

### 巻頭言

#### 1 「もんじゅ」に対する勧告を受けての思い

馳 浩

### 福島からの風

#### 8 震災から「新生ならば」創造へ

松本幸英

### 座談会

#### 15 「どうする? もんじゅ」3 原子力をめぐるグランドデザインの不在が根底に



「もんじゅ」の問題の背景には原子力のあり方をめぐるグランドデザインの不在がある。一方で国民に対しては、「もんじゅ」を含めた原子力が持つエネルギー面での供給安定性や安全保障への寄与などを明示化することが重要だ。

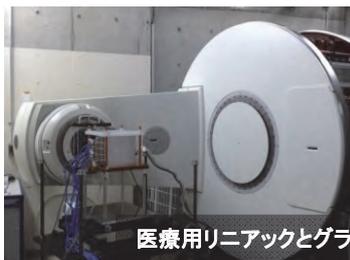
竹内純子, 山本隆三, 澤田哲生

### 解説

#### 34 産総研における放射線線量標準の現状

産総研では放射線量に関する様々な国家標準の開発, 供給を行っている。このうち放射線標準研究グループでは, X線, γ線, β線の線量標準について研究を行っている。

黒澤忠弘, 齋藤則生



医療用リニアックとグラファイトカロリメータ

### 時論

#### 2 構造災—科学社会学者からのメッセージ—

福島原発事故が問いかけていることなかで、もっとも無視され続けている事柄は、制度設計のあり方だ。  
松本三和夫

#### 4 ベストミックスにおける原子力の役割

原子力を急に止めて、ゼロにすることはできない。むしろ日本は、こうした技術を磨き続けることが大事なのではないか。  
柏木孝夫

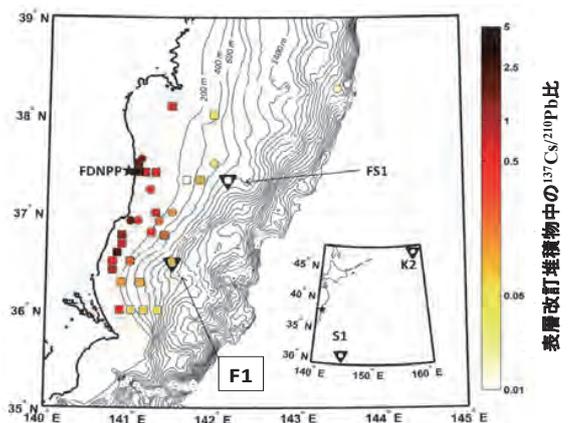
#### 6 世界の検査・規制の教訓から見た開発段階炉「もんじゅ」勧告

安全規制で本質的に求められているのは遵守確認型ではなく、炉心損傷のリスクに注目した安全性の維持・向上を促す検査である。  
杉山憲一郎

### 解説

#### 24 福島原発事故由来の放射性物質が付着した海底堆積物の再懸濁と水平輸送過程

福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムが、海洋内でどのように移動しているかを3年間にわたって調べた。その結果、放射性セシウムが沈着した海底堆積物が大陸斜面に水平方向に移動していることがわかった。  
本多牧生, 乙坂重嘉



西部北太平洋における時系列式セジメントトラップ係留地点背景の値は海底堆積物表層の放射性セシウムと過剰放射性鉛の放射能比

## 解説シリーズ 多様な誘因事象に対する原子力安全の確保 (1)

### 28 リスク情報活用に係る現状と課題

原子力安全部会では、福島第一原子力発電所事故に関して検討すべきとした課題について、継続的議論を行っている。本シリーズでは、そのうち、多様な誘因事象に対する原子力安全確保のあり方についての検討を紹介する。その1では、リスク情報活用に係る規制機関と事業者の取組みの現状と今後の課題について報告する。

糸井達哉, 林健太郎, 大和正明

## 解説シリーズ 転機を迎えるエネルギー市場 (3)

### 40 電力自由化の国際動向

電力自由化で先行する海外において、発電部門では電力供給力の確保に向けて様々な制度が実施され、小売部門では低廉な規制料金が競争の妨げとなる問題等が懸念されている。

小宮山涼一

## 報告

### 46 臨界安全国際会議 ICNC2015

臨界安全分野では知識継承や研究開発リソース維持への懸念があり、国際協力の重要性が指摘された。

名内泰志, 竹澤宏樹, 外池幸太郎

### 52 2015年世界原子力大学夏季研修に参加して—各国からの参加者との議論から学んだこと—

金澤聡子

### 55 会誌電子化の広がり—他学会の取り組みの紹介—

急速に進む出版物の電子化。学会誌への導入にはどんなメリットと課題があるのか。

折原小夏

## Short Report

### 57 奨励賞を受賞した若手研究者の研究に寄せる思い

上野克宜, 石井健治

## ジャーナリストの視点

### 61 とらわれない視点で

山本明彦

## 9 NEWS

- 高浜1, 2号機は運転延長, 3, 4号機は運転差し止めへ
- 経産, 高レベル処分有望地で説明会
- 再処理等拠出金法案を閣議決定
- 美浜1・2号と敦賀1号の廃止を申請
- 海外ニュース

## 談話室

### 58 OECD/NEA 報告書に見る「効果的な原子力規制機関の特性」とは

規制機関が目指す根本的な目的は、事業者が安全に原子力施設を運転することを確保することである。そのためには規制機関自らが「正しい行動を上手く効率的に」行わなければならない。

木下雅仁

## 活動報告

### 60 将来の人材を確保するためのツールとして—原子力・放射線分野ロールモデル集の作成と配布—



羽倉尚人

- 39 新刊紹介「放射化学の事典」 渡邊雅之
- 51 From Editors
- 62 「2016年秋の大会」お知らせ
- 63 会報 原子力関係会議案内, 平成28年度新規フェロー, 平成27年度フェロー賞受賞者一覧, 平成28年度「シルバー会員」・「永年会員」表彰, 第48回(平成27年度)日本原子力学会賞受賞一覧, 2015年度JNST Article Awards受賞一覧, 英文論文誌(Vol.53, No.4)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>

# 「もんじゅ」に対する勧告を受けての思い

## 巻頭言



文部科学大臣 教育再生担当大臣

馳 浩 (はせ・ひろし)

高校教諭からロスオリンピック代表、プロレスラーを経て1995年に参議院議員初当選、2000年に衆議院議員選挙で当選。文部科学副大臣や党広報本部長を経て2015年10月より現職。

高速増殖原型炉「もんじゅ」については、多くの方々にご心配をおかけしています。今回、この紙面をお借りして現状と私の思いをご紹介します。

「もんじゅ」は、平成24年に機器の点検の不備が確認されて以来、原子力規制委員会から保守管理の不備について厳しいご指摘を受けておりましたが、私が大臣の任に就いておよそ1か月後の平成27年11月13日、田中俊一原子力規制委員会委員長から、「もんじゅ」の出力運転に向けて、日本原子力研究開発機構に代わる適切な運営主体を特定すべきとの内容の厳しい勧告を手交されました。

私自身、これまでも、地元石川県の志賀原子力発電所の関連、また福島第一原子力発電所事故後の対策関連など、原子力については議員として少なからず関わって参りました。今回、担当する大臣として、このような勧告を受けたことを、何より厳粛に受けとめて対応を進めることといたしました。

まず、できるだけ早いタイミングに、「もんじゅ」の現場を自分の目で見るべきと考え、12月初めに現地視察を行いました。日々、現場で保守点検に取り組まれている職員の方々に直接お会いしてお話を伺いました。その際に、現在、現場の安全は確保されていること、更に、「もんじゅ」の保守管理の改善に向けた現場の皆さんの懸命の努力も実感することができました。また、福井県知事や敦賀市長にもお会いし、地元自治体の熱意もお伺いすることができました。このような、現場で日々努力されているの方々にとっては、今回の勧告には様々な思いがあろうとお察しするとともに、このような勧告を受けるに至った文部科学省への御批判についてもしっかりと受けとめたいと考えております。

私は、この件について以下の三段階で検討を進めることといたしました。

まずは第一段階として、「もんじゅ」に関し、いったい何が問題であったのか、これまでの課題の総括を行うこととしました。このため、昨年12月、私の下に、「もんじゅ」の在り方に関する検討会を設けました。この検討会は、有馬朗人元文部大臣を座長とし、その下で原子力、品質保証、法律の専門家や電力、メーカーの御経験を持つ方などにメンバーとして入っていただき、議論を進めております。公開のこの検討会には私も率先して出席しておりますが、メンバーの方々には毎回大変精力的に議論いただくとともに、実際に、「もんじゅ」サイトの視察も行って頂き、大所高所からのご意見を頂いております。

第二段階として、この課題の総括を踏まえて、「もんじゅ」の在り方、運営主体のあるべき姿を示したいと考えています。さらに第三段階として、具体的な運営主体の検討を行うこととしております。本件は、非常に重要で困難な課題ですので、私としても拙速にならず、政府部内の関係府省とも連携を取りながらしっかりと検討していく所存です。

資源の有効利用や環境負荷低減の観点から言うまでもなく、エネルギー基本計画に定められている核燃料サイクルの位置づけは何ら変わるものではありません。「もんじゅ」は国際的にも大変貴重な研究拠点であり、将来の高速炉サイクルに向けた研究開発をしっかりと進めていきたいと考えております。

文部科学省では、原子力政策に関し、まずは福島第一原子力発電所事故で被災された皆さんに寄り添い、廃炉研究など、福島の再生・復興に向けた取組をしっかりと行ってまいります。あわせて、原子力の安全性向上に向けた研究、基礎基盤研究や原子力人材育成、核燃料サイクルと高レベル放射性廃棄物処理処分研究に取り組んでまいります。

(平成28年2月23日記)



# 構造災

## —科学社会学者からのメッセージ—



松本三和夫 (まつもと・みわお)

東京大学大学院人文社会系研究科教授  
1981年、東京大学大学院社会学研究科博士課程修了。社会学博士。東京大学助教授、オックスフォード大学セントアントニーズカレッジ上席客員研究員等を経て現職。科学社会学会会長。専門は社会学。主著に、*Technology Gatekeepers for War and Peace* など。

### 1 構造災と科学社会学の視点

福島原発事故が問いかけていることのなかで、もっとも無視され続けている事柄は何だろうか。筆者は、制度設計のあり方なのではないかと考えている。社会の地金の変革にかかわるといってもよい。以下では、「構造災」といえる状況での制度設計のあり方の重要性を、科学社会学(sociology of science and technology)の視点(松本 2009, 2012, 2016)から述べたい。

### 2 構造災の特性

福島原発事故以降の状態に対する筆者の率直な印象を述べさせていただくと、事故は元来他人事ではないはずなのに、他人事してくれ、これまでと寸分違わぬ営みに棹さしかねないという点に収斂する。

表題に掲げた構造災とは、福島原発事故をそのような意味での他人事にしないための視点と考えていただきたい。構造災には、すくなくともつぎの5つの特性が複合的に関与しうる(松本 2012: 46)。

- (1) 先例が間違っているときに先例を踏襲して問題を温存してしまう。
- (2) 系の複雑性と相互依存性が問題を増幅する。
- (3) 小集団の非公式の規範が公式の規範を長期にわたって空洞化する。
- (4) 問題への対応においてその場かぎりの想定による対症療法が増殖する。
- (5) 責任の所在を不明瞭にする秘密主義が、セクターを問わず連鎖する。

### 3 制度化された不作為

構造災は、科学技術と社会の界面の構造を決める制度の根本的な設計思想の次元に深くかかわる。福島原発事故直後における SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム)の運用のされ方が、見本例を提供してくれる。

SPEEDIの運用は、旧原子力安全委員会によって定められた環境放射線モニタリング指針を根拠とする。同指針によると、平常時モニタリングの目的は「原子力施設の周辺住民等の健康と安全を守る」ことである(原子力安全委員会 2008: 3)。しかし、原子力施設における緊急事態を想定した緊急時モニタリングの目的は、「必要な情報を収集し、原子力施設に起因する放射性物質又は放射線の周辺住民等への影響の評価に資する」と定められている(原子力安全委員会 2008: 15)。「周辺住民等の健康と安全を守る」という目的が、「周辺住民等への影響の評価に資する」に置き換わっている。

「健康と安全を守る」ことが目的なら、「健康と安全を守る」ことができなければ、指針は失敗である。他方、「影響の評価に資する」ことが目的なら、かりに「健康と安全を守る」ことがなくとも、「影響の評価に資する」ことは可能だ。つまり、「健康と安全を守る」と「影響の評価に資する」ことは、かならずしも重ならない。

この区別が重要なのは、「健康と安全を守る」と「影響の評価に資する」ことが重ならないという可能性が、緊急時の指針から帰結しているからである。すなわち、緊急時に周辺住民等の「健康と安全」が守られなくとも、周辺住民等への「影響の評価に資する」かぎり、指針を遵守した行動である可能性が存在する。

SPEEDIの使用を定めた指針は、緊急時の4つの場面を想定している。

- (1) 事故発生直後
- (2) 放出源情報が得られた場合
- (3) 緊急時モニタリング情報が得られた場合
- (4) 放出終息後

各場面における SPEEDI の運用の仕方は、つぎのように定められている(原子力安全委員会 2008: 51-52)。

- (1)「予測図形を基に……緊急時モニタリング計画を策定する」
- (2)「計算により得られた計算図形を配信する」
- (3)「各種図形を作成する」
- (4)「被ばく線量評価に資する」

どの運用場面をみても、周辺住民等の避難は登場しない。つまり、目的においても、運用場面においても、SPEEDIを周辺住民等の避難に役立てることがないとしても、そのことは指針に十分なう行動として許容される制度があらかじめ設計されている。

そのような制度化された不作為は、緊急事態の発生、緊急事態の把握(モニタリングポスト、SPEEDIによる)、避難計画の策定、策定された計画の自治体への伝達、自治体から住民への避難指示が逐次的に起こる、と想定する設計思想にもとづいている。現実には、モニタリングポストが地震で破壊されることなどにより、自治体から住民への的確な避難指示が逐次的に行われなかった。

すると、SPEEDIの担当者の倫理的責任だけに問題を帰着させることは、問題を矮小化し、もっとも問われるべきそうした制度設計の責任をかえってあいまいにする。構造災の観点からながめるかぎり、それは、致命的な事態につながりかねない。なぜなら、福島原発事故が構造災ならば、制度設計のあり方にかかわる問題は、別の事柄でも、かたちを変えて何度でもあらわれうるからである(Matsumoto 2014)。そもそも、かたちを変えて何度もくりかえすことがありうるという想定に当事者も利害関係者も第三者もいまなおきちんと向き合わないまま復興が叫ばれている可能性が存在する。

#### 4 制度の設計責任

法的責任と倫理的責任だけでは肝心な事が問われない状況は、社会的責任、とくに制度の設計責任にかかわる。

たとえば、サイエンス・カフェ・ポータルサイトによると、サイエンス・カフェは2005年から福島原発事故の直前までに253回東北地方で開催されている。うち、原発に関するテーマで開催されたのは、1回だけだ。2010年7月24日、六ヶ所村で開催される。テーマは原発の安全性の話題ではなく、原子力における産学連携。つまり、発電用原子炉の事故にかかわる安全性の話題は、事故の直接の当事者となる地域の民セクターの人びとに対して、何も事前に語られていない(松本 2012:166-167)。

この事実から学べる教訓は、科学技術がもたらしうる社会にとって望ましくない効果を事前に語らないという偏りを、わかりやすく、双方向コミュニケーションを謳い文句にした日本の科学技術コミュニケーションの場が抱えこんでいることである。その事実は法令にふれているわけでもなければ、人の道にはずれているわけでもな

い。けれども、同じ偏りが今後も踏襲されるかぎり、被災者に対する社会的責任が問われ続けよう。

他人事ではない。福島原発事故の起こるまで社会学者が日本の社会学の学会誌に発電用原子炉のリスクについて発表した論文は皆無である。科学技術をテーマとして発表した論文として、残念ながら、恐ろしく稀である。つまり、原状回復の困難な結果に対する無限責任を想定して、重大事故を防ぐ適切な努力を事前に十分行ってこなかったという点に関するかぎり、原子力工学者も社会学者もさして選ぶところがない。

そういう問題の構造を不問にしたまま、あと知恵を利用してさまざまなことを手っ取り早く言い立てることは、問題当事者である被災者や家族の信頼を得ることを困難にする。なぜなら、そういう問題を再生産するループを不問にするかぎり、被災者と家族の境遇はけっして浮かべられないからである。

#### 5 無限責任の有限化に向けて

制度化された不作為にせよ、問題を再生産するループにせよ、事前にあえて耳の痛いことを指摘し、不断に軌道修正をしてこなかった行動様式からもたらされていると筆者は考える。事前にあえて耳の痛いことを指摘することと、何事かが起こったあとに耳に心地よいことを言い立てるのは、似て非なるふるまいである。両者の差異をあいまいにし続けられないことが、何人も負いつくせない無限責任をせめて学セクターの現場で有限化するために必要だと思う。

たとえば、無限責任をとまなう構造災の所在を万人が共有するしくみを制度の再設計により創出することがもとめられる(日本学術会議 2014)。そういう試みが複数あらわれ、将来世代への公共財として蓄積されることが、その社会のレジリエンス(復元力)なのではあるまいか。

(2016年1月25日記)

#### — 参考文献 —

- 原子力安全委員会 2008「環境放射線モニタリング指針(2010年4月一部改訂)」。
- 松本三和夫 2009『テクノサイエンス・リスクと社会学—科学社会学の新たな展開—』(東京大学出版会)。
- 松本三和夫 2012『構造災』(岩波書店)。
- 松本三和夫 2016『科学社会学の理論』(講談社学術文庫)。
- Matsumoto, Miwao, 2014, "The 'structural disaster' of the science-technology-society interface", in J. Ahn, C. Carson, et al (eds.), *Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident* (Springer), pp. 189-214.
- 日本学術会議 科学者からの自律的な科学情報の発信の在り方検討委員会 2014「記録 科学者からの自律的な科学情報発信を実現する組織」(文書番号 SCJ 第 22 期-260919-22381000-009)。



## ベストミックスにおける原子力の役割



柏木 孝夫 (かしわぎ・たかお)

東京工業大学 特命教授・名誉教授  
1946年東京生まれ。東京工業大学卒業。米  
国商務省標準局招聘研究員などを経て、現在  
は同大学特命教授、名誉教授。経済産業省総  
合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エ  
ネルギー分科会長などを歴任し、日本のエネ  
ルギー政策に深く関わる。

日本のエネルギー政策の方向性を定めているのは、「エネルギー基本計画」である。3年ごとに閣議決定される、エネルギー政策のバイブルとも言える。2014年4月に第4次計画がまとめられたが、福島第一原発事故後に初めて決定された。

日本は2011年、福島第一原発事故を経験した。だからこそ、これからのエネルギー需給で原子力発電の位置づけを改めて定めた、非常に重要な基本計画である。同計画では、原発依存度を「可能な限り低減させる」としながらも、「重要なベースロード電源」と位置づけている。

### ●「3E+S」という視点

エネルギー基本計画には、基本的な視点が存在する。1つは、エネルギーの安定供給(Energy Security)である。必要な時に、電力を安定的に供給することを示す。2つ目は、環境への適合(Environment)。CO<sub>2</sub>の排出を削減し、低炭素型の国家を目指すことである。3つ目は経済効率性の向上(Economic Efficiency)。発電コストをなるべく低コストにしようということだ。この3点を、安全性(Safety)を前提とした上で進めていく、「3E+S」がエネルギー基本計画の視点である。

1つ目のE(エネルギーの安定供給)という視点で考えよう。現在、日本のエネルギー自給率は約6%と、先進諸国で最低レベルだ。自給率50%程度あって、初めて国家として自立していると言えるので、現在の数字は「レッドライン」である。イギリスは約60%、アメリカは約80%の自給率なのに、日本は化石燃料の輸入で何らかのトラブルが起きれば、国内の生産活動が停止してしまう危険な状態である。今回のエネルギー基本計画では、2030年までに日本のエネルギー自給率を、福島第一原発事故以前の約20%を上回る25%を目指す掲げている。日本は資源に乏しい国だ。原子力を含めて、エネルギー自給率の向上に目を向けていく姿勢が大事である。原子力発電は一度燃料を装荷すると、約1年は新たな燃料を必要とすることがないため、安定供給上、原子力は有力なツールなのだ。

次に、2つ目のE(環境性)から、CO<sub>2</sub>の視点を考えよう。日本のような先進国にとって、CO<sub>2</sub>の排出削減は国際的な責務と言える。日本はこのほど、CO<sub>2</sub>排出削減について、2013年度をベースに2030年度には26%減らすと、国際的に公表した。温暖化対策に対する積極的な姿勢をアピールするため、欧米諸国に引けを取らない数値になっている。石油や石炭を使った発電は、環境への負担が大きくなる。全国原発が停止している間、日本は火力発電を使用することで対応していたが、CO<sub>2</sub>の排出削減の観点から、化石燃料系の発電はもう増やせない状況まできている。

最後に3番目のE(経済性)の視点である。福島第一原発の事故以降、エネルギーコストが3割上昇した。火力発電に使う原油などの輸入費が膨らんだことが要因だ。2013年度に、私たちが払った電力に対する燃料費は9.7兆円。民間企業にとっては、エネルギーコストが上がることは、生産活動が下がることになる。基本計画では、2030年度まで経済成長を年1.7%で見込んだ上で、電力コストを9.5兆円に抑えるとしている。

### ●「0か1」ではない

エネルギー基本計画にある「3E+S」の条件をすべて満たした「長期エネルギー需給見通し(ベストミックス)」を、経済産業省の有識者委員会が昨年7月に、報告書としてまとめた。著者や福井県の西川一誠知事も委員会メンバーとなり、取り組んだ。

2030年の望ましい電源構成比率は、①再生可能エネルギーを「22~24%程度」、②原子力「20~22%程度」、③石炭「26%程度」、④石油「3%程度」などとしている。化石燃料系の発電比率は、CO<sub>2</sub>削減の観点からこれ以上増やせず、再生可能エネルギーと原子力を合わせて44%程度を賄う必要があるという結論に行き着いた。

仮に、この44%全てを再生可能エネルギーとしたらどうなるか、考えてみよう。このうち太陽光や風力は、天候次第で発電できない場合があり、安定したエネルギーとは言えない。また、発電量が一定ではないため、現状の

ままでは送電や蓄電にコストがかかる。一方原子力は、昼夜問わず発電できる。安定供給の面から考えると、原子力の代わりとなる再生可能エネルギーは水力、地熱ということになるだろう。しかし、設置場所などに限度がある。

その上、国民は現在でも、再生可能エネルギー導入を進めるための賦課金を支払っている。再生可能エネルギーの導入を際限なく増やせば、安定供給するための新たなコストがかかる。費用負担の点から考えて、再生可能エネルギーの比率は22~24%くらいが限度である。

現在、国が進めている「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買い取ることを国が約束する制度だ。今はまだ、コストの高い再生可能エネルギーの導入を進めるために電力会社が買い取る費用を、私たち消費者から賦課金という形で集めている。賦課金の規模は年間1.3兆円ほど。1人1万円負担している計算になる。「3E+S」の視点を考慮すると、この数値目標が現状では最適なものであると思う。原子力に関しては「0か1か」という二者択一な選択で、いきなりなくすということは不可能である。民主党政権時にまとめた第3次エネルギー基本計画では、CO<sub>2</sub>削減の視点から、原子力の比率を50%まで上げるとしていた。それが、2011年の福島第一原発事故後に一転した。ただ、現実には単純なものではない。安全性はもちろん高めなければいけないが、ふさわしい答えは「0と1」の間にあるのではないか。

#### ●今後の原子力の役割

2030年に原子力の比率を「20~22%程度」とするには、何が必要だろう。原発運転開始40年で廃炉ということにすると、原子力の比率は15%程度にしかない。運転開始60年まで延長することも必要だろう。2030年に22%を達成するには、だいたい30基が稼働していることが必要になる。

エネルギー基本計画は、3年ごとに書き直すとしている。2017年にまとめるためには、来春あたりから第5次計画策定に向けた動きが始まるだろう。新しい基本計画では、古い原発を使い続けるより、より厳しい安全基準

に基づいた原子力発電所を新しく建て替えることや、新設することも含めた言及があっている。古い原発を廃炉にして建て替えることは、推進していくべきだと個人的には考える。次の第5次エネルギー基本計画では、原発の建て替えに対する考え方なども明確に書く必要があると思う。

#### ●これからの社会

新興国は農業国家ではなく、工業国家を目指しているという。そこでは、大規模で安定的な電源として原子力が必要とされている現実がある。原子力の高度な技術を持つ日本を、世界が必要としているのだ。福島第一原発の事故後、原子力に対して慎重な動きが広がったが先ほども述べたように、原子力を急に止めて、ゼロにすることはできない。ならば日本は、こうした技術を磨き続けることが大事なのではないか。原子力の安全に貢献することにもつながる。

ベストミックスでは、毎年1.7%の経済成長(国内総生産ベース)を続けながらも、電力需要は2013年度と同程度に抑えるとしている。これは、とてつもない省エネ社会にならなければ達成できない数字だろう。

来年4月に電力が自由化される。消費者は、どの電力会社から電気を買ってもいいことになる。国は、電力自由化を通して経済成長を見込んでいる。自由な競争が生まれると、電力需給ピーク時のためだけにあるような稼働率の悪い施設は、採算が合わず淘汰されていく。需要が異なる昼と夜の電気代は、今よりもっと差が出てくるかもしれない。家庭で発電したり、貯めておいたりした電気を売ることも可能になる。電力需要が低い時間帯に使って、需要が高まったら家庭も含めて融通し合う、といった効率性が高まっていくのだ。

賢く電気を使うシステムを、地域全体で取り入れたものを「スマートコミュニティ」という。発電施設から家庭の電球まで街全体の電気をコントロールし、電気を融通し合って結果的に省エネにつなげる…。こういう時代が、すぐそばにやってくる。

(2015年12月11日記)



## 世界の検査・規制の教訓から見た開発段階炉「もんじゅ」勧告



杉山 憲一郎 (すぎやま・けんいちろう)

北海道大学 名誉教授

日本エネルギー環境教育学会 顧問 元原子力安全委員会 原子炉安全専門審査会審査委員 専門分野：ナトリウム炉の熱流動と安全性、軽水炉シビアアクシデント事象

### 1. 世界の検査・規制の教訓から見た「もんじゅ」勧告

1975年の確率的リスク評価(PRA)に基づくラスムッセン報告で「従来型の規制」の問題点が指摘され、1979年に発生したTMI事故は、遵守確認型の品質保証・保守管理プログラムのレビューを繰り返す検査だけでは安全性は向上しないことを世界に教えた。米国ではこの課題を解決するために、原子力設置者が主体的に安全性向上に取り組める環境を保証し、その努力を検証し不足があれば改善を指導し支援する検査体系の構築を進めた。その結果、90年代には幾つかの規制基準に使えるレベルにリスク評価が成熟した。例えば、現場を熟知する事業者によるサイト固有のリスク情報を活用した供用期間中配管検査では、炉心損傷リスクの低減と作業員の被ばく線量低減だけでなく、コストの低減も実現できた。米国規制委員会は、このような経験と実績に基づきリスク情報を活用し炉心損傷のリスクに注目する規制に移行した。

福島第一発電所事故は、遵守確認型の保安検査で正確に文章化された手順書を整備することだけで炉心損傷事故は防げないことを私達に教えた。事故後の日本で求められているのは、遵守確認型の検査ではなく、炉心損傷のリスクに注目し安全性の維持・向上を促す検査である。

ナトリウム冷却開発段階炉としての特徴を考慮しつつ、品質保証・保守管理プログラムを開発しなければならない「もんじゅ」では、この視点での検査と支援が最も重要である。「もんじゅ」勧告は、開発段階炉の炉心損傷のリスクに注目することなく、保安検査での「違反」のみを見て出されている。

### 2. IAEAのIRRS勧告・助言と「もんじゅ」勧告

日本の原子力安全や規制制度が適切かを検証するIAEAのIRRS(総合的規制評価サービス)ミッションチームが本年1月11日から約2週間の日程で規制庁の職員の聞き取り、福島第一・高浜発電所などの現地視察を行った。22日の終了会合で、ミッションチームを率いたフランス原子力安全局のフィリップ・ジャメ氏は、「今の検査制度は柔軟性がなく、複雑になっている」と指摘し、評価対象となった各分野について、①人員の拡充や職員の力量の向上②規制委の検査の実効性が担保されるような関

係法令の改正③安全文化の浸透に向けた努力の強化などを「勧告・助言」として提示した。これは、実績・経験が極めて限られている「もんじゅ」の品質保証・保守管理プログラムの保安検査に対しても、時間(検討期間)・費用・マンパワーの観点も含めて、そのまま当てはまる。

開発段階にある「もんじゅ」の各機器・システムで構成されるシステムの機能の重要度は、停止時、運転時および緊急時で大きく異なり、当然、軽水炉と特徴・事象も異なる。このため、水平展開できない開発段階炉を担う組織では、段階的な「安全性維持・向上策の取り組み」を通して、力量の向上・実効性の担保・安全文化の浸透を図るのが常道である。当然、数度に亘るフィードバックが必要であり、その過程でミスも生じる。また、ナトリウム漏洩・改良工事・地裁から高裁へと続いた裁判などで長期停止に陥り、OJTによる人材の継続的育成も出来なかった。このため、ハード・ソフト両面で現場と事象推移を熟知している専門集団としてのマンパワーも有限であり、本質的な課題であれば検討・決定に時間がかかる。検討課題によっては組織外の有能な専門家の助言・助力も必要である。

また、変更に対して、各責任分野(者)間で整合性を取るためにもフィードバックが必要であり、実績・経験がないため当然軽水炉より時間を要する。加えて、このプロセスに分野・個人が主体的に関わらなければ、組織全体への安全文化の浸透は有り得ない。この過程を通して、規制側と事業者側がナトリウム炉の事象と安全性に関わる重要度の高い機器・システムに関して共通の認識をすることで、炉心損傷リスク低減を目標とする安全性・信頼性(品質・保全)向上策の実効性が確認出来る。

「もんじゅ」勧告では、この本質的で時間を要するプロセスに対する配慮が抜けており、表面的な遵守違反のみを問題としている。安全性・信頼性の維持・向上を目指す合理的な品質保証・保守管理活動のための保安検査になっていない。原因は、定格運転実績が充分あり水平展開ができる商業用軽水炉の枠組みに、急遽、実績がなく水平展開もできない開発段階炉「もんじゅ」が置かれたことによる。1999年のJCO事故や東電シュラウド問題などからスタートした検査の在り方に関する検討会で「原

子力発電施設に対する検査制度の改善について」(2006年9月)が取りまとめられ、「保全プログラム」に基づく保全活動に対する検査制度の導入(2009年1月)が決まった。軽水炉発電所では取りまとめからでも2年以上の準備期間があったが、開発段階のナトリウム冷却炉「もんじゅ」発電所では、軽水炉と同等の膨大な量の保全計画を導入直前(2ヶ月前)に求められた。当然、多数の不整合が含まれた保全計画が出来上がり、起こるべきレベルの遵守違反が生じる。

以下に、原子力安全に影響を及ぼすとして最も厳しい「品質保証 違反1」と評価された例の要点を、規制側の記録に基づき記す。

3. 平成27年度第2回保安検査での違反例と安全性機構と面談を行ったところ、多数の機器について、安全機能の重要度分類が適切に設定されていなかったものがある旨の説明を受けた。

検査で正確な総数等が確定できていなかったことから、原子炉等規制法第67条に基づく報告徴収が原子力規制委員会から発出。重要度分類が適切に設定されていない機器が1387機器であること等について確認されたことから、適切な保全重要度が設定されていなかったこととなるため、保安規定第103条「4. 保全重要度の設定」が適切に履行されていなかった。また、適切でない状態で策定された保全計画は適切ではなかったこととなるため、保安規定第103条「6. 保全計画の策定」が適切に履行されていなかった。さらに、機構は不適合管理を行わなかったため、保安規定第3条「8.3 不適合管理」が適切に履行されていなかった。

「品質マネジメントシステムが機能していないことにより原子力安全に影響を及ぼす」と判断される。さらに、適正な保全計画の策定については、既に平成24年12月の保安措置命令において必要な措置を執るべきことを命じているところであるが、これまで2年以上の期間が経過しているにもかかわらず、なお保守管理の基礎となる部分の見直しが適切に実施されていない状況に鑑み、以上の保安活動について「違反1」と判定する。

機構側は、機器ごとの安全機能の重要度分類の変更に対しては、以下の理由からプラントの安全性に影響がないと説明している。

1) 設置許可による機能要求である「止める」「冷やす」「閉じ込める」のうち、現在もんじゅの低温停止状態における機能要求の「冷やす」機能は崩壊熱等の残留熱の除去に係る系統が2系統以上確保されていること、「閉じ込める」機能は原子炉容器のナトリウム液位をエマージェンシーレベル以上確保されていることから影響がなく、現時点において、これらの機能要求がある機器についてクラス変更はないこと。2) プラント状態は当直により常時監視されておりプロセス量に異常がないことを確認しており、異常の際には警報の発報とともに手順に従い、判

断措置を行うこととしていること。3) クラス3以下からクラス1, 2にクラスアップし、BDM(事後保全)からTBM(時間基準保全)に修正する90機器については、以下のとおり技術評価している。

① 制御用圧縮空気設備の手動弁(クラス1に変更する20機器、クラス2に変更する48機器)は常時「開」であり、現在の内部・外部の環境から評価して点検までの間、安全に影響を与えず、制御用圧縮空気の圧力は中央制御室で常時監視しており、圧力低下が生じても待機している制御用圧縮空気設備・所内用圧縮空気設備が起動するなど多重化されている。② 蒸気発生器室換気空調装置ダクト及びダンパの19機器(クラス2に変更される機器)は、ダクトは外気取り入れ箇所塩害対策用のフィルタを設置し、設置環境から評価して点検までの間安全に影響を与えない。ダンパも作動頻度等から評価して点検までの間、安全に影響を与えない。③ キャスク装荷装置の止弁2機器(クラス2に変更される機器)は現在運用しておらず、(中略)アルゴンガスに置換されているのみであることから、安全に影響を与えない。

ここからは、著者としての補足である。「もんじゅ」へ軽水炉用「安全機能を有する電気・機械装置の重要度分類指針」と「安全機能を有する計測制御装置の設計指針」を適用する際、時間・マンパワー・経験が限られていて解釈・解釈の統一が十分でなかった。再度の見直しで、機器のクラスアップとダウンの変更に加えて、重要度分類の基となる系統図への色塗りの抜けや重要度分類リストへの転記ミスも生じ、1387機器で重要度分類が適切に設定出来ていない時点で検査となった。膨大な急ごしらえの保全計画が原因で「違反1」が出る具体例である。

#### 4. 違反例の分析と「もんじゅ」の国際安全レビュー

上記のケースは、機構の各責任分野(者)間で不整合性を確認するため、数回のフィードバックが必要であることを示す例である。また多重性・多様性、深層防護の観点で見れば、停止中開発段階炉発電システムとして安全性は確保されていると確認出来るケースであった。

昨年9月に公表された「もんじゅの安全確保の考え方」の国際レビューで、海外5カ国と1国際機関の高速炉安全性を主導する9名の専門家は、「事故シーケンスグループと重要事故シーケンスの選定は、高速炉の安全性の特徴を考慮しつつ、PRAから得られた洞察と高速炉重大事故に関する安全研究の知識ベースを考慮して、系統的、かつ網羅的になされており、重大事故の発生防止と影響緩和に関する基本的な考え方は妥当である」と評価している。

21世紀中後半のエネルギー事情と気候変動を見据えて世界の流れであるソフトとハードの両面から炉心損傷のリスクに注目し、安全性・信頼性の維持・向上を支援する透明性のある検査を期待したい。

(2016年2月18日記)

## 震災から「新生ならば」創造へ

福島県楡葉町長 松本 幸英

福島県楡葉町は、東京電力福島第二原子力発電所が北側の富岡町とともに立地し、福島第一原子力発電所から概ね20km圏内に位置する、人口約8000人弱の町です。

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故に伴い、町の面積の8割が警戒区域に指定され、全町民が避難を余儀なくされましたが、除染やインフラ復旧の状況などをふまえ、政府は平成27年9月5日に町に出していた避難指示を解除しました。町内全域が避難していた自治体で避難指示が解除された初めてのケースとなり、今後の双葉郡の町村の復興の試金石ともなっています。

町の避難指示が解除された後も、いまだ町内では住宅の再建、リフォーム等が至る所で行われているとともに、災害公営住宅も建設中であるなど、住宅環境の整備が終わっていない世帯が多い状況であり、現在も全町民の約7割は町の南側に位置するいわき市での避難生活を続けています。既に帰町された方の大部分は高齢者世代ですが、今後、環境が整うとともに帰町する町民は少しずつ増えていくものと考えています。

しかしながら、全町避難から町の復興を進めることは、これまで経験したことがない大きな困難があります。4年以上の避難生活が続いたことにより、避難先において勤め先や教育等の生活の基盤ができあがってしまったこと、避難先のほうが医療や買い物等の生活環境が整っていることなどから、避難された町民が帰町を選択するには大きな決断が必要になっています。また、国による除染はほぼ完了していますが、福島第一原発に近い北部の地区においては空間線量の数値が高いことを懸念する声もあります。

町では、町民の帰町意識を高めていただくため、単なる復興にとどまらない、「「新生ならば」の創造」を掲げ、生活環境の整備に取り組んでいるところです。主要プロジェクトとして、災害公営住宅や分譲住宅地と商業施設、診療所、認定こども園を徒歩圏内に整備した「コンパクトタウン(仮称)」の整備や、常磐線竜田駅周辺に、ビジネスホテルや廃炉関係企業の社宅等の整備を中心とした再開発を行っており、今年中にはその姿を町民の方にも感じていただけたと思われまます。町の復興計画においても、平成29年春を、学校や商業施設が再開し、町民が帰町できる環境が整う「帰町目標」として示しましたので、

その時期までに生活環境の整備に全力で取り組んでいるところです。

そして、町の南側にある楡葉南工業団地内には、今後の福島第一原発の廃炉研究の中核を担うJAEA楡葉遠隔技術開発センター(モックアップ試験施設)が昨年10月に開所し、VR技術や支援ロボット技術の開発などが、楡葉町を中心に展開されることになりました。今後30年から40年かかるといわれる福島第一原発の廃炉事業や福島イノベーション・コースト構想の実現に向け、事業者や研究機関の受け皿として、町としても、楡葉町がロボット等の新たな産業のメッカとなるよう、企業の進出や新たな町民を受け入れる体制の整備に取り組んでいきたいと考えています。

さて、原子力災害は万が一発生すれば、生命への直接的な被害はなくとも、財産、健康など多くの負担を強いられるという事を、我々は今回の事故により学びました。あらゆる産業にゼロリスクを求めることはできませんが、原子力産業に携わる関係者には、このことを改めて強く認識をしていただきたいと思ひます。

その上で、福島第一原子力発電所の廃炉作業には非常に長い時間を要するものであり、その作業を支えるためには、従事する人材を継続的に育成していかなければなりません。町でも、楡葉遠隔技術開発センターを学校教育に活用する考えをもっていますが、大学や研究機関、産業界が一丸となって、廃炉や原子力技術にかかる技術者や研究者を養成するための取り組みを進めていただきたいと思ひます。

また、放射能にかかる風評が復興の大きな障害になっています。学術的コンセンサスに基づく標準的な知見を、わかりやすく、一般の方々に理解していただくよう、原子力学会も積極的に取り組んでいただくよう、強くお願いいたします。

(2016年1月18日記)

### 著者紹介

松本幸英 (まつもと・ゆきえい)

福島県楡葉町長

昭和35年生まれ、55歳。平成9年楡葉町議会議員、平成17年から24年まで町議会議長。平成24年から現職。



## 高浜 1, 2 号機は運転延長, 3, 4 号機は運転差し止めへ

関西電力の高浜原子力発電所 3 号機は 2 月 26 日, 原子力規制委員会によるすべての検査が終了し, 同機は本格運転を再開した。また, 4 号機は 27 日に臨界に達した。

一方, 原子力規制委員会は 2 月 24 日, 関西電力の高浜原子力発電所 1, 2 号機の運転延長に関する審査書案を了承した。同発電所の安全対策が新規規制基準を満たすと

するもので, 40 年超運転の審査書案が了承されたのは, これが初めて。

なお大津地裁は 3 月 9 日, 高浜 3, 4 号機の運転を差し止める仮処分を決定した。これを受けて関西電力は同日, この決定を承服できないとするコメントを公表した。  
(原子力学会誌編集委員会)

## 経産省, 高レベル廃棄物最終処分の科学的有望地要件で説明会

経済産業省は 2 月 29 日, 高レベル放射性廃棄物の最終処分に関する「科学的有望地」の具体的要件・基準についての中間整理について, 関連学会向けに説明会を開催。担当する同省資源エネルギー庁放射性廃棄物対策課は「科学的有望地については日本全国を適性の低い地域, 適性のある地域, より適性の高い地域に 3 分類してマッピングし, 2016 年中に公表する」とした上で, 「今後も関連する学会などと連携して最終的にとりまとめる」と説明した。

同省の総合資源エネルギー調査会地層処分技術 WG

は昨年 12 月に, 高レベル放射性廃棄物の最終処分に関し, 科学的により適性の高いと考えられる有望地の具体的要件・基準について, これまでの議論の成果を中間整理として公表。地球科学的観点から, 自然現象の影響回避, 処分施設の建設・操業時や廃棄物輸送時の安全性確保などについて, 技術的対応の可能性を含めた議論を整理していた。地層処分技術関連などの専門家からの意見は, 4 月 19 日まで募集する。

(同)

## 「再処理等拠出金法案」を閣議決定, 拠出金制度や認可法人を創設

政府は 2 月 5 日の閣議で, 原子力発電で発生する使用済み燃料の再処理が着実に実施されるよう現行の積立金制度を改め, 新たに拠出金制度を創設することなどを柱とする「再処理等拠出金法案」を決定した。現在開会中の今国会での成立を目指す。

4 月からの電気事業の小売全面自由化に伴い競争が進展する中, 原子力発電を巡る事業環境に大きな変化が生じることを見据え, 必要な資金が確保できず再処理が滞ることのないよう, 総合資源エネルギー調査会のワーキンググループで昨夏より新たな制度設計について検討してきた。

法案では(1)拠出金制度の創設, (2)認可法人制度の創設, (3)適正なガバナンス体制の構築——を柱に据えており, 事業に必要な資金の安定的確保とともに, 法律の規定によらなければ解散できない認可法人「使用済燃料

再処理機構」を設立し, 関係事業全体を勘案した実施計画の策定, 拠出金の決定・収納を担わせ, 再処理を着実に実施する体制整備を措置する。

新たな制度では「発生者責任の原則」に基づき, 使用済み燃料の発生量に応じ, 再処理事業に必要な資金の拠出を電力に義務付け, 支払われた拠出金に係る再処理事業を認可法人が進める。これまで技術や人材を蓄積してきた日本原燃が認可法人の委託を受けて, 引き続き現業を担うこととなる。

認可法人については, 意思決定主体として第三者を含む運営委員会を設置するとともに, 理事長は経済産業相が任命。理事(4 人以内)も同相の認可を要することを規定するなど, 運営に国が一定の関与を行うことで, 事業全体のガバナンス強化を図ることとしている。

(資料提供: 日本原子力産業協会, 以下同じ)

## 美浜 1・2 号機と敦賀 1 号機の廃止措置計画を規制委に認可申請

2015 年 4 月に運転を終了した関西電力の美浜 1、2 号機と日本原子力発電の敦賀 1 号機の廃止措置計画が 2 月 12 日、両社より原子力規制委員会に認可申請された。廃止措置の全工程は美浜 1、2 号機が 2045 年度まで、敦賀 1 号機が 2039 年度までとなっている。

関電は美浜 1、2 号機の廃止措置の全工程を(1)解体準備期間、(2)原子炉周辺設備解体撤去期間、(3)原子炉領域解体撤去期間、(4)建屋等解体撤去期間——の 4 段階に区分。新燃料は 2021 年度までの第 1 段階、使用済み燃料は 2035 年度までの第 2 段階が終了するまでにそれ

ぞれ搬出することとしている。同社では両機の廃止措置を安全かつ着実に推進するため 2015 年 6 月に、技術開発の推進や他事業者との連携などを統括する廃止措置技術センターを原子力事業本部に設置した。

原電は敦賀 1 号機の廃止措置の全工程を(1)原子炉本体等解体撤去準備期間、(2)原子炉本体等解体期間、(3)建屋等解体撤去期間——の 3 段階に区分し、新燃料や使用済み燃料とともに 2024 年度までの第 1 段階の期間中に搬出することとしている。

### 海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

#### 【中国】

## 原子力白書を初めて発表、緊急時対策と安全セキュリティに焦点

中国の内閣にあたる国務院は 1 月 27 日、原子力発電所における緊急時対策と安全セキュリティの推進・強化に焦点を当てた白書を初めて発表した。1985 年に初の商業炉となる秦山 I 原子力発電所(PWR, 31 万 kW)に着工して以来、2015 年 10 月までに同国では 27 基、2,550 万 kW の原子炉が稼働中となり、建設中原子炉は 25 基、2,751 万 kW に到達。これを 2020 年までに 5,800 万 kW まで拡大し、2030 年には中国を「原子力強国」とする目標を掲げるなど、飛び抜けて急速な開発ペースゆえに国際社会からはその安全性を危ぶむ声も上がっている。今回、国内の原子力発電所で取られている安全確保関連の対策やその基本理念を公開することで、そうした懸念を払拭し、同国が国家戦略の一つと位置付けた原子力による海外展開を促進する狙いがあると見られている。

緊急時対策に関する原子力白書は 8 章立てになっており、(1)原子力開発と緊急時関連の基本的状況、(2)緊急時の政策方針、(3)緊急時に対応する「1 計画 3 システム」の構築、(4)緊急時対応能力の増強と維持、(5)事故時の主な対策、(6)緊急時演習と訓練および国民とのコミュニケーション、(7)緊急時対応技術の開発、(8)関連の国際協力と情報交換——を取り上げた。前文の中ではまず、中国の原子力産業が一貫して安全性の確保を最優先としてきたことを強調。安全性こそ健全かつ持続可能な原子力発電開発を支えるものとの認識を示した。また、TMI やチェルノブイリおよび福島第一など、過去に起

こった原子力発電所事故の教訓から、中国は原子力事故の影響に国境がなく、緊急時対策がどれほど重要であるか深く理解しているとし、関連する法や規制・基準の整備や組織的メカニズムとインフラの構築などを通じて安全レベルの向上と緊急時対応の強化に継続して努めていくと明言している。

1 章では、1950 年代半ばに始まった同国原子力産業の過去 60 年間の実績を振り返り、秦山 I 発電所以降、中国が大型の先進的 PWR や高温ガス炉、輸出用主力設計として知的財産権を有する「華龍 1 号」を開発したことと言及。高速炉開発においても、実験炉がフル出力で 72 時間の連続運転に成功したことを強調した。また、中国では国際原子力事象評価尺度(INES)でレベル 2 を超える事象が未だ発生していないとしており、ガス状および液体の廃棄物の放出が国の規定値をはるかに下回る程度に抑えられるなどの健全な実績は、安全技術の改良努力や厳しい安全監視体制、緊急時管理を強化した賜だと説明した。

また 4 章の中で、中国の緊急時対応ネットワークが適切な規模を有するとともに、十分調整された合理的な配置となっており、様々な事故や緊急時のレスキュー活動専門の国家的プロ対応チームが 30 以上存在することを明示。ここでは軍隊が地元での緊急事態を支援する責務を負っているとした。政府としてはさらに、原子力発電所における過酷事故時の複雑な状況に対応し、国際的な原子力緊急時のレスキュー活動にも参加可能な、300 人体制の強力な国家原子力レスキュー・チームを編成する方針である。

さらに 5 章では、中国が多重防護の概念に基づき、事故対応で 5 つの影響緩和・制御対策を設定したと強調。

具体的には、原子力施設の設計・製造・建設・運転における品質保証の徹底、施設を安全規定の範囲内で仕様通りに運転させる厳格な手順、プラントの安全性を自動で制御・防護するシステム、事故時の制御が難しくなった場合に放射性物質の放出を抑える手順、深刻な状況下で住民と環境への影響を最小限に抑えるオフ・サイト緊急時活動——を挙げている。

## サウジアラビア、高温ガス炉建設で中国と協力覚書

サウジアラビアで原子力発電導入計画を担当する「アラブドアラ王国原子力・再生可能エネルギー都市公団(K. A. CARE)」は1月19日、中国製の高温ガス炉(HTR)の建設を想定した協力で、中国の原子力発電所建設企業である核工業建設集团公司(CNEC)と了解覚書を締結した。中国の習近平国家主席が同国を初めて公式訪問し、両国間における協力強化で合意した14もの文書や覚書の一つ。基数や出力などの詳細は公表していない。中国は陸と海の新シルクロード構想「一帯一路」に従い、世界中で原子炉の輸出活動を積極的に展開中。独自ブランドの輸出用第3世代PWR設計「華龍1号」と、ウェスチングハウス社製・AP1000技術をベースにした「CAP1400」に加え、脱塩や熱電併給などの多目的利用が可能で固有の安全性を有する第4世代の高温ガス炉も、有力な輸出用設計と位置付けている。

サウジは外貨獲得手段である原油資源を温存しつつ国内の電力需要急増に対処するため、今後20年間に1,200万~1,800万kWの原子力発電設備建設を目指しており、中国のほかに韓国、フランス、アルゼンチン、ロシア、フィンランド、ハンガリーなどと原子力の平和利用協力協定を締結、あるいは仮調印済み。2015年3月に、韓国原子力研究所(KAERI)が中東諸国向けに設計した小型炉「SMART」をサウジ国内で2基建設するための可能性調査で了解覚書に調印したほか、アルゼンチンの計画投資省とは原子力導入計画を支援する技術開発会社を両国国営企業の合併で創設した。同年6月には、アレバ社製・欧州加圧水型炉(EPR)2基の建設を想定した実行可能性調査の実施で、フランス外務省と基本合意書を締結。日本とはまだ原子力協定が結ばれていないが、K. A. CAREはCNECとの覚書調印と同じ日、高木陽介経済産業副大臣の一行がK. A. CAREを訪問し、協定締結に向けてW. ファラジ副総裁と協議したことを明らかにしている。

中国におけるHTR開発では北京の清華大学が中心的役割を担っており、2003年から同大の研究院で熱出力1万kWの実験炉が稼働中。同大学と協力関係を持つ

CNECは、華能集团公司を加えた3者の合併事業体により、現在、電気出力20万kWの実証炉を山東省石島湾で建設しているところ。2017年11月の送電開始を見込んでいる。これに続く商業用HTR開発としてCNECは、江西省瑞金市における60万kWのHTRを2基建設する計画を進めており、予備的な実行可能性研究報告書が2015年4月に専門家による審査をパス。国家発展改革委員会に対する計画申請や承認取得を経て、2017年の着工を目指すことになっている。

### 【インド】

## 原子力損害賠償の補完的補償に関する条約(CSC)に加盟へ

「原子力損害賠償の補完的補償に関する条約(CSC)」の事務局を務める国際原子力機関(IAEA)は2月4日、インドが同条約を批准したと発表した。CSCは各国の国内法による原子力損害賠償措置を補完する機能を有しており、事故発生時の損害が発生国の責任限度額を超えた場合、すべての締約国が拠出した補完基金により、一層多くの補償額を被害者に提供するというもの。全人口の約4割が電力のない生活を強いられているインドでは、諸外国からの軽水炉導入も含めて政府が原子力発電設備の大幅な増設を計画しているが、メーカーにも一定の賠償責任を盛り込んだインドの原賠法は米国やフランスが原子炉輸出する際のネックとなっていた。

米エネルギー省(DOE)のE. モニッツ長官は同日、「世界で2番目の人口を抱えるインドで安全な民生用原子力設備を増設するための重要な一歩になった」と発表し、インドのCSC批准を歓迎。原子力は数百万ものインド国民に低コストで信頼性のある電力を供給できると述べたほか、地球温暖化を防止する低炭素経済への移行が促されるとの認識を表明した。また、事故時の損害を早急に賠償するため、IAEAが「原子力安全アクション計画」で求めている世界規模の原子力損害賠償体制や、原子力商取引における法的枠組の構築という点でも、大きな一歩であると強調。米国の開発した先進的な原子力技術が活用されるよう、インドやCSCの全加盟国と共に働きたいとの抱負を述べた。

今回の批准により、インドは国内の原賠法がCSC付属書の規定に適合すると宣言したもので、IAEAにおけるインド政府代表のR. ミスラ氏が政府のCSC批准書をIAEAのJ. C. レンティッホ原子力安全・セキュリティ担当事務次長に寄託。CSCは、2015年1月に日本政府が受諾書を寄託したことで締約国の原子力設備における熱出力の合計が4億kWという発効条件が満たさ

れ、同年4月に発効していた。

### 【フランス】

## 政府、使用済み燃料地層処分場の建設・操業で基準コストを改定

フランスのエコロジー・持続可能開発・エネルギー省のS. ロワイヤル大臣は1月15日、使用済み燃料を含む高レベル放射性廃棄物(HLW)等の深地層処分場(CIGEO)プロジェクトについて、建設・操業に要する基準の見積価格を(2011年12月末日の経済条件下で)250億ユーロ(約3兆2,000億円)に改定するとの省令に署名した。同プロジェクトの遂行には基準コストの定期的な改定が必要とする原子力安全規制当局(ASN)の11日付け勧告に従ったもので、少なくとも事業期間中の節目毎に定期的に改定することも盛り込まれた。これまでの決算時に基準としてきた同コストが大幅に増額されたことから、フランス電力(EDF)など廃棄物の発生事業者は、2015年末の連結決算に反映させる考え。処分事業の実施主体である放射性廃棄物管理機関(ANDRA)の計画では、2020年代後半に処分場の操業試験を実施し、2030年代の操業許可取得を目標に、2018年前半にも事業許可を申請するとしている。

フランス東部のムーズ県ピュールに位置する30平方km圏内での建設が決まっているCIGEOプロジェクトでは、HLWと長寿命の中レベル放射性廃棄物を地下500mの粘土層に回収可能状態で貯蔵する予定。処分場の設計調査をはじめ、土木工事と機器設置を含む建設作業費、処分場の操業時にかかる人件費、維持費、税金、保険料など、100年以上にわたる期間の建設・操業資金はEDF、アレバ社、および原子力・代替エネルギー庁(CEA)が負担する。これらの3事業者にANDRAとASNを含めたエネルギー省の作業部会は、2005年に135億~165億ユーロ(1兆7,000億円~2兆1,000億円)という見積評価結果を公表しており、3事業者は中間数値の141億ユーロ(1兆8,000億円)程度を基準コストと認識していた。しかし、その後ANDRAは2014年10月の政府宛て報告書に新たな評価結果として344億ユーロ(4兆4,000億円)を明示。一方、3事業者も2015年4月、事業期間中の技術革新や経済的な最適化等により見積総額は192億ユーロ~205億ユーロ(2兆4,600億円~2兆6,200億円)になると計算し、基準コストとしては約200億ユーロ(約2兆5,600億円)とする見解を表明していた。

### 【英国】

## 原子力規制局、過去15年間に原子力発電所で起きた事象を整理

英原子力規制局(ONR)は2月4日、国内の稼働中原子力発電所で2001年4月から2015年3月末までの間に発生した事象全般について包括的にまとめた報告書を初めて公開した。ONRはこれまでも、わずかに発生する安全上重大な事象については関係情報を公にしていたが、今回のリストは国際原子力事象評価尺度(INES)でレベル1未満の非常に小さい異常事象も含め、発電所から報告された全事象を網羅。すでに公開済みの2014年/2015年の年次報告書におけるONRの長官声明を補足する内容で、報告の総件数では増加していても、それらのほとんどが安全上重大ではない事象であり、レベル1~3までの重要事象件数は増えていない。すなわち、英国の原子力発電所における安全性が低下したわけではないと強調している。

ONRの規制義務は、ONRを独立の法定機関に移行させた2013年エネルギー法や、原子力サイトでの許認可体制を定めた1965年原子力設置法など、複数の関連法規の組み合わせで規定されており、ONRは民生用原子力施設で発生した安全上重大な事象の情報を公開するだけでなく、四半期毎の意見書をエネルギー気候変動省(DECC)など関連省庁に提出してきた。しかし、2015年~2020年までの主要課題を明記した戦略の中で、あらゆる関係者から信頼を得るとともに、信用される土壌を醸成するため、規制その他の活動に関する公開情報のレベルを増大させると誓約。ONRの公開基準を満たしていない場合も含め、2001年以降に報告されたすべての安全関係事象リストを公にすることになったもの。これは産業界における傾向や課題の将来的な分析促進や透明性の向上に向けた重要ステップになると説明した。

### 【欧州】

## 欧州原子力共同体、第4世代の国際フォーラムに継続参加

欧州の原子力産業会議連合であるフォーラムは2月5日、「第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)」に欧州原子力共同体(ユーラトム)が2026年まで10年間、継続して参加するとの見通しを明らかにした。EUの欧州理事会・閣僚作業グループが1月29日に勧告したもので、この判断はEU加盟国の閣僚で構成される理事会が近々、最終採択するとしている。フォーラム

によると、欧州の原子力産業には既存設備における着実かつ絶え間ない性能改善など、技術革新を継続的に行うという伝統的特徴がある。GIFに継続参加することで、EUは原子力の専門的知見に関するリーダーシップを維持するとともに、先進的な性能とインフラが整った、世界でも最高の原子力技術革新と研究を追求していくとしている。

GIFは経済性や安全性、持続可能性、核拡散抵抗性など、他のエネルギー源に対する十分な優位性を持つ原子力システムの概念開発を目指す国際協力の枠組。1999年に米国が提唱したもので、参加表明した13か国/国際機関のうち、米国、日本、フランス、カナダ、中国、韓国、ロシア、スイス、南アの9か国およびユーラトムが協力の枠組を規定した協定に署名した。この枠組協定は2015年2月に当初の期間が満了しており、米国や日本、フランス、韓国などの締約国は同じ月に10年間の延長協定に調印。ロシアも同年7月に署名を終えていた。GIFでは現在、ガス冷却高速炉(GFR)、鉛冷却高速炉(LFR)、熔融塩炉(MSR)、ナトリウム冷却高速炉(SFR)、超臨界水冷却炉(SCWR)、超高温炉(VHTR)——の6つの有望システムについて、事業取り決め等を作成して具体的な研究開発プロジェクトを実施中。欧州の原子力研究共同事業体は、これらのうち3つの概念を利用した4件の実証プロジェクトについて設計・開発を進めている。すなわち、

- ・ASTRIDプロジェクト：SFR原型炉で2020年頃にフランスのマルクールで建設を開始
- ・ALLEGROプロジェクト：GFR実証炉で、チェコかハンガリー、スロバキアで建設
- ・ALFREDプロジェクト：LFR実証炉で、2020年にルーマニアのピテシュチで建設を開始
- ・MYRRHAプロジェクト：鉛ビスマス冷却の高速中性子多目的研究炉で、ベルギーのSCK-CEN研究センターが主導。ベルギーのモルですでに建設が始まっており2020年頃に完成

——する予定である。

これらのうちALLEGROとMYRRHAプロジェクトは、EU域内の雇用と成長促進のためECのJ-C. ユンカー委員長が2015年に開始した3,150億ユーロ(約40兆円)の欧州戦略投資基金計画の優先投資項目に選定されている。

## 【米国】

### 来年度予算要求で MOX 工場の建設打ち切り、SMR 開発は加速へ

米国のB. オバマ政権は2月9日に2017会計年度(2016年10月～2017年9月)の予算教書を議会に提出し、その中で兵器級余剰プルトニウムを処分するためサウスカロライナ(SC)州で進めていたMOX燃料製造工場(MFFF)の建設を打ち切り、希釈後に地層処分する方針を明らかにした。商業炉で再利用するよりも大幅なコスト削減と時間短縮につながるとの評価結果を示しており、2017年後半までに同オプションの予備概念設計を完了し、概念設計を開始する考え。一方、原子力関係予算の方は対前年度比0.8%増となり、官民のコスト折半で進めている小型モジュール炉(SMR)開発・許認可支援プログラムの継続や使用済み燃料を集中的に中間貯蔵するパイロット施設の立地・許認可活動等への予算が増額されている。

〈MFFF建設プロジェクト〉

DOE全体の予算要求額は325億ドルで、現行の2016年度予算レベルから29億ドル増額。MFFFの建設関連経費は国家核安全保障局(NNSA)の「核不拡散関係建設物」予算の中で計上されている。少なくとも34トンの兵器級プルトニウムを商業炉用の燃料に転換し、安全かつ効果的に処分するという目的のため、2007年からSC州サバンナリバー・サイトで建設工事が始まっており、ショー・アレバMOXサービス社が作業を請け負っていた。現在の工事進捗率は70%程度と言われているが、建設前の2004年当時に18億ドルと試算されていた総工費は年と共に増加。2014年3月に提出された2015会計年度予算教書では、建設工事を差し当たり凍結状態に置くための予算のみ要求されていた。

2015年の統合延長予算法はMFFFの建設継続を指示する一方、コストと代替技術に関する調査の実施も指示しており、DOEはプルトニウム作業グループによる2014年4月の分析結果を独自に確認・評価するよう連邦政府出資の研究開発センターに求めたほか、2015年6月にはDOE長官が特別チームを編成して兵器級余剰プルトニウムの処分オプションに関する評価を実施。結果として、MOX燃料に転換する処分方法は予想より大幅に高額となり、年間8億～10億ドルの予算が数十年にわたり必要になることが確認された。このような背景から、2017年度の要求額は同プロジェクトを2017年度初頭から打ち切るための予算として2億7,000万ドルを計上。2016年度予算から7,000万ドルの削減となっており、今後はプルトニウムを希釈・地層処分(D&D)するための

予備概念設計を実施し、2017 年後半にも概念設計を開始することになった。

〈SMR 開発と廃棄物処分場計画〉

原子力エネルギー全体の予算要求額は 9 億 9,400 万ドルで、2016 年度予算から 773 万ドル増加した。地球温暖化防止で利用可能な手段はすべて活用するというオバマ政権の方針を反映して、安全かつクリーンな原子力発電オプションは DOE 原子力局の研究開発戦略における重要要素に位置付けられている。中でも優先順位が高いのは小型モジュール炉(SMR)の開発・商業化の加速で、2017 年度の予算要求額は前年度から約 2,700 万ドル増の 8,960 万ドル。DOE は民間と 50% ずつ出資する SMR 許認可・技術支援(LTS)プログラムを継続中で 2017 年度はその最終年度にあたる。米国で開発した最先端の SMR 技術で国の経済とエネルギー供給両方を保証していくとともに、地球温暖化の防止目標も達成する考えで、こうした努力を通じて、米国の製造能力や関連する原子力サプライ・チェーンも強化。米国から SMR を輸出する重要な機会も増大すると見込んでいる。2020 年代初頭から半ばにかけて、最初の一群について設計認証(DC)取得を目指す。2017 年度初頭にはまず、ニュースケール社が独自の SMR 設計の DC を申請予定となっている。

使用済み燃料を処分する研究開発費は、「燃料サイクル研究開発」の項目の中で計上されており、2017 年度予算としては前年度から 1,184 万ドル増の 7,434 万ドルを要求した。2016 年度では使用済み燃料処分研究開発のサブ・プログラムとして(1)研究開発、(2)統合放射性廃棄物管理システム(IWMS)——に分けていたが、2017 年度は IWMS 活動の拡大が予想されることから、IWMS 予算は別枠で単独に 7,360 万ドルを要求(5,380 万ドル増)。商業用と軍用両方の廃棄物について、個別の管理施設を立地、設計、建設、操業するためのすべての下準備活動が行われる。具体的には(1)商業炉から出る使用済み燃料を集中的に中間貯蔵するパイロット施設と、軍事用高レベル廃棄物の永久処分場関係、(2)商用と軍用両方の放射性廃棄物すべてについて貯蔵、あるいは処分する施設を合意ベースで立地するための支援活動——になるとした。今後 10 年間は、閉鎖済み原子炉からの使用済み燃料を受け入れるパイロット中間貯蔵施設に努力を傾注するほか、廃棄物を中間貯蔵施設まで輸送する能力の開発を実施。そして、大規模な中間貯蔵施設の立地と許認可に向けた活動に進めていくとしている。

## 【国際】

### IAEA, ジカ熱防止で原子力を使ったウィルス早期探知機器を移転

妊婦が感染すると胎児への悪影響が疑われる「ジカ熱」が中南米で拡大していることから、国際原子力機関(IAEA)の天野之弥事務局長は 2 月 11 日、関係各国からの緊急支援要請に応じて、放射線を利用したウィルスの早期探知機器や関連技術の訓練を近く提供する予定だと発表した。このイニシアチブで必要とされる経費 40 万ユーロ(約 5,000 万円)は、IAEA の年間予算で承認された緊急事態用準備金でカバー。ジカ熱拡大に対抗する能力の向上取り組みは、IAEA の幅広い支援の一環であり、天野事務局長は「この種の危機には早急に対応したい」と述べた。また、原子力を活用した技術による医療支援は、IAEA が世界中で展開する活動の重要な部分だと強調している。

ウィルス探知の具体的な支援策として、天野事務局長は逆転写ポリメラーゼ連鎖反応(RT-PCR)に基づく技術の移転が含まれると指摘。同技術がすでに確証済みで効果も高く、2014 年に西アフリカでエボラ出血熱が大流行した際にも IAEA が提供したと説明した。3 時間以内のウィルス探知が可能であるため、その利用協力については食糧農業機関(FAO)とも連携して当たっており、早い段階でウィルスを探知できれば大流行に際し迅速な対応を取ることが可能になると指摘した。また、RT-PCR 機器に加えて、関連する消費財や技術的助言、探知技術の使い方に関する訓練についても緊急に提供すると明言。ウィーン近郊ザイパースドルフにある IAEA/FAO の農業・バイオ技術研究所で、南米とカリブ海沿岸の加盟 28 か国すべてが 3 月下旬から RT-PCR 訓練が受けられるよう手配中であることを明らかにした。

ウィルスを媒介する蚊の個体数削減で補完的役割が期待される不妊虫放飼法(SIT)技術の移転要請については、2 月 22 日と 23 日にブラジルの首都ブラジリアで国際専門家会合を開催予定で、その結果に関する協議を 24 日～26 日、同じブラジリアで開催する拡大調整会合で南米およびカリブ海諸国の政府当局と行う計画。SIT プロジェクトに要する 228 万ユーロ(約 3 億円)は 3 月上旬の理事会で承認を得ることになっている。

# 座談会

## 「どうする？ もんじゅ」3

### 原子力をめぐるグランドデザインの不在が根底に



国際環境経済研究所理事 竹内 純子  
常葉大学教授 山本 隆三  
司会 澤田 哲生

本誌では「もんじゅ」勧告とその背景をめぐる座談会をこれまで2回開き、FBRをめぐる歴史的経緯と必要性や、「もんじゅ」勧告の背景にある JAEA の保守管理の問題点や経緯、さらには規制そのもののあり方を議論してきました。今号の座談会では経済性の問題や「もんじゅ」を含めた原子力の研究開発体制を焦点化し、自由化が進む中での原子力のあり方をめぐるグランドデザインや、その設計を主導する司令塔の不在という問題があること。また、それらの前提には国民の理解促進があり、そのためには「もんじゅ」を含めた原子力が持つエネルギー面での供給安定性や安全保障への寄与などを明示化することが重要だと指摘がなされました。

#### 原発を廃止すれば、日本はリスクにさらされる

澤田 本誌では「もんじゅ」をめぐるこれまで、座談会を2回開いてきました。1回目はFBRをめぐる歴史的経緯と必要性の議論を、2回目は「もんじゅ」勧告の背景にある JAEA の保守管理の問題点や経緯に加え、規制そのもののあり方を議論しました。3回目の今回はこれまでの議論をふまえ、経済性の問題。例えば電力自由化や発送電分離という原子力事業に押し寄せる波の中で、「もんじゅ」の研究開発を継続するための予算をどうするのか。あるいは「もんじゅ」の研究開発体制への他省庁の関与のありかたについて議論したいと思います。本年1月逝去された澤昭裕さんが原子力事業の再編についての遺稿を残されたとは伺っていますが、そこではこうした点についても触れられているのでしょうか？発表前の原稿ではありますが、その作成を最後まで手伝われたと伺っていますので、差し支えない範囲で澤さんの最後の

メッセージについて教えてください。

竹内 そこでの主要なポイントは、原子力事業の再編論ですが、冒頭には福島原子力事故をふまえて原子力ムラの体質は本当に変わったのかということに、強いメッセージが書かれています。原子力発電の必要性からその正当性を主張される方が今でも多いのですが、それだけで国民の理解を得られるわけではありません。澤さんは、「原子力は今までのような基幹電源ではありえない。しかし、再生可能エネルギーがコスト・技術の両面でまだ多くの課題を抱える中で、資源貧国日本が保険として持ち続けなければならない技術だ」と考えていたと思います。一方、反原発派の方は現実的でないエネルギー転換を主張し、推進派の方はそれを荒唐無稽な理想論だと言って否定するという構造が今でも続いています。本来、そんな議論はとうに卒業し、自由化の世界においても原子力事業を維持するのに必要な制度的手当て、安全性を真に高めるための枠組みについて議論しなければならないはずなのに、議論が入り口でとどまったままで、

日本の技術は「戦略なき撤退」への途をひた走っているように見えます。将来的にそうしたリスクにさらされるのは国民であることを、澤さんは最期まで心配しておられました。

澤田 私は原子力 vs. 自然エネルギーという不毛な対立構造を壊そうとしていますが、これはなかなか上手く進みません。双方に問題があります。

さて、ご指摘の「戦略なき撤退」という意味では、いままさに「もんじゅ」がその岐路に追い込まれています。この問題もまた、FBRの歴史やその意義や必要論を主張するだけで国民の理解が得られるなどとはとても思えません。メディアや世論は予想以上にこの問題を冷徹に見ています。ところで、山本さんは最近、世論調査をしたところ、若い世代では原子力に対し肯定的な意見が多かったという結果をまとめられたと聞きます。

山本 この調査は静岡県の浜岡周辺の4市を対象に行ったものですが、年代によって原子力に対する考え方が違うことがくっきりと出ました。例えば20代だと、再稼働「賛成」と「やむなし」の合計は3分の2を占めています。けれども年代が上がるにつれて反対の人が増え、40代で肯定と否定が拮抗し、60代以上になると否定が多くなります。

このアンケートは約3万8千人の人に調査票を送り、7千人以上の回答をもらったのですが、回答者の半分以上は60代以上でした。だから、若い人はこういうアンケートには回答してくれない。このため電話でアンケートの回答を求める新聞社の調査は、そのようなバイアスがかかっている可能性があります。

澤田 自宅宛てに電話をかけた調査だと、高齢者と女性の在宅率が高くなった結果が出るということですね。特に若者の回答数が少ないと、その傾向がシニアのそれにかき消されてしまう。

山本 さらに今回の調査は、原発に対して好意的でない人が多いと言われる地域も含めています。この結果を実際の年齢別に構成し直すと、再稼働肯定派が全国レベルでは半分を超える可能性があります。

## ■ どんな結論が出てても当事者への信頼がなければ世の中の納得は得られない

澤田 次に「もんじゅ」についての意見をお願いします。前の座談会では、「もんじゅ」に対する勧告そのものの妥当性に問題があるとの指摘がありました。とはいえ、出された勧告は受けとめなければいけません。一方で「もんじゅ」の話は、核燃料サイクルの今後のあり方も深く関わります。この問題の主要な当事者のひとつであるはずの経産省は、「もんじゅ」にまったく関心を持っていません。「もんじゅ」抜きにして、フランスと日本で、FBRの実証炉にあたるASTRIDを軸にしてやっという考えです。

他方で核燃料サイクルという点から見ると、FBRは非常に重要です。第2回目の座談会では、今のうちからFBR開発に手をつけてないと将来、ウラン需給が逼迫した時に間に合わないという話が展開されました。たしかにこのままいくと将来、ウランの争奪戦が起こるのは確実です。そうすると、自国の燃料はできるだけ自国で賄わなければならない。そのためにはプルトニウムを創成し利用していくのが当然です。その中心的役割を担うのがFBRである。次につなげていくためには、「もんじゅ」なしではいけないというのが、核燃料サイクルのなかで原子力を進める人たちの間で共有されているストーリーです。経産省は核燃料サイクルはやるといいながら、「もんじゅ」のことは関知しないとしている。あれは、文科省のものであると。

原子力ムラの外の人からは、この問題はどのように見えているのでしょうか。

竹内 私も日本は今後しばらくの間、原子力の技術に頼らざるを得ないことは間違いないと考えます。原子力技術に関わる人材が、新たな可能性を追求し、原子力の付加価値を高めていくための「目標」として、高速炉開発は重要だと思います。他方で、現存するもんじゅにとらわれて、高速炉の議論が、「もんじゅを動かす、動かさない」という議論に矮小化されてしまっているようにも見えます。もっと目線を広げて、高速炉開発のためには、もんじゅ以外の手段も含めて、どのような道が最も現実的かつ効率的なのか、冷静に議論する必要があるのではないのでしょうか。

澤田 FBRの必要性はあるけれども、「もんじゅ」にこだわる必要はなからうと。

竹内 こだわり続けても、先がないのであればということ。具体的には、稼働実績のある常陽の活用、またASTRIDのような国際協調路線での高速炉開発の可能性も含めて、幅広く「高速炉開発」のオプションも含めて議論すべきではないかと思います。

澤田 「もんじゅ」なくしてその先の高速実証炉は成り立たないというのが、われわれの共通認識なのですが。それはさておき、日本が国策で進めている核燃料サイクルについてはどうでしょう。

竹内 これまでも全体調整・戦略策定を担う機能が弱かったのだと思いますが、福島第一原子力発電所事故後には原子力委員会のあり方なども見直され、さらに司令塔がない状態になっています。これまでの立地地域との信頼関係や国際協調など多様な観点に目配りしながら、全体調整を図る司令塔が必要です。

澤田 六ヶ所には今般、経産・エネ庁が乗り出して来ましたが、エネ庁では役不足でしょうか。

竹内 もちろん経産省の役割は非常に大きいものの、この問題は経産省のみならず、外務省なども含めた国家規模での話だと思います。エネルギー政策やコストの間

題だけでなく、国家のセキュリティや将来的な視点をもった技術開発のあり方という視点が必要だからです。原子力政策全体については政府の閣議決定などを行い、司令塔組織については例えば内閣府のもとに置いて、各省庁連携で取り組むなどの具体的な議論が必要だと思います。

澤田 山本さん。さきほど原子力容認派は世の中に結構いるという話でした。その中でFBR、あるいは「もんじゅ」は世の中にはどう映っていますか。

山本 原子力発電の必要性を認めている人は、世の中に半分以上いると思います。けれども、今の体制で原子力をきちんと進めていくことができるかどうかという議論や「もんじゅ」や六ヶ所がどうかという話になってくると、賛成度は下がっていくと思います。

澤田 なぜですか？

山本 それは原子力機関への信頼度が低いからです。原子力機関を「信頼している」と「おおむね信頼している」と回答した人の合計は32.7%しかいない。「信頼していない」、「どちらかといえば信頼していない」の合計は41.4%あります。一方で研究者に対しては「信頼している」、「おおむね信頼している」の合計は44.4パーセントで、「信頼していない」が19.7パーセントです。さらに政府になると、信頼度は25%まで下がります。

要するに原子力の必要性は認めるが、それを担っている原子力関係機関や、あるいは政府はあまり信頼されていない。これはきちんとした説明がなされていないということだと思います。

澤田 顔が見えない。あるいは逃げているというイメージですね。山本さんの分析によれば、日本政府の信頼度は、支持率より低いのでしょうか。

山本 そうです。原子力関係者よりも、さらに信頼されていない。だから、信頼されていない原子力関係者や政府が、「もんじゅ」や六ヶ所の話をしても、なかなかパブリックアクセプタンスが得られない。

澤田 それはかなり重篤な状況ですね。

山本 我々が考えなければいけないのは、パブリックアクセプタンスをどうやって高めていくかということです。それが政府の第一の仕事だと思います。そうでないと、どんなに議論してどんな結論が出ても、国民は信頼していないから、国民の納得が得られない。

澤田 現政府の中核は原子力に関してなんら堂々とした発言をしていない。どうすればいいんですか。

山本 教育を地道にしていくしかありません。私のところに反対派の人からよく電話がかかってくるのですが、例えば放射線の空間線量率をととても気にしている人がいます。ところが、「米国のデンバーでは空間線量率が年間11ミリシーベルト、フィンランドでは7ミリシーベルトあります」と言うと、とても驚かれる。そんなことも知らないで、「5ミリシーベルトでも危ない」と

いう論理にしがみついている。また、原子力発電をやったら温暖化が進むと言う人もいます。

竹内 温排水のことを仰っているんでしょうね。

山本 けれども温排水は原子力発電所だけでなく、火力発電所からも出ています。彼らに「プールにスポイトで熱湯を1滴入れたら温度が上がりますか」と説明すると、納得してもらえることが多い。

原子力を進める側はきちんと説明をしなければいけません。反対派の人の中には、かなり非科学的な説明をそのまま受けとって、誤解している人も多い。感情や、間違っただけで判断している人というのは世の中にすごく多いと思います。

澤田 それはなかなか興味深い指摘ですね。

山本 例をもう1つ。去年、教員研修で、230人の先生を前に温暖化とエネルギーの話をしました。その後で教員の人たちから、「感情でエネルギー問題を議論するのは間違っていることに気がつきました」「データで判断しなければいけない」「私は原子力について非常に間違っただけを考えていた。」というコメントをいくつかいただきました。高校教員のような人たちの中にも、誤解している人がいるということです。原子力関係者が外に飛び出さなければだめですよ。こんな座談会をやっている場合ではありません。

澤田 この座談会は、飛び出している、から良いのですよ(笑)。原子力関係者はムラの寄り合いが好きでして、そこから飛び出せない。ところで、私も学校の先生や生徒とコミュニケーションをとっているのですが、テレビや新聞から聞いた情報が中心で、より広範で公正な知識を得る機会が与えられていないケースが多い。要するに、「もんじゅ」がどう見えているかではなくて、もっと世の中に積極的にきちんと説明していくべきだということですね。受け身ではなく、プロアクティブ(proactive)に。

山本 そうです。さきほどの調査結果では、コメンテーターの信頼度がとても低く、20パーセントぐらいしかありません。テレビのコメンテーターというのは結構、いい加減なことを言っているということが、みんなにはわかっているけれども、それなりの影響力はあります。

また原子力教育で、原子力発電所を見学するような機会が提供されていますが、そういう機会を利用する人たちというのは、そもそも肯定派の人たちが多い。

澤田 ちなみに学校の原発見学は3.11後に自粛通達で役所から出されたままだと思います。個人的に呼びかけてやっていますが、原子力に慎重な人たちにも呼びかけるのですが、なかなか一緒には来てくれません。

山本 だから学会は、そんな人たちにどうやってアプローチするのかを考えた方がいい。

## 「もんじゅ」の効用とコストを明示化する

澤田 確かに学会の大きな役割ですね。私は根強い反対派の人たちとも交流を続けていますが、彼らは最近の事情を余りよくご存じないことがままあります。だから、私たちがいろいろなところに出ていくべきだというのはまさにその通りです。

さて、「もんじゅ」の経済性的話に移ります。前の座談会ではもし「もんじゅ」を新規制基準に適合させるとするならば、さらに2千億円ほどの追加資金が必要だとの指摘がありました。

竹内 原子力については、かかるコストの全体像を示していくことも重要です。もたらすメリットについて定量化することも必要です。例えばホルムズ海峡が封鎖されれば、日本国内の天然ガスは2週間で底をつくというような話はわかりやすい。けれどもそれだけでなく、原子力の安全保障や温暖化問題への寄与度を数値化して示す必要があるでしょう。政府はエネルギーミックスの検討の際に試算を示しましたが、わかりづかった。

澤田 けれども、一番重要なことですよ。JAEAの予算、なかでも「もんじゅ」の予算は平成7年にそれ迄の半分以上に減っている。建設が終わったとはいえ、200億円くらいはどこか他に回されたのです。

竹内 コストも効用も定量化して、見える化をすること。先ほど出た2千億円というコストは、単体で聞くとすごく高く感じますが、原子力は生み出す電気が膨大だから、場合によってはその金額をkWh当たりにして示す工夫も必要だと思います。これらのコストは、その他の外部経済効果との見合いだと思うので、そちらも「見える化」していくことも必要です。今は「もんじゅ」の効用が、国民の前に示されていません。コストを全体的に示すことと併せて、効用についても示していく必要があると思います。

澤田 そこは、われわれの責任が大きいとおもいます。もんじゅやるべし。の背景には技術論があるのですが、世間には細かいことはさておき精神論としか響いていない。将来は確実にウラン資源が逼迫し争奪戦が起きます。そうすると、日本のような国は今からFBR開発を手がけておく、プルトニウムを創成し、これを準国産燃料として使っていく。世界的もそうならざるを得ないから、ロシアや中国、インドは着実にFBRの研究開発を進めています。

しかし米国はシェールオイルやガスで200~300年ぐらいはもつと見積もっているようで、原子炉の新設にそれほど積極的ではない。

日本は、これから20~30年先をマイルストーンとして、さらにその先、国家100年の計を見据えたエネルギーセキュリティを考案しないとイケない。自国で生産

できるエネルギー源というのは原子力しかない。太陽光や自然エネルギーも増やすべきですが、実質的に手に入る量が限られかつ不安定電源なのでなかなか多難です。国家の長期的エネルギーセキュリティの観点からは、竹内さんがおっしゃるように2千億円という数字は際立ったものではないかもしれません。長期的に見て、自国のエネルギー自給率が数パーセントも上がるというのは、すごいことですからね。けれども今は、そんな議論もされていません。

山本 エネルギー自給率の問題は難しく、化石燃料をめぐる状況は40年もたつとずいぶん変わってしまう。ホルムズ海峡をめぐる問題にしても、原油の中東依存率は8割以上ありますが、天然ガスは3割しかない。だからホルムズで問題が起きたとしても、日本は原油以外ならほかから買える。原油にしても6ヶ月分の備蓄があります。それらを含めて、長期的視点で考えなければいけない。前提とする要因によって答えが変わるため、これらは定量化するのが非常に難しい問題だと思います。

結局、原子力の問題は、エネルギーセキュリティの問題よりも、電気料金を安定化させる問題をよく考えなければいけないのではないかと思います。

## 無資源国では原子力の選択肢をなくせない

澤田 原子力によって電気料金を安定化させるということですか。

山本 そうです。要するに原子力発電をやれば、電気料金はあまり振れない。それが40年続くという効果や温暖化対策という効果も考えなければいけない。そういうことを考えて、原子力は必要だというのが、多くの国の結論だと思います。その結果として、世界中で原子力発電所は建設されているというわけですよ。

澤田 しかし、その状況はあまり共有されていない。

山本 現状はそうかもしれませんが、先を見越せば日本でも当然、原子力発電のリプレースや増設に向かって行く、そういう結論になると思います。エネルギー自給率を考えたら、そういう結論にならざるを得ない。資源がない日本や韓国のような国は、原子力の選択肢をなくすことはできない。

もう一つの問題は、技術の問題です。日本は日立、東芝、三菱、ウェスティングハウス(WH)などが高い技術を持っている。それを生かす道を考えなければいけない。日本はこの失われた20年間でいろいろな技術の優位性を失っていますが、このままではいけない。

澤田 その中に核燃料サイクルや「もんじゅ」は入っているのですか。

山本 入っています。これは、パブリックアクセプタンスの問題とは別です。その技術が、日本として維持す

べきものなのかどうかという判断は、当然しなければいけません。

澤田 「もんじゅ」はどちらでしょう。

山本 やったほうがいいです。

澤田 2千億円はどうしますか。

山本 どこから調達してくるしかありません。同時に本当に2千億円かかるのかどうか、その額は十分検証し精査しなければなりません。

澤田 「もんじゅ」に軽水炉発電所並みの新規規制基準が今後仮に適用されれば、耐震補強だけで千億円ぐらしかかるのではないかとされています。

山本 本当にそうなのか、それもよく検証しなければいけないと思います。例えば原子力ムラの中だけで考えたために、不必要に高い設備や工事費を含めていないかどうかなどということも含め、透明性をもって厳密に検証していかなければならないと思います。

「もんじゅ」のナトリウム漏れは、たいした問題ではありませんでした。けれども世間は、そうは見えていません。運転再開のために2千億円かかると言ったら、世間はやはり違う目で見ると思います。

我々は、そんな世間の目を意識して、そこを納得してもらうことを考えないといけない。「もんじゅ」の重要性や必要性を訴えるだけでなく、コストにしても2千億円ではなく、絞りに絞ったら千5百億円になりましたというような努力の跡があれば、納得感が得られやすいのかなと思います。

澤田 オリンピックの新国立競技場みたいな話になってきましたね。

山本 あれが世間の納得を得る典型的な話でしょう。でも、その努力をしないと、日本の技術は維持できません。日本の技術は韓国、中国などに追いつかれてしまっていて、優位性を持つ強い技術が、本当に少なくなっています。例えば蓄電池では、かつて日本が50パーセント以上の世界シェアを持っていましたが、今は10パーセントを割っています。石炭ガス化複合発電(IGCC)も、中国はすでに「作れる」と明言しています。

澤田 それらはコピーすれば獲得できる技術という認識でしょうか…

山本 だから、簡単にはコピーできないような技術をやらないと勝てない。原子力というのは、その典型です。中国も AREVA と WH の力を借りながら原子力発電所を30基作った実績をもとに、やっと中国製というレベルに達することができました。

澤田 「もんじゅ」についてはどうでしょう。

山本 このまま廃止するのはもったいないです。けれども原子力関係者はどのようにして、そのためのパブリックアクセプタンスを獲得していくかということに発想を転換していかないと。2千億円が高いか安いかわかる議論ではなく、世論の理解が得られるかどうかでしょう。

澤田 具体的には。

山本 原子力関係者のうちわだけの議論ではなく、反対派の人やマスメディアの人と議論を深めることだと思います。新聞社の中には、社の方針として批判しているところもありますから、彼らとも十分な議論をして、社の方針を変えてもらうようなことをすべきでしょう。

澤田 竹内さんは国立研究開発法人審議会の JAEA 部会委員を務めておられます。

竹内 はい。ですので、JAEA の方たちの苦悩もわかるように思います。もんじゅの理解活動は、JAEA だけの課題ではなく、政府、電力会社、関連メーカーの人も含めた原子力関係者すべてが、パブリックアクセプタンスを得るための努力をすべきだと思います。

澤田 JAEA はリスクコミュニケーションをはじめとして、それなりの広報活動をやってきたと思いますが。

竹内 あえて厳しく申し上げれば、それらのコミュニケーションは、話を聞いてくれる人のところに行くにとどまっている場合が多く、批判的な人への踏み出しが足りません。私は東電にいたころ、坂本龍一さんとあるシンポジウムで登壇したことがあるのですが、後で社内から、反原発の坂本さんとなぜ、一緒に登壇したのかと怒られました。私は意見が違うからこそ、一緒に出る意味があると思いますし、坂本さんからは、「僕が間違っていることを言っているのなら、それを指摘してほしいのに、原子力関係者は指摘どころか、近づいてきてくれない」と発言されていました。もし誤解をされているのであれば、本人に説明しにいけないのであり、そこから議論やコミュニケーションが始まるわけです。厳しく言えば原子力関係者は、そんな努力が足りなかったのではないのでしょうか。

一方で「もんじゅ」について言えば、この学会誌での座談会でも原子力の草創期に活躍された第1世代の発言しか聞こえてきません。若手は育っているのだろうか、そのための仕組みは十分にあるのかと懸念します。

澤田 そうです。現場を担う人たちの顔が見えないばかりか、今後を担う若手がいるのかも見えない。

竹内 一般の国民からすると、このような時に若手の学者や現場の人が説明に出てきてほしい。でも、そんな人はとても少ないです。もし、若手の研究者を育てて技術を育成する仕組みが不十分であれば、技術が維持できなくなるという危機感を、本当に技術にかかわっている人が真剣に持ってもらいたいと思います。

澤田 大学や学会の役目ははずですね。

竹内 あるいはもし、若手の研究者を育てて技術を育成する仕組みが不十分であれば、技術が維持できなくなるという危機感を、本当に技術にかかわっている人が真剣に持ってもらいたいと思います。

澤田 危機感はあるのですが、人材育成のためには予

算が必要で、それは監督官庁しだいということもあります。つまり、監督官庁が向いていない方向には予算がつかない。そこに事実上蹂躪されている。今は廃炉や安全・セキュリティに予算は流れていますが、前向きな研究はおざなりです。

## エネルギーや技術は、国が自立するための前提

竹内 予算の問題だけでなく、原子力コミュニティの中には、派閥や学閥的なものが根強くあるのではないかと感じます。第三者的に見ているので外れているかもしれませんが、若手の研究者をしっかりと育てるための仕組みは必要です。

澤田 根強くあります。空洞化しつつ根強くある。そこででてくるのが「人材育成」です。人材育成というテーマぐらいしか正当性が主張できないような寒い状況になっています。

竹内 言うまでもなくエネルギーや技術は、他国を支配することができる手段となります。ロシアは天然ガスなどの資源を生かした外交で周辺諸国をコントロールしていますが、技術面でも同様で、原子力技術をトルコに輸出していますが、両国の関係が悪化したら、ロシアは原子力の技術者を引き上げもちらつかせている。自国の中に技術を保つことの重み、そして海外とも切磋琢磨して技術を磨いていくことの重要性を関係者が共有していただきたいと思います。

澤田 ロシアは建設 (Built) - 所有 (Own) - 運転 (Operate) をすべてロシアが面倒見る BOO 方式です。安全つまり事故時の責任も取るらしいです。チェルノブイリ事故の経験をふまえて言うのだから逆に説得力があるかもしれません。

竹内 そこは、トルコにとっては自国の中に技術者を抱えていないことの怖さがある。自国の中に技術を保つことの重みを技術関係者が共有して、そのことを強く発信していただきたいと思います。

澤田 まことに重要な指摘だと思います。さて、今の国家政策では核燃料サイクルを進めていくことになっています。けれども、その中での「もんじゅ」の存在が問われている。原子力ムラのシナリオとしては、いずれ軽水炉は FBR に置きかわる、FBR が発電炉として商業化するという未来像があり、核燃料サイクルはその上に立っています。

一方で今の軽水炉の再稼働にあたって、電力会社は追加的な安全措置などのために何千億円といった内部留保を吐き出している状態です。これに加えて FBR も含めて新規立地でゆくゆく商業化しようとするれば、その資金をどこから調達するのでしょうか。けれども完全自由化になって発送電分離をすれば、そういう資金の余裕はなくなるのではないのでしょうか。

竹内 それは自明の理です。自由化した社会で原子力の新設・リプレースを可能にするには、何らかの補完的な政策を打たなければいけないことは明らかです。例えば米国がやっているように、建設期間を短縮化するために認可制度を簡素化するなど、規制を合理化する。ファイナンスについては、政府の債務保証をつける、あるいはイギリスのように長期固定価格買い取り制度 (FiT CfD) を入れて投資回収が確実視される政策を入れるなどの方策を導入する必要があります。莫大な初期投資や長期にわたる建設期間、技術的な課題や政治・規制の変更リスクなどを総合的に考えれば、自由化と原子力とは、大変食い合わせが悪いのです。そんな中で諸外国は、それを両立させ、緩和させるための政策をすでにいくつ導入しています。

山本 米国では今、原子力発電所が 5 基建設されていますが、その建設が進んでいるのは全部、電力が規制されている州です。米国には電力を規制している州と自由化している州があるのですが、原子力発電所は規制州でしか建設されていません。

米国政府は原子力発電所の債務保証をしていますが、それでも自由化された州では原子力発電所の新規立地を誰もやらない。規制された州では電気料金の保障がありますが、自由化している州だといくら補助金があっても、電気料金が将来どうなるかわからないから、40 年も 50 年も使う設備に誰も投資しようとはしません。

日本の場合、お金だけでは難しい。イギリスのように FiT CfD を導入して固定価格で 35 年間買い取りますと言っても、難しくなってきました。それは建設費が高くなってきたからです。今までは、例えば AREVA では 1kW 当たり 6 千ドルぐらいでできると言っていたのですが、それではできなくなっています。

澤田 フィンランドの例ですね。

山本 さらに 5、6 年だった建設期間が、どんどん伸びている。工期と資金が読めなくなり、大変な負担になるかもしれない。そのような点についても政府が責任を持たないと、自由化した市場では原発建設は誰もやりません。このため政府が、上限をつけなくて金は出す、できた電気は全部買い取るという制度にしないと、原発建設はできないと思います。

澤田 なおさら、パブリックアクセプタンスが重要になります。

## 客観的な知識にもとづく判断がなければ、国は誤った方向に向かう

山本 ただ原子力発電所は、温暖化問題やエネルギー安全保障に関心が高い人には支持率が高い。ですからこれからのパブリックアクセプタンスは、温暖化や安全保障の知識を持ってもらうことが重要です。例えばイギリスだと、原子力発電所の新設に対し、エネルギー安全保

証の観点から賛成が60%を占めています。今の日本では、原発新規建設賛成は20%しかない。これはイギリス国民が、原子力の利点をよく理解しているという証しです。

澤田 それだけ情報が共有されているわけですね。

山本 そういう情報を皆さんがよく聞いているから、60パーセントの支持率になると思います。日本では、そういう情報が極めて少ない。新聞では、感情的な話が多い。みんながきちんと判断できるための材料を、マスメディアは提供しなければいけません。そのマスメディアが判断するための材料を提供するのが学会の責任ではないかと思います。

澤田 イギリスは狂牛病問題で、当時の科学者に対する信頼が地に落ちました。その不信を払拭するために上院に Science and Society という科学技術委員会を作り、フェアな情報の提供や、科学的判断ができる人を育てる取り組みを20年間ぐらいかけてやってきた結果、今の状況になりました。教育を含めたパブリックアクセプタンスを、20年間以上かけて取り組んできたこととなります。私は、今回はそういう意味ではいいチャンスではないかと思っています。「もんじゅ」について、専門家は国家エネルギーセキュリティのためのものであり、30年先にはオイルショックならぬニュークリアショックが来る。下手をすると、隣の中国からFBRも買ってこなくてはいけなくなるという未来像を描いています。けれども、そのような話はほとんど国民には共有されていません。JAEAの問題は大きいですが、そこに深く関与している文科省の責任はもっと大きい。しかしその自覚がないとしか思えない。

竹内 今のJAEAは、目の前のことに必死だという感じがあります。けれども、そうなってしまうのはしょうがないというか、我々がそうしてしまっているのではないかと反省すべきところもあると思います。

話を整理します。山本先生のお話では教育が大事であるとのこと指摘でしたが、それには時間がかかるのもしょうがない。福島での事故から既に5年と言われますが、教育という観点からいうと、まだ5年です。イギリスも科学不信を払拭するのに長年かかりましたし、私も米国のNEIの担当者から「そんなに焦ったってだめだよ」と言われました。これから、うまずたゆまずに教育や情報提供・共有をしていくことが、学会の一番大事な役割だと思います。

山本 電気事業者は、再稼働までは原子力発電の重要性を訴えていくでしょうが、自由化が進むと、その先のリプレースや新設のことまで事業者はきちんとと言えるでしょうか。

竹内 今はそれを考えられる余裕がないでしょうね。技術の維持という点からすると、新設やリプレースがない中での技術の維持はあり得ませんので、もう議論を始

めるべきだろうと思います。

澤田 その通りで、原子力を担い推進するものがそこをはっきり言うべきなのにまったく言っていない。除染や廃炉にばかり向いていて、未来にむけての未開の研究開発に頭を向ける余裕がない。

山本 余裕がないというより、制度が変わるから考えても仕方がない。ヨーロッパの電力会社は、自由化後の市場でも国内で原子力発電所をつくれるよう、政府と交渉しました。けれども日本の場合は、事業者はそこまで踏み込めない。

澤田 仮に事業者に開発するマインドがあったとしても、どこに話を持っていけばいいか、わからない。というのは、原子力を推進する側の本丸がない。本丸がなくても、言える人が言えば良いのに、そんな気概や戦略がない。

竹内 このままだと戦略なき撤退になってしまうかもしれません。みんなが部分的に自分の責任を果たしていればいいということで、全体のことやそれに伴う責任を誰も考えてないという状況ではないかと懸念します。

澤田 そうなんです。それこそ思考停止、空気を読む全体主義的な体質を感じさせます。3.11以前よりムラ化、が進展していないでしょうか。本来、総体的な責任の本丸は内閣にあります。けれども今の政権は、原子力問題にはできるだけタッチしないようにしています。

山本 支持率低下に響くと思っているのでしょうか。

竹内 では、具体的にどういう体制であれば原子力事業を維持できるのか。具体的な案を出していく必要があると考え、原賠法の研究をした時に、澤さんと共同執筆で、原子力事業環境整備についても提言を出させていただきました。事業リスクの大きさを考えると、どうしても国営にせざるを得ないのではないかと思う一方で、関係者から言われたのは、「それだと『もんじゅ』になるよ」ということ(笑)。で、その時は運営を国が担うという案は書きませんでした。ファイナンス的なところ、あるいは政策的な指令塔を国が用意をする。それによって民間事業者が担える体制を考えるべきだと思います。民間事業者も、原子力分野では今までリスクをしっかりと認識していなかったのではないのでしょうか。リスクをどこまでなら担えるのか。リスク分担について積極的に考えてほしいと思います。

山本 発電事業にはリスクはつきものです。それは原子力に限りません。そのリスクは事業者が負わざるを得ない。ただしそれは、無限リスクや読み切れないリスクということではない。また、一定の事業リスクを負うかわりに、それに見合う適切なリターンをもらう。そういう制度設計をうまく考えなければいけないけれども、今、政府は何にも考えていません。成り行き任せです。

澤田 無限責任はゼロリスクの双子の兄弟で、思考停止にほかならない。いまの原子力行政はゼロリスクの虜

になっている。

竹内 リスクに見合うリターンは当然確保されるべきです。でも、そのバランスがとれる制度設計が議論できていません。

山本 だから、それを早く議論しなければいけない。政府が掲げる 2030 年までに温暖化ガスを 13 年比で 26% 減にするという目標年まで、あと 14 年しかない。発電所の建設の準備期間に 10 年はかかるから、数年以内には制度を決めないと間に合わない。そこではリプレースも含めて考えなければなりません。

今はそういう状態にあるのですが、この緊急性が政治家を含め理解されていない。原子力の話をするとう支持率に影響するので、この議論を避けるということもある。

澤田 さっき国営にすると「もんじゅ」化するという話がありましたが、核燃料サイクルの一つの重要なパーツである六ヶ所村での再処理事業については、使用済燃料再処理等機構ができました。これは半ば、国営化ではありませんか。

竹内 国が一步前に出たと言えるのかもしれませんが、あくまでパーツでの議論だと思います。

澤田 そのようないろいろな問題が先送り状態が続いてきて、そのあげくに福島第一発電所の事故が起こった。さらにはそこで、「もんじゅ」の問題が顕在化してきた。何か関連性があるような気がします。無責任の連鎖ではないでしょうか。

## 十分な制度設計なしに、電力が自由化された

山本 電力の自由化は非常に大きな問題を引き起こしています。六ヶ所の問題でも、自由化すれば電力会社はそこに金を出しにくくなります。突き詰めていくと、自由化するからいろいろな問題が引き起こされる。このタイミングで自由化する必要性があったのかどうか。

竹内 消費者にメリットがあるのであれば、自由化も発送電分離もやればいいと思います。しかし、少なくとも現在は原子力発電所がほとんど稼働しておらず、需要が増える夏・冬のたびに、「今季の需給は大丈夫か」と心配し、3%の予備率を確保すれば大丈夫などと言っている状況です。自由化を行うべきタイミングは本来、設備率に余裕がありすぎるといった場合です。決定的にタイミングを間違えています。

山本 自由化のタイミングが早過ぎました。例えば、再稼働のめどをつけ、それをもとに供給力を確保する。その後やるのであれば、まだましでした。これからは自由化で、原子力発電にお金を出す人がいなくなります。そういう問題のめどをつけてから少なくとも自由化すべきだったと思います。一方で自由化すると、寡占化が進みます。今はたくさんの事業者が名乗りをあげていますが、やがて淘汰されていきます。例えばイギリス

だと、小売事業者は 37 社しかありません。ところが 37 社のうちの 6 社が、99 パーセントのシェアを持っています。日本もやがてそうなります。結局、いろいろな発電設備を持っている人が勝つのです。天然ガスや再生可能エネなどのような単品しか持っていない事業者は生き残れません。

澤田 議論を整理します。福島第一の事故が起きて 5 年たち、自由化が始まります。さらには発送電分離がある。原子力にとっては大きな波がこれからも来ます。その中で、国家の軸足がはっきりしない。ベースロード電源と言いながらも、それが明確に示されない。そのための体制も整っていない。CO<sub>2</sub>抑制は国際的な約束なのに、そのためにどれだけ本気で取り組むのかもはっきりしていない。

これからのあるべき体制としてはどういうものがよいと思いますか。

山本 自由化する中で、原子力発電所をどうするのか、それが見えないということが第一の問題だと思います。

澤田 そこを誰が政策的、いや政治的でもいいのですが、きちんと見ているのかが今まったくわかりません。そういう状況のなかで「もんじゅ」が必要だと言っても、みんなの心に響かないのは当たり前ではないですか。

山本 それでも、技術的に考えると「もんじゅ」は必要です。日本ではあまり騒がれていませんが。世界はこれから温暖化対策で、巨額の投資をしなければなりません。その投資の中には原子力も入っています。原子力発電のシェアはこれからどんどん増えていきます。それを担うのは東芝や日立、三菱、WH、GE だと思います。

これは日本だけではなくて、世界全体の原子力発電技術を支えるということになります。この視点に立って日本国内の体制を整える必要があります。自由化をするのであれば、その中で原子力発電所をどうやったら新設できるのか、リプレースできるのかという制度設計をしっかりしていくということでしょうね。

澤田 それは、誰がやることでしょうか。

山本 エネ庁の仕事だと思います。しかし、エネ庁も含め、政府はこの問題に積極的ではありません。取り組んだとしても、自分の得になることはあまりない。それは政治家も同じだと思います。

澤田 内閣もエネ庁も腰が据わっていないのでしょうか。安保問題は何とか乗り切りましたが、エネルギー問題への積極的な姿勢はまったく見えない。

山本 それは、安倍首相が安保問題には熱心だったからです。けれども、原子力には安保ほどには熱心ではない。

竹内 国家運営の枢要は、国民をどうリスクから守るか、リスクにさらさない舵取りをするかということだと思っています。安倍政権には、長期政権であることを目

的化せず、長期政権の利点として「嫌なテーマ」にも取り組んでもらいたいと思います。再稼働については新規制基準に合格したものについては認める姿勢を明言していますが、その先が必要です。まずは、原子力政策の指令塔を、国家として持つこと。新設・リブレースについて議論し、そこにファイナンスサポートを導入することを考えるべきだと思います。

## 長期的、大局的視点をもつ司令塔が必要

澤田 指令塔のイメージはどういうものですか。

竹内 例えば内閣府に事務局を置いて、原子力政策を閣議決定などでまずピン止めをする。来年、見直しされるエネルギー基本計画では、原子力の新設・リブレースについて明確に記載する、といったことが手始めに必要なことでしょう。

地球温暖化対策の観点では三つの戦略の策定が進んでいます。長期の温暖化対策計画、いわゆる温対計画と革新的な技術開発が進むような戦略、そしてエネルギーミックスを実現していくための戦略がそれです。この中で原子力の役割を含めたものを閣議決定してもいいのではないかと思います。温暖化対策に真剣に取り組むのであれば、本当は環境省が「再稼働に向かって頑張ります」と言わなければならないのですが、全く言及していません。このあたりは政府も、本当に腹を決めてもらわないといけないと思っています。

澤田 行政の司令塔である内閣もそれに連なる官僚もこの問題から逃げている。

山本 環境保護団体は再生可能エネルギーが大好きですが、原子力は嫌いです。

竹内 温暖化に取り組む環境 NGO の方たちは、パリの COP21 で高い目標を掲げることができた、とても感激していました。けれども「世界の気温上昇を産業革命前から2度未満に抑える」という目標を掲げることはある意味簡単ですが、課題はそれをどう達成するかです。「達成していくためには原子力も必要な技術ですよ」と言う、「それとこれとは別です」と言う。それと同じシチュエーションが、日本の政府や世論の中にもあるように思います。

澤田 その構造はどうやったら変えられるのですか。

山本 環境派の人にきちんと説明するしかありません。僕のところには環境派の人から電話が来ることがあるのですが、例えば「石炭火力の煙はけしからん」と言う人がいます。けれども「あれは水蒸気ですよ」と言うと、驚かれる。あの煙には大量の SO<sub>x</sub> や NO<sub>x</sub> が含まれていると誤解している。正確な情報がまるで伝わっていない。だから、よく説明しなければいけない。これに尽きます。

澤田 「指令塔の欠如」ということですが、今までの話

だと原子力は必要であり、それをきちんと訴えていかなければいけない。その中に「もんじゅ」の問題も入っているのだけれども、指令塔がないから、長期的なプランを分かり易く描いて提示することができない。「もんじゅ」の勧告の話の前に、原子力の体制そのものがきちんとなっていない。

原子力を始めて60年ぐらいたっていますが、今はある種の制度疲労が顕在化し、転換点にさしかかっているのだけれども、その対応に至っていない。1995年頃からそんな状態です、だれも本腰をいれて取り組もうとしてこなかった。原子力委員会などというもの、従来科技厅長官(国務大臣)が委員長をつとめていましたが、それが外れた15、6年前から存在意義が非常に薄れてしまった。閣僚が抜けた後の委員会は政治との共有がなかなか出来ず、強力なリーダーシップがなくなった。そんな中で「もんじゅ」の問題では、規制委が大きな権限を持っているので、結果として原子力政策いや原子力の政治にまで立ち入ってしまっている。原子力を最大限抑え込むための政治です。今は、原子力を公平公正な立場から見る政策指令塔を立ち上げなければいけない。けれども政府は、その方向に向かっていません。

山本 これは安倍政権の責任です。安保の次はこれでしょう。

竹内 アベノミクスを成功させるためには、日本はエネルギー政策を立て直さないとはいけません。この問題は本当に、政策の中での優先順位を上げてもらわないといけない。これには異論はないのではないかと思います。

澤田 ありがとうございます。この話が原子力関係者全体だけでなく、政権や世の中にまで響くことを期待します。

(2016年2月3日実施、編集協力 佐田 務)



竹内純子(たけうち・すみこ)  
東京電力勤務を経て、国際環境経済研究所理事・主席研究員



山本隆三(やまもと・りゅうぞう)  
住友商事勤務、プール学院大学教授を経て、常葉大学経営学部教授。



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。

# 福島原発事故由来の放射性物質が付着した海底堆積物の再懸濁と水平輸送過程

海洋研究開発機構 本多 牧生, 日本原子力研究開発機構 乙坂 重嘉

福島第一原子力発電所(FDNPP)事故由来の粒状態放射性セシウムの海洋内での輸送状況を把握するため、2011年7月にFDNPP南東沖大陸斜面に沈降粒子捕集装置を設置し、その後3年間に捕集された粒状物質の放射性セシウムを測定した。その結果、2014年初夏になってもFDNPP事故由来の放射性セシウムが検出され、毎年秋季になると増加する傾向があることが観測された。捕集粒子の主成分が鉍物粒子であること、海水中の溶存放射性セシウム濃度から推定される粒状態放射性セシウムフラックスより捕集されたフラックスがはるかに大きいことからFDNPP事故由来の放射性セシウムが沈着したFDNPP沖海底堆積物が再懸濁し、大陸斜面に水平方向に輸送されている様子が窺えた。また秋季に見られた放射性セシウム濃度とフラックスの増加は台風が接近・通過することで、より浅い水深の海底堆積物が再懸濁し水平輸送されたと推定された。

**KEYWORDS:** *Fukushima dai-ichi nuclear power plant, radiocesium, particulate radiocesium, sediment trap, marine snow, sea-floor sediment, re-suspension, lateral transport, typhoon*

## I. はじめに

2011年3月11日に発生したマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震と津波により、東京電力福島第一原子力発電所(FDNPP)の冷却システムが停止、その結果のベント作業や水素爆発そして外部から供給された冷却水漏れ、意図的排出等により大量の人工放射性核種が環境中へ放出された。FDNPP事故は1986年4月26日におこったチェルノブイリ原子力発電所事故と並んで国際原子力事象評価尺度で最大レベル7と評価された。最新の見積もりによると<sup>1)</sup>放出された人工放射性核種の主要成分である放射性セシウム-137(<sup>137</sup>Cs)は、総放出量：15~20PBq(10<sup>15</sup>Bq)、そのうち陸上へ堆積したもの：3~6PBq、海への直接排出：3.6 ± 0.7PBq、大気経由で海へ供給されたもの：12~15PBqとされている。すなわち放出された放射性セシウムの約80%が海洋へ供給されたのである。

*Resuspension and lateral transport of seafloor sediment contaminated with artificial radionuclides derived from Fukushima daiichi nuclear power plant accident* : Makio Honda, Shigeyoshi Otsuka.

(2016年1月9日 受理)

事故直後から海洋へ供給された放射性セシウムの移動・拡散・分布状況を把握するための観測調査が開始され、海水、低次から高次の海洋生物、懸濁物・沈降粒子、海底堆積物中の放射性セシウムが測定されてきた。海洋へ直接放出されたもののうち溶存態放射性セシウムは黒

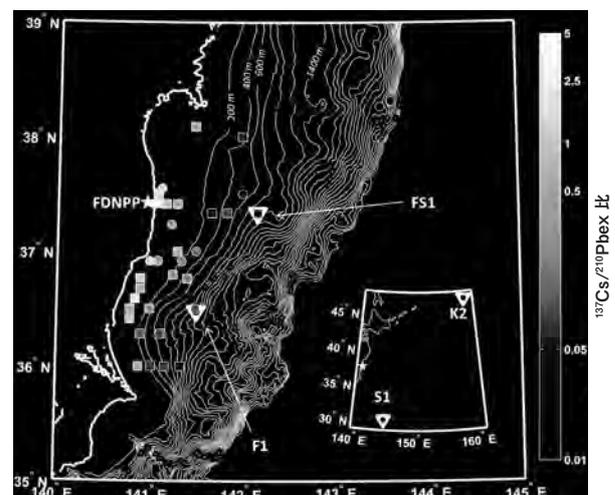


図1 西部北太平洋における時系列式セジメントトラップ係留地点。背景の値は海底堆積物表層の放射性セシウム(<sup>137</sup>Cs)と過剰放射性鉛(<sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub>)の放射能比(参考資料6)の図1を改図)

潮続流に乗って東方へ移動拡散, 2014年には米国西海岸沖に到達したことが報告されている<sup>2)</sup>。また冬季の冷却混合, 中層水の形成により海洋内部へ徐々に侵入している様子も報告されてきた<sup>3)</sup>。

一方, 海洋へ放出された放射性セシウムの一部は, 海洋生物, 懸濁・沈降粒子, 海底堆積物に取り込まれた。この中で沈降粒子に取り込まれた放射性セシウムの挙動の調査研究が沈降粒子捕集装置(時系列式セジメントトラップ)を用いて行われてきた<sup>4)</sup>。

セジメントトラップは, 海中を沈降しながら移動する粒子(沈降粒子)を捕集する装置で, 浮き, 重錘, 回収時に用いる切離装置とともに海中の定位置に係留して用いる。時系列式セジメントトラップは, 複数期間分の試料瓶を装着しており, この試料瓶を予め設定した数日から1ヶ月程度の間隔で自動的に交換する仕掛けになっている。FDNPP事故発生時, 西部北太平洋の外洋域の2地点(観測点K2とS1。水平距離はFDNPPからそれぞれ約2000km, 約1000km。図1参照)に時系列式セジメントトラップに係留されていた。これらのセジメントトラップは後日回収され, 時系列で捕集された沈降粒子中の放射性セシウムが測定された。その結果, FDNPP事故約1ヶ月後にはFDNPP事故由来の放射性セシウムが両地点の水深約5000mに鉛直輸送されていたことが明らかとなった<sup>5)</sup>。一方, 半外洋域においても事故後から時系列式セジメントトラップに係留され, 粒状態の放射性セシウムの観測研究が開始された。本解説では, FDNPPの南東115km沖合の観測点F1で捕集された沈降粒子中の放射性セシウムの測定の結果, FDNPP事故由来の放射性セシウムが付着したFDNPP沖海底堆積物が再懸濁し, 大陸斜面に向かって海中を水平輸送されている様子を紹介した筆者らによる調査結果(参考資料6)について詳しく解説する。

## II. F1におけるセジメントトラップを用いた沈降粒子の観測研究

### 1. 観測地点とセジメントトラップ観測結果

FDNPP事故から約4ヶ月が経過した2011年7月から2014年6月までの約3年間, FDNPP南東沖約100kmの大陸斜面(観測点F1: 北緯36度28分/東経141度28分, 水深1300m。図1)の深度500mと1000mに時系列式セジメントトラップがほぼ1年毎に設置・回収され, 時系列(16-36日間隔)で沈降粒子が捕集された。捕集粒子を陸上実験室に持ち帰り, ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーで捕集粒子中の放射性セシウム( $^{134}\text{Cs}$ および $^{137}\text{Cs}$ )を測定した。その結果, ほぼ全ての期間の沈降粒子試料から $^{134}\text{Cs}$ が検出された。また2011年3月11日に放射壊変補正された $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の放射能比( $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比)はほぼ1であった。FDNPP事故前には環境中に $^{134}\text{Cs}$ はほぼ存在していな

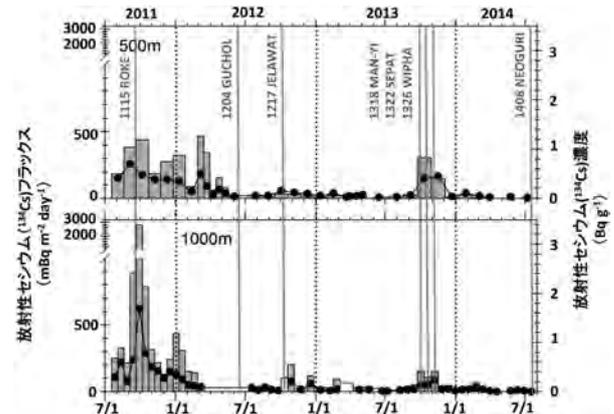


図2 深度500m(上図)と1000m(下図)における放射性セシウム( $^{134}\text{Cs}$ )フラックス(棒グラフ)と濃度(黒丸)。白棒グラフは前後のフラックスからの内挿された値。縦実線は観測期間中にFDNPP100km圏内を通過した台風(参考資料6)の図2を改図。

かったことに加えて, FDNPP事故で放出された放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比は1であったことから, 沈降粒子から検出された放射性セシウムはFDNPP事故由来であることは明白であった。

2011年7月~2012年7月の第I期係留期間中, 深度500mでは $^{134}\text{Cs}$ フラックス(1平方m・1日当たりの粒状態 $^{134}\text{C}$ 放射能総量:  $\text{mBq m}^{-2} \text{day}^{-1}$ )が2011年9月~10月, 12月~2012年1月, および2012年2~3月に増加した(図2)。深度1000mでも同様の季節変動を示した。ただし深度1000mの $^{134}\text{Cs}$ フラックスの年間総量は深度500mの約1.5倍であった。深度1000mにおいて2011年9~10月に観測された $^{134}\text{Cs}$ フラックス(約 $2800 \text{mBq m}^{-2} \text{day}^{-1}$ )はこれまでに時系列式セジメントトラップにより観測された $^{134}\text{Cs}$ フラックスの最大値であった<sup>4)</sup>。2012年7月~2013年7月の第II期係留期間中の $^{134}\text{Cs}$ フラックス年間総量は第I期の1/5から1/6程度であった。やや高めの $^{134}\text{Cs}$ フラックスが水深1000mの10月頃に見られた。2013年7月~2014年7月の第III期係留期間中では, 深度500mにおいて, 第I期に匹敵する大きなフラックスが2013年9~10月に見られた。また1000mにおいても同時期に $^{134}\text{Cs}$ フラックスおよび濃度の増加が見られた。このように全ての試料から $^{134}\text{Cs}$ が検出され, FDNPP事故由来の粒状態放射性セシウムが3年経過した時点でも, 同地点に輸送されている様子が窺えた。

### 2. 放射性セシウムの起源の推定

深度500m(1000m)における $^{134}\text{Cs}$ フラックス(=  $^{137}\text{Cs}$ フラックス)の年間総量は第I期, 第II期, 第III期でそれぞれ98(143), 11(30), 46(33) $\text{Bq m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ であった。筆者の一人(乙坂)は先の論文<sup>7)</sup>で粒状態の $^{134}\text{Cs}$ フラックス(FCs)は以下の式で推定できると提案した。

$$FCs = Cw \times K^* \times Fv$$

ここで、 $Cw$  は観測点表層(深度 0~50m)における海水中的 $^{134}\text{Cs}$ 濃度( $\text{Bq L}^{-1}$ )、 $K^*$ は懸濁粒子中 $^{134}\text{Cs}$ 濃度( $\text{Bq g}^{-1}$ )の周辺海水中 $^{134}\text{Cs}$ 濃度( $\text{Bq L}^{-1}$ )に対する比(分配係数と呼ばれ、ここでは $3.5 \text{ g}^{-1}$ )、 $Fv$ は全粒子フラックス( $\text{mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )である。そこで観測期間中の深度 1000m における全粒子フラックス平均(約 $740 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )、観測点 F1 付近の浅層海水中的 $^{134}\text{Cs}$ 濃度(2012年5月と2013年5月の0~100mの平均濃度:約 $3.5 \times 10^{-3} \text{ Bq L}^{-1}$ )<sup>6)</sup>を用いると、F1における $^{134}\text{Cs}$ フラックスの年間総量は約 $3.3 \text{ Bq m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と見積もられた。この値は前述した深度 500m, 1000m の3年間で観測された $^{134}\text{Cs}$ フラックス年間総量(11~98 $\text{Bq m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ )より一桁小さい。以上のことから、セジメントトラップで捕集された粒状態放射性セシウムは、観測点 F1 の表層から海底に向かって沈降する粒子に吸着したのだけでは説明できないことが明らかとなった。

2011年7月~2012年7月の第I期係留期間に捕集された沈降粒子の全粒子フラックス平均値は500mで約 $770 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、1000mで約 $980 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ であった(図3)。これらは先に述べた外洋域観測点 K2, S1 の深度約 5000m における全粒子フラックスの同期間平均値と比較すると大変大きなものであった(K2:約 $160 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、S1:約 $45 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )。また、沈降粒子の50%以上が鉍物粒子であり、K2やS1の沈降粒子の主成分が生物起源ケイ酸塩:オパール(K2)や炭酸カルシウム(S1)であるのとは対照的であった。観測された粒子の季節変動もF1付近表層の低次生物(動植物プランクトン)が見せる季節変動パターン(春季・夏季に高く、冬季に低い)と大きく異なるものであった。これらの状況から鉍物粒子に富んだ粒子が海中を水平方向に輸送され、時系列式セジメントトラップに捕集されて

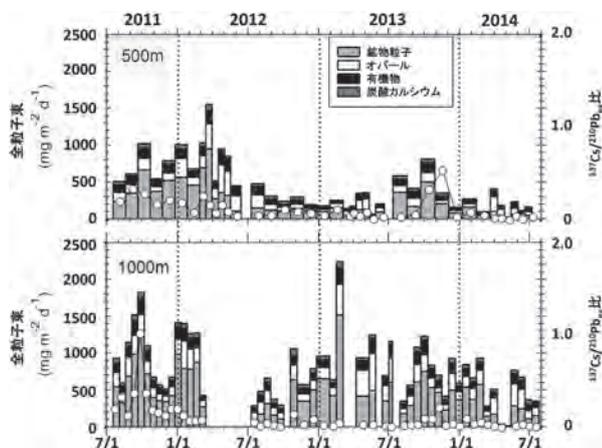


図3 深度 500m(上図)と 1000m(下図)における主要成分フラックス(棒グラフ)と放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )と過剰放射性鉛( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ )の放射能比( $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ :白丸)。(参考資料6)の図2を改図)。

いた様子が窺えた。

ここで捕集粒子の $^{137}\text{Cs}$ と、沈降粒子中の $^{226}\text{Ra}$ の放射壊変により生まれる放射性鉛(自生鉛)以外の放射性鉛[過剰放射性鉛 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ :大気からF1表層に供給されると推定される $^{210}\text{Pb}$ と、F1海洋表層から対象水深(本研究では500mもしくは1000m)までの海“柱”(water column)で生成され沈降粒子に吸着すると推定される $^{210}\text{Pb}$ の総量]の放射能比( $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ )を算出した(図3)。 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ は0.02~1.0の値を示した。これらの値はFDNPP地先の水深の浅い海底堆積物からF1付近の水深約1300mの海底堆積物で見られる $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と同程度のものであった(図1)。従ってF1の深度500m, 1000mに係留されたセジメントトラップに捕集された沈降粒子はFDNPP事故由来の放射性セシウムが吸収もしくは吸着した海底堆積物が再懸濁し、海中を水平方向に輸送されたものであることが裏付けられた。

さらに捕集された海底堆積物の起源を推定するために、沈降粒子の $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と鉍物粒子濃度の関係と、FDNPP沖の各水深の海底堆積物で見られる $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と鉍物粒子濃度の関係を比較した(図4)。その結果、多くの捕集粒子は水深が120m以上の水深の海底堆積物が再懸濁したものである可能性が示唆された。一方、 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ が0.3以上になる場合はより浅い海底(水深120m以浅)の海底堆積物が再懸濁した可能性が高い。 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ が高く、鉍物粒子濃度が高いのは各年の秋季に捕集された沈降粒子であった(図3)。この時期にはFDNPPの100km圏内を台風が通過していた。特に $^{137}\text{Cs}$ フラックス、 $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 比、鉍物粒子濃度が高い2013年の秋季には3つの台風が襲来していた(図2)。これらのことから、台風通過による荒天時には、より浅海域で再懸濁した海底堆積物が、F1の位置する大陸斜面に向かって水平輸送しやすいことがわかった。

FDNPP沖海底堆積物の再懸濁、大陸斜面に向かっての水平輸送はFDNPP東方沖約100kmの地点(観測点

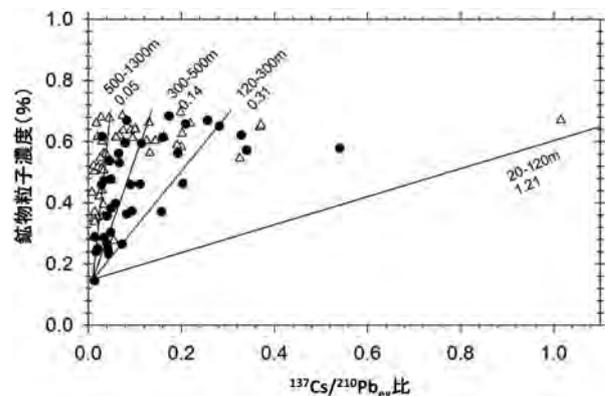


図4 沈降粒子の $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と鉍物粒子濃度の関係(黒丸:500mトラップ, 白三角:1000mトラップ)。図中の直線はFDNPP沖の各水深の海底堆積物で見られる $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と鉍物粒子濃度の関係。(参考資料6)の付録図S2を改図)

FS1, 図1)の深度875mのセジメントトラップによる観測研究でも報告されている<sup>7)</sup>。ただしFS1における全粒子フラックスはF1の約50%, 放射性セシウムフラックスは約10%であった<sup>6)</sup>。平均的な海水の流向<sup>1)</sup>や, 海底堆積物中の放射性セシウム濃度分布<sup>8)</sup>も併せて考慮すると, FDNPP 沖での海底堆積物の水平輸送は, 南東方向が卓越していると推定された。

### 3. FDNPP 沖海底堆積物中放射性セシウムの減衰

福島沿岸(水深200m以浅)の海底に蓄積したFDNPP事故由来の放射性セシウムは, 海洋へ放出されたもの, あるいは陸上に蓄積したものの数%程度(約 $100 \times 10^{12}$  Bq : 100TBq<sup>8)</sup>)と見積もられ, 多くの放射性セシウムは海中では溶存態として存在し既に広範囲に希釈されながら拡散している<sup>1),3)</sup>。しかし沿岸域においては海底堆積物が事故起源放射性セシウムの貯蔵場所となっており, 同海域に生息する生物への影響が懸念されている。2015年10-11月段階で福島県水産物の99.9%以上の放射性セシウム濃度が安全基準値(100Bq kg<sup>-1</sup>)以下であることが報告されている(水産庁放射能ホームページ <http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>)。一方, 観測とモデル研究では一部の底生生物の放射性セシウム濃度の低下が周辺海水に比べて遅いことが報告され<sup>9)</sup>, 放射性セシウムの食物連鎖が議論されている。従って海底堆積物中の放射性セシウムがどのように除去されていくのかを定量することが重要である。

本研究で得られた水深1000mの<sup>134</sup>Csフラックス(=<sup>137</sup>Csフラックス)年間総量の3年間の平均値約70 [(143+30+33)/3]Bq m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>が, 福島・宮城・茨城沖(北緯38.5度~35.7度)の半外洋域(水深200~1500m)における平均的な<sup>137</sup>Csフラックスと仮定すると, 同海域への年間の<sup>137</sup>Cs沈降量の総量は $1.4 \times 10^{12}$  Bq yr<sup>-1</sup>となる(70Bq m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> × 2.05 × 10<sup>10</sup> m<sup>2</sup>)。さらに, この<sup>137</sup>Cs量が水深200m以浅の沿岸域に存在した堆積物の水平輸送によるものとする, 沿岸域の海底での<sup>137</sup>Csの滞留時間は約70年(100TBq/1.4Bq yr<sup>-1</sup>)と試算された。言い換えれば, 沿岸域の海底に沈着した放射性セシウムの大部分は沿岸域に留まっており, 年に1~2%ずつの割合で沖合に向かって移動しているの見積もられた。

このように, セジメントトラップは, 放射性核種が沖合に向かって移動する様子を, 長期間にわたって感度よく検出する効果的な手法と言え。一方で, 実際の沿岸域でのモニタリングデータによると, 沿岸堆積物中の放射性セシウム濃度は年に数十%の割合で減少している(原子力規制庁「海洋モニタリング結果」<http://radioactivity.nsr.go.jp>)。この濃度減少は, 上述した沿岸-沖合間の放射性セシウムの水平輸送に加えて, 1)放射性セシウムの

放射壊変による減衰, 2)放射性セシウムの海水への溶脱<sup>10)</sup>, 3)底生生物による攪乱に伴う濃度希釈<sup>8)</sup>, 等の過程が相乗的に作用した結果と言える。これらの作用のバランスをより正しく評価し, 福島周辺での海洋環境の将来予測につなげることが, 今後の海洋調査において最も重要な課題である。

## 付記

解説した参考資料6の観測研究は, 米国科学財団(NSF)補助金国際緊急共同研究プログラム(RAPID), 戦略的国際科学技術協力推進事業 国際緊急共同研究・調査支援プログラム(J-RAPID)および文部科学省科研費補助金新学術領域「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」(ISET-R)による資金援助を受けました。

### — 参考資料 —

- 1) M. Aoyama et al. Journal of Oceanography. DOI:10.1007/s10872-015-0332-2 (2015).
- 2) S. Yoshida et al. Geophysical Research Letters, 42, 7139-7147 (2015).
- 3) M. Aoyama et al. Journal of Oceanography. DOI:10.1007/s10872-015-0335-z (2015).
- 4) 本多牧生. 地球化学, 49, 227-238 (2015).
- 5) M. Honda et al. Biogeosciences 10, 3525-3534 (2013).
- 6) K. O. Buesseler et al. Environmental Science and Technology, 49, 9807-9816 (2015).
- 7) S. Otsuka et al. Environmental Science and Technology, 48, 12595-12602 (2014).
- 8) E. Black and K. O. Buesseler. Biogeosciences 11, 5123-5137 (2014).
- 9) Y. Tateda et al. Journal of Environmental Radioactivity 124, 1-12 (2013).
- 10) S. Otsuka and T. Kobayashi. Environmental Monitoring Assessment, 185 (7), 5419-5433. (2013).

### 著者紹介



本多牧生 (ほんだ・まきお)

国立研究開発法人 海洋研究開発機構  
地球表層物質循環研究分野  
(専門分野/関心分野)化学海洋学。海洋の持つ二酸化炭素吸収能力を把握するため, セジメントトラップを用いて海洋低次生物が固定した二酸化炭素の海洋内への輸送過程に関する観測研究に従事。



乙坂重嘉 (おとさか・しげよし)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学センター  
(専門分野/関心分野)地球化学, 環境放射能学。海洋観測に基づく陸-海洋間の物質輸送過程の解明とそのモデル化に向けた研究に従事。

# 多様な誘因事象に対する原子力安全の確保

## (その1) リスク情報活用に係る現状と課題

東京大学 糸井 達哉, 関西電力 林 健太郎, 三菱重工業 大和 正明

原子力安全部会は、2013年3月に「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」報告書(以下、「セミナー報告書」)を発刊し、以後、セミナー報告書で挙げた検討すべき課題について議論を継続してきた。本解説シリーズでは、その中から多様な誘因事象に対する原子力安全確保のあり方について現状と課題をまとめる。その1である本稿では、リスク情報活用に係る規制機関と事業者の取組みの現状を整理するとともに、規制や事業者における今後のリスク情報の活用、総合的意思決定プロセスの実現、意思決定に必要な適時性・迅速性、インセンティブを含めた今後の課題について論じる。

**KEYWORDS:** *Nuclear Safety, Risk, Probabilistic Risk Assessment, Integrated Risk-informed Decision Making Process, External Events*

### I. はじめに

#### 1. 本稿の位置づけ

2011年3月11日の東京電力福島第一原子力発電所事故に対し、原子力安全部会は、2012年に8回にわたって「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」を開催し、2013年3月にそこでの議論の結果をまとめたセミナー報告書<sup>1)</sup>を発刊した。報告書は、事故から明らかになった課題を深層防護の観点で整理したもので、これは日本原子力学会(以下、「学会」)事故調査委員会の最終報告<sup>2)</sup>の骨格を形成した。その後、原子力安全部会は、セミナー報告書で同定された様々な検討課題について、毎年の学会の春の年会、秋の大会で「原子力安全部会企画セッション」を設けて論点を紹介し、後日、これらの論点について「フォローアップセミナー」を別途開催して議論してきた。これまで対象とした検討課題は、外的事象に対する深層防護と安全確保の事例、原子力防災の課題と取り組み<sup>3),4)</sup>、これからの原子力安全研究などである。

2015年は、春の年会で「リスク情報の活用」、秋の大会で「外的事象対策」について、産学官の立場から講演を行い、その後のフォローアップセミナーでは、講演に加えてパネル討議で議論を深めた。本解説シリーズは、著者

が、そこでの講演と議論に基づき、多様な誘因事象に対する安全確保の考え方をまとめたものである。

その1である本稿は、茨城大学での春の年会企画セッション、東京大学での6月22日のフォローアップセミナーにおける、更田豊志(原子力規制委員会)、尾野昌之(電気事業連合会)、浦田茂(関西電力)3名の講演と関村直人(東京大学)を加えた総合討論の内容<sup>5)</sup>を踏まえ、原子力安全分野における規制機関と事業者によるリスク情報の活用の現状と課題を、著者が、原子力安全部会幹事及び関係者の多くの意見をまとめ、報告するものである。

#### 2. リスク情報活用の意義

原子力施設の安全は、安全設計と安全管理によって担保される。しかし、最良の対策を講じてもリスクをゼロにはできない。確率論的リスク評価(PRA, Probabilistic Risk Assessment)は、なお残ってしまうリスク(残存リスク)を系統的に分析する手法である。

評価結果であるリスク情報は、「事故の影響」と「その起こりやすさ」、「時間余裕を含むシナリオ」などの有用な情報を与えるものである。こうした情報は、個別プラントの脆弱性に寄与の大きなものを把握して対策を考へることや、保全や運転手順の最適化のような既存のルーラの合理化、安全研究のテーマ選定等に有用である。

*Formulation of nuclear safety under various induced events part I: Current status and challenges for Risk-informed activities in nuclear safety: Tatsuya Itoi, Kentaro Hayashi, Masaaki Yamato.*  
(2016年1月22日受理)

## Ⅱ. 規制機関におけるリスク情報の活用

### 1. 基本的考え方

PRAは、リスクに関する情報(=安全に関する情報)を体系的に集約して、定量的に示すとともに、それへの寄与因子を同定する手法である。従って、PRAの結果を効果的規制のために参照することは当然のことである。しかし他方で、「PRAに過度の期待を寄せることは極めて危険である。当然のことながらPRAにおいても考慮が及んでないものは結果に反映されようがないし、考慮しているものも不確実さを伴っている。PRAの利用に当たっては、その不完全さ(incompleteness)と不確実さ(uncertainty)の程度を見極め、その限界を把握して適用範囲を慎重に考慮する必要がある。その上で、可能かつ適切な範囲で積極的な適用を図る」<sup>8)</sup>との現段階における認識も示されている。

規制機関におけるリスク情報の活用には大きく2つあり、一方は、規制機関が規制基準類の策定・見直しや現場における検査のあり方を検討するために利用する場合、他方は、事業者に包括的なリスク評価の実施を要求し、また、事業者が設備設計や運転・保守管理に関する変更を提案した場合の判断に利用する場合である。

### 2. 新規制基準におけるリスク情報の活用

規制では、リスク(頻度の評価が難しく数値の信頼性が低い場合には事故影響に重点をおいて評価する場合もありうる)の大きさと制御可能性に応じて安全性向上のリソースを投入するという考え方(グレーデッドアプローチ)を適切に用い、効果的かつ効率的な規制を行うことが必要である。新規制基準においても、この方針が取られているとされる。

PRAの活用としては、炉心損傷、格納容器損傷に至る可能性がある事故シーケンスの設定が挙げられる。新規制基準では炉心損傷防止対策、格納容器破損防止対策の妥当性が審査されるが、そのための有効性評価に関しては、「設置許可基準規則解釈」に、炉心損傷について「必ず想定する事故シーケンスグループ」(BWRは7つ、PWRは8つ)、格納容器損傷対策についてはそれぞれ6つの「必ず想定する格納容器破損モード」が定められている。これらは、過去に実施されたPRAの結果や経験に基づいて定められている<sup>6)</sup>。さらに、リスクの特徴はプラント毎に異なることが考えるため、事業者は、設置変更許可申請時に個別プラントに対するPRA(IPE, Individual Plant Examination 及び IPEEE, Individual Plant Examination for External Events)を実施し、有意な頻度又は影響をもたらす事故シーケンスグループがあれば追加することが要求されている。この際、重大事故のような不確実さが大きな事項に対する規制では、適合か不適

合かというような明確な判断を行うことが難しい。そのため、概ね妥当かを判断するという従来とは異なる規制のアプローチが取られている。

なお、規制要求を全てPRAの知見に基づいて定めることは不可能である。例えば、火災などの地震動や津波を除く多くの誘因事象においては、PRAの技術開発が規制の後追いをしている状況がある。

### 3. 安全性向上評価でのリスク情報の活用

事業者には実施が義務付けられている安全性向上評価では、PRAと裕度評価(いわゆるストレステスト)の実施が求められている<sup>7)</sup>。プラント固有の特徴を踏まえたPRAの実施により、設計や運用において何がリスクに大きく寄与しているかを把握することが、安全性向上に資すると期待される。その際、リスクの要因となる誘因事象についても網羅的に取り扱うことが求められ、地震動や津波に加えて、他の誘因事象についても、またそれらの重畳についても、立地条件に応じた検討が必要と考えられる。誘因事象の重要度の判断を行う際には、発生頻度の情報に加えて、発生時の影響や時間的・空間的余裕等も考慮に入れることが必要であるが、確率論的ハザード評価等の情報のみでも有用な場合もある。将来の理想としては、「FSAR(Final Safety Analysis Report)の仕組みがしっかりまわれば、設置変更許可に代わる役割を担わせることができるのではないか<sup>8)</sup>」という意見もある。

### 4. 安全重要度分類

安全重要度分類は、安全設計・安全管理の根幹である。しかし、それを定める考え方はまだ必ずしも確立していない。例えば、IAEA(国際原子力機関)の重要度分類の考え方は、深層防護の後段で必要になる設備は、機器の故障はランダムに起きるという想定の下、その作動が要求される頻度が低いことを考えて、重要度を下げたよとしており、と考えられる。これに対し、機器の故障は特定の誘因事象によって起きると考えれば、後段の設備は前段の設備が当該誘因事象によって故障した場合に必要なものだから、より高い重要度であるべきとの考え方もある。

将来、発電炉について重要度分類の見直しをする場合には、重大事故対策のための設備も対象に含めた上で、重要度分類の考え方の整理が必要である。また、外的事象に対しての設計の重要度分類(例えば、耐震重要度分類)については、安全重要度分類との整合性などについても議論を進める必要がある。

なお、核燃料サイクル施設等の原子力発電所以外の施設については、SSCs(Structures, Systems and Components)の重要度を事業者が提案し、規制がその妥当性を判断することとされている。

## 5. 今後取り組むべき事項

将来的には、リスク情報を活用した規制をさらに推進し、継続的に、規制改善を図ることが求められる。規制の見直しには、不必要な規制の緩和と必要な規制の強化の両面が考えられる。後者の事例として、既にバックフィットが行われたが<sup>9)</sup>、大きな投資などを要求するバックフィットを実施する場合には、必要性について合理的かつ客観的に示すことができる「費用便益分析のようなもの(ツール)が登場すれば議論が噛み合うのではないか<sup>8)</sup>」という意見もある。

また、新規制基準について、仮に人的脅威等を除く多様な誘因事象について、近い将来包括的なリスク評価ができたとしても、安全目標との比較をどのように議論するか、今の時点で広く合意された考え方は得られていないとされる。

安全機能を有するシステムの故障に対して運転を認める許容待機除外時間(AOT, Allowable Outage Time)の設定や、設備に代えて監視の強化を行うなど、現場の技術者に直結する部分で、これまでの経験や決定論的考慮事項とリスク論的考慮事項を統合し、限られたリソースを最適に利用できるような試みを続けることもリスク情報の活用であり、今後進められるべきであると考えられる。

事業者からリスク情報を用いた、合理的なAOTの設定に関する提案があれば、規制側も「あるべき姿に向かって」と歓迎<sup>8)</sup>との考えも示されている。AOTの議論としては、例えば、重大事故対応のための可搬式設備機器のAOTなどの議論などの可能性が挙げられている。

米国では、USNRCが1995年に「PRA政策声明書」、1998年にリスク情報を活用した規制(RIR, Risk-informed Regulation)の規制ガイドラインR.G.1.174が発行された。このRIRは従来の確定論的手法に基づく規制、リスク情報を用いた規制、そして運転実績に基づいた規制を適切に組み合わせたものであった。また、原子炉監視プロセス(ROP, Reactor Oversight Process)でリスク情報を考慮して決めた運転実績を評価することで、数多くの実績を積み重ねた。

わが国でリスク情報を活用した規制を進めるにあたっては、国際基準や米国等の規制を参考にしつつ、実情に合わせた形で検討を進める必要があると考えられている。

また、以上述べたような、リスク情報を活用した原子力安全規制を行うには、規制機関においても、リスク情報活用を行う人材を育成することが必要である。

## Ⅲ. 事業者の継続的な安全性向上におけるリスク情報の活用

### 1. 福島第一原子力発電所事故を受けた取り組み

事業者は、原子力の安全確保について、特に福島第一

原子力発電所事故の教訓から、新規制基準に対する対応のみならず、自主的・継続的に安全性を向上させていく取り組みを求められており、事業者自身にも行うべきであるとの強い認識がある。

福島第一原子力発電所事故を踏まえた教訓を生かすべく2014年5月に総合資源エネルギー調査会の原子力の自主的安全性向上に関するワーキンググループにおいて「原子力の自主的・継続的な安全性向上に向けた提言」<sup>10)</sup>が取りまとめられた。これらの提言等も踏まえ、各事業者は、適切なリスクガバナンスの枠組みの下でのリスクマネジメントの実施、地震・津波等の低頻度外的事象への網羅的なリスク評価の実施、深層防護の充実を通じた残存リスクの低減、外的事象に起因する事故シナシス及びクリフエッジの特定等に取り組んでいる<sup>11)</sup>。

上述のように、低頻度外的事象への対応・メカニズム解明、安全性向上活動へのPRA活用法の確立は事業者が共通に取り組むべき重要な課題であり、PRAは外的事象のような不確かさの大きいものに対するリスクを捉える際に有効である。これらの方法論の確立のための一元的な研究開発体制として電力中央研究所に原子力リスク研究センター(NRRC)が設立された。NRRCは技術諮問委員会を設置しその議論をウェブ公開するなど透明性を重視し、事故発生確率のさらなる低減と万一事故が発生した場合の被害低減、不確か性の大きい低頻度外的事象へのPRAの活用、開発・研究成果の一元管理に取り組んでいる。NRRCのミッションは、リスク情報を活用した意思決定、リスクコミュニケーションの最新手法を開発することで、事業者及び産業界の安全性をたゆまず向上させる活動を支援することである。現在、モデルプラントを対象にした地震レベル2PRAの高度化研究を進めるとともに、産業界と共同で内的火災(内部火災)PRAおよび内的浸水(内部溢水)PRAの高度化検討も行っている。NRRCで得られた技術的バックグラウンドは、各事業者におけるリスクマネジメントの質の向上に役立てられる。

安全性向上の努力を継続するに当たり、人間や技術は完全ではないため、残存リスクは存在する。また、新たな知見が生まれ、システム・設備は経年劣化し、技術は陳腐化するなど、プラントの置かれた環境や条件が日々進化していく。新規制基準への対応後に再稼動された後においても、リスク情報を活用することで、優先的に対応すべき箇所の選定や、安全性向上の効果が大きいところに投資をするといった活動を行い、安全性を実効的に高めていく活動を継続する必要があることがこれらの活動の前提としてある。

### 2. 確率論的リスク評価(PRA)手法の高度化

人的リソースを含めた資源が安全性を全体的に高める上で、PRAの結果を含むリスク情報が、最大限活用され

ることが期待される。福島第一原子力発電所事故以前においても、蒸気発生器の取替えや原子炉容器上蓋取替え等の大改造を行うなど、原子力発電所の信頼性や安全性を向上させる活動は行われてきたが、これらの活動がどの程度リスク低減に貢献したかについては、プラント固有のデータに基づくPRAでなければ定量化できないことから、評価されてこなかった。一方で、設計段階でPRAを用いて安全性向上を工夫したABWRなどの炉では、リスクが十分に低減されていた。それ以前の炉は、トラブルなどの新知見反映や定期安全レビュー(PSR, Periodic Safety Review)等を利用して、安全性向上を図られてきたが、PRAの結果の活用ではなかった。特に電源等のサポート系などがリスク上重要であることは、PRA結果から得られる代表的な情報であるが、これらの設備の多重化あるいは多様化の対策は、PRAからのリスク情報を十分に活用して実施されてきたとは言えない。今後は、特に自主的・継続的な安全性向上での最適な安全対策の意思決定にリスク情報の活用が期待される。そのため、NRRC等を通じて、個別プラントを対象とし、実施対象設備や事象の評価範囲を拡大するなど、PRA手法を世界最高水準へ引き上げる努力が図られている。

本章で述べるようにPRAには、いくつかの活用目的がある。福島第一原子力発電所事故以前までの定期安全レビュー(PSR)の報告において運転時ランダム故障(内的事象)(レベル1及び1.5)と停止時ランダム故障(レベル1)に対するPRAを実施してきたが、それは一定水準の安全性が確保されているかを確認するものに留まっていた。現在進められている新規制基準に対する安全審査では、それらに加えて地震PRA(レベル1)及び津波PRA(レベル1)まで評価範囲を広げている。しかしながら、このPRAはプラント固有の事故シーケンスグループの把握を目的としており、重大事故対策(AM策)を取り込んでいないことなどから、安全性向上における意思決定に対する活用を目的としたPRAとは異なる。

今後、PRA手法を世界最高水準に引き上げるために、過酷事故対策や人間信頼性分析、地震や津波等の外的事象評価への最新知見の取り込みが予定されている。さらにベイズ統計の活用など個別プラントの信頼性データや故障率データの拡充やPRAの評価対象範囲の拡大の取り組みも進められている。さらにPRA対象範囲の今後の目標としては福島第一原子力発電所事故でも顕現化したように、地震随件事象のPRA、マルチユニットPRA、さらにレベル3PRAへの拡張を検討し、PRAから提供できる情報の質の向上をはかることが重要である(図1)。

これらの技術開発の取り組みの結果として、安全性向上に対する努力が見える化され、事業者のリスクマネジメント活動の中で実際に意思決定に活用されることで、

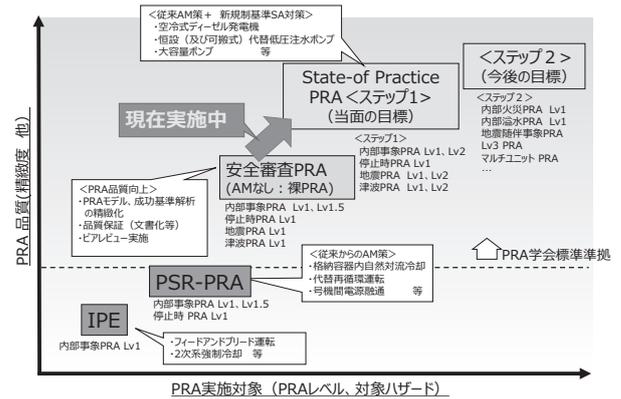


図1 確率論的リスク評価(PRA)高度化の方向性

安全性向上へのモチベーションが高まり、さらなる安全性向上へと繋がっていくことが、最も重要である。

#### IV. リスク情報を用いた総合的意思決定の実現

##### 1. 安全確保活動へのリスク情報の活用

PRAなどのリスク評価から得られるリスク情報は、これまでも、原子力発電所の安全確保における様々な局面で活用されてきた。わが国では、上述のプラントの安全確認のための利用に加え、定期検査の管理への停止時PRAの活用や保全活動(リスク重要度を踏まえた保全重要度)への活用などのプラント管理の適正化にもPRAが利用されてきた。新規制基準下では、主に事故に至る代表シーケンスの抽出に、地震や津波を対象としたPRAを参照することに変遷してきている。

このようにリスク情報の活用には様々な種類がある。リスク情報活用の内容と有用な指標の例を整理したものを表1に示す。これらの指標を組み合わせることで、プラントのリスクを定量的に把握することができる。これらのリスク情報を実務に活用していくには、適用する対象となる安全確保活動、規制活動、及びそれらの活動における意思決定において、どのようなリスク指標を活用することが相応しいのかを考えることが必要である。海外における事例については、EPRI<sup>12)</sup>やIAEA<sup>13)</sup>からリスク情報活用の活動とその結果や指標、安全上の利点や運転上の利点が例として紹介されており、規制や事業者がリスク情報を用いる際の検討に参考となる。

##### 2. 総合的意思決定プロセスの実現

リスク情報の活用の充実及び更なる拡大については、福島第一原子力発電所事故の教訓でもある、個別プラントの脆弱性について、現在考慮されていない要因も含めて重要度の高いものを把握し対策することへの活用が期待されるが、実際の意思決定においては、リスク情報だけでなく、決定論的評価結果、最新の科学的知見、運転

表1 リスク情報活用分類

項目	内容例	指標例
① 絶対値を用いること	施設全体の総括リスクを把握し、判断基準との比較で総体としての安全性の判断を行う	CDF, CFF
② 内訳を用いること	リスクの内訳・事故シナリオを見て、重要性の大きな事故シナリオや機器を選定する	起 因 事 象 別 CDF 機器重要度ランキング (RAW, FV)
③ 変化を用いること (リスク低減方向)	リスクを抑制あるいは低減するための行為の効果を見る	$\Delta$ CDF, $\Delta$ CFF 機器重要度ランキング (RAW, FV)
④ 変化を用いること (リスク増加方向)	リスクを限られた期間、許容される範囲内での上昇を認める一方、総体としてのリスクは低減する方向に工夫する (OLM, AOT 延長など)	$\Delta$ CDF, $\Delta$ CFF
⑤ リスク重要度に応じた対応		機器重要度ランキング (RAW, FV)

CDF: Core Damage Frequency (炉心損傷頻度)  
 CFF: Containment Failure Frequency (格納機能喪失頻度)  
 RAW: Risk Achievement Worth (リスク増加価値)  
 FV: Fussell-Vesely (ファッセル・ベズレイ重要度)  
 $\Delta$  CDF: 炉心損傷頻度の増分・減少分  
 $\Delta$  CFF: 格納機能喪失頻度の増分・減少分

経験, リソース, など色々な要素を判断材料に含めた上で、総合的に意思決定する必要がある。これは、時間経過に伴い顕在化するプラント及び環境の諸変化に対応していく中で、外的事象などの低頻度高影響事象をはじめとする不確実さへ対処し、組織内外のステークホルダーの理解を得ながら、安全上効果が高い部分に限られたリソースを効果的に配分するという、合理的な意思決定を迅速に行わなければならないためである。

上述のように、リスク情報をはじめとする色々な要素を包括的に考慮した上で総合的に判断し、種々の環境の変化に対応しながら必要に応じて改善するというように、継続的に安全性を向上するための意思決定を行っていくためには、各組織が適切にマネジメントしていく必要がある。具体的には、ハードウェア、ソフトウェア、マネジメントにまで至る種々の安全性向上のための対策を考えるにあたって、そもそも何が解決すべき問題なのかを設定することからはじめ、対策の選択肢を挙げて、その選択肢に対して、色々な要素を総合的に分析し、実行すべき対策を決定する、そして、実行した対策の結果が意図したものになっているか、新たな選択肢がないか、意思決定で考慮した要素に変化はないか、などをモニタリングし、必要に応じてフィードバックを行いなが

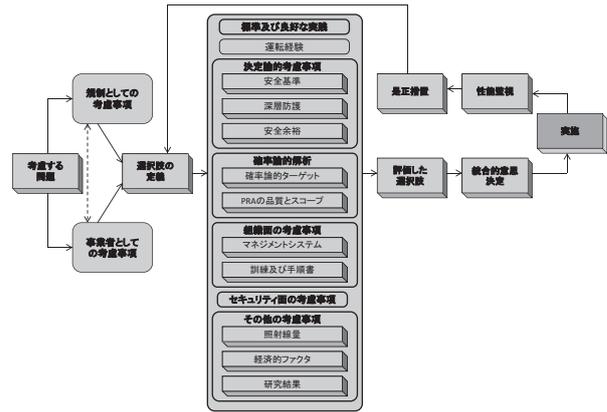


図2 統合的意思決定プロセス (INSAG-25を邦訳)

ら、継続的に改善を重ねていく。このように、プロセスとして PDCA (Plan-Do-Check-Act) を廻していくことである。統合的意思決定プロセスについて国外で検討された参考となる概念としては、IAEA INSAG-25<sup>14)</sup>があり、図2のように示されている。

### 3. 意思決定に必要な適時性・迅速性とインセンティブ

現在、事業者は新規基準に適合させるための種々の対策を実施してきている。今後、継続的に安全性を向上していくためには、規制、事業者とも現状に満足し停滞することなく、適切なタイミングで安全性向上のための効果的な意思決定をし続けていかねばならない。そのためには、判断材料となるリスク情報の品質向上と総合的意思決定プロセスの展開だけでなく、意思決定の適時性と迅速性が必要であり、加えて、その駆動力となるであろう安全へのインセンティブの確保が重要である。

前述のように、PRA手法の高度化等によりリスク情報自体の精度を上げることや適切な意思決定とするために丁寧に検討することはもちろん重要であるが、完全を追い求める余り意思決定のための議論を延々と続け不作為に陥ってしまっては意味がない。USNRC<sup>15)</sup>でも“agility (機敏さ, 迅速さ)”が重要という意見が出されている。対策を実施した方がよい対策は速やかに実施することが重要である。例えば、Known unknowns (リスク分析から不確実さがわかっているもの) に対しては、不確実さが大きくても速やかに手を打つことが重要であり、ハードウェアにおける対策で強固に大改造をするのみではなく、完全ではなくても何かできることもあるという緩やかな対応も含めて考えるように考え方を変えるべきである。その際同時に、より確実な対策について時間をかけてコンセンサスを得ることが重要な場合もある。安全上の効果が最も発揮される重要なタイミングに間に合うかどうかという観点もある。対策の目的に応じて意思決定の適時性及び迅速性を確保することが必要である。

また、このように意思決定を適切なタイミングで行っていくための駆動力となるのは、安全に向けたインセンティブである。例えば、事業者は、会社として社会的に信頼回復が不可能な事故を起こしてしまうと会社の命取りになるという意識を持てば、安全確保のために多くの投資を行うことが正当化できる。しかしながら、回避することに成功した事故や安全上の不作為による不利益は非常に見えにくい。その投資の効果を評価することができれば、事業者が安全への投資を継続していくためのインセンティブとなり得る。安全に対する取組みが会社の利益になるという安全文化の基本的な認識を如何に継続するかと共に重要な課題である。このように、安全に対する投資の効果を顕在化させるツールとして、リスク情報が具体的に如何にインセンティブを生み出すか、その仕組みも含めて検討する必要がある。例としては、安全性を向上させれば自ずと事故・トラブルが少なくなり稼働率が向上する、きちんとした保全がなされていれば検査間隔に反映されるなどが考えられ、また、規制の枠に縛られず自由に発想できる環境こそ1つのインセンティブであるともいえ、この検討も今後の課題の一つである。

## V. まとめ

本稿では、原子力安全部会における東京電力福島第一原子力事故後の取組みを紹介した上で、その中で特に重要な多様な誘因事象に対する安全確保において、重要な課題であるリスク情報活用について、規制機関と事業者の取組みの現状を概観した上で、継続的な安全性向上を目指した総合的な意思決定プロセスの実現に向けた枠組みと今後の課題について原子力安全部会における議論を報告した。本稿で挙げた各論については、様々なステークホルダーで議論を行い考えながら具体化を進めることが求められている。

次稿その2では、福島第一原子力発電所事故の誘因でもあった外的事象対策の原則と具体化について報告する。

### — 参考文献 —

- 1) 日本原子力学会原子力安全部会：「福島第一原子力発電所の事故に関するセミナー」報告書，2013.
- 2) 日本原子力学会：福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言：学会事故調 最終報告書，2014.
- 3) 本間俊充：より実効性の高い原子力防災対策の構築に向けた課題と取組み，(1)緊急事態への備えと対応-国際基準と福島の教訓-，日本原子力学会誌，56(10)，2014.
- 4) 新田隆司：より実効性の高い原子力防災対策の構築に向けた課題と取組み，(2)国と地方自治体における取組みと今後への提言，日本原子力学会誌，56(10)，2014.
- 5) 日本原子力学会原子力安全部会ホームページ：  
<http://www.aesj.or.jp/~safety/>(参照:2015-11-14)
- 6) 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」  
<https://www.nsr.go.jp/data/000069150.pdf>(参照：2015-12-12)
- 7) 実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド  
<https://www.nsr.go.jp/data/000085457.pdf>(参照：2015-12-12)
- 8) 更田豊志：原子力安全部会主催「原子力安全分野におけるリスク情報の活用の現状と課題」フォローアップセミナー講演，2015.
- 9) <https://www.nsr.go.jp/data/000064773.pdf>(参照：2015-11-14)
- 10) 原子力小委員会，原子力の自主的安全性向上に関するWG：原子力の自主的・継続的安全性向上に向けた提言，2014.5.30.
- 11) 原子力小委員会，自主的安全性向上・技術・人材WG：原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言，2015.5.27.
- 12) Gaertner, et al.: Safety and Operational Benefits of Risk-Informed Initiatives, An EPRI White Paper, 2008.
- 13) IAEA: Determining the Quality of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1511, 2005.
- 14) IAEA: A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process, INSAG-25, 2011.
- 15) USNRC: SECY-15-0015, Project Aim 2020 Commission Report and Recommendations, 2015.

### 著者紹介



糸井達哉 (いといたつや)  
東京大学  
(専門分野/関心分野)地震工学, 外的事象  
リスクの評価とマネジメント



林健太郎 (はやしけんたろう)  
関西電力  
(専門分野/関心分野)原子力発電設備の保  
全, リスクマネジメント, 規格基準



大和正明 (やまとまさあき)  
三菱重工業  
(専門分野/関心分野)安全設計, 事故時挙  
動解析・評価

# 産総研における放射線線量標準の現状

産業技術総合研究所 黒澤 忠弘, 齋藤 則生

産業技術総合研究所(産総研)では、放射線量に関する様々な国家標準の開発、供給を行っている。このうち、放射線標準研究グループでは、X線、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線の線量標準について研究を行っている。X線・ $\gamma$ 線の線量標準として、空気カーマ・照射線量・水吸収線量を供給している。線量の強度としては、環境・防護・診断・治療領域をカバーしている。放射線防護領域では、 $\beta$ 線による組織吸収線量標準も設定を行い、2006年度から校正を開始した。また、放射線治療領域では、医療用リニアック高エネルギー光子線、小線源治療用線量標準などを近年開発した。本解説では、これらX線・ $\gamma$ 線・ $\beta$ 線の線量標準に関して概説する。

**KEYWORDS:**  $\gamma$ -Ray, x-ray,  $\beta$ -ray, Air Kerma, Absorbed Dose, Radiation Protection, Medical Radiation

## I. はじめに

放射線は、医療分野では診断や治療、産業界では非破壊検査、滅菌、加工、品種改良など、また基礎研究や応用研究分野においては励起源や分析法にと幅広く利用されている。近年では、大型加速器施設から得られる放射線を用いて、最先端の分析や医療治療・診断など活発に研究がなされている。一方、医療分野や原子力発電所等の原子力関連施設では、被ばく線量の評価や安全管理のために放射線線量測定が重要となっている。

放射線にもいろいろ種類があり、その種類ごと、線量強度ごとに適切な放射線線量測定手法がある。たとえば、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線では物質への透過力が異なるし、X線と $\gamma$ 線では、物質が放射線を吸収した後に放出される二次電子のエネルギーが違うことによって測定法が異なってくる。また、環境放射線を測定する場合と治療に用いる線量を測定する場合では、その線量率は7桁程度も異なる。放射線の線量を測定するためには、このように広い範囲における標準が必要である。

当所では、X線・ $\gamma$ 線の線量標準として、空気カーマ(非電離放射線によって単位質量当りに生成される荷電粒子の初期運動エネルギーの総和)・照射線量、水吸収線量を供給している。線量の強度としては、環境・防護・診断・治療領域をカバーしている。本解説では、放射線防護及び医療用放射線に関する標準について概説する。

National Standards for radiation dosimetry at AIST: Tadahiro Kurosawa, Norio Saito.

(2015年12月25日 受理)

## II. 放射線防護に関わる標準

### 1. X線標準

産総研ではX線照射施設として、管電圧10kV~50kVの軟X線照射室、管電圧40kV~300kVの中硬X線照射室の二つを有している。X線の線質を表す指標として次式に示すQI値(Quality Index)を用いている。

$$QI = \frac{E_{eff}}{E_{tube}} \quad (1)$$

ここで、 $E_{tube}$ は管電圧(kV)、 $E_{eff}$ は実効エネルギー(keV)で、実効エネルギーは基準電離箱による電流測定によって得られた半価層から求めている。半価層は、そのフィルターを挿入することによって自由空気電離箱の電離電流が半分となる厚さを意味する。この半価層と減弱係数のデータから、単色と仮定した場合の光子エネルギーを求めることができる。中硬X線では、管電圧が40kV~300kV、QI値は0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9が、また軟X線では管電圧10kV~50kV、QI値が0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8の条件で照射場を設定している。またISO 4037-1に規定されているNarrow Spectrumシリーズ、Wide spectrumシリーズ、Low kerma rateシリーズ、High kerma rateシリーズの線質についても設定を行っている。照射線量の絶対測定を行うために、軟、中硬X線とも自由空気電離箱を用いている。自由空気電離箱の概略図を図1に示す。軟X線では空気による減衰の影響が大きいため、小型の自由空気電離箱を用いている。自由空気電離箱で照射線量を測定する場合に基準となる位置は規程面と呼ばれ、電離箱のX線入射口の絞

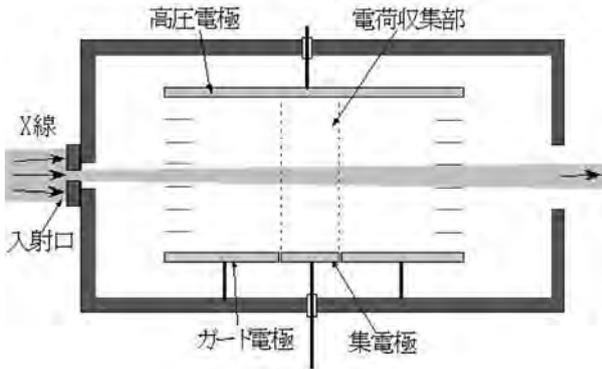


図1 自由空気電離箱の概略図

りの内側に設定されている。規程面の面積と集電極のビーム軸方向の長さとの積を空気体積といい、この容積が感度に比例する。測定した電流に対して以下に上げる様々な補正等を行い、照射線量を求めている<sup>1)</sup>。

- 1) 空気質量の算出：測定時における気温、気圧による空気密度の補正
- 2) 湿度補正：空気中の湿度による電離量の補正
- 3) 再結合補正：イオン再結合により飽和電流が得られないための補正
- 4) 空気減衰補正：規程面と電流を測定している集電極中心との間の空気層による X 線の減衰を補正
- 5) 電子損失補正：電離箱内で生じた高速電子が電極等にエネルギー付与した分の補正
- 6) 散乱線補正：電離箱内で生成された二次光子による電離量の補正
- 7) 入射口散乱・透過補正：入射口側面によって生成された散乱線による電離量の補正、またエッジ部分を透過した光子による電離量の補正

上記の 5), 6), 7) に対する補正係数は測定から求めることは非常に困難であることから、シミュレーションによる計算によって補正係数を評価している<sup>2)</sup>。

X 線標準における校正時の不確かさは約 1% である。(信頼区間 95% に対する不確かさを示す。以下同様とする。)

## 2. $\gamma$ 線標準

$\gamma$  線照射施設として、小  $\gamma$  線源照射室及び大  $\gamma$  線源照射室の二つがある。照射に使用している線源を表 1 に示す。

$\gamma$  線照射線量の測定には、グラファイト壁空洞電離箱を用いている。これは Bragg-Gray の空洞理論を基にしている。線量率の違いにより、図 2 に示すような空洞容積の異なる 2 種類の円筒型空洞電離箱を用いて絶対測定を行っている<sup>3)</sup>。

空洞電離箱の場合も、測定された電離電流に様々な補正、換算を行って照射線量を求めている。

- 1) 空気質量の算出：測定時における気温、気圧による

表 1 照射に使用している線源とその強度

照射室	Cs-137	Co-60
小 $\gamma$ 線源照射室	222GBq, 18.5GBq, 1.85GBq	185GBq, 18.5GBq, 3.7GBq
大 $\gamma$ 線源照射室	34TBq	148TBq

空気密度の補正

- 2) 湿度補正：空気中の湿度による電離量の補正
- 3) 再結合補正：イオン再結合により飽和電流が得られないための補正
- 4) 質量エネルギー吸収係数比：壁材のグラファイトから空気への換算
- 5) 質量阻止能比：空洞内物質の空気からグラファイトへの電子阻止能の換算
- 6) ステム散乱補正：電離箱を支えているステムからの散乱線の寄与を補正
- 7) 壁補正：電離箱壁による  $\gamma$  線の減衰、また壁内で生成された散乱線を補正

1)~6) は、測定または評価されている物理定数から求めているが、7) に関しては、従来の測定法に問題があることが分かり、現在はシミュレーションによる計算によって評価している<sup>5)</sup>。 $\gamma$  線の校正時における不確かさは、高線量率で約 1%、低線量率では約 5% である。

2011 年以降、環境レベルの低線量率  $\gamma$  線 (1mSv/h 以下) に対する機器の性能評価を希望するニーズが高くなってきた。環境レベルにおいては、バックグラウンドの放射線の影響により通常の校正施設では機器の評価をすることが難しい。そこで、図 3 のように周囲を鉛で囲い、内部のバックグラウンド放射線の寄与を小さくした低線量率  $\gamma$  線校正システムを開発した。このシステムでは、内部のバックグラウンド線量率は 0.01  $\mu$ Sv/h 程度と低減されており、環境レベルにおいて信頼できる機器の性

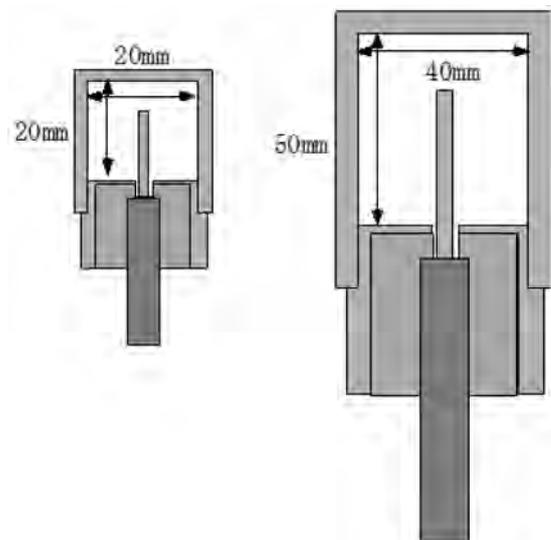


図 2 グラファイト壁空洞電離箱の概略図<sup>4)</sup>。  
右側の空洞容量は約 60ml、左側は約 6ml。

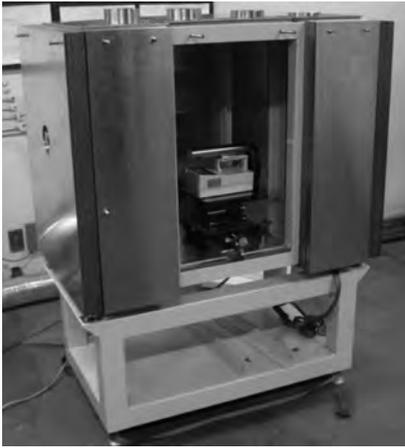


図3 低線量率 $\gamma$ 線校正システム。

写真では内部が見えているが、測定中はこの部分も鉛で覆う。

能評価を可能にした<sup>6)</sup>。

### 3. $\beta$ 線標準

産総研における放射線防護のための $\beta$ 線標準場は、関連するISO規格[7]に準拠した照射装置となっており、絶対測定を行うために外挿電離箱を製作し設定を行った。

$\beta$ 線源としてはPm-147, Kr-85, Sr-90/Y-90の三種類で、照射場を均一にするために線源と基準位置の間にフラットニングフィルターを設置している。図4に照射装置及び外挿電離箱の概略図を示す。検出器前面はアルミコーティングされたPET膜で、電離箱の高電圧極となっている。集電極及び保護電極は可動式となっており、電極間隔を0.3mm~10mmまで変化させながら電離電流値を測定することが可能である。

外挿電離箱による $7\text{mg}/\text{cm}^2$ 深部の組織吸収線量率D

(0.07)は、電極間隔 $l$ の関数としての電離電流値 $I(l)$ を用いて、次式により求める。

$$D(0.07) = s_{t,a} \frac{W}{e} \frac{1}{\rho_{a0} a} \left[ \frac{d}{dl} KI(l) \right]_{l=0} \quad (2)$$

ここで $s_{t,a}$ は、 $\beta$ 線に対する組織と空気平均質量阻止能比で、外挿電離箱で計測される電離箱内の空気吸収線量を、組織吸収線量に換算するための係数である。 $W_0/e$ は、参照条件(気温20℃, 大気圧1013hPa, 相対湿度65%)における空気の平均の $W$ 値と素電荷の比で、電離箱で計測される電離電荷量を吸収エネルギーに変換するための係数である。 $a$ は集電極の実効的な面積で、 $\rho_{a0}$ は標準状態の空気の密度である。 $d/dl \cdot KI(l)$ は電流値増加量を極板間隔増加量で割った商の極板間隔0における極限であり、 $K$ は各種の補正係数の積を表している。補正された電流値 $KI(l)$ は電極間隔 $l$ に対して大まかには比例関係を示す。測定により得た $KI(l)$ に対して二次式でフィッティングを行い、得られた二次式に基づいて $d/dl \cdot KI(l)$ を求める。

$\beta$ 線での校正時の不確かさは、その線量率と核種に依存し約3%~5%である。

### Ⅲ. 医療用放射線に関わる標準

医療において、診断や治療などで放射線が利用されている。これらの放射線が安全にかつ効果的な利用がなされるように、放射線標準は重要な役割を担っている。ここでは、放射線診断に関してはマンモグラフィ用の線量標準、放射線治療に関しては、外部放射線治療用の標準として、Co-60  $\gamma$ 線および医療用リニアク光子線用の線量標準、さらに小線源治療線源に対する線量標準について紹介する。

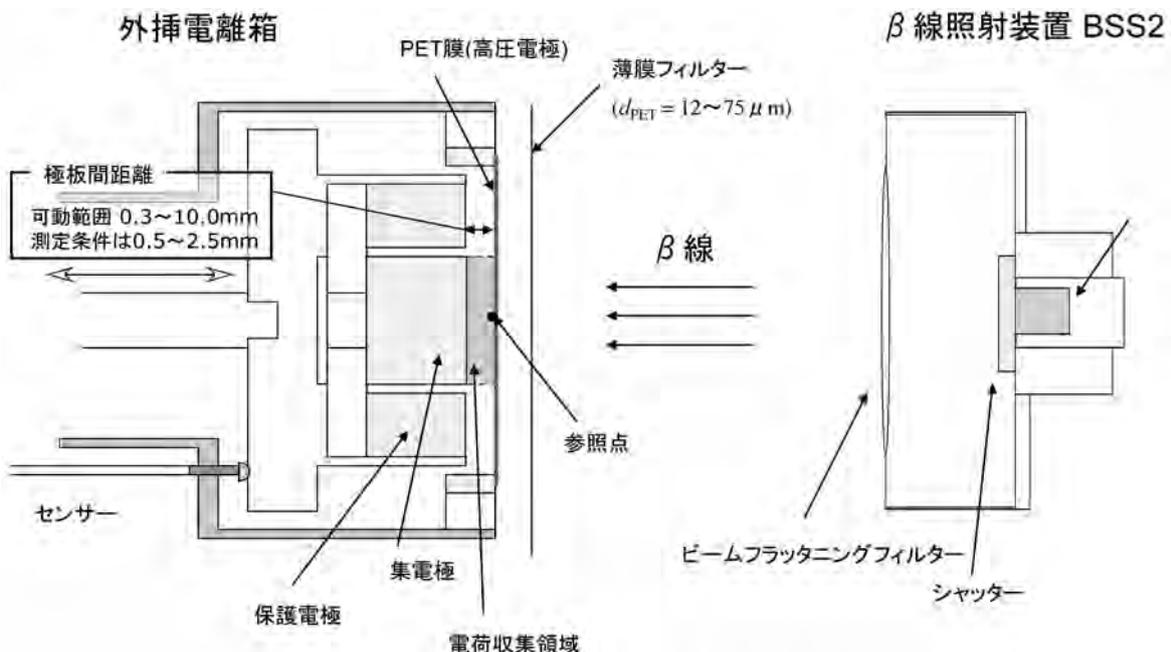


図4 外挿電離箱及び照射装置概略図<sup>4)</sup>

## 1. マンモグラフィに対する線量標準<sup>8)</sup>

乳がんの早期発見のため、乳房 X 線検査(マンモグラフィ)が2000年より乳がん検診に導入され、マンモグラフィの受診者数は著しく増えた。現在では約200万人の方が乳がん検診を受診しており、マンモグラフィの精度管理がより重要度を増している。産総研では図5のように、軟 X 線照射室内に軟 X 線照射線量標準用の設備の隣にマンモグラフィ用の照射設備を整備し、線量標準を開発し、2009年度から供給を始めた。当初は Mo(ターゲット)/Mo(フィルター)の線質のみであったが、多様なマンモグラフィ線質に対応できるように順次対応できる線質を増やしきた。2015年度には、Mo/Moに加えて Mo/Rh, Rh/Rh, W/Rh, W/Al, W/Ag の線質で標準を供給しており、現状でのすべてのマンモグラフィ診断装置に対応できる。

## 2. 外部放射線治療に対する線量標準

人体の外部から放射線を照射してがんの治療を行う手法を外部放射線治療と呼ばれている。国内でも世界的にも最も多く行われている治療手法は、小型の医療用リニアックから放出される高エネルギー光子線を利用するものである。国内では約800台の治療装置が利用されている。医療用リニアックは高エネルギー電子線の照射も可能であり、高エネルギー電子線を使った治療もおこなわれている。この他、陽子線や炭素線を用いた治療もおこなわれており、国内に13施設で治療に用いられている。

放射線治療では、人体に放射線を照射するため、放射線による効果を評価する物差しに水吸収線量(単位体積あたりの水に吸収される放射線のエネルギー)の単位を用いる。水吸収線量を正確に評価することは、治療の効果や副作用の抑制に非常に重要である。産総研では、Co-60  $\gamma$  線水吸収線量標準を2009年度から供給を開始するとともに、医療用リニアック高エネルギー光子線の水吸収線量標準を2013年度から供給を開始した。高エネルギー電子線や粒子線に対する水吸収線量標準については継続して研究開発を行っている。

自由空気電離箱 (国家標準) 軟 X 線 マンモグラフィ X 線



図5 マンモグラフィ X 線校正施設<sup>8)</sup>

## (1) Co-60 $\gamma$ 線水吸収線量標準<sup>9)</sup>

産総研では、グラファイトカロリメータ(図6)を用いて、Co-60  $\gamma$  線水吸収線量を評価している。このカロリメータは、上部中央の部分にグラファイトの円盤があり、この円盤が放射線を吸収することによる温度上昇を測定する。この温度上昇から円盤に吸収されたエネルギーを見積もり、グラファイト吸収線量を得ることができる。さらに他の測定およびシミュレーション計算により、グラファイト吸収線量を水吸収線量に変換することができ、Co-60  $\gamma$  線水吸収線量標準を確立している。Co-60  $\gamma$  線水吸収線量の供給開始により、外部放射線治療の線量測定のプロトコルが改定され、「外部放射線治療における水吸収線量の標準計測法」が2012年に刊行された。この改訂により、電離箱線量計の校正が水中で行われるようになり、治療施設における医療用リニアックの高エネルギー光子線の水吸収線量評価の不確かさは、これまでの約5%から約3%に向上した。

## (2) 医療用リニアック光子線水吸収線量標準<sup>10)</sup>

Co-60  $\gamma$  線水吸収線量標準の確立により、治療施設における線量評価の不確かさは3%に向上したが、まだ不十分である。さらに向上させるためには、直接医療用リニアックからの高エネルギー光子線の水吸収線量を評価する必要がある。そこで、産総研に医療用リニアックを導入し、グラファイトカロリメータを用いて医療用リニアックからの高エネルギー光子線(6MV, 10MV, 15MV)を直接評価する技術開発を行った(図7)。その結果、2013年度に標準の開発に成功し、高エネルギー光子線の

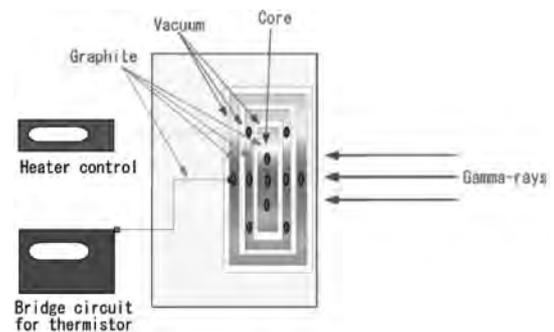


図6 グラファイトカロリメータの断面図

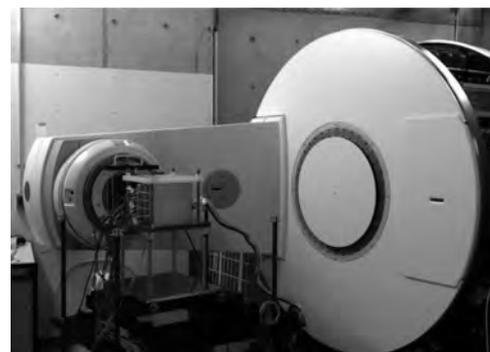


図7 医療用リニアックとグラファイトカロリメータ (産総研 HP より)

線量評価の不確かさを医療現場において約2%へと小さくすることを可能にした。産総研において電離箱線量計の校正は可能であるが、この標準に対する校正を行う機関がないため年間の校正可能件数は限定されている。さらに水カロリメータの開発による水吸収線量標準の高度化に関する研究を行っている。

### 3. 密封小線源治療に対する線量標準

体の外側から放射線を照射して治療する外部放射線治療に対して、患部の近くから放射線を照射して治療を行う密封小線源を利用した治療もおこなわれている。表2に代表的な密封小線源治療に用いられている線源、特徴および線量評価についてまとめた。

I-125 密封小線源を用いた治療は、直径約1mm弱、長さ約5mm弱のカプセルの中にI-125を密封し、前立腺内に永久刺入する。照射される線量の計算は、線源から1mの距離における空気カーマ率(基準空気カーマ率)を用いておこなわれる。I-125 密封小線源は低エネルギーでしかも線量率が小さいため、線源の近くに薄膜対向型自由空気電離箱と呼ばれる大きな電荷収集体積を持つ電離箱を用いて空気カーマ率を測定し、1mの距離に換算している。I-125 密封小線源の基準空気カーマ率標準は2012年度から供給している。

Ir-192 密封小線源もI-125と同様の大きさのカプセルの中に密封されているが、Ir-192 密封小線源は患部近くに刺入または挿入し一定時間照射した後に取り出す。こちらも基準空気カーマ率を基準としているが、線量率強度が強いため、線源から1mの距離に $\gamma$ 線用のグラフ

表2 各種密封小線源治療の特徴と線量評価

線源	利用放射線	治療対象	線量評価
I-125	$\gamma$ 線, X線	前立腺がん	1mの位置での空気カーマ率
Ir-192	$\gamma$ 線	口腔がん, 婦人科がんなど	1mの位置での空気カーマ率
Ru-106	$\beta$ 線	眼のがん	2mm位置での水吸収線量率

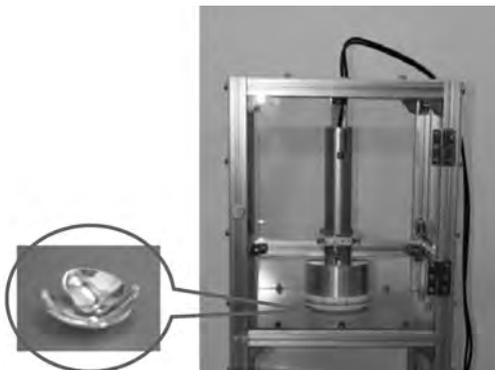


図8 Ru-106 密封小線源(左側の写真)と $\beta$ 線用外挿電離箱(右側の写真)

イト空洞電離箱を設置して空気カーマ率を直接評価している。Ir-192 密封小線源の基準空気カーマ率標準は2015年度に供給を始める予定である。

$\beta$ 線を利用するRu-106小線源は、線源の表面から2mmの位置における水吸収線量率を評価する。 $\beta$ 線は $\gamma$ 線より透過力が小さいため組織表面で吸収され、線量評価も線源の表面近くが重要となる。 $\beta$ 線の線量評価は、外挿電離箱と呼ばれる検出器によっておこなう(図8)<sup>11)</sup>。この外挿電離箱は、図3で示した外挿電離箱よりも電極の直径を小さくして、小さい線源サイズの線量を測定できるように設計している。

## IV. 国際比較

国内における放射線線量の国家標準は産総研が担っているが、同様に国外においても各国の国家標準研究所が放射線線量の絶対測定を行っている。これらの国々の中で、それぞれ評価した値が妥当であるか確認する必要がある。そこで行われているのが国際比較である。放射線線量の分野では、フランスにある国際度量衡局(BIPM)が参照値となって国際比較を行っている。国際比較の例として、Ir-192線源に対する基準空気カーマ率の国際比較の結果を図9に示す。これらの国際比較を通じて、技術的に各国の標準の妥当性を確認している。またメートル条約加盟国の主要国家計量標準機関は、国際相互承認協定を締結している。これは、各国の計量標準トレーサビリティ体系を相互に信頼し、他国の国家計量標準の校正結果を自国でも同等と認めるものである。

## V. まとめ

放射線防護および医療用放射線に線量標準について解説した。放射線防護に関しては低線量率への対応、診断に関しては新しい線質や診断への対応、治療に関しては精度向上や新しい治療手法への対応を、近年積極的に進めてきた。今後も安全な放射線利用のために線量標準や計測器の開発を促進する計画である。

— 参考資料 —

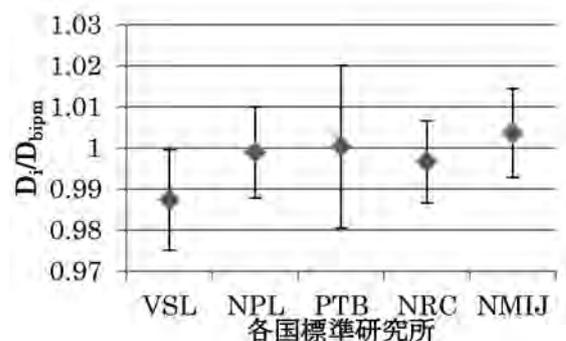


図9 Ir-192 密封小線源の基準空気カーマ率に対する国際比較の結果<sup>12)</sup>。右端のNMJが産総研の値である。

- 1) 松本健, 直井次郎, 電総研彙報, 47, 28(1983).
- 2) T. Kurosawa, N. Takata, Y. Koyama, J. Nucl., Sci. Technol., 42, 1077(2005).
- 3) 高田信久, 黒澤忠弘, 小山保二, 医用標準線量, 7, 11(2002).
- 4) 齋藤則生他, 「放射線標準の現状と展望」計測標準と計量管理, Vol.57 No.3 (2007).
- 5) T. Kurosawa, N. Takata, Y. Koyama, Appl. Rad., Isot., 62, 805(2005).
- 6) T. Kurosawa, N. Saito, T. Sawaki, "Compact Gamma-ray Irradiation System for Low Dose Rate below 1  $\mu$ Sv/h", AOCRP-4, 2014.
- 7) ISO 6980-2 (2004): Reference beta-particle radiation Part2.
- 8) 田中隆宏, 黒澤忠弘, 齋藤則生, 「マンモグラフィの安全を支える線量計測」Vol.5 no.4 222(2012).
- 9) 日本医学物理学会編「外部放射線治療における水吸収線量標準の標準計測法」, 通商産業研究社(2012).
- 10) 清水森人, 線量校正センターニュース 第3号 P.10「医療用小型リニアック装置からの高エネルギー光子線の水吸収線量」.
- 11) M.Kato, T.Kurosawa, N.Saito, KEK Proceedings, 2014 (6)

33, Perturbation of Ruthenium 106 Beta-Particle Field due to Electrodes in an Extrapolation Chamber.

- 12) C Kessler, T Kurosawa and T Mikamoto, "Comparison BIPM.RI (I) -K8 of high dose-rate Ir-192 brachytherapy standards for reference air kerma rate of the NMIJ and the BIPM", Metrologia, 2015, 53 Tech, Suppl., 06001.

### 著者紹介



黒澤忠弘 (くろさわ・ただひろ)

産業技術総合研究所分析計測標準研究部門放射線標準研究グループ主任研究員 (専門分野/関心分野)  $\gamma$ 線, X線の線量標準, 放射線計測技術の開発



齋藤則生 (さいとう・のりお)

産業技術総合研究所分析計測標準研究部門副研究部門長 (専門分野/関心分野) 医療用放射線, X線自由電子レーザーなどの計測技術の開発

## 新刊紹介 放射化学の事典

日本放射化学会 編, 376p. (2015.9)  
朝倉書店(定価 本体9,200円+税) ISBN 978-4-254-14098-9

「三省堂国語辞典」編集主幹の見坊豪紀は、第三版序文において、「辞書は、ことばを写す“鏡”であります。同時に、辞書はことばを正す“鑑”であります」と記した。日本語では初の放射化学事典となる本書は、その序に、東京電力福島第一原子力発電所の事故が「必ずしも正しい知識を身につける機会とはならず、むしろ誤った、あるいは偏見を伴った、非科学的な知識が広められ」たことに心を痛め、鑑の必要性を切に願った、時の日本放射化学会会長らを中心に編まれた。

放射化学は、放射能・放射線に関連した物理学と化学の境界領域から出発した学問分野である。現在ではその知識は、宇宙の起源から、環境科学、生命科学、臨床医学など多方面にわたる学問領域にすそ野を広げており、今日の科学技術になくはならない学問である。そのため、本書は原子力を支える化学という側面だけでなく、非常に他分野の基礎から応用までわかりやすく噛み砕いた文章で説明がなされている。また序にある「この分野の最も新しく、信頼できる書であると自負する」とおり、総勢127名の専門家が執筆した181編の項目は、その一つ一つが、教科書の一章分ないしは、一冊分の内容を含む贅沢な内容となっている。放射化学と原子力

との関わりについては、一章分42ページにわたり記されている。基礎に立ち返るうえで、非常によく練られた内容であると感じた。

特筆すべきは、原子力の周辺領域に関する他の章である。Ⅲ章 人工放射性元素, Ⅳ章 原子核プローブ・ホットアトム化学, Ⅴ章 核・放射化学に関連する分析法, Ⅵ章 環境放射能などは、原理から分かりやすく説かれており、本学会の会員にも多くの示唆を与えるであろう。少なくとも本書は、座右にあって存在感を失わないことは確かである。

本書には日本の放射化学を牽引してきた研究者による13編のコラムとして最新の研究解説が散りばめられており、研究者の熱い思いが伝わる読み物としても良くできている。

福島第一原子力発電所の事故に関しては、現在進行中ゆえ、単独で扱われた項目は一つのみである。今後、版を重ね、事故とその後の活動の全貌を説き明かす項目が記載された暁には、本書は我々の姿勢を正す“鑑”としても真価を発揮するのではないだろうか。

(日本原子力研究開発機構・渡邊 雅之)



## 転機を迎えるエネルギー市場

### (その3) 電力自由化の国際動向

東京大学 小宮山 涼一

電力自由化を進めている欧米の国や地域では、発送電分離を通じて送電事業の中立化を図り、発電事業や小売事業での競争と電力システムの効率化を促して、電気料金の抑制や多様な料金メニューの提供等を目指している。しかし発電事業では、市場の競争化や再エネ大量導入による電力取引価格低下等から、電源新設の投資回収が不確実となり、電力供給力の確保等が課題となっている。また小売事業では、特に家庭部門において、消費者保護や政治的理由からの低廉な規制料金の存続が競争促進の障害となり、電力取引の流動性の妨げとなる問題が生じている。日本の電力システム改革では海外の先行事例を教訓として、慎重な制度設計が求められる。

**KEYWORDS:** *deregulation, unbundling, wholesale market, retail market, independent system operator, electricity rate, capacity remuneration mechanism*

#### I. はじめに

わが国では改正電気事業法(電気事業法等の一部を改正する等の法律)が2015年6月に成立し、家庭を含む電力の小売全面自由化(経済産業省、電力の小売全面自由化の概要)が2016年4月に実施され、産業や業務部門に加え、家庭も電気の購入先を選択できるようになる。また、電力会社に送電部門の分社化を義務づける発送電分離(法的分離)が2020年に行われ、需給調整を行う送電部門の独立性が高められ、新規参入者(特定規模電気事業者、「新電力」と呼ばれる)が送電網を公正に利用して電気事業を行いやすくなる環境が整えられる。新電力を含めた多様な電気事業者が発電、電力の調達、販売を行える環境整備が期待されている。

電力自由化は電力市場への参入規制と電力を販売する際の料金規制の撤廃を通じて、競争と効率化を促進し、電気料金抑制や様々な料金メニューの提供等を目標としている。欧米ではわが国に先行して発送電分離を行い、卸売や小売市場で競争的な電力取引が行われている。本稿では、欧米等での電力自由化の動向について解説する。

#### II. 発送電分離の動向

欧米では発電部門の競争を促すため、電力会社の発電部門と送電部門を分離し(発送電分離)、送電部門の中立化を行い<sup>1)</sup>、全ての電気事業者に対する送電ネットワークへの公平なアクセスの確保が進められている。従来の電力会社に加え、新規参入者も送電ネットワークを利用して電力販売が可能となる。米国の自由化州では送電の機能分離、欧州では所有権分離等を中心に発送電分離が実施されている。日本の法的分離は送電部門を電力会社から分離してその中立化を進める措置であるが、電力会社との資本関係は認可される。米国では広域的に需給管理を行うISO(Independent System Operator)やRTO(Regional Transmission Organization)と呼ばれる中立的な広域送電機関が設立されている(図1)。

米国の機能分離は、電力会社が送電ネットワークの所有権を持つが、ISO/RTOが送電システムの運用を中立的に行う。欧州で主に行われている所有権分離では、電力会社から送電部門の完全な分社化が行われ電力会社との資本関係は認められない。所有権分離は、機能分離や法的分離に比べ送電ネットワークが一層独立化、中立化される。

送電機関は主に電気事業者への発電や送配電に係るサービスの提供を行い、供給信頼度維持のための資源を調達する役割も担う。発送電分離の目的は、送電部門を中立化して、発電や小売での新規参入者を含めた事業者間の競争を機能させ、電気料金抑制や多様な料金メ

*Turning point in energy market- (No. 3) Global trend of electricity market reform* : Ryoichi Komiyama.

(2015年12月28日受理)

【前回のタイトル】(その2)日本のエネルギー需給の現状と展望

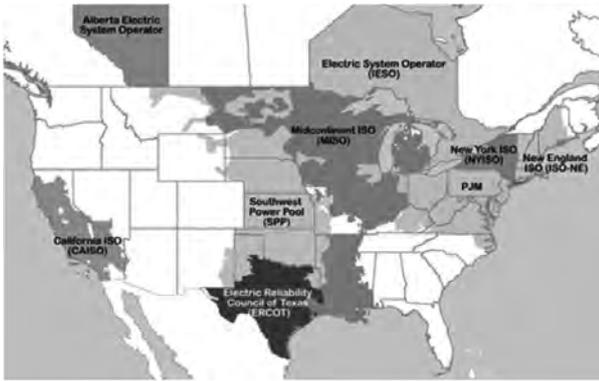


図1 米国の広域送電機関(ISO/RTO)

(出典：FERC(Federal Energy Regulatory Commission)  
<http://www.ferc.gov> (アクセス日：2015.10.25))

ニューの提供にある。しかし欧米の先行事例より、競争原理が導入された発電市場には、供給信頼度の維持のため、様々な制度が必要となる可能性が示唆されている。

### Ⅲ. 発電事業、卸電力市場の動向

電力自由化実施国では、発電事業者間の競争を促すため、卸電力取引市場が整備されている。卸電力市場では、価格競争性のある電源から順次系統に接続されて給電を行うため、卸市場での取引量が増加すれば、電力供給費用削減に貢献し、発電事業を効率化できる。

発電事業者より販売される卸電力の取引は、卸電力取引市場と取引市場外での取引に類型化される。前者の取引では、前日や当日の取引や先物取引での売買が実施される。米国ではISO/RTOが卸電力市場を運営し、欧州ではEPEX Spot(ドイツ、フランス、オーストリア、スイス)、北欧のノルドプール(Nord Pool)、APX UK、N2EX(イギリス)、OMIE(スペイン、ポルトガル)、Belpex(ベルギー)等の卸電力取引所があり、欧州単一市場の形成に向け、これらの市場の統合への動きも見られる。市場外取引では、小売事業者との相対による長期取引契約等が行われている。わが国でも卸電力取引の全国市場として日本卸電力取引所(JEPX <http://www.jepx.org>)が設立されている。電気事業者は自社電源のコストと取引所の卸電力価格を比べ、安い電力を調達できるので、自社電源ではなく卸取引所より電力を調達して販売する場合もある。現在、わが国の総発電量のうち、卸取引所での電力取引量は1.5%前後であり、市場外での流通が大部分を占める(経済産業省、卸電力市場の活性化策について、2015年)。しかし、欧米の一部では卸電力市場で活発に電力取引が行われ、卸電力取引所の取引量が需要に占める比率は北欧で7割以上(デンマークでは約9割)、ドイツで約4割、スペインで約7割に達する<sup>2)</sup>。日本でも競争化と効率化を目指し卸電力市場での取引量増加が重要な政策目標とされている(経済産業省、電力システム専門委員会報告書、2013年)。

#### 1. 卸電力市場での電力価格の動向

卸電力市場において競争を適切に反映した電力価格が形成されなければ、電気事業者による投資回収が不確実となり、必要な設備への投資不足を招く可能性がある<sup>3-5)</sup>。電力価格は、競争による抑制の実現も重要だが、供給信頼度確保の上でも重要なシグナルとなる。しかし欧州の一部では価格シグナルが必ずしも有効に機能せず、安定供給のための設備投資が進む状況とは言い難い。

欧州では再エネ普及拡大が卸市場価格の形成に影響している<sup>6)</sup>。ドイツでは再エネへのFITと優先接続・優先給電政策により、太陽光等の再エネ普及が進み、その余剰電力が系統に生じた際、低負荷時間帯等で卸電力取引価格がマイナスの価格となっている(発電事業者がお金を支払い電力を買い取ってもらう取引)。ドイツでは2015年4月19日(日)、休日で需要が少ない中、昼間に太陽光出力が2500万kWを超え過去最大値を更新し、多くの余剰電力が発生した(図2)。同日13時~14時に電力供給過剰となり、卸電力価格は▲59ユーロ/MWhまで低下した(図3)。

再エネ優先給電の運用下で、限界費用がゼロの再エネ電力は卸市場で競争力があるため、高コストの火力電源の電力は市場より締め出され、需給調整で重要なガス火力は長期の待機状態に陥り採算が無くなり、大手電力会社(RWE社等)の収益が悪化した。そのため火力電源廃止

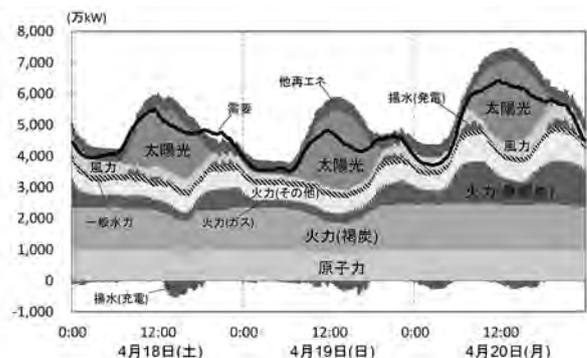


図2 ドイツの電力需給運用(2015年)

(出典：ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity)  
<https://www.entsoe.eu/> (アクセス日：2015.10.27))

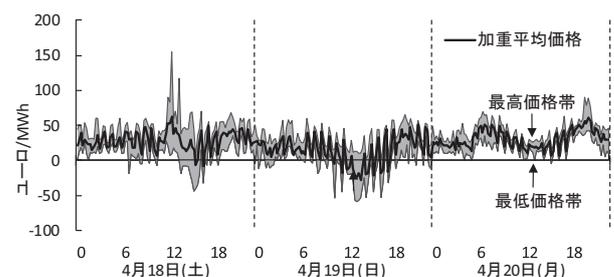


図3 ドイツの卸電力取引価格(当日取引)

(出典：EPEXSPOT <http://www.epexspot.com/en/> (アクセス日：2015.10.27))

が起こり、ドイツ、イタリア等で安定供給上の問題となった。欧州では加えて再エネが系統混雑発生、系統整備や需給調整費用増加をもたらすとして懸念されている<sup>6)</sup>。

また、卸電力市場では価格変動が不安定になる傾向が見られる。自由化された電力系統では供給を需要に合わせて柔軟な調整がしにくいことや、燃料価格上昇など時々刻々の変化が価格に反映されるためである。米国を代表するRTOの1つであるPJM (<http://www.pjm.com/>)での短期の電力価格は大きな変動を見せる場合があり、価格の急上昇(スパイク)が起きている。PJMの平均的な取引価格は50ドル/MWh程度であるが、2014年1月27日に記録的寒波の影響により日間平均で約500ドル/MWhに達した(図4)。電力価格は様々な要因で変動し収益を左右するため、電力を調達する小売事業者等にとって市場リスクの管理が重要となる。事業者が価格変動リスクを回避する場合、長期契約や先物取引を行う。卸電力取引量が世界有数の規模である北欧ノルドプール等では先物やオプション取引などが整備され、電力取引が活発に行われている<sup>7)</sup>。

## 2. 電力供給力の確保に向けた課題

卸電力市場での供給力確保が困難となるリスクが欧米で認識されており<sup>6)</sup>、様々な対策が行われている。例えば、ドイツでは多くの火力電源の運転停止を受けて、2013年のエネルギー事業法改正で供給力確保のため、発電所(容量1万kW以上)に対して、火力停止を届出による許可制とする措置や、Winter Reserve(休止火力電源の活用)等の制度を導入している。欧米における供給力確保策を見ると、固定価格買取制度と容量メカニズムに大きく類型化できる。

### (1) 固定価格買取制度(FIT-CfD)

イギリスは環境規制強化や、既存原発閉鎖による将来の電源不足が懸念される中<sup>8)</sup>、CO<sub>2</sub>排出量の大幅削減目標を定めている。卸電力市場で低炭素電源の容量確保を進めるため、イギリス政府は差額清算方式による低炭素電源電力の固定価格買取制度(FIT-CfD)を導入した<sup>8)</sup>。同制度では原子力や再エネ等の低炭素電源の投資回収に

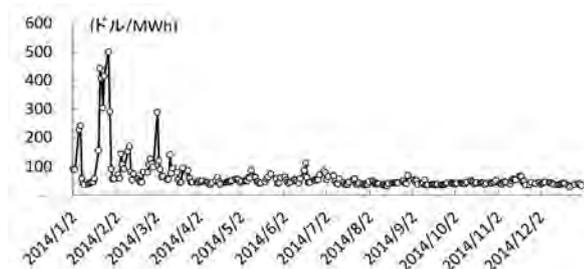


図4 PJMでの卸電力取引価格(2014年)

(出典: Energy Information Administration, Department of Energy (<https://www.eia.gov/>) (アクセス日: 2015.10.20))

必要な予想価格(Strike Price)と卸市場価格との差分額を発電事業者に補助する仕組みとなっている。同制度は、卸電力市場のような競争的環境下でも、低炭素電源(原子力や再エネ)のような固定費の高い電源に対する発電事業者の投資リスク軽減を目的としている。

### (2) 容量メカニズム

欧米では、競争的市場での電源不足を克服するため、従来の電力量(kWh)市場の他に、設備容量(kW)を確保するための「容量メカニズム」導入に向けた動きがある<sup>9)</sup>。容量メカニズムとして容量市場(集中型容量市場(CCM)、分散型容量市場(DCM))、容量支払制度、戦略的予備力等を挙げることができる<sup>10-12)</sup>。

米国では電気事業者は販売先の需要に見合う供給力確保が必要であるが、多くのISO/RTOでは卸電力価格の高騰抑制のため、卸電力市場において入札価格の上限(例えば1000ドル/MWh)を設けている。しかしこの上限が、本来、固定費回収に必要な価格上昇も抑制し、投資インセンティブ維持が困難となる問題が生じている。また、卸電力市場では限界費用で価格が決まるため、発電事業者が卸電力市場からの収入のみでは電源の固定費回収が困難となる「ミッシング・マネー」<sup>3,13)</sup>と呼ばれる問題が生じている。この問題の影響緩和のため、容量市場が導入された。これは基本的に発電容量確保を小売業者に義務化し、容量の過不足分を証書化して事業者間で取引する市場である。米国北東部のRTOであるPJM(系統容量1.4億kW)は、2007年より供給力確保策として集中型容量市場を導入した(Centraized Capacity Market, CCM)。小売事業者は販売先の最大負荷分と供給予備力の確保を義務付けられ、電源の保有、発電事業者との相対取引による容量調達、集中型容量市場からの容量証書を通じて、必要容量を確保する。集中型容量市場では、PJMが必要容量を決めた上で、発電事業者が容量市場に電源を入札し、オークション方式で容量価格が決定され、発電事業者が得る収益は小売事業者が負担する。容量市場は容量証書の取引に流動性を与え、容量確保費用の低減に貢献すると考えられ、PJMでは3年先の容量確保が行える。容量市場価格は、新設ガス火力を約10年で回収できる水準で推移しており、卸市場での収益も含め、ガス火力の固定費を回収可能な水準となっているが(図5、図6(a))、資本集約的な電源(石炭火力等)では固定費を回収できる水準とはなっていない(図6(b))。PJM全体では容量調達費用は卸供給総費用の約1割であり、卸供給総費用は低下している(図7)。またPJMは供給予備力等の取引市場を整備しており、アンシラリーサービス(電力品質維持サービス)を調達しコストを負担している。

カリフォルニア州は太陽光・風力発電導入の急増を受け(2013年1100万kW)、電力純負荷曲線(負荷-再エ

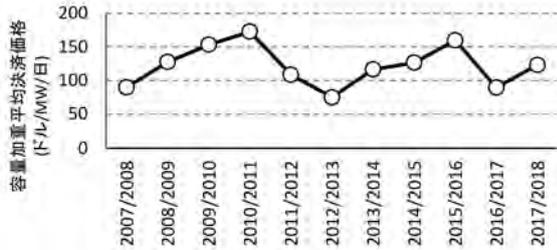
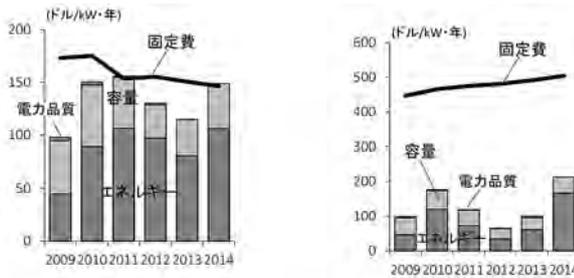


図5 容量市場での取引決済価格

(出典：PJM (http://www.pjm.com/) (アクセス日：2015.10.20))



(a) ガス火力 (b) 石炭火力

図6 各電源の純収益(収入-可変費)と新設固定費

(出典：図5と同じ)

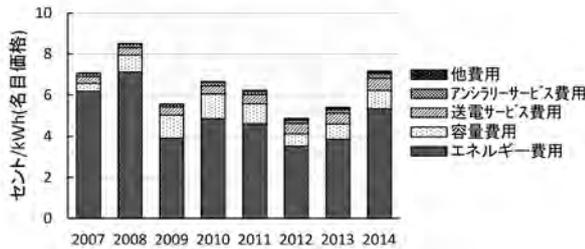


図7 PJMでの卸供給費用(出典：図5と同じ)

ネ)は、朝と夕方に2回のピークを迎える曲線(ダックカーブ)となっており(図8)、このピーク対応のための電源確保が喫緊の課題となっている。カリフォルニア州は現在、分散型容量市場(Decentralized Capacity Market, DCM)を導入し、小売事業者は公的に認証された容量の確保を義務付けられ、認証を受けた容量の証書を事業者間で取引できる環境が整備されている。

集中型容量市場はニューヨーク ISO(NYISO)や中西部 ISO(MISO)等でも導入された。イギリスで2014年に導入され、政府が安定供給に必要な発電容量を定め、送電機関(National Grid)が競争入札を運営する。落札した発電事業者は給電を義務付けられ、発電容量(kW)に応じて報酬を受ける。フランスでは空調需要で電気利用率が高いことから、寒波等での気温低下で突発的に電力需要増加のリスクがあり、また再エネも急増しており、これらを受け、容量市場を導入予定である。

容量支払制度は、送電事業者などが電源に対して、容量に応じて報酬(kW単価)を付与する制度である。スペインは容量支払制度を導入し<sup>14)</sup>、水力や火力発電がkWに応じた報酬を得ている。しかし、容量支払はいわゆる

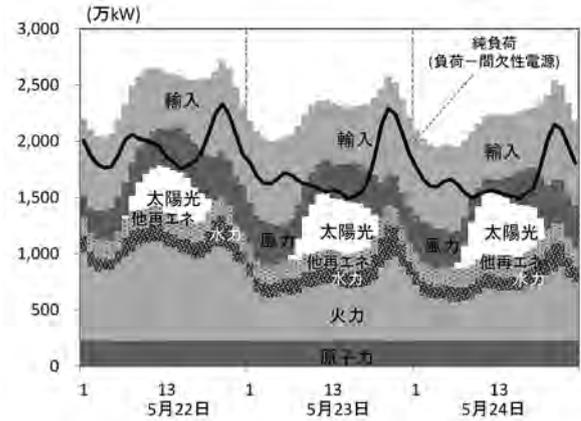


図8 カリフォルニア州の電力需給運用(2015年)

(出典：24) CAISO (http://www.caiso.com/) (アクセス日：2015.10.27))

電源に対する補助金のため、競争原理による効率化を妨げる可能性もある。

戦略的予備力は、送電事業者が緊急時に備えて予備力を事前に調達する制度である<sup>15)</sup>。発電事業者は送電事業者から建設費、燃料費相当分の支援額を受けて、卸電力市場への入札が制約された上で、非常時に備えて電源を待機させることが要求される。フィンランド、スウェーデン、ドイツ等で採用されている。

一方、米テキサス州の送電機関(ERCOT: Electric Reliability Council of Texas)はエネルギー市場(kWhの取引市場)のみ運営し、容量市場は導入しておらず、電気事業者は設備投資をエネルギー市場の価格(kWhの価格)のみで回収する仕組みとなっている。例えば、供給への投資が不足し、需要に対し供給が足りない場合、電力価格が高騰する。価格が高騰すれば、容量の経済的価値が高まって電源への投資が促進し、kWhのみの市場だけでも一定の価格高騰があれば、供給力を確保する仕組みとなりえる。そのためERCOTは、卸市場への入札価格上限を高めに設定しており<sup>16)</sup>、2011年の3000ドル/MWhから2015年には9000ドル/MWhへ引き上げた。入札価格上限引上げも、一種の供給力確保策として考えることもできる。

上記に加え、米国では、デマンドレスポンス(電力の供給状況に応じて電力消費パターンを電気料金や節電行動を通じて変化させる取組)等の需要側資源も容量確保の上で重要と位置付けられ<sup>17)</sup>、時間帯別料金や需給調整契約等の導入が進んでいる。特にPJMではデマンドレスポンスの大部分が容量市場に入札され活用されている。

#### IV. 小売事業の動向

消費者が料金メニューの情報に基づき小売事業者を積極的に変更(スイッチング)することで、小売事業者は需要家を獲得するために安い料金や多様なサービスを提供しようとする。そのため、小売市場での競争環境の整備

も重要な課題となる。しかし、欧州ではEU指令により加盟国は原則として小売自由化を実施しているが、特に家庭用で、多くの国で低廉な規制料金<sup>18)</sup>が存在し、実態として、小売での競争に進展が見られない国や地域も見受けられる。

### 1. 規制料金の動向

小売全面自由化後、数年の経過期間において、規制料金が認められる場合が多いが、EUや米国において、消費者保護の観点や政治的理由で、相対的に安く設定された規制料金を撤廃しない国や地域は多い。安価な規制料金の問題点は、その存在が小売での競争原理の働きの障害となる可能性にある。欧州委員会は以前より加盟国に対して、規制料金が小売市場の競争を歪めるため、その撤廃を勧告している (European Commission: Energy Union Package, 2015)。現在、欧州では18ヶ国で規制料金が存在し、フランスやデンマーク、イタリア、スペイン等は規制料金の撤廃期限を設けていない。米国では、家庭用小売市場が自由化されている16州では、需要家が供給者を選択しなかった場合、規制料金が適用される。

フランスでは、新規参入者が相対的に少なく競争が進まないことや(新規参入者比率は1割程度)、消費者保護や政治的理由から規制料金を認可しているため、家庭の自由化料金への変更が進まず、規制料金が小売の競争促進の妨げとなっている。スペインでは自由化後、再エネ普及拡大に伴う送配電費用増加を、政治的理由から規制料金に十分転嫁できず、電力会社が赤字を拡大している<sup>19)</sup>。韓国も電力調達価格上昇の中で、政治的に電気料金が低く抑えられ、赤字の巨額化が問題となっている。

### 2. 小売市場の競争促進に関する動向

小売競争を妨げる要因の一つである市場の寡占化は、電力取引の流動性を阻害する結果、競争原理が機能せず、電気料金抑制が進まない可能性がある。しかし欧州では自由化後に新規参入者の数が増加し、2014年現在、例えばドイツで970社、イタリアで381社、スペインで191社、フランスで174社、ノルウェーで148社、オーストリアで138社、スウェーデンで123社の小売事業者が存在し<sup>20)</sup>、ノルウェーやオランダでは年間13.3%、ベルギーで同12.2%、スペインで同11.8%、イギリスで同11.1%、フィンランドで同11%、スウェーデンで同10.3%の需要家が供給を受ける電気事業者の変更(スイッチング)を行い<sup>20)</sup>、一部の国では市場の流動性が高く、競争が進んでいる。

現在、小売市場の競争化に向けて、諸外国では様々な対策が行われている。フランスは小売市場の競争促進を目的にした「電力市場の新組織法」(NOME law: Nouvelle Organisation du Marché de l'Electricité)<sup>21)</sup>を2010年に制定した。フランスの発電電力の大半はEDF社の原発

に依存しているが、新規参入者はコストの高い火力電源等でしか事業が不可能であった。そこでフランス政府は、新規参入者がコストの安い原発電力を調達して小売事業を行える環境整備のため、同法において、EDF社の原発電力を新規参入者へ2025年まで販売することが定められた(「原子力発電アクセス制度」(ARENH: Accès Régulé à l'Electricité Nucléaire Historique))<sup>21)</sup>。年間1,000億kWh上限での販売量が設定されている。

日本でも新規参入者の多くは十分な自社電源を保有しておらず、大手電力会社に比べ供給力確保が困難な状況にあるため、新規参入者の電源不足を解消するために、常時バックアップや部分供給等の小売競争促進策が講じられている(経済産業省、常時バックアップの見直し・部分供給について、2015年)。また、既存の電力会社に対する規制を実施し、小売自由化を進める例も見られる。米テキサス州は小売自由化後の経過期間中に、電力会社に対する低廉な小売価格での販売規制や、新規参入者への卸電力売却策などにより、小売競争促進を図っている<sup>22)</sup>。

### 3. 電気料金の動向

自由化により家庭用の電気料金が実際に低下したとの評価は国際的にまだ定かではない。仮に自由化が料金を抑制しても、様々な要因で料金が上昇する国や地域が多く見受けられる。例えば欧州の一部の国では、再エネ大量導入が卸電力価格低下をもたらしたが、再エネ支援制度の賦課金の負担が増加し、競争的環境下でも、家庭用電気料金が上昇傾向にあるケースが見られる。

欧州の一部の国の家庭用料金は税金やFITなどの公租公課の影響を強く受けている。家庭用電気料金に占める公租公課の比率はデンマークで6割、ドイツで5割、イタリアやスウェーデンでは4割にのぼり、燃料価格の下落による電気料金の低下が起きにくい状況にある。

スペインでは政治的理由で家庭用電気料金の抑制が図られているが、FIT賦課金の影響もあり、家庭用料金は上昇傾向にあり、欧州平均を上回っている(図9(a))。ドイツもFIT賦課金や燃料費上昇、環境税、CO<sub>2</sub>排出権取引等の影響により家庭用料金は高水準にある(図9(a))。イタリアも、高価格で推移する天然ガスへの依存度が高いこと、隣国との国際連系線容量の不足により隣国の割安な電力の輸入が難しいことから、家庭用料金は欧州平均よりも割高な水準にある(図9(a))。デンマークの家庭用料金も公租公課の比率が6割に上るが、風力導入が進み、同国は水力など経済性のある再エネ導入が北欧の他国に比べ困難なため、上昇が顕著である(図9(a))。

米国では、テキサス州の家庭用料金は、最近の天然ガス価格の下落をうけ2008年以降低下傾向にあり、全米平均を下回る(図9(b))。一方、カリフォルニア州の家庭用料金は全米平均と比べ3割ほど高く、最近の太陽光導入拡大もうけて上昇基調にある(図9(b))。米国では、全面

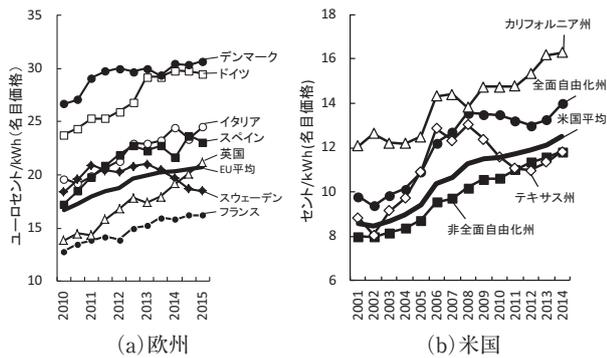


図9 家庭用電気料金の推移

(出典：(a) Energy Information Administration, Department of Energy <<https://www.eia.gov/>> (アクセス日：2015.10.20), (b) Eurostat <<http://ec.europa.eu/eurostat>> (アクセス日：2015.10.27))

自由化州(13州 + コロンビア特別区)の家庭用料金は、非全面自由化州に比べ高い状況が続いている(図9(b))。

## V. まとめ

電力自由化は国際的に1990年代以降に進み、2000年代以降さらに再エネ導入に向けた取組が各国で進んだ。しかし近年、電力自由化を実施し、かつ再エネ導入が急速に進む国や地域で、電力系統運用上の問題が生じ、電力市場の運営が困難になるケースが見受けられる。

日本では電力システム改革が進められる中、FITによる政策支援を受け再エネ認定容量が7千万kWを超えている。日本の電力システム改革では、広域的な需給運用を活用しつつ、発送電への投資と供給信頼度を確保し、同時に電気料金を抑制しながら、電力自由化と再エネ普及を同時に進めることが求められている。その同時達成の支援策として、とくに容量市場など日本で先例の無い制度導入については、海外の先行事例を教訓として、自由化の「後追い」の立場のメリットを最大限に活用し、慎重な制度設計が期待される。

### — 参考資料 —

- 1) 浅野浩志, 電気学会誌, Vol.135, No.6, pp.364-365, 2015年.
- 2) ACER/CEER: Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2011, 2012.
- 3) P.L. Joskow: Competitive electricity markets and investment in new generating capacity, CEEPR, MIT, 2006.
- 4) W.W. Hogan: Electricity Scarcity Pricing Through Operating Reserves, Working paper, Harvard University, 2013.
- 5) W.W. Hogan: Electricity Market Structure and Infrastructure, conference on Acting in Time on

Energy Policy, Harvard university, 2008.

- 6) F. P. Sioshansi, Evolution of Global Electricity Market, Elsevier Science Publishing Co Inc, 2013.
- 7) NordREG, Nordic Market Report 2014, 2014.
- 8) Department of Energy & Climate Change, United Kingdom: Investing in renewable technologies-CfD contract terms and strike prices, 2013.
- 9) 後藤美香, 電気学会誌, Vol.135, No.6, pp.356-359, 2015年.
- 10) ECOFYS: Necessity of Capacity Mechanisms, 2012.
- 11) ACER: Capacity remuneration mechanisms and the internal market for electricity, 2013.
- 12) EUELECTRIC: Powering investments: challenges for the liberalized electricity sector - findings and recommendations, 2012.
- 13) W.W. Hogan: On an "Energy Only" Electricity Market Design for Resource Adequacy, Working paper, Harvard University, 2005.
- 14) J. Usaola et al.: Effect of Wind Energy on Capacity Payment. The Case of Spain, 10th IAEE European Conference, 2009.
- 15) M. Baritaud: Securing Power during the Transition, IEA INSIGHT SERIES, 2012.
- 16) ERCOT: About the Operating Reserve Demand Curve and Wholesale Electric Prices, 2014.
- 17) 浅野浩志, 電気学会誌, Vol.135, No.11, pp.776-771, 2015年.
- 18) ERGEG: End-user energy price regulation: An ERGEG Position Paper, 2007.
- 19) Federico, G.: The Spanish Gas and Electricity Sector: Regulation, Markets and Environmental Policies, Reports of the Public-Private Sector Research Center, 2010.
- 20) ACER/CEER: Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2014, 2015.
- 21) A. Creti et al.: The Law NOME: Some Implications for the French Electricity Markets, CEPREMAP Working Papers, 2011.
- 22) Dyer, R. A.: Deregulated Electricity in Texas, Texas Coalition for Affordable Power, 2014.

### 著者紹介



小宮山涼一 (こみやましよういち)

東京大学

(専門分野/関心分野) エネルギー需給分析, 電力システム, エネルギー安全保障



## 臨界安全国際会議 ICNC2015

電力中央研究所 名内 泰志, 東京工業大学 竹澤 宏樹,  
日本原子力研究開発機構 外池 幸太郎

臨界安全国際会議 ICNC2015 が 2015 年 9 月に米国で開催された。冒頭の全体会合では、臨界安全を確実に実施しつつ進歩させるために、人材育成や知識継承が目下の課題であることが強調された。本報告では、解析コード・核データ、臨界安全管理実務、標準・評価手法整備、使用済燃料の臨界安全、不確かさ・感度解析、臨界実験、臨界事故評価、専門家育成、及び核分裂性物質の保管・輸送・処分の 9 つの口頭発表セッションの概要を述べる。ポスター発表も加えて発表件数は 170 件を超え、参加者数は米、英、仏、日等から 200 人余であった。

**KEYWORDS: ICNC, criticality safety**

### I. 開催状況

臨界安全国際会議 International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC) は、各国の専門家が一堂に会して臨界安全の最新の研究開発や管理実務を報告・議論する会議であり、米国、仏国、日本、ロシア、英国を巡って 4 年ごとに開催されてきた。初回は 1981 年の米国においてであり、日本ではこれまでに 1987 年(東京)と 2003 年(東海村)に開かれている。

今回報告する ICNC2015 は、2015 年 9 月 13 日～17 日に米国ノースカロライナ州シャーロットで開催された。冒頭の全体会合に続いて、10 の技術セッションで 175 件の発表が行われた。このうち 1 つのセッションは 21 件のポスター発表である。参加者は 219 人とされており、約半数が米国からである。英国と仏国が約 30 名で続き、日本からは 15 名、独国とスウェーデンはそれぞれ 5 名である。さらに、スペイン、韓国、ガーナ、ベルギー、中国、スイス、カナダ、ブラジル、フィンランド、スロバキア、オランダから参加があった。

冒頭の全体会合では、米国、英国、仏国、日本、及び OECD による活動概況の講演があった。日本のみ 2 件発表し、いずれも福島第一原子力発電所で生じている燃料デブリの臨界管理について、事業者等による臨界特性検討と、臨界リスク評価に向けた日本原子力研究開発機構(JAEA)安全研究センターの研究計画を紹介した。他国の講演は、いずれも、臨界安全分野の経験者の引退や臨界実験装置をはじめとする実験施設の閉鎖が相次いでいること、知識継承や研究開発リソース維持が危ぶま

*International conference on computing, networking and communications 2015: Yasushi Nauchi, Hiroki Takezawa, Kotaro Tonoike.*

(2016 年 1 月 21 日 受理)

ること、この危機を回避するためにも国際協力が重要であることを述べている。

本稿では、9 つの口頭発表セッションについて、関連するポスター発表も紹介しつつ、概要を述べる。(外池)

### II. セッション

#### 「Criticality Codes and Nuclear Data」

本セッションでは主に各国の臨界解析コードについて最新の開発状況が報告されたほか、解析に必要な核データの測定と評価を国際共同研究体制で行った成果の概要などが発表された。

米国 LANL から連続エネルギーモンテカルロコード MCNP6 の主な新機能と今後の計画が報告された。新機能は(1)随伴中性子束による重み付けにより連続エネルギー断面積に基づく感度係数を計算する機能、(2)熱中性子散乱データ  $S(a, \beta)$  から連続的な散乱エネルギーと散乱角度をサンプリングする機能、及び(3)随伴中性子束による重み付けにより核分裂中性子源の摂動を考慮した実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  の変化量を計算する機能である。また MCNP6 は複数のベンチマーク問題パッケージを用いて、臨界安全解析を適切に行えることが既に検証されている。

MCNP の今後については、2013 年に策定された MCNP2020 構想とその背景が紹介された。MCNP6 は、1950～1960 年代の技術をベースとしたコードの根幹部分を刷新しないまま MCNP5 と MCNPX を統合させたことにより、メンテナンス性が悪化し、計算速度も MCNP5 よりも 30～50% 遅くなる可能性があるという課題を抱えている。MCNP2020 構想は、このような課題を根本的に解決し、エクサスケールの計算機環境に適合(並列数を 1000 倍規模で増加させるとともに、メモリ共有を徹底する等)することを目標としている。

中国 SNPTC 社からは炉心・プラント設計解析統合パッケージ COSINE (炉物理解析, 熱流動解析, 過酷事故解析, 確率論的リスク評価コードを含む) の開発状況について報告があった。具体的には炉物理コード群 (格子計算コード LATC, 炉心解析コード CORE, 動特性解析コード KIND, 燃料装荷パターン設計コード LOAD) のうち, 衝突確率法・キャラクタリスティクス法 (MOC) を用いた 2 次元 PWR 燃料集合体格子計算コードである LATC について, 解析結果が臨界実験データと一致し, 検証が順調に進捗している。

その他, 仏国 IRSN からは CEA, AREVA 社とともに開発し 2015 年にリリースした臨界解析コードパッケージ CRISTAL 2.0 について, 米国 ORNL からは汎用炉物理・遮蔽解析コード SCALE 6.2 について, また米国 LANL からは開発中の核データ処理コード NJOY21 について, それぞれ概要が報告された。(竹澤)

### III. セッション「Operational Practices」

本セッションは臨界安全管理の実務を議論する場であるが, 実務のすべての局面を対象とすることから発表内容も多岐にわたる。本会議での発表は, 概ね, 臨界安全制限値の設定と工程条件の維持, 工程内の核分裂性物質の性状把握, 及び臨界安全に携わる要員・組織の知識・機能の維持の 3 種類に分けられる。

臨界安全制限値の設定と工程条件の維持に関して, 仏国 IRSN が工程機器の形状管理を例に挙げて発表している。工程機器は一度適切に設計・製作されればその臨界安全形状を比較的静的に維持できることから, 質量管理等の動的な管理に比べて形状管理はより好ましいとされている。しかし, 実務においては, 単純な貯蔵容器でさえも寸法, 容器壁厚さ, 遮蔽材厚さ, 容器配列間隔等の複数の寸法を考慮しなければならず, さらに, それぞれの寸法の大小変化の  $k_{\text{eff}}$  の増減への影響は一様ではない。つまり, それぞれの寸法の製作時の許容公差がプラスかマイナスか臨界解析に基づき慎重に決定し, これに基づく製作時の検査, 共用開始後の腐食減肉や変形の監視・判断等が必要となる。これは, 設備の設計から廃止に至るライフサイクルにおいて一貫して, 形状管理の具体的な制限値に係る知識を維持しなければならないことを示す。

工程内の核分裂性物質の性状把握については動的管理のため一層注意を要する。制限値に係る知識の維持は形状管理と同じだが, 工程条件が不明となりやすく, その場合, 性状を再度把握するために大きな努力を払って測定・評価することが必要となる。工程異常による組成の制限値からの逸脱, 予期しない箇所への滞留・集積, 古い廃棄物や設備における情報の散逸もこのような事態の原因となる。英国 Sellafield 社は, 再処理のプルトニウム抽出工程異常を検知する中性子検出器の改良, ウラ

ン・プルトニウム分離工程異常からの復旧事例を紹介している。米国 DOE はウラン濃縮施設 (ガス拡散法) の廃止措置において, 大口径配管内の視覚的観察や非破壊検査を通じて核分裂性物質の集積が無いことを確認した上で, 臨界リスクが無い小口径配管の検査は省略しつつ, 配管内を充填剤で満たして更なる意図しない核分裂性物質の移動・集積を防ぐ方法を採用した。この方法により, 廃止措置が大幅に効率化されている。

このような管理の有効性は, 単に要員・組織における知識・機能の維持に依っている。長年臨界安全に携わった DOE の技術者は, 臨界安全要員と工程技術者が密に連携し, 適切に臨界リスクを評価し, 判り易く定義された制限値を用い, 臨界安全管理を強力な安全文化の下で行うべきことを説いている。Westinghouse 社の英国事業所からは臨界安全要員に対するヒューマン・ファクタに関する教育について, 英国 Sellafield 社からは工程技術者に対する臨界安全教育の改善について紹介があった。(外池)

### IV. セッション「Development of Safety Standards and Assessment Methodology」

このセッションは, 前節で述べた「Operational Practices」を支える文書整備に関するセッションと言える。

国際的な標準策定の状況として, ISO における取り組みが紹介された。原子力分野の専門委員会 TC85, 核燃料工学の分科委員会 SC5 の下に臨界安全の作業部会 WG8 が置かれ, カナダ, 仏国, 日本, 韓国, スウェーデン, 英国, 米国が参加している。臨界安全管理の基本的な考えを示した ISO 1709 は, 1975 年に初版が制定され, 1995 年の 2 版に続いて目下 3 版の準備が続けられている。3 版では最新の評価手法を反映するとともに核燃料物質の受払時の検査, 臨界事故時の対処計画などが新たに盛り込まれる見通しである。また, より各論として, 臨界リスク評価, 廃棄物の臨界安全管理, 訓練についても標準策定の検討が進められている。

国レベルの法制や標準策定の状況として, 英国の規制当局から福島第一原子力発電所事故を受けた臨界安全評価手法の再検討の紹介があった。英国内施設の既存の臨界安全評価結果をいくつか抽出し, 臨界安全評価で古くから用いられている二重偶発性原理の有効性を点検したところ, 設計基準を用いる決定論的評価と確率論的安全評価を橋渡しする手法として今なお有用である。仏国では, 従来ハンドブック等の技術文書で定められていた臨界安全管理の考え方・手法を, 大幅に法制レベルに格上げしている。これは日本の省令「規則」に相当するものである。仏国内施設における臨界安全に関連する事象を IRSN がデータベース化しており, 1980 年以降に確認された 540 件のうち 380 件がこれまでに登録されている。

この中から臨界安全評価で検討すべき代表的な事象シーケンス 70 件が選ばれ仏国のハンドブックで取り上げられている。米国 DOE は配下の全ての臨界安全管理を総覧する専門家グループを置いている。日本からは再処理における燃焼度クレジット導入の学会標準を策定したことが紹介された。

評価手法の各論で興味深いものに、米国 BWX Technologies 社が発表した確率論的手法がある。同社では、総量が最小臨界質量を超えた複数の容器を一台の運搬カートで形状管理しながら構内輸送している。何らかの衝突事故で輸送中の容器が転落し形状管理が損なわれた場合に臨界となる確率を Buffon の方法(「ビュフォンの針」問題で知られている。)で評価し、結果として臨界リスクは無視し得るほど小さいとしている。(外池)

## V. セッション

### 「Criticality Safety in Used Fuel Management」

燃焼度クレジット(BUC)で核分裂生成物(FP)やマイナーアクチニド(MA)を考慮する際、炉心管理情報から核種組成を計算することと、FPとMAを含む燃料を装荷した体系の $k_{\text{eff}}$ を計算することが必要である。このうち、特に後者の計算手法及び使用する断面積データの妥当性確認に用いる実験が乏しいことが課題になっている。

米国 Holtec 社は BUC 採用体系に装荷する燃料の組成を計算する CASMO-4 コードと、 $k_{\text{eff}}$ を計算する MCNP4 コードを用いて、5つの PWR プラントの 36 の高温零出力条件の臨界特性を解析した。これにより両コードのバイアス評価を行い、バイアスが小さいことを確認した。この結果をもって、米国 NRC は、PWR 燃料 32 体を収容する輸送キャスク MPC-32 に対して、FP と MA を考慮した BUC 採用を承認した。

一方仏国では、9つのアクチニド核種 $^{235}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ 、 $^{242}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Am}$ と6つのFP核種 $^{103}\text{Rh}$ 、 $^{133}\text{Cs}$ 、 $^{143}\text{Nd}$ 、 $^{149}\text{Sm}$ 、 $^{152}\text{Sm}$ 、 $^{155}\text{Gd}$ を考慮したBUC採用の方法論を、CEA、IRSN、AREVAが共同で開発している。核種組成計算についてはDARWIN2.2コード、臨界計算についてはCRISTAL-V1コードを用いる。仏国内のPIE実験のデータを用いて前者の妥当性を確認している。後者については、Haut Taux de Combustion 試験プログラムのアクチニド核種を含む炉心、また、臨界実験装置MINERVEにおけるFPサンプル価値測定を行った炉心のデータを用いて妥当性を確認している。これらの確認作業でバイアスが判明するが、このバイアスは $k_{\text{eff}}$ のペナルティーとして取り扱う。商業ベースでこのMAとFPを含むBUC採用のメリットがAREVAから報告されている。一例を上げると、初期 $^{235}\text{U}$ 濃縮度(IE)3.6%の燃料集合体を7体装荷できる輸送キャスク AREVA

TN<sup>®</sup> 17/2 に燃焼度 10GWd/t 超過を確認した IE 4.6% の集合体を装荷する場合、主要アクチニドのみを考慮する BUC では 6 体に制限されるが、MA と FP を含む BUC を採れば 7 体の装荷が可能となる。

一方、BWR では、発電所使用済燃料プール(SFP)における Gd クレジットの採用例はあるが、輸送・中間貯蔵容器への Gd クレジットや BUC の導入は進んでいない。BWR 燃料集合体は複雑な設計を持ち多様な出力及びボイド率の変化を経験するため、燃焼後の核種組成とその空間分布の適度に保守的な設定が重要である。米国 ORNL とスペインのマドリッド大学の共同研究により、減速材密度の時間変化についてはサイクル平均値を代表値につかっても過剰な保守性は生じないが、鉛直方向分布については適切なモデルが必要との解析結果が報告された。また、米国 NRC と ORNL は、発電所 SFP で使っている Gd クレジット(NRC は Peak Reactivity Credit と表現)を輸送・貯蔵キャスクに対して導入する(フェーズ I)、さらに高燃焼条件での BUC 採用を行う(フェーズ II)ための技術検討を開始した。このうちフェーズ I として、初期装荷した Gd が反応度効果を失う燃焼度 15GWd/t 周辺の核種組成データを用意し、核種組成計算の不確かさ評価と、それがキャスク体系の $k_{\text{eff}}$ にもたらす感度評価を実施した結果が報告された。現状、この不確かさを担保する反応度は 1.65%  $\Delta k$  である。また、仏国 AREVA では、La Hague 再処理工場で BWR 燃料を扱うため、やはり DARWIN-2 と CRISTAL-V1 を用いて解析を開始している。今後、BWR 燃料についても BUC 導入が進むことが期待される。(名内)

## VI. セッション

### 「Uncertainty and Sensitivity Analysis」

従来、感度解析や共分散を用いた感度解析は多群決定論コードで得られる中性子束、反応率、随伴中性子束を用いて実施されていた。一方、増倍体系において十分な世代を経過した後の子孫の中性子発生数に相当する Iterated Fission Probability (IFP) は随伴中性子束に比例しているが、昨今、IFP やその近似評価が連続エネルギーモンテカルロ法で可能になってきた。

仏国 CEA が $k_{\text{eff}}$ に対する核データや原子個数密度の感度を連続エネルギーモンテカルロコード TORIPOLLI-4 で行う手法を紹介している。ここでは、摂動体系の中性子束をまず計算し、次にその際に摂動をうける事象をサンプリングし、さらにこの事象の位置から非摂動体系において IFP を計算する、2 段階での厳密摂動計算を行っている。今回は OECD 国際ベンチマーク UACSA-Phase III を題材に、IFP 摂動計算機能を備えた TRIPOLLI-4 と多群決定論コード ERANOS で感度解析を行い、TRIPOLLI-4 で ERANOS と同等の結果が得られることを確認している。また、1968 群の多群断面

積を用意して ERANOS で<sup>238</sup>U の弾性散乱と捕獲反応の感度を解析すると、TRIPOLLI-4 の結果と 30% の差異を生じる。これは<sup>238</sup>U の共鳴散乱について、自群散乱に対する自己遮蔽効果を ERANOS が適切に扱えていないことによる。この報告は、多群決定論による感度解析に対しても、連続エネルギーモンテカルロ法で参照解を作りバイアスを確認できることを示唆している。

一方、BUC の分野で広く利用されている米国 ORNL の SCALE-6.2 コードは、3 次元連続エネルギーモンテカルロ法に感度解析機能 CE TSUNAMI-3D を統合している。この機能には 3 つの計算方式 IFP、CLUTCH 及び GEAR-MC を備えていることが紹介された。IFP 方式は点源の子孫の源が基本モードに収束するまでに世代を要する効果、Multi Generation Effect を考慮し、随伴関数で重み付けした反応率を直接計算する。一方、CLUTCH 方式は、次世代中性子数×反応率×位置にのみ依存したインポートランスを計算するが、Multi generation effect を考慮したインポートランスを非アクティブ世代で計算する点に特徴がある。GEAR-MC 方式は、反応率比の感度を評価する際に必要な一般化随伴中性子束を、IFP と CLUTCH の手法を用いて計算する。

連続エネルギーモンテカルロ法に基づく感度計算は、統計誤差の問題を抱え続けるが、多群決定論による手法が離散化誤差を生む点を補いながら、しばらく並立する状況となると筆者は予想している。

米国 LANL から核分裂中性子スペクトル  $\chi_p$  の共分散が  $k_{eff}$  に与える影響評価が報告された。Flat-Top 炉を対象に、MCNP-6.1.1 の IFP により感度解析を行い後処理で共分散データを感度で挟み込むことで評価を行っている。 $\chi_p$  の共分散の影響は、特に閾値型核分裂や (n, nf) 反応が影響する高速炉体系で出てくる。 $\chi_p$  の不確かさが  $k_{eff}$  に影響する感度の内訳は、核種間の共分散の影響が 5~20%、核分裂を引き起こす中性子エネルギーに関する共分散の影響が 50% にも達することがわかった。これは従来の臨界安全設計の枠組みで、 $\chi_p$  由来の不確かさをさらに考慮すべきであるという結果であり、注目される。なお  $\chi_p$  の共分散データは従来の ENDF-6 型の評価済核データの書式では扱いきれず、新たなデータ書式が必要である。

その他、核データの共分散データを用いたアクチニドの最小臨界球の再計算(オランダ NRG)や断面積データの臨界実験データへの影響評価(独国 GRS)等も連続エネルギーモンテカルロ法で計算されている。(名内)

## VII. セッション「Criticality Experiments」

多くの臨界実験装置が閉鎖を余儀なくされる中、実験能力を維持する、あるいは具体的な新しい実験を計画していることを表明したのは、米国と日本である。臨界実験能力を持つ研究機関は、今後、国際協力の核となろう。

米国の National Criticality Experiments Research Center (NCERC) では、ネバダ州の Device Assembly Facility (DAF) 内に Comet, Planet, Flat-Top 及び Godiva-IV の 4 基の臨界実験装置を維持し、今後とも活用していく予定である。このうち Flat-Top と Godiva-IV は国際協力により臨界事故時ドジメトリ研究に供されている。また、LLNL は、Thermal Epithermal eXperiments (TEX) と称し、Comet 又は Planet 装置を用い、プルトニウムや高濃縮ウランとポリエチレン、さらにハフニウム等を組み合わせた実験を計画している。プルトニウムやハフニウムの断面積データ検証を目的としており、英国と仏国が参画している。

日本では、福島第一原子力発電所事故で生じた燃料デブリの臨界リスク評価に係る研究の一環として、JAEA が定常臨界実験装置 STACY の炉心をウラン酸化物燃料棒・水減速体系に更新している。更新後は、コンクリートや鉄のような原子炉構造材が燃料デブリと混在した場合の臨界特性解析について、解析手法を検証するための臨界実験を行う。本計画は仏国 IRSN と協力して行われている。

既に実施された臨界実験の評価も広く国際協力により行われている。最も大規模なものが経済協力開発機構・原子力機関 OECD/NEA の下で実施されている国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト ICSBEP である。現時点では各国で実施された 4839 ケースの実験が 561 冊の評価書にまとめられ、DVD で希望者に配布されている。各評価書には  $k_{eff}$  計算等の検証に必要なベンチマークモデルと  $k_{eff}$  の参照値が記載されている。本セッションでは ICSBEP 向けの個別の評価の発表も行われている。古い実験のデータを発掘して採りあげているものであるが、<sup>239</sup>Pu の最小臨界量評価に有用な JEZEBEL 実験の再評価は今なお重要である。(外池)

## VIII. セッション「Analysis of Criticality Accidents and Incidents」

本セッションでは、実際に発生した臨界事故の再現解析や新たな動特性計算手法・臨界リスク評価手法に関する研究から、燃料工場でのヒヤリハット事例まで幅広く臨界事故に関連する知見が報告された。本稿では、国外での臨界安全分野における世代交代の課題と国際共同研究開発の必要性について一例を紹介する。具体的には英国 Atomic Weapon Establishment (AWE) 社が中心となって開発している新たな臨界事故ドジメトリ手法に関する発表について、開発背景に焦点を絞る。

英国の臨界安全分野のうち世代交代の課題がある項目のひとつとして、臨界事故ドジメトリ分野の人材と設備が指摘された。英国原子力産業界では、1960 年代に開発された線量計(インジウム、硫黄、金を用いた中性子放射化学法がベース)が現在も使われている。しかしながら、

線量計の校正や性能試験に必要な中性子照射施設は次々に閉鎖され、線量評価に必要な $\beta$ 線計数手法が時代遅れのものとなったため、今後は規制当局 HSE から許認可の更新を得るために必要な性能データを十分に取得できなくなる可能性がある。このため、AWE 社は、技術・コスト・性能試験の3点で、持続可能な、新たな臨界事故ドジメトリ手法の開発に着手した。一方、英国単独では十分な性能試験データを得ることが困難であったため、米国の Godiva-IV、仏国の CALIBAN 及び PROSPERO の臨界実験装置を活用する国際共同研究開発体制がとられている。(仏国の両装置は 2014 年 12 月に閉鎖。)

米国 DOE-NCSP(LLNL)にとっては、英国 AWE 社と仏国 IRSN によって Godiva-IV の中性子場が測定されるため、人的な互恵関係が成立している。2016 年には米国の 9 つの研究組織が新たに参画し、Godiva-IV を用いたドジメトリ相互比較試験や、緊急時ドジメトリの要員訓練も予定されている。また、米国の Flat-Top 臨界実験装置についても同様の測定が計画されている。仏国 IRSN は、英国と同様に、単独では臨界事故ドジメトリ技術の維持と発展が困難な状況に直面している。

本セッションでは、これらの発表のほか、汎用 CFD コード COSMOL Multiphysics やオープンソース CFD コード OpenFOAM と臨界解析コードを組み合わせた溶液体系臨界事故の解析手法が報告されており、どちらも解析結果を臨界事故データと比較し妥当性を検証する段階にある。(竹澤)

## IX. セッション [Professional Development Issues]

本セッションでは各国の臨界安全に関わる人材育成や施設運用について、ベストプラクティスや課題解決事例が紹介された。

米国 DOE の Savannah River Site の運転保守を担当する SRNS 社では、多くの臨界安全要員が退職期を迎えているため、経験者の中途採用と新卒採用を積極的に行っている。しかしながら、人材の流動性は高まる一方、限られた新たな人的資源を求める獲得競争が起きている。このため、同社は臨界安全に関わる人材に対し動機付けし、雇用を長期間継続する工夫として「臨界安全エンジニアパイプライン構想」を設けている。人材が昇格できる職位とその要件を明確に定め、必要な教育・訓練・実務経験を同社が提供するものであり、従来よりも柔軟かつ短期に人材を育成できるようになった。

そのほか、英国 AWE 社からは、現場作業員が業務に伴う臨界のリスクを十分に認識し、臨界事故発生時にとるべき行動について理解を深める「臨界認識訓練」について、臨界安全の専門家と教官が訓練の開発から実施まで一緒に担当することによる改善の効果が報告された。また、仏国 CEA からは臨界安全エンジニアの資格認定訓

練の概要が報告された。(竹澤)

## X. セッション [Storage, Transport, and Disposal of Fissile Material]

地層処分に関して、本セッションで英国から 3 件、スイスから 1 件、また別のセッションで日本から 1 件報告があった。

英国で地層処分を担う機関 RWM は「臨界事象のおこりやすさ」「仮想的な臨界条件のモデル化」「処分場封鎖後のリスク上昇シナリオの選定」を検討している。もともと使用済燃料は、容器に封入され、容器同士も間隔をあけ、間に緩衝体をいれて保管されるので、容器の健全性が失われて核分裂性物質の移流が起きるまで臨界リスクはない。RWM はこの移流を汎用シミュレーションソフト GoldSim で計算している。この計算では、銅製容器や鋼材が腐食し使用済燃料に水が接触するまで 100 万年を要し、この間に $^{239}\text{Pu}$  は $^{235}\text{U}$  へ崩壊することとなる。地下水に接触した後はウランの移流が始まり、ウランの位置の不確かさが拡大するが、その中で保守的評価を行うと臨界事象の発生確率が生じる。しかしながら、臨界事象が発生したとしても、出力は 2~300kW、温度上昇は 2~300°C であり、10kg のウランが孔を作るとしても直径は高々 6m 程度とされている。処分を行う地下深さを考慮すれば、処分場封鎖後の臨界事象は地上環境にほとんど影響しない。

一方、スイス PSI では PWR 燃料をキャスクに入れて地層処分する際に冠水条件になることを想定し、BUC を採用した条件下でキャスクの装荷曲線を作ろうとしている。CASMO5-SIMULATE3 コードで炉心計算を行った後、燃料棒ごとの軸方向組成分布を CASMO5 で計算し、地層処分後の組成を SERPENT II コードで計算する。その上で MCNP6 コードにより  $k_{\text{eff}}$  を計算する計画である。現状、 $k_{\text{eff}}$  計算に用いる組成を保守的に包絡できる燃料の核種組成空間分布を検討中である。また、日本の JAEA からは、IE 4.5%、最小燃焼度 45Gwd/t の  $\text{UO}_2$  燃料集合体について、BUC を採り集合体 4 体を装荷できるキャニスタについて報告があった。(名内)

## XI. まとめ

「炉物理」と総称される中性子の輸送現象や増倍等の理論に加えて、核分裂性物質を安全に扱う実務という観点で、臨界安全は特徴的な分野である。本会議は、この分野を支え発展させる人材の育成・確保と知識継承の重要性を再認識させるものであった。(外池)

### 挿話：シャーロット

シャーロットは米国東海岸ノースカロライナ州の代表都市で、Bank of America が本店を構えるなど、ニューヨークに次ぐ金融都市として知られる。エネルギー業界

では、電力会社の Duke Energy の本店や電力系研究所 EPRI が所在する。本会議の会場となった Omni Charlotte Hotel は「Up Town」と呼ばれる一等地にある。「Down Town」とどう異なるかと想像したが、ウィンドウショッピングを楽しむ店がほとんどなく、食事場所には困らない、ビジネスパーソンのための町であった。娯楽としては、National Basketball Association (NBA) の Charlotte Hornets の本拠地であり、Hornets は University of North Carolina 出身の Michael Jordan がオーナーである。National Football League (NFL) の Carolina Panthers のホーム開幕戦は凶らずも ICNC2015 の初日となった。Carolina Panthers は、レギュラーシーズン 15 勝 1 敗、プレーオフも勝ち抜いたが、2 月 7 日のスーパーボウルで惜しくも全米チャンピオンを逃した。その他、コンサートホールや現代アートを展示するホールなども徒歩 10 分圏内に見られた。

### 著者紹介



名内泰志 (なうち・やすし)

電力中央研究所  
(専門分野/関心分野) 原子炉物理, 放射線工学/モンテカルロ, 燃焼度クレジット, 燃料デブリ等



竹澤宏樹 (たけざわ・ひろき)

東京工業大学原子炉工学研究所  
(専門分野/関心分野) 原子炉物理/動特性解析, モンテカルロ, 核・放射線エネルギーの直接変換



外池幸太郎 (とこのいけ・こうたろう)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野) 臨界安全/臨界実験, ベンチマーク評価, 燃料デブリ, 安全規制



## From Editors 編集委員会からのお知らせ

— 最近の編集委員会の話題より —  
(3 月 1 日第 9 回編集幹事会)

### 【論文誌関係】

- ・2 月期に英文誌へ 19 論文, 和文誌へ 3 論文の投稿があった。
- ・イラン等からの投稿に関して出版社の方針が説明された。
- ・英文誌投稿論文の Pre-Screening 実施の経過報告があり, 第 2 分野でも試行することとした。
- ・来年度の分野別編集委員数と編集顧問を決めた。
- ・編集委員会関連規程類の新規則体制への移行に関して検討した。

### 【学会誌関係】

- ・編集長より, 特集企画とそのスケジュールについて説明があった。
- ・2 月号学会誌アンケート結果の報告があり, 記事の評価をレビューした。新年度からのアンケート対象者をどこまで広げるか, また, 回答率が上がるよう依頼方法にも工夫について議論した。
- ・編集委員会規程等の文言について議論した。
- ・次号以降の記事進捗状況の報告と確認を行った。
- ・ゲストを含め全出席者と意見交換した。

編集委員会連絡先 <hensyu@aesj.or.jp>



## 2015年世界原子力大学夏季研修に参加して —各国からの参加者との議論から学んだこと—

関西電力株式会社 金澤 聡子

世界原子力大学夏季研修への参加を通じ、現在原子力業界をリードする各国のリーダーから講義を受け、原子力に関する幅広い、かつ国際的な知識を得ることができた。また将来の原子力業界を支えていく同世代の仲間と原子力業界を取り巻く課題について議論を繰り広げることができたことは、視野を広げる良い機会となったと感じている。今回得た経験を今後のキャリアに生かすと共に、本研修で学んだことを、同世代の原子力関係者に伝えていきたい。

**KEYWORDS:** *nuclear policy, energy mix, international relations, nuclear fuels, waste management, nuclear power plant, safety culture,*

### I. 世界原子力大学夏季研修の概要

2015年7月4日から8月14日までの6週間、スウェーデン・ウプサラ大学で開催された世界原子力大学(WNU)夏季研修に参加した。

世界原子力大学(WNU)は、アイゼンハワー元米国大統領主導による「原子力の平和利用」50周年を記念し2003年に設立された教育に関するパートナーシップ。2005年に開始されたWNU夏季研修(WNU-SI)は、原子力に携わる20~40代の参加者(フェロー)が世界の原子力業界を取り巻く課題や将来像についての議論を通じて、原子力の平和利用を強化すること、また原子力業界をリードする国際的な人材を育成することに焦点を当てたプログラム構成となっており、国際原子力機関(IAEA)、経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)、世界原子力発電事業者協会(WANO)および世界原子力協会(WNA)が支援している。

2015年の研修には、各国研究機関、規制当局、電力会社、プラントメーカーなど、幅広い所属から、技術系事務系を含め36カ国、68名の参加者があった(男性47名、女性21名)。日本からは7名が参加した。また講師は総勢20名で、日本からはメンター(講師およびグループワークサポート)として尾本彰・東京工業大学教授が参加した。

#### [プログラム構成]

WNU-SIでは、1週間ごとに設定されたテーマに基づき、主に午前中に講義、午後に小グループに分かれてのディスカッションおよびプレゼンテーション実習が行わ

れた。

第3週目にはテクニカルツアーが開催され、スウェーデンにある4つの原子力発電所(バーセバック発電所、リングハルス発電所、オスカーシャム発電所、フォルスマルク発電所)、エスポ岩盤研究所、フォルスマルク最終処分場、ウェスチングハウス燃料加工工場などを視察した。

また今回、アグネタ リーシング WNA 事務局長、元 IAEA 事務局長、米国国務省(DOS)原子力担当副次官補、米国エネルギー省(DOE)原子力関係次官補をはじめ、日本からも増田尚弘(東京電力福島第一廃炉推進カンパニー CEO)など、17名の講師による招待講演が企画された。ハンス ブリックス元 IAEA 事務局長の講演では、自身の経験を踏まえ、リーダーの素養は「進むべき道筋を示す、決断力を要す」とする一方、「特に原子力業界を取り巻く課題は、外交であり、多層的であり、従って多方向から検討すべきであるため、常に他者の意見を取り入れる姿勢を持ち続けるべきである。進むべき道に答えを見出した人は、決断に柔軟性を欠く場合、リーダーとして危うい」との考え方を呈し、参加者に、自らの成るべき姿について課題を投げる形であった。他にも補講、課題の中から興味のあるテーマを選択し研究する Nuclear Innovative Network がプログラムに組み込まれている。プログラムの詳細は参考資料を参照されたい。

また研修後や週末には、観光、サイクリング、バーベキュー、パーティーやカラオケなどのアクティビティが開催され、他国からの参加者と交流を深めた。参加者とは、研修後それぞれの国へ帰ってからソーシャル・ネットワーク・サービス(SNS)などを通じて絆を深めている。

*Precious experiences from World Nuclear University Summer Institute 2015* : Satoko Kanazawa.

(2016年1月7日 受理)

## II. WNU-SI でのディスカッション

WNU-SI での講義、ディスカッションを通じて学んだことについて、印象深い3つの研修テーマを紹介する。

### 1. スウェーデンにおける原子力政策について

2009年に脱原子力政策から政策転換し、原子力維持を目指すスウェーデンの原子力政策の歴史は、エネルギー政策の転換期である日本を含めた各国の状況と照らし合わせ、非常に印象的であった。

スウェーデンでは1979年の米国スリーマイル島原子力発電所での事故を受け、脱原子力の議論が活発化、2010年までに原子力発電所を閉鎖することを決定。その後、1990年代に政策的判断によりパーセバック発電所(2基)の閉鎖を決定した。

2006年に社民党より政権交代した与党(穏健党など)による連立政権が、2009年に原子力政策を転換(既存発電所のリプレースを認め、原子力利用を継続)するもの、旧政権による発電所の熱出力に基づく課税により原子力発電の価格競争力は低下。一方で再生可能エネルギー拡大への政策的支援が行なわれる。

この結果、北欧諸国における電力市場'Nord Market'において、原子力発電の経済的優位性が低下し、WNU-SI参加当時、国内10基ある発電所のうち、4基の閉鎖を検討中であった(研修後、全ての炉の早期閉鎖を決定)。

なお、スウェーデンにおける電力構成比率(水力:約50%、原子力:約40%)および温室効果ガス排出割合・量(エネルギー部門よりも運輸部門による排出が多い)に鑑み、一定程度の原子力を維持することに環境的側面での意味はあるが、原子力拡大による温室効果ガス排出量削減への貢献は限定的である。

興味深いのは、脱原子力から政策転換した断面において、国民は確固たる信頼をもって原子力の必要性を説く専門家を支持し、現実的な議論を展開した結果、世論が政策転換を巻き起こしたとの経緯である。加えて、エネルギーミックスの議論においては、各国のエネルギー事情を考慮した上で、他電源との調和を取る必要があると感じた。

### 2. 原子力の安全文化に関する講義

原子力発電所の構造を考えると、安全文化なかりせば、発電所の運転には事故が起こる潜在的リスクが少なからずあること、リスクが顕在化した際には甚大な被害がもたらされる可能性があることから、講義では、原子力業界と航空業界における安全文化への取り組み、考え方は類するものとして紹介された。

従い、ケーススタディーにおいても、事故の原因究明や再発防止への取り組みに古い歴史を持つ航空機事故を

例として紹介されることが多く、原子力安全を考える際に参考にすべき部分が多いことを学んだ。

また参加者は、発電所における非常時の管理、運転などを想定した高いストレス環境下でのコミュニケーション演習に参加し、それぞれ自身に求められる役割を正確に理解したり、機器・システムの構造や、既存の規制・ルールを踏まえて、正確かつ速やかな意思疎通を行なう方法やその重要性を学んだ。また、日常的に安全文化を醸成し、共有する必要性についても認識した。

一方、新興国からの参加者には、安全文化を根付かせることが難しいこと、また技術は個人の財産という考え方があり、ノウハウを同僚、後輩に伝承するという考えに乏しい傾向も見受けられることから、安全性向上への取り組みも含めた運転技術の継承には、ある程度のハードルがあるとの見方もあり、原子力技術の輸出という観点でも深く考えさせられるトピックスであった。

またメンターおよび参加者との安全に関する具体的な取り組みについての事例共有により、自社の取り組みのみをベストプラクティスと考えるのではなく、恒常的に他者の取り組みや意見を取り入れる柔軟性および向上心を持つことの重要性を学んだ。

加えて、日本の原子力政策や国内で展開されている議論、電力会社の取り組み内容などについて、世界に発信してフィードバックを得ることも、翻って、自らの足元の取組みを客観的に捉え、考えるに非常に有意であると感じた。

### 3. 新興国における原子力開発について

原子力発電所の再稼働、新設再開や福島復興などを含めた日本の原子力産業の動向への世界中からの関心は高く、自国の原子力政策の方向性決定の材料として認識している国もある一方で、福島第一原子力発電所事故後、各国の参加者の認識の中には「日本の原子力産業は衰退しており国際的には最前線から後退している」という印象があることを認識した。

原子力の海外展開を考えると、ロシア原子力などの主要な原子力輸出企業の中には、設備納入や運転に加え、廃棄物や使用済燃料の引き取りや中間貯蔵の引き受けも可能とするなど、原子燃料サイクル全体をマネージし支援可能な点を売りにしているのに対し、日本勢はメーカー単独での設備輸出が主であり、今後、例えば政府、電力、プラントメーカーの連携によるトータルソリューションの提供なども検討できるのではないかと考えた。また、特に新興国への原子力輸出に際しては、他国のプラントメーカーとの競争のみならず、関連インフラ建設などの初期投資コストを踏まえ、火力/水力/再生可能エネルギーなど他電源との価格競争に打ち勝たねばならず、優良技術の提供およびコストダウンによる競争力強化に加え、政府と連携したファイナンス面での支援などによ

り、日本の原子力技術の導入に対するモチベーションを高めることも必要なのではないかと感じた。

ディスカッション中、ある参加者から「日本には原子力を推進するスキルや経験があると思うので、日本が原子力を引き続き国内でも、そして海外にも発展させていくことは至極自然だと考える」との心強い言葉があり、今後の原子力業界を見据えた技術継承は、今、日本で原子力に携わる者としての使命であるようにも感じた。

### Ⅲ. 参加者とのディスカッションを通じて学んだこと

WNU-SI のプログラムの特徴の一つとして、上述の議論を含む多様なトピックスを題材にしたディスカッションに多くの時間が割かれていることが挙げられる。

小グループでのディスカッションは、日本と異なり議論の展開が速く、また多くの参加者は積極的に主張するため、発言の切れ目にすかさず主張しないと自身の意見は簡単に埋もれてしまうことに苦勞した。そのため、議論の内容、方向性を踏まえ、要所で結論と根拠を簡潔に発言するよう心がけた。また、例えば導入予定の国の参加者は規制やプロジェクトの枠組みに関心を持つ一方、導入済みの国の参加者は最終処分やパブリックアクセプタンスに興味を示すなど、参加者それぞれの国の原子力政策・周辺環境によって、関心の観点が異なるため、相手の立場を踏まえた発言、議論の方向付けにも心がけた。

また WNU-SI の総まとめとして、Nuclear Innovative Network での研究結果を発表する最終プレゼンテーションでは、与えられたテーマを踏まえ、グループ内で課題を設定し、協力しながら研究を進める中で、プロジェクトを動かす力を総合的に訓練できたように感じている。諸外国の仲間とゴールを共有し、問題を切り分け、分担し、また議論を組み合わせる準備を進めた経験は、大きな自信となった。

### Ⅳ. 最後に

WNU-SI での研修中に、日本の参加者を代表し、川内原子力発電所1号機の再稼働を発表したところ、他の参加者、講師、メンター、WNU 事務局から沢山の祝福の言葉が返ってきた。日本の原子力発電所の再稼働への世界中からの期待の高さを感じ、自らの業務に対する姿勢を正すと同時に、日本の原子力業界を取り巻く状況を海外の方に理解してもらうために、良いことも悪いことも、国内で起きていることを国内に留めるのではなく、海外へ発信していく強い意識を持つことが重要だと学んだ。

WNU-SI では、通常の業務では得ることのできない貴重な経験を通じて、幅広くかつ国際的な知識を習得する



(WNU-SI 2015 参加者およびメンター)

とともに、参加者およびメンターと良好な関係を築くことができた。また原子力を取巻く多様なバックグラウンドを持つ参加者と共に学び、議論を繰り返すことで、彼らに大いに刺激を受け、自身の視野が大きく広がったと同時に、参加者と対等に議論できたことが大きな自信にもつながった。今回の研修を通じ、今後グローバルな舞台で活躍するうえで必要な基盤を確立することができたことは非常に有意義であったと感じている。

密度の濃い6週間を共に過ごした仲間に、心からの感謝の気持ちを伝えたい。

#### — 参考資料 —

- 1) World Nuclear University  
<http://www.world-nuclear-university.org/>
- 2) 日本原子力産業協会「向坊隆記念国際人育成事業」  
[http://www.jaif.or.jp/ja/wnu\\_si/](http://www.jaif.or.jp/ja/wnu_si/)

#### 著者紹介



金澤聡子 (かなざわ・さとこ)  
関西電力(株)  
(専門/関心分野)原子燃料サイクル

日本原子力産業協会からの支援による WNU-SI2015 参加者紹介  
磯部陽介 (いそべ・ようすけ)

(株)東芝  
(専門/関心分野)BWR に係る事故解析

北本優介 (きたもと・ゆうすけ)

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)  
(専門/関心分野)放射性廃棄物の処理・処分

小池 武史 (こいけ・たけし)

三菱重工業(株)  
(専門/関心分野)PWR に係る炉心設計

# 報告

## 会誌電子化の広がり 他学会の取り組みの紹介

日本原子力学会事務局 折原 小夏

急速に進んでいるように見える出版物の電子化の流れだが、学会誌の電子化の実状はどうか。2015年10月14日に日本工学会事務研究委員会(事務研)において行われた「会誌の電子化」のパネル討論では、会員の利便性向上をもたらす電子化のメリットと、簡単には実現できない電子化の難しさが、他学会の実体験から見えてきた。今後、原子力学会で会誌の電子化を検討するにあたって、なにを目的とし、どう進めていくのか。その参考となる議論の内容を紹介する。

**KEYWORDS:** Society journal, Online publication, Visibility, Archiving, Intellectual property

### 紙媒体から電子媒体へ

出版物では紙媒体から電子媒体への移行が進んでいる。職場や学校で使われる書類や図面も、電子化される例が増えてきた。

国内の諸学会もその例外ではない。多くの学会はHPを開設しており、それらの学会が発行する学会誌も部分的に電子化されている。これらの学会誌の発行形態は、

- ・紙媒体のみ
- ・紙媒体と電子媒体の両方
- ・電子媒体のみ

と分類することができる。

分野別にみると、理工学系の学会では学会誌が電子化される割合が相対的に高く、逆に人文科学系では低い。原子力学会の編集委員会では紙媒体を発行する一方で、論文誌においては全面的な電子化を、学会誌(ATOMOJ)においては部分的な電子化を実現している。

多くの学会では、電子化にひそむデメリットをふまえながら、そのメリットを生かすべく取り組みを模索している段階にあるといえる。本会の学会誌編集委員会も同様で、そのためには他学会や電子化に関する最近の動向を把握しておくことは、大切な使命だと考える。

こうした学会誌の電子化の状況について、日本工学会会員の事務局代表者が連絡・協力する場として設置された事務研究委員会での会合において、電子情報通信学会、日本画像学会、日本金属学会、日本航空宇宙学会の4学会の代表者から発表があり、あわせてパネル討論が行われた。ここからは、そこでの議論のあらましについて紹介する。

*What lies before and after the online publication of society journals? The experience and strategies of learned societies:*  
Konatsu Orihara.

(2015年11月27日受理)

### 半数の学会誌が電子媒体を併用

#### (1) 発行形態の割合

パネル討論に先立ち、事務研が64学協会に対して実施した和文の会誌の発行形態に関するアンケート結果が紹介された。

図1に示すように、紙媒体を完全廃止し、電子媒体のみの形態で発行している学会はわずかに3%で、紙媒体のみ、あるいは電子媒体と紙媒体の両方を発行しているところがほぼ半数ずつという結果であった。

この結果からは、電子化が進んでいるといえる工学系学協会であっても半数近くが電子化に至っておらず、また、97%にもおよぶ学協会が紙媒体を発行しつづけていることから、完全電子化は主流ではないことがわかる。

そもそも完全電子化は目指すべきことなのか、どのようなかたちで会誌を届けるのが会員の利便性の向上につながるのか、詳しくみていこう。

#### (2) 電子化のメリット・デメリット

表1のとおり、利用者ならびに運営する側のメリット

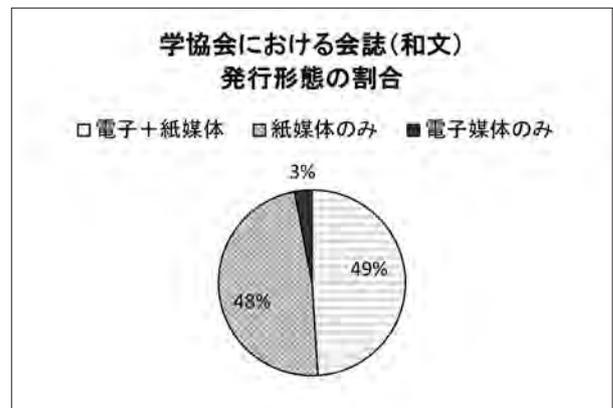


図1 事務研のアンケート調査結果をもとに作成

表1 会誌電子化のメリット・デメリット

メリット	デメリット
情報へのアクセス、検索、入手、管理の効率・容易化	記事のPDF化、データ化コスト
リアルタイム配信が可能	プラットフォームの構築費用
会員非会員を問わず、情報の提供が可能	プラットフォームの保守運営にかかるコストと労力
紙媒体の削減による、印刷・配布費用の軽減	定期的なシステムアップデート発生への対応
保管スペース不要による、経費の削減(在庫を抱える必要がなくなる)	非会員などへの公開制限のための認証機能や検索サービスの実装コスト

は多岐にわたるが、デメリットはおもに拡大するコスト面に集約される。

紙媒体とは違い、電子化は一過性ではなく、公開後も継続してメンテナンスが必要であり、それに付随して費用が発生しつづけることがネックとなっているようだ。

また、当日の会合で言及された上記に加えて、情報の共有化あるいは転送、紙やインクの節約ができることなども、メリットとして挙げられる。その一方で、セキュリティ上の問題や、許可なき二次使用が横行しやすくなるという点も看過できないだろう。

### (3) 質疑応答

会誌の電子化は、多くの学会にとっても関心事のようで、さまざまな質問が挙がった。ここでは、その代表的なものを紹介する。

質問：データ加工はしたか？

単純に紙媒体をスキャンしただけでは画像ファイルにしかならず、記事の内容を検索したり、読み取ったりできるようにするためにはOCR (Optical Character Recognition) などのデータ加工が必要となる。

ただ、このような加工は、精度が高くなってきているとはいえ、最終的に人の目で突き合わせ校正をする必要があり、コストが高額になりがちである。最近の記事PDFには、あらかじめテキストデータが組み込まれているので、古い記事にデータ加工を施している学会はなかった。

データ加工は、一見、便利に思いがちだが、本当に過去の記事に検索する価値があるのかどうかを見極めたうえで実施する必要があるといった意見もあった。

質問：経費面では、どのような変化が生じたか？

紙媒体の中止、あるいは紙か電子か会員による選択性にしたことで会費は減額したか、という会場からの質問に対しては、「購読する権利にかかる経費」という認識のもと、会費の減額はしなかったという回答があった。

また、デメリットにある各種経費のように、たとえ紙媒体をやめて印刷配布費用がなくなっても、記事作成ま

でかかる費用やそれ以外のコストが生じることから、単純に会費を減額できない経済的な事情がうかがえた。

## 紙媒体、電子媒体それぞれが担う役割

パネル討論の最後には、これから電子化を検討している学会へのアドバイスもあった。

独自のデータベース(I-Scover<sup>1</sup>)を整備するなど、電子化では一歩先を行く電子情報通信学会が、紙媒体を引き続き発行することを決めた理由に、活動に積極的ではない会員が離れていってしまうのを防ぐため、ということを挙げていた。他の学会も同様に、電子化への対応が困難な会員の離反を招きかねないと注意喚起している。

そもそも学会誌というのは、会員と学会をつなぐ大切な存在である。紙媒体はだれでも簡単に手にとれるが、電子媒体はデバイス・インターネット環境やそれを扱うスキルなど、ある程度条件がそろった人でないと利用できない。また、わざわざHPからログインして会誌にアクセスしようとするのは、比較的、学会活動に積極的な会員に限られ、学会活動に消極的な会員にとってはハードルの高い行為となる。

会員あつての、また、会員に読まれてこそその学会誌として、このことで一部の会員が離れていってしまったのは本末転倒である。幅広い層の会員のニーズに応えるためには、どのようなモデルで学会誌を発行していくのがベストなのかを考えるうえで、このアドバイスは重要な点を示唆している。

## 会員の利便性の向上+αを目指して

パネル討論の結果からも見えるように、電子化は必ずしも経費削減にはつながらず、また、すべての会員にとってベストな選択肢であるとは限らない。

だが、電子媒体は、メリットの項目に挙げた点に加え、文字や写真にとどまらず、動画での記事配信や、リアルタイムで著者と読者の双方向コミュニケーションを実現できるなど、学会からの発信方法に広がりを持たせることができる。

会員の利便性向上に加えて、学会誌の価値をどう示すのか、これまで蓄積してきた学会の知的財産をどのように将来に受け継いでいくのかを、学会全体として検討し、収支を鑑みつつ、長期的視野のもと取り組んでいくべきである。

### 著者紹介

折原小夏 (おりはら・こなつ)

日本原子力学会事務局 編集担当

(関心分野)学術出版、論文誌編集、出版倫理

<sup>1</sup> 電子情報通信学会が開発した、同学会発行の文献を横断的に検索できるシステム (<http://i-scouver.ieice.org/?lang=ja>)

## 奨励賞を受賞した若手研究者の研究に寄せる思い

日本原子力学会関東・甲越支部では、平成 27 年 10 月 13 日、東京で、企業、研究機関、大学等で研究活動に従事する若手研究者を支援する目的で、「第 14 回若手研究者発表討論会」を開催した。討論会では、10 人の若手より発表があり、このなかから 3 名が奨励賞を受賞した。ここでは、2 名の受賞者の、研究に寄せる思いと研究内容の要旨を報告する。(編集委員会 木藤啓子)

### 1. ダイヤモンド半導体による過酷環境向け線量率計測技術

上野 克宜(日立製作所)

福島第一原子力発電所の事故をきっかけに、原子力発電システムの安全性を更に高めるための技術開発が各分野で実施されている。報告者は耐熱性及び耐放射線性の高い次世代放射線モニタを開発することで、原子力発電システムの安全・安心に貢献したいと考えた。

次世代放射線モニタのキー技術について開発関係者と議論を重ね、放射線センサの候補としてダイヤモンド半導体を抽出した。ダイヤモンド半導体は、結晶の価電子帯と伝導帯の間の電子が存在できない領域(バンドギャップ)が 5.5eV と広いことと、その強固な結合性から、シリコン半導体を用いたセンサと比較して十分に高い耐熱性と耐放射線性が期待できると考えたからだ。一方で、ダイヤモンド半導体の実力を十分に発揮させるための検出器実装技術を確立する必要があった。

選定した検出器部材で試作検出器の評価を進めたが、開発当初の検出器は所望の性能には到底及ばなかった。この状況を改善するため、国立研究開発法人科学技術振興機構の原子力システム研究開発事業の一部として、共同研究者との議論と耐環境性を考慮した検出器実装方法の改良を積み重ねた。まさに試行錯誤だったが、失敗から得られた様々な知見を反映させたことで、目標性能である 300℃の耐熱性と、積算線量 5MGy の耐放射線性を満足できる見通しを得た。

ダイヤモンド半導体を利用した次世代放射線モニタを原子力発電所へ適用させるには、実機の様々な環境を考慮したシステム開発を推進しなければならない。これからも原子力発電システムの安全安心への貢献をモチベーションとし、技術開発に邁進していきたい。

### 2. 鉄リン酸ガラスを用いた低レベル放射性廃液固化に関する基礎研究

石井 健治(芝浦工業大学大学院)

放射性廃棄物のうち、液状の物はセメント等により固化処理を行った後に埋設処分することとなっている。このうち、日本原子力研究開発機構東海再処理施設で発生する濃縮廃液や、廃溶媒を処理した際に生じるリン酸廃液等の低レベル放射性廃液はアスファルト固化処理施設での火災事故(1997 年)以降、処理されることなく貯槽に保管されている。現在、これらの廃液はセメント固化により処理される方針であるが、高濃度の Na 塩やリン酸成分を含有するため、未だ処理されていない。そこで、当研究室では、廃液に含有するリン酸や鉄を固化体の骨格構造に利用可能な鉄リン酸ガラスに着目し、鉄リン酸ガラスを用いた低レベル放射性廃液の固化技術に関して研究を行っている。これまでの研究成果から、鉄リン酸ガラスに充填可能な Na 量は  $Fe : P : Na = 1.0 : 1.5 : 1.0$  [mol 比]であり、十分な元素保持性能を有することが確認されている<sup>1)</sup>。本討論会では廃液中に含有する夾雑元素(Zr, Mo, Cs, Sr, I)が鉄リン酸ガラスに与える影響について説明し、特に Zr が鉄リン酸ガラスの結晶化におよぼす影響が大きいことを示した。再処理施設で発生している放射性廃棄物の処理は、今後の原子力発電の進退に関わらず解決しなければならない問題であり、放射性廃棄物処理技術の選択肢を増やすことは非常に重要な事項であると考えている。そのためにも、今後は実際の廃液組成をもとに模擬廃液を作製し、鉄リン酸ガラスによる低レベル放射性廃液固化についてより詳細に検討を行う予定である。

— 参考資料 —

1) 株式会社 IHI 他：平成 26 年度次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業報告書、(2015)。

# 談話室

## OECD/NEA 報告書に見る 「効果的な原子力規制機関の特性」とは

日本原子力産業協会 木下 雅仁

原子力・放射線利用に関する安全強化について、設備・システム等のハードウェア面とともに、人間・組織・制度的視点からの安全対策・強化が重要であるとの観点に立ち、経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)は、規制当局の独立性、技術的能力、及び透明性の確保も重要な課題として専門家による議論を進め、「実効・効果的な原子力規制機関がもつべき機能・特性に関する報告書」<sup>1)</sup>を2014年に発行した。この報告書については、下村和生氏がATOMO Σ 2016年1月号に掲載した「原子力・放射線利用に関する安全強化人間・組織・制度的視点から」<sup>2)</sup>の中で触れている。

昨今、わが国で原子力規制組織・行政のあり方などについて議論が高まるなか、この報告書に関心を持ったことから目を通してみたい。ここでは、同報告書の要点を紹介してみたい。

報告書では、従来、規制のプロセスを改善する方法や規制機関の有効性を向上させる方法について、OECD/NEAの規制ガイダンスレポートやIAEAの刊行物など多くの文献が書かれてきたが、効果的な規制機関が持つべき特性という観点に絞って書かれた文献はなかったため、OECD/NEAの「原子力規制活動委員会(CSRA)ではこのテーマの報告書を刊行することが適切との判断のもと作成することとした。」としている。

報告書では、その内容は主に原子力規制機関を対象としているものの、原子力産業界や関係するステークホルダーにとっても関心があるものだろうと考えており、既存の原子力発電国のみならず、導入計画国や規制システムが未整備の国にとっても、この報告書を原子力規制の基盤作りのベンチマークとして活用してほしいとしている。

報告書は、個別の国の機関であれ国際機関であれ、あらゆる原子力規制機関が目指す根本的な目的は、原子力事業者(被規制者)が常に安全に原子力施設を運転することを確保することであると指摘した上で、この目的を効果的に達成するためには、原子力規制機関には自らが「正しい行動を上手く効率的に行うこと」ができるための固有の特性が必要であると結論付けている。

「実効・効果的な組織というのは、優れたリーダーシップを有していて、戦略的な方向性を具体的な実施計画に変えることができる組織のことである。組織が効果的であるかどうかは、どれだけその組織がうまく基本的目的を達成しているか、つまり、原子力規制機関の場合は、被規制者が彼らの原子力施設を安全に運転し義務を果たすよう確保できているかである。」

報告書では、効果的な規制機関の特性について、まず以下の点を定義して論じている。

「原則」とは、根本的で第一義的に広く受け入れられている規則、またはすべての活動の根源となる行動原理、である。他方、「特性(attribute)」とは、組織の行動に由来しその組織を特定する特質であるとしている。

原子力規制機関が実効・効果的な組織となるためには、役割、責任、原則そして特性が複合的に組み合わせることが必要であるとの認識に立っている。

つまり、効果的な規制機関とは、

- ・自らの規制の役割と責任、目的、任務、機能が明確である
- ・公衆の安全確保に最大の焦点を置いている
- ・規制上の意思決定を行う上で、産業界からの不適当な影響や産業界に資金的支援を行う公的セクターから独立している
- ・根本的なこととして技術的能力を有し、それに基づく他の能力も併せ持っている
- ・規制活動と決定事項に関しオープンで透明性を有している
- ・すべてのステークホルダーにとって分かりやすく明確な規制の枠組みと要求事項を示すことができる
- ・明確でバランスの取れたかつ公平な決定を行い、これらの決定に対して説明可能である
- ・適切な資源や強いリーダーシップ、堅固なマネジメントシステムという点で、組織としての強い能力を有している
- ・タイムリーに効率よく自らの規制機能を発揮できる
- ・自ら進んで外部によるピアレビューを受けるなど、継続的な自己改善と学習する文化を持っている

報告書は、上記の特性を有する規制機関は、原子力施設が常に安全に運転されることを確実にする上で有効で

あると主張している。

以下に、報告書に書かれている結論と提言を記述する。

規制機関の持つべき各特性は、効果的な規制機関にとって必要な要素であるが、その特性はどれひとつとっても、それ自体では不十分である。規制者の特性、つまり、役割と責任、原則と属性——その適切な組み合わせこそが、効果的な規制機関たらしめるものである。

規制機関は適切かつ高度に確立された安全文化を有している必要がある。それは、本報告書「効果的な原子力規制機関の特性」のすべての側面について根底をなす文化のことであり、規制機関において、組織のトップ自らが推進・指導し、すべての階層に反映され強化される文化でなければならない。

効果的な規制機関において個人は、明確な目的と、組織が達成しようとしていること、そして達成しようとする理由について明快で一貫した見解を持っていることが必要である。つまり、環境を十分に保護するとともに原子力の平和利用に関する国際的な安全原則に則った形で、原子力関連活動が安全に行われるよう確保するという目的であり、これは国際的な原子力安全コミュニティにより広く合意されている。しかし、ここで強調しておかなければならない重要なことは、いかなる時も安全への第一義的な責任は、被規制者や運転者が負っていることである。

原子力産業界や原子力産業界に資金的支援を行う公的セクターからの不適当な影響に対して独立していることが、効果的な規制者にとっては極めて重要である。機能が分離していることが、独立した規制の“意思決定”(“意思決定”と受け止められる行為も含む)、つまり、独立しており明確でバランスのとれた公平な規制上の決定——を行うこと的前提であり条件となる。

しかしながら、独立していることは孤立していることを意味するものではない。規制者はすべてのステークホルダーと頻繁にオープンな議論を行い、規制上の行為と決定に関してステークホルダーへの説明責任を果たす必要がある。

オープンであることと透明性は、規制機関が信用や信

頼、尊敬を獲得し維持する上で根本的であると考えられている。規制機関は、規制の枠組みと要件が明確で、すべてのステークホルダーに理解しやすいものでなければならない。これらは、首尾一貫して論理的で、規制機関の目標や目的との関係性が明確なことが必要である。

効果的な規制機関は、組織としての高い能力を有し、リーダーシップを発揮し、管理システムや十分な資源と豊富な人材、加えて科学的・技術的な支援を備えていなければならない。

規制機関は、有する資源を活用し、効率的かつタイムリーに意思決定を行う必要がある。とはいえ、実利性を優先して安全が損ねられたり、効率性を追うあまり有効な規制という目的が損ねられたりしてはならない。

継続的な改善、国際的な活動、連携協力、およびピアレビューは密接に相互連動しており、これらは効果的な規制機関に必要とされる別の一連の特性である。これらの特性があることで、能力(コンピタンス)と信用を維持するための継続的学習の環境が作り出される。

上記のような、技術的、文化的、および行動上の能力は、効果的な規制にとり不可欠である。これらの能力を備えていることは、公衆と社会に対してリスクとコストに見合ったバランスのとれた公平な意思決定を可能とする根底となり、原子力施設の安全な運転を可能とするのである。こうした能力が見られるのは、経験豊富で、明確な判断を下しそれを他者に説明でき、安全を損なう可能性のある圧力的行為には抵抗できる人々である。

上記の特性を持つ規制組織は、原子力産業界が常に国際的な安全原則に従って、環境を十分に守り安全な事業運営を行うことを確保するという第一の目的を、効果的かつ効率的に果たすことができるに違いない。

#### － 参考資料 －

- 1) The Characteristics of an Effective Nuclear Regulator, OECD 2014 NEA No. 7185 (<https://www.oecd-nea.org/nsd/pubs/2014/7185-regulator.pdf>)
- 2) 下村和生, 「原子力・放射線利用に関する安全強化—人間・組織・制度的視点から」, 日本原子力学会誌「アトモス」vol.58, 2016年1月

(2016年2月10日記)

## 将来の人材を確保するためのツールとして 原子力・放射線分野ロールモデル集の作成と配布

男女共同参画委員会/東京都市大学 羽倉 尚人

### すそ野を広げるツールの開発

2005年から開催され、11回目となった「女子中高生夏の学校(夏学)」<sup>1)</sup>(主催：(独)国立女性教育会館、2015年8月6日～8日、埼玉県比企郡)では、趣向を凝らした実験や先端をいく研究者を招いた講演会など、盛りだくさんの内容で2泊3日の間集まった約100名の女子中高生、保護者、学校関係者に理工系分野への魅力を伝える取り組みがなされている<sup>2)</sup>。本会男女共同参画委員会では、ポスター展示や霧箱実験実演などを通して、原子力・放射線分野の魅力を伝えてきた。しかし、参加した中高生から「どのような仕事があり、どんな人がそこで働いているのかのイメージがわからない」という感想の声が聞かれた。そこで、(独)科学技術振興機構の発行する「ロールモデル集」<sup>3)</sup>を参考に、原子力・放射線分野に特化したロールモデル集を作ることにした。ロールモデルとは、目標とする人物のことであるが、ここでいうロールモデル集とは原子力や放射線の分野で活躍している方を紹介し、読む人が働いている人の姿をイメージしやすくすることを目的としたものである。

### 初版の完成そして配布

2014年3月の春の年会(東京都市大学)における合同企画セッションにて試作版を公開し、ディスカッションした<sup>4)</sup>。そこでの意見を踏まえて、8月に初版を完成させた(図1)。さっそく夏学にて配布したところ、「いろいろな仕事があることがわかった」、「女性の技術者や研究者の方もいることがわかった」、「すそ野の広さを感じた」などといった感想が聞かれた<sup>5)</sup>。

### 好評につき増刷

本冊子は大変好評をいただき、「ぜひ配布したいので分けてもらえないか」というお話を頂戴することができた。初版は200部印刷していたが、本会理事会において1,000部増刷することを承認いただいた。また、日本原子力産業協会の協力で、就活準備フェアや原産セミナーの会場においても配布させていただいた<sup>6)</sup>。

### 今後の展開

初版だけではこの分野を網羅しているとは到底いえない。

い。そこで、初版とは別の方に執筆を依頼し2015年7月に第2版を完成させた。版を重ね少しずつ紹介できる仕事を増やしていければと考えている。第2版は夏学や大学のオープンキャンパスにて配布した。また、昨年度と同様に就活関連のセミナーでも配布予定である。

原子力・放射線分野は、学校教育で学ぶ機会が少ないだけでなく、偏ったイメージが広まっているという事情がある。このロールモデル集を通して実際の仕事の様子を見てもらえれば印象も変わってくるのではないかと期待している。すそ野を広げるためには、今回作成したようなツールが重要な役割を果たすものと考えている。

冊子をご希望の方は、本会事務局「男女共同参画委員会担当(kaiin@aesj.or.jp)」までお問合せ下さい。

### — 参考資料 —

- 1) (独)国立女性教育会館、「女子中高生夏の学校2015 実施報告」  
<http://www.nwec.jp/jp/program/invite/2015/page03s.html>
- 2) 日本原子力学会誌, No.1, Vol.49, p56, 2007
- 3) (独)科学技術振興機構「ロールモデル集 『理系女性のきらめく未来』」  
<http://www.jst.go.jp/gender/rolemodel.html>
- 4) 日本原子力学会誌, No.7, Vol.56, p40, 2014
- 5) 2015春の年会, D21
- 6) (一社)日本原子力産業協会「原子力産業セミナー2016 報告」  
[http://www.jaif.or.jp/cms\\_admin/wp-content/uploads/2015/05/nis2016\\_report.pdf](http://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2015/05/nis2016_report.pdf)

(2015年11月9日記)



図1 完成したロールモデル集

## とらわれない視点で

毎日新聞経済部副部長 山本 明彦

最初に原子力報道に関わったのは1998年。福井支局敦賀駐在に赴任してからだ。ナトリウム漏れ火災事故を起こした高速増殖原型炉もんじゅの再稼働やプルサーマル計画の是非、日本原子力発電敦賀原発3、4号機の増設計画など、賛否が分かれるテーマを追いかけていた。

国や地元自治体がこうした政策テーマで判断するにあたり、推進、中立、慎重の各面から識者を集め、合意形成に向けた議論を行うことが一般的だ。メンバーの人選で政策担当者の思惑が入ることはあるにしろ、民主的な手続きとして浸透している。報道する側としての自分は、慎重論の視点などから推進側の主張をチェックしつつ、バランスを取るよう心がけてきたつもりだ。

ただ、こうした場の議論を聞いていて強く感じたのは、対立する意見の双方に妥協の余地がなく、合意を形成しようという機運がまずないことだ。議論が平行線をたどる結果、政策当局が自らのシナリオに近い意見を採用する余地が広がり、結果的に政策判断にお墨付きを与える場になってしまう。

日本だけの問題でも、原子力に特有の問題でもないが、こうした傾向は、とりわけ原子力で、より強いと思われる。原子力が国策として進められる一方、いわゆる脱原発や反原発の議論が政治運動的な側面を帯びがちだったことも要因の一つだが、自らを一定の立場に固定させたり、反対意見を持つ人にレッテルを貼ったりして対論をつぶしあう悪弊には、教育や労働市場の課題も潜んでいるように感じる。

日本では、多くの学生がまだ社会に関する将来像を描き切れていない高校の早い段階で、文系と理系に仕分けられる。大学では教養課程の後、専門を選ぶことになるが、人文科学や社会科学の学部生が自然科学系の講義を受けることは少ないし、逆も同じだ。この結果、数学や統計学に弱い経済学部生や、哲学や倫理学にうとい医学生といった学生が多くなる。教養主義が薄れた昨今は、とりわけそんな印象を受ける。

社会に出てからも、硬直的な労働市場ゆえに、定年まで同じような場所で同じような人たちと働く。米国流の「回転ドア」のように(これはこれで課題もあるけれど)、異なる環境に身を置くことが少ないから、自らが外部からどうみられるかという客観性や外部的な視点に欠けてしまいがちだ。

教育から職業まで縦割りが強く、視野の狭い人材が量産される日本社会の問題は今に始まったことではない

が、経済のグローバル化や消費社会の高度化が進む中、日本の国際競争力をじわじわ低下させている側面もある。日本のエレクトロニクス産業が総崩れになったのは、技術力の劣化や相対的なコスト高ばかりが原因ではない。研究・技術開発と商品設計が有機的に統合せず、消費者の視線で、さまざまな技術の要素をつなぎあわせて新しい製品やサービスを作れなかった側面を無視はできない。

東京電力福島第一原発事故や「もんじゅ」に体现される「原子力村」の失敗を、日本社会の普遍的な問題という切り口でみると、論点がかすんでしまう。とはいえ、私たちの社会に染みついたものを顧みないと、よりよい議論をする環境を整備できない。

変えようとする動きはある。アカデミズムの世界では、「リベラル・アーツ」と呼ばれる教養主義の見直しの動きが盛んだ。専門性を持ちながらも一定の枠にとらわれることなく、幅広い知識を背景に、異なる視点やアプローチで物事に取り組む姿こそ、グローバリズムにさらされる社会が求める能力だからだ。多くの人に科学的な思考を理解してもらうためのサイエンス・コミュニケーションとか科学リテラシーとかいった概念も広がりつつある。

とはいえ、現場レベルで多くの関係者に認識が共有されているとはいえない。科学技術系の学者は、論文が評価の中心になるため、一般向けの説明に心を砕く傾向は少ないように思われる。メディアや慎重側の立場の人は、紋切り型の批判や特定の切り口からしか論じない(推進側もそうだが)傾向があったり、専門知識に欠けていたりするケースも見られる。

半世紀分の「核のごみ」を蓄積する日本は、「脱原子力発電」はできても、「脱原子力」はできないと思う。そうであれば、自らの立場の枠を超えてよりよい未来を作る議論を行う枠組みから構築し直す必要があるのではないだろうか。

### 著者紹介

山本明彦 (やまもと・あきひこ)



1991年毎日新聞社入社。富山支局などを経て98年3月から2002年3月まで福井支局敦賀駐在。大阪、東京経済部で金融、財政、エネルギーなどを担当し、12年4月から現職。