目標とするPu富化度(例えば50%)に調整する。この後の逆抽出段ではPu富化度が変わらないよう硝酸ヒドロキシルアミン(HAN)による還元を行うが、出口溶媒を第1サイクルのPu逆抽出段に供給することで溶媒へのPuリークを許容し、逆抽出の段数が過大にならないようにしている。(幹事・島田 隆)

#### (b) PuとUの共沈殿・脱硝技術

上記のCOEXまたはコプロ法を採用した場合、再処理プロセス全体として高い核不拡散性を保持するためには、得られるU-Pu溶液の組成を変化させることなく酸化物に転換し、安定保管あるいはリサイクル燃料製造のための原料を得るための技術が必要となる。

日本では東海再処理工場の運転開始にあたって、核拡



第1図 COEXプロセスの概念、考え方

散抵抗性に優れた Pu-U 混合転換技術に対する米国の要求に応え、マイクロ波加熱直接脱硝法を開発した。これは、硝酸プルトニウムと硝酸ウラニルの混合溶液にマイクロ波を照射して加熱し、蒸発濃縮、熔融硝酸塩の生成・熱分解を経て、脱硝酸化物 (MOX 粉末) を得るものである。この方法は、混合転換試験設備および Pu 転換技術開発施設における研究開発と運転実績を踏まえ、六ヶ所再処理施設の U-Pu 混合脱硝施設に採用されており、コプロ法で得られる U-Pu 溶液の転換にも適用されることになっている。

フランスでは U の転換は過酸化 U 沈殿法で行われているが、最近、高温ガス中で硝酸 U 溶液を直接脱硝する ISOFLASH 法が開発された。一方、Pu に対しては 50 年以上にわたってシュウ酸沈殿法が利用されているが、現在も製品 (PuO<sub>2</sub>) 仕様最適化のための R&D が続けられている。この方法は、硝酸プルトニウム (Pu(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>) 溶液にシュウ酸 (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) を加えてシュウ酸 Pu (Pu(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) として沈殿させ、液を分離した後にカ焼により Pu 酸化物とするものである。再処理工場では、第 2 図に示すような渦攪拌式の沈殿槽、ドラムフィルタによる固液分離、キルンによるカ焼の連続プロセスとなっている。現状、PUREX 法では、Pu 単独での処理であるが、先に示された COEX プロセスへの適用も考えられ、その場合、U と Pu の混合溶液にシュウ酸を加えて U と Pu を共沈殿させ、それをカ焼することで、マイクロ波加熱法同様に MOX 粉末として回収することができる。

製品仕様(不純物量、粒度など)に最も大きな影響を及ぼすと考えられる操作は沈殿生成であることから、この工程における条件設定が重要となっている。20 年ほど前から原子力・代替エネルギー庁 (CEA) と原子力開発局 (DEN) を中心に、AREVA によるプラント運転でのプロセスデータの支援を受けて、沈殿槽内をモデル化し、シミュレーションによる解析に取り組んでいる<sup>11)</sup>。

CEA と DEN では、カ焼転換についても研究を行っ

ており、シュウ酸 Pu の 6 水塩を加熱する過程における重量減少を測定することにより、6 段階の酸化形態を経て PuO<sub>2</sub> が得られることを明らかにした。さらに、カ焼工程条件を最適化するために、AREVA と共同で新たなデータを取得した上で、モデル化によるシミュレーション解析を進めている。(幹事・染谷 浩)

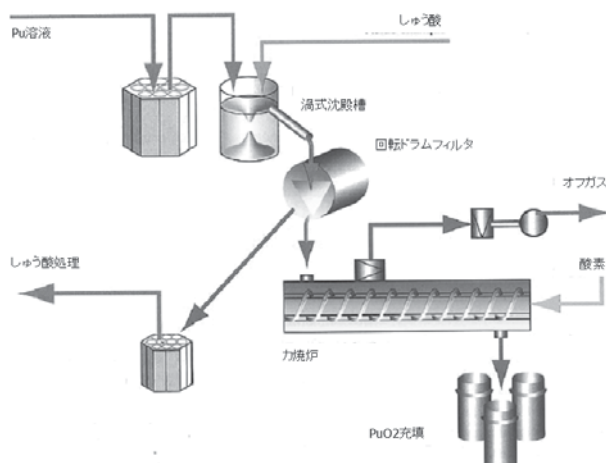
## (2) 廃棄物負荷の低減

### (c) MA 分離・回収技術の開発

高燃焼度化や MOX 利用が進むと、PUREX 再処理により発生する高レベル廃液中の長寿命の MA (Np, Am, Cm) 含有量が増え、ガラス固化体の長期にわたる潜在的有害度や発熱の増加が懸念される。そこで、MA を分離・回収して高速炉等で燃焼・核変換することで、ガラス固化体の環境負荷低減を図ることが世界的に検討されている。例えば、軽水炉 UO<sub>2</sub> を処理してできる高レベル廃液は、潜在的有害度が天然ウランを下回るのに約 1 万年かかるが、MA 分離により数百年に短縮できる。また発電量当たりに必要な処分面積は発熱で規定されるため、MA 分離により軽水炉 UO<sub>2</sub> 燃料では 20% 減、同 MOX 燃料では 70% 減、高速炉 MOX 燃料では 60% 減と推定されている<sup>12)</sup>。

このため、フランスでは廃棄物の管理に係る法律に基づき、PUREX 法再処理に追加する形で MA を分離回収する DIAMEX-SANEX 法と、Pu と MA を再処理で一括回収する GANEX 法につき、ホット試験まで実施して産業化の見通しを検討した。DIAMEX-SANEX 法はジアミド系の HDEHP-DMDOHEMA で An<sup>3+</sup> と La<sup>3+</sup> を共抽出し、次に HEDTA 溶媒に An<sup>3+</sup> を回収する。実高レベル廃液 (HLW) を用いた試験では 99.9% 以上の Np と Am, Cm を分離回収に成功した。GANEX 法は U を分離回収する第 1 サイクルと、アクチニドの群分離回収を行う第 2 サイクルからなり、HLW に硝酸ウラニルを添加した模擬溶解液を用いた試験が行われた。第 1 サイクルでは、DEHiBA を用いて 99.99% 以上の U 回収率と 4,100 の Pu 除染係数を得ている。第 2 サイクルでは、HDEHP-DMDOHEMA を用いて、第 1 サイクルのラフィネートから 99% 以上のアクチニドを回収した。以上より、CEA は 2012 年の報告書<sup>13)</sup> で、MA の分離技術は実験室レベルで実証済で、産業化までに基本的な障害はないと結論している。

一方、日本では、旧原研がリン酸系抽出剤である DIDPA を用いた 4 群群分離プロセスを開発し、2 リットル規模の実廃液で元素分離性能を確認してプロセス成立性が確認されている。また旧サイクル機構は、CMPO と TRUEX を用いた SETFICS/TRUEX 法を提案し、塩析剤の HAN とヒドラジン系洗浄剤を利用するフローシートを新たに開発した。その成立性は、「常陽」使用済燃料の溶解液から U, Pu を抽出した残液 (約 1.7 リットル) を用いて小型遠心抽出器で確認された。この試験で



第 2 図 シュウ酸沈殿プロセス<sup>11)</sup>



は、Am 及び Cm の損失率が 1% 以下（回収量：Am 約 400mg, Cm 約 2mg）で、主要 FP につき、 $DF_{Cs} > 3,100$ ,  $DF_{Pr} > 10$ ,  $DF_{Nd} \sim 1.8$ ,  $DF_{Sm} \sim 1.9$  を得ている<sup>12)</sup>。一方、JAEA 発足後、廃棄物発生量を抑え抽出性能を向上するアミド系抽出剤 TODGA 及び TDDdGA の開発を進め、Am, Cm トレーサーを含む模擬廃液試験により Am 回収率 99.99% を達成した。このプロダクトの MA/Ln 分離に向け TPEN 系抽出剤, PTA 抽出剤, NTA アミド抽出剤等の開発が進められている。また、大学等でも基礎研究として新たな抽出剤等が提案されており、例えば東工大では、感温性ゲル (TPPEN-NIPA ゲル) による MA/Ln 分離を提案し、<sup>241</sup>Am を用いたカラム試験で、温度を 5℃ から 40℃ の幅で変化させることにより、流出液中にフィード溶液の 7 倍の高濃度 Am を回収している。これら日本独自の技術は、今後フランスのように産業可能性の評価まで進めることが重要である。

(委員・松村達郎, 主査・小山正史)

### 3. 革新的な再処理技術の検討

PUREX 法はもともと極低燃焼度の燃料を対象としていたため、燃焼度の高い軽水炉燃料への適用には多くの技術開発が必要であった。さらに燃焼度の高い高速炉では、使用済燃料はより高温、高放射線、高 Pu+FP となるため、様々な技術開発が必要と考えられ、核拡散抵抗性の確保や MA 回収などの次世代再処理の性能を付加するには、さらなる技術開発が必要となることは自明である。そこで、高速炉リードタイムの余裕と、軽水炉ほどの高い分離・除染を要さないことを利用し、全く異なる技術体系、すなわち、放射線劣化の懸念のある有機溶媒や中性子減速材である水を使用しない再処理技術、いわゆる乾式法が国内外で着目され、研究開発が進められている。ここでは、代表的な乾式再処理技術の開発現状を紹介する。

#### (1) 金属電解法

金属電解法は、高速炉金属燃料 (U-Pu-Zr) に対し米国で開発されたもので、500℃ の塩化リチウム-塩化カリウム混合溶融塩を溶媒とする乾式再処理法である。電解精製や還元抽出などのアクチニド分離回収工程で、常に MA が Pu に同伴するため、核拡散抵抗性と環境負荷低減が特徴となっている。他の燃料形態については、窒化物燃料はほぼそのまま、酸化物燃料は溶融塩化物中での電解還元により、適用できることが期待され、一部実使用済燃料で試験が行われている<sup>14)</sup>。照射後金属燃料からのアクチニド回収を含めた主要工程の原理確認と要素技術開発はほぼ完了し、米国では高速実験炉 EBR-II の使用済金属燃料の処理が実用規模で日常的に実施されており、日本やインド、韓国などでは工学規模のプロセス機器開発が進められている。

#### (2) 酸化物電解法

酸化物電解法は、溶融塩化物浴中に燃料物質を溶解し、電極電位および浴中酸素ポテンシャルを制御することにより、 $UO_2$  または  $(U, Pu)O_2$  として陰極表面上に電解析出させるものである。当初はロシアで、振動充填法による燃料製造に適した顆粒製造技術として開発されてきたものを、電解制御による FP との分離を図ることにより、再処理技術としての応用が進められてきた。日本では、電解による MOX 回収や貴金属 FP 分離などプロセス改良を含む研究開発が行われてきているが、MA 回収の技術的見通しなどの課題が指摘されている<sup>15)</sup>。

#### (3) フッ化物揮発法

フッ化物揮発法は、 $UF_6$  (昇華点: 56.54℃) の物理化学的特性の違いを応用して使用済燃料からまず U をフッ化・分離し、さらにフッ化条件を変えることにより  $PuF_6$  (沸点: 62.5℃) を単独で、または  $UF_6$  と共に回収するものである。当初、米国やロシアで研究が行われたが、近年は日本でプロセス改良を含む研究開発が行われている。その中で、固体である  $PuF_4$  が生成する条件が見出され、フッ化による Pu の分離を行わない方法、すなわち、U のみを  $UF_6$  として回収し、Pu は  $PuF_4$  の形態で他の揮発しない物質に混合させ、湿式法で不純物除去する Fluorex 法が考案されている。

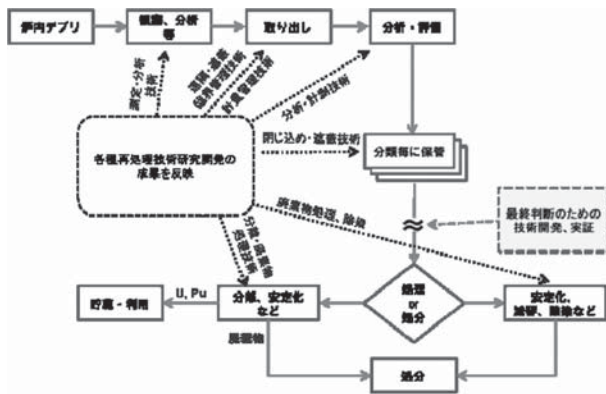
(幹事・飯塚政利, 同・笹平 朗)

## III. 軽水炉破損燃料への再処理技術適用に関する検討

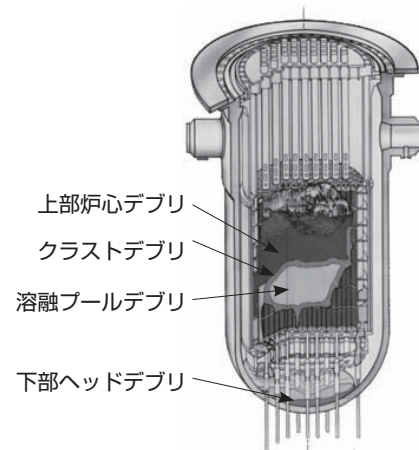
福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉を進める上で、事故により損傷し、現在も炉内に存在する燃料デブリを、どのようにして取り出して密閉容器に閉じ込めを行うか、さらに最終的にはどう処理・処分するかは、最も重要なが大変技術的難易度の高い課題であるため、事前の徹底した調査・検討と研究開発が不可欠である。

このため、当委員会ではまず、燃料デブリの処理・処分が第 3 図のようなスキームを経て実施されるものと想定し調査を行った。これに「福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップ (以下、ロードマップ)」<sup>21)</sup> で示されているスケジュールを併せると、燃料デブリは 2022 年頃から取り出しが開始されて、計測、分析、観察等によって分類し、分類ごとに必要なまたは可能な前処理、計量管理を実施し、保管することになる。保管に際しては、それぞれの分類に適した臨界安全管理と閉じ込め等が可能な容器に収納する。また、それぞれの分類に応じ、長期貯蔵を含めて最終的な処理・処分方法を十分に検討し、2032 年頃に判断する。それらは分類に応じて異なったものが選択される可能性もあるが、いずれの場合においても最終的な処分の前に廃棄体ごとに必要な評価を実施し、廃棄体化に必要な分離 (再処理)、減容、除染処理、あるいは安定化処理を 2042 年頃より順次実施していくものと考えられる。





第3図 想定する燃料デブリの処理・処分スキーム



第4図 事故後のTMI-2における燃料デブリの様子

これらの工程に対し、活用できると考えられる再処理の要素技術を図中に破線で示している。

本章では、このスキームに則って燃料デブリの処理・処分を判断するために必要となる、燃料デブリの特性や取り出し技術についての既存知見をまとめるとともに、処理・処分への再処理技術の適用可能性の検討結果を紹介し、最後に今後必要な研究開発課題をまとめる。

### 1. 燃料デブリの取出しと処理・処分方策に関する調査

#### (1) スリーマイル島原子力発電所燃料デブリの性状

TMI-2 燃料デブリの性状については、米国原子力学会の特集号<sup>17)</sup>や本誌(54巻, 11号)の解説記事<sup>18)</sup>など多くの報告がある。ここでは、これらを元にデブリの取り出しや処理・処分に関わる性状を紹介する。

TMI-2 燃料デブリ(130t程度)は炉心溶融及びその後の冷却によって、第4図に示すように大まかに4つの形状の異なる部位に分けられている。すなわち溶岩が固まったような、気孔の多い上部炉心燃料デブリ(0.5~1m厚)、溶けた燃料や被覆管などが密に固まった溶融プールデブリ(直径約3m中心厚さ約1.5m)、溶融プールデブリを取り巻くクラストデブリ、そしてバツフル板に開いた穴を通じて流下し、炉底に固まった下部ヘッドデブリである。そのほか、溶融しなかった燃料体や炉心支持構造物が溶融部上下に存在している。ボーリング調査で試料を採取した分析結果からは、上部炉心デブリと溶融プールデブリ、下部ヘッドデブリは、いずれも(U, Zr)O<sub>2</sub>セラミック相(平均密度は7.7~8.6g/cm<sup>3</sup>程度)が主で、被覆管と燃料が反応して溶融したことを示している。一方、クラストは構造材や被覆管材あるいは制御棒(Ag, In, Cd)が溶融固化した金属層が多かった。マイクロ観察によると、下部ヘッドには融点近傍まで温度が上がったと見られるUO<sub>2</sub>に、構造材や被覆管材、制御棒の相が観察された。

TMI-2 燃料デブリのガンマ線分析から燃焼度は3,000~3,700 MWd/t<sup>19)</sup>と見積もられており、核分裂生成物

(FP)の蓄積量は多くない。希ガスと揮発性のヨウ素やセシウムを除く主要なFPはほぼ燃料物質の分布と一致し、アンチモンやルテニウムはクラスト層の金属部に多く存在していたことが報告されている。

(委員・有田裕二)

#### (2) 福島第一燃料デブリの性状、取出し方法とスケジュール

東京電力が公表した「福島第一原子力発電所1~3号機の炉心損傷状況の推定について」(平成23年11月30日)<sup>20)</sup>によれば、解析コードを用いた評価等により、1号炉については、燃料は地震発生前の位置から溶融して下方にすべて移動し、損傷燃料によって原子炉压力容器の破損も発生している可能性が高く、格納容器底部に相当量滴下していったと推定されている。また、2号機、3号機については、燃料は損傷・溶融したものの、一部は炉心部に残り、一部は原子炉压力容器下部プレナムまたは原子炉格納容器ペダスタルへ落下したと評価されている。

これらの状況は、TMI-2やチェルノブイリなどの過去の炉心溶融事故の経験から想定して、高温になった燃料が被覆管や制御棒及び炉心構造材等と反応し、U・Zr系の溶融物となり、さらに、ペダスタルに落下した溶融物はコンクリート成分と反応(MCCI)して種々の溶融化合物が生成しているものと考えられる。

福島第一は沸騰水型原子炉(BWR)であるが、炉心材料の組成はUO<sub>2</sub>, Zr, ステンレス鋼が主なものであり、原子炉压力容器内部にある燃料デブリの大まかな種類については、加圧水型原子炉(PWR)のTMI-2の場合と大きく変わらないと考えられる。ただし、BWRではZrの存在量が多く、また制御棒にはB<sub>4</sub>Cを用いているため、燃料デブリ中のZrの割合やホウ化物、炭化物の割合がTMI-2の場合よりも多くなる可能性が考えられる。また、福島事故では原子炉冷却のため海水が投入されており、海水成分との相互作用を起こした可能性が考えられ、さらに1号機については、MCCIを考慮する必要が

ある。

これらの燃料デブリについては、JAEAなどで模擬デブリを用いた研究が進められており<sup>20)</sup>、多量のZr、海水注入、 $B_4C$ と構造材との反応、MCCIといった福島第一原子力発電所特有の因子も考慮した燃料デブリの相状態・化学形の評価、熱的特性等の物性測定及び燃料取り出しやその後の処理シナリオの検討に向けた基礎データ採取等の取り組みが行われている。

ロードマップ<sup>16)</sup>によれば、2011年12月の原子炉安定状態達成以降10年以内に燃料デブリ取出し開始となっており、燃料取出し終了までにはさらに10～15年かかるとしている。原子炉からの燃料デブリ取出しについては、炉内状況が十分に把握されていない現段階において具体的な検討を進めることは難しいが、TMI-2の経験は大いに参考となると思われる。

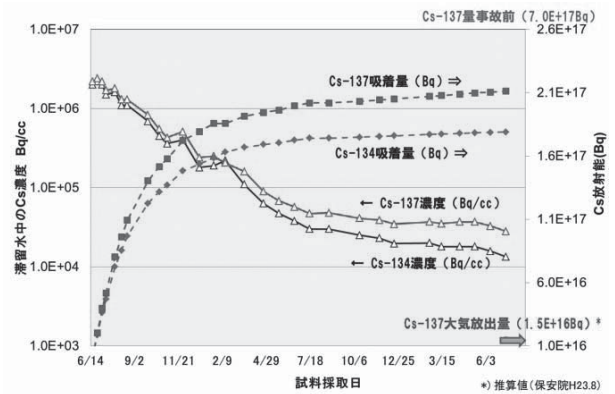
TMI-2の燃料取出しは、炉心を冠水させた後、炉心上部に作業台を設置し、炉心上部に堆積した燃料デブリから順に下部方向の取出しを行っている。しかし、燃料デブリは場所によって形状が多様多様であったため、各部位に応じた様々な取出し装置等が開発されている。実際に使用された取出し装置等を整理すると切断・破壊ツール(衝撃破壊、せん断、溶融切断、コア・ボーリング装置)、燃料回収用ツール(摘み取り、吸引システム)に分類され、小径の燃料デブリは摘み取りや吸引システムを用いて取り出され、塊状の燃料デブリは衝撃破壊やコア・ボーリング装置により砕いてから、小径の燃料デブリと同様に取出ししている。

福島第一の燃料デブリ取出しでは、これらのTMI-2で実績のある取出し方法や装置を参考とし、今後の事故解析の詳細化や炉内点検を経て、具体化が進められる予定である。(幹事・永里良彦)

## 2. 燃料デブリの処理・処分方策の検討

### (1) 燃料デブリ処理・処分の目的と必要性

福島第一の燃料デブリについては、TMI-2と同様に、そのまま密閉容器で長期貯蔵あるいは直接処分する、という考え方がある。しかし、TMI-2に比べて約3倍となる300tもの核燃料物質を含み、かつPu含有量が多いこと、民生再処理を行わない米国と全量再処理を前提とする日本では国の政策が大きく異なっていることなどから、TMI-2の前例にとらわれず幅広い選択肢を検討することが重要である。特に福島第一の燃料デブリは、事故時の放出に加え、循環注水冷却による溶出(Csは事故時蓄積量の約30%が汚染水処理で回収：第5図<sup>22)</sup>)により、大幅にFP濃度が低減していると考えられる。したがって、通常の使用済燃料に比べて線量の減衰が早く、直接処分という人間の非管理下に委ねてしまうことが核物質防護上問題となる懸念もある。このような観点で、燃料デブリを通常の使用済燃料と同様に、再処理す



第5図 汚染水処理でデブリから回収されたCs量<sup>22)</sup>

る選択肢もあり得ると思われる。ただしTMI-2燃料デブリでは硝酸やフッ酸に対する難溶性が報告されており、現行再処理施設(PUREX法)の単純な適用は困難なため、新たな技術開発の必要性も含めて、技術的成立性が見極めが不可欠である。

一方、燃料デブリを廃棄物として処分する場合でも、現状構築されている放射性廃棄物の処分における安全性確保の考え方に沿った処分概念を構築した上で、燃料デブリの廃棄体化のための処理技術が必要であろう。

### (2) 燃料デブリ処理・処分に対する検討の視点と要件

上述の目的と必要性から燃料デブリの処理・処分を検討する上での視点を整理すると、まず①放射性物質取扱いにおける安全性確保の視点、②核燃料物質としての取扱いの視点が必要である。また、燃料デブリが炉内の生成場所や構成要素によって多様な組成、物性をもつことがその処理・処分を難しくするため、③燃料デブリの多様性への考慮が必要である。さらに、最終的な廃棄体としての特性が重要であることから、④放射性廃棄物としての処分の視点が挙げられる。以上4つの視点から処理・処分の各工程への要件を検討した結果を紹介する。

#### ① 放射性物質取扱いにおける安全性確保の視点

燃料デブリには核燃料物質とFP等の放射性物質が含まれることから、炉内から取り出した燃料デブリは、腐食反応を考慮した材料の容器で閉じ込め、遮へいする必要がある。また、この容器には、水の放射線分解による水素発生を避けるための乾燥操作や不活性ガスによる希釈、崩壊熱の冷却などを考慮する必要がある。

#### ② 燃料物質としての取扱いの視点

臨界安全の観点からは、燃料デブリをある臨界管理制限の下で取り扱う必要がある。個々の燃料デブリに含まれる核燃料物質の種類と量の推定や水分などの減速材の存在、容器の形状などを可能な限り事前に検討しておく必要がある。計量管理(または保障措置)の観点では、燃料デブリは集合体を一単位とする通常の計量管理手法が適用できないため、合理的に計量管理を行える計量管理手法をIAEA等との調整を経て構築する必要がある<sup>21)</sup>。



### ③ 燃料デブリの多様性への考慮

燃料デブリは多様な成分・組成を持つと想定され、全てを同じように取扱うことは合理性に欠けると考えられる。このため、燃料デブリについては、炉内から取り出した直後に分類し、分類ごとに適切な臨界安全管理や計量管理、処理方法を選択することが合理的と考えられる。このため分類の考え方を十分整理し、できるだけ短時間で分類する技術を予め選定することが重要である。

### ④ 放射性廃棄物としての処分の視点

燃料デブリを(無処理で)直接処分する場合も、処理後に処分する場合も、最終的には放射性廃棄物として処分される。燃料デブリに含まれる放射性物質は使用済燃料と共通であり、ガラス固化体の場合と同様の考え方により処分時評価が可能と考えられる。すなわち、廃棄体に含まれる核種、放射エネルギー(ソースターム)の評価から、核種の浸出率の評価、オーバーパックや人工バリア、天然バリアの遅延効果、地下水での移行評価を経て、被ばく評価が行われる。このうち各バリアの評価は従来の知見が適用可能なため、燃料デブリのソースタームと廃棄体からの浸出率を新たに評価する必要がある。

燃料デブリのソースタームは、分析が困難であれば、1～3号機全体のインベントリから保守的に推定するしかない。特に、ガラス固化体と比較して多量のアクチニド(特にPu)が含まれるため、固化体からの長期的な発熱量がより大きくなり、必要な処分場面積が増大する可能性がある。したがって、合理的な処分には、分析技術を開発しソースターム精度を上げるか、何らかの処理でソースタームを低減することが効果的である。例えば、半減期の長いアクチニドの分離・除去ができれば処分負荷の低減も見込むことができよう。

また、浸出率については燃料デブリが多様な形態を持つため、直接処分とした場合には瞬時放出として評価せざるを得ないと思われる。このため、何らかの安定化処理を行うことで浸出率が設定可能となれば、放出放射能と被ばく量を合理的に評価できる可能性がある。

(幹事・島田 隆)

### (3) 燃料デブリ処理・処分への再処理技術適用性

以上を勘案し、本項ではこれまで開発されてきた再処理技術を燃料デブリ処理に応用できないかを検討した。

#### (a) 湿式(酸溶解)処理

工業的再処理は硝酸水溶液からの溶媒抽出に基づいており、燃料デブリへの応用を考えるに当たっては、硝酸水溶液に溶解する、あるいは転換する技術の検討が重要である。TMI-2 事故の経験では、アイダホ国立工学研究所によるコア・デブリの溶解に関する知見が報告されている<sup>23)</sup>。燃料デブリの多くは硝酸とフッ酸によっては不溶であり、二硫酸(ピロ硫酸)が効果的であったとしている。一方で、ホットセル内での分析においては、安全のために、硝酸とフッ酸を用い、時間をかけて溶解す

る方法が適用された。TMI-2 の事業者である GPU Nuclear 社は、除染法の一つである OPG-AP-CITROX 法の適用について試みた<sup>24)</sup>。この方法は、シュウ酸一過酸化物—グルコン酸の緩衝液と炭酸水素カリウム溶液を用いる。U や U-Zr 酸化物溶融物の溶解率は 20 時間後において 10～30% に留まった。

JAEA ではこれらの知見を踏まえ、U-Zr 混合酸化物の溶解性を調べている<sup>20)</sup>。Zr の含有量が高い場合には硝酸あるいは硝酸-フッ酸に対する難溶性が確認された一方で、Zr の含有量が低い(10%) 場合には硝酸に対し可溶であることが確認された。この性質を考慮して、Zr の含有量が高い燃料デブリに  $UO_2$  を加えて固溶体を調製し、硝酸に溶解する方法が考えられた。5mol% U-95mol% Zr の模擬デブリを溶解試験に供した後の溶解残渣を 90mol% U に加工することで、1% であった溶解率が約 96% に向上した。これは、難溶性の燃料デブリを可溶化する前処理工程の可能性を提供すると考えられる。

(幹事・駒 義和)

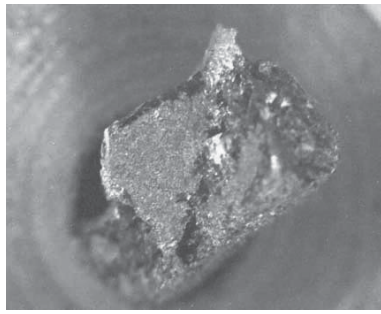
#### (b) 乾式処理

米国アルゴンヌ国立研究所(ANL)は乾式再処理技術として開発した Li 還元法が、TMI-2 燃料デブリの処理に適用できることに着目し、U, Zr,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  のテルミット反応により模擬コリウム( $58UO_2-11ZrO_2-14Zr-14Fe-3Cr$ )を作成し還元試験を 1996 年に行った<sup>25)</sup>。その結果、650℃の LiCl 浴中に浸して金属 Li を加えることにより 20 時間以内にコリウム中の U を金属に還元することができたと報告している。この成果を踏まえ、福島第一燃料デブリの乾式法による安定化処理が検討され、いくつかの方法が提案されている。

一つは、上記の Li 還元で替わる酸化物還元法として近年開発された電解還元法<sup>26)</sup>を適用するものである。電中研と JAEA は電解還元によるデブリ中のアクチニドの金属への還元ができれば、金属電解法で開発したアクチニド分離や安定化技術が適用できるとし、模擬デブリ(U, Zr)  $O_2$  や  $ZrO_2$  を対象とした電解還元試験を実施している。その結果これまでに、模擬デブリ中の U は金属に還元可能であること、 $ZrO_2$  は溶融塩中の  $Li_2O$  と反応して複合酸化物を形成し還元されにくいこと等が明らかとなった<sup>27)</sup>。さらに、電中研はドイツの超ウラン元素研究所と協力して TMI-2 実デブリの電解還元試験を行い、第 6 図に示すような金属様の還元物が得られたことを報告している<sup>28)</sup>。

もう一つは、溶融塩化物中にデブリを浸して塩素ガスを吹き込むことにより、デブリ中のアクチニドを塩素化した後、上記と同じく電解や選択的沈殿などの処理により分離/安定化する方法であり、アクチニド酸化物などで原理は実証されている。塩素ガスによる塩素化は高い溶解性が期待できる反面、構造材料の腐食の観点から工学的成立性については検討が必要である。





第6図 実TMI-2 デブリの電解還元後試料の断面<sup>28)</sup>

いずれにしても難溶性の燃料デブリの溶解という観点から、乾式法には技術的な利点があると考えられる。特に福島第一原子力発電所では、高温での溶融と長期にわたる注水により、溶融デブリ中に残存するCsやSr、Baの濃度が低いため、溶融塩が再利用できFPやアクチノイドは湿式法と同様なガラス固化体として廃棄できると期待されている。このため、コストを含めた現実的な検討に向け、デブリ物性や処理条件の影響などの基礎特性の把握と、最終的な回収物・廃棄体を得るまでの処理プロセス・施設概念を明らかにしていくことが重要である。(幹事・飯塚政利)

### 3. 燃料デブリ処理・処分に必要な研究開発項目の抽出

前述のように、燃料デブリは、主な構成成分は変わらないものの、事故の進展具合により、その分布や形状、密度や強度等の物理特性や化学特性、および不均一さなどの様態が大きく変化し、取出しや処理・処分方策の選定に影響する。このため、解析による燃料破損状況推定、燃料デブリの様々な物性評価(模擬/TMIデブリの測定と物性推算)が進められている。しかし、現行解析コードは詳細化や精度に限界があり、物性測定は溶融固化燃料の製造が難しく、また物性推定も平衡単一相以外はまだまだ難しい。幸い福島第一では、ロボットや遠隔での内部観察が順調に進展しているため、今後得られる実際の燃料デブリの調査結果を柔軟に取り込んで、複雑な炉内反応を、実用に役立つレベルで、解析・評価できるようになることが望まれる。

一方、処理・処分の観点からは、高温で溶融し長期の注水で洗浄された燃料デブリに残存するFPの種類と量の同定と、燃料デブリを酸や溶融塩で処理する場合の反応速度や浸出率などプロセスを設計するための基盤データの充実が重要である。後者については、多様な燃料デブリに対応できるよう、試験と評価モデルの構築を戦略的に進めていくことが肝要である。これらが得られれば、次世代再処理や既存再処理の開発経験を活用し、実用施設をイメージしつつプロセス設計を効率的に進めることができるものと思われる。(幹事・水口浩司)

## IV. 再処理基盤の拡充に向けた人材育成の取り組み

現在、第一線で研究・技術開発に取り組む人々には、次世代へ知見を残しつつ後継となる人材を育成するという使命がある。特に、福島事故以降、燃料サイクルの是非も含めた議論がなされ、これまでのようなスピードで再処理技術の開発が進められない現状があり、将来世代における人材の枯渇および技術基盤の喪失が懸念される。本章では、人材育成を含む再処理基盤の長期的な維持継続のための現状から今後の取り組みを紹介する。

### (1) 再処理プロセス・化学ハンドブック(第2版)の改訂

燃料の高燃焼度化やMOX燃料に対応する再処理プロセスの技術開発に資するためのデータベース整備を目的として、湿式再処理技術に関する基礎化学データおよびプロセス解析コードと解析結果を整理・評価した「再処理プロセス・化学ハンドブック(第1版)」を旧日本原子力研究所が2001年に発行した(JAERI-Review 2001-038)。その後、新規取得データや文献調査に基づく改訂作業が行われ、2008年に第2版(JAEA-Review-2008-037)がJAEAより公刊された。また、軽水炉から高速炉への移行期に際し、第3版の2014年公刊を目指して2011年より改訂作業が開始された。第3版では、最新かつ実用的な情報を反映させるとともに、利用者が読みやすく活用しやすい構成を目指している。

### (2) 日本アクチノイドネットワーク(J-Actinet)の活動

アクチノイド研究を推進するためには、 $\alpha$ 放射体を取り扱う研究環境を維持管理する必要があり、資金面でも大きな負担を強いられる。そこで、組織の枠を超えた連携による研究支援体制を構築し、新たな研究開発を推進するとともに、原子力分野におけるアクチノイド研究のノウハウを若手研究者への継承することを目的として、日本アクチノイドネットワークが設立された<sup>29)</sup>。提案機関として、北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学、JAEAが連携し、電力中央研究所、ニュークリア・デベロップメント、日本核燃料開発、他が協力している。主な活動内容は下記の通りである。

- ・将来の核燃料サイクルを担うアクチノイド基礎科学の振興と若手研究者・技術者の育成
- ・JAEA、東北大学、京都大学のアクチノイド関連研究施設を利用して、若手研究者・技術者に先端的科学にふれる機会を与えることにより体験的理解を深める
- ・異分野も巻き込み最先端の実験科学と計算科学を結合した連携研究テーマを実施する。

これらに基づき、計算科学スクール、サマースクール、欧州サマースクール派遣、国際会議派遣など具体的

な活動を行っているが、継続的な運営が課題である。

### (3) 大学における原子力技術者育成

平成19年度から文部科学省と経済産業省の連携事業として「原子力人材育成プログラム」が開始され、多くの大学や高専が原子力人材育成に取り組んでいる。平成24年度までの6年間で182件(複数年にわたる場合は年1件とカウント)の事業が実施された。そのうち、事業名に「再処理」や「燃料サイクル」が含まれる取り組みは12件にとどまる(複数年継続事業を含む。実質7件)。

各大学が実施している独自の取り組みも数多く存在するが、「再処理技術」に主眼を置いた取り組みは非常に少ない。大学における再処理や燃料サイクル分野の人材育成は、教員の専門分野に依存する部分が多い。したがって、教員個人の研究活動の範囲内での学生指導や外部機関との連携研究(インターンシップを含む)が主な人材育成の場となっているのが現状である。今後、組織的な取り組みも含めて、再処理や燃料サイクル分野の人材育成が必要とされるであろう。

### (4) 福島第一の廃炉に向けた中長期的な人材育成

ロードマップ<sup>16)</sup>では、廃止措置に関わる現場作業及び研究開発プロジェクトを進めるには、政府の強力な人材育成推進体制の下、大学等の教育・研究機関やJAEA及び民間が連携して人材育成を進めていくべきだとしている。前章に示したように、燃料デブリの処理・処分の判断に関わるテーマは、困難な課題であるが、我が国独自の新たなプロセスの開発など、長期的な人材育成に相応しい研究テーマとなり得ると思われる。

(幹事・浅沼徳子)

## V. おわりに

福島第一の廃止措置への対応と次期再処理施設に向けた準備はいずれも中長期に及ぶ課題であり、時期も前後する。このため、今後、技術や研究テーマの共有化・合理化を図り、効率的に進めていくことが重要となると思われる。本稿では、その第一段階として、双方において重要な研究開発課題を抽出し、その現状を取りまとめて報告した。今後の議論のたたき台となれば幸いである。

なお、紙数の関係で触れなかったが、精度の高い計量管理を大型再処理工場に実現した保障措置技術は、我が国の再処理技術のもう一つの重要な基盤である。本稿で紹介した将来に向けた再処理技術では、開発段階から保障措置技術とフェーズを合わせることで、より平和利用に適した再処理施設を構築することができると考えられる。原子力発電容量の大幅な増大が見込まれるアジアでは、将来マルチナショナルな再処理施設が必要となる可能性もあり、このような再処理技術ができれば、我が国がより主導的な役割を果たすことが期待できよう。

(主査・小山正史)

### — 参考文献 —

- 1) 権田浩三, 他, PUREX プロセス計算コード Revised MIXET, PNCT 841-79-26, (1979).
- 2) K. Gonda, *et al.*, Solvent Extraction Calculation Model for PUREX Process in Pulsed Sieve Plate Column, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 23, 883-895 (1986).
- 3) M. Nabeshima, Numerical study of hydrodynamics in pulsed solvent extraction columns using the DYNAC code, *Nucl. Technol.*, 93, 362-375 (1991).
- 4) 館盛勝一, EXTRA・M: 再処理ピュレックス工程(ミキサセトラ)解析用過渡計算コードシステム, JAERI 1331, (1994).
- 5) 津幡靖宏, 他, 再処理抽出分離工程シミュレーションコード PARC の開発, 日本原子力学会和文論文誌, 8, 211-220 (2009).
- 6) 塚田毅志, 他, 再処理工程シミュレーションコードの開発と溶媒劣化物発生量の評価および廃棄物低減方策, 日本原子力学会誌, 43, 282-298 (2001).
- 7) 小澤敏宏, 他, 六ヶ所再処理工場運転訓練シミュレータの開発, 日本原子力学会和文論文誌, 3, 407-416 (2004).
- 8) 河村拓己, 他, ガラス固化溶融炉における白金族元素粒子挙動解析, 日本原子力学会和文論文誌, 7, 297-307 (2008).
- 9) W. Grunewald, *et al.*, "Cold demonstration of the VEK vitrification technology in full-scale mock-up facility", WM'00 Conference, Tucson, AZ (CD), (2000).
- 10) J. Fleisch, *et al.*, "Cold test operation of the German VEK vitrification plant", WM'08 Conference, 8326, Phoenix, AZ (CD), (2008).
- 11) CEA, "Treatment and recycling of spent nuclear fuel", E-den Monograph, CEA Saclay and Group Moniteur (Paris, 2008).
- 12) 原子力委員会, 分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方, 2009年4月.
- 13) CEA, "Direction de l'energie nucleaire 02", Dec. 2012.
- 14) T. Kato, *et al.*, "Actinides Recovery from Irradiated MOX fuel by Pyrochemical Reprocessing", *Proc. GLOBAL2011*, Japan, 2011, (2011).
- 15) 文科省, 高速増殖炉サイクルの研究開発方針について, 2006年11月.
- 16) 東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ, 原子力災害対策本部廃炉対策推進会議, 2013年6月27日.
- 17) Nuclear Technology, 87, special volume (1989); 【和訳】JAERI-M 93-111, (1993).
- 18) 永瀬文久, シビアアクシデント時に溶融した燃料の形態と特性, 日本原子力学会誌, 54, 727-731 (2012).
- 19) 上塚寛, 他, TMI-2 デブリに対するガンマ線分析, JAERI-Research 95-084, (1995).
- 20) [http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts\\_111130\\_07-j.pdf](http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_07-j.pdf)
- 21) 東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置技術に係る原子力機構の取組み, 2012年版, 日本原子力研究開発機構, 2012年11月.
- 22) 小山正史, 汚染水処理, 廃炉 WS, 平成25年7月22日, 東大, <http://1Fd.info>
- 23) D. W. Akers, *et al.*, "TMI-2 Core Debris Grab Samples Examination and Analysis - Part 1", GEND-INF 075 Part 1, (1986).
- 24) GPU Nuclear, "GPU Nuclear Three Mile Island Nuclear Station Unit 2 Defueling Completion Report".
- 25) E. J. Karell, *et al.*, *Proc. Am. Nucl. Soc. International*

- meeting on advanced reactor safety, 1-5 Jun 1997, Orlando, FL (1997).
- 26) Y. Sakamura, *et al.*, *Nucl. Technol.*, 171, 266-275 (2010).
- 27) 北脇慎一, 他, 日本原子力学会「2012年春の年会」要旨集, H51 (2012).
- 28) M. Iizuka, *et al.*, *Proc. GLOBAL2013*.
- 29) M. Osaka, *et al.*, "Actinide-handling Experience for Training and Education of Future Expert under J-ACTINET", *Proc. GLOBAL2011*.

### 著者紹介

小山正史 (こやま・ただふみ)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 再処理, 熱力学, 汚染水処理

笹平 朗 (ささひら・あきら)

(株)日立製作所

(専門分野/関心分野) 化学, 燃料再処理

本間俊司 (ほんま・しゅんじ)

埼玉大学

(専門分野/関心分野) 再処理, 化学工学, 数値流体力学

井関忠宏 (いせき・ただひろ)

日本原燃(株)

(専門分野/関心分野) 燃料再処理

島田 隆 (しまだ・たかし)

三菱重工(株)

(専門分野/関心分野) 燃料再処理

染谷 浩 (そめや・ひろし)

三菱マテリアル(株)

(専門分野/関心分野) 燃料再処理, 核燃料

松村達郎 (まつむら・たつろう)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 燃料再処理, MA 分離

飯塚政利 (いづか・まさとし)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 再処理, 溶融塩化学

有田裕二 (ありた・ゆうじ)

福井大学

(専門分野/関心分野) 核燃料, 燃料再処理

永里良彦 (ながさと・よしひこ)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 燃料再処理

駒 義和 (こま・よしかず)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 燃料再処理, MA 分離

水口浩司 (みずぐち・こうじ)

(株)東芝

(専門分野/関心分野) 燃料再処理

浅沼徳子 (あさぬま・のりこ)

東海大学

(専門分野/関心分野) 再処理化学



## From Editors 編集委員会からのお知らせ

—最近の編集委員会の話題より—  
(9月13日第3回編集幹事会)

### 【論文誌関係】

- ・学位論文全文電子公開に伴う、本学会論文誌の受理要件の変更に関して検討した。他学会論文誌の取り扱いを調べることにした。
- ・英文誌の出版状況が報告された。8月期に32論文が投稿された。10月号電子版公開済み、11月号入稿済み。
- ・論文誌関連規定類の見直し検討経過が報告された。
- ・学会賞論文賞への編集委員会からの推薦論文を確定した。
- ・イランからの投稿論文3件の取り扱い結果が報告された。
- ・和文論文投稿数が減少していることが報告された。

### 【学会誌関係】

- ・編集委員長から経営改善特別小委員会と編集委員会との意見交換会の報告があった。
- ・新型炉部会、熱流動部会の担当者から、それぞれの活動状況の説明を受け、学会誌記事になりそうなテーマについてディスカッションを行った。
- ・学会誌のPDF記事公開について、まず他学会のPDF化の状況と、導入した場合の評価を、新委員に担当してもらうことにした。
- ・2013年秋の大会での企画セッションで学会誌記事にふさわしいものがないか、また、進捗状況を確認した。
- ・Elsevier社が運営している「Scopus」というデータベースに、学会誌を登録したいという要望が、Elsevier社から出ているという報告が事務局よりあった。他に登録されているジャーナルなどを調べ、判断していくことにした。
- ・2013年10月号より印刷所を移行し、校正作業が終了した旨の報告が事務局よりあった。

(10月7日第4回編集幹事会)

### 【論文誌関係】

- ・学位論文全文電子公開に伴う本学会論文誌の受理要件の変更に関して検討し、特例として全文公開1年間に限り新規性を喪失しないと見なすこととした。
- ・英文誌の出版状況が報告された。9月期に23論文が投稿された。11月号電子版公開済み、12月号入稿済み。
- ・英文誌の特集号として、Physor2014国際会議と福島原発廃止措置関連を承認した。なお、後者は論文を公募することとした。
- ・論文誌関連規定類の見直し検討経過が報告された。論文審査・査読担当者選出に関する手順書を承認した。
- ・JNST Most Cited Article Award (2007)を4論文に贈ることを確定した。
- ・JNST 50周年記念 Review (海外著者)は、各部会から推薦された上位1名に順次依頼することが了承された。
- ・第7分野の編集委員の交代を仮承認した。

### 【学会誌関係】

- ・学会誌編集長より、経営改善特別小委員会との意見交換会の報告があった。
- ・HMS研究部会、水化学部会の担当者から、それぞれの部会の活動状況の説明を受け、学会誌記事になりそうなテーマについてディスカッションを行った。
- ・学会誌記事企画の進捗状況の確認を行った。打診を行っていない案件については早急に対応するよう担当委員に依頼した。
- ・10月号の印刷費について、印刷所から最初に提出された見積もり通りの金額になっている旨の報告があった。
- ・来年4月号からの表紙新レイアウトの決定報告があった。写真はこれから選別する。表紙を新レイアウトに変更するに伴い、本文の目次や記事デザインも変更する予定である。

編集委員会連絡先 < hensyu@aesj.or.jp >



## 報告

## 大阪府立大学 大学院量子放射線工学分野新設について 放射線利用分野の人材育成への新たな決意

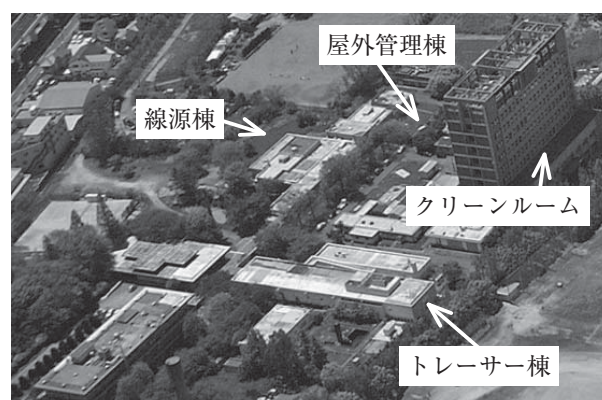
大阪府立大学 古田 雅一

本年4月、大阪府立大学の放射線研究センターを母体とした新たな大学院専攻、量子放射線系専攻量子放射線工学分野が本学大学院工学研究科に開設された。新専攻は放射線研究センターが維持管理する大規模な放射線利用施設、クリーンルーム施設を母体としている。本施設の運営を通じて長年培ってきた放射線、量子線を活用した教育研究、民間も含めた大学内外からの依頼照射、共同利用研究、放射線に関する研修活動、「みんなのくらしと放射線展」など、地域に対する知識普及活動などの経験を生かし、研究者、技術者として必要な実践的な放射線取扱技術や資格の取得を目指している。さらに知識普及活動に参加することで放射線の理解促進に不可欠な社会との関係やコミュニケーション力を養えることも本専攻の特長である。

レントゲンによる X 線の発見からわずか 110 年、量子放射線は、X 線検診、がん治療、滅菌殺菌など医療分野や非破壊検査、超微細加工、半導体技術、高分子重合などの工業分野、品種改良などの農業分野において広く活用されている。わが国においても放射線利用の経済規模は数兆円に達し、イオン加速器から得られる荷電粒子ビームや2次ビームとしての放射光や中性子線などの量子ビームは、今日の最先端の科学研究分野で積極的に利用されている。2011年3月11日に起こった東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、原子力エネルギー政策の見直しが行われているが、世界的には今後とも原子力が発電の主要な部分を占めると予想されるため、原子力産業は今後ともわが国の重要な産業分野であることが期待される。したがって原子力発電所事故以降、様々なメディアから発信される風評に対し、一般人が正しく判断できるように放射線教育を充実させると共に、原子力発電の安全をより広い視点で確保するために必要な放射線防護、食品、環境安全等に関する放射線取扱の専門家の人材育成は、原子力産業の将来のために喫緊の課題となっている。

大阪府立大学の中百舌鳥キャンパスには、わが国の大学の中でも有数の規模を持つ密封放射線施設(線源棟、床面積 1,760m<sup>2</sup>)・非密封放射線施設(トレーサー棟、床面積 2,046m<sup>2</sup>)、大気環境監視施設(屋外管理棟、床面積

51m<sup>2</sup>)、クリーンルーム施設が存在する(第1図)。これらの施設の維持管理と研究開発は現在、筆者を含め、本学の地域連携研究機構、放射線研究センターの教職員により維持管理されている。教員は4つの研究グループ「環境計測科学グループ」「量子線材料科学グループ」「量子線化学生物学グループ」「量子ナノ材料科学グループ」に所属し、これらの施設を鋭意活用しつつ、放射線、量子線を活用した教育研究、民間も含めた大学内外からの依頼照射、共同利用研究、放射線に関する研修活動、「みんなのくらしと放射線展」など地域に対する知識普及活動などに励んできた。これらの活動のなかで、大学生や大学院生に対してより高度な知識を授けたい、研究活動を共にすることで時代に即した放射線利用の専門家を育てたい、という思いが募り、放射線利用に関する大学院専攻の設置を目標に鋭意努力してきた。これらの努力の甲斐あって今年4月から「量子放射線系専攻量子放射線工学分野」が本学大学院工学研究科に設置され、11名



第1図 大阪府立大学の放射線施設の全景

*The Newly-established Division of Quantum Radiation and Engineering, Osaka Prefecture University; Human resource development in the field of quantum radiation applications with fresh determination: Masakazu FURUTA.*

(2013年8月18日受理)

の博士前期課程の院生、3名の博士後期課程の院生を迎えることができた。本稿においてはこの新専攻の内容について簡単に紹介したい。

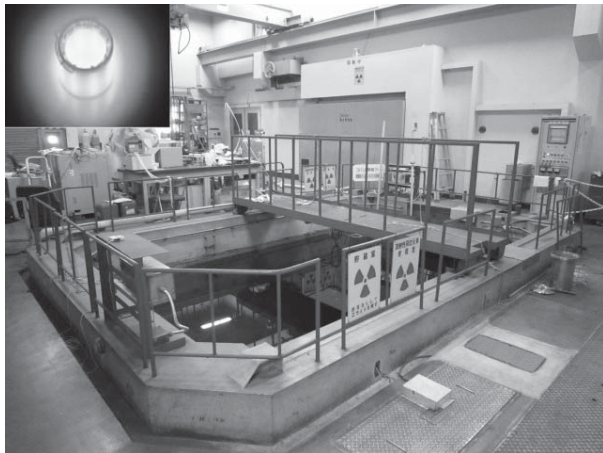
本学の放射線利用施設はもともと1990年に統合された大阪府立放射線中央研究所の研究施設を受け継いだもので、50年以上にわたり学内外の研究者に利用されてきた。線源棟の主な放射線源は、Co-60ガンマ線源(第2図)と10MeV以上の高エネルギー電子線が得られる電子線形加速器(第3図)、数百keVレベルの電子線が得られるコッククロフト・ワルトン型電子加速器である。ガンマ線源は、材料の改質、耐放射線性試験、滅菌や生物への照射などが行われている。また、固体表面活性化による反応促進、人工衛星搭載機器の照射効果などがコッククロフト・ワルトン型電子加速器が用いられており、新しい研究として注目されている。

またトレーサー棟においては $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$ など18種の放射性核種が利用可能であり、バイオ研究に汎用される核種に加えて原子力発電所事故後に問題となっている $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ の利用も可能であり、Ge半導体検出器をはじめ、精密な放射線測定も行える種々の測定機器を備えている。本施設は様々な用途に対応した

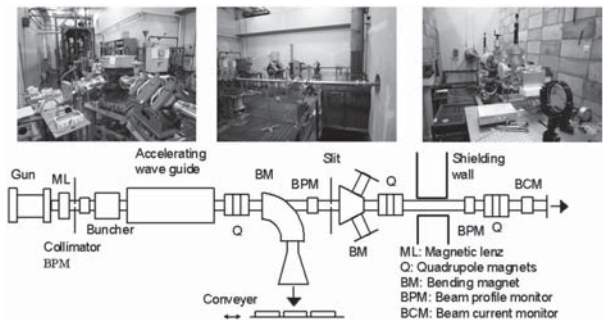
10以上の実験室や測定室を備え、多人数の学生実習、外部企業も利用可能な多機能の施設となっており、現在ではイオンや塩類など、水以外の不純物は透過しない性質を持つ逆浸透膜(RO膜)による $^{131}\text{I}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ の除染を目指した研究、また微生物による環境水や土壌からの $^{137}\text{Cs}$ の除去などの研究が産学の共同研究として行われている。

屋外管理棟においては、食品や環境試料の放射線モニタリングが行えるような測定、解析設備が完備しており、原子力発電所事故以来、福島産食品の放射線測定など様々な環境放射線測定に引っ張りだこの状況である。

クリーンルームにはクラス1000、クラス100、クラス10の3つの部屋があり、大学のクリーンルームとしては最高レベルの施設となっている。このクリーンルームは、清浄度を保てる垂直層流方式(ダウンフロー方式)を採用しており、空調設備のある天井、全面グレーティングの作業室、ガスや純水の配管のある床の3層構造となっている。ここでは、超純水や各種の高純度ガスが使用できるようになっており、電子・光デバイスの革新のために半導体などの材料の開発などに加えて様々な分野の研究者との共同研究が行われている(第4図)。

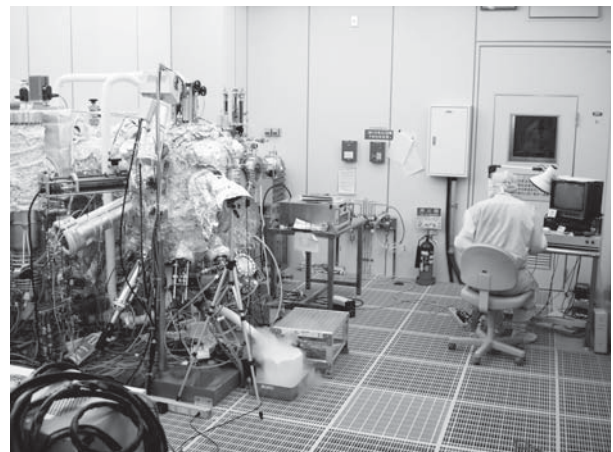


第2図 ガンマ線照射プールと水中の放射線源からのチェレンコフ光



第3図 電子線形加速器システム

写真 左: Bending magnet 方向から Accelerating wave guide を望む。中央: Quadrupole magnets を介して水平に伸びる加速管 右: Shielding wall の外側に配置された Beam profile monitor と Beam Current monitor



第4図 クリーンルーム室内風景



線架橋による新規生体材料開発, 微生物, 錯体による原子力発電所事故による  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  の除染, 水浄化, これらに対応した微生物の放射線育種など(量子線化学生物学グループ), 超微細加工, 半導体技術を駆使した次世代光デバイスの提案とその材料の分子線成長法(MBE)および有機金属気相成長法(MOVPE)による開発(量子ナノ材料科学グループ)など, 先端的な科学技術を融合させた多彩な学際的研究に携わることにより, 放射線取扱の基礎から応用まで研究者, 技術者として必要な技術を学ぶことができる。

博士前期課程の講義は, 放射線の基礎から応用分野までの幅広い科目が用意されている。本学の大規模な放射線施設と装置や「みんなのくらしと放射線展」などの一般向けの知識普及イベントを活用した実践的な放射線取扱技術や資格の取得と理解促進に不可欠な社会との関係やコミュニケーション力を養うことができる(第5図)。

量子放射線の基礎については, 量子放射線と物質との相互作用を基礎的な物理過程から理解する「量子科学特論」と, 放射線取扱の基礎科学技術を総合的に理解する「最新放射線安全管理学特論」が用意され, 後者は, 放射線取扱主任者免状の国家試験に対応している。

応用分野については, 「放射線物理工学特論」, 「放射線化学・バイオ応用理工学特論」, 「放射線医学・防護学特論」が用意され, それぞれ工業, 農業, バイオ, 医学分野における放射線利用, および放射線防護学の先端知識が学べる。さらに光量子線, 粒子線関連の応用分野について, 「高度光量子科学技術特論」, 「高度粒子線科学技術特論」も用意されている。また本学の放射線施設, 関連装置, 機器を利用した実践教育としては, 「最新量子放射線機器工学特論」, 「放射線計測学特論」がある。さらにエネルギー分野への応用として「原子力エネルギー工学特論」も用意されている。

放射線と社会との関わりについては, 「放射線の社会学特論」でリスクコミュニケーションの基礎を学び, 実際に行われている知識普及活動なども利用しながら実践教育を行う。さらに量子放射線の応用研究において, 特に進展の著しい理工学分野およびバイオ・医療分野の研究フロンティアについては各分野の第一線で活躍する研究者を招き, 集中講義「量子放射線応用科学技術フロンティア」も適宜開講する予定である。

一方, 博士後期課程においては担当教授のそれぞれの専門領域を中心とした専門性の高い講義を受講し, 同時に研究指導により, 独立した研究者になるために必要な



第5図 「みんなのくらしと放射線展」での親子に対する知識普及活動(講演中の筆者)

技能を習得する。

大学院入試は例年8月下旬に本学工学研究科大学院入試の一環として行われるが, 今年度は来年2月に2次試験が行われる予定である。試験科目は専門科目の筆記試験と面接から成り, 英語はTOEICなどの外部試験結果を用いる。詳しくはホームページ <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/senko/index.html> を参照いただきたい。

筆者の研究分野, 食品や医用材料の放射線殺滅菌技術は, 加熱できない香辛料や冷凍食品に対して極めて有効であり, 東アジアを中心に実用化が進んできている。一方で国内における食品の放射線照射に関しては, 1972年にジャガイモの芽止め照射が世界に先駆けて許可されて以来, 今日に至るまで新たな許可品目がないのが現状である。この停滞の中, 食品の放射線照射を専門とする研究者が著しく減少し, 後継者の育成が急務となっている。2013年に入り, 牛生レバーの放射線殺滅菌法の有効性の検討が厚生労働省で始まるなど, 明るい話題も生まれている。これを励みにしつつこれからの放射線利用技術を担う若い人材を育てたいと決意を新たにしている。来年度もまた新たな人材と出会うことを心待ちにしている。どうか今後ともご支援のほどよろしくお願いしたい。

#### 著者紹介

古田雅一(ふるた・まさかず)

大阪府立大学

(専門分野/関心分野) 量子線による殺滅菌, 食品照射, 量子線による材料開発, 放射線, 量子ビーム応用科学





# 高レベル放射性廃棄物処分の可逆性と回収可能性

## 第2回 回収可能性を中心にした各国の検討状況

原子力環境整備促進・資金管理センター 田辺 博三

処分事業の実施段階における可逆性・回収可能性(R&R)が各国で取り上げられ、議論が行われるなど関心が高まっている。第2回の解説では、回収可能性の技術的側面について、各国の取り組み状況をまとめたEC/EURATOMの回収可能性協調行動プロジェクトの成果<sup>1)</sup>を中心に解説した。

### I. はじめに

第1回の解説で、高レベル放射性廃棄物(以下、高レベル廃棄物という)の地層処分において議論されている可逆性と回収可能性について全般的な解説を行った。R&Rプロジェクトのまとめでは、回収可能性の目的は以下のとおりであった<sup>3)</sup>。

- ・ 将来に対する謙虚な態度あるいは新しい考えや提言を受け入れる姿勢を持つこと。
- ・ 安全性にさらなる保証を与えること。
- ・ 「不可逆的な」状況に縛られたくないという公衆の希望に留意すること。
- ・ 一部の国の処分プログラムでは、操業安全のため(何か問題が発生した場合)には安全な状態に戻せるように常に備えておくこと。

第2回の解説では、回収可能性という技術的側面について各国の取り組み状況を紹介する。今回参照した資料を以下に示す。

① EC/EURATOM(欧州委員会/欧州原子力共同体)で1998年から1999年にかけて実施された「深地層処分場における長寿命放射性廃棄物の回収可能性に関する協調行動」プロジェクト(以下、回収可能性協調行動プロジェクトという)の成果<sup>1)</sup>。

② OECD/NEA(経済協力開発機構/原子力機関)で2007年から2011年にかけて実施された「高レベル放射性廃棄物および使用済燃料の深地層処分のための可逆性と回収可能性」プロジェクト(R&Rプロジェクト)で各国の状況を取りまとめた報告書<sup>2)</sup>。

*Reversibility & Retrievability (R&R) for Geological Disposal of High-level Radioactive Waste (2); Status of Retrievability in Several Countries: Hiromi TANABE.*

(2013年8月14日受理)

■前回のタイトル

第1回 可逆性と回収可能性はどういうことなのか

③ ①, ②以降の各国の最新情報(随時)。

④ EC/EURATOMで実施中/実施済の国際共同研究プロジェクト(PEBS:工学バリアシステムの長期性能, MoDeRn:安全な処分場操業と段階的な閉鎖のためのモニタリングの開発, ESDRED:処分場設計の工学的研究と実証)の成果。

このうち、①は各国の回収可能性への取り組みを包括的かつ詳しく調査したものであり、回収可能性を技術的側面から解説するには最適の情報源になるものである。ただし、1999年までの情報であるため、その後、国によっては回収可能性に関わる技術開発、処分場の設計、法規制の策定など、新たな動きがあったものがあり、それらの情報源として②, ③を利用して、可能な限り補足情報として追記するようにした。

回収可能性を理解するためには、各国の処分概念(母岩, 工学バリア, 処分場設計などの特徴)の理解が不可欠である。④に示した国際共同研究プロジェクトでは各国の工学バリア(PEBS), 処分場設計と段階(MoDeRn), 廃棄物の定置技術実証と回収可能性の評価(ESDRED)が取り上げられており参考として利用した。

### II. 各国の回収可能性の取り込み状況

#### 1. 回収可能性協調行動プロジェクト(1998年～1999年)時点の状況

回収可能性協調行動プロジェクトには、EU(欧州連合)のベルギー、フィンランド、フランス、ドイツ、オランダ、スペイン、スウェーデン、英国の8か国とスイスの併せて9か国の専門家が参加した。参加者は各国の回収可能性概念を理解するために、

- ・ 廃棄物管理の背景情報
- ・ 回収可能性の背景と目的
- ・ 回収可能性の概念
- ・ 回収可能性の技術的側面
- ・ 安全関連問題

- ・回収可能性を備えることのコスト面の影響
- ・研究開発

についてまとめた。その結果、各国の回収可能性の取り込みレベルが第1表にまとめられた。なお、英国はこの時点では高レベル廃棄物の政策が未定であったため、表は中レベル廃棄物について示されている。概要は以下のとおりである。

- ・ほとんどすべての国で回収可能性の調査が実施されている。
- ・ほとんどの機関が、回収可能性は公衆の関心事項であり、社会的意思決定との関連で重要と指摘している。
- ・回収可能性が上げられる以前に開発された処分概念においても高品質の多重バリアシステムにより可逆性の極めて高い処分システムが実現している。
- ・7か国で回収が容易な期間の明確なイメージが得られており、5か国で閉鎖後一定期間までは回収可能な期間と見なしている。
- ・大部分の国で決定すべき問題がいくつか残っている。

## 2. 回収可能性協調行動プロジェクト以降の進展

回収可能性協調行動プロジェクト以降、十数年の間に、各国でR&Rの議論が進展し、法規制に具体的に規定される国も出てきている。また、廃棄物の定置技術や回収技術の研究開発・実証が進められている<sup>2)</sup>。一方で、オランダとスペインでは地層処分場開発が中断している。各国の新たな動きの概要を以下に示す。

(1) ベルギーでは2010年に「放射性廃棄物最終処分施設の許認可制度に関する王令」ドラフトを作成しており、段階的なアプローチに基づく許認可プロセスが示されている。このドラフトは、最終化に先立って実施されたパブリックコメント(2010年9月1日～10月31日実施)に供するために公表されたものであり、未施行のものである。

(2) フィンランドでは2008年改訂の安全規則は回収

可能性を要求していないが、2001年の原則決定時の安全規則に基づき回収可能性が要求されている。2012年に処分場の建設許可申請を行った。申請において回収可能性と回収コストの報告書を提出することになっている。

(3) フランスでは1991年に制定された「放射性廃棄物管理研究に関する法律」に基づき、事業者(Andra)は2005年に可逆性を考慮した処分概念(Dissier2005)を開発した。2006年に制定された「放射性廃棄物及び放射性物質の持続可能な管理に関する計画法」(放射性廃棄物等管理計画法という)では、百年間を下回らない可逆性期間が規定されている。放射性廃棄物等管理計画法および関連するデクレ(政令)では遅くとも2014年末までに処分場の設置許可申請を行うこと、設置許可申請後に可逆性の条件を定める法が制定されること、この法律に示された条件において放射性廃棄物の深地層処分場の可逆性が保証されていない場合には、処分場の設置認可が発給されることはないことが規定されている。

(4) ドイツでは2009年に更新された「発熱性廃棄物の安全要件」で、閉鎖前までの回収可能性と閉鎖後500年間の緊急回収が規定されている。回収可能性の議論の背景にはアッセII研究鉱山で試験的処分された低中レベル廃棄物の回収問題があった。

(5) オランダでは1993年の政府決定で回収可能性要件が示された。それに基づいてCORAプロジェクト(回収可能な地層処分と100～300年の長期貯蔵の比較研究)が行われ2002年に終了した(III-2節参照)。その結果を受けた政府は、放射性廃棄物量が少なく貯蔵可能である、処分に対する公衆や政治的なアクセプタンスが低いなどの理由から長期貯蔵を選択した。現在、COVRA(中央貯蔵機関)がすべての放射性廃棄物を貯蔵している。

(6) スペインではサイト選定プロセスは事業者(ENRESA)によって1986年に開始され、2000年までに候補地を指定する計画であった。しかし、選定プロセスを進めるにあたって遭遇した困難のため、スペイン上院は、1996年末に、放射性廃棄物管理政策をいかに展開するかについて政府に勧告を行う審査委員会(Inquiry Committee)の設置を決定した。委員会は、各国のアプローチについて再検討を行い、様々な専門家、各種専門グループおよび研究機関の代表者の意見や見解に基づいて報告した。これらの結果および中間貯蔵の安全技術の適切性を考慮して、スペイン政府は2010年頃まで最終管理に関する決定を延期することが妥当と考えた。しかし2006年の第6次GRWP(総合放射性廃棄物計画)では地層処分場の操業開始を2050年に延期することが決められ、現在でもサイト選定は再開されていない。

(7) スウェーデンでは回収可能性は法律でも政府からも明示的には要求されていないが、事業者(SKB)は設計にそれを組み込んでいる<sup>3)</sup>。SKBは環境法典と原子力活動法に基づき2011年に地層処分場の立地・建設許

第1表 各国の回収可能性の取り込みレベル(1999年時点)

	ベルギー	フィンランド	フランス	ドイツ	オランダ	スペイン	スウェーデン	スイス	英国
廃棄物	HL/SF	SF	IL/HL/SF	LL/LL/HL/SF	HL	HL/SF	SF	HL/SF	IL
母岩(参照)	粘土	結晶質岩	粘土/結晶質岩	岩塩	岩塩/粘土	粘土/結晶質岩	結晶質岩	粘土/結晶質岩	未定
回収可能性	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり	あり	あり
回収可能期間長さ	未定	操業期間後も	未定	NA	操業期間後も	未定	操業期間後も	操業期間後も	操業期間後も
規制/義務	未定	あり	あり	なし	あり	未定	未定	未定	未定
公衆の関心	あり	あり	あり	不明	あり	あり	あり	あり	あり
設計上の調整	未定	未定	未定	なし	未定	未定	未定	未定	未定
操業上の調整	未定	あり	未定	なし	あり	未定	あり	未定	あり
調査研究	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり	あり	あり

HL: ガラス固化体, SF: 使用済燃料, IL: 中レベル廃棄物, LL: 低レベル廃棄物

可申請を行った。申請書の中で回収可能性について言及している。

(8) スイスでは2005年に施行された原子力法令で閉鎖前までの回収可能性を規定するとともに、2009年にENSI(連邦原子力安全検査局)が策定した指針「地層処分場の設計原則とセーフティーケースに関する要件」でも規定している。事業者(Nagra)は「処分の実現可能性実証プロジェクト」で、原子力法令に基づく回収可能性などを考慮した処分概念(NAGRA, NTB02-05, 2002)を開発している。

(9) 英国では2006年に高レベル廃棄物を地層処分する方針を決めた(第2表は中レベル廃棄物に関する記述である)。2009年にEA(環境規制機関)等が策定した「地層処分施設の許可要件に関するガイダンス」では、回収可能性を要求していないが、実施主体が回収可能性のために措置を講じる場合には安全性を損なうものであってはならないことが規定されている。

なお、上記の国において回収可能性を考慮した設計や回収のコストを検討した事例はあるが、処分コストに回収コストを含めるといった判断を行った事例はない。

### Ⅲ. 各国の処分概念と回収可能性の検討

#### 1. 各国の処分概念の特徴

一般的に地層処分場の設計は処分場が設置される母岩の建設性と長期安全性に関する特徴に基づいて行われる。回収可能性協調行動プロジェクトに参加した第1表の国では、候補の母岩は、結晶質岩(スウェーデン、

フィンランド、スペイン)、粘土層(ベルギー、スイス、フランス)、岩塩(ドイツ、オランダ)となっている。

具体的には、処分場の設計において、地下施設の建設性に影響するパラメータ(掘削性、処分深度、空洞安定性・コンバージェンス(変形)性など)と長期安全性に影響するパラメータ(地下水流速、地下水化学、拡散係数、亀裂など)が考慮される。このうち、結晶質岩においては、亀裂が存在することなどから地下水流れが比較的大きいので、水を通しにくいベントナイトが緩衝材や埋め戻し材として使用される。これに対して粘土層においてはそれ自身が地下水を通しにくく、ベントナイト緩衝材と同様に放射性核種の移行を遅延する効果があるが、ベントナイト緩衝材の使用の有無は国によって異なっている。また、ガラス固化体の処分にはベントナイト緩衝材を使用しないものの、使用済燃料の処分の場合は、ガラス固化体に比べて大きな発熱量と長い発熱期間を有しており、その環境への熱的影響に配慮して使用する国がある。岩塩においては地下水流れがないなどから、ベントナイトは使用されず、埋め戻し材に掘削した岩塩が使用される。

以上のように、処分概念は母岩の地質環境条件に基づいて設計されることが基本であるが、さらに各国の政策や事業者の設計方針などが反映されて決められている(Ⅲ-2節参照)。

なお、サイト選定が終了したスウェーデン、フィンランド、フランスでは候補母岩が絞られているが、その他の国々では、複数の候補母岩が存在し、それぞれに対し

第2表 参加国の処分場の特徴と回収可能性のための配慮例

母岩の種類	対象廃棄物	母岩の特徴		処分場設計の特徴						回収可能性のための配慮例
		空洞安定性	長期安全性	設置方式	オーバーバック*1	ベントナイト緩衝材	坑道の埋め戻し材	坑道の密封材	上限温度*2	
結晶質岩	ガラス固化体	空洞安定性大(コンバージェンシ小)	地下水移行大~中	縦置, 横置	有	有	ベントナイト	コンクリートとベントナイト	ベントナイトの耐熱性(100℃)	・飽和したベントナイト緩衝材を塩水により除去する技術の開発
	使用済燃料									
粘土層	ガラス固化体	空洞安定性中(コンバージェンシ中)	地下水移行小(拡散で移行)	横置	有	無, 有	ベントナイト	コンクリートとベントナイト	粘土層の耐熱性(100℃)	・鋼製ライナーによる処分孔の維持
	使用済燃料									
岩塩	ガラス固化体	空洞安定性小(コンバージェンシ大)	地下水なし(拡散で移行)	縦置, 横置	有	無	掘削した岩塩	特殊コンクリート(ソールトコンクリートなど)	岩塩の耐熱性(200℃)	・鋼製ライナーによる処分孔の維持 ・オーバーコアリングによる廃棄物回収技術の検討
	使用済燃料									

\*1: 熱影響期間は廃棄物をオーバーバックで閉じ込めることが必要であり、その期間は約千年である。材料は炭素鋼である。

なお、一部の国では鋼製のオーバーバックを使用して十数年以上の閉じ込めを検討している。

\*2: ベントナイト緩衝材を使用する国の一部では処分後、数十年にわたって100℃を超える(百数十℃)設計もある。



て処分概念の検討を並行して進めている場合もある。

2. 各国の処分概念と回収可能性の検討

(1) 結晶質岩(スウェーデン, フィンランド, スペイン)

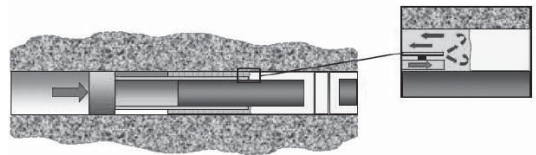
スウェーデンは1983年にKBS-3概念を開発した。フィンランドもこの概念を適用している。第1図にスウェーデンのKBS-3処分概念図を示す。使用済燃料を鑄鉄製容器(内側)と銅製容器(外側)の2重構造の容器(わが国のオーバーパックに相当)に封入し、周囲にベントナイト緩衝材を設置する概念である。現在は縦置方式が先行しているが、横置方式についても開発が進められている。横置方式では廃棄物と緩衝材を地上で事前に一体化施行したもの(スーパーコンテナ)を定置する方法を開発している。両者は強い協力関係のもとでR&Dを実施しており、スウェーデンのエスポ島にある地下研究所(HRL)では、2000年から2005年にかけて縦置方式の概念で緩衝材の再飽和・膨潤試験を実施し、その後、2006年1月から5月にかけて、緩衝材を塩水により除去し廃棄物を回収する試験が行われた(SKB TR-11-10など)。緩衝材除去試験の概念図と緩衝材除去後の上部からの写真を第2図に示す<sup>3)</sup>。HRLでは2010年からプロトタイプ処分場の解体試験を開始しており、その中で回収可能性に関するさらなる知見が得られる予定である。フィンランドで行われた回収技術の検討結果はPOSIVA WR99-21などに報告されている。また、横置方式の概念で緩衝材を除去し高レベル廃棄物を回収する構想も検討されている(第3図参照。POSIVA 2008-03)。処分場の設計において回収可能性のための特段の技術的特徴は

必要としないとしている<sup>3)</sup>。

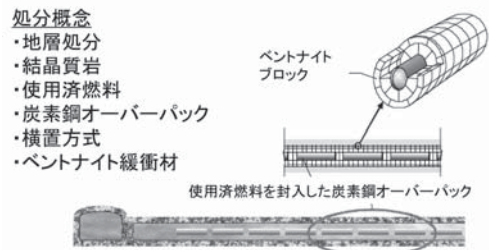
スペインは横置方式の概念を検討している。第4図に処分概念を示す。高レベル廃棄物を炭素鋼オーバーパックに封入し、ベントナイト緩衝材を周囲に設置する概念である。

(2) 粘土層(ベルギー, スイス, フランス)

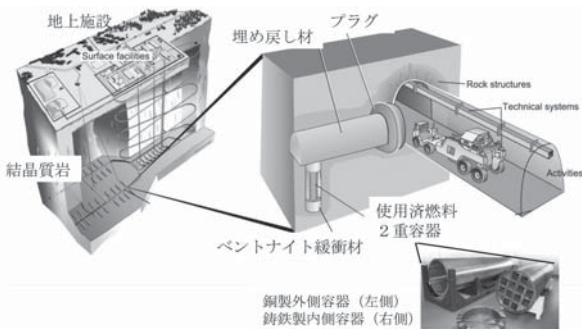
ベルギー, スイス, フランスは粘土層を候補母岩としているが、処分概念は異なっている。ベルギーの処分概念(第5図)では、高レベル廃棄物を地上で炭素鋼オーバーパックに封入しコンクリート緩衝材と一体化施工したもの(スーパーコンテナ)を処分坑道に定置する。処分



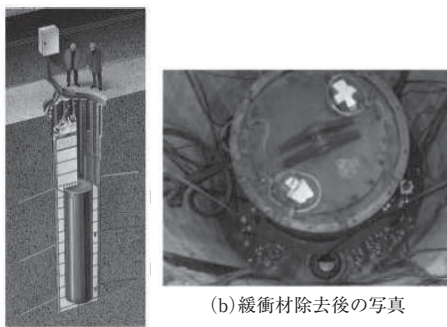
第3図 横置方式の場合の回収可能性の構想図 (POSIVA2008-03)



第4図 スペインの処分概念(PEBS)



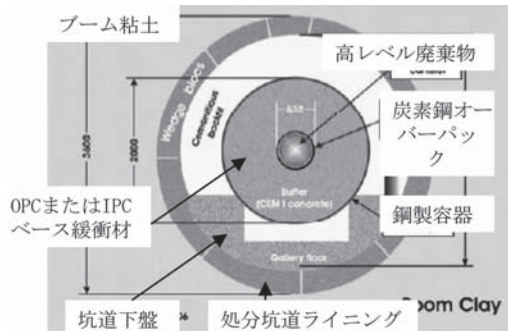
第1図 スウェーデンの処分概念(MoDeRn)



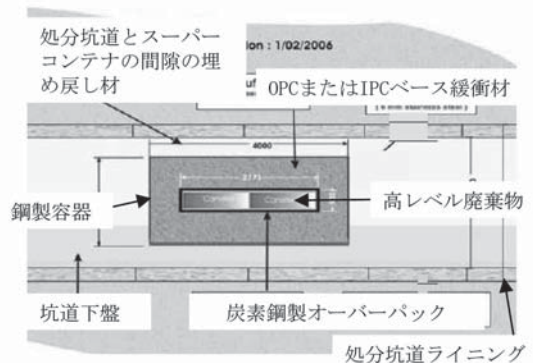
(a) 試験装置の概念図

(b) 緩衝材除去後の写真

第2図 スウェーデンで実施された回収試験<sup>3)</sup>



(a) 径方向断面図



(b) 軸方向断面図

第5図 ベルギーの処分概念(ESDRED)

坑道にコンクリートのライニング(支保工)を施工し、スーパーコンテナと坑道の隙間は粒状の埋め戻し材を使用することで回収を容易にすることを検討している<sup>2)</sup>。

スイスの処分概念(第6図)では、高レベル廃棄物は炭素鋼オーバーパックに封入し、処分坑道にあらかじめ設置されたベントナイト緩衝材ブロックの上に定置する。処分坑道との隙間はペレット状のベントナイト緩衝材を充填する。処分施設はすみやかに埋め戻し密封するが、すべての操業の終了後も併設されたパイロット施設での実廃棄物のモニタリング(観察)が50年間延長して行われることが計画されており、その間はアクセス立坑などが維持されるので問題があれば回収可能である。

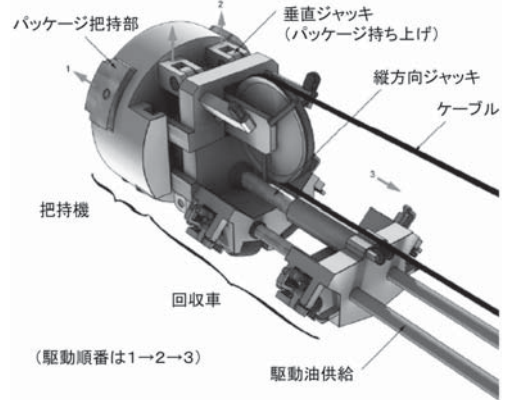
フランスの処分概念(第7図)では、水平方向に掘削した処分孔に鋼製ライナーを設置し、その中に炭素鋼オーバーパックに封入した高レベル廃棄物(ガラス固化体)を定置する。鋼製ライナーとパッケージが健全な間は定置と逆動線で回収することができる。回収のための装置例を第8図に示す。なお、発熱量の高い使用済燃料の処分ではベントナイト緩衝材を鋼製ライナーの周囲に設置する概念となっている。

(3)岩塩(ドイツ, オランダ)

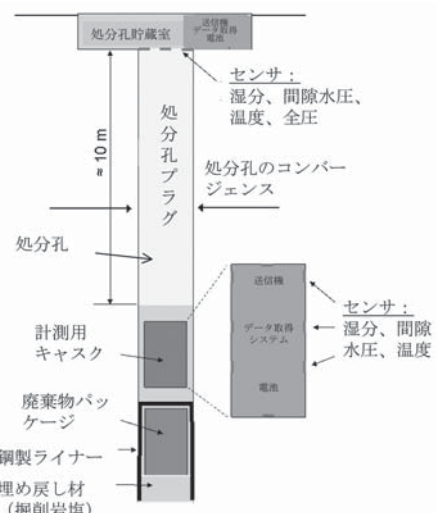
ドイツ, オランダとも埋め戻し材には掘削した岩塩が使用される。ドイツの処分概念(第9図)では、高レベル廃棄物を金属製容器に封入して処分孔に定置する。回収を容易にするため廃棄物パッケージを鋼製ライナーの中に定置する検討も行っている。

オランダの処分概念(第10図)では、高レベル廃棄物

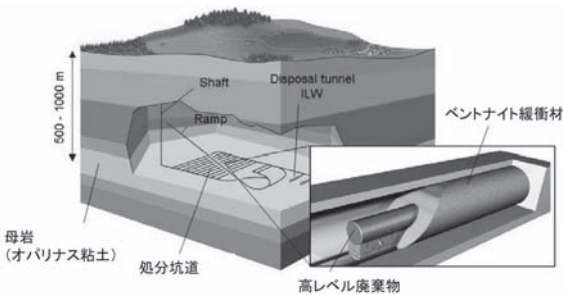
を処分坑道から水平方向に掘削された処分孔に1体ずつ定置し、岩塩プラグで密封する。オランダでは「ローリング・プレゼント(毎年見直しを行って新たな計画を立てる)」のシナリオに基づき処分施設が「地下の一時貯蔵



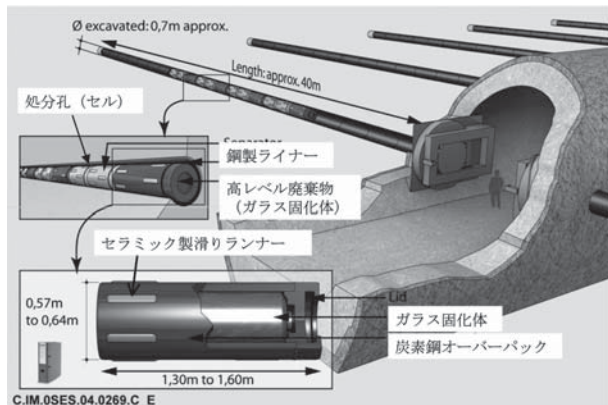
第8図 フランスの回収用牽引ロボット装置例 (DOSSIER2005)



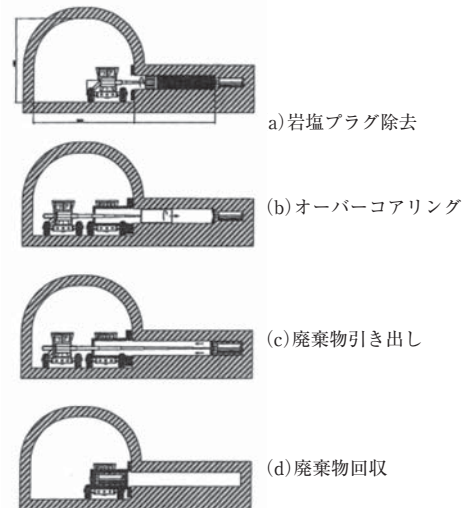
第9図 ドイツの処分概念 (MoDeRn)



第6図 スイスの処分概念 (PEBS)



第7図 フランスの処分概念 (ESDRED)



第10図 オランダの処分概念と回収<sup>1)</sup>



施設」として機能する期間を設けており、この期間中は、比較的容易に廃棄物を回収できなければならない。処分場を「開放」したままにするか、または「閉鎖」するかについて定期的に決定が下されると予想される。決定の間隔は、社会・経済動向、処分場内設備の推定寿命、メンテナンス・監視活動の費用などに左右される。この構想では、25年間隔が想定されている。25年の各期間が終わる前に、一時貯蔵段階をさらに25年延長するか、または処分場を閉鎖するかについての決定を下さなければならない<sup>1)</sup>。廃棄物を回収する場合は、まず岩塩プラグをドリルで掘削除去し、次に廃棄物パッケージの周囲の岩塩をオーバーコアリングにより掘削し、最後に廃棄物を回収する検討が行われた<sup>1)</sup>。

#### IV. 回収可能性の技術的課題

回収可能性協調行動プロジェクトで得られた回収可能性の技術的課題に関する知見を以下に示す。

##### 1. 処分段階の延長が及ぼす影響

回収可能性を容易にする方法として、処分場の状態が受動的な状態（廃棄物の定置作業や埋め戻し作業などを行っていない静的な状態）において、その状態の維持期間をさらに延長することが考えられる。以下に延長期間が回収可能性と処分場の安全性に与える影響を示す。

##### (1) もともと計画していた期間に相当する期間を延長する場合

すべての国において、処分場設計や廃棄物パッケージ回収技術の修正は必要ないものと想定している。また、延長による操業および長期安全性への影響は重要なものにはならないと考えている。

##### (2) さらに長期間にわたり延長する場合

すべての国において、その当初設定された期間をはるかに超える期間にわたる延長がなされた場合にのみ、処分場設計または適用される廃棄物パッケージの回収技術に修正を加える必要が生じる可能性があると考えており、この場合、処分場の長期安全性への影響の検討を進める必要があると考えている。以下に延長することにより処分場の安全性にどのような影響があり得るかを示す。

##### ① 操業安全性への影響

- ・作業員に対する通常のリスク（高温、ガス蓄積、空洞安定性等）
- ・作業員および環境への放射線学的な影響

##### ② 長期安全性への影響

##### (a) 処分場の換気と地下排水の延長によって生じる影響

- ・人工バリアへの影響（酸化および脱飽和）
- ・母岩への影響（酸化と脱飽和、溶質析出と塩分濃度増加、望ましくない化学特性を備える水の浸入）

##### (b) 母岩の長期的な安定性と、岩石による支持およ

び処分場密封材の耐久性に対する影響

- ・掘削影響領域(EDZ)の長期的な変遷への影響
- ・岩石支持構造の耐久性への影響
- ・処分場密封材への影響

##### (c) 異常な状況に伴うリスクの増大

- ・社会的混乱などの結果として、処分場が密封されずに放棄（保守中止）される。処分場環境に対する管理が失われるため、放射性核種が地表に戻るリスクや、人間の侵入リスクが高まる
- ・処分場施設の誤用（例えば、望ましくない物質が偶然または意図的に収容される、処分場資材が不適切な形で回収される場合など）
- ・偶発事故または予想外の事象（火災、処分場の浸水など）

##### 2. 回収可能性を容易にする設計上の手段

ほとんどの国は、自国の現行処分場概念ではすでに、大規模な設計の変更を行わずとも、かなりの水準の回収可能性が実現されていると考えている。

一部の国は、回収可能性を高めるために自国の処分概念に以下の設計変更を加えることを検討している。

- ・定置された廃棄物パッケージに長期間にわたり容易にアクセスできるようにするための処分孔の設計変更。
- ・処分場設計パラメータ（地下空洞の安定性、処分孔あたりの廃棄物パッケージの数、開放した状態の処分孔内での環境条件の管理、連絡坑道と定置された廃棄物パッケージとの距離、鋼製ライナーの剛性と水密性等）の再検討

##### 3. 回収を行うかどうかの判断に資するモニタリング

回収の判断は処分場のモニタリングデータなどを判断して行う場合と、モニタリングには無関係に社会的意思決定（例えば「将来の世代に代替廃棄物管理オプションを残すため」という理由）によって行う場合がある。

モニタリングデータによる場合は、以下のようなことが想定される。

- ・モニタリングデータによって、要求された基準が達成できていない、あるいは処分場システムの挙動が許容外のものであると示された場合には、是正処置が要求され、究極の是正処置は廃棄物の回収である。

##### 4. 回収の実施可能性を判断するためのモニタリング

回収可能性を判断するためのモニタリングとして、以下のものが挙げられた。

- ・廃棄物パッケージの健全性と廃棄物へのアクセス可能性に関わる一定のパラメータを監視することにより、実際の回収作業がどれほど容易な（または複雑な）ものとなるかを判定する。
- ・処分孔、処分坑道、連絡坑道およびアクセス立坑の埋め戻し、密封、閉鎖を延長する決定を行う上で必



要なデータを収集する。

- ・操業の可逆性を実現するために設定されたさまざまなシステムが所期の目的に見合ったものであることを立証する。

これらのモニタリングの測定項目には、温度、水飽和、地球化学的条件、空洞安定性などが挙げられる。

また、処分場の段階の進展に応じて廃棄物パッケージ環境などのモニタリングの容易さや方法が処分場の状態に応じてどのように変わるかについて以下のようにまとめられた。

#### ① 処分場の設計・建設期間

廃棄物パッケージが中間貯蔵施設に置かれている期間でありアクセスは容易である。さらに、貯蔵施設から廃棄物パッケージを取り出す装置を設計するための環境条件は容易に監視できる。

#### ② 処分孔への定置後の維持期間

処分孔への廃棄物と緩衝材の定置後にモニタリングの対象となる廃棄物パッケージ環境は、緩衝材内部の環境であろう。監視される主要なパラメータは、温度、水飽和条件および地球化学的条件である。最初の2点は継続的な監視が可能だが、3点目に関するデータはおそらくサンプリングを通じて収集されることになるだろう。アクセス可能な地下空洞に関して、岩石の動きを対象としたモニタリングが継続されるだろう。密封された区域内では、アコースティック・エミッション(AE: Acoustic Emission)：材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波(弾性波, AE波)として放出する現象)の測定(AE法)により岩石の重要な動きを感知することができるだろう。密封された空洞の再飽和レベルも、多数存在する技術のいずれかを用いて監視することができるだろう。

#### ③ 処分坑道埋め戻し後の維持期間あるいは連絡坑道埋め戻し後の維持期間

処分坑道の埋め戻しおよび密封と、それに続く連絡坑道の埋め戻しおよび密封がなされた後も、当初は連絡坑道を通じて、さらにその後はアクセス立坑を通じて、地下施設の一部にアクセスすることができるだろう。これにより②と同様の廃棄物パッケージ環境のモニタリングの継続が可能になるが、作業の難度は増すことになるだろう。アクセス可能な状態が維持されているうちは、地下空洞での岩石の動きを対象としたモニタリングを実行できるだろう。密封された区域内では、AE法を用いて岩石の主要な動きを感知することができるだろう。

#### ④ アクセス立坑埋め戻し・閉鎖後で間接的監視(制度的管理)を伴う閉鎖後期間

アクセス立坑の埋め戻しおよび密封が行われた後は、処分場と廃棄物へのアクセスは、地表からのボアホールか遠隔モニタリング技術(AE法など)を用いてなされるだろう。廃棄物パッケージ環境の監視は、処分場に直接

つながっているボアホールからしか実施できないだろう。廃棄物定置期間中に、この種のボアホールを建設する必要があるだろう。この種のボアホールは処分場の長期安全性にとって大きな不利益となり得るため、ボアホール建設を決定する際には、生じ得る利益と秤にかけた上で、慎重な判断が必要であろう。処分場母岩の条件および再飽和規模に関する定性的な情報を収集するために、数多くの遠隔モニタリング技術を利用することができるだろう。この中には、AEおよび弾性波測定、測地学的測定および電気的測定などが挙げられるだろう。

#### ⑤ 監視(制度的管理)を伴わない閉鎖後期間

この期間では回収可能性に関連するモニタリングが行われることはないだろう。

## V. おわりに

処分事業の実施段階における可逆性・回収可能性(R&R)が各国で取り上げられ、議論が行われるなど関心が高まっている。第2回の解説では、回収可能性の技術的側面について、各国の取り組み状況をまとめたEC/EURATOMの回収可能性協調行動プロジェクトの成果<sup>1)</sup>を中心に解説した。回収可能性協調行動プロジェクトは特に可逆性と回収可能性を明確に分けて取り扱っていないので、回収可能性の枠の中に、前回解説した可逆性に関わる議論も一緒に取り扱われている。

回収可能性協調行動プロジェクト以降約十年間が経過し、各国で回収可能性に関わる技術開発、処分場の設計、法規制の策定など新たな動きがあった。しかしながら、筆者は回収可能性協調行動プロジェクトで得られた技術的課題は現時点でも有効であるものと考えている。

回収可能性を理解するためには、各国の処分場の地質環境や設計がどのようなものになっているかの理解が必要である。本稿では紙面の都合上、詳しく紹介することが出来なかったので、ぜひ回収可能性協調行動プロジェクトの報告書<sup>1)</sup>のほか、経済産業省資源エネルギー庁、「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について(2013年2月)」および処分概念に関する各国の報告書などを参考にされたい。

#### —参考文献—

- 1) EC, Concerted Action on the Retrievability of Long-lived Radioactive Waste in Deep Underground Repositories, EUR19145 EN, (2000).
- 2) OECD/NEA, Summarised Reasons to Retrievability and Reversibility (R&R) Questionnaire Issued to NEA Member Countries in May 2008 (2010).
- 3) OECD/NEA, Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel, (2011).
- 4) PEBS, ESDRED, MoDeRn プロジェクトの成果は各々以下のウェブサイトで見ることができる。  
[http://www.pebs-eu.de/PEBS/EN/Home/PEBS\\_node\\_en.html#Start](http://www.pebs-eu.de/PEBS/EN/Home/PEBS_node_en.html#Start), <http://www.esdred.info/index.htm>,  
<http://www.modern-fp7.eu/home/>

#### 著者紹介

田辺博三 (たなべ・ひろみ)

本誌, 55 [9], p.507 (2013) 参照。

## 解説シリーズ

## 世界の原子力事情

第1回 福島事故後の中国の原子力開発<sup>6)</sup>

日中科学技術交流協会 永崎 隆雄

中国は世界一のエネルギー消費大国で、日本の6倍を消費し、エネルギー源は石炭に70%も過度依存であり、PM2.5問題などの厳しい環境問題に直面、水力、風力、原子力等の非化石エネルギーの導入を加速している。原子力は割合が1%程度と少なく、急拡大中であったがその矢先、東電事故が発生。中国はどのような進路を採ったのだろうか？

## I. 中国の特徴は「三」か？

我々日本人には、中国は特異な国に見える。中国では車が行き交う道のど真ん中で堂々とけんかをする。危ないし、公共交通の妨げになる。しかも、けんかの仕方は相手に背を向け、聴衆に向かって相手はこう悪いやつだと罵り、味方を募る。孫子の兵法か諸国三分割の計か、敵対する二者が第三者の援助を求めて戦う。おかしいと筆者は思うが、しかし、世界の常識は中国的である。裁判では陪審員制度が採られ、市民運動家が敵対者をネット社会で攻撃する。競争と市場原理の「三」が民主主義なのかもしれないし、闘争を進化させる構造かもしれない。中国人は「二」の時はけんかをしないと云う。中国では「三」がよく出る。三国志や貨比三家(三社を比較して購入)、三つの代表(共産党は生産、文化、国益を代表する)、三字経(「人之初、性本善、性相近、習相遠」で始まる児童用道徳読本)等である。

中国の原子力には以下の特徴がある。

- (1) 原子力は1%程度しかなく発展の余地が大
- (2) 核国防能力の維持と経済発展を同時達成
- (3) 軍転民＝軍事技術の民用平和利用政策  
自力国産化政策の原点
- (4) 規制と推進を分離、政府行政と企業を分離  
競争発展体制を作った(1998年の改革)
- (5) 技術導入⇒国産化⇒輸出の三段階戦略
- (6) 国産化はまず国内製造化し、次に中国知財権化
- (7) 原子力発電と核燃料生産の一体発展
- (8) 将来のアジアの燃料供給センターを目指す
- (9) 三步走：加圧水型炉⇒高速炉リサイクル⇒核融合  
三段発展戦略で無限のエネルギーを獲得

*Current Trends in Nuclear Energy (1) ; China Nuclear Power Development after Fukushima Accident* : Takao NAGASAKI.  
(2013年8月30日受理)

(10) 世界最進の第3+世代炉で安全と経済性を強化

(11) 三大事業者、三大設備メーカーの競争体制

日本の場合には自国知財化での独自輸出より、日米連携輸出や濃縮の3分の2輸入のような和の道がとられる。

中国のメーカーは日本の3大メーカーのように多種の部品の製造を集約化し、全体をまとめる設計エンジニアリング機能を持ってない。中国では原子力発電の設計エンジニアリング機能は原子力発電会社側にある。原子力輸出をやっているのは、日本では東芝、日立、三菱の3大メーカーで、中国では原子力発電事業会社が輸出を請け負う。

三事業者や三社体制というのは諸葛孔明の諸国三分割の計に似ていて、今も魏(北京)と呉(上海・広東)と蜀(四川)の国の影が残っている。また、三步走は弁証法の正反合の発展メカニズムに似ている。

日本は集団主義で争いを避け、個の突出を嫌う大和の「一」が特徴のように見える。

II. 原子力発電状況<sup>1)</sup>

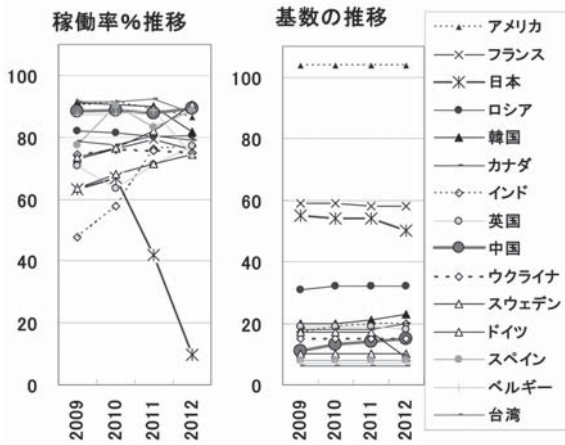
2012年の原子力発電量は世界6位で、米、仏、露、韓、独に続く930億kWhである。

事故後、原子力発電上位15カ国の原子力の稼働率と基数は日本とドイツを除きほとんど落ちてはいない。中国は高稼働を維持している。(第1図)

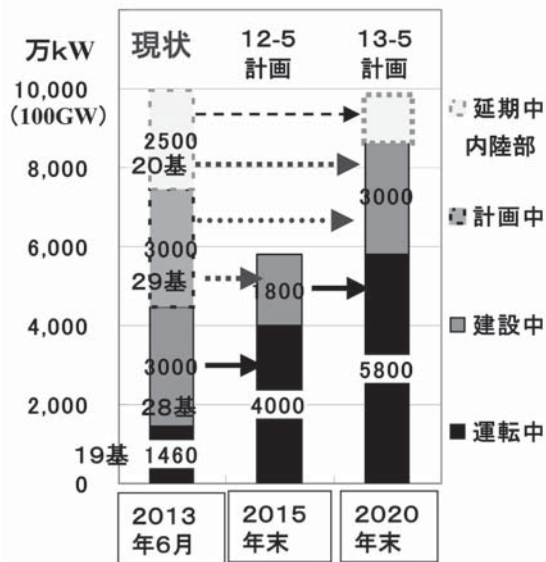
中国の2012年の全電力設備容量は1,144百万kWであるが、原子力は2013年6月で全体の僅か1.3%しかなく、大いに発展余地があり、建設中と計画が世界一の規模になっている。

日本の約50%に当たる25百万kW(20基)が、今後の3年間で運転を開始する。急激過ぎて規制能力等が追いつかない。そのため、2016年から2020年までの5ヵ年計画では、運転に入るのは1,800万kWに減速し、更に内陸部の新設は2016年以降に延期している。(第2図)

もっとも長期的に2050年に日本の約8倍の400百万



第1図 主要国の原子力発電の稼働率と基数



第2図 中国の原子力の現状と開発計画

kW という膨大な開発計画は変更していない。人口が日本の10倍であるので、2050年によく日本と同じ原子力比率になるに過ぎない。

中国の原子力発電炉の技術レベルについては現在、運転実績と価格の安さから古い第2+世代炉が32基運転・建設されている(第1表)。しかし、将来、400百万kW(約400基)もの大量導入を考えた場合には、第2世代炉の基準では炉心溶融が40年間で約1回起こる確率になる。そのため第2+世代炉の新設を中止し、事故確率を100分の1に低減する第3+世代炉の建設を強化し最新鋭設備で事故を克服しようとしている。

第3+世代炉の導入では、中国は東芝ウェスチングハウス社製 AP1000 やフランス製の EPR1700 を世界に先駆け建設中であり、世界の先端を走っている。計画中の AP1000 は28基が計画されている。

更に核拡散抵抗性が良く、エネルギー資源持続性が良く、環境負荷が少ない第4世代の高速炉とか高温ガスも建設する計画である。

原子力発電所の立地は沿海経済発展地域に建設中と運転中のものがある。内陸のものは福島事故を踏まえ、2015年以降に建設が延期された。

### III. 核燃料サイクル状況<sup>1)</sup>

核工業集团公司は国防核工業の民用転用を担当し、核燃料生産を独占的に行っている。この立地は軍事工業だったため、経済合理性からは遠い内陸部の攻撃されにくい場所に分散配置されている。

中国と日本の核燃料サイクルを比較すると第2表のようになる。原子力発電の規模は建設中まで入れると日本と中国は大体、世界の10%位の同一規模である。

核燃料工業について、中国は原則、国産化している。ただ、ウラン資源は不足しており、輸入に依存して来て

第1表 中国の原子力発電の技術世代

世代	第2: 1基	第2+: 32基	第3: 5基	第3+: 48基	第4 : 5基
運開	1994~	1994~	2002~	2013年~	実証炉2015年~
特色	商業炉	TMI事故対応改良	TMI事故・チェルノブイリー対応		高効率・高持続・高安全・高核不拡散・良環境性
炉心溶融確率 回/炉・年	1/1万		1/10万	1/百万	同左
設計寿命 年	40年		60年	60年	同左
稼働率 %			87%	93~94%	同左
その他					高熱効率
運転中	CNP300 : 1基	M310 : 2基 CPR1000 : 6基	CANDU6 : 2基 VVER1000: 2基		高速実験炉:CEFR 高温ガス実験炉 HTR-10
建設中		CPR1000:18基 CNP600 : 4基 CNP600 : 2基	VVER1000: 1基	EPR1700: : 2基 AP1000 : 4基	HTR-PM石島湾 1基
計画		中止 CPR1000 CNP1000 CNP100	CPR1000+: 2基 VVER1000: 1基 ⇒ ..... ⇒ ⇒ ..... ⇒ ⇒ ..... ⇒	AP1000 : 28基 CAP1400 : 2基 ACPR1000 : 8基 ACP1000 : 2基 ACP100 : 2基	BN600 : 2基 Th溶融炉2方式 : 各1基



第2表 日中核燃料サイクル比較表

国	原子力発電規模	ウラン需要2013年	ウラン確認埋蔵量	採鉱製錬	転換	濃縮	再転換	成型加工
単位	万kW	トU/年	トU	トU/年	トU	トUSWU/年	トU	トU
中国	運転中 19基 1,461 建設中 28基 3,047 合計 47基 4,500 世界占有率 9.73%	需要6000 生産1500 輸入:カザフ、ニ ジェール、加、仏、 豪	確認埋蔵量109,500 推定追加 56,600 合計 166,100 世界シェア2.3%	衡陽1100 撫州1100 生産1500	包頭 2000	漢中 500 蘭州1500 2013年遠心 機国産化	包頭 200 宜賓 400	包頭 CANDU用 200 AP1000用 200 HTR-PM用 30万球体 研究炉用 金属U 宜賓 PWR用 450
集約工場2020年需要の50%供給 370億元(江門鶴山中止)								
日本	運転中 2基 236 停止中 48基 4379 建設中 4基 442 合計 54基 5057 世界占有率10.76%	需要4425 生産 0 輸入:豪、加、ナミ ビア、ニジェール、 米他	確認 7,701	輸入	輸入	六ヶ所1050	三菱原子燃 料 450	GNF-J BWR用750 MNF PWR用440 NFI熊取 PWR用284 NFI東海 BWR用250

いる。

日本は、採鉱・製錬、転換を輸入し、濃縮は3分の2輸入になっている。

中国は急速な原子力発電拡大に対応し、2020年時点(日本と同規模の58百万kW運転)のウラン燃料需要の50%を供給する製錬・転換・濃縮・再転換・加工の集合工場を核工業集団と中広核集団の共同投資370億元(6,300億円)で広東省鶴山サイトに計画し、今年7月に公聴にかけた。結果、反対運動のため、2013年7月14日に本計画を取り下げた。

従来には見られない当局の公衆参画・民衆重視・市場重視の姿勢が見られ、核工業集団独占事業が開放され、中国広核集団が核工業部門に参入し、内陸奥地の立地から経済発展地域への立地が変わった。中国広核集団(元広東核電集団)CGNPCも核工業集団の45%出資会社から、国資委82%、広東省10%(元45%)、中国核工業集団8%(元45%)になり、核工業集団の影響が減った。

遅れているバックエンドの部分についても建設を強化する。

高レベル廃棄物処分は国(環境保護部)と各事業者の共同責任事業で中核清原環境技術工程会社が担当し、実施する。立地はゴビ砂漠の北山地域に絞られている。

日本の日本原子力研究開発機構の幌延や東海のエントリートとかクオリティのような実験施設を今後建設する計画がある。日本のような中央と地方の対立はなく、地方政府は支援義務がある。中央と地方政府は一体である。

#### IV. 福島事故対策重視の原子力計画<sup>2,3)</sup>

福島事故後の中国の原子力計画は原子力発電所と核燃料サイクルの安全強化や情報公開・公衆参画を重視して推進する方針が変わった。

原子力安全計画と原子力中長期計画は2011年12月環境保護部を通過し、2012年5月31日には国务院で原則承認され、2012年6月15日に公表され、公聴にかけられ、2012年10月24日公布された。それと共に停止していた新規建設の審査が解除された。2013年1月1日にはエネルギー発展第12次5カ年計画が公布された。

原子力中長期計画の内容は2015年までに798億元(1兆円)を投入し、事故を防ぐ以下の建設を行い、2020年までに完成させる計画になっている。予防投資は事後処置よりはるかに経済的で、未来発展指向である。

#### 1. 原子力安全中長期計画の概要

- (1) 原子力発電所の耐震・津波対策や第3世代炉基準適応改善で2020年までに国際先進安全レベルに到達させて、放射性物質の大量放出を実質ゼロ化する。
  - ・炉心損傷確率(CDF) < 10<sup>-6</sup>/炉年
  - ・大規模初期放射性物質放出確率(LERF) < 10<sup>-7</sup>/炉年
- (2) 2015年までに核燃料工業と原子力発電の発展速度を適合させ、中低レベル廃棄物処分場を完成させ、2020年までに高レベル廃棄物処分の最終設計を完成させ、地下実験室建設を完了させる。
- (3) 緊急時指揮所、モニタリング網、技術支援能力を建設し、支援物資装備を充実し、2020年までに完成。
- (4) 安全監督技術開発基地を建設、2020年までに完成。
- (5) 2015年までに再処理試験工場の成果を商業工場へ反映させ、2020年までに商業工場を建設する。
- (6) 大型第3+世代軽水炉CAP1400とモジュール式高温ガス炉HTR-PMの実証プロジェクトを立ち上げ、高速炉実証プロジェクトを立ち上げる。

#### 2. エネルギー発展第12次計画の概要

- (1) 内陸部の原子力発電建設を延期し、沿海側に実証済み原子炉を少数建設する。原子力発電の建設リズムをゆっくりと秩序よく調和させる。
- (2) 新規建設は第3+世代基準で行う。
- (3) 再処理技術領域を重点に技術実証を加速して、早期に商業プラントを建設する。
- (4) 機器・設備の国産化を達成させる。近代的な原子力発電産業体系の原子力発電強国を樹立する。
- (5) 高温ガス炉や商業高速増殖炉と小型炉など新技術を積極開発。具体的には重点実証プロジェクトと重大科技研究プロジェクトを立ち上げる。

- (6) 国際協力を深化させる。具体的には引進來、走出去(輸入導入と輸出)を強化する。

## V. 輸出戦略

中国の原子力の海外展開は、フランス、ドイツ、英国、日本、アルゼンチン、パキスタン、韓国、カナダ、ロシア、米国、豪州等 25 カ国と原子力平和利用協定を締結し、積極的に進めており、わが国の 2 倍の国と協力している。

原子力輸出も下記のように積極的に進めている。

- (1) パキスタンにはチャシユマに 5 基ほど輸出しており、既に 2 基は運転中で、2 基は建設中である。更に、2030 年までに 8 百万 kW の建設計画があり、中国が受注する確率が高い。
- (2) アルゼンチンでは中国エネルギー局と原子力協力協定を 2012 年 6 月締結し、中国資金でアトーチャに ACP1000 を建設する共同研究を進め、また、南米全体の原子力の共同開発施策をどうすればいいかの共同調査の協力を進めている。
- (3) トルコでもイグネアダに東芝ウェスチング等と連合し、また独自でも建設に協力する原子力平和利用協定を締結している。
- (4) 英国では英エネルギー社にアレバと共同で投資し、ヒンクリーポイントとサイズウェルに EPR を 4 基建設する。ホリゾン社の原子力発電所は日立・GE に負けた。
- (5) イランには研究炉 4 基を輸出している。
- (6) 南アフリカは福島事故で第 2 世代炉 CPR1000 の輸出が不採用となり、ACPR1000 を開発輸出する可能性がある。

## VI. 新型炉開発<sup>4,5)</sup>

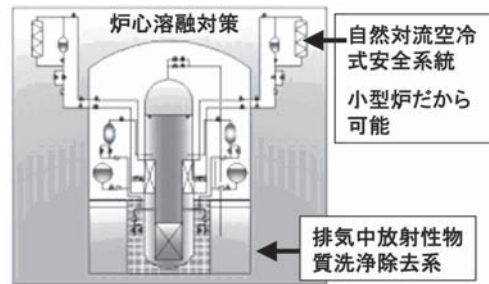
### 1. 4 つの重点実証プロジェクト

#### (1) 自主知財権のある先進加圧水型炉

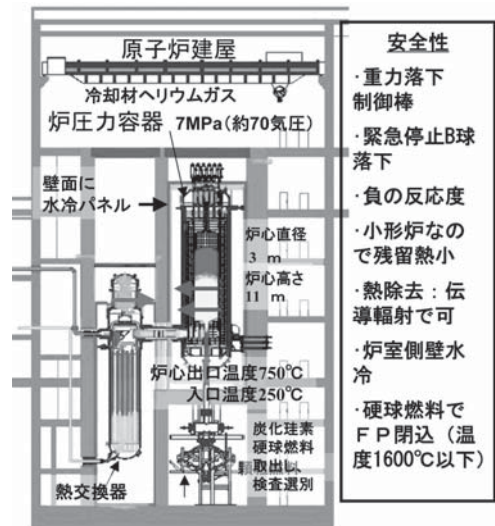
- ・CAP1400 (国家核電技術公司) 2014 年 4 月、石島湾着工：AP1000 を大型化し、自主知財権化する。
- ・ACP1000 (核工業集団)：福清 5, 6 号
- ・ACPR1000 (中国広核集団)：2014 年末、紅沿河、防城港、寧徳

#### (2) モジュール式の小型軽水炉 ACP100 (第 3 図)

中核新エネルギー有限会社が運営し、2013 年、漳州 1, 2 号を着工、3 年後の 2016 年に運開予定。12 万 kW の発電のみならず、毎時 50t の蒸気を供給でき、日産 14.4 万 t の海水を淡水化でき、燃料は 2 年間ごとに交換し、途上国(南)が途上国(南)に協力する南南協力の切り札である。



第 3 図 ACP100 の受動安全系



第 4 図 高温ガス炉 HTR-PM

#### (3) 20 万 kW モジュール式高温ガス炉 HTR=PM (第 4 図)

清華大学の実験炉 HTR10 (出力 1 万 kW, 2000 年 12 月臨界)の運転実績に基づき、2006 年 12 月 25 日、プロジェクトを正式に開始

- ・事業主体：華能山東石島湾核電有限公司
- ・出資者：①中国核工業建設集团公司, ②中国華能集团公司, ③清華大学
- ・総投資額：30 億元(480 億円)
- ・自主開発知的財産権：清華大学
- ・建設開始：2012 年 12 月 21 日
- ・わが国からは炉の石墨材を輸出
- ・世界例：南ア(PBMR), 米ロ(GT-MHR), 米国アイダホ国立研究所の次世代炉計画(NGNP), 日本の原子力研究開発機構の HTTR, 韓国の HTGR 計画など
- ・第 4 世代炉のガス冷却高速炉や超高温ガス冷却炉 VHTR 開発へつながる炉である。

#### (4) 中国高速増殖炉実証プラント CFR600(第 5 図)

人口の多い中国はウラン消費を大幅に有効活用できる高速増殖炉の開発を行っている。北京の原子能科学研究院では熱出力 6.5 万 kWt の高速炉の実験炉 CEFBR を運転しており、2009 年には臨界に達し、2010 年 6 月には送電に成功し、2012 年には 75% 出力運転を達成し、

2014年4月には全出力運転の予定である。これらの実績を踏まえ、2017年に電気出力60万kWのBN600型高速増殖炉の詳細設計を終え、2023年より運転を開始する計画である。2030年には100万kWの商業プラントを運転開始する計画である。

安全性はわが国同様、冷却材にはナトリウムが使われるが、ナトリウムは高温になっても水のように圧力が上がらず、東電事故のように格納容器の高圧破損は起らない。原子炉のある1次系では水を使わないので、水とナトリウムの爆発的反応も起らない。冷却停止による炉温度上昇時は負の反応度があるため、反応が低下し、急激な暴走は起らない。重力落下式の制御棒で電源喪失時でも反応を停止できる。燃料の崩壊熱も液体ナトリウムの自然対流空冷で除熱できる(第5図)。また、炉心溶融物は炉容器下部に受を設置し、冷却するので環境への放射性物質放出が防げる。過酷事故の結果を緩和する閉じ込め機能を備えている。炉心損傷確率CDFは第3世代炉と同じ $10^{-6}$ /炉年以下、大規模初期放射性物質放出確率LERFも $10^{-8}$ /炉年以下である。

## 2. 重大科技研究プロジェクト

中国には3,600万tもの大量の希土類資源があり、その中に2~3%、すなわち72~100万tものトリウムが含まれると推定される。そのため、米国オークリッジ研究所が開発しているトリウム溶融塩炉が重大科技研究プロジェクトとして取り上げられた。科学院上海応用物理研は米国オークリッジ研究所と協力し、2020年までに2MWの溶融塩トリウム燃料炉とフッ化物塩冷却高温炉の2つの実験炉を建設する計画である。後者はDOE、清華大学、科学院の共同研究である。

## VII. 中国の課題と考察

中国の課題は以下が挙げられる。

### (1) 多炉型、多種技術、多種標準で複雑

原因は導入路線で、際限なく導入し、国産化できず、日本に負け、韓国に負けている。

### (2) 開発能力不足

自主知財権がなく、独自の事故分析や核計算ができな

いなどである。個人の独創性を奨励したが、個人主義のため、実用性のある技術に集団で育てることができにくく、無用の論文が作られた。

### (3) 安全や環境の軽視

規制能力と原子力発電発展速度が不整合で、環境保護が強化されず、環境モニタリング体系が不整備で、情報公開と公衆参加が不整備で、人材が欠乏し、能力育成投資が不足している。

### (4) 集団協調性の欠乏

無秩序な我先の原発建設提案が横行し、緊急時の職責が不明確で、支援体制が不備であるといったお互いに協力しない体質がある。

これらは個人競争が激しい中国社会にあって、国有企業の幹部の評価基準が経済実績評価主義であり、コストがかかる開発などせず、模倣・導入で手っ取り早く成果を上げ、また安全とか環境とか高コストのものを後回しにしたことが原因であると考えられる。この背景は倒産しない国有企業による過剰生産と利益減少、開発や安全対策や賃金に資金が回らないことにある。

この解決には国有企業幹部の評価を経済性と安全性と環境の同時成立に置くことが必要とされている。この和の道を第3世代炉の技術で市場原理の「三」、すなわち民主の中で追及していくことを期待したい。

### —参考文献—

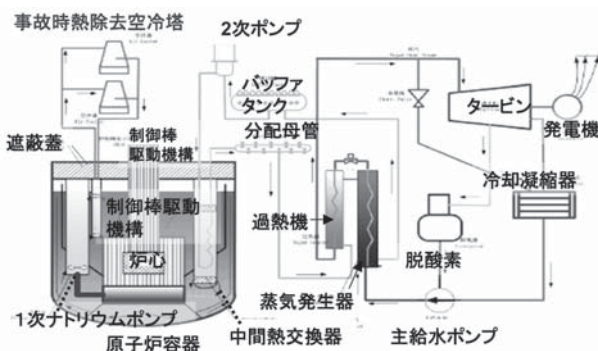
- 1) Nuclear Power in China, 7 June 2013, WNA.
- 2) 核安全与放射性污染防治“十二五”规划及2020年远景目标」2012年6月15日.
- 3) 能源发展12次15ヵ年計画, 国発[2013]2号.
- 4) Fast Reactor Development Strategy in China, Zhang Donghui, CIAE 2013.1.23, France : (FR13).
- 5) HTR Development Status in China, Yuliang Sun, INET/Tsinghua University 2013-03-05 IAEA TWG-GCR.
- 6) 福島事故後の中国原子力, 永崎隆雄, 原子力委員会, 2013年7月17日.

### 著者紹介

永崎隆雄 (ながさき・たかお)

日中科学技術交流協会

(専門分野/関心分野) 核燃料工学/中国原子力



第5図 60万kW高速増殖炉