

巻頭言

1 福島第一の廃炉に向けて

増田尚宏

特集 原子力・航空機・鉄道における ヒューマンファクター

13 浜岡原子力発電所における安全文化醸成活動とヒューマンエラー防止への取り組み

安全文化醸成活動を計画、実施、評価するための視点として、「コンプライアンス、コミュニケーション、技術力、士気・やる気」の4要素を設定した。

釘本三男

16 ANA グループ整備部門におけるヒューマンエラー防止とコミュニケーション活性化への取り組み

航空機事故の主要因や間接要因の8割が、ヒューマンエラーによるものだ。私たちはコミュニケーションを活性化させるために、アサーションと呼ばれる手法を重視している。

尾曲靖之



21 鉄道車両の保守とヒューマンファクター

品質向上のためにはヒューマンエラー防止だけでなく、ヒューマンファクターを前向きに活用することや全体を見通したホリスティックな視点も重要だ。

田仲文郎

時論

2 日本学術会議における HLW 処分問題の検討

学術会議は「総量管理」と「暫定保管」という概念を提示した。

山地憲治

4 「国民との科学・技術対話」とは？

社会の中で科学・技術を育むために Public Engagement の活動は欠かせない。

白井哲哉

解説

25 福島第一原子力発電所の燃料デブリの計量管理手法の検討状況

福島第一原子力発電所の溶融した炉心燃料は2020年頃から取り出す計画である。取り出した燃料デブリの計量管理手法については、日本原子力研究開発機構と東京電力が中心となり検討を進めている。

堀 啓一郎

33 シミュレーションの V&V の現状と課題 (3/最終回) V & V に関わる技術標準の動向

シミュレーションの品質保証に関わる技術標準は、予測性能評価を主眼とした「モデル V & V」と解析プロセスの品質保証を目的とした「品質 V&V」に分類できる。ここでは両者の根底にある V&V 概念と、代表的な技術標準の内容を解説する。

中村 均

28 水底の放射性物質濃度分布測定技術 福島県内の農業用ため池への適用

福島原発事故によって、農業用ため池の底には今も放射性セシウムが蓄積しているところがある。その濃度を簡単かつ即座に測定する方法を開発した。

真田幸尚, 鳥居建男

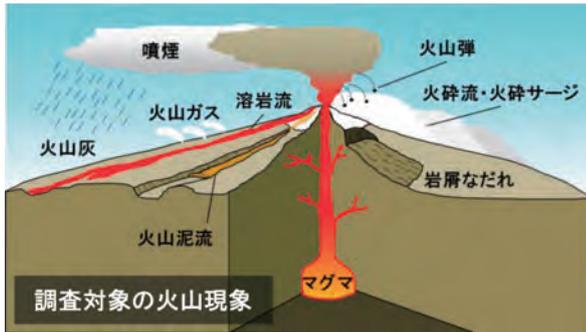


解説

38 火山現象に対する原子力発電所の安全確保—JEAG4625-2014の背景とその技術的根拠

原子力発電所に対する火山影響評価指針をもとに、火山現象に対する原子力発電所の安全確保の基本的考え方、安全影響評価の方法や、それに基づく設計および運転上の考慮事項について解説する。

中村隆夫, 岩田吉左



連載 放射性廃棄物概論—施設の運転および廃止措置により発生する放射性廃棄物の対策

48 第6回 わが国の地質環境

高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物は「地層処分」の対象とされている。これらを安全に処分するための処分場を作るためには、地層処分の観点から見た地下の環境の理解が不可欠だ。

新 孝一 ほか

報告

53 大飯判決が問いかけるもの

福井地裁は大飯原発の運転を差し止める判決を下した。そこでの問題は司法の判断と科学技術の知見が食い違うことではない。多様な意見を調整する社会的な回路がないことに問題がある。

佐田 務

57 Japan-IAEA Joint 原子力エネルギーマネジメントスクール Human Network セッション開催—世界の原子力の若手をつなぐ人的ネットワーク構築をめざして

西山 潤 ほか

6 NEWS

- 電源開発、大間原発の安全審査を申請
- エネ研が2040年までのアジアを展望
- エネ調WGが廃炉会計制度を検討
- 原産協会が原子力産業動向調査
- 原子力活用で温室効果ガス30%減
- 海外ニュース

解説

43 リスクコミュニケーション再考—原子力リスクミの再構築

原子力をめぐるリスクコミュニケーションにおいて、これまでの実践手法のどこに問題があったのか。政府や専門家が公衆からの信頼を再び回復するためには、どのような取り組みが必要なのか。これからのリスクコミュニケーションのあり方をどのように再構築していくべきか。

山野直樹



会議報告

60 第22回原子力工学国際会議報告

高瀬和之

理事会だより

61 会員サービス向上への取り組み

- 20 「2015年春の年会」見学会のご案内
- 62 会告 代議員選挙投票のお願い
- 64 会報 原子力関係会議案内、共催行事一覧、寄贈本一覧、新入会一覧、英文論文誌 (Vol.52, No. 2) 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、学会ホームページの「目安箱」(<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>)にお寄せください。

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

福島第一の廃炉に向けて

巻頭言



福島第一廃炉推進カンパニー・プレジデント

増田 尚宏 (ますだ・なおひろ)

横浜国立大学大学院修了後、東京電力入社。福島第二原子力発電所ユニット所長、原子力・立地本部福島第二原子力発電所所長を経て、2014年4月から現職。

当社原子力発電所の事故から、まもなく4年が経とうとしておりますが、今もなお発電所周辺地域の皆さま、社会の皆さまに大変なご迷惑とご心配をおかけしておりますことを、あらためて深くお詫び申し上げます。

平成26年4月に福島第一廃炉推進カンパニーを設立してから半年が経過しました。私ども廃炉推進カンパニーは、福島第一の安定化と廃炉に向けて専心し、福島を安全な環境に戻すことが最重要のミッションです。廃炉推進カンパニーの立ち上げにあたり、廃炉・汚染水処理という難題に、オールジャパンで知恵や力を結集して一緒に立ち向かうため、原子力に関する豊富な経験と高度な技術、国際的な知見を有している、原子力メーカーの3名の方にバイスプレジデントとして加わっていただき、現在、大いに活躍いただいているところです。

また、この喫緊の課題である汚染水対策には国の協力もいただきながら、重点的に取り組んでおり、多核種除去設備等による汚染水の浄化、地下水バイパスや凍土方式の陸側遮水壁の設置、タンクの増設等の各種対策を重層的に進めています。今後は、使用済燃料プールからの燃料取り出し、燃料デブリの取り出し等、廃炉作業のステップを進めていくこととなりますが、未知への挑戦が多々ありますので、原子力関係者のみならず、多くの皆さまにお力添えをいただきながら、進めていきたいと思っています。

平成26年8月には、国が前面に立ち、より着実に廃炉を進めることができるよう支援体制を強化するとの方針から、「原子力損害賠償・廃炉等支援機構」が発足しました。国内外の英知を集め、燃料デブリ取り出しや廃棄物対策などの重要課題の立案や研究開発の企画・進捗管理など、中長期的な廃炉に関する技術的な課題解決について、国との連携が深まったことを、大変心強く感じています。

私は、廃炉への取り組みは、実に多くの人たちに支えられていることを一時も忘れたことはありません。例えば、長きにわたる廃炉作業を着実に進めていくためには、一緒に働く協力企業の方々の力が不可欠となります。福島第一で働く方々が安心して働けるよう、たゆまず作業環境の改善にも取り組んでいかなければなりません。

また、私どもと協力企業の方々が廃炉を担う人材の確保や育成を確実に進めるように、随意契約をはじめ、将来まで工事量を見通せるような契約も活用しています。こうした工夫で受注した企業が基本設計の段階から参加し、その企業のノウハウをしっかりと活かしていただくことも可能となり、プラントや設備の信頼性を向上させるとともに、安定した雇用にも繋がるものと考えています。

廃炉という仕事は、30～40年の長きにわたる大規模なプロジェクトになります。私ども廃炉推進カンパニーは、福島第一の廃炉という世界中が注目している作業を、国内外の英知を結集し、安全・着実に責任を持って実施していく所存です。今の福島第一の現場を長期にわたる廃炉作業に相応しい安定した普通の作業現場とすること、安心して働ける作業環境を整備すること、そして、一日でも早く福島を安全な環境に戻し、地元の皆さまに安心していただくことに、今後も全力を尽くしてまいります。(2014年10月15日 記)



日本学術会議における HLW 処分問題の検討



山地 憲治 (やまじ・けんじ)

(公財)地球環境産業技術研究機構
理事・研究所長

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。
1977年に電力中央研究所入所、米国電力研究
所(EPRI)客員研究員、東京大学教授を経て、
2010年より現職。

2010年9月、原子力委員会は日本学術会議(以下、学術会議)に対して、立地が難航している高レベル放射性廃棄物(以下HLW)処分について、国民に対する説明や情報提供のあり方に関する審議を依頼した。この依頼への回答作成に当たって、学術会議は人文社会科学から理工学にわたる総合的検討が必要と考え、第1部、2部、3部の各部会からメンバーを選んで委員会を構成して対応した。

委員会での審議中に東日本大震災による福島原子力事故が発生し、2012年9月に取りまとめた回答¹⁾の作成にあたって、国民に対する説明や情報提供のあり方をどうすればよいかという問いに対して、狭い意味での説得技術を超えた検討が必要であり、これまでの政策方針や制度的枠組みを自明の前提にするのではなく、原点に立ち返って考え直すこととした。

学術会議の回答では、HLW処分に関する政策は抜本的に見直す必要があるとして、HLWの「総量管理」と「暫定保管」という概念を提示し、この2つを柱として、多様なステークホルダーが討論と交渉を行い、政策を再構築する基本的な手続きを提案した。

学術会議の回答は社会的に注目され、政府もHLW処分に関する審議会を再開して対応を検討し始めた。学術会議においても2013年夏に、前回とほぼ同様のメンバーでフォローアップ委員会を立ち上げ、特に暫定保管の具体的検討のため、委員会の下に社会的検討と技術的検討を行う2つの分科会を設置し、両分科会はそれぞれの報告を2014年9月に取りまとめた。

「回答」における総量管理と暫定保管の位置づけ

総量管理には、「総量の上限の確定」と「総量の増分の抑制」が含意されている。前者は社会が脱原子力を選択する場合に対応し、後者は原子力を一定程度維持する場合に対応している。前者のみに着目して学術会議の回答は脱原子力を前提としているように引用される場合があるが、誤解である。

暫定保管については、期間を限定してHLWを保管し、その期間を使って最終的な処分方法について合意を得ることを目的として提案した。

なお、回答においてはHLWとして再処理後のガラス固化体と共に再処理前の使用済燃料も想定しており、HLWの暫定保管には、ガラス固化体の保管と使用済燃料の保管の両者があり得る。使用済燃料については現在乾式キャスクによる中間貯蔵施設の建設が進んでいるが、これは貯蔵後は再処理を行うことを前提とした中間貯蔵である。一方、回答で提案した暫定保管は、貯蔵期間を活用して保管後の扱いを検討するモラトリアムの提案である。

暫定保管の技術的検討

2014年9月に取りまとめた学術会議の暫定保管に関する技術的検討の報告²⁾においては、HLWの地層処分施設において一定期間回収可能性を確保する技術を含めて検討を行った。

使用済燃料とガラス固化体の数十年にわたる貯蔵・保管は国内外で多数行われており、主な貯蔵技術として、使用済燃料の場合は湿式のプール貯蔵、乾式のキャスク貯蔵とボルト貯蔵が、ガラス固化体の場合は乾式の金属キャスク貯蔵とピット貯蔵(技術的にはボルト貯蔵と同等)が実用化している。地層処分施設において回収可能性を確保する技術は研究開発段階である。

暫定保管の経済性は保管容量と保管期間によって変化する。使用済燃料保管の場合は、保管期間が長くなれば湿式よりも乾式貯蔵の方が有利になる。地層処分施設において回収可能性を確保する場合は、処分のステップの進行に応じて回収が困難になるのでコストが増大すると想定されるが、具体的な経済性評価は今後の課題である。

安全性確保は、実用化されている数十年程度の保管に関しては閉じ込め機能等について各種のモニタリング等の安全確保技術が開発されている。50年を大幅に超えるような長期間の保管を行う場合で、保管の継続が技術

的に不適切と判断される場合には施設・設備の更新で対応することになる。

保管施設立地に求められる地盤・地質等の条件については、地上保管の場合は、基本的には他の原子力施設の場合と同様になる。地下保管の場合は、地上保管の場合に比べて自然現象による影響が緩和されるが、一方で、地下坑道の健全性確保や冷却機能の維持等安全性確保にかかわる追加的な条件を考慮する必要がある。また、深度が深くなるほど施設の建設コストが増大する。

暫定保管のシナリオは、保管対象、保管期間、保管施設の容量、保管施設の立地場所等の項目の組合せで構成される。保管対象は使用済燃料とガラス固化体の双方を想定し、保管期間は50年から最大300年まで、保管容量は使用済燃料換算で数百トンから数万トンまで、施設の立地場所としては原子力発電所、再処理工場、独立立地点及び処分場で回収可能性を確保する場合とした。報告においては、これらの項目の組合せの中から、技術的実現可能性を考慮していくつかの暫定保管シナリオに絞り込み、それぞれのシナリオのイメージを明確にした上で課題を整理した。

暫定保管の技術的な調査検討の主要な結果は次の項目にまとめられる。

(1) 学術会議が提案した暫定保管施設には使用済燃料の場合でもガラス固化体の場合でも基本的に乾式貯蔵技術が適している。

(2) 安全性確保のための各種モニタリング技術等は実用化しているが、保管期間が50年を大幅に超える場合には、施設・設備の更新による対応を準備しておく必要がある。

(3) 暫定保管施設の立地に求められる地盤・地質条件は、地上保管の場合は、在来の原子力施設の場合とほぼ同様と考えられる。地下保管の場合には、地層処分に準ずる必要がある。

(4) 使用済燃料の場合とガラス固化体の場合に分けて、技術的実現可能性を考慮した幾つかの暫定保管シナリオを設定して課題を整理した

(5) 設定した暫定保管シナリオは、HLW 処分場で回収可能性を確保する場合には今後の研究開発が必要であり、また他のシナリオにおいても50年を大幅に超える保管期間を想定する場合には安全性確保について更なる検討が必要である。なお、社会的制約を考慮すれば、搬出先を特定せずに保管施設の立地が可能かどうかなど検討を要する多くの課題が想定される。

科学的自律性確保が意味するもの

学術会議の回答で提言した「科学・技術的能力の限界の認識と科学的自律性の確保」をめぐって、学術の役割について興味深い議論が行われた。

回答公表後に行われた学術フォーラムでは、原子力発

電環境整備機構(NUMO)の地層処分の信頼性に関する報告に対して、地震学の専門家からは我が国のような地震列島ではHLW処分はできないという発言があり、地質学の専門家からは、相当限定されるが、我が国にも地層処分が可能な場所が存在するとの見解が示された。

この議論を聞いていて、筆者は理学と工学の間での科学に対する認識の違いを強く感じた。

科学哲学者のポパーが言うように、文系の学術も含めて、科学的命題(主張)には反証可能性が必要である。したがって、科学には証拠が必要であり、相手の主張を否定するにはその証拠に対する反証が必要である。

理学が対象とする自然界では、再現実験による確認など証拠の客観性は高い。ただし、自然科学の範囲でも、科学的不確実性はある。これは、証拠の観測の限界や限られた証拠からの論理的帰結が複数あり得ることによる。科学者の醍醐味は一定の証拠を合理的に説明する仮説を提案するところにあるが、理学においては自然観測や実験による実証が最も重要な関心事になる。つまり、純粋の理学では科学の実証の場は自然あるいは実験のように条件が一定に整備された人工環境であり、人間が関与する現実社会の不確実性や社会の価値判断に基づく制約条件は排除されている。

一方、工学は科学的知見を人間社会に適用して課題を解決するという目的を持っている。工学者にとっては、科学的不確実性の下でも、安全性や経済性などの条件を満たして、人間社会が有効に使える技術や仕組みを提案することが主要な使命である。ここで、技術が満たすべき安全性や経済性などの条件は社会から与えられるものである。したがって、工学者の成果は、最終的には社会的実践の中で実証が行われる。

学術の役割とは

学術フォーラムの締めくくりのあいさつの最後に、筆者は直前に出席した国際会議で聞いた Science without policy is science, but policy without science is gamble. という警句を引用した。確かに、科学者の役割の基礎には、真理の探究という社会から独立した自律性がある。しかし、学術も科学者も社会の中に存在することは事実である。科学の自律性は社会からの信頼と負託の上で成立しており、社会的期待に応える科学の役割を自覚する必要がある。

HLW 処分問題は社会が解決を要請している重要な問題であり、学術はその総合力を発揮して解決に寄与する責任がある。

(2014年11月12日記)

— 参考文献 —

- 1) 日本学術会議：回答「高レベル放射性廃棄物の処分について」, 2012年9月11日。
- 2) 日本学術会議：報告「高レベル放射性廃棄物の暫定保管に関する技術的検討」, 2014年9月19日。



「国民との科学・技術対話」とは？



白井 哲哉 (しらい・てつや)

京都大学 学術研究支援室
岡山大学大学院自然科学研究科修了，博士(理学)。京都大学大学院生命科学研究所 特任助教，同大人文学研究所 特定助教などを経て，2014年より現職。

12月某日，京都大学百周年時計台記念館，そこに足を踏み入れると，大きな広間に研究を紹介したポスターと研究に関する実物を展示したブースがずらりと並んでいた。一つ一つのブースには研究者が立っており，まるで出店のようなそれらの数は約50。大勢の研究者と市民とが立ち話をする光景が見られた。そして，広間の中央には4畳ほどの畳のブースが4つ。各ブースにはコタツが設置されていた。そこでも研究者と市民がコタツを囲んで熱心に語り合っている光景が見られる。延べ150名以上もの研究者が約500名もの市民と対話をするこの会場は熱気に包まれていた(下図)。

なぜこのような取り組みを京都大学が始めたのか。そのきっかけとなったのは，2010年6月，内閣府・総合科学技術会議から出された『「国民との科学・対話」の推進について(基本的取組方針)』である。この基本的取組方針では研究者が自身の研究活動を社会に対してわかりやすく説明し，倫理的・法的・社会的課題と向き合う双方向コミュニケーション活動を行うことが求められている。

このような活動が始まっているのは，日本だけではない。そもそも世界大戦以前，科学・技術は今よりも市民に開かれた存在であった。それが先進国を中心に科学・技術に国家予算が大きくさかれるようになり，科学者という職業に従事できる人口が増加した。それに伴い専門分野も細分化，内容も発展・進化し，市民と科学者コ



京都大学アカデミックデイ

ミュニティの間に乖離が生まれるようになった。この状況を受け，1985年，英国王立協会では“The Public Understanding of Science”として科学者は市民の科学理解を進める必要性を説いている。1990年代に入ると，環境問題やクローン・遺伝子組み換え作物などに代表されるバイオテクノロジーの問題が顕在化し，科学者への不信感を社会が抱く機会が増加した。1999年の世界科学会議(ユネスコと国際科学会議が主催)では『「知識のための科学」から『社会のための科学』へ』が提唱され，科学と社会との対話が重視されるようになった。

この流れは日本も大きく変わらない。日本の場合，1993年頃より理科離れが問題とされ，研究者が科学を伝えることが求められ始めた。そして2001年，第二期科学技術基本計画においては「科学技術と社会の新しい関係の構築」が言及され，2006年，第三期科学技術基本計画では「社会・国民に支持される科学技術」として双方向コミュニケーションの必要性が唱えられるようになった。この頃より，科学者には，社会に科学を伝えるだけでなく社会の声を学ぶことが求められるようになった。

そして，日本では2011年，東日本大震災が起きた。まだ記憶に新しいが，この未曾有の災害でも科学・技術と社会との乖離についての課題が浮き彫りとなった。当時，マスメディアにも「専門家」として多くの科学者が出演し，普段聞き慣れない専門用語もよく聞かれた。市民は新聞やテレビだけでなくWEBやSNSなどのソーシャルメディアを通じて情報を得ることもできた。その中で語られる「専門家」といった言葉の解釈や，多様な情報媒体に対する信頼度の違い，これらのギャップが科学者と市民とのコミュニケーションに影響をもたらしていることが見受けられた¹⁾。この大災害の経験を受け，2011年第四期科学技術基本計画では「社会とともに創り進める政策の展開」が重視されている。研究者には科学を伝え，社会の声を学び，そして社会と協働することが現在求められている。

このように，双方向コミュニケーションを重視した

「国民との科学・技術対話」を研究者に求める機会が増えている。実際、文部科学省による科学研究費補助金の研究計画調書(申請書)には、「本研究の研究成果を社会・国民に発信する方法等」を記載する欄が設けられた。また、2011年以降、大型の研究プロジェクトでは「国民との科学・技術対話」の活動を義務化しているものも珍しくはない。このような状況の中、現場の研究者は、「何をすべき?」「どうやって活動をすればよい?」といった悩みを抱えている。さらには、このような活動に時間が割かれることを負担と感じる研究者も少なくない。特に任期付きのポジションである多くの若手研究者が感じる負担は大きい²⁾。「国民との科学・技術対話」活動を行うには研究者が携わる以上、研究現場を鑑みた体制作りが必要である³⁾。

冒頭で紹介した「京都大学アカデミックデイ」は、京都大学に2012年に誕生した学術研究支援室のURA (University Research Administrator)が中心となって企画・運営を行っている。URAは学術研究のマネジメントや支援を行う専門職として近年、日本の大学・研究機関での配置が増えている人材である。京都大学のURAはこの「京都大学アカデミックデイ」を「国民との科学・技術対話」支援と位置づけて活動を行っている。

京都大学のURAによる「国民との科学・技術対話」支援のポイントは3つである。1つは、対話の場のデザインと提供である。研究者からの一方通行の情報発信ではない「対話」が行える場をデザインし、その企画の運営をURAが担っている。例えば、コタツの場は、研究者がレクチャーを行うのではなく、市民と同じ目線で対話することを目的にデザインされた場である。

2つ目は活動に参加する負担軽減と対話の促進を目的としたレクチャーを研究者に行うことである。学会での発表と異なり、非専門家への研究紹介や市民との対話に慣れていない研究者も多い。その準備には労力的な負担だけでなく、初めての活動へ参加する精神的な負担も存在する。この負担を解消するために、URAは研究者を対象に事前の説明会を開催している。説明会では、非専門家との対話における準備やコツのアドバイスを行うことで、市民との円滑な対話の促進も図っている。

3つ目は活動そのものの報告と効果測定である。URAによる「国民との科学・技術対話」活動は参加研究者と一般来場者の双方にアンケート調査を行っている。企画の効果や運営の振り返りをすることで、このような活動のノウハウの蓄積と共有を行っている。またアンケート結果を含めた開催報告書を作成することで、個々の研究者が各プロジェクトへの「国民との科学・技術対話」活動の報告を行うサポートにもなっている。

URAと研究者とで取り組んでいる「国民との科学・技術対話」は、海外の大学でも見受けられる。欧州ではこれらの活動はPublic Engagementと呼ばれており、そ

の活動の機会は日本より多く、規模や種類も多様である。また、研究機関・研究者コミュニティには、Research ManagerやPublic Engagement Managerと呼ばれる専門の人材が存在し、Public Engagementの活動は彼らがコーディネートし、研究者と共に取り組んでいる。さらには、これらの活動が評価されるシステムも備わっている。英国では行政機関の主導によりResearch Excellent Frameworkと呼ばれる研究の質を評価する新たな研究評価システムが2011年より(パイロットは2008年より)始まっている。ここではPublic Engagementの活動も研究活動の一環として評価される仕組みが導入されている。このような体制は、科学・技術と社会との接点に大きな影響を与えられると思われる。

内閣府による「国民との科学・技術対話」の基本的取組方針の中には、大学・研究機関に対して「研究者等に対して、積極的に『国民との科学・技術対話』を行うよう促すとともに、個人の評価につながるよう配慮する」と記載されている。しかしながら、日本では研究者の個人評価に繋がる明確な体制がないのが現状である。一方で、欧州と同じく「国民との科学・技術対話」を専門的に担う人材は日本でも生まれつつある。2005年より科学コミュニケーションの活動は行政機関主導で活発となり、科学コミュニケーターの要請事業も展開された。そして現在、URAといった研究マネジメント人材を配置する大学や研究機関が急速に増えており、その中には、科学コミュニケーションに携わってきた人材も見られる。

社会の中で科学・技術を育むにはPublic Engagementの活動は欠かすことができない。日本において「国民との科学・技術対話」に代表されるこれらの活動やそれを行う体制整備は、欧州に遅れをとっている。が、その活動を担う人材の土壌は日本にも備わりつつある。普及・定着に向けた課題はまだまだあるものの、一番のポイントは人材の配置と活動の評価についての大学・研究機関のガバナンスである。科学技術立国を目指す日本において、今後Public Engagementの活動の需要はなくなることはないだろう。これらの活動を研究者だけに託すのではなく、科学・技術に携わる多くのStakeholderが自分自身の課題として考え、議論を深め、体制整備がさらに進むことを期待したい。(2014年10月26日記)

－ 参考文献 －

- 1) 白井哲哉, 他, 2011:「原発をめぐる情報伝達に関する意見交換会から得られたコミュニケーションギャップ」科学コミュニケーション, 9:107-119.
- 2) 白井哲哉, 他, 2008「研究現場に活かされるコミュニケーション活動をめざして」『蛋白質 核酸 酵素』共立出版 53(3):274-280.
- 3) 白井哲哉, 他, 2011「科学者コミュニティによる双方向コミュニケーション活動:『ゲノムひろば』の実戦から」科学コミュニケーション, 10:53-64.



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。

電源開発、大間原発の安全審査を申請

電源開発は2014年12月16日、原子力規制委員会に対し、青森県大間町で建設中の大間原子力発電所についての原子炉設置変更許可申請書と工事計画認可申請書を提出した。新しい規制基準のもとで建設中の原発の審査申請は、これが初めて。また、同原発は商業炉として

は世界で初めて、MOX燃料を全炉心で使う。

設計で想定されている基準地震動は650ガル。津波は最大6.3mを想定しているが敷地が海拔12メートルにあるため、津波が流入するおそれはないとしている。

(原子力学会編集委員会)

中国やインドの影響大、エネ研が2040年までのアジアを展望

日本エネルギー経済研究所はこのほど、2040年までの中国とインドのエネルギー需要と気候変動問題について分析した「アジア/世界エネルギーアウトック2014」を発表した。それによると現状のエネルギー需給や政策・技術導入が続くとする「レファレンスケース」での世界の1次エネルギー消費は、12年の石油換算133億7,100万トンから40年には192億7,600万トンへと44%増加し、化石燃料に大きく依存する世界の構図は変わらないとしている。エネルギー消費増の中心はアジアで、なかでも中国とインドの増分で世界全体の46%を占めるとしている。

天然ガスは40年までに消費が急速に拡大し、石炭を抜いて石油に次ぐ第2のエネルギー源となり、風力、太陽光の発電設備容量はそれぞれ現状の3.5倍、6.4倍

に拡大。原子力発電設備容量も13年の389GWから618GWに拡大し、発電電力量は4,451TWh(総発電量の11%)に達すると分析した。

アジアの原子力発電設備容量については中国が13年の13GWから、「レファレンスケース」では132GW、「技術進展ケース」では195GWに、インドが同じく5GWから同46GW、89GWに急増する一方、日本では20GW、33GWと現在よりも縮小するとの見通しだ。

また、中国とインドの「低成長ケース」を想定した場合、中東・旧ソ連の石油・ガス純輸出を押し下げ、天然ガスは40年までの純輸出増加分で最大3割が失われるものとみている。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

エネ調WGが廃炉会計制度を検討、1基当たり210億円と試算

総合資源エネルギー調査会のワーキンググループは2014年11月25日、廃炉を円滑に進めるための会計関連制度の検討を開始した。エネルギー基本計画に記載される原子力依存度低減方針や、今後の高経年炉の増加を踏まえたもの。同日行われた会合では資源エネルギー庁が同調査会原子力小委員会における関連の議論について説明するとともに、検討すべき具体的課題を整理。運転開始後40年が経過した7基(敦賀1号、美浜1、2号、高浜1、2号、島根1号、玄海1号)を廃炉する場

合に一括計上が必要と見込まれる額は、1基当たり210億円程度との試算を示した。

現行の制度では廃炉をする判断した場合、設備の除却費などを回収するため料金改定が必要となる。会計面では費用の一括計上により財務状況が悪化することから、一度に当該費用を発生させるのではなく一定期間をかけて償却・費用化を認める会計措置の検討を行うこととしている。

原産協会が原子力産業動向調査結果発表

原産協会は11月20日、13年度を対象に実施した「原子力発電に係る産業動向調査」の結果概要を発表した。原子力発電産業に係る支出・売上げ、従事者を有す

る営利企業446社へ調査票を配布し、うち263社(電気事業者11社、鉱工業他240社、商社12社)から有効回答があった。調査結果によると13年度は、福島第

一原子力発電所事故以降、減少を続けていた電気事業者の支出高が3年ぶりに増加。前年度から97億円増の1兆5,083億円、鉱工業他の売上高も4年ぶりに増加に転じ、同428億円増の1兆5,904億円となった。一方で鉱工業他の受注残高は同3,049億円減の1兆6,892億円で、依然として減少傾向が続いている。

原子力関係従事者数は前年度からの増加傾向が継続し、電気事業者で62人増の1万2,424人、鉱工業他では1,606人増の3万6,153人、全体で1,668人増の

4万8,577人となった。原子力発電立地の地元雇用者数は2万2,860人となり、従事者数に占める割合は、前年の43%を若干上回り47%となった。

また、電気事業者の13年度の原子力関係支出高は前年度比1%増の1兆5,083億円となり、総支出高19兆3,091億円の8%を占めた。前年度から支出が増加した費目では「土地・建屋・構築物」の123%増が目立ち、「運転維持・保守・修繕費」(35%減)は大きく減少した。

RITE、2050年の温室効果ガスは原子力活用で30%減と予測

地球環境産業技術研究機構(RITE)の研究グループはこのほど、日本と世界の温室効果ガス排出量見通しを発表した。それによると日本の温室効果ガス排出量は、全基停止している原子力発電所が順次再稼働し、2030年に運転開始40年までのすべてのプラントが稼働し、その後も50年まで同じ発電電力量が継続すると想定した場合、15年をピークにその後は減少。20年に05年比2%減、30年に同10%減、50年に同30%減となると見通している。

一方、世界の温室効果ガス排出量は化石燃料供給の増加に伴い、20年に539億トン、50年には764億トンに達するとしている。排出量の各国比率では中国が10年の25.7%から20年には27.0%に拡大するが40年頃にピークを迎え、50年には22.2%と縮小に転じ、インドでは10年の6.3%から20年に7.9%、30年に10.0%、50年には米国を抜いて14.2%にまで拡大すると予測している。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

IEA、原子力設備は2040年に6割増と予測

国際エネルギー機関(IEA)は11月12日、長期的な世界のエネルギー動向を見通した「世界エネルギー見通し(WEO)2014年版」を公表した。今回は初めて予測期間を2040年まで延長するとともに、原子力発電の現状と展望を詳細に検証しているのが特徴。中国など4か国を中心に世界の原子力設備は40年までに6割増加するものの、発電シェアは歴史的なピークを迎えた約20年前より、かなり低いレベルに留まるとした。また、競争市場等でのリスクや使用済み燃料の増加、国民受容という大きな課題への取り組みに加え、40年までに約200基が閉鎖時期を迎えることから、1千億ドルを超える廃炉基金確保の必要性を呼びかけている。

「WEO2014」の主要シナリオによると世界の1次エネルギー需要量は40年までに37%増加する一方、供給側は原子力と急速に拡大する再生可能エネルギーなどの低炭素エネルギー、停滞期に入る石油と石炭、および

天然ガス——の4要素がほぼ同量になると予測した。世界のエネルギー部門では多くの長期的不確定要素が浮上しており、各国の政策決定者はこうした長期的なストレス兆候をきちんと認識し、それと取り組むことから目をそらしてはならないと警告している。

<原子力の現状と展望>

2013年末に原子力発電は世界で434基・3億9,200万kWの商業炉が運転中だった。総発電量におけるシェアは11%で、ピークだった1996年実績の約18%からは低下している。設備容量の80%以上はOECD諸国のもので、非OECD諸国のシェアは低い。しかし、現在建設中の7,600万kW分のうち4分の3以上が非OECD諸国の計画であり、将来的な容量拡大の大部分はこれら諸国における設備が占める。

新たなエネルギー政策が実行に移された場合のシナリオでは、世界の原子力設備は40年までに60%増の6億2,400万kWになると予測されるのに対し、発電シェアは12%と1ポイント増加する程度。ここでは追加容量として3億8千万kWを加える一方、1億4,800万kW分が閉鎖されると計算している。中国、インド、韓国およびロシアで設備容量の拡大が最も目覚ましく、

中国で予想される増加分 1 億 3,200 万 kW は米国とロシアの既存設備を合計した容量よりも大きい。インドとロシアでもそれぞれ、3,300 万 kW と 1,900 万 kW 分増加する見通しだ。

＜原子力の有用性＞

国際的な燃料市場の混乱に原子力が関わる程度に限られているのに加え、信頼性のあるベースロード電源という役割からも、原子力はエネルギー・セキュリティを促進することができる。原子炉を新設する際の先行投資コストは高額で時に不明瞭だが、原子力は電力価格が安定しているほか、国際収支の改善に役立つなど経済的な恩恵の提供が可能。世界全体の原子力設備容量が現在より 7% 低下するとした「低原子力シナリオ」では、原子力利用国のエネルギー・セキュリティ指標が悪化する傾向が見られる。国内のエネルギー源で需要を賄える率を主要シナリオと比較した場合、日本で 13 ポイント、韓国で 6 ポイント、欧州連合では 4 ポイント低下すると考えられる。

原子力はまた、CO₂ の排出量削減に利用可能な限られたオプションの一つ。1971 年以降、原子力によって現在の排出率で約 2 年分相当の 560 億トンの CO₂ 排出が抑えられた。エネルギーの新政策シナリオでは 40 年までに 4 年分相当の排出量が抑制可能になると考えられる。

＜原子力の抱える課題＞

一方で原子力は大きな課題に直面しており、新たなエネルギー政策シナリオでは使用済み燃料の累積発生量が 40 年には現在の 2 倍以上の 70 万 5 千トンに到達する。最初の原子炉が運転を開始して 60 年が経過した現時点で、商業炉から出る高レベル廃棄物の永久処分施設を設置した国は未だ一つもなく、暫定的な貯蔵を続けている状態。これまでに原子力発電施設を保有していたすべての国に、これらの長期的な貯蔵で解決策を講じる義務がある。

また、経年化した多くの原子炉が閉鎖時期に近づいており、13 年以降 40 年までの間に約 200 基が閉鎖される計算。多くは欧州連合や米国、ロシア、日本の原子炉で、かなりの数の原子炉が新規設備でリプレイスされるものの、産業界ではこのようなかつてない規模の廃止措置を管理していく必要がある。IEA の見積りではこれらの廃止措置コストは 1 千億ドルを超えるが、現時点で原子炉の解体・除染やサイトの復旧経験が比較的に乏しいため、この額については非常に不明瞭な部分が多い。各国の規制当局や電力会社は、将来発生するこれらの経費をカバーするために適切な基金の確保を継続していく必要があるだろう。

【中国】 2020 年までに 5,800 万 kW の原子力を開発

中国の内閣に相当する国務院は 11 月 19 日、2014 年から 20 年までのエネルギー開発目標を設定した開発戦略行動計画を発表した。大気汚染問題の深刻化という背景から石炭の消費量削減を含め、クリーンで革新的かつ効率的で自給可能なエネルギー生産・消費システムの構築を目指す内容。原子力については 20 年までに大型 PWR を中心とした 5,800 万 kW の設備容量開発を目標に掲げている。

国務院はエネルギーの供給保障は中国の近代化全般に関わる問題と認識しており、行動計画の中でエネルギー開発における 5 つの戦略的タスクを特定した。すなわち、(1)「エネルギー自給能力の向上」=石炭のクリーンで効率的な開発利用や石油の国内生産量拡大、天然ガス開発を促進する、(2)「エネルギー消費改革の推進」=エネルギー消費量の過度な増加を厳しく統制するなど、エネルギー効率の改善プログラムを実施する、(3)「エネルギー供給構造の合理化」=石炭の消費割合を削減する一方、天然ガスの消費を拡大し、原子力発電の安全な開発と再生可能エネルギー開発を進める、(4)「エネルギー関連の国際協力を拡大」=二国間、多国間のエネルギー協力を進め、世界地域別のエネルギー取引市場を構築する、(5)「エネルギーの技術革新を推進」——だ。

「原子力発電の安全な開発」に関する項目では、国際的に最も厳しい安全基準を遵守するなど、安全性の確保を前提に、東海岸地域の原子炉新設をタイムリーに開始する。また、内陸部における建設の実行可能性調査を実施すると明記。特にウェスチングハウス社から導入した AP 1000 や、同設計を国産化・容量拡大した CAP1400 などの大型 PWR、高温ガス炉と高速炉の開発利用に集中する。

さらに核燃料の再処理技術研究を実施するほか、原子力発電の基礎研究と安全技術の研究開発を積極的に推進するよう提唱。核燃料サイクル・システムの改良も実施すべきだとした。こうした活動を通じて、20 年までに原子力設備を現在の 1,900 万 kW レベルから 5,800 万 kW まで拡大。建設中原発の容量もこの時点で 3,000 万 kW 以上とする方針である。

【米国】

規制委，新委員 2 名が就任宣誓

米原子力規制委員会(NRC)は11月5日、B・オバマ大統領が委員候補として7月に指名していたS・バーンズ氏が上院での承認を経て、NRC オフィスで就任宣誓を行ったと発表した。同様に指名されていたJ・バラン氏がすでに10月14日に宣誓を済ませていることから、2015年1月1日付けで退任予定のA・マクファーレン委員長を含め、5名の委員枠すべてが差し当たり埋まったことになる。

NRCの元法務顧問だったバーンズ氏は経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)事務局の法務部門長で、2014年6月にNRC委員としての任期が満了したG・アポストラキス氏の後任。バラン氏は議会下院・エネルギー商業対策委員会の民主党エネルギー環境局スタッフであり、8月末でNRCを去りOECD/NEA事務局長に就任したW・マグウッド氏の残余任期を務める。

B&W 社が分社化へ，原子力部門は「BWXT」社に

米国のバブコック&ウィルコックス(B&W)社は11月5日、発電機器事業部門を同名の新会社として独立させ、その株式をB&W社の株主に分配する一方、残りの原子力・政府関係事業部門はBWXTテクノロジーズ(BWXT)社と改名する方針を発表した。同日の取締役会は、この分社化計画を全会一致で承認。米原子力規制委員会(NRC)による規制審査、その他の条件をクリアした上で、2015年の夏までに新生B&W社の株式分配を完了する計画だ。

リスクの高い発電機器部門は大きな利益を生む潜在性がある一方、堅実で予測可能な政府関係事業では将来的な利益が少ない。投資家達の中にはリスクとセキュリティの面で異なる指向があることから、財政・運営面の性格が異なる両部門を切り離して一層明確な投資環境を提供し、それぞれに投資家を引き付ける狙いがある。また、両部門の戦略的優先度に沿った資本構成を展開できる柔軟性、個別の企業として外部成長戦略を遂行する機会の拡大を理由に挙げている。

新たなB&W社は新型化石燃料発電や再生可能エネルギー発電用の技術機器を提供予定。これには様々な環境制御製品、発電・産業用サービスが含まれており、プロジェクト主導の事業が中心となる。会長兼CEOには現B&W社のE・ファラント社長兼CEOが就任する。

BWXT社の方は政府向けの原子力機器・燃料供給が専門で、政府による複雑な施設の運営や環境復旧活動に技術・管理、サイト関連のサービスも提供。政府とのコスト折半プログラムで進めている小型モジュール炉(SMR)「mPower」の商業化や、商業用原子力産業向け精密機器やサービスの供給も同社が行うことになる。会長には現B&W社のJ・フィー会長、社長兼CEOには同事業部門のP・ベイカー社長が就任するとしている。

【英国】

AMEC 社がルーマニアの低中レベル処分場に助言提供

英国を本拠地とするエンジニアリング・プロジェクト管理企業のAMEC社は11月3日、ルーマニアの原子力発電所から出る放射性廃棄物の処分場建設について、同国の放射性廃棄物管理庁(ANDR)に技術的な助言を提供する了解覚書に調印した。

経済省の下で使用済み燃料を含めた廃棄物の安全な貯蔵と処分を担当するANDRは現在、同国唯一の原発であるチェルナボーク発電所(70万kW級CANDU炉2基)近郊のサリニーで低中レベル廃棄物の処分場(DFDSMA)建設を計画。同原発からの廃棄物を長期的に管理し、国としての廃止措置戦略を策定する際に必要な支援をAMEC社から得たい考えだ。

ルーマニアでは原発以外の、放射線の工業・医療・研究利用から出る廃棄物をパイタ・ピホル低中レベル処分場で1980年代半ばから貯蔵管理する一方、チェルナボーク原発からの使用済み燃料は6年間貯蔵プール内で冷却した後、敷地内の乾式中間貯蔵施設(DICA)で平均50年間の予定で貯蔵している。このような高レベル廃棄物は最終的に深地層で回収不能処分する計画だが、所内で使用した防護装備や樹脂、溶剤といった低中レベル廃棄物はセメントと混合してキャニスターに封入。浅地層のコンクリート製処分室に埋設する方針である。

チェルナボーク原発を所有する国営原子力発電事業社(SNN)は1990年代初頭、同国初の原子炉となった1号機が97年に運開する前からDFDSMAのサイト選定作業に参画。96年までに37地点の候補地を特定した後、97年にサリニーを最も好ましいサイトに選定した。2004年になると政府当局はこの分野の責任を引き継ぐ国家機関としてANDRADを創設。後に原子力機関と合併してANDRとなる同機関は、08年に規制当局である原子力活動国家管理委員会(CNCAN)からサリニーでの部分的立地許可を取得し、サイト特性評価作業を実施済みである。

【フランス】 EDF、フラマンビル3号機の完成 を2017年に先送り

フランス国内で稼働中の原子炉58基をすべて所有・運転するフランス電力(EDF)は11月18日、同国初の欧州加圧水型炉(EPR)として建設中のフラマンビル原子力発電所3号機(163万kW)の完成を1年遅延し、2017年になるとの建設スケジュールを発表した。スケジュール改定の理由としてEDFは、主契約者のアレバ社が次のような問題点に直面していると説明。すなわち、(1)圧力容器の上蓋や内部構造物といった特定機器の納入の遅れ、(2)前例のない設計となる同機の機器に課された規制の実行が難しく、これがアレバ社と下請け企業による一連の組み立て作業に適用されたこと——である。

アレバ社はまた、蒸気発生器(SG)の溶接不良分析や加圧器バルブの品質検査、圧力容器上蓋材料の冶金学的詳細分析などについて進行状況をEDFに報告。EDFではこのような最新情報を下請け業者グループ全員で共有した上で、建設スケジュールに統合している。

【ドイツ】 E・ON社、原子力など発電部門を 分社化へ

ドイツで4基の原子炉を操業するE・ON社は11月30日、原子力を含めた発電部門を分社化し、風力・太陽光といった再生可能エネルギーや、トルコと欧州市場における配電網の性能向上事業に特化していくとの新戦略を発表した。福島第一原発事故を契機にドイツ政府がエネルギー政策を再生エネにシフトさせて以来、同社の収益は悪化の一途を辿っていることから、異なる事業内容と目的により2つの企業に分離・独立させることが従業員の雇用を保障する最良の方法だと説明している。

この新戦略は取締役会が提案したもので、同日に開催された監査役会は満場一致でこれを承認。このほか、第4四半期の減損費用が市場環境の変化に伴い45億ユーロにのぼる見通しであることや、スペイン資産の売却により新会社の財政的な柔軟性が向上すること、イタリアでの負の投資活動を評価中であることなどを確認した。

新会社としてスピノフするのは原子力や火力などの発電事業に加えて、世界市場でのエネルギー取引、および北海における石油・ガス探査と生産などだ。天然ガスは特に、探査や生産、輸送、長期の販売契約、相当量の貯蔵容量といった盤石な体制により、新会社は将来的に

も中心的な立場を維持していくとした。また、原子力を含む発電資産の解体・処分も新会社のバランス・シートで全面的にカバー。ライン＝ルール地域に本社を置いて、約2万人の従業員を雇用するとしている。

株式の大部分は公開する予定で、E・ON社は2015年にも法的手続きなどの準備作業を開始し、16年に新会社としての設立を完了する計画である。

【ハンガリー】 パクシュ2号機の運転認可が20年 間延長

ハンガリーの国家原子力庁(HAEA)は11月25日、同国唯一の原子力発電所であるパクシュ原発2号機(50万kW)の運転期間を2034年末まで20年間延長することを承認した。運転開始当初の認可が30年間だったことから、同炉の運転期間は合計50年になる計算だ。

出力50万kWのロシア型PWR(VVER)4基が稼働する同原発は国内の総発電量の4割を供給するなど、同国にとって重要な発電設備。1号機については事業者である国営MVM社の申請を受けて、すでに2012年12月にHAEAが20年間の運転期間延長を認めている。今後は16年と17年にそれぞれ運転認可が切れる3、4号機についても、順次延長されていくと見られている。

MVM社はまた、同原発のⅡ期工事として2基増設することも計画中。総工費の8割にあたる100億ユーロをロシアからの低金利融資により建設することで、2014年1月にロシアとの政府間合意に達しており、120万kW級のVVERが2基、建設されることになった。

ハンガリー議会は2014年6月末にこの融資協定を承認済みで、HAEAもⅡ期工事のプロジェクト会社が実施するサイト調査の範囲と方法を11月14日に許可。最終的にこの調査の結果に基づいてサイト認可の申請が行われることになる。

【チェコ】 国営電力がスロバキア電力の買収 意志を表明

チェコの国営電力会社(CEZ)は11月19日、イタリア電力公社(ENEL)が保有するスロバキア電力会社の株式66%を購入する意志があることを正式に表明した。

この計画は10年前からCEZが検討を続けていたもので、同社はチェコとスロバキア両国の原子力と水力の発電設備を統合することで、その運転と開発に相乗効果

が生まれると期待。その一方で、スロバキア電力によるモホフチェ原子力発電所3、4号機(47.1万kW)のロシア型PWR2基増設計画が遅延している点については、「さらなる分析を実施し、遅れによる負債問題を解決する必要がある」と指摘している。

ENELはイタリア政府が原子力の復活を検討していた2005年、原子力事業の自社ノウハウ強化を目的にスロバキア電力の株式を購入した。しかし、その後グループ内の債務を削減する必要性が生じ、60億ユーロ相当の資産売却計画を2013年から開始。2014年7月にはその一環として、スロバキアとルーマニアで所有する資産の売却プログラムを公表していた。

スロバキア電力の発電設備は原子力と水力、および石炭火力合わせて570万kWほどで、ENELによる保有株式を除いた残りの34%は同国政府が保有している。モホフチェ3、4号機計画の遅れはENELによる株式売却プログラムのネックとなっており、完成日程は当初予定から4年遅れの2016年と17年になる模様。工期の延長により生じた追加経費は少なくとも8億ユーロに達すると伝えられている。

【トルコ】

中国とWH社がトルコとの交渉開始、AP1000など4基建設へ

中国の国家核電技術公司(SNPTC)と東芝傘下のウェスチングハウス(WH)社は11月24日、両者がトルコの3番目の原子力発電所建設サイトなどにWH社製AP1000技術に基づく原子炉4基を建設する方向で、同国の国営発電会社(EUAS)と独占交渉を開始することになったと発表した。これら三者間の協力覚書に調印したものの、中国はAP1000技術をベースに開発した出力140万kW級の「CAP1400」で知的財産権を保有しており、将来的な輸出用の主力と位置付ける同設計をAP1000とともにトルコのイーネアダ原発用に提案する考えと見られている。

トルコは2023年までに3地点で原子力発電所を建設するという目標を掲げている。アックユ、シノップに次ぐ3番目の原発建設計画に関する交渉の開始で2012年2月に中国政府と合意した際、A・ババジャン副首相が北西部のボスポラス海峡を挟んだヨーロッパ側、クルクラーリ県のイーネアダにおける計画に言及していた。

今回、三者が合意した協力は、原子炉の運転から燃料供給、保守点検、エンジニアリング、発電所サービスおよび廃止措置まで、原発のライフ・サイクルにおけるすべての活動をカバーしている。中国では世界初のAP1000となる原子炉が浙江省・三門と山東省・海陽

で2基ずつ建設中であることから、SNPTCの王炳華会長は「WH社との協力で世界市場に進出し、中国の最新技術や産業システム、サービスなどを世界の顧客に積極的に提供していく重要な一歩だ」と指摘。受動的安全系を備えた第3世代の先進的原子炉技術の建設で両社が培ってきた経験をトルコにもたらしたいとの抱負を述べた。

EUAS幹部も今回の予備的合意を通じて、最も厳しい安全基準に適合した最も競争力のある最新技術を国内に導入したいとコメント。第3地点での計画はトルコにおける電力供給要素の分散化とともに、地域へのエネルギー供給強化という方針に合致している点を強調した。

【イラン】

ロシアと議定書調印し最大8基新設へ

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社は11月11日、イランのプシェール原子力発電所(100万kWのロシア型PWR1基)に、Ⅱ期工事として新たに2基を増設する契約を同国の事業者と結んだと発表した。同時に、既存の政府間協力協定を補完するためにイラン原子力庁(AEOI)と締結した議定書には、プシェール原発サイトにロシア型PWRをさらに2基、およびその他のサイトで4基をターン・キー契約で建設する協力の可能性を明記。これら8基で使用する核燃料はロシアが供給するとともに、使用済み燃料は再処理・貯蔵のために引き取るとするなど、両国の協力が平和利用分野である点を強調。国際社会が危惧する核兵器開発への転用疑惑を払拭する形となっている。

プシェール原発は1974年に独シーメンス社が1号機の建設を開始したが、5年後のイラン革命により同社は撤退。92年8月にロシアとイラン両国政府が結んだ「イラン領土内における原子力発電所建設協力に関する政府間協定」に基づいて、アトムストロイエクスポルト(ASE)社が95年に完成工事計画を受注した。その後、1号機は2011年9月に送電を開始。2年間の試運転を経て、2013年9月に正式にイラン側に引き渡されるとともに営業運転の開始が宣言されていた。

同原発サイトでの後続原子炉増設は、1号機の完成以前からイラン側が切望していたもので、これまでに実施した交渉の結果、ロスアトム社傘下のNIAEP—ASE社が2基分の増設でイランの原子力発電開発会社(NPPD)と契約を締結するに至った。

特集

原子力・航空機・鉄道の保守におけるヒューマンファクター



原子力発電所の安全確保においては、設計・建設から運転、保守にまたがる多方面の努力が必要であることは言うまでもない。保守作業では、機器の劣化の程度の判定や部品交換などにおいて多人数の保守要員が関与し良好な作業環境が確保できない場合もあるために、ヒューマンエラーが発生し得る場面である。このため、現場の保守作業におけるヒューマンファクターについて、原子力発電所のみならず、航空機、鉄道などの異なった分野における問題意識や取り組みを共有して考察し、継続的に作業改善を進めることは、今後とも原子力発電所の保守作業のさらなる信頼性確保にとって極めて有益であると考えられる。

本特集では、専門家の方々にそれぞれの分野での取り組みを紹介していただく。まず、中部電力(株)の釘本氏には、浜岡原子力発電所で実施されている安全文化醸成活動とヒューマンエラー防止への取り組みを紹介いただく。次に、全日本空輸(株)の尾曲氏には、整備部門がリスクに強いプロ集団となるための、ヒューマンエラー防止の取り組みとコミュニケーション豊かな組織風土醸成活動を紹介いただく。また、西日本旅客鉄道(株)の田仲氏には、約40年使用する鉄道車両の保守体系と車両保守の技術の現状と継承・向上をヒューマンファクターの視点から紹介いただく。

(岡山大学・五福明夫)



右上は JR 西日本、中左は中部電力、右下は ANA 提供

ANA A STAR ALLIANCE MEMBER

浜岡原子力発電所における安全文化醸成活動とヒューマンエラー防止への取り組み

中部電力(株) 釘本 三男

浜岡原子力発電所では、安全文化醸成活動を計画、実施、評価するための視点として、「コンプライアンス」「コミュニケーション」「技術力」「士気・やる気」の4要素を設定しており、この4つの要素について具体的な取り組みに展開しやすいように、目標とすべき安全文化の状態を明確にした「安全文化が醸成されている状態」を設定し、これに近づけるよう活動を行っている。また、ヒューマンエラー発生防止のための取り組みを行っており、これらの主な活動内容について紹介する。

I. 安全文化醸成活動

安全文化には、原子力安全を守るためのシステム(品質マネジメントシステム)が適切に構築され、組織の構成員全員がその要求事項を守るというシステムの側面と、組織のトップからボトムまで常に原子力安全を最優先とし、たゆみない改善を求めているという組織風土の側面がある。第I章では、浜岡原子力発電所における安全文化を醸成する主な活動について述べる。

1. CAP (Corrective Action Program) 会合

CAP 会合は、業務の透明性向上のために、不適合情報・運転情報・異常徴候になる前の段階の情報等について発電所内で共有するとともに、不適合等クラスの種類・ヒューマンエラー事象該当の有無・異常徴候検討会開催要否等を決定する目的で、毎営業日の朝に開催している。

CAP 会合の様子を第1図に示す。会合は、発電所幹部で構成されているが、当社社員や協力会社社員も自由



第1図 CAP 会合の様子

HAMAOKA Nuclear Power Station "Safety Culture" and "Prevention of Human Error": Mitsuo KUGIMOTO.
(2014年10月22日受理)

に傍聴・発言が可能である。

また、CAP 情報は第2図に示す発電所事務本館ロビーに設置しているモニターや協力会社の食堂・作業員休憩所に設置している同様のモニターで確認することができ、浜岡原子力発電所で働くすべての方々が同じ情報をタイムリーに共有できる仕組みを構築している。

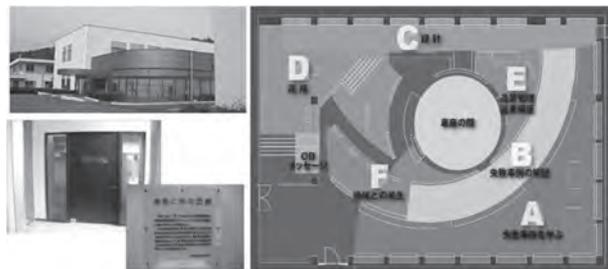
2. 失敗に学ぶ回廊

浜岡原子力発電所で過去に経験した事故やトラブルから学んだ教訓および蓄積してきたノウハウを風化させることなく、技術伝承していくために、原子力研修センター内に「失敗に学ぶ回廊」を設け、教育に活用している。

失敗に学ぶ回廊は、第3図に示すとおり事故・トラ



第2図 発電所事務本館ロビーへのモニター設置



第3図 失敗に学ぶ回廊の全体配置図

ブル概要を示すパネルや実物または模型を展示した「失敗事例を学ぶ」ゾーンやその失敗事例の原因を学ぶ「失敗事例の解説」ゾーンなど6ゾーンで構成されている。また、事故・トラブルに対応したOBのメッセージコーナーを設けている。

第4図に、失敗に学ぶ回廊のA、Bゾーンを示す。Aゾーンでは、発電所での失敗事例の実物模型を発生状況・原因・対策、当時の新聞記事などと共に展示している。Bゾーンでは、繰り返し発生している失敗事例の原因・対策の変遷の解説を展示している。

また、失敗に学ぶ回廊の部屋の中央には、車座の間を設けており、研修生が膝を突き合わせて語り合えるスペースを確保している。

第5図に、失敗に学ぶ回廊のC～Fゾーンを示す。Cゾーンでは、施設の改良の変遷、発展経過など設計に関する情報の展示、Dゾーンには、安全文化・情報公開等、発電所の運用に関する情報の展示、Eゾーンには、品質管理、品質保証の成り立ちや規格・規則の歴史などを展示している。また、Fゾーンでは、地域の皆

様と発電所とのかかわり、歴史などを展示している。

3. 技術史

浜岡原子力発電所1号機が、運転開始から30年を迎えるにあたって、これまで培ってきた技術・知識・経験を技術史として取りまとめた。

具体的には、発電所全体の主要な変遷を示す「共通年表」、「個別年表」・技術シートにより構成され、技術力の維持・継承に努めている。

技術史の内容については、第6図に示すイントラネット上で閲覧できるとともに、毎朝開催される情報連絡会の場で「今日は何の日」として過去のトラブルの内容・原因と対策および教訓を担当部署から紹介し、風化防止に努めている。

II. ヒューマンエラー防止への取り組み

1. ABC活動

ABC活動とは、「A：あたりまえのことを」「B：ほんやりせず(馬鹿にせず)」「C：ちゃんとやる」ことで、日常業務や定期点検工事における“うっかりミス”、“確認・検討不足”が原因の不適合発生を防止するための活動のことである。

具体的には、第7図に示す「ヒューマンエラー速報の発行」や「ヒューマンエラー対策シートの発行」「ヒヤリ



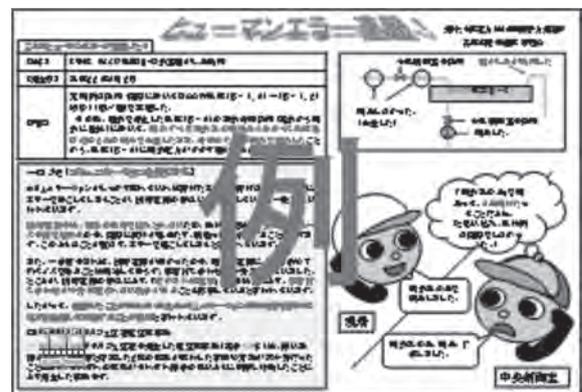
第4図 失敗に学ぶ回廊 A、Bゾーン



第5図 失敗に学ぶ回廊 C～Fゾーン



第6図 技術史のイントラネットへの掲載



第7図 ヒューマンエラー速報(例)

^{a)}TBMとは、職長を中心にして、その日の作業の内容や方法・段取り・問題点について短時間で話し合ったり、指示伝達を行うもの。

ハットレポートの発行」「TBM (Tool Box Meeting) a)への一斉参加」の他、ヒューマンエラー防止に向けた「のぼり」の設置等の活動を行っている。

ヒューマンエラー速報には、件名・発生日・発生内容・注意喚起のメッセージなどの情報を発生の都度作成し、イントラネットへ掲載して注意喚起を図っている。

また、原因と対策が明確になった時点で、ヒューマンエラー対策シートを作成し、イントラネットへ掲載し再発防止に向けた注意喚起を行っている。また、四半期に一度の頻度で開催しているABC活動推進連絡会の場においても紹介し、ヒューマンエラー防止に努めている。

ヒヤリハット事例については、協力会社を含め年2回定期募集を行った上で、ヒヤリハットレポートを作成しており、TBM・KY(危険予知)へ活用している。

第8図に示すのぼりは、ヒューマンエラーの原因分析に基づき、管理職による指導徹底や職場内での声掛けを目的として作成しており、事務本館各フロアや中央制御室入口等に設置している。

2. JIT 情報の活用

JITとは「Just in time」の略であり、作業に適した情報を作業前に提供し、ヒューマンエラー防止や手順に対する意識を高めることで高品質を達成するためのツールの一つである。

作業前のブリーフィングや、各部署で実施している朝のミーティング等で、過去の運転経験を元にした留意点やヒューマンエラーに関する情報、ヒヤリハット情報を共有する。これにより、注意すべき事項をより明確に把握することで不適合発生の防止を図ったり、運転経験を確実に伝承させていくことで、組織の技術力向上に努めている。

JIT情報は、第9図に示すイントラネットにより協力会社を含め、閲覧することができる。



第8図 ヒューマンエラー防止「のぼり」



第9図 JIT情報画面

	機械	計測制御	電気	土建	保修共通	発電	その他
作業計画	●	●	●	●	●		●
作業準備	●	●	●	●	●		●
機器点検	●	●	●	●	●		●
復旧時	●	●	●	●	●		●
試運転	●	●	●	●	●		●
検査	●	●	●	●	●	●	●
MCR監視						●	
巡視点検						●	
定期試験						●	
運転操作						●	
7イル作業						●	
その他						●	●

第10図 JIT情報の格納区分

また、第10図に示すとおり、作業計画・作業準備・機器点検といった作業プロセス毎、および機械・計測制御・電気等の職種毎のマトリクスをつくり、作業前等に必要の情報を取り出しやすく格納し、検索性の向上を図っている。

これらの情報を有効に活用することにより、ヒューマンパフォーマンスの向上に寄与するものと期待している。

Ⅲ. おわりに

安全文化は、自己満足した瞬間から綻びはじめると言われている。今後も、安全文化醸成活動およびヒューマンエラー防止活動の有効性評価を行い、継続的な改善を図ることにより、ヒューマンエラー防止に取り組んでいく。

著者紹介



釘本 三男 (くぎもと・みつお)
 中部電力(株)
 (専門分野/関心分野) 品質保証, 安全文化醸成活動, 不適合管理

ANA グループ整備部門(e.TEAM ANA)における ヒューマンエラー防止と コミュニケーション活性化への取り組み

全日本空輸(株)・総合安全推進会議 尾曲 靖之

航空機事故の主要因並びに間接要因を調べていくと、最近では約8割がヒューマンエラーだと言われている。e.TEAM ANAでは、従来のヒューマンエラー防止策に加え、コミュニケーションツールであるアサーションを活用したe.ASSERTIONを展開し、「仕事の質を高める」と共に「コミュニケーション豊かな組織風土・文化」を育て、結果として「リスクに強いプロ集団」に成ることを目指し、更なるヒューマンエラーの防止に取り組んでいる。

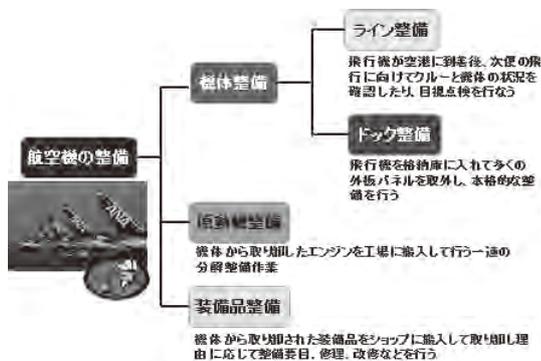
I. はじめに

近年、航空機の進歩により航空機事故の主要因は、機械的要因が減少し、人的要因が増え約80%がヒューマンエラーだと言われている。本稿では、e.TEAM ANAで取り組んでいるヒューマンエラー防止の取り組みと、ヒューマンエラー防止策の一つであるコミュニケーション活性化に向けた取り組みについて紹介する。

1. e.TEAM ANA について

(1) 航空機の整備

航空機の整備には、第1図のように、機体そのものを整備する機体整備と、機体から取り卸したエンジンを工場に入れて分解・詳細点検を行う原動機整備と、機体から取り卸した装備品をショップに入れて修理や改修を行う装備品整備がある。また機体整備は、日常的な運航の合間に目視点検や不具合修復を行うライン整備と、格納庫に入れて本格的な整備を行うドック整備に分類される。



第1図 航空機の整備

Prevention of Human Error in ANA Group Maintenance Departments and e.ASSERTION: Yasuyuki OMAGARI.

(2014年10月22日 受理)

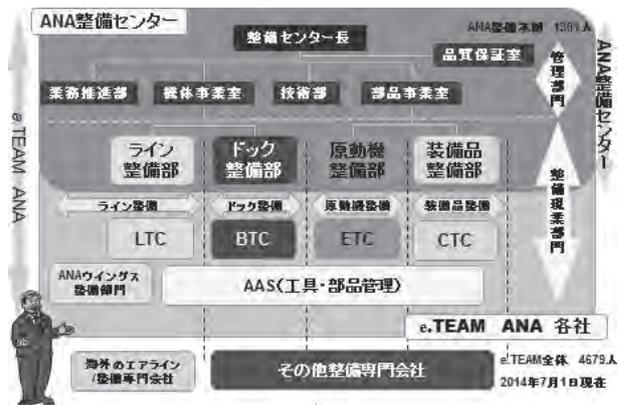
る。

(2) e.TEAM ANA

ANA整備センターには整備をサポートする管理部門とそれぞれの整備を実施している現業部門がある。また、整備センターの現業部門と一緒にライン整備、ドック整備、原動機整備、装備品整備、及び整備サポートを実施している6つのグループ会社がある。この整備センターとグループ会社の集合体を、我々はエンジニアリング部門のTEAMだという意味でe.TEAM ANAと呼んでいる。また整備の仲間として皆でいいチームを作っていこうという意味合いも込めてそう呼んでいる。第2図にANA整備センターとe.TEAM ANAの関係を示す。

2. e.TEAM ANA と認定事業場

航空機の整備を行う場合、「国に代わり航空機の耐空性を確認」できる「認定事業場」という資格が必要となるが、e.TEAM ANAでは個々のグループ会社で個別に取得するのではなく、共同事業体として一つの認定事業場を取得している。これにより、第3図に示すように、



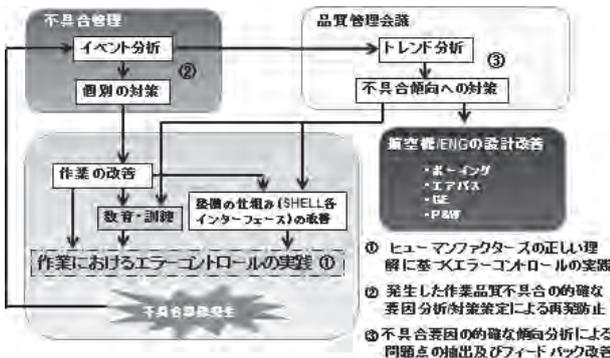
第2図 ANA整備センターとe.TEAM ANA



第3図 e.TEAM ANA と認定事業場



第5図 ヒューマンファクターズ教育



第4図 e.TEAM ANA のヒューマンファクターズへの全体的取り組み

業務ルールの統一化による「品質管理体制の統一」、ANA が代表企業になることで品質保証上の「社会的責任の明確化」、及び受委託で発生する関連業務の削除により「効率的な業務体制」を実現している。

II. ヒューマンエラー防止の取り組み

1. 全体的取り組み

e.TEAM ANA のヒューマンファクターズへの全体取組を第4図示す。

e.TEAM ANA の整備士は、キャリアに応じてエラーコントロールの手法を学び、実践することでヒューマンエラーの発生を出来るだけ抑制している。

不具合事象が発生した場合は、事象ごとに分析して類似事象の再発防止に役立つ「イベント分析」を行い、「個別対策」を実施している。

また、一定期間ごとにトレンド分析を行い、不具合傾向への対策として、整備の仕組み(教育・訓練含む)及び航空機・エンジンの設計の問題点を抽出し、改善のフィードバックを行っている。

2. ヒューマンファクターズ教育

(1) 教育体系

整備士のキャリアに応じて受講する教育・訓練を第5図に示す。

入社時に e.TEAM ANA の整備士は全員、「ヒューマンファクターズ入門コース」と「ベシクマナー訓練」を受講する。ベシクマナーは、整備士が技能を学んでいく過程において身に付けていかなければならないもので、過去の失敗の教訓がベースとなっている。

次に整備士として自立するためのG2資格取得前に「基礎コース」を受講する。その後は2年毎に「定期コース」を受講し知識のリフレッシュを図る。

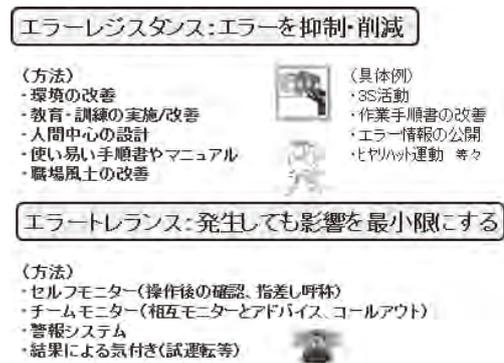
管理職になると、イベント分析の手法を学ぶための「ステップアップコース」を受講する。また管理部門に異動になったスタッフは、「スタッフコース」を受講し、スタッフ業務におけるヒューマンファクターズを受講する。

(2) エラーコントロールの実践法

ANA のヒューマンファクターズ教育では、「人間が起こすエラーはゼロにすることはできない」という前提に立っている。そして、第6図に具体的な項目を示すように、エラーを抑制・削減する「エラーレジスタンス」と、エラーが発生しても影響を最小限にする「エラートレランス」という2つの実践法を教えている。

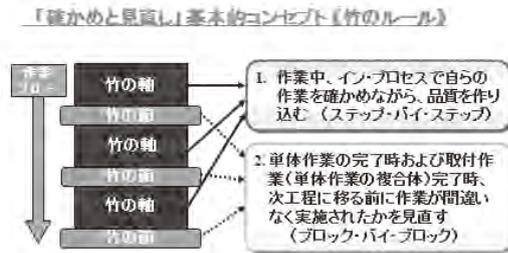
3. 取り組みの具体例

下記に「エラートレランス」の具体例を2つ示す。



第6図 エラーコントロールの実践法

- 作業中の作業者自身による「確かめ」行為こそ、品質保証の根幹
- 単体作業が確実に実施されたことを第三者的な視点で「見直す」ことで確実な作業を積み上げる



第7図 セルフインスペクションの概要

(1) セルフインスペクション—具体例①

整備作業を行う際、e.TEAM ANA では、整備担当者が確かめながら品質を作り込み、完了時には第三者ではなく、自ら作業を見直し確認作業も行う「セルフインスペクション」という原則をとっている。第7図にその概要を示す。セルフインスペクションの理由は、本人だけで行うほうが、「自分の仕事」という自覚が高まり、結果としてチェックの精度も高まるからである。

また、過去に自社及び他社で発生した作業品質不具合の中から、特に整備作業上注意しなければならない確かめと見直しのポイントを、作業基準上に明示し注意喚起を行っている。

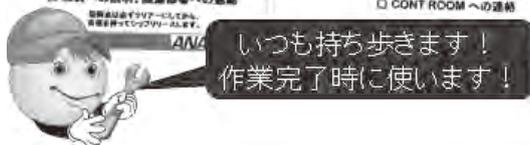
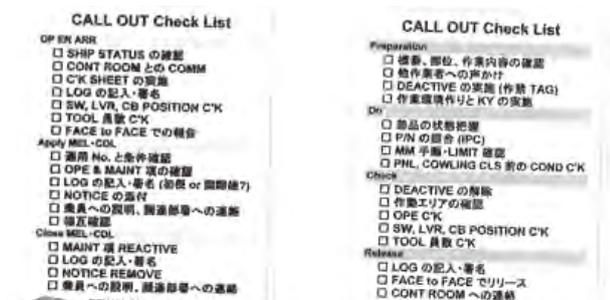
(2) コールアウトチェックリスト—具体例②

コールアウトチェックリストは、第8図に例を示すように、ライン整備を担当する整備士が常に携帯しており、自分が実施した整備作業が確実に実施されたことを、このリストを用いその場で自ら確認し、ヒューマンエラーの影響を最小限にとどめることに役立っている。

Ⅲ. コミュニケーション活性化への取り組み

1. 最近の不具合の傾向と分析

最近の作業品質不具合の発生要因を分析すると、作業者自身に起因しているものが近年増加しており、2012年度は約80%となっている。またその内訳をみると、一番多いのが「思い込み」で、次に「手順の省略」、「失念」



第8図 コールアウトチェックリスト



e.ASSERTION において「アサーション」＝「発展的/協調的に意見、指摘すること」と定義する。

※辞書に記載されている「assertion」＝「断言、断定、主張」とは異なる
第9図 コミュニケーション活性化に向けた取り組み

と続いている。

2. e.ASSERTION

作業品質不具合の分析において、一緒に作業する者が「気づき」等一言声を掛けていれば防げたエラーも多かったことや、相互理解を深める観点から、第9図に示す「声に出す。感謝する。プロだから」を実行していく e.ASSERTION という取り組みを e.TEAM ANA 全体でこの4月からスタートさせた。

アサーションは、辞書には「断言、断定、主張」と強めの表現で定義されているが、e.ASSERTION ではアサーションを「発展的/協調的に意見、指摘すること」と定義した。

(1) アサーションとは

アサーションは、適切に自己主張するためのコミュニケーションスキルとして、米国で自己主張を苦手とする人のカウンセリング手法として生まれた。

ANA では、1987年から運航乗務員の訓練に取り入れられており、

- ・「運航乗務員は、手順の逸脱やその恐れを感じた場合、および他の運航乗務員の行動に疑問を感じた場合は、躊躇なくアサーションする」
- ・「機長はアサーションを容易にする適切な権威勾配の形成と環境を設定し、アサーションには謙虚、かつ真摯に対応する」

として、運航時の乗員相互の良好なコミュニケーションの確保と、それによるヒューマンエラー発生要因の排除に役立っている。

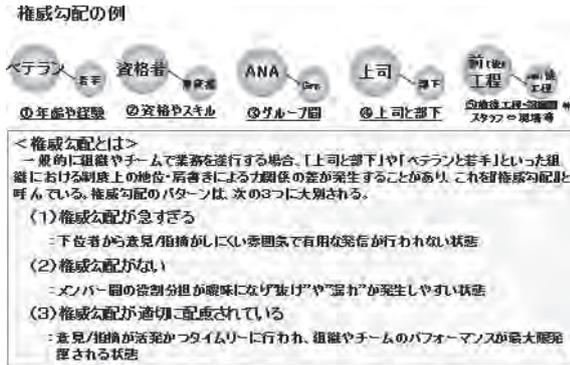
(2) 整備部門における権威勾配

アサーションを導入するにあたって、第10図に示すそれぞれの権威勾配で、適切な権威勾配の形成と環境設定を行う必要があることから、権威勾配の上位者が意識してアサーションし易い環境設定を率先して行う取り組みを始めることにした。

(3) e.ASSERTION の実践サイクル

具体的には、次の3項目を徹底することにした。

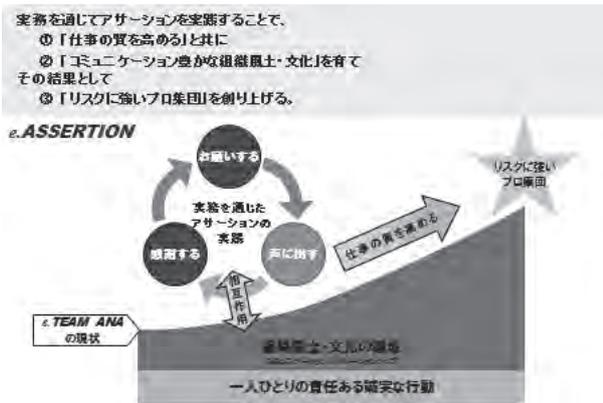
- ① 権威勾配の上位者が作業開始前のブリーフィング時や作業終了時等に、必ずアサーションをお願いする。



第 10 図 整備部門の権威勾配



第 12 図 e.ASSERTION の推進諸施策



第 11 図 e.ASSERTION の目的

② 権威勾配の下位者は、作業を実施するにあたって疑問や不安に感じていること、及び確認したいことなど躊躇なくアサーションする。

③ 上位者は、アサーションしてくれたことに感謝し、アサーションには謙虚にかつ真摯に対応する。

この実践サイクルを、e.TEAM ANA の一人ひとりが実務を通じ、プロフェッショナルの実務として愚直にまわしていくことにした。

(4) e.ASSERTION の目的

e.ASSERTION の目的は、第 11 図に示すようにアサーションにより「思い込み」、「手順の省略」、「失念」等、ヒューマンエラーの発生要因を排除できることから

① 「仕事の質を高める」と共に

また適切な権威勾配が形成されることから

② 「コミュニケーション豊かな組織風土・文化」を育てその結果として

③ 「リスクに強いプロ集団」を創り上げる。

ことを目的としている。e.ASSERTION の実践により、個々人の仕事の質を高め、リスクに強いプロ集団となることを狙っている。

(5) e.ASSERTION の推進にあたり

取り組むにあたっては、e.TEAM ANA 全職員の理解を深めるために助走期間を約半年間設け、

① 各社のトップが率先して e.ASSERTION に関するダイレクトトークを各職員に対し実施した。



第 13 図 オペレーション部門全体での取り組み

② 各会社、各職場の置かれた環境は異なるため、それぞれの状況に応じた取り組みを検討し、また導入にあたってのパフレットを作成した。

その結果、第 12 図のように、各会社、各職場で面白いアイデアがいろいろ出され、この 4 月から全職員の正しい理解のもと、e.ASSERTION が順調にスタートした。また、e.ASSERTION ホームページ開設や、表彰も行い、形骸化させない取り組みも併せて実施している。

(6) ANA グループオペレーション部門への展開 —G.ASSERTION

e.ASSERTION の取り組みが、面白いということで、今年度の 8 月から、職種や職場も異なる ANA グループの全オペレーション部門においても同様な活動をスタートさせた。第 13 図のように、グループ全体で取り組むことから G.ASSERTION と命名し現在取り組んでいる。

IV. おわりに

e.ASSERTION は、単なる「気づきを声に出す声掛け運動」ではなく、「コミュニケーションしやすい、風通しの良い職場を作っていくこと」であることを理解してもらうのにかなりの時間をかけたが、この導入に時間をかけたことが、導入スタートの成功につながったと考えて

いる。しかし、導入して約半年、各会社や職場での浸透度合いにはバラツキが生じており、解決に向けた取り組みが必要である。

また G.ASSERTION においてもようやくオペレーション部門の各会社、職場で取り組みが緒についた状況であるが、整備部門で先行して取り組んでいたこともあり「アサーション」と言う言葉はしっかり浸透して来ている。しかし、全職員が G.ASSERTION の目的を正しく理解するまでには未だ至っていないため、こちらも更なる浸透に向けた取り組みが必要である。

これらの取り組みをしっかりと定着させるためにも、引き続き各職場の知恵と工夫で「面白楽しく」が感じられる諸施策が展開されることが重要であると考え。

－ 参考文献 －

- 1) 全日空整備センター 品質保証室編：ヒューマン・ファクターズ訓練 基礎コース，(全日本空輸(株)整備センター品質保証室，2014)。
- 2) 全日空整備センター 品質保証室編：ヒューマン・ファクターズ訓練 ステップアップコース，(全日本空輸(株)整備センター品質保証室，2014)。

著者紹介



尾曲靖之 (おまがり・やすゆき)
全日本空輸(株)・総合安全推進会議
(専門分野/関心分野)航空安全と
航空保安

「2015 年春の年会」見学会のご案内

○ A コース(日本原子力発電コース)

見学先 日本原子力発電株式会社

A-1：東海第二発電所・安全対策設備の設置状況，A-2：東海発電所・廃止措置工事の実施状況

見学施設 A-1：東海第二発電所・緊急時資機材置場，非常用ディーゼル発電機防護壁，原子炉隔離時冷却系ポンプ用バッテリーおよび発電機，各種安全対策設備，他，A-2：東海発電所・中央制御室，熱交換器建屋，遠隔切断装置操作室，クリアランス物検認装置，他

開催日 3月23日(月) 年会終了翌日

集 合 JR 東海駅東口ロータリー前(8:40)

コース A-1/A-2 共通 JR 東海駅出発(8:45) - 原子力館到着(9:00) - 概要説明(9:00 ~ 9:50) - 発電所構内見学(9:50 ~ 11:50) - 原子力館出発(12:00) - JR 東海駅到着(12:15)解散

定 員 A-1：20名，A-2：10名(いずれも先着順) ※両コース合わせて参加者10名以下の場合は中止いたします。

参加費 無料

申込み切 2月27日(金)

○ B コース(東京電力コース)

見学先 東京電力株式会社 福島第一原子力発電所

見学施設 構内復旧措置状況，他

開催日 3月23日(月) 年会終了翌日

集 合 いばらき量子ビーム研究センター(9:10) ※茨城県東海村(駐車場あり)または JR 日立駅西口ロータリー前(9:50)

コース いばらき量子ビーム研究センター出発(9:20) - JR 日立駅出発(10:00) - J ヴィレッジ到着(12:00) - 概要説明(13:00 ~ 13:30) - J ヴィレッジ出発(13:30 バス乗換) - 福島第一原子力発電所到着(14:00) - 発電所構内見学(14:00 ~ 16:30) - 発電所出発(16:30) - J ヴィレッジ(17:00 バス乗換) - JR いわき駅(18:00) - JR 日立駅(19:00) - いばらき量子ビーム研究センター(19:40)解散

定 員 28名(先着順) ※年会参加者および本会会員に限らせていただきます。また，参加者10名以下の場合は中止いたします。

参加費 500円 ※昼食は各自ご用意ください(J ヴィレッジ到着後，バス内にて飲食可)。

申込み切 2月27日(金)

○ A コース，B コースともに注意事項がございます。学会 HP または，学会誌 3月号に同封するプログラムに掲載の注意事項をご確認いただき，お申し込みをお願いいたします。

○見学を希望される方は，希望コース名(A-1・A-2・B)，氏名(ふりがな)，性別，生年月日(西暦で)，所属，役職(学生は課程と学年)，身分証記載の住所，連絡先(電話，FAX，E-mail ならびに見学会当日連絡のつく携帯電話)，持参いただく身分証の種類，国籍(外国籍の場合)，バス乗降希望場所(B コースの場合)を明記して，本会事務局へ E-mail または FAX にてお申し込みください。(E-mail：meeting@aesj.or.jp，FAX：03-3581-6128)

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

鉄道車両の保守とヒューマンファクター

西日本旅客鉄道(株) 田仲 文郎

鉄道車両の保守には大勢の係員が関わっており、ヒューマンエラーによるトラブルの防止は現場管理上の重要な課題として様々な対策の工夫がなされてきている。本稿ではヒューマンファクターの観点からこれまでの取り組みを振り返り、ヒューマンエラー対策だけでなくヒューマンファクターを前向きに活用することや、全社的な安全管理、品質管理マネジメントの一環として現場の問題を考えることの必要性について述べる。

I. はじめに

西日本旅客鉄道(株)(JR西日本)では約6,500両の車両(第1表)を用い日々安全・快適な輸送サービスの提供に努めている。車両の品質はお客様の安全に直結するだけでなくサービスレベルや企業イメージを大きく左右するため、その維持・向上は鉄道事業者にとって常に大変重要な課題となっている。

40年以上もの長い期間使用する場合もある車両の品質は、計画、設計段階から廃車までのライフサイクルを通じた品質管理の取り組みによってはじめて確保されるものであるが、その中でも日常の検査、修繕、清掃など保守作業の占める比重は非常に高く、また、保守を通じて得られる情報がライフサイクル全体の考え方を大きく左右している。

本稿では、これまで故障防止対策という視点で語られることが多かった鉄道車両の保守について、ヒューマンファクターの側面から振り返りを行うとともに、安全管理や品質管理に対するマネジメントのあり方について考察することとした。

第1表 JR西日本の車両保有数

車種	車両数 (1)は1両の編成	主な車両形式
新幹線電車	991 (991)	N700系, 700系, 500系
電車	4,746 (3,078)	883系, 681系, 381系, 287系, 285系 283系, 281系, 521系, 321系, 223系 225系, 207系, 115系, 103系
気動車	444 (196)	キ189, キ187, キ127, キ126, キ122 キ121, キ120, キ47, キ40, 141系, 143系
客車	62	24系, 14系, 12系
電気機関車	17	EF81, EF65
ディーゼル機関車	47	DD51, DE10, DE15, DD15, DD16
蒸気機関車	5	D51, C62, C61, C57, C56
貨車	199	鉄, 特
計	6,511 (4,259)	

Maintenance of Rolling Stock based on Human Factors :
Fumio TANAKA.

(2014年10月22日 受理)

II. 鉄道車両のライフサイクル

1. 維持管理の基本的考え方

(1) 定期検査

鉄道車両の基本的な安全は国土交通省令に定められた技術基準に基づく構造と定期検査によって確保されている。定期検査は第2表に示す通りこまめな外観検査から解体して行うオーバーホールまで段階的に定められており、各々第3表に示す通りの周期を超えないように実施される。

(2) 更新修繕

定期検査やそれに伴う修繕だけでは対処できない老朽化、陳腐化への対処と、機能やサービスの向上のため、

第2表 定期検査の種類

種類	検査内容
仕業検査	消耗品の補充、取替 車両の状態、作用に対する外観検査
交番検査	各装置の作用、機能に対する在姿状態での検査
要部検査	走行装置、ブレーキ装置、その他重要な装置 について取り外し、解体の上行う検査
要部検査	機器及び装置の全般について、取り外し、 解体の上行う検査

第3表 定期検査の周期

車種	検査原期 (併記してある場合はどちらか早く達したものを採用)
新幹線電車	全検 交換 全検 7日 30日 18ヶ月 36ヶ月 (3万キロ) (60万キロ) (120万キロ)
電車	全検 交換 要検 全検 7日 90日 48ヶ月(60万キロ) 96ヶ月
気動車	全検 交換 要検 全検 7日 90日 48ヶ月(50万キロ) 96ヶ月
客車	全検 交換 要検 全検 7日 90日 36ヶ月(40万キロ) 72ヶ月(80万キロ)
電気機関車	全検 交換 台検A 台検B 台検A 全検 7日 90日 18ヶ月 36ヶ月 72ヶ月 (20万キロ) (40万キロ)
ディーゼル機関車	全検 交換A 交換B 交換C 全検 7日 90日 18ヶ月 72ヶ月 (2.5万キロ) (12.5万キロ) (50万キロ)



第1図 車両更新計画の一例

車両寿命の中間において、大規模な更新修繕や改造が計画される場合が多い。これらは多くの場合、全般検査と呼ばれるオーバーホールの際に併せて実施される。第1図に電車の場合の計画例を示す。

2. ライフサイクルを通じた品質管理

(1) 車両投入計画

車両の新造は、多大な投資につながるだけでなく輸送や営業面での施策展開と密接に関連し、また、地上側設備との整合や保守体制のあり方にも関連するので重要な経営判断となる。単なる老朽取替ではなく、安全性向上、サービスアップやランニングコストの削減を可能とする様々なアイデアを実現すべく、その仕様や要求品質が議論される。

(2) 設計

鉄道車両は、既製品としてではなく鉄道事業者それぞれ独自の仕様に基づいて生産されるため、設計にも細部までユーザー側技術者の思想が色濃く反映されることが特徴である。性能や機能だけでなく保守性に関しても、過去の経験や事故防止対策、現場のニーズなどを踏まえたきめこまかな配慮がなされ、保守係員や乗務員のヒューマンエラー対策も盛り込まれる。

また、鉄道の世界においても昨今の技術の進歩は著しく、新素材やマイクロエレクトロニクス、パワーエレクトロニクスなどの恩恵によるメンテナンスフリー化や軽量化、省エネ化、高機能化が進んでいるが、一方でブラックボックス化・ソフトウェア化された機器への対応や電子機器などの製品寿命の短さなど新たな課題も顕在化しつつある。

(3) 導入・運用

新車の導入に当たっては自社線路での試運転、受け取り検査は当然であるが、新たな車種に対する技術的知見を十分獲得するため、様々な条件での性能試験を入念に行うこととしている。また、保守サイドでも納得いくまでの確認走行試験を行い、自職場独自の故障や事故の防止対策工事を施したのち本使用となる。併せて説明書の作成、図面の整備、乗務員への訓練や教育、車両への備

品類の搭載、検査設備やシステムの対応、検査基準の制定、部品や予備品の準備など、多くの準備業務を経ての新車導入となる。

(4) 保守

車両の検査や修繕、調整、清掃などは規定に定められた内容に基づき正確に実施するのが基本であるが、現実の車両状態は必ずしも事前に想定した範囲内に収まるものではなく、想定外の故障や劣化、破損、不具合などが生じるのが普通である。また、社会の変化に伴うお客様の要求水準のレベルアップも当然生じてくる。正しい検査、作業が実施されることに加え、想定外の事象を早期に発見したりその予兆を見抜き、適切な対処を迅速に行うことは、保守係員としての大きな使命である。また、そのようにして日々得られる現場最前線の情報を適切にフィードバックすることも同様に重要な任務である。保守のコストはイニシャルコストを上回る車両のライフサイクルコスト中最大の要因であり、その効率的な実施は重要な経営課題であるが、安全確保や故障防止のための機動的な対策費の手当ても疎かにしてはならない。

(5) 改造

前述のとおり車両の長いライフサイクルの中で更新修繕や改造は避けられない重要な節目となっている。しかしその実施にはメーカーだけでなくユーザーも合わせた総合的な技術力、特に保守に伴う知見が不可欠であり、工事内容も新製とはまた違った難しさを孕んでいる。狭隘な場所での通常触らない部位への複雑な工事などはヒューマンエラーの可能性も通常作業とは比べ物にならないくらい高く、ハイレベルな計画、管理が要求される。

(6) 廃車

高価な車両はできる限り長期間使用すべきものであるが、陳腐化、老朽化、保守コストの増加などとの兼ね合い、また会社としての投資の平準化を十分考慮し取替計画を策定する必要がある。また単なる老朽取替に終わらせず充実した施策に結びつけるべきであるのは前述の通りである。廃車に際しては、頑丈なステンレス車体の解体方法や産業廃棄物の適切な処理、リサイクルの促進など、それ自体にも様々な課題が存在している。

Ⅲ. 保守におけるヒューマンファクター

1. いわゆるヒューマンエラー対策

当社の保守現場は第2図に示す通り総合車両所と呼ばれるオーバーホールまで実施できる工場を核に構成されており、日常の点検は多くの車両基地で昼夜行われている。

保守関係者は当社とパートナー会社合わせて4,000人を超え、更に関連メーカーや部外委託先等を含めると大変な数の人達が関わっており、当然、ヒューマンエラー的な事象の発生とは無縁ではいられないのが実態であ



第2図 車両保守拠点の配置

る。車両自体が長年の歴史の中でメンテナンスフリー化やヒューマンエラー対策が施されていることや、検査設備の改良、作業環境やチェック体制の工夫など過去の失敗への対策の積み重ねにより極端に減少しているが、特に臨時作業などに関連した伝達ミス、確認モレ、手順間違いなどに起因する事象はなかなか根絶には至っていない。また、ネジの締め付け不良などのように、ヒューマンエラー的要素と技量不足などの複合的な事象も見られる。以下にこれまで現場を中心に実施してきた主な対策について列挙する。

(1) ハード対策

保守現場において社員のヒューマンエラーが労働災害に繋がりにくいようリスクが発見された場合はハード対策をとることを基本としている。万一それが不可能な場合は残留リスクとして管理し、ソフト対策を講じるとともに注意喚起を行う。お客様の危険に繋がりにくいリスクも同様にハード対策を第一とし、「ボルトの数自体を減らす」「配線をコネクタ化する」「取り換えやすい部品を同一形状に統一する」「コックを復位しないと蓋が閉まらなくなる」など車両構造や検査環境の改善に努めてきた。

(2) 教育

精神論でヒューマンエラーが防げるものではないが、列車の運行は(場合によっては一列車千人以上もの)多くのお客様の尊い命をお預かりしているのであり、車両保守においても一つ一つの作業の正確さが人命に直結するのだという自覚を徹底することは絶対必要である。また、正しい身のこなし、安全を確保しているしくみ、技術的知識などの基本を確実に身につけさせることもプロにふさわしいレベルのパフォーマンスを発揮させるためには不可欠である。教育効果をあげるためには単調な座学だけでなく、血の通ったコミュニケーションの中で過去の実例などを交え、反復して指導を行っていく必要がある。チェックリストや指差確認喚呼、ダブルチェック、復唱、確認会話などの有効な方策も、習慣として確実に身につけなければ実効は発揮できない。また、教育

の前提として適切な教材やマニュアル、教育プログラムの整備が欠かせない。

(3) 見える化

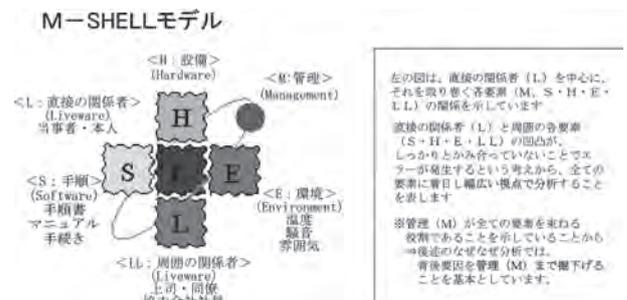
要注意作業、要注意箇所への注意喚起表示を徹底することや、工具置き忘れ防止のための姿見管理、セット材料化による取付忘れ防止、作業未完表示、移動禁止表示など、視覚に訴える様々な失念防止対策が有効である。その前提として整理整頓された作業環境が必要となる。

(4) 全員参加による品質管理

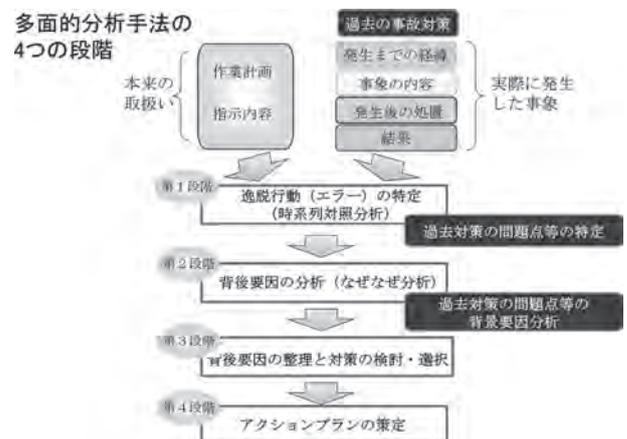
不具合事象を発生させたり発見した場合は安全報告を行うこととし、その内容については非懲戒としている。ほんの些細な失敗でも報告して真剣に対策を検討することが大きなトラブルを防ぐことにつながると確信しているが、隠さずに報告させるためには職場内の信頼関係が不可欠であり、管理サイドの責任が重大である。また、対策についても現場作業者を参画させることにより実態に即した対策の立案が可能であり、参画したこと自体も作業者の意識を高める大きな効果をもたらしている。更に事象の真の原因が明確になりにくい場合はM-SHELLモデルによる多面的分析を行い、背後要因を管理の課題まで掘り下げ、対策を行うこととしている。(第3,4図)

2. ヒューマンファクターの前向きな活用

現場におけるヒューマンエラーの防止という視点に立てば、前述のような対策を根気よく徹底しながらヒュー



第3図 多面的分析1



第4図 多面的分析2

マンエラーをなるべく抑え込み、また重大な事故につながらないように管理し続けるしかないというのが現実であろうかと思われるが、現実には鉄道車両の品質管理に強く求められているのは高機能化、複雑化した車両において突発的に発生し、お客様にご迷惑をおかけする不具合の根絶である。そのために最も求められるのがマニュアルにも載っていない未経験の不具合の予兆の発見であり、また、それへの対処策の迅速な検討である。それを可能とするのは保守係員の経験に基づく感性や洞察力、創造力であり、これらもまさにヒューマンファクターの重要な側面ではないかと考えている。

現在当社ではそのような感性を磨くための取り組みとして全員参加のリスクアセスメントを展開するとともに

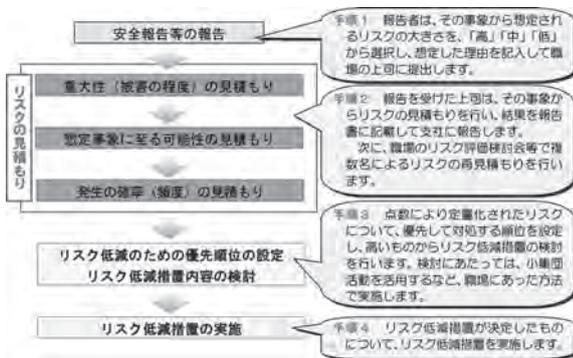
作業前に KRM(検修リスクマネジメント)と称する小ミーティングを実施している。その概要を第5～7図に示す。

ヒューマンファクターの良い側面を発揮させるためには社員のやりがいや充実感、チームワークなども不可欠であり、自ら研究や工夫を行った成果を発表できる業務研究発表会や安全活動発表会、改善・提案制度などへの参加を奨励している。また、現場の意見を本社の技術基準や車両設計に反映することも大きな満足感につながる。さらに乗務員など他職場の社員との交流や意見交換、共同での問題解決なども意識を高め、視野を広げる非常に良い機会となる。

IV. 更なる品質向上を目指して

現場作業者のヒューマンエラーは確かに品質阻害要素とはなるが、その対処は現場だけの課題としてではなく全社的なマネジメントの一環として位置付けることが必要ではないだろうか。そもそも車両品質の確保はそのライフサイクルにわたる管理によって成し遂げられるものであり、それに係わる個別の部署の有機的な連携なくして成立し得ないものである。現場の社員の地道な取り組みを支え、その力を最大限発揮させるためには、彼らの活力を引き出し、能力をフルに発揮させる動機づけを、経営レベルの課題として実行していかなければならない。

もとより鉄道はハードウェアとしての鉄道システムだけでなく、その運営に係わる経営層、技術層、実行層、つまり会社全体が人・技術システムとして適正に機能して始めて安全や品質が担保されるものである。もちろん経営者や技術者も人であるからヒューマンファクターによって誤った判断をすることもあるが、組織全体が正しく機能していれば必要な修正が行われリスクの顕在化は防げるはずである。そういう意味では現場実行層も経営者も等しくヒューマンファクターの支配を受けていることに謙虚になり、それを念頭に置いたマネジメント、経営を心掛けることが重要であると考えます。

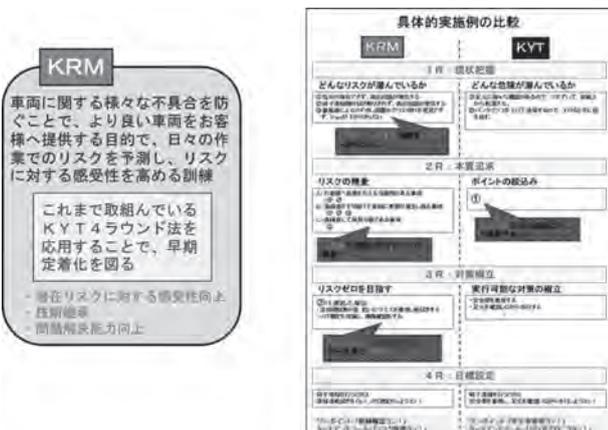


第5図 リスクアセスメントの基本的手順

トロを2名で搬出中、擁壁上向きを変える際に1名が足を踏み外して約1.8m下の軌道に転落				
高さ2m以上の高さの擁壁の踏り場でトロを搬出中(トリガー事象)、擁壁上向きを変える際に足を踏み外し、墜落し(起事象)、生命の危険(重大性)				
リスクの見積もり	重大性	生命の危険	10	リスクポイント 1.8
	想定事象に至る可能性	ハード要因 擁壁上に落下防止柵なし ソフト要因 相互に声かけなど守られないことがある(SC) 労災教育1回/年(SB)	HA SB	
	発生確率(頻度)	2m以上の柵のない輪型2箇所、使用の可能性 2回/年	2	
低減措置の検討	対策段階の除去等	当該箇所の使用禁止 2回/年⇒減至になし、重大性⇒被害なし ※トリガー事象の要因(=原因)の除去を検討する		被害なし
	柵下防止柵等	防止柵等 HA⇒HD、重大性⇒被害なし		
	柵下防止柵等(安全帯)	繰り返し教育(安全帯の着用、取付等の設置含む)⇒SD		14

※残留リスクが存在する場合は、残留リスクを広く周知し、リスクの共有化を図ることになります。

第6図 リスク見積り的事例



第7図 検修リスクマネジメント

著者紹介



田仲文郎 (たなか・ふみお)
西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部技術開発部長
(専門分野/関心分野) 鉄道車両の保守/鉄道の安全性向上

福島第一原子力発電所の燃料デブリの計量管理手法の検討状況

日本原子力研究開発機構 堀 啓一郎

福島第一原子力発電所の溶融した炉心燃料は2020年頃から取り出す計画である。この取り出した燃料デブリの計量管理手法については、廃炉に関する研究開発プロジェクトの一つとして日本原子力研究開発機構と東京電力が中心となり検討を進めている。この現状について報告する。

I. はじめに(国の廃炉プロジェクトの中の一つとして出発)

東京電力福島第一原子力発電所(1F)の廃炉に向けて国と東京電力は技術的検討を進めてきた。この中で溶融した炉心燃料中の核物質量の測定技術が開発課題として指摘され、これを踏まえて2012年4月「燃料デブリの計量管理方策の構築」プロジェクトが設けられた。

筆者はこのプロジェクトに2012年8月から参加してきたところであり、その実施にかかる方針と現在の状況について報告する。

II. 炉心燃料の計量管理(法に基づく計量管理と国際協定に基づく核物質在庫量の申告)

事故前の炉心燃料の計量管理は、燃料集合体が製造された時点の核燃料物質量を基に照射履歴から核物質量を計算し、燃料集合体一体を一単位としてウラン量およびプルトニウム量を核物質の形状、保管場所等の情報と共に記録することにより実施していた。この記録を原子力施設者は法に基づき国に報告し、国は日IAEA保障措置協定に基づきIAEAに申告していた。しかし事故により1Fの炉心燃料は溶融し、集合体の形を維持していないことが想定されることから、一集合体を一単位とした計量管理の実施が困難と考えられ、これに替わる手法を構築することが必要とされている。

III. 計量管理の役割(時代と共に変化してきた役割)

原子力施設者は、元々保有する核物質の財産管理や安

The Status of R&D on Material Accountancy of Fuel Debris at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station : Keiichiro HORI.

(2014年10月6日 受理)

全管理などを目的として計量管理を実施していたが、おおよそ1990年代を境に日本では、財産管理や安全管理に必要な情報と計量管理に求められる情報に乖離が生じ、施設者にとっては財産管理や安全管理などの目的のために計量管理から得られる情報の必要性が低下してきた。更に同時期に日本においては、保障措置上重要な物質であるプルトニウムの利用が本格化し、財産管理や安全管理では要求されないような極めて高い精度の計量管理が求められるようになったこと、また、それまでいろいろ議論されていたIAEA保障措置査察の技術的基準が確立し、施設者に求める情報が明確になってきたことが乖離を大きくした主な原因である。

一方1970年代に出来た包括的保障措置協定に基づくIAEAの保障措置制度は、国がIAEAに要請して、核物質が平和利用目的以外に転用されていないことを証明してもらう制度であるが、出来るだけ平和目的の原子力活動を阻害しないように実施することを基本的な考えとしており、このため原子力施設者が通常行う核物質の計量管理を利用して実施するように設計された。

こうした歴史的経緯から現在では、計量管理の主な目的は保障措置と考えられるようになってきている。しかし現在でも計量管理は基本的に施設者が自らの必要性に応じて実施するものであり、IAEA保障措置はこれを最大限利用するとの位置付けに変わりはなく、また在庫管理は計量管理が基本であることにも変わりはない。

IV. IAEA保障措置との関係(査察手法と計量管理手法の関係)

IAEA保障措置は、国がIAEAに対して申告した核物質在庫量の妥当性をIAEAが評価すると共に査察などにより実際に施設において核物質を確認する制度である。

査察は、転用を検知できる能力を持った技術により不

転用を確認することであるが、原子力施設の大型化に伴い核物質取扱量が増加し、核物質をバルク状で取り扱う施設の査察は、施設における核物質取り扱い工程の複雑さと核物質量の測定限界から、高度な技術と多様な情報が必要となるようになってきた。これは言い換えると、査察の実施のために、施設者に高い精度の情報や多様な情報を求めるようになり、結果として査察実施のためのコストの上昇と施設者に高度な計量管理の実施等を要求することとなった。

このため平和利用の原子力活動を阻害しない合理的な計量管理と査察で信頼性の高い保障措置結論(核物質の平和利用目的以外への転用の兆候の有無に関する各年毎の結論)を得る方法が従来から検討されてきている。こうしたことから査察や計量管理に要求される技術的要件も少しずつ変化してきている。

この変化を理解した上で、査察手法に対してバランスの取れた計量管理手法を構築することが、結果として施設運転を円滑にするために重要であり、燃料デブリの計量管理手法の構築も同様である。

ただしプルトニウムと高濃縮ウランは、保障措置上で直接利用物質に分類され、技術的に高い能力を持つ保障措置手法、査察手法が適用されるので、この点を踏まえて計量管理を検討することが重要となる。

V. 過去の炉心燃料事故における核物質の管理(類似事例から明らかになったこと)

炉心燃料事故で核物質の計量管理が困難となったケースとして、米国スリーマイル島原子力発電所の事故(TMI-2)、旧ソ連チェルノブイリ原子力発電所の事故(ChNPP)、それにハンガリーのパクス原子力発電所(Paks)の事故がある。ただしそれぞれ福島のケースとは異なる点がある。TMI-2事故については、米国にはIAEA保障措置が適用されておらず、そのためIAEAに対して核物質量の申告の必要がなかった。ChNPP事故については、事故時は旧ソ連でありTMI-2と同様にIAEAの保障措置が適用されていなかったが、事故後ソ連が解体しウクライナとなり、IAEAの保障措置が適用されることとなった。このためIAEA保障措置の適用開始に際して必要となる開始時点の核物質量申告(冒頭報告)がChNPPについては確定していないと考えられる。またパクス原子力発電所の事故は炉心燃料を構成する被覆管等が損傷し燃料集合体がバラバラになった事故である。この事故では燃料ペレットは溶融しなかったため全核物質の回収が可能であった。これら3件の事例における核物質の管理について調査したところ、これまでに以下のようなことがわかっている。

—取り出した核物質は容器単位で計量管理する必要がある。(TMI-2, Paks)

—事故のあった原子炉からの転用がなかったことは、保障措置手法の一つである「封じ込め監視」によって確認することができる。(ChNPP, Paks)

—取り出した核物質を収納した容器には何らかの保障措置手法の適用が必要である。(ChNPP, Paks)

—収納容器外側から核物質量を直接高精度で測定した例はこれまでにないが、収納容器外側からの放射線量を測定した結果を用いて核物質量を推定した例はある。(Paks)。

—炉から全量を取り出せない場合は、残った量を測定または評価する必要がある。(TMI-2)

VI. 計量管理技術開発に関する方針(現実的な管理技術の開発)

前述の通り、計量管理は本来は原子力事業者が自らのために行う核物質管理の手法である。したがって施設者自身が必要とする能力を備えた現実的な手法で実施することが基本となる。この考えの下で燃料デブリの計量管理のための核物質量の測定技術の開発が必要な場合は、廃炉という主工程をできるだけ阻害しない方法でかつ廃炉のロードマップに合致して技術開発を完了できることを基本的方針とした。

ただし保障措置査察の実施に際して更に高度な計量管理が要求され、後日、重複した技術開発や重複した測定を行うこととならないように、また、不要な技術開発を避ける観点からも、規制当局およびIAEAと連携をとりつつ開発目標を定めることとした。

また核物質を測定する技術は、同時に核物質の検認にも使うことが出来ることから、開発した技術がIAEAの保障措置査察に利用される可能性も考慮して(例えば査察官が取り扱える技術とするなど)行うこととした。開発した技術が査察検認に利用される場合は、測定と検認が同時に出来ることになり、廃炉工程を阻害するプロセスを一層低減できる可能性がある。

VII. 国際協力による技術開発

具体的な技術開発は、2012年11月に日本原子力研究開発機構(JAEA)と米国エネルギー省(DOE)国家核安全保障局(NNSA)とが1Fの保障措置技術に関する協力取り決めを締結して共同研究として開始した。この共同研究を軸として、国内的には原子力機構と東京電力が一体になり、電力中央研究所にも参加頂き、規制当局とIAEAの助言を頂きつつ進めている。

こうした方法により開発を進めている理由は次の通りである。

保障措置手法を想定した計量管理技術開発

計量管理技術を検討する際には、前述の通りIAEAが適用する保障措置手法を想定しつつ検討することが重要となる。原子力機構は過去にバルク状の核物質を取り

扱う施設の計量管理・保障措置システムを開発した多くの経験があり、IAEA 保障措置制度と実際の原子力施設における査察手法に関する知見を有している。したがって、施設者として 1F の状況を承知している東京電力と協力して開発を行うことにより、現状に適合する合理的で現実的な技術の開発が可能となると考えられる。

国際的知見の活用

DOE/NNSA は、保障措置目的の核物質測定技術開発に関して長い歴史と多くの経験、知見を有している。また IAEA の保障措置の動向についてもよく承知しているので、この知見、経験を活用することにより 1F の保障措置に適合した測定技術の開発が出来ると考えられる。なお原子力機構とは保障措置技術等の開発に関して 30 年以上の協力の歴史がある。

国際的な透明性の確保

1990 年代の保障措置追加議定書導入以降、統合保障措置や国レベルの保障措置アプローチの導入などを経て、IAEA の保障措置は効果を向上させつつ効率化が図られてきた。この IAEA 保障措置制度の変化に呼応した各国の対応のひとつが原子力活動の透明性の向上であり、国際協力による技術開発の実施と成果の公表などを通じた原子力活動の透明性の向上は保障措置に貢献すると考えられる。また溶融した燃料中の核物質について、核不拡散に係る観点からも必要な検討を行っていることを国際的に示していくことは、日本の保障措置結論の信頼性向上に貢献すると考えられる。

VIII. 測定技術の開発の現状

1F の 2 号機および 1 号機からの燃料デブリの取り出しは、現在 (2014 年 10 月現在) の廃炉ロードマップでは 2020 年に計画されている。これに合わせて計量管理が開始できるように準備を進めている。おおむね 2 年単位で開発のフェーズを進めていくこととしており、過去の類似事例における核物質管理手法と燃料デブリ中の核物質測定技術の調査 (2012 ~ 2014 年)、燃料デブリ測定技術の実現性の評価と計量管理システム概念の検討 (2014 ~ 2016 年)、実証試験 (2016 ~ 2018 年)、実機の準備 (2018 ~ 2019 年) と進め、廃炉ロードマップで示されたデブリ取り出しに合わせる計画である。

しかし実際の測定装置の開発は取り出した燃料デブリの収納容器の開発や取り出し法の開発などと歩調を合わせて行う必要がある。このため早い段階から計量管理、核物質測定等の必要性などを燃料デブリの収納容器開発等を行うグループに示すこと等により、効率的なデブリ取り出しプロセスの設計に協力している。

前述のとおり、過去の類似事例の調査結果から、取り出した燃料デブリは収納した容器を一単位として計量管理を行う必要があると考えられ、また廃炉の基本的プロセスを出来るだけ阻害しないためには、取り出した燃料デブリを収納した容器を外側から非破壊で測定することが適当と考えている。このため、非破壊測定技術について「測定コスト」「技術の実現性」「測定時間など廃炉プロセスに与えるインパクト」などの観点から 1F の燃料デブリへの適用性を日米両国の専門家により評価し、これまでに 7 つの主要測定技術と 14 の補助的測定技術を選択した。現在は、この 7 つの主要技術の中の 4 つの技術について基礎的研究開発に着手したところである。

今後これらの測定技術を用いた具体的測定機器の概念設計、シミュレーション等による性能評価、実証と進めていく計画である。

IX. 終わりに (プロジェクトの目指すところ)

取り出した燃料デブリの輸送、保管等も視野においた合理的な計量管理手法の開発を進めることが重要と考えている。また、当事国として核物質の管理に真摯に取り組んでいることを国際社会に示しつつ進めることが重要と考えている。

さらに、組成や形状などの確定が難しい燃料デブリ中の核物質の測定技術はいろいろな利用方法が考えられる。こうした点も視野において開発を進めたいと考えている。

著者紹介

堀 啓一郎

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 国際保障措置, 核不拡散



水底の放射性物質濃度分布測定技術 福島県内の農業用ため池への適用

日本原子力研究開発機構 眞田 幸尚, 鳥居 建男

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故より3年が経過し、周辺地域において農業を再開させる際に、農業用ため池底に蓄積している放射性セシウムの濃度及び分布の調査が求められている。水底の堆積物中の放射性セシウム濃度の測定にはサンプリングが必要であったが、プラスチックシンチレーションファイバーを使用することにより、現場での直接測定を可能とした。本稿では、水底の放射線分布測定技術の概要と農業用ため池への適用について解説する。

I. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災による津波に起因した東京電力福島第一原子力発電所の事故(以下、発電所事故)によって、大量の放射性物質が周辺に飛散した。発電所事故後、様々な機関により発電所周辺の地表面での放射線量や放射性物質濃度の調査が実施されており、現在では分布状況のほかに放射性セシウムの移行状況など様々な知見が得られている。

農業用のため池(以下、ため池)は、最も生活に密着した水系であり、その水底の放射性セシウムの濃度分布は福島第一原子力発電所近傍の農業関係者はもとより、住宅部の住民からの関心も高くなっている。ため池とは、降水量が少なく、流域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え、取水ができるよう、人工的に造成された池のことを指す。自治体等では、発電所事故直後から、精力的に農業用ため池の水中及び堆積物中の放射性セシウムの調査を行っているが、福島県内に約3,700か所のため池があること、池ごとに数点のサンプルを採取して評価を行っていることから、必ずしも全容の解明には至っていない¹⁾。また、ため池は貯水量を維持するため、定期的に浚渫を行っていることから、浚渫後の堆積物の処分を計画するために、ため池底全域の放射性セシウムの分布を簡便に評価できる手法が望まれている。

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、発電所事故以来、プラスチックシンチレーションファイバー(以下、PSF)を用いた放射線計測装置の現場適用に

ついて研究を行っている²⁾。PSFは、1980年代に高エネルギー物理の分野で荷電粒子の飛跡測定等を目的として開発され、その後、PSFに飛行時間差(TOF)法を適用することによって、放射線の入射位置やその分布測定に開発・利用されてきた^{3,4)}。本検出器の有意な点は、長さ数十mまでの検出部を製作することができ、検出部に入射した放射線計数率の分布を計測できることにある。また、検出部自身は、機械的な構造を有しないため、水中に沈めることもたやすい。これらの特徴は、水底の堆積物の放射能分布を測定することに有効と考えられる。

原子力機構では、水中で使用するPSFや γ 線スペクトロメータを開発し、これらの測定値からため池の放射性物質濃度分布に換算する方法を開発してきた⁵⁾。

ここでは、PSFを使用した直接的にため池底堆積物中の放射性物質濃度を測定する手法について解説する。

II. 水底用放射線測定器

1. PSF

検出部は、中芯部(コア)に放射線に有感なポリスチレンを母材とし、コアを囲むクラッドにPMMA (Polymethyl methacrylate)を使用した直径1~2mm、長さ20mのPSFで構成されている。このPSFを十数本束ねて、ビニールチューブで覆うことにより遮光し、その両端に光電子増倍管を接続した。PSF内に放射線が入射するとシンチレーション光を発してファイバーの両端に伝播するが、入射位置によりファイバーの両端への光の到達時間が異なる。この時間差を両端に設置した光電子増倍管(PMT: Photomultiplier Tube)により電気信号に変換して、放射線の入射位置を特定する(TOF法)。この時間差は、検出部からの信号を処理するTAC (Time to Amplitude Converter)を用いて時間情報から波高情報に変換される。さらに、TACから出力される

Technology of Measurement for Radiation Distribution on Bottom of Water; Application for measurement of irrigation ponds in Fukushima prefecture: Yukihiisa SANADA, Tatsuo TORII.

(2014年9月26日 受理)

信号をMCA (Multi-channel Analyzer)に入力し、放射線の入射位置を示す位置のスペクトルとして表示した。これらのデータを処理する計測部は、FGA (Field-Programmable Gate Array)上に構成した。検出部自体は機械的構造を有さないが、PMT部とデータ処理部をつなぐケーブル及びコネクタを防水構造とした。水底用のPSFの外観について第1図に示す。

PSFの測定結果(計数率)から堆積物中の濃度への換算は、あらかじめ計算コードにより形状を模擬し、堆積物中の放射性セシウムの鉛直分布を模擬した線源条件におけるレスポンスを計算し、実際に堆積物コア試料との比較測定により妥当性を検証したγ線スペクトロメータと比較することにより行った。

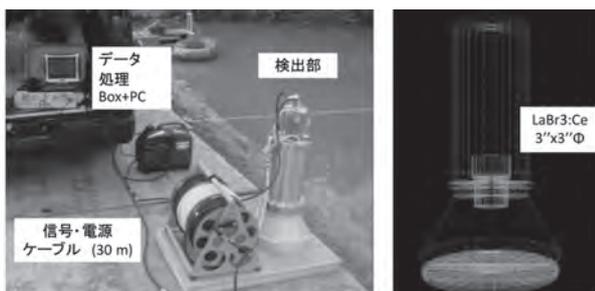
2. γ線スペクトロメータ

スペクトロメータの検出器には直径3インチ×高さ3インチ(7.62 cm φ × 7.62 cmH)のLaBr₃(Ce)を用いて水密構造とした水中用スペクトロメータを開発した。検出器の外観を第2図に示す。検出器からの信号は、データ収集装置でγ線スペクトルを採取するとともに、1秒ごとに全計数率をモニタリングし、リアルタイムでパソコン上に表示した。LaBr₃(Ce)シンチレータは、¹³⁷Csの放出するγ線のエネルギーピークに対し、半値幅が1.8~2.0 keVとエネルギー分解能に優れている。

本検出器をモデル化(第2図)し、モンテカルロ計算コードEGS5⁶⁾によって、水中でのγ線の応答特性を求



第1図 PSFシステム(JREC社製)の外観とため池底測定イメージ



第2図 γ線スペクトロメータシステム(左)とEGS5によるシミュレーションモデル(右)

めた。線源条件は、堆積物サンプルの分析結果をもとに土壤密度1.2g/cm³、土壤の化学組成比をH:O:Si = 0.533:0.400:0.067とし、放射性セシウムが堆積物表層から10 cmまで均一に分布していると仮定し計算した。また¹³⁴Csと¹³⁷Csの比は、事故直後に文部科学省の行った調査⁷⁾に従い、2011年8月13日時点における¹³⁴Cs/¹³⁷Cs = 0.917を基準とした。本検出器で測定した堆積物中における放射性セシウムの湿潤濃度(以下、放射性セシウム濃度)と同地点で採取した堆積物コアサンプルの測定結果を比較した例を第3図に示す。図のように、計算コードを用いたレスポンス計算を当てはめることにより若干高い傾向にあるがよい相関関係にある。

III. 堆積物中の放射性セシウムの鉛直分布

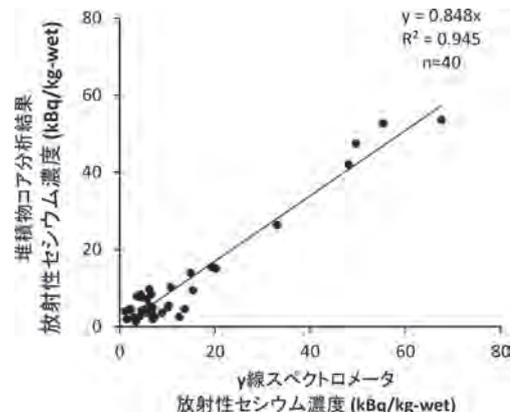
上記手法を適用するにあたり、福島県内における任意の20か所のため池において、堆積物中の放射性セシウムの鉛直分布、堆積物の密度及び含水率を調査した。堆積物のサンプルは、最大40cmの堆積物コアを合計70本採取し表層から5 cmずつにカットした堆積物の中心部をU8容器に分取し、湿潤状態のまま実験室でGe半導体検出器により、放射性セシウム濃度の鉛直分布を測定した。各々の試料はさらに別の容器に分取し、密度と含水率を調べた。第4図に堆積物コア中のインベントリーに対する各々の深度の割合を計算し、70本分の平均値をとったデータを示す。また、同図に136サンプルの密度を測定したデータを示す。これらの測定結果の平均値から、堆積物中の放射性物質の分布、密度及び含水率の条件を決め、直接測定からの濃度換算を行った。

IV. 測定・解析手法

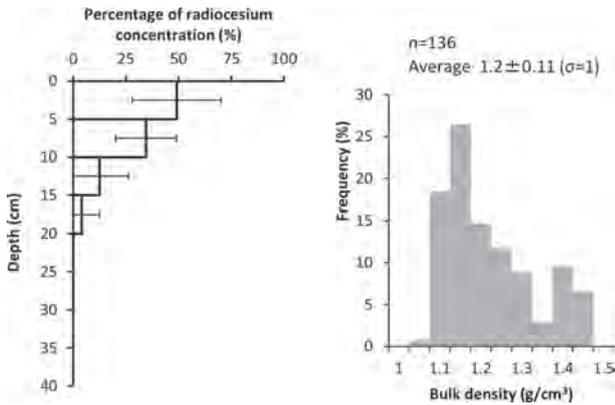
1. 現地での測定手順

現地での測定手順は、以下の手順とした。

- (1) 測線計画の作成(PSFの測線幅5~10 m)
- (2) PSFの値付けのためのキャリブレーション位置の設定(PSF, γ線スペクトロメータ, 堆積物サンプルの比較)
- (3) 環境整備(測定場所の草刈り, ボート移動のため)



第3図 γ線スペクトロメータと堆積物コアの測定結果比較例



第4図 (左図)堆積物中の放射性セシウム濃度の鉛直分布：福島県内のため池で採取した70本のコアの分布比の平均を示している。誤差はデータの標準偏差($\sigma = 1$)、(右図)堆積物の密度の測定例：136サンプルの測定結果をヒストグラムで表示

のガイド線の設置)

- (4) 測量による基準点の設定
- (5) PSFによる測定
- (6) γ 線スペクトロメータによる測定(キャリブレーションライン)
- (7) 堆積物サンプルの採取

PSFの経時変化やため池ごとの特性(水生植物、堆積物の粒径分布)の違いを考慮して、キャリブレーションは各池で実施した。キャリブレーションでは、測定の精度を高めるため、なるべく同じ位置での測定が必要となる。そこで、GPSとGlobal Navigation Satellite System (GLONASS)から正確な基準点を設定し、測量機器(例えば、Topcon社製:イメージングステーションIS305)で測定位置を記録した。PSFの測定では、水底に密着するように設置し、表層の堆積物の舞い上がりが落ち着くのを待ち、100秒間の測定を行った。 γ 線スペクトロメータについても同様に、100秒間の測定を行った。第5図に、ため池の測定風景について示す。技術実証のための測定は、福島県内の10か所の池で実施した。



第5図 ため池測定風景(左:PSF,2つのボートの間にPSFが沈められている。右: γ 線スペクトロメータ)

2. 解析方法

PSFで測定した計数率データから堆積物中の放射性セシウム濃度への換算は、 γ 線スペクトロメータにより行った。キャリブレーションラインに配置したPSFで測定した計数率は50cmごとに平均値を算出し、同地点で測定した γ 線スペクトロメータで評価した放射性セシウム濃度と比較し換算係数を算出した。算出した換算係数によりため池全体の放射性セシウム濃度を求めた。

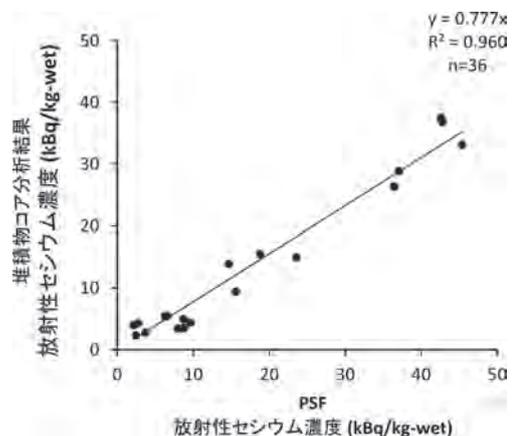
PSFによる放射性セシウム濃度の検出下限値は、放射性セシウムの存在しないため池底(北海道立十勝エコロジーパーク内の池)でバックグラウンドを測定し、Kaiserの 3σ 法で求めた結果、61 Bq/kg-wetと評価された。

測定した放射性セシウム濃度の測定結果は地理情報システムソフトArcGISを用いて、測定点間を内挿法の一つであるクリギング法を用いて内挿し、50cmメッシュの放射性セシウム濃度のコンター図を作成した。背景地図には、水土里ネット福島(福島県土地改良事業団体連合会)の所有する航空写真を利用した。

本手法の妥当性を評価するために、PSFで測定した同じ場所において堆積物コアサンプルを採取し、実験室においてGe半導体検出器で測定した結果と比較した。比較結果の例を、第6図に示す。この例では、PSFで測定した結果の方が、20%程度高く評価することがわかる。これは、第4図に示したようにスペクトロメータが堆積物コアの測定結果より若干高い傾向にあったことが原因として考えられる。また、堆積物コアを採取する際に、放射性セシウムをよく吸着している細粒分が捕集されていない可能性も考えられる。いずれにしろ、両者はよい相関関係にあり、本手法は水底の放射性セシウム濃度をよくトレースできるといえる。

V. 測定結果例

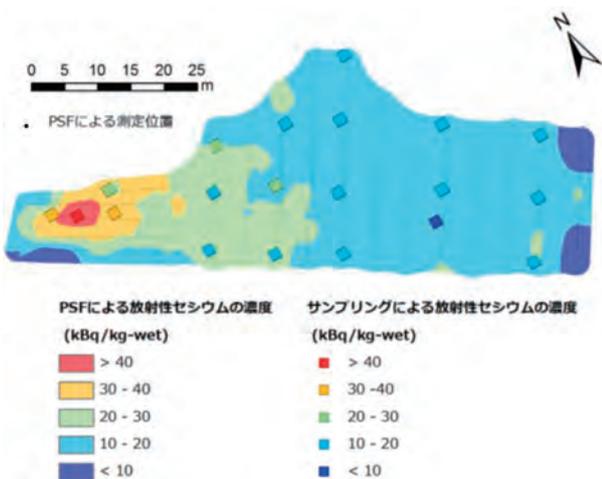
第7図に、本測定手法を用いて作成した福島市内のため池における放射性セシウム濃度マップを示す。マップ上に示した黒点はPSFによる測定場所を示している。



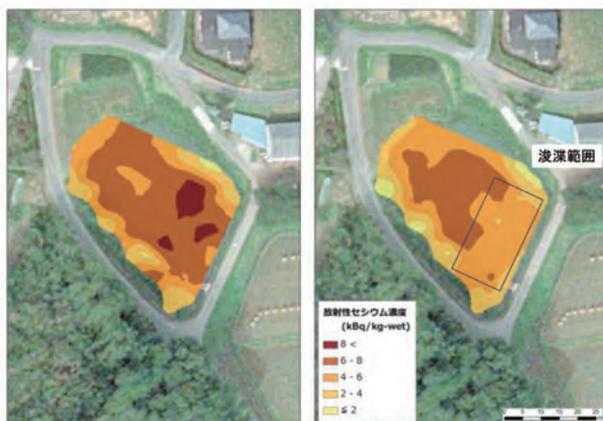
第6図 PSFと堆積物コアの測定結果比較例

また、同時に実施した堆積物サンプルの採取場所と測定結果を示す。このように、PSFで作成したマップは、ため池底の堆積物中の放射性セシウム濃度の分布を把握する上で有用であることがわかる。最大濃度を示した地点では、集水域から雨水が流入する入口となっている。マップを見るとその流入口を中心として放射性セシウムが拡散している様子が伺える。また、同時に採取した堆積物サンプルの分析結果と比較するとよく一致していることがわかる。

第8図に、福島市周辺自治体のため池において浚渫作業の前後に本手法を適用した結果を示す。浚渫前の測定は2013年4月4日に実施し、浚渫後の測定は2013年5月14日に実施した。本池は、南東方向にある田畑に水を供給する作りとなっており、主に北西方向から集水域の流入がある。浚渫前の放射性セシウムの濃度分布をみると、南東方向に向けて放射性セシウムの濃度が高くなる傾向にある。浚渫の作業は、浚渫前のマップを参考に放射性セシウムの濃度が比較的高い部分を浚渫した。浚渫後のマップをみると、放射性セシウムの減少した場



第7図 PSFによる水底の放射性セシウム濃度分布マップ



第8図 浚渫前後の測定結果の比較例
(左: 浚渫前 2013年4月4日測定, 右: 浚渫後
2013年5月14日測定)
背景地図は水土里ネット福島から提供

所と浚渫した場所がよく一致していることがわかる。

VI. 成果と今後の展開

水中で使用できるPSF及びスペクトロメータの開発を行った。また、ため池等の水底に蓄積される堆積物の表層をPSFによって直接測定することにより、堆積物中の放射性セシウム濃度を評価する手法を開発した。本手法は、1,000m²程度の大きさのため池を4日間程度(1チーム5人として)で測定することができ、比較的迅速な測定を可能とした。また、測定結果をもとに、水底の濃度分布のマップを作成する手法を確立した。作成したマップは、濃度分布を視覚的に捉えることができ、本測定方法は堆積物採取のみでは捉えきれない池底の堆積物の放射性セシウムの濃度分布を捉える方法として有用である。今後、除染の計画の策定や通常のため池の保守で行われる浚渫による濃度分布の変化を確認するために有用な方法であると考えられる。

手法の抱える課題としては、検出器が水底と密着していない状況になると濃度を過小評価してしまうことが挙げられる。特に藻など水生植物は測定の影響となる。ため池の水は透明度が低く、目視やカメラでは水底の状況を確認することは難しいため、超音波等を用いた水底の可視化技術の適用が望まれる。また、評価の前提条件となる放射性セシウムの堆積物中での鉛直分布については、今後、変化していくことが想定されることから定期的な確認が必要であろうと考える。

また、得られた濃度分布結果の要因について、詳しく考察すると放射性セシウムの環境中での移行に関する見が得られるものと考えられる。特に、流入口や流出口や流量、池内での流れ、堆積物の物理的・化学的な性状など、様々なパラメータが考えられる。環境省の放射性物質調査方法等検討業務報告書⁸⁾や文部科学省による広域な放射線分布測定調査報告書⁹⁾においても、堆積物中の放射性セシウムの濃度は、粒径に大きく依存するため、環境中での動態に関する情報を得るためには、粒径による補正が必要だと推奨している。今後、放射性セシウムの環境動態という観点からも測定結果を解析すべきであろうと考える。

本手法は平成25年度末より福島県農林水産部の委託を受けた水土里ネット福島に技術移転を行っている。福島県は、本手法による計測を県全体に適用することを目指している。さらに、当初は¹³⁴Csと¹³⁷Csの弁別を目的としてLaBr₃(Ce)シンチレーション検出器を用いたが、NaIシンチレーション検出器を使用した簡便型的水中γ線スペクトロメータも開発している(第9図)。これは、重量バランスを考慮して軽量になっている。

福島県を中心とした被災地は農業が中心産業となっており、農家の営農再開を促すためにも、ため池底の状況を明らかにすることは必要である。今後、ため池をはじ



第9図 NaI シンチレーション検出器を用いた量産型のため池専用 γ 線スペクトロメータ(日立アロカ社提供)
(左: 実用機(重量約 15 kg), 右: 試作機。両者とも直径2インチ×高さ2インチのNaI シンチレーション検出器が採用されている)

めとして、様々なフィールドでの水中での放射線測定技術の開発研究を行っていきたいと考えている。

VII. おわりに

福島県農林水産部農地管理課の先崎秋実主任主査には福島県内のため池での試験の際に地権者や周辺住民への調整を行っていただいた。また、福島県土地改良事業団体連合会農村振興部の佐瀬隆聡主任主査、鈴木元和氏にはため池のマップや測定結果を提供いただき、ここに感謝の意を表したい。

— 参考資料 —

- 1) 福島県農地管理課ホームページ:
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36045d/noutikannri017.html> (2014年9月閲覧)
- 2) 鳥居建男, 眞田幸尚: 面で捉える汚染分布の測定技術—ファイバー検出器による放射性セシウムの測定—, Isotope news, No.713, p.25-29 (2013).

- 3) S. Soramoto, et al.: A study of distributed radiation sensing method using plastic scintillation fiber, KEK Proceedings, 93-8, 171-173, (1993).
- 4) 江本武彦, 他: シンチレーション光ファイバーによる放射線空間分布測定, 放射線, 21, 49-58, (1995).
- 5) 眞田幸尚, 他, 水底の in-situ 放射線分布測定手法の開発, JAEA-Research 2014-005, 67p (2014).
- 6) H. Hirayama, et al., KEK Report 2005-8, SLAC-R-730 (2005).
- 7) 原子力規制庁ホームページ: Preparation of distribution map of radiation doses, etc. (Map of radioactive cesium concentration in soil) by MEXT.
<http://radioactivity.nsr.go.jp/en/contents/5000/4165/view.html> (2014年9月閲覧)
- 8) 環境省ホームページ: いであ(株), 平成24年度水環境中の放射性物質調査方法等検討業務報告書,
http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/report_method-w_1303.pdf (2014年9月閲覧)
- 9) 原子力規制庁ホームページ: 文部科学省原子力災害支援本部, 放射線量等分布マップ関連研究に関する報告書(第2編),
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5522/view.html> (2014年9月閲覧)

著者紹介



眞田幸尚 (さなだ・ゆきひさ)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 放射線計測, 放射線管理



鳥居建男 (とりい・たつお)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 放射線計測, 環境放射能, 地球物理

解説シリーズ

シミュレーションのV&Vの現状と課題

第3回(最終回) V&Vに関わる技術標準の動向

—「モデルV&Vと品質V&V」

伊藤忠テクノソリューションズ(株) 中村 均

シミュレーションの品質保証に関わる技術標準は、シミュレーションモデル構築における予測性能評価を主眼とした「モデルV&V」と解析プロセスの品質保証を目的とした「品質V&V」に分類できる。本報では、両者の根底にあるV&V概念とそれぞれの役割を示すと共に、代表的な技術標準の内容を解説する。さらに日本原子力学会で策定が進んでいるV&Vガイドラインのあらましを紹介する。

I. はじめに

工業製品の設計・開発や原子力システムの安全性評価まで、工学シミュレーション(Engineering simulation)の品質保証の重要性は、広く産業界に認識されるようになってきた。シミュレーションは、数値計算による“予測”であるので、実現象に対する計算結果の正しさを(演繹的に)証明することはできない。計算結果の正しさ度合(品質)を状況証拠の積み上げにより(帰納的に)論証することしかできない。工学シミュレーションの創成期においては、品質保証は解析者の常識や信用に任されていた。しかしながらシミュレーションの高度化に伴い、論証は簡単ではなくなり、方法論の開発や標準化の必要性が高まってきた。原子力システムの安全解析のような分野では、とりわけ論証方法の標準化の重要性は高い。

V&V(Verification & Validation, 検証と妥当性確認)は、帰納的な論証の中核をなす概念・原理である。工学シミュレーションの品質保証の標準はいずれもV&V概念を採用している。最近ではV&Vという用語は、慣用的に品質保証と同じ意味でも使われている。

工学シミュレーションの品質保証のための標準には2つの流れがある。一つは米国機械学会のASME V&V^{1,2)}に代表されるモデル構築とシミュレーション(Modelling & Simulation, 以降M&Sと表記)における予測性能評価に主眼をおいたものである。もうひとつは、解析プロ

セスの品質マネジメントを主眼としたものである。前者をモデルV&V、後者を品質V&V(またはProduct V&V)と呼んでいる³⁾。両者は役割の違いはあるが、どちらもV&Vの概念そのものはよく似ている。

モデルV&Vに基づく標準としては米国機械学会によりASME V&V10(固体力学)¹⁾、V&V20(流体力学)²⁾があり、さらにV&V30(原子力)とV&V40(医療)の開発が進んでいる。日本では当学会においてV&Vガイドラインが策定中である。品質V&Vに基づく標準には、英国のNAFEMSによるQSS001⁴⁾があり、日本ではその流れをくんだ計算工学会の標準(HQC001&2)^{5,6)}がある。本解説ではまずV&Vの基本概念について述べた後、モデルV&Vと品質V&Vの標準の違いと役割を解説する。次に、これらの国内外の標準のあらましを紹介する。

II. V&Vと工学シミュレーション

V&Vは数値シミュレーションに特有の用語ではなく、製品やサービスの品質マネジメントにおける重要な概念である。代表的な品質マネジメント標準であるISO9001では、検証と妥当性確認を次のように規定している。

- ・検証：規定要求事項を満たすことを確認すること。
- ・妥当性確認：特定の意図された用途又は適用に関する要求事項が満たされていることを確認すること。

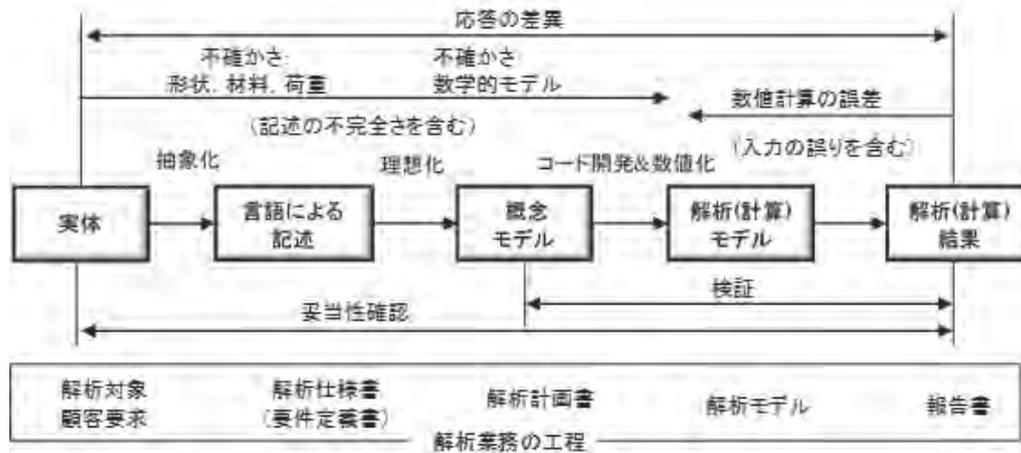
顧客の要求を満たす製品を作るためには、まず要求を言語により規定する必要がある。この規定要求事項(仕様)通りに製品が作られたことを確認することが検証である。しかしながら顧客が望むことや実環境を完璧に言語で表現することは難しい。仕様通りに作られた製品が顧客の望んだものでないかもしれないし、実環境では機

Current Status and Issues of V&V (3) ; Standards & guides for engineering simulation : Hitoshi NAKAMURA.

(2014年9月30日受理)

■前回のタイトル

第2回 確率論的リスク評価分野におけるV&V



第1図 工学シミュレーションにおけるV&Vと解析業務の工程

能しないかもしれない。それを確認するのが妥当性確認である。ソフトウェア工学の研究者であるBoehm⁷⁾は検証と妥当性確認を次のように説明している。

- ・検証: 「正しく製品を作っているか?」つまり, 仕様通りに作っているか?
- ・妥当性確認: 「正しい製品を作っているか?」つまり, 作られた製品は顧客要求を満たすか?

ここで工学シミュレーションにおけるV&Vの役割を考えてみる。工学シミュレーションとは第1図に示すように, まず実世界の実体を言葉によって記述(規定)し, それを理想化して概念モデルを作成し, さらに数値データに置き換えた解析モデルを作成して計算することによって, 実体の挙動の予測結果を得ることである。実体を言葉で記述し理想化する過程で, 形状や材料特性や荷重の不確かさ, そして理想化(数学的モデル化)に伴う不確かさが入り込んでくる。さらに解析モデルを作成し計算する過程で, 入力の手りや数値計算の誤差が計算結果に入り込み, 実体の挙動と計算結果の差異を生じさせる。各過程における不確かさ・誤差を管理し, 最終的に得られた解析結果と実体の挙動との差異の程度を示すことが, 工学シミュレーションにおける品質保証である。

モデルV&Vの代表的な標準であるASME V&V10¹⁾では, 検証と妥当性確認を次のように定義している。

- ・検証: 計算(解析)モデルが, 基礎となる数学モデルと解を正確に表していることを示すプロセス
- ・妥当性確認: シミュレーションモデルが, 意図された利用目的に基づいて, 対象とする実現象を正確に表現している程度を表すプロセス

第1図下には品質V&Vにより管理される解析業務の工程を示している。解析者は, まず解析の目的と対象とを明らかにした上で解くべき問題を定義する。次にモデル化の方法と手順を計画し計算を行う。品質V&Vにおいて, 検証は解析仕様および解析計画で規定した通りに正しく解析が行われたことを確認することであり, 妥当

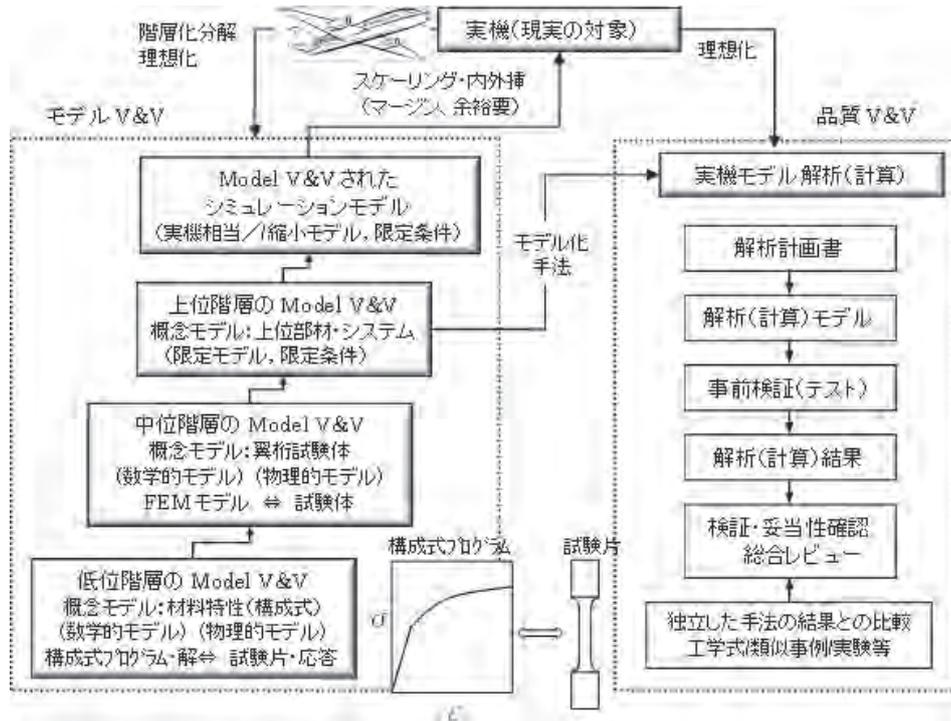
性確認は解析結果が実体を表している度合が, 解析の目的に応えられるかを確認する活動である。

III. モデルV&Vと品質V&V

M&SのためのモデルV&Vと解析プロセスの品質保証を目的とした品質V&Vは相互に役割を分担している。

ここでは実世界のシステムとして航空機の構造解析を行うことを想定して, モデルV&Vと品質V&Vの役割を整理して第2図に例示する。同図左に示すモデルV&Vではまず現実システムを階層化分析して, 構成する要素に分解する。各要素の特性を表すシミュレーションモデル(数学的モデル)に対して実験(物理的モデル)との比較による妥当性確認を実施して, 要求される予測性能をもつシミュレーションモデルを確立する。同図の最低位階層の構成要素は, 素材そのものであり, 材料の応答特性(構成方程式)を概念モデルと考えて, 数学的モデルと物理的(実験)モデルを作成し妥当性確認を実施する。これにより材料の応答特性を表すシミュレーションモデル, つまり構成方程式を実装したFEMプログラムの妥当性が確認される。その上位階層では翼桁試験体のシミュレーションモデルに対するV&Vを実施し, 翼桁のモデル化手法の予測性能を評価する。以後, さらに上位階層の構成要素に対してV&Vを実施して, 最上位階層までのV&V, 予測性能評価を完了する。次に最上位階層のシミュレーションモデルを用いて実機の予測計算を実施するが, 妥当性確認の試験条件の近傍で予測計算を実施できるとは限らず, 荷重等の計算条件の内外挿が必要になるのが普通である。また最終モデルが縮小モデルであることも, よくあることである。そのために実機の予測計算では必要に応じてスケールングを実施した上で一定のマージン, 余裕を与える, あるいは予測結果の不確かさ範囲(エラーバー)を拡大することが必要になる。

上記のモデルV&Vの階層は理想的なもので, 現実の



第2図 モデルV&Vと品質V&Vの役割

工学シミュレーションにおいて、最上層のシミュレーションモデルが実機に近い形態であるとは限らない。むしろ構造解析等では途中の階層までで確立されたシミュレーションモデル(モデル化手法)を実機相当モデルに適用するのが普通である。この場合、モデルの形状に飛躍があるだけでなく、材料や荷重条件も拡張されることもある。そのため実機解析においては、品質V&Vを適用して計算結果の妥当性を改めて確認することになる。

実務においてモデルV&Vと品質V&Vが明確に使分けられるとは限らない。解析者が品質V&Vにより実機解析(設計解析等)を実施する時、用いるシミュレーションモデルは、元々はモデルV&V的手法により開発されているはずである。歴史のある構造解析等では過去のモデルV&Vの成果が、解析コード及び手法のKnow-howの中に取り込まれていると考えることができる。

IV. モデルV&Vに基づく標準

1. ASME V&V 標準

モデルV&Vに基づく標準としてはAIAA(米国航空宇宙学会)が流体解析のV&Vガイドを1998年に発刊した。米国機械学会は、V&Vの定義についてAIAAのガイドを継承した上で、2006年に固体力学に対するガイドV&V10¹⁾を発刊した。さらに2009年に熱流体力学に対する標準V&V20²⁾を発刊した。両者は対象を分けているが、V&Vの方法論は基本的に同じである。第2図左に示したように、階層化分解したあと、まず最下層の概念モデルに対して、数学的モデルそして計算モデルを

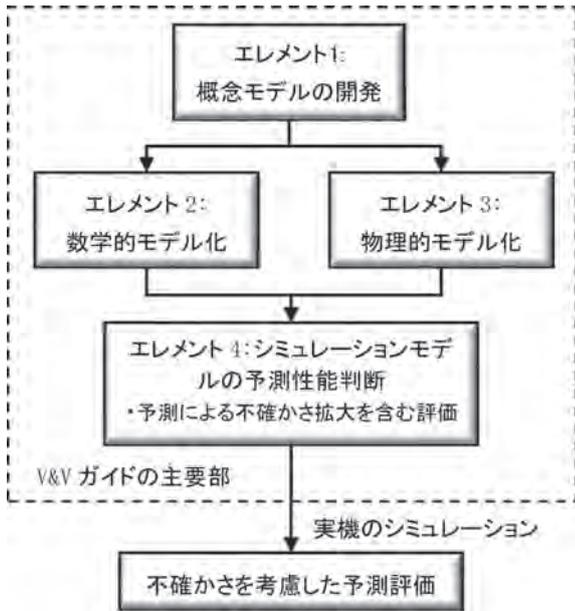
開発する。同じく概念モデルから開発した物理的モデル(実験)の結果と計算モデルの結果を比較して定量的な妥当性確認により、シミュレーションモデルの予測性能を評する。このプロセスを上位階層に繰り返すことにより、全体システムのシミュレーションモデルを構築する。

ASME V&Vでは妥当性確認の試験条件近傍における実機計算を(暗黙の)前提としており、大きな内外挿を伴う場合の予測性能の評価は今後の課題としている。

2. 日本原子力学会のV&Vガイドライン

原子力システムの安全解析の高度化や国産コード開発におけるV&V手法の確立の重要性は、岡本や笠原らの本誌既報^{8,9)}で述べられた通りである。原子力学会標準委員会、標準委員会基盤・応用技術専門部会のシミュレーションの信頼性分科会にて「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン」(以下V&Vガイドという)の開発が進んでいる。V&Vガイドは、核、放射線、熱流動、化学反応および構造を含む原子力施設のシミュレーション全般に関わるモデルV&Vの基本的な考えを示すことを主眼としている。

V&Vガイドは、主要な海外の標準の考え方を総合的に解釈した上で、適切と思われるM&SにおけるV&Vの考え方を示している。第3図はV&Vガイドラインの骨格を示したもので、エレメント1から4までのV&Vの基本プロセスは、海外標準を総括したものになっている。図中にある「不確かさを考慮した予測評価」とは実機のシミュレーションのことであり、V&Vプロセスによ



第3図 原子力学会 V&V ガイドの骨格

り妥当性確認されたシミュレーションモデルを用いた実機計算を示している。本解説のⅢ章で述べたように、V&Vされたモデルを実機計算に適用する場合には一定のマージン、余裕を与える必要がある。前節で述べたように ASME V&V では、この扱いを明示していない。

V&V ガイドの大きな特徴は、シミュレーションモデルを実機計算に用いた時の予測性能の評価、つまり実機計算で拡大する不確かさの取扱方法を提示していることである。ここで予測とは、物理的モデル(実験)により妥当性確認された条件以外でのシミュレーション、つまり実機計算のことである。エレメント1から3までの要素において不確かさを拡大させる要因を抽出して、エレメント4の中でモンテカルロ法や感度解析法等を用いて不確かさの拡大を定量化していく。V&V ガイドはモデル V&V の標準として日本で初めてのものである。V&V に関わる広範な用語や技術要素を詳細に記述しており、個別分野の V&V 計画や評価における必須の標準書となることが期待される。

V. 品質 V&V に基づく標準

1. SAFESA, QSS001: NAFEMS の標準

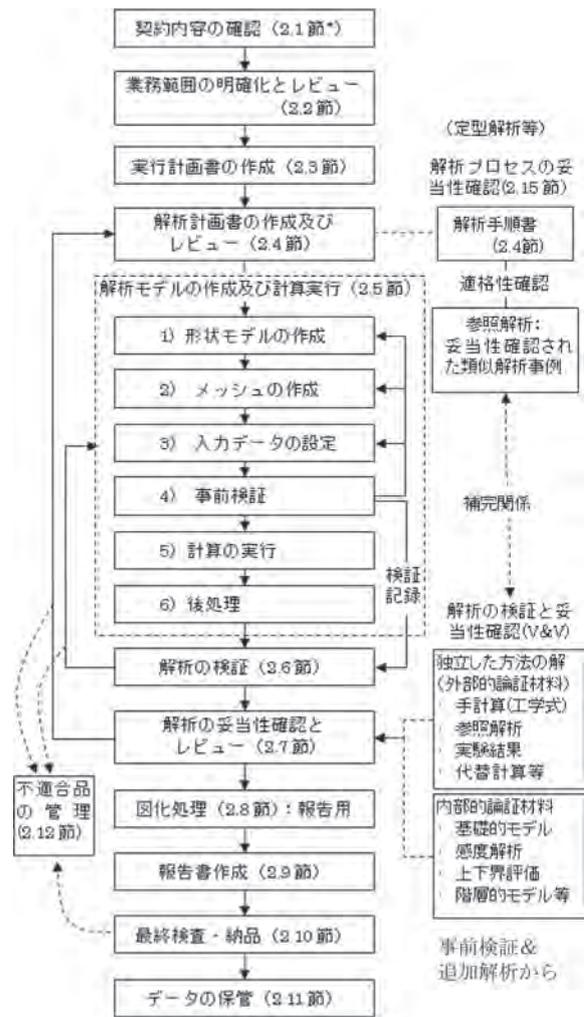
英国の非営利団体である NAFEMS (National Agency for Finite Element Methods and Standards) は、1990 年代の早い時期から工学シミュレーションの品質保証標準の開発に取り組んでいる。NAFEMS は 1995 年に構造解析の品質保証の技術標準である SAFESA¹⁰⁾ を発刊した。SAFESA は構造解析における、対象の記述、理想化、モデル作成、計算、適格性確認に至る工程における綿密な手順と要件を規定している。SAFESA は、理想化、モデル化等の過程における不確かさと誤差を管理し、解析結果の適格性を論理的に説明することに力を

置いている。なお SAFESA では V&V という対比表現は用いられていない。NAFEMS は ISO9001 に準拠した解析の品質保証要求基準である QSS001⁴⁾ を 2007 年に発刊している。QSS001 では V&V の定義が明確にされ、検証は ISO9001 に準じて規定され、妥当性確認は SAFESA を継承している。

2. HQC シリーズ標準：日本計算工学会

日本計算工学会は 2011 年に 2 つの標準「工学シミュレーションの品質マネジメント」⁵⁾ (以降 HQC001 と表記) と「工学シミュレーションの標準手順」⁶⁾ (以降 HQC002 と表記) を発刊した。HQC001 は、ISO9001 に従って解析業務の品質システムを構築する場合の補足的な要求事項をまとめている。HQC001 では V&V を含む基本的な用語と構成は QSS001 に準じている。

HQC002 は、HQC001 に基づいて、構造解析や流体解析などの解析業務を行う場合の標準的な手順をまとめたものであり、業務マニュアルの原型として利用できるように構成されている。HQC002 は第 4 図に示すように



*) 図中の節番は HQC002 本文に対応

第4図 HQC002 の標準手順

計画からデータの保管までの一連の工程を含んでいる。HQC002は、V&Vを基軸とする品質保証の実施方法を示すという方針に基づき、次の点を重視している。

- ・本番計算の前に、解析モデルの確認を行う事前検証と解析結果の検証を合わせて系統的な検証を実施。
- ・妥当性確認では解析結果を独立した方法による解(外部的論証材料)と比較。さらに解析モデルの各種試験(内部的論証材料)により理想化の適切性を評価する。

妥当性確認では解析結果が実体を表している度合を判断するために、現実の対象をある水準で表現する独立した方法による解(外部的論証材料)と比較する。独立した方法とは、手計算、妥当性確認済みの類似解析(参照解析)、別の解析モデルによる代替計算(クロスチェック)および実験などである。内部的論証材料とは解析モデルを用いた試験結果であり、理想化(モデル化)の適切性を評価するために実施される。これは例えば簡略化した基礎的モデルを用いた見通し解析、境界条件等の影響をみた感度解析・上下界評価、異なる種類・寸法の要素を用いた階層的モデルによる試験などである。

VI. おわりに

原子力プラントの熱過渡解析や耐震解析等においては数十年前に確立されたシミュレーション技術が適用されているが、これを新しい技術に更新することは簡単ではない。例えば機器耐震解析における非線形解析のように需要があるものでも、なかなか実用化は進まない。かたや自動車産業等ではシミュレーション技術は競争に勝つ手段として日々刷新されている。これは規制の性格の違いと共に、量産品では実験とシミュレーションのV&Vサイクルが有効に回りやすいからである。

原子力の分野では、規制要求に対して客観的な論証過程を示すための手段としてV&V標準の意義は特に大きい。また単品生産品であることと実験のコストも高いため、綿密なV&V計画・評価を行うための技術標準の必要性も高い。今後、原子力のシミュレーション技術を刷新していくためにV&V標準に期待される役割は大きい。

ここで留意すべきことは、当学会で策定中のV&Vガイドは、モデルV&Vの基本的な考え方を提供するものであることである。今後、熱流動安全解析を始め各分野でV&Vを進めるためには、個別にM/Sの実施手順やV&Vの計画・評価方法を定めた手順書やガイドを整備する必要がある。これはその分野の技術に精通した技術者でなければ開発できない。V&Vガイドはその議論のための共通の技術基盤を提供するものになる。

－ 参考資料 －

- 1) Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics: ASME V&V 10-2006.
- 2) Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer. : ASME V&V 20-2009.
- 3) 白鳥正樹, 他, 工学シミュレーションの品質保証とV&V, 丸善出版, (2013).
- 4) Engineering Simulation - Quality Management Systems- Requirements, NAFEMS Quality Standard Supplement 001: NAFEMS, 2007.
- 5) 工学シミュレーションの品質マネジメント(JSC ESS HQC001 : 2014), 日本計算工学会, 2014.
- 6) 工学シミュレーションの標準手順(JSC ESS HQC002 : 2011), 日本計算工学会, 2014改訂予定.
- 7) W. B. Boehm, Guidelines for Verifying and Validating Software Requirements and Design Specifications. : EURO IFIP'79, 1979.
- 8) 岡本孝司, M&Sの高度化_V&Vのための精度保証付き実験データ : 日本原子力学会誌, 56(2), 103(2014).
- 9) 笠原文雄, M&Sの高度化-V&Vの実施の国際動向と適用 : 日本原子力学会誌, 56(2), 108(2014).
- 10) SAFESA Technical Manual, R0041, NAFEMS, 1995.

著者紹介



中村 均 (なかむら・ひとし)
伊藤忠テクノソリューションズ株
(専門分野/関心分野) 原子力構造, 破壊力学, 構造・流体解析一般, V&V

火山現象に対する原子力発電所の安全確保 JEAG4625-2014 の背景とその技術的根拠

大阪大学 中村 隆夫, 電源開発(株) 岩田 吉左

2014年9月に起きた御嶽山の噴火では戦後最悪の火山災害が発生した。また、九州電力(株)川内原子力発電所の再稼働に向けた安全審査では、火山噴火が原子力発電所の安全性に与える影響について審査が行われた。火山現象に対する原子力発電所の安全確保については、(社)日本電気協会において“原子力発電所火山影響評価指針(JEAG4625-2014)”が取りまとめられている。本稿では指針作成に携わった著者らが火山現象に対する原子力発電所の安全確保の基本的考え方、安全影響評価の方法やそれに基づく設計および運転上の考慮事項について解説する。

I. はじめに

我が国は世界有数の火山国であり、火山噴火を含む様々な火山現象に関して長年にわたり理学・工学から社会科学的な研究が進められて来た。

原子力発電所(以下、発電所という)においては、これまで立地段階から火山活動の影響の恐れのない地点を選定するとともに、万一の場合に備えて火山現象の影響を評価して、安全を確保することが求められている。

これらを踏まえて、(社)日本電気協会においては、2006年より「原子力発電所火山影響評価技術指針」(以下、本指針という)の検討が開始された。その後、東日本大震災により福島第一原子力発電所事故が発生し、事故の引き金となった津波を始めとする自然現象に対する発電所の安全確保に関する国民の関心が大いに高まった。

火山現象に関する指針については、震災以前から継続的に検討が行われてきたが、今般、指針制定に関わる検討に一区切りがついたことを受けて、これまでの指針作成の検討に携わった筆者らが、火山現象に対する発電所の安全確保の基本的考え方、安全影響評価の方法やそれに基づく設計および運転上の考慮事項とその技術的根拠について解説する。

II. 火山現象に対する原子力発電所の安全確保の考え方

1. 外部事象に対する原子力安全の基本的考え方

原子力発電所は、地震、津波を始めとする様々な外部

事象に対して、安全機能を維持しなければならない。そのために、発電所の立地、設計・建設、運転のすべての段階において、事故発生防止と事故影響緩和のための種々の対策あるいは運用管理が取られている。このことは、原子力発電所の安全確保が技術的・ハードウェア的側面に注力しがちであるのに対し、日本原子力学会が2013年に発行した基本安全原則¹⁾では、深層防護の考え方の適切な取り入れ、マネジメントやリーダーシップ、安全文化、アクシデントマネジメント策といったソフトウェア的側面が不可欠であることを示していることとも通じている。

原子力安全の目的を達成するために発電所が備えるべき安全機能としては、バウンダリー機能、冷却機能、制御機能等があり、基本的に必要な重要な要素である。上述した基本安全原則において原則8では、原子力事故の発生防止・影響緩和に有効な手段を講じるには深層防護の概念が重要¹⁾、と記載されている。

深層防護は、一般には次の5つのレベルからなる。

- 第1層：異常・故障の発生防止
- 第2層：異常・故障の「事故」への拡大防止
- 第3層：「事故」の影響緩和
- 第4層：「設計基準を越す事故」への施設内対策
- 第5層：公衆と環境の防護のための防災対策

原子力発電所の安全を確保するためには、これらの安全機能が地震や津波、火山現象などの外部事象の影響により失われることがないように、深層防護の概念に基づき、その不確かさに備えていかなる場合にも対処できるように対応策を検討し用意しておく必要がある。具体的には、立地段階の建設地点の選定においては、発電所の安全性に影響を及ぼす自然現象がないことの確認が「異常・故障の発生防止」として行われ、さらに設計建設および運転段階では、発電所の供用期間中に極めて稀では

Safety Assessment of Nuclear Power Plant under Volcanic Phenomena: Background and Technical Basis of JEAG4625-2014: Takao NAKAMURA, Kichisa IWATA.

(2014年11月10日受理)

あるが起きる可能性のある事象が拡大していくことを想定して構築物、系統および機器を設計し運用することにより「事故への拡大を防止」する。さらに、万一にも事故が発生する事態を想定して放射性物質の放出低減を図ることができる様々な手段を備えることにより、「事故の影響を緩和」することを基本的考え方としている。

2. 火山現象に対する安全確保の考え方

火山現象に対する安全確保の考え方は、「火山現象から屋外設備を防護する」とこと、建屋内設備については「建屋内に火山現象の影響を及ぼさない」ことにより、重要な安全機能の喪失を防ぐことである。

安全を確保するために講じる具体的な手段として、発電所を安全に停止し、それを長期的に維持・冷却するために必要な屋外設備を防護するとともに、建屋内への火山現象の影響の侵入を防止することが必要である。対象となる施設は、発電所を安全に停止し、高温停止状態から冷温停止状態へ移行させ、かつ、冷温停止状態を安定に維持するための施設に加えて、使用済燃料貯蔵プールの冷却機能を維持するために必要な構築物、系統および機器が該当する。

このため発電所では、立地段階において、供用期間中に影響を及ぼす可能性のある火山現象を抽出し、抽出された火山現象に対して設計対応の可否を判断することが必要となる。抽出された火山現象に対し設計対応が可能と判断された場合は、設計条件の一つとして基本設計の段階から考慮する。反対に設計対応が不可能と判断された場合には立地を再検討する必要がある。

本指針は、前節の深層防護のレベルのうち、第3層までの設計基準への対応について取りまとめたものである。第4層と第5層、すなわち設計基準を越す事故への設計および運用上の対策と防災対策については、今後引き続き検討していく予定である。

本指針の構成は、指針の適用範囲等を記載した「基本事項」から始まり、立地適合性に係る評価手法等を記載した「火山および火山現象の調査と評価」及び安全施設への影響評価を記載した「機械・電気設備等の影響評価」の3部構成となっており、その他、具体的な評価手法を記載した「付属書」及び参考となる文献等をまとめた「参考資料」を添付している。

国外における火山に係るガイドとしては、国際原子力機関 (IAEA) が2005年頃から火山影響評価ガイダンスの策定活動に着手し、2012年11月にIAEA安全ガイドSSG-21「原子力発電所の立地評価における火山ハザード²⁾」が制定されている (以下、IAEA安全ガイドラインという)。

東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所事故後に新たに定められた新規規制基準では、津波、火山などの様々な自然現象に対して影響評価を実施することが

要求され、その具体的方法が規制庁のガイド³⁾として取りまとめられている。

3. 「原子力発電所火山影響評価技術指針」における火山影響評価検討の流れ

本指針に取りまとめた火山影響評価の流れを以下に示す。

(ステップ1) 既往の文献をもとに評価対象となる火山を選定する。

(ステップ2) 文献調査、地形調査、地質調査結果等をもとに供用期間中に噴火する可能性のある火山 (活動の可能性を考慮する火山) を選定する。

(ステップ3) 活動を考慮する火山の火山現象が原子力発電所に与える影響を評価する。(火山灰は影響範囲が広いため、すべてのプラントにおいて考慮が必要な現象とし、必ず評価を行うこととした。)

(ステップ4) 各火山現象の影響評価項目 (荷重、温度などの影響因子) を整理し、詳細設計および運転段階での対応可能性を評価する。

III. 立地段階における火山影響評価

1. 調査対象の火山および火山現象選定の考え方

(1) 調査対象の火山

調査対象の火山について、活火山については当然、調査対象であるが、本指針ではそれに加え第四紀 (約260万年前以降、従来は180万年前以降) に活動のあった火山を調査対象とした。IAEA安全ガイドにおいては過去一千万年前以降に活動のあった火山が対象となるが、日本では1つの火山の平均的な寿命は数十万年程度⁴⁾であることからみて、第四紀より前に活動した火山は今後活動することはないと判断した。

我が国では第四紀火山カタログが整備されており、第四紀火山の識別は比較的容易である。(第1図⁵⁾参照)

(2) 調査対象の火山現象

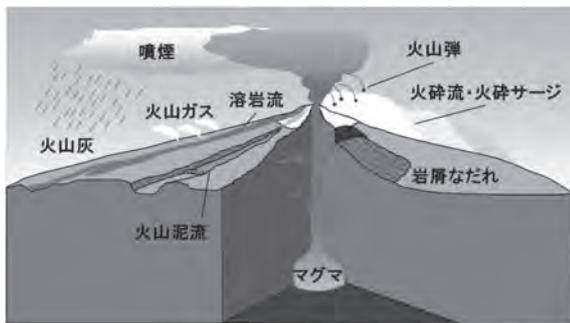
火山影響評価のステップ3で調査の対象となる火山現象は多岐にわたるが、本指針の調査対象としては下記を選定した。(第2図参照)

これらの火山現象は、IAEAガイドに示された火山現象とも整合している。このうち火山灰、火山ガス以外の現象については、現在の知見では設備設計および運用上の対応が困難であり、現象が発電所敷地に到達すると評価された段階でその発電所敷地は立地を再検討することとなる。

- | | |
|--------------|----------------|
| ○火山灰 (軽石含む) | ○火山弾 |
| ○火砕流および火砕サージ | ○溶岩流 |
| ○火山ガス | ○岩屑 (がんせつ) なだれ |
| ○火山泥流 | ○新火口形成 |



第1図 日本の活火山



第2図 調査対象の火山現象

第1-1表 わが国における第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離

種別	火山名	噴出物名	到達距離 (km)	備考
火山弾等	桜島火山	2000年10月7日 噴石	5.6	富士山ハザードマップ検討委員会(2004)より
火砕流堆積物	阿蘇火山	阿蘇4火砕流堆積物	142	小野(1984)より測定
			155	安藤ほか(1996)より
溶岩	富士火山	三島溶岩	43	地表部は富士山地質図(1988)より測定し、町田ほか(2006)より地表下における分布を推定。狩野川沿いに河口まで流下したと推定
				岩屑なだれ堆積物
火山泥流堆積物	富士火山	相模川泥流堆積物	113	諏訪編(1992)を参考に、20万分の1地勢図「静岡」「甲府」「東京」「横須賀」より測定
		酒匂川への泥流堆積物	56	

(3) 我が国における第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離

前項における火山現象の影響評価において目安となるものに、我が国における第四紀火山の火山噴出物等の既往最大到達距離がある。第1-1表⁶⁾は、火山現象ごとに、調査対象火山の空間的範囲を示している。この範囲は、我が国における第四紀火山の既往の噴火における火山性噴出物の最大到達距離をもとに設定した。調査の対象となる噴火には、我が国で発生したカルデラ噴火も含んでいる。

第1-2表⁶⁾は、第1-1表に基づき設定したものである。火山ガスについては、地質記録には残らないことから、被害をもたらすような高濃度の火山ガスの噴出源と敷地との距離としては、火砕流および火砕サージと同じ距離を設定し、火山灰については噴火規模によっては非常に遠距離にまで到達することから、噴出源と敷地との距離による調査対象火山の設定はしない。

第1-2表 調査対象とする火山現象と敷地との位置関係

火山現象	敷地との位置関係
火山弾等の放出	噴出中心が敷地から10km以内
火砕流及び火砕サージ	噴出中心が敷地から160km以内
溶岩流	噴出中心が敷地から50km以内
火山ガスの噴出	噴出中心が敷地から160km以内
岩屑なだれ	噴出中心が敷地から50km以内
火山泥流	噴出中心が敷地から120km以内

2. 火山調査と影響評価の方法

火山の調査は、文献調査、地形調査、地質調査を適切に組み合わせて実施し、また、必要に応じて地球物理学的調査等も実施する。

火山は、そのすべての活動期間において必ずしも同じ様式の活動を繰り返すものではない。すなわち、活発な

時期や比較的穏やかな時期といった変化があり、活動様式が時代とともに変わり得ることから、当該火山の噴火規模、時期、噴火タイプ等の活動様式の変遷等に基づき、今後の噴火の可能性について、適切な評価を行う必要がある。

したがって、「活動の可能性を考慮する火山」であるか否かは、一律な最新活動の時期によって決定するのではなく、当該火山の活動履歴を踏まえ、最大休止期間と、最新噴火からの経過期間との比較等により判断することとした。(第3図⁷⁾参照)

「活動の可能性を考慮する火山」とされた火山について、供用期間中に当該火山が噴火した場合、火山噴出物が敷地に到達する可能性を火山現象ごとに検討する。

火砕流、溶岩流、火山泥流等については、当該火山における過去の火山活動を考慮し、類似火山からの類推も踏まえ、噴出が予想される火山噴出物が敷地に到達する可能性を地形等の情報も用いて検討する。敷地に到達する可能性がある場合には、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」とする。

火山灰については、噴出源に関わらず、敷地および敷地付近に降下した既往の火山灰の厚さと同程度の厚さの火山灰が降下すると評価する。

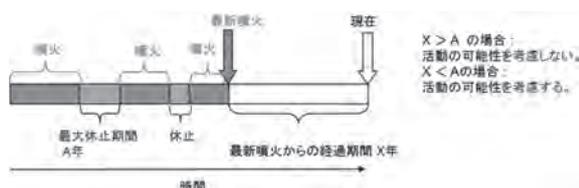
3. 火山活動のモニタリング

火山活動には前述したとおり活発期と静穏期が存在する。このため、立地段階で火砕流等が発電所に到達することはないと判断した場合でも、その判断根拠となった火山活動が将来もそのままという保証はない。

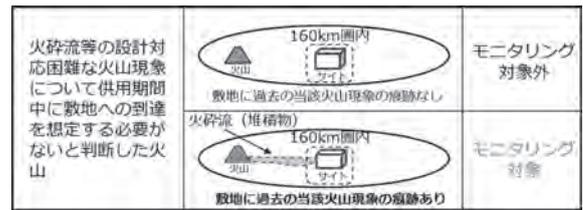
このため、過去に火砕流等の設計対応困難な事象が敷地に到達したと考えられる火山については、供用期間中の敷地への到達を想定する必要がないと判断した場合においても、その判断根拠となった火山の活動状況に変化がないことを継続的に確認することを目的として発電所において火山活動のモニタリングを行う必要がある。その考え方を第4図⁷⁾に示す。なお、モニタリングの実効性を高めるためには産学協同の枠組みが必要であり、その構築は電気事業者の今後の取り組みに任されている。

IV. 発電所設備等に対する火山影響評価

火山影響評価のステップ4においては、火山影響評価データをもとに、「原子力発電所の安全性に与える影響を考慮する火山現象」がある地点に原子力発電所を立



第3図 最大休止期間と経過時間の比較概



第4図 モニタリング対象火山の抽出

地する場合における、機械・電気設備等の詳細設計段階での対応可能性を評価する。

設備に対する影響評価を行う火山現象として、火山灰(軽石を含む)および有毒ガスを選定した。

1. 設備設計および運用上の配慮の基本方針

火山灰等が発電所敷地に到達した状況において、以下の要件を達成することを目的とする。

- プラントを安全に停止し、高温停止状態から低温停止状態へ移行し、かつ、低温停止状態を維持すること。
- 使用済燃料貯蔵プールの冷却機能を維持すること。

これは、火山灰が大量に降下するような過酷な条件下においては原子炉の運転を停止し低温停止に移行することが、安全性確保のため最も確実な手法と考えたためである。

2. 対象機器選定の考え方と選定例

原子炉の安全停止に関わる系統および使用済燃料貯蔵プールの冷却に関わる設備を整理し、火山灰等の影響を受ける設備を選定する。設備の選定に当たっては、安全機能を直接果たす役割を有する、いわゆる直接系に加えて、電源供給設備等の間接系も対象とする。

設備選定方法として、プラント停止の主要イベントから安全停止に必要な系統を洗い出し、直接系と間接系の機能を維持するための間接系の設備を抽出する方法を提示することとした。

設備の評価に当たっては、除灰作業等、運用面での対応を期待できるものとした。降灰時は作業環境としては劣悪ではあるものの、体制、装備を整え、十分な訓練を積む前提において、屋外作業は実施可能と判断したためである。

3. 設計上の配慮の具体例(直接的影響)

以下に本指針に示す代表的な構築物、系統および機器における火山灰等に対する設計上の配慮の具体例とその考え方について述べる。

(1) 屋外施設

屋外に設置する施設としては、安全施設を設置する建屋、屋外タンク、海水ポンプ等があり、直接火山灰の影響を受けることになる。影響モードは火山灰堆積による

静荷重であり、火山灰除去作業が実施可能であるアクセス性が確保されることを求めている。なお、発電所敷地ごとに火山灰堆積厚さを調査にて設定し、火山灰堆積荷重に対して耐える構造であることを評価してもよいとしている。

また、海水ポンプの影響モードとして、海水中の火山灰による摩耗(ポンプ本体)、冷却空気への火山灰混入による地絡・短絡(電動機:屋外設置の場合)である。ポンプ軸受は海水中に混入した火山灰がかみ込み難い構造であることを求めており、電動機については、電動機冷却空気が電動機巻線を直接冷却しない冷却方式であることを対策例として挙げた。また、海水ポンプの下流側にある熱交換器について、閉塞しない対策が講じられていることを求めている。

(2) 屋内設備

屋内の評価対象設備に対する火山灰影響を防止するためには、換気空調系により、火山灰の侵入を防止することが有効である。この考え方に基づき、建屋換気空調系に対する配慮事項を以下のように取りまとめている

- ・フィルタが交換できる構造であること
- ・フィルタ交換に必要な時間に対して、換気空調系を停止しても室内温度が許容範囲内であること

また、運転員が常駐する中央制御室については、火山ガスの流入を防止するための外気遮断運転、フィルタの交換時間等に係る配慮事項を規定した。

その他、非常用ディーゼル発電機等については、火山灰に対する具体的な配慮事項を記載するとともに、除灰等の屋外作業時の作業員の安全確保のための装備等について規定した。

5. 火山現象の間接的影響への配慮

火山現象が発電所の敷地内に到達しない場合においても、発電所の敷地外の火山現象により、発電所が間接的な影響を受けることが考えられる。したがって、直接的影響に対する設備対策設計に加え、間接的影響を考慮した運用面の対策を取ることが必要である。このことから、間接的影響として、外部電源の喪失、道路交通の遮断、工業用水等の停止を想定し、これらについて発電所への影響を明らかにするとともに、発電所の対策例および外部支援実施時の考慮事項を規定した。

V. おわりに

地震、津波など自然現象が社会に大きな影響を及ぼすことを、我々は東日本大震災の経験から学んだ。

東日本大震災による津波が原因となって発生した福島

第一原子力事故の例を出すまでもなく、火山現象に備えることは発電所の安全確保において極めて重要であり、火山現象に対して発電所の安全性を確保するための技術指針を取りまとめることは、世界有数の火山国であり、また火山に対する優れた防災技術を有する我が国の責務と考える。

火山現象は不確かさが大きく、その低減を図り、発電所の安全性を高めるためには、確率論的手法の導入等を通じさらなる知見の拡充を図り、設備(ハード面)と運用(ソフト面)の両面から安全対策の充実に取り組んでいくことが必要である。そのためには、深層防護の考え方にに基づき、引き続きその実効性をさらに高めるため本指針の改定の検討を継続していきたいと考えている。

—参考資料—

- 1) 日本原子力学会, 標準委員会技術レポート AESJ-SC-TR-005:2012, “原子力安全の基本的考え方について, 第一編: 原子力安全の目的と基本原則”, (2013年6月).
- 2) IAEA Specific Safety Guide No.SSG-21, “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installation”, (2012).
- 3) 原子力規制委員会, “原子力発電所の火山影響ガイドライン”, (2013).
- 4) 兼岡一郎, 井田喜明編, “火山とマグマ”, 東京大学出版会, (1997).
- 5) Japan Meteorological Agency, “Distribution of active volcanoes in Japan”, http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html, (accessed Mar. 27th, 2014).
- 6) JEAG4625-2014, “原子力発電所火山影響評価指針”, 日本電気協会, (2014).
- 7) 中村隆夫, 中田節也, 岩田吉左, 小野勉, 濱史生 火山現象に対する原子力発電所の安全確保について JEAG4625改訂版の背景とその技術的根拠, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.13, No.3, p.75-86 (2014), doi:3327/taesjJ14.004.

著者紹介



中村隆夫 (なかむら・たかお)
大阪大学
(専門分野/関心分野) 原子力社会工学, 規格基準



岩田吉左 (いわた・きちさ)
電源開発(株)
(専門分野/関心分野) 原子力発電所の設備設計

解説

リスクコミュニケーション再考

原子力リスクの再構築

福井大学 山野 直樹

福島第一原子力発電所事故後の原子力リスクコミュニケーションの問題点や課題について考察し、従来の実践手法を批判的に捉え、政府や専門家が失った公衆からの信頼を再び回復するためには、どのような取組みが必要なのか、原子力界におけるこれからのリスクコミュニケーションのあり方をどのように再構築していくべきかを論じる。

I. はじめに

福島第一原子力発電所事故（以下、福島事故と記す）後、原子力に係る放射線・放射能リスクが顕在化し、低線量の放射線健康影響、放射性廃棄物の管理・隔離、地震・津波などの外的事象に対する原子力安全、さらには原子力のあり方そのものに対する社会問題が惹起している。政府事故調査・検証委員会や多くの識者からリスクコミュニケーション（以下、リスクミと記す）の重要性が力説された。これを受ける形で本会会員をはじめ多くの関係者が原子力リスクミに携わっている。しかし、福島事故から3年半以上経った今振り返ると、原子力リスクミが効果的に行われているという実感がない。従来の原子力リスクミの問題点と課題を明確にすることで、原子力界におけるこれからのリスクミのあり方をどのように再構築していくべきか提言を含めて論じる。

II. 原子力リスクミの特徴

原子力リスクは人間の「五感」で捉えることができない放射能・放射線を対象とする特徴があり、他の科学技術とは異なるものと言われている。非顕在リスクは遺伝子組換え作物や宇宙開発などの人工物に共通するものではあるが、福島事故によって放射線という「環境と生命に関わるリスク」¹⁾が顕在化したことは国民の多くが実感しているところである。

従来の原子力リスクミ手法は、大規模災害を想定したものではなく、安全が確保されていることを前提条件とした平時の原子力理解推進や社会受容性向上を目的として開発されてきた。そのため、リスクミの現場ではしばしば専門家による説得的文脈による説明が行われ、いわ

Reconsidering of Risk Communication ; Reconstruction of Nuclear Risk Communication : Naoki YAMANO.

(2014年10月1日受理)

ゆるパターンリズム(父権主義)に見られるような弊害が生じていた。

また、1995年以降の原子力事故や相次いだ不祥事を要因として、原子力を推進する「原子力ムラ」と俗称される集団主義社会のリスクミとして国民からは不信感のあるイメージで捉えられていることも特徴の一つである。

カテゴリー的に信頼性が低いとみなされている職業である政治家が、「安全・安心のために」、「国民に分かりやすく丁寧に説明してご理解をいただく」と発言する場面がしばしば見られるが、「ご理解をいただく」という文脈自体が説得的と認知されやすく、この場合は理解を得るところか逆に不信を招くことはリスクミの常識である。

さらに、原子力リスクミは公衆を対象とした外部コミュニケーションに特化していることも特徴の一つで、組織のリスクガバナンスと社会的責任の視点による組織統治や内部コミュニケーションを包含するプロセスアプローチとしての戦略的な取組みがなされていない。これらの組織の問題点と課題についてはIV章で論じる。

III. 原子力リスクミの問題点と課題

1. 「リスク」の概念

原子力リスクミの問題点や課題を述べる前に、「リスク」の概念について考察したい。

科学技術者が考えるリスクとは、「確率×結果(帰結)の大きさ」と定義するのが一般的であろう。

米国原子力規制委員会(NRC)でも「Risk=Probability×Consequences」とされている²⁾。しかし、リスクマネジメントの国際規格ISO31000:2009では、リスクは「目的に対する不確かさの影響」³⁾と定義されており、もはやリスクは確率ではなく、好ましくない影響だけでなく、好ましい影響もあることを明確に示したものと言える。経済学分野では、リスクは損害だけではなく利益



第1図 放射線に対するリスクのトレードオフ

の両方の意味を持つ。この考えを放射線に適用すると、第1図に示すように、リスクは「危害」と「便益」のトレードオフ（相反）関係にある。他方、リスク社会学者ピーター・サンドマン⁴⁾によれば「Risk=Hazard+Outrage」であり、分野によってリスクの定義や概念が異なる。つまり、「リスク」という言葉を使って異なる分野の人と対話する時は、その定義するところをお互いに確認する必要があることを意味する。

2. 原子力リスクの問題点

福島事故後、政府は、「原子力被災者等の健康不安対策に関するアクションプラン」（平成24年5月31日 原子力被災者等の健康不安対策調整会議決定）に沿って、復興庁、環境省、内閣府、食品安全委員会、消費者庁、外務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、原子力規制庁が連携した「帰還に向けた放射線リスクコミュニケーションに関する施策パッケージ」を取りまとめている⁵⁾。この中には、放射線による健康影響等に関する国の統一的な資料の作成、保健医療福祉関係者や教育関係者等に対する研修、参加型プログラムの作成等を通じたリスクの推進が含まれている。

福島県では、文部科学省による初等中等学校向けの放射線副読本⁶⁾と併せて、福島県教育委員会が作成した放射線等に関する指導資料⁷⁾を用いて県内の小中学校での放射線教育が行われている。その他の取組みとして、日本保健物理学会⁸⁾、日本放射線影響学会⁹⁾をはじめとする多くの学協会や教育研究機関が独自のリスクを行っている。これらの多くのリスク実践の努力には頭の下がる思いであるが、はたして国民全体にこれらの成果があまねく知れ渡っているであろうか？

これらの放射線による健康影響リスク実践活動の分析を例として原子力リスク全般に対する問題点を考察する。

(1) 文脈への配慮

放射線の健康影響に対する知識を得るための啓発として、「放射線を正しく知って正しく恐れよう」という専門家のリスクメッセージが福島事故後マスメディアを通して報道された。このメッセージ自体は放射線リスクを「正しく知る」ことが大切であるとの含意であるが、放射線に対する知識も興味もあまりない人にとっては、この文脈は途中の含意を読み飛ばして単に「放射線を恐れよう」と受け取ってしまう。このメッセージを考えた人は寺田寅彦の浅間山噴火における随筆「小爆発二件」¹⁰⁾を想起したわけではない。偶然にも類似の表現となり、寺田

寅彦の「正当にこわがる」文脈の「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむづかしいことだと思われた」との意味の違いから誤解されてしまった。

福島事故時の官房長官のプレス発表「直ちに健康には影響ない」についても同じである。官房長官は、国民の動揺を懸念して「影響が出るものではない」と安心させるつもりが、「後になれば健康影響が出る」とものと誤解され、むしろ国民の不安を増す結果となってしまった。

これらの例示から、リスクの表現方法は大変難しく、特に情報量が少ない場合、その文脈によっては逆の意味に受け取られる危険性がある。リスクは行う側の論理ではなく、受け取る側の視点に立って、表現内容がどのように認知される可能性があるかを予め注意深く吟味することが求められる。

(2) 情報量への配慮

国の統一的な資料である「放射線リスクに関する基礎的情報」¹¹⁾を読むと15項目36ページにわたる非常に多くの情報が含まれている。冒頭に本資料の位置づけとして、「用語の使い方を含めた基礎的情報をできるだけ分かりやすく正確に説明するための材料」と記されている。専門家・有識者の監修を受けているので正確さは認められるが、残念ながら決して分かりやすいものではない。

例えば「リスク」という言葉は本文・図表中に16箇所表れるが、その説明は15ページの脚注に小さく「リスクとは、その有害性が発現する可能性を表す尺度であり、“安全”の対義語や単なる“危険”を意味するものではない。」と記されているに過ぎない。「実際のリスクでは対象者や関心事項にきめ細かく対応した資料を作成する必要がある」とも記されているが、この分かりにくい難しい内容をきめ細かく適切に料理する人をどのように想定しているのだろうか？

筆者が低線量のリスクを敦賀市民対象に行っている経験から、多くの情報量があると全体を理解するのが困難であるばかりでなく、大切な情報を掴むことが難しくなることが分かっている。大切な情報とは、「自分達は安全なのか？」「子どもや子孫への影響は？」などへの答えである。

原子力リスクにおける情報は、対話するステークホルダーの欲する情報を確実に把握して、理解度に合わせた明快で適切な量にコントロールする必要がある。

(3) リスクの相互比較

放射線リスクを他のリスクと比較する説明をよく聞く。例えば、国立がんセンターが公開している発がんのリスク¹²⁾との比較である。

喫煙、飲酒、運動不足や野菜不足の発がんリスクの数値と低線量の発がんリスクの数値を単純に比較することはできるが、それから何が言えるかをよく考える必要がある。多くの喫煙者、飲酒者はその健康リスクを納得し

たうえで選択しているであろう。また、喫煙や飲酒をせず、運動不足や野菜不足にも注意して生活している人は多数いる。これらの人々にとって、低線量の放射線は自分自身で選択したわけではないので、他のリスクとの比較は意味を失う。むしろ、放射線の発がんリスクを矮小化したいという説明者の意図さえ感じてしまう。

欧米のリスクコミ実践家は、放射線のリスクと他のリスクを安易に比較することは、実践家そのものに対する信頼を損ねることを経験から学んでいる²⁾。よって、彼らは安易なリスク比較を行わない。相手の健康を心から気遣っていることを理解してくれる人にも注意深く行う。なぜ、日本ではいまだに安易なリスク比較を行うのだろうか？

その背景には、リスクの数値の大小を伝えれば公衆は合理的な判断をしてくれる(すべきだ)という期待や思い込みが専門家にはある。残念ながら人々はリスクを合理的に判断しないという特性をよく理解しなければいけない。安易なリスク比較に頼る人は、その後、何を話しても信用されなくなる可能性がある。

3. 原子力リスクコミの課題

リスクコミ手法は人文・社会科学技術であり、その基本的な理論の基礎がある。しかも、リスクコミ手法はその実践と切り離して考えることができない。実践については定石があるものの、対話する相手に合わせて周到な準備と臨機応変に対応することが求められる。

低線量の健康影響リスクコミは、精神的・心理的要因も考慮する必要がある。時には臨床心理士のようなカウンセリングの素養が必要な場合もある。つまりリスクコミ実践家(リスクコミュニケーター)という職業はボランティアによる片手間仕事では決してできない専門職である。国は保健医療福祉関係者、教育関係者や地方自治体職員等に対するリスクコミ研修を行っているが、彼らがリスクコミュニケーターの専従になるわけではない。

原子力リスクコミは、今後、放射性廃棄物の管理・隔離、地震・津波などの外的事象に対する原子力安全、さらには原子力のあり方そのものに対するグローバルな問題に長期にわたって携わることがますます要請されるであろう。それに的確に対応するためには、良いリスクコミ資料を開発することはもちろんであるが、新たな手法の研究開発と、それを有効に活用できるリスクコミュニケーター育成が必要である。

大学においてもグローバルな問題に対応する原子力リスクコミュニケーター育成コースを設置して、優秀な学生を育成するとともに、原子力規制機関、事業者、地方自治体やNPOと連携し、積極的に社会人学生を受け入れて人材育成を行う制度の拡充が望まれる。

IV. 原子力リスクガバナンス

前章までに述べた放射線リスクコミは、公衆という外部ステークホルダーを対象としたリスクコミ手法であった。リスクコミには組織の構成員である内部ステークホルダーを対象とした手法も存在し、米国NRCでは外部・内部それぞれに対する戦略的リスクコミのガイドブック^{2,13)}が作成され、NRC職員の研修に供されている。

外部リスクコミと内部リスクコミは一見独立して存在するように見えるが、本章で述べるリスクガバナンスの視点からは相互に関連するものとして統合される。ここでは新たな原子力リスクガバナンスモデルを提案したい。

1. 原子力リスクガバナンスの概念

原子力リスクコミは、外部ステークホルダーのみを対象として単独で存在するものではなく、リスクアセスメント、リスクマネジメント、公衆の3つの輪をリンクするものであり、これらのプロセス相互間の戦略的なプロセスアプローチの取組みが必要である。さらに、リスク情報に基づいたリスク評価やリスク対応における意思決定プロセスを明確にし、公衆に対する透明性を確保する組織ガバナンスのあり方についての検討も必要である。

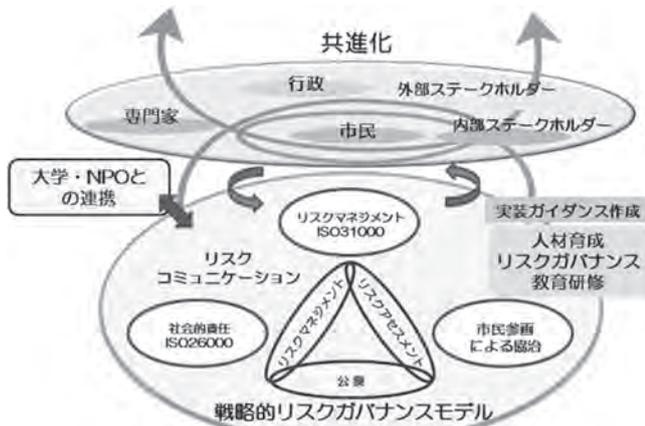
国や専門家がリスク基準を明示すべきと考える人々が多い。しかし、公衆の価値観には多様性があり、提示されたリスク基準を比較的素直に受け入れる人もいるが、得心がいかない人は受け入れない。

原子力リスク問題の多くは不確実性の影響が大きく、科学のみでは解決できないトランスサイエンス領域にある。不確実性の影響をどのように考慮するかは、人々の知る権利に働きかける従来のリスクコミだけではなく、公正なリスク情報を共有し、人々の自己決定権に働きかける双方向対話が欠かせない。

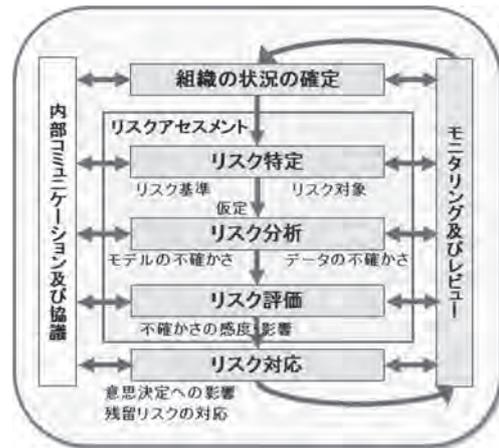
従来の原子力リスクコミ手法であるステークホルダーとの双方向対話を発展させ、自己決定権に働きかける「協治」の概念を導入し、ISO31000:2009に代表されるリスクマネジメント、ISO26000:2010に代表される社会的責任を横断した戦略的な市民参画型リスクガバナンスモデルを提案する。このモデル概念を第2図に示す。市民参画型リスクガバナンスモデルの「協治」のイメージを理解してもらうために、筆者らが敦賀市を対象として行っている低線量の放射線健康影響における地域参画型原子力リスクコミについて簡単に述べる。

2. 地域参画型原子力リスクコミモデル¹⁴⁾

低線量の放射線健康影響における地域参画型原子力リスクコミモデルは、まず、科学的エビデンスに基づいた放射線リスク情報の伝え方、科学のみでは解決できない不確実性をどのように取り扱うか、また、心理的・社会的影響をいかに考慮するか、という課題に対し、公衆の低



第2図 市民参画型原子力リスクガバナンスモデルの概念



ISO 31000:2009 Risk Management - Principles and guidelines, 2009.

第3図 リスクマネジメントの実践プロセス

線量リスク認知における阻害要因と課題を抽出する。

これらの阻害要因や課題を解決するために、少人数の地域市民(地域コミュニティ)との勉強会による「協働」で「低線量の放射線健康影響ガイドブック」を作成する取組みである。

最初に、このガイドブックのドラフト(たたき台)を放射線生物学、社会心理学、リスコミ、公衆参画、社会的責任を専門領域とする研究者によって作成する。次に、このドラフトを用いて敦賀市民との勉強会を実施する。現在、勉強会は数人～十数人の3つのグループに分けて行っている。第1グループは敦賀市在住の地域市民、第2グループは敦賀市健康管理センターに所属する保健師・管理栄養士・助産師、第3グループは敦賀記者クラブに所属するメディア記者で構成されている。複数回の勉強会を通して地域市民のリスク認知度や理解度を把握するとともに、「低線量の放射線健康影響ガイドブック」の内容と表現方法について議論する。平成25年度は勉強会を8回実施した。また、敦賀市及び首都圏において公開シンポジウムをそれぞれ1回開催し、一般市民及び関連研究者等との議論を行った。平成26年度は、これらの検討結果を基にドラフトを改訂して、「低線量の放射線健康影響ガイドブック」の「初級編」の作成を一緒に行っている。市民参画による協働によって、自ら得心がいく、他の市民にも伝えられるガイドブックを作成することを目指している。

この過程を通して、効果的なリスクメッセージを多様なアクターの協働により作成し発信する手法を設計し、実効性のある地域参画型リスコミモデルの構築を目指している。

3. 市民参画型リスクガバナンスモデル¹⁵⁾

地震・津波などの外的事象や放射性廃棄物の管理・隔離に対する原子力リスクコミに関しては、当該リスクに関するリスクアセスメントおよびリスクマネジメントの専門家の助言や事業者からの情報提供が必要となる。なぜ

なら、第3図に示すように、事業者のリスクアセスメントの各プロセス(リスク基準決定、リスク特定、リスク分析、リスク評価、リスク対応、残留リスクへの対応等)の情報や内部コミュニケーションの情報が効果的なリスクメッセージ作成に必須であることによる。リスクマネジメントを行う事業者は、リスクから組織を守るといった目的の性格上、公衆との外部コミュニケーションに対して慎重で防御的な姿勢となる傾向がある。そのため、これらの原子力リスクコミは相互信頼が醸成されず、二項対立になりやすい。

提案する市民参画型原子力リスクガバナンスモデルは、この弊害を解決するため、前節の「地域コミュニティ」の「協働」から対象地域を「コミュニティ」全体へ広げた「協治」に発展させ、社会的責任(SR)を取り入れた事業者とは独立した第三者組織を基本的枠組みとする。建設的な意思を持つステークホルダーの公平な参画により構成された組織構成員が運営主体となる。当該リスクを管理する事業者を参考人として、事業者の内部コミュニケーションに基づいたリスク情報の提供を受けて、公正で効果的なリスクメッセージの作成と発信を行う。運営プロセスを明確にして社会に対する信頼性と透明性を確保する。また、助言を受けるリスクアセスメントおよびリスクマネジメントの専門家は、組織構成員の合議により選定する。

さらに、この枠組みに基づいて原子力リスクコミを効果的に実践できる人材育成を視野に入れている。今後、組織体の構成、中立的な運営方法、公平なステークホルダーの参画方法、事業者の協力方法、説明責任と透明性の確保の仕組みなど、本モデルの具体的な骨組みと個々のプロセスおよびプロセス間相互関係を明らかにして、新たな原子力リスクガバナンスモデルの構築を目指したい。フランスの地域情報委員会(CLI)のように、ステークホルダーとして地方議会議員の参画を促すことも一案である。

この視点は、国民の生命、健康および環境を守る負託

を受けている原子力規制機関においても同様な取組みが必要であると考えられる。原子力規制機関はその組織理念に則り、自らが決めた規制基準や適合性審査の結果を、単なる情報公開だけではなく、自らが国民にもっと分かりやすく説明する社会的責任があると考え、読者諸賢はどのようにお考えだろうか。

V. まとめ

福島事故後、顕在化した放射線のリスキを例として、従来の原子力リスキの問題点と課題について述べた。また、今後、長期にわたって、放射性廃棄物の管理・隔離、地震・津波などの外的事象に対する原子力安全、さらには原子力のあり方そのものに対する原子力リスキを継続して行うための市民参画型原子力リスクガバナンスモデルを提案した。

原子力には再稼働に象徴されるように社会において二項対立に陥りやすい問題がある。しかし二項対立では建設的な解は決して得られない。原子力リスキは公正なリスク情報をステークホルダー間で共有し、相互の価値観を理解して相互信頼を醸成し、建設的な方向に導くための社会技術である。説得や拙速な合意形成を図るための道具ではない。遠回りの道のように見える原子力リスキではあるが、紛争による社会的コストを事前に回避して合意に至るための道筋をつける方法としては最も確実な近道である。大切なことはステークホルダー同士がお互いの意見を尊重し合い、相互作用の過程でお互いの価値観が変わることを認め合うことであろう。

安全で豊かな生活のなかで幸福を追求できる社会を目指すという共通目標は誰しも合意できるであろう。その実現のために建設的な原子力リスキが役立てば幸いである。

本報は JSPS 科研費 25420902 の助成を受けた成果を含みます。

— 参考資料 —

- 1) Beck, Ulrich, Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1986.
- 2) Effective Risk Communication, NUREG/BR-0308, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2004.
- 3) ISO 31000:2009 Risk Management - Principles and guidelines, 2009.
- 4) Sandman Peter, Risk Communication Website: www.psandman.com
- 5) 復興庁 HP, 平成 26 年 2 月
<http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-1/20140217175933.html>
- 6) 文部科学省 HP
http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/detail/1344732.htm
- 7) 福島県教育庁 HP, 26.6.29 更新
http://www.gimu.fks.ed.jp/shidou/housyasen3_print.pdf
- 8) 日本保健物理学会「専門家が答える暮らしの放射線 Q&A」
<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/>
- 9) 日本放射線影響学会 HP
<http://jrns.kenkyuukai.jp/special/?id=5548>
- 10) 「寺田寅彦随筆集 第五巻」岩波文庫, 岩波書店 1948. 青空文庫
<http://www.aozora.gr.jp/cards/000042/card2507.html>
- 11) 復興庁 HP 放射線リスクに関する基礎的情報[平成 26 年 5 月版]
http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-1/20140603_basic_information_all.pdf
- 12) 国立がんセンター HP
http://www.ncc.go.jp/jp/shinsai/pdf/cancer_risk.pdf
- 13) Effective Risk Communication, NUREG/BR-0318, U.S. Nuclear Regulatory Commission (2005).
- 14) 山野直樹, 他, 日本原子力学会「2014 年秋の大会」, P17, 京都大学, 2014 年 9 月 8 日.
- 15) 山野直樹, 科学技術社会論学会第 13 回年次研究大会, 大阪大学, 2014 年 11 月 16 日.

著者紹介



山野直樹 (やまの・なおき)
福井大学・附属国際原子力工学研究所
(専門分野/関心分野) 原子核データ評価,
放射線遮蔽安全工学, リスクコミュニケーション,
原子力合意形成学

連載
講座

放射性廃棄物概論

施設の運転および廃止措置により
発生する放射性廃棄物の対策

第6回 わが国の地質環境

電力中央研究所 新 孝一 ほか

I. はじめに

放射性廃棄物はその発生元や含まれる放射性核種の半減期などの特徴を踏まえ、適切かつ安全な陸地処分が実施・計画されつつある。うち、高レベル放射性廃棄物や放射性ヨウ素の除去に用いられた銀吸着材などの一部の低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) は、「地層処分」の対象とされる。現時点では、地層処分場を設置する場所が定まっていないことから、上記放射性廃棄物を安全に処分するための処分場を作る上では、地層や岩盤の性質や周辺の環境条件をも含めた「地質環境(地層処分の観点から見た地下の環境)」の理解が不可欠である。本稿では、わが国の地質環境の特徴や役割について解説する。

II. 天然現象と放射性廃棄物処分

地層処分において、地下 300m 以深の地層中に土木構造物を設置する処分場候補地 (以下、候補地) 選定には、地質学を応用することが重要であり、その基本は、どこに何があるか、それが将来どうなるか、である。日本列島には、様々な性質を持つ地層・岩体が複雑に分布する。また、火山活動や地震が活発な変動帯と呼ばれる地帯に属しており、地層・岩体は将来にわたり様々に変化する。

近年、最新の知見に基づいて、日本列島の地質環境の過去の長期的な変化や現在の状態の概要が取りまとめられ¹⁾、さらに、情報の更新が継続されている²⁾。

日本列島の地質環境の特徴は、例えば、安定陸塊と呼ばれるアフリカや南極などの古い岩石が主体となる大陸

Introduction to Radioactive Waste—Management of Radioactive Waste from Operation and Decommissioning of Nuclear and Other Facilities (6) ; Geological Environments in Japan. : Kouichi SHIN, Yasuharu TANAKA, Masaki TSUKAMOTO, Ryuta HATAYA, Hidekazu YOSHIDA.

(2014年8月12日受理)

■前回タイトル

第5回 放射性廃棄物の処分

などの地域とは異なる。したがって、地層処分では、わが国の地質環境の特徴を理解した上で、天然バリアと、放射性廃棄物を覆うオーバーパック(金属)、ベントナイト(粘土鉱物)、コンクリートなどの人工バリアから成る多重バリアシステムが十分に機能する地域を候補地として選定し、地質環境に即して設計する必要がある。以下に、地層処分で考慮すべき代表的な天然事象として火山・地温(地中の温度)、隆起・侵食、活断層を取り上げ、事業との関係を述べる。なお、非火山性熱水・深部流体、地質断層の再活動や、氷河期の地下水面の低下(酸化性地下水の選択的浸入)などのバリア機能への影響も考えられるが、紙面の都合上、他書に譲りたい。

1. 火山活動・地温

日本列島の火山は、おおよそ日本列島の中央部に直線的に配列して分布する^{1,2)}。特に北海道、東北、九州で明瞭である。このような活火山地形の太平洋側の分布境界は、「火山フロント」と呼ばれる。

火山活動と地熱地域は密接に関わっており、深部方向への温度上昇(地温勾配)が大きい場所と火山のある場所はほぼ一致する。地下で火成活動があると地温勾配が大きくなり、10°C/100 mを超える地域もある。このような地域では温泉が湧いたり、また地熱発電所が建設されたりすることもある。なお、わが国の非火山地帯の地温勾配は概して40°C/km以下と考えられている¹⁾。

ここで重要なことは、火山フロントの太平洋側では過去長期にわたり火山活動が起こらなかったこと、つまり、火山の偏在であり、これはプレート運動との関係で説明されている。したがって、処分場の選定では、火山活動の場所や、地温勾配の状態を考慮し、まず、マグマが処分施設を直撃し、放射性廃棄物を含むマグマが地表まで噴出するような場所は回避せねばならない。さらに、高温下では、人工バリアの材料が変質し、機能が低下することが考えられるため、地温勾配を考慮する必要がある。

2. 隆起・侵食

地面が隆起すれば、程度の差こそあれ、必ず侵食が生じ、地下に埋設した放射性廃棄物は地表に接近する。したがって、放射能の減衰との兼ね合いで、適切な隆起(沈降)速度/侵食(堆積)速度の箇所を候補地として選び、適切な深度に施設を設置する必要がある。

日本国内の隆起(沈降)速度は一律ではない。地層処分では、安全評価の時間尺を考慮し、数万年～数十万年オーダーの隆起速度が議論されるが、この時間尺でも同様である¹⁾。例えば、最も隆起速度の速い地域の一つは中央アルプスであり、10万年間で数百m以上とされている。また、丹沢山地、房総半島～南西諸島にかけて、北海道～越前山地にかけての海岸沿い・島しょなどにも、過去10万年で100m程度かそれ以上の隆起が認められている。

隆起速度が著しく大きい地域は、侵食量も大きく、放射性廃棄物の地表接近防止の観点から、処分場の選定にあたり除外する必要がある。また、隆起速度の地域差は、地質構造発達史と密接に関連し、この把握が候補地を含む地域の長期的な環境変遷の議論に非常に重要である。

3. 活断層

過去に繰り返し活動し、将来活動する可能性がある断層は、活断層と呼ばれる。活断層が処分場へ与えると考えられる影響として、活断層が動くことで起こる揺れ、断層変位に伴う処分施設・廃棄体の破壊と断層周辺の透水性の増加が重要である。揺れに対しては、地下深部では揺れが小さくなる点を考慮して適切な耐震設計を施す、後二者に対しては、活断層の存在が明らかな地域は候補地から除外し、小規模な断層に対しては、施設のレイアウトで回避するなどの工学的対策が取られる。

活動性が高い活断層の分布は概ね把握されているが、火山同様、分布に偏りがある^{1,2)}。例えば、東北地方脊梁部以西や中部山岳地域～近畿地域中部では活断層が多く分布するが、それら地域に隣接する北上山地や近畿地方南部(紀伊半島)には顕著な活断層は知られていない。しかし、活断層の分布が疎である地域でも、未知の小規模な活断層や、他の活断層の運動に付随して変位しうるような断層の分布については、よくわからないこともある。そのため、活断層の有無や、近接する場合の影響を考える際に、単に活断層の分布を追うだけでなく、隆起・沈降同様、地域の地質構造発達史の把握が重要となる。

4. 天然事象の将来予測と安全評価

日本列島の地質環境を概観すると、変動帯にある日本列島内に、過去から現在に至るまで相対的に安定であった地域があることがわかる。同時に、将来的な安定が望

まれる地層処分がどこでも実施可能とは言えないことも明らかである。地層処分の安全性確認では、実験では再現できない長期変遷を考慮するため、安全評価により処分場としての適性を検討する。これは、数万～数十万年後の将来に関わる様々な作業仮説を想定し、それらの仮説の下で人間環境への影響を見積もる科学的行為と容認基準との比較という意味決定行為の組合せである。本章では将来予測について簡単に触れる。

一般に、地質環境の将来予測は、地域的な詳細な現状・過去の履歴を明らかにし、過去の現象の法則性に基づいて予測する。しかし、前述の様々な天然現象が重なって起こる地域では、予測も複雑となり、将来予測の不確実性が大きい。また、地層処分で扱う時間スケールでの天然事象の将来予測では、法則性もまた作業仮説であるため何らかの不確実性を有する。不確実性が大きいほど一般的には不安を与え、社会的な受容度は低くなる。そのような地域での処分場の選定においては、今後の科学技術の進歩により不確実性が低減されることが不可欠となる。一方、不確実性の低減は技術的な限界があることを真摯に再認識し、候補地選定後も、将来における‘想定外事象’を可能な限り減らすべく、継続的に実際の事例調査と知見を蓄積しなければならない。

III. 岩盤の熱特性と力学特性

放射性廃棄物の地層処分では、多数の坑道が配置される岩盤の力学的な安定性確保が、まず重要となる。また、処分坑内に発熱性の廃棄体を埋設した後に、緩衝材の温度上昇による機能低下を防ぐため、適切な埋設間隔を確保して設計する必要がある。岩盤の熱特性と力学特性は、処分場の設計にとって重要な入力情報であり、加えて、埋設後の処分場の変遷を検討する際にも必要となる。

1. 熱特性

岩盤の熱特性は、第一に廃棄体の発熱がニアフィールド(人工バリアおよびその周辺岩盤)に及ぼす影響の評価に必要となる。処分場設計において、廃棄体の周囲に設置する緩衝材が高温になり過ぎないように、廃棄体の埋設間隔と処分坑道の間隔が設定される。緩衝材の温度を100℃以下とすることが基本的な設計の考え方である。

また、岩盤の熱特性は、ニアフィールドの状態変遷の評価、熱-水-力学等が連成する挙動の数値シミュレーションや、気候変動に伴う長期の処分場温度環境の変遷の評価の際にも用いられる。

例えば、スウェーデンの安全評価プロジェクト SR-Site³⁾では、以下の熱物性⁴⁾の項目を評価している。

- ・岩体ごとの熱伝導率の空間分布、異方性、温度依存性、応力依存性。熱伝導率が低いと緩衝材の温度が高

くなるため、特に値が低い側の分布特性が重要である。

- ・岩体ごとの熱容量の空間分布、温度依存性
- ・処分場位置での温度(物性ではない)
- ・主要な岩種ごとの熱膨張係数

上記に加え、緩衝材温度の予測評価の不確実性の幅が、設計に必要な熱特性パラメータとなる。

さらに、気候変動に伴う処分場温度環境の変遷の長期評価に必要なパラメータとして、次が挙げられている。

- ・岩体ごとの熱拡散率の平均値
- ・岩体ごとの内部発熱量の平均値
- ・対象領域での地温勾配の平均値
- ・対象領域での地殻熱流量の平均値と不確実性の幅

処分場設計の例として、核燃料サイクル開発機構(現日本原子力研究開発機構、以下、JNC)が、廃棄体の発熱量および緩衝材と岩盤の熱特性を考慮した有限要素法の熱解析により、緩衝材の制限温度を100℃とした場合の処分坑道間隔と処分孔間隔を評価した⁵⁾。その結果、軟岩系岩盤の場合でそれぞれ、13m、6.66mと評価されている。

2. 力学特性

熱特性と同様、処分場の配置に関わる重要な要素であり、坑道の断面形状や支保の設計、施工、建設・操業時の安定性に関わる。さらに、処分孔内の緩衝材や周辺岩盤との熱-水-力学的相互作用を通じて廃棄体の安定性に影響を与える。力学特性には、次に示すように強度や変形に関する物性と、岩に作用する地圧がある。

強度には、圧縮強度、引張り強度などがあり、これらは拘束圧や荷重を加える速度(載荷速度)などの条件によっても変化する。また、変形は一般的にはヤング率とポアソン比の2つの係数で評価できるが、高応力では内部の微視的な破壊などが加わることで非線形的な挙動を示す。さらに、岩が破壊した後の変形特性も重要である。そして、天然の岩は、硬岩-軟岩、火成岩-堆積岩-変成岩、地質年代、風化の程度などに応じて、多様な強度・変形特性を持つ。このため岩の挙動評価用に様々な力学モデルが提案されており、岩の特性に応じて使い分ける必要がある。モデルにより入力パラメータが異なるため、各パラメータの詳述は避け、以下に例示的に述べる。

硬岩(花崗岩)を対象としたSR-Site³⁾では、変形特性として弾性に関するパラメータ、および不連続面の変形特性としてせん断と直方向の剛性が用いられている。また、スポーリング(処分孔内壁などが地圧の応力集中により剥がれる破壊)強度が用いられていることが特徴的である。ほか不連続面の強度特性として粘着力、内部摩擦角などが用いられている。

一方、地圧は岩体内部に作用している応力である。

SR-Site³⁾では、不連続面の透水性が、間隙幅への影響を介して地圧に依存するという関係を考慮したモデルとパラメータが用いられていることが特徴である。

なお、JNCでは、SR-Site³⁾では用いられていないパラメータとして、有効間隙率、引張り強度(圧裂)、せん断強度、内部摩擦角なども考慮した評価が行われており、岩のクリープ挙動(応力一定で変形が進行し最終的に破壊に至る現象)にも留意している⁵⁾。

IV. 地下水流動と化学特性

1. 地下水流動

処分施設周辺の地下水の流れは、放射性核種の施設からの漏えい量や岩盤中での移行速度、緩衝材の物理的な安定性に大きく影響する。故に、施設周辺の地下水流速は、できるだけ遅いことが望ましい。地下水のダルシー流速(岩盤単位断面あたりの通過流量)は、岩盤の透水係数と動水勾配(地下水の流れ方向の単位距離あたりの水のポテンシャルの差)に比例する。したがって、候補地としては、透水係数や動水勾配が小さい地層・岩体が望まれる。

節理や断層等の割れ目/不連続面は地質構造の発達に伴い形成され、おおむね形成時代が古い岩盤の方が新しい岩盤よりも分布頻度が高い。主に新第三紀鮮新世以降の堆積岩では、粒子間隙が地下水の主要な流動経路となることが多い。一方、火成岩類や変成岩類、中新世以前の古い堆積岩類は、節理性岩盤とも呼ばれ、岩体中に生じた割れ目が主要な流動経路となる。特に、断層は連続性が高く、角礫や粘土を含む破碎帯を伴う。断層周辺には割れ目が多く、概して断層に平行な方向には水が流れやすく直交方向には流れにくい(異方性)。また、割れ目はネットワークを構成し、個々の割れ目の透水性や幾何特性、分布特性がネットワーク全体の透水性を規定する。

岩盤の透水係数は、深度が大きくなるにつれて、割れ目の開口幅や間隙率が減少し、小さくなる場合が多い⁶⁾。深度依存性は地表面付近で顕著で、地下深くなるにつれて弱くなる傾向が国内外の調査で確認されている^{7,8)}。一方、処分施設を含む地層の透水係数によらず、その上位層の透水係数が小さい場合には、上位層が「キャップロック」の役割を果たし、上方向への地下水流れによる放射性核種の移行を妨げることが期待される。堆積岩地域では、しばしば周りの地層より間隙水圧が高い地層が存在し、原因として上位の難透水層の存在が考えられる。

動水勾配は地形の影響を大きく受け、一般に地形勾配が急であるほど大きい。JNC⁵⁾による文献調査では、動水勾配の平均値は山地で0.061、丘陵で0.035、台地で0.016、低地で0.008であった。ただし、動水勾配は地下

深いほど地形の影響を受けにくい傾向があり、地下深部では上記の値より小さいと推定される。また、海に囲まれたわが国では、動水勾配が非常に小さい沿岸海底下が候補地となる可能性も考えられる。ただし、海水準の低下や隆起により処分場地域が陸化した場合、地形勾配に準じた動水勾配が生じる。さらに、海岸付近では密度の高い海水が淡水の下に楔状に潜り込み、両者の密度が遷移する境界領域(塩淡境界)に沿って地下水の上昇流が生じる。海岸線の移動により塩淡境界が処分場を横切るような場合、放射性核種が上昇流により生物圏に運ばれる可能性に留意すべきである。

岩盤内での地下水の実際の移動速度(実流速)は、ダルシー流速を有効間隙率(流体が動くことが可能な間隙が岩盤の体積に占める割合)で除することで得られる。ダルシー流速が同じでも、有効間隙率が小さい岩盤ほど実流速は大きい。有効間隙率は、岩種、形成時期、形成後の応力状態等により異なり、概して深度依存性が認められる。JNC⁵⁾の文献調査では、節理性岩盤ではほとんどのデータが10%以下(ピーク値は2%)であるのに対し、新第三紀堆積岩では数%~60%に幅広く分布する。

2. 化学特性

地下水の化学特性(地化学特性)は、主に地下水が接する土壌や岩盤(岩石)の構成鉱物や、割れ目中の粘土鉱物などの性質により決まる。重要な化学特性として、溶存イオン濃度、pH、酸化還元電位(Eh)、コロイドや有機物、微生物の存在状況が挙げられる。これらは、金属容器の腐食や廃棄体からの放射性核種の溶出の程度、地下水中濃度と溶存状態、土壌や岩石中の鉱物への収着(表面への吸着と内部への吸収が起きる現象)の程度などに影響し、天然バリアおよび人工バリア中の放射性核種の移行遅延や濃度低減効果に関与する。

候補地の地下水の化学特性把握には、最終的には地下水採取による情報収集が重要となるため、調査項目や調査方法がまとめられている⁹⁾。しかし、候補地が未定あるいは採取が困難な状況では、水と鉱物間の化学平衡反応を考慮して深部地下水の化学的性質を推定する地下水モデルの重要性が高い。そのため、水質の経時変化を評価するためのモデルの適用¹⁰⁾や、地下水モデルと地下水流動解析結果との整合性の確認などが行われている¹¹⁾。また、地下水化学特性は、塩淡境界の深度や形状の推定に利用されている¹²⁾。地下水モデルは地層処分に限らず、候補地や施設を設置する土壌や岩盤が未定な場合に有効な技術である。

なお、地下水がセメント系材料やベントナイトなどの人工バリア材料と反応した結果、人工バリアや天然バリア中の地下水の水質が変化する。この変化がバリアを構成する鉱物の変遷と併せて解析評価されている¹³⁾。

V. ナチュラルアナログ

1. ナチュラルアナログとは

地層処分システムにおける、数万年以上に及ぶ長期のバリア機能を実験等で直接確認することは不可能である。したがって、その長期的な現象の把握とバリア機能の確認のため、天然に存在する類似現象が研究されており、その現象はナチュラルアナログと言われている。

天然のバリア機能のナチュラルアナログは、オクロ鉱床での天然原子炉の発見以降、特に、ウラン鉱床を用いた研究が、国際ナチュラルアナログ研究会(NAWG)等で行われてきた。また、ガラス固化体やオーバーパックの腐食の考古学的研究など、多くの研究事例がある¹⁴⁾。

近年では、地層処分にに関して、海外諸国のより具体的あるいはサイト固有の調査研究に対応するよう、ナチュラルアナログ研究も進められている。一例として、岩塩中での核種移行現象研究(ドイツ)や氷河期による地下水流動への影響の研究(スウェーデンやフィンランド)などがある。一方、日本でも、変動帯地質環境の長期的な変化や、地下の地質環境の化学的緩衝作用と処分深度に関する研究や、セメントとベントナイトとの反応など処分技術に関連した現象の研究など、個別の具体的な現象研究が展開されている。本稿では、日本の地質環境のバリア機能に関する近年の研究事例を簡単に紹介する。

2. 研究事例と今後の展望

地層処分では、地質環境が普遍的に有する還元状態や、還元剤としての作用(緩衝機能)による、長期にわたって放射性核種を固定・保持する働きを重要なバリア機能として取り入れている。したがって、酸化した地下水の浸透により酸化雰囲気になることは、できるだけ避ける必要がある。このような機能を活用する地層処分では、長期にわたる安全性の観点から理解すべき酸化還元反応とそのプロセスには、処分場の掘削~操業~閉鎖の時系列において、次の現象が想定されている^{14, 15)}。

【処分場掘削後から操業期間の数十年程度】

- (1) 坑道掘削に伴う周辺岩盤と、透水性割れ目周辺の酸化
- (2) 坑道周辺の地下水位低下に伴う酸化した地下水の侵入

【処分場閉鎖後の数千年~数万年】

- (3) 金属容器の酸化と腐食生成物の周辺岩盤への拡散
 - (4) 隆起に伴う地表からの酸化フロントの接近または貫通
- 長期的なオーバーパックなど金属容器の腐食や鉄を含む鉱物の変質に伴う酸化物の挙動、それらが及ぼすバリア機能への影響の現象的理解には、ナチュラルアナログを活用する必要がある。つまり、時間尺を考慮して、長期にわたる地下での現象の適切な理解が求められる。

例えば、地下での酸化還元反応は岩盤のバリア機能に大きく影響する。近年、酸化還元緩衝作用がバリア機能に及ぼす影響について、以下が明らかにされている¹⁵⁾。

- 1) 酸化物はウランなどを吸着し、沈殿は透水性を下げるなど、必ずしもバリア機能にマイナスに働かない。
- 2) 地表からの酸化還元フロントの侵入は、岩盤との酸化還元反応によって浅部で緩衝される。
- 3) 過去に酸化フロントが形成された地下深部においても未だ緩衝作用が残っている。

以上のように、人工バリア材料との相互作用やバリア機能への影響評価では、長期的な現象の理解が不可欠である。これからのナチュラルアナログ研究は、前述の長期的な複合作用も念頭におき、何が自然現象から学べるかという視点を大事に進めることが重要である。

VI. おわりに

本稿で示した日本列島の基本的な地質環境条件は、将来の地層環境の安定性検討のための基礎である。わが国の地層処分では、天然バリアと人工バリアの多重バリアの機能を正しく理解し、地質環境に合致した仕組みとして組み上げることが重要である。そのため、変動帯たる日本の地質環境の特徴・状態、長期的な挙動の理解が必須である。将来の地質環境の変遷の不確実性低減のためには、地形や地質などに記録された地質環境の特徴を自然から学びとり、丁寧に解きほぐし、データを蓄積し、真摯に見直し続けることが不可欠である。なお、一般的な地下利用に対して十分に余裕のある深度への処分(余裕深度処分)については、処分の成立性の確認に向けた地質環境調査の考え方が検討されており¹⁶⁾、地層処分と重なる部分も多い。

— 参考資料 —

- 1) 地質環境長期安定性研究委員会, 「日本列島と地質環境の長期安定性」, 地質学会リーフレット, No.4, 2011.
- 2) 産業総合技術研究所, 「地質情報データベース」,
<https://www.gsj.jp/researches/geodb/index.html>
- 3) Svensk Kärnbränslehantering AB, “Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark”, Main report of the SR-Site project, Volume I, II, III, SKB TR-11-01, 2011.
- 4) 同上, “Data report for the safety assessment SR-Site”, SKB TR-10-52, 2010.
- 5) 核燃料サイクル開発機構, 「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—, 総論レポート」, JNC TN1400 99-020, pp. VI-81-IV-83, 平成11年11月26日.
- 6) 渡辺邦夫, 小島圭二, 断層・割れ目系岩盤中の地下水流れと関与する地質量の計測と評価, 日本応用地質学会シンポジウム, pp.2-16, 1980.
- 7) Svensk Kärnbränslehantering AB, “SKB 91 - Final disposal of spent nuclear fuel. Importance of the bedrock for safety”, SKB TR 92-20, 1992.
- 8) 太田久仁雄, 他, 「幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書, 分冊「深地層の科学的研究」」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-044, p. 70 (2007).
- 9) 原子力発電環境整備機構, 「地層処分事業の安全確保(2010年度版)」, NUMO-TR-11-01, pp. 5-89 - 5-93 (2011).
- 10) 同上, p. 5-135.
- 11) 原子力発電環境整備機構, 「技術年報2011年度」, NUMO-TR-12-02, p. 19 (2012).
- 12) 丸井敦尚, 楠瀬勤一郎, 林武司, 沿岸域の塩淡水界面と地下水流動, 物理探査, 57 [4], 351-357 (2004).
- 13) 電気事業連合会, 核燃料サイクル機構, 「TRU廃棄物処分技術検討書」, pp. 4-23-4-65, 2005年9月.
- 14) W. Miller, R. Alexander, N. Chapman, *et. al.*, Geological Disposal of Radioactive Waste & Natural Analogues. *Waste Management Series, 2*, Pergamon, Oxford, 316p., 2000.
- 15) 吉田英一, 「地層処分—脱原発後に残される科学課題」, 近未来社, 168 p., (2012).
- 16) 例えば, 石田裕樹, 他, 余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について, 原子力バックエンド研究, 13 [1], 37-47 (2006).

著者紹介

新 孝一 (しん・こういち)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 岩盤工学/地層処分

田中靖治 (たなか・やすはる)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 地下水理学/放射性廃棄物の処分

塚本政樹 (つかもと・まさき)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 放射化学/放射性廃棄物の処分

幡谷竜太 (はたや・りゅうた)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 応用地質学/放射性廃棄物の処分

吉田英一 (よしだ・ひでかず)

名古屋大学

(専門分野/関心分野) 環境地質学/地層処分



大飯判決が問いかけるもの

佐田 務

福井地裁は2014年5月に、関西電力大飯原子力発電所の運転を差し止める判決を下した。原発をめぐる訴訟ではこれまで少数の例外を除き、司法は行政の判断を追認する判決を下してきた。しかし、この判決では原発の実体的な安全性に踏み込むとともに、原告側による因果関係の成立要因を緩和し、原発が将来もたらしうる不確実なリスクを運転差し止めの根拠とした。この判決が意味するものは何か。この判決は私たちに何を問いかけているのか。

福島事故の衝撃は今も残る

原発の再稼働が話題になる中で、新聞やテレビなどのメディアはこれをテーマに世論調査を行っている。これらの世論調査結果は、現実の世論を正しく表しているわけではない。質問やその選択肢は調査側の意図に沿って設計されており、人々の意見はその少数の選択肢の中に強制的に収斂される。また、調査される人の回答は、調査する新聞との親和性に影響をうける。だから、それらの回答を集約したものは完全ではない。

とはいえ、その結果はある程度の目安にはなる。第1図は原発の再稼働についてNHKや新聞各社が聞いた世論調査の結果である。社によって数値は異なるとはいえ、どの社の結果も再稼働については賛成より反対の方が優勢となっている。

人々の意識には再稼働をすべきかどうかという選択の前に、今後の原発をどうするかという選択がより大きな問題として控えている。それを聞いた第2図の結果でも、原発については「増加」と「現状維持」を合わせたものより、「今より減らす」と「全廃する」を合わせたものの方がはるかに多い。現時点では原発に積極的な姿勢より懐疑的な姿勢が優勢であることは、まず間違いのない事実だろう。

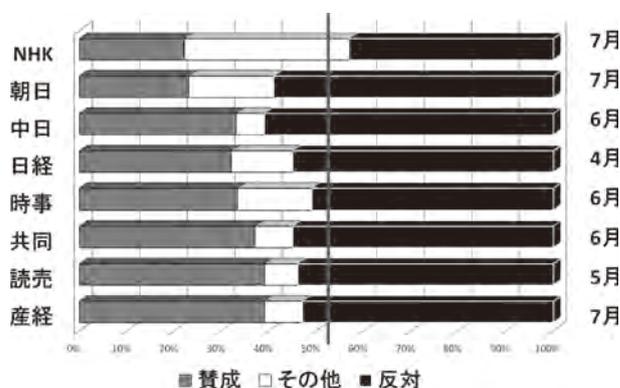
これを時系列でみていく。

福島事故が起こる前の世論調査結果を見るならば、原発に対しては賛成が反対をやや上回ることが多かった。日本では至近に原発で大きな事故がなかったことや、世界的な原子力カルネサンスが、その背景にはあった。

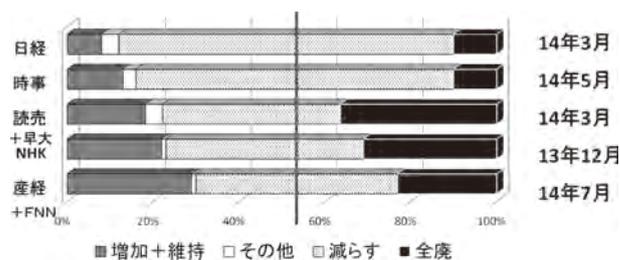
しかし福島事故が起こると、当然のことながら原発賛成は急減し、反対は急増する。第3～5図は3社の結果を表したものだ。さらにこの結果を見るならば、賛成減と反対増の傾向は事故からほぼ1年経過したところに、

What Ohi Ruling Asks Us : Tsutomu SATA.

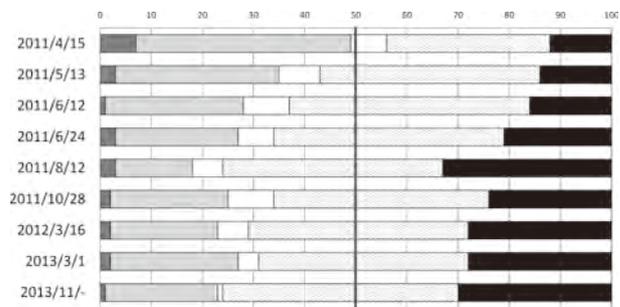
(2014年9月30日 受理)



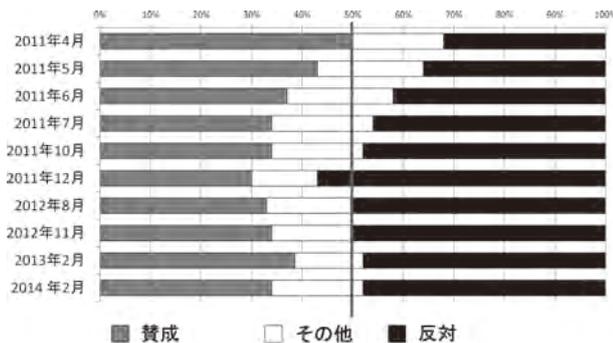
第1図 原発の再稼働について(2014年調査)



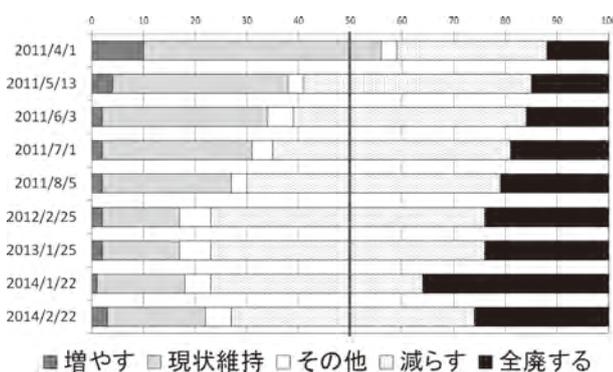
第2図 今後の原発の割合について(2013～14年)



第3図 原発を今後どうすべきか(NHK, 2011～13年)



第4図 原発の利用について(朝日, 2011～14年)



第5図 原発の利用について(読売, 2011～14年)

底をうつ。その後は小幅な変動はあるものの、顕著な変動はない。

TMIやチェルノブイリ、そしてもんじゅのビデオ隠しなどの事故や事件が起きると、世論調査の結果はその後から賛成が減り、反対が増えるのが常だった。それからしばらくすると、賛成が次第に回復するというのがこれまでのパターンだった。しかしながら福島事故では、いまだにその回復過程には入っていない。そのことは今も、福島事故の衝撃が残っていることを意味していると言えよう。そしてそのことが、大飯判決に影響を与えた可能性がある。

リスクを過大視した判決

大飯原発の運転の差し止めを求めた判決は、多くの根拠をもとに大飯原発の安全確保が不十分であると断定している。例えば「1260ガルを超える地震によってこの(冷却)システムは崩壊する(p44)……1260ガルを超える地震が来ないとの確実な科学的根拠に基づく想定は本来的に不可能である。……1260ガルを超える地震は大飯原発に到来する危険がある。(p45)」と述べている。

原発の耐震性を確保するための前提基準となる基準地震動は、さまざまな合理的な手法と適切な余裕を見込んだ上で想定される。しかし、それを越える地震が起こる可能性は常にゼロではない。このため原子力事業者は確率論的な手法を使って評価し、影響を緩和する措置などによってこれに対応している。ところが判決はこれらの対応を無視し、「1260ガルを超える地震」がある可能性

だけをもって危険だと断じている。

また判決は、「全交流電源喪失(SBO)から炉心損傷開始までの時間は5時間余であり、炉心損傷の開始からメルトダウンの開始に至るまでの時間も2時間もない(p48)」と述べる。つまり電源喪失から7時間以内で、炉心はメルトダウンすると述べている。

しかし実際には、全国の前発は福島事故後に、安全対策が大幅に強化された。今の原発は電源喪失からメルトダウンに至るまで、16日間の余裕がある。ここには事実誤認がある。

さらに判決は、4号機の核燃料プールについて、「(事故当時は)隣接する原子炉ウェルと呼ばれる場所に普段は張られていない水が入れられており、……(事故直後に)両方のプールを遮る防壁がずれることによって、期せずして水が流れ込んだ。……核燃料プールが破滅的事態を免れ……たのは僥倖ともいえる(p61)。本件原発に係る安全技術及び設備は、……確たる根拠のない楽観的な見通しのもとに初めて成り立ち得る脆弱なものである(p64)」と書いている。つまり、4号機の核燃料プールが破滅的被害を免れたのは幸運でしかなく、原発の安全対策はいまだに不十分だと断じている。

判決のこれらの部分を読むならば、判決では原発が将来もたらしうるリスクを、原子力関係者よりはるかに大きく評価していることがわかる。その結果として、大飯原発の安全対策は不十分だという論を導いている。

なお通常の民事訴訟においては、原告側が原因と被害との因果関係を立証するのが原則だが、公害問題が全国的に噴出した昭和40年代以降の裁判においては、この因果関係の成立要件が緩和された。

その背景には、被害者である原告側と、公害をもたらす可能性がある大企業との間には、圧倒的な情報の非対称性の存在がある。平たく言うならば四大公害訴訟の結果、原告側はリスクを明快に立証する必要はなくなり、リスクの可能性を指摘するだけで十分となったのである。

そして大飯判決では、この考え方が採用された。原発の安全性を論点とした訴訟において、この考え方がこれからも適用されることになれば、今後の裁判の行方は大きく変わる。

不確実なことがらへの対応を検討する制度がない

ここからは、判決が示す価値判断について述べる。

判決は、「原子力発電所の稼働は法的には電気を生み出すための一手段たる経済活動の自由に属するものであって、憲法上は人格権の中核部分より劣位に置かれるべきものである。しかるところ、大きな自然災害や戦争以外で、この根源的な権利が極めて広汎に奪われるという事態を招く可能性があるのは原子力発電所の事故のほかは想定し難い(p40)」と述べる。要約するならば原発の稼働は電気を生み出すという経済活動の自由に属する

もので、人格権より劣る、つまり人格権が運転利益より上だとしている。

これに対し原子力関係者からは、電気の安定供給も人命に関わる公益的なものだから、運転利益も人格権と同様に重要なものだという主張が数多くなされている。

さらに原子力を進める側は、原発停止で毎年3兆円の国富が流出していくと述べる。しかし判決は、事故が起こって取り返しがつかなくなるようなことこそが、国富の流出であると断定している。

そこには両者の認識の大きなずれがある。この点をあらためて、整理する。

両者の見解が食い違う最初の論点は、原発がもたらす可能性がある被害予測にある。原子力を進める側は福島事故後、安全対策は大幅に強化されており、そのリスクは許容範囲だとして再稼働をすべきだと主張している。

一方で原発に懐疑的な側は、原発は事故を起こす可能性が宿命的にあり、事故が起きれば3兆円どころではない、福島はそのことを教えたのではないかと、将来の被害リスクを相対的に大きくとらえている。だから、再稼働にも反対である。そして今回の判決は、こちら側にたっている。

この前提には、原発の将来の被害予測が不確実である点がある。その不確実性が、認識が大きすぎる素地を提供する。しかし、仮にその不確実性を縮減することに成功し、その発生可能性がそれなりに低いという意見の収斂を得たとしても、低確率で起こりうる可能性は残る。そして原発事故がいったん起きれば、大規模な被害が予想されることには変わりはない。これは、科学だけでは答えることができない、いわゆるトランス・サイエンスの問題となる。そして、このようなリスクへの対処を検討する制度や社会システムを、私たちは持っていない。そこに一つの問題がある。

多様な意見を調整する回路が必要

二つ目の論点は、司法と立法や行政との役割分担である。

日本においてこれら3者は、三権分立が基本となっている。これに沿って司法は、例えば憲法解釈をめぐって立法や行政と対峙することがある。それは司法の専門的知見をもとにした判断であり、その役割はきわめて重要である。

その司法には時として、高度な科学技術的知見を要する案件が持ち込まれる。医療や遺伝子組み換え、あるいは原発などをテーマにした裁判がその例にあたる。そのような場合でも当該裁判官は可能な限り、案件に関わる事実の全貌をとらえようと努力し、最善の判決を下すことをめざしている。

とはいえ、そこには一定の限界がある。とりわけ科学技術をめぐる裁判の場合には、科学技術の知見だけで解

決することができない場合があることについてはすでに述べた。

例えば政府が年間被ばく量20mSvを避難基準として策定したと仮定し、それを不服とする訴訟が起きたとする。この場合、20mSvの被ばくが将来のがん発生率をどの程度増加させるかについては、科学者の間でさえ見解が分かれる。さらに、その見解が一定の範囲内に収まったとしたとしても、科学技術の専門家はその基準が妥当かどうかを決めることができない。そんな中で裁判官は、二択で結論を示すことが迫られる。本来は社会的に決定されるべき問題に、裁判官は択一で判断を下す役割を強制的に担わされる。

原発問題の場合、これまでの司法判断は少数の例外を除けば、専門家集団による判断を前提に、行政の調査審議過程において看過し難い過誤や欠落がないかどうかを判断の基準としてきた。結果として、前述のような難解な問題の適否を回避してきた。

しかしながら法曹関係者の中には、今回の福島事故をうけて、これまで行政追従の判断をしたことにより福島事故を防ぐことができなかつたことに対する自責や悔悟の念をもっている人がかなりいると聞く。今回の判決が審査過程の妥当性だけを判断基準とせず、原発の実体的な安全性に踏み込んだのは、こうした背景があるとも推察できる。

そして、その結果として、大飯判決はこれまでの科学技術の専門家による知見とは異なる判断を示した。

このような判断の際に、科学技術の専門家の知が前提となることは言うまでもない。このため原子力を進める側からは、このような判断は専門知を動員した規制委などに判断を委ねるべきであるとして、今回の判決への批判がなされることがある。

しかし、今後の原発をどうするかは、社会的判断によってなされるべきものである。原発に懐疑的な側は、専門家はその判断材料を示すことまでが使命だとの思いがある。この点については、こちらに理がある。例えば遺伝子組換をどこまで認めるかを決めるのは、専門家ではない。彼らの意見は参考とされるものの、この問題は専門家が決定できる話ではない。

この問題は、司法の判断と科学技術の知見が食い違っていることが問題なのではなく、それらを含めた多様な意見を調整する社会的な回路がないことに問題がある。同時に今後の原発の在り方をめぐって、国民的に対話する場や社会システムが不十分だということがベースにある。今回の判決は、その矛盾が噴出した一例でしかない。

さらに科学技術をめぐる対立的なテーマが主題となった訴訟案件に対し、司法は解決のための十分な資源をもっていない。このことが、一つの不幸をもたらしている。このためここでは、2つの提案を行う。

一つの方法は司法資源を拡充することである。例えば

裁判所には、裁判官の命をうけてさまざまな調査を行う調査官が置かれている。その調査官を拡充させることがその方法である。あるいは司法が科学技術をめぐる専門性を向上させること、さらには科学技術専門の裁判官によるチームを編成することも選択肢となる。

もう一つの方法は科学技術をめぐる判断を、司法の外に部分的に委ねるものである。

例えば先進国の多くは、テクノロジー・アセスメント(TA)機関をもつ。TAは、その技術がもたらすいいところや悪いところを洗いざらい拾い上げて、その技術導入に伴う将来の影響を総合的に検討して社会に示すことを目的としている。そのような機関を議会直属で設立し、そこで議論を尽くし、その結果を踏まえて国会が最終的に判断するというプロセスや回路を作るというものだ。この場合、今の司法に委ねられる判断の一部は、そこに移転することとなる。しかし、先進国に普及しているこの制度が、今の日本にはない。

TAに限らず、日本では原発をめぐる意見の調整や対話する公式の場がきわめて不十分である。一例をあげるならば、NRCは年間で千回近い公聴会を開いているのに対し、規制委員会は公開ヒアリングさえ行っていない。

必要なことは、意見を調整する社会的なシステムを作ること、そして、そこで議論したのならその結果に自分は賛成しないけれども、そのプロセスは了承するという最低限の納得が得られる場の設定ではなからうか。そして議会に直結したTA機関は、その役割を担うことができる可能性をもつ。

三つ目の論点は、社会的な政策決定をめぐる問題である。

言うまでもなく福島事故は、私たちに大きな衝撃を与えた。この事故を踏まえて、再び原発を使うことを社会は求めているかどうかについて、今の政権は真剣に議論していない。かつての民主党政権は討論型世論調査によって、曲がりなりにも民意を探ろうと模索した。しかしながら今の政権には、そのような意図は感じられない。

その結果として世の中では、この問題をめぐる民意を探ろうともせず、必要論で再稼働を進めようとしている現在の政策に対して、ある種の不満の感情がうずまいているようにも思える。それは原発に反対している人だけでなく、今回の判決を下した裁判官を含め、世の中の少なくない人が共有している感情ではなからうか。逆に言えば今回の判決を下した裁判官は、そのような感情を代弁した可能性はないだろうか。

原子力関係者の意識改革は進んだか

今回の判決ではその内容と結論に対して、原子力関係者からその非合理性を指摘する声が相次いだ。私はその

指摘内容そのものにはおおそ賛同する。しかし、その姿勢には違和感をもつ。

福島事故後、多くの原子力関係者はこの事故の収束に全力をあげるとともに、この事故から可能な限り教訓を抽出し、それを反映しようとした。同時に自らのどこに問題があったかを内省し、それを教訓として生かそうと努力した。

しかし、事故から4年近くたった今、それらの反省や姿勢は忘れがちになっていないだろうか。

例えば、日本学術会議は福島事故の原因の一つとして、「知の統合化に失敗した」と指摘したが、その知はどこまで統合化されたのだろうか。民間事故調は「安全対策が不十分である問題意識は存在した。しかし、自分一人が流れては棹さしても変わらなかった」と指摘したが、そのような認識は払拭されたのだろうか。原子力学会事故調は、「専門家の研究や警鐘が社会で生かされる仕組みが足りなかった」と指摘したが、その指摘は今は反映されるようになったのだろうか。さらに学会事故調のアンケート結果では「会社の利益と反する提案は受け入れにくかった」と反省事項として述べたが、所属組織の利益より、公益を重視する姿勢が原子力関係者にはくまなく浸透したと言えるだろうか。

福島事故後に、原発のハード面の安全対策は大幅に向上した。しかしながら、原子力への理解を深めてもらうためには、それだけでは不十分である。事故後になされた前述の指摘を踏まえ、原子力関係者が意識面まで十分に変革することが求められている。そのことによって初めて、人々は専門家に対する信頼を向上させ、世論は原子力に対して納得の度合いを深めるのではないか。

原子力関係者は大飯判決の内容を批判する前に、なすべきことがありはしないだろうか。そして、こうした努力が十分になされていたら、大飯判決は違った形になっていたのではなからうか。

— 参考資料 —

- 1) 大飯原発3、4号機運転差止請求事件判決(福井地方裁判所 民事第2部)。
- 2) 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会(学会事故調)最終報告書。
- 3) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調)による最終報告書。
- 4) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調)による報告書。
- 5) 福島原発事故検証委員会(民間事故調)調査・検証報告書。

著者紹介

佐田 務(さた・つとむ)
日本原子力研究開発機構
(専門分野)社会学


 報告

Japan-IAEA Joint 原子力エネルギーマネジメント スクール Human Network セッション開催

世界の原子力の若手をつなぐ人的ネットワーク構築をめざして

原子力青年ネットワーク連絡会代表・東京工業大学 西山 潤ほか

原子力エネルギーマネジメントスクールにおいて、新規原子力導入国を含む海外15ヵ国からの19名の研修生および12名の日本人研修生参加のもと、原子力分野で働く若手の人的ネットワーク構築のための知見共有および意見交換を目的とした特別セッションを開催した。同セッションでは、活動経験共有のための発表とともに、人的ネットワーク構築を行うための方策として、Young Generation Network (YGN) 活動を例に、必要性、課題、今後活動を広めていくためにできることについて全体討論を行った。

1. はじめに

国際原子力機関(International Atomic Energy Agency 以下、IAEA)は、世界各国において将来原子力エネルギーを計画・運営・管理するリーダーとなる人材の育成を目的とした「原子力エネルギーマネジメントスクール」(Nuclear Energy Management School 以下、IAEA-NEM)¹⁾を2010年以降開催している。また、原子力人材育成ネットワーク、日本原子力研究開発機構、東京大学および日本原子力産業協会は、IAEAとともに、2012年より、本スクールを日本で開催している^{2),3)}。2014年6月9～26日には、東京および茨城県東海村を会場として、第3回となるスクール⁴⁾が開催された。

将来のリーダーを目指す本スクール研修生にとって、人的ネットワークの構築は極めて重要であるとの認識に立ち、第3回スクールでは、6月13日の午後に、特別セッションを設けた。

このセッションでは、今後の各国および国際的な人的ネットワークの構築に資する観点で、筆者らによる人的ネットワーク構築に関する活動経験の共有を行うとともに、全体討論をとおして、今後の人的ネットワークの拡大に向けた取組を行う上での課題と解決方策について議論を行った。

2. 開催内容

本セッションは、日本原子力学会のCollaboration Task Forceにおいて提案された。この提案を踏まえ、

Info Session on Human Networking Held in Japan-IAEA Joint Nuclear Energy Management School : Aiming to Develop Human Network among Nuclear Young Generation in the World : Jun NISHIYAMA, Kazuya OHGAMA, Tatsujiro SAKAMOTO, Rin WATANABE.

(2014年7月30日受理)

学会等関係者が連携して、セッションを運営した。

我が国における若手の人的ネットワーク構築活動に従事してきた日本原子力学会・原子力青年ネットワーク連絡会(Young Generation Network Japan 以下、YGNJ)および学生連絡会による経験の共有、本スクール修了者による本スクールにおける人的ネットワークの構築についての経験共有につき、3件の発表を行った。また、本セッションの後半では、この発表を踏まえて、全参加者による討論を行った。

セッションの冒頭で、司会の大釜より、本セッションの趣旨を説明した。将来のリーダー候補である本スクール研修生にとって、本スクールを通して得られる知見とともに、経験を共有し、お互いを刺激し合える多様な背景を持つ世界各国の原子力関係者との人的ネットワークも重要である。本セッションにおける実践例紹介等を踏まえ、多様な参加者が集まるこのスクールの機会を通し、研修生同士の人的ネットワークの構築とともに、将来的にはさらにその拡大を目指していってもらいたいとの趣旨を説明した。

(1) 経験共有

セッション前半では、人的ネットワークの構築にかかる具体例として、西山よりYoung Generation Network (YGN) およびInternational Youth Nuclear Congress (以下、IYNC)の活動、渡辺より学生連絡会における活動例、坂本より2013年のIAEA-NEM中の研修生同士の交流および修了者のネットワークに関する発表を行った。

(1) YGN および IYNC の活動

世界各国に原子力分野の若手ネットワークであるYGNが組織されている。YGNでは、各種イベントや勉

強会等を通し、原子力の若手同士のネットワーク構築に資する活動を行っている。また、この国際版である IYNC は、YGN 活動のない新興国への YGN 設立支援など、今後、YGN 活動を新規に立ち上げたい国にとって有益なプログラムを実施していることなどが紹介された。なお今回のスクール参加者の出身国 16 か国のうち、すでに IYNC に加盟している国は 9 か国であった。

この発表により、YGN 活動をはじめて知ったという研修生も多くおり、人的ネットワーク構築のプラットフォームの一例としての YGN 活動に関心を持ってもらった。YGN 活動が行われている国からの研修生の中には、今後、YGN 活動に関与してみたいという意見も聞かれた。また、YGN がいない国からの研修生の中には、今後、IYNC の YGN 設立支援プログラムなどについて、さらに詳細を知りたいなど、こうした活動について高い関心を示す感想があった。

(2) 学生連絡会における活動

学生連絡会の活動の一つとして、将来異なるフィールドで働く人に、原子力に関する関心を高めてもらうことを目的とした意見交換会を企画している。法、経済、社会、医学その他の領域の学生と意見交換を行うべく、現在原子力が直面している課題について勉強し、原子力工学だけでは答えの出せない問題は何か、を議論している。

これまでの活動を通して、他分野を含めた多くの学生同士のコミュニケーションのネットワークを広げることができた。今後、他分野に従事する人たちの原子力に対する認識、考え方を知り、原子力を取り巻く状況について理解を深めることを目指す。

(3) IAEA-NEM 開催中の交流および修士生のネットワーク

IAEA-NEM には、多様な専門および出身の研修生が参加しているため、他研修生の考え、姿勢から多くのことを学んだ。また、多様な文化的背景を持つ参加者がいることから、異なる文化への敬意・配慮を持って接する

ことが重要であり、お互いの理解・信頼を築くために、毎日のコミュニケーションを大切にするように心がけた。

スクール中に築いたネットワークを維持するため、2013 年のスクール修了者は、Facebook 等のソーシャルメディアにより近況を共有している。また、これとは別に、2010 年の第 1 回 IAEA-NEM スクール修了者が運営しているメールネットワークにより、世界中の 300 人を超えるスクール修了者による情報交換を行う場がつけられている。こうした場を利用し、ネットワークの維持につとめている。

以上の発表および質疑を通し、研修生は、人的ネットワーク構築の重要性について認識を深めた。また、その実践の第一歩として、本スクールにおける研修生同士の交流の大切さを知ってもらう機会にすることができた。

なお、このセッションの次の週には、研修生同士で交流するためのイベントを企画し、外国人研修生との積極的な交流の機会づくりに自発的に取り組んでいた日本人研修生もいた。また、研修生たちは、スクール修了後も近況を連絡し合えるように Facebook の専用ページを立ち上げていた。スクール終了後の現在もこのページで近況のやりとりをしている。

(2) 全体討論 - YGN 活動を広げるために

本セッションの後半では、前半のさまざまな活動例も踏まえ、ネットワークづくりについて YGN 活動を具体例として取り上げて全体討論を行った。

YGN 活動は、原子力導入国を中心に活動が行われており、今後原子力を導入しようとする国でも、個人の人的ネットワークづくりのプラットフォームとして重要と考えられる。はじめに、YGN の必要性、次にネットワークを広げる上での課題につき意見交換を行い、その上で YGN 活動を広げるために、具体的に何をできるか検討した。

(1) YGN 活動の必要性

YGN 活動のない国からの研修生からは、各ステークホルダー間の水平的な意見、知見の交換を目的としたネットワーク活動が重要であるとの意見があった。

(2) YGN 活動の課題

YGN 活動がある国であっても、こうした活動は一部の若手の間のみに限られてしまう傾向がある。そこで、YGN 活動のある国で、こうした活動に参加していない研修生との意見交換を行い、YGN 活動の課題の抽出を試みた。

多くは、これまでこうした活動の存在を知らなかったため、参加する機会がなかったとのことであった。中には、今回のセッションで活動について知り、また、興味を持ったので今後参加を検討したいと考えているという



第 1 図 YGN 活動を行っている国

研修生もいた。

また、その他に、仕事が忙しくて参加することが難しい、どのくらいの負担となるかがわからないので参加を判断し難い、具体的なメリットが見えにくいなどの意見があった。

(3) 今後 YGN 活動を広めるために何ができるか？

YGN の活動内容を見直し、参加者にさらに興味を持ってもらえるように、内容の充実に努めることが重要との意見があった。忙しい人、地理的に離れているために参加しにくい人のために、インターネット上での対話を促進することも活動の活性化につながるのではないかと指摘があった。また、YGN の年齢制限(多くの国で 35 歳以下を YGN メンバーとしている)などをなくすことで、さらなる参加者の拡大や、異なる世代間での知見の共有などにつながるなどの意見もあった。

YGN 活動へ参加していなかった理由として、YGN 活動を知らなかったとの回答が多かったため、今後、さらに YGN の存在および活動内容について情報発信していくことも重要と考えられる。

3. まとめ

本セッションを通し、多くの国から IAEA-NEM に参加している研修生に、人的ネットワークの重要性を示し、その構築のための具体例などの知見を共有することができた。また、全体討論では、YGN を一例として、人的ネットワーク構築のプラットフォームの必要性、広げていく上での課題、今後の活動拡大のためにできることにつき、意見交換を行った。

筆者らは、このような人的ネットワークづくりの活動を行うためには、①情熱を持って活動の中核となる人、②魅力的な活動内容、③ネットワークの維持・拡大のための他ネットワークとの連携の 3 点が不可欠であると考えている。

世界各国から参加している本スクールの研修生の中には、将来のリーダーとしての自覚と、自国の原子力に貢献したいとの情熱にあふれる人材もいる。また、ここでの全体討論等を通し、研修生は、ネットワークづくりに

おける活動内容の重要性についての認識を得た。

いつの日か、このスクールで学んだ研修生が、本セッションの経験共有・全体討論を踏まえ、各国において若手ネットワークをつくり、各国の研修生同士のネットワークが連携していくことで、世界の原子力の若手同士を広くつなぐ大きなネットワークに成長することを筆者ら一同願っている。

- 参考資料 -

- 1) Nuclear Energy Management School (IAEA), <http://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/schools/NEM-school/>
- 2) 上坂充, 山下清信, 大釜和也, 服部拓也, IAEA 原子力エネルギーマネジメントスクール日本開催—アジアにおける原子力人材育成の中核を目指して 日本原子力学会誌, 55 (1), 53-56, (2013).
- 3) 村上健太, 村上博幸, 国際原子力教育プログラム開発に対する日本の貢献, エネルギーレビュー, Vol.395, 46-49, (2013).
- 4) Japan-IAEA Joint Nuclear Energy Management School 2014, <http://www.nuclear.jp/nem2014/>

著者紹介

西山 潤 (にしやま・じゅん)

東京工業大学

(専門分野/関心分野) 革新炉の設計, 核データ, 宇宙原子力利用

大釜和也 (おおがま・かずや)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 高速炉炉心設計

坂本辰次郎 (さかもと・たつじろう)

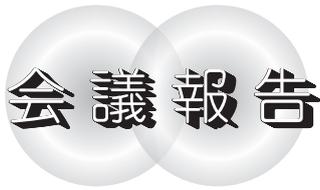
日立 GE ニュークリア・エナジー(株)

(専門分野/関心分野) 海外原子力発電所建設・保守プロジェクト

渡辺 凜 (わたなべ・りん)

東京大学

(専門分野/関心分野) 高レベル放射性廃棄物の処理・処分



第 22 回原子力工学国際会議

The 22th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-22)

2014 年 7 月 7 ~ 11 日 (プラハ市, チェコ共和国)

日本機械学会 (JSME), 米国機械学会 (ASME) 及び中国原子力学会 (CNS) の共同主催による第 22 回原子力工学国際会議 (ICONE-22) が 2014 年 7 月 7 ~ 11 日までの 5 日間, チェコのプラハで開催された。

本会議には 1,300 件を超えるアブストラクトの投稿があり, 最終参加者は約 850 名で, これまでに欧州で行われた ICONE の中で投稿件数及び参加者ともに過去最高を記録した。国別では, 中国 195 名, 日本 156 名, 米国 91 名, チェコ 62 名, 韓国 54 名, ドイツ 36 名, ロシア 27 名, フランス 23 名の順であった。また, 発表は技術論文が約 600 件, 口頭及びパネルセッションの発表が約 140 件であった。

今回の基調テーマ「Nuclear Power - Meeting Global Energy Needs」は, 福島第一原子力発電所の事故を踏まえ, 原子力エネルギー利用者としての人類の役割と責任を再確認することを目的として設定された。本会議は, 7 月 7 日の数値流体力学 (CFD) をはじめとする 7 つのワークショップで始まり, 8 日はオープニングセッションとプレナリーセッション並びに 9 日にかけて招待講演者らによるパネルセッションが連続して開催された。

CFD ワークショップは, 数値計算初心者, 解析コード利用者, 数値モデル開発者らに数値シミュレーション技術の現状と課題等をわかりやすく解説することを目的として, 著者と米国テキサス農工大学 Hassan 教授が企画したものである。学生を中心に 50 名を超える参加者があり, 使用した部屋が狭く感じるほどの盛況であった。一方, 16 の専門分野からなるテクニカルセッションと学生参加者を対象にした学生セッションは 8 日午後から開催された。また, 10 日と 11 日には学生参加者のために, チェコ技術大学プラハ校とチェコ科学アカデミー原子核研究所の 2 つのテクニカルツアーが催された。

オープニングセッションでは, ASME 会長の Robert Sims 氏の挨拶に始まり, 駐チェコ米国大使の Norman Eisen 氏, 日本原子力研究開発機構理事の上塚寛氏, 中国原子力学会事務総長代理の Lixin Shen 氏らがキーノートスピーチを行った。続いて行われたプレナリーセッションでは, 本会議の基調テーマに沿って構成された 11 件のパネルセッションにおいて, 合計 50 名のパネリストによる討論が行われ, 原子力教育, 許認可規制, 発電プラント安全性向上, 新型炉開発, 福島第一原発事故関連事象, 原子力将来戦略, 国際協力活動などの議題に対して活発な意見交換がなされた。特に, 日本原子力

産業協会の服部理事長が, 「スリーマイル島事故からの回復に 30 年, チェルノブイリ事故からは 20 年かかったが, 福島事故からは 10 年で回復を図りたいし, そうでなければいけない」と, 復興に向けた強い意志を示していたことは日本を含む各国からの参加者に向けた大きなメッセージであった。また, 中国からは, これから 6 年間で 30 基の原子力発電所を建設する計画の紹介が行われた。

テクニカルセッションでは, 学生セッションも加えると合計 17 の専門分野 (トラック 1 ~ 17) に対して, 148 のセッションが設定され, 合計約 600 件の発表が行われた。今回は発表件数が多いことから, 最大で 16 のセッションが同じ時間帯に並行して設けられた。特にトラック 9 の熱流動専門分野では最大で 7 セッションが並行して行われ, しかも, 同様の研究テーマのセッションが複数同時に進行したため, 参加者にとっては非常に不親切なプログラムであった。限られた日数の中で多くの発表をできるだけ重複を避けて行うことが, 今後の ICONE 運営における課題である。

研究内容に関しては, 十分な研究開発の歴史を持つ日本, 米国及び欧州の研究者らに比べて, 中国や韓国などの研究者の発表内容には歴然とした質の違いが多々見られた。特に, 日本では 30 年以上も前に行われた研究であるにも関わらず, 韓国や中国の研究者らが発表しているケースがあった。韓国, 中国及び今後原子力利用に参入する国々に対する研究協力などに対して, 日本が果たすべき役割は大きいと感じた。

学生セッションでは, 日本 20 件, 北米及び欧州 40 件, 中国 15 件の合計 75 件の発表が行われた。会場には多くの一般参加者が集まり, 活発な討論がなされた。ポスター発表も行われ, 論文及びポスターの各発表に対する評価により, 日本, 北米, 欧州及び中国の各学生に対して最優秀論文賞と最優秀ポスター賞を選考した。

最後に, 長年の本会議への多大な貢献を称え, JSME と ASME の合同による功労者表彰が行われ, 日本からは山本一彦科学技術振興機構主任調査員が受賞されたことを付記する。また, 次回 ICONE-23 は日本機械学会のホストにより, 2015 年 5 月 17 ~ 21 日の日程で日本の幕張メッセで開催されることが決まっている。

(日本原子力研究開発機構 高瀬和之,
2014 年 10 月 20 日記)

理事会だより



会員サービス向上への取り組み

会員サービス向上に向けて

昨年の理事就任以来、会員管理システムの更新準備に始まり、現在はこれに加えて学会ホームページの改良を担当しております。どちらも学会の会員サービスに直結する内容であり、石隈理事が委員長を務めている会員サービス委員会と連携しながら作業を進めています。この場を借りて現状を報告いたします。

会員管理システムの更新に関しては、ここ2年来作業を継続しておりますが、現時点ではまだ委託する業者の選定に至っておりません。原子力学会の会員数は約7,000名強程度ですが、この数がシステム開発上のネックになっています。つまりスクラッチでシステムをゼロから開発するには会員数は少なく、かといって出来合いのシステムでは処理内容の多様性に対応できずオプションでの開発項目が増えコストがかさんでしまうということです。更に、会員サービスとの兼ね合いも重要で、例えば会費の振り込みに関しても、銀行・郵便振り込み、クレジットカード、コンビニ決済という様々なオプションがあり、できるだけ多様な方式で対応した方が会員サービスの向上につながる訳ですが、その分開発経費、処理経費がかかってしまうということも事実で、そのバランスをどうとるかに苦慮しているというのが現状です。また、年2回の大会における演題登録時に、会員情報をリンクして使うことができれば、入力の手間を大幅に削減できます。この機能は是非とも実現したいと考えておりますが、こちらも現在使用している演題登録システムとの連携にオプション開発費がかかる可能性があり、現在検討を進めております。システムの更新の準備状況としては、現在行っている会員管理業務のワークフローを整理してシステム要求仕様に落とし込む作業は完了していますので、開発経費との兼ね合いを考えながらシステム開発業者の選定を早急に行って行く予定です。

会員サービス向上のもう一つの柱として、学会のホームページの更新の準備を行っています。こちらは今年度中に新しいページを公開できるように鋭意作業を行っています。現在のホームページは、切り貼りのように拡張されてきたので、情報の内容が一貫しておらず、重要度に応じた表示にもなっていません。会員サービスの観点から見れば、例えば資料の購入を行う場合も、購入内容によって手続きを行う場所が分散しており、手続き内容も一貫していません。この点は他のWebサービスにおける購入サイトのように統一したインタフェースで手続き

が行えるように改良する予定です。学会員の皆様がホームページに何を望むのか、どのような情報が求められているのか、会員だけにアクセスが許される情報としてどのような情報があるのか、等に関しては学会事務局だけでは十分把握することは難しいので、会員サービス委員会と連携してWebアンケートを実施しました。この結果をもとにして広く会員の皆様のご要望に応えられるようなホームページにしていきたいと考えています。開発の第一フェーズは今年度中を目途に完成させ公開したいと考えています。その後、会員管理システム更新作業の進行状況とリンクしながら、ホームページと会員管理システムの連携を実現し、より質の高い会員サービスを実現したと考えています。ご期待下さい。

(理事・会員サービス委員会幹事 高橋 信)

副会長から一言

5年前発足時から我が国での原子力人材育成ネットワークに深く携わっています。ここでは教育・人材育成と認証との相関も議論しています。人格形成も含めた教育では学士・修士・博士号がある一方、特定の事業に向けた人材育成には資格が対応しているべきとの考えがあります。原子炉主任技術者・核燃料取扱主任者・放射線取扱主任者は日本でのみ有効な国家資格です。一方、技術士は国際共通ですが、土木建築分野ほど認知度は高くありません。特にヨーロッパ・UK・ロシアでは大学・大学院間の教育標準化(ボローニャ・プロセス等)が進み、原子力分野の修士号は実質上記の国際資格の意味合いも持ち始めています。技術士には企業でのCPD(Continuing Professional Development; 継続研鑽)が推奨されています。産官学で運営されている様々なIAEAスクールも、学会協賛にすれば、受講者・メンター・講師としての参加がCPDに登録できます。一方、除染・廃炉など喫緊の分野での新たな資格の必要性も議論されています。ここにおいて本学会が学会認定資格・講習会的プログラムを実施できれば、参画する産業界及び個人からのニーズは高いと期待されます。学生や若手の連携のための学会誌記事・サービス向上を学生連絡会・YGN(Young Generation Network)、新しく立ち上げたAESJ-CTF(Collaboration Task Force)にて意見抽出し、具体案を実施中で、その状況は適時学会誌に掲載しています。引き続き、全力を挙げて取り組んでいきます。

(理事・副会長 上坂 充)