

巻頭言

1 日本の核軍縮・不拡散及び原子力の平和的利用についての外交

河野太郎

時論

2 「心の壁」を超えて —卒業ソング「群青」のこと

安全性を格段に高めた原子力発電がエネルギー・環境の危機を克服し、百年後に再び福島の人々に認めていただける日が来ることを願う。

佐藤 清

4 不確実性とリスク—原発推進論に見られる「カテゴリー・ミス」

現在の原子力をめぐる状況は、超えがたい困難に直面している。それはとりわけ原子力発電の再稼働ないし新設に対する推進論の論理構成が、「カテゴリー・ミス」を犯していることに由来している。

松原隆一郎

6 福島第一原子力発電所事故を通じて学んだこと

中学1年の時に一被災者として原発事故に遭遇、「高校生線量測定プロジェクト」への参加を通じて、信頼の大切さを学んだ。

小野寺 悠

Column

- 8 エネルギーをめぐるフェイクニュース? 川口マーン恵美
スロバキアとエネルギー 妹尾優希
原子力の特殊性を考える 竹内純子
コラム執筆への抱負 渡辺 凜

Opinion

30 低炭素電力システムにおける原子力と再生可能エネルギーの共生

発電過程で二酸化炭素を放出しない再生可能エネルギーと原子力による将来の相補的関係を展望する。

尾本 彰

座談会

16 事故から7年、何が変わったのか どうすれば「信頼」を得ることができるのか

福島第一原子力発電所事故から7年。原子力発電所の安全性は向上したが、再稼働をはじめとして原子力全般を見る世論は依然として厳しい。信頼を回復するために、私たちはこれから何をすべきなのか。

上坂 充, 北村正晴, 小出重幸, 滝 順一, 村上朋子
佐田 務, 澤田哲生 (司会)

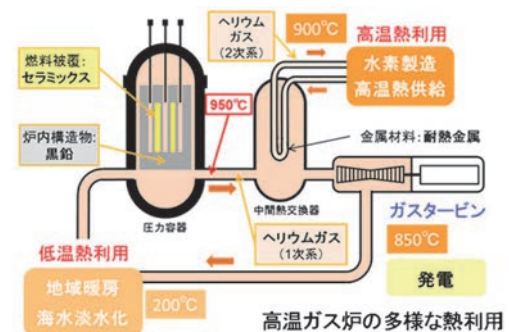


連載講座 第4世代原子炉の開発動向 (第2回)

48 高温ガス炉

高温ガス炉は安全性に優れ、950°Cの高温熱が取り出せるのが特徴だ。同炉の研究開発状況について紹介する。

國富一彦, 他



報告

53 原子炉物理分野の研究開発ロードマップ 2017—一次世代が考える炉物理の未来

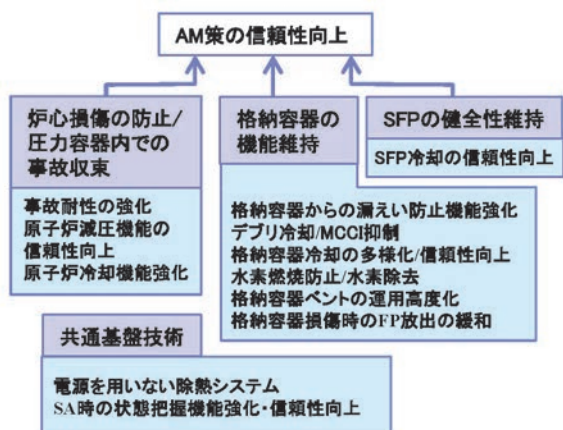
炉物理部会の傘下に設置された「炉物理ロードマップ調査・検討」WGにおけるロードマップ策定の概要を紹介する。

山本章夫, 他

33 熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ 2017 – 軽水炉の継続的な安全性向上に向けたアプローチ

熱流動部会は1F事故の教訓を基にした熱水力分野のロードマップの改訂活動を進め、2017年3月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ 2017」をまとめた。

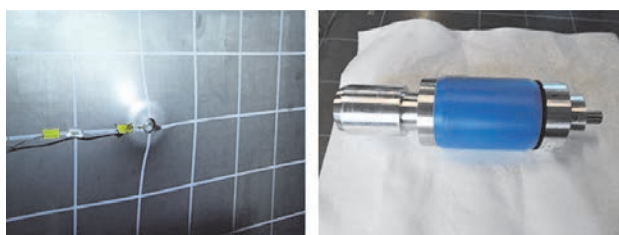
熱水力安全評価技術高度化戦略マップ検討 WG



38 火山噴石に対する構造部材の損傷評価法と課題

火山噴石を鋼製飛翔体で模擬し、その衝突実験による鉄筋コンクリート版および鋼板の破壊特性およびこれらの構造部材の破壊評価法と課題について紹介する。

別府 万寿博



衝突後の鋼板の変形状況と飛翔体（板厚6ミリ）

理事会だより

60 総務担当理事のお仕事とは？

藤澤義隆

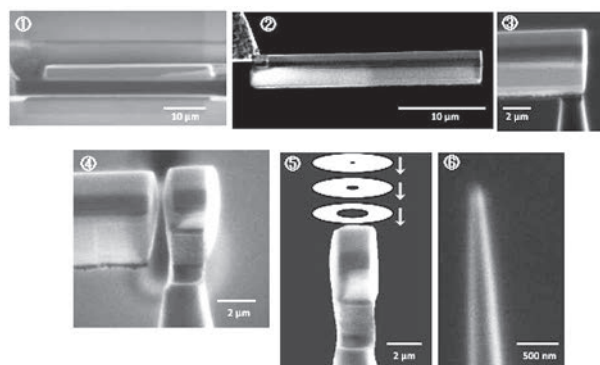
学会誌に関するご意見・ご要望は、学会誌ホームページの「目安箱」(<https://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>)にお寄せください。

連載講座 原子力材料評価のための最新ナノマイクロ分析技術の新展開（第1回）

43 3D-AP/ウィーク・ビームSTEMによるナノ組織解析

原子力材料を照射するとナノメートルサイズの溶質・不純物クラスターや転位ループが形成され、材料特性劣化の原因となることがある。それを観察するための最新の手法を紹介する。

外山 健, 吉田健太



集束イオンビームを用いた3D-AP測定用針状試料の作成方法

報告

58 学会誌アンケート結果サマリ (2017年6～12月号)

小林容子

- 32 From Editors
- 61 会報 原子力関係会議案内、主催行事、次年度会費請求のお知らせ、誤記訂正、日本原子力学会新規フェロー一覧、平成29年度「日本原子力学会フェロー賞」受賞者一覧、平成30年度「シルバー会員」・「永年会員」の表彰、第50回（平成29年度）日本原子力学会賞受賞一覧、2017年度JNST賞受賞一覧、英文論文誌（Vol.55, No.4）目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

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

日本の核軍縮・不拡散及び原子力の平和的利用についての外交

巻頭言



外務大臣

河野 太郎 (こうの・たろう)

米国ジョージタウン大学卒業。富士ゼロックス、日本端子を経て、1996年衆議院総選挙に神奈川第15区から立候補して初当選。以降連続8回当選。法務副大臣、衆議院外務委員長、国務大臣などを経て、2017年8月から現職。

着任以来、日本の外交が直面する様々な課題について、ひとつひとつ、真剣に取り組んで参りました。その中でも、核軍縮・不拡散は、唯一の戦争被爆国である日本にとって最重要課題の一つです。さらに、北朝鮮の核及びミサイルの脅威にさらされている日本にとり、国際社会の平和と日本の安全を守るためにも、この問題は極めて重要となっています。こうした中、日本も締約国である核不拡散条約(NPT)は国際的な核軍縮・不拡散体制の礎石です。我が国はこのNPTを、核兵器国と非核兵器国の両者が参加し、「核兵器のない世界」を目指して両者が議論、協力していく場として、最も普遍的な枠組みとして重視しています。また、この条約においては、核軍縮・不拡散とともに、原子力の平和的利用がコインの裏表の関係になっています。今回、この場をお借りして、外務省の行っているこれら「核軍縮・不拡散」等の取組について、皆様に御紹介したいと考えております。

第一に、日本は、「核軍縮」の進め方を巡る国際社会の信頼関係の再構築を行い、核兵器国をしっかりと巻き込む形で、現実的・実践的な取組を進めています。具体的には、核兵器国も参加する包括的核実験禁止条約(CTBT)早期発効や、核兵器用核分裂性物質生産禁止条約(FMCT)早期交渉開始に向けて、積極的に取り組んでいます。また、核兵器国・非核兵器国間の信頼関係の再構築に資する提言を得るべく、昨年11月に「核軍縮の実質的な進展のための賢人会議」第1回会合を広島で開催しました。同提言を本年4月に開催される2020年NPT運用検討会議第2回準備委員会にインプットしたいと考えています。

第二に、「核不拡散」においては、日本は核不拡散体制への重大な挑戦である北朝鮮の核開発やイランの核合意履行の監視・検証等の諸課題に対する国際原子力機関(IAEA)の取組を高く評価し、それを支援しています。私自身、2月15日にオーストリアのウィーンを訪問し、天野IAEA事務局長と北朝鮮の核問題等について意見交換を行うとともに、日・IAEA間の今後の一層の連絡・協力を確認しました。また、核不拡散の確保のためには、各国の輸出管理を強化していくことも重要です。日本は、原子力供給国グループ(NSG)ガイドラインの議論を積極的にリードするとともに、輸出管理の「抜け穴」を防ぐため、アジアを中心とした開発途上国に対するアウトリーチや能力構築支援を推進しています。

最後に、日本は、核軍縮・不拡散と並んでNPT体制の3本柱の1つである「原子力の平和的利用」の促進にも積極的に取り組んでいます。IAEAは、天野事務局長が掲げる「平和と開発のための原子力」の下、保健・医療、食料・農業、環境、工業適用等幅広い分野で原子力を活用した開発協力を重視しており、加盟国の「持続可能な開発目標(SDGs)」の達成支援に取り組んでいます。日本は、平和的利用イニシアティブ(PUI)拠出金等によるIAEAの活動支援や、国内の大学、研究機関、企業とIAEAの連携強化を通じて、開発途上国の能力構築を行うとともに、日本の優れた人材・技術の国際展開も支援しています。

日本の核軍縮・不拡散及び原子力の平和的利用についての外交は、大変間口の広いものですが、なくてはならない重要な取組です。今回紹介させていただいたことが、皆様の御理解の一助となれば幸甚です。

(2018年2月20日記)



「心の壁」を超えて ～卒業ソング「群青」のこと～



佐藤 清 (さとう・きよし)

千葉大学工学部 非常勤講師
早稲田大学法学部卒業。昭和56年 電力中央研究所入所。秘書、研究・知財管理、経営企画、広報等の仕事に従事。平成28年(株)ユウワビジネス入社。平成30年4月より現職。電気学会倫理委員会の活動に参画。

日本社会が人口減少に転ずる中で、世界人口は激増している。そして、政治・経済の情勢が大きく揺れ動く中、現代文明の潮流を見定めながら、来たるべき社会を支えるエネルギー技術として何が望ましいのか、予断を許さず考察すべきである。技術開発においては、新たな技術の萌芽、実用化への胎動を踏まえながら、再生可能エネルギーから究極的な安全性を追究する原子力発電方式までバランスのとれた予算措置と研究の推進が必要である。高揚感を覚えるチャレンジングなテーマは社会の活力を維持するために不可欠である。

電力事業はじめエネルギー産業は、国民に対する供給責任と地球温暖化問題等世界に対する約束を果たすため、理想を抱きながらも現実的な選択を行わざるを得ない。福島第一原子力発電所(1F)事故を経験した日本において、電力システムの安定と適正な国民負担を保つ範囲で、再生可能エネルギーをできるだけ増やしたいと願う気持ちは私にもあるが、強靱なエネルギー供給体制を構築して、安全保障を確実なものとする観点から、安全性・安定性・経済性に優れた従来技術を凌駕する発電方式が開発されるまで、原子力発電は重要な選択肢である。中国、インド、更には中東産油国などにおいても、莫大なエネルギーを生み地球温暖化対策にも有効な原子力の利用が加速している。被爆国であり1Fの重大事故も経験した日本が、核の軍事利用に向かうことなく、原子力の持つリスクを十分認識した上で、そのリスクを管理する努力を徹底し、世界の平和利用のモデルケースとなる道を歩むことができれば、後世において文明史的な意義が認められるであろう。

この一年、5つの原子力発電所とリサイクル燃料貯蔵センター、六ヶ所村原燃サイクル施設を見学する機会を得た。地震・津波対策、非常用電源の確保、冷却機能の確保、閉じ込め機能の確保など深層防護を強化し、徹底してリスクを下げる対策を採り、結果として原子力施設の安全性は格段に高まったことを実感する。再稼働に向けた展望が不透明な中で、発電所等で働く人々の苦勞は

並大抵のものではなかったと思う。

しかし、原子力をめぐる負の側面が様々に報道された今、個々のサイトの安全性を向上させることだけで、原子力発電に対する国民の信頼を取り戻すことは最早無理である。福島の復興・事故収束の加速化、宿願の高レベル放射性廃棄物処分場の建設、万一再びの事故に備えた実効性ある住民(特に高齢者)避難方策の確保などについて、確たる見通しを示すことができなければ、日本の将来にとって不可欠な技術である可能性が高いにも拘わらず、原子力発電は早晩終焉を迎えることにならざるを得ないと思う。

原子力施設に対する国民の最大の危惧は、安全性である。事業者は経済合理性の追求が安全を犠牲にすることのないように、常に安全サイドにバランスをとらなければならない。安全は、第一に立地地域住民のためのものである。日常生活の場が、常に原子力施設を巡る公共空間となっているからである。それ故に地域住民の不安の声や反対意見もきちんと傾聴する必要がある。科学的な知見を積み上げたわかりやすい説明は最低限の前提であり、人々の感情のもつ社会的・規範的意味合いを軽視してはならないだろう。加えて立場の異なる有識者やマスメディアとも対話を行う勇気が必要である。対話を閉ざすことは、その背後に控える数多くの国民との対話を閉ざすことを意味するからである。

それに最も応え得るのは原子力発電の必要性和危険性を熟知している原子力の研究者・技術者である。日本の将来、世界への貢献を考え、多様なリスクが存在する現代社会における原子力発電の意義を、矜持を貫いて自ら社会に向けて語り掛けて欲しい。1F事故後、規制遵守に留まることなく継続的に高い安全性を追求する観点から、世界中の優れた事例を学び、どのような対策を採ってきたか真摯にわかりやすく説明し、市井の人々、行政に関わる人々に理解を得るための努力を、様々な形でもう一度行って欲しい。原子力発電が、立地地域の人々の犠牲の上に成り立つ技術であるとする汚名を乗り

越えることができなければ、これからの社会において生き残ることはできない。

1970年代以降、電力各社が原子力発電所の立地・建設を実現する過程で、賛否両論が渦巻き、地域社会が分断の危機に晒される中で、地域の歴史・文化を真剣に学び、地を這うように苦労を重ねながら住民との対話を続け信頼を得た、歴史に名を残すことはないであろう数多くの電力会社社員がいたことを忘れることはできない。

原子力委員でありながら、朝日新聞の紙面審議委員も務め、エイモリー・ロビンス、ウィリアム・ウォーカー、高木仁三郎など国内外の名立たる原子力反対派と徹底的に政策論、技術論を闘わせ、原子力発電についての見解は一致せずとも、人間的な信頼関係を築き、熱くエネルギーの未来を語り合った依田直(電力中央研究所 第5代理事長)のような英明な人物がいたことも思い起こして欲しい。依田は原燃サイクル施設の立地実現にも力を尽くしたが、人知れず異なる意見の核心となる理論とその背景を理解するための尋常ならざる努力を行った。依田は立場の異なる市井の人々とも相互に多くを学び合い、自分の論を鍛えた。

科学技術社会論、技術者倫理などの学問的成果を謙虚に学ぶことも重要である。科学技術の光と闇とに深く分け入るこれらの学問の性格上、過去の事故・故障事例から浮き彫りにされる原子力技術の暗部を見る眼差しは厳しいが、科学技術と社会の関係を深く考察し、人々の幸福のために役立つ科学技術のあり方を追究してきた国内外の様々な取り組み(テクノロジー・アセスメント、コンセンサス会議、原子力陪審、討論型世論調査等)も参考に、学会などで開催するシンポジウム等に立場の異なる人々も招請し、闊達な議論を展開して欲しい。現代の民主主義社会における意思決定のあり方、マスメディアの大きな影響力などを考えると公開性、オープンマインドが不可欠である。

原子力技術に携わる人々には、福島県双葉郡、南相馬市小高区、相馬郡飯館村などの実情を、街を歩きながら体で感じて、帰還した人々の声に耳を傾けて欲しい。同地域にある小学校・中学校の今後の生徒数推移見通しなどのデータを見ると、復興に向けた先行きは決して明るいものではないことが判る。こうしたことに真正面から向き合うことがないとすれば、何か大きなものが欠落しているような気がしてならない。人間は自分の知らない他人の不幸に対して悲しみの心を共有することは容易ではないが、原子力技術がもたらした災厄について、推進してきた人々が無関心であるならば、人間としての良心、そして組織、社会の質が問われると思う。一所懸命に勉強に、仕事に励めばいつかは報われる、良いことをすれば円環を描くように幸福を招来する、人生とはそういうものだと思っていた人々が、日常の生活基盤を失った時の無念さと苦しみを、どこまで感受することがで

きるか、原子力発電を推進する私達の人間性が問われている。

1Fの廃炉に向けた取り組みなどを考えると、真の復興には百年の歳月を待たなければならぬであろう。環境、経済面の優位性の論拠が事実上崩れかけている今、福島の現実を直視して、それでも原子力発電を推進する大義は何か、覚悟が問われている。

昨夏、南相馬市原町区で小高(おだか)中学校の同窓会があり、遅ればせながら母校で創られた合唱曲「群青」が、いま全国の中学、高校、大学などの卒業ソングとして広く歌われていることを知った。2013年3月に東北の合唱復興を目的とした「Harmony for JAPAN」主催の京都府長岡京市で開催されたコンサートにおいて、この歌曲はピアノ伴奏で初めて公開演奏された。一緒に歌われた曲が旧約聖書の「エレミヤの哀歌」に題材を得たアメリカの現代作曲家ランダル・ストループの同名の曲であったことは暗示的である。紀元前586年に起きたエルサレムの陥落とエルサレム神殿の破壊を嘆く流浪の民となった人々を描く歌の後に「群青」は歌われたのである。

「群青」は原子力発電所の事故で被災した人々の心情を最も素直に表している佳曲だと思う。同窓会で配布されたCDに校歌と共に収録されたこの曲を初めて聴いた時に、懐かしき故郷の風景と同胞を想い、その気高さにさめざめと泣いた。1Fの事故後半年ほどの間、夜、書齋で一人になると泣かずにいらなかったが、その時の無念の思いが込み上げてきた。

彼ら彼女らには、自らの運命に対する後ろ向きの姿勢はなく、百年後に故郷が復興する姿を思い描き、再会を誓い合いながら歌っているように、私には聞こえる。美しく哀しい歌である。彼ら彼女らの苦難、そして未来に向けた希望の心を思えば、「心の壁」を乗り越える勇気が湧いてくる。国民の幸せのために電力事業で死力を尽くした先人の偉業を心に刻み、私達も今現在の苦境に耐えて、百年先の幸せを創り出すための種を播いていこうではないか。立場の異なる人々との対話、交流には、ある種の覚悟が求められ、幾重もの「心の壁」を超える必要があるだろう。激越な叫びも、悲しみの嘆きも、静かに心で受け止めよう。私も、いつも群青の町を思いながら自分のささやかな役割を果たして、いつの日か、福島の人々に、事故がもたらした苦難についてゆるしを願いたいと思う。(平成30年1月31日記)

－ 参考資料 －

- 1) パナムジカ(PANAMUSICA) 合唱曲「群青」に関するサイト、2018年1月更新。
<https://www.panamusica.co.jp/ja/appeal/gunjo/>
- 2) 南相馬市立小高中学校 学校通信 「われら世紀の朝を行く」、2018年3月更新。
<http://minamisoma.fcs.ed.jp/小高中学校/学校通信>



不確実性とリスクー原発推進論に見られる「カテゴリー・ミス」



松原 隆一郎 (まつばら・りゅういちろう)

東京大学総合文化研究科教授

東京大学工学部都市工学科卒，同大学院経済学研究科博士課程単位取得退学。専攻は社会経済学，経済思想。

著書には『経済政策』（放送大学教育振興会），『ケインズとハイエク』（講談社新書），『日本経済論』（NHK 新書），共著に小池百合子都知事との『無電柱革命』（PHP 新書）等がある。国土強靱化懇談会委員，無電柱化民間プロジェクト理事を務める。

現在の原子力をめぐる状況は，超えがたい困難に直面している。それはとりわけ原子力発電の再稼働ないし新設に対する推進論の論理構成が，「カテゴリー・ミス」を犯していることに由来すると筆者は思う。

推進論の論理は，原発の再稼働や新設の必要性として主にエネルギー・ミックスや地球温暖化を挙げ，その便益を「リスク」によって評価されたコストと比較するという費用・便益計算によっている。この論理は，費用を便益が上回るような事業は推進すべきという発想に立つ。一方，多くの世論調査では，原発を「ただちにやめる」ないし「段階的に縮小すべき」と答える人が高水準にある（たとえば広瀬弘忠「原子力発電をめぐる世論の変化」原子力委員会，2013年7月によれば，前者は30.7%，後者は54.1%）。

推進論からすればこのような世論は費用・便益分析について理解しない非合理的なものであり，蒙を啓くべきとなる。だが原発事業につき，それも過酷な事故を起こした日本においてリスク評価にもとづく費用・便益分析を適用することは，以下の理由から「カテゴリー・ミス」に当たる。この場合，世論が不信感を持つことの方が妥当である。

第一に，事故のリスクを統計的に評価するには運転経験や事故回数が十分に多くなければならないが，原子力委員会の委員長代理を務めたこともある鈴木達治郎が指摘するように，原子力業界はそれだけの事例を確保していない（『核兵器と原発』講談社現代新書，2017）。大手の損害保険会社がいずれも原発事故を免責事項としているのを見ても，それは明らかである。

筆者はこのところ経済にかかわる事象の生起にかん

し，統計的な確率が推定しうる「リスク」と，頻度のみならず何が起きるのかの分類すら定かではない「不確実性（uncertainty）」とを区別すべきだと考えている。「不確実性」という概念自体は経済学者の F.H. ナイトが 1921 年に出版した『危険・不確実性および利潤』で提起したもので経済学においては知られているが，その含意は真剣な検討の対象とはされてこなかった。原発事故は回数少なゆえに発生頻度につき統計的に有意な確率が導けないのであるが，それに止まらない。事故の帰結として何が起きるかすべての場合を想定することもまた不可能なのである。今回は津波の高さが特段に注目されているが，それ以外にも老朽化した原子炉の延長利用，事前の事故訓練，現場の対応，政府の判断など，当初想定された以外の事態が状況を悪化させた。

不確実性は事後的な事故対策費にも及んでいる。先に挙げた鈴木著が引用しているが，廃炉・汚染水，賠償，除染費から成る福島第一原発の廃炉費用の推定値は，政府と東電による「東電改革提言」（2016年12月）によれば22兆円である。デブリ対策費が予想外にかさみ，賠償費用も膨れあがったとのことで，当初予想の11兆円の倍額に膨らんだ。それどころか，この数値を遙かに大きな推定値も公表されている。日本経済研究センター（2017年3月）は汚染水からトリチウムを除去する費用，六ヶ所村の低レベル放射性廃棄物処分費用も含めるべきとして，総計を50～70兆円と見積もっている。費用の事後的な推定ですら11兆円，22兆円，70兆円と膨れあがるのだから，推定そのものが事前には不可能だったとしか言いようがない。「不確実性」を含む事象を「リスク」で評価するのは，「カテゴリー・ミス」である。

東京電力の旧経営陣三氏に対する検察審査会の強制訴訟においては、原発事故を引き起こすような巨大な津波を事前に予測することが可能だったか否かが問われている。だが原発事故を起こす原因の推定は困難で、テロまで含めるとおよそ不可能である。事故そのものは「予測できなかった」かもしれないが、それは原発がリスク評価に適さないことを意味している。

第二に、費用と便益の比較によって事業の妥当性を計るという論理には、便益から費用を差し引くことができる、すなわち事故が起きても賠償すれば埋め合わせがつくという判断が前提されている。ところが過酷な原発事故においては、被害を受けた地域の自然や人間関係、文化は、費用をかけたとしても長期にわたって復旧不可能になる可能性が高い。土地や樹木、人体が放射能に汚染されると、除染したとしても孫子の代まで遺伝に不安がつきまとう。避難を余儀なくされることによってコミュニティや家族は分断され、反復によってのみ維持される祭りのような伝統文化は断絶してしまう。

これらは賠償すれば済むという事柄ではなく、それゆえ原発事故は「一度たりと起きてはならない」のである。そのような事業を遂行しようとするなら、責任者は事前の予測や意図のいかんにはかわりなく、結果に対する責任を負わねばならない。世論にはこうした健全な判断が働いているのであって、そこからすれば事故後になって費用・便益分析の合理性を持ち出すのはいかにも不健全である。化石燃料が引き起こす地球温暖化も、地域ではなく地球全体に対して不可逆な悪影響を与えるというのならば、それはその通りであろう。世界で再生可能エネルギーへの依存率が高まっているのも、この観点からすれば「再生可能」なエネルギーだからではない。再生可能エネルギーは、事故が起きても被災者や環境にかんする原状復帰の可能性が高いのである。

こう述べたからと言って、筆者は我が国のエネルギー・ミックスの重要性につき軽視するのではない。資源のなさは日中から日米へと続く戦争を日本軍が起こす一因であったし、戦後においてはオイル・ショックを経て石油から原子力にエネルギー源を平和裏に移行させたのには、当時としては妥当性があった。ただし、原子力

を扱うからには、責任者はそれがリスクではなく不確実性に覆われ、それでもなお「事故は一度たりとも起こさない」という信念が求められたのである。

日本人は「責任を取らない」としばしば言われるが、その背景にはリスクと不確実性の混同がある。不確実性が高い事象につき予測は不可能であるが、個人が事前にかんる動機や予測をもっていただけが問われるなら誰も責任は取らなくてもよいことになる。このことの示唆するさらなる問題は、いったん結果責任が問われなければ、次の世代の責任者も「事故を起こしても免罪される」という予測を織り込んで判断・行動することである。それはつまり、その分だけ人為的なミスを原因とする事故が再発する蓋然性が高まるということである。前掲の広瀬による世論調査では「各地の原発再稼働で福島第一原発と同程度の事故が起きる可能性」につき「起こる」が22.9%、「たぶん起こる」が56.8%と8割近くが再発を予想しているが、これも妥当な判断といえよう。

以上からすれば、不確実性の高い事業を遂行しようとするとき、経営者は事前の動機や予測をもって責任を問われるのではなく、万が一にも事故が起きたならばその結果に対して責任を取るべきということになる。「事前には想定外だった」ことを免責の理由としてしまえば、「可能な限り想像する」努力に冷や水を浴びせることになるからだ。原発事業にかんして経営者には、「想定外を可能な限り想像する」という信念が求められるのである。それゆえ福島第一原発事故にかんして結果責任を求めるならば、旧経営陣に刑事罰を与える、もしくは東京電力を法的整理することになろう。それが原発再稼働の必要条件である。一方、仮に原発を再稼働しないのならば、それで結果責任を取ったことになるのであるから、極論すれば損害賠償以外に誰も刑事罰は問われなくとも構わないと筆者は考える。ここで言う「結果責任」は、過去に遡及することそのものを目的としていない。未来における事故の再発を防ぐことを目的とするのである。

筆者は以上のように考えるが、もし本人の意図によらない責任論は法的に処理できないと言われるのならば、そもそも不確実性の高い原発事業は法治国家の枠組みにそぐわない存在ということになるのであろう。



福島第一原子力発電所事故を通じて学んだこと



小野寺 悠 (おのでら・はるか)

東京工業大学 生命理工学系 学部2年在学
1997年福島市生まれ。福島高校在学時に「D-シャトル・プロジェクト-福島県内外における高校生個人線量調査-」に参加。国際高校生放射線防護会議での発表、英文論文執筆、日本外国特派員協会での記者会見を経験。

私は、福島市で生まれ育ち、中学1年の時に東日本大震災に遭遇しました。福島第一原発事故による放射性物質の放出は福島市にも汚染をもたらし、不安を抱えつつも放射線と向き合いながら上手につきあっていく生活が始まりました。福島高校に進学後、スーパーサイエンス部放射線班に所属して、「D-シャトル・プロジェクト(高校生線量測定プロジェクト)¹⁾」に取りまとめ役として携わり、情報発信や論文執筆を通じて貴重な経験をさせていただきました。一被災者としての体験とプロジェクトへの参加を通じて学んだことを綴らせていただきます。

2011年3月、東日本大震災後に福島第一原発の爆発が起きました。緊急避難区域が次々に拡大され、私達が住む福島市でも放射線量の異常な上昇が報じられました。父が居間の目張りをして、部屋に閉じこもる生活になりました。様々な情報が交錯し、自主避難する方もいました。私と弟もガソリンの入手と同時に一時は埼玉の叔父のもとに避難、学校の再開とともに福島に戻る選択をしました。同級生の何人かは自主避難を続けました。

私の自宅は福島市の渡利地区にあり、福島市の中でも特に空間線量が高い地域です。両親は自分達なりに勉強して、将来の健康に影響するほどの放射線量ではないと判断していましたが、可能な限り被曝線量を下げよう努力をしていました。個人線量計で屋内の空間線量を計測し、最も低い場所に勉強机と就寝場所を移動しました。雨どいの下には、近づかないように注意していました。中学生にとって放射線について正しく理解することは難しいことでしたが、私たちは両親の判断を信頼していました。

両親が健康被害以上に懸念していたのは、私達が被曝者として差別を受けることでした。事故の約1年後の2012年2月に、バイオリンコンクールの副賞として弟と一緒にウィーン国立音楽大学に短期留学の機会がありました。コンサートで「福島から来た子供達です」と紹介されると、観客の皆さんが一斉に十字を切って祈り始めました。被曝した子供達として特別視されていると感じました。当時の私達は、原発事故についての知識がなく、被曝の実情について説明することができませんでした。正

しい知識を持って情報発信できるように、原発事故や放射線について十分理解しておく必要があると思いました。

福島高校に進学した後、スーパーサイエンス部放射線班に所属して放射線防護について勉強を始め、「ALARAの原則(as low as reasonably achievable)」について学びました。福島で生活する人々は、それぞれの立場で放射線に関して勉強して理解を深め、「ALARA」という言葉を知らなくとも、その精神を実践しながら放射線と向き合ってきました。背景には地域に密着して活動する専門家の努力もありました。放射線計測や除染の指導実践、講演会などを通じて、ひとりひとりの不安に丁寧に答えながら、地道に支援を続けてきた方々が信頼を得ていました。

私達が日常の生活を取り戻していく一方で、「福島に人は住めない」「子供は全員避難すべき」「福島産の食品は食べない」といった言説が繰り返され、福島で暮らす努力をしている人々に悲しく悔しい思いを抱かせました。

福島市における空間線量は、セシウム134の自然減少とともに徐々に低下しましたが、家屋の除染が終了した時点でもなお、事故前に比較して依然高い水準にあり、ホットスポットも残存していました。客観的事実に基づいて外部被曝のリスクを評価するために、除染後の個人線量を信頼できる手法で測定することを目的として、東京大学理学部教授(現名誉教授)早野龍五先生をはじめとする諸先生方のご指導のもとで、「D-シャトル・プロジェクト」が始まりました。早野先生は、原発事故直後からtwitterで情報発信、給食の放射能検査・ホールボディカウンター検査・BABYSCANの開発など、福島の内被曝に関する研究で活躍され、福島高校の生徒の指導にも取り組んでられました(アトモス2017年10月号²⁾)。

国内外の高校生・教員計216名が参加して、半導体式個人積算線量計(D-シャトル、千代田テクノ製)を2週間身に付けて生活し、生活記録とあわせて1時間ごとの外部被曝線量を測定(国内は2014年6月、海外は2014年10月~12月に実施)、個人線量の比較・外れ値の検討・行動記録と合わせた解釈・空間線量との比較等の分

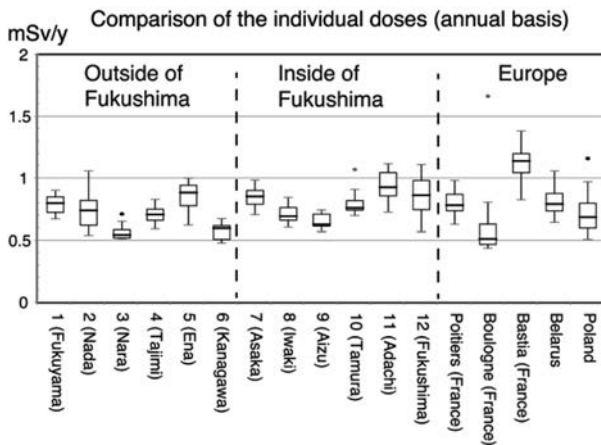


図1 福島県内外・海外における個人線量

析を行い、福島県内・県外および海外で外部被曝線量に大きな違いはないとの結論を得ました(図1)。結果は英文査読付論文として「Journal of Radiological Protection」¹⁾に投稿、Web上で公開され約95,000回ダウンロードされています。

プロジェクトの実現には、多数の高校生の参加が必須でした。国内は文科省のスーパーサイエンスハイスクール(SSH)指定校のつながり、海外は高校生国際放射線防護会議のつながりで、自発的に協力していただきました。私達福島高校スーパーサイエンス部放射線班が取りまとめ役を務め、研究の目的に沿った測定計画の策定、D-シャトルの送付回収、データ整理、論文執筆を担当しました。測定者としても参加し、2週間にわたって個人線量計を身に付け、行動記録をつけながら生活しました。行動記録の整理を通じて、ひとりひとりが測定の意義を理解して真摯に取り組んでいたことを読み取ることができました。論文ではすべての参加者が共著者となっています。

論文査読のやりとりにも参加し、学術論文として認められることの意義を理解することができました。英文査読付論文として公開することで、信頼できる測定結果として、多くの方に活用していただけるのだと思います。

「D-シャトル・プロジェクト」については、地域のテレビ・新聞やネット上のメディアなどで取り上げていただき、2016年2月には早野先生とともに日本外国特派員協会での記者会見に参加しました。国内ではICRPダイアログなど放射線防護のイベントに参加、フランスでの「高校生国際放射線防護会議」やミラノ万博「福島 食の安全カンファレンス」でも口頭発表の機会をいただきました。

情報発信にあたっては、測定結果を客観的な事実として信頼したうえで、様々な立場の方に判断の根拠として活用していただくことを第一に考え、中立の姿勢を維持するよう努めました。それでも記者の方々から、「原発に賛成か」「福島は安全と思うか」というような二者択一の答えをしばしば求められました。原発に関わる問題の

背景は、複雑です。信頼を得るために大切なのは、利害に関わらず、「客観的な事実に基づいて科学的に判断する」公正な姿勢を貫くことだと思います。

「D-シャトル・プロジェクト」は避難区域外で生活している高校生が対象でした。避難区域にあって集団での避難を余儀なくされた方々は、大きな負担を強いられ、今なお大変な思いをされています。個人積算線量計による線量測定は、帰還にあたっての個人のリスクの評価のための有用な手段です。最善の意思決定のためには、専門家の方々による適正なリスク評価と、ひとりひとりに対する丁寧で地道な支援が求められていると思います。

私は現在、生物学専攻の学部学生として生命科学の基礎を学び、将来は分子生物学の研究職を志しています。生命科学の進歩は、急速に生命の神秘を解き明かしつつあると同時に医療・食糧や環境分野にも恩恵をもたらす、生命倫理に関わる様々な問題も提起しています。放射線の発見に端を発した物理学の進歩が、医療や工業分野で活用され、「核兵器の脅威」や「原子力の平和利用」という形で現代社会に多大な影響を与えているのと同様に、生命科学もまた社会と緊密に関わりながら発展し続けています。専門家からの情報発信のありようがより重要となる時代にあつて、まずは自然科学者としての基礎的な力量を身に付け、信頼される専門家として社会に参加できる研究者を目指して研鑽していきたいと思っています。

本誌の読者は、主に電力会社・メーカーなどに所属する研究者・技術者の方や原子力関係機関・原子力施設のある市町村の関係の方、マスコミの方々であると伺いました。原子力政策に対する多様な意見があるなかで、今後の原子力発電所の安全確保や事故対策、放射性廃棄物への対処、被災者の帰還の支援や廃炉などの困難な課題に真摯に取り組んでいってほしいと思います。福島第一原子力発電所事故は、残念ながら多くの不信と対立をもたらしましたが、立場の違いはあっても、最終的に人々の幸福に寄与することがすべての関係者の共通の願いであると思います。皆様の御努力が結実して、より幸福な社会が実現されることを切に願っております。

－ 参考文献 －

- 1) Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—
Journal of Radiological Protection, Vol.36, No.1
(<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/36/1/49>; jsessionid=06670BFBA539A515A92414D644E2374C.c4.iopscience.cld.iop.org)
- 2) INTERVIEW 3.11 後、社会から最も信頼されたサイエンティストが解き明かした福島の実態
(聞き手 東京工業大学 澤田哲生)
アトモス 2017年10月号 p.12
(<http://www.aesj.net/publish/atomos/tachiyomi>)
(2018年1月23日記)

エネルギーをめぐるフェイクニュース？

川口マーン 恵美

ドイツは電気の純輸出国だ。ドイツ人はそれを自慢げに語るが、実際は、制御できない再エネ発電のせいで、需要のない電気が出来すぎているだけだ。しかも儲かるわけでもない。その反対で、FITで高く買い取った電気を捨値、あるいはタダで貰ってもらっているので膨大な欠損だ。とても自慢できる話ではない。

もっとも、将来はどうも輸出入が逆転するらしい。それどころか、再エネがコンスタントに増え続けるにもかかわらず、輸入量は急増する。もし、全原発が止まれば、17年に350億kWhだった輸入が、最悪の場合、1000億kWh以上になり、そのまま続くかもしれないとの、フラウエンホーファー研究所の報告。これほど大量に電気を輸入するというのは現実的な話だろうか？ しかも、輸入の方は捨値でもタダでもない。高値をふっかけられる可能性は高い。

原発を止めれば電力事情が逼迫することは現実問題だ。なのに、この無責任なエネルギー政策の責任者であるメルケル首相は、「EUの電力統合の促進」などと嘯いて、ドイツのエネルギー事情があたかも良い方向に進んでいるような顔をしている。他の政治家も真実を知っていても何も言わない。メディアも、地震も津波もないのに脱原発を煽った前科があるので、方向転換はできない。

唯一、警鐘を鳴らしている政党がAfD(ドイツのための選択肢)だが、彼らは他の政治家とメディアから、極右で危険な政党という烙印を押されている。だから、彼らの政策がまともに報道されることもなく、国民はAfDについては何となく、「環境を無視したとんでもない人たち」という印象を持っている。こんなフェイクニュースばかり聞かされているドイツ人は、ひょっとすると、原発はCO2を出さないとすることも知らないかもしれない。

Column

スロバキアとエネルギー

コメニウス大学
医学部英語コース 妹尾 優希

スロバキアよりこんにちは。今回はスロバキアが資源に貧しく、エネルギー確保の為にエネルギー輸入や原発に頼らざるをえない国、というところまでお話をさせて頂きました。

2014年のスロバキアのエネルギーの輸入依存度は59%程でした。震災前の日本の約80%と比較すると低く感じるかもしれませんが、元々同一国であったチェコの約29%とは大きな差があります。チェコとのピロド離婚後の翌年、1994年の時点では輸入依存度は73%でしたが、その後モホフチェ原子力発電所で1、2号機の稼働が始まった事により輸入依存度は徐々に低下していきました。スロバキアの主なエネルギー輸入先はロシアです。スロバキアのロシアへの天然ガス依存度は非常に高いのですが、ウクライナへ天然ガスを逆輸送した事から、制裁的に2009年と2014年に天然ガスの供給半減を受けました。この事から、スロバキアではロシアへの依存に危機感が高まり、他の欧州各国に比べ、より「脱ロシア」の風潮が強いです。しかし、スロバキアとEU15カ国の間には、「脱ロシア」へのアプローチに大きな違いがあります。ドイツやイタリアなどの、ロシアへの依存度が比較的低い国では、再生可能エネルギーに力を入れています。2016年にEU欧州委員会は、2030年までに消費エネルギーの50%を再生可能エネルギーへ変換する新しいエネルギー市場改革案を発表し「脱ロシア」と共に、CO2排出削減と脱原発を目指しています。しかし、スロバキアでは、供給不安という課題が残る再生可能エネルギーの大量導入に乗り気ではありません。その為、エネルギー効率、持続力、保障を考慮した「脱ロシア」とCO2排出削減に向けて、原発や国境を超えた送電網の敷設が注目を集めています。

(2018年1月30日記)

原子力の特殊性を考える

国際環境経済研究所
理事・主席研究員 竹内 純子

原子力技術は特別だ。発電の一方途という位置づけをはるかに超える。しかし技術導入当初から火力発電との同質性が強調されてきた。蒸気を作る方法が違うだけで、火力発電と基本的な構造は何ら変わらないと説明された国民はもちろん、そう説明してきた関係者も、いつしか原子力技術利用に対する「畏れ」をどこかに置き忘れてしまったのではないか。

原子力災害は広域かつ長期にわたり影響を及ぼす。福島原発事故で明らかになった通り、自然災害は翌日から復興が始まるが、原子力災害はいつから復興にとりかかれるのかすら見えない。被害総額の見通しもつかない状況で生活基盤を失った被害者に迅速に賠償・補償を行い、それを貫徹せねばならない。事故リスクの特殊性だけでなく、使用済み核燃料が超長期の管理を必要とすること、自由化された市場ではよほどの支援制度が無ければ新設や建替えが起きないといった点も、他にはない特殊性であろう。

このような技術を利用するのであれば、関連するシステムや制度もそれに合わせて設計せねばならない。特別扱いを求めるのかという批判を受けるだろうが、それくらいの畏れ、覚悟を持たなければ社会として利用することが許されない技術ということではなかろうか。そこまでして利用するメリットは無いと判断されれば、社会から徐々に消えていくのであろうし、この技術を失う訳にはいかないと判断されれば、この技術を健全に社会の中で活用するための制度設計が必要なのだ。原子力技術を利用し続けるのであればまず、この技術に対する適切な「畏れ」を社会全体で共有することが必要なのかもしれない。

Column

コラム執筆への抱負

東京大学大学院
工学系研究科 原子力国際専攻 渡辺 凜

原子力のように、科学・工学・政治・経済・医療といった多くの体系が複雑に組み合わさり、国の一大プロジェクトとして多様なステークホルダーが関係する問題は、全体像が掴みづらい。自分が関係するシステムの仕組み、自分が所属するコミュニティの思いしか詳しくならないのは、例えば東京の電力消費者も、原子力エンジニアも同じだろう。

「一般の消費者から見づらい世界」を一般の消費者にわかりやすく説明するプロがいるように、「原子力エンジニアから見づらい世界」を原子力エンジニアにわかりやすく説明するプロが必要ではないか。工学部に進学して原子力を学んでから、こう思うようになった。

「エンジニアから見づらい世界」を知るために手っ取り早いのは、エンジニアの輪に入ってみて、そこから世界を探ることだ。

私はもともと大学に文系で入学したが、今や恰好の場所にいる。見よう見まねの工学部生となり、周囲の原子力利用に対する考え方、その考えに触れた一般の人の反応、それを眺める自分の気持ちの変化などから、「原子力を使うということ」について、文化人類学的な考察を試みようと思った。

「原子力利用の問題には、自分たちからは見づらい側面がある」ことを意識した工学部生として、原子力利用の全体像を探り、原子力工学にできることを考えたい。そして考えたことを、このコラムに書いてみようと思っている。



原子力委がコミュニケーションをテーマに議論

原子力委員会は3月6日の定例会議で、コミュニケーションのあり方について議論した。はじめに同委の事務局を担当する原子力政策担当室が、ステークホルダー・インボルブメントに関する取組について説明。これを構成する3要素のうち、原子力分野では「情報環境の整備」と「双方向の対話」というレベルでの取組は相応に進んでいるものの、利害関係者や関心をもつ当事者を含めた「ステークホルダー・エンゲージメント(参画)」について

は不十分であると指摘し、これらすべての取組を進めることによって信頼構築をめざすべきだとする考えを示した。また、資源エネルギー庁原子力立地政策室は、信頼は「能力」「誠実」「善意」の3要素から成り立つとの考え方を紹介した。

原子力委員会ではこれらのテーマを、来年の白書の特集で取り上げる。

(原子力学会誌編集委員会)

東京電力が風評被害払拭に向け行動計画

東京電力ホールディングスは1月31日、福島第一原子力発電所事故による風評被害の払拭に、「これまで以上に主体性と責任を持って」取り組んでいくための行動計画を取りまとめた。また、本計画を具体的に実行する組織として「ふくしま流通促進室」を2月1日付で同社福島復興本社内に設置した。事故から7年近くが経過したものの福島産品に関する正しい情報が十分に伝わらず、風評被害が続く状況を重く認識。閉ざされた流通経路を「ひらき」、消費者の方々が多様な場面で福島の農産品・水産品に触れる機会を「つくる」ことを目指す。

同社グループでは、これまでも風評被害払拭に向け、首都圏の小売各社とタイアップした拡販イベント開催のほか、社内でも、県産品の販売、食堂での食材活用などに取り組んできた。

新たな行動計画ではまず、福島の農産品や水産品をめぐる明るい話題がはじまっていると指摘。しかしながら「事故前の流通経路が回復しない」などと、風評被害の継

続を懸念している。風評被害の払拭は、生産者の方々、地元自治体や国の取組とともに、「当社の独りよがりではでは解決できない問題」として、今後は生産、流通、小売、外食など幅広い関係者から意見を求めていく重要性を強調した。その上で、(1)「ふくしま」に触れ体験する機会を増やす活動、(2)安全性に関する正しい情報等の効果的なPR、(3)「ふくしま」の生産・流通・消費事業への関わり方——に関する取組を「やり遂げ」ていくとしている。

福島復興本社の大倉誠代表は1月29日の定例記者会見で、2013年1月に発足した復興本社の5年の軌跡を報告するとともに、2020年を目処に双葉町中野地区に移転することを発表した。大倉代表は、「事故で迷惑をお掛けした。復興のなるべく最前線に身を置くのが一番望ましい」として、引き続き被災地に寄り添った復興に取り組む姿勢を示した。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

電中研がリスク情報活用をテーマにシンポ

電力中央研究所の原子力リスク研究センター(NRRC)は2月8日、都内でシンポジウムを開き、原子力発電の安全性向上にかかわるリスク情報活用の意義と実践の方策をテーマに講演とパネル討論を行った。電力各社が共同でとりまとめた「リスク情報活用の実現に向けた戦略プランおよびアクションプラン」がこの場で発表され、今後の課題や進め方について、多くの参加者からの質疑を交え議論が展開した。

冒頭、電中研の各務正博理事長が開会挨拶に立ち、シ

ンポジウム開催趣旨を述べた。各務理事長は原子力発電の重要な役割を強調する一方で、福島第一原子力発電所事故の反省を踏まえ、原子力産業界が重要な経営課題に位置付けて取り組んでいるリスクの適切な管理に関する取組について、「実際の進捗状況を適時に社会に伝え、広く意見を交わすことも信頼回復のために重要だと考える」とし、活発な議論を求めた。

続いて、「リスク概念と原子力の安全性」をテーマにリスクや深層防護など安全の基本概念を解説したジョー

ジ・アポストラキス・NRRC 所長は、重要度に応じて安全対策を意思決定するために確率論的なアプローチが有用であることを強調した。同時に、従来の決定論的なアプローチと相補の関係にあるとして、意思決定の際には「伝統的解析と確率論的解析双方から得られる情報を基にすべきである」とした。

講演では、「リスク情報を活用した意思決定(RIDM)についての考え方」と題して、NRRC 顧問のリチャード・A. メザープ氏(元米原子力安全規制委員会委員長)がリスク情報活用の意義を述べた。同氏は、「決定論的解析と確率論的解析を組み合わせることで最善の結果を得ることが重要とし、双方の解析をどうバランスして考えるかについての国際的ガイダンス(IAEA 発行・INSAG25)を紹介した。また、規制当局や産業界などから構成される「多層構造による頑健な体制制度」の構築に関する国際的ガイダンス(同 INSAG27)に言及し、規制当局や産業界などが適切に連携し安全を支える体制を強化する必要があると述べた。そのため、安全を支える各層が、リーダーシップや継続的な学習など、安全文化の醸成を確実に進めていくことが肝要とした。

また、「原子力発電の安全性向上におけるリスク情報の活用について」と題して電気事業連合会の勝野哲会長が講演し、電力各社の取組状況を説明した。勝野氏は、

「安全に一義的な責任をもつ事業者が発電所のパフォーマンス向上のため一丸となって取り組む」として、戦略プランおよびアクションプランに沿って、必要な技術基盤の構築や人材育成を進めていく考えを示した。

パネルディスカッションではモデレーターの櫻井敬子氏(学習院大学法学部教授)が行政法専門の立場から、原子力発電の安全性向上を巡り、事業者の責任、国と地方の関係、住民の関与など、社会の視点から問題を提起した。

それを受けて資源エネルギー庁の自主的安全性向上ワーキンググループの委員を務めている東京大学大学院工学系研究科教授の岡本孝司氏が、原子力発電の安全性向上を強いサッカーチーム作りに例え、RIDM をコーチとして活用することで最終的に社会の信頼性が高まる、「サッカーチームは強ければ地元も応援する」などと述べた。さらに、日本経済新聞編集委員の滝順一氏は、原子力発電所の早急な再稼働を主張するにもかかわらず、リスク情報活用の進めぬ事業者の状況を憂慮し、「やり抜く覚悟があるのか」などと強く訴えた。また、食の安全に長く関わっていた科学ジャーナリストの松永和紀氏は、BSE 問題や福島県産米の全量全袋検査を例に、科学的に無視できるほどのリスクであっても、「市民に受け入れられるかは全然、別問題」と述べ、共感、信頼に加え、市民の知を活かす「共考」の姿勢が必要なことを指摘した。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【米国】

トランプ政権、次年度予算でユッカマウンテン関連を再び要求

米国の D. トランプ政権は 2 月 12 日、議会に対して 2019 会計年度(2018 年 10 月～2019 年 9 月)の予算教書を提出した。ネバダ州ユッカマウンテンにおける使用済燃料最終処分場の建設計画関連に 2018 会計年度予算教書と同額の 1 億 2,000 万ドルを充てているほか、小型モジュール炉(SMR)を含む新型原子炉技術についても初期段階の研究開発に 5,400 万ドルを計上した。ユッカマウンテン関係では、米原子力規制委員会(NRC)も支援活動経費として約 4,800 万ドルを議会に提案。同計画の復活に原子力産業界の期待が高まっているが、ネバダ州知事は同日、これには断固反対し続けるとの声明文を発表している。

同予算教書のうち、原子力を管轄するエネルギー省(DOE)分としては、2017 年度レベルから約 3% 減の合計

306 億ドルが計上された。DOE 予算の主眼は国家安全保障と経済成長の促進に置かれており、信頼性のある適正価格のエネルギー供給を目的に、革新的な科学技術に対して戦略的投資を行う方針。国内の多様かつ豊かなエネルギー資源を背景に、トランプ大統領が長期目標として掲げた「米国によるエネルギー支配」を達成する考えで、エネルギー技術に関する初期段階の研究開発(R & D)に、優先的に連邦政府予算を投入する。一方、技術の実証・商業化段階における資金調達にはできるだけ民間セクターに委ねたいとしている。

このため、約 17 億ドルを計上した応用エネルギー・プログラム全体のなかで、信頼性と回復力の高い統合型エネルギー・システムや次世代技術を民間セクターで開発できるように、初期段階の研究開発を支援するとした。このうち 7 億 5,700 万ドル(2017 年度レベルから 2 億 5,900 万ドル減)が原子力局の割り当てで、SMR や先進的な計測・製造方法など、新型原子炉技術の研究開発が優先的な支援分野。米国の原子力部門を再活性化・拡大するために充当された。

また、省内の複数局が共同で進める「送電網の最新化イニシアチブ」に1億8,000万ドルを計上した。エネルギー貯蔵や再生可能エネルギー発電、電気自動車などと結びつく配電システムについて、信頼性や回復力の一層の向上を可能にする革新的技術と運用アプローチを継続的に開発していく。

使用済燃料や高レベル放射性廃棄物(HLW)の管理・処分については、ユッカマウンテンの最終処分場建設と中間貯蔵施設関係で改めて1億2,000万ドルを計上した。ここでは、最終処分場の建設認可申請審査の再開、および原子力発電所敷地内にある使用済燃料を早期に引き取る能力の開発を目的に、確実な中間貯蔵プログラムの策定を目指すとしている。

この関連で、NRCも2019会計年度の総予算要求額9億7,100万ドルのうち、4,800万ドルをユッカマウンテンにおける使用済燃料とHLWの経費として計上した。NRCは独立の立場を有する連邦機関であるため、運営予算の90%は原子力許可の取得者や申請者が支払う手数料で賄われる。これらは財務省に直接振り込まれ、議会がNRC予算として承認して、初めてNRCに割り当てられる。このため、2019年度の予算要求額のうち、連邦政府予算から実際に歳出される金額は1億5,500万ドルほど。NRCの2019年度予算は前年度より6,000万ドル増加しているが、その大半がユッカマウンテン関係の4,800万ドルと新型原子炉技術の規制インフラ開発予算の1,000万ドルである。

しかし、建設認可申請審査の再開経費が計上されたことについて、ネバダ州のB. サンドバル知事は「このような不適切な構想に、ほんのわずかでも投資する必要性があるとは全く考えられない」と表明した。同知事によると、世界で最も毒性の高い物質を安全に貯蔵する能力がユッカマウンテンにはなく、州内に放射性廃棄物を廃棄する試みにはこれからも反対し続けると断言。失敗に終わった構想が復活することがないよう、あらゆる手段を講じるとの考えを明らかにした。

【英国】

ロールス・ロイス社、デジタル式サービスで米原子力発電所の効率向上

英国のロールス・ロイス社は1月16日、米ニュージャージー州のサーレム原子力発電所(117万kWのPWR×2基)と隣接するホーククリーク原子力発電所(約130万kWのBWR)に対し、データの革新的なデジタル分析に基づく効率性向上サービスを提供することになったと発表した。

同社が開発した「T-104サービス」は、原子力発電所

における作業の効率化と保守点検活動の合理化に主眼を置いている。これを両発電所に4年にわたって提供するため、所有者であるパブリック・サービス・エンタープライズ・グループ(PSEG)と契約を締結した。これらの発電所で6か月間の試験プログラムを実施した結果、現行の保守点検活動の40%は定期的に行う必要が無いことが判明しており、今回の受注に至ったとしている。

ロールス・ロイス社の説明によると、「T-104サービス」では世界中で稼働する原子力発電所の運転データを活用する。このような情報を価値の高い洞察力に変換し、PSEGが発電所の稼働率や信頼性を最大限に拡大できるような支援。具体的には、必要とされる部品や適切な機器を、適切なタイミングで発電所に装備することを可能にするとしており、同社としては社員をPSEGに派遣する方針である。緊密な連携の下で、予防措置のメンテナンスの全体的な作業量や、物的消費量を削減。機器類の信頼性も改善することで、PSEG社が支払う全体的経費の削減につなげることになる。

同社のP. トゥピン副社長は、「ビッグ・データの分析は当社が最も得意とする分野だ」と述べ、同社がグローバル市場を牽引する航空宇宙産業で、そうした能力を培ってきたと指摘した。今回のサービスは、同じノウハウを原子力産業に適用したもので、同社が保有する世界の発電所運転データや専門的知見を組み合わせれば、価値の高いソリューションをもたらすことが出来るとしている。

高級車メーカーとして知られるロールス・ロイス社は、2008年に民生用原子力分野に本格的に参入。安全性関係のデジタル計測制御(I&C)系を中国の複数の原子力発電所に納入したり、フィンランドの新規建設計画用に初期段階の構造設計を受注した実績がある。英国国内では小型モジュール炉(SMR)開発の企業連合を率いており、ヨルダンで同社製SMRを建設するための技術的実行可能性調査(FS)の実施に向け、2017年11月に同国の原子力委員会と了解覚書を締結した。

なお、同社は1月17日、事業を簡素化して5つの事業ユニットを3つに集約するという組織改革計画を公表。2016年度実績で2億ポンド(約308億円)の収益を上げた民生用原子力事業は、「パワー・システム事業」に統合する考えを明らかにした。

上院小委員会、EU離脱後のエネルギー供給保証で政府に提言

英国議会上院(貴族院)のEUエネルギー・環境問題小委員会は1月29日、EU(欧州連合)から離脱(Brexit)し

た後の英国におけるエネルギー供給とその価格、および低炭素化など、エネルギー供給保証全般について、エネルギー関係者の証言を取りまとめた報告書を公表した。

EU および欧州原子力共同体(ユーラトム)からの離脱は、英国がEU との間で現在享受している円滑なエネルギー貿易をリスクにさらすとした上で、異常気象や発電設備で計画外停止が発生した際、英国はエネルギー供給不足に陥りやすくなると示唆。同小委はそうした事態の発生防止と対応についてEU との協働方法を提示するよう政府に勧告するとともに、EU の単一エネルギー市場から離れることで、顧客が支払うエネルギー価格にどのような影響が及ぶか評価することを求めている。

また、EU 域内から原子力専門労働者の入国が制限された場合、ヒンクリーポイントC計画を含めて英国の原子力発電所建設能力が不確かなものになると警告。離脱時までにユーラトム条約に代わる規定条項を準備できなければ、核物質の輸入も難しくなり、英国のエネルギー供給保証にさまざまな影響が及ぶとの見解を示している。

上院では現在、ユーラトムからの離脱にともない原子力分野で必要となる英国独自の原子力保障措置体制を構築するため、保障措置の規則法案を下院に続いて審議している。エネルギー供給保証全体に関する今回の報告書は、上院の同小委員会が2017年9月から10月にかけて、様々なエネルギー業界から証言を聴取して作成したもの。英国内でヒンクリーポイントC原子力発電所建設計画を進めているEDF エナジー社や英国原子力産業協会(NIA)などのほか、電力やガス、石油、再生可能エネルギー、送・配電などの各事業者や関係産業団体、研究機関が協力した。

<エネルギー貿易>

報告書の中で同小委員会はまず、信頼性のある適正価格の電力・ガスの供給に英国全土の事業者や個人がいかに依存しているかに言及。また、EU 加盟国との迅速かつ廉価な貿易が、そうした供給を支えてきたという事実を強調した。同小委によると、英国はEU 域内エネルギー市場(IEM)の形成で主導的役割を果たしたが、Brexit 後にIEMの外でEU 諸国とエネルギー貿易を続けた場合は、効率性が低下し、顧客のエネルギー・コストも上昇する可能性がある。このため同小委は、IEM から外れた際のエネルギー政策の明確化や、EU 加盟国とのエネルギー貿易継続において、EU の関係法制をどの程度遵守する必要があるか、明らかにすることを政府に勧告。英国とEU 間でガスと電力を融通している国際連系線に関しては、どのような規制体制を適用することになるのかについても、出来るだけ早急に明確にするよう要請した。

<ユーラトム>

ユーラトム協定は、EU 域内で原子力資機材や核物質を適切に供給・管理・監督する枠組を定めており、英国の原子力発電においても重要な役割を果たしている。このため同小委は、国際原子力機関(IAEA)の要件を満たせるレベルの保障措置体制を国内で構築することが、エネルギー供給保証を維持する上で重要になると指摘。政府と原子力規制庁(ONR)の両方に対し、早急に措置を講じるべきだと訴えた。ONR にとっては、離脱時までに十分な数の査察官を採用・訓練する必要があるなど難しい課題であり、政府には可能な限りONRをサポートすることや、必要となる対策の検討を促している。

同小委はまた、既存の原子力供給チェーンを維持するため、英国は新たな原子力協力協定(NCA)を結ぶ必要があると明言。英国は現在、多くの国と核物質貿易を行っているが、NCAはその法的枠組となるため、米国、カナダ、日本、豪州等とのNCA締結は特に優先すべきだとした。さらに、そのための交渉を始める前に英国がIAEAレベルの保障措置体制を構築するのであれば、可能な限り早急にIAEAと合意に達することが政府に求められる。原子力資機材と核物質関係の貿易が、タイムリーかつ合理的コストで行われるよう、政府は原子力貿易関係の協定を整備しなければならないと強調している。

【フランス】

NewNP 社から改称したフラマトム社、中国との協力強化

仏アレバ社が売却した原子力機器・システム設計製造部門「NewNP社」は、フランス電力(EDF)等による同社株の買収手続完了後、社名が「フラマトム社」に改められたが、1月10日付け発表の中で、中国核工業集团公司(CNNC)とグローバルな戦略的協力関係を展開していくための議定書に調印したことを明らかにした。同会社に対する長期の燃料機器供給契約も更新しており、この議定書を通じて中仏両国間の将来的戦略と長期的な協力基盤を築く考えを表明している。

フラマトム社は中国が商業炉の開発利用を開始した1980年代、広東省で大亜湾原子力発電所と嶺南原子力発電所の建設プロジェクトを受注しており、両国はすでに長年にわたって協力関係にある。CNNCと結んだ今回の議定書では主に、核燃料の設計・エンジニアリングと関連サービスで協力を延長するほか、デジタル式計測制御(I & C)系に関する共同作業を促進。原子力発電所の安全性や保守点検についても協力を強化するとした。これらのアクションを具体化していくため、両社間で共同

作業グループも設置する方針である。

また、燃料機器の大規模供給契約は10年間更新したが、これはCNNC直属の国際貿易会社である中国原子能工業有限公司(CNEIC)と結んだもの。同社から中国への燃料機器供給は、両国のサプライ・チェーンの下で、すでに約20年間行われている点を強調している。

フラマトムの呼称は、同部門が2001年に核燃料公社(コジェマ)などとともにアレバ・グループに統合される以前に使われていた。NewNP社の株式については、EDFが昨年末、アレバ社との2015年の合意に基づき、75.5%購入する手続きを完了。残りの株式のうち、19.5%を三菱重工業が、5%は国際的な原子力エンジニアリング・研究開発サービス企業のアシステム社が購入することとなり、これら2社もすでに同様の手続きを終えている。

この買収には、工期延長にともなう総工費の膨張などのように問題が発生した契約は含まれておらず、フラマトム社は同社の年間収益が2016年末現在で31億ユーロ(約4,193億円)、受注残高は150億ユーロ(約2兆289億円)にのぼるとした。また、同社は世界中で58事業所を保有しており、総従業員数は1万4,000人に達した点を強調している。

アレバ社製・第3世代設計であるEPRの建設プロジェクトとしては、現在、仏国内のフラマンビル3号機(163万kW)計画とフィンランドのオルキオ3号機(172万kW)に加えて、中国・広東省における台山原子力発電所1,2号機(各175万kW)建設計画が進行中。台山1,2号機の建設工事は、これらのなかでは最も遅い2009年と2010年にそれぞれ始まったが、所有者の中国広核集团有限公司(CGN)は1月10日、同1号機がその他のEPR建設計画に先立ち、世界初のEPRとして完成する見通しであることを明らかにしている。

規制当局、深地層処分場の安全性について肯定的見解

フランス原子力安全規制当局(ASN)は1月16日、高レベル放射性廃棄物(HLW)などを深地層処分する目的で計画されている施設「CIGEO」の安全性について、肯定的な最終見解を公表した。

廃棄物処分の事業主体である放射性廃棄物管理機関(ANDRA)は2016年4月、ASNに同施設建設計画の安全オプション文書(DOS)を提出しており、これを技術的側面から審査した結果、「DOS段階におけるCIGEO建設計画は全体として、技術的に十分成熟している」と結論付けた。

ただし、ピチューメン(アスファルト)を含んだ廃棄物

については化学反応による発熱の可能性があるため、ANDRAが設置許可申請書(DAC)を2019年に提出する前に、追加研究や調査を実施するよう要求している。

CIGEOでは、1万立方mのHLWと7万立方mの長寿命・中レベル放射性廃棄物(ILW-LL)を地下500mの深地層で少なくとも100年間、回収可能な状態で貯蔵する計画。フランス東部のムーズ県とオートマルヌ県にまたがるピュール地区を含めた、30平方kmの圏内で建設することが2010年に決定しており、ANDRAは2020年代後半の操業試験実施と2030年代の事業許可取得を目指している。

建設と操業にかかる基準コストは、2016年1月にエコロジー・持続可能開発・エネルギー省(当時)が250億ユーロ(約3兆3,957億円)に改定。これは、廃棄物の発生者であるフランス電力(EDF)とアレバ社および、原子力・代替エネルギー庁(CEA)が負担することになっている。

DOSは施設の安全性を確保する主要原則やアプローチを説明するための文書で、ANDRAはDOSを通じてASNから助言を得ることができ、DAC作成に役立てることになる。CIGEO建設計画のDOSはまず、ASNの技術的支援機関であるフランス放射線防護原子力安全研究所(IRSIN)が評価を行っており、2017年7月に肯定的な結論を明記した報告書を公表。DOSはまた、国際原子力機関(IAEA)のコーディネートにより、諸外国の安全規制当局の専門家による審査も受けたとした。

ASNはこれらに基づく技術的評価段階の見解案を昨年8月から9月にかけて公開諮問に付しており、得られた意見を分析した上で、ASNとしての最終見解を今月11日付けで発表。「これまでにASNに提出された文書と比べて、大幅な前進が見られた」との認識を示している。

しかしながら、DOSのいくつかの項目については補足が必要だとASNは指摘。具体的には、処分建築物の妥当性証明や自然災害に耐え得る設計・サイジング、施設全体のモニタリング、事故が発生した場合の管理などについて補足説明を要求するとした。

ASNはまた、貯蔵予定廃棄物の約18%を占めるピチューメン廃棄物について条件を設けており、同廃棄物の封入パッケージの化学反応を中和する研究を優先的に行うべきだと指摘した。現状では同廃棄物をCIGEOに貯蔵することはできないので、この化学的発熱反応が暴走するリスクを除外するため、CIGEOの設計変更調査も並行して実施する必要があると表明。いずれにせよ、この廃棄物の発生者とANDRAが出来るだけ迅速にパッケージの特性調査を行うことは、DAC提出の重要な前提条件になるとしている。

【スウェーデン】

最終処分場計画，規制当局は政府に肯定的見解提示

スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社(SKB)が提出していた使用済燃料の封入プラントおよび最終処分場の建設許可申請について、同国の放射線安全庁(SSM)は1月23日、政府に建設の許可を勧告する最終見解を表明した。

原子力法に照らし合わせて、処分場の安全性と放射線防護面についてSKBの申請書を審査した結果、SKBには要件を満たすだけの潜在的能力があると結論付けたもの。一方、同処分場における処分方法や立地選定など、環境影響面を環境法に照らして審査した国土環境裁判所は同日、使用済燃料を封入する銅製キャニスターの長期的な安全性に疑念が残るとしており、SKBから追加の証拠文書が必要との見解を政府に提示した。SKBは2020年代初頭の同処分場着工を目指しているが、建設を許可するか否かの判断は、これらの見解に基づき政府が下すことになる。

SKBが申請していたのは、使用済燃料の処分に関連する2種類の施設の建設・立地許可である。1つはエストハンマルにあるフォルスマルク原子力発電所の近接エリアで、使用済燃料12,000トン地下500mの結晶質岩盤に直接、最終処分する施設。申請書は2011年に、SSMと国土環境裁判所に提出した。もう1つは、オスカーシャムにある集中中間貯蔵施設(CLAB)の隣接区域で、使用済燃料を6,000本のキャニスターに封入するプラント。CLABでは容量を11,000トンに拡張する計画があり、その設備と同プラントが完成した場合、これらは「CLINK」と総称されることになっている。

SSMは今回の声明の中で、「周辺住民の健康や環境を損なわずに使用済燃料を安全に管理し、最終処分する能力がSKBには備わっている」と明言。審査を通じてSKBは、施設の建設や操業、長期的な安全確保と放射線防護など、原子力法が定める段階毎の許認可プロセスに沿って、対象施設の安全解析書(SAR)作成能力があることを証明したことになる。

ただし、政府が実際にこれら施設の建設許可を発給する際は、一定の条件を付けることをSSMは提案。申請書の記述通りに施設が建設・操業されるようSKBに要求するとともに、施設の着工前や試験操業の開始前、および通常操業を開始する前にもSARの提出を要求し、SSMによる審査と承認を義務付けるべきだとしている。

一方の国土環境裁判所は、使用済燃料封入プラントや

CLABにおける活動は環境法に準じて許可できるとしたものの、最終処分場については、処分プロセスが銅製キャニスターの機械的強度に及ぼす影響や、腐食による損傷の程度が不明確だと評価。SKBが示した調査文書は堅実なものだったが、全体的に見て、キャニスターの耐久性にかなりの不確定要素が含まれていることや、それらの要素すべてを安全解析で考慮したわけではないことを示しているとした。そのため同裁判所としては、最終処分場が長期的に安全だと判断することはできないと指摘。環境法に基づき建設を許可できるとしたら、それは、キャニスターの耐久性も含めてSKBが追加文書で最終処分場の安全性を立証できた場合に限ると強調した。

【中国】

政府，国有の原子力事業者と専門建設会社の経営再統合を承認

中国・国务院の国有資産監督管理委員会(SASAC)は1月31日、中国核工業集团公司(CNNC)と中国核工業建設集团公司(CNEC)の経営再統合を正式に承認した。

この統合計画は2017年3月、李克強首相が全国人民代表大会における「国有企業再編方針」の中で示していたもの。CNNCが中国広核集团有限公司(CGN)および国家電力投資集团公司(SPIC)と並んで、中国の3大原子力発電事業者の1つである一方、CNECはこれら事業者が手がける様々な原子力発電所建設プロジェクトで建設工事を請け負ってきた。中国では2015年1月、習近平国家主席が提唱した巨大経済圏構想「一帯一路」における重点施策として、原子力発電プラントの輸出加速を決定。このため、1999年にCNNCから分離したCNECを再びCNNCに統合することで、原子力発電所の建設と運転で相乗効果が生じ、中国が海外展開用第3世代設計の主力と位置付ける「華龍1号」の輸出に有効との認識があると見られている。

中国の原子力開発は軍事利用から始まっており、これが第2機械工業部、核工業部と受け継がれていった後、1988年に民生用原子力発電も所管とする中国核工業総公司(CNNC)に改組された。その後、1994年の政府機構再編により、CNNCは行政部門の「国家原子能機構(CAEA)」と研究開発・製造部門の「中国核工業総公司(CNNC)」に分離。1999年にはさらに、原子力発電と核燃料サイクルの研究開発および商業化を担当する現在のCNNCと、原子力関係中心の工事・建設・据付を担当するCNECに分割されていた。

座談会

事故から7年、何が変わったのか どうすれば「信頼」を得ることができるのか



東京大学・日本原子力学会	上坂 充
テムス研究所	北村 正晴
日本科学技術ジャーナリスト会議	小出 重幸
日本経済新聞	滝 順一
日本エネルギー経済研究所	村上 朋子
本誌	佐田 務
東京工業大学	澤田 哲生(司会)

福島第一原子力発電所事故から7年。新規制基準などにより原子力発電所の安全性は向上したが、再稼働をはじめとして原子力全般を見る世論は依然として厳しい。それはコミュニケーションの巧拙や回路の問題か。関係者の意識にひそむ問題か。めざすべき「信頼」はどうやったら得ることができるのか。そのために今、原子力関係者が行っている取り組みはどうすればよいのか。

KEYWORDS: *Fukushima accident, public opinion, trust, public involvement, engagement, consciousness of experts, noblesse oblige, literacy, sarcophagus*

事故後に原発の安全性は向上した しかし原子力関係者の意識は変わらない

澤田 3・11からほぼ7年がたちました。その後、原子力界がどう変わったか。さらに原子力学会に対して求められてきた事柄に対し、学会はどうこたえてきたか。それが社会に伝わっているか。そのようなことについて話していただきたい。

佐田 東電福島第一原子力発電所事故後の状況の変化をまず、整理したいと思います。この事故の後に原子力規制に関する法体系が改正され、原子力規制委員会が発足しました。また、同委による新規制基準が策定され、それに基づいて全国の原発の安全向上対策が実施され、これらの進展に伴って国内では数基が再稼働するに至っています。

一方、世論調査の結果をみると、再稼働に関しては依

然として反対が賛成を上回るという結果が続いています。さらに原発の運転の可否をめぐる司法判断においては、運転を差し止める例が増えてきました。新規制基準の制定にともなう安全対策の追加によって原発の安全性が向上したのは事実だと思いますが、事故の懸念がなくなったわけではなく、国民には原発事故のトラウマ(心の傷)がまだ強烈に残っていることが、それらの背景にあるのではないかと思います。

また、あれほどの事故が起こったにもかかわらず、原子力界が自らの責任について明快に語ることはない。言い方を変えるならば、この災厄に対する落とし前がつけられていないことに対するルサンチマン(怨念)が、原子力関係者に対する不信とも結びついているのではないかと思います。その信頼性の有無が、原子力規制委員会が作った基準に対する正統性や正当性にも関わっているのではないかと思います。

事故直後に専門家は自らがさまざまな反省や教訓を導き出し、それを反映しようとする真摯さがひしひしと感じられました。国民世論にもしっかりと向き合っていたと思います。けれども今は「原発は必要だ」という論理のもとで再稼働すべしとの論調だけが、専門家の間では優勢になっている、言いかえるならば事故前に戻ったという印象をもちます。

北村 私は原子力と社会の関係において原子力界がどう変わったかという問いに対して、「原子力単独を見る立場」と「原子力と社会のかかわりを見る立場」とに整理する必要があります。原子力に限れば、確かに安全性は相当向上しています。一方で原子力と社会との関わり、広くには科学技術と社会の関係がきしみ始めている、それに伴っていろいろな不祥事とかトラブルが生じていると思います。昔だったら通用したことが、今は通用しなくなっている。社会の側が科学技術、あるいは原子力に対してより厳しい目を向けるようになってきているというのが実態だと思います。だから、再稼働がなかなか進まない。世論調査をしても半分以上が否定的な意見を示しています。高レベル放射性廃棄物の地層処分の問題にしても、昔は半分ぐらいが消極的ながらも肯定的だったけれども、今は1割程度にまで減っているという結果もあります。原子力に対する否定的な印象が強まっているのは事実でしょう。その背景には原子力固有の問題と、技術と社会のかかわりの問題とがある。あれだけの事故を経験したのだから、むしろ原子力と社会との関係は悪化している、技術全体に対する社会の不信が高まっているという面があると思います。

村上 私はエネルギーアナリストなので、エネルギー全般について原子力産業界や原子力業界にかかわる人たちの態度が2011年の前と後で変わったかどうかを述べたいと思います。結論から言うと、変わっていない部分が多い。原子力関係者は、原子力以外のエネルギー関係者が原子力をどう見ているかを全く気にしようとしていない。

具体例をあげます。福島事故前の2010年に策定されたエネルギー基本計画では、日本の目指すべき将来の電源構成では原子力で50%を賄うという目標が掲げられました。原子力業界はこの目標を単純に歓迎していましたが、原子力以外の業界では、設備利用率の低さから見ても、原子力で50%を賄うことは難しいとの意見が相当ありました。けれども原子力業界の人たちは、そのような声に対して全く意に介しませんでした。

また、福島原発事故後2015年の長期エネルギー需給見通しにおいて、2030年に原子力で20~22%をまかなうという目標が示されました。パリ協定でも日本の野心的な目標が国際公約になりました。

こうした状況を見て、原子力関係者は勢いづきました。「やはり原子力は必要だ。20~22%達成のためには

どんどん再稼働も進めないといけないし、新設も必要だ」ということを主張しています。しかし、外からは「それは無理ではないか」と見られている。そうした声を、原子力業界の人たちは聞こうともしない。そんな話は原子力が嫌いな人や放射線を過度に怖がる人たちが言っているに過ぎないと思っている節があります。

私は原子力が20~22%は最適比率だとは思いますが、この数値に対してガスや再エネなどのエネルギー業界の中にはさまざまな意見がある。彼らの意見を含めて、この数値が本当に妥当で実現可能なのか。真剣に議論すべきではないかと思うのです。原子力業界の人たちは「見たいものばかりを見ている」、本当に何が起こっているかを見ようとしていないという態度は、私は福島事故前後で変わっていないと思っています。

澤田 原子力業界の人たちは、原子力業界外部とのコミュニケーションが、外からどう見られているかということに対する思いがないということですね。

村上 そうです。

相手の心に届かないメッセージは意味がない

小出 原発の事故対策は、例えば津波に対しても時間や費用をかければ技術的に解決できます。ところが現在の原子力発電は、国民の理解、社会との関わりなしには一歩も進めない。その領域が事故後もほとんどフォローされていません。

例えば英国は1980年代、BSE(狂牛病)をめぐる混乱によって、政府や科学界が信頼を失いました。この失敗を教訓に、科学と社会、政府、科学界をネットワークで結ぶ「科学コミュニケーション」を立ち上げ、信頼回復へのプロセスを積み重ねてきました。同じく、福島原発事故の後の日本も、政府や原子力業界が信頼を失っていますが、失った信頼をどのように回復させるか、そのアプローチがほとんどみられないのです。

科学や技術の世界では、日本のエネルギー・セキュリティを考慮すれば、原子力発電の選択肢を排除することはできないと、多くの専門家が理解しています。ところが、福島原発事故後、指揮系統、情報の伝達などが大混乱して、大きな社会的不信を巻き起こした。あの混乱ぶりを見て、「原子力の利用が本当にできるのか」、「あの人たちには任せられない」と、困惑している人がとても多い。これは専門家だけでなく、市民の受け止め方でもあると思います。

技術的な問題を超えて、原子力発電を担う人たちが信頼できるかということです。向坊隆氏が、「原子力発電の事故を防ぐためには、技術陣の不断の努力が欠かせないが、一方で、その技術者が社会に信頼されることなしには、原子力発電は一歩も進められない」と、よく話していましたが、これは現在に至っても原子力と社会の真実

を示していると思います。

信頼失墜の背景は、コミュニケーションの失敗だと思います。

原子力安全委員会は、福島原発事故発生から12日目に、初めて記者会見をしました。その時、「今がどういう状況なのかを国民に説明するのが原子力安全委員長の役割ではないのか」と質問したところ、「政府に対して助言するのが仕事であって、市民に対する説明責任は法律に書いてない」という回答でした。

組織のトップ、責任あるポジションにある人たちは、それだけ大きな社会的責任を負っているはずですが。英国では、ノブレス・オブリージュ(社会的に一定の地位にある人が果たさなければならない責任や義務)という言葉を使いますが、事故後の原子力のオーソリティ、原子力委員会、原子力安全・保安院、そして当時の官邸・菅首相、いずれもこのリーダーシップとコミュニケーションへのまなざしがなく、これに失望した人は多かったと思います。

原子力学会も事故後に報告書をまとめています。技術的には大変良くまとめられた内容だと思いますが、記述は原発サイトの中に関するものが主で、原発周辺に住む人にとって最も関心がある、漏出した放射性物質についての分析、評価、それをどのように考えればよいのかというメッセージはありませんでした。日本に科学コミュニケーションの歴史がなかったことも背景にあると思いますが、こうした振る舞いが、信頼回復を損ねていると感じます。

もちろん事故後に、行政、学会、NUMO、電気事業連合会、日本原子力産業協会などが、いろいろな立場でコミュニケーションに取り組んでいますがそれらが一体となって、今後の明確な価値観を示し、メッセージを発信するということがない、国民に届いていない、デリバリーにはなっていない。

澤田 デリバリーとはどういうことですか。具体的に。

小出 高レベル廃棄物に関して理事長メッセージが出ていますが、その言葉は役所の都合の発信が主で、相手のところに届けるためのアプローチとは言いがたいと思います。コミュニケーションの原点を考え直し、伝える能力に優れた人材やその知見を生かすということをもっと考えるべきだと思います。

滝 皆さんが事故後、原子力界が変わっていないと言うので、逆に変わったことを話します。例えば、原子力界の人たちが相変わらず閉鎖的で、原子力以外のエネルギーについて無関心だという指摘がありました。もちろん、そういう人もいるでしょう。けれども原子力の世界にいる人たちのかなりの方が、再生可能エネルギーの急速な増加や電力自由化で競争市場に入っていくということは、相当意識しているでしょう。端的な例が、この前

の関西電力の大飯1号・2号機の廃炉です。昔なら、この段階で廃炉という決定をするはずがない。それを早い段階で廃炉にする決定をしたのは、社会的な事情やエネルギー情勢の変化を彼らはしっかりと考えて判断した結果であり、こうした姿勢は明らかに変わった面です。さらに原子力の安全に対する考え方や安全対策も変わりました。

ただ、原子力を進める側の人たちは情勢変化に対して、非常に賢く合理的に振る舞っている。だから、その根底にあるロジックや心根が変わっていると言われると、その点はわかりません。とはいえ、3・11の前と今とでは事情が変わっており、当人たちは変わらざるを得ない。私はむしろ、そのように変わってきている面を見つけ出して評価するほうがいいのではないかと思います。

澤田 原子力界の人たちの根底の論理、心根が変わっているのかどうかということは、非常に重要なポイントだと思うのです。

滝 一方、学会では、一生懸命コミュニケーションを考えていらっしゃる先生方もいらっしゃる。社会の声を聞こうとしているシンポジウムも開かれたりしている努力は認めます。しかし、学会の基本的な構造は、変わっていない。構成員も財政基盤も変わっていない。これは変われるはずがないと思います。

学会の過去の活動を見ると、福島原発事故だと2カ月後に教訓を出している。これらの教訓がその後、どう反映されたか。事故から7年たった今、どうなっているのかということをしちんとチェックして、もし実現していないものがあれば、何が課題なのかということをもう一度考えて、その上で政府や産業界や規制委員会に対して、具体的に提案や提言をしてほしい。

澤田 それはどんな教訓でしょう。

滝 事故から2か月後に出された「重要な対策のまとめ」では、「津波対策として水密性強化など物理的な対策を行うこと」。これは新規制基準で実現しました。しかし「定量的リスク評価手法を確立し、リスクを全面的に規制に取り込むこと」。これは全くできていない。この段階からリスク評価が必要となると指摘した。にもかかわらず、7年たってもリスク評価について規制委員会は動いていない。議論はされていますが、きちんとしたリスク評価が出ていないことが、最近のいろいろな問題につながっているのではないかと私は思います。

「信頼とは、相手から頼られること」

上坂 まだ努力が足りない面は認めます。けれども事故後、ご指摘の教訓から学ぶべく、学会事故調査委員会を立ち上げ、報告書もしました。それらの提言については皆、肝に銘じて、そのための活動をしていると思う

のです。

また、この話は原子力業界だけにとどまらないという事は、全員が考えています。例えば安全に関しても、他の分野の方々と安全に関する議論をする努力をしています。また、福島の新規・復興に関しても36学協会との連携もやっており、学会会議との連携もやっています。学会会議ではリスクコミュニケーションを手がける原子力系の委員会も立ち上げ、そこには文系の先生も入っています。まだまだ不十分ですが、我々はそのための努力はしていると思います。

先ほどの課題の中で取り込みが十分でない問題がリスクマネジメント、確率論的安全評価等で、これに関しては昨年秋に学会内にリスク部会を立ち上げて、検討を進めています。

しかしながら、現在も規制は決定論的であり、一方で産業界からすれば、一日も早い再稼働が当面の悲願です。だから、リスクを実際の安全規制に取り込むところまで手が回らない。一方でアメリカでは、すでにそういうことが議論され、実施されています。向上のために学会内にリスク部会が立ち上がったわけです。

先ほど、原子力分野の人間はほかの分野を見ていないという指摘がありましたが、理工学者の全体的な傾向として、自分のやっている技術を追求したいということが第一で、それが社会に受け入れられるための努力の重要性を理解していない人も多い。しかし、それを理解している人もおり、彼らはそれに取り組んでいると思います。

私は社会心理学者の方から「信頼を勝ち取るというのは相手から頼られることだ」と言われたことがあります。「説明するだけではなくて頼られる」ということは、説明がうまければいいということではない。相当なことをしなければならぬのだと私は考えています。

したがって、私も含めて学会員のスタンスとしては、まず安全のための技術開発を行う。そこで得られた技術や成果については社会的に発信し、しっかりと汗をかいで説明していきたいと考えています。また、学会でも原子力理解を推進するための活動を行っており、市民の方と直接話す機会を増やしているところです。

澤田 みなさんに一通り話していただきました。論点が三点に集約できると思います。一つ目は根底のロジックや心根が変わっているのかどうか。二つ目は、社会に対する対応能力、コミュニケーションが改善されたのかどうか。学会の対話活動について、滝さんや小出さんはどう見ておられるか。

三つ目は信頼を勝ち取るために、上坂さんの言葉だと「頼られること」、小出さんの言葉だと「ノブレス・オブリージュ」を果たしているかどうかということ。

また、学会会議が少し前に、2010年の原子力委員会からの審議依頼に対して回答を出しています。その中で科

学的自律性ということを行っています。しかし、紐付きでない科学者がどこにいるのかという話があります。政府の政策に対して、きちんと独立した意見を申せる人がいないと信頼性は醸成できないと学会会議は指摘しているのですが、そのことはあまり浸透していないような気がします。

北村 私からも、変わった点についてはお話しさせていただきます。まず、学会がコミュニケーションのための努力をされているというのは、そのとおりでと思います。けれども、それがどのぐらいの人に共有されているかというところに一つの問題があると思います。

社会と接触するのは、技術者にとっては精神的にかなりストレスがあることです。私は2002年からダイアログ(対話)活動をやっていますが、決して楽しい機会ではない。罵声を浴びせられることもよくありますし、逆に幸せになって帰ってくることもあります。

ただ、機会を重ねるにつれて、少なくとも対話に対する関心は随分高まったと思っています。なぜかというところ、そういう場を作ってくれる原子力外の市民が増えてきたからです。それは、私としては非常に大きな変化だと思っています。

原子力の側からの働きかけや対応の努力と相まって、市民の側に、それに能動的にこたえようとしている人たちが生まれてきています。原子力に批判的だけれども、原子力にむやみに反対するのではなく、これをきちんと学ぼうとか、あるいは地層処分問題は自分たちの世代でいつかきちんと考えなければと思っている人たちや、そのために動いているNPOが生まれているのも事実です。

私たちの社会は原発とどうつきあうのか

佐田 変わったこと、変わらない部分について話を戻します。例えるならば、上半身の部分は変わった。原子力発電に対するさまざまな対策が追加され、安全性は向上した。けれども下半身の心根のところは、全く変わっていない。具体的に言うならば、原子力やエネルギーのような難しく重要な問題は誤った選択をすると取り返しがつかないことになるから、そのような重要な問題は、知識や経験や能力をもっている専門家に判断を任せられた方がよいとする考えは今も貫徹していると思います。コミュニケーションはいまだに、その文脈の上にある。それは、自分たちが考える「正解」を理解してもらうことを目的とした一方向的なものでしかない。だから、本当の意味での対話という取り組みには消極的な傾向が見えます。

澤田 原子力にしるバイオテクノロジーにしる、あるいはコンピューター科学にしても、だんだんと先端化しています。もとをただせば科学や技術は、社会のしもべ

のはずです。社会がどう進んでいくかに対して、真っ当に関与するというより、御用聞きに回らなければいけないはず。けれども上坂会長がおっしゃったように、技術者には自分の技術を普及したいという強い願望があり、それが駆動力になっているところもある。しかし、社会の側はそんなものを要請していないということになる。その葛藤が、原子力で顕著に出た部分があると思うのです。

いずれにしてもコミュニケーション、対話の機会は増えたけれども、心根が変わっていないから、本質的なものが伴っていないということですね。

佐田 本当のコミュニケーションというのは、最終的には原発とどうつき合うかという議論が根底にあると思うのです。対症療法的な対応はたくさん進んでいます。けれども、あれだけの事故が起きました。だから原発というのはとても重宝なものだけれども、事故のリスクがないわけではない。便利だけど、万々の事故の場合には大規模な被害をもたらす原発と、私たちはどうつき合うか。日本でそのための真剣な議論がやられたのは、民主党政権時代の討論型世論調査だけだったと思います。それ以降、政府は世論と本格的に向き合うような取り組みをすることなく、経済的に必要だという論理のもとに再稼働をなし崩しに進められている。それに対し国民は、一種の諦念をもって見ていると思うのです。

澤田 これは政治の問題と切り離せませんね。

科学的に根拠のある話を発信する

小出 ノブレス・オブリージュの話に戻ります。上に立つ人間は、その責任を示さなければいけない。それは「徳」という概念かもしれません。それがあから信頼する、だから、任せますという形が本来のスタンスだと思います。同時に、外とのコミュニケーションがしっかりとできる人、きちんと説明できるグループが必要になります。

フランスでは原子力発電を、核開発技術の視点から更に広げて、事故が起きた時はどうするのか、周辺住民の心理的な影響も考慮しながら、地域社会へのアプローチの仕方まで含めた、総合的な技術だと言います。フランス大使館の技術者と話をすると、包括的な眼差し、思想なしに原子力発電は進められないはずだが、日本ではとにかく、オンサイトの技術的な面ばかりにフォーカスしがちだ、というやんわりとした批判を聞きます。自らの所掌分野には熱心だけでも、全体像や、それを貫く哲学のようなものを語る人が、あまりに少ないと思います。

福島第一原発事故後に、もう一度原点に戻って、どう取り組んだらいいのかというコミュニケーションがあってもよかったと思いますが、それを議論するようなことにはなっていない。そうならない原因の一つは、原子力

業界のコミュニケーションは、極端な反対グループに焦点を当て過ぎているからだと思います。

科学的に根拠がない情報が氾濫する中で、多くの人々が客観的な情報や、全体観をつかめるメッセージを求めている時に、原子力学会や原子力のオーソリティーの側からのアプローチがない。こうしたとき、学会、電事連、原子力産業協会などが、情報発信をユナイト(統一化)してくれることを期待します。さまざまな情報発信がなされる中で、もっと中立的な人たちを対象とした情報提供や対話の機会がほしい。

北村 小出さんが最初に指摘されたのは、技術者が十分な説明責任を果たすべきということ。それが技術者全員ではなく、ある割合の技術者はそのような役割を果たすべきということであれば賛成です。技術者はかつては社会的に発言する必要はなくて、自分の目指す技術を一生懸命追求していればよかった。けれども今は、それではすまなくなった。技術者として責任ある立場にいるような人は、説明責任を十分に果たさなければならない、ということには賛同いたします。

そのための具体策の例として、海外の首席科学アドバイザーのような人を想定されておられるのでしょうか。

滝 たしかに英国にあるような、科学アドバイザーのような人たちに、私も3・11直後は期待した時期がありました。けれども日本の原子力に限れば、私はこの方法はうまくいかないと思っています。

権威ある人や機関、あるいは科学アドバイザーが物事を統合して発信することは、日本では難しい。逆効果ではないかと思っています。むしろ北村先生のような、草の根でいろいろな人がいろいろに取り組みざるを得ないのであって、それらを統合する必要はないのではないかと。個別の人が個別にやっていたらいいのであって、それに学術会議や政府機関が介入するのは逆効果ではないのでしょうか。

澤田 逆効果だということをもう少し説明してください。

滝 例えば、学術会議では放射線の甲状腺がんや健康影響に関して、方向が異なる報告書が出ています。つまり、心配する必要がないという話と、心配する必要があるかもしれないという話の両方が出ています。これは専門家の間でも意見が分かれている話であり、受けとめる側もとても感情的に反応する話題です。

それをノブレス・オブリージュとって、えらい科学者あるいはどこかの政府機関の人たちがメッセージを発するのは上から目線であり、その内容は決して浸透しません。さきほどのデリバリーにはならない。デリバリーしたいのであれば、例えば相馬の病院の方々など、いろいろな方々が現場に赴いて対話活動を行なっています。ああいう草の根的なやり方でやるしかないと思います。事故が起きて、かつては多くの人のがんになると心配す

る人が多かった。けれども今は、ならないと思っている人がふえている。これは地元の医師や研究者が事実にもとづいて客観的な情報を広めたからだと思います。

村上 先ほど、きちんとした根拠のある中立的な情報を原子力業界として権威ある機関が責任を持って発信していくべきだが、そのような活動がないという指摘がありました。けれども原子力委員会は、昨年出した「原子力利用に関する基本的な考え方」の中で、根拠ある情報の基本的な整備と発信という活動の取り組みを始めました。電力業界や原産協会、原子力学会など原子力関連団体が集まって、それぞれが持っている根拠ある情報を包括し、階層化して提供する。アクセスしたい人が、正しい情報を知りたい人はここを見ればわかるという企画が、進行中です。

澤田 そもそも、「正しい」情報というのはいくらあるのですか。

村上 放射線の被曝線量による健康への影響については、不確実性もありますが、おおむね立証されたデータがあります。例えばICRP(国際放射線防護委員会)が出している報告書であれば、一定程度の信頼性があると思います。

澤田 少し乱暴な言い方をしますが、ICRPが出している報告がなぜ正しいと言えるのですか。

上坂 放射線の感受性も人によって違いがあるようです。臨床データが増えていくにつれて、さらには遺伝子の問題が解明されていくにつれて、ICRPの基準が厳しくなる傾向があります。それは新しい技術によって、未解明の部分が解明されてきたためです。

また、コミュニケーションに対する私の考え方は、一元的に行う方法と、草の根的に行う方法の両方があり、どちらも重要だと思います。

■ 草の根的な活動は手間がかかるが、 本当の理解に結びつく

小出 確かに両方必要です。ただ、非科学的な議論がメディアなどに飛び交うような時には、科学的には何が妥当なのか、誰かがきちんとメッセージを発信しないと、市民が右往左往し、混乱が拡大してしまう。もちろん科学には不確実性があり、科学的な事実さえも変わっていきます。絶対ということはないことも、合わせて知ってもらわないといけません。

一方、草の根のコミュニケーションについて、日本の原子力界で取り組んでいる人は少数です。国外ではこれが突破口になってケースを多々、見ました。例えば高レベル放射性廃棄物貯蔵所、フィンランドのオルキオにも、スウェーデンにしても、廃棄物の場所を決めるまでに、数十人の集会を各所で積み重ねるなど、草の根的な、さまざまな対話の機会を設けていました。これがないと、本当の合意形成は進まないと思います。

滝 村上さんが指摘された原子力委員会による情報提供は、こういう情報についてはここにある、その根拠になる論文がここにあるということであって、この論文やICRPが正しいということまで言っているわけではない。情報の所在とその根拠を示すデータベースが日本になかったのが、それを作ろうという話であり、それは極めて大事な話だと思います。

村上 各団体のサイトに分散しているものを包括する。かつてはATOMICAというサイトがありましたが、頻繁な更新への対応が追いつかなくなった。それで原子力委員会が再び構築しようとしている。それは意義ある活動だと思います。

澤田 私は南相馬に何度行ったときに、現地のみずから市民の活動として除染している人のリーダーから「あなた方専門家にもいろいろな人がいて、左から右までいろいろなことを言っている。どれが本当かわからない。でも、きちんとシンポジウムの場を設け、それらの専門家が一堂に会してそれぞれの主張を述べていただければ、あとは自分たちで判断します」と言われました。最終的には自分たちで判断するしかない。

原子力委員会がやろうとしている情報提供も含めて、そういう場を作るのが、一般の人たちにも通じる一つの方法だと思います。

北村 それに関連して、透明性という言葉が広く使われています。だがその意味についてもよく考えることが必要です。単に会議の議事録をホームページにアップしているくらいでは、透明性があると主張するには不十分で、アクセスの容易さ、内容の理解しやすさ、などにも配慮が必要です。私は透明性というよりは、何とか公正さだけは守るべきと思っています。

■ 専門家は科学哲学をも視野に

澤田 小出さんはかつて、専門家と一般の人をつなぐ中間的な介在をする「ミドルウェア」の仕組みを作らないと、と指摘されていました。

小出 学術会議が福島のがんに対して、一つの見解を出しました。しかし、それはそのままでは一般の人には届かない。越智小枝さんというお医者さんがそれをさらに日本語に翻訳して、それを皆に伝えようとしています。そういう手だてが必要です。

もともと日本では明治のころから、重要なことは専門家に任せて、短時間で対応していかないと列強の帝国主義の犠牲になるというところからスタートした科学と技術で、原子力業界や東大工学部には、その傾向があると思います。もちろん、彼らのレベルが低いわけではない。けれども「今、科学のオーナーって誰ですか」と質問が出たときに困ります。昔はそれは、王の権利だった。曆もインフラも、そして塩の製造さえも支配者のもので

した。現代のオーナーは納税者のはずだけど、納税者にその自覚はない。けれども、ここでもう一度、冷静に考えてみてください。誰が本当のオーナーですかというときに初めて、パブリックエンゲージメント(公衆関与)という概念が出てくる。しかし日本では、そのエンゲージメントの前のコミュニケーションがスタートしたばかりの段階でしかない。リスクのマネジメントをどうやったらいいかという議論のレベルです。

滝 けれども欧米の一般の市民が、科学のコミュニケーションやオーナーシップについて考えているのですか。

小出 もちろんごく一部、社会全体ではありません。

滝 日本における原子力の問題というのは、ごく一部の人が考えている問題ではありません。1億人の人間が必ず、ここを通過して考えてほしいと思って議論しているような気がするのです。原爆の話を出さなくても、福島第一原発事故を経験した日本において、原子力は特別な技術であり、特別な産業なのです。だから、一般論が通じない。処方箋はいろいろあるのだけれども、どれをやってもうまくいかない。それは、日本ではもっと構造的にうまくいかない理由があると私は思います。

澤田 その構造的な問題というのは。

滝 福島第一原発事故が起きた時の政府や科学者の対応のまずさが不信感を生み、いまだに非常に強いトラウマになっている。7年でそれが変わると思えない。加害者側であった業界が事故後、反省はしているのだけれども、根底や構造が変わるということはない。せいぜい変わりつつある過程でしかない。だから、性急に結論を出してはいけない。

澤田 構造的には3・11の前後で何も変わっていないということ。それが未だに続く不信の根っこにあると。

上坂 根底が変わらないということなのですからけれども、変わり方がわからないというのがあるかもしれない。我々の昔の教育はほとんど縦割りで、理工学のことだけを学んで、社会のことはあまり勉強しないままでした。それに対して今は、初等教育からかなり社会貢献等もやり出すようになり、大学も教育の範囲が非常に広がった。その分、専門性が薄くなっています。欧米では小学校のころからグループ活動やボランティア活動のような経験をたくさんしている。最近では日本でもそういうことがとり入れられるようになり、だいぶ変化していると思うのです。

例えば、大学の教員をめざす過程においても、その人の専門が物理であったとしても、それとは無関係な「宇宙」に関してプレゼンを、と要求されることがあると聞きます。その人が本当に理工学を通して根底の哲学というようなものを身につけたどうかをみるのが、その理由です。大学も一般教育を重視しはじめ、変わりつつあります。周辺分野の素養が広がるようになりましたが、

その分、原子力発電などの狭義の理工学の教育が薄くなっています。

澤田 変わり方が分からないとすれば——それはかなり重篤であるということですね。

村上 情報を発信する側に実務教養が重要だという話がありましたが、それはそっくりそのまま情報を受ける側にも言えません。今日、原子力業界は社会との対応、コミュニケーションが下手だと言うならば、一方で情報を受け止める側にも、情報の理解の仕方や能力に関して変わったか変わらないかも問題になると思います。

北村 市民の側にも小さいけれど、明らかな変化があります。その手ごたえを確実に感じています。もちろん市民の方は、リスク論なんかはやらない。けれども彼らなりのアナロジーで、さまざまなものを比べたら、こっちのほうがまだ安心できるとかいうことを言える市民の方が少しずつ出てきていることは、事実です。ただし、年配の人はあまり変わらない。

反対派の人にも、危機感があると感じます。高齢化は進行しており、後継者が少ないのが現実だと思います。原子力はこれまで、いろいろなものを引きずってきたから、結果的にはどこかで次世代にバトンタッチして、そちらに期待する。会長が言われたように、教育の広がりというのは、基本的にはいい方向だと思います。とはいえ、専門能力が低下したのでは意味がないので、そこをどう折り合いをつけるか。

上坂 今の大学では修士課程を出た段階での理工学の知識は、昔の3分の1ぐらいでしかありません。社会人を対象に教育をする、専門大学院でもう一回大学に戻る、あるいは原子力関連機関が、数週間の実務教育コースをやるという、いわば生涯を通じての教育を念頭に置くべきでしょう。

小出 今の話では、大学はどういう人間をつくるころなのかというのが、日本は戦前までは欧米型……

上坂 に追いつくためのキャッチアップでした。

小出 昔はエリートだけが大学に進学していましたが、今は多くの人が行けるようになった。それは福音ですけれども、リーダーシップをとる人間の教育が無くなってしまった。

ヨーロッパはまだ階級社会の構造が残っており、大学に行った人間は、将来リーダーシップをとる、大学は社会のリーダーを養成するところだという合意があります。

この問題を時間の階層で考えてみます。当面、欲しいのは、社会に極論が出たとき、社会に対してきちんとメッセージを投げる人材、グループが欠かせません。それには組織横断的に、統合したプラットフォームを用意して、記者会見を開くことが有効だと思います。

もう少し中長期を考えると、澤田さんⁱや物理学会の

i ATOMOS誌 pp.287-291, Vol. 59, No. 5(2017)

坂東昌子さんたちⁱⁱがやられているような、中学生を対象にしたディベート、討論サミットです。子どもたちが自身でいろいろと考えてもらう、その教育機会を作ることがあげられます。我々が受けたころの教育にはあまりなかったですが、自分たちで考え判断する力を培う機会は、必要でしょう。

さらにコミュニケーション能力の育成になると、もう少し長いスパンが必要かもしれません。例えば、女性のコミュニケーション力の活用です。フィンランドでは女性の原子力技術者がある時期から広報に入りました。彼女が語りかけるようになって初めて主婦たちが自分のほうを向いてくれたとのこと。コミュニケーションに女性の役割は非常に大きい。北欧では原子力スタッフの3-4割が女性です。女性がコミュニケーションの役割を担うというのは、これからの一つの中期的な課題の一つでしょう。

北村 方向性としては同意するのですが、原子力のコミュニケーションというのは、技術についてのコミュニケーションだけでは全く足りないではないですか。村上さんが指摘されたように、ほかのエネルギーと当然セットで議論できなければ話にならない。

小出 コミュニケーターはそうです。原子力を手がける人たちの何人かに一人は、専門分野以外への領域を少し広げながらコミュニケーターなり、アドバイザーになっていくという過程が必要になると思います。これからつくらなければいけない仕事の領域だろうと思うのです。

佐田 その前提となる話をします。例えば私たちがパンを買う時や自動車の整備を業者に頼む時に、そのパン屋さんや車の整備業者が自分の業務をきちんとやっているかどうかは一々気にしません。基本的に、あそこはいい仕事をしている、製品は確かだという評判で信頼し、その過程については関心を寄せずに任せてしまう。私たちはそういうヒューリスティック(簡便処理)と呼ばれる過程を経て、さまざまな複雑性を縮減しています。要するに、手を抜いているわけです。その手を抜くポイントになるのが、相手に対する信頼なのです。

かつての原子力分野では一定程度、その信頼が成り立っていたから、原子力のような難しいことは専門家に任せておけば問題ないという、国民と専門家間に幸せな関係が続いていた。けれどもあのような大事故が起きて、原発という商品は少し危ないのではないかとみんな思い始めてきた。だから、しょうがなくコミュニケーションにもっと力を入れなければならなくなったといういきさつがある。

さらにその前提として、例えばメーカーは自動車やパンといったものを商品として売っているわけですから、

その商品の信頼がなくなれば売れなくなり、企業は倒産します。だから日々、メーカーは社会とのインターフェースにさらされています。けれども電力会社や原子力業界は、原子力に限ればそれは電気という商品の生産手段の一つでしかなく、電気そのものは代替性がほとんどない。だから、そのような圧力にさらされる機会がなかった。社会とのインターフェースが問題になるのは、政府や電力会社が取り組む立地問題で顕著になる程度でしかなかった。つまり、コミュニケーションそのものがさほど必要ではない幸せな業界でした。しかし福島原発事故以降、それではにっちもさっちもいかないということで、大幅にコミュニケーションを強化しなければならぬという必然性ができたという構造上の問題があると思います。

滝 信頼性を確保するために、第三者機関が必要だという議論があると思うのです。先ほどNUMOの話が出ましたが、NUMOは決して独立した機関ではない。原子力の安全や地層処分の妥当性に関しては面倒だけど、第三者評価が必要かもしれません。

北村 果たして日本で第三者組織が成立するのでしょうか。とりわけ、原子力のように思想的・心情的対立が鮮明な分野で成り立つのでしょうか。その議論の大きな方向性には同意するのですが、現実を踏まえれば具体性が見えないのです。私は、学会会議が答申を出した後で原子力委員会で行われたヒアリングの際に、あの答申は学会会議の先生方による理念的提案だが実現性に疑問があると述べました。第三者委員会という枠組みが本当に機能するのか疑わしいことが理由の一つです。自律的な研究者集団といっても、これだけ研究に金が出る時代に、本当に自律的だと外から認めてもらうことはとても難しいと思っています。

小出 独立かどうかということより、その機関が信頼されているかどうかの問題だと思います。どの国にしても、そういうアカデミアは必ず政府の補助を受けています。

滝 信頼され、本当に独立した機関や科学者を見つけるのは本当に難しい。

澤田 それはなぜでしょうか。欧米の科学者にしても多かれ少なかれどこからか資金をもらっている。つまり資金的に独立でない。けれども、彼らは割と自律的な研究活動ができるということでしょう。

小出 その科学者の発言などに対して多くの人が、一定程度の信頼を寄せているということですね。もちろん、批判されることもある。例えばフィンランドのSTUKという、日本の原子力規制委員会にあたる組織にしても、独立機関ではない。けれども、政府とは別に、独自に判断を下している。なお、フィンランドでなぜ原子力を再開したかと聞いたら、ナショナルセキュリティー・オブ・エナジー(国家エネルギー安全保障)とい

ii 例えば <http://networkofcs.xsrv.jp/1803forum.html>

う答えが返ってきました。フィンランドはロシアからの天然ガスや原子力発電の電気に依存しているけれども、その依存率を下げたい。そのために原子力安全庁のラクソネン長官が「原子力を再開したい」と述べると、市民をはじめいろんな人たち、たとえばアーティストまでもが、「彼が言うのであればいいのではないか」と答えていた。そんなことが成り立っている国です。

村上 スウェーデンやフィンランドは国の規模が日本よりはるかに小さい。だから、コミュニティも狭く、そういうことが成り立つ素地がある。けれども日本とは社会の規模が全く違うので、社会の規模が同じぐらいの国と比較しないと意味がないと思います。

上坂 我々技術者がみんな信頼されていなというのは心外です。技術者は、自分がしっかりと理解していないことはしゃべらない。自分の信じていることだけを述べていると思います。もちろん欧米に比べると、言い方が下手で、個性が弱く、強く主張していく能力が低いということはあるかもしれません。

澤田 技術者が信頼されていないのではなくて、その技術者たちのリーダーたるべき人が信頼されていない、またはそういうリーダーが不在だということですね。

上坂 だからムラ社会というか、みんなで動いていこうということが多く、そのことが誤解を招くことになると思うのです。

小出 信頼できる技術者、ころごしをもつ専門家のお話を聴く機会も多いですが、その情熱は、我々にも伝わってきます。原子力技術の背景に、それを一生懸命支えてきた人がいることも、我々は伝えなければならぬと思います。

滝 それは小出さんが個人的に対等に話ができる間柄が成り立っているから、信頼できるとわかるけれども、一般の人はそのような技術者にまず、会うことができない。会ったとしても原子力に関する知見が圧倒的に違う中で、とても対等に話や議論はできません。

また、最近では企業などで不祥事が続発し、担当する技術者だけではなく、中には組織ぐるみで行っていた例もあります。そのような中で、技術者を信頼するというのは難しくなっています。

上坂 指摘された企業にも、いわゆる現場力が強い人がいたと思います。俺が品質を確保する、信頼できるという人が。そんな人は間違っていないことをやっていたと思うのです。けれどもこれだけ国際標準化が進むと、そこのすり合わせ、国際化ができてなかったということかもしれません。

澤田 3・11の時も、放射性物質の拡散を予測するシステムである SPEEDI のデータが十分に公開されなかった。しかし、それが意図的であったかどうかも含めて、あの混乱の中でそうなったという側面もある。

小出 市民と自分たちの役所の都合のどちらが大切な

のか。その結果、後者が優先されれば市民は信頼しなくなります。その点は変わっていない。

■ 専門家に求められる「寄り添う気持ち」

佐田 信頼を構成する要素は三つあります。一つ目は能力。二つ目が公正さや正直さ。三つ目が SVS モデルで提唱されている価値類似性です。

能力の点では原子力専門家の人たちは申し分ないと思います。公正さではときどき道を踏み外すことがありますが、その度合いは一般産業とそれほど変わりはないと思います。しかし、最後の価値類似性。これは全く異なります。原子力を進める側の人たちは、ふつうの人たちと主要価値が異なる。異なるなら異なるで、せめて寄りそう気持ちがあればと思うのですが、それもない。原子力関係者の人たちは優秀だけど、あるいは優秀であるがゆえに、上から目線が優勢です。「自分たちはこんないいことをやっている」ということを信じて疑わず、説得はするが対話はしない。さらに技術者の中には「自分は技術の探求に邁進していればいい。いい製品をめざしてさえいればいい」と考え、その製品なり技術などが社会に認知されることを重視していない。そんなことは自分以外の、営業や広報がしてくれればいいと思っている人が少なくない。

澤田 その意識さえない人がいる。そのうちに自然に受け入れられるだろうと思っているだけです。

小出 我々が取材していて対照的だと思うのは、物理や基礎科学を駆使している天文学の人たちは、とてもコミュニケーション能力が高い人が多い。また、最近では数学界でもジャーナリスト・イン・レジデンスⁱⁱⁱというアウトリーチの方法を工夫して実践し、ジャーナリストたちなどとコミュニケーションを深めています。彼らはいろんな人と一緒にキャンプをするような企画も行っています。

そんな動きが原子力業界には少ない。逆に言えば、天文学はなぜそんなにコミュニケーションに熱心なのかと思ったら、天文学は昔から、王様に一生懸命報告しなければならなかった。その報告する相手が、今はパブリックに変わっている。そこから了解を得てお金をもらわないと、すばる望遠鏡は成り立たない。けれどもそれは、本当は原子力も同じであるべきです。

上坂 物理は純粋なサイエンスです。けれども原子力はサイエンスや産業だけでなく、さまざまな分野からなります。政治、あるいは社会学をも包含しており、単純

iii 記者たちのところに向くのではなく、ジャーナリストを研究室に滞在させて、取材、インタビュー、ブレインストーミングを重ねる、科学コミュニケーションの手法。2010年から続けている日本数学会の試みが、多方面から評価されている。

ではない。

澤田 いやいや、物理はそんなに純粋なサイエンスではないですよ。物理学者が純粋でありたいという思いは強いですが。学問としてよく機能する物理があって物理学者がいなければあの時期に原爆はできなかったかもしれない。黎明期の原爆開発に加担した物理学者はその後国家の庇護のもと大変に優遇された。オープンハイマーに象徴されるようなナイーブ(世間知らず)な物理学者はむしろ少数派ではないかと思います。

小出 天文学にしても軍事とも関わります。ただ、日本には天文学のことを興味深く市民が聞きやすいように話すことができる人が何人もいます。

滝 話の対象がおもしろいですからね。星などは。けれども原子炉は決して、おもしろい対象ではない。

放射線利用で DNA 修復の過程を可視化した

澤田 記者の人たちが興味をもてるようなおもしろい話が、原子力の中でもあるはずですよ。そういう機会をもっと積極的に作っていく。学会としてそういう動きはあるのですか。

上坂 学術会議でも議論を始めたところですが、人材育成のために実験施設や研究施設を作ったり、運用したりする原動力は人材育成も含めて、夢のある研究です。今のところは新研究炉の話もあります。さらに今後の議論の中で、原子力関係の夢のある計画、具体的には研究炉としてだけでなく、放射線やプラズマ利用も行うような計画に、原子力分野でも5つぐらい提案していきたいと思っています。

澤田 学会は今、人材育成や廃炉措置に取り組んでおり、それは重要なことです。しかし、廃炉ははっきり申して後ろ向きなことです。AI(人工知能)のようには言わないまでも、将来に向けてもっと夢のあるものを打ち出せないのでしょうか。

上坂 放射線利用の話もあります。先日の研究打合せでは、放射線を利用して、DNAの損傷がみるみると治っていく、何十%も治っていくことを可視化する可能性の議論をしました。

小出 自己修復するということね。

上坂 私も、その修復の様子を動画化しようという研究を始めたところですよ。加速器やレーザーの技術を使います。その結果が出たら、論文やYouTubeで公開したいです。

澤田 それは非常にいいことですね。ただし昨今の遺伝子編集工学のイノベーションに比べて、少々ちまちました話ですね。一方で発電炉としてはもう、夢のある話はないのでしょうか。

上坂 今は研究炉はもちろん、新型炉についても規制が厳しく、その中で新たに作るというのはハードルが高

い。このため原子力学会や学術会議と連携して、規制に段階をつける、出力やリスクに応じた規制にしてくれるよう、必死に取り組んでいます。

一方で将来を見据えた計画が出はじめているので、研究炉等、次に何をやるのかという議論もしています。

澤田 エネルギー源や放射線源として日本が未来を切り開いていく上で、こういうものを狙っていくということが、結果として規制緩和もやるべきだという話にはならないのですか。大型発電炉と小型実験炉をリスクの観点から区別しようとしないうちの現状の規制では材料照射炉ひとつも新たに造れそうにない。

軽水炉の高度化とコストダウンこそが必要

村上 日本学術振興会には未来の原子力技術研究専門委員会というのがあって、私も参画しているのですが、そこではまさにそういう、今の規制要件に必ずしも捉われない、将来に役に立つようなもの、例えば再エネの不安定電源が大量流入して、系統が不安定になっているところに、貯蔵機能もあわせ持つような管理燃焼システムのようなものをいろいろ考えています。それは日本だけではなく、海外でも研究されています。

そういう系統安定化の電力システムの中にもうまきはまるようなシステムとしては、化石燃料の中でも炭素を出さないようなシステムもあるし、再エネで全く炭素フリーの材料もいろいろあります。だから、そこに原子炉システムを持って来なくても、スマート電力グリッドみに合うものはつくれます。原子力関係者は生き残りのためにそこをいろいろと考えてアイデアを出しているところですよ。

けれども原子力の電気の使い方は本来、そうではなかったはずだと思っています。例えば、軽水炉を突き詰めていけばどうなるかとか、そういう方向を考えてもいかなと私は思っています。

滝 同感です。今は軽水炉の建設費が高騰しています。このままだと本当に新しい炉は出にくい。規制のためにコスト増になった面もありますが、安全面を維持した中でもっと合理化した設計や建設、運営方法をめざしてコストダウンを図っていく。これは地味だけれども、極めて大事な作業です。

それは次世代炉で実現するかもしれませんが、次世代炉が実用化する前に軽水炉の高度化を本当はやるべきだと思います。けれども今の日本のメーカーや電力会社に、その余裕はない。

村上 コストを下げるのであれば、むしろ標準化の方向がよいです。端的に言うと、それは中国、ロシアに学べということ。バングラデシュでルプール1号機が着工しました。バングラデシュにも作れる炉は、すでに十分経済的になっています。

澤田 そろそろ締めくくりに入らせていただきます。

北村 原子力界と社会との関係に変化の良い兆しはあると思っています。それを期待しています。また、事故のようなことが起きた時には、学会はもっと情報発信を強化してほしいと思います。

澤田 北村さんは今後、何をされようとしているのでしょうか。

北村 市民のインボルブメント(包含)に、これからも積極的に関わっていきたくと思っています。もう一つは、安全性に関する説明能力を向上させることと安全性そのものを高めるために、僕はレジリエンスエンジニアリングという考え方を提唱していますが、それがこれからは必要だということさらには呼び掛けていきたい。それを一方的に専門家に伝えるのではなくて、社会とのインボルブメントの中で総合的にやっていこうと思っています。

技術は自律性と暴力性をもつ

佐田 本論とずれますが、技術というものはそもそも中立ではあり得ないと思っています。技術は扱う人や扱い方で良くも悪くもなるというような、そんな生易しい存在ではない。技術は強い自律性、勝手に進化していく制御不能性、ある種の暴力性を秘めていると思うのです。エリユールは「技術が文明を呑みこんでしまった」と述べました。この世の中の技術は、それがどのような不幸をもたらすかを吟味されることなく、驚異的な発展をとげています。携帯電話がそうだし、AIや遺伝子組み換えもそうです。そこででの中心となるイデオロギーは経済と結びついた合理性でしょう。そして原子力もその中の一つです。これらについては人々の漠然とした不安があり、原子力はその象徴的な対象となっている感じがするのです。

もし可能であるならば、私たちはこれらの先端技術と社会との関わり方についても、少し立ち止まって、真剣に考えなければならないのではないかと考えています。

北村 米国のジャーナリストのウォルター・リップマンは1931年に、人類の英知の進歩が技術の急速な進歩に追いつかないことに強い懸念を表明しています。それから80年たった今、人間は技術をコントロールできない、技術には暴力性があるという側面がより鮮明になってきました。例えば今、自動運転車やIoTは非常に危険な側面をもっていますが、それを自社だけ、自国だけはやめようという議論を提起することは難しい。技術の暴力性の責任を負うべきは技術者だけなのでしょう。

佐田 責任は人間にあるのでしょうかが管理不能で、なされるがままになっている。原発反対派の人たちとの議論のなかでは時に、その問題が見え隠れすることがあります。

北村 原子力界もその問題に向かわなければいけないのは認めますが、先端産業や自動運転の世界でも今、そこでの倫理はどうあるべきかという議論を始めています。原子力を含めてそういうことはしっかりやってほしいし、原子力の人もそういうことにはしっかりと注視していただきたいと思います。

澤田 最近のバイオテクノロジーの遺伝子操作は、とても進歩しています。これに関わっているある人が、自分たちは原子力の轍を踏まないようにしたい。オープンハイマーの言動をしっかりと踏みしめたいと言っているのです。原子力はそういう意味では、ある時代まではたぶん、そういう意味での先端にいたのでしょうか。

情報を受け取る側の理解責任も必要

村上 さきほどから、原子力産業の責任ある立場の人はきちんと説明をし、情報をわかるように伝えていくべきで、そうでないと理解も信頼もされないしという批判を聞いてきました。一方で私は、それらの話や情報を受け取る側のリテラシー(情報の理解力や活用力)はどうか。なぜそこが問題にならないのかということも考えています。

原子力に批判的な人が国の審議会などで「原子力の専門家は専門用語ばかり使って、さっぱりわからない。もっとわかりやすい説明を」と指摘されることがあります。けれども原子力産業界や電力が発信している情報は、発電所の機能に関する説明にしても、またMOX燃料を装荷する時でも、MOX燃料の中身や装荷の目的、さらには事故時に対応まで含めて、中学生でもわかる説明だと思っています。私はそれらの情報を受け取る側にも、その情報を理解しようとするリテラシー、あるいは理解責任が必要だと思っています。少なくとも原子力を批判する人たちには、それが必要だと思っています。

澤田 市民のリテラシーや責任の問題は、教育の問題でもありませんか。

小出 それを愚直にやって失敗したのが、狂牛病事件後の英国です。科学者も情報開示するので、市民も科学のことを少しは学んで欲しいと、「科学のパブリック・アンダースタンディング(市民による科学の理解増進)」という運動を展開しましたが、この上から目線が評判悪かった。10年後に「科学のパブリック・エンゲージメント(科学者と市民の信頼契約)」という視点に変えて、ようやく市民がレスポンスするようになりました。根底には、科学のスポンサーは誰かという問いがあります。

古くは科学は王権でした。暦、国道、城塞、いずれも専門家は王に報告すればよかった、そのオーナーが貴族、ブルジョワジーと変遷し、じゃあ今はだれかという問いです。タックスペイヤー以外にいるのか、ここで、市民、科学者双方がびっくりしますが、冷静に考えれば

それ以外にない。科学者には、市民にわかるように情報を届ける義務、市民には科学の動きを見守る義務があります、という契約がこれで、この信頼契約に基づいて、市民は専門家に「よろしくお願いします」という信託をする。

国民全員が関心を持つわけでもありませんが、問われたときに、科学者は質問者に理解できるように説明する、咀嚼できる表現で届ける義務がある、というのが科学コミュニケーションの思想です。

村上 そのことは理解しますが、私はかつて原子力に批判的な方が言われた言葉が忘れられないのです。「一般市民は理解しようとしなくていいのです。説明する側がきちんとそういう人たちにもわかりやすく言うべきです」と。これはある種の責任放棄ではないかと思えます。

小出 原子力は両サイドに極端なグループがありますが、この原理主義者(ファンダメンタリスト)の人たちに焦点を当ててしまうのは間違いです。その中間にいて困惑している市民に向かってメッセージを投げないといけない。

北村 とはいえ、パブリックインボルブメント(市民を包含すること)が大事だと言うからには、市民の側にもリテラシーがあったほうが望ましいことは間違いありません。なので私は、説明する側も説明の技法を持つべきだと思っています。科学技術の話を、専門用語をあまり使わず、小難しくならず説明できる、ある程度の歩み寄りが必要です。一方で反対する側も、例えば「自分たちはそんなことはわからなくてもいい。とにかく反対なんだ」というのは改めなければならないと思っています。そうでなかったら、パブリックインボルブメントは意味をなさない。

澤田 専門家の話に耳を貸そうとする人、あるいは理解しようとする人は間違いなくいます。それは年齢を問わず。

最近の中等教育では、アクティブラーニングなどのような、単なるリテラシー教育ではない部分も出てきています。そのような成果がでるには少し時間がかかりますが。また、北村さんが指摘されたように、市民の中に自分たちで学習しようという機運も小さいけれども、間違いなくあるのは事実です。

現場力を背景にした技術者の矜持

滝 こんな話を前に聞いたことがあります。電力の技術者だった方ですが、かつて応力腐食割れ問題が発生したときに、その人は保有するすべての原発で関連機器を取りかえようと提案したのですが、取締役会をなかなか通らなかった。断られた理由の一つが、「メーカーはその必要はないと言っている」とのことでした。

彼は、経営者が経営や利益を考えてためらうようなことでも、技術者は安全のために必要なことであるならば、誇りと責任感を持って主張をし続けなければと言いました。それをしなかったことが、原子力界の過ちだったのではないかということを描いたわけですね。

最近では日本のメーカーに不祥事が続発していますが、現場には現場の知がある。現場の力が強いことが、ある意味日本企業の強みだった。だから、日本はうまく動いてきたとも言えます。

けれども今は、経営がきちんとガバナンスをきかせて、そのリーダーシップが優先される方向に流れています。

上坂 今日は学会に対し、多くのコメントをいただきました。学会としては科学技術の一分野である原子力の活動、研究に、みんな全力を挙げていると思うのです。それをしっかりと情報発信していく。数カ月おきに会長の記者会見をやっていますので、そこでもしっかりと情報発信していきたいと思っています。また、コミュニケーションに関しては、一方向的に説明すればすむとは思っていません。信頼を得るために、汗をかいた草の根活動をいろいろな形で続けたいと思っています。

規制面でのグレーディングアプローチ(リスクの大きさに応じた対応)ですが、新たな計画がないと進展は難しい。このため、5つぐらい、夢のあるプランを出していきたいと思っています。

また、人材育成の話ですが、私自身の経験からしても、若いうちに海外に行くことはよいことだと思います。IAEAなどの国際舞台で活躍するためには、もっと主張しなければなりません。「IAEAの会議は素手の殴り合いのようなものです」と聞いたこともあります。そういう場を若いうちに経験すると、自分が責任を持ってやらないという素地ができてくる、そうした人材育成もしっかりと取り組んでいきたいと思っています。

「石棺」をめぐる本当の議論とは

小出 原子力は、政治と無関係では前に進めません。原子力学会をはじめ、技術者たちが努力して積み上げてきた成果は、我々にもよくわかります。一方で政治との問題にどう関わっていくか。例えば日本の軍事比率やPKOの問題は、国防の本質的な議論ではなく国政での駆け引きで決まる場面が多い。原子力にしても、そうだと思います。

我々有権者が少しずつ変わるしかないのですが、今一番大切なのは、原子力をどう使うのか、この国のセキュリティ・オブ・エナジー(エネルギー安全保障)をどう考えるのか、という課題ですが、こうした課題に正対してメッセージが発信されていない。亡くなった澤 昭裕さんは、そのような明解なメッセージを発信していた人だ

と思います。

また、最近では、原子力規制委員会と、原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)が、「石棺」という言葉を使って、メディアが炎上したことがありました。今の福島で廃炉を進めて行く中で、回収可能なデブリは取り出しても、最後に残る線量が高い核燃料については強引に取り出すより、そのままコンクリートで囲って300年ぐらい放置し、線量が落ちてから処理するのの一つの方法です。その方法に「石棺」という日本語があてはまっています。ところが一般の人、特に福島の人には「石棺」という名前には抵抗が強い。その言葉から連想されるのは、チェルノブイリ事故の時に、射線が高くて応急措置だけして放置したというイメージです。そんな方法だとずっと帰還できなくなるのではないかという思いが、福島の人にはある。

前述の方法も重要な技術の一つなのに、きちんとしたコミュニケーションがなかった。炎上した後、NDFの山名理事長たちは、「石棺」は考えておらず、デブリなどは全部取り出す、と言いました。しかし、このように不用意な言葉の使い方によって、まず、信頼を落とし、さらに、それ(石棺技術)を考えていない、と言ってしまったために、二重に信頼を落とすことになった。これはコミュニケーションとしての失敗例です。

政治の力や、福島原発事故の時は一部のメディアの報道があまりに事実から離れてしまって、それが世論を相当混乱させたことは間違いない。そういう中で多くの人が真剣に現実に向き合わなくなっています。こういう時こそ、権威ある人や機関がきちんと説明してほしい。このままだと、この「石棺」の話は出せなくなってしまうでしょう。

原子力学会だけでなく、例えば学術会議なども含めて、学会の職能集団として何かメッセージを投げかける方法はないか。福島で廃炉については、実はこういうことをやる必要があり、そのためにはこういうことを考えている。こういう発信の機会があると、我々としても実は伝えやすいし、多くの人が、きちんとしたメッセージを聞きたいと思っています。

滝 たしかに「石棺」は決してしないと言ったことが、今後に禍根を残したと思います。

澤田 そこには原子力学会の果たすべき役割があると思いますね。

一方向的な説明ではなく、腑に落ちる対話を

北村 決定した後でこれを受け取ってください、納得してくださいというスキームはもうだめだということ、関係者みんなが認め共有したほうがいい。パブリックインボルブメントという別の言葉もあるけれども、とにかくその人たちに、じかにリスクがかかってくる問題

なのだから、その方々の関与なしに、「これはよいアイデアです」と、「名前は『石棺』ですが」と言ったのでは……

小出 実際はそれに近い。規制委員会の計画の中に入りきなりその言葉が入っていたのです。それを見つけて、メディアは当然書き立てます。これは政治の問題でも、メディアの問題でもあるけれども、原子力技術をどういうふうに伝えていくのかということとして、改善の余地がある一例だと思います。

北村 少なくとも、そこにもう少し心を砕くべきだろうと思います。

滝 現行エネルギー基本計画には、地元のステークホルダー(利害関係者)を広く集めて話をする必要があると明記されています。日本全国でやるのは大変だとしても、少なくとも福島については廃炉をどうするかについて、地元で初期段階から話を聞いて計画をつくっていくべきです。最終的には技術的な問題なので専門家が引き受けるにしても、地元が何を考えているか、何を希望しているかということ吸い取っていくようなプロセスが全くない。

北村 それはとても労力のいることだけど、そこをやらないと、原子力界の本質的な部分が昔のまま変わっていないということになるだろうと思います。

村上 そのために廃炉の計画を一生懸命立てているNDF(原子力損害賠償・廃炉支援機構)などの当事者に、政府が早くロードマップをつくれという拙速なプレッシャーをかけてはならないと思います。NDFの方は、福島の地域の方といかに対話していったらいいか、すごく悩んでおられました。

澤田 そもそもそんなに労力はいらなと思いますよ。地元の人々がどのように物事を捉えているのかそして今後どうしていきたいのかを共有しようとする心根、つまりエンゲージメントの心意気があるか否かの問題ですよ。

滝 実際に地元の人でも巻き込んだ対話のための集まりもやっていますよね。だから指摘の通り、福島で廃炉のあり方については政府の人たちも含めた対話のプロセスを早くつくるべきだし、今からでも遅くない。

北村 個別の努力で処理するのではなくて、スキームとしてやっていかないとだめではないですか。そうでないと、逆にNDFの人たちが大変になってしまう、彼らは彼らで別なところからいろいろな境界条件を押しつけられてすごく苦労している。そのためにもスキームを作ってそれを活用していかないと、似たような問題がまた起こるのではと感じます。

佐田 第二次大戦時に米国で、社会心理学者が行った有名な実験があります。戦時下に入り、米国内では肉不足への懸念から、これまであまり食べられていなかったレバーなどの、いわゆるモツを食べてもらうことが米国政府の目的でした。

主婦たちを集めた実験では、彼女らを二つのグループに分け、一つのグループにはモツを食べる重要性や必要性をわかりやすく説明した。もう一つのグループにはそれに関するごく簡単な説明をした後、彼女らにはどうすべきかと討論してもらい、その討論に専門家は参加しなかった。

結果は歴然でした。一定期間後に行ったアンケートで「今もモツを食べているか」との問いに対し、丁寧でわかりやすい説明を受けただけのグループではわずかしか実行していなかったのに比べ、グループ討議をした方ではそれを実行している人がはるかに多かった。

決まったことをやれというのでは、長続きしません。それは自分の腑に落ちていないからです。一緒に決めることで、それが得られます。インボルブメントの重要性はそこにあります。北村先生がやられている取り組みはとて地道で、効果はわずかしか見えないかもしれませんが、これこそが本道だと思っています。

澤田 インボルブメントというよりは、エンゲージメントですね。インボルブメントは一方が他方に対する都合のいい巻き込み・共働つまり上から目線ですが、エンゲージメントは双方向の平たい協働、です。日本ではそういう風にして社会的責任を果たすという考え方がないのでしょうか。

小出 日本ではそれはないし、イギリスやアメリカのやり方がそのままはまるとは思えない。インボルブメントにしても「寄り添う」という言葉だと、もう少し浸透しやすくなるかもしれません。一緒に座って同じ景色、同じ方向を眺めるというのもいい。コミュニケーションというのは、まさしくそういうことではないですか。澤田さんたちがやられている次の世代にきちんとメッセー

ジを伝えるというのは、絶対に欠かせないことだと思います。学会としても、どういう価値観とメッセージが伝えられるかということにも、しっかりと取り組んでいただきたいと思います。

澤田 本日はみなさん、長時間の座談を有難うございました。学会内外に向けての貴重なメッセージがたくさん得られたと思います。

(2017年12月26日実施)

上坂 充 (うえさか・みつる)
東京大学教授, 日本原子力学会会長

北村正晴 (きたむら・まさはる)
テムス研究所所長, 東北大学名誉教授

小出重幸 (こいで・しげゆき)
日本科学技術ジャーナリスト会議(JASTJ)理事, 元読売新聞編集委員

滝 順一 (たき・じゅんいち)
日本経済新聞編集委員

村上朋子 (むらかみ・ともこ)
日本エネルギー経済研究所

佐田 務 (さた・つとむ)
本誌編集長

司会 澤田哲生 (さわだ・てつお)
東京工業大学

低炭素電力システムにおける原子力と再生可能エネルギーの共生

東京工業大学 尾本 彰

世界が低炭素社会への移行を図る中、共に発電過程で二酸化炭素を放出しない2つの発電オプションである再生可能エネルギーと原子力がどのように相補的かつ社会における費用負担を最小限にしつつ貢献できるかが重要な課題となってきた。とりわけ、自然条件により発電量が支配される太陽光・風力のシェアの増大に伴いいわゆるベースロード領域への浸透・需給ミスマッチ拡大という条件下で、他の様々な技術オプションと相俟って原子力の特性を生かした相補性を発揮できる様にロードマップの検討が必要である。

KEYWORDS: *Low, Carbon, Grid, Nuclear, Renewables, Storage, Mismatch*

I. パラダイムシフト

原子力発電及び電力をめぐる環境は大きく変化しつつある。パラダイムシフトと表現できる。

1. 事業規制緩和

鉄道・郵便・通信・エネルギー等国有あるいは強い規制を受けてきたインフラ部門は、市場原理の導入による価格設定と資源配分へと事業規制が次第に変化し、日本でも1995年以降順次電力規制緩和が進められ、2020年までには発送電分離を予定している。競争による電気料金低下が期待されたが、欧米での実際の価格決定は競争よりもガス価格・FIT(固定価格買取制度)・RPS(再エネシェア基準)等環境政策・風力・太陽光発電のシェア拡大に伴う価格破壊等に相当支配されてきた様である。米国自由化州では、資本費の高い原子力の新規建設は投資回収が困難ゆえ一つも計画されなくなった。

2. 再生可能エネルギー利用の拡大

近年世界中で急速に太陽光・風力のシェアが拡大してきた。毎年数基の新規原子力発電炉が運転開始する中国ではその10倍もの太陽光・風力設備が新設され、2017エネルギー展望ではビロルIEA事務局長をして「中国インドを含む多くの地域で太陽光発電は最も安い初電源である」と言わしめている¹⁾。太陽光・風力のシェア拡大を背景にスウェーデンでは2040年迄に全電力を再生可能

エネルギーで賄うことに2016年政府と政党間で合意形成をみた。10基を限度に既存サイトに新規建設を許容することで原子力を利用する期間を延長し、揚水発電への転換を含めた既存水力の能力拡大も寄与している。わが国でも既に太陽光発電設備容量は2016年末に原子力のそれ(約40GWe)を上回り認可総量は80GWeに達し、電力会社によっては低需要時期には太陽光・風力による供給力が需要を上回り系統接続への制約に繋がっている。この急速な拡大にはFIT等の制度の寄与大だが、最近では開発途上国の新規大型プロジェクトでは3セント/KWh以下の発電コストも見られる。この結果、以下がもたらされた。

- ・電力の安定性問題から電力貯蔵設備追加や容量市場制度創設
- ・欧米の一部では生産税控除等による負の料金等でベースロード電源は困難に直面
- ・電気代の上昇(経産省推定では、日本でも2030年迄に原子力発電所が再稼働してもそれによる化石燃料調達減はFITで相殺の可能性)とこれに鑑みたFITの価格低減やFITの廃止提言^{2, 3)}

3. その他のパラダイムシフト

- ・シェールガスの生産拡大(例えば、ペンシルヴァニア州の一ガス田だけでイランを超えるガスを生産しエネルギーセキュリティは今日の米国にとって課題ではなくなった)
- ・輸送セクターの脱炭素化の動きに伴い、電気とエネルギーキャリアの役割拡大の可能性
- ・プロシューマの役割拡大(端末間での電力売買、分散デ

Compatibility of Nuclear and Renewables : Akira Omoto.
(2018年1月15日 受理)

マンドサイド資源を纏めて市場で売却など)

- ・発電用原子炉の8割はOECD諸国にあるが新規建設炉の7割は非OECD諸国という西から東へ重心移動
- ・新規建設ファイナンス・事故・許認可・訴訟など原子力にまつわるリスク認識の高まり

II. 将来の低炭素電力網のなかの原子力

1. 原子力発電の将来を決める要素

第一に、電力・輸送セクターの脱炭素化の中で原子力・再生可能エネルギーは太陽光・風力の間欠性による需給ミスマッチに対応しつつ社会的コストを最小限にしつつどのような役割を果たせるかが挙げられる。原子力は原子力・再生可能エネルギー・エネルギーキャリア・需給マネジメントの様々な脱炭素化技術・政策オプションを将来に向けて時系列的にどう配置するべきかという課題の一部として考える必要がある。このほか、公衆の認識や高騰している新規建設コストと技術開発も将来を決める重要な要素である。第一の点に関して、筆者も参加したMITと日本との共同研究では、原子力開発目標が伝統的にベースロード電源としての信頼性・経済性、持続可能性(資源リサイクル)、安全性であったところ、今日の環境と将来を考え「様々な脱炭素化技術・政策オプションの中での低炭素社会への適合性」の追加を提言した⁴⁾。

2. 需給ミスマッチへの原子力における対処

上記の適合性を論ずる際に重要なのは、社会的費用を最小限にすること、太陽光・風力の間欠性による需給ミスマッチに火力発電によるバックアップなしで対処することと考える。MITによるGen-Xモデルによる評価等は

- ・原子力抜きで高いレベルでの低炭素電力システムを実現しようとする電力貯蔵費用ゆえに社会的費用が著しく高くなること⁴⁾
- ・欧州で太陽光・風力のシェアが高い国が地球温暖化ガスの低い排出量を示すわけではないこと(バックアップ火力の存在)⁵⁾

を示している。需給ミスマッチに対処する古典的な手法は、揚水発電と蓄電池であるが水力発電所の新設は環境の観点から制約され、蓄電池による貯蔵費用は高い。期待されるのは、経済的な熱貯蔵(蒸気アキュムレータ、液化空気貯蔵、岩体貯蔵、セラミック媒体での熱貯蔵など)、原子力によるハイブリッド生産、原子力トッピングサイクルなどである。負荷追従運転は経済的でなく避けるのが当然であるから、太陽光・風力のシェアが高い(従って電気代が安い)折には電気ではなく熱やエネルギーキャリアを生産貯蔵し太陽光・風力のシェアが低い(従って電気代が高い)折には貯蔵エネルギーを電気に変換して売却し資本費の高い原子力施設の定格熱出力運転

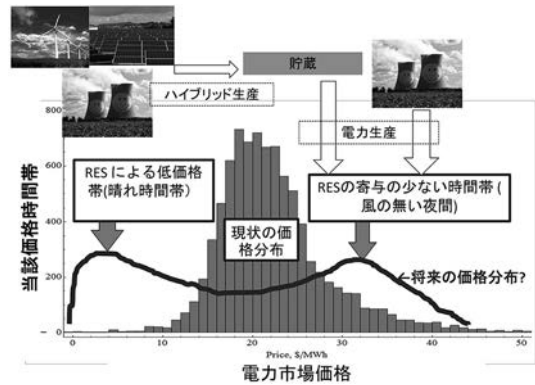


図1 ハイブリッド生産ビジネスモデル(電力価格に応じて電気生産と水素生産・貯蔵を選択)

で経済性を確保するビジネスモデル(図1参照)も提案されている⁶⁾。パラダイムシフトの中で原子力も再生エネルギーも設置容量を最大限に有効に使うための新たな原子力ビジネスモデルが必要である。

この意味では、原子力は再生可能エネルギーを最大限に活用するための技術を提供する事になる。実際、風力への生産税控除による負の電気料金問題を抱える米国中西部の原子力発電所ではタービン発電機の増出力を伴い蒸気アキュムレータ(実際には高温水貯蔵)設置を検討する動きもある。

原子力によるハイブリッド生産は我が国が進めてきた高温ガス炉での電気と水素の生産が有望で、原子力機構ではハイブリッド生産制御システムの検討が進められており、低炭素社会への適合性に貢献することを期待する。従来、原子力発電は材料問題から比較的低温技術に留まってきた。一方、石炭やガス火力の蒸気・ガス温度は軽水炉をはるかに凌駕しており、ハイブリッド生産を考える際には低温にとどまることは不利となる。

3. 再生可能エネルギーや系統での需給ミスマッチ対応

再生可能エネルギー側やネットワークでの需給のミスマッチへの対応には

- ・給電指令に馴染むバイオマス発電
- ・再生可能エネルギーのプロシューマにおける貯蔵(蓄電池、電気自動車)
- ・太陽光・風力による余剰電力を利用した水素製造
- ・需要側の資源活用

などが挙げられる。わが国でも輸入燃料にも依存してバイオマス発電設備設置が増加し2017年末には認可出力合計が17GWeにも達した。

4. 制度

技術に中立で特定の電源オプションを有利にせず、かつ、外部性(環境と供給セキュリティ)の考慮と貯蔵の促進を考えた制度設計を期待する。

5. ロードマップの必要性

社会的費用を抑制することを条件に需給不均衡からくるバックアップ火力への依存度を下げ低炭素電力システムを実現するためには、技術(各種発電オプション、エネルギー貯蔵、原子力によるハイブリッド生産など)と再生可能エネルギーも加えた電力システム運用(出力抑制、系統接続制限、バイオマス、プロシューマにおける貯蔵、余剰電力の活用、需要側の資源活用など)を将来どの様に開発し配備するかのロードマップを必要とする。国際協力で産官学による検討の開始を期待する。

－ 参考資料 －

- 1) "A World Transformation: WEO 2017", OECD-IAE, 2017 Nov.

- 2) MIT, Utility of the Future, 2016 Dec.
- 3) 英国上院, "The Price of Power: Reforming the Electricity Market", 2017 Feb.
- 4) MIT-J 共同研究報告 2017.9, MIT-ANP-TR-171.
- 5) "European Climate Leadership Report 2017", Energy for Humanity, 2017 Nov.
- 6) C. Forsberg, "Strategies for Low-Carbon Electricity Grid with Full Use of Nuclear, Wind and Solar Capacity to Minimize Total Cost", MIT-ANP-TR-162, 2015 Aug.

著者紹介



尾本 彰 (おもと・あきら)

東京工業大学 特任教授

(専門分野/関心分野) リスク評価とリスク管理, 原子力政策



From Editors 編集委員会からのお知らせ

－ 最近の編集委員会の話題より －

(3月6日第8回論文誌編集幹事会, 第9回学会誌編集幹事会, 合同幹事会)

【論文誌関係】

- ・平成29年12月16日～平成30年1月15日に英文誌へ20論文, 和文誌へ2論文の投稿があった。
- ・第2分野の新委員について報告された。
- ・Editor's Choiceの実施要領を検討した。
- ・しばらく休止していた英文誌のEditorial Summaryを復活させることとした。
- ・福島第一原発廃止措置に関する論文誌の特集号が提案された。次回, 子細を再検討することとした。
- ・福島第一原発事故関連和文論文及びアトモス掲載解説記事の英訳出版WGの進捗が報告された。翻訳作業に入ることが理事会で承認された。著者への承諾を得る手続きを進めることとした。
- ・JNST Most Popular Article Awardsの基礎となるダウンロード数に不自然な点があり, 再確認することとした。

【学会誌関係】

- ・巻頭言, 時論, その他記事の企画の進捗状況ならびに掲載号について検討した。
- ・2018年春の年会の理事会セッションを特集記事として学会誌6月号以降に掲載の予定との報告があった。
- ・風評被害をテーマにした特集企画の提案を検討した。8月号以降に掲載の予定で, 企画を進めていくこととした。
- ・規制のあり方やプルトニウム利用をテーマにした座談会の構想が出た。引き続き検討していく。
- ・12月号の理事会便りの誤記訂正は, 4月号に掲載の予定。

【合同幹事会】

- ・規定類担当委員より, 倫理指針規約案の説明があった。今後編集委員のコメントを反映し, 引き続き検討していくこととした。
- ・学会誌福島関連記事の英文化出版事業についての進捗状況について説明があった。
- ・学会誌の至近の状況と今後について報告があった。学会誌や学会のあり方, 他分野からの知見の導入, 60周年号記事企画について意見があった。

編集委員会連絡先 <hensyu@aesj.or.jp>

熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ 2017

軽水炉の継続的な安全性向上に向けたアプローチ

熱水力安全評価技術高度化戦略マップ検討ワーキンググループ

熱流動部会は福島第一原子力発電所(1F)事故の教訓を基にした熱水力分野のロードマップの改訂活動(ローリング)を進め、2017年3月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2017(熱水力ロードマップ2017)」を策定した。世界最高水準の安全性の実現とその継続的改善を図るため、安全裕度向上策および人材育成に必要なニーズとシーズのマッチングを考慮して選定・詳述された2015年版の技術課題を見直すと共に、主要な技術課題の実施状況の記載、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」との対応状況の明示、計算科学技術部会の協力による1F事故の原因ともなった外的事象対応の記述の改訂など、記載が大幅に充実された。その概要をまとめる。

KEYWORDS: *LWR, Thermal-Hydraulics, Technological Strategy Roadmap, Fukushima-Daiichi Accident, Continuous Safety Improvement, Thermal-Hydraulics Division, Computational Science and Engineering Division*

I. 熱水力ロードマップについて

日本原子力学会熱流動部会は、計算科学技術部会の協力を得て、2017年3月末に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2017(熱水力ロードマップ2017)」を完成させた。ここでは、熱水力ロードマップを概説する。

1. 熱水力ロードマップ策定の経緯

日本原子力学会では2007年に「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会を設置し、2009年3月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2009(熱水力ロードマップ2009)」¹⁾を策定すると共に、日本原子力学会熱流動部会のホームページに公開した。これは、我が国の軽水炉に係る熱水力のR & D(研究開発)について、到達点と課題を俯瞰し、取り組みのポイントを検討した初めてのロードマップとなったが、2006年8月の「原子力立国計画(資源エネルギー庁)」²⁾の趣旨を採用し、安全性と経済性の両立と向上を図る新型軽水炉の開発や国産安全評価手法の整備などが課題として掲げられ

た。ただし、R & Dに携わる人数や試験設備が減少を続け、特に人材育成は焦眉の課題とされていたため、ロードマップの策定に際しては、軽水炉伝熱流動関係の研究状況などに関するアンケートを主要な大学を中心に行って、研究の方向性などを探る取り組みも同時に行われた。

2. 熱水力ロードマップの改訂

熱流動部会は2009年の熱水力ロードマップ策定後に、特別専門委員会の活動を継承することとし、同マップを随時変化する技術への要請に応える効果的なものとし続け、人材育成に資するものとするため、ローリング(継続的な改訂)を行う「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」ワーキンググループ(WG)を部会に設置し、その下に「シビアアクシデント(SA)」「スケーリング」「プラント改良技術」の3つのサブワーキンググループ(SWG)を設けた。この時、人材育成に関してはR & Dに求められる条件を念頭に「ニーズとシーズのマッチング」を意識し、技術課題毎に関連の現象等を詳細に示す方針で取り組まれた。

ところが、2011年3月に東日本大震災に伴って東京電力福島第一原子力発電所(1F)事故が発生し、甚大な原子力被害を生じた。事故の教訓を踏まえると、原子力施設のリスクを把握しさらに低減していくためには、従来の

Thermal-Hydraulics Technological Strategy Roadmap 2017, An Approach for Continuous Safety Improvement of LWRs : AESJ Thermal-Hydraulics Division with a cooperation from Computational Science and Engineering Division.

(2017年10月23日 受理)

R & D の枠組みでは不足があると強く認識された。そして、同様の事故を二度と生じさせないよう安全性の抜本的な強化に向けて、SWGを「SA」「安全評価」「基盤技術」に改組し、ロードマップの見直しに取り組んだ。その結果、2012年度にはSA-SWGにより、SAの発生防止や影響緩和に必要な技術開発に関連するテーマを事故進展とともに現れる現象毎に細かく分類・分析し、技術や研究の到達点と課題を明示した技術マップ³⁾を完成させた。更に、2015年3月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015(改訂版)」⁴⁾の策定を完了した。

この熱水力ロードマップ2015は基本構成として、技術課題を時系列で全体を俯瞰する「導入シナリオ」の下に3つのSWGの成果を集合している。ただし、「基盤技術」「安全評価」については関与する技術課題を整理する「技術マップ」、主要な技術課題の詳細を説明する「課題調査票」、技術課題の時系列展開を示す「ロードマップ」より構成されるが、「SA」については詳細に展開された技術マップのみを示し、その内容を「基盤技術」「安全評価」の検討時に参考とする方式が採用された。2016年3月日本原子力学会誌解説⁵⁾に、その概要と主な課題への取り組みがまとめられている。

3. 熱水力ロードマップ2017へのローリング

熱流動部会は熱水力ロードマップ2015の策定後、ロードマップに記載される課題に対応したR & Dや事業の進展などを取り込み、新しい課題の検討に活かすために、引き続き熱水力ロードマップの改訂を進めることとし、2016年9月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ検討」WG(越塚主査、東京大学)を新たに設置してローリングを開始した。次章から、その成果として2017年3月に完成した「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2017(熱水力ロードマップ2017)」⁶⁾の特徴を概説する。

II. 熱水力ロードマップ2017の特徴

熱水力ロードマップ2015から2017への改訂は、前者の基本構成に大きな変更を加えないとするマイナー改訂の位置付けで進められた。このため、「導入シナリオ」「技術マップ」「課題調査票」「ロードマップ」の構成が踏襲され、SA技術マップを参照しつつ、「基盤技術」「安全評価」の主要2分野にて技術課題が検討されると共に、主に以下の4点が実施された。図1に導入シナリオを示す。

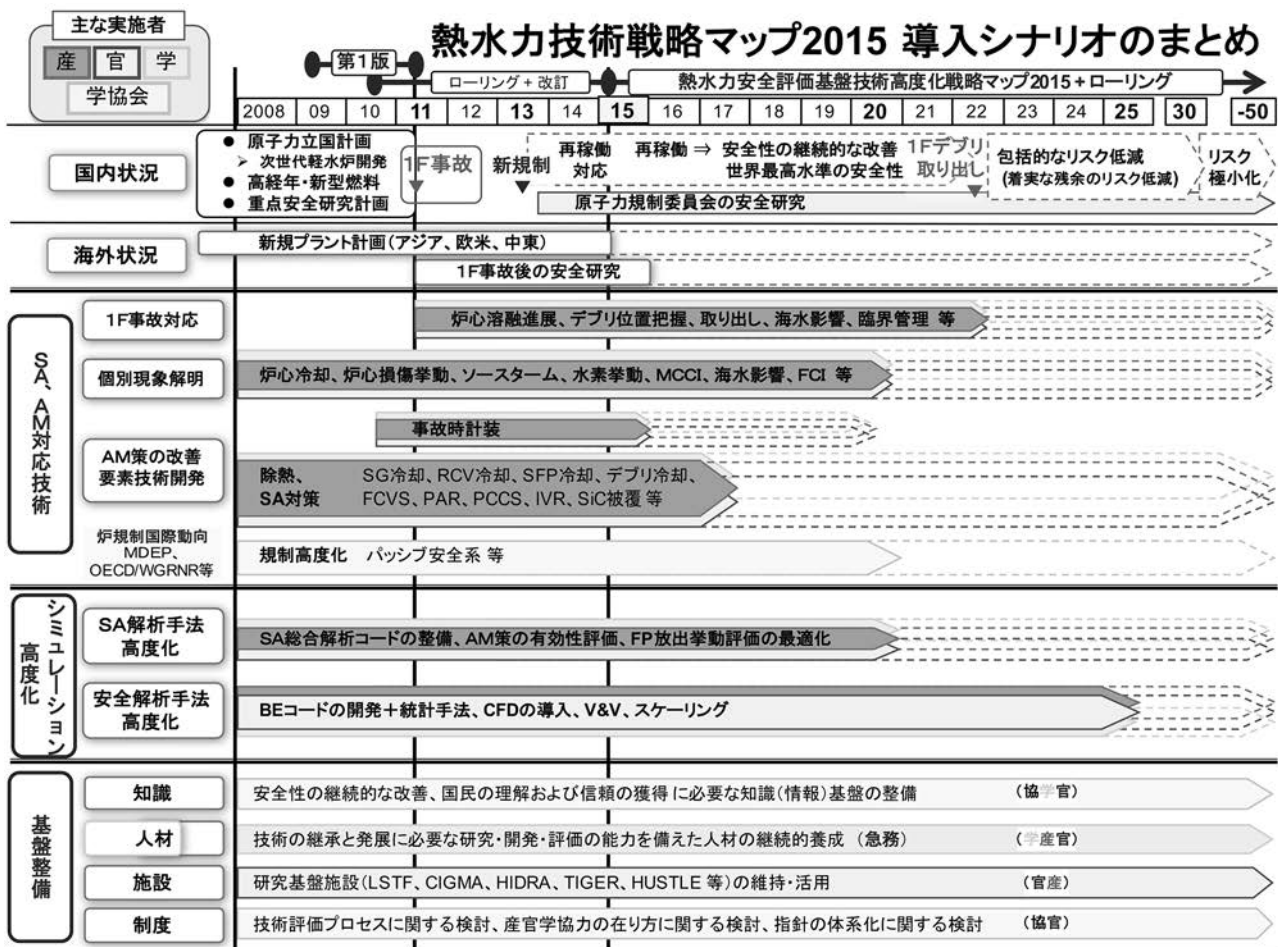


図1 導入シナリオのまとめ

1. 主要な技術課題の整理と追加

「基盤技術」により検討・整理する原子力発電所の安全向上を図る主なアクシデントマネジメント(AM)策と関連する技術課題をあらためて整理し直し、以下の13件の課題が挙げられた。これらとSA時に必要とされる機能との関係を図2に整理する。

- ① 過渡状態での二相水位予測
- ② 2次冷却系を用いた除熱(PWR)
- ③ 不純物の冷却への影響
- ④ 事故耐性燃料材料
- ⑤ 熔融炉心の冷却性向上及びコアキャッチャー
- ⑥ クーラーによる格納容器除熱の実証
- ⑦ 格納容器除熱時システム挙動の検証
- ⑧ ウェル注水/シール材
- ⑨ シビアアクシデント時の水素処理
- ⑩ FP挙動の最適評価
- ⑪ 格納容器ベント
- ⑫ 事故時計装の代替策/追加
- ⑬ 電源を用いない除熱システム

今回、2015版での⑨静的触媒式再結合器(PAR)および⑩シビアアクシデント晩期水素処理をまとめて⑨シビアアクシデント時の水素処理へ再編すると共に、⑩FP

挙動の最適評価、⑬電源を用いない除熱システムの2件を新たに追加した。

一方、「安全評価」が対象とする4件の技術課題(①原子炉内現象(炉心損傷前)、②原子炉内現象(炉心損傷後)、③格納容器内現象、④原子炉建屋内現象)については、課題の追加などの変更は行われなかったが、対応する「基盤技術」の技術課題を新たに課題調査票に付記し、両者の連関を把握しやすくした。

2. 課題調査票の記述の充実

「基盤技術」ではまず課題整理表により、軽水炉で想定される事故事象の時系列進展に沿って安全確保のために実施される様々なAM策などを、SA-SWGの技術マップを参考にしつつ網羅・分類して、優先度の検討・評価を行っている。その上で、主要な技術課題について課題調査票(個票)を作成し、背景、目的、実施内容、技術の到達点、期待される成果、R&D実施の優先度、実施形態の案などの項目へ詳しく記述する。今回は「技術の到達点」等、各項目へ最新のR&Dの成果(論文、報告書など)を追記・充実した。さらに、文部科学省や経済産業省(主に資源エネルギー庁)の委託事業、JST研究開発推進事業、原子力規制庁の委託事業などについて、その実施

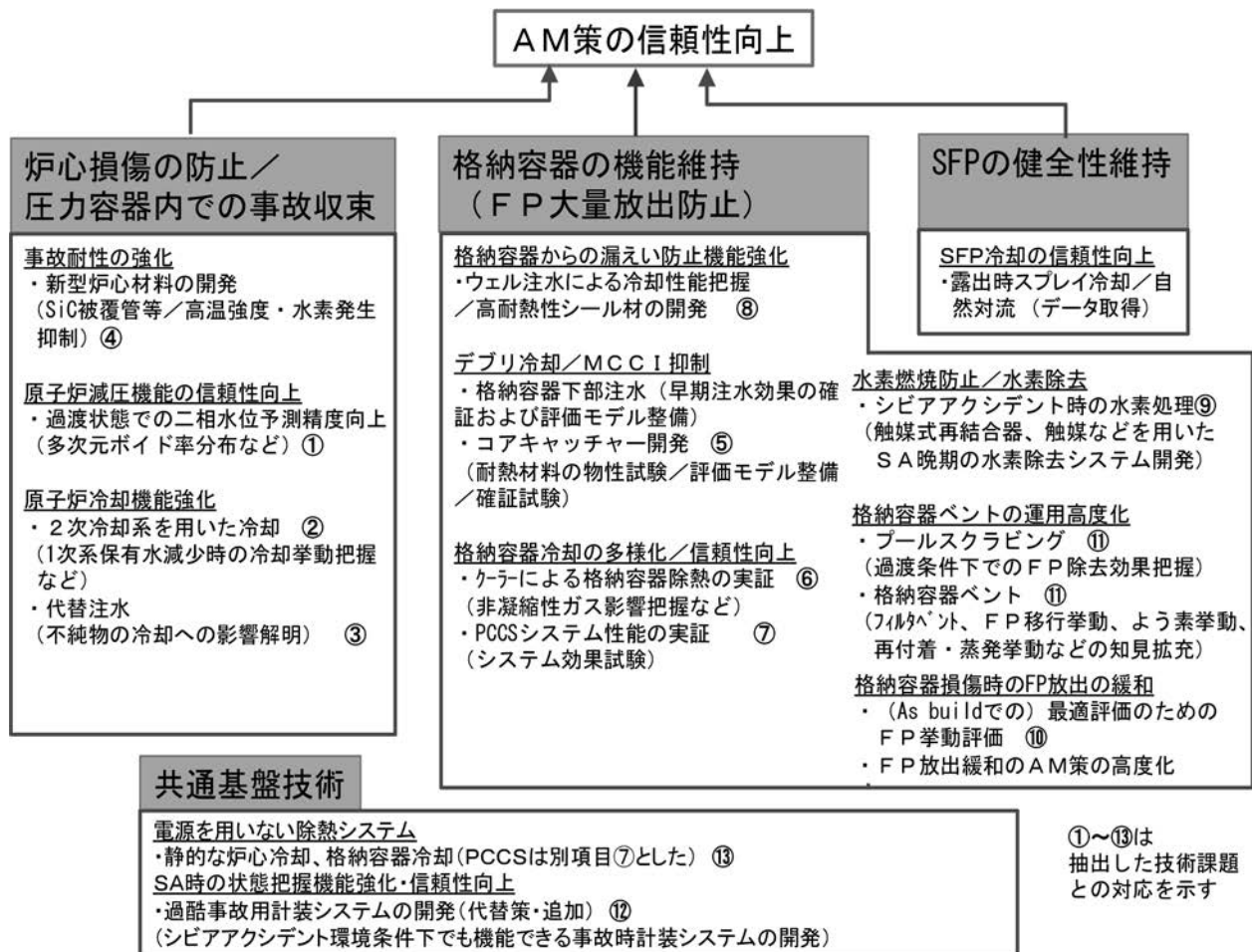


図2 熱水力ロードマップ2017で整理された主要な技術課題(基盤技術)とSA時の必要機能との関係

状況を項目「技術の到達点」へ、さらに「実施形態」へ実施時期などを追記し、最新の公開文献と併せて個々の技術課題における R & D の具体的な進捗が一目でわかるようにした。この様な課題調査票の記載の充実、基盤技術の 13 課題および安全評価の 4 課題(例えば、国産安全解析コードの開発に関連した諸課題の実施など)の全てを対象に実施された。ただし、熱水力ロードマップ 2017 ではローリングの方針として、終了した技術課題も削除せず表示し続けることとし、技術課題の R & D 等に関するトレーサビリティの確保(実施記録の保存)が図られている。

また、関連する現象と技術のブレークダウンの項目では記載内容をより詳細化して、「ニーズとシーズのマッチング」へのより具体的な貢献を目指すと共に、以上の改訂内容を時系列ロードマップの記載へ反映させた。

3. 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」との対応表の作成

熱水力ロードマップ 2017 では、経済産業省資源エネルギー庁と日本原子力学会との協力により、軽水炉に係る課題の全体を対象に策定される「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」⁷⁾の課題調査票に対して、熱水力ロード

マップの技術課題の対応表(表 1)を作成し、相互の対応と整合性が確認できる様にした。「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」は技術課題の整理がマクロ的で、個々の技術課題について、それらの到達点や実施状況などが必ずしも十分に記載されていないところ、熱水力ロードマップは分野のロードマップとして技術課題の詳細内容を記載するため、相互の整合性が一目で確認できるだけでなく、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」での関連技術課題が詳しく理解できるようになった。その結果、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」への対応を条件とする資源エネルギー庁の国プロなどに対して、関連する技術課題の説明性が飛躍的に向上した。このとき、熱水力ロードマップでは基盤技術 13 件、安全評価 4 件、外的事象の全般に対して、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」では関連する課題調査票が 20 件であり、うち高評価(◎)の課題が 13 件である。

4. 外的事象に係る技術課題

熱水力ロードマップ 2015 では、1F 事故の主要因である外的事象について、原子力規制委員会が定めた新規制基準にも対応する安全評価上の課題として、津波、火山、竜巻、洪水・溢水、火災、の 5 項目が、「情報収集」の課題

表 1 軽水炉安全技術・人材ロードマップとの技術課題対応表

軽水炉安全技術・人材ロードマップ			熱水力RM / 基盤技術													安全評価				
ID	課題調査票題目	評価	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	外的事象	①	②	③	④
S106_e03	地震、津波以外の外的事象が及ぼすリスク早期把握と継続検討項目の抽出	◎														○				
S106_e04	原子力プラントを対象とした津波に対する安全性評価・安全性確保技術の構築(耐津波工学の体系化)	◎														○				
S106_e05	リスク評価に用いる地震影響評価技術の構築(断層変位、斜面崩壊等のリスク評価も含む)	◎														○				
S106_e07	外部事象を考慮した運用管理(発生予測技術、影響評価技術等)	○														○				
S110_e10	外的事象(自然現象など)に関する新知見の継続的取り組みの枠組み実現	○														○				
S110M106L103_d02	・福島第一事故を踏まえた外的事象に関連する IAEA 基準等策定への参画 ・外的事象に関連する IAEA 基準等策定への貢献 ・外的事象に関連する IAEA 基準等策定の主導	○														○				
S111_d11-1	最終ヒートシンクの多様化と高機能化	○						◎	◎		◎	○	○		◎					
S111_d11-2	SA 時計装、SA 対応設備の多様化と高度化及び設備の設計技術	◎													◎					
S111_d12	深層防護の第 1-3 層(設計)から第 4 層(AM 対策)および第 5 層(防災)まで総合的に考えた設計への取り組みによる事故制御性の抜本的向上	◎					◎				○	○			◎					
S111M107_d09	使用済燃料の安全評価技術の高度化																			◎
S111M107_d17-1	炉心・熱水力設計評価技術の高度化	◎	○			○											○	○	○	○
S111M107_d18-1	燃料の信頼性向上と高度化	◎	○			○											○	○		○
S111M107_d18-2	燃料の信頼性向上(燃料の基準等整備と安全裕度評価手法の明確化)	◎															○			
S111M107L103_d42	システム・構造・機器(SSC)の信頼性向上と高度化	◎		◎			◎	◎	◎	◎	○		○	◎						
S111M107L104_d10	レジリエンスを強化した世界標準の軽水炉設計の構築	◎		◎			◎	◎	◎			◎		○			◎	◎	◎	
S112M107_d08	安全解析手法の高度化	◎	○		○	○	○						○				◎	◎	◎	◎
M104L103_e06	低頻度外的事象の知見に関する ・不確定性低減への継続的寄与 ・不確定性低減研究継続	◎														○				
M199L199_d19	革新的技術開発(材料開発等)と燃料濃縮度の見直しによる燃料長寿命化の追究	○															○			
M199L199_d20	事故時耐性燃料・制御棒の開発	○				◎														
L103_d16	外的事象によるプラント全体リスクを極小化する設計技術・維持管理法開発	◎														◎				

として参考情報ではあるが課題調査票にまとめられた。これらは、今後の原子力発電所の安全確保と改善に係る重要課題であり、数値解析を専門とする計算科学技術部会の協力を得て、竜巻、火山と火災の改訂が行われた。例えば火山においては、シミュレーションの現状および技術的な課題の各項目における記述の充実が図られた。

Ⅲ. 熱水力ロードマップの今後の展開

原子力学会熱流動部会は計算科学技術部会の協力を得て、本年3月に「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2017(熱水力ロードマップ2017)」へ改訂を行なった。今後は、その外部発信を行って産官学での利用促進を図ると共に、ローリングを継続する方針である。

ローリングに際しては特に、2017版では実施できなかったSA技術マップの更新など、1F事故の反省に対応する技術課題や情報の更新が確実に行われる計画とする。

さらに、今後も計算科学技術部会の協力を得ることにより、安全評価及び外部事象への対応など、解析技術が関与する技術課題の整理と一層の充実が図られることが期待される。原子力分野における焦眉の課題である人材育成ならびに情報継承については、ローリングのために新たに編成されるSWGへ若手の参画を図る。その結果、ローリングがより効果的に進められ、新しい視点に立った内容が盛り込まれることが期待される。

なお、今後は編集についても、事故進展と技術課題の図解ガイドを加えるなど、より分かりやすく使いやすくする工夫を行い、全てのステークホルダーにより簡便にご利用いただけるものとしていく計画である。

(執筆担当：糸井達哉(東京大学),
岩城智香子(東芝エネルギーシステムズ),
大貫 晃(三菱重工),
木藤和明(日立GEニュークリア・エナジー),
中村秀夫(日本原子力研究開発機構), 西田明美(同左),
西 義久(電力中央研究所))

－ 参考資料 －

- 1) 「熱水力ロードマップ(最終案)H21年3月18日版」日本原子力学会「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会、熱流動部会 HP：
<http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-RM/TH-RM.pdf>
及び「技術マップ」
<http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-RM/Tech.pdf>
- 2) 「原子力立国計画」総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会報告書 骨子、資源エネルギー庁 HP：
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g60823a04j.pdf>
- 3) 阿部ら、「軽水炉のシビアアクシデントに係わる課題の分析・評価について」、日本原子力学会 2013年秋の大会 熱流動部会セッション TN09.
- 4) 「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2015(改訂版)26年度報告書」、日本原子力学会 熱流動部会「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」ワーキンググループ、平成27年3月、熱流動部会 HP：
<http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-WG/TH-WG.pdf>
- 5) 熱水力技術戦略マップ ワーキンググループ「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップの改訂 軽水炉の継続的な安全性向上に向けて」、日本原子力学会誌, vol.58, No.3, (2016).
- 6) 「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ2017(熱水力RM 2017)28年度報告書」、日本原子力学会 熱流動部会「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ検討」ワーキンググループ(協力)計算科学技術部会、平成29年3月、熱流動部会 HP：
http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-RM/TH-RM_r.pdf
- 7) 日本原子力学会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ高度活用」研究専門委員会 平成28年度報告書：
http://www.aesj.net/sp_committee/com_lwrroadmap
及び 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ「軽水炉安全技術・人材ロードマップ(平成29年3月改訂)：
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/20170324001.html>

火山噴石に対する構造部材の損傷評価法と課題

防衛大学校 別府 万寿博

日本は世界有数の火山大国であるが、火山噴火による被害想定や具体的な対策については検討があまり進んでいない。特に、甚大な被害が生じる火山噴石に対しては、人命を確実に防護する機能を構造物に付与することが求められる。本解説では、火山噴石を対象として、鋼製飛翔体の衝突実験による鉄筋コンクリート版および鋼板の破壊特性およびこれらの構造部材の破壊評価法と課題について紹介する。

KEYWORDS: *Volcanic cinders, Reinforced concrete slabs, Steel plates, Impact resistant design, Local failure*

I. はじめに

日本は110もの活火山を有する世界有数の火山大国であるが、火山噴火による被害想定は富士山を除きほとんど検討されていない。火山噴火が発生すると、直後には火山噴石、火砕流、溶岩流が周辺地域を襲うとともに、降灰、火山泥流、土石流も広範な範囲に深刻な被害を及ぼす^{1~4)}。このような火山噴火に対するリスク評価および防災・減災対策の実施は喫緊の課題であり、原子力発電所に対しても、「原子力発電所の火山影響評価ガイド⁵⁾」が制定されているが、ソフト・ハード対策ともに検討はあまり進んでいない。本解説では、上記の災害の中でも火山噴石(噴石)を対象とし、噴石を受ける鉄筋コンクリート版および鋼板の破壊特性や構造安全性評価法について紹介する。

II. 火山災害の特徴

1. 火山災害の種類

火山噴火に起因する災害は、以下に示すように降灰、溶岩流、火砕流、火山泥流、土石流、噴石等に区分されている^{1~4)}。

降灰が発生する場合、大規模な噴火では噴煙柱は成層圏に達し、高層風に流されて風下側の広範囲に降下する。降下火砕物による被害は大きく、交通・農業をはじめ、生活や経済活動に重大な支障を及ぼすばかりではなく、大気中に浮遊する火山灰等により航空機の運航に支障を及ぼすこともある。

溶岩流は、火口から噴き出した溶岩が粘性の高い流体として山腹斜面を流下する現象である。地形や溶岩の温度・組成にもよるが、時間をかけて流下することから避難の可能性が高いといわれている。一方、火砕流は、高温の火山灰や岩塊、空気や水蒸気が一体となって急速に流下する現象である。地形の起伏にかかわらず広範囲に広がり、通過域を焼失、埋没させ、流下速度は時速数十kmから数百km、温度は数百度にも達する。さらに、砂等の粒子を多く含む、火砕サージと呼ばれるガスに富んだ希薄な速い流れが発生する場合がある。これは火砕流と類似の固体と気体の混相流であるが、火砕流よりも気体を多く含み、200km/h以上にも達する高速の乱流である。

火山泥流は、噴火活動が直接または間接の引き金となって、火山噴出物もしくは火山体が侵食されて生産された土砂が、何らかの形で供給された水と混合して流下する現象である。流下速度は60km/hを超えることもあり、谷筋や沢沿いを遠方まで一気に流下し、大規模な災害を起こしやすい。また、火山噴火により噴出された岩石や火山灰が堆積しているところに大雨が降ることにより土石流が発生する。この場合は、到達距離は100kmを超えることがあり、谷地形や沢に沿って遠方まで一気に流下するため、下流に大きな被害をもたらす危険性がある。

爆発的な噴火によって火口から吹き飛ばされる直径約50cm以上の大きな岩石は、風の影響を受けずに火口から弾道を描いて飛散する。このような噴石と呼ばれる衝突物による被害は火口周辺の概ね2~10km以内に限られるが、大きな噴石の飛散で登山者等が死傷し、構造物が破壊される災害が発生している。

Assessment method of the damage of structural members subjected to volcanic cinders : Masuhiro Beppu.

(2017年11月30日受理)

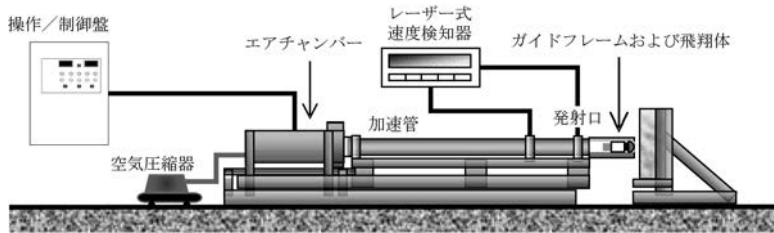


図1 実験装置の概要



図2 実験の状況

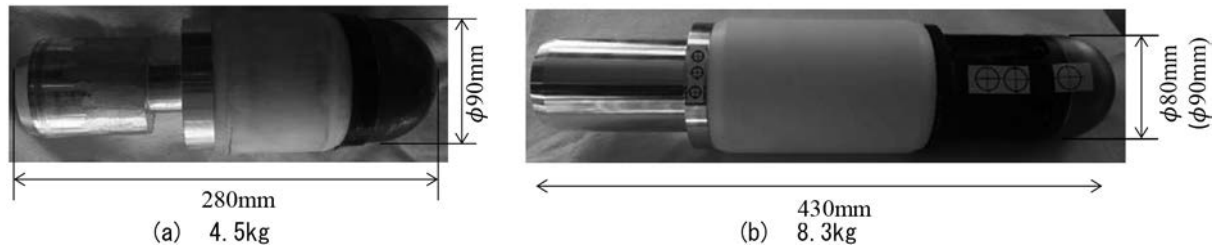


図3 飛翔体の寸法および外観

そのほかにも、火山ガスや噴煙、地すべりや斜面崩壊、空震など、地質、地形等に応じて多岐にわたる災害が発生する。

2. 火山噴石の特徴

火山噴火による直接的被害の中でも、噴石は構造物や人命へ甚大な影響を与えられられる。噴火活動によって岩塊が上空へ放出されると、火口周辺の地表へ落下するが、この落下する岩塊が噴石と呼ばれている。噴石の中で直径64mmより大きなものは「火山岩塊」、それより小さなものは「火山礫」という^{2,3)}。一般的に、直径数十cmの噴石は火口から4km程度までは弾丸軌道を描いて飛来し、直径10cm程度の噴石は10km程度まで飛散することがある。内閣府による「活火山における退避壕等の充実に向けた手引き」⁶⁾では、対策の対象とする噴石の大きさは、直径10cm以下、10cm～30cm、30cm～50cm、50cm超に区分されている。噴石の速度は火口から噴出される際の初速度や直径によって大きく変動するが、初速としては約50～150m/sが想定され、衝突時の速度としては最大50m/s～300m/sと推定されている。

Ⅲ. 鉄筋コンクリート版の破壊特性と評価法

1. 鉄筋コンクリート版の破壊特性

実験装置の概要および実験の状況を、それぞれ図1および図2に示す。本装置は空気圧縮器、エアチャンバー、発射管および速度計測センサーで構成されている。飛翔体の発射速度は空気圧を調節することにより、質量4kg～10kgの飛翔体を衝突速度10m/s～100m/sで発射することが可能である。衝突後の飛翔体の跳ね返りによる器材等の破損を防ぐため、発射口に長さ50cmのガイドフレームを取り付けた。噴石は衝突時に破壊する

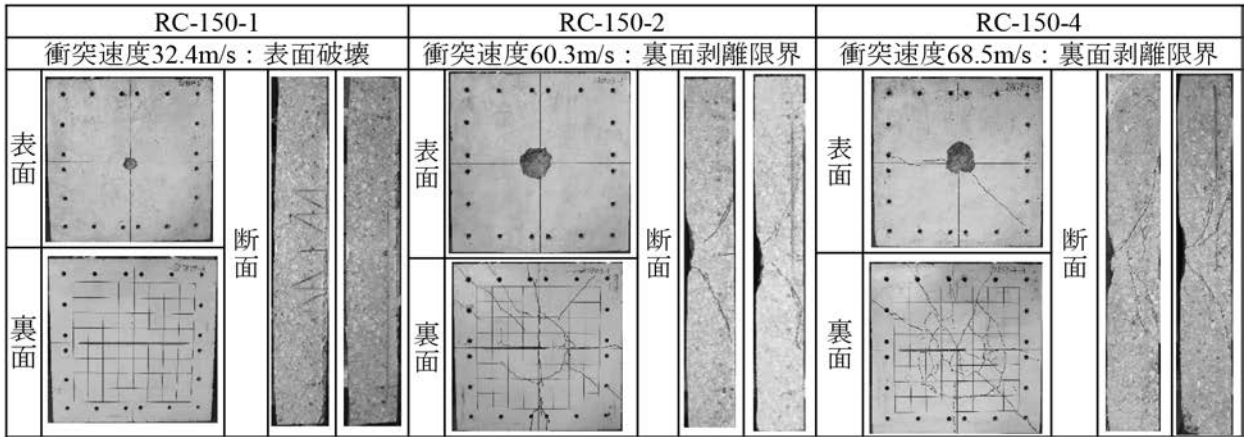
場合もあると考えられるが、設計上の安全性を考慮して、実験に用いた飛翔体は鋼製とした。

実験では直径10cmの噴石が速度100m/sで衝突した場合の鉄筋コンクリート(RC)版および鋼板の耐衝撃性能を検討するため、衝突時に飛翔体が有する運動エネルギーが同程度以上の条件で実験を行った。

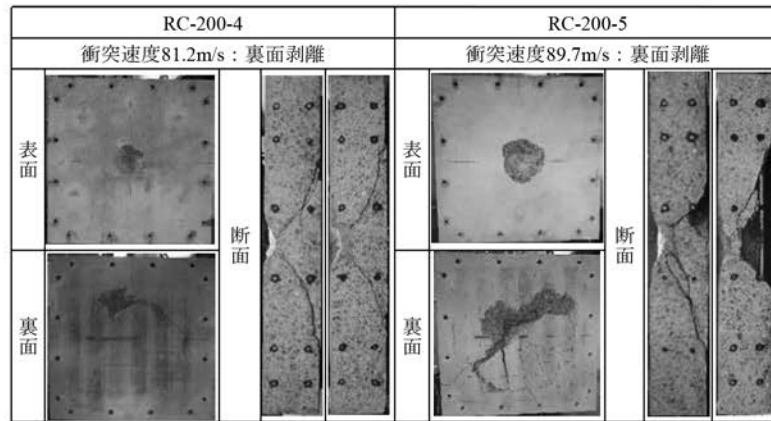
図3に示すような先端形状が半球、直径80-90mm、質量4.5kg、8.3kgの飛翔体を速度20m/s～90m/sでRC版へ衝突させた。RC版は鉄筋比0.5%～1.4%とし、寸法は縦横1,200mm、版厚は90mm～300mmに変化させた。実験結果の一例を図4に示す。なお、図中には衝突面(表面)、とその反対面(裏面)および切断した際の両切断面の写真を示している。質量4.5kg、版厚150mmの場合は、衝突速度32m/sにおける破壊モードは表面破壊であった。衝突速度が60m/sを超えると断面に斜めひび割れが発達し、これが裏面へ到達したため、裏面剥離限界と判定した。質量8.3kg、版厚200mmの場合には、衝突速度が81m/sを超えると裏面剥離が発生した。一般的に、本実験における飛翔体の速度帯では、支点反力が発生する前に、RC版に局所的な破壊が発生する。このような局部破壊に対する評価に対しては理論に基づいた評価法の適用が容易ではないため、多くの実験式が提案されている。以下に、RC版に対する局部破壊の評価法について説明する。

2. 鉄筋コンクリート版の損傷評価法

本節では、RC版の局部破壊の評価に広く用いられているChang⁷⁾式および電力中央研究所(CRIEPI)式⁷⁾を紹介するとともに、実験結果と比較する。Chang式は、円柱状の飛翔体がRC版に衝突したときに、RC版の裏面に負の曲げモーメントが生じ、RC版が曲げ降伏することで裏面剥離が発生すると仮定している。また、飛翔



(a) 質量4.5kg、版厚15cm



(b) 質量8.3kg、版厚20cm

図4 RC版の破壊性状

体の運動エネルギーと版の吸収エネルギーの釣り合い式に基づいて、実験結果と適合するような裏面剥離限界版厚 s を算定している。

$$\frac{s}{d} = \alpha_s \left(\frac{61}{V} \right)^{0.13} \left(\frac{MV^2}{d^3 f_c} \right)^{0.4} \quad (1)$$

ここに、 s : 裏面剥離限界版厚 (cm) : α_s : 8.42×10^{-3} , V : 衝突速度 (m/s), M : 飛来物の質量 (kg), d : 飛来物の直径 (cm), f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²) である。

同様に、貫通に対しても、貫通限界版厚 e の算定式が次のように提案されている。

$$\frac{e}{d} = \alpha_p \left(\frac{61}{V} \right)^{0.25} \left(\frac{MV^2}{d^3 f_c} \right)^{0.5} \quad (2)$$

ここに、 α_p は定数で 1.10×10^{-3} である。

なお、Chang 式の適用範囲については、衝突速度 16m/s~312m/s, 飛翔体の質量 0.1kg~343kg, 飛翔体の直径 2cm~30cm, コンクリートの圧縮強度 23.6N/mm²~47.3N/mm² である。

CRIEPI 式は、電力中央研究所が剛飛翔体を用いて衝突速度 37m/s~257m/s の衝突実験を行い、局部破壊に

対して安全側の評価を与えていた Chang 式を実験結果に適合するように修正したものである。また、衝突体の先端形状が破壊性状に与える影響を考慮するための先端形状係数 (α および β) も Chang 式に加えている。CRIEPI 式の裏面剥離限界版厚および貫通限界版厚の算定式を次に示す。

$$\frac{s}{d} = \alpha'_s \alpha \left(\frac{61}{V} \right)^{0.13} \left(\frac{MV^2}{d^3 f_c} \right)^{0.4} \quad (3a)$$

$$\frac{e}{d} = \alpha'_p \beta \left(\frac{61}{V} \right)^{0.25} \left(\frac{MV^2}{d^3 f_c} \right)^{0.5} \quad (3b)$$

ここに、 α'_s および α'_p は定数でそれぞれ 6.96×10^{-3} および 8.96×10^{-4} , α : 裏面剥離に対する形状係数 (平坦 : 1.0, 球状 : 1.13, 鋭い : 1.18), β : 貫通に対する形状係数 (平坦 : 1.0, 球状 : 1.1, 鋭い : 1.21) である。

図5に、実験結果とこれらの式を比較したものを示す。図から、飛翔体質量 4.5kg, 8.3kg のいずれも Chang 式および CRIEPI 式とある程度良好に整合している。ただし、版厚や速度によってばらつきもあるため、今後もデータの収集や数値解析による分析が必要である。

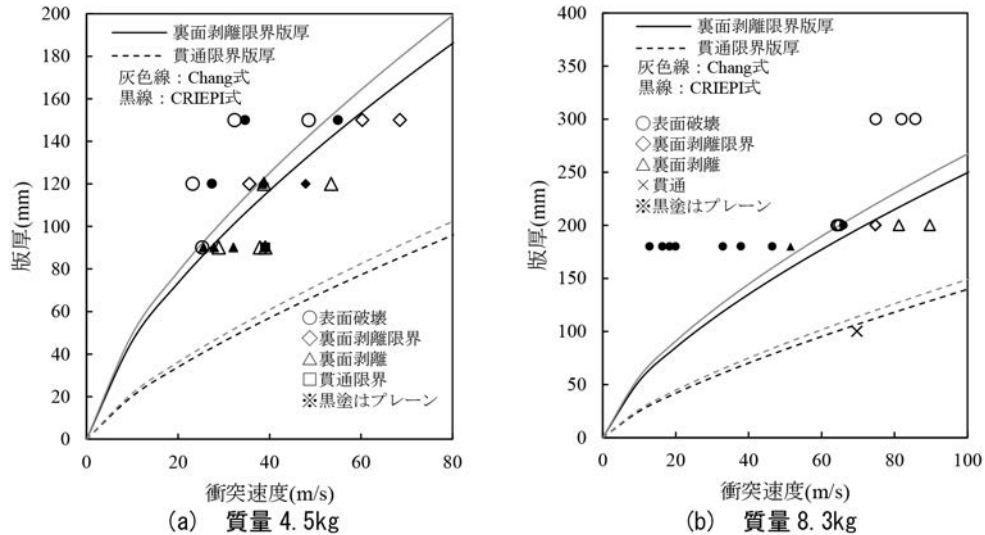


図5 実験による裏面剥離および貫通限界版厚と Chang 式および CRIEPI 式による算定値の比較

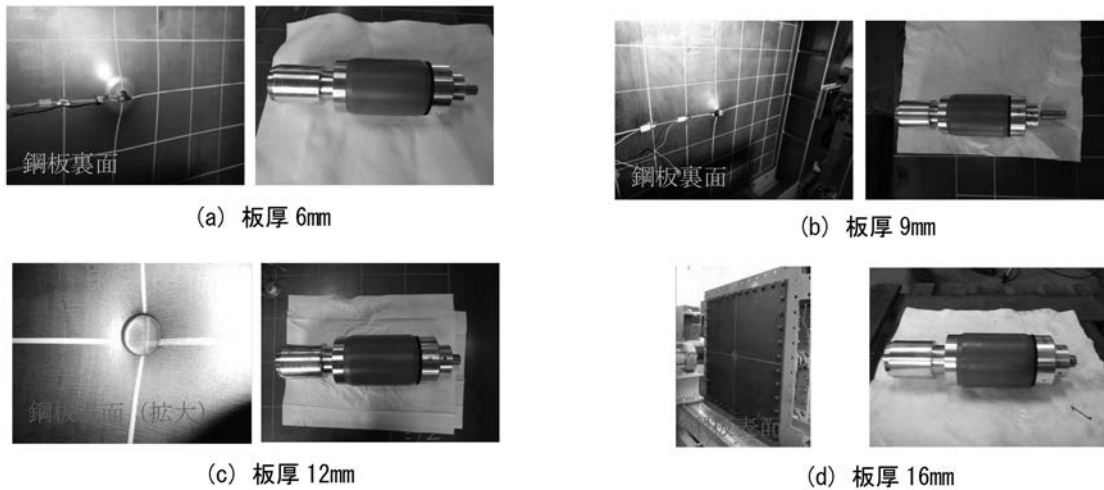


図7 衝突後の鋼板の変形状況と飛翔体(丸鋼)



図6 鋼製飛翔体(丸鋼)

9mm の場合には、飛翔体の先端は鋼板を貫通した。板厚 12mm の場合には、衝突部がめり込むような塑性変形を示したが、貫通は発生しなかった。板厚 16mm の場合には、貫通は発生しなかった。図 8 に、角型鋼管の飛翔体を用いた場合の破壊性状を示す。角型鋼管の場合には、全てのケースで角型鋼管が座屈したため、鋼板には貫通は発生しなかった。

IV. 鋼板の破壊特性と評価法

1. 鋼板の破壊特性

図 1 に示した実験装置を用いて、図 6 に示すような先端形状が平坦で直径が 18.6mm の丸鋼(SS400)である質量 4.3kg の飛翔体を速度約 57m/s で SS400 鋼板へ衝突させた⁸⁾。また比較のため、飛翔体の先端が座屈するように設計した□-60×30×1.6mm の角型鋼管(STKR400)の飛翔体も作製した。鋼板の寸法は縦横 1,150mm であり、板厚を 6mm, 9mm, 12mm および 16mm とした。図 7 に丸鋼を用いた場合の実験結果を示す。板厚 6mm,

2. 鋼板の貫通評価法

一般に、飛来物衝突に対する鋼板の貫通評価式として、BRL 式, Jacob de Marre 式, SRI 式等があり⁹⁾, これら評価式のうち BRL 式による評価は安全側の結果を示すことが知られている。なお BRL 式では、式(4)に示すように飛来物の質量, 速度, 直径を入力することで鋼板の貫通限界板厚が算出される。

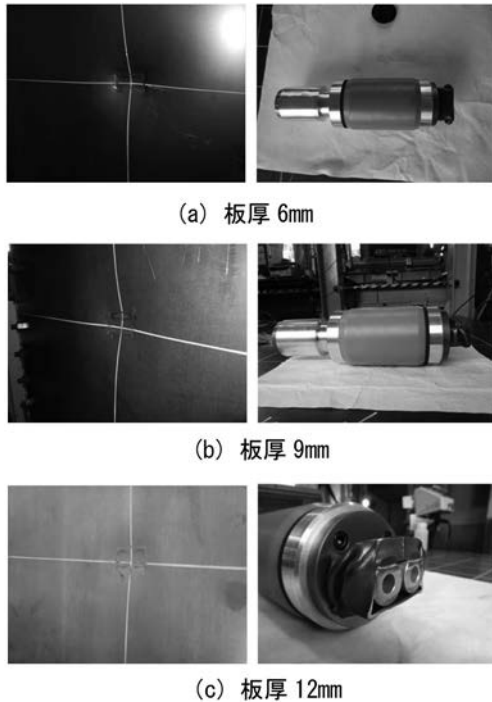


図8 衝突後の鋼板の変形状況と飛翔体(角型鋼管)

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{\frac{1}{2}MV^2}{17400K^2d^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

ここに、 T ：鋼板の貫通厚さ(in)， M ：飛翔体質量(lb・s²/ft)， V ：飛翔体速度(ft/sec)， d ：飛翔体直径(in)， K ：鋼板の分類に関する係数(≒1)である。

実験条件を式(4)に代入すると、貫通限界板厚は15.5mmとなる。一方、実験結果では板厚12mmのケースでも貫通は発生しなかったため、BRL式はある程度の保守性を有していると考えられる。

V. 今後の課題

直径10cmの噴石が100m/s以上の速度で衝突することを想定した実験結果から、この噴石レベルでも通常の構造部材に対しては甚大な損傷を与えることがわかる。これらの損傷は、非常に局所的な応答による損傷であるが、既往の破壊限界評価式等^{7,9)}を適用することにより

ある程度の保守性の下で損傷を評価することが可能であると考えられる。ただし、衝突問題では、鋼板の実験で紹介したように、構造物の損傷は飛翔物の先端形状、直径、剛性の影響を強く受けるため、合理的な評価法を確立するための検討を行う必要がある。

また、既存構造物に対する補強対策の検討も急務である。「活火山における退避壕等の充実に向けた手引き⁶⁾」の中では、直径10cm以下の噴石に対して、木造の屋根に対しては高機能繊維織物等による補強例が紹介されている。直径30cmを超える噴石の対策には、鉄筋コンクリート構造を基本として、裏面補強やネット構造の活用による対策が必要とされているが、具体的な研究は進んでいない。このような大きなエネルギーに対しては、構造物の補強とともに有効な緩衝材の設置等も必要と考えられ、今後、研究を進める必要がある。

— 参考資料 —

- 1) 矢代晴実, 林孝幸, 岡崎豪: 大規模災害概論, コロナ社, 2014.9.
- 2) 藤井敏嗣, 額額一起: 地震・津波と火山の事典, 丸善, 2008.1.
- 3) 土木学会地盤工学委員会火山工学研究小委員会: 火山工学入門, 2009.7.
- 4) 中田節也ほか: 講座「火山による災害特性と防災技術」, 地盤工学会誌, 2016.4~2016.8.
- 5) 原子力規制委員会: 原子力発電所の火山影響評価ガイド, 2013.6.
- 6) 内閣府(防災担当): 活火山における退避壕等の充実に向けた手引き, 2015.12.
- 7) 防衛施設学会: 高速衝突を受けるコンクリート構造物の局部破壊に対する設計ガイドライン(案), 2014.3.
- 8) 別府万寿博, 柴田大希, 片岡新之介ほか: 竜巻飛散物・火山噴火を対象とした防護設計法に関する基礎的検討, 日本建築学会, 建築物を取り巻く衝撃問題, 2016.12.
- 9) Gabi Ben-Dor et al.: High-Speed Penetration Dynamics, World Scientific, (2013).

著者紹介



別府万寿博(べっぷ・ますひろ)

防衛大学校 建設環境工学科

(専門分野/関心分野) 衝撃工学/耐衝撃設計法, 耐爆構造設計法, 鉄筋コンクリート構造, 鋼構造

原子力材料評価のための最新ナノマイクロ分析技術の新展開

第1回 3D-AP/ウィーク・ビーム STEM によるナノ組織解析

東北大学金属材料研究所 外山 健, 吉田 健太

原子力材料では、照射によってナノメートルサイズの溶質・不純物クラスターや転位ループが形成する。これらは材料特性劣化の原因であり詳細な観察と理解が必要だが、非常に微細なために通常の透過電子顕微鏡では観察が容易ではない。本稿では、最新のマイクロ分析手法である3次元アトムプローブ法とウィーク・ビーム STEM 法による微細組織の観察例や測定手法を示す。

KEYWORDS: *three-dimensional atom probe, weak-beam STEM, irradiated-materials, solute cluster, GB segregation, dislocation loop*

I. はじめに

原子炉で用いられる材料では、中性子照射によって熱平衡空孔をはるかに上回る濃度の欠陥が導入されて原子の移動・拡散が生じ、(サブ)ナノメートルサイズのごく小さな析出物が高密度に形成したり、不純物の粒界偏析が生じたりする。また、欠陥自身も集合して転位ループやナノポイドが形成される。これらは脆化や応力腐食割れのような材料特性の劣化の主因であることが知られている。通常、これら微細組織の観察には透過電子顕微鏡(transmission electron microscopy: TEM)が用いられるが、観察対象によっては、TEMでの観察が難しい場合もある。原子炉圧力容器鋼中に形成する微細組織はその典型例であり、銅・ニッケル・マンガン等を中心としたナノクラスターや、格子間原子が集合した転位ループは、圧力容器の照射脆化の主因であるにも関わらず、TEMによる定量観察は容易ではない¹⁾。

ナノクラスターに関して、3次元アトムプローブ(three dimensional atom probe: 3D-AP)を用いた観察が近年多く行なわれている。3D-APは実空間の元素分布をほぼ原子レベルの空間分解能で3次元マッピングできる、いわば究極的な局所元素分析手法である。わずかに十数個の溶質・不純物原子が集合した段階からそれを敏感に検出して観察することが可能であり、溶質・不純物元素の振る舞いを析出や偏析の初期段階から明らかにし、析出物や粒界偏析を詳細に分析できる。これまでに鉄鋼材料を含め多くの金属材料のナノスケールの組織解析に応用されてきた。本稿では、3D-APの原理と試料作製方法について簡単に解

説した後、原子炉で用いられる鉄鋼材料の劣化の原因となる照射誘起析出や粒界偏析の観察例を紹介する。

転位ループに関して、特に実用鉄鋼材料を対象としたTEM観察では、試料エッジ近傍の試料厚の不均一性に起因する等厚干渉縞やポイド・析出物界面でのフレネル干渉縞によって、定量評価の精度や再現性に影響が生じることがある。これに関して、我々は最近、ウィーク・ビーム走査電子顕微鏡(weak beam scanning transmission electron microscope: WB-STEM)法を開発し、鉄鋼材料中に不均一に分布する転位組織をより精度良く定量解析できることを示した²⁾。原理や観察例の詳細は文献²⁾に譲り、本稿ではこの手法の測定手順を詳しく紹介し、実際に適用するための手立てを述べる。

II. 3D-AP

1. 測定原理

3D-APでは、ごく細い針状(先端半径は数10nm程度)に加工した測定試料に、数kVのパルス電圧を高真空中で加える。針状試料の先端半径が r のとき、試料表面での電場 F は $F=V/kr$ (V は印加電圧、 k は試料に依存する定数で2~5程度)で表されるから、試料表面には通常 $F=$ 数10~100V/nmの強い電界が加わる。その結果、電界蒸発と呼ばれる現象が起きて試料最表面の原子がイオン化し、表面から脱離する。脱離したイオンは、電気力線に沿って飛行して位置敏感型検出器に到達する。これより、針状試料の長手方向に垂直な方向(x-y方向)の二次元座標を取得できる。さらに、電界蒸発は最表面から順序よく生じることから、イオンを収集して針状試料の長手方向(z方向)のデータを蓄積し、最終的には脱離前のイオン位置を三次元実空間で決めることができる。さらに、位置情報と同時にイオンの飛行時間(パルス電圧が印加されてからイオンが位置敏感型検出

Recent development of nano/micro-scale analytical techniques for nuclear materials(1); Nano-structural analysis with 3D-AP and weak-beam STEM: Takeshi Toyama, Kenta Yohida.

(2017年11月1日 受理)

器に到達するまでの時間)も測定する。電界蒸発したイオンの飛行速度は、元素の質量と電荷に依存するから、飛行時間から元素種を同定することができる。以上の原理より、針状試料中の原子の位置と元素を同定して三次元マッピングを行うのが3D-AP法である³⁾。

実際の測定では、電界蒸発が生じるしきい値未満の直流電圧を印加しておいた上で、パルス電圧を加えることで、パルス電圧の立ち上がりのばらつきを抑え、繰り返し周波数を上げている。また、試料表面での原子拡散を抑えるため、試料を20~70K程度に冷却して測定する。到達可能な空間分解能は、z方向で約0.2nm、x-y方向で約0.5nm程度である。z方向の分解能は、電界蒸発は試料最表面から順に1原子層ずつ蒸発していくため原子間隔程度であるのに対して、x-y方向の分解能は、蒸発収差(蒸発するイオンの飛行方向が、試料表面の法線方向から若干外れることによる誤差)と呼ばれる誤差などのために、これよりも低くなる。

2. 試料作製

3D-AP測定では、針状試料の作製が重要な鍵である。通常の金属材料では電解研磨法が用いられる。これは、例えば0.5×0.5×15mm程度の角柱に試料を切り出し、試料を陽極として電界研磨を行う手法である。一方、結晶粒界など特定の部位を観察対象とする場合は、それが先端から数100nm以内に含むように針状試料を作製する必要がある。これには、集束イオンビーム(focused ion beam: FIB)を用いたマイクロサンプリング法が用いられる。図1にマイクロサンプリング法の一連の手順を示す。FIBで、分析したい特定部位を含む領域周辺を削り①、試料片をマニピュレーターに接着させて持ち上げる②。それをSiマイクロチップと呼ばれる土台に接合し③、一部の試料片を残して切り離す④。土台に残した試料片を、上方から環状にGaイオンを照射して針状に加工する⑤。環状パターンの内径は徐々に小さくする。最終的に、特定部位が針先端から数100nm以内に含まれるように深さを調整して完成させる⑥。マイクロサンプリング法のもう一つの特長として、

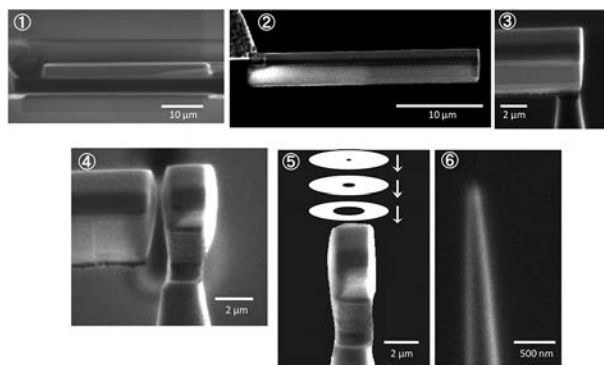


図1 集束イオンビームを用いた3D-AP測定用針状試料の作製方法

TEM観察後のディスク残材などごく小さな試料片からでも3D-AP測定用の試料を作れることが挙げられる。これは、供試材の体積が限られることが多い照射材料を調べる上で利点となる。

3. 原子炉压力容器鋼の照射脆化機構

原子炉压力容器(reactor pressure vessel: RPV)は、核燃料や炉内構造物を格納する大型の容器である。加圧水型原子炉では、压力容器は直径約5m、高さ10~20mであり、厚さ約20cmの低合金鋼で造られている。核燃料や一次冷却水を保持するRPVは、十分な安全裕度をもった健全性の確保が必要な構造物であり、高靱性の鋼材(低合金鋼)を用いて造られている。しかし、長期間の原子炉運転では、炉心からの中性子照射によってRPV鋼は脆化する。RPVを交換することは事実上不可能であるため、RPVの寿命は原子炉プラントの寿命に直結するといつてよい。従って、RPVの脆化量の評価と予測は極めて重要である。そのため、RPV鋼と同等の鋼材で作られた監視試験片が原子炉内に装荷されており、定期的に取り出されて健全性が確認されているが、脆化予測の精度を上げ、予測に機構論的な裏付けを与えることが大切である。これまでの多くの研究から、脆化の主因としては、不純物として含まれるCuを中心としたナノ析出物、照射欠陥、Pなどの粒界偏析などが挙げられている。これらは非常に微細なため、TEMなど従来の実験手法だけでは十分に理解されていなかったが、最近、3D-AP法によって、ナノ析出物や粒界偏析について詳細が明らかになってきた。

図2に、ベルギーの原子炉の監視試験片を3D-APで調べた結果を示す⁴⁾。商用運転中のDoel炉で約25年間まで照射された試料で、照射量は $0.8 \times 10^{19} \text{ n cm}^{-2}$ (約4年照射)、 $3.7 \times 10^{19} \text{ n cm}^{-2}$ (約18年)、 $5.1 \times 10^{19} \text{ n cm}^{-2}$ (約25年)である。照射初期から銅のナノクラスターが形成し、そこにはシリコン、リン、マンガン、ニッケルが濃化することが観察された。約18年照射後には析出物の数密度が増加し、約25年照射後には、析出物の粗大化(寸法が増加し数密度が減少すること)が生じていることも分かった。この結果を基に、Russell-Brownモデルでクラスターによる硬化量を見積もったところ、観察された照射硬化(照射脆化に対応)のおよそ半分程度が溶質クラスターによる可能性が示唆された。

次に、粒界を観察した例を図3に示す⁵⁾。約4年照射後で炭素、リン、モリブデンの偏析が観察され、約25年照射後には、これら元素の偏析がさらに顕著になるとともに、シリコン、マンガン、ニッケル、ヒ素も偏析することが分かった。銅はどちらの照射量でも粒界上でクラスタリングしていたが、マトリックス中クラスター(図2の場合と異なり、粒界Cuクラスターへの他元素の濃化はあまり見られなかった。

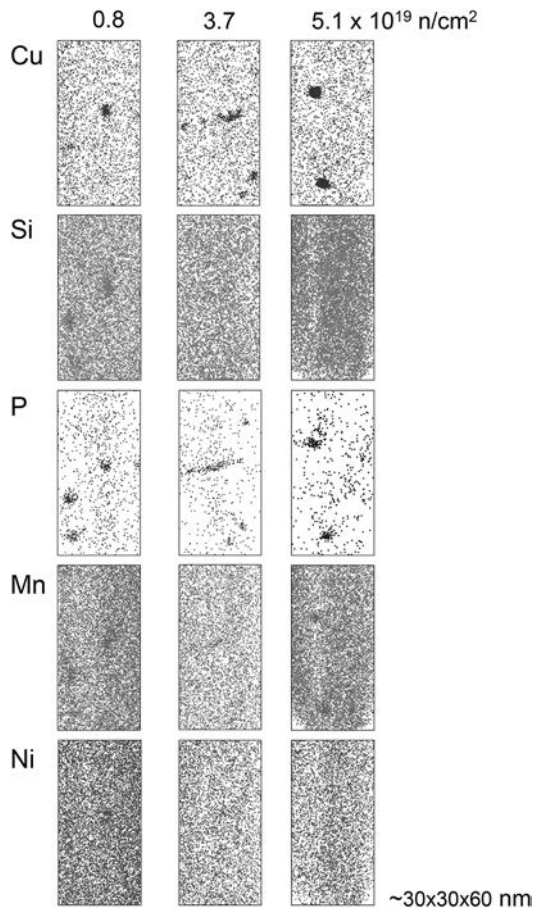


図2 原子炉圧力容器鋼監視試験片の3D-AP観察結果

4. 中性子照射したステンレス鋼の硬化機構

オーステナイトステンレス鋼は軽水炉や高速炉の多くの炉内構造物に用いられるが、中性子照射によって、マトリックスの硬化や粒界の耐食性低下などが生じる。ここでは、商用運転中の Chooz A 炉(フランス)で燃料支持板として用いられた 304 ステンレス鋼の観察例を紹介する⁶⁾。この試料は、過去に TEM 観察を行ったところ、ニッケル-シリコン析出物や転位ループなどが観察されたものの、これらだけでは実際の硬化量を説明することができなかった。そこで、同一の試料を 3D-AP で調べた。その結果を図 4 に示す。マトリックス中にはニッケル-シリコン析出物が多数観察され、その数密度は、TEM で観察されたニッケル-シリコン析出物の数密度よりも一桁近くも高かった。このことから、TEM では観察されなかった微細なニッケル-シリコン析出物が多数存在し、それが硬化に寄与していることが明らかになった。また、粒界では、ニッケル、シリコン、リンの濃化とクロムの欠乏が明確に観察された。炭素の欠乏もわずかに見られた。元素ごとの濃化/欠乏は溶質の拡散機構に強く依存することが指摘されているが、本観察結果はそれを明瞭にとらえたものである。さらに、粒界の近傍 15~20nm には析出物欠乏帯が形成されることも明らかになった。これは、照射下での溶質原子や照射欠陥の移動と消失の機構を理論的な立場から検討する上でも重要な結果になるものと期待される。

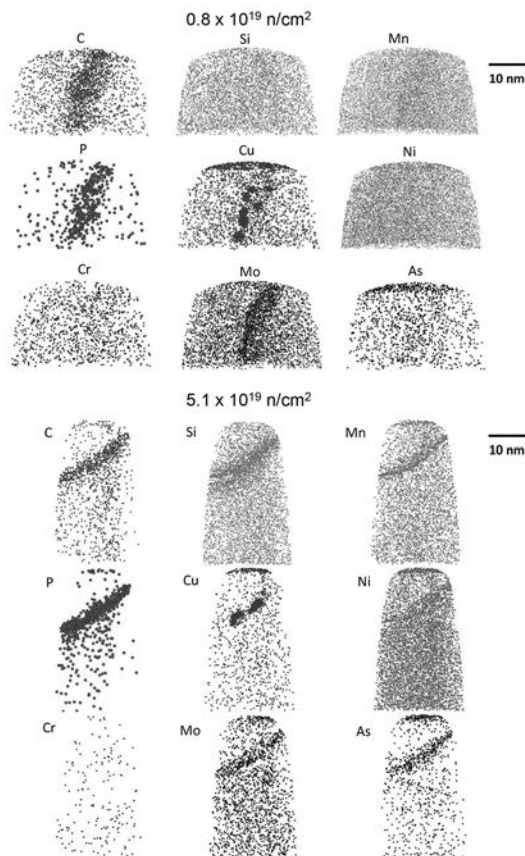


図3 原子炉圧力容器鋼監視試験片中の粒界の3D-AP観察結果

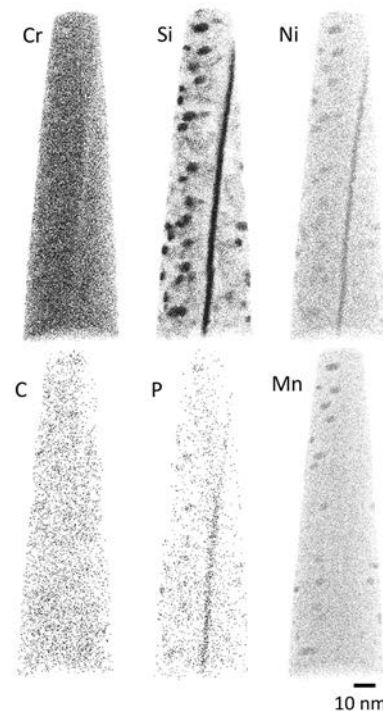


図4 中性子照射された304ステンレス鋼の3D-AP観察結果

Ⅲ. STEM

1. 照射系レンズ・回折ディスク選択装置・検出器の調整

現状、市販化されている透過電子顕微鏡を用いて WB-STEM 観察を実現するには、図 5 に示される Type A もしくは Type B どちらかの光路図を実現する必要がある。照射系のナノプローブ作製は、既設の電子銃設定（引き出し電圧と仮想光源サイズ）に観察試料に最適なコンデンサーレンズ絞り（CLA）を選択する。たとえば、直径 $10\mu\text{m}$ の CLA はプローブ収束半角 $\alpha_p = 5.2\text{mrad}$ を与え、これは試料中の ± 0.3 度の角度揺らぎを平均したコントラストとして結像することを意味する。焦点深度は 680nm と導き出される⁷⁾。この調整は STEM 観察に共通しており、透過電子顕微鏡の利用者には難しくない。次に試料下の偏向コイルと検出器配置を確認する。Type A の結像系の場合、蛍光板（像面）の直下に回折ディスク選択装置と検出器が配置されて、蛍光板の上に位置する結像レンズ系の偏向レンズを用いて、静磁的に回折ディスクの位置あわせが可能であることを特徴とする²⁾。Type B は偏向レンズより上部の対物レンズ絞り（OLA）を回折ディスク選択装置として代用しており、回折ディスクの選択は前述の絞りを物理的に動かして行う。また、前述の対物レンズ絞りは、電子顕微鏡の結像面の基本となるスクリーンから 1m 以上離れた位置にあることも特徴とする。既設の電子顕微鏡でどちらの光路図が実現できるかは、本図を参照にメーカー担当者に問い合わせれば即答される。本稿では、LaB₆熱電界放射型電子銃の汎用型走査透過電子顕微鏡（JEM-2100Plus）で実現した Type B の WB-STEM 観察結果を示す。

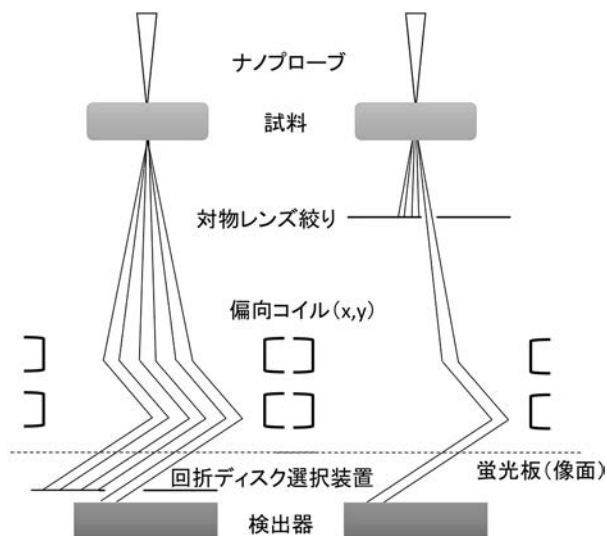


図 5 光路図。左は磁場レンズ制御の WB-STEM (Type A)、右はステップモーター制御の WB-STEM (Type B)

2. 回折図形の撮影と低倍率像の撮影

照射系の調整が終わり、ナノプローブを適当な結晶で停止すると、蛍光板上には図 6(a) に示されるような回折ディスクパターンが観察される。ここで、暗視野 TEM 観察の経験者諸氏は試料傾斜機構を操作して回折条件を探索されることをお考えだと思いが、角度情報平均化した WB-STEM イメージングでは、厳密な回折条件よりも絞りの位置あわせが重要となる。まずは、図 6(a) 中 p1 の位置に段階的に小さな対物絞り（OLA）を入れて低倍率像を撮影する。図 6(b) は p1 の位置に直径 $10\mu\text{m}$ の OLA を入れて撮影した明視野 STEM 像である。ここで、検出半角 $\alpha_d = 5.2\text{mrad}$ は収束半角 α_p と等しくなり、相反定理によりこの明視野像は通常の TEM 像と同等に扱える。ここで、破線で示される領域は、回折ディスクの選択に用いる OLA の絞りの伝播であり、実質的な観察可能領域を制限する。今回のレンズ系の場合、 $10\mu\text{m}$ の OLA を用いた WB-STEM 観察で $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 、厚さ 680nm の領域の転位ループが一度に分析できることが分かる。次に、明視野 STEM 像の中心に破線が来るように OLA 位置を再調整し、図 6(a) の回折ディスクパターンにおいて OLA が透過ディスク p1 から外れていないかを確認する。ここで大きくずれている場合は電子顕微鏡の電流中心もしくは電子銃の機械軸が規定値外であるのでメーカーサービスによる電子顕微鏡の再調整が必要である。

一度、光軸の確認ができれば、日常の観察では変化はほとんど起こらないので、具体的な観察手順は以下に示す回折ディスクの選択から短縮される。たとえば、bcc-Fe 結晶の $[111]$ に沿って電子線を入射した場合、3

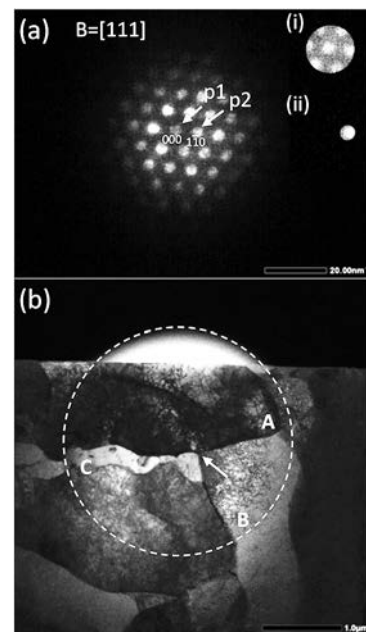


図 6 原子炉圧力容器鋼から測定した (a) 回折ディスクパターン: (i) $30\mu\text{m}$ OLA による透過ディスクの選択, (ii) $10\mu\text{m}$ OLA による 1-10 回折ディスクの選択, (b) 明視野 STEM 像

つの等価な逆格子ベクトルが存在するが、ここでは、回折ベクトル $g=1-10$ を用いて WB-STEM 像を撮影する場合を示す。この回折ディスクは図 6(a)中の矢印 p2 で示されている。Type B では、蛍光板から OLA が 1m 以上離れた位置にあるため、像面上の p2 ディスクとは一致しない。また、そのずれ量はそれぞれの電子顕微鏡の機械軸に起因するもので、結晶学的な対象性を有しない。そこで、図 6(a)-(i)および図 6(a)-(ii)に示されるように 30 μm から目的の 10 μm まで段階的に OLA をダウンサイズしていくことが望ましい。

3. 試料傾斜と WB-STEM 像の撮影

WB-STEM では、回折波同士の干渉効果を除くために 10 μm 程度の小さな CLA を用いる、そのため、回折ディスクパターンは安全に CCD カメラに導入することができる。これは、試料傾斜に伴う回折図形の変化をリアルタイムで観察できることを意味する。CCD カメラでモニターされる回折パターンと STEM 像を確認しながら、二波励起のウィーク・ビーム条件を探索し、図 6(a)-(ii)に示される適切な位置に OLA 絞りを挿入すればよい。図 7(a),(b)にはそれぞれ、ウィーク・ビーム条件 $g=1-10$, ($g, 3g$)において p1, p2 の位置 OLA で撮影した明視野 STEM 像および暗視野 STEM 像である。図 7(a),(b)中の白矢印は図 6(b)に示される旧オーステナイト粒に起因する粒界三重点であり、A,B,C の 3つの結晶子の界面である。このような大傾角粒界は走査電子顕微鏡 (SEM)でも容易に観察されている。また X 線回折では、これらの結晶サイズがシェラー式によって定量されている。しかし、実材料では図 7(a)に示されるように大きな結晶 A の中にも、D-J まで複数のドメインを有していることが分かる。制限視野回折や X 線回折のような平均的な結晶構造解析では、単結晶に見えるが、それぞれのドメインは 0.3 度程度のわずかな結晶方位の違いがある。このようなモザイク結晶では、従来の平面波を用いる TEM では領域 F の転位ループと領域 J の転

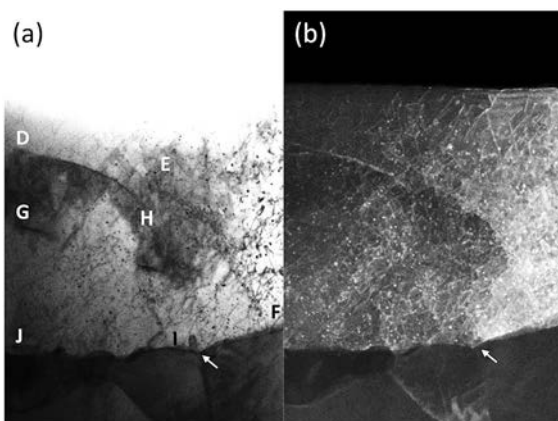


図 7 ウィークビーム条件 $g=1-10$, ($g, 3g$)において、図 6 の p1, p2 の位置 OLA で撮影した明視野 STEM 像および暗視野 STEM 像

位ループを同時に観察することができなかった。対して、図 7(b)の WB-STEM 像では背景の回折コントラストに依存せず、転位ループからの均質なコントラストをイメージングすることができた。これは中性子照射によって原子炉压力容器鋼中に形成する微小転位ループを正確に定量する上で非常に有効な手法であるといえる。

IV. おわりに

本稿では、原子力材料評価のためのマイクロ組織分析技術である 3D-AP 法およびウィーク・ビーム STEM 法を紹介した。実用鉄鋼材料中に中性子照射によって形成されるナノスケールの溶質クラスターや転位ループを精度良く定量評価できることをお伝えできていれば幸いである。なお、これらは別々に存在するだけでなく、溶質クラスター-転位ループ複合体のようにになっている可能性も考えられる。これを調べるためには同一の試料を両手法で観察することが有効であり、3D-AP 針状試料に含まれる転位ループをウィーク・ビーム STEM で観察したのちに 3D-AP 測定を行なうことを現在進めている。これにより、照射下で形成されるマイクロ組織の本質により迫ることができると期待される。

— 参考資料 —

- 1) K. Fukuya, Journal of Nuclear Science and Technology 50, 213 (2013).
- 2) K. Yoshida, M. Shimodaira, T. Toyama, Y. Shimizu, K. Inoue, T. Yoshiie, K. J. Milan, R. Gerard, and Y. Nagai, Microscopy-Jpn 66, 120 (2017).
- 3) 宝野和博, ふえらむ 4, 474 (1999).
- 4) T. Toyama, Y. Nagai, Z. Tang, M. Hasegawa, A. Almazouzi, E. van Walle, and R. Gerard, Acta Materialia 55, 6852 (2007).
- 5) T. Toyama, Y. Nagai, A. Al Mazouzi, M. Hatakeyama, M. Hasegawa, T. Ohkubo, E. Van Walle, and R. Gerard, Mater. Trans. 54, 2119 (2013).
- 6) T. Toyama, Y. Nozawa, W. Van Renterghem, Y. Matsukawa, M. Hatakeyama, Y. Nagai, A. Al Mazouzi, and S. Van Dyck, J. Nucl. Mater. 425, 71 (2012).
- 7) J. Biskupek, J. Leschner, P. Walther, and U. Kaiser, Ultramicroscopy 110, 1231 (2010).

著者紹介



外山 健 (とやま・たけし)

東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
(専門分野/関心分野) 材料照射, 3D-AP, 陽電子消滅



吉田健太 (よしだ・けんた)

東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
(専門分野/関心分野) 電子顕微鏡, 照射欠陥

第4世代原子炉の開発動向

第2回 高温ガス炉

日本原子力研究開発機構 國富 一彦, 他

優れた安全性を有し、950℃の高温熱が取り出せる黒鉛減速ヘリウム冷却型の熱中性子炉である高温ガス炉は、二酸化炭素の排出削減を目的に、発電以外の多様な産業における熱利用が期待されている。日本原子力研究開発機構では、高温工学試験研究炉(HTTR)により高温ガス炉の安全性を実証するとともに、熱利用系の実証に向けた研究開発を進めている。また、産官学と連携して我が国の高温ガス炉技術の国際展開に向けた活動を進めている。本報では、高温ガス炉に関する研究開発の状況及び国内外との協力について紹介する。

KEYWORDS: HTGR, HTTR, Inherent safety, Heat application, IS-process hydrogen production, Gas turbine, International cooperation, HTTR-GT/H₂

I. 高温ガス炉の特長

高温ガス炉は、耐熱性の優れた被覆粒子燃料、減速材に熱容量の大きな黒鉛、冷却材に化学的に安定なヘリウムガスを用いることで原理的に炉心溶融が起こらず安全性が高く、950℃の高温を発電以外の多様な産業利用が可能な原子炉である。

1. 優れた安全性

高温ガス炉の燃料は直径約0.6mmの燃料核を4層のセラミックスで被覆した被覆燃料粒子である。この被覆層は1,600℃の高温でも燃焼に伴い発生する核分裂生成物を安定に閉じ込める機能を有している。この粒子を黒鉛で焼結した燃料コンパクトを黒鉛スリーブに装荷して燃料棒とし、燃料棒を六角柱状の黒鉛ブロックに装荷した燃料体を原子炉圧力容器内に積層し、炉心を構成する(図1参照)被覆燃料粒子及び黒鉛構造材は非常に耐熱性が高く、冷却材喪失時においても健全性を維持し、炉心黒鉛が崩壊熱を吸収して原子炉圧力容器外表面から熱を放出することにより、炉心溶融を起こさない設計が可能である¹⁾。さらに、冷却材のヘリウムガスは高温でも安定な不活性ガスであり、燃料や黒鉛構造物と反応せず、水素爆発等が発生する恐れがない。

原子力機構では、我が国初の高温ガス炉である高温工

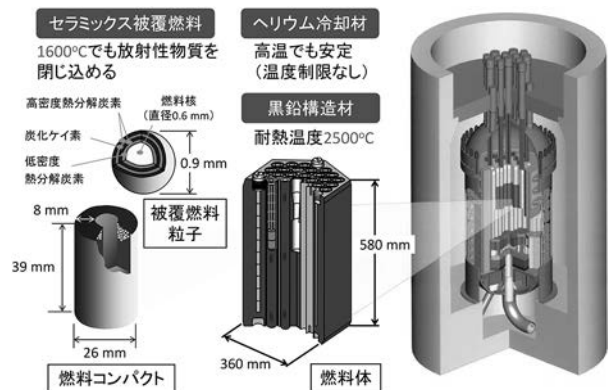


図1 高温ガス炉の構造

学試験研究炉(HTTR)を用いて、この安全性を実証する試験を2002年から実施している。2010年には、出力30%の状態から、ヘリウムガス冷却材の循環機を強制的に停止するとともに、制御棒の挿入による原子炉停止操作も行わない、炉心の強制冷却喪失試験を実施し、ドブラー効果により原子炉は自然に停止し、その後も安定な状態を維持することを実証した。

2. 多様な熱利用

炉心の耐熱性と化学的に安定な冷却材により、高温ガス炉では最大950℃の高温の熱を取り出すことができる。HTTRでは、2010年に原子炉出口冷却材温度950℃50日間の連続運転を実施し、将来の高温熱利用の実現可能性を示した。この熱を高温から低温までカスケードに利用することで、極めて高い熱利用率を達成することができる。例えば、850℃以上の熱を水素製造や化学プロセス等の熱源として利用し、850℃以下の熱でヘリウムガスタービンによる発電を行う熱電併給システムでは、約200℃の発電システムの排熱も海水淡水化等の熱源と

The Development status of Generation IV reactor systems(2); High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR): Kazuhiko Kunitomi, Tetsuo Nishihara, Xing L. Yan, Yukio Tachibana, Taiju Shibata. (2017年10月19日受理)

■前回タイトル

第1回 全体概要

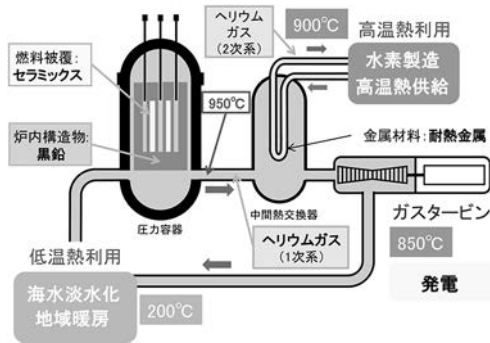
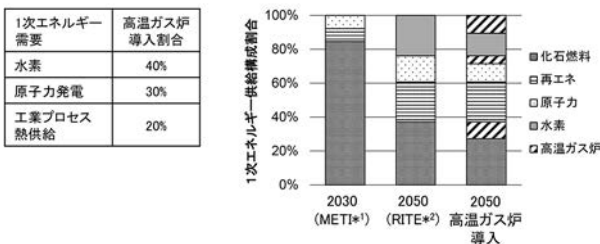
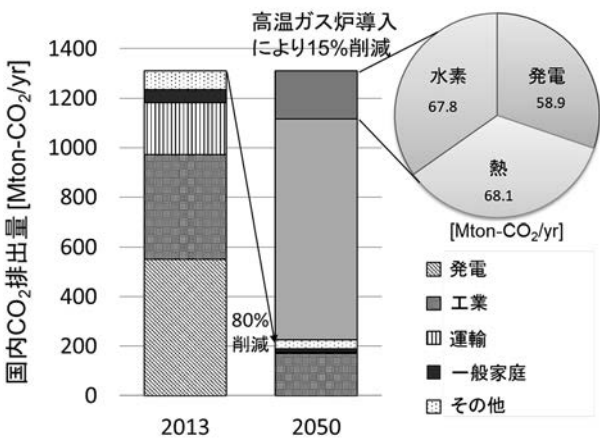


図2 高温ガス炉の多様な熱利用

高温ガス炉の各需要への導入を仮定



CO₂排出削減への高温ガス炉の貢献予測



*1) 資源エネルギー庁、長期エネルギー需給見通し、2015年7月16日
 *2) (公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)、2°C目標と我が国の2050年排出削減目標との関係、2016年3月2日より抜粋

図3 高温ガス炉による二酸化炭素排出削減効果

して利用することにより、システム全体の熱利用率は約80%である²⁾。(図2)熱や水素を発電分野以外で利用拡大することにより、高温ガス炉は我が国の二酸化炭素排出量を最大で15%削減できると評価している。(図3)

II. 国内外の開発状況

1. 国内の状況

(1)産学官との連携

エネルギー基本計画(2014年4月閣議決定)において、高温ガス炉の研究開発を国際協力の下で推進することが国の方針として示された。文部科学省では原子力科学技術委員会の下に設置した高温ガス炉技術研究開発作業部

会の提言に基づき、実用化像や国際協力のあり方等を検討するため高温ガス炉産学官協議会を2015年4月に設立した。これまで5回の会合を開催し、高温ガス炉の実用化戦略や海外戦略について検討が行われた。

また、ポーランド、米国、英国等で高温ガス炉の実証炉や商用炉の建設に向けた検討が進んでいることを背景に、我が国の高温ガス炉技術開発に係る海外戦略を早急にまとめるため、高温ガス炉産学官協議会の下に海外戦略検討ワーキンググループが2017年8月に設置され、我が国の高温ガス炉技術の海外展開に向けたオールジャパンによる国内体制が構築された。

(2)HTTRの再稼働に向けた状況

HTTRでは、2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、新規制基準への対応を進め、2014年11月に原子力規制委員会に原子炉設置変更許可申請を行い、審査を受けている。一方、年に一度原子炉を起動しない試験を実施し、停止中でもデータを取得するとともに運転員の技能維持に努めている³⁾。

新規制基準では、設計基準事故を超える事故や外部事象に関する要求が新設・強化されている。HTTRでは安全性実証試験を含めてこれまでに多くの試験を通して、その安全性について実証データを取得してきた。これらの知見に基づき、新規制基準に対しても合理的な対応を図ってきた。具体的には、重要度分類及び防護対象施設の適切な見直しを行った。耐震評価については、2017年6月に基準地震動が策定されている。

原子炉設置変更許可申請に引き続き、設計および工事の方法の認可、保安規定の認可、使用前検査合格証取得手続きを順次進めていく。

2. 国外の状況

(1)各国における高温ガス炉開発

海外でも高温ガス炉の研究開発が活発化している。

ポーランドは、産業界への熱供給を目的とした商用高温ガス炉(熱出力165MW、2030年代前半運転開始予定)並びにポーランド国立原子力研究センター(NCJB)における研究用高温ガス炉(熱出力10MW、2020年代後半運転開始予定)の2つの建設計画がある。米国は、エネルギー政策法に基づくNext Generation Nuclear Plant(NGNP)計画を推進するNGNP産業アライアンスがブロック型高温ガス炉の国際実証炉開発を進めるPRIME計画を提唱している。英国は、URENCO社が中心となり熱出力10MWのモジュール型実用高温ガス炉(U-Battery)計画を策定し、2020年代中頃の稼働を目指している。

一方、中国はHTTRと炉心の形状が異なるペブルベッド型高温ガス炉を開発しており、蒸気タービン発電を目的とした実証炉HTR-PM(熱出力250MW×2基、

冷却材出口温度 750℃)を建設し、2018年の運転開始を目指している。

(2)原子力機構における国際協力

原子力機構では、我が国の有する高温ガス炉技術の国際展開、国際標準化を目指して国際協力を実施している。

二国間協力では、米国、ポーランド等との協力を進めている。米国とは、民生用原子力研究開発ワーキンググループ(CNWG)の下で、アイダホ国立研究所と先進的原子炉シミュレーションコードの開発・検証、HTTRに接続するガスタービンシステムの設計、評価及び試験計画の検討等を進めている。ポーランドとは、NCBJと燃料・材料特性のシミュレーション手法の開発、熱利用高温ガス炉の設計、高温ガス炉のマーケット評価及び高温技術の一般産業分野への応用に関する検討を開始した。

国際機関を通じた多国間協力では、第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)の超高温ガス炉(VHTR)システムにおいて、燃料、材料、水素製造、計算手法ベンチマークのプロジェクトに参画している。また、IAEAの研究協力計画(CRP)において、高温ガス炉の安全基準の国際標準化に向けた検討を進めている。さらにOECD/NEAにおいて、HTTRを用いた国際共同試験を推進している。

Ⅲ. 高温ガス炉及び熱利用技術開発

1. 高温ガス炉技術開発

(1)安全設計

高温ガス炉では、原子炉の安全確保の原則である「止める、冷やす、閉じ込める」のうち最も重要な「閉じ込める」が他炉型と比較して特に特徴的である。通常、事故時の炉心損傷を想定し気密性が高い原子炉格納容器で放射性物質を閉じ込める設計であるのに対して、高温ガス炉では、被覆燃料粒子の頑健性を活用し、事故時においても被覆燃料粒子の放射性物質閉じ込め機能維持を図る設計が可能としている⁴⁾。

実用高温ガス炉における放射性物質閉じ込めに係る物理的障壁の模式図を図4に示す。



図4 事故時放射性物質閉じ込めに係る物理的障壁

被覆燃料粒子、燃料要素、原子炉冷却材圧力バウンダリおよびコンファインメントから構成される複数の物理的障壁の組合せによって事故時に放射性物質を閉じ込め、規制要求を満足させる概念である。なお、全ての物理的障壁について、必ずしも高い気密性あるいは気密性能維持を期待するものではない。具体的には、燃料要素や原子炉冷却材圧力バウンダリには事故時の気密性は期待しないが、これらを構成する機器内面への放射性物質の沈着による環境への放出低減効果を考慮している。原子炉格納施設については、軽水炉等で採用されている気密性の高い原子炉格納容器ではなく、被覆燃料粒子他による閉じ込め機能を考慮し、気密性能を緩和したコンファインメントを採用している。

原子炉停止系としては、各々が低温未臨界維持の反応度余裕を有する制御棒系と後備停止系の原理の異なる2つの独立した設備を設けている。原子炉スクラム時には、制御棒が重力により炉心内へ落下挿入される。後備停止系は、制御棒が何らかの原因で挿入できない場合にも原子炉を停止できるようにバックアップとして設けられているものである。高温ガス炉では、これらの原子炉停止系を有する設計とするものの、1次系の冷却機能が喪失し、かつ、原子炉スクラムに失敗したような場合でも、原子炉停止に係る系統・機器に頼らず、物理現象のみによって燃料温度が制限温度以下に自然に静定する固有の安全性を有している。

高温ガス炉は、異常時において炉心の温度変化が少なく、かつ、緩慢である特性を持つよう、発熱密度に比して大きな熱容量を有するように設計されている。更に、この特性とあいまって、燃料温度が制限値を超えることなく原子炉圧力容器(RPV)表面からの熱放射と自然対流による残留熱除去が可能ないように設計されている。具体的には、炉心の出力密度を制限するとともに、長尺形状炉心を採用しRPV表面からの熱除去に寄与する外表面積を大きくする設計により、事故時の燃料最高温度を被覆燃料粒子の健全性を維持できる1,600℃以下に保ちつつ、炉内黒鉛構造物の熱伝導、RPV表面からの熱放射とRPV周囲の空気自然対流によって、最終的にRPVの周囲に設置される炉容器冷却設備で崩壊熱除去が図れる設計としている。炉容器冷却設備は、冷却水の強制循環、冷却水もしくは大気自然循環などの方式があるが、実用高温ガス炉の設計では受動的な大気(外気)の自然循環方式を採用し、減圧事故時の燃料最高温度が制限値(1,600℃)を満足できる設計となっている²⁾。

(2)燃料コンパクトの高充填率化

ブロック型高温ガス炉の燃料コンパクトに内包される被覆燃料粒子の体積割合を充填率という。HTTR用の燃料コンパクトの充填率は30%であるが、出力密度向上および燃焼期間の延長を目指し、充填率を向上させた燃

料コンパクトの研究開発を実施している。これまで、充填率 33%の燃料コンパクトを試作し、燃料の健全性確保の観点から重要な被覆燃料粒子の SiC 層破損率、燃料コンパクトの圧縮破壊荷重、燃料コンパクト内の被覆燃料粒子分布の均一性を測定した。その結果、SiC 層破損率は HTTR 初装荷燃料と同程度あるいはそれ以下であり、圧縮破壊荷重は HTTR 規格を満足し、被覆燃料粒子が均一に分布していることを確認した。以上より、充填率 33%の燃料コンパクトの製作技術の成立性を示した。特に、被覆燃料粒子に対する母材原料のオーバーコートプロセスを 2 段階に分けて行うことにより、SiC 層破損率が低減することを明らかにした。これら成果に基づき、燃料コンパクトの更なる高充填率化について検討を進める予定である。

2. 熱利用技術開発

(1) 水素製造技術

二酸化炭素排出量削減に貢献するため、高温ガス炉を用いた水素製造技術の確立を目指して、原子力機構では、ヨウ素 (I) と硫黄 (S) の化合物を用いて水を分解する熱化学水素製造法 IS プロセスの研究開発を行っている⁵⁾。(図 5)

IS プロセスは 3 つの化学反応(ブンゼン反応：水から硫酸とヨウ化水素を生成、硫酸分解反応:硫酸から酸素を生成、ヨウ化水素分解反応：ヨウ化水素から水素を生成)で構成される。(図 6)

まず、反応阻害要因(副反応等)の抽出及び適切な反応

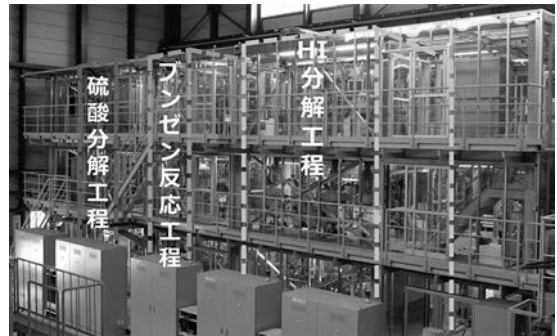


図 7 連続水素製造試験装置

条件(温度、組成)を解明し、1997 年に実験室規模(1ℓ/h)で、24 時間の連続水素製造に成功した。次の工学基礎試験ではプロセス制御技術の開発を行い、この技術により、電気ヒーター加熱によるガラス製水素製造装置の運転をほぼ自動化し、約 30ℓ/h の水素を 1 週間にわたって安定製造することに成功した。

要素技術開発では、熱効率向上に関する研究開発や耐食耐熱機器の開発を進めた。IS プロセスでは経済性の観点から変換効率すなわち水素製造効率の向上が重要な課題である。ブンゼン反応溶液からヨウ化水素を分離する際の過大な熱量を削減するため、陽イオン透過膜を用いた電気透析によって溶液中の HI 濃度を予備濃縮する方法を考案した。本方法での濃縮性能を実験で確認するとともに、選択性、プロトン伝導率を大幅に高めた陽イオン透過膜を開発中である。本プロセスでは、極めて腐食性の強いプロセス流体(硫酸とヨウ素などのハロゲン)を取り扱うため、2010~2014 年度には、実用装置材料を用いて、実環境(腐食性環境、高圧環境)に耐える機器・設備の開発を行い、フッ素樹脂被膜を用いたブンゼン反応器、SiC セラミックス製硫酸分解反応器、ニッケル基合金製ヨウ化水素分解反応器について、硫酸やヨウ化水素環境下での健全性試験を実施した。また、水素製造効率 40%を可能とするプロセスデータを充足した。

これらの成果に基づき工業材料製の連続水素製造試験装置(水素製造量 100ℓ/h, 図 7)を 2013 年度に製作した。本装置は、3 つの化学反応工程毎の環境に耐え得る工業材料を用いて反応器を開発し、装置の全系に、耐食性、耐熱性を有する材料が用いられている。主要材質は、接液部にフッ素樹脂ライニング材、ガラスライニング材、SiC セラミックス、不浸透黒鉛、接ガス部にニッケル基合金(ハステロイ C276)、ステンレス(SUS316)を用い、反応機器を電気ヒーターで加熱し、高温ガス炉からのヘリウムガス加熱を模擬している。

3 つの化学反応工程毎の工程別試験等を実施した後、2016 年 2 月に、水素製造量約 10 ℓ/h で 8 時間の試験に成功し、10 月には水素製造量約 20 ℓ/h で 31 時間の試験に成功した。

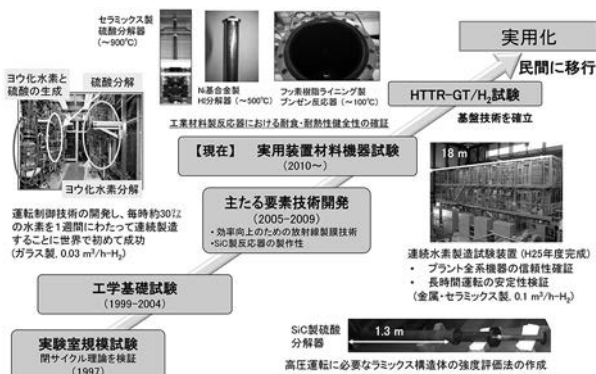


図 5 IS プロセス水素製造技術開発

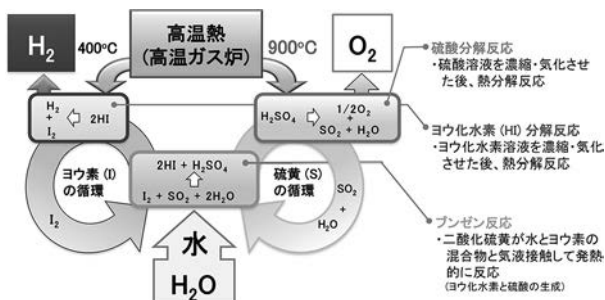


図 6 IS プロセスの原理

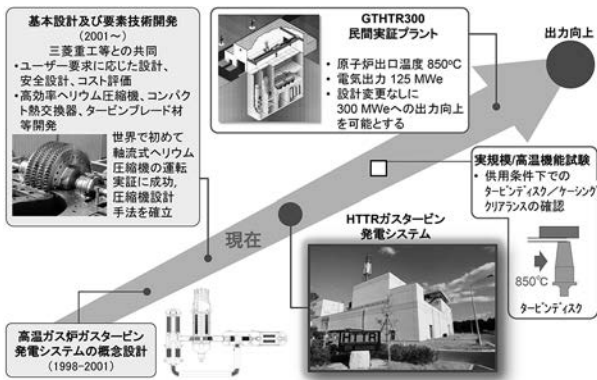


図8 ヘリウムガスタービン発電技術開発

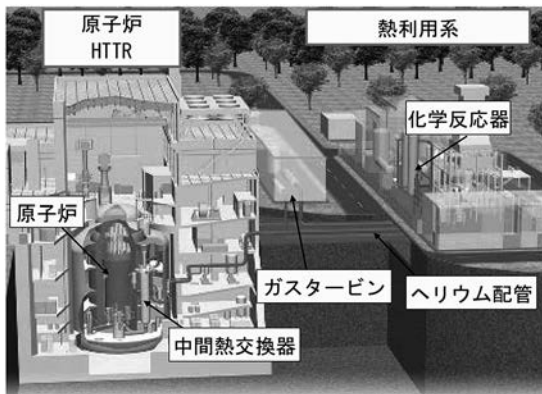


図9 HTTR 熱利用システム

(2) ガスタービン発電技術

原子力機構では高効率発電を目指してヘリウムガスタービン発電システムの検討を進めている⁶⁾。(図8)

ガスタービン発電システムは水・蒸気系が不要ことから発電設備の大幅な簡素化が可能であり、かつ、高温のヘリウムガスを作動流体とすることで発電効率が45%以上で高効率を達成できる。そのため、発電のみを行うシステムでは発電単価が約5.8円/kWh(稼働率80%)と試算されている。これまでに要素技術開発として、高効率発電に不可欠な圧縮機のスケールモデルを用いた開発試験やコンパクト熱交換器の試作等を実施してきた。

(3) 熱利用の実証に向けて

ISプロセス水素製造及びガスタービン発電の実証に向けて、原子力機構ではHTTRに両設備を接続し、総合性能を検証するHTTR-GT/H₂試験の実施を目指している。(図9)

IV. 今後の展開

高い安全性を有し、発電、水素製造など多様な産業利

用が見込まれる高温ガス炉の実用化に資するため、原子力機構では、高温ガス炉の安全性の確証、熱利用技術の確立に資する研究開発を推進していく。さらに産学官との連携を強化し、二国間及び多国間による国際協力も活用して、高温ガス炉技術の海外展開を目指す。また、HTTRについては、速やかに再稼働を果たすよう、新規制基準への適合性確認への対応を進めていく。

— 参考資料 —

- 1) 國富他, 原子力と文論文誌, 1(4), 352-360 (2002).
- 2) X. Yan, et. al, Nucl. Eng. Des., 271, 20-29 (2014).
- 3) D. Tochio, et. al, Journal of Nucl. Sci. Tech., 54 (1), 13-21 (2017).
- 4) H. Ohashi, et. al, Proc. HTR2016, 330-340 (2016).
- 5) S. Kasahara, et. al, Int. J. of Hydrogen Energy, 42(19), 13477-13485 (2017).
- 6) K. Kunitomi, et. al, Nucl. Eng. Des., 333, 309-327 (2004).

著者紹介

國富一彦 (くにとみ・かずひこ)

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター
(専門分野/関心分野) 高温ガス炉の研究開発, システム設計, 安全設計, 安全評価

西原哲夫 (にしはら・てつお)

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター
(専門分野/関心分野) 高温ガス炉の研究開発, 安全設計, 熱利用システムの設計

Xing L. Yan (やん・じんぐろん)

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター
(専門分野/関心分野) 高温ガス炉の研究開発, ガスタービン発電, 熱利用システムの設計・開発

橘 幸男 (たちばな・ゆきお)

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター
(専門分野/関心分野) 高温ガス炉の研究開発, 水素製造技術, 熱利用システムの研究開発, 高温構造設計

柴田大受 (しばた・たいじゅ)

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉水素・熱利用研究センター
(専門分野/関心分野) 高温ガス炉国際協力, 原子炉用黒鉛, セラミック材料

原子炉物理分野の研究開発ロードマップ 2017 — 一次世代が考える炉物理の未来 —

名古屋大学 山本 章夫, 他

炉物理部会の傘下に設置された「炉物理ロードマップ調査・検討」WGにおけるロードマップ策定の概要を紹介する。本ロードマップの特徴は、①次世代を担う若手の技術者・研究者を中心に議論・策定を進めたこと、②現状から類推して課題を設定するフォアキャストアプローチに加え、原子炉物理分野のビジョンとミッションを検討し、これらを達成するために解決すべき課題をバックキャストアプローチにより設定したこと、にある。本ロードマップの詳細は、報告書として炉物理部会のホームページより閲覧可能である。

KEYWORDS: *Reactor physics, Research and development roadmap*

I. 背景

日本原子力学会炉物理部会では、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、「東電福島第一事故」と記述)の後、原子炉物理分野で取り組むべき課題について「炉物理ロードマップ」策定委員会を設置して議論を行った。2012年3月に議論の成果を原子炉物理分野の研究・開発ロードマップとして策定し、炉物理部会の部会報である「炉物理の研究」第64号にて公開した。このロードマップは東電福島第一事故後、約1年でとりまとめられたものであるが、事故後約7年弱が経過した現在の原子力界の状況は、2012年のロードマップ策定時の状況や予想とは大きく異なっている。

そこで、炉物理部会では、2012年3月に策定したロードマップのローリング(更新)作業を2016年度に開始した。このローリング作業の目的は、最新の状況を取り込んで炉物理分野のロードマップを改定するとともに、現在の炉物理の状況および将来の炉物理の姿を関係者で議論し、共有することである。すなわち、ロードマップの策定のみならず、策定に向けた議論そのものが極めて重要であるとの位置づけの下に検討を進めた。

炉物理分野の将来を考える際、社会とのかかわり方を含めて、炉物理分野に期待されること、炉物理分野がなすべきことを明確にしておく必要がある。そこで、今回のローリング作業においては、最初に炉物理分野の「あるべき姿」について議論し、これに基づいて炉物理分野

のビジョンとミッションを策定した。その後、現時点で認識されている課題や問題意識に基づくロードマップの項目の検討に加え、ビジョンとミッションを達成するために解決すべき項目の検討を行った。前者は、現状を外挿する「フォアキャスト」に基づく検討であり、後者は、目的の達成から逆算する「バックキャスト」に基づく検討となる。

一般的に、研究開発ロードマップの位置づけとしては様々なものが考えられるが、今回の炉物理研究開発ロードマップは、その作成過程において炉物理関係者が今後必要となる研究開発課題について議論し、認識を共有することが大きな目的であると位置づけた。また、一般的なロードマップでは項目の優先度が示されている場合が多いが、今回のロードマップにおいて項目として取り上げられたものはいずれも重要な課題であり、優先度については議論していない。

II. ロードマップ策定に向けて

1. ロードマップの策定までの経過

炉物理部会では、今回のロードマップのローリング作業を行う主体として2016年10月に「炉物理ロードマップ調査・検討」ワーキンググループ(以下、WG)を設置した。このWGは計21名(内訳は産業界7、研究機関4、大学関係者10)で構成されており、そのうちの5名で構成される幹事団が活動のサポートを行った。また、WGメンバーに加えて、豊富なキャリアを有する数名のアドバイザーや多くのオブザーバーも議論に加わった。2016年12月のWG会合を皮切りに、4度のWG全体会合と3度の幹事団会合を経て、2017年10月に、改定したロードマップを含むWGの報告書を炉物理部会のホームページに公開した¹⁾。

Research and development roadmap for reactor physics 2017-future of reactor physics projected by next generations : Akio Yamamoto, Go Chiba, Kazuki Kirimura, Yosuke Miki, Kenji Yokoyama.

(2017年12月5日 受理)

WGの活動を進めるにあたって、はじめにロードマップのローリング作業における基本的な考え方の統一を図った。すなわち、①この作業ではロードマップのローリングを通して炉物理の将来について議論することを大きな目的とすること、②「観察(Observe)・方向付け(Orientation)・決心(Decide)・実行(Act)」のOODAサイクルの「決心・実行」の具体化を図れるところまでをWGが実施すること、③炉物理に従事する技術者・研究者が今後の技術・研究開発の方向性を検討する際にロードマップが指標となり得ること、の3点を共通認識として作業を進めることを確認した。

ロードマップのローリング作業の入力情報としては、原子力が現在置かれている状況の整理、2012年に策定したロードマップの振り返り結果(達成状況とその要因分析)に加えて、炉物理分野における現在の課題とそれを解決するための方法、短期・中期・長期において原子力技術を支える炉物理が目指す姿・あるべき姿とそれを達成するための方策とした。これらの内容はロードマップ自体とともに極めて重要なものであり、ロードマップの報告書に記載している。こういった議論を通して、それぞれのWGメンバーは、炉物理分野を広く俯瞰しながら、現在、さらには遠い将来に炉物理が果たすべき役割について思いを巡らすこととなった。

また、WGの報告書の草稿が作成された段階で、部会のメーリングリストへの投稿や、部会の企画セッションでの紹介などを行い、広く部会員から意見を聴取し、最終的な報告書をまとめた。

2. 炉物理分野の「あるべき姿」と、炉物理分野のビジョンとミッション

今回のローリング作業に向けた準備として、バックキャストの基準となる炉物理の「目的」をメンバー間で共有するため、炉物理のあるべき姿について議論を行った。

議論を行うにあたり、事前にアドバイザー、オブザーバーを含むWGメンバー全員に対してアンケートを行った。このアンケートは、「2020年、2030年、2050年の炉物理のあるべき姿」に関して意見を記述する自由形式で実施した。この時期設定は、2020年は手が届く未来、2030年は廃炉・再稼動などの実績が現れ状況転換が起こりうる未来、2050年はエネルギープロファイルが変わるなど大きな変化が起こりうる未来という考えに基づくものである。

アンケートで得られた個々の意見は様々な分野にわたっており、また、将来の状況変化に対する予測や、あるべき姿が達成される時期等について意見が分かれる部分も多くあった。しかしながら、得られた意見には共通する内容も多く、議論を通し最終的に①一般的に期待される「あるべき姿」(炉物理に期待される内容)、②2012年に策定したロードマップの分類に対応する「あるべき

姿」(技術的な達成目標)の2つの観点に整理された。ロードマップへの反映の観点では前者は主にバックキャストに資する内容であり、後者はフォアキャストに資する内容である。

また、「そもそも炉物理は何をするための学問なのか?」という、より大局的な見地から俯瞰する議論がなされ、本質的には原子炉の物理をマルチフィジックス的にカバーするものであるとの考えが示された。

これらを受けて、各人が考える「炉物理のあるべき姿」をミッションステートメント(共有すべき価値観や果たすべき使命等を示す簡潔な文章)の形で改めて意見集約することとした。この集約結果は最終的に「炉物理のビジョンとミッション」としてまとめられた。

この「炉物理のビジョンとミッション」は炉物理部会の基本方針の位置付けともなるものであり、それ自体が重要な意義を持つものである。また、ロードマップへの反映という観点では、バックキャストにおける究極の「目的」となる。

<炉物理のビジョンとミッション>

炉物理のビジョン

原子核分裂反応を主とした中性子と原子核の相互作用を中核とする学術分野において、原子力システムで発生する様々な物理現象ⁱを深く理解し、安全に制御することにより、人類社会の健全かつ持続的な発展に寄与する。

炉物理のミッション

- [1] 人類社会に対する核燃料物質の資源価値を最大化し、客観的な指標ⁱⁱとともに人類社会にとって最適な原子力利用のあり方を提示する。
- [2] 安全性の向上を最優先とすることを前提に、原子力利用のライフサイクルを通じたエネルギー安全保障性・環境調和性・経済性を向上させる利用方法を追求する。
- [3] 原子力システムで生じるマイクロレベルからマクロレベルに至る様々な物理現象を対象とし、その理解の精度を高める。
- [4] 原子炉が原子炉たる理由を説明できる唯一の学術分野であることを念頭に、学術及び技術分野としての炉物理を発展させながら後世に引き継いでいく。
- [5] 人類社会にとって有益な原子核反応の活用方法を追及するⁱⁱⁱ。

ⁱ「物理現象」は熱水力挙動や燃料の機械的挙動など、従来の炉物理の範疇の外にあるものを含んでいる。

ⁱⁱ「客観的な指標」は、具体的には社会の立場に立って、社会に対して責任を持って発信できる情報。

ⁱⁱⁱ「原子力エネルギー利用を中核としつつも炉物理の裾野を広げるという意味でその対象範囲を拡張する」とも言い換えられる。

注釈にも示しているが、「炉物理のビジョンとミッション」策定にあたり、炉物理が従来の炉物理の枠に囚われないマルチフィジックスを追求する志向を有していることがWGにおいて度々議論された。すなわち従来の炉物理は、マルチフィジックスを追求する上で扱われる一物理現象を対象として扱う分野として理解されてきたが、種々の物理現象を連成する技術を含め、より裾野の広い学問分野であるべきことが再認識された。

また、裾野が広いということ認識するだけでなく、積極的に関連分野を見つけ、その関連を強化していることが炉物理の発展に必要であり、それが原子力のより安全で効率的な利用に資するということが認識された。これらに関係者が集い認識を共有したということは、「炉物理のビジョンとミッション」策定の大きな成果の一つでもある。

Ⅲ. 今回作成したロードマップの概要

今回作成した炉物理ロードマップ(以下、2017RM)は、2012年に作成したロードマップ(以下、2012RM)と同様に制度基盤、人材基盤、施設基盤、技術基盤の4つの大分類で構成されている。

1. 制度基盤

2017RMにおける制度基盤のロードマップの中・小分類の項目を表1に示す。最終報告書には小分類の各項目の内容として、概要、取り組むべき理由等の、より詳細な情報が記載されている。2017RMの制度基盤の特徴としては、東電福島第一事故を踏まえた規制基準の見直しが行われていることを受けて、法令・指針、民間規格・基準等に対して、炉物理の知識・技術を適切に適用・活用することで、原子力安全の向上に貢献するという観点から、多くの項目が提示されていることが挙げられる。例えば、中分類②の臨界事故評価手法標準の策定においては、リスクの大きさに応じたグレーデッド・アプローチに繋げていくための検討について述べられている。また、東電福島第一事故の燃料デブリ除去における未臨界管理等については、当初、制度基盤の一項目として挙げられていた。その後、具体的な技術開発が必要と判断されたものもあり、一部の内容については、更に詳細化さ

表1 炉物理ロードマップ2017年度版「制度基盤」の項目

中分類①：法令・指針	<ul style="list-style-type: none"> 指針体系見直しに対する貢献 規制体系における国際基準との整合性確認
中分類②：民間規格・基準	<ul style="list-style-type: none"> 解析コードに対するトピカルレポート制の活用と拡大 臨界安全管理における反応度クレジット適用手順等に関わる標準の策定 クリアランス判定基準の高度化 臨界事故評価手法標準の策定 燃料デブリ除去に関する未臨界標準の策定

れて技術基盤の項目として再構成された。その他、複数の項目に共通する特徴としては、適正な安全余裕の設定に関する言及が挙げられる。例えば、中分類②のクリアランス判定基準の高度化では、高精度核計算と実測データの活用による安全余裕の適正な設定手法を規格・標準に反映できるように取り組むことが重要であると言及している。

2. 人材基盤

2017RMにおける人材基盤のロードマップの中・小分類の項目を表2に示す。人材基盤は7つの中分類と17の小分類により構成されている。中分類の人材像の提示では、炉物理を専門とする技術者・研究者が目指すべき人材像を提示する上で、原子力工学全体を俯瞰する能力の重要性を指摘している。これは、原子力利用が炉物理以外の分野も含む総合工学に基づいており、炉物理の知識やスキルのみでは原子力安全を達成することができないということを認識すべきであるという議論の結果に基づいている。現在、専門分野の細分化と深化による専門家の「蛸壺化」が危惧されているが、原子力の専門家もそれを身近なものとして再認識する必要がある。また、炉物理を専門としない人材に対する人材像の提示も小項目にあるが、これは原子力工学の専門家として有すべき炉物理の素養を示すことも重要であるとの認識に基づく

表2 炉物理ロードマップ2017年版「人材基盤」の項目

中分類①：人材像の提示	<ul style="list-style-type: none"> 炉物理を専門とする人材に対する人材像の提示 炉物理を専門としない人材に対する人材像の提示
中分類②：公衆理解・初等教育	<ul style="list-style-type: none"> 一般向けの、原子力技術・放射線・核反応に関する平易な教材の開発 炉物理に興味を持った人向けの情報発信ツールの開発 炉物理の基礎学習のための導入的な教材の開発
中分類③：専門教育	<ul style="list-style-type: none"> 原子力安全を学ぶためのマルチフィジックスを含む炉物理教材の開発 臨界安全を学ぶための教材の開発 炉物理教材のデータベース化 炉物理講義要領の作成 炉物理の様々な話題に関する教育機会の提供
中分類④：技術伝承	<ul style="list-style-type: none"> コード開発・整備分野における技術継承 炉物理実験分野における技術継承 原子炉設計に関する設計思想・技術の継承
中分類⑤：機関・分野横断的な活動	<ul style="list-style-type: none"> 炉物理分野における機関横断的な人材育成環境の整備 核データ・放射線工学・熱水力・材料基盤等の他分野と連携した分野横断的な人材育成
中分類⑥：国際的活動の推進	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍する若手研究者育成のための海外研究交流の支援
中分類⑦：炉物理実験施設の利用・提案	<ul style="list-style-type: none"> 人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理研究施設の提案

ものである。また、これらの人材像の提示に関連して、人材を育成するための様々な教育パッケージ(例えば原子炉過渡事象時の核・熱・機械挙動を学ぶための教材や、臨界安全の考え方を学ぶための教育プログラムや評価ツール)の開発も複数盛り込まれた。さらに、東電福島第一事故を契機とした安全性向上の機運の高まりを受け、公衆理解・初等教育への取り組みに関する項目や、炉物理分野を担う人材に対する技術伝承についての項目も挙げられた。加えて、国内で利用可能な炉物理実験施設が減少し、それらを活用した研究を通じた人材育成の機会が失われつつある状況を鑑み、炉物理実験施設の利用・提案も人材基盤の中項目として挙げられた。これは、炉物理研究者の育成のためには炉物理実験を通して炉物理を実際に肌で感じ学習することが必要であることや、将来のニーズに即した新しい炉物理実験施設の設置により、炉物理研究の可能性が広がっていくことを反映したものである。

3. 施設基盤

2017RMにおける施設基盤のロードマップの中・小分類の項目を表3に示す。施設基盤の2017RMの検討が開始された時期は、東電福島第一事故を受けて、研究炉・実験炉がほぼすべて停止している状況であった。更に、現行規制基準対応を考慮して、老朽化した施設の多くが次々と廃止検討施設と位置付けられると公表された時期とも重なった。このような状況の下で関係者は強い危機感を持ち、安全性が確認された現行施設の着実な活用と技術維持が大前提であるとした上で、限られた資源でいかにして多様なニーズに応えていくべきかという観点から検討を行った。例えば、中分類①の2つ目の小分類の項目は、今後、安全性向上のための新材料の導入や運転条件の高度化、燃料デブリ関連の臨界安全技術開発等に関連して幅広いニーズが出てくることを想定した内容となっている。また、中分類⑤の項目は、今後、実機プラントの廃止措置が進むことを想定し、廃炉過程における実機プラントの最大限の活用方法の検討などを意識した取り組みを提案するものとなっている。なお、施設基盤の2017RMのその他の項目に共通する特徴的な点

表3 炉物理ロードマップ2017年度版「施設基盤」の項目

中分類①：臨界実験装置の維持・高度化及び新設
・臨界実験装置、及び同装置での測定技術の維持 ・臨界実験装置で模擬できる臨界及び未臨界状態の範囲拡大
中分類②：研究炉・実験炉の維持・高度化及び新設
・同上
中分類③：ホットラボの維持・高度化及び新設
・同上
中分類④：加速器施設の維持・高度化及び新設
・同上
中分類⑤：実機を活用した測定技術開発及びデータ取得
・実機プラントの研究のための有効利用

としては、人材育成の観点を強調している点が挙げられる。臨界実験を通じた若手研究者を対象とする次世代育成が難しくなっているという観点だけではなく、安全性の観点から高度な技術を持つ技術者・運転者の人材確保や実験・測定技術の継承の観点からも内容の更新が行われている。

4. 技術基盤

2017RMにおける技術基盤のロードマップの中・小分類の項目を表4に示す。技術基盤では、2012RM策定以降の研究動向の概要、今後必要な研究要素、及び当該の研究により得られる効果(波及効果含む)を追記するなど、記載の拡充、及び詳細化を行った。具体的には、解析手法の高度化に伴い重要性が高まっている不確かさ評価技術について、2012年以降、核データ起因の不確かさ評価技術に関する研究が精力的に実施されており、今後は解析コード及び手法に起因する不確かさの評価技術の進展が望まれることが述べられた。福島第一の燃料デブリ取出しに関する研究を通じて重要性や必要性が高まっている解析技術として不定形体系の解析手法の高度化へ

表4 炉物理ロードマップ2017年版「技術基盤」の項目

中分類①：解析技術
・安全余裕の定量評価技術 ・不確かさ評価技術 ・原子力システム安全性向上のためのマルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術 ・マルチフィジックス・マルチスケールシミュレーション技術を用いた他分野への貢献 ・インベントリ・放射化・遮蔽高精度評価技術 ・未臨界と判定できる実効増倍率の決定方法 ・炉心解析技術の高度化 ・不定形体系の解析手法の高度化 ・臨界事故評価手法の開発
中分類②：実験技術
・実験測定技術の高度化及び現有施設の活用 ・未臨界度の絶対値測定手法 ・臨界実験以外の実験データの拡充 ・既存の実験データや測定データを利用した検証ベンチマークの拡充 ・今まで測定できなかった項目や検討してこなかった体系に関する新たな実験の提案 ・核セキュリティ対策
中分類③：データベース
・核設計コードの標準(検証用)ベンチマーク問題の整備 ・核データ評価技術の継承と高度化 ・共分散を含む高品質の核データ整備 ・国産標準コードシステムの開発、国産核データ処理コードの整備 ・MAや長寿命核種などを対象とした微分実験(核データ測定)及び臨界実験の拡充
中分類④：将来的なニーズを満たす原子炉に関する技術
・核変換 ・固有安全炉 ・Thサイクル ・高速炉サイクル ・医療利用や放射線利用を目的とした原子炉・中性子源

の取り組み、及び未臨界度絶対値の測定技術に関する研究の進展についての期待が述べられている。また、炉物理分野以外への中性子応用の取り組みに係る研究として、医療利用や放射線利用にも炉心解析技術が活用でき、高度化が期待されることが述べられている。なお、中分類④については、炉物理のビジョンとミッションを達成するためのバックキャストから多くの項目が設定されている。

IV. ロードマップに基づくアクションプラン

前述したように、今回組織したWGでは、OODAサイクルのうち「決心(Decide)・実行(Act)」の具体化を図れる部分までを担うことを基本的な考え方の一つとした。新たに更新したロードマップを有効に活用するために、具体的な道筋(アクションプラン)もWGで提示しよう、というものである。紙面の都合上、以下では最も詳細に検討した人材基盤のアクションプランの概要を述べる。

人材基盤については、部会としてのアクションを比較的高くしやすいという性格を持っていることから、具体的なアクションプランを提案した。ここでは、炉物理部会の下部組織として、部会長をリーダーとする「人材基盤WG」を立ち上げることを提案した。部会長と有識者数名程度のメンバーで構成されるこのWGでは、ロードマップに挙げられた項目のうち炉物理部会として取り組むべきものについて実際のアクションを行う。例えば、人材像の提示や炉物理講義要領の作成、若手研究者のための海外研究交流支援などがこれに該当する。また、WGの下に個々の項目に応じてサブグループ(SG)を組織し、炉物理部会の有志で構成されるそのSGがロードマップで挙げられた項目の実現を図ることを提案した。2017RMでは、炉物理に関わる様々な教材・ツールの開発が項目として挙げられており、それに関心を持つ部会員が積極的にその実務に関わっていく、というものを想定している。WGの報告書には、人材基盤のアクションプランとして、項目毎に実施主体(人材基盤WG/SG)と実施すべき時間スケールが整理されている。また、新たに有効なアクションを起こす、すなわち「ビルド」することに加えて、これまでに部会として実施してきた人材育成に関わる事業について、その内容を精査し、必要があればそれらを「スクラップ」することの重要性も指摘している。

V. まとめと展望

炉物理部会において策定した炉物理研究開発ロード

マップ2017年版(2017RM)の概要を紹介した。本ロードマップは、現状からの外挿により課題を設定するフォアキャスト及び到達すべきゴールから解決すべき課題を設定するバックキャストの手法を用いて設定されており、今後の炉物理分野の研究開発を検討する際に有益な情報となるものと考えている。策定の中心となったWGメンバー以外にも本ロードマップが共有され、様々な主体が研究開発の方向性を検討する際の情報として活用して頂けることを期待している。

本ロードマップは、炉物理分野の次世代を担う若手の研究者・技術者が中心となって議論策定を進めたものであり、日常の多忙な業務に埋没しがちな若手研究者・技術者が改めて原子力及び原子炉物理の長期の将来について意見交換を行える場となったことは、本ロードマップ策定の一つの大きな目的が現時点で既に達成されていることを示している。

炉物理部会としては、特に人材基盤を中心として、提案したアクションプランに今後取り組んでいく予定である。また、外的環境の変化に合わせ、今回と同様に定期的にロードマップを改定していくが必要になると考えている。

— 参考資料 —

- 1) 原子炉物理分野の研究開発ロードマップ
<http://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/roadmap/index.html>

著者紹介

山本章夫 (やまもと・あきお)

名古屋大学 工学研究科
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 原子力安全

千葉 豪 (ちば・ごう)

北海道大学 工学研究院
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 核データ, 放射線輸送計算

桐村一生 (きりむら・かずき)

三菱重工業
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 炉心管理, 計算コード開発

三木陽介 (みき・ようすけ)

テプコシステムズ
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 炉心管理, 臨界安全

横山賢治 (よこやま・けんじ)

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 核データ, 計算コード開発

学会誌アンケート結果サマリ(2017年6~12月号)

日本原子力学会誌では2016年秋よりアンケートを行っており、いただいた回答については、順次結果を紹介しています。今号では2017年6月~12月号に対して寄せられた回答の概要と、これまで編集委員会に寄せられた意見や要望の概要および編集委員会による対応について紹介します。

I. アンケート回答者のプロフィール

1. 回答者数の推移

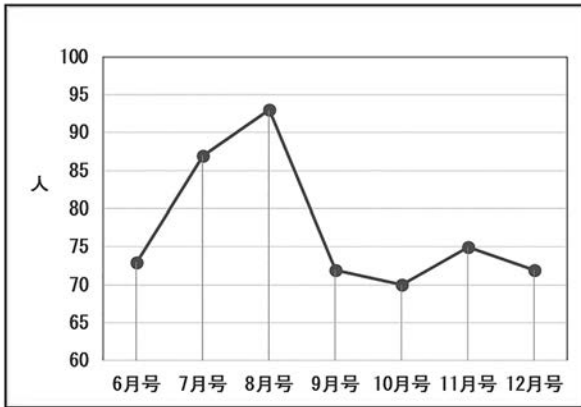


図1 回答者数の推移(2017年6~12月号)

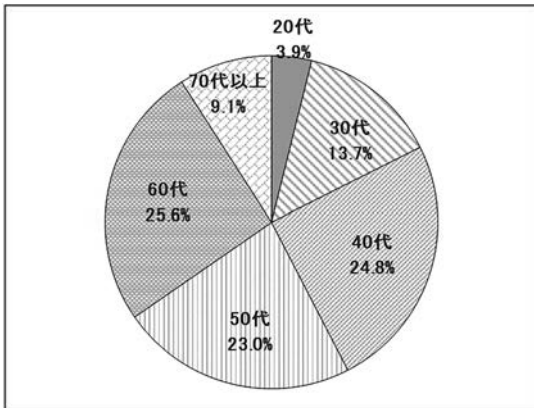


図2 回答者数の年齢構成(2017年6~12月号)

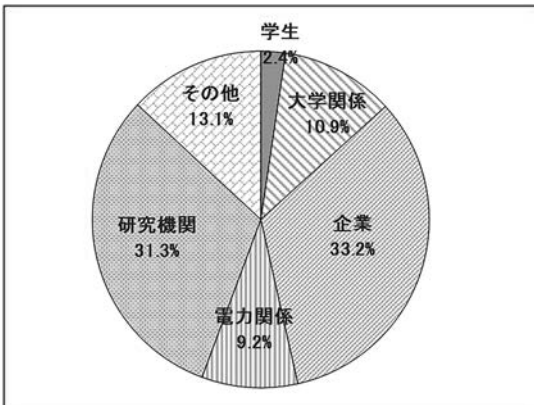


図3 回答者数の所属組織(2017年6~12月号)

II. 集計結果

1. 各号で好評だった記事(上位5件)

表1 6月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	巻頭言	21世紀最大のイノベーションは原子力にある	40
2	時論	高速炉研究開発を見直すチャンス 足が地に着いた戦略を	32
3	解説	「じわじわ」被ばくの発がん影響を動物実験で明らかにーモデルマウスを用いて低線量率被ばくに起因する発がんリスクを直接的に評価	31
4	From Abroad	Scientific Wanderlust Across The Ocean 海の向こうの研究放浪記、アメリカ国立研究所編	27
4	解説	日本の原子力における人材育成の現状と課題ーフランスの原子力人材育成に学ぶ	27

表2 7月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	解説シリーズ	解説シリーズ「世界の原子力事情」(1)原子力推進姿勢を堅持する英仏	41
2	座談会	廃炉関連の人材育成には戦略的な連携をー若手指導者、学会の情報共有と発信に期待	33
3	解説	廃止措置に挑む JAEA 橋本遠隔技術開発センター	30
4	解説シリーズ	地政学的リスクとエネルギー 第1回シェール革命と変貌する石油地政学	29
5	巻頭言	知識社会における技術	25

表3 8月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	巻頭言	ドイツ電力自由化「核電気」100%のメニューあります！」	66
2	時論	ドイツのエネルギー転換 その現状と文化的背景	62
3	時論	危機に立つ日本の科学技術	48
4	解説シリーズ	世界の原子力事情(2)原子力の開発利用をめぐる米国の動向	34
5	特集	30年後の絵姿を描くための技術開発をー除去土壌は2千分の1まで減容化濃縮	24

表4 9月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	報告	10万年間の安全とはー社会環境との接点を考えるー使用済燃料直接処分も含めた高レベル放射性廃棄物地層処分に関わる諸課題と提言	26
2	時論	「フクシマの教訓」と早稲田大学ふくしま広野未来創造リサーチセンターの挑戦	22
3	時論	福島県の環境を回復し、新たに創造する	18
3	解説シリーズ	地政学的リスクとエネルギー 第2回 米国新政権のエネルギー・環境政策	18
5	解説	次世代リチウム資源循環型社会の実現へー核融合研究の新たなイノベーション	17

表5 10月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	巻頭言	福島第一原発事故の科学的検証が日本の原子力の科学力・技術力を向上させる	40
2	時論	福島の甲状腺検査は誰のためのものか	38
3	時論	不可知の説明責任	32
4	インタビュー	3.11後、社会から最も信頼されたサイエンティストが解き明かした福島の実態-早野龍五氏に聞く	31
5	解説	福島事故の背後にあるもの	28

表6 11月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	時論	削減か存続かで悩む原発大国フランス	44
2	報告	福島第一原子力発電所の津波による非常用交流電源喪失についての追加検討	27
3	巻頭言	エネルギー政策決定の要諦とは	26
4	時論	「あり合わせでどう切り抜けるか」- ONEPIECEのリクルーティングから 原子力界のレジリエンスを考える	22
5	解説シリーズ	地政学的リスクとエネルギー 第3回 中国のエネルギー需給と地政学的影響	21
5	解説シリーズ	「世界の原子力事情」(4)世界の原子力を牽引する新興4カ国(中露印韓)	21

表7 12月号で興味を引かれた記事

順位	記事種別	タイトル	回答数
1	巻頭言	放射性廃棄物の地層処分を実現するために	32
1	時論	安全の確保はリスクの管理から	32
3	解説	組織文化に根ざす原子力安全の課題	25
3	解説シリーズ	「世界の原子力事情」(5/最終回)途上国は原子力に傾倒-新規導入国時代へ	25
5	報告	福島県における東日本大震災に伴う関連死に関する検討	24

Ⅲ. 学会誌に対するご意見

学会誌アンケートでは、①学会誌の記事企画や記事の内容についての意見、②今後、学会誌に掲載を希望する記事、③編集委員会への要望や意見 の3種類の自由記入欄を設け、学会員のご意見を伺っています。

今号ではこれまで、まだ紹介していない意見や要望の主なものを紹介します。

【学会誌の記事企画や内容について】

- ・このようなアンケートを依頼されたら、もっとまじめに学会誌を読む必要を感じた。
- ・今回、初めて学会誌を妻に見せた(巻頭言の記事内容に興味があると思ったため)。学会誌という位置づけ上、難しいかもしれないが、家族にも見せたいと思うような記事が年に数回あってもよいと思う。
- ・もう少し、図式をふやした方が読みやすいと思う。
- ・科学的な記事の割合をふやしてほしい。
- ・原子力は総合科学なので、記事の分野が総花的になるのは致し方ないかもしれないが、もう少し、基礎科学的な内容の記事があった方がよいと思う。
- ・学会会合の予定のページを充実させてほしい。
- ・研究放浪記は面白かったです。

【今後、学会誌に掲載を希望する記事】

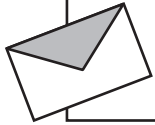
- ・規制の整合性に関する課題の整理。
- ・1F事故に係る国内外の動向を引き続き期待しています。
- ・1F事故後、7年間を経過した。長期停止している原子力発電所の機器設備の管理報告の実態について希望する。設備の老朽化、機能低下の防止策等を知りたい。再起動後のプラントとしての安全面の確保は大丈夫なのか心配である。
- ・1F事故での除去土壌についての最終的な処分や再利用について、国の方針の明確化を。
- ・避難後の住民の現状や希望をふまえた企画を。
- ・原子力学会では春の年会や秋の大会でさまざまな発表がなされている。それらを分類別に概要や傾向を定期的に報告できないか。また、5年ぐらいを区切りとして、主な分野の傾向の推移を報告できないか。
- ・データ改ざん等、品質マネジメントがらみの問題が多発しているので、事実確認と今後の展開を企画してほしい。
- ・原子力に関する研究が、他の産業分野にどのように貢献したかについての記述を。
- ・核燃料サイクル座談会を希望する。
- ・最新の技術開発など、科学雑誌的なものと面白みのある記事がほしい。
- ・原子力技術の継承をどうすればよいか。
- ・テロ対策等は、2020年東京オリンピックに向けて準備しておく必要がある。これらの関係について、テロ対策に詳しい他学会に協力を求めてはどうか。
- ・国内外の現場で実際に採用され、効果が発揮されたO & M(運転管理・保守点検)の新商品の紹介や、開発されたものが実際の現場において実現されることの難しさの事例を希望する。
- ・LNTの動向、核セキュリティ、国際動向、知の統合の紹介を希望します。
- ・原子力と社会心理学の融合を。
- ・連載講座が順調に掲載されることを希望します。
- ・これまで通り、さまざまな意見を取り上げてほしい。

◇

学会誌アンケートではさまざまなご意見をいただいています。至近では原子力の技術的側面に関する重厚な記事と、時事に関連した読みやすい社会的側面に関する記事の掲載を求めるものがあります。前者については昨年からはじめた各分会による連載で、学会が関わっている各分野の専門的な内容を深掘りする企画を進めています。また、後者については座談会などにより、時宜に応じた企画を随時行っています。

さらに学会誌には、当学会の活動全体を総括するような活動への期待もあります。編集委員会ではこれらについても、そのためにどのようなことができるかを検討していきます。(本誌 小林容子)

理事会だより



総務担当理事のお仕事とは？

理事の2年を振り返って

理事を拝命して2年半程度が経過しました。私は「総務担当理事」をしており、「総・労・経」の關係の業務が多くなりますので、事務局の皆様とお話をする機会が増え、今までなじみの薄かった事務局の方々とお知り合いになれたことが、良かったことと考えております。

もう一つ感じているのが、2年以上も過ぎたのに今更かと、お叱りを受けそうですが、「学会というのは、そもそも何でしょう？」ということなのです。

それは、事務局の方々から相談される内容の多くが、会員皆様からの旅費などの清算に関するもので、「ルール通りの申請ではないが、特別な理由がありそうで支払ってよいか？やっぱ、だめか？」というような内容だからです。7,000名以上の会員がおり、委員会、支部、部会、連絡会などの組織も45もあり、種々の問合せがある中で事務局の方も困った末に相談にきますので、頼りない理事ながら、頑張ってお答えしております。

学会理事というとアカデミックに近い業務が多いのかなあと感じていましたが、少しイメージが違っておりました。なお、自分がアカデミックというものから遠い存在だとは認識しておりましたので、このような仕事の方が、お役に立てるので良いかと思っています。

学会の目的・事業

それでは「学会とは？」ということですが、私自身は30年程度を原子力業界に身をおいてきましたが、電力会社社員として働いてきましたので、あまり学会活動にはなじみがなく、毎月送付されてきます学会誌アトモスと春と秋の大会、また、仕事に有難い根拠となる「標準」を発行しているところ程度の認識でした。

そこで「学会とは？」に対して回答を求めため、学会の憲法というべき定款を読みました。定款には、目的として「公衆の安全を優先させて、原子力・放射線の平和利用に関する学術・技術の進歩をはかり、成果の活用と普及を進め、環境の保全と社会の発展に寄与すること」となっており、事業としては、目的を達成するため、「会員の研究活動促進と会員相互の情報交換」、「会員組織による学術および技術の調査・研究」を行い、また、小職になじみのありました「標準の制定・改廃」、「年会、大会、シンポジウムなどの開催」、「会誌、論文誌などの刊行」などを行うことが定められています。

私なりの言葉にしますと、会員の皆様は、日々一生懸命に仕事や勉強に取り組まれていると思うのですが、そ

れをお助けするため、会員相互の情報交換や連携の場、また、役立つ情報を提供するところが学会であり、その運営も会員自身がお互いにやってみようというところだと考えます。

総務担当理事のお仕事

上記のとおり、学会は会員皆様の自発的活動(ボランティア)で成り立っています。しかし、ボランティアとはいっても、会務に必要な業務を実施いただいた場合、旅費などの経費をお支払することになっています。

当然ながら、このような費用は、皆様からいただいた会費から支払うこととなります。すなわち、会員相互のお金であり、公平かつ適切な支払いとなるようにルールを定めて運用することが重要になります。

総務担当理事の分担が規程で定められていますが、1番目が「定款および諸規程に関する事項」となっており、ルールを公平かつ誤解がないようわかりやすくしていくことが重要とっております。しかし、最初に記載した通り、ルールの不明確さからか、組織での運用を定めている事例も散見され、事務局から相談がある状況です。(なお、経費節約のため、ルールより少額申請もあり、学会に貢献しようという事例もあります。)

このような状況を踏まえ、会員間の公平性を高め、かつ、より一層明確になるよう「旅費・謝金規約」を改定いたしました。改定の主な内容は、社会情勢を踏まえて「宿泊費を地域ごとに分けて一律支給」また、学会が相互交流を自発的に行う場との観点から「原則として謝金は学会員に支払わない」ことを明確にしました。

なお、規約の範囲外や基準を超える額は支給しないことが原則ですが、特別な理由により規約外の支給が必要な場合、総務理事の承認を得ることも定めております。

また、「飲食費の支出の規約」、「海外旅費規約」も同様の主旨で改定をしております。

ルールのことを種々述べて恐縮ですが、皆様の公平性を確保するため必要なことですので、何卒ご理解をお願いいたします。また、本会は「会員の、会員による、会員のため」のものであり、会員の皆様によって支えられて成立します。今後とも、積極的なご参加とご協力をお願いいたします。

(理事 藤澤 義隆)

2017年12月号に掲載の理事会だよりについて、
訂正記事をP.61に掲載しました。