

### 座談会

#### 1 「どうする？ もんじゅ」 2

—適切な規制とは何か、日本の行く末をどう考えるか—

「もんじゅ」の勸告をめぐる問題は日本のエネルギー政策の行く末に関する議論だけでなく、リスクベースをもとにした適切なマネジメントが規制に導入されていないという問題をも提起する。これらの問題をどうとらえるか。この国がめざすべき姿をどう考えるか。

会川晴之、伊藤隆哉、岡本孝司、高木直行、滝 順一、田中治邦、廣井 博、澤田哲生



### 時論

#### 16 感染症に対する平常時・アウトブレイク時のリスク管理

—平常時からの情報収集と分析そして情報還元—

感染症はいまだに脅威であり続けている。あらかじめの備えと早期検知が必要だ。

岡部信彦

### 解説

#### 29 熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップの改訂

—軽水炉の継続的な安全性向上に向けて—

原子力学会熱流動部会は福島第一原子力発電所事故の教訓を基に、熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップを策定した。その経緯や考え方、技術課題の抽出法、構成について紹介する。

熱流動部会 WG

#### 40 原子力損害賠償制度再構築への視点(2)

電力システム改革が確実に進む一方で、過酷事故の損害賠償の際の国の実質的負担については、政府は今も消極的な姿勢を変えていない。

遠藤典子

### 時論

#### 14 原子力発電の事故リスクをどう考えるか

不確実性の大きな原子力の事故リスク対応コストについて、現状でどのような評価が可能だろうか。

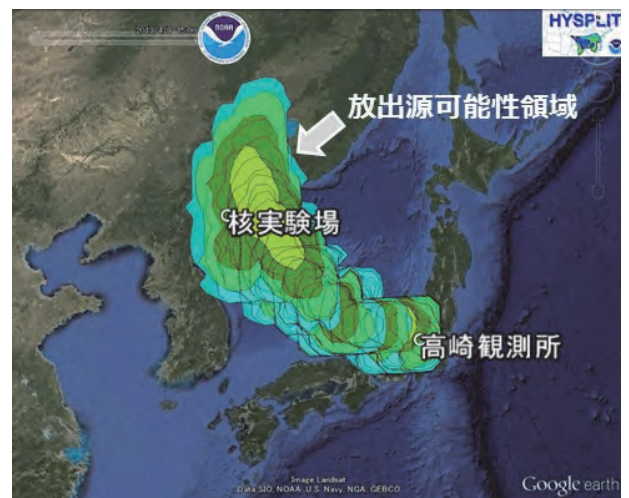
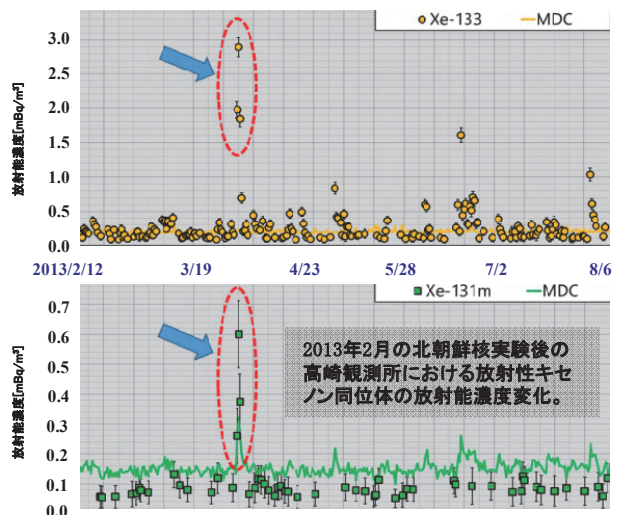
松尾雄司

### 解説

#### 24 CTBT に係わる放射性核種の監視

原子力機構では包括的核実験禁止条約に係わる国内運用体制の下で放射性核種を観測し、データの解析や評価を行っている。ここではそれらの概説と、2013年2月に行われた北朝鮮核実験後の観測事例等を紹介する。

木島佑一、山本洋一

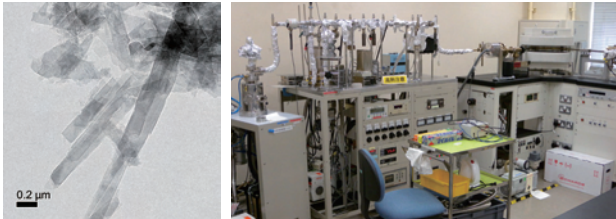


上のデータなどをもとに放出源を推定した解析結果

### 35 地球科学の原子力安全への貢献 (2) 破砕物質の鉱物・化学分析と断層の活動性評価

原子力施設の耐震安全性評価では、敷地内にある破砕帯の活動性評価が議論の重要なポイントとなる。ここでは断層の活動性評価手法の一つである破砕帯構成物質の鉱物・化学分析に関する現状について紹介する。

丹羽正和, 石丸恒存, 島田耕史



破砕帯に存在する粘土鉱物（イライト）の透過型電子顕微鏡写真と、イライトの形成年代を測定するために使用する質量分析計（原子力機構土岐地球年代学研究所所有）。

### 45 新時代における電力系統運用の挑戦 —電力システム改革とエネルギーミックス達成のために—

電力システムの運用者は、電力の供給と消費を一致させるために需給制御を行っている。再生エネが大量導入された場合には、需給制御がより重要なポイントとなる。そのための技術開発や技術検討も必須だ。

北島尚史

#### 談話室

### 61 帰還に向けて原発のある町の歴史を繋ぐ

半谷輝己

#### 理事会だより

### 63 標準活動のさらなる改善に向けて



日本原子力学会では、学会として取り組むべき「行動指針」と、学会員のあるべき姿を示した「倫理規程」を制定しています。

行動指針・倫理規程

[http://www.aesj.net/about\\_us/action\\_rule\\_of\\_aesj](http://www.aesj.net/about_us/action_rule_of_aesj)

## 18 NEWS

- 北朝鮮の核実験実施に対し声明
- 学会が研究炉の再稼働めざし提言
- 2016年度政府予算案を閣議決定
- 文科省、「もんじゅ」のあり方検討開始
- 海外ニュース

#### 特集

### 50 廃炉ロボットの開発

1F 廃炉のために、高い放射線環境下でも機能する遠隔操作機器の研究開発が進められている。その現状と、廃炉ロボット開発の難しさについて紹介する。(本原稿は本誌1月号に掲載した特集「廃炉検討委セッションから」の補遺です)

神徳徹雄

#### 報告

### 52 福島第一原子力発電所事故

—IAEA 事務局長報告書の所見と教訓の概要

この報告では事故の概要と安全評価、緊急時の備えと対応、放射線の影響、事故後の復旧、IAEA としての所見と教訓が記されている。

成合英樹

### 58 GLOBAL2015

—低炭素未来に向けた核燃料サイクル会議の概要

気候変動に対応するために原子力利用を積極的にアピールする意見が表明される一方で、原子力がかかえる課題についても議論が行われた。

菅原隆徳, 飯塚政利

- 57 新刊紹介 「Safety- I & Safety- II」 糸井達哉
- 60 「結晶転位論」 園田 健
- 64 From Editors, 平成 28 年度派遣学生の募集
- 65 会告 新役員候補者募集のお知らせ
- 66 会報 原子力関係会議案内, 新入会一覧, 英文論文誌 (Vol.53, No.3) 目次, 和文論文誌 (Vol.15, No.1) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

学会誌に関するご意見・ご要望は、学会誌ホームページの「目安箱」(<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>)にお寄せください。

学会誌ホームページはこちら  
<http://www.aesj.net/publish/atomos>

# 座談会

## 「どうする？ もんじゅ」2

### 適切な規制とは何か，日本の行く末をどう考えるか

前号での座談会で，高速増殖炉を開発する意義を紹介した。では，なぜ今，「もんじゅ」が必要なのか？今号ではさらに，その議論を深める。



毎日新聞編集委員	会川 晴之
日本原子力学会新型炉部会副部会長	伊藤 隆哉
東京大学教授	岡本 孝司
東京都市大学教授	高木 直行
日経新聞論説委員	滝 順一
日本原燃上席執行役員	田中 治邦
元日本原子力研究開発機構理事	廣井 博
司会	澤田 哲生

原子力規制委員会から運営主体の変更を求められた原子力機構の「もんじゅ」。文部科学省がこの問題をめぐる解決策をさぐるために，有識者による検討をはじめた。この問題は日本のエネルギー政策の行く末に関する議論だけでなく，今の原子力規制委員会が行っている規制体系そのものの適否という問題をも提起する。今の規制体系がリスクベースをもとにしたものではなく，安全上の重要度に応じてメリハリをつけた適切なマネジメントシステムが規制に導入されていないという指摘がそれだ。これらの問題をどうとらえるか。さらには，この国がめざすべき姿をどう考えるか。

#### なぜ今，「もんじゅ」が必要か。

澤田 昨年に川内1, 2号機が再稼働しました。けれども，その前の2年間，わが国は原子力なしでしのいできています。このために世の中では，本当に原子力を進める意味があるのか。さらにこの20年間，いまだに本格運転に至っていない「もんじゅ」を動かす必要が本当にあるのか——世間やメディアの目は極めて厳しいと思います。

2005年，当時の原子力委員会が策定した原子力政策大綱において，「高速増殖炉サイクルの適切な実用化像と2050年頃からの商用ベースでの導入に至るまでの段階的な研究開発計画について2015年頃からは国としての検

討を行うことを念頭に…、と従来からすれば後退し非常に曖昧な表現になっています。実証炉という概念とその導入時期の目標が消えたことは大きい。その後3.11が起こって，原子力政策大綱自体が消え，それに連動した「高速増殖炉サイクルの実用化研究開発」(通称：FaCTプロジェクト)も頓挫した。それに代わるものがない状態が続いています。第4次エネルギー基本計画では「もんじゅ」に言及しているものの，実質感のある記載はなきに等しい。このことは「実用化はしない」とさえ解釈し得ます。それ即ち，実用化の前提である「原型炉、もんじゅの存在そのものが曖昧にされてしまったこととなります。そうすると，そもそも高速炉を中核とする核燃料サイクルは，本当に必要なのか。高速炉なしの核燃料サイクルとは何か——そんなものに意義があるのかとい

う疑問が次々と沸き起こります。このようなことがらについて、原子力特に高速炉に携わっている人たちと、一般の人たちとの考えの間には大きなギャップがあります。

今回は、もんじゅや高速炉の技術開発の現場や研究シーンをリードしている方々とメディアの論客にお集まりいただきました。あらためて、もんじゅ、核燃料サイクルの意義、そして勧告へのあるべき対応とその深層について掘り下げて行きたいと思います。

それではまず、「もんじゅ」を動かすことで、将来にどのような知財をつなげていくことができるのか。その説明を廣井さんからお願いします。

廣井 「もんじゅ」の意義を一言で言えば、資源の有効利用によるエネルギー安全保障と放射性廃棄物の減容化・有害度の低減が可能な技術をもつということに尽きます。エネルギー基本計画では、「もんじゅ研究計画」に示された研究の成果を取りまとめることを目指すということが明記されています。2012年10月から約1年間かけて議論してまとめられた「もんじゅ研究計画」では、将来の不確実性に備える観点から、我が国として技術的選択肢を確保するためにFBRの技術的成立性と、環境負荷低減の有効性の確認を行う場として「もんじゅ」は位置付けられています。また、福島事故を踏まえてシビアアクシデント対策を検討するには、シミュレーションや小規模の試験を組み合わせるだけでは不十分であり、実際のプラントで実証することが不可欠で、そのデータを提供する役割もあります。

澤田 具体的には？

廣井 「もんじゅ」の具体的な研究開発は、三つの柱にまとめられています。一つ目は技術的成立性の確認、二つ目は環境負荷低減の有効性の確認、三つ目が安全技術体系の構築です。

技術的成立性の確認については、「もんじゅ」でなければ開発できない技術で、かつ高速増殖炉開発において鍵となる技術に焦点をあてて実施する計画になっています。例えば、高次化プルトニウムやアメリシウム含有燃料で構成された炉心の設計・管理技術、ループ型炉プラント系統設計技術、ホットベッセル原子炉容器の設計技術などです。

澤田 そのところが一般にはなかなか難しい。いかがでしょうか、滝さん。

滝 FBRや「もんじゅ」に対する一般の人の理解は、それを動かすことでウラン燃料を節約し、燃料を増殖して純国産資源をつくり出すという話だったと思います。それを目指していくためのステップとして「もんじゅ」があるという、より明確な説明がほしいです。

澤田 確かにそうです。ところで滝さんは「もんじゅ」の検討委員会を傍聴されましたね。

滝もんじゅ検討委員会の初回会合が本日(2015年12月28日)あり、そこでオールジャパン体制で「もんじゅ」

を支えるという話がありました。けれども、それは原子力機構の体制の見直しと、「もんじゅ」の安全管理をオールジャパンで支えると言っているだけであって、「もんじゅ」の後の実証炉やFBRサイクルをどうするかということに関しては、オールジャパンで支えようという気持ちは全くないということがこの会合でよくわかりました。

澤田 そこまで言い切りますか。まあ、確かに経産省は関与していないし、原産からの委員も逃げていた。

高木 最初にここで片づけるべきテーマは、「なぜ、今もんじゅなのか？」ではないでしょうか。とはいえ、それに対する答えは、時期を明確に言うことが難しいことから、今のような意義論になりがちです。それはつまるところ、緊急性がない、もしくはそれを認識しにくいからでしょう。

私はかつて電力にいてFBRに関わっていましたが、電力の中の雰囲気もそんな感じです。「意義はわかるから国に協力します」というスタンスですが、現実にはマクロでみると腰が引けていた印象です。

澤田 かつての東電はもっと積極的でした。

高木 「もんじゅ」が臨界になるころに入社したのですが、そのころは電力業界のFBR研究に勢いがありました。動燃に任せていたらコスト意識が働きにくいだろうから、電力業界自身が実証炉をつくるべきという考えがありました。とはいえ時期という意味では、そんなにFBRを急ぐ必要はないというムードも常にありました。

## 2030年からウランが足りなくなり始める

澤田 高木さんの考える「もんじゅ」の必要論、今論を。

高木 最初に述べておかなければならないのは、やはり資源論です。軽水炉だけだと100年ぐらしかウランはもたない。だから、早目にFBRを導入してウランの消費量を抑制することが必要、ということですが、そのためには、いつ頃に、どれだけ導入すれば良いのかというシナリオ解析をかつては盛んにやっていました。

そこでは二つの視点を持って考えることが重要です。日本の立場から見た場合と、世界全体で考えた場合です。

日本だけで見たら、ウランの全体量の5%から10%ぐらいを日本が使わせてもらってもいいのではないかという、おおよその前提がありました。それを超えないためには、2030年ぐらいいまでにFBRを入れ始め、だんだんに置きかえていく。そうすれば日本が使うウラン量は究極資源量約1,700万トンに対して10%以内におさまる。これが、電力が2005年に電力実証炉をつくって2030年に完成させ商業化すると言っていたおおよその根拠でした。

澤田 しかし、その目標はどんどん遠のいている。

高木 そうです。その後にシェールガスが登場し、ウ

ランの値段も大きく値上がりもしていない中で、社会の中ではそんなに危機感はありません。

澤田 しかしそれは大きな誤解で、深層にある危機を見ていない。これから中国、インド、ロシアはどんどん軽水炉を自国に増やし、輸出していく。ウラン資源が逼迫するのは火を見るより明らか。それと同時に、そういう彼らこそそのことに覚醒していて、FBRに関しては着実に研究開発を続けています。それらがいずれ立ち上がってきたら、日本はもう間に合わなくなるのではないですか。

高木 そう考えます。今、私が話したのは日本国内の中で閉じた話です。OECDなどの機関は世界の今後のエネルギーの需給見通しについて、さまざまに予測していますが、世界各国がCO<sub>2</sub>抑制のために軽水炉を導入するという傾向を見てとることができます。それをベースで考えると、2060年にFBRを実用化したのでは2100年からしばらく先に、ウラン消費は究極資源量を超えてしまいます。

澤田 それでは遅過ぎるということですか。

高木 そう言えます。確認埋蔵量ではなく究極資源量を想定し、2060年にFBRを実用化してもそうですから。

澤田 そういう未来のリスクがみえているから、今やらなければいけないという話になるのですか。リスクは大きいかもしれないが、だからこそいまやっておけば将来のゲイン(利得)は大きい。

高木 詳細に述べるならば、CO<sub>2</sub>抑制のために世界の原子力発電設備容量が年に5%ずつ伸びていくという前提で考えると、2060年にFBRが導入されるタイミングだとアウト、2030年からの導入でぎりぎりという計算になります。

会川 ウランが本当になくなるのかという疑問もあります。石油もいずれなくなるという話でしたが、そうはならなかった。その資源論の前提条件に間違いはないでしょうか。

岡本 我々だけの現世の利益を考えたら、何もわざわざFBRを導入する必要はありません。ところが我々の子孫の時代のことを考えると、そうはいきません。オイルショックを知らない世代が、いずれエネルギーがなくなった時代に直面せざるをえません。彼らはその備えの仕方さえ知りません。

澤田 わたしたちがいま「もんじゅ」を止めるというのは、将来世代にとって無責任だということですね。

岡本 現状のままでいっても、これから20年ぐらいはそれほど大きな変化はありません。けれどもその後には、高木先生のシナリオによると、日本は中国製のFBRを買わざるをえない時代が必ずきます。100%断言できます。そうなることを、私たちは覚悟した方がいい。今のウクライナは、ロシアにガスの元栓を握られています。

す。そしてそのころの私たちは、中国にエネルギーの元栓を握られるような形になります。無策のままでも過ごした場合には、資源小国ならではの宿命をかこつことになります。

澤田 オイルショックならぬニュークリアショックですか。

岡本 日本は資源小国なので、エネルギー源を確保しなければいけません。エネルギー源を確保すれば、中国やロシアと対等にわたりあえます。そのためにはエネルギーを生む鉱山である「もんじゅ」を実用化しなければなりません。FBRの実用化は30年かかりますから、今から「もんじゅ」を動かしておかないと、FBRの実用化は手遅れになります。30年後に資源小国であえぐ日本が、中国にエネルギー源を握られているのか。オイルショックを知っている世代の責任として、鉱山を日本につくろうというのが「もんじゅ」なんです。

高木 さきほど述べたシナリオは究極資源量ベースで、相当、質の悪いウランまで含めて考えています。ただし、海中のウランは考えていません。

澤田 海水ウランは軽水炉や高速炉から回収できるプルトニウムよりも破格にコストが高い。高速炉の意義と必要性にもかかわらず、電力が乗り切れなかったのはなぜですか？

高木 私が言いたいのは、将来のウラン需給を逆算するとどうなるかということです。

電力社員時代に感じていたことですが、軽水炉という「水」になれた人たちが、「ナトリウム」に踏み出すムーブにはなっていなかった。むしろ、そんなプラントができたらお世話させられる側は大変だ、という感じがありました。電力社員でもこうした認識であることには理由があります。結局、資源問題は、地球温暖化と同じように、じわじわと迫る地球規模の問題なので私たち自身が切迫感を持って感じるのが難しい。けれども先進国である日本は国レベルで、さらに将来世代への責任を果たすために、やるべきことをしなければならぬと思います。

滝 私はまさにそういう話をしてもらいたいと思っています。不確実性があるとはいえ、ウランや化石燃料の資源量、あるいはCO<sub>2</sub>対応を考えればそういうシナリオはあり得る。だから一種の安全保障として今からこういう技術をオプションとして持つておく必要があるという考え方であれば、恐らく国民世論としても納得し得る面があると思います。

澤田 将来予測は少しパラメーターを変えると、多様な答えが出てくるため、予測するというのは難しい。米国にしてもついこの間まで原子力に頼らなくては行けないという状況だったのに、シェールガス、オイルで原子力がしぼんでいる。とはいえ、高木さんの話は2030年、2060年というタームが切られていて、その予測は明解です。

大学でFBR研究をやっておられる高木さんは、今の

ような技術的な可能性を、学生に夢として語ることで、それが学生に響いている感じですか。

高木 事故前は結構響いていたと思います。けれども、事故後は産業界も大学も、廃止措置や廃炉人材育成ということに関心がシフトして、ムードが変わりました。昔は一番元気のいい学生がFBRや核融合をしたいと言っていました。今は指向が分散しています。

今は原子力に対し若い人が夢を描けない、持てない時代になった。それは我々の世代の責任でもあります。

澤田 廃止措置や廃炉人材育成には破格の予算がついています。それに比べて、将来新たな価値を生み出す新型原子炉の研究は絶滅危惧種です。そのことがゆくゆく国を滅ぼしかねない。さて、「もんじゅ」の意義や今後の資源論などの話が、世間には伝わっていません。現場で技術開発に携わってきた人たちがもっと社会に向かって夢を含む今後を語るようなことがあっていいかなと思います。

廣井 とはいえ、そのようなことがらはメディアにはなかなか取り上げてもらえない。トラブルはすぐ載りませんが。

澤田 メディアが関心を寄せる工夫をしているのですかね。その意味では、はからずもいまメディアや世間は「もんじゅ」に関心をもった。チャンスではないですか。

会川 JAXAの「はやぶさ」や金星探査機「あかつき」に対しては、子供たちから「がんばれ」という手紙がたくさん届いていると聞きます。けれども、「もんじゅ」に対してはないように思います。

東工大の先生にお話を伺ったときに、東工大は学部で原子力工学はなく大学院から始まるのですが、今年の春の大学院生の新入生には東工大の学部から来た人がおらず、ほかの大学からの学生や留学生で枠を埋めていると聞きました。これも、原子力を魅力ある職場や仕事だと思っている人が少なくなった表れでしょうか。

廣井 現場に来て、見てもらったりすると、それなりに効果があることは感じます。

高木 けれども全体的に見たら、若い人にとっては原子力の魅力は失せています。これは事実です。東海大や都市大には原子力関連学部がありますが、工学部の中では最も人気は低い。機械や電気に行けなかった人が消去法で原子力にきています。一方で今でも、原子力の重要性を若いながらも理解している人たちもいます。事故の後は、見方が二極化しています。

澤田 だからこそいま将来世代に訴えかけて行かなければならないのでは？例えば敦賀で、中高生を集めた「もんじゅ」サミットというのをやったらどうですか。「もんじゅ」応援団を、自らの手で掘り起こしていくようなことをするのはいかがでしょうか。

## なぜ電力はFBR開発に及び腰になったのか

会川 今回の電力やメーカーの人たちの多くは、「もんじゅ」の積極的な応援団ではありません。80年代は積極的でしたが、1990年代前半ぐらいからFBRに関して消極的になっている。それがずっと20年以上続いて3.11があり、今回の規制委の勧告へと至っています。

「ふげん」は動燃が開発を進めてきた新型転換炉の原型炉ですが、国は1995年にその研究をやめました。電力業界が高コストを理由に、大間に新型転換炉の実証炉を建設することを拒否したからです。その当時から電力はFBRに及び腰になっていました。

澤田 では、ナトリウム漏れ事故の頃には、すでにいまのような状況に突入していたというのですか。

会川 そうです。それには二つの理由があります。

一つは東西冷戦の終結に伴ってウラン需給が緩み、価格が上がらなくなったことです。かつては2030年ごろまでにはウラン価格が上昇するために、FBRの発電コストが多少割高であってもペイするという議論がありました。けれどもその時期は、2030年より先ではないかと電力業界が考え始めたことです。

二つ目は電力自由化が1995年から始まり、電力業界には料金値下げという強い圧力がかかってきたことです。そのために電力会社は研究開発コストを削りました。その候補に真っ先に上がったのが、FBRだと思います。ただし六ヶ所村の問題があるため、FBRをだめだと言えば六ヶ所村に波及してしまう。それだと原子力発電所の稼働にも影響が出かねない。このためFBRをしないとまでは言明しなかったけれど、新型転換炉は廃止したという経緯があります。

またFBRの研究開発には、日立や東芝、三菱、富士電機などのメーカーの人がたくさん携わっていたけれども、日立をはじめとしたメーカーは90年代半ばから、それらの担当者の多くをFBRから別の部署へと配置換えをしました。それから20年たった今、FBRを支える人材は研究機関と研究者が主で、メーカーは三菱などにわずかしきいません。

澤田 本務が三菱の伊藤さん、いかがですか？

伊藤 三菱FBRシステムズは「もんじゅ」の次期以降の炉の研究開発を推進する部隊なので、「もんじゅ」はよい形で早く方向づけをしていただき、次の展開を遅滞なく進めていただきたいと願っています。当社には130人ぐらいの技術者がおり、彼らは強い意欲を持ってFBRの開発に取り組んでいます。この世代が意欲を持ち続けるためには、FBRをめぐる将来の計画が具体化されて、それに向けて開発を進めていくということになることを願っています。

私は「もんじゅ」の設計・製作をした人間なので、ぜひ

とも運転して、運転データをとってほしいと思っています。臨界して20年以上たっているとはいえ、「もんじゅ」を動かせばいろいろ有益なデータはとれます。しかしながら将来、本当にFBRを実用化したいのであれば、今は少し思い切った政策的判断が要るのではないかと思います。

高木 実証炉をつくり、実用化していくステップで、「もんじゅ」は必然とお考えでしょうか。

伊藤 昔は、まずは原型炉である「もんじゅ」を動かし、次に実証炉というステップでした。しかし、その「もんじゅ」と実証炉の間に随分長い時間がかかり、「もんじゅ」の本来の目的が今のままで果たせるのかという問題もあります。また、新しい規制基準に対応するのは、それなりに大変だと思います。

澤田 かなり大変でしょう。その新しい基準さえ、きちんと作られるかどうか不透明ですね。

伊藤 もちろん、きちんとした基準ができなければならぬと思っています。これについては新型炉部会が規制委員会にバブコメを出しており、また、今後の議論に資するため、部会に「研究開発段階発電用原子炉安全設計検討会」を設置し、「もんじゅ」への適用を念頭に最新の技術知見を反映した安全設計の考え方を整理し、報告書としてまとめています。

高木 中には、「もんじゅ」に見切りをつけ、その先の実証炉に資源を集中すべきとの主張もあるようですが。

岡本 電力業界の本音には、それがありません。電力業界も経済産業省も、本当は「もんじゅ」をやりたいくない。

高木 もし「もんじゅ」が廃炉の方向に向かったら、日本はFBRと核燃料サイクル開発をやめたと思われるのではないのでしょうか。

岡本 世界中が間違いなく、そのように思います。

高木 そのインパクトは技術の問題にとどまらず、社会的、政治的なインパクトを与えることになりますね。私は「もんじゅ」については、とるべきデータをきちんととってから終えることが合理的で、それを目指すべきだと思っています。伊藤さんの発言には、それとは異なるニュアンスを感じました。

伊藤 「もんじゅ」がダメだと言っているわけではありません。臨界からすぐに運転を開始して運転データや燃料の照射データが出ていけば、それは実証炉へのデータとしてすぐに役立たせることができました。しかし、臨界から20年もたってしまうので、工程としては昔と同じでいいのかということも考えておかなければなりません。さらには「もんじゅ」の次のステップにどうつなげるのかということも、十分考えておく必要があります。

## 2060年には「FBR市場」が成立する

澤田 いま諸外国の高速炉事情はどうなっています

か。

田中 フランスは1998年に高速増殖実証炉スーパーフェニックスを廃炉にすることを決めました。世界のFBR開発をマラソンに例えると、日本は先頭集団について必死に走っていたのに、第1集団の競争相手たちがいつのまにか後退していなくなり、日本が知らない間にトップランナーになってしまっていた。それならそのままトップを走り続ければよいのに日本は後続の集団を待って足踏みを始め、そのうちにインドや中国に追い抜かれつつあるということだと思います。

私は、「もんじゅ」は絶対今、やらなければいけないと思っています。

その理由は二つあります。資源論の説明はすでに行いましたので、資源論以外の二つの理由の内一つ目の理由として、別の話をします。世界では今、ロシアや中国、インド、そしてフランスがFBRを開発しています。さらに米国は、韓国のFBR開発を応援しているという状況もできつつあります。これは早晩、日本がFBRの主導権を失うということの意味します。もし「もんじゅ」をやめてしまうと、日本はFBRに関する技術的ナードを失い、FBRをつくれる産業が国内に十分に形成されないという事態になります。それは、いずれはFBRを輸入する事態になります。

澤田 FBRを輸入、ですか。

田中 そうです。もう少し具体的に説明しますと、電力業界はこれまで、たくさんの軽水炉を導入してきました。90年代にFBRに対する意欲が薄れたのにはいろいろな理由があります。一つは軽水炉が根付いたということ。圧倒的に軽水炉が主流となって、電力業界が自分の手で急ぎFBRを開発しないといけなくなるとは感じなくなった。FBRの研究開発はしばらく研究機関に任せておこう、軽水炉でいろいろなマイナートラブルが起きていたので、自分たちは軽水炉の改良標準化を一生懸命にやろうという方向に力が入ったことがあげられます。

軽水炉の基本はGEとウェスティングハウスが作ったもので、要するに輸入品です。しかしFBRでは初めて日本が国産の技術で世界へ原子炉を売って出られるようなチャンスがあるのに、その機会をみすみす失うのかというのが気がかりなのです。

澤田 ほぼ手中にしている国産技術をみすみす捨てるのかということですね。

田中 もし、ここで「もんじゅ」をやめてしまうと、ロシアや中国が将来のFBR市場を支配する国になります。

さきほど、原型炉「もんじゅ」なしに実証炉を開発するという選択肢ができましたが、私は「もんじゅ」を運転してみせなかったら、将来日本の電力会社は実績がない国内のメーカーからはFBRを買わないと思います。海外から実績のあるものを買ったほうが良いということになると思います。

澤田 日本の原子力の黎明期に向坊隆らの先人が、原子力先進国である米国からの濃縮ウランや原子力技術の供与に漕ぎ着けるのに、血の滲むような苦勞をしたのは周知の事実です。しかし、それは安全保障のパートナーであるという友好国であるからこそ、なんとかあった。今から20年、30年後、私たちの後輩はその頃高速炉先進国となったロシアや中国という非友好国とプルトニウムや高速炉技術の供与を巡って同様の交渉を強いられるかもしれない——無傷で成立させるのはほとんど不可能ですね。高速炉エネルギーの隷属状態が待っている。いまもんじゅを止めれば、そういう近未来の落とし穴に国家が落ち込む。

田中 だから私は、「もんじゅ」はある程度実績を残しておくべきだと思います。原型炉としての所期の目的だけはきちんと果たしてほしい。でないと、大きな国益を失うと思います。

もんじゅを今やるべきと考える理由の二つ目は、コストです。20年間休んでしまったことで、「もんじゅ」には現在でも毎年200億円、これまでの合計で1兆円以上がつぎ込まれたと聞いています。しかし、1基目の原型炉の建設費が高いのは当然です。だからこそ民間にできず、一方将来の日本にとって必要なものなので、その技術開発に国費を投じていただいているわけです。その国費にいつまでもだらだらと維持費を積み重ねていくのはまずい。早く良い結果を出して、成果を取りまとめなくてはいけない。その意味で棚上げにしたり、先伸ばしにしたりするのは決してよくないと思うのです。

澤田 しかし、例の核燃料サイクル六ヶ所工場の19兆円に比べたら、安い。埋もれてしまうような額です。

## 設計に携わった世代が現役のうちに技術継承を

伊藤 「もんじゅ」は成果をきちんと出していただかないといけません。ただし、そこには時間軸の視点が必要だと思います。

我々、設計をする立場から見ると、「もんじゅ」を設計した人間で一番若いのが60歳ぐらいで、ほとんど70歳前後になっています。それでもまだ当社(三菱FBRシステムズ)には残っていて、いろいろアドバイスしてもらったりしているのですけれども、もうあとわずかで、そういう人たちがいなくなってしまう。

可能な限り技術継承はきちんとやっていますが、実際に次の炉の設計が始まったときに、そういう経験者がいるのといないのでは随分違います。今は彼らが居なくなりつつあるタイミングに来てしまっている。「もんじゅ」の運転も、そしてその次の実証炉の設計もすぐ始めてもらわないと技術が断絶してしまうのではないかと、いうところに差しかかっている状態です。

澤田 技術と運転の両面からの継承ということでは

待ったなしの状況なんですね。

田中 人間がモノをつくる場合には、必ず何か考えが足りない部分や、ちょっとした間違い、あるいはもう少し工夫すべきだったという点が出てきます。「もんじゅ」は原型炉であり、開発段階という意味合いがありますから、運転をして初めて「ここはこういうふうにすればよかったな」という工夫の余地がたくさんわかる。それを次にフィードバックしていく。

澤田 それは実践的なナレッジ、つまり実践知ということですね。

田中 自ら体験し、その経験が血や肉となり、そうして初めて後輩に正しい知識を伝えることができるというのがあると思います。

澤田 暗黙知の世界でもある。

伊藤 それを見える化し、形式化して普遍化しようと言いますが、簡単にできるものではありません。

田中 実際に動かしてみて初めて気づくことがたくさんあり、それはとても貴重な知見です。軽水炉に携わってきた私も現場で、そのようなことをたくさん経験してきました。

滝 技術継承の懸念などの話はこれまで、何度も聞いた話です。しかし、それで世の中の人に、「もんじゅ」の必要性を認識させるというのは難しい。

澤田 要するに、内輪の話だと。

岡本 それに加えて「もんじゅ」を再稼働させようと思ったら、これからさらに2,000億円かかります。保全プログラムをつくるのに、軽水炉をかかえている電力各社はだいたい数百億円かけていると思います。だから、きちんとした保全プログラムを作ろうとするならば、「もんじゅ」もそれと同じぐらいかかります。さらに再稼働するためには保全プログラムの改良だけでなく、新基準にあわせて耐震性補強をし、運営管理しなければなりません。それらを合わせたらこれからさらに2,000億円かかります。納税者にそれだけの覚悟があるかということが、大きな問題としてあります。

逆に廃炉するにしても、1,000億円以上はかかります。

滝 「もんじゅ」が必要だと国民に納得して支持してもらうには、私は資源論あるいは世代論が一番フィットすると思います。原子力発電が一定程度、必要なことは間違いありません。それが本当に、究極資源量に対して制約がかかってくるのであれば、FBRは当然ありうべき選択肢だと思います。

澤田 米国のブッシュ政権がエネルギーインディペンデンス(エネルギー需給を自国で閉じて、他国からの輸入に依存しないという方針)というのを掲げて、何とかして輸入エネルギーを減らすということを一生懸命やっていました。日本ではこの言葉はあまり聞かない。日本人は何とかなると思っているのかもしれませんが。

滝 それでも3.11後は、エネルギー自給率が6%まで



に落ち込んだということが、新聞各紙に書かれました。そういうことに危機感を持っている人は割といるのではないかと思います。

澤田 少なくともエネルギーインディペンデンスは自給率を増やすことですが、それが原子力、特にFBRをいずれやっていくことにつながっていません。

滝 そう思います。世間の論調は、そこが完全に切れています。

澤田 そこは政策者や技術者が国民に向けて語らないからそうってしまった。

滝 一般的には軽水炉があれば十分だし、その軽水炉すら必要性が疑われている。さらに、FBRの世界が待っているということは、30年前はともかくとして、今の日本人には思い描くことができません。

会川 同感です。

廣井 技術として魅力があり、将来の選択肢として持っていたほうが良いという技術を、日本のような資源のない技術立国を目指す国が持つ意義は十分あります。その中核技術こそが、FBR だと思っています。

澤田 もっていた方が良いではなくて、もたざるを得なくなるのではないのでしょうか。

会川 とはいえ、日本の財政も厳しい中、予算をどこにどれだけ配分するかという問題もあります。その中で、みんながFBRに配分することに賛成ならそうなりますが、現実には厳しい。

## 不完全な保守計画でスタートしたことが原因

澤田 「もんじゅ」の必要性について論じてきました。ここからは今回の勧告の意義や勧告に至った経緯について議論します。まずは田中さんからお願いします。

田中 「もんじゅ」のナトリウム漏れは1995年に起こり、旧科技庁のもんじゅ安全性総点検チームや旧原子力安全委員会のもんじゅ安全性確認WGなどの検討を経て、原子力安全・保安院が「もんじゅ」の保守管理体制や品質保証体制などをレビューし、2010年に試験を再開しました。そこでは保守管理は、運転を再開して経験を積み重ねる中で改善を継続していく、それによってFBRの保全手法の確立に努めるということになっていました。しかし試験再開後に炉内中継装置を落とすトラブルが発生しました。

澤田 一体どうなっているんだと思いましたね。

田中 その後、2012年8月に炉内中継装置のトラブルは復旧しましたが、直後に現在の規制委員会が発足し、同じ年の暮れに点検時期を超過してしまった機器が9,000点以上あることがわかり、点検と保全計画を見直せという保安措置命令が出ました。さらにその後新たな未点検機器があることがわかったことから、運転再開準備禁止命令が出ます。その後も不適合管理が徹底してい

ないことや重要度分類の設定が適切でないということが次々と判明しました。

これまで原子力機構と文科省が改善の努力をし続けてきたものの、対策を打つとその後で新たな別の不備が発見されるということが繰り返されています。

保全プログラムを作る時に、当時の原子力機構は保守経験がありませんでした。そのため、言わば手探りの状態のなかで一生懸命、短時間で何とか作りしました。けれども数え落としや見落としが後から見つかり、それらをすべて公表した結果、保安規定違反だと叱られ続けています。

澤田 そこは保守管理に多くの経験がある電力関係者と「もんじゅ」の現場関係者を繋ぐ仕組みがなかったということですね。それがやがて規制委員会から保守管理の不備と指摘されるようになった。上手く弱みを突かれた。実態はどうなのですか。

田中 保守管理に不備があったことは事実ですが、些細なことで現場をひどく叱責することを私は懸念します。そのことが担当者のやる気や集中力、頑張ろうという気持ちを、かえって失わせないかということを心配しています。

例えば、中越沖地震の時に柏崎刈羽原子力発電所では全基が止まったのですが、地元から、これは自然現象によるもので東電は被害者だと理解してもらっていましたから、現場は全力をあげて復旧に努め、およそ2年後には再稼働をすることができました。

そのように全員が一丸となって取り組めたことに比べ、「もんじゅ」の場合は少しかわいそうな気がします。現場に対してはいつも叱ってばかりではなく、ほめて育てる手法もあっていいのではないかと。あまり細部にこだわりすぎると、結果として安全文化の欠如に至る可能性があります。安全を向上させるためには、大きな目で見守るような別のアプローチがあり得ると思います。

廣井 最初に保守管理の不備が出たのが2012年11月です。そのときに私はFBR担当理事だったので、責任を感じています。

保全計画は膨大なデータを管理運用するだけでなく、そのもとになっている要領書の記載までチェックがかかります。最初は計画の中に決めてある点検期限と点検結果の実績を比較して、点検遅れがあったものを洗いざらい出し、今後はそういうものがないように対策を出しなさいという措置命令でした。それはきちんとこなしたのですが、細かく見ていくと、設備台帳との不整合や誤記・記載漏れ、保全内容・点検頻度の技術根拠など別の問題点がまた出てきました。そのもとをたどっていくと、「もんじゅ」が保全計画を入れたときは準備期間が4カ月しかなかったことに行き着きました。

電力会社が保全計画を作る時には、それまでの膨大な蓄積のもとに、多くのマンパワーをかけました。しかし

当機構は経験がないままに大急ぎで行ったために、計画の中の整合性や別の記録との整合性のチェックが不十分のままスタートしてしまっているのです。

澤田 なるほど。しかし、なぜそうなってしまったのでしょうか。

廣井 電力会社は20年以上にわたる定期検査を行ってきた経験がある。それを計画の中に落とし込んでいけばいいのですけれども、当機構は定期検査の経験がないから落とし込み方がうまくできなかった。本来なら技術根拠というのをまとめて点検の間隔を決めるようなことをしなければいけないのですけれども、そういうところまで手が回っていませんでした。

我々は期限が切られたために、その場その場で答えを出していくという対応をしてしまったのです。

澤田 期限で追い込まれて、安易な対応に走った。

廣井 根本原因分析をやっていくと結局、不十分な準備で保全計画をスタートし、その改善に経営資源を投入してこなかった経営層の責任が出てきました。このため、松浦理事長になって1年半ぐらいかけて機構改革、「もんじゅ」改革をやりました。それは体制だけではなく、職場の風土や人の問題、技術、スキルにまで及ぶものでした。

澤田 そうすると、勧告が出たというのは非常に意外な感じですか。

廣井 はい、意外です。2016年5月ぐらいまでにその見直しを一通り終わって報告しようという計画になっていました。

澤田 それを待たずに勧告が出された。

廣井 はい。特に「もんじゅ」を担当している規制委の委員の先生はどなたも現地に来られていない。プラントのどこの安全機能が劣化したのかという議論はしていません。安全の基本は現場にあると思うのですが、現場・現実・現物の議論が足りないように思います。

澤田 そこが全く明確にされてないまま、勧告では安全上に問題があるというニュアンスで出されている。『勧告ありき』で、路線を敷いて来たのでは。しかも、松浦氏が退いた後の勧告とは実に奇妙な話ですね。

廣井 そうです。品質マネジメントシステムの動かし方にまずい点があり、誤記や数え間違いがあったのは事実ですが、それがレッドカードになるものなのかということなんです。

澤田 根本原因も明らかにして、全体が改善に向けて動き出しているのに「退場せよ」とは、横暴に見える。やる気なくしますよねえ、現場は。

## リスクベース規制ならば「もんじゅ」は問題なし

岡本 この問題は、規制庁の方もメディアの方も、あるいは原子力機構の方も、そもそも「保全とは何か」とい

うことをよく知らないことに原因があります。保全の目的や方法などのメンテナンスプログラムについて本当に知っているのは、現場の保守担当と運転班の人たちだけです。

澤田 ちょっと待った。規制庁に保全のプロがいないのに、保全の不備をあげつらって、ついには『勧告』をだしたというのですか。

岡本 日本の保全プログラムは、米国のNRCのメンテナンサーールを参考に導入されました。このメンテナンサーールは米国TMI事故後、NRCの規制が今の日本と同じように厳しくなり、現実にはすぐわなくなったために、リスクベースのメンテナンサーールという形になったものです。そのポイントは対象となる機器や設備の重要度に応じて、メンテナンスにめりはりをつけるものです。昔、美しい人はより美しく、そうでない人はそれなりにという写真のCMがありましたが、安全上、重要なものはしっかりと見る、しかし、そうでないものはそれなりに見るということになります。これによってメンテナンスを合理的に行うことができます。

米国では80年代に、事業者と規制者がそのようなメンテナンサーールを両者が一生懸命議論をして、望ましい形を作り上げました。90年代からはそれが本格的に運用されて、米国の今のプラントは90%を超える良好な稼働実績を示しています。そのようにリスク低減に成功したのは、リスクを前提に重要なものはしっかりと、そうでないものはそれなりにというところのルールが明確化されたからです。

澤田 日本では、規制者が事業者を一方向的に悪者に行っているんで、両者の一生懸命議論、などあり得ない。

岡本 原子力プラントはおよそ10万個の機器から成り立っています。このうち重要なものは数パーセントにしかすぎません。それらの重要なものについては、人間に例えるならば常に聴診器をつけて見る、これをCBM (Condition Based Maintenance) といいます。そのような形で常に監視し、不具合の兆候がでたら交換する。それ以外の90%以上のものは、壊れたり故障したりしたら取りかえる。これは電灯と同じです。ちらちらし始めたら取りかえます。

しかし、日本で保全計画が導入された時には、10万点全部を、最大で10年の間で見るようにしました。日本の定期検査は13カ月ごとに行われるのですが、10万点すべてを一定の期間内に検査するという発想で、機器を2年や5年、あるいは10年といった期間を区切って全部見直すことにしました。そこに大きな違いがあります。米国流の方法を導入していれば、「もんじゅ」の保全不備の問題は起きていません。

また米国では、安全性が向上するバージョンアップをどんどん取り入れていくのですが、NRCはそれらをいちいち見ません。それらは事業者の自主的な運営に任せ

れており、それをしっかりとしたリスクベースでチェックします。

澤田 協調して作ったので、責任と信頼がバランスよく保たれていて、無駄なチェックはしない。

岡本 しかし日本の場合、そのすべてをチェックします。だから、安全上の重要度が低いものは、「10年おきに検査する」あるいは「10年おきに取り換える」ではなく、「壊れたら取りかえる」に変えた方が合理的なのです。

なお、日本ではこの保全プログラムを導入したことで、13カ月以内にしなければならないという定期検査の間隔を、最大で24カ月まで延長することができるようになりました。

廣井 24カ月延長は軽水炉の話で、「もんじゅ」にそのメリットはないですね。

岡本 「もんじゅ」はもともと数ヶ月単位で運転を行う計画だから、この恩恵とは関係ありません。ところが、これに伴って電気事業法と原子炉等規制法が変わりました。そして、軽水炉と同様の保全計画が、「もんじゅ」にも求められるようになりました。

本来の形であるリスクベースでのメンテナンスを「もんじゅ」がめざして適用していたら、さらには軽水炉もそうしてやっていたら、安全性が今より高まったはずで。けれども当時は、軽水炉の安全性より定期検査間隔を延長して運転期間を長くしたいという発想が優勢でした。その結果として、適切性に欠く保全プログラムが導入されてしまいました。よい保全プログラムを導入すれば安全性は高まりますが、不適切なものだと逆にリスクが高まるのです。

書類に書いてあることだけをやっていたら、安全性は向上しません。むしろ、紙に書いてあることを、経験を積むことで改良していくことで、安全性はより高まります。しかし、規制庁からは書類に書いてある通りのことが実行されていないと叱責されます。書類に書いてある通りだと安全性は高まらないから、よりよい形に変えたいと言っても、それを実現することは簡単なことではありません。

つまり、改善を阻んでいるのは規制そのものに原因があるかもしれないのです。現場はリスクベースになっていない保全プログラムをやっている。最新の知見を入れて改善しようとする叱責されるという、変なことになっています。

澤田 ふつうではあり得ないことです。

岡本 けれども現実、そうなっています。小さなことにあまりに熱心にこだわることで、逆に大きなリスクを見逃している可能性さえあります。その考え方を、すべての軽水炉やRIプラントにまで適用しています。だから、わずか1ワットしかない近畿大学の原子炉さえ、いまだに動きません。

澤田 あれは原子炉といえども、放射性物質の量そのものが発電用原子炉に比べて、桁違いに小さい。安全目標をキッチリ定めておけば、余裕をもってセーフです。なにかがあっても、大したものが出てこない。リスクベースでみれば軽くクリアなんです。ところが、ゼロか1かで見れば、実験炉も発電炉と同じ扱いになってしまいます。そんなトリックがまかり通っている。

## 木を見て森を見ない規制だとリスクが高まる

岡本 ええ。ところが、近畿大のようなリスクの低いところでさえ、発電炉と横並びの感覚で一生懸命見えています。そのようなところにこだわるあまり、逆に本当に重要なところへの目配りは、おざなりになっている可能性があります。

私は将来、このような規制のあり方に起因する事故が起きることを懸念します。日本の規制は、重要なところはしっかりと、そうでないところはそれなりにという世界標準とは逆行しています。その結果、リスクの低いところを一生懸命下げようとして、リスクの高いところはおざなりになっています。

澤田 どこを直せばいいんですか。

岡本 法律の解釈に問題があります。炉規法の規則の中で、「もんじゅ」に関してはより合理的な内容へと記載を変えるべきものがかなり含まれているのですが、無謬性にしばられて書き換えられていない。その結果、事業者に間違っただけをさせている可能性すらあります。事業者はそのことをわかった上で、しょうがない中で一生懸命やっているんです。

澤田 事業者はそれに従順に従っている。

岡本 そうせざるを得ない。今回の「もんじゅ」をめぐる動きはその最たるもので、リスクのないところを一生懸命たたいていて、リスクの一番大きなところのど真ん中の部分は放置している。ナトリウムとFBRが扱えるのは原子力機構以外にありません。三菱FBRシステムズでもできません。どうしてもということであれば、ロシアから来てもらうほかない。

廣井 「もんじゅ」の保全計画がスタートする前に、保安規定にQMSという品質マネジメントシステムを入れました。これはルールや仕組みから構成されるマネジメントシステムを作り、様々な手順を標準化し、PDCAを回して、まずいところは改善していくという方法です。

ただし、これを単純に徹底してやると、どんどん紙がふえてしまいます。検査ではリスクにあまり影響がない部分にまで、エビデンスを証明する書類が要求されるようになります。その結果として保守の担当者は書類づくりに忙殺されて、肝腎の現場を見に行くことがおろそかになってしまう。かつて原子力委員長だった近藤駿介さんがQMSの実践において「グレーディングを忘れない

で」という警告を発しておられました。重要なものは重要に、そうでないものはそれなりにという視点を忘れ、全部をしらみ潰しにしてしまうことの悪弊に陥ることを懸念されていました。

我々も保全計画を策定する時に、そのことを十分理解し、重要なものとそうでないものをきちんと仕分けしてつくればよかったですけれども、当時はそれをする能力も時間もありませんでした。このために、「もんじゅ」はその時のQMSの呪縛にとらわれたままになっています。一方、規制側も同じような呪縛に陥りやすいという印象もっています。

岡本 QMSは正しく入れていないのです。欧米のようにQMSを正しく入れればいいのですが、エビデンスベースでQMSを入れてしまったのが間違いなんです。紙に書いてないとはやっていないことであるとしたことが大きな間違いで、リスクを考えていません。それは本当に危ない。本当に重要なところ、例えば「もんじゅ」だったら炉心のだ真ん中の部分は現場の運転員に全部任せきりで、規制委はほとんど見ていないと聞きました。

会川 岡本さんの指摘は非常に重要ですが、一方ですでに勧告が出てしまいました。

岡本 勧告そのものが適切ではないと感じます。

会川 でも、現実論としてはそれでは通りません。

岡本 規制委員会でも間違えることはあるし、それを認めてもらわなければいけません。その上で、改善してもらわなければいけない。規制委員会こそPDCAを回してもらわなければいけない。規制委員会に対するQMSそのものがないんです。

会川 有識者懇談会は2016年夏をめぐりに答えを出す予定ですが、その前に規制委が間違いを認めるとは思えません。

澤田 そもそも間違いなどという単純なものでしょうか？

岡本 保全というのは本来、こうあるべきだということを規制委に認識してもらった上で、規制委が困らないような落としどころを考えてもらうようにしなければなりません。

会川 しかし、それとは別に、勧告に対する回答は必要になる。霞が関が求めている質問に対して、求められる回答を書かなければいけないのではないのでしょうか。

岡本 問題自体にミスがあったら、それを指摘して出せばいい。

田中 先日、私は久しぶりに現場へ行ったのですが、現場の人が「書類をチェックするのが大変で、現場パトロールに行く時間がない」とこぼしていました。そういうことが現実には起きている。

岡本 それは昔からそうです。

## ■ 勧告そのものがリスクベースに依拠していない

田中 勧告に対し、勧告自体を考え直していただきたいという回答を出すという話が出ましたが、一つのアイデアかもしれません。今のメンテナンスではここが足りないとして保全プログラムを更に詳細化する追いかけてごっこをやるよりは、研究開発段階の炉であるナトリウム冷却炉に対し、軽水炉と同じものを要求したこと自体を見直し、安全を最重視した、現実に見合う最適な保全計画をつくり直していきますという回答を出していただくのも一つの対応策かなというわけです。

澤田 それはもっともだと思いますけれども、認められるでしょうか。

田中 その合理性を懸命に訴えかければ、理解してくれる人も出てくるのではないのでしょうか。

会川 今の規制委員会は、重箱の隅をつついてという指摘だと思います。けれども、その一方で原発再稼働に関する規制委員会の判断が、川内原発や高浜原発について適用されています。政府・与党や経産省も、それを前提にした政治状況の中で、規制委員会がやっていることについていかがなものかという話は、政府自民党や霞が関は受け入れられないと思います。

澤田 重箱の隅をつついてるように見えてますが、勧告を出すという路線を敷いてきたのではないのでしょうか。

田中 私は、規制委員会がやることを批判しているつもりはありません。むしろ、規制委員会は基本的には正しい姿勢で臨んでいるのだけれども、開発段階の炉に実用炉の考え方を適用するのはやり過ぎで、ここで考え方を整理し直すことができないかと思っています。

岡本 その問題は「もんじゅ」に限りません。例えばすべての研究炉や核燃料取扱施設に対して、風速93mと竜巻に対応するよう、規制委は求めているのです。軽水炉のような燃料溶融を想定する必要がない研究炉にも、軽水炉と同等のものを要求している、そこには適切なリスクマネジメントの考え方が欠落しています。

廣井 勧告には、「もんじゅが有する安全上のリスクを明確に減少させるよう、「もんじゅ」という発電用原子炉施設の在り方を抜本的に見直すこと」ということで、リスクを減少させる提案を下さいということ記載されています。しかし、今あるリスクがなんであるかが明示されていません。

高木 規制側と事業者側のコミュニケーションがきちんととれてないから、こうなっています。

廣井 そうですね。検査官とのコミュニケーションは難しいです。

澤田 経験や実績のない人とどうやってコミュニケーションができるのでしょうか。

高木 先ほど、いつも怒られてばかりではやる気をなくして、意識も下がって悪い循環になるという指摘がありました。けれどもなぜ、規制委はそういう姿勢をとり続けるのでしょうか。どこに原因があるのでしょうか。

岡本 実力が無いということかもしれません。実力が無い人が権力を持つと、瑣末なことを指摘することしかできなくなるのは、容易に想像できることです。

滝 その話は大事な話ですが、今回の勧告の話は、それを言っても始まらないところがあります。さきほど、「もんじゅ」では保全プログラムを、電力会社の例を参考に4カ月間で大急ぎで作成した結果、部分的には研究開発炉という実態と遊離したプログラムになってしまっているとの指摘がありました。その合わない計画に一生懸命合わせようとしているというのがこの数年、続いているのであれば、それを根本的に改めないと、この問題の本質は解決できないと思います。

澤田 廣井さんの説明では、「もんじゅ」の当事者はそのことに気がついていて、根本的に改めようと動き出した矢先に勧告を出されてしまった。

滝 ただ、勧告ではそのことではなく、その合わない計画に合わせることを求められている。それはいかに理不尽であっても、合わせないことには勧告の答えにならない。問題はこの勧告に対応した第1層の話と、そもそも保全プログラムが実態と合わないし、研究炉というものを商業炉と同じような形に縛ってはいけないという第2層の話、さらには安全規制の適切なあり方という第3層の問題があると、今日の議論で思いました。最初の第1層である勧告への対応については文科省と原子力機構が回答をすることになるのですが、原子力学会としてはあとの2層について問題提起をし、規制委を変えていく、あるいは規制のあり方をよりよくしていくという努力をすることが、技術のプロとしては求められていると思います。

岡本 福島事故後の主要な事故調報告ではすべて、これからの規制をリスクベースにするべきであると書いてあります。ところが、現実にはそうはならず、リスクとは全然別の、紙の上の整合性のみがいたずらに要求されている。それが現実です。だから、今のままの考え方や取組みが進むと、発電所のリスクは逆に上昇していきます。それでいいのでしょうか。

高木 リスクベースで規制するためには、規制する側に高い専門知識を必要とします。しかし規制委側で、そういう人材を十分確保するのは容易ではありません。

澤田 滝さんからは、2層、3層は学会できちんと受け皿をつくってやるべきだという提案をいただきました。これについて原子力学会新型炉部会の伊藤さんはどうお考えでしょうか。

伊藤 今日出た意見をもとに、関係者できちんと議論したいと思います。

澤田 学会として受け皿をつくり、そこで何かしらの答申のようなものを出して公にし、それが今の規制体制にもある程度の効力を持つようなことをやっていかなければいけないですね。

会川 ここで物を申さないとチャンスはなくなってしまいませんか。

澤田 それは言うまでもありません。ほとんど土俵際です。さて、最後の論点です。勧告では体制の問題を問うています。はっきり言えば原子力機構では無理だから、ほかの受け皿や事業主を探しなさい、それができなければ、徹底的に見直しなさいと指摘されました。また、年末の有識者会合の中では、原子力機構としてはオールジャパン体制なるものをもうつくって動かしていますという説明がありました。

岡本 オールジャパンとは何ですか。

澤田 電力会社、事業者とか、メーカーを集めて始めていると言っているわけです。

岡本 経産省は。

澤田 入っていません。今日の有識会合というのは文科省の会議ですから、その中でしか物事を見ていません。

滝 勧告に対する回答を単につくるだけだったら、できると思います。ただし、それでは根本的な問題解決になりません。有識者会合では「もんじゅ」をどうするのか、日本におけるFBRをどう位置づけるのかという問題に関しては基本的にタッチしないという姿勢です。

年末の会合で印象的だったのは、電力会社やメーカーはどういう支援をしますかという話になった時に、原子力機構の方が90年代までは、電力会社はいずれ実証炉をやるという前提で一生懸命勉強に来た。みんなで技術力を高めようとしたのだけれども、今の支援というのは、単なる保守・点検・管理の手助けをしているだけだと話されていました。そこで見えたのは、オールジャパンといってもそれは「もんじゅ」をただ動かすためだけに、保守・管理のためだけにオールジャパンという体制を組んでいるのであって、そこから先の話は一切していない。

澤田 そのままだと、勧告に対して答申を出しても多分ノーですよ。

廣井 今回の勧告は保守や管理の問題です。「もんじゅ」全体ではプロパーが約6割ですが、運転員に関しては約8割がプロパーです。実際に動かすことはできなくてもシミュレーターを使った訓練などはやっており、他の発電所へ勉強にも行っていますから、運転員の技能はそんなに劣らないのではないかと思います。問題は保全計画が整理されないままにスタートしたこと、これを一回、きれいにするためにオールジャパン体制が組まれたのだと思っています。

田中 電力を見て腰が引けていると言われるのは実証

炉の話です。電力会社は、まず自分の原子炉を再稼働させなくてはなりません。だから、今やれるとしたら、保守について電力業界のノウハウが役立つだろうということで経験者を出すのは可能だと思います。すでに「もんじゅ」には、電力各社から40人ぐらい入っていると思います。

滝 この問題では「もんじゅ」をどうするか、FBRの世界が来るのか来ないのかということが問われています。実証炉をいつ導入するのが明確でなくなった時点で、「もんじゅ」の次の具体的計画がなくなったと世間には見える。そんな先の計画のないものの入口に「もんじゅ」はいる。それが、「もんじゅ」不要論になる。そうすると、明確な必要性もないのに、専門家や技術者は「もんじゅ」を動かしたいといっている。単なる技術者の興味に、国(国民)が多額の資金をつぎ込むのはいかがなものかとなりませんか。

田中 政府がエネルギー基本計画で「もんじゅ」はやる決めていて。ところが今問題にされたのは、逆戻りして「もんじゅ」をどうしますかということ。もし「もんじゅ」をつぶしてしまったら、日本のメーカーが自ら勉強する場所はなくなり、将来のFBR市場ができた時に、電力業界は恐らく日本の経験不足のメーカーさんのFBR設計の提案は使わないと思います。

岡本 僕は経産省の役人と議論をすることもありますが、彼らは国内産業育成に熱心ではありません。例えば廃炉関係では、国内のメーカーに発注するのではなくて、海外のメーカーなどにいっぱい払っている例もあります。

田中 ASTRIDに協力したとしても、それだけでは本当に国産の実証炉をつくれる実力をつけられるとは思えません。

澤田 勸告に対してきちんとした答えは出さざるを得ないから、出すことになるでしょう。しかし、今のままでは「もんじゅ」をうまくやり続けられる方向で、まともな答えが出てきそうな感じがしない。会川さん、どう思いますか。

会川 もし、FBRが全部つぶれるのであれば、R&Dを残しておくために「常陽」を使うという選択肢があると私は思っています。もっと多様な選択肢を考えておく必要があると思います。

また高速増殖炉サイクルの実用化研究開発(FaCT)が2015年に答えを出すと言っていたが、一体あれはどうなってしまったのかなと思っています。

廣井 FaCTはフェーズIを2006~2010年度で実施し、革新技术の採否判断を行い、実証炉等のシステム全体が安全性・経済性等の性能目標を達成すること等を確認し、その結果を公表しました。けれども2011年3月に予定されていた国による評価が、東日本大震災により中断しました。2015年度を目標としたFaCTフェーズ

IIの実施は凍結されたままです。

## エネルギー自立をめざすかが問われている

岡本 私はFBRというテーマに、夢を持てるか持てないかだと思います。国民がこれに夢を持つことができれば、1兆円や10兆円は安いものなんです。小惑星探査機「はやぶさ」や金星探査機「あかつき」にも巨費が投入されていますが、世の中に役立つという意味では、今はまだ具体的な成果はほとんどありません。

昔、「もんじゅ」は夢だったんですよ。だから、それに国費が投資されました。けれども、これは今も、夢をかきたてるものだという何かが、必要だと思います。

会川 歌手でいえば、新曲がほしいところです。これから半年間は、どのメディアもこの問題には熱心に取り組みます。だから、賛成、反対、中立、いろいろな立場の方のご意見を伺って紹介できるコーナーというのが、どのメディアもできると思います。ですから、ぜひともそういうときに積極的に情報を発信していただきたいと思います。

澤田 ただ、この問題は経産省とのかかわりが全くないままでいいのでしょうか。

会川 これは政府としてどう考えるのかであって、本来は官邸で識者会合を開かなければいけないのに、なぜ文部科学省でのレベルなのかという印象があります。

澤田 同感です。あえて官邸の問題としていない。経産省の逃げを容認しているとも見えます。

高木 新しい科学技術を育てる文化が日本にはありません。小さなことで揚げ足をとっていると、いくら大切でも新規な技術が育たない。社会・文化、認知といった分野に日本特有の根深い問題があり、原子力学会もそういう社会科学的な研究や提言にも踏み込んでいかなければならないと思っています。

廣井 「もんじゅ」の夢を語りたと思っていますが、夢は現実には近づくほど困難が見えてきます。だから、今回の困難も本当に夢を実現するために我々に課せられた課題なのだという気がします。今は確かにピンチなのですが、これをチャンスに置きかえる。そのための努力を惜しみなく続けていくことが大切だと思っています。

澤田 夢は語り続けたいといけません。JAXAを見習うべきです。今日の議論が、原子力機構の皆さんには自信を取り戻すためのいい機会になればいいと思っています。また、「もんじゅ」を応援するためには、政治の問題がからむと思います。政治的な力学をふまえて、どこを押せばどう動くかということを見据えて踏み込まないと、うまく解決できない部分もあるのではないかと思います。

そのためには、各界の知恵を動員して、十分なコミュニケーションを図りながら、全体の方向を見据えるべき

だと思っています。

田中 規制委員会にはもう少し、温かい指導を期待します。

澤田 そもそも、その出立の経緯からして、科学技術庁は「原子力庁」だった。総合科学技術としての原子力です。それが、「もんじゅ」のナトリウム漏れ事故をして、文科省に吸収されたことで、原子力の姿が薄れたように思います。また、時を同じくして、内閣府に原子力委員会の上部組織として、首相直轄の総合科学技術会議が出来た。そのようにして、徐々に総合科学技術として

の原子力の意義が遠のいて行ったように思います。科学技術庁出立当時、原子力委員会では湯川秀樹氏が国産原子炉の開発に心血を注いでいました。その成果が「もんじゅ」であるはずですが、その意義と認識が時代とともに薄れてきました。

今こそ私たちは原点に立返って、日本と原子力すなわち「もんじゅ」のことで、その先にある原子力技術による世界への貢献を考えるべきなのではないでしょうか。

長時間ありがとうございました。

(2015年12月28日実施, 編集協力 佐田 務)



会川晴之 (あいかわ・はるゆき)  
毎日新聞編集委員。連載で「核回廊を歩く」を執筆。



滝 順一 (たき・じゅんいち)  
日経新聞論説委員。科学技術や環境, 医学を担当。



伊藤隆哉 (いとう・たかや)  
日本原子力学会新型炉部会副会長。三菱FBR システムズ取締役社長



田中治邦 (たなか・はるくに)  
日本原燃株式会社 上席執行役員。



岡本孝司 (おかもと・こうじ)  
東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授。専門は可視化情報学や原子力安全工学。



廣井 博 (ひろい・ひろし)  
元日本原子力研究開発機構理事。2013年9月まで「もんじゅ」所長を務める。



高木直行 (たかき・なおゆき)  
東京都市大学大学院共同原子力専攻工学部原子力安全工学科教授。専門は炉物理や核変換。



澤田哲生 (さわだ・てつお)  
東京工業大学原子炉工学研究所助教。



## 原子力発電の事故リスクをどう考えるか



松尾 雄司 (まつお・ゆうじ)

日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット 研究主幹

平成9年東京大学大学院理学系研究科修了。(財)産業創造研究所を経て、平成19年より現職。総合資源エネルギー調査会「発電コスト検証ワーキンググループ」委員。

福島第一原子力発電所事故の後、原子力発電を含む各電源の発電コスト、特にいわゆる「隠れたコスト」を含むその評価が国民的な関心事項の一つとなった。これを受けて政府のもとに専門家会合(2011年の「コスト等検証委員会」及び2015年の「発電コスト検証ワーキンググループ」)が組織され、想定し得る全てのコストを含んだ評価が試みられた。但しその上でなお幾つかの課題が残されているのも事実であり、その主要なものの一つが原子力発電の事故リスクに伴う費用負担の評価、即ち「1kWhの原子力発電が潜在的な事故によって国民に与える被害はどの程度のものであるか」という問題である。

これに対する一つの素朴な答えは、以下の通りとなるだろう。即ち日本のこれまでの原子力発電所運転経験はおおよそ1,500炉年である。この間に1度、福島において大事故が発生したことを考えると、その発生頻度は「1,500炉年に1度」=  $6.7 \times 10^{-4}$ 回/炉年と評価される。これをkWh当りの発生頻度に換算し、福島事故の被害額を乗ずればkWh当りの事故リスク費用が算出されるであろう。しかしこの方法には幾つかの問題がある。まず誰もが思うことは、たった1度の事故から発生頻度を評価することは不確実性の観点から適切でない、ということである。実際に1,500炉年に1度の事故から推定される事故の発生頻度は95%の信頼区間において  $1.7 \times 10^{-5} \sim 3.7 \times 10^{-3}$ 回/炉年となる。即ち260炉年に1度事故がおきるはずが幸運にも1,500炉年に1度で済んだのかも知れないし、逆に58,000炉年に1度しか起きないはずの事故が不幸にも発生してしまったのかも知れない。仮に発電コスト検証ワーキンググループによる福島事故の被害額9.1兆円/回、発電容量1.2GW及び設備利用率70%を仮定すると、これは0.02~4.6円/kWhに相当する。コスト評価の結果をどう用いるかにもよるが、一般的にはここまで幅の広い評価は評価として全く意味をなさないものと見做されるであろう。

一方で全世界のこれまでの運転経験(概ね16,000炉年)を用い、仮にチェルノブイリ、スリーマイル島及び福島の3回の事故が発生したと考えると発生頻度は  $1.8 \times$

$10^{-4}$ 回/炉年(5,300炉年に1度)を中心として  $3.9 \times 10^{-5} \sim 5.5 \times 10^{-4}$ 回/炉年(26,000~1,800炉年に1度)となり、事故リスク単価にして0.23円/kWh(0.05~0.68円/kWh)となる。これも十分に満足できる結果とは言い難いが、評価の幅、即ち不確実性はかなり縮小される。つまりここでの主要な問題は、「世界」でなく「日本」を対象として事故発生頻度を評価する場合(それは概念的には、「地震国」であることによるリスク上昇分を評価することと認識される)の不確実性の幅の拡大をどう考えるか、という問題であることがわかる。

また、追加的安全対策の効果についても考える必要がある。安全対策が事故発生頻度低減を目指すものである以上、巨額の費用を投じてそれを行ったということは、少なくともある程度はそれによって頻度が低下すると我々自身が信じていることに他ならない。但し実際には新規制基準適合後の発電所の運転経験が未だ殆どないことから、具体的な頻度低減効果の評価は難しい。

他に①福島事故は「1度」ではあっても「3炉心」の事故ではないか、また②事故の被害額はただ一つの値ではなく、ある確率分布をもつのではないか、更には③「大規模かつ低頻度」の事故は同じ期待値をもつ「小規模かつ高頻度」の事故よりも大きなリスクをもつのではないかと、いった問題などが存在する。但しまず①については条件付き確率の評価によって対応することが原理的には可能であり、実際に数値を想定して計算してみると、その影響はあまり大きくないことが推測される。②についても古くから議論がなされてはいるが、結局問題となる大規模の事故の頻度について、同様の実測データ等を用いて較正する限りにおいて、やはり結果は大きくは変化しない。③は保険を考える際によく行われる議論であり、例えば交通事故による賠償は発生頻度が小さい一方で、私という経済主体にとっては規模が極めて大きいため、素朴な期待値から評価される金額に「リスクプレミアム」分をかなり上乘せした自動車保険料が成立する。但し我々がいま行おうとしているものは保険料の算定ではなく、事故に伴う国民の負担の評価である。年間500兆円



の GDP をもつ日本にとって、累積 9.1 兆円の被害は巨額であるにせよ国の経済を破綻させる規模のものではなく、従ってそのプレミアム分によって事故対応のリスクが(一部の人々が主張するように)例えば数百倍以上に拡大するとは考えにくい。

このように考えると、不確実性の観点から最も重要な問題は、やはり「世界」でなく「日本」での評価の問題であることがわかる。このような不確実性の高い評価を行う場合、ベイズ統計の手法が用いられることがある。

例えば天気予報が明日、95%以上の晴天を予測する場合、多くの人はその値が明日の晴天の確率であると考えてであろう。しかしもし私が過去 2 日続けてそのような予報を聞き、しかも外れた場合、私にとって「明日晴れる確率」は恐らくは 95%よりも低いものとなるだろう。但し天気予報が何らかの理性的な推論によって形成されている以上、たった 2 日の実測データによって天気予報の妥当性を完全に否定することは正しくなく、一般的には私にとっての晴天確率は天気予報の教える値と過去の実測から得られる値の中間のどこかに位置するものと考えられる。このような異なる種類のデータを共に用いて妥当な確率を推定する方法が、ベイズ統計による方法である。原子力に関して言えば、天気予報に相当する PRA (確率論的リスク評価)の結果と、実測の事故頻度とを共に用いることにより、その中間に存在する「予想される事故発生頻度」を推定することができる。ここでの重要な点は、PRA の結果を併用することにより、推定される事故発生頻度の評価の幅を狭めることができる、ということである。

具体的には、まず上述の世界の実測値によって発生頻度を評価する(もしくはこの段階において世界の実測値の他に PRA による事故発生頻度の評価結果を併用してベイズ推定を行っても良く、その場合は一般的には発生頻度の評価値が若干低下する)。そしてこの値をもとに、日本が「地震国」であることによる補正を行う。この目的のためには、国内で行われている地震・津波による PRA の評価結果を用いることができる。但し PRA による地震・津波の事故発生頻度は多くの場合、内部事象による事故発生頻度に比べて同等以下であり、従って「内部事象のみ」による事故発生頻度に比べて「内部事象+地震・津波」による事故発生頻度は極端に大きくなるわけではない。このためこれを用いてベイズ推定を行った場合、「地震国であること」によるリスク上昇分はさほど大きく見られるわけではないものと予想される。実際に我々の

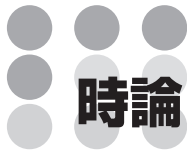
素朴な感覚からしても、原子力という技術に内在する様々な複雑性とその危険性を考えた場合、地震という単一の要因のみが(それに対する最大限の対策にもかかわらず)突出した大きな要因として、事故発生頻度をオーダーとして引き上げるとは考えにくい。このような素朴な印象を PRA の結果として数値的に表現し、それを評価に取り入れるのがこのベイズ推定の方法であると言える。

また上述の通り、追加的安全対策の効果を考慮することも必要となる。これについても PRA の結果を利用可能ではあるが、但しここでは実測のデータ(安全対策後の運転経験)が存在しないため、その効果を過大に評価しないよう気をつける必要はある。これらのことを全て考えると、結局は世界の実測の発生頻度(5,300 炉年に 1 度)を目安として、概ねその前後、もしくはやや高めに値を設定することが、「安全側」にみた評価としては妥当であると思われる(但しコスト評価という、両側にリスクが存在する評価の場合に、片方にのみ寄せて評価することが本当に「安全側」であるのか、という疑問は生じる)。

実際に今回、発電コスト検証ワーキンググループにおいて行われた評価は以下の通りであった。まず「前回試算」(2011 年のコスト等検証委員会による試算)相当の事故発生頻度を 2,000 炉年に 1 度とする。その上で、追加的安全対策による事故発生頻度の低減について、「安全対策のうちある一つのみを講じた場合の相対的な PRA の結果を参考として」0.5 倍になると想定し、「発生頻度相当数」を 4,000 炉年に 1 度と設定した(但しこの値はあくまでも事故リスク対応費用算出のためだけの値であり、実際に将来予期される事故発生頻度とは異なるとされる)。これに 9.1 兆円(以上)の事故被害額を乗じることにより、事故リスク対応費用は 0.3 円/kWh(以上)と評価された。

このように発電コスト検証ワーキンググループにおける評価の方法は素朴なものであり、改善の余地が大きいことは言うまでもない。しかしその背景には上述のような、未評価事項も踏まえた現実的な値に関する相場観が存在していたものと、少なくとも筆者は考えている。そしてその評価は、現時点では概ね適切なものであったであろう。但しこの問題が未だ検討の余地を大きく残すものであることに違いはなく、今後も引き続きより適切な評価の試みを継続することが必要である。

(平成 27 年 11 月 18 日 記)



## 感染症に対する平常時・アウトブレイク時のリスク管理 平常時からの情報収集と分析そして情報還元(サーベイランス)



岡部 信彦 (おかべ・のぶひこ)

川崎市健康安全研究所 所長  
東京慈恵会医科大学卒業。小児科医、感染症研究に従事。世界保健機関(WHO)伝染性疾患予防対策課課長、慈恵医大助教授、国立感染症研究所感染症情報センター長などを経て、2012年から現職。

### 感染症の変貌そして新興・再興感染症

かつて「病氣」といえば伝染病(感染症)が中心であり最も恐れられたが、原因となる病原体の発見、それに伴う検査法・診断法・治療薬・ワクチンなどの開発と普及、衛生環境の向上、栄養状態の改善、そして医療そのものの向上などにより経済的発展国において感染症は激減した。しかし地球上の大部分を占める低所得、低～中所得国では感染症はいまだに脅威であり続けている。一方医療の進歩は、治療等による免疫機能低下や生理的機能低下から感染症に対するハイリスク者の数を増やし、感染に対する注意、管理が医療現場において大きな課題となっている。

さらに、最近では毎年のように新たな感染症、あるいは一見目の前からは去っていったかのような感染症の再現が問題となっている。瞬く間に世界中に拡大したAIDS(HIV感染症)、いわゆる狂牛病(ウシ海綿状脳症)で知られるようになったプリオンのヒトへの伝播による変異型 Creutzfeldt-Jacob 病、エボラ出血熱などの致死性の疾患の勃発、米国で激症肺炎の流行から新種のウイルスの存在が明らかとなったハンタウイルス肺症候群(1993年)、マレーシアにおいてコウモリからブタを経由してヒトに感染が及んだニパウイルス脳炎の多発(1997年)、世界中を震撼させた Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS: 重症急性呼吸器症候群)(2003年)、2004年よりアジアを中心にして発生した家禽類における鳥インフルエンザ A/H5N1(高病原性鳥インフルエンザ)の流行はヨーロッパ、アフリカまで拡大し、現在でも流行地においてはヒトでの感染発症が進行中である。2009年には、新型インフルエンザ(パンデミックインフルエンザ H1N1 2009)が発生し、世界中に拡大し、2011年重症熱性血小板減少症(SFTS)、2012年中東呼吸器症候群(MERS)、2013年鳥インフルエンザウイルス H7N9によるヒト感染、2014年西アフリカでのエボラ出血熱の大流行、と枚挙にいとまがない。

マラリア・結核・ペスト・ジフテリア・デング熱・髄

膜炎菌性髄膜炎・黄熱・コレラ・ウエストナイル熱などのように、すでに我々の目の前から姿を消してしまったかのように考えられていたが再び姿を現してきた感染症も少なくない。わが国では、帰国者の発熱の中にはマラリア患者が少なからず含まれていること、海外渡航歴のないコレラ、赤痢患者発生の増加傾向がみられるようになってきたこと、海外感染例ではあるが国内での狂犬病発症例が近年みられたことなどもあげられる。一昨年(2014年)には、海外で感染をして日本でデング熱を発症した人から、東京都の Y 公園に生息していた蚊を介して国内に在住している人への感染が拡大したデング熱の国内流行が見られた。

WHO は、これらの新たな問題を提起している感染症について新興再興感染症 emerging/re-emerging infectious diseases という概念を導入し、1990年代前半より精力的に取り組み始めている。新興感染症とは、新たにヒトでの感染が証明された疾患、あるいはそれまでその土地では存在しなかったが新たにそこでヒトの病気として現れてきたものなど、とされている。原因が不明であった疾患のうち、病原物質が明らかとなり、地域的あるいは国際的に公衆衛生上問題となるものも含まれる。再興感染症とは、すでに知られてはいたもののその発生数は著しく減少し、もはや公衆衛生上の問題はないと考えられていた感染症のうち再び出現し増加したものの、とされている。WHO はすべての加盟国に、新興再興感染症の正しい把握と認識のために感染症サーベイランスの強化を勧告している。

近年の社会情勢は、忘れられかけている感染症の病原体が、生物兵器として使用される可能性についても危惧されるようになってきた。炭疽、天然痘、野兎病、ボツリヌスなどが再び注目を浴びるようになったのは、生物兵器としての可能性である。我が国におけるオウム心理教によるサリン事件、ニューヨークにおけるビル爆破とそれに続いた炭疽事件、各地での紛争状態などの現実が残念ながらテロへの備えも求められている。

身近な死に至る病が遠ざかり、多くの人が安心して暮らせるようになったのは大いに喜ばしいことであるが、安心することは油断することではない。感染症の動きに関するアンテナは感度のよいものを持ち、その対策、予防、診断、治療に関する能力を、常に維持しておく必要がある。感染症の完全な侵入阻止は極めて困難であるが、しかし拡大の防止は人の知と努力、そして正しい理解によって可能である。これまでは「発生に対しての対応」に追われていた感があるが、これからは、「発生に対するあらかじめの備えと早期検知」がさらに求められているところである。

### 感染症対策として基本的に必要なこと

#### —相手を見つける、知る—

感染症のコントロールのためには、的確な臨床診断とそれを裏付ける病原診断、これらに基づいた合理的な治療が行われることがもっとも重要である。また感染症に罹患しないための個人的・社会的衛生習慣、ワクチン接種など、あらかじめ感染症の発生を防ぐための予防方法も日常から重要である。そしてこれら感染症対策への基本的なデータを与えるものが、感染症に関する情報であり、それを得るためのものが感染症サーベイランスである。ここから相手を見つけ、知ることができる。

感染症に対する危機管理という言葉に触れることが昨今多いが、稀なものを追いかけるだけではなく、日常的疾患の動向を知ることによって初めて例外的な疾患、危機的な疾患の存在が明らかになり、その対応が可能になる。臨床現場での経験をその病気を診た医療者だけのものに終わらせず、地域、市区町村、都道府県そして国単位へと集積されることによって一医療者の経験は大きく広がり、その結果は国際的にも有用な情報となる。集積されたデータはそれを共有する(個人情報を除き)という形で臨床現場へ反映され、最終的には一般の人々への感染症対策に利用されるものとならなければいけない。またサーベイランスによって基本的な情報(ベースライン)が得られたところで、そこからの異常発生を感知した場合には速やかに何らかの対応・干渉を行う必要がある。このベースラインを超えたかどうかの判断は、常日頃サーベイランスデータを見ることによってそのセンスが培われる。そしてサーベイランスの最大の目的はデータを作り、まとめることではなく、それを解析して行動(アクション)に結びつけ、感染症発生をできるだけ小規模に抑えるところにある。

国内においては、感染症の予防及び感染症の患者の医療に関する法律(感染症法)に感染症サーベイランス(発

生動向調査)の対象疾患が定められ、医師の届け出に基づく感染症に関する情報の収集および公表、感染症の発生状況および動向の把握、そしてその原因の調査などサーベイランスシステムの強化が示されている。最初の患者情報を伝えるのは地域における医療機関であるが、その情報の収集を担当する側(各自治体における感染症情報センター・地域保健行政機関、国立感染症研究所感染症疫学センター・厚生労働省結核感染症課など)は、それらの情報の迅速な分析を行いつつ適切なフィードバックを定期的に行う必要がある。医師による届け出は、最寄りの保健所に行い、感染症法で定められた疾患や公衆衛生上重要な疾患については、各都道府県政令指定都市などに設置された地方衛生研究所(筆者の属する川崎市健康安全研究所は地方衛生研究所の一つ)で原因となる病原体の検索が行われる。地方衛生研究所で対応不可能な場合には、国立感染症研究所の各専門部が対応する。これらによって得られた感染症情報は各地域でも解析・還元されるが、臨床現場→保健所・地方衛生研究所→都道府県等自治体→厚生労働省→国立感染症研究所(感染症研)のルートがオンラインで結ばれ、厚生労働省および感染症研で国全体のデータとして解析し、矢印の逆方向に還元が行われる。情報の公表にあたっては、当然ながら患者個人を識別できる情報は除かれ、一般の方でも入手が可能である。またこれらの情報はWHOを介し、世界の情報として共有される。これによって当然世界の情報も国内に入ってくる。このような国際的なサーベイランスシステム(WHO国際保健規則:International Health Regulation)によって昨今のエボラ出血熱、MERSなどの情報が、疾病発生のない我が国においても得ることができるようになってきている。

なお、国全体の感染症のサーベイランス情報については、国立感染症研究所感染症疫学センターホームページなどから得ることができる。(http://www.nih.go.jp/niid/ja/from-idsc.html)。

各地域における感染症のサーベイランス情報については、各自治体あるいは各地の地方衛生研究所のホームページなどにアクセスすれば得ることができる。川崎市においては「川崎市感染症情報センターシステム(KIDSS:Kawasaki Infectious Disease Surveillance System)」を構築し、誰もがアクセスできるページと、あらかじめ登録した市内医療関係者のみがアクセスできるページと分けてホームページに掲載している。(https://kidss.city.kawasaki.jp/modules/topics/)

(2016年1月4日記)



## 北朝鮮の核実験実施に対し声明

政府は2016年1月6日、北朝鮮が同日核実験を実施したとの発表を受けて同国に対し厳重に抗議し非難するとともに、関連する国連安保理決議を速やかに履行するよう求める首相声明を決定し、発出した。原子力委員会も7日、今回の北朝鮮による核実験実施に対して、「国際平和と安全保障に対する明白な脅威であると同時に、核軍縮と核不拡散の取り組みを推進する国際社会に対する挑戦」として、強く非難する声明を決定し発表した。

また原子力学会は1月12日、北朝鮮の核実験に対する抗議声明を公表した。声明文は以下の通り。

◇

北朝鮮は、国際社会の強い自粛要請にもかかわらず2016年1月6日、4回目の地下核実験を実施したと発表した。これは、東アジアのみならず、世界の安全と安定を脅かす許し難い挑発的行為である。日本原子力学会は、この愚行に対し厳重に抗議する。

原子核反応とそれに伴うエネルギーは、人類の持続的発展、生存および地球環境保全にとって不可欠であり、

平和目的のみに利用されるべきものである。

本会は、公衆の安全をすべてに優先させて、原子力の平和利用に関する学術と技術の進歩をはかる専門家集団として、特に今回の大量破壊兵器製造目的の研究開発に加担した科学者・技術者・研究者を厳しく糾弾する。すべての科学者・技術者・研究者は、科学技術を人類共通の財産と捉え、その才能と知識を、人類の恒久的平和のために利用し貢献するべきであり、決して軍事利用に加担してはならない。したがって、本会は、どの国の核実験であっても、理由の如何を問わず、容認できない。

本会は、今後とも、原子力関連の学術、研究開発、産業に携わる専門家集団として、核兵器のない国際社会の実現に向け、その使命の重大さを深く認識し、国内の関係者、関係機関ならびに海外の関連学協会などとの一層の連携、協力を進め、原子力平和利用の発展に尽力を惜しまない所存である。

(原子力学会誌編集委員会)

## 学会が提言、研究炉の再稼働めざし各機関が連携を

原子力学会の「研究炉等の役割検討・提言分科会」(主査：上坂充副会長)は1月28日、新規制基準の適用などにより研究炉全機が停止している現状に対し、人材育成の上で懸念があるとした上で、規制に合理的に対応するために研究炉をかかえる研究機関や大学が連携する必要があるとの見解を盛り込んだ中間報告をまとめた。また国に対しては、研究炉使用済燃料に対する措置や次期研究炉の新設を含めた研究炉の役割や今後の戦略の明確化を求めた。

中間報告では研究炉を運営する大学や研究機関に対しては新規制基準への対応としてこれまでより大量で精緻な評価作業や、炉によっては新たな設備整備や耐震補強が要求されている現状を紹介。研究炉に対する規制につ

いては内蔵するリスクに応じたグレーデッドアプローチを適用した見直しをすることを求めた。また、研究炉で使用される使用済み燃料は2029年までは米国が引き取ることとなっているが、それ以降については不明であるため、国レベルで使用済み燃料の扱いを検討しておく必要があると指摘した。さらに国はエネルギー政策や科学技術政策において研究炉等の役割を明確にし、国の公共財として位置づけた上で必要な施設を確実に維持運用できるよう、計画的措置を実施すべきであると提言している。

なお同分科会では国内の研究炉等の維持・運用について海外の動向などもふまえながら、次期研究炉の建設を含めた今後のあり方について検討していく。

(同)

## 2016年度政府予算案を閣議決定

政府は2015年12月24日に、2016年度の政府予算案を閣議決定した。

経済産業省ではエネルギー対策特別会計として、対前年度比5.3%増の8,384億円を計上した。福島復興加速に向けて全力を傾注しながら、エネルギー・ミックスの

実現、エネルギーシステム改革の実行に取り組むことを基本的方向性に掲げている。電源立地地域対策交付金は廃炉の進展に伴い同43億円減の869億円となったが、廃炉となる原子力発電所が存在する立地市町村に対し、エネルギー構造転換に向けた理解促進活動を支援する「工

エネルギー構造転換理解促進事業」で新規に 45 億円が盛り込まれた。廃炉・汚染水対策では 2015 年度補正予算として、福島第一原子力発電所廃止措置で、技術的に困難な研究開発に取り組むべく 156 億円を計上している。

文部科学省は原子力関連で、前年度より微減の 1,448 億円を計上した。福島第一原子力発電所の安全かつ確実な廃止措置を進めるため先端技術研究開発と人材育成を加速するとともに、エネルギー基本計画に基づき福島再生・復興に向けた取組、安全研究、基盤技術や人材の維持・発展、高速炉や加速器を用いた放射性廃棄物減容化・有害度低減のための研究開発などを進める。関連予

算は福島第一原子力発電所廃止措置に係る研究開発加速プランは 41 億円、核燃料サイクルおよび高レベル放射性廃棄物処理処分の研究開発は 395 億円で、それぞれ拡充となった。

環境省は放射性物質により汚染された土壌の除染実施で対前年度比 25.8% 増の 5,224 億円、中間貯蔵施設の整備で同倍増の 1,346 億円を計上した。除染特別地域における生活圏の除染、放射線量の監視、除去土壌の減容化・仮置きを実施するとともに、市町村への除染に係る財政措置、情報発信などを推し進める。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

## 文科省、「もんじゅ」のあり方に関する検討開始

文部科学省は 2015 年 12 月 28 日、日本原子力研究開発機構の「もんじゅ」のあり方に関する検討会の初会合を開き、同機構の児玉敏雄理事長からヒアリングを行った。「もんじゅ」の保守管理不備問題に鑑み、原子力規制委員会より主務官庁として勧告を受け行われたもの。今夏を目途に結論を得ることを目指し、「もんじゅ」の品質保証・保守管理や運営に関する課題、発電施設としてのあり方について検討を進める。

初会合に出席した馳浩文科相は冒頭、規制委員会からの勧告について「重大な事態と受け止める」との認識を示した上で、(1)これまでの取組を総括、(2)それを踏まえ「もんじゅ」のあり方を具体化、(3)新たな運営主体の具体的なあり方について深掘り——の 3 段階で、専門的見

地から検討していく考えを述べた。馳大臣は同検討会立ち上げの発表を行った 12 月 22 日の記者会見で、「もんじゅ」の廃炉の可能性については否定した上で、エネルギー基本計画の本筋に基づき、安全に運転できる運営主体を模索するとしている。

また、検討会座長の有馬朗人氏(根津育英会武蔵学園学園長)は、「何が問題だったのか徹底的な検討が必要」と述べ、核燃料サイクル計画における重要な取組の 1 つとして、多様な視点から検討していく考えを強調した。

検討会では今後、(1)「もんじゅ」の運転管理に必要な技術的能力、(2)「もんじゅ」における品質保証・保守管理、(3)「もんじゅ」の組織運営——を論点に、必要に応じメンバーを追加し検証を進めていくこととしている。

## 海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

### 【ロシア】

## 高速実証炉「BN-800」が初併入

ロシアの民生用原子力発電会社であるエネルゴアトム社は 2015 年 12 月 10 日、ベロヤルスク原子力発電所 4 号機となる電気出力 80 万 kW(熱出力 210 万 kW)の高速実証炉「BN-800」を初めて、ウラル地方の送電網に接続したと発表した。同炉は 1980 年代に着工されたものの、政治体制がロシアに変わる中で作業が一時中断し、作業が本格的に再開されたのは 2006 年のこと。2014 年 6 月に初臨界を達成していた。

ロシアはプルトニウムと MOX 燃料の燃焼が可能な高速炉の実現に向けて着実に歩を進めており、1969 年からウリヤノフスクで電気出力 1.2 万 kW の高速実験炉

「BOR-60」が稼働しているほか、ベロヤルスク発電所でも 35 年前から電気出力 60 万 kW の原型炉「BN-600」が 3 号機として稼働中。電気出力 120 万 kW の大型商業用高速炉となる「BN-1200」の建設も同 5 号機として計画されている。

今回 BN-800 では、熱出力を通常レベルの 25% まで上げたところで送電網に接続。電気出力は最小レベルの 23.5 万 kW だが、熱出力は 35% まで上昇させたとしている。起動段階の作業として今後は、出力を 50% まで上昇させた後、試運転として 100% まで徐々に上げていく計画。同発電所の I. シドロフ所長は「やるべき作業が山積しているものの、BN-800 により我々は高速炉の設計・建設能力を取り戻し、ロシアの原子力産業史上、最も重要な節目を達成することができた」と強調している。

## 【ウクライナ】 南ウクライナ 2 号機が 10 年間の運 転期間延長許可を受けて再稼働

ウクライナの原子力発電会社であるエネルゴアトム社は 2015 年 12 月 14 日、規制当局から 10 年間の運転期間延長が承認された南ウクライナ原子力発電所 2 号機(100 万 kW, ロシア型 PWR)を、13 日に予定より 4 日前倒しで再び国内送電網に接続したと発表した。同炉は 2015 年 5 月、ロシア型 PWR(VVER)の設計上の公式運転期間である 30 年の操業を終えた後、配管の最新化やタービン機器の取替を含む運転期間延長を目的とした大がかりな総点検・改修作業に入っていた。ウクライナ国家原子力規制検査庁は 12 月 7 日の会合で、同炉における定期の安全性再評価や包括的な点検の結果を検討。同炉の運転を 2025 年 12 月末まで許可する決議を全会一致で採択していた。

エネルゴアトム社は、2006 年に内閣が承認した「2030 年までのエネルギー戦略」に従い、国内で稼働中の原子炉 15 基(40 万 kW~100 万 kW の VVER)のうち、経年化した 11 基について 30 年を越える運転の継続を目指している。同社の総裁は SNRC 会合の席上、南ウクライナ 2 号機の運転期間延長は同社内の問題に留まらず、ウクライナのエネルギー供給セキュリティに影響すると強調。国内の産業や家庭に電力を供給できる主力は原子力発電産業であり、その発電シェアは 46%から 56%に上昇し、時には 60%に達すると指摘した。こうした状況下で南ウクライナ 2 号機の運転期間延長を決めたことは、ウクライナのエネルギー・ミックスにとって重要なことであるとの認識を示している。

これまでに原子力規制検査庁はロブノ原子力発電所 1, 2 号機について、2010 年 12 月に同国の原子炉として初めて 20 年間の運転期間延長を許可したほか、南ウクライナ 1 号機についても 2013 年に 10 年間の延長を承認済みだ。エネルゴアトム社はこれらに加えて、ザポロジェ 1 号機の運転期間延長を 2015 年 5 月に原子力規制検査庁に申請。さらに、ロブノ 3 号機の延長に向けて申請の準備作業を進めている。

## 【フィンランド】 規制当局、オルキオト 3 号機用原 子炉容器に問題がないことを確認

フィンランド放射線・原子力安全庁(STUK)は 2015 年 12 月 10 日、オルキオト原子力発電所で建設中の 3

号機に設置された原子炉容器鋼材の品質について、事業者のティオリスーデン・ボイマ社(TVO)が提出した報告書の結論を承認したと発表した。同 3 号機と同じアレバ社製「欧州加圧水型炉(EPR)」設計を採用したフランスのフラマンビル 3 号機では、RV 上蓋と下鏡の鋼材組成に異常が見つかったが、TVO は報告書の中で、オルキオト 3 の原子炉容器は日本製鋼所がフラマンビル 3 の RV とは異なるプロセスで鍛造したものであり、加圧器を含むその他のオルキオト 3 用 1 次系機器と同じく、安全要件をすべて満たしていると明言。これにより STUK は、オルキオト 3 用原子炉容器の物質特性にはフラマンビル 3 と同様の異常が見られないこと、安全運転上問題のないことを確認した。

2015 年 4 月に建設中のフラマンビル 3 の原子炉容器で異常が発見された後、STUK はオルキオト 3 で潜在的に同じ問題が存在するか報告するよう TVO に指示。TVO は評価作業の第 1 段階として、原子炉容器と加圧器に関する結果を 6 月に報告した。日本製の RV に問題は無かったとする一方、加圧器はフラマンビル 3 用原子炉容器を製造したフランス・アレバ傘下のクルーゾー・フォージ社製だったため、TVO は評価作業を実施した上で加圧器についても安全要件を満たしていると結論づけた。TVO はその後、作業を第 2 段階に進め、10 月に加圧器で行った追加の評価により鋼材組成に異常がないことを確認。その他の 1 次系機器に関しても鋼材の物質特性評価を行っており、安全運転に影響するような問題は見られないとする補足報告書を 11 月初旬に STUK に提出していた。

## 【ベルギー】 規制当局、運転期間を終了したドー ル 1, 2 号機の 10 年運転延長を承認

ベルギー連邦原子力規制局は 2015 年 12 月 22 日、脱原子力法の定める 40 年の運転期間を終えたドー原子力発電所 1, 2 号機(各 46 万 kW の PWR)について、2025 年まで 10 年間運転期間を延長することを承認した。両炉はそれぞれ、運転開始後 40 年目に当たる 15 年 2 月 15 日と 12 月 1 日に運転を停止。しかし、国内の原子炉全 7 基は総電力需要の 46%を賄う重要電源であることから、現政権は 2014 年末に両炉の運転期間を延長する方針を表明していた。規制局が安全性を保証することを条件に、両炉で継続運転が可能になるよう、年 6 月に脱原子力法を一部修正する法案を成立させており、事業者のエレクトラベル社も今後 10 年間、両炉で安全要件を満たしていくための行動計画を 4 月に規制局に提出。

同局は技術支援組織の「Bel V」とともにこれを審査し、10月初頭に同計画を条件付きで承認するとしていた。

今回規制局は、運転期間延長の条件として追加した「長期的な運転の再開前に行動計画におけるすべての優先項目を完了」を、エレクトラベル社が実施済みであることを確認した。具体的な優先項目は、長期の運転に備えて安全関連システムや構造物、機器類が適切に機能するよう実証すること。とりわけ、両炉の原子炉容器に毛状ヒビの原因となるような水素白点が存在するか点検することだったが、その結果から規制局は、両炉の原子炉容器が健全な状態にあり、安全要件に合致していると結論付けた。エレクトラベル社は優先項目をすべて完了した後、状況報告書を規制局に提出しており、「Bel V」は同報告書をチェックした上で優先項目が正しく実施されたことを確認。これにより規制局が両炉の再稼働を承認したもので、数日以内に両炉は送電網に再接続されることになるとしている。

このほか、両炉の運転期間を延長する条件として新たな課税システムが施行される予定で、エレクトラベル社の親会社である ENGIE 社は 12 月 1 日、エレクトラベル社が 2016 年から 2025 年までの年間均一料金として 2,000 万ユーロ(約 26 億円)を支払っていくとする協定を政府と調印。これらは「ベルギー・エネルギー移行基金」に積み立てられ、同国が脱原子力を達成予定の 2025 年以降を見据えて、エネルギーの生産と貯蓄分野における研究開発促進や革新的プロジェクトに活用される計画だ。

## 【フランス】

### 放射線防護研、受動的安全系の性能と信頼性評価で本質的な困難を指摘

フランスの放射線防護安全研究所(IRSN)は 2016 年 1 月 7 日、近年建設中の原子力発電所で多く採り入れられている受動的安全系に関する報告書を公表し、それらの主要な特徴を概説する一方で、その性能と信頼性を適切に評価するには本質的な難しさが存在するとの見解を表明した。このような困難を乗り越えるための優先的研究分野として、受動的安全系の運用に影響する物理的現象の解明や、そうした現象の性能シミュレーション、シミュレーション・ソフトの検証テストなども明示。西欧原子力規制者協会(WENRA)の原子炉調和作業部会や EU の研究・技術革新プロジェクト助成枠組など、諸外国の関連機関と共同活動する枠組の中でこれらの研究を実施し、得られた知見を共有・有効活用する必要性を強調している。

IRSN はまず、フランスで稼働中の原子炉(すべて

PWR)には電力などの動力源を必要とする動的安全系が装備されているものの、一部には受動的特徴を持つものも含まれると説明。具体例として、電源喪失時に重力で落下する制御棒や内圧が設定値を下回った際に冷却系に注水するシステム、自動停止した原子炉冷却ポンプへの熱サイフォン式冷却、格納容器内の水素を大気中の酸素と結合させる水素再結合装置などを挙げた。

IRSN によると、原子炉メーカーが近年、提案している原子炉設計のいくつかは、運転員の介入なしに限られた支援機能だけで原子炉を安全に停止し、その状態を長時間保持できるよう、一層広い範囲で受動的安全系を採用。福島第一原子力発電所事故以降はさらに、受動的安全系の中でも電源や最終ヒートシンクの長時間の喪失といった事故条件緩和を目的としたものへの関心が高まっている。こうした背景から IRSN は、安全系の主な特徴として(1)起動に際し動的機器への依存が低い、(2)重力、密度差、圧力差などで運用、(3)運用に際し支援機能を必要としない、(4)起動と運用に人的介入を必要としない——と定義。受動性の度合いに応じて国際原子力機関(IAEA)が行った 4 種類の分類も紹介した。

その上で IRSN は、受動的安全系の性能上の特徴を適切に評価するには、起動と運用に用いられている物理的現象を深く理解する必要があると断言。システムが機能している全体的な時間、および施設の稼働期間全体においても、その性能を実証すべきだとした。また、安全系の運用では多重防護が基本原則であるため、新たな原子炉設計の開発で受動的安全系が多用される根拠になっている。多重防護上、異なるレベルの安全系を同じ自然現象で作動させる場合は、相互に影響を及ぼさないよう十分独立させておかねばならないにもかかわらず、一部の設計ではそうなっていないと IRSN は指摘。すべての条件に対応する安全機能を正しく作動させるため、その自然現象を元にした駆動力には高い信頼性が求められるが、動的安全系の存在も、受動的安全系が事故の条件下で正しく機能することを実証する上で、プロセスを複雑にしていると説明した。

IRSN はさらに、安全系の受動特性が単一の自然現象に依存している場合も、注意を払う必要があると警告。駆動力が小さい自然現象は、システムの配置といった周辺条件の影響で十分機能しない可能性があり、受動的安全系の故障確率を確率論的安全評価(PSA)で評価するには難しさがあるとした。同安全系の信頼性について適切な評価を行うには個別の開発アプローチが必要であり、システムに使われている熱水力学のメカニズムの故障確率を特に重点的に評価すべきだと呼びかけている。

## 【英国】

**世界で最後のマグノックス炉、ウィルファ 1 号機が永久閉鎖**

英国ウェールズ地方・アングルシー島でウィルファ原子力発電所を所有する原子力デコミッション機構(NDA)は2015年12月30日、世界で唯一稼働中だった旧型ガス冷却炉(マグノックス炉)である1号機(50万kW)を同日付で永久閉鎖したと発表した。1971年に営業運転を開始した同炉は、当初の閉鎖予定だった2010年以降、再三にわたり運転期間延長が許されており、最終的に約45年間稼働。今後は2016年初夏に燃料の抜き取りを開始し、2018年後半までに同作業を完了した後、数十年にわたる本格的な廃止措置作業を実施するとしている。

マグノックス炉は天然ウランを燃料とする黒鉛減速炭酸ガス冷却型の原子炉で、英国が開発・実用化した。同設計を採用した原子炉は1956年に世界で初めて、英国カンブリア州のコールダーホール原子力発電所1号機(6万kW)として運転を開始しており、同炉により新しい原子力時代が幕を開けたとNDAは評価。ウィルファ発電所も運転開始当時はウェールズ地方の電力需要の4割を発電するなど、世界でも最も強力な原子力発電所の1つと評されていた。

同発電所の運転を担当するマグノックス社は2012年4月、運転開始後41年が経過した同2号機を閉鎖したが、その理由は、マグノックス合金で被覆した燃料が2008年以降製造されておらず、限られた燃料ストックを1号機に流用して、同炉を運転認可期限一杯まで操業するため。部分的に使用した燃料を別の原子炉に転用するという革新的な技術と手続(IRX)は規制当局が承認しており、1号機の運転期間は5年間延長された。IRXは同じマグノックス炉のオールドベリー原子力発電所でも適用実績があり、これらの運転期間延長で得られた追加収入約10億ポンドは、原子炉の廃止措置と除染作業に充てられている。

## 【米国】

**規制委、デービスベッセの運転期間延長を承認、81基が60年運転へ**

米原子力規制委員会(NRC)は2015年12月8日、オハイオ州のデービスベッセ原子力発電所(PWR、95.6万kW)に対して、2037年4月まで20年間の運転期間延長を許可した。これにより、米国内の商業炉約100基のうち、運転開始当初の40年と合計して60年間の継続運転

を許された原子炉は81基(このうち2基は早期閉鎖済み)となった。NRCでは現在さらに、13基の運転期間延長申請を審査中だとしている。

デービスベッセ発電所における運転開始当初の認可は2017年4月までとなっていたため、事業者であるファーストエナジー・ニュークリア・オペレーティング社は2010年8月に運転期間の延長申請をNRCに提出。NRCスタッフは同申請について、発電所の安全性と周辺環境への影響という2つの側面から審査を実施したほか、公聴会を開催して一般の意見も聴取した。ファーストエナジー社側も、2011年に原子炉容器上蓋、2013年に蒸気発生器(SG)を2台取り替えるなど、同発電所の長期的な運転における安全性と信頼性を保証するために約10億ドルを投資したと指摘。2003年以降は、出力も2.5万kW増強した点を強調している。

## 【中国】

**「華龍1号」設計の2基目の実証プロジェクト、福清6が正式着工**

中国が第3世代の技術的特性を有する輸出用・独自ブランドとして開発した「華龍1号」設計の、国内で2基目の実証炉プロジェクトが正式に始動した。中国核工業集团公司(CNNC)が2015年12月22日、福建省の福清原子力発電所で同設計を採用した6号機の原子炉建屋部分に最初のコンクリート打設を実施した。同サイトでは2015年4月に国務院(内閣)常務会議が建設承認したのを受け、翌5月に同設計の実証炉初号機となる5号機が正式着工していた。「華龍1号」はCNNCと中国広核集団有限公司(CGN)がそれぞれの第3世代設計を融合して開発しており、CGN側の実証炉プロジェクトとしては、広西省の防城港原子力発電所3、4号機建設計画への採用が決定している。

同設計の海外輸出についてもすでに2015年8月、CNNCが国外で建設する「華龍1号」第1号としてパキスタンのカラチ原子力発電所で2号機(110万kW)のコンクリート打設が行われたほか、英国のブラッドウェルB原子力発電所(2基)建設計画に同設計を採用するため、CGNは同設計を英国の設計認証審査にかける方向でEDFエナジー社と10月に原則合意。11月には、アルゼンチンで建設される5基目の原子炉に同設計を採用することで、CNNCが同国の国営原子力発電会社と協力枠組協定を締結した。

福清原子力発電所の開発プロジェクト会社には、CNNC傘下の中国核能電力股分公司(CNNP)に加えて華電福建発電公司、および福建省投資開発集団公司がそ



れぞれ 51%, 39%, 10% 出資している。100 万 kW 級 PWR を 6 基建設する予定で、1~4 号機までは第 2 世代改良型設計を採用。1, 2 号機はすでに、2014 年 11 月と 2015 年 10 月に営業運転を開始した。2010 年と 2012 年に正式着工した 3, 4 号機についても、2016 年と 2017 年にそれぞれ営業運転を開始する見通しになっている。

## CNNC と CGN が「華龍 1 号」設計の国際展開促進で合併事業体設立

中国で原子力発電事業の実施資格を有する 3 大企業のうち、中国核工業集团公司(CNNC)と中国広核集团有限公司(CGN)は 2015 年 12 月 30 日、双方の第 3 世代設計を統合して開発した「華龍 1 号」を世界の原子力市場に大々的に売り込んで行くため、登記資本金 5 億元(約 90 億円)の合併事業体「華龍国際核電技術有限公司(略称: 華龍公司)」を折半出資で設立すると発表した。「華龍 1 号」は中国が知的財産権を有する独自ブランドの輸出を主目的とした設計であり、その開発を継続的に行うとともに国内外で知的財産権と関連資産を共同管理するという戦略の積極的な展開が華龍公司設立の狙い。2014 年 8 月に両社が結んだ技術統合合意に基づくもので、両社の力を結集して同設計を一層多くの国や地域で開発することを目指した今回の合意文書は、北京で国家能源局(NEA)のヌル・ベクリ局長が同席して調印された。同設計の実証炉建設プロジェクトはすでに中国国内で複数、始動したほか、海外でも採用炉が本格着工するなど、原子力輸出を国家戦略に据えた中国政府の方針は実現に向けて着実に進展している。

国防産業部門から発展してきた国有大型企業の CNNC は、核工業部の分割により設立された。事業分野はウラン生産から核燃料製造、原子炉開発と設備製造、使用済み燃料の再処理まで多岐にわたる。中国初の商業炉となった 30 万 kW の秦山 I-1 原子力発電所の開発では压力容器の供給を三菱重工から受けたものの、国産技術中心の炉型戦略で徐々に原子炉の規模を拡大。大型炉ではフランスの技術も導入して PWR 技術のレベルを高めてきた。一方の CGN は、広東省を中心に原子力発電事業を展開してきたが、それ以外にも事業を広げるため 2013 年に社名を改称。フランスからの輸入で大亜湾原子力発電所を建設後、同技術をベースに PWR 開発を進めていた。

両社がそれぞれ開発した第 3 世代設計には類似点も多いことから、2013 年初めに NEA の指導により、CNNC

の「ACP1000」と CGN の「ACPR1000 +」の一本化が決定。2014 年 4 月に国务院・常務会議で「華龍 1 号」の実証炉建設が承認された後、8 月には「華龍 1 号」の全体設計を NEA と国家核安全局(NNSA)の審査会が承認した。福島第一原子力発電所事故の教訓をフィードバックするとともに、安全系に動的と静的概念を組み合わせるなど、国際的に最も厳しい安全基準を遵守した設計だと両社は強調しており、過酷事故の発生防止と影響緩和が図られている模様。その具体的な実証炉プロジェクトとして、同年 11 月に CNNC の福清 5, 6 号機への採用、12 月に CGN の防城港 3, 4 号機に採用することが決定した。このうち福清 5, 6 号機と防城港 3 号機は 2015 年 12 月中にすでに正式着工している。

### 【ベトナム】

## 原子力発電所導入計画の着工を 2020 年まで延期

ベトナム共産党・青年連協会の公式紙「タインニエン」は 2016 年 12 月 8 日、科学技術省(MOST)原子力局のホアン・アイン・トゥアン局長の弁として、同国初の原子力発電所の着工が、環境影響評価の長期化により 2020 年まで延期されることになったと伝えた。ロシアが受注したニントゥアン省フォック・ティンの第 1 原子力発電所(2 基)建設計画は当初、2014 年中の着工を予定していたが、福島第一原子力発電所事故発生を受けて、政府はプロジェクトの安全性を保證する対策の審査を関係省庁に指示。着工が 2020 年頃にずれ込む可能性については、すでに 2014 年 1 月にグエン・タン・ズン首相が示唆していた。これにより、日本がパートナー国として選ばれたニントゥアン省ビン・ハイの第 2 発電所(2 基)計画についても、遅れが生じることは避けられないと見られている。

ホアン局長によると、関係省庁による第 1 発電所の環境影響評価は国際原子力機関(IAEA)の専門家から支援を得つつ現在も継続中。福島第一事故の影響により建設場所も移動したため、サイトの点検が長引くことになったと説明した。ロシア国営の原子力総合企業ロスアトム社から技術支援を受ける同計画では、出力 120 万 kW の原子炉 2 基を建設予定。経費は合計で 80 億~100 億米ドルと見積もっており、ロシアからの融資を受けることになるとした。同局長はまた、原子力発電の経験のないベトナムでは、その準備作業も難しくなる点を強調している。

# CTBT に係わる放射性核種の監視

日本原子力研究開発機構 木島 佑一, 山本 洋一

日本原子力研究開発機構(原子力機構)では、包括的核実験禁止条約(CTBT)国内運用体制の下で国際監視制度(IMS)施設のうち放射性核種の監視のための観測所及び公認実験施設を整備し、運用を行っている。また、IMS 観測所から得られる放射性核種観測データの解析及び評価を行う国内データセンターも整備し、運用を行っている。本稿では CTBT の概要と原子力機構の活動に関して解説するとともに、これまで国内の放射性核種観測所で得られた観測結果のうち、2013 年 2 月の第 3 回北朝鮮核実験を含む特異な人工放射性核種観測事例を 2 つ紹介する。

**KEYWORDS** : CTBT, IMS, Radionuclide, Radioxenon, ATM

## I. はじめに

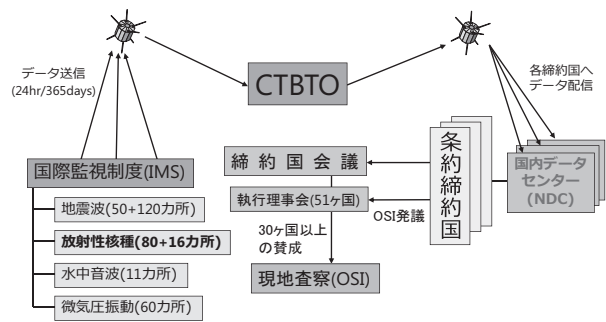
包括的核実験禁止条約(CTBT)は、宇宙空間、大気圏内、水中、地下を含むあらゆる空間での核兵器の実験的爆発およびその他の核爆発を禁止し、加盟国がそれを遵守していることを検証する体制の確立等を規定したものである。1996 年 9 月に国連総会で採択され、日本は同年同月に署名、翌 1997 年 7 月に批准した。2015 年 11 月現在、183 カ国が署名、164 カ国が批准しているが、発効要件国(核保有国を含む潜在的な核開発能力を有する 44 カ国)のうち、米国、中国、エジプト、イラン、イスラエルが未批准であり、またインド、パキスタン、北朝鮮が未署名・未批准のため未発効である<sup>1)</sup>。

このように条約自体は未発効であるが、将来の条約発効に備えて、あらゆる空間における核実験を探知するための国際監視制度(IMS)施設が、既に世界中で整備され運用されている<sup>1)</sup>。IMS ネットワークは最終的に 337 カ所の観測施設(地震波、放射性核種、水中音波、微気圧振動の 4 種類の観測所 321 カ所及び放射性核種に係わる公認実験施設 16 カ所)で構成されることになるが、2015 年 11 月現在既に 281 カ所の観測施設が核実験監視のための CTBT 技術要件を満足する施設として認証済である。

これらの観測施設で得られたデータは、ウィーン(オーストリア)に設置されている CTBT 機関(CTBTO)の国際データセンター(IDC)に送信されデータベースで管理されるとともに、要求のあった各国の国

Monitoring of Radionuclide related to CTBT : Yuichi Kijima, Yoichi Yamamoto.

(2015 年 11 月 30 日 受理)



条約遵守に係わる検証は各締約国の責任  
第 1 図 CTBT 国際検証体制の仕組み

内データセンター(NDC)に対して毎日配信されている。各国 NDC は配信データの解析・評価、あるいは IDC 独自の解析結果に基づき核実験の探知を行っている。核実験に際しては、地震波や微気圧振動等の解析による震源位置及び発生時刻の特定と、大気中に放出された核爆発特有の人工放射性核種の監視により総合的な評価を行う。

条約発効後は、各締約国において IMS 観測データの解析評価結果等に基づいて検証を行い、核実験の可能性のある事象を探知した場合、必要に応じて執行理事会に現地査察(OSI)の発議が行われる。OSI 発議により、51 カ国から成る執行理事会の中で、30 カ国以上の賛成で現地査察が行われるという仕組みになっている(第 1 図)。

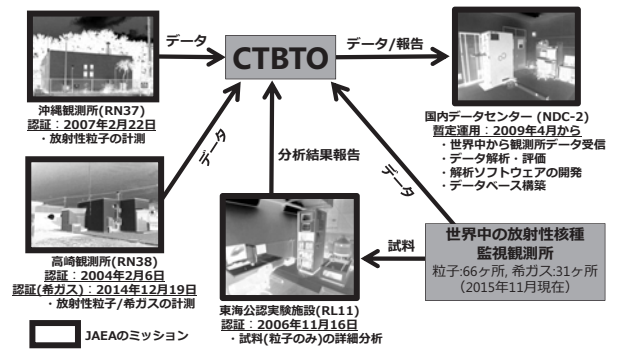
## II. 原子力機構における CTBT に係わる活動

CTBT 国際検証体制における日本の義務を果たすため、2002 年 11 月 25 日に CTBT 国内当局である外務省

により CTBT 国内運用体制が立ち上げられた<sup>2)</sup>。CTBT 国内運用体制は、事務局((公財)日本国際問題研究所 軍縮・不拡散促進センター)、国内 IMS 施設及び世界中の IMS 施設から得られるデータの解析・技術的評価を行う 2つの NDC から構成されている(第 2 図)。NDC の一つは、(一財)日本気象協会の NDC-1 であり、地震波及び微気圧振動の監視を行っている。もう一つが日本原子力研究開発機構(原子力機構)の NDC-2 であり、放射性核種の監視を行っている。

条約で設置が定められている日本国内の IMS 施設は、第 3 図に示すように、放射性核種観測所が 2カ所、放射性核種監視を支援するための公認実験施設が 1カ所、主要地震観測所が 1カ所、補助地震観測所が 5カ所、微気圧振動観測所が 1カ所の合計 10カ所ある。このうち、原子力機構は 2つの放射性核種観測所、及び公認実験施設の運用を担当し、その他の施設については、日本気象協会が運用している。なお、沖縄観測所は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構沖縄宇宙通信所内に、高崎観測所は原子力機構高崎量子応用研究所内に設置されている。また、公認実験施設及び NDC-2 は、原子力機構原子力科学研究所内に設置されている。

第 4 図に示すように、原子力機構は CTBT 国際検証体制において、放射性核種観測所、公認実験施設、及び NDC-2 の整備と運用という 3つの役割を担っている。沖縄観測所、高崎観測所、及び公認実験施設については



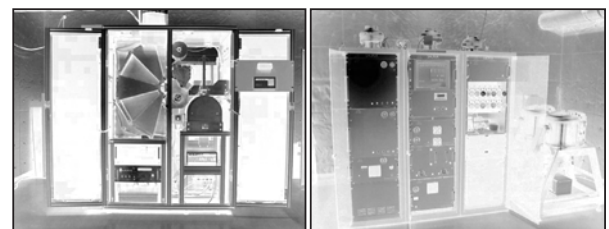
既に整備を完了し、CTBTO の認証を得て運用を行っている。さらに、NDC-2 も基本的なシステム整備が終わり、日常的に核実験監視のための放射性核種データの解析等を行っている。それぞれのより具体的な活動に関して、以下で説明する。

放射性核種観測所では、大気捕集により大気中の微粒子や希ガスを集め、大気試料中の放射能測定を常時行っている。観測所は測定のみで、データの解析は行わない。ここで得られた観測データは、衛星通信により IDC に自動送信される。

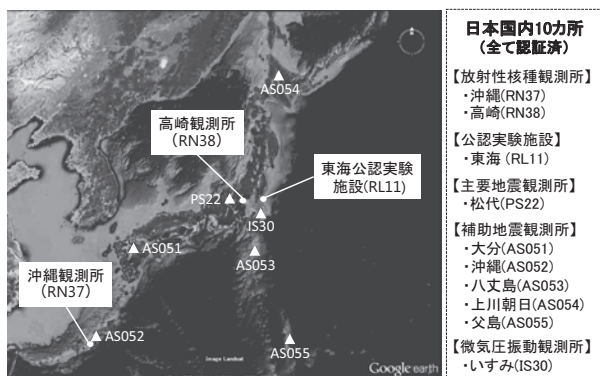
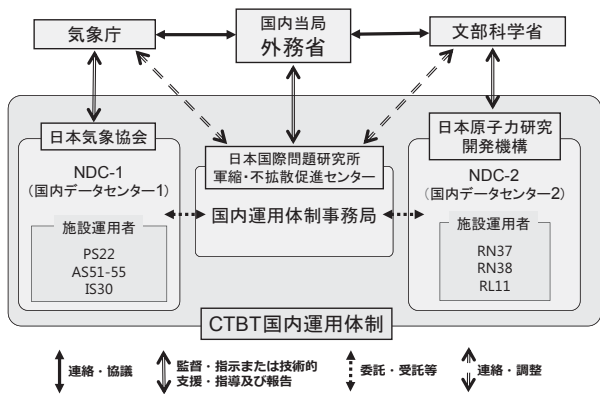
核爆発を確実に検知するために CTBT 監視対象の人工放射性核種として、半減期や検出可能性等に基づき測定が容易な  $\gamma$ 線を放出する核分裂生成物 46 核種と放射化生成物 42 核種が CTBTO によって定められている。このうち、希ガスは 4つの放射性キセノン同位体(核分裂生成物  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ )のみで、残りは粒子状物質である。

粒子状放射性核種の自動観測装置<sup>3)</sup>の内部を第 5 図左に示す。プロア(CTBTO の要求仕様は  $500\text{m}^3/\text{h}$  を超える流量率)によって集められた大量の大気をフィルタに通し、粒子状物質を 24 時間にわたり捕集する。捕集後、フィルタ試料に付着している短寿命の自然放射性核種であるラドン娘核種の放射能を 24 時間減衰させた後、試料中の放射能を高純度ゲルマニウム検出器で、24 時間測定する。このように、大気捕集開始から 72 時間で測定データが得られるという仕組みになっている。この装置は、国内では高崎と沖縄の両観測所に設置されている。

一方、第 5 図右に示す希ガス(放射性キセノン)の自動観測装置<sup>4)</sup>では、ポンプ(CTBTO の要求仕様は  $0.4\text{m}^3/\text{h}$



第 5 図 粒子状放射性核種観測装置(左)及び希ガス観測装置(右)





第6図 公認実験施設の高純度ゲルマニウム検出器システム

を超える流量率)によって集められた大気試料から水分や二酸化炭素を除去した後、キセノンを活性炭に吸着させる操作を繰り返して分離・精製する。その後、熱伝導型ガスクロマトグラフで全キセノンを定量し、最後に検出器で放射能を測定する。測定は、大気捕集12時間、分離・精製7時間、放射能測定11時間のサイクルで行われ、大気捕集開始から30時間後に測定データが得られる仕組みになっている。この装置は、国内では高崎観測所のみ設置されている。

公認実験施設は、CTBTOから依頼された世界中の放射性核種観測所の試料(大気中の微粒子を捕集したフィルター)を高純度ゲルマニウム検出器(第6図)により詳細分析し、分析結果をCTBTOに報告している。依頼される試料は、主に放射性核種観測所の測定時のデータ品質を確認するためのものであるが、観測データからCTBT監視対象核種が検出された試料の場合もある。公認実験施設では、年間約10~30件の試料の依頼分析を実施しており、放射性核種観測所の運用に貢献している。

NDC-2では、日常的にIDCから放射性核種観測所データを受信し、それらを解析及び技術的評価をすることで核実験の監視活動を行っている。また、放射性核種観測所データ用の解析ソフトウェアや大気輸送モデル(ATM)による放出源推定解析ソフトウェアの開発、放射性核種観測データや気象データを管理するデータベースの整備等を行っている。

### Ⅲ. 特異な人工放射性核種観測事例

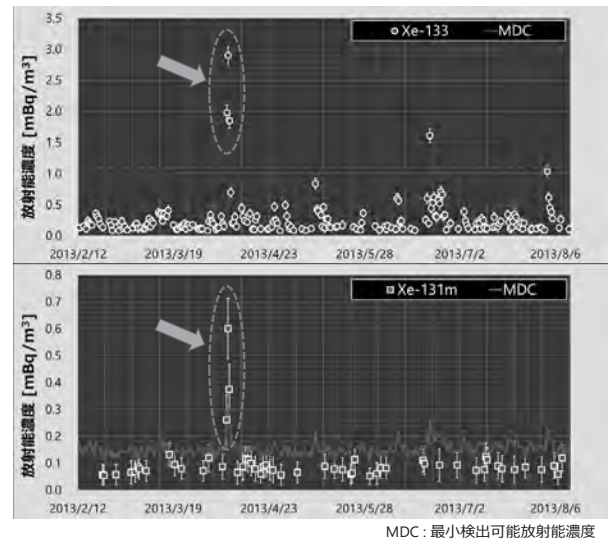
#### 1. 高崎観測所における第3回北朝鮮核実験由来の放射性核種の検出

2013年2月12日の第3回北朝鮮核実験宣言を受け、NDC-2では核実験後3週間にわたり国内ならびに北朝鮮周辺国の放射性核種観測所の観測データを解析したが、この間、核実験の証拠となる人工放射性核種の有意な検出はなかった。しかし、核実験から約2カ月経過し

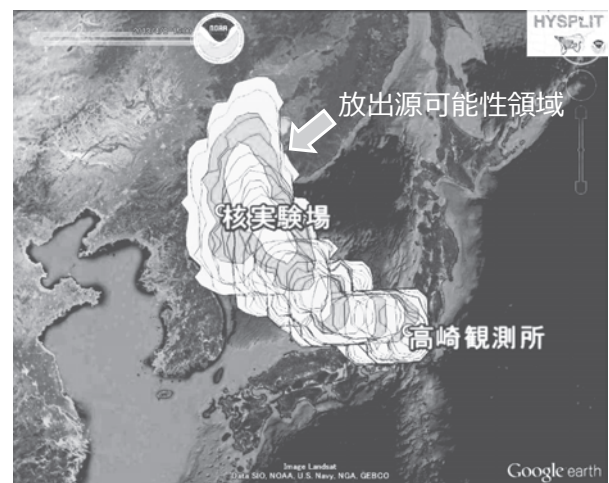
た4月8,9日に高崎観測所で捕集された大気試料から通常の放射能濃度変動範囲を超える放射性キセノン同位体( $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{131\text{m}}\text{Xe}$ )が同時に検出された。第7図は第3回北朝鮮核実験以後の高崎観測所における放射性キセノン同位体の放射能濃度変化を示しているが、図中点線で囲まれた箇所がこの同時検出を表している。

検出された放射性キセノン同位体比から核分裂の発生日を推定したところ、検出された放射性キセノン同位体は同年2月の北朝鮮核実験に由来すると仮定しても矛盾がないことがわかった。

さらに、検出した放射性キセノン同位体の放出源を調べるため、ATMによる放出源推定解析(検知された場所、試料の大気捕集日時を起点として時間軸を遡り、放出源の可能性のある領域を推定する手法)を行った。第8図は、高崎観測所にて検出した放射性キセノン同位体 $^{133}\text{Xe}$ の放出源可能性領域を示したもので、3時間毎に計算した結果を重ね合わせて表示している。図中、放



第7図 第3回北朝鮮核実験後の高崎観測所における放射性キセノン同位体の放射能濃度変化 [(上) $^{133}\text{Xe}$ 、(下) $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ]



第8図 放出源推定解析結果

出源可能性領域は高崎観測所から北朝鮮北東部にかけて広がる雲状の色分けされた部分として示されており、領域の外側から内側に行くほど放出源である可能性は高くなる。ここで、図に表示の「核実験場」は NDC-1 による地震波解析により地下核実験実施場所と推定された地点を示しており、この地点が放出源可能性領域内に存在することから、本地点が放射性キセノン同位体の放出源である可能性が高いと考えられる。

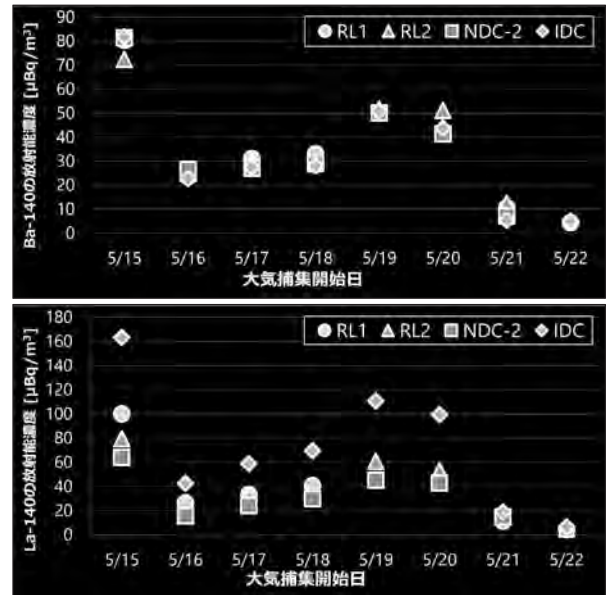
以上のことから、本事象は、2月の核実験により生成され地下空洞あるいは坑道内に閉じ込められていた放射性キセノンが何らかの原因により2カ月後に地上に漏れ出て検出されたものではないかと推察される。いずれにしても、希ガスである放射性キセノンは化学的に非常に安定で不活性なガスであるため、地下で行われた核実験でも他の粒子状核種に比べて地層の亀裂等を通して大気中に浸み出してくる可能性が高く、放射性キセノンの監視は特に地下核実験の検知/同定に重要な役割を果たすことが期待されている。

## 2. 沖縄観測所における $^{140}\text{Ba}$ , $^{140}\text{La}$ の検出

2010年5月15～22日の8日間、CTBT 沖縄観測所において、CTBT 監視対象の人工放射性核種である $^{140}\text{Ba}$ 及びその娘核種である $^{140}\text{La}$ が連続して検出された。このような検出は、これまでのCTBT 観測において初めてのことであった。上記期間の沖縄観測所における測定済みフィルタ試料はそれぞれ2分割された後、日本の公認実験施設を除く他の認証済み公認実験施設8カ所のうちから無作為に選ばれた2カ所の実験施設に送られ、詳細な測定・解析が行われた。ちなみに、高崎観測所では5月17日に捕集した大気試料から通常より高い放射能濃度の $^{133}\text{Xe}$ を検出している。

第9図に国外2カ所の公認実験施設(図中のRL1及びRL2)、NDC-2、及びIDCによる $^{140}\text{Ba}$ 及び $^{140}\text{La}$ の放射能濃度解析結果を示す。 $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ともに5月16日の濃度が前日の半分以下となっているが、これは15日から16日にかけて沖縄県で降った雨の影響の可能性が考えられる。なお、IDCの $^{140}\text{La}$ に対する解析結果が他と比べて高い数値となっているが、これはIDCで使用している解析ソフトウェアが親核種 $^{140}\text{Ba}$ の壊変に伴う娘核種 $^{140}\text{La}$ への流れ込みの効果を考慮していないことによる。また、 $^{140}\text{La}$ に対するNDC-2の解析結果が公認実験施設の解析結果に比べ若干低い値となっているのは、観測データにサム効果補正<sup>i</sup>に必要なデータが含まれていないため、サム効果補正計算が行えなかったことによるものである。一方、 $^{140}\text{Ba}$ へのサム効果の影響

i 複数のガンマ線をカスケードに放出する核種から2個以上のガンマ線が同時に検出されると、それらの合計エネルギーを持つ擬似ピークが数えられる現象をサム効果(サム・コインシデンス効果ともいう)といい、この時、元のエネルギーのピーク計数は減少するためこれを補正すること



第9図 2010年5月に沖縄観測所にて検出された $^{140}\text{Ba}$ (上)及び $^{140}\text{La}$ (下)の放射能濃度変化

は $^{140}\text{La}$ ほど大きくはないことが分かる。

親娘核種の同位体比から核分裂発生日時を推定できる場合があり、本事象に関してNDC-2の解析値を使用して推定したところ、2010年5月12～14日であった。ただし、前述のようにNDC-2の $^{140}\text{La}$ の解析結果はサム効果の影響を受けて若干過小評価となっているため、実際には上記推定値より1～2日程度早い可能性がある。

本事象は、これまでに例のない異常なものであり、CTBT 関係者の間ではこの原因について多くの検討がなされたが未だに明らかにはなっていない。しかし、本事象と同時期に他のIMS 観測所や韓国国営観測所で得られた観測結果も合わせた分析により、検出された人工放射性核種は同時期に実施された北朝鮮による核実験に起因するとして論文が発表されている<sup>5,6)</sup>。

さらに2014年には、2010年5月12日に北朝鮮にて低出力の核実験が行われ、これに起因する地震波が観測されたとの論文が発表された<sup>7)</sup>。NDC-2では、本地震情報に基づきATMによる放射性プルームの拡散シミュレーションを行い放射性核種データ解析結果と比較した。その結果、検出のタイミングは実測値とほぼ一致した。しかし、シミュレーションでは高崎観測所でも沖縄観測所と同程度の濃度の $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ を検出するはずであったが、実際には高崎観測所ではこれらの核種は検出されていないという大きな矛盾があり、同論文の妥当性は未だに検証できていない。

## IV. おわりに

CTBTは未発効ではあるが、核実験探知のための監視網であるIMSは既に80%以上が完成し、整備段階から運用段階に移行しており、条約発効前の技術的準備はか

なり整ってきている。原子力機構においても、条約で設置が定められている2つの放射性核種観測所、及び公認実験施設の整備は既に完了し、CTBTOの認証を得て運用を行っている。また、NDC-2を整備し、日常的に核実験監視活動を実施している。第3回北朝鮮核実験では、核実験の約2カ月後に高崎観測所にて北朝鮮核実験由来と考えられる複数の放射性キセノン同位体を同時検出した。しかし、放射性キセノンは核実験以外に原子力施設や医療用放射性同位元素製造施設等からも放出されるため、東アジア地域や世界における放射性キセノンのバックグラウンド調査が現在の重要な課題の一つである。また、現在未整備のIMS観測施設は環境が過酷であったり、政情が不安定であったりして設置が難しい所が多いが、CTBTOや条約締約国間の協力により一刻も早い整備完了が望まれる。

— 参考資料 —

- 1) CTBTO ホームページ, <https://www.ctbto.org/> (2015年11月4日確認)
- 2) (公財)国際問題研究所 軍縮・不拡散促進センター ホームページ, <http://www.cpdnp.jp/> (2015年11月4日確認)
- 3) H.S. Miley, et.al., "A description of the DOE Radionuclide Aerosol Sampler/Analyzer for the Comprehensive Test Ban Treaty", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 235, 83-87 (1998).
- 4) A. Ringbom, et.al., "SAUNA—a system for automatic sampling, processing, and analysis of radioactive xenon", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, Vol.508, 542-553 (2003).
- 5) Lars-Erik De Geer, "Radionuclide Evidence for Low-yield Nuclear Testing in North Korea in April/May 2010", *Science & Global Security*, Vol.20, No.1,1-29 (2012).
- 6) Sakari Ihantola, Harri Toivonen, Mikael Moring, "<sup>140</sup>La/<sup>140</sup>Ba ratio dating of a nuclear release", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 298, Issue 2, 1283-1291 (2013).
- 7) Miao Zhang, Lianxing Wen, "Seismological Evidence for a Low-Yield Nuclear Test on 12 May 2010 in North Korea", *Seismological Research Letters*, Vol. 86, 1-8 (2014).

著者紹介



木島佑一(きじま・ゆういち)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)CTBT 検証技術の開発



山本洋一(やまもと・よういち)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)CTBT 検証技術の開発

目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

編集委員会は、読者・会員・投稿者等からのご意見、ご提案をいただき、よりよい学会誌編集活動を目指すべく、意見窓口「目安箱」を設けております。

- ・学会誌の企画、編集、掲載記事や論文に関すること。
- ・新刊図書の書評の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ

<https://ssl.aesj.net/publish/meyasubako>、または E-Mail : [aesj2005meyasu@aesj.or.jp](mailto:aesj2005meyasu@aesj.or.jp)にてお寄せください。

編集委員会にて検討後、担当者より回答させていただきます。

学会誌編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

# 熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップの改訂 軽水炉の継続的な安全性向上に向けて

日本原子力学会 熱流動部会 熱水力技術戦略マップワーキンググループ

原子力学会 熱流動部会は、福島第一原子力発電所(1F)事故の教訓を基に熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015(改訂版)を他分野に先駆けてH27年3月に策定した。世界最高水準の安全性を実現しその継続的向上を図るため、深層防護を柱にシビアアクシデントや外的事象の対策を整理し、安全裕度向上策および人材育成に必要なニーズとシーズのマッチングを考慮した上で技術課題を選定し、1F廃炉など主要なマイルストーンに基づく時間軸上にロードマップを展開した。要旨を、事故時の炉心損傷防止など4件の個別技術課題の例を交えて解説する。

**KEYWORDS** : LWR, Thermal-Hydraulics, Fukushima-Daiichi Accident, Safety, Technological Strategy Roadmap, Thermal-Hydraulics Division

## I. 熱水力技術戦略マップの策定

日本原子力学会はH19年度に、安全性と経済性の両立と向上を図る新型軽水炉の開発や安全評価手法の整備などに向けて「熱水力安全評価基盤技術検討」特別専門委員会を設置し、H21年3月に「熱水力安全評価基盤技術戦略マップ(略称：熱水力技術戦略マップ)」を整備した。

熱流動部会は、同マップを随時変化する技術への要請に応える効果的なものとし続けるため、ワーキンググループ(WG)を設置してローリング(改訂活動)を開始した。人材育成を主要課題に挙げ、産業界の技術開発ニーズと大学や研究所での研究開発シーズのマッチングをよりの確かつ効果的に図ることを念頭に、シビアアクシデント(SA)、プラント改良技術、スケーリングの3つのサブワーキンググループ(SWG)をWGの下に設置して改訂の議論を進めた。

ところが、H23年3月に発生した福島第一原子力発電所事故(1F事故)が甚大な原子力被害を生じたことを受け、同様の事故を二度と生じさせないよう、安全性を抜本的に強化する姿勢を持って根本的な見直しに取り組んだ。その結果、H24年度にはまずSA-SWGが、重大事故の発生防止や影響緩和に必要な技術開発に関連する

*Thermal-Hydraulics technological strategy roadmap that improves safety of LWRs* : Thermal-Hydraulics Division of AESJ.

(2015年12月11日 受理)

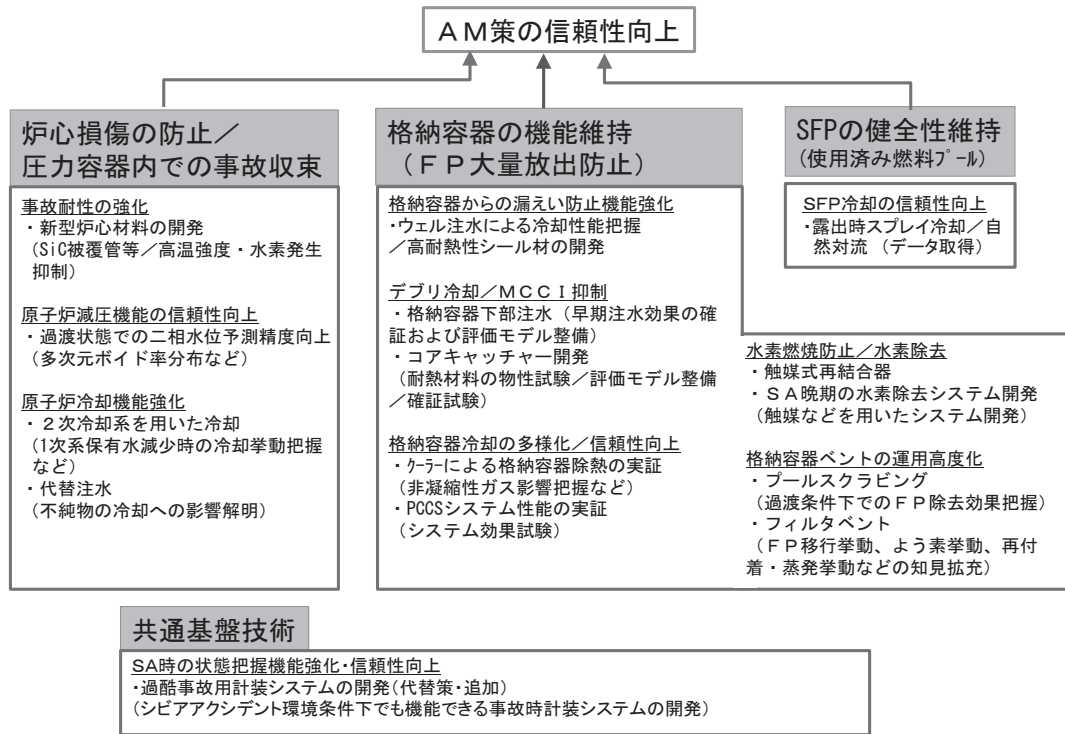
テーマを現象毎に細かく分類・分析し、技術や研究の到達点と課題を明示した技術マップ<sup>1)</sup>を完成させた。さらに、H25年度にはSWGを安全評価、基盤技術の2つに再編成し、あらためて1F事故を教訓に軽水炉の安全性を高める技術課題の検討を行った。特に、同年7月に策定された原子力規制委員会(NRA)の新規制基準を考慮して、重大事故対策に加え、地震や津波、竜巻など厳しい自然現象等の外的事象に付随する技術課題が検討された。熱流動部会はH27年3月、それらの成果を基に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015」<sup>2)</sup>を完成させた。以下、概要と4件の個別技術課題の例により、主な特徴を解説する。

## II. 熱水力技術戦略マップ2015の概要

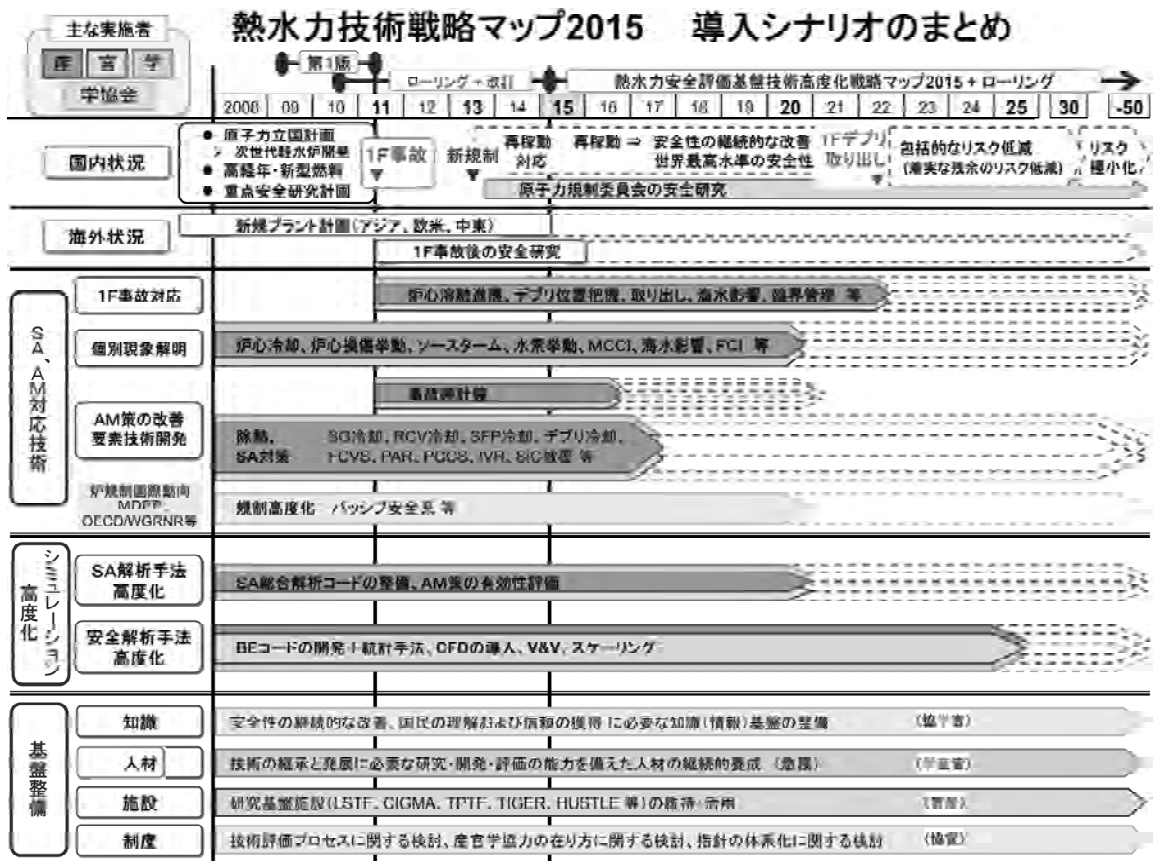
### 1. 改訂の考え方

1F事故の反省と教訓を基に、深層防護を考慮した包括的なリスク低減策により、国内の原子力発電所が世界最高水準の安全性を有するだけでなく、安全性の継続的な改善(リスクの継続的低減)を目指すことや、SAが規制要件化された新規制基準、それらの実現に必要な基礎基盤研究・開発を考慮して技術課題を検討した。

時間軸(マイルストーン)では、再稼働など新規制基準への対応を中心とする即時対応の課題、安全性の向上につながる新技術、継続的な安全性向上に向けた設計改良や定期的安全評価、国産安全評価手法の開発、1F廃炉ロードマップ(デブリ取出し等)の考慮、新型軽水炉の新



第1図 抽出した技術課題



第2図 熱水力技術戦略マップ2015版

技術の安全向上への反映等が考慮された。

人材育成に関しては研究・開発系に求められる条件を念頭に、ニーズとシーズのマッチングを意識して技術課題毎に関連の現象等をなるべく詳しく示した。

外的事象(人為を含む)については、主な事象の最新知見を1F事故の教訓に基づく技術課題との連関と共に整理した。更に、他学会との協力も図って広く最新の研究成果を取り入れ、さらなる安全向上の視点を持って積極



的に取り組む課題に位置付けた。

## 2. 技術課題の整理・抽出(主に基盤技術)

次に、事故のシナリオに沿って事故現象と対策を網羅した課題整理表を1. の考え方を基に作成し、技術課題を抽出した。このとき、重大事故の現象と対策の対応を明確化しつつ安全裕度向上策(AM策)を検討し、リスクの低減効果が大きく、かつアクシデントマネジメント(AM)の有効性評価における不確かさの低減に必要なR&D要素の大きい課題を優先して抽出した(第1図)。さらに、国産安全評価コード開発が共通課題に挙げられた。

## 3. 構成

以上の検討を基に、産官学が実施ないし実施を計画する技術課題の全てを導入シナリオのまとめとしてマイルストーンと共に俯瞰表示する(第2図)と共に、技術課題毎ないし関連する複数の技術課題について達成への時系列ロードマップ(RM)を作成した。さらに、技術課題の選定の経緯や位置付け、技術の到達点、実施上の課題、成果の利用法等を整理した課題整理表、主な技術課題の内容や優先度などを詳しく説明する課題調査票を技術マップとして策定した。各課題の時系列RM、課題整理票、課題調査票の詳細は、部会HPにアップロードされた戦略マップ<sup>2)</sup>を参照されたい。(JAEA 中村 秀夫)

## Ⅲ. 個別技術課題の例

### 1. 事故時の炉心損傷防止

重大事故の防止と影響緩和のために事故状況に応じた様々な対応策が計画され、その確実な実施に向けた訓練も行われている。この対応策の立案には、重大事故時の事象推移に係る現象の精度の良い把握と、解析コードへの適切なモデル化が必要である。特に、燃料損傷防止のためには、複雑に推移する炉心内の沸騰挙動と二相水位の変化、それらに対する代替注水を目的とした減圧や注水のサブクールの影響、露出部燃料の冷却特性、代替注水に利用された海水などの成分の影響、燃料被覆管の酸化挙動、また、PWRでは蒸気発生器(SG)による冷却の効果などが重要な因子として選定された。

#### (1) 炉心の冷却と水位

BWRの「高圧・低圧注水機能失敗」シーケンスでは、スクラム後の隔離時冷却系および高圧・低圧注水系の起動失敗を想定するため、原子炉水位は低下し続ける。炉心溶融の防止のため、例えば逃し安全弁の手動操作により原子炉を急減圧し、低圧代替注水系を用いて再冠水を実施するが、精度の良い水位の把握と適切なAM策の選択が重要となる。現場で参照できる水位は、原子炉水位計によるコラプスト水位だが、炉心露出や冷却の可否を決める実際の水位は、炉心内で発生した蒸気(ボイド)を含む二相水位であり、これは計算(SAFER等の熱水力コード)で求める必要があり、AM策を実施する判断は、

事前に様々な状態を予測して作成したガイドに基づいている。

現在のガイドは、炉心損傷を防止する手順としては十分に安全性を担保するが、二相水位の予測には燃料の発熱分布、ボイド分布や注水による水温低下の影響など現状の知見には不確かな要素があることも知られている。また、低圧条件下での二相水位は炉心内の沸騰によって激しく揺動し、その揺動に随伴する液膜や液滴の効果(第3図)により冷却可能な水位(有効冷却水位)は二相水位より高い可能性もあり<sup>3)</sup>、知見の充実によって、炉心損傷の防止から緩和対策に移行するためのAM策やその実施の判断基準をより合理的に設定できる可能性がある。

#### (2) 代替注水の水中成分の影響

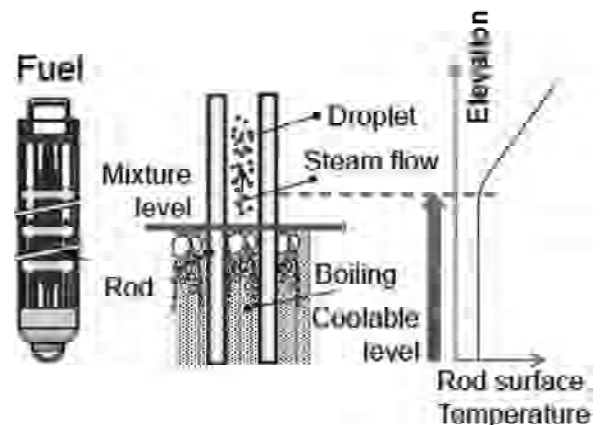
炉心の最終冷却源として海水を注入するAM策では、その有効性の確認のため、不純物の凝集などによる冷却流路の閉塞や伝熱劣化の影響を把握しておくことが重要と考えられる。さらに、再臨界防止のためにホウ酸の混入も想定されるが、それら各種の成分や相互の影響についても詳しい知見を得ておくことが必要と考えられる。

#### (3) 使用済み燃料プール内燃料の冷却

使用済み燃料を保管している燃料プールにおける重大事故対策についても検討が進められている<sup>4)</sup>。プール水冷却の機能喪失による蒸発の継続やプール水の減少については、スプレイ注水などの対策が行われるが、炉心とは異なる空気環境における過渡事象となるため、ジルコニウムの酸化や露出時の燃焼の特性、またスプレイ冷却の効果などについて知見を充実させることで、安全評価における信頼性の向上につながると考えられる。

#### (4) まとめ

以上を時系列RMに整理した。継続的安全性向上のため、精力的な研究推進が期待される。(電中研 西 義久)



第3図 燃料ピン冷却の概念

## 2. PWRのSG2次冷却系を用いた除熱の有効性実証

PWRにおいては、事故時にSGにより1次系を除熱することで、冷却材を失うことなく炉心の崩壊熱を格納容器外に放出できる。また、冷却材喪失事故(LOCA)時にも1次系を減圧して漏えい量の減少を図り、低圧の注入設備による注水をも促進できるため、最も重要なAM策の一つになっている。これまでもシステム試験によりSGを用いた除熱の有効性が示されているが、種々のシナリオに十分対応するためのデータとしては不十分であり、AM策の有効性実証、評価手法検証のデータベース拡充のために更なるシステム試験による実証が必要である。

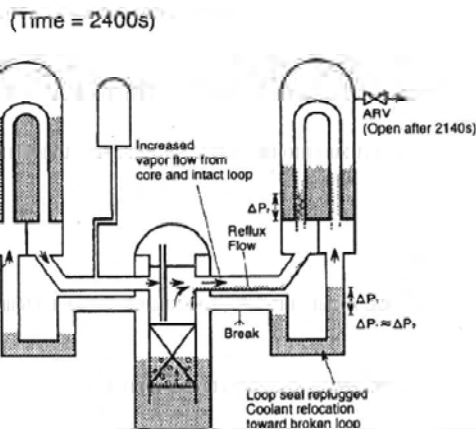
### (1) 今までの研究と検討課題

代表的な研究としてJAEAのROSA-V計画LSTF試験とRELAP5による解析的検討がある<sup>5)</sup>。そこでは、低温側配管流路面積に対する破断サイズを1%程度、さらに高圧注入系不作動を想定してSG2次系冷却を実施した試験を行い、解析により破断サイズ(0.5%~2.5%)と2次系減圧速度並びに減圧開始時期との相関を調べている。この解析的検討では、減圧開始が遅れると被覆管最高温度(PCT)が規制基準を上回る恐れが出され、破断サイズが大きくなると1次系冷却材の減少が大きくなり、2次系冷却により1次系での蓄圧注入系の作動が促されても、その冷却効果が現れるのが遅れる場合が指摘された。

他にも、早く減圧を開始する場合は崩壊熱レベルが高く炉心での発生蒸気量も多いため、SG伝熱管内により多くの凝縮水が蓄水され、炉心水位を押し下げる可能性もある。ループ毎の冷却の違いの影響に関してはLSTF試験による検討があり、2ループの片側だけ冷却すると冷却SGの伝熱管内に蓄水が多くなり、炉心水位を押し下げた(第4図)との報告がされている<sup>6)</sup>。

### (2) 新たな取り組み例

破断サイズは0.5%と小さいものの、蓄圧注入タンク内のカバーガスが1次系内に流出した場合のSG2次系



第4図 減圧期間における1次系内及び2次系内の蓄水分布<sup>6)</sup>

冷却への影響評価がOECD/NEA ROSA Project<sup>7)</sup>から報告されている<sup>8)</sup>。不凝縮性ガスのSG伝熱管への流入によって1次系の減圧速度は低下するが、自然循環による炉心冷却は継続した。実験結果に基づいてSG伝熱管での非一様流れ(ガス蓄積停滞管と流動管の混在)が自然循環継続の理由と説明され、安全評価上の重要な知見と考えられる。

近年、ROSA/LSTFを使ったSG2次系冷却に係る試験とRELAP系コードの適用性評価が進められている<sup>9)</sup>。破断後比較的早期の2次系減圧や、破断サイズの大きな条件も含まれ、これまでに十分ではなかったパラメータ範囲での知見が増えるものと期待できる。例えば、ループ間アンバランス(2ループの内、片側の冷却能力を半減)の条件では、冷却劣化ループのループシールが早期にクリアされてPCTが低下するなど、好ましい結果が報告されている。前述した特定ループだけ冷却した場合<sup>6)</sup>とは逆の傾向であり、最適評価手法の適用性を調べる貴重なデータベースと考えられる。

### (3) まとめ

主な検討課題を整理して時系列RMを策定した。実機評価の不確かさを削減するための課題であり、今後の試験データの蓄積と評価手法の検証・改良の進捗状況を熱流動部会に注視していく必要がある。(MHI NS エンジ 梅澤 成光, MHI 大貫 晃)

## 3. 圧力容器の健全性

### (1) 炉心損傷、圧力容器損傷挙動

炉心の冷却機能喪失に伴って発生する炉心の損傷・溶融挙動は、重大事故の進展における大きな影響因子の一つである。このとき炉心溶融物は、炉内構造物との熱的な相互作用を伴いつつ下方に移行し、圧力容器下部プレナムに落下すると考えられる。この場合、圧力容器の健全性が維持できても圧力容器貫通部等が損傷される可能性があり、炉外事象への進展の観点でも大きく影響する。以下のような個別現象に関しては、依然技術的な課題が残されている。

#### ① 炉心溶融・移行挙動

- ・主要な炉心構成物質の相互作用に関する実験データ(反応速度、共晶や溶解)は整備されているが、多成分系のデータは限定的である。
- ・溶融炉心の移行挙動に関し、関連する現象(キャンドリング、クラスト形成や破損、流路閉塞等)に係わる素過程の十分な解明には至っていない。
- ・BWR体系での知見、例えば燃料支持金具や制御棒案内管が溶融炉心の保持特性や破損条件に及ぼす影響は限られている。
- ・溶融炉心の下部プレナム内落下挙動や下部ヘッド上への堆積挙動について知見が少ない。

#### ② 圧力容器損傷挙動

- ・圧力容器下部ヘッダの破損の発生条件や貫通孔面積について、特にBWR下部ヘッダ貫通部の損傷挙動等に関する知見は非常に限られている。
- ・ペネトレーション内への溶融炉心の流入やそれに伴う破損に関して試験は少ない。

### ③ 炉内注水、海水の影響

- ・急冷(冠水)時における損傷炉心の挙動(燃料崩壊、クラック破損等)や水素発生に関して知見が少ない。
- ・不純物を含む海水の影響について、伝熱特性や沸騰濃縮による流路閉塞の可能性等、知見は限られている。

#### (2) 圧力容器外部冠水冷却

AM策や一部の新型軽水炉では、事故時に圧力容器を水没させ、外部冷却によって下部ヘッダに落下した炉心溶融物を冷却・保持するIVR(In-Vessel Retention)概念を採用しているが、以下の課題が挙げられる。

- ・ナノフルイドを用いた限界熱流束の向上が研究されているが、限界熱流束は容器外部流路の形状や溶融炉心からの熱流束にも依存する。
- ・IVRの確度向上には、圧力容器外面の冷却性・限界熱流束等についてのさらなる知見拡充が必要である。

#### (3) 技術課題への取組み状況

##### ① 炉心損傷、圧力容器損傷挙動

上記課題への取組みとして、経済産業省のプロジェクト「過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握」<sup>10)</sup>が開始され、MAAPやSAMPSONコードを対象に、BWR特有の構造に起因した溶融炉心の移行挙動等を含むコードの改良・高度化が図られている。さらに、事象進展挙動に関するOECD/NEA国際ベンチマーク解析プロジェクトBSAF(Benchmarks Study of the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station)<sup>11)</sup>のほか、海水が炉心部の熱水力挙動に与える影響に関する基礎試験や、実機サイズの圧力容器貫通管溶融試験が進められている。

##### ② 圧力容器外部冠水冷却

経済産業省のプロジェクトとして「発電用原子炉等安全対策高度化技術開発 炉心溶融デブリ対策(IVR)に関する研究」が実施されている。圧力容器外表面での冷却性に影響する傾斜角度を変更できる試験体を用いて、幅広いプラント条件に適用可能な限界熱流束データの取得が開始<sup>12)</sup>されている。

#### (4) まとめ

主な技術課題を成果の反映先等と共にまとめた時系列RMを策定した。各種の取組みで得られる知見に加え、さらなるデータベースの拡充やモデル高度化を進め、最終的には重大事故解析コードの整備につなげることが期待される。(日立GE 藤井 正)

## 4. 格納容器の健全性

重大事故が格納容器内まで進展した段階において重要な溶融炉心冷却と格納容器除熱に関する安全性向上策と

技術課題について述べる。なお、戦略マップ<sup>2)</sup>では格納容器に関連した安全向上策に関わる技術課題として、水素やFPの挙動についても整理を行っている。

#### (1) 溶融炉心冷却

##### ① 現象の知見と安全性向上策

溶融炉心が原子炉容器を貫通し格納容器床面に落下した場合のコンクリート浸食や注水による溶融物の冷却性について、種々の試験が実施され、溶融物の組成、コンクリートの種類、注水の有無等の影響が調べられてきた。

安全性向上策としては格納容器下部注水等が行われるが、溶融炉心上へ注水するTop Floodingを行う場合、特に注水が遅れた場合などの溶融炉心の冷却性は不確かさが依然として大きい。この対策として、事前に水張りを行う手順が提案されており、溶融炉心は落下時に水中で粒子化し、水が浸入しクエンチされ易い粒子状ベッドとして堆積するため、冷却性が高まる効果が期待される。

また、Top Floodingのみによる溶融炉心冷却には不確かさが残ることから、格納容器底部にコアキャッチャを設け、落下した溶融炉心を受け止めて冷却保持し、溶融炉心とコンクリートが直接接しないようにする方策が、新型炉を中心に検討されている。

##### ② 技術課題と解決により期待される成果

溶融炉心の冷却性に影響を及ぼす現象としては、その水中でのブレイクアップ、粒子状デブリベッドの伝熱特性、突沸的な溶融燃料冷却材相互作用(FCI)発生の有無等が挙げられる。早期注水の有効性に関する知見が拡充されれば、格納容器の健全性保持に係る信頼度向上や手順の最適化等への活用が期待される。

コアキャッチャを設置する場合の課題としては、溶融炉心の落下時や堆積時の構造材(耐熱材)との相互作用や、冷却時の伝熱流動、構造健全性が挙げられる。耐熱材に関するデータベースは得られつつある<sup>13)</sup>が、既設炉では設置スペース等の制約もあり、形状の工夫や簡素化等は今後の課題である。

溶融物の冷却に係る伝熱流動や耐熱材の物性に関するモデルの開発や検証・高度化と解析コードの整備も、設計や手順の最適化を通じて安全性向上に寄与する。

#### (2) 格納容器過圧・過温の抑制

##### ① 現象の知見と安全性向上策

重大事故時の安全性向上策として、PWRでは格納容器再循環ユニット、BWRではドライウェルクーラー等の常用熱交換器に通水して気相部の自然対流による除熱を行い、圧力・温度の上昇を抑制する方策が整備されている。非凝縮性ガス存在下での凝縮熱伝達や自然循環を伴う除熱性能が、試験及びその解析によって確認されている。

一方、新型炉では動的駆動源に依存せず除熱する静的格納容器冷却系として、専用のコンデンサ冷却や壁面冷

却等の方式が検討されている。

## ② 技術課題と解決により期待される成果

再循環ユニットについては、非凝縮性ガス濃度の影響に係るデータ拡充が望まれる。クーラーの型式依存性や新設計の導入に際しては、その性能の確認が必要である。静的格納容器冷却系(PCCS)の除熱性能は格納容器全体挙動と連成して変化するため、対象プラントの設計に対応したシステム総合挙動試験による実証<sup>14)</sup>やそのデータによる解析コードの検証が必要である。

PCCSの導入は、新たな重量物となる格納容器外の水プールのレイアウトや建家の耐震性確保などの考慮も必要のため、新型炉からになると考えられるが、解析コードの精度向上等を通じて既設炉のクーラー設計の検討や改善にもフィードバック可能である。

さらに、1F事故の知見を反映して、過温による格納容器漏えいを防止するため、シール材等の非金属部の冷却手段の整備や耐熱性の高い材料の適用も検討されている。格納容器の閉じ込め機能のさらなる向上や手順の最適化により、環境へのFP放出を可能な限り低減することが期待される。

### (3) まとめ

重大事故時の格納容器健全性向上に関わる技術課題を整理し、時系列RMを策定した。今後、継続的に更新を行い、産官学、規制側の連携ツールとしての活用を図る。(東芝 及川 弘秀, 新井 健司)

## IV. まとめ

原子力学会 熱流動部会によってH27年3月に策定された熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015(改訂版)について、経緯、考え方、技術課題の抽出法、構成を4件の個別技術課題を例として解説した。熱流動部会は新たにWGを設置し、各課題の進捗と社会情勢やニーズの変化に伴う改訂(ローリング)を進めつつ、技術戦略マップの産官学による具体的活用を学会内外との交流を含めて積極的に支援し、安全性の継続的向上に貢献していく計画である。

### — 参考資料 —

- 阿部ら,「軽水炉のシビアアクシデントに係わる課題の分析・評価について」2013年秋の大会, TN09, 熱流動部会セッション, 八戸工業大学.
- 日本原子力学会 熱流動部会 HP  
<http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-WG/TH-WG.pdf>
- Arai T. et al., NURETH-16, 7312-7322(2015).
- 西村, 他 3名, 「使用済燃料プールの事故時冷却評価-MAAPコードを用いた冷却機能及び冷却材喪失事故解析-」, 電力中央研究所研究報告 L12007, 2013.
- Asaka H. et al., J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 35, No. 12, 905-915(1998).
- 浅香英明, 安濃田良成, 混相流 17 巻 2 号 116-125(2003).
- OECD/NEA, NEA/CSNI/R(2013) 1.
- Takeda T., et al., NTHAS6, N6P1105(2008).
- Morimoto T., et al., NUTHOS10, 1195(2014).
- 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構, 研究開発成果概要 平成 26 年度版, p16-17, 2015.
- OECD/NEA HP  
<https://www.oecd-nea.org/jointproj/bsaf.html>
- 青木, 他, 炉心溶融デブリ対策(IVR)に関する研究 (5) 限界熱流束相関式の検討, 日本原子力学会 2014 年秋の大会, J39, 2014.
- Kurita, T. et al., "Evaluation Plan for Passive Debris Cooling System and Refractory Layer," ICAPP 2014-14179.
- 山田, 他, 静的格納容器冷却系のシステム挙動試験 (3) 評価挙動の検討, 日本原子力学会 2014 年秋の大会, J24, 2014.

### 著者紹介

新井健司(あらい・けんじ)

(株)東芝

梅澤成光(うめざわ・しげみつ)

MHI NS エンジ(株)

及川弘秀(おいかわ・ひろひで)

(株)東芝

大貫晃(おおぬき・あきら)

三菱重工業(株)

中村秀夫(なかむら・ひでお)

日本原子力研究開発機構

西義久(にし・よしひさ)

電力中央研究所

藤井正(ふじい・ただし)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)

### WG および SWG の主査紹介(五十音順)

阿部豊(あべ・ゆたか)

筑波大学, シビアアクシデント SWG 主査

越塚誠一(こしづか・せいいち)

東京大学, 安全評価 SWG 主査

杉本純(すぎもと・じゅん)

京都大学, 基盤技術 SWG 主査

山口彰(やまぐち・あきら)

東京大学, WG 主査

# 地球科学の原子力安全への貢献

## (その2) 破碎物質の鉱物・化学分析と断層の活動性評価

日本原子力研究開発機構 丹羽 正和, 石丸 恒存, 島田 耕史

原子力施設の耐震安全性評価において重要な議論となるのは、敷地内やその周辺に分布する断層が近い将来活動するかどうか、あるいは活動した場合、周辺の地盤にどの程度の影響を及ぼすか、という点である。2012年9月に発足した原子力規制委員会による原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合の場では、敷地内の破碎帯が「将来活動する可能性のある断層等」に当たるかどうかについて議論がなされていることは周知の通りである。破碎帯の活動性評価とはどのようなものか。本稿では、日本原子力研究開発機構が断層の活動性評価手法の一つとして開発を進めている、破碎帯構成物質の鉱物・化学分析に関する現状について紹介する。

**KEYWORDS** : *Fault, Fracture Zone, Clay Mineral, Radiometric Dating, Quartz*

### I. はじめに

断層が近い将来活動するかどうかの推定は、その断層が過去にどのような活動を経験してきたかに基づいて行われる。過去に大きな被害をもたらしたことが歴史的に知られている断層を掘削して調査すると、断層がずらしている地層とその地層の形成年代との関係から、断層がどの程度の間隔で地層をずらしているかが分かる。また、断層を横切る山や谷のずれの量から、断層がどの程度の長きにわたって繰り返し活動しているかを知ることができる場合もある。過去数千年や数万年の間に活動している痕跡があれば、断層活動が繰り返す傾向に基づき、その断層が近い将来再び活動する可能性が否定できないと判断されるわけである。

原子力規制委員会では、後期更新世(約13~12万年前)以降の活動が否定できない断層を「将来活動する可能性のある断層等」としている。そのため、原子力施設の敷地内やその周辺に分布する断層が後期更新世やそれ以降に形成された地層をずらしていないかどうかについて調査されるわけである。しかし、現実にはそう簡単に調

査が進むわけではない。調査対象とする断層が後期更新世やそれ以降に形成された地層と接しているとは限らず、断層を被覆する地層の年代の決定が困難な場合も多い。すなわち、断層が後期更新世以降に形成された地層をずらしている、あるいはずらしていないといった決定的な証拠が得られないことがしばしばある。

断層は、「岩石の破壊によって生じた不連続面のうち、その面に平行の変位のあるもの」と定義される。つまり断層活動は変位に加え、破壊も伴う。断層では、断層面に沿って破壊されて粉々になった岩片や、割れ目が密に発達した岩石で構成される幅を持ったゾーンがしばしば観察される。これを破碎帯という。破碎帯を構成する物質の年代測定から断層が活動した時期を知り、破碎帯の性状からその断層が最近活動したかどうかを知ることができれば、断層の活動性評価の高精度化につながる。

日本原子力研究開発機構(原子力機構)では、破碎帯を構成する物質の鉱物・化学的分析に関する研究を実施している。破碎帯は周辺岩盤に対し透水性を大きく変化させる要因となるので、それらの研究は、地層処分への安全評価にとっても重要となるが、本稿では、断層の活動性評価への貢献という観点から、それら研究内容の一部を紹介する。

### II. 破碎帯に存在する粘土鉱物の年代測定

破碎帯には、周囲の岩石が破壊されてできた岩片や鉱物(碎屑鉱物)に加え、破壊に伴う化学反応(水-岩石反

*Contribution of geoscience to nuclear safety: (No. 2) Mineralogical and geochemical analysis of faulted material for fault activity assessment*: Masakazu Niwa, Tsuneari Ishimaru, Koji Shimada.

(2015年10月30日 受理)

■前回のタイトル

(その1)地球科学からみた地殻流体と地層処分技術への応用

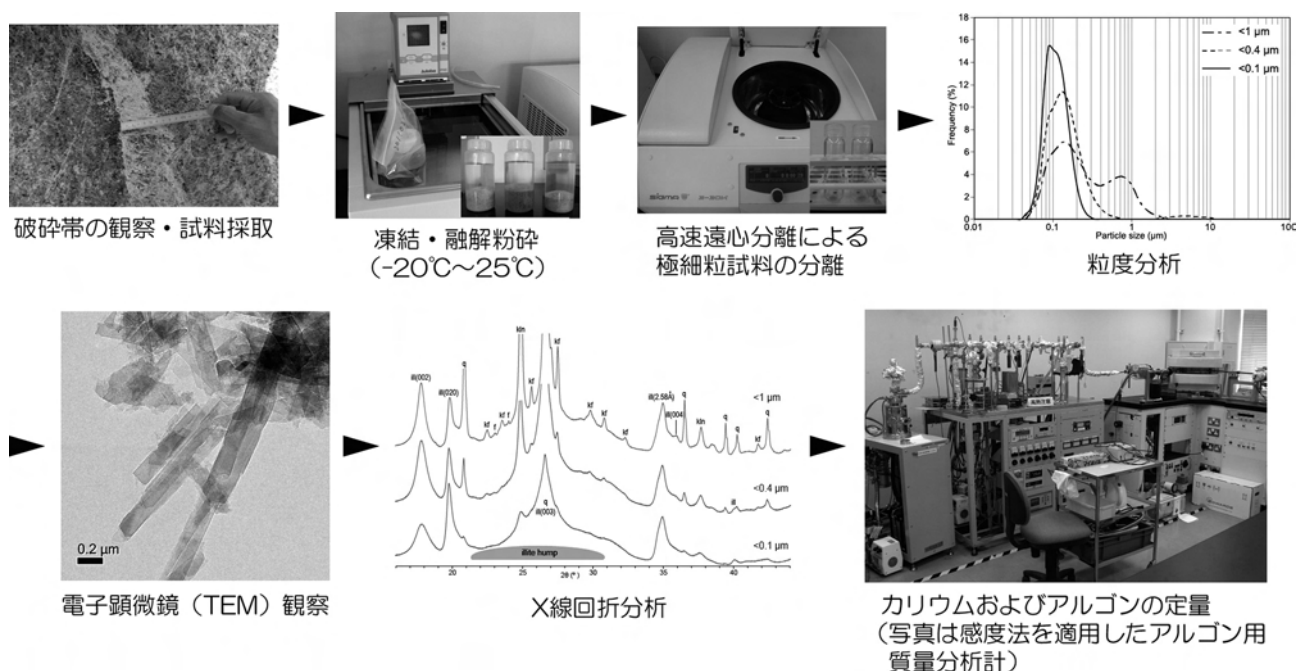
応)によってできた鉱物が存在する。破碎帯に存在する鉱物の種類は、周囲の岩盤の種類や断層の形成環境(温度や圧力など)によってある程度の違いはあるが、日本列島で見られる多くの破碎帯(原子力発電所敷地内の調査で見られる多くの破碎帯も含む)に存在する鉱物は、石英や長石類などの碎屑鉱物と、水-岩石反応でできたスメクタイト、イライト、カオリナイトなどの粘土鉱物とからなる。断層活動による水-岩石反応のメカニズムは複雑である。割れ目の発達による水みちの形成、破壊・細粒化による鉱物と水が接する表面積の増加、破壊によってケイ酸塩鉱物の共有結合が切れることに起因するラジカル反応、断層すべりによる摩擦熱の発生、断層に沿った地下深部からの熱水の上昇などが大きく関与している。

鉱物が形成した年代を推定する手法の代表的なものとして、放射年代測定がある。岩石や鉱物などに含まれる放射性元素の壊変に基づき、年代を計算する手法である。粘土鉱物のうちイライトはカリウムを含むため、カリウムの放射性同位元素 $^{40}\text{K}$ が電子捕獲して $^{40}\text{Ar}$ になる壊変を利用したK-Ar年代測定が適用できる。イライトは層状の結晶構造を持ち、カリウムは層と層の間に含まれるが、類似した結晶構造を持つスメクタイトなどに比べ、層間の電気的な結びつきが強いので、層間のカリウムやカリウムが壊変してできたアルゴンは鉱物中に安定に保持される(例えば<sup>1)</sup>)。またアルゴンは希ガスであるので、通常的环境下では、鉱物形成時にイライトに過剰に取り込まれる可能性はほとんどない。したがってイライト中に含まれるアルゴンのすべては $^{40}\text{K}$ からの壊変で生成したものとみなすことができ、イライト中のカリウムとアルゴンの定量値から計算したK-Ar年代は、その

ままイライトの形成年代とみなすことができる。

イライトの形成年代から断層の活動時期を推定する試みは、1970年代以降国内外で複数試みられている。断層活動によって形成されるイライトは碎屑鉱物と比べて非常に細粒であるので、破碎物質から細粒の鉱物のみを分離して分析する必要がある。従来の研究では、この細粒鉱物を分離する過程に問題があり、断層の活動時期を適切に評価できるK-Ar年代が得られなかった例が多くあった。その点を踏まえ原子力機構では、1)粗粒な碎屑鉱物(特に、イライトと同じくカリウムを含むカリ長石など)の物理的な破壊による混入を防ぐため、凍結・融解の繰り返しに伴う鉱物粒子間の緩みを利用した鉱物分離、2)分離した試料から数万回転/分の性能を持つ高速遠心分離機を活用して $0.1\ \mu\text{m}$ 未満の細粒の鉱物を濃集、を行い、イライトを含む細粒物質の高精度の分離を実現した。さらに、粒度分析、X線回折分析(鉱物組成の非破壊分析)および電子顕微鏡観察により、極細粒のイライトが確実に分離されているか確認するノウハウの構築も行った。

カリウムの定量は炎光光度法などにより、アルゴンの定量は質量分析計により行われる。K-Ar年代測定におけるアルゴンの定量方法としては、同位体比が既知の標準物質を一定量加えて同位体比からアルゴンの定量を行う「同位体希釈法」と、アルゴン量と質量分析計の電流値との関係からアルゴンを定量する「感度法」とがある<sup>2)</sup>。K-Ar年代測定を実施している施設の多くは、同位体希釈法を採用している。原子力機構の質量分析計では、数百万年から数万年前の地質学的に若い(地層処分安全評価や原子力施設の耐震安全性評価にとっては重要な時間スケールである)年代の試料に対しての測定に有利な



第1図 土岐地球年代学研究所における破碎物質のK-Ar年代測定の流れ

感度法を採用した。

以上の一連の分析システム(第1図)は、岐阜県土岐市にある原子力機構土岐地球年代学研究所において実施できるような装置が整備されている。これらの装置を用いて高速増殖原型炉もんじゅの敷地内破碎帯についてこの手法でK-Ar年代測定を適用し、破碎帯に存在するイライトが約4千4百万年前という非常に古い時代に形成されたものであることを明らかにした<sup>3)</sup>。また、瑞浪超深地層研究所の立坑内の花崗岩中に観察される断層(被覆層との関係から1千万年以上前に活動を終えたことが分かっている古い断層)についても同様の手法を適用した。ここでもイライトは約4千3百万年前という古い時代の形成であることが明らかとなった<sup>4)</sup>。

一方、最近活動したことが分かっている新しい断層(活断層)に対しイライトのK-Ar年代測定を適用するとどうなるか。まず、破碎物質の詳細なX線回折分析を行ったところ、活断層の破碎帯に存在するイライトの割合が非常に少ない、あるいはほとんど存在しないケースが多いことが分かってきた。さらにイライトの含有割合が少ないことが分かっても、多くの試料から丁寧に0.1 μm未満の細粒の鉱物を分離・濃集させてK-Ar年代測定を行うと、年代値は地表地質調査で判明している活断層の活動時期よりも大幅に古い年代を示す。例えば、1596年の慶長伏見地震で活動した記録のある兵庫県六甲断層の破碎帯に対して同様の手法でK-Ar年代測定を実施した結果、年代値は2千万年より古い年代を示した<sup>5)</sup>。つまり、活断層の破碎帯に存在するイライトも、多くは地質学的に古い時代の断層活動によってできたものであり、K-Ar年代値をそのまま活断層の活動年代とすることはできない。ただしそれでも、周囲の花崗岩中の割れ目を充填する粘土が示すK-Ar年代(約6千万年~6千5百万年前)よりは有意に新しいため、六甲断層が周囲の割れ目とは異なり、地質時代を通じて繰り返し活動してきた断層であることは示唆される。

断層活動でイライトの形成反応が進行するためには、通常はある程度の温度上昇が必要となる。地表付近の深度では十分な温度上昇が起きていない、あるいは温度上昇が持続しないため、イライト形成反応が一般的には起こりにくいと考えられる。深度1 kmを超えるような深いボーリングを行って地下深部の試料を採取して分析すれば、より最近の年代の断層活動を検知できるかもしれない。地層処分における概要調査や精密調査の場面では、そのようなことを検討するケースも予想される。また、調査範囲の複数の断層や割れ目にK-Ar年代測定を適用し、ある断層だけ相対的に有意に若い年代が検出された場合、その断層だけは他の断層や割れ目と異なり、いったん活動を終えた後しばらく経過してから活動を再開したことがある、と言える。そのような断層に対しては、得られた年代値によっては将来も再活動する可能性

をある程度考慮して評価する、という適用方法も考えられる。

一方、スメクタイトやカオリナイトは、イライトよりも低い温度条件、常温に近い温度でも形成され得るので、地表付近での断層活動の痕跡を残している可能性がある。しかし、通常のカオリナイトには放射年代測定に適用できるような放射性同位元素が含まれない。スメクタイトは層間の電気的な結びつきが弱いので、カリウムなど層間に含まれる元素が安定に保持されず、断層の活動時期を適切に評価できる放射年代を得ることが現状では困難である。なお、粘土鉱物でなくても、断層や割れ目ができた後、その隙間を埋める(沈殿する)鉱物があれば、その年代測定を行うことにより、断層や割れ目の形成時期を推定できる可能性がある。土岐地球年代学研究所では、開口した断層や割れ目に沈殿する代表的な鉱物の一つである方解石を用いた放射年代測定手法の開発<sup>6)</sup>も進めている。

### III. 破碎物質を用いた断層の活動性評価の試み

断層の活動年代測定手法の開発は、基礎研究として引き続き重要な課題である。ただし、活動年代値が得られなくても、断層が数十万年以前から現在まで活動していなかったかが分かるだけでも、原子力施設の耐震安全性評価を含む防災分野全般にとっては非常に重要な情報となる。例えば、前述のスメクタイトは、放射年代測定に用いることは困難であっても、その物理・化学的性質を調べることで、最近の活動で形成されたのかどうかを知ることができる場合がある。

鉱物と水との反応における安定同位体比の変動(同位体分別)の中には、実験的研究によって定式化されているものがある。スメクタイトと水との酸素同位体比の分別についても計算式が提示されており、スメクタイトと水のそれぞれの酸素同位体比に基づき、スメクタイトが形成された時の温度を推定することができる。そこで、岐阜県の活断層である阿寺断層の破碎物質と、破碎帯から離れた地点における割れ目充填物質、および周辺の地質断層(活断層ではない古い断層)の破碎物質とでスメクタイトに富む細粒部分の酸素の安定同位体比の比較を行った。その結果、阿寺断層の破碎物質についてのみ、現在の天水との常温での水-岩石反応でスメクタイトの形成が説明できることが明らかとなった<sup>7)</sup>(第2図および第1表)。それ以外の試料については、常温よりもかなり高い温度での反応か、現在の天水とは大きく異なる酸素同位体比を持つ水との反応でないとスメクタイトの形成が説明できない。いずれにしてもスメクタイトが数十万年前以降の地質学的に新しい時代に形成されたとは考えにくいであろう。ただし、スメクタイトの形成には断層活動以外にも熱水活動や風化といった様々な要因が

考えられるため、分析手法や解釈については今後さらに詳しく検討する必要がある。

粘土鉱物とは別に、破碎帯中の碎屑鉱物を用いた断層の活動性評価手法の開発も進めている。石英は、多くの種類の岩石に普遍的に含まれる鉱物で、化学組成もシンプルであり、かつ地表付近では通常は物理・化学的に比較的安定に存在する。そこで、石英の物理・化学的特徴の違いから破碎帯が地質学的に新しい時代に断層活動を経験しているかどうかを評価する試みを進めている。

Kanaori et al. (1985)<sup>8)</sup>などは破碎帯中の石英粒子の表面構造観察に基づき、石英の化学的腐食の程度が断層の活動時期と対応している可能性を見出した。最近活動したばかりの活断層の場合は、光沢のある新鮮な破断面を持つ石英粒子を主体とし、長く活動していない地質断層の場合は化学的腐食が進んで表面の細かい凹凸が著しい石英粒子を主体とする(第3図)。しかし近年は、試料処理の煩雑さなどの理由からか、国内外ともにこのような研究が精力的に進められることは無かった。

原子力機構では、前述のK-Ar年代測定技術の開発で構築してきた凍結・融解の繰り返しによる鉱物分離など



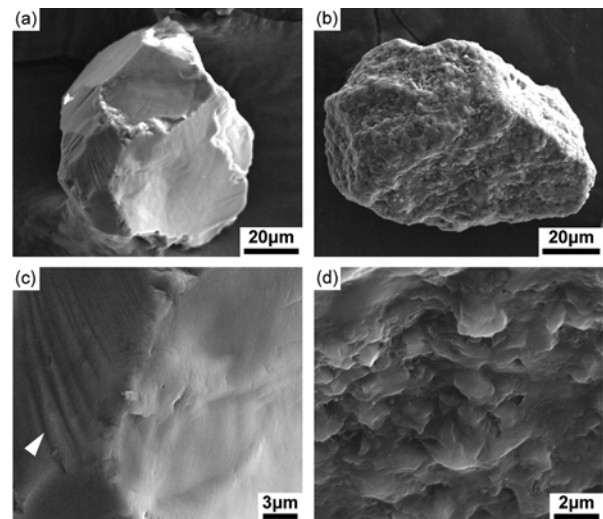
第2図 活断層(阿寺断層)と地質断層(若柘断層, 鞍掛峠断層)の分布, およびスメクタイトの酸素同位体比分析地点

第1表 スメクタイトの酸素同位体比測定結果

地点	酸素同位体比 (V-SMOW) $\delta^{18}\text{O}$ ‰	推定温度 ℃
A(若柘断層)	7.8	77
B(鞍掛峠断層)	3.9	115
C(阿寺断層破碎帯より外側の割れ目)	6.5	91
D(阿寺断層)	17.9	16
E(阿寺断層)	16.9	21

破碎物質から $< 2\mu\text{m}$ の細粒部を分離してスメクタイトを濃集させて分析。調査地域の現在の天水の酸素同位体比でスメクタイトが形成される推定温度を計算。灰色表示は活断層試料。

の前処理手法を応用して、破碎帯や割れ目充填物質から $20\sim 75\mu\text{m}$ 径の石英粒子を抽出し、土岐地球年代学研究所の走査型電子顕微鏡(JEOL JXA-8530F)で表面の特徴の違いを観察した。活断層の事例として兵庫県の五助橋断層および福井県の白木-丹生断層の破碎物質と、非活断層の事例として福井県の江若花崗岩と広島県の広島花崗岩中の地質断層、割れ目充填物質とで、それぞれ200粒子以上の観察を複数試料で行い、統計的に整理した。その結果、活断層の破碎帯では新鮮な破断面を持つ石英粒子が圧倒的多数を占める一方、表面の凹凸が著しい石英粒子はほとんど存在しない傾向が明らかとなった<sup>9)</sup>(第2表)。断層活動に伴う破碎により、新鮮な破断面を持つ石英粒子が多量に供給されることが期待されることから、そのような石英粒子の量比の計測が、最近の断層活動の有無を推定する一助となる可能性がある。最近に断層活動を経験していない試料でも、試料処理中に風化などに起因する既存のマイクロクラックから新鮮な破断面を持つ石英粒子が分離される可能性があるが、化



第3図 石英粒子の走査型電子顕微鏡写真

(a) 新鮮な破断面を持つ石英粒子。(b) 表面の凹凸が著しい石英粒子。(c) (a)の拡大。脆性的な破断面に特徴的な羽毛状の溝が残存(白矢印)。(d) (b)の拡大。

第2表 石英粒子の表面構造の計測結果

試料	A	B
五助橋断層(兵庫県の活断層)	65.6%	2.9%
白木-丹生断層(福井県の活断層)	70.5%	0.9%
江若花崗岩中の地質断層	35.3%	19.4%
江若花崗岩中の割れ目	31.8%	31.2%
広島花崗岩中の地質断層	23.9%	31.1%
広島花崗岩中の割れ目	26.4%	27.7%

A=(新鮮な破断面を持つ石英粒子)/(石英粒子総数)×100

B=(表面の凹凸が著しい石英粒子)/(石英粒子総数)×100

※中間的な表面構造を持つ石英粒子が存在するため、A+B=100(%)とはならない。灰色表示は活断層試料。



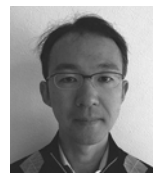
学的腐食の進んだ古い石英粒子の割合との比較から、活断層破砕帯中の試料とは区別できると考えられる。原子力機構ではさらに客観的・定量的な評価ができることを目指し、石英の電子スピン共鳴(ESR)信号の測定や、カソードルミネッセンス(CL)の像の観察および発光波長の測定などによる、活断層と非活断層の識別に関する検討を進めているところである。

石英は地質学的に長い時間スケールであれば前述の化学的腐食のような粒子表面と水との反応が認められるので、表面からの水和の進行の程度から、破壊により石英粒子が形成されてから現在までの経過時間、ひいては、断層の活動年代の推定ができるかもしれない。石英よりも化学的に不安定なガラスについては、考古学の分野で、黒曜石でできた石器の水和層の厚さに基づく年代測定手法が検討されている<sup>10)</sup>など。地質学の分野でも、火山ガラスの水和層の厚さが、火山の噴火時期と良く対応していることが分かってきている。石英の水和層は極めて微小で、その把握はガラスほど簡単ではないが、断層の活動年代測定手法の開発の観点から、検討していくべき内容の一つであると考えている。

#### — 参考資料 —

- 1) N.Clauer, The K-Ar and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar methods revisited for dating fine-grained K-bearing clay minerals, *Chem. Geol.*, 354, 163-185 (2013).
- 2) 兼岡一郎, 年代測定概論, 東京大学出版会 (1998).
- 3) 日本原子力研究開発機構, 高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の追加地質調査報告書 (2013).
- 4) S.Yamasaki *et al.*, Constraining the timing of brittle deformation and faulting in the Toki granite, central Japan, *Chem. Geol.*, 351, 168-174 (2013).
- 5) 安江健一ほか, 地質環境の長期安定性に関する研究 年度報告書(平成 24 年度), JAEA-Research 2013-047 (2013).
- 6) 日本原子力研究開発機構, 平成 26 年度地層処分技術調査等事業 地質環境長期安定性評価確証技術開発 報告書 (2015).
- 7) M.Niwa *et al.*, Changes in chemical composition caused by water-rock interactions across a strike-slip fault zone: case study of the Atera Fault, Central Japan, *Geofluids*, 15, 387-409 (2015).
- 8) Y.Kanaori *et al.*, Further studies on the use of quartz grains from fault gouges to establish the age of faulting, *Engin. Geol.*, 21, 175-194 (1985).
- 9) M.Niwa *et al.*, Difference of microscopic texture between fault gouges and hydrothermal clay veins, *Geol.Soc.Amer. Abst.Progr.*, 45, 828 (2013).
- 10) I.Liritzis and N.Laskaris, Advances in obsidian hydration dating by secondary ion mass spectrometry: World examples, *Nuc.Inst.Met.Phys.Res.B*, 267, 144-150 (2009).

#### 著者紹介



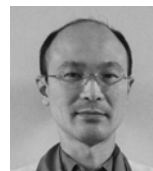
丹羽正和(にわ・まさかず)

日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター  
(専門分野/関心分野)地質学/構造地質, 水理地質, 応用地質



石丸恒存(いしまる・つねあり)

日本原子力研究開発機構 もんじゅ運営計画・研究開発センター  
(専門分野/関心分野)地質学/応用地質



島田耕史(しまだ・こうじ)

日本原子力研究開発機構 もんじゅ運営計画・研究開発センター  
(専門分野/関心分野)構造地質学/断層の活動性評価

# 原子力損害賠償制度再構築への視点

## 第2回 普遍的，恒久的制度としての検討

慶應義塾大学 遠藤 典子

日本の原子力損害賠償制度を2つの視点から検討する。第1回では，東京電力福島第一原子力発電所事故の損害賠償に際して，原子力損害の賠償に関する法律(以下，原賠法)を補うべく，政府が原子力損害賠償・廃炉等支援機構法(以下，支援機構法)を制定した政策目的と政策形成過程について述べた。第2回となる本論では，小売全面自由化や発送電分離といった電力システム改革をはじめとするエネルギー政策との整合性に注目し，国内原子力発電所の過酷事故を想定した普遍的かつ恒久的制度として検討を行う。それはまさしく，支援機構法の附則6条にある，国と原子力事業者との負担のあり方についての再検討である。

**KEYWORDS** : *Nuclear Damage Compensation Scheme, Unlimited Liability, Electricity Liberalization*

### I. はじめに

日本の原子力損害賠償制度は，1961年に制定された原賠法を柱として規定されている。そこでは，原子力事業者の損害賠償責任に上限(限度額)を設定せず，無限責任を課す一方で，破局的原子力事故によって被害者に対する損害賠償総額が予め確保された損害賠償措置額を超えた場合，国家はその差額分を「援助」することが規定されている。だが「援助」には国の裁量の余地があり，原子力事業者と国の負担のあり方は予め定められてはいない。

したがって，福島第一発電所事故に際し，政府は新たに支援機構法を制定，東京電力が被害者に対して，当初3～5兆円(除染を含む)と想定された巨額の賠償を迅速に行うために，政府は原子力損害賠償支援機構(現原子力損害賠償・廃炉等支援機構，以下，支援機構)に対して交付国債による資金交付を行い，東京電力は支援機構から資金援助を受け，被害者に対する損害賠償を行うこととした。政府が支援機構を介して東京電力に対して間接的資金援助を行うスキームを構築したのである。

このように政府は，従来の原賠法に加えて原子力損害

賠償制度を二層化することで，上記の国の関与の曖昧さの問題に対処することとしたのだった。

第1回では，支援機構法制定に関わる政策意図と政策形成過程について，検討した。第2回となる本論では，福島第一発電所事故の賠償に対する政府支援のあり方の検討を超え，小売全面自由化や発送電分離といった電力システム改革をはじめとするエネルギー政策との整合性に注目し，国内原子力発電所の過酷事故を想定した普遍的かつ恒久的制度として検討を行う。

### II. 東京電力による損害賠償の動向

東京電力は福島第一発電所事故の被害者に対し，累計で5兆5869億円の損害賠償金(仮払補償金含む)を支払った(2015年10月23日時点)。また，賠償について合意済みの要賠償額は7兆753億円に達している(2015年6月末時点)。事故当初，3～5兆円と想定された賠償規模をはるかに上回る水準である。

迅速な賠償の原資として，支援機構は累計で9兆円発行された交付国債を償還し，5兆5461億円を東京電力に資金交付している(2015年9月末時点)。

3～5兆円という事故当初の想定額には除染費用も含まれていたが，7兆753億円の要賠償額には，それは含まれていない。除染については，支援機構法の成立から約2ヶ月後の8月30日に，除染特措法<sup>1)</sup>が施行され，国や地方公共団体が先行して進めることとなった。その費用について，関係原子力事業者は「請求又は求償があっ

*Prospects for reconstructing nuclear damage compensation scheme : Part Two -A Consideration on the revision aiming at universalization-* : Noriko Endo, PH.D.

(2015年11月12日 受理)

【前回のタイトル】

第1回 東京電力福島原発事故における緊急レジームの検討

たときは、速やかに支払うよう努めなければならない」(44条の<sup>2</sup>)と定められている。福島第一発電所事故の場合、環境省によって除染費用は2.5兆円と見積もられており、国と地方公共団体が実施した除染事業の費用のうち、環境省は2015年9月末までに4607億円を東京電力に請求し、そのうち3653億円について応諾されている。

要賠償額を、原子力災害対策特別措置法に基づき指定された避難区域(避難指示解除準備区域、居住制限区域、帰還困難区域)別にみると、平均合意額(4人世帯、2015年6月末時点)はそれぞれ、1億1599万円、1億1361万円、1億6138万円となっている。

2015年6月12日に閣議決定された『「原子力災害からの福島復興の加速に向けて」改定』(内閣府原子力災害対策本部)では、避難指示解除準備区域および居住制限区域の避難指示を2017年3月までに解除すること、そして解除の時期にかかわらず、2017年3月に解除すると同等の額を支払うよう、国は東京電力を指導することとした。また、営業損害、風評被害に対する賠償についても、2015年度、2016年度に国が行う自立支援に合わせて支払うよう国が東京電力を指導することとした。

福島第一発電所事故に伴う原子力損害賠償請求権については、原賠時効特例法<sup>2)</sup>により消滅時効期間が10年とされているものの、損害賠償支払いは、事故から6年後となる2017年3月までに集中して行われる見通しとなった。

### Ⅲ. 新・総合特別事業計画と国の関与

第1回に述べた通り、東京電力は支援機構から約1兆円の出資を仰ぐのに際し、支援機構とともにさらなる合理化やカンパニー制導入に踏み込んだ「総合特別事業計画」を策定、2012年5月に政府の認可を受けた。

だが、それから半年後にはすでに、損害賠償費用だけで当初想定の上回る3~5兆円をはるかに上回ることが明らかになっていた。2012年11月7日、下河辺和彦会長(当時)ら東京電力経営陣は記者会見で、被害者への損害賠償費用と除染費用の合計で10兆円に上る可能性を示し、政府による「新たな支援の枠組み」を求めた。

「総合特別事業計画」に続き策定された「新・総合特別事業計画」では、2012年12月の原子力災害対策本部の方針に則り、交付国債枠が5兆円から9兆円に拡大されると同時に、除染によって発生する廃棄物を一次保管するための中間貯蔵施設の建設費、約1.1兆円にエネルギー対策特別会計電源開発促進税を投入すること、また支援機構が1株当たり300円で3.3億株保有する東京電力株の売却益を除染費用の計画分2.5兆円に充当することなどが盛り込まれ、2014年1月に政府の認可を受けた。

それまでの支援機構スキーム(文末の附図参照)においては、損害賠償および除染については東京電力が支払いを全うし、国は資金援助を行うものの、あくまで間接的

支援に徹するという姿勢が貫かれてきた。

具体的には、東京電力が支援機構を通じて受け取った国からの援助資金については、東京電力が毎年の事業収益等を踏まえて特別負担金を、東京電力を含む原子力事業者が、相互扶助のもと原子炉の出力規模に応じた一般負担金を、それぞれ支援機構に納め、支援機構は国庫に返納することになっている。

しかし、新・総合特別事業計画では初めて、東京電力に返済義務を課さない国の実質負担を、中間貯蔵施設建設費と除染費用の一部に認めたことになる。制度的にはそれは除染を含む損害賠償負担を事後的に制限するものであるから、実質上の責任限定との見方もできる。

もっとも、単価300円で3.3億株の東京電力株式を保有する支援機構が、除染費用2.5兆円分の東京電力株式の売却益を得るためには、東京電力の平均株価は計算上、1050円まで上昇していなければならない。

## Ⅳ. 電力システム改革と原子力損害賠償制度

2013年4月に「電力システム改革に関する改革方針」が閣議決定されると、その年の11月には、広域系統運用機関(各電力会社が管轄するエリアを超えて需給調整や電力融通を行うことを担う中立的組織)の設立について、続く2014年6月には、小売業参入の全面自由化についての電気事業法改正案が成立した。さらに、電力事業者における発送電事業の垂直一貫体制も、6月17日の第3弾目となる電気事業法改正で、2020年に改められることになった。

北海道から沖縄までの10の電力会社(一般電気事業者)はこれまで、総括原価方式と地域独占を前提に、安定供給のための費用を電気料金に転嫁することで、その回収を保証されてきた。2016年4月に始まる小売全面自由化によって、この総括原価方式と地域独占は原則として失われることになる。

一連の電力システム改革は、原子力損害賠償制度にも大きな影響をもたらす。その最たるものが、沖縄電力を除く9の電力会社をはじめとする11の原子力事業者が支援機構に毎年度支払っている一般負担金についてである。

東京電力のみならず、他の原子力事業者も、過酷事故に備える共済金を福島第一発電所事故の前に遡って納付するという理解で東京電力の損害賠償に実質的に参加しており、2011年度に815億円、2012年度には合計1008億円、2013年度と2014年度にはいずれも1630億円と、4年間合計で5083億円を原子炉の出力規模に応じて支払っている。

原子力事業者は、一般負担金を総括原価方式のもと原価に組み入れ電気料金に転嫁してきたものの、小売全面自由化とともに総括原価方式が撤廃された後の代替制度

は定まっていない。また、電源構成に占める原子力依存度をできる限り低減するとする現行のエネルギー基本計画や新規制基準適用に従って廃炉が進む一方、負担金総額を維持するならば、一基当たりの負担が増大する。託送料(送電料)で回収できるなどの代替手段がない限り、原子力事業者の収益悪化を招きかねない。さらに、一般負担金総額は毎年度支援機構の運営委員会によって決定される仕組みであり、予見可能性が極めて低い状況にある。そもそも相互扶助制度は競争を前提とした自由化にそぐわないといった根本的課題もある。

ちなみに、一般負担金のうち東京電力分は約35%で、2011年度が283億円、2012年度が388億円、2013年度および2014年度が567億円であった。東京電力はこれに加え、毎年の利益のなかから特別負担金を支払うことになっており、これは電気料金に転嫁できない。2013年度に初めて500億円、2014年度は600億円を納付した。

## V. 国と事業者の賠償負担

突き詰めれば、過酷事故の損害賠償資金は、①事故原因者である原子力事業者、②①から電力供給を受ける電気利用者(受益者負担)、③①以外の原子力事業者(相互扶助)、④規制・振興を司る国、のいずれかの負担の分配に帰結する。原子力事業者には債権者、株主といったステークホルダーが存在し、国による公的資金の財源は、将来世代も含めた国民が負担する税金である。

福島第一発電所事故において、東京電力が事業収益から支払った損害賠償は特別負担金の1100億円に過ぎず、これまでに支援機構が原子力事業者から徴収した一般負担金の5083億円は、電気利用者に転嫁されたことになる。

一方、政府は支援機構に資金交付する際、交付国債の償還のために金融機関から借入れによって資金を調達しており、支援機構から資金回収が終了するまでの間、その借入残高に対する支払利息が発生する。2014年12月末までの支払利息は今後償還が到来するものも合わせ約106億円である。会計検査院は、支援機構の東京電力への資金交付額が9兆円、特別負担金を500億円/年度と仮定し、機構が保有する東京電力株の売却益が3.5兆円、2.5兆円、1.5兆円の3つのケースを想定した場合、9兆円を回収するまで21年~30年間かかり、その間国が負担する支払利息は、1032億円から1264億円に達すると試算している。これは一般会計からのエネルギー対策特別会計原子力損害賠償支援勘定への繰入金金を財源としている。

さらに、前述の通り、中間貯蔵施設費用については、すでに2014年度、2015年度予算においてそれぞれ350億円が、エネルギー対策特別会計電源開発促進勘定(電源立地交付金)に計上されている。これまでの2年を含む30年間に亘り、予算化されることになる。

これは支援機構法の68条の規定に基づく措置である。68条には、支援機構の業務が適正かつ確実に実施するために十分なものになるように負担金の額を定めた場合、電力安定供給や原子炉運転に支障が出る場合や、電力料金引き上げによって国民生活に重大な支障があると認められる場合は、政府は支援機構に対し、必要な資金を交付することができることが記されている。

また、国債の交付がなされてもなお、支援機構が資金援助に係る資金交付に不足が生じるおそれがある場合は、政府が支援機構に対し、必要な資金を交付することができることも、51条に記されている。

これら51条および68条に基づく資金交付も、一般会計からのエネルギー対策特別会計電源開発促進勘定への繰入金を財源としている。このように、原子力損害賠償の拡大とともに、その回収源は電気料金から税金へと一部移行している。もっとも、電源開発促進税は一般電気事業者が販売電力量に応じて納付するが、託送料に上乗せして回収されるため、受益者負担の考え方を逸脱するものではない。つまり、一般負担金であろうが、電源開発促進税であろうが、電気利用者の負担であることには変わりはない。ただし、電気料金の改定は経済産業省の認可事項であるのに対し、電源開発促進税の税率を引き上げるには、電源開発促進税法の改正が必要である。電気利用者に広く重い負担を強い続けることから、国会審議を経て然るべきであろう。

第1回で言及したが、支援機構スキームにおいては、資金援助を受ける東京電力の債務超過が避けられ、会社更生法適用などの法的整理も行われなかった。仮に会社更生法適用がなされていれば、ステークホルダーである株主の責任は全面的に問われていたはずであり、取引銀行など金融債権者の負担についても検討されていたはずである。しかしながら、迅速な賠償と金融市場の安定など経済社会システムに関わる複合問題の解決を政策的課題として優先した政府は、支援機構スキームという緊急レジームにより東京電力の会社更生法適用を回避したのである。

## VI. 支援機構法見直し条項とCSC

支援機構法には見直し条項(附則6条)があり、賠償法については1年を目処に、支援機構法については2年を目処に、国と事業者の負担のあり方について再検討することが明記されている。

しかしながら、2013年4月に福島第一発電所事故以降初めてとなるエネルギー基本計画が閣議決定され、2014年4月に2030年の電源構成比(エネルギーミックス)が公表されてようやく、2014年6月に原子力損害賠償制度の見直しに関する副大臣級会議が始動した。

2014年11月には、日本は原子力損害の補完的な補償に関する条約(Convention on Supplementary

Compensation for Nuclear Damage, CSC)に加盟することが国会で承認された。CSCはパリ条約(改正パリ条約を含む)、ウィーン条約(改正ウィーン条約を含む)と同様、世界規模の原子力損害賠償の枠組みであり、事故発生国の責任限度額(原則3億SDR=約500億円)を超えた場合、すべての加盟国からの供出金を用い、より多くの補償額を被害者に対して提供するというものである。アルゼンチン、モロッコ、ルーマニア、米国、アラブ首長国連盟に日本が加わり、2015年4月に発効した。これに伴い原賠法が一部改正されたが、核燃料物質等の運搬に関する細目に限られており、支援機構法の見直し条項の論点には踏み込まれなかった。

そして2015年5月、内閣府原子力委員会原子力損害賠償制度専門部会において議論が本格的に開始された。福島第一発電所事故から5年近くが経過し、原子力発電について、少なくとも2030年まではベースロード電源として20-22%程度維持することが政府方針として確定した現在、原子力損害賠償制度についても、この国と事業者の負担の分配について緊急レジームを超えた普遍的・恒久的制度として検討する時期に来たということであろう。

## VII. 有限責任制の検討

福島第一発電所事故における支援機構スキームが明示しているのは、地域独占および総括原価方式の状況下、原子力事業者の損害賠償に限度額を設けない無限責任制においては、過酷事故の賠償責任主体として東京電力を存続させるために、東京電力の損害賠償負担を抑制せざるを得ず、むしろ東京電力以外の原子力事業者の電気利用者の負担を引き上げることになったという問題である。

加えて、第III章でも述べた通り、支援機構は東京電力に出資しており、除染費用を捻出するためには東京電力の収益を回復させ、時価総額を引き上げる必要がある。さらに言えば、2015年9月末時点ですでに2兆8450億円を超える長期・短期借入金を抱える東京電力は、2016年度中に社債市場からの資金調達を計画しており、支援機構は特別負担金の徴収額を抑制し、収益悪化を回避しなければならない。

これらは、支援機構法策定時に政府が確認した、国民負担の極小化、東京電力救済色の払拭という制度目的とは逆行しかねない帰結である。

また、原則的には発災事業者にも解散の権利がある。電気事業法においてはこれまで、電気事業者が電気事業を休止・廃止しようとする際には、「経済産業大臣の許可」を受ける必要がある旨が規定されてきた(14条)。しかし小売全面自由化を実現する2016年4月施行の改正電気事業法では、原子力事業者を含む発電事業者・特定送配電事業者・小売電気事業者が休止・廃止しようとす

際には、「経済産業大臣への届け出」で足りることとなっている(2条の8、27条の25、27条の29)。また、そもそも破産法が存在することから、発災事業者の解散の権利を否定し、無限責任を無限に負わせることはできないという解釈も存在する。

第1回でも述べた通り、原賠法16条において、損害賠償措置額(民間保険や政府との契約による損害賠償資金の確保)を超える損害賠償責任について、国は必要な援助をすることとしている。また、「異常で巨大な天災地変」による原子力損害の場合は、原子力事業者を免責とし、政府は被災者の救助措置を講じることが17条に規定されている。いずれの場合も原子力政策を遂行してきた社会的責務や政治リアリズムを鑑みれば、政府が過酷事故の被害者保護を放棄するとは考えにくい。

第IV章で言及した負担の分配問題に立ち返れば、事業者の責任限度額および範囲を定める等の有限責任制を導入するということは、原子力事業者の、限定されながらも相応の賠償負担を確定するということであり、過酷事故の場合にも、国の実質負担の多寡によって、原子力事業者の賠償負担が上下しないということである。原子力事業者の損害賠償リスクが過酷事故以前から明らかになる点で、原子力事業者の事業予見性を高めることであり、政策方針が流動する政治リスクを引き下げることである。

さらに言えば、本来は、有限責任制が担保されてはじめて、原子力事業者の信用リスクが金融市場によって客観的に正当評価され、原子力事業者への投融資が可能になる。有限責任制を担保してもなお、過酷事故被害が甚大で、損害賠償原資が不足し、収益や財務の悪化を余儀なくされ、事業存続が不可能となった場合は、電力システム改革が進行すれば、電力の代替供給者の確保等の措置も求められ、現状ほど困難でないことが想定されるため、会社更生法など法的整理や私的整理を通じた賠償債務への弁済も可能であろう。その際、破綻処理に備え、政府は銀行における預金保険機構に類する賠償債権の引き受け機能の確保を検討すべきであろう。

電力利用者や納税者にとっての有限責任制は言わば、福島第一発電所事故における緊急レジームにおいて損害賠償負担を分配できなかったステークホルダーに、その負担を再配分することでもある。

## VIII. おわりに 原子力政策としての検討

原賠法制定時の1960年代の議論においてそうであったように、過酷事故の損害賠償に国費を投入することを容認することについては、財政当局を中心に大きな抵抗がある。福島第一発電所事故でも、国はあくまで間接的な資金支援に徹し、財政負担を極力回避したため、実質的には全原子力事業者の電力利用者が負担することになった。損害賠償額は事故当初の想定より著しく拡大し

ており、電気料金への転嫁においては、低所得者の実質的負担が大きい逆進性に留意しなくてはならない。もっとも、総括原価方式の代替措置が採られなければ、電気料金への転嫁も不可能になる。

電力システム改革が確実に進む一方で、過酷事故の損害賠償の際の国の実質的負担については、政府は極めて消極的な姿勢を変えていない。

原子力規制委員会の新規制基準の原則に基づき、40年で廃炉を決めた場合、2028年にはすでに、原子力発電所の設備容量が現在の半分を割り込み、2049年には既存原子炉はゼロとなってしまふ。

総括原価方式の下では、電源開発投資に伴う費用も電気料金に転嫁することができた。電力事業者は稼働率にとらわれることなく設備投資ができ、一方電気利用者はピーク時においても停電を恐れず、予め定められた単価で使いたいだけ電気を使うことができるという、安定供給の恩恵を受けてきた。

しかし、総括原価方式が約束されなければ、また、電力需要の継続的な急拡大が期待されなければ、電力事業者は発電所の建設用地の確保から環境アセスメントまで、長期間を要する電源開発投資に二の足を踏むようになる。なかでも7,000億円を上回るとも言われる、原子力発電への投資は極めて難しくなる。

国の政策を民間事業として体现した「国策民営」と「相互扶助」は政策遂行、事業運営、損害賠償のいずれにおいても責任の所在を曖昧にするものであり、福島第一発電所事故ほどの過酷事故を経験し、電力システム改革の断行を決めた現在、制度として限界である。原子力発電には総括原価方式に類する政策的措置を継続せざるを得

ず、電気利用者に過酷事故の損害賠償負担を求めていることから、公共性の色合いを強めていくこととなる。原子力政策の重要な一角を占め、原子力事業の健全なる発達を掲げる原子力損害賠償制度においても、法的にも財政的にも国の責任を経済社会に明示しなければ、原子力発電を維持することは不可能である。

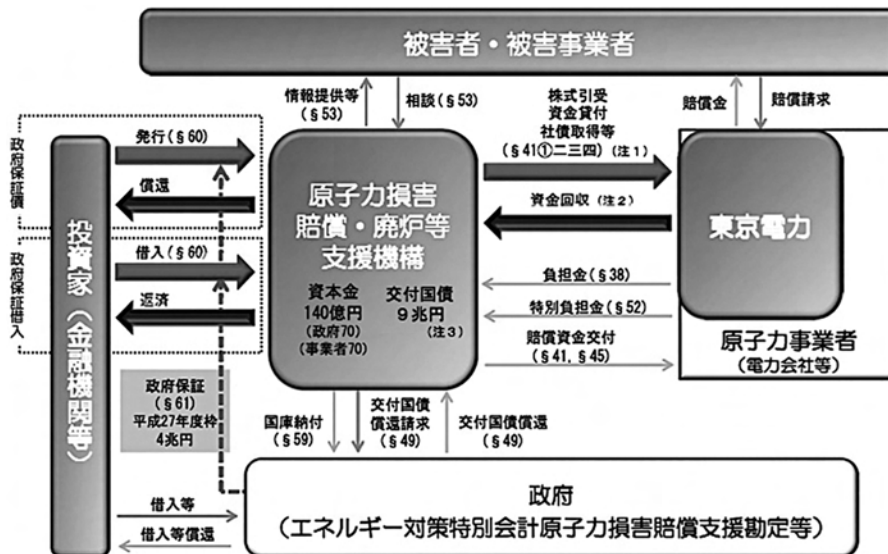
－ 参考資料 －

- 1) 平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法。
- 2) 東日本大震災における原子力発電所の事故により生じた原子力損害に係る早期かつ確実な賠償を実践するための措置及び当該原子力損害に係る賠償請求権の消滅時効等の特例に関する法律。
- 3) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構説明資料 平成 27 年 10 月；[http://www.ndf.go.jp/capital/ir/kiko\\_ir.pdf](http://www.ndf.go.jp/capital/ir/kiko_ir.pdf)
- 4) 「東京電力株式会社に係る原子力損害の賠償に関する国の支援等の実施状況に関する会計検査の結果についての報告書」会計検査院平成 27 年 3 月。
- 5) 遠藤典子(2013)『原子力損害賠償制度の研究—東京電力福島原発事故からの考察』(岩波書店)。

著者紹介



遠藤典子(えんどうのりこ)  
慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科  
特任教授  
(専門分野/関心分野)エネルギー・環境政策をはじめとする公共政策、リスクガバナンス



(注1) 現状では、東京電力が発行する株式の引き受けのみ実施。  
 (注2) 2020年代初頭には支援機構の議決権比率を3分の1未満に、東京電力の配当復活または自己株式消却開始、2020年半ばには支援機構保有株式の市場による売却開始、2030年代前半には特別負担金の納付終了が見通せる場合、機構保有株式の全売却が予定されている。  
 (注3) 平成23年度5兆円+平成26年度4兆円、(注4) §は条文番号  
 出典：原子力損害賠償・廃炉等支援機構説明資料 平成27年10月

附図 支援機構を通じた資金援助スキームの概略図

# 新時代における電力系統運用の挑戦

## —電力システム改革とエネルギーミックス達成のために—

東京電力株式会社 北島 尚史

東日本大震災を契機として、日本のエネルギー政策、とりわけ電気事業のあり方について抜本的な議論がなされている。特に大きなテーマは、「電力システム改革」と「エネルギーミックス」の2つであるが、電力系統技術の観点からは、これらの議論の行方は、日々の安定供給を担う電力系統の需給制御にも極めて大きな影響を与えるものである。本稿では、わが国の電力システム改革とエネルギーミックスのいずれをも達成するためには、電力系統に連系するすべての事業者が需給制御に関わることの必要性を認識すること、および関係者が技術開発や技術検討を進めていくことが望まれることを述べた。

**KEYWORDS : Great East Japan Earthquake, Regulatory Reform of Electric Power Industry, Energy Mix, Supply-Demand Balancing, Renewable Energy, Demand Response**

### I. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、わが国のエネルギー政策にも大きな影響を与えた。震災直後の計画停電をはじめとして電力の供給力不足が継続したことから、需要家側に節電・省エネの意識が定着するとともに、発電側では原子力の停止により化石燃料の消費が大幅に拡大した。また再生可能エネルギーの固定買取制度(FIT)の導入により太陽光発電を中心とした系統連系申し込みが急増し、一般電気事業者の系統運用者は、出力変動への対応など新たな課題に直面している。

こうした中、国の電力システム改革の方向性が示され、小売全面自由化や送配電部門の法的分離の段階的導入が決定され電気事業の環境は大きく変化することとなった。一方で国のエネルギーミックスについても2030年のエネルギー構成目標が閣議決定され、再生可能エネルギーの導入拡大の必要性が目標とともに示された。

これらの大きな変化は、電気を安定にお届けするための「電力系統運用」にも大きな影響を与えることになる。とりわけ困難な課題に直面するのが「電力系統の需給制

御」である。

### II. 電力系統の需給制御とは

交流電力により電気を送り届ける現在の電力系統における大きな特徴として、「電力の供給と消費が瞬時、瞬時で一致している必要がある」ことが挙げられる。

供給と消費の一致は、交流の周波数が一定に保たれていることで把握することができ、電力系統運用者は、周波数の変動を監視し、必要な制御を行う。これを電力需給制御という。

なお、日本における交流電力の周波数は、東日本では50ヘルツ、西日本では60ヘルツである。これは、明治時代に最初に発電機が輸入された際、関東においてはドイツから、関西においては米国から輸入されたことに端を発しているものである。

周波数の変動は、電力系統に連系しているさまざまな「設備」の変動から起こるものである。連系している設備とは、大きく分けると発電設備と需要家(お客さま)の2つである。需要家は、自分の使いたい時に電力を消費するので、系統全体として需要量は時々刻々変動する。また、工場等に設置されている自家発電も、操業状態によって、余剰の電力が系統に出てくることがある。さらに、太陽光や風力といった再生可能エネルギーは、その時々自然条件によって出力が変動する。加えて、火力や原子力などの大型電源がトラブルによって停止したり、送

*Challenges of power system operation towards future environmental changes in Japan : For the achievement of electric industry reform and energy mix : Takashi Kitajima.*

(2015年11月30日 受理)

電線のトラブルが原因で発電機が系統から切り離されたり需要家に停電が発生したりする場合もある。こうした発電側と需要側の変動の合成により、周波数が変動する。この際、発電機から供給されるエネルギーと需要側で消費されるエネルギーの大小関係によって、発電側が大きければ周波数は上昇し、需要側が大きければ周波数は低下することとなる。

周波数が変動すると、発電機が安定的に運転できなくなったり、製造業において製品にムラができたりするといった影響があることから、系統運用者は、常に周波数を一定(50ヘルツまたは60ヘルツ)に保つための制御を行っており、これを電力系統の需給制御という。なお、電気事業法においても周波数を一定にすることは義務となっている。

周波数を一定に保つため、系統運用者は、火力発電機や水力発電機の出力に変更の指示を与えるという方法で制御を行う。系統運用者は、需要予測に基づき火力発電機や水力発電機の運転出力を決めて指示を出す他、定格周波数と現在の周波数との偏差に応じてさらにきめ細かい出力制御を行っている。なお、この制御は電力会社の中央給電指令所が24時間体制で実施している。

### Ⅲ. わが国の電気事業における環境変化

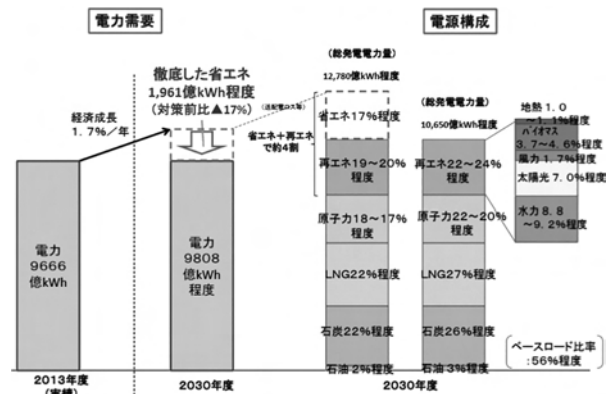
#### 1. エネルギーミックスと再生可能エネルギー導入拡大

経済産業省は、「エネルギー基本政策」(2014年4月11日閣議決定)に基づき、総合資源エネルギー調査会の長期需給エネルギー見通し小委員会における取りまとめを踏まえ、2015年7月16日、「長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)」を決定した。

この中で、2030年における電力需要と電源構成が示されている<sup>1)</sup>。総発電電力量10,650億kWh程度のうち、再生可能エネルギーが22~24%(2,366~2,515億kWh)を占めている。さらに、再生可能エネルギーの内訳も明示されており、太陽光749億kWh(7.0%)、風力182億kWh(1.7%)となっている。一方これらのエネルギーをそれぞれの設備量に換算すると、太陽光が6,400万kW、風力が1,000万kW相当となるが、現在の日本のピーク需要が2億kW弱であることを考えると、夏のピーク需要の三分の一程度の設備量を太陽光と風力で占めることとなる。エネルギー量(kWh)では太陽光と風力を合わせても8.7%にしか過ぎないことと合わせて考えると、稼働率が低く変動が大きい再生可能エネルギーの大量導入には大きな技術的課題があることが理解されよう。

#### 2. 電力システム改革の概要

震災を契機として議論が始まった電力システム改革は、「電力システム改革に関する改革方針」(2013年4月2日閣議決定)において、①広域的運営推進機関による地



第1図 2030年における電源構成<sup>1)</sup>

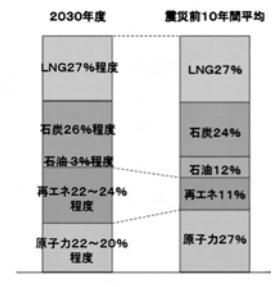
電源構成・発電電力量(億kWh)

	2030年度	
石油	315	3%
石炭	2,810	26%
LNG	2,845	27%
原子力	2,317~2,168	22~20%
再生エネ	2,366~2,515	22~24%
合計	10,650	100%

	2030年度	
太陽光	749	7.0%
風力	182	1.7%
地熱	102~113	1.0~1.1%
水力	939~981	8.8~9.2%
バイオマス	394~490	3.7~4.6%

※各数値はいずれも概数。



第2図 2030年における再生可能エネルギーの構成<sup>1)</sup>

域を超えた電力融通の拡大②小売りの全面自由化による電力会社や料金メニューの選択③送配電部門の法的分離によるネットワークのより一層の公平な利用という3段階からなる全体像が示され、第1弾、第2弾、第3弾の実施に必要な措置を定めた電気事業法改正案が国会において成立している<sup>2)</sup>。

##### (1) 第1段階：広域機関の設置

電気事業法の一部を改正する法律(第1弾：2013年11月13日成立)に基づき、2015年4月に、「電力広域的運営推進機関」(以下、広域機関と表記)が発足された。

広域機関は、これまで原則として地域ごとに行われていた電力需給の管理を、地域を越えてより効率的にやり取りすることで安定的な電力需給体制を強化することを目的とし、電源の広域的な活用に必要な送配電網の整備を進めるとともに、全国大で平常時や緊急時の電力需給の調整機能の強化を図ることとしている。

##### (2) 第2段階：小売全面自由化

第1弾の改正電気事業法にはプログラム規定が盛り込まれており、「2016年を目途に、電気の小売業への参入の全面自由化を実施するものとし、このために必要な法律案を2014年に開会される国会の常会に提出すること」となっていた。この規定に則り、2014年6月11日、第2弾改正電気事業法が成立した。

電力システム改革の第2段階では、小売参入全面自由化、安定供給を確保するための措置、需要家保護を図る



ための措置等を実施することが盛り込まれている。

小売全面自由化に伴い、現行の電気事業法で定義されている「一般電気事業者」、すなわち 10 電力会社が一般の需要への供給を行う一方で供給義務・地域独占・料金規制が課せられているという制度がなくなることから、発電事業、送配電事業、小売電気事業ごとに「ライセンス」の取得が必要となり、それぞれ必要な規制を課せられることとなる。

### (3) 第 3 段階：送配電部門の法的分離

電力システム改革の最終段階である第 3 段階の大きな変更は、送配電部門の法的分離である。

第 2 段階において、ライセンス制の導入により一般電気事業者の送配電部門も「送配電事業者」としてライセンスを取得することとなるが、法人としては同一の企業として存続することも可能である。しかしながら、電力市場における活発な競争を実現する目的で、送配電事業の一層の中立性の確保を図るため、現在認められている発電・小売事業と送配電事業の兼業を原則禁止する(送配電事業の「法的分離」)こととしている。

この第 3 弾の改正電気事業法は 2015 年 6 月 17 日に成立し、上記の法的分離は 2020 年 4 月 1 日に施行されることが決められた。

### (4) 電力システム運用への影響

では、上述の電力システム改革は、電力システム運用にどのような影響を与えるのであろうか。

従来は電力会社の系統運用者が、需要を予測し、必要な供給力(需要想定を上回るリスクを考慮した予備力分も含む)を確保し、実需給段階では主に自社の火力発電機や水力発電機の出力を制御することによってバランスを確保(周波数を一定に維持することと同じ)している。

改正電気事業法のもと、ライセンス制が導入されると、電力会社も発電事業者、送配電事業者および小売電気事業者のライセンスを取得することとなり、電力会社の送配電事業者は、自社の発電部門や小売部門を、他の事業者と同等に(公平中立に)扱わなければならない。つまり、送配電事業者は、自社の発電部門の発電機を自由に使って「内製的に」安定供給を確保することはできなくなる。

この制度の下で安定供給を確保する仕組みとして、各小売電気事業者は、自らの需要に応じた供給力を確保する義務を負うこととしている。これは「実需給の運用段階」においても義務を負うが、実際の運用では、小売電気事業者は「計画同量」を行うこととしている。すなわち、実需給の「1 時間前」までに、想定した需要と同量の供給力を用意しておけばよいというものである。

1 時間前から実需給までの間も供給力や需要は変動し、計画時に一致していた供給力と需要は乖離が生じることになるが、そのバランスを取るのは送配電事業者の系統運用者の責務となる。送配電事業者は、例えば、調

整機能を有する発電機を所有する発電事業者とあらかじめ契約を結び、実需給段階で出力増減の指令を行ってバランスを確保することになる。バランス確保方策の対象は発電事業者に限定する必要はなく、小売事業者が需要を抑制するなどの方法を取ることができればそうした契約も可能となる。また、需給バランスを調整するための費用は各事業者に支払う必要があり、この費用はネットワークの使用料(託送料)として回収されることとなる。

## IV. 新時代における電力システム運用

再エネの大量導入と計画同量により、系統運用は大きく変貌し、また現状と比較すると複雑になる。

このような環境で安定供給を確保するためには、従来の「火力や水力発電機を主とした需給制御」という概念を改め、系統に連系している発電機や需要など、すべての設備が需給バランス確保に関わっていけるかどうかが重要なポイントとなる。

こうした、新時代における電力システム運用の取り組みの全体像を第 3 図に示す。以下、個別の取り組み等について概要を紹介する。

### 1. 再生可能エネルギーの接続に関するルールの変更

FIT 法の導入により、太陽光発電を中心として再生可能エネルギーの発電機設置の申し込みが急増した。このため、電力会社によっては、申し込みを全量受け入れると再生可能エネルギーの出力変動を他の調整可能な発電機で制御しきれなくなるおそれが出てきた。このため、そうした可能性がある電力会社(7社)はいったん回答を保留し、国の新エネルギー小委員会対策を検討した結果、新たな出力抑制ルールの下での再生可能エネルギー導入への移行を実施することとなった(平成 27 年 1 月 26 日に改正省令・告示を施行)。

具体的には、従来の出力抑制ルール(500kW 以上の太陽光等に対して、電力需給バランスを取る事が難しい日として年間 30 日を上限として無補償で出力抑制ができる等)を変更し、①日数から時間単位でのきめ細かな出力制御への移行(太陽光 360 時間等)ならびに②



第 3 図 新時代における系統運用

500kW 未満の設備まで対象を拡大するというものである。これにより、電力会社は再生可能エネルギーのさらなる導入拡大が可能となった。

## 2. 再生可能エネルギー導入に関する技術開発（予測と制御の技術）

再生可能エネルギーの大量導入を可能とするために、出力予測の精度を向上する技術、ならびに出力を制御する技術が重要となる。以下、国の実証事業等での取り組みを2件紹介する。

### (1) 分散型新エネルギー大量導入促進システム安定化対策（資源エネルギー庁、2009年度から）

電力10社が参加し、全国321カ所に日射計等を設置して日射量データの蓄積を行うとともに、日射量から太陽光発電の出力変動を推定するモデルを開発し、太陽光発電が大量導入された際の出力変動分析を実施した。

### (2) 太陽光発電出力予測技術開発実証事業（資源エネルギー庁、2011年度から）

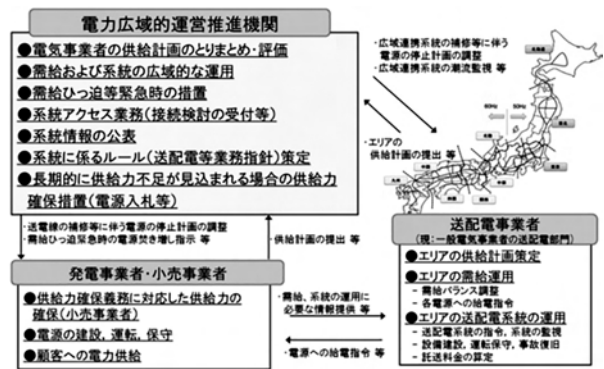
太陽光発電の出力変動を考慮した需給計画および運用を行うことを目的とし、気象データから日射量および太陽光発電出力を予測・把握する手法を開発する。東京大学、電力10社、メーカー等が参加した。

## 3. 新たな需給制御（デマンド・レスポンス（DR））

従来の需給制御では、需要を随時コントロールするという概念は取り入れられていなかった。しかしながら、最近の取り組みとして、複数の需要家をまとめて、電力会社からの需要抑制要求に従って需要を抑制する仕組みが検討・導入されている。これを「デマンド・レスポンス（DR）」と呼んでいる。例えば、横浜スマートシティプロジェクト（YSCP）では、夏季のピーク需要を抑制することを目的として、一般家庭にスマートメーターを設置してピーク時間帯において需給制御側から抑制信号を送り、抑制してもよい（抑制できる）需要家は電気の使用を削減するという実証を実施した。2013年夏季の実証試験では、最大ピークの抑制効果として15.2%という結果が得られている。

また、東京電力は、需要家をとりまとめるビジネス・シナジー・プロポーザル（BSP）事業者とビジネスライアンス契約を締結し、東京電力からの調整依頼に基づき、BSP事業者が契約した複数の需要家の電力需要を抑制する（東京電力はBSP事業者に対して、抑制した電力量に応じた対価を支払う）という仕組みを構築した。2012年9月の発動では、抑制依頼に対して、60～70%の実効値が実績として得られている。

さらに東京電力では、DRの活動領域を夏季ピークカットだけでなく、通常の需給調整等まで拡大することを念頭に、経済産業省や国内外のDR事業者と「インセンティブ型DR実証」を実施した（2013年12月から）。



第4図 広域機関の業務<sup>3)</sup>

これらの取り組みにより、需要家が電力会社からの調整依頼にどの程度協力するかの検証やデータの蓄積が行われ、DRを本格的に需給調整の手段として位置づけることが可能かどうか明らかになっていくものと予想される。

## 4. 広域機関の取り組み

電力システム改革の第1弾として設置された電力広域的運営推進機関（広域機関）は、すべての電気事業者（発電事業者、送配電事業者、小売事業者）に指示を行う強い権限を有しており、第4図に示す業務を行う。<sup>3)</sup>需給制御の観点から特に重要なのが「広域的な運用」を広域機関が司ることとなったことであり、広域機関は、これまで各エリアの系統運用者が行ってきた需給制御を、より広い範囲で行うための具体的方策を検討している。

特に、再生可能エネルギー（その中でも太陽光発電、風力発電）は、わが国においては適地が偏在しており、特定のエリアでの需給調整能力が不十分となった際に、広域的な需給調整の仕組みを導入することによって、導入の制約を解消することが可能となる可能性がある。

ただし、特定のエリアで広域的な需給調整を大規模に実施する場合、電力会社間の連系線の送電能力が不足する事態も考えられる。これは、従来需給バランスは各エリアで確保することが基本であったため、電力会社間の現状の連系設備の容量は、それぞれのエリアの需要規模と比較すると相対的に小さく十分な余力を有していないからである。このため、広域機関には、広域的な観点から連系線の増強等を検討し計画策定する機能がある。

4月の広域機関発足後、広域機関内に「広域系統整備委員会」が設置され、具体的な増強計画の検討が開始されている。9月30日には、東北東京間連系線ならびに東京中部間連系設備の増強に係る基本要件が決定された。これらの増強は再生可能エネルギー導入の拡大を主目的とするものではないが、導入拡大にも資するものと考えられる。

## 5. 従来型発電設備に求められる能力

ここまで、電力システムを取り巻く大きな環境変化に需給制御面に対応するため、既に様々な取り組みがなされていることを紹介した。

では、これまで需給制御の主体を担ってきた従来型の発電設備、すなわち火力発電や水力発電についてはどうであろうか。

今後の環境変化に伴い、従来型発電設備に関して考慮しなければならないと考えられるトピックについて以下述べる。

### (1) 系統として十分な需給制御機能の具備

今後、一般電気事業者という概念がなくなり、電力会社の発電部門も「発電事業者」というライセンスを取得することとなる。また、系統運用部門も「送配電事業者」のライセンスを取得するが、すべての発電事業者を公平・中立の立場で取り扱うことが求められることとなる。

このため、今後の方向としては、送配電事業者に所属する系統運用者は、需給調整の能力確保を目的として、すべての発電事業者および小売事業者に対して、「調整能力の募集をかける」といった形が予想される。すなわち、調整能力の量や対価について契約を結び、その契約内容に則り、実需給段階で系統運用者が指示を行うというやり方である。

ここで必要なのが、発電事業者として、所有する(あるいはこれから建設する)発電設備に調整能力を具備しておく必要があるということである。仮に、需給制御の大宗を占める火力発電の発電事業者が、需給調整という「ビジネス」から完全に撤退してしまうと、需給調整という仕組みそのものが成り立たなくなってしまう。このため、発電事業者には、今後建設される設備も含めて、送配電事業者の需給調整指令を可能とするシステムを具備してもらうような仕組み(例えば、系統に連系するための要件とするなど)も検討していくことが必要である。

### (2) 発電設備側からの需給調整能力の高度化

わが国のエネルギーミックス達成のために、今後も再生可能エネルギーの大量導入が不可欠であることを踏まえると、系統運用者としては需給調整の能力をこれまで以上に確保しておく必要が生じるかもしれない。

これに対応するため、発電機側の調整能力向上に関する技術開発やプラントとしての機能改善についての検討も重要である。例えば、発電機の出力変化速度のさらなる向上、運転時の最低出力制限の改善、停止状態から起動するまでの時間の改善といった項目は、系統全体としての需給調整能力の増大方策として有効である。

### (3) 発電設備の寿命や維持コストへの影響把握

再生可能エネルギー導入の拡大に伴い、従来型発電設備の需給制御能力への依存が高まることが予想されるが、それが機器側に与えるダメージについても併せて検討を実施することが必要である。例えば、上記(2)で述べたような、火力発電設備におけるさらに変化速度が速く、起動停止も頻繁に行われるような状況、あるいは揚水発電についてもこれまでの「夜間に揚水して昼間のピーク時間帯に発電」というパターンから「昼間も揚水と発電を実施」といった状況を想定して、設備の寿命や維持コストに影響があるのかどうかについての評価を実施するといったことが考えられる。仮に影響があるという結論になれば、その増分費用は送配電事業者が負うべきものと整理されるので、契約面への反映も考慮していくこととなる。

## V. おわりに

わが国の電力システム改革、およびエネルギーミックスのいずれをも達成していくために、系統運用者は需給制御のやり方を深化させていくことが求められる。しかしながら、需給制御は系統運用者だけで実施するものではなく、電力システムに連系している事業者の協力によって初めて可能となるものである。

従来、電力会社の発電部門がその大部分を担ってきたが、今後は、系統に連系しているすべての事業者が需給制御に関わることで、安定供給を維持するとともにわが国のエネルギー供給の安定化に貢献するという認識し、関係者が技術開発や技術検討を進めていくことが望まれる。

### — 参考資料 —

- 1) 「長期エネルギー需給見通しを決定しました」経済産業省 HP  
<http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004.html>
- 2) 「電力システム改革について」資源エネルギー庁 HP  
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/electric/system\\_reform.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/system_reform.html)
- 3) 「広域機関について」電力広域的運営推進機関 HP  
<https://www.occto.or.jp/koiki/koiki/index.html>

### 著者紹介



北島尚史(きたじま・たかし)

東京電力(株)

(専門分野/関心分野)電力システム工学、  
電力システム改革

# 特集

## 秋の学会 廃炉検討委セッションから 廃炉ロボットの開発

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 神徳 徹雄

リスク低減のための東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置においては、人が近づけない高放射線環境の中で調査し、作業することが求められており、ロボット技術を活用した遠隔作業しか解決手段がないのが現状である。現在、高放射線環境における廃炉作業を実現するために、ロボット技術を活用した多種多様な遠隔操作機器の研究開発が進められている。最新の廃炉ロボット技術開発として、作業員の被ばく線量低減を目指した原子炉建屋の屋内用遠隔除染装置と、アクセスが困難な原子炉格納容器の内部状況把握を目指した遠隔操縦型調査装置の開発状況を紹介するとともに、廃炉ロボット開発の難しさについて議論する。

**KEYWORDS:** robotics, decommission, decontamination, remote control

### I. はじめに

事故発生後の東京電力福島第一原子力発電所(1F)における放射性物質によるリスクから人や環境を守るために、「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」に基づいて、東京電力や政府を始めとした関係機関が連携して廃炉に向けた取り組みを続けて来ている。

世界でも経験の無い廃炉作業の実施に当たって、広範かつ前例の無い技術的課題の解決が中長期的に求められ、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)は、国内外の叡智を集めた技術開発の実施機関の役割を担っている。重要な技術課題のひとつとして、高放射線環境における廃炉作業を実現するために、ロボット技術を活用した多種多様な遠隔操作機器の研究開発が進められてきている。

本稿では、平成25年度、及び、平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業補助金」により開発を進めているロボット技術を紹介するとともに、廃炉ロボット開発の難しさについて議論する。

### II. 遠隔除染技術の開発

原子炉建屋内部は、放射線量が極めて高く、作業員の被ばく線量を低減するために、環境の除染、線源からの遮蔽、線源の撤去を組み合わせた総合的な対策が求められる。「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」プロジェクトでは、環境の除染作業に注目し、原子炉建屋1階低所用除染装置、原子炉建屋1階高所用除染装置、2階以上の上部階用除染装置の開発を計画している。

すでに、原子炉建屋1階低所用除染装置として、免震重要棟から遠隔操作可能な、高圧水除染装置、ドライアイスブラスト除染装置、吸引・ブラスト除染装置の3種類の除染装置を開発してきた。これらの3装置とも東京

電力福島第一原子力発電所での実証試験も完了し、今後の除染作業に活用されることが期待されている。

現在は、これらの低所用除染技術を活用しつつ、高所用除染装置の開発を進めている。高所用には、原子炉建屋内を移動できるように走行時はコンパクトな車体ながら作業時には8m以上の高所まで届く機構等の課題に、また、上部階用除染装置には、除染装置を上部階に移送する方法等の課題に対応すべく研究開発を進めている。

### III. 内部調査技術の開発

過酷事故解析コードによる事故解析の研究により、燃料デブリは、原子炉圧力容器から溶け落ち原子炉格納容器内に存在すると推定されている。しかし、その具体的な位置、量、性状については、これらを予測する研究が活発に行われているが、未だ明らかになっていない。「原子炉格納容器内部調査技術の開発」プロジェクトでは、高線量/高湿度環境で、かつ暗闇・蒸気等による視界不良状態という過酷環境にロボットを投入した調査を目指している。限られた貫通口(ペネトレーション)からのアクセスが求められるために厳しい形状/寸法制約があること、得られている格納容器内部の環境情報が限定的であることから、段階的に内部環境を把握する調査を計画している。

#### III. 1 福島第一原子力発電所1号機の調査

1号機については、溶融した燃料がベDESTAL外部まで広がっていることが予測されており、燃料デブリの広がりを確認するためにベDESTAL外側調査の優先度が高い。まず、ベDESTAL外側1階グレーチング上調査のために、狭い貫通口からアクセスして原子炉格納容器内の1階グレーチング上の情報を得ることを目的として「形状変化型ロボット(クローラ)」を開発した。

このロボットは、棒形状で直径100mm程度の狭い配

管内を走行し、原子炉格納容器の内部に到達した後にコの字型に変形する。この安定した形状でグレーチングの上を遠隔操作で走行して内部調査を行う。平成27年4月に2台の調査装置を投入した調査結果として、地下階にアクセス可能な開口部の周囲に干渉物が無いこと、設備に大きな損傷が無いこと、格納容器内部は当初想定していた放射線量率よりも低い線量率であることが確認されるなど、事故解析や今後の廃炉ロボット開発に資する重要なデータを得る成果が得られた。

### Ⅲ. 2 福島第一原子力発電所2号機の調査

2号機については、溶融した燃料の一部がペDESTAL内部に落下していることが予測されており、ペDESTAL内部調査の優先度が高い。ペDESTAL内部には、原子炉圧力容器の直下に、制御棒駆動装置(CRD: Control Rod Drive)交換作業用プラットフォームが設置されている。内部状況調査のために、原子炉格納容器のCRD搬出入口からアクセスして、そこに接続されているCRD交換レールに沿ってペDESTALの開口部からその内部に入って、プラットフォーム上の情報を得ることを目的として、「ペDESTAL内遠隔調査ロボット」を開発した。

直径100mm程度の狭い配管内を走行可能なロボットの前後にLEDライトとカメラをそれぞれ搭載し、ロボットの後方を尾のように振り回す機構を装備することで、視野範囲を広げるとともに、自力で転倒から復帰可能な機能を持つ。原子炉格納容器内でプラットフォーム上の落下物や損傷の有無、状態などを確認するとともに、原子炉格納容器底部付近へのアクセスルートの状態の確認を遠隔操作で行う調査装置である。

内部調査の前段階の作業として、平成27年6月からCRD搬出入口前に設置された遮蔽ブロックの撤去作業が実施された。作業従事者の被ばく量を削減するために、新たに開発した遮蔽ブロック撤去装置(TEMBO)を現場に投入し、遠隔操作によるコンクリートブロックの撤去作業を実施した。錆の発生により想定以上の固着があった最後の一行のブロックを除いて、遠隔操作による遮蔽ブロック撤去を実現した。

今後、CRD搬出入口前の除染作業を終えた後に、調査装置を投入して内部調査を実施する予定である。

### Ⅳ. システム開発の難しさ

廃炉ロボットの技術開発は、通常のシステム開発と異なり、3つの高いハードルとなる課題が存在する。

一般に、ロボット技術を活用したシステム開発は、ユーザの要求に応えるソリューションビジネスとなっている。あらかじめ動作環境を規定し、求める機能を実現するために、信頼性、安全性、経済性の制約の下に技術を統合したシステムを設計する。機能、信頼性、安全性、経済性はそれぞれトレードオフの関係があり、ユーザと

開発者との合意のもと、折り合いをつける必要がある。

それに対して、廃炉ロボットの開発においては、人が容易に近づけない高放射線環境での作業を求められるため、現状では、作業環境をあらかじめ正確に把握することが困難である。

第一の課題は、要求仕様として作業環境を正確に設定することが出来ないことである。そのため、安全率を見込んだ大雑把な想定環境を前提にシステム設計が求められる、過剰な仕様のシステムになる傾向がある。

第二の課題は、要求仕様として産業ロボットのようにあらかじめ定まった作業を設定することが出来ないことである。そのため、あらゆる事態を想定した対応が出来るような装備を検討し、人間-機械系となる遠隔操作システムを構成して人間の状況判断力を活用したシステム設計が必要となる。

第三の課題は、短期間に信頼性の高いシステムの構築が求められることである。特注システムの開発においては、プロトタイプを実際にユーザに利用してもらったフィードバックによる改善が欠かせない。しかし、廃炉ロボットでは、実際の作業環境で問題が発生した場合、回収して改良することが困難であり、模擬環境であるモックアップ試験を通してしか改善の機会が無い状況で、現場投入に耐える高い信頼性が求められる。

### V. おわりに

合理的な廃炉作業ロボットを開発するためには、作業環境を正確に調査し、将来開発する廃炉ロボットの要求仕様設定を正確にすることが肝要である。また、次々と明らかになる原子炉の内部状況や各作業の進捗状況に応じて、最適な廃炉措置全体の構想も刻々と変化している。つまり、工法等の選択に欠かせない調査すべき情報や必要とされる作業内容が刻々と変化するため、廃炉ロボット技術開発においては、状況に応じた柔軟な開発体制が本質的なものとなる。

今後も関係機関と密に情報交換を行いつつ、国内外の叡智を集めた研究開発が期待されている。

#### — 参考文献 —

- 1) 研究開発成果概要(平成26年度版), 国際廃炉研究開発機構, 2015年3月, [http://irid.or.jp/\\_pdf/oanogketh26.pdf](http://irid.or.jp/_pdf/oanogketh26.pdf)

#### 著者紹介



神徳徹雄 (こうとく・てつお)

開発計画部 副部長

(専門分野) ロボット工学, ソフトウェアのモジュール化と標準化。

国立研究開発法人産業技術総合研究所知能システム研究部門総括研究主幹を兼務。



## 福島第一原子力発電所事故 “IAEA 事務局長報告書の所見と教訓”の概要

筑波大学名誉教授 成合 英樹

国際原子力機関(IAEA, International Atomic Energy Agency)は、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故につき約3年間の調査を行い、2015年8月31日に事務局長報告書(The Fukushima Daiichi Accident – The Report by the Director General)を公表した。これには福島第一原子力発電所事故と安全に関わる評価、緊急時の備えと対応、放射線の影響、事故後の復旧、及びこれらに関するIAEAとしての所見と教訓が記されている。

**KEYWORDS:** *Fukushima Daiichi Accident, Great East Japan Earthquake, IAEA Report, Severe Accident, Tsunami Hazard, Emergency Response, Radioactive Materials, Radiation Effect, Environmental Recovery*

### I. はじめに

2011年3月11日午後発生した東日本大震災と東京電力(東電)福島第一原子力発電所事故(福島第一事故)の通報を受け、IAEAは直ちに事故・緊急システムを発動し、厳しい事故対応への支援伝達のため事務局長が3月17日から3日間東京へ行くと共に、3月から専門分野チームを日本に派遣し、5月に国際事故調査団の派遣、6月にIAEA本部での原子力安全に関する閣僚会議開催等積極的に活動した。2012年9月のIAEA総会において事務局長はIAEAによる福島第一事故の報告書作成を表明した。報告書は42の加盟国と関連国際機関からの180名の専門家が5つの作業部会で作業を行い、2015年3月時点の情報により各巻平均約200頁の技術文書(Technical Volume)5巻を作成した。これは専門技術者向けの詳細な内容であり、これをベースに約190頁の事務局長報告書<sup>1)</sup>が作成された。

### II. 事務局長報告書の内容

事務局長報告書は天野之弥事務局長の巻頭言に続いて要約及び本文である概要報告書(Summary Report)からなり、最後に協力者等が記されている。内容はIAEA基準との比較等IAEAの視点からの所見やIAEAにとつての教訓も記されている。また本文にはカラー図による事象説明や格納容器ベント等の専門用語を適宜「囲み」で説明して読者の理解を図っている。なお事務局長報告書は英語の他に日本語を含む6カ国語に翻訳されている。

事務局長の巻頭言は福島第一事故の概要と要因、事故

*The Fukushima Daiichi accident—summary of comments and lessons from the report by the director general* : Hideki Nariai.

(2015年12月16日 受理)

以降の日本の規制改革や緊急時対応の強化、今後予定されているIAEA総合規制評価サービス(IRRS, Integrated Regulatory Review Service)の評価、各国における外部事象等の再評価、IAEAの活動と体制改善、安全プログラムの強化と安全意識の重要性等を簡潔に述べている。概要報告書は6章よりなるが、ここでは「第2章事故とその評価」、「第3章緊急時の備えと対応」、「第4章放射線の影響」、「第5章事故後の復旧」の技術的内容を中心に、IAEAの事故の評価と所見及び教訓の概要を記す。

### III. 事故とその評価及び原子力安全上の考慮事項

第2章事故とその評価では東日本大震災による福島第一事故の状況が日本の政府等の事故調査報告書や東電、規制当局等への補足調査、IAEA調査団の調査により記されている。起因事象、各号機の事故の進展と対応、そして2011年4月の東電による損傷炉の安定化への行動計画作成があり同年12月に事故段階の終了が記されている。

次に福島第一事故を踏まえた原子力の安全上考慮すべき事項につき、課題と所見や教訓が示されている。

#### 1. 外部事象に対する発電所の脆弱性

外部事象としてマグニチュード(Mg)9の地震が発生したが、耐震設計の裕度で施設は地震による影響を受けなかった。一方、随件事象の津波に対する規制要件は一般的で、東電は新知見に対し設計変更で対応し2009年には最大津波高さを6.1mとして一部設計変更を行った。また幾つかの想定波源からの原子力発電所サイトへの津波高さ評価を進め、2008年には福島第一への約

15m の遡上波高となる試算も含まれていた。それらへの対応を検討中に東日本大震災とそれに伴う福島第一事故となった。

所見として、Mg 9 地震の発生確度が高いとは日本の科学者が考えていなかったこと、構造地質学的に同等のチリ等諸外国で同規模地震が発生しており、日本のこれまでの歴史上の記録のみでなく評価されるべきであったことが記されている。

## 2. 深層防護概念の適用

福島第一は通常運転、異常時対応、安全系の3層防護で想定事象に対応する構えであったが、外部事象の津波対応が十分でなく、津波による冠水で3つの深層防護の共通要因故障となった。安全系の故障で想定外の状況となり、第4の深層防護であるシビアアクシデント(SA, Severe Accident)への進展防止と影響緩和の手段が活用できず、また電源喪失は情報伝達や制御機能の喪失をもたらし、事故の進展防止と影響緩和に失敗した。

教訓は、深層防護の考えは有効だが内部・外部事象に対し適切な冗長性・独立性・多様性等による防護強化が必要であること、設計基準を超える事故においても必要な計装制御系が動作可能な状態を維持することとした。

## 3. 基本安全機能の確保

原子炉の反応度制御、熱除去、放射性物質閉じ込めの3つの基本安全機能の内、反応度制御は全炉で達成した。しかし熱除去は電源喪失による制御不能と圧力容器減圧遅れで代替注水ができず失敗した。閉じ込め機能は電源喪失で冷却系とベント使用が難しく失敗した。1, 3号機のベントは成功したが格納容器が破損して放射性物質が放出し、2号機はベントが出来ず格納容器が破損した。

教訓は、設計基準を超える状態で機能できる冷却系を残留熱除去のため設け、閉じ込め機能を確保して放射性物質放散を防止することとした。

## 4. 設計基準を超える事故(BDBA)と事故管理(AM)

福島第一の許認可や安全解析では炉心損傷に繋がる事象を十分扱わず、津波への脆弱性や事故管理(AM, Accident Management)指針の弱点を特定できなかった。確率論的リスク評価(PRA, Probabilistic Risk Assessment)も内部溢水の可能性を扱わず、AM想定も楽観的で規制もSAの可能性が小さいとしていた。津波による複数基の電源喪失と冷却喪失への対策は不十分で、東電のSA管理指針はこれら低確率事象を扱わず、従って運転員は適切な訓練を受けていなかった。

IAEA安全基準はSA等の設計基準を超える事故(BDBA, Beyond Design Basis Accident)の評価を要求していた。東電は1990年代初めにPRAを実施したが、IAEA加盟国の慣行に従い単一ユニット事象に限定し、

津波冠水等の共通要因故障は含まなかった。非常用ディーゼル等の浸水時の脆弱性を示すにはこれらに関するPRAが必要であった。すなわちBDBAがPRAで完全に評価されておらず、炉心冷却維持能力、運転員の監視能力、及びSA管理(SAM, SA Management)に影響を及ぼした。

2007年6月のIRRSは、日本の発電所が予防措置で十分安全とみなしてBDBAを考慮する法的規制がない、と結論した。例えば定期安全レビューは最新手法解析への更新を運転組織に要求していなかった。IRRSはBDBAに関する規制要件の必要性和原子力安全・保安院(保安院)がこれら事象の系統的な手法開発を行いPRAとSAMを活用することを提言したが努力を喚起するには繋がらなかった。

2012年9月に原子力規制委員会が設置され、外部事象、共通要因による安全機能喪失対応等を強化して新たなSA対策がなされた。

所見・教訓は、BDBA対応能力や発電所の頑強性確認のためにはPRAや安全解析が必要であること、AM基準を起因事象と発電所の状態を基に策定して複数基に影響する事故にも備えること、想定されるSAに対し実際の設備の模擬使用を含む訓練が必要であることとした。

## 5. 規制の実効性

日本の原子力規制は経産省保安院と原子力安全委員会等多くの組織で実施され、責任と権限が明確でなかった。2007年のIRRSでは、検査官が事業者の施設に自由に立ち入って検査を行えないこと、すなわち検査プログラムは決められたことのチェックに限られ、規制当局が適宜安全を検証し問題を特定するのではないことが分かった。事故当時の規則指針類は、定期安全レビュー、ハザード再評価、SA及び安全文化に関し国際的慣行と異なっており、IRRSではこれらを改善する必要性が提言されていた。

所見は、原子力施設の安全の実効的な規制監督のためには規制当局が独立した権限、技術的能力、強い安全文化を有することが不可欠とした。

## 6. 人的及び組織的要因の評価

日本では原子力発電所が外部事象に十分頑強との想定で安全レベルに疑問を持たず、迅速な改善が進まなかった。特に高影響低確率の外部事象は基本的に想定外であった。保安院はその時々の問題に囚われ、IAEA安全基準等が示す根本的・長期的問題に取り組みなかった。また原子力発電所が安全でない印象を公衆に与えかねない懸念で規制更新や複雑な緊急時演習が実施されなかった。

東電の対策もSAへの技術的対応に自信を持ち、冠水リスクは想定外で最新のSAMに沿わず、複数ユニット

全交流電源喪失となる共通要因故障の可能性も除外した。

教訓は、安全文化(安全の意識)の強化には安全に関わる想定や可能性に常に疑問を持ち継続的に検討すること、安全を体系的に強化するには人的組織的技術的要因間の相互作用を常に考慮する必要があることとした。

#### IV. 緊急時への備えと対応

##### 1. 事故への初期対応

原子力緊急事態では発電所から地元自治体と国へ通報され、国は緊急事態宣言を発し必要な防災対策がなされた。サイト内対応は、電源喪失・瓦礫・余震・放射線レベルの上昇で極めて困難で、国がサイト内緩和策の決定に関与した。5km離れたオフサイトセンタは原子力緊急事態対応の全体管理を行うことになっていたがインフラ損傷で難しく、その後放射線状況が悪化して退避した。

教訓は、原子炉の重大な損傷を伴う原子力緊急事態が自然災害と同時に複数ユニットで発生する可能性を考慮する必要があること、緊急事態管理体制は事業者、地方自治体、国の明確な役割と責任を定めて定期的に訓練することとした。

##### 2. 緊急作業者の防護

日本の法令指針は緊急作業者の防護措置を定めていたが、緊急事態対応に必要な多くの指定外緊急作業者を組入れる体制がなかった。緊急作業者の放射線被ばく防護では容認できる防護維持措置がなされ、厳しいサイト状況から必要な緩和策継続のため線量限度が一時的に引き上げられた。またヘルパーと呼ばれる一般人がサイト外の緊急時対応支援を自発的に行った。

教訓は、緊急作業者が所属組織に関わらず指定を受け、明確な職責と適切な訓練を受け、適切に防護される必要があること、ヘルパーを緊急時対応へ組入れる体制整備が必要であることとした。

##### 3. 公衆の防護

緊急時防護対策決定は線量予測システム SPEEDI による予測線量で行われることになっていたが、サイト内電源喪失のため入力ソースタムを提供できず、IAEA 安全基準の事故対応である発電所の状態に基づき行われた。屋内退避、避難、ヨウ素剤使用の基準は実測値でなく予測線量に関して定められており、移転の基準もなかった。実施された公衆の防護対策は、避難、屋内退避、ヨウ素剤配布、食品飲料水の摂取制限等であった。

住民避難は福島第一から距離 2km 以内より始まって 20km 以内となり、20~30km は当初屋内退避となったがその後自主避難勧告となった。地震津波被害と通信輸送問題で避難、特に病院と介護施設からの避難が問題で

あった。その後 20km 区域の「警戒区域」指定等がなされた。

教訓は、発電所の状態に基づく緊急時防護対策の決定、発電所の進展状況やモニタリング結果に応じた体制整備の変更、緊急事態体制整備に必要な意思決定手段、意思決定者・公衆・医療関係者が緊急事態の放射線健康被害を理解できる支援体制整備、公衆の懸念に地方・国・国際レベルで対処する体制整備、が必要なこととした。

##### 4. 緊急時段階から復旧段階への移行と対応

日本では緊急時段階から復旧段階への移行に関する政策・指針類がなかった。国際放射線防護委員会(ICRP, International Commission on Radiological Protection)の最新勧告を適用して体制整備を行い、事故及び緊急時対応の分析や IAEA 安全基準を参考に改善していった。

教訓は、緊急時対応措置の終了と復旧段階への移行の体制整備は緊急時の備え段階で必要で、緊急事態対応を分析し改善することで緊急時体制の強化になるとした。

##### 5. 緊急時への備えと対応に関する国際的枠組み

事故発生当時 IAEA には緊急時対応での 4 つの役割、すなわち公式情報の通知、情報の適時提供、国際支援の提供、国際機関の対応調整があった。当時の IAEA の役割には事故の展開予測や想定される影響の評価を行うことは含まれていなかった。その後 IAEA の原子力安全行動計画が採択され、IAEA が原子力緊急事態時に予測されるシナリオを含め、事態の潜在的影響を適時加盟国等に情報提供することとなった。

教訓は、通報と支援に関する国際的体制が強化される必要があること、防護対策や対応措置の各国間協議と情報共有の改善が必要なこととした。

#### V. 放射線の影響

##### 1. 環境中の放射能

事故による放出放射性核種の多くは東方の太平洋へ飛び沈着拡散し、風向変化で比較的少量が福島第一から北西方向へ飛び沈着した。海洋には大気からの沈着に加え、福島第一サイトからの液体の直接流出もあった。

ヨウ素 131 ( $^{131}\text{I}$ )、セシウム 134 と 137 ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) 等の核種が、飲料水、食品等で検出され消費が制限された。

教訓は、放射能の環境放出量と組成の迅速な定量化及び特性評価が必要なこと、大規模放出では長期環境モニタリング計画が必要なこととした。

##### 2. 放射線被ばくに対する人の防護

日本の事故当時の基本安全基準(BSS, Basic Safety Standard)は 1990 年の ICRP 勧告に基づいていたが



2007年に新ICRP勧告が出されBSSは改定中であった。この勧告には緊急事態の人の防護に使用する参考レベルがあり、その値は急性又は年間20mSv以上100mSvを超えない範囲であった。日本の規制当局は最も低い20mSvを公衆防護に選択したが、実施当局や影響を受ける人々にとり対応は厳しいものとなった。また緊急時段階後の食品等の管理においても国内と国際的な規制値に相違があった。

教訓は、放射線防護の原則と基準適用が意思決定者と公衆に明確であるよう国際機関は理解し易い説明をすること、長期の防護措置は混乱の原因となるのでその妥当性を公衆等に伝えるコミュニケーション戦略が必要なこと、放射能に関する保守的な決定で長期の制限や問題が生じたが、国際基準間及び国際基準と国内基準間の一貫性が特に飲料水・食品等では必要なこととした。

### 3. 放射線被ばく

公衆被ばくの最大要因は、短期的には地表に沈着した放射性核種からの外部被ばくと<sup>131</sup>Iの摂取による甲状腺内部被ばく及びCsの摂取による多臓器内部被ばくであり、長期的には<sup>137</sup>Csによる外部被ばくである。個人モニタリングデータ等の推定では、公衆の受けた実効線量は低く、世界的レベルでの自然バックグラウンド放射線の実効線量の範囲であった。

子供の<sup>131</sup>I摂取の懸念では、事故後に飲料水・野菜・牛乳の制限で<sup>131</sup>Iの摂取が限定され、子供の甲状腺等価線量は低かった。しかし事故直後の<sup>131</sup>Iの摂取はデータ不足で不確かさがある。

2011年12月までに約2万3,000人の緊急作業員が従事したが、大多数の作業員の実効線量は日本の職業上の線量限度を下回った。174名は緊急作業員に対する基準100mSvを超え、6名は緊急時実効線量限度250mSvを超えた。緊急作業員への放射線防護要件の実施、防護用装備の利用性、及び訓練で不十分な点があった。

教訓は、公衆の個人モニタリングは放射線量推定の貴重な情報源であり線量推定モデルと共に公衆の線量評価に使用すること、日本では<sup>131</sup>I摂取の主要経路でなかったが生乳飲用制限が子供の甲状腺線量を制限する重要な方法であること、作業員が受ける可能性のある内部被ばくの放射線モニターと記録システムが必要なこと、緊急時対応の防護装備が利用可能で使用法の訓練を受けていることとした。

### 4. 健康影響

作業員、公衆に事故に起因する放射線による早期健康影響はなかった。遅発性放射線影響の潜伏期間は長く、その可能性を無視はできない。しかし原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

Radiation)の報告は、公衆の受けた低線量レベルから被ばく公衆とその子孫には放射線関連の健康影響の発生率の識別可能な上昇は予測されない、としている。また100mSv乃至それ以上の実効線量を受けた作業員に対し発がん率の上昇は識別できないと予想されるとしている。

子供の甲状腺スクリーニングが高感度装置で行われ、症候性のない甲状腺異常を相当数検知した。しかし事故に起因する甲状腺等価線量は一般に低く、甲状腺ガン増加の可能性は低い。

住民の心理状態は大地震・津波・事故の複合的影響のため原子力事故の影響がどの程度起因しているか評価は難しい。UNSCEARは最も重要な健康影響が地震津波事故の影響と放射線被ばくの精神的社会的状態とした。

教訓は、被ばくレベルが放射線の世界的バックグラウンドレベルにある時には集団の如何なる健康影響事象の増加も被ばくに起因するとは言えないことを明確に示す必要があること、事故後の健康調査は影響を受けた住民への医療支援を支える情報提供が目的であること、事故後に影響を受けた住民の心理的影響に対し放射線防護手引きが必要なこと、影響を受けた個人の懸念を軽減するため放射線影響の事実に基づく情報は理解し易い形で伝える必要があることとした。

## VI 事故後の復旧

### 1. 事故の影響を受けたサイト外地域の環境修復

事故後のサイト外修復の長期目標は避難者の帰還のために放射線量を下げインフラと社会経済状況を復旧することである。環境修復の政策戦略は事故以前にはなく2011年8月に政府が制定した。修復は外部被ばく低減のための除染による放射線量レベルの低下で、建物・庭・農地・道路等を含む住宅地帯を優先した。目標線量レベルを国際的に勧告された参考レベル、すなわち追加年間線量範囲1~20mSvの下限值1mSvの採用により修復活動で出る汚染物量が極めて増大した。この経験は事故後修復の国際手引き策定に活用できるとした。

2011年秋に追加年間線量を基に2種類の汚染地域が定められた。発電所から半径20km以内及び汚染による追加年間線量が最初の1年間で20mSv以上と予測される「除染特別地域」、及び追加年間線量が1mSv以上20mSv以下の「汚染状況重点調査地域」で、1mSv以下の追加年間線量達成が線量低減目標である。

教訓は、事故以前に事故後の修復のための国家戦略と措置、すなわち法律と規制枠組み、残留放射線量と汚染レベルに関する環境修復戦略、大量の汚染物と放射性廃棄物の管理、実行可能性や発生汚染物の量を考慮した環境修復、復旧時の放射線防護の安全基準の実際的な適用に関する国際手引き、等の計画立案が必要とした。

## 2. サイト内の安定化と廃止措置への準備

損傷原子炉の安定化と廃止措置戦略計画が東電と政府により策定され2011年12月に公表された。安定状態維持のため設備機器類が設置されたが汚染原子炉建屋への地下水侵入の継続的制御が必要で、汚染水は放射性物質を処理した上で800基を超えるタンクに貯蔵されており、海洋への管理放出を含む環境保全の解決策が必要である。最終意思決定には漁民等の利害関係者の関与が必要である。

使用済燃料と燃料デブリでは、使用済み燃料プールからの燃料取り出しが始まり、燃料デブリ取出し計画の概念モデルが開発されたが、廃止措置完了に30~40年程度を要するとされている。

教訓は、事故後の長期安定状態維持と損傷施設の廃止措置のための戦略計画が発電所サイトの復旧には必要で状況変化に柔軟に対応できること、破損燃料回収や燃料デブリの取出しに固有の解決策と特別な手法や工具開発が必要なこととした。

## 3. 放射性物質による汚染物と放射性廃棄物の管理

損傷原子炉の安定化、サイト内除染、環境修復作業で大量の汚染物と廃棄物が発生した。その管理には多大の努力を要する。サイト外の環境修復では大量汚染物の保管場所確保が難しく数百の仮置き場が地方自治体に設置され、中間貯蔵施設設置の努力が継続されている。

教訓は、事故とその修復措置に安全評価に基づく汚染放射性物質管理の戦略策定が必要なこととした。

## 4. 地域社会の再生と利害関係者の関与

緊急段階と復旧段階の防護対策としての避難、移転、食品制限は住民の苦難を伴った。復旧活動にはコミュニケーションが重要で分かり易い情報を提供する必要がある。事故後のコミュニケーションは改善され、住民は次第に意思決定と環境修復活動に関与するようになった。ピーク時避難者16万人の25%は2015年1月までに家に戻ったが若い家族は避難を続ける傾向がある。

教訓は、原子力事故と防護措置には社会経済的影響を考慮した再生・再建プロジェクトを策定すること、事故後の復旧には利害関係者の支持が不可欠で、影響を受けた住民が意思決定に関与して復旧プログラムを信頼すること、復旧活動への信頼は、明確で一貫した情報を提供して住民を支援することで構築されることとした。

# VII むすびに代えて

## 1. 外部事象評価

事故評価では外部事象におけるMg9の地震発生の確度が高いと日本の科学者が考えていなかったことを記している。日本では構造地質学的には同様でも詳細な発生機構に違いがあると考えたと推察する。一方津波に対す

る東電の波高15mの試算には強い指摘がなく、約20mの実際の遡上波高を複数の波源からの波の連動効果で説明した日本の解析<sup>2)</sup>をIAEAが了解した結果と考える。

## 2. 設計基準を超える事象(BDBA)対応

設計基準を超えるSAを含む事故事象に対する備えが十分でなかったこと、特にIAEA基準との違いや深層防護・基本安全機能のシステムやAM、訓練等が弱かったことが強調されている。2007年のIRRSで日本にBDBAに対する法的規制がないことが記されており、次のIRRSでの新規制基準とその実施の評価に関心が持たれる。

## 3. 規制の在り方

IAEAは組織要因として保安院がその時々の問題に囚われ、IAEA安全基準に示す根本的・長期的問題に取り組まなかったことや原子力発電所が安全でないという印象を与えかねない懸念から規制更新や緊急時演習が実施されなかったことを記している。規制の実効性でも、検査官が施設に自由に立ち入って安全を検証する手法でなく、決められたことのチェックだけであることも指摘した。日本では2012年の規制改革で原子力規制委員会が設置されたがこれらの点も次のIRRSで評価されよう。

## 4. 日本のSA対応

IAEAは1957年に設立されたが技術的活動が活発化したのは1979年のTMIと1986年のチェルノブイリ事故後といえる。日本は英国と米国から原子力プラントを導入したが当初の技術者は外国から懸命に学び原子炉建造や改良標準化で実力をつけ1980年代半ば以降の日本は自信を持った。SA研究も通産省が原子力工学試験センター(NUPEC)において大型研究を進めた。しかし1990年代に情報化社会が進み、もんじゅ事故等続発する事故がニュースとなり規制もその時々の問題対応で忙しくなった。1990年中頃以降、国際的に新設炉に対しSA対策が要求されたが、日本では逆にNUPECのSA予算が大きく減少するなど根本的な問題に目が届かずIAEA等の世界の潮流に遅れた。保安院がSA対応の内部検討を始めたのはIRRS後の2008年以降ですぐに福島第一事故の発生となった。

## 5. 放射線被ばくの防護

放射線被ばく防護で日本はBSSに2007年のICRP勧告取入れの最中で、勧告には緊急時に使用する参考レベルがあり日本は最低レベルの20mSvを適用したが対応は難しかった。環境修復の参考レベルも最低値1mSvの選択で汚染物量の増加となった。参考レベルの柔軟な使用を考える必要がある。食品管理においても国際的規制値と日本とで相違があり、国際基準と日本の基準間に

一貫性のある必要性が指摘された。低レベル放射線影響にしきい値有り無しが国により異なる等統一した国際基準も課題であるが、放射線被ばくは住民にとり心理的影響が大きく、手引きの内容を含め放射線情報を分かり易い形で伝える必要がある。一方 IAEA の見解で福島第一事故では子供を含む公衆や作業者に将来発ガンの有意な増加の可能性が低いとされており、安心すると共に注目していきたい。

6. 利害関係者の支持とコミュニケーションの重要性  
地域社会の復興再生には社会的経済的視点を考慮する必要がある、それには住民等利害関係者の意思決定への関与と支持が不可欠である。また、分かり易く明確で一貫した情報の提供で住民を支援しコミュニケーションを進展させて信頼を得ることが重要である。これらにより

福島において復興・再生が進み、この経験が今後の世界の原子力事故対応へ貢献できることを期待したい。

- 参考資料 -

- 1) 国際原子力機関 (IAEA), 福島第一原子力発電所事故 事務局長報告書, (2015).
- 2) 杉野英治, 呉長江, 是永真理子, 根本信, 岩淵洋子, 蛭沢勝三, 「原子力サイトにおける 2011 東北地震津波の検証」, 日本地震工学会論文集 13(2) (2013).

著者紹介



成合英樹 (なりあい・ひでき)

筑波大学名誉教授

(専門分野/関心分野) 原子力熱工学, 伝熱工学, 安全工学

## 新刊紹介

### Safety-I & Safety-II 安全マネジメントの過去と未来

エリック・ホルナゲル著, 北村正晴/小松原明哲 監訳,  
203.p, (2015.11)  
海文堂出版(定価 2700 円+税) ISBN 978-4-303-72985-1

本書の著者であるエリック・ホルナゲル, 監訳者である北村正晴と小松原明哲は, 2006 年に出版され, 2012 年に日本語訳が出版された「レジリエンスエンジニアリング—概念と指針」などレジリエンス工学に関する著作, 訳者などとして, この分野で広く知られている。本書は, レジリエンス工学を超えて, さらに, 安全工学や安全マネジメントについて新たな方向性を提案するものである。

本書の目的は, 従来の安全工学における安全の概念(物事ができる限り悪い方向へ進まないようにする状態, Safety-I と呼ばれる)が提供する視点に, 完全でない部分があることを指摘した上で, それを補完する新たな安全の考え方(物事ができる限りうまくいく状態, Safety-II と呼ばれる)の重要性を指摘するものである。Safety-II は, レジリエンス(想定状況下・想定外状況下において, 意図した結果や受入可能な結果ができる限り増えるようにする能力)とも関連する概念であるとされる。

本書を読み進めるにつれて, 例えば, Safety-I によると人々が手順に従い作業を行っているがゆえに物事がうまくい

くと考えるのに対して, Safety-II によると必要な調整を常に思慮深く行っているから物事がうまくいくと考える, というような例などから, 上記の 2 つの Safety(安全)の概念の違いと, Safety-II の概念の重要性が, 理解できる。このような調整がどのように行われているかを知り, そこから学び, 体系化することが, 安全工学, 安全マネジメントの新たな方向性であるというのが本書の提案であると考えられる。

ただし, 本書は, 一般の安全マネジメントを対象としたものであり, 原子力発電所等の原子力関連施設の安全マネジメントに適用するためには, 本書の提案を踏まえた具体化の検討が必要であると考えられる。例えば, 福島第一原子力発電所事故の教訓などを踏まえて考えると, 「うまくいく」=「小さな異常も(が)発生しない」と誤解してしまうと, 逆に, 安全性向上が実現できないのではないかと懸念される。今後, 原子力安全に関する学問体系を発展させるため, あるいは, 現場における安全マネジメントを向上させていくために, 原子力安全に関わる多くの関係者により, 本書の提案の具体化に関する議論が進むことを期待したい。

(東京大学 糸井 達哉)





## GLOBAL2015 低炭素未来に向けた核燃料サイクル会議の概要

日本原子力研究開発機構 菅原 隆徳, 電力中央研究所 飯塚 政利

核燃料サイクルに関する国際会議 GLOBAL2015 が、フランス原子力学会の主催によりパリで開催された。持続的なエネルギー利用といった長期的な課題から、東京電力福島第一原子力発電所事故に関する直近の課題まで、幅広い内容について議論が行われ、有益な情報を得た。本稿では、幾つかのプレナリーセッションおよびパネルディスカッションの内容と、シナリオ研究、核変換システム、乾式再処理技術の技術セッションの内容を中心に、会議の概要を紹介する。

**KEYWORDS:** *Nuclear fuel cycle, Low carbon future, GLOBAL2015, Scenario study, Nuclear transmutation, Reprocessing, Pyro-processing, Waste management*

### I. 会議の概要

フランス原子力学会が主催する GLOBAL2015 国際会議が、2015年9月21日から24日の期間、フランス、パリの Paris Congress Center で開催された。本国際会議は核燃料サイクルに関する技術全般を対象とした国際会議であり、1993年から2年ごとに、米国、フランス、日本の持ち回りで開催されてきたが、近年のアジアの国々における原子力利用と技術の発展に伴い、今後は日本の枠をアジアに拡大することになっている。今回の会議では、欧州、米国、アジアなど30カ国以上から、500名を超える参加者があり、300件超の技術講演があった。また3度のプレナリーセッションと6種類のパネルディスカッションがあり、持続的なエネルギー利用といった長期的な課題から、東京電力福島第一原子力発電所事故に関する直近の課題まで、幅広い内容について議論が行われた。

### II. プレナリーセッションおよびパネルディスカッション

今回のテーマは「Nuclear Fuel Cycle for A Low Carbon Future」となっており、炭酸ガス排出が原因と考えられる気候変動に対して、炭酸ガスの排出量が少ない原子力エネルギー利用を積極的にアピールする議論が多かった。これらの姿勢は「Nuclear for Climate」のスローガンの元、2015年12月にパリで開催される COP21(国連気候変動会議)に向けてアピールしていくとのことであった。

その取り組みの一例として、2015年5月に世界39カ

*Summary of Global2015 nuclear fuel cycle for a low carbon future* : Takanori Sugawara, Masatoshi Iizuka.

(2015年11月30日受理)

国の原子力学会が共同で、「原子力は気候変動に対する解決策の一つである」との提言をまとめた事例が紹介された。また、初日に行われたパネルディスカッションのテーマは「How Can Nuclear Energy Help to Fight Climate Change?」として、フランス、米国、中国、日本における炭酸ガス排出量と原子力発電の位置づけについて発表、議論が行われた。特に日本では、2011年以降の原子力発電所の運転停止により、発電に関わるコストと炭酸ガス排出量が大幅に増加しており、改めて難しい局面にいることを認識した。

このように原子力利用を積極的に進めようとする一方で、原子力が抱える課題に関しても活発な議論が行われた。大きな課題の一つであるプルトニウムマネジメントについては、ロシア、フランス、米国、日本、イギリスの専門家によるパネルディスカッションが行われた。この中で、特に米国やイギリスについては、大量のプルトニウムを保有し、これを MOX 燃料として着実に利用・処理を進めている姿勢がうかがえたが、MOX 燃料を用いることが可能な高速炉や軽水炉が少なく、効率的な処理は難しいと感じた。また日本からの発表は、もんじゅなどの高速炉開発の紹介にとどまり、プルトニウムマネジメントの点で確たる方針がまだ決まっていないことを示す結果となった。その他のパネルディスカッションでは、ウラン資源の必要性、バックエンドにおける可能なブレイクスルー、高レベル放射性廃棄物の処分など、原子力利用の持続可能性を追究する上でどれも欠くことのできないテーマが対象となっていた。原子力利用のコストに関しては、厳しくなる安全規制を満足するプラント設計は大きな負担であり、設計コストを官民で分担することが重要になるのではないか、という意見や、最終的には政府の役割が非常に大きく、自由経済と相容れないのではないか、という意見があった。また、技術の伝承

についてはどの国でも危機感を持っており、原子力開発に関するプログラムの遅れ、他分野の著しい成長などから若手の参加が限られ、労働力が高齢化していること、その結果 Pu 取扱などの枢要技術レベルが低下していることなどが述べられた。

### Ⅲ. 技術セッション

技術セッションについても、核燃料サイクルに関わる技術全般を対象としているため、非常に多岐にわたる分野のセッションが同時並行で行われた。1つの時間帯で最大9つのセッションが行われることもあり、聴講したい講演が重複することもあった。会議の性格上プレナリーセッションおよびパネルディスカッションが大きな比重(時間的にほぼ半分)を占めたためであるが、ポスターセッションを実施するなど技術的議論を活性化させる策があっても良かったと考える。

#### 1. シナリオ研究

技術セッションのうち、シナリオ研究については11件、コード開発と解析については合計10件の発表があった。計算機技術の発達と将来シナリオへの関心の高まりにより、より精緻なシナリオ解析コードが多くの機関で開発されている。フランスからは、フランス原子力庁(CEA)で開発されたシナリオ解析コード(COSI コード)を用いた高速炉導入シナリオについて発表があった。このコードでは、核設計コードと結合した精緻な評価や、不確かさ解析を行うことが可能である。米国からは、米国エネルギー省(DOE)が実施している評価関数を用いた最適な核変換サイクルの探索に関連した発表があった。その中で、Pu または Pu + MA を燃料とした高速炉サイクル、または、高速炉と一部 MOX 軽水炉の組み合わせが最適であると報告があった。日本からは、原子力撤退時代を仮定して、様々な核変換技術を用いた Pu 及び MA の核変換シナリオの比較研究の発表があった。

#### 2. 核変換システム

核変換システムに関する技術セッションでは、高速炉および加速器駆動核変換システム(ADS)を対象とした発表があった。ナトリウム冷却型高速炉に関連するものについて10件、分離変換のセッションで8件、ADSについて6件の発表があった。高速炉を対象とした核変換システムについては、日本からシリーズ発表があった。この研究では、MA および Pu+MA 核変換を対象として、核設計検討だけではなく、Pu+MA 核変換を念頭に置いた金属燃料に関する物性検討など、幅広い研究開発が行われている。またフランスからは、MA 核変換用高速炉を対象として、核変換特性に対する感度解析についての報告があった。ADS については、日本から、ADS を用いた核変換概念の主要技術に関する研究開発状況の

報告があった。一方、ベルギーを中心に欧州で進められている実験炉級 ADS の建設計画(MYRRHA 計画)については、今回1件も発表がなく、最新の情報を得ることができず、残念であった。核変換システム関係については、この他にも何件か発表があったが、過去の同国際会議と比較すると、核変換システムなどの炉に関する検討よりも、シナリオ検討やバックエンドに関する発表にトレンドが移行している印象を受けた。

#### 3. 乾式再処理技術

核燃料、再処理、廃棄物処理および処分の各技術については、これらの幅広いテーマのうち、乾式再処理技術研究開発に関わるセッションについて報告する。講演数は乾式プロセスと銘打たれた4つのセッションで合計24件、その他のセッションに割り振られた関連発表が5件の合計29件であった。これらの講演の約8割がアジア各国(日本、韓国、中国)の研究機関、または米国に留学中の学生によるものであり、特に韓国と中国における乾式技術開発への強い意欲を表していた。今回、やはりこの技術開発に力を入れているインドからの発表がなかったことを考慮すると、将来的な研究者の層の厚さの点からも乾式技術開発におけるこれらの国々の存在感は今後さらに大きくなると感じられた。ただし、アクチノイドそのものを使用した研究成果が少なく、溶融塩電解精製工程のモデル化や、流動/プロセスシミュレーションなど計算による検討結果の報告の比率が高い印象があった。一方、CEA では溶融塩/液体金属を用いた核変換用 CERCER ターゲットからのアクチノイド回収プロセスについて、Pu, Am を用いた試験により原理的成立性を見込みを得つつある。米国バージニアコモンウェルス大学では、エアロゾル化した溶融塩にレーザー誘起ブレイクダウン分光(LIBS)を適用することによる遠隔その場分析の試みがなされている。電中研と欧州超ウラン元素研究所(ITU)からは、フェニックス炉での MA 含有金属燃料照射、照射後試験、乾式処理試験から成る一連のプロジェクトの成果が発表された。また、日本原子力研究開発機構(JAEA)からは、ADS で用いられる窒化物ターゲットを対象にした乾式再処理に関するアクチノイドを用いた試験結果を背景にして、電解精製工程を効率化させるための電極構造検討の状況が紹介された。これら様々な国々、フェーズの異なる研究成果が刺激し合い、この分野の技術開発がさらに活発化することが期待される。

### Ⅳ. 所感

本会議のプログラム委員長である B. Boullis 氏(CEA)は、北欧およびフランスで最終処分場の操業が開始されていく今後10年間は、核燃料サイクルにとって重要な期間であると述べて閉会セッションを締めくくった。原

原子力利用推進が社会的にもリソースの面からも困難さを増し、再処理技術や高速炉開発において大きなマイルストーンがない中で、閉じたサイクルを実現することにより原子力に対する社会的・技術的信頼性を確保し、将来の発展に向けた踏ん張りどころにしたいという気持ちの表れと感じられた。福島第一原発における重大事故を経験し、最終処分場候補地選定の入り口で足踏みしている我が国とすれば、欧州以上の努力とスピードがなければ、将来世代にわたるエネルギー問題の解決は見込めないとと思われる。

会議全体を通じて「気候変動抑制のための原子力利用と開発」という基調があり、セッション合間にはこの基調に沿う一般人のインタビュー映像が流されていた。しかしながら、社会情勢や再生可能エネルギー関連技術の進展など外部条件に関する現状の理解と共有を欠いたまま、原子力利用の必要性を前提として「居心地よく」議論をしようという姿勢に対して疑問を感じた。資源、経済、リスクなどの観点も含めた十分なデータと比較検討の上で、原子力利用でしか得られないメリットを明確にするために議論することが、核燃料サイクルに関する世界の英知を集めて行われる GLOBAL という国際会議の

使命ではなかろうか。

なお今回の会議では、プロシーディングスが USB メモリで配布され、顔写真入りの ID 用紙を参加者個人が事前に用意するなど、紙媒体をできるだけ用いない、かつ効率的な運営姿勢が印象的だった。また、プログラムや参加者リストなどが確認できるスマートフォン用アプリも用意され、主要なプレナリートークの文字起こしを 1 日後ぐらいに閲覧できるなど、面白い試みと感じた。

次回は 2017 年 9 月に韓国、ソウルで開催予定である。

### 著者紹介



菅原隆徳 (すがわら・たかのり)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)分離変換技術, 特に加速器を用いた核変換システム(ADS)



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)燃料再処理技術, 特に乾式再処理とこれを応用した金属燃料サイクル技術

## 新刊紹介

### 結晶転位論 鉄から窒化ガリウムまで

坂 公恭著, 280p. (2015.8)  
丸善出版(定価 4,000+ 税) ISBN 978-4-621-08963-7

本書は材料の変形や温度変化により結晶中に発生する「転位」の挙動について基礎から応用まで幅広くまとめられた 1 冊である。この本の特徴は、副題に示されているように主に転位論が構築された金属結晶から近年の工業に欠かせない半導体結晶までの転位について最新の知見を織り交ぜて紹介されていること、そして著者の専門の透過電子顕微鏡による転位像が随所に取り入れられていること、である。

本書の構成は第 I 部基礎と第 II 部応用に分かれる。第 I 部では結晶学の要点から弾性論の基礎、六方最密構造中の拡張転位、など、転位論の基礎となる内容が示されており、大学の教科書として最適な内容となっている。第 II 部では応用として、規則合金や金属間化合物中の転位、ダイヤモンド・SiC 中の転位の挙動などが最新の知見を交えて示されており、金属材料や半導体材料を扱う研究者にとって各自の研究を整理・補強する良い参考となる内容である。

紹介者が本書を読んで感じたのは、何よりも「解りやすい」ことである。転位論を論じた書籍としては古くは鈴木秀次著

の「転位論入門」などがあるが、本書ではより解りやすい明確な図表と重要なポイントについて枠で囲って目立たせたりするなど、転位論を学ぶ学生のみならず、研究を開始・再開する研究者にとっても頭の整理がしやすい内容となっている。加えて、目次の各章毎に♥、♠、◆の印で材料系・半導体系共通、材料系、半導体系の区分けをしており、読者が本書を利用する際に少しでも解りやすくなるように、との心配りが感じられた。



紹介者は電子顕微鏡による原子力材料の微細組織観察が専門であることから、本書を自分の研究を鑑みながら楽しく読み進めることができた。ただ 1 点、少し残念と感じたのは、主に第 I 部基礎の各章で示されている多くの問題の正解が本書に記載されていないことである。前述したように、本書は思わず読み進めてしまうほど面白いのに、問題に対して正解例が示されていないのは消化不良を感じた。より幅広い読者のためにも正解例をつけて頂けるとありがたいと感じた。

(電力中央研究所・園田 健)

# 談話室

## 帰還に向けて原発のある町の歴史を繋ぐ

地域メディエータ 半谷 輝己

### 東電副社長が謝った

2011年4月22日付けの朝日新聞記事の抜粋を以下に。

東京電力の鼓紀男(つづみ・のりお)副社長が22日、福島第一原発の周辺に住む約600人が避難している福島県田村市の市総合体育館を訪ね、住民に「心からおわびします」と謝罪した。事故を受け同社役員が住民に直接謝ったのは初めて。鼓副社長ら同社幹部に対し住民たちは正座して「よろしくお願いします」「頑張ってください」などと声をかけるなど冷静な対応が目立った。「まだ見通しが見つからないの」と問いかけた農家の男性に鼓副社長は「全力を尽くします」と答えた。男性は「我々は1年間作物を作らないと困ってしまう。原発をつくる時ある程度の地震には耐えられると言っていたはず。早く家に帰れるようお願いします」と静かに訴えた。

この記事から、当時もなぜこれほど大熊の方々は冷静なのだろうと多くの質問や疑問を聞かれたことを記憶している。地域メディエータとして、私が原発事故や原発立地地域の疑問に答えるとき、幼少のころの私の経験から説明をはじめることがある。たぶん、そこからでなければ理解して貰えない疑問なのだと思う。

### 宇宙人の村

昔、東北地方の中では比較的温暖で、のどかな田舎町の海岸に不思議な村が作られた。そこは大熊町と双葉町の間に位置し普通なら誰も近づかない防風林の奥であった。この村を知ったのは私が小学校3年生のころだったと記憶している。

私はある日突然村一つが出現したと思っていた。変な村があるとの噂を聞きつけ友だち数名と村に侵入し、村人に遭遇した時は宇宙人たちが住んでいる村だと本気でそう思ってしまった。住人は生まれて初めて肉眼で見る金髪に青い目の人々だもの。この敷地内は、まるで米軍基地のように道路標識などすべてが英語表記なのだ。よくこの不思議な村に遊びに行った。そこにあるものはすべてが新鮮で驚きだったからだ。小さな学校に小さなグラウンド。その周辺に当時の私ぐらいの男の子が30ccぐらいの小型のオートバイに乗って遊んでいた。少年の金髪が風になびき比較的野性児と思っていた自分が貧弱に思え、自慢の仮面ライダーを真似て手を加えた

改造自転車はみすばらしく見えてしまった。

私のお気に入りの外人はオランダ人の技師が住んでいた家のご家族で、何度もケーキやお茶をご馳走になったことだ。生まれて初めて紅茶を飲んだ。紅茶の味を刷り込まれた瞬間でもあるからなのか記憶が今でも鮮明に残っている。なお外人と言う表現は、当時とても一般的で主に白人を指していたように思う。田舎町の小学生に英語など分かる訳もなく、会話はすべてジェスチャーと笑顔のみ。笑い声の絶えないコミュニケーションだった。福島(当時は大熊)原子力発電所の一号機は通称GEと呼ばれる米国ゼネラル・エレクトリック社製である。建設に従事したのはアメリカ人技師を始め、オランダ人技師やドイツ人技師であったと伝え聞く。彼らと彼らの家族の生活の受け皿として、双葉町と大熊町の間に通称外人村と言うGEの技師たちの居住区が出来たのだ。

### 貧乏な町は豊かになった——ドングリの誘惑

同じころ、双葉町の町外れの高台に鉄筋コンクリートの団地が出来あがり、東京電力の社員と家族がやって来た。毎月のようにクラスには転校生がやって来て、転校して行った。地元の子どもたちは転校生からたくさん刺激を受け一緒に学んだ。弁当箱は新聞紙ではなく、布で包むもの、弁当のおかずはご飯の上ではなくバラで仕切られるもの、ウインナーはタコやカニの形にして食べるものと、都会の豊かさと文化の違いを実感した。

そして私の故郷は豊かになっていった。小さな町には不釣り合いな鉄筋コンクリートの立派な町民体育館がその象徴だったと思う。最初に大熊町、次に双葉町。浪江町の十日市も年々盛大になっていったことは誰の目にも明らかだった。いつしか二つの町に限らず周辺の町は原発を中心に動き始めた。原発誘致に当たり様々反対運動があったと聞く。大人たちが議論を重ねて行くうちに混沌とし、そして町が二分して。「どうして、東京の電気を遠く離れた福島で作るのだ。それほど安全だと言うなら、東京湾に作れば良いのだ」と私の親父たちは息巻いた。けれども、東京電力の力に勝てる人材など貧乏な田舎町には乏しく、当たり前誘致は決まり建設も始まった。同時に地域住民のために原子力サービスセンターが作られ様々な地域向けサービスが始まった。テーマは「安全」と「夢のエネルギー」だったと記憶している。地域

の子供たちにはドンダの実を一掴み持って行くと、アンパンに牛乳、三角定規にコンパス、クレヨン、下敷きとノートがただで貰えた。そして、松竹映画「宇宙大怪獣ギララ」が上映された。なぜ当時人気があった「ゴジラ」ではなく「ギララ」だったのか。確かに「ゴジラ」は放射能を吐くので東電にとっては不適切だったのだろうと思う。調べてみると「宇宙怪獣ギララ」には月に向かう宇宙船が原子力宇宙船という設定だったことが採用理由のようだ。外に $\alpha$ 線・ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線とプリントされた木の板、鉄、紙などを、備え付けられたピストルで打ち抜くゲームもあった。

今思えばGEから東電がレクチャーされ進められたプロパガンダだったかと想像してしまうぐらい絶妙だった。今彼らは、五十歳前後になっている。原発を中心に動いて来た町。様々な恩恵を受けてきた住人。毎日夕方5時には「原発は安全です」とテレビCMを見てきた住人。原発事故が起き避難する中、東電に裏切られたとは思っても恨んでいる住人はどれだけいただろう。私の世代で、この事実を知っている住人は意外と多い。東電副社長が田村市の避難所で謝罪した時、罵声、怒号が少なかった理由がここに、全てを失った大熊町民の悲しみがそこにあった。

#### 20km圏への帰還の条件

20km圏内の様子は、悲惨である。そこを故郷とする者にとっては尚更である。絶句と言う言葉でも言い表せないほどののだ。震災から2年後に、浪江町の請戸港を訪れた。以前は何気なく見ていた道路際の目印が全て津波で消滅し、それが何なのかを理解できるものとして目に入ったのは、かすかに遠くに見える請戸港の魚市場の建物だけだった。これを目指して雑草がアスファルトの両端を侵食しつつある道を辿った経験があまりにもショックだった。その時、記憶も一緒に流されてしまったかのような思いがした。記憶を消されたことが最もショックだったのだろう。「汚れた町」「死の町」色々な表現があるのだろうが、私には、「帰りたくても帰れないところ」が適正な表現に思える。多くの人が今もそう思っているだろう。

震災後1年2か月が過ぎたころ、南相馬市を訪れた。最初に目に入ったのは、悲惨な地震や津波、放射能の被害状況より、真新しいお墓とお祭り(相馬野馬追)で活躍するにはまだ早い幼い馬であった。復興へ一歩踏み出していた象徴に見えた。震災後、私をご支援して頂いている国連大学名誉副学長の安井至氏は、彼が運営する「市民のための環境学ガイド」と言うサイトで2年半後の被災地を巡ったあとに「人はいずれ死ぬ。しかし、コミュニティは、本来永遠に続くものである」と言う感

想で報告をまとめられている。彼はコミュニティーは一度死ぬと生き返らないと言いたいのであろう。私も同意見である。では、私たちにとってコミュニティーとはいったい何だろう。震災後、東京や大阪の都会の若者たちが私の話を聞きたいと訪れてきた。目を輝かせて私の話を聞き入る都会の若者たちのニーズを当初は青い鳥症候群と言う理由で括っていた。自分探しを活躍の場を被災地に求めているだろうと。

ところが、一橋大学の猪飼周平氏からのアドバイスで私の視点に変化が生まれた。それは「若者の力で福島を勝利で終わらせたい。負け負けの歴史を変えたいのだ」と言う強いメッセージだった。私の中にあった「お墓とお祭り」というキーワードと結びついたのである。「20km圏内に君たちの神社を一緒に作ろう。朽ちかけている神社の再興に尽力しよう。その結果、神社に君たちの名前が刻まれるのだ。数十年後、君たちの孫がその神社を訪れた時、これが僕のおじちゃん、私のおばあちゃんだと自慢できるだろう。どうだ、名を刻んでみようじゃないか。君たち若い力で福島を勝利で終わらせないか」こんな単なる思い付きの問いかけに、若者たちは目を輝かせ頷いてくれる。名を残すこと、記憶に残すこと、受け継ぐことがコミュニティーの継続なのだ。私の中で全てが繋がったように思えた。

専門家による20km圏内の復興の青写真を見る機会がある。莫大なお金を掛けた理想的な町、夢のような近代的なコミュニティーの場も用意されているようだ。誰もが羨むような理想的な町作りも魅力的である。それも良いが、私は、全国のみなさんから応援してもらえぬ復興のストーリーが必要に思う。被災地は福島だけではないのだ。岩手や宮城、茨城も千葉も被災した。被災状況は様々である。特に20km圏内は放射線の影響がいつも付きまとうだろう。けれども、復興の根本に地域差があるだろうか。東北人は元来、逆境に強い。コミュニティーを絶やしてはいけぬ、故郷を消してはいけぬという強い思いがある以上、苦難に打ち勝とうとする人間の力に期待すべきだろう。帰ろうとする意思が最大の条件であることには間違いのないのだから。

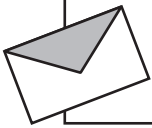
なせば成る為さねば成らぬ何事も成らぬは人の為さぬなりけり

20km圏内への帰還は、やれる者から誰かが始めなくてはならないのだろうと思う。私の人生の支えとなっている上杉鷹山の言葉を噛みしめ、この記事をお読みの皆さまのご協力を賜りつつ、私が帰還への仕事の一つを担わせて頂ければ幸いです。是非、応援の程よろしくお願ひ申し上げます。

(2016年1月5日記)



# 理事会だより



## 標準活動のさらなる改善に向けて

### 1. はじめに

規格基準、標準の重要性について考えるとき、家庭用ビデオにおけるベータとVHS方式の規格競争や、携帯電話などの国際通信規格の日進月歩の進歩を挙げるともなく、標準を制するものは世界を制すと言っても過言ではありません。学会では、原子力施設の安全性・信頼性を高い水準の技術に基づき効果的かつ効率的に確保するとの観点から、原子力施設・機器に関する規格、基準、指針類(標準と総称)を整備すべく、1999年より「標準委員会」を設置し、「公正」、「公平」、「公開」を運営の原則とし、ステークホルダーである産官学の関係機関の専門家がバランス良く参加して、原子力安全に関わる基本的な考え方から、具体的な手順まで幅広い標準の策定に取り組んでいます。

### 2. 原子力学会標準委員会の経緯

米国NRCは、1996年に国家技術移転・促進法(PL104-113)に従い、ASMEやIEEEなどの民間規格策定活動への参画と活用を積極的に進めてきました。

わが国においても2001年の規制改革推進を受けて、翌年に「原子炉安全小委員会」がまとめた報告書において、規制基準の性能規定化と民間規格活用、学協会規格における規格策定活動への規制当局の協力などに関する基本方針が示されました。

原子力学会は、これに先駆けて「標準委員会」を設立し、既存の日本機械学会や日本電気協会との役割分担を進めながら、原子力に特有の範囲について中心的な役割を果たして行くことしました。具体的には標準委員会のもとに、発電炉、原子燃料サイクル、研究炉の3専門部会で民間規格の整備活動を行ってきましたが、2008年に、基盤・応用、システム安全、リスク、原子燃料サイクルの4専門部会に再編され現在に至っています。

標準委員会の活動成果は学会ホームページに公開されており、これまでに75件の標準を発行、改訂し、今日に至っています。

### 3. 標準制定活動の基盤強化

これらの活動を支える「学協会支援」に関して、国においても原子力安全基盤小委員会(2008年)にて、規格基準策定活動への参画促進とともに、事務局機能の強化とそれに伴う必要経費の確保について報告され、産業界及び規制当局等はしかるべき支援を実施すべきとの提言がなされました。その結果、賛助会費の増額や事務局要員の派遣、調査委託の実施などにより、規制側、メーカー、

電力間で応分の協力が行われてきました。

しかし、福島第一事故のあと、規制側の人的・資金的支援がなくなり、産業界においても経営状態が予断を許さない状況になるなど、標準委員会活動の収支に大きな影響を及ぼす状況になりました。2012、2013年度は賛助会費が大きく減額されたこと、一時的に新規発行標準が減少したことから、2013年度は、事業として損失を計上することとなりました。その後は標準売り上げの増加や経費削減努力の結果、僅かながら利益を計上できていますが、事務局機能は課題として残っています。

### 4. 標準活動運営委員会による改善

標準の持つ機能上、独立性が求められる一方、標準制定活動は原子力学会活動の一環として実施されており、最終的な経営責任は理事会にあると考えています。このため標準事業を学会経営の重要な事業として捉え、直接的な運営費用の他、標準出版事業、講習会等の開催による収支を総合して評価する必要があります。標準事業の経営に関しては、標準委員会での審議事項ではなく、標準委員会運営内規第12条において、「…委員会の経営に係る活動、すなわち出版、運営経費の予算・決算など経営に係る諸活動は、標準委員会委員長が参画する学会内に設けた運営組織にゆだねる。細目は別途定める。」とされており、理事会における適切な経営上のガバナンスが求められています。

経営収支をはじめとする改善策を審議するため、標準活動運営委員会(委員長は標準担当理事)が2014年12月に新たに設置されました。これまでに、標準関連事業の経営問題に関し、標準委員会委員との意見交換、収支見通しの分析評価や予算計上の際の意見交換を行い、次のような重要課題について認識共有を図ることにより経営改善に資する活動を行ってきています。

- (1) 中長期的な収支状況と活動の活性化
- (2) 標準担当事務局員の継続性と人財育成
- (3) 標準の価格戦略、品質向上策、契約対応等

今後も原子力学会会員増強と同様、賛助会員の増加及び標準にかかる賛助会費枠組み再構築をお願いするとともに、事務局の皆さんとも協力し、標準活動の活性化と経営基盤の安定を目指して努力してまいります。

(標準担当理事・石隈和雄)

「理事会だより」へのご意見、ご提案の送り先  
rijikaidayori@aesj.or.jp