

巻頭言

- 1 冷戦後の秩序構造は 2014 年初頭から急速に変化 森本 敏

時論

- 2 気候変動問題を解決するのは原子力発電

原子力のあるリスクより原子力のない世界がもたらすリスクのほうが大きい。 山本隆三

- 4 「高レベル放射性廃棄物処分政策法」制定 16 年に想う—地層処分技術の社会への定着に向けて— 坪谷隆夫

- 6 日本の安全規制はどこまで安全になったか

我が国の安全規制は事故前に比べると格段に改善されたが、まだ改善の余地が残されている。

諸葛宗男

座談会

- 13 「どうする? もんじゅ」—エネルギー面での自立は、国の存続の根幹に関わる

「もんじゅ」勧告の問題は日本の核燃料サイクルのあり方や、日本のエネルギー政策の行く末に関わる。本座談会ではエネルギー面における技術的な自立は国の存続の根幹に関わる重要事項であり、「もんじゅ」を放棄することは技術立国そのものの基盤を危うくするとの懸念が示された。

金子熊夫, 坂田東一, 田中伸男, 藤家洋一
澤田哲生



特集 今後のエネルギー利用の長期視点 (2)

- 22 高い核拡散抵抗性を有するプルトニウム

「もんじゅ」は余剰プルトニウムを効率的に燃やしながら、同時に核拡散抵抗性の高い軍事転用困難なプルトニウムを増殖することができる。 齊藤正樹

- 25 加速器駆動システム (ADS) 導入による核燃料サイクルの展開—ADS 階層型核変換システムについて

高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術として、分離変換技術が着目されている。ここでは核変換専用の加速器駆動システムを導入した核燃料サイクルについて述べる。 岡嶋成晃, 辻本和文

- 28 ImPACT プログラム「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」を起点として

内閣府の革新的研究開発プログラムに採択された「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」の概要を述べる。 藤田玲子

解説

- 31 2015 年 NPT 運用検討会議における核不拡散と原子力平和利用をめぐる議論

会議では核軍縮、核不拡散、平和利用という NPT の三本柱の間の「グランド・バーゲン」という構造の重要性が改めて認識された。 秋山信将

- 37 変動電源のシステムコスト—もうただ乗りは許されない

太陽光や風力などの変動電源は電力システム全体に与える影響が大きいため、発電端における発電コストだけを見ているとコストの全貌をつかむことができない。 小野章昌

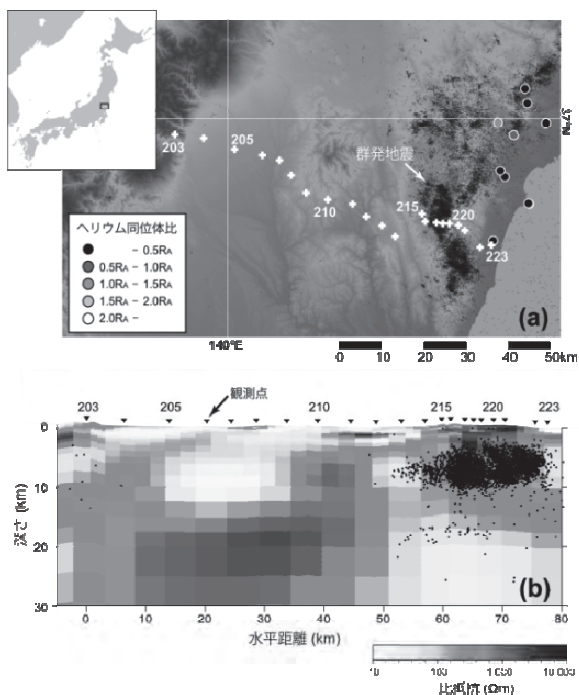
- 41 地層処分に適した安定な地質環境について—地層処分の安全性を担保する地質環境の安定性とは—

高レベル放射性廃棄物の地層処分の性能に影響する地層や地質環境の安定性とはどういうことなのか。

増田純男

45 地球科学の原子力安全への貢献(1)地球科学からみた地殻流体と地層処分技術への応用

地質学, 地球物理学, 地球化学などの地球科学の分野における最先端の理論と技術を活用した地層処分および耐震安全の研究開発の現状を, 2回にわたって紹介する。
梅田浩司, 浅森浩一

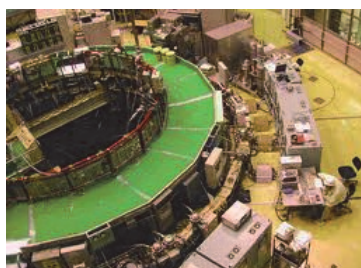


福島浜通り群発地震震源域のヘリウム同位体比 (上) と比抵抗断面図 (下)

TOPICS

研究炉の再稼働めざし各機関が連携を

日本原子力学会の上塚寛会長は1月13日に年初会見を開き, 新規制基準の適用などにより研究炉全機が停止している現状に対し, 人材育成の上で懸念があるとした上で, 規制に合理的に対応するために研究炉をかかえる研究機関や大学が連携する必要があると述べた。原子力学会の「研究炉等の役割検討・提言分科会」(主査: 上塚充副会長) がまとめた中間報告をふまえたもので, 国に対しては, 研究炉使用済燃料に対する措置や次期研究炉の新設を含めた研究炉の役割や今後の戦略の明確化を求めた。



左は原子力機構のJMTR

8 NEWS

- 日本とインドが原子力協力で基本合意
- 再処理事業実施で「認可法人」設立へ
- 廃炉基盤研究プラットフォームが発足
- 海外ニュース

報告

50 屋内退避か?避難か?災害対策における緊急時モニタリングの役割

2015年秋の大会では, 原子力災害対策指針が求めるモニタリングの内容や課題, 事故時に地元県が行ったモニタリングの状況や教訓, 日本気象学会の提言などが紹介された。

山澤弘実, 木村秀樹, 小山吉弘, 岩崎俊樹

56 原子力リスク研究センターシンポジウム2015開催報告

シンポジウムでは原子力のリスクを専門家と社会がどの様に認識し, 低減していくことができるかについて議論を深めた。

佐藤 清

会議報告

62 第16回原子炉熱流動国際会議 (NURETH-16) 報告

古谷正裕

理事会だより

63 学会組織運営と会員サービス

- 55 From Editors
- 61 新刊紹介
- 64 会報 原子力関係会議案内, 「2016春の年会」見学会, 意見受付公告について, 英文論文誌 (Vol.53, No.2) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

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

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

冷戦後の秩序構造は 2014 年初頭から急速に変化

巻頭言



拓殖大学教授，防衛大臣政策参与 安全保障スペシャリスト
森本 敏（もりもと・さとし）

防衛大学校卒。防衛庁入省。外務省在米大使館一等書記官，拓殖大学教授，防衛大臣などを歴任。専門は安全保障，防衛問題，国際政治。

先の大戦後，国連がつくられ，国連憲章の違反を認定し必要な措置を決めるために安保理事会ができた。しかし，この安保理常任理事国(P-5)に拒否権を認めたことにより，国連の機能は破綻をきたしている。冷戦終焉後のおよそ25年に，湾岸戦争，ボスニア紛争，アフガン戦争，イラク戦争，ウクライナ紛争等があり，2014年以降はイラク・シリア情勢が緊迫し，世界中でイスラムテロが横行している。核使用への懸念も広がり，核不拡散努力が進んでいるが現実には，核保有国も原子力平和利用を進める国も増え，核のリスクは深刻である。イスラムテロ，サイバー・宇宙空間での不法活動も急速に増え続けている。

2014年初め以降，急速に国際秩序が変化してきた。それはロシアと中国が軍事力を使って国際法に基づく国際秩序に挑戦する活動を進めたことによる。ロシアは2014年以降，非国家主体を装ったロシア軍によってクリミア併合，ウクライナ紛争への介入を進め国連は何の機能も果たせず，米・EUなどが各種の制裁をかけ，ロシアは国内経済に打撃を受けてきた。

そのロシアが9月30日，米国中心の有志連合軍がシリア内のISIL(イラクとレバントのイスラム国家：2014年6月にイスラム国と改名したスンニ派過激勢力)空爆を進めていたところに介入し，対シリア空爆を始めた。ロシアの狙いはISIL攻撃ではなく，シリア内にいる反体制勢力を撃破し，アサド政権の勢力回復を図ると共に，シリアを戦略拠点にして米国を排除し中東政策のリーダーシップをとり，ウクライナ問題による閉塞感から脱却することであろう。米国中心の有志連合軍はロシアがISIL攻撃を表向きの理由にしている限り，11月13日のパリ同時テロを受けた米欧はロシアを排除できない。同時にロシアは，石油，天然ガスを中国，インドなどに輸出するほか，原発をサウジアラビア，エジプト，UAEなどに建設する計画を推進するなど欧米に対抗する政策を積極的に進めている。

一方，中国は2014年当初から南シナ海の南沙諸島に人工島を埋立て，3000m級滑走路(3本)を含むインフラ整備を進めている。米国はじめアジア・太平洋諸国の多くが懸念を表明しているが，中国は，「南シナ海の島嶼は古代から中国の固有の領土。埋め立てた施設は軍事化しない」(9月25日習近平主席)と主張し，諸外国の懸念を無視したので，米国は，10月27日，イージス駆逐艦ラッセンをスビ礁12海里内に航行させ，FON(航行の自由)作戦を示威したところ，中国はこれに反発し，米中関係には緊張状態が生まれつつある。また，中国も原発について仏・英などに資金提供し，アジア・南米・アラブなどに原発輸出を進めている。

このように，ロシア，中国が2014年以降，力を背景とした秩序変更をとりつつ，一方では，石油・天然ガスおよび原発の取引などによって途上国との緊密な関係を構築しつつある。こうした力の行使とエネルギー・原子力移転が両輪のごとくに進んで国際社会の不安定さが高まっているが国連は実効性ある措置は取れない。この問題は今後，ますます深刻化するが，国連安保理改革を進めるか，地域的枠組みを発展させるか，価値観を共有する国々との有志連合で対応するか，同盟に依存するか，などの選択肢について決断を迫られる。原子力はこのような流動的な国際情勢の中で国家が政策を選択する際，どうしても優先的に確保しておかなければならない抑止の手段であり，国家としての重要な生命保険であることは銘記されるべきであろう。

(2015年12月3日記)



気候変動問題を解決するのは原子力発電



山本 隆三 (やまもと・りゅうぞう)

常葉大学 経営学部教授

京都大学卒。住友商事地球環境部長、プール学院大学教授などを経て2010年4月から現職。『経済学は温暖化を解決できるか』(平凡社新書)、『脱原発は可能か』(エネルギーフォーラム新書)などの著書あり。

2015年11月30日から、パリにおいて気候変動枠組み条約第21回締約国会議が開催された。COP21と呼ばれる会議の議場には、国際機関、研究所、NPOなどがブースを設けていた。ブースを展示している多くの組織が訴えているのは、二酸化炭素の排出を抑制し気候変動、温暖化を防止するための政策あるいは仕組みだが、その大部分は再生可能エネルギー推進と森林保全だ、原子力による気候変動政策推進、温暖化防止を訴えているブースはただ一つ、国際原子力機関(IAEA)しか見当たらなかった。

世界の温室効果ガス(GHG)排出量の3分の2以上は、エネルギー起源のGHGであり、その約40%は電力部門からの排出によるものだ。エネルギー起源のGHGの排出を抑制することが、今後の気候変動政策では極めて重要だが、多くの組織は再エネ推進には熱心だが、同じ低炭素電源である原子力には冷淡だ。原子力には事故の懸念があることなどがその理由だが、今後の気候変動対策を効率よく進めるには、原子力の活用は欠かせない。原子力のあるリスクより原子力のない世界がもたらすリスクのほうが大きいのだが、COP参加者の多くは原子力のリスク評価を理解していないようだ。気候変動問題に関する現在の取り組みと原子力の役割を簡単に解説したい。

気候変動問題への世界の取り組み

気候変動は地球規模の問題であり、世界各国が協力して取り組まなければ、その効果はない。1997年に合意された京都議定書では、先進国と市場経済移行国と呼ばれた旧ソ連と東欧の国が排出量に関し義務を負ったが、対象となったGHGは全世界の排出量の4分の1に過ぎず、議定書が対象にした期間、2008年から12年の世界の排出量は、義務を負わなかった中国などの新興国のエネルギー消費増により、大きく増加した。

実効性のある取り組みのためには、全ての国、特に排出量1位の中国と2位の米国、の参加が必須であった。

さらに、京都議定書では排出量の抑制に関し何ら責任を負わなかった途上国のなかでも、中国などの新興国はなんらかの義務、負担を行うべきと先進国は考えた。

まだ貧しい途上国が気候変動により受ける被害を軽減するために、先進国は資金面の援助を行うことも約束している。先進国と途上国が協力し取り組む目標は、産業革命以来の気温上昇を2度あるいは1.5度(現時点ではCOPは終了しておらず、どちらになるかは不明)に抑制することであり、そのためには、欧州連合は全世界の二酸化炭素(CO₂)排出量を2050年に半減させる必要があるとしている。

世界では、72億人のうち27億人が薪などのバイオマスで料理をし、13億人が電気のない生活をしている。今後途上国のエネルギー需要が増加するなかで、CO₂排出量を抑制することには困難が伴うが、その方策には次のようなことがある。①エネルギー効率を改善する②運輸部門のCO₂排出量を電気自動車、燃料電池自動車により削減③エネルギー供給源を低炭素の再エネ、原子力に切り替える④ビル、住宅を省エネにするなど。

多くの先進国は、再エネの導入によりCO₂を削減する一方、自給率を向上させ、さらに環境ビジネスまで育てようと目論見、再エネ支援政策、固定価格買取制度を導入したが、欧州主要国は再エネ支援策を見直した。電気料金上昇という大きな弊害がでてきたためだ。

再エネによる気候変動対策が難しい理由

再エネで気候変動を防止することは、再エネのコストが高いため導入量に限度がありいまの技術では無理だ。再エネの発電コストは、設備費の下落を受け年々低下している。風力発電のコストは、火力発電と同等レベルまでになった。しかし、再エネのコストは発電以外の部分が多いのだ。電気が需要家の手元に届くためには、システムコストと呼ばれる送電のコストが必要だ。

システムコストには、送電設備のための投資から周波数安定のための費用まで含む。この費用はOECD(経済

開発協力機構)のデータでは、原子力で1kWh当たり0.14から0.31米セントだ。火力との比較で負荷追従に時間が掛かる原子力のシステムコストは火力より少し高くなっている。

一方、風任せ、太陽任せで常に発電できない再エネでは、再エネの導入比率の上昇に伴い送電量を安定させるためのシステムコストは上昇する。例えば、ドイツで陸上風力のシェアが30%になったと想定した時のシステムコストは1kWh当たり4.4米セント、太陽光発電シェアが30%と想定したシステムコストは8.3米セント、英国で洋上風力が30%シェアに達した時には4.5米セントになる。

再エネのシステムコストを低減するためには、蓄電池機能を持つ揚水発電などを利用し、発電量を安定化することが必要になるが、安定化の費用は発電コストに追加して発生するため、やはり再エネの総コストを押し上げる。結局、大きな技術革新がないと、電気料金の上昇を避けつつ大量の再エネを導入し、CO₂の排出を抑制することは無理なのだ。新興国を中心としたエネルギー需要増に応えつつCO₂排出を抑制するには、当分の間原子力を活用するしかないことになる。

原子力発電が果たす役割

2013年世界のエネルギー起源のCO₂排出量は、322億トンだった。内訳は、石炭から143億トン、石油113億トン、天然ガス66億トンだった。発電部門からの排出量は135億トン、石炭から99億トン、石油9億トン、天然ガス27億トンだった。

気候変動問題に対処するためにはGHG排出量の大幅削減が必要とされるが、IEA(国際エネルギー機関)は、現状の政策が継続され気温上昇が3.6度に達すると予想されるケースから、気温上昇を2度に抑制するケースまで幾つかのケースを想定している。現状の政策を継続し、CO₂排出量が最も多いケースでは、2030年の世界のCO₂排出量は13年比13%増加すると予想されている。最もCO₂排出量を抑制するケースでは30年のCO₂排出量は13年比21%減少する。特に発電部門での排出量は47%減と想定されている。

いずれのケースにおいても原子力発電設備量は2013年の3億9200万kWより増加する。政策継続ケースで、25年の設備量4億8900万kW、30年5億4300万

kWとみられている。CO₂排出量を抑制し、2度上昇を目指すケースでは、25年5億2900万kW、30年6億6000万kW、40年8億6200万kWと想定されている。原子力が伸びる背景には、大きな電力需要の伸びを価格の不安定な化石燃料だけで賄うことが難しい中国、インドなどの新興国のエネルギー事情もある。

原子力の課題

気候変動問題に対処するためにも、世界は当分の間原子力に頼らざるを得ないが、原子力には安全基準と廃棄物処理という課題もある。福島第一の事故以降、世界の多くの国において安全に関する規制は強化されたが、ここでは、今後の原子力発電所の建設に関する経済性の問題を考えたい。経済性に大きな疑義があれば、原子力の利用を行うことが難しく、気候変動問題に対処不可能になる可能性がある。

2003年に32億ユーロ(4300億円)の予算で、09年の運転開始を目指し工事が開始されたフィンランド・オルキルオト原発(172万kW)の運開は18年に遅れ、工費も85億ユーロ(1兆1500億円)に膨らんだ。工事を手掛けたアレバは、EDF(仏電力公社)に加え三菱重工業に支援を仰ぐまで追い込まれてしまった。

いま、原子力発電所の建設コストは、欧州では1kW当たり5500から6000ドル、米国では5000ドル、中国では3000から3500ドルと言われている。100万kWの設備であれば、7200億円から3600億円の投資になる。投資額でみれば、十分に他の電源と競争可能だが、問題は工期にある。IEAの最も建設が少ないケースでも毎年1000万kW以上の原子力発電設備が建設されなければならない。最も新設が多いケースでは年間2000万kW以上の工事が必要だ。

IEAによると、80万から120万kWの設備の工事期間は40ヶ月から72ヶ月とされている。しかし、これは工事に豊富な経験を持つエンジニアリング会社と建設会社が請け負った場合だろう。福島以降、先進国においては原発の工事は一時中断し、経験の蓄積が中断した。今後気候変動対策を深化させるには、原発工事を遅れなく進めることが極めて重要になる。原子力技術を保有する日本のエンジニアリング会社、重工会社が世界の気候変動問題への対処の鍵を握っている状況を、我々はよく認識する必要がある。(2015年12月8日記)



「高レベル放射性廃棄物処分政策法」制定 16 年に想う —地層処分技術の社会への定着に向けて—



坪谷 隆夫 (つばや・たかお)

日本原子力学会・シニアネットワーク連絡会副会長

動力炉・核燃料開発事業団(現・日本原子力研究開発機構)東濃地科学センター所長を経て理事・環境技術開発推進本部長, 原子力環境整備促進・資金管理センター理事を歴任。その間, 地層処分国際研修センター(スイス)設立理事, 国際原子力機関放射性廃棄物技術委員会委員等を務める。

はじめに

平成 12 年(2000 年)5 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関わる法律」(最終処分法)が国会で圧倒的多数を持って成立して 15 年を経過した。最終処分法は, 原子力発電に伴い発生する高レベル放射性廃棄物の処分という特定の原子力課題について, その政策を定めた画期的な法制度と言える。最終処分法は, それまでの研究開発段階から事業段階を迎えるにあたり, 最終処分技術として地層処分を選択する上で避けて通れない, 国の役割, 最終処分を実施する責任機関の設立と役割, 最終処分費用の確保, 最終処分地の選定など政策の規範を示している。

最終処分法は, その土台を技術にあつては動力炉・核燃料開発事業団(1998 年に核燃料サイクル開発機構に改組)を中心にとりまとめられた「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性」(いわゆる「第 2 次とりまとめ」, 1999 年)および社会・経済的な課題については原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会がとりまとめた「高レベル放射性廃棄物処分に向けた基本的考え方について」(いわゆる「処分懇報告」, 1998 年)によっている。

筆者は, この法律の制定に技術的な根拠を与えた地層処分研究開発の当事者として法案策定過程に関わるとともに衆議院商工委員会における審議の参考人として陳述する機会を得てきた。さらに, 最終処分法制定後, 全国各地の学生や市民による最終処分の学習会にも継続的に参加し, 草の根の現場で参加者と共に最終処分について学んできた。学習会の参加者は, 高レベル放射性廃棄物や地層処分技術に関わる疑問・不安とともに「原子力発電で高レベル放射性廃棄物が出ていたのに, 今までなにをしていたのか」, 「地下に埋めるより地上に置いておく方が安心」, 「最終処分の責任の所在が分かりにくい」, 「結局, 強引に処分地を決めるのではないか」など最終処分の技術的な選択肢, 地層処分に向けた経緯や制度に関

わることなど多岐にわたる誤解, 疑問, もしくは不安を述べている。最終処分法が制定されて 15 年を経た現在も, 高レベル放射性廃棄物を安全に管理する技術として地層処分技術を利用するとする共通の土俵(ソーシャル・フレーミング)が国民や地域社会に整っていないことを伺わせる。瑞浪市や幌延町における深地層研究施設が, 処分場になるのではないかという風評に曝され続けていることもフレーミングが整っていないことと無関係ではない。

1. 進まぬ最終処分地の選定

今まで, 国および NUMO は最終処分法に則り最大限の努力を重ねてきたといえる。しかし, 既に多量の高レベル放射性廃棄物が累積しているうえ, 処分地選定が進展する目処が立たないままに時間が過ぎてきた。さらに, このような状況から政府は, 内閣官房長官を中心とする最終処分関係閣僚会議を設置(2013 年)し新たな取り組みを進めることになった。7 年ぶりに改訂された最終処分基本方針(2015 年)は, 国が科学的に有望な地域(科学的有望地)を示すとともに全国および地域において国が主導した対話活動などを進めることを打ち出している。特に, 最終処分法に原子力発電環境整備機構のミッションとして定められている文献調査をはじめとする処分地選定に先だって, 事実上, 最終処分地選定の重要な一歩となる科学的有望地を国が示すことになったことは注目できる。

それでは, このような施策で原子力開発に対して国民が抱く大きな不安の要因となっている高レベル放射性廃棄物問題が解決に向かうのであろうか。

2. トランス・サイエンスと情報の非対称性

高レベル放射性廃棄物の地層処分技術は, 放射性廃棄物を将来の長い時間と深い地下環境を利用して隔離する人類があまり経験したことがない科学技術であり, それは「トランス・サイエンス」の領域にある科学技術である

と指摘されている。トランス・サイエンスもしくはポスト・ノーマル・サイエンスと呼ばれる領域にある科学技術は、21世紀になって社会科学分野で研究が進んできたが、この領域の科学技術は、意志決定に際し人々の価値観の相違から利害の対立を生みやすい技術やシステムの不確実性が高い技術が含まれる。牛海綿状脳症(BSE)、脳死、地球温暖化などがその例としてあげられているが、このような社会の判断が分かれやすい科学や技術の取り扱いには国民から国家の意思が問われるため高度な政治判断が必要とされる。さらに地層処分は、経済学用語として定着してきた「情報の非対称性」の著しい技術である。情報の非対称性とは、例えば株の売買、先進的な医療などで経験する、知識が送り手の側に偏在し、受け手との間に大きな知識のギャップが存在する状態を指す。商品取引や医療の分野では情報の非対称性を埋める、人々の不安を緩和する様々な対策が試みられている。社会の信頼なくして進めることができない最終処分政策では、情報の非対称性を埋めるためにも、自主的な調査を実施する法的権限を備え、国民や地域社会と技術の仲介(メディエーション)などを担う技術監視組織が必要とされている。地層処分技術は、ポスト・ノーマル・サイエンスであり情報の非対称性が著しい技術であることを十分に認識した制度設計が極めて重要である。

3. 最終処分法制定後の社会環境の変化

日本が最終処分法を制定した当時と現在の間には、このような社会科学分野などにおける重要な進歩だけでなく、国内外で地層処分に関わる大きな社会環境の変化があったことも見逃せない。

第1に、2011年3月の東日本大震災に続く原子力事故を引き金に原子力開発や放射線問題に社会の眼が厳しさを増していることが挙げられる。特に、環境の放射能汚染や低線量放射線問題は、健康影響への「恐れ」から、自分たちの土地が汚染されたうえに福島県外からの風評を取ることができない国などへの「怒り」に変わってきている。

第2に、最終処分法は、その目的を「発電に関する原子力に関わる環境の整備をはかる」としている。しかし、最終処分法制定後、2003年に日本が批准した「放射性廃棄物等安全条約」は、放射性廃棄物対策の目的として、その第1条に「人間の健康、環境の保全、将来世代への責任」をうたっている。今後の原子力発電政策の如何を問わず避けて通れない高レベル放射性廃棄物の最終処分政策や事業に国民が信頼を寄せるためには、最終処分の本質的な目的が「人間の健康、環境の保全、将来世代への責任」であることを最終処分法の基本理念として明示することが国民の信頼を得る第一歩ではないかと考える。

第3に、最終処分法は処分地選定をはじめとする最終処分の実施責任機関として、民間の発意に基づく認可法人を「原子力発電環境整備機構」として設立することを求

めている。高レベル放射性廃棄物は原子力発電事業者が発生させているとする発生者責任、民間活力の有効活用などを重視した処分懇報告を踏まえたものである。電気事業者が設立した原子力発電環境整備機構(NUMO)が、現在唯一の実施責任機関である。最終処分法は、商業用原子力発電由来の放射性廃棄物の地層処分事業を原子力発電環境整備機構の役割としているが、一方、日本原子力研究開発機構法で、最終処分研究開発は核燃料サイクル開発機構を引き継いだ日本原子力研究開発機構の役割としている。その結果、最終処分技術に関わる人材や説明能力が分散しているだけでなく、原子力発電環境整備機構に研究開発機能が与えられていない。原子力機構の深地層研究施設は政治的に機微な問題を抱えているが、15年以上にわたり整備してきた世界的な研究施設をNUMOが人材育成や技術習得の場として使えないことは合理的でない。最終処分事業および研究開発を総合して実施する事業法人であって初めて、最終処分に関わる人材の集約や育成および説明責任が強力に備わった最終処分実施機関が実現し、最終処分の責任の所在が分かりにくいとの国民の不信に 대응することができよう。最終処分事業には、発生者責任や経営の効率性を求める以上に専門性を備えた高いガバナンスや信頼性が求められているのではないと思われる。

第4に、20世紀終わり頃までに欧米諸国における高レベル放射性廃棄物の最終処分地選定は、大きな政治的・社会的な混乱を経験した。同じ頃にEUで顕在化したBSEなどのトランス・サイエンス領域の社会問題の解決を見据えて、国民や地域社会が意志決定プロセスに参加して問題解決に当たる仕組みを採り入れるとするリスク・ガバナンス研究が実施された。最終処分事業でもその成果を応用する試みが積極的に展開されたことが、最終処分計画に大きな進展を見せている要因となっている。このような最終処分政策は、北欧や欧州各国にとどまらず、北米にも広がるグローバル・スタンダードになっている。

おわりに—社会の信頼をめざして

最終処分関係閣僚会議の設置や新たな基本方針は、最終処分地選定の方法の見直しや国が主導した対話活動の本格化など重要事項を含み望ましい方向といえる。しかし、最終処分政策は国民や地域社会の信頼なくして進めることができない。最終処分の理念、最終処分地選定の方法、強力なガバナンスを与えられた実施責任機関の実現、意志決定プロセスなどについて、最終処分法の改正が望まれる。原子力事故により原子力開発に国民の厳しい目が向かっているときこそ、最終処分法の抜本的な改正を行ったうえで腰の据わった最終処分政策を展開することが社会の信頼を得る上で肝要ではないかと思われる。

(2015年11月10日記)



日本の安全規制はどこまで安全になったか



諸葛 宗男 (もろくず・むねお)

特定非営利活動法人パブリック・アウトリーチ 上席研究員

東京大学原子力工学科卒, 70年(株)東芝入社, 燃料サイクル部長, 原子力事業部技監等を歴任, 定年退職後06年東大公共政策大学院特任教授, 原子力安全規制研究に取り組む, 13年4月より現職

はじめに

原子力発電所の安全性は直接測れないため, 確率的リスク解析で危険性を評価し, その裏返しとして安全性を押し量る。しかし, 安全規制の安全度合は, 直接測ることも危険性を評価することもできない。そのため, 各国が利用しているのが, 国際原子力機関(IAEA)が提供する, 総合規制評価サービスⁱ(IRRS)である。IAEAが国際基準に照らして評価する仕組みである。

我が国は2007年にIRRSを受審し, 10件の勧告ⁱⁱ, 18件の助言ⁱⁱⁱ, そして17件の良好事例^{iv}があるとされた。しかし, 国会事故調の指摘にあるとおり, 原子力安全・保安院(以下「NISA」)はこれらの指摘を改善に活かすことがなかった^v。原子力規制委員会は本年(2016年)1月に再度IRRSを受ける予定^{vi}にしており, 事故後に改善された安全規制が初めて国際的な物差しで評価されることになる。

本稿では, 前回のIRRSの評価内容の重要ポイントを改めて振り返るとともに, 事故後それらがどれだけ改善されたか, また, IRRSの勧告, 提言の中で重要な積み残し課題にどのようなものがあるのかの考察を試みた。

原子力安全委員会との関係

原子力安全委員会(以下「NSC」)との関係について, 勧告1で「The role of NISA as the regulatory body and that of NSC, especially in producing safety guides, should be clarified.」と改善を求められた。NISAの訳文では「規制機関であるNISAとNSCの役割, 特に安全指針の策定に関して, 明確化を図るべきである。」とされている。事故前の両機関の役割分担の明確化, とりわけ安全基準の役割分担の明確化を求めたものである。

基本設計はNSCが自らの安全審査指針に基づき審査しているが, 詳細設計はNISAがNSCの指針を準用し

ていたからである。事故後は原子力規制委員会(以下「NRA」)が定める規制基準に一元化され, この勧告で特記された点に関しては改善された。しかし, この勧告の本文で指摘されたNSCとNISAの役割分担明確化については改善されていない。

事故後は体制が改まり, NRAと原子力規制庁(以下「規制庁」)に改組されたが, 両者の役割分担は改組前より不明確である。新体制は米国の仕組みを参考にしたとされているが, 米国の場合は原子力規制委員会(以下「NRC」)と事務局の関係は裁判所の1審と2審の関係に近いとされ, 両機関は緊張関係で結ばれ, 両機関の会議事録も公開されている。

NRAと規制庁の役割分担が全く不明確な上, 会議の議事録が開示されていない点は, IRRSの勧告1に照らしても今後の大きな改善課題である。

規制機関の独立性について

規制機関の独立性について, 助言1で「NISAは実効的に資源エネルギー庁から独立しており, これは, IAEAのSAFETY STANDARDS SERIES No. GS-R-1に一致している。かかる状況は, 将来, より明確に法令に反映させることができ得るものである。」とされたとし, NISAはこの助言1をもって「IRRSでNISAの独立性が認められた」と公言していた。しかし, 原文からはそのような意味は読み取れない。原文は「NISA is effectively independent from ANRE, in correspondence with the GS-R-1. This situation could be reflected in the legislation more clearly in future.」とされている。前段の「in correspondence with」を「一致している」と訳したのであるが, 単なる接続詞なので「に照らし」とか「に沿って」程度の意味と解すべきであろう。後段の「could be」を訳文では「でき得る」としているが, 勧告で「should be」だった表現を, 助言として柔らかく表現したもので, 「して頂きたい」と訳するのが適当であろう。したがって, この助言1の本来の意味は「GS-R-1に照らし, NISAは実効的に独立しているが, 今後, 法令で明確化して頂きたい。」ではないかと思考する。

i IRRS: Integrated Regulatory Review Service

ii Recommendations

iii Suggestions

iv Good practice

v 国会事故調報告書 5.4.7 項(p.560~564)

vi <https://www.nsr.go.jp/data/000047926.pdf>

第1表 2007年のIRRS受検時の10項目の勧告と改善状況

No.	勧告要旨	改善された点	残された課題	NRA 自己評価	筆者の 評価
1	安全委と保安院の役割分担を明確化せよ	規制基準の法令化	原子力規制委員会と原子力規制庁の役割分担が不透明。	○	△--
2	訓練要件や訓練プログラムを強化すべき	原子力安全人材育成センターを設置し、力量管理システムを導入して、個人毎に必要な研修を体系的に行っている。		○	○
3	職員を最小限化すべき	必要な知識及び技術の向上に努めている	検査の委託化等による規制業務の合理化が必要	△	△
4	検査時の小さな発見を活かせ	検査官会議で検査結果や教訓を共有	形式的検査が過多で本質的洞察に割く時間が過少	△	△--
5	過去の教訓を水平展開せよ	他の事業者の教訓活用を保安規定で義務化	水平展開のための仕組みは出来たが実績未知数	△	△--
6	保安規定を継続的に見直せ	保安規定見直しの仕組みを内規で定めた	総花的でない、継続的な見直しになるか未知数	△	△
7	検査官の常時立入・常時検査を実施せよ	専門性の向上に取り組市中	常時立ち入りの検査が行える検査官の育成が先決	×	×
8	発電所の停止権限の明確化	炉法規に第43条の3の23項「技術基準不適合の場合の停止命令権限」を新設。解決済み。		○	○
9	保安院は規制基準の作成に責任を持つ	全ての安全規制を新設された原子力規制委員会に一元化するとともに独自に規制基準を制定できることとなった。		○	○
10	QMSの構築を継続せよ	年度重点目標を策定したQMSを実施している。	組織全体の役割分担の明確化がまだ十分でない。(No1と共通)	○	△--

NISAの訳文とは大分ニュアンスが異なる。国会事故調は「IAEAによるピア・レビューを、自らの規制・法的枠組みの改善に用いるというよりは、保安院の独立性が確保されていることのアピールに利用したと言える。」と厳しく指摘している^{vii}。

事故後、NRAは行政組織法に定める三条委員会とされ、独立性が高められたため、この助言は100%達成されている。むしろ、独立性を意識するあまり関係者とのコミュニケーションが不足しているとの弊害の指摘が生じていることへの改善対策を示すべきではなからうか。なお、原子力規制委員会は2016年のIRRSに向けた準備資料で、この助言1の訳文として上述したNISAの時と全く同じもの^{viii}を用いている。評判の悪かった“誤訳”をいつまでも使い続けられない方がよい。

我が国の検査制度の改善

我が国の検査制度の改善について勧告7で次の通り指摘されている。「NISAは、その検査官がサイトでいつでも検査する権限を有していることを確保すべきである。これにより、検査官はサイトへの自由なアクセスが可能となり、法律で規定された検査期間中というよりも任意の時間に職員とのインタビュー、文書審査の要求などが出来るようになる。(後略)」

この勧告は、検査官が常駐し、自由に発電所内を見て回り、任意な時に職員にインタビューし、文書の閲覧が出来るようにする、というものである。これによって透明性が高まり安全性が向上すると同時に、形式的な「立会検査」も不要となり、規制側と事業者側の双方にとってメリットがある。実現には検査官の専門性改善が必須要件である。米国などでは既に実施されているが、早期実現に向けた取り組み加速が求められる。

vii 国会事故調報告書5.4.7項(p.560~564)

viii 原子力規制庁「IRRS(総合規制評価サービス)への提出資料について」,2015.10.28

<https://www.nsr.go.jp/data/000127833.pdf>

品質マネジメントシステム(QMS)の改善

勧告10では「NISAは原理的、概念的論拠よりもむしろ実際の履行に焦点をあてた統合的な品質マネジメントシステム(QMS)を構築すべきである。(後略)」と指摘された。

我が国では事故・不祥事の度に検査の数が増え、事業者は検査記録の作成に、そして、規制側は検査記録の形式的チェックに忙殺され、日常的に安全性向上に取り組むという本来の検査の在り方とは程遠い状態にあった。勧告10はその改善を求めたものである。QMSは導入されているものの“原理的、概念的論拠”に終始し、検査の改善に結びつく“実際の履行に焦点をあてたもの”になっていないことが痛切に指摘されていた。

NISAのQMSが概念的論拠に終始していた原因は専門性が欠如していたためである。ローテーションが前提だったNISA時代には改善困難だったが、事故後の規制改革で規制庁の専門性は大幅に改善されつつあり、今後、検査制度の改善への積極的取り組みが求められる。

2007年のIRRSの改善状況まとめ

2007年のIRRSで勧告された10項目について、現時点での改善状況を纏めると第1表の通りとなる。×印は改善未達、△印は部分的に改善済み、○は改善済。No.1, 7, 10の理由は本文に述べた。No.4の理由は本文でも触れたが、検査の質を高める取り組みが進んでいないため。No.5は仕組みの実効性の確認が未知数のため。No.6はまだ再稼働基数が少なく保安規定の継続改善の実績がないためである。なお、NRAの自己評価は参考資料8に拠る。

結言

我が国の安全規制は事故前に比べると格段に改善された。まだ改善の余地は残されているが、IAEAの勧告、助言を謙虚に受け止めて継続的改善が求められる。それが事故当事国としての当然の務めであろう。

(平成27年12月15日記)



日本とインドが原子力協力で基本合意

インドを訪問していた安倍総理大臣は2015年12月12日、インドのモディ首相と首脳会談を行い、両国が民生用原子力協力協定を締結することで基本的に合意した。技術的な詳細をつめた上で、正式に署名される。これにより日本は、原子力関連技術の輸出が可能となる。

会談ではモディ首相が、「原子力協力が今回合意に至ったことは喜ばしい、日本企業にとっても大きなビジネス・チャンスになる」旨を発言。これに対し安倍総理は、「日本は、核実験の一方的かつ自発的なモラトリアム

に関するインドのコミットメントが維持されていること」を評価し、「核兵器のない世界の実現という目標は既にインドと共有しており、日本は核兵器不拡散条約(NPT)の普遍化や包括的核実験禁止条約(CTBT)早期発効、兵器用核分裂性物質生産禁止条約(FMCT)の早期交渉開始を重視し、これらの点についても対話を続けていきたい」旨を述べた。

(原子力学会誌編集委員会)

再処理事業実施で「認可法人」設立へ、総合エネ調WG案

総合資源エネルギー調査会の原子力事業環境整備に関するワーキンググループは2015年11月30日、新たな再処理事業実施体制の構築について盛り込んだ中間報告案を取りまとめた。電力システム改革による競争進展や原子力依存度低減など、新たな事業環境下においても使用済み燃料の再処理が滞ることのないよう、必要な資金が安定的に確保され、適切かつ効率的に事業を実施する体制が整えられるよう7月から検討を進めてきたもの。現行の積立金制度から、使用済み燃料が発生した時点で予め必要な資金が確保されるよう「拠出金制度」に改訂。さらに事業の確実な実施が担保されるよう、実施主体は解散に制限がかかる「認可法人」として設立するとしている。

ワーキンググループでは使用済み燃料の再処理実施に当たり、(1)安定的な資金の確保、(2)事業の実施体制(3)事業運営のあり方——に関する課題や懸念が顕在化するおそれがあると指摘。中間報告案では政府に対し、これらに対応すべく必要な措置を適切に講じるよう求める一

方で、原子力事業者には「発生者負担の原則に沿って引き続き責任を果たすことを大前提とすべき」としている。

現行制度化では、発電量に応じて使用済み燃料の再処理に必要な費用の一部を原子力事業者が積み立て、必要に応じ積立金を取り崩し日本原燃に支払いを行っている。しかし自由競争下で仮に破たんする事態が生じた場合、積立金が実施主体に渡らないおそれがあることから、新体制では、原子力事業者に対し毎年度、発電量に応じた再処理費用を実施主体に拠出することを義務付ける「拠出金制度」に改めるとした。また、実施主体は民間主導で設立される一方で、国が必要な関与を行うことができる「認可法人」とし、(1)関係する事業全体を勘案した実施計画の策定、(2)拠出金額の決定・拠出金の徴収・管理——とともに、再処理に係る技術、人材、設備などが集積されていることから、日本原燃に事業を委託することを示唆し、(3)再処理等の実施または実施する事業者の選定・管理・監督——を担うことが適切としている。

(資料提供：日本原子力産業協会)

廃炉基盤研究プラットフォームが発足

日本原子力研究開発機構の廃炉国際共同研究センター(CLADS)と文部科学省「廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」採択者の東京大学、東北大学、東京工業大学、福井大学、福島高専、福島大学、地盤工学会は、福島第一原子力発電所の廃炉に関わる基礎基盤研究分野での幅広い連携を進めるため「廃炉基盤研究プラットフォーム」(事務局：CLADS)を設置した。

同プラットフォームの活動は原子力損害賠償・廃炉等支援機構が設置する廃炉研究開発連携会議のもとに位置づけられ、今後、「廃炉のための研究基盤の拡大」、「現場情報、ニーズの共有によるタイムリーな成果の展開」、「人材の育成」、「JAEAが整備する国際共同研究棟の活用」などの活動を進める。

同プラットフォームは第1回運営会議を2015年12月

15日に開催し、国内外の多くの研究者、研究機関の参加が得られるようバザールのアプローチを行う活動方針を

決めた。

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【フィンランド】

世界で初めて使用済み燃料の地層処分場計画に建設許可発給

フィンランド雇用経済省(TEM)は2015年11月12日、国内2つの原子力発電事業者の合併企業であるボンバ社がユーロキ地方のオルキオトで進めている使用済み燃料の深地層処分場計画に対して建設許可を発給した。この種の施設に建設許可が与えられたのは世界で初めて。同社は2016年末にも最大6,500トンのウラン処分が可能な同施設の建設工事を開始し、2023年には操業可能な状態とする計画。総工費は約30億ユーロ(約4,000億円)になると伝えられている。

ただし政府は、今回の建設許可に条件を付けており、ボンバ社が運転許可を申請する際は、同施設が環境に及ぼす影響や廃棄物を必要に応じて回収する能力、関連の輸送リスクを改めて分析するよう指示。プロジェクトに変更が生じた場合の分析結果についても提出を義務付けた。TEMのO.レーン大臣は、「建設許可の発給はフィンランドが責任を持って原子力発電を利用するための重要なステップ」とコメント。最終処分の長期的な安全性を確保することは非常に重要であるとし、処分場の操業期間中を通じて監視する必要性に言及した。また、放射性廃棄物管理のパイオニアとして、フィンランドには将来的な安全性と責任の問題に対処する義務があるとする一方、国外の廃棄物管理施設開発でフィンランドが専門的知見を活用する商業的機会も生まれるとの見解を表明している。

フィンランドでは原子力発電所から出る使用済み燃料は再処理せず、高レベル放射性廃棄物として深地層に直接処分する方針。そのための施設は地下400~450メートルの岩盤に廃棄物を埋設する地下施設と、地上で廃棄物を銅製の専用キャニスターに封入する施設で構成され、両施設は専用リフトで相互接続する。また、岩盤とキャニスターの間の緩衝材にはベントナイト粘土を使用する計画だ。

【ベルギー】

規制当局がドール3号機とチアンジュ2号機の再起動を許可

ベルギーで2012年に原子炉容器(RV)からヒビの兆候が検出され、停止していたドール原子力発電所3号機とチアンジュ原子力発電所2号機について、ベルギー連邦原子力規制局(FANC)は11月17日に再起動を承認すると発表した。原因となった水素白点による微小気泡の存在が両炉の安全性に許容しがたい影響を及ぼすことはないという点で、事業者のエレクトラベル社が納得のいく証明を行ったと明言。これにより、ドール3号機は2003年1月の法令に基づき2022年10月1日まで、チアンジュ2号機は2023年2月1日まで運転の継続が許された。FANCの決定を受けて、エレクトラベル社はすでに両炉の再起動準備を開始。これに要する4週間の間、複数の監督当局が作業を綿密に監視するほか、次の燃料サイクル終了後には適切な超音波探傷装置を使ってフォローアップ検査を行うことになることを説明している。

両炉では2012年夏の定検時に超音波探傷検査で鋼製RVに毛状ヒビの兆候が検出されたことから、FANCは徹底した調査を指示。その結果、RVの鋼製リング鍛造時に材料中の水素が偏って生じた「白点」が微小な気泡を生み、これらが長さ12~16ミリメートル、タバコ紙ほどの厚さの薄層状になったものと判明した。FANCは、微小気泡の存在が両炉の安全性を損なうことはないとしてエレクトラベル社が説得力のある証明を行うまでは再起動は許可しないと決定。両炉それぞれについて同社が2012年12月に提出した安全性保証文書(セーフティ・ケース)を内外の複数の専門家の助力を受けて分析し、2013年5月に両炉の一時的な再稼働を追加試験実施などの条件付きで許可した。

【英国】

今後5年間の原子力研究開発に2億5千万ポンド投資へ

英国政府は11月25日、国民経済と安全保障を保証し

ていく上での優先事項を記した「2015年歳出見直しと秋季声明」を公表した。公共財政を調整して国庫を黒字に戻し、健全な経済を動かすことを目的とした長期的な経済計画として、今後4年間で合計4兆ポンドの投入を設定。原子力関連では小型モジュール炉(SMR)開発などの意欲的な研究開発プログラムに5年計画で2億5,000万ポンド(約460億円)を投資する方針を明らかにしている。

同文書の中では、意欲的な原子力研究開発は「英国の未来への投資」という項目に分類されており、革新的なエネルギー技術開発への投資を2倍にすることが明記された。エネルギー供給保証は国としての優先課題の一つであり、政府は低炭素化の経費を削減しつつこれを強化する方針。この一環として、原子力の専門的知見を英国内に蘇らせ、革新的技術における世界のリーダーの立場を復活させることを目指す。このため2015～16年と2016～17年の主要プロジェクトとして、少なくとも2億5,000万ポンドを研究開発プログラムに投資する。この中には最大の経済性を有するSMR設計を特定する開発競争も含まれており、2020年代に世界初のSMRを英国で建設するための道筋を付けるのが目的。この開発競争計画の詳細は2016年初頭にも公表するとしている。

【カザフスタン】

フランス電力と天然ウラン供給契約を締結

カザフスタンの国営原子力企業カザトムプロム社は11月6日、フランス電力(EDF)に天然ウラン精鉱4,500トンから2025年まで供給する契約を獲得したと発表した。カザフスタンはウラン生産量で2009年から世界第1位の座を維持する。一方、EDFはフランス国内の商業用PWR全58基を所有。10年前に始まった両者の連携は、今後長期的に続いていくとの見通しを示した。

今回の契約への調印は、カザフスタンのN. ナザルバエフ大統領がフランスを公式訪問したのに合わせて行われたが、正式に有効となるには、欧州原子力共同体・供給局の承認が必要になる。フランスでの滞在期間中、カザトムプロム社のA. ズマガリエフCEOはアレバ社のP. クノルCEOとも懇談し、共同プロジェクトの実施やさらなる協力について協議したとしている。

【インド】

英国とエネルギーと気候変動に関する連携で合意

英国とインドの両政府は11月12日、地球温暖化への取組、および合理的な価格による確実で持続可能なエネルギー供給促進の重要性を再確認し、両国が連携してこれらに取り組んでいくことで合意した。インドのN. モディ首相による英国公式訪問に合わせて共同声明を発表したもので、民生用原子力分野においても両国間の協力を促進するため、2国間原子力協力協定と了解覚書の調印にむけた交渉が完了したことを明らかにしている。

英エネルギー気候変動省(DECC)のA. ラッド大臣は、「エネルギー関係の両国の連携はますます堅固になりつつある」と強調。両国は研究・技術革新で世界レベルの専門的知見を共有しており、温暖化防止関係の資金調達と技術で英国が培ってきた経験は特に、確実で持続可能なエネルギー供給と温暖化防止の取組で両国がともに働く上で有利だと明言した。まもなくパリで開催される国連気候変動枠組条約・締約国会議(COP21)は重要な節目であり、地球の温度上昇を2度以下に抑えるために両国は緊密に連携していくとの抱負を述べた。

【中国/韓国】

中国と韓国が原子力安全分野の協力強化で覚書締結

中国国家環境保護部の国家核安全局(NNSA)と韓国原子力安全委員会(NSSC)は11月26日、北京で「原子力安全分野の協力に関する覚書」と「環境放射線モニタリングに関する特別協約」を締結した。両国の原子力安全規制機関が安全分野における国際協力を長期的に継続し、より良いコミュニケーションを図ることにより原子力事故時の早期対応と放射線の影響予測システムを構築していくためのもの。調印はNNSAの李乾傑局長とNSSCのイ・ウン Chol委員長が行った。

覚書の目的は両国の原子力関連分野における安全レベル向上で、主な協力内容として(1)原子力安全技術の研究開発、(2)原子力発電所の安全性検査、(3)原子力事故防災関係の情報や人材の交換、共同協力研究——などを推進。特別協約は通常運転時のみならず緊急時にも迅速に環境放射能を調査し、影響を評価するのが目的。両国は今後3年間に環境放射線分析技術と監視データの交換、リアルタイムの環境放射線情報共有システムの構築などで協力することになる。

これらに加え、両国は NNSA 傘下の原子力放射線安全センターと韓国原子力安全技術院(KINS)が原子力安全技術に関する協力の強化で覚書を締結したことを明らかにしている。

【米国】

サリー原子力発電所、80年間の運転念頭に2度目の運転期間延長申請へ

米ドミニオン社の子会社であるドミニオン・バージニア・パワー社は11月6日、バージニア州で操業しているサリー原子力発電所(80万kW級PWR×2基)について、2度目の運転期間延長を申請する意向を米原子力規制委員会(NRC)に伝えたと発表した。同発電所の2基は2003年3月に初めて、NRCから20年間の運転期間延長を許されており、それぞれ2032年と2033年まで運転が可能。運転開始当初の認可である40年と合わせた運転認可期間は合計60年となっている。2度目の申請が許可されれば、1、2号機の運転認可はそれぞれ2052年と2053年まで延長され、米国で初めて80年間運転を継続することになる。

【アルゼンチン】

国内4基目の原発建設契約と5基目の建設枠組協定を中国と調印

アルゼンチン国営原子力発電会社(NA-SA)は11月15日、国内4基目の原子炉となるアトーチャ原子力発電所3号機の建設に関する技術・商業契約と5基目の軽水炉導入計画に関する協力枠組協定を中国核工業集团公司(CNNC)と締結した。これらの内容については、両者はすでに10月31日に合意に達しており、主要20か国・地域首脳会議(G20)がトルコで開催されていたのに合わせてアンタルヤで正式調印したもの。これら2つのプロジェクトの総投資額は150億ドルで、このうち85%は中国工商銀行(ICBC)などを通じて中国側が支援する。アルゼンチン政府は同国最大の投資プロジェクトとなるこれらの新設炉によって、同国におけるエネルギー供給が将来的に保証され、エネルギー・ミックスを多様化する基盤が築かれると強調している。

2つの合意文書への正式調印は、アルゼンチンの経済財務相、計画投資相、外相や中国の国家発展改革委員会主任らが立ち合う中、NA-SAのJ. アンツネス総裁とCNNCの銭智民総経理が行った。4基目のアトーチャ3号機は、アルゼンチン国内で稼働する3基と同じ

加重重水炉(PHWR)となる予定で、SNCラバリン社の70万kW級PHWR「CANU6」を採用。総工費約60億ドルの同計画に対して、CNNCは技術支援や機器・サービス、資機材を提供する一方、NA-SAは同計画の所有者兼アーキテクト・エンジニアとして準備作業から設計、建設、起動、運転まで担当する。使用機器の62%はアルゼンチン製で、残り38%が中国製になるとしている。

【国際】

IEA 世界エネルギー予測、「燃料価格低迷期こそ供給セキュリティ増強が必要」

国際エネルギー機関(IEA)は11月10日、世界のエネルギー情勢に関する2014年データを分析した上で2040年までの長期的な動向を展望した「世界エネルギー予測(WEO)」の2015年版を公表した。長期にわたる石油価格の低迷は消費国にとって恩恵となるものの、関連投資が萎縮すれば価格が急反騰するリスクが生じ、一部の低価格生産者への依存が高まるなどエネルギー・セキュリティ上の懸念が引き起こされると警告している。また、一時的な変化と永続的な変化、この先のリスクと機会といったエネルギー部門の現状を明確に理解し、エネルギーシステムを一層確実に持続可能な基盤に乗せるために何ができるか見極めることが、各国の政策当局や産業界にとって、かつてなく重要になっていると明言した。

報告書では、「中心シナリオ」の想定において石油市場は2020年に1バレルあたり80ドルで再び均衡し、その後は一段と上昇すると予測した。ただし、現行レベルの低価格が長期化した場合、高価格な供給源が排除され、低価格生産者に依存が集中。中東地域への依存は1970年代に見られたレベルまで高まることになる。IEAのF. ビロル事務局長は、「石油価格の変化をエネルギー・セキュリティの指標とするのは大きな間違いであり、力を抜いて良いのは今ではなく実際はその逆だ」と指摘。石油価格の低い時期こそ、将来的なエネルギー供給セキュリティに対処する能力の増強が必要な時だと訴えた。

IAEA が緊急時の準備と対応の強化で新たな安全要件公表

国際原子力機関(IAEA)は11月27日、原子力災害に対する「緊急時の準備と対応(EPR)」を強化するための、

News

新しい安全要件を公表した。IAEAの安全基準である「全般的な安全要件(GSR)」の第7編にあたるもので、IAEAのほかに経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)や国連環境計画(UNEP)、世界保健機関(WHO)など13の国際機関が後援した。福島第一原子力発電所事故の教訓も含め、2002年に現行版を発行して以降の教訓をすべて盛り込むとともに、国際放射線防護委員会(ICRP)勧告も考慮しており、緊急時管理システムなどEPRにおける様々な側面で要件を強化。加盟各国はこれに基づいて、原子力発電や放射線源を扱う場所で安全な操業を行うための各々のEPR枠組を一層強化することになる。発効期日については、加盟国が同基準の導入を決めた際の日程通りとしたものの、可能であれば要件公表日から1年以内が望ましいとの見解を表明している。

新要件の詳細は、IAEAが11月16日から20日までウィーン本部で開催した「GSR第7編に関する地域間ワークショップ」の席で、IAEA緊急時対応センター(IEC)のJ. F. ラフォーチュン調整官が説明した。それによると、新要件は原子力発電や放射線による緊急時の管理システムや防護戦略のほか、様々な危険状況に応じた緊急時対策による回復力、作業員や支援者の防護、バウンダリを越える緊急時の協力、といった面で要件を強化。全般的要件の具体例としては、EPRにおける責任と役割を明確に特定し、規制当局や運転機関に明確に割り当てるよう各国政府に求めているほか、EPRで段階的アプローチを取る基盤とするため、危険度評価の実施を徹底すべきだとした。また、関連する国際機関の責任としては、緊急時の対策や対応行動を手配・調整すべきだと明記している。



論文誌編集委員会からのお知らせとお願い

平成27年12月3日(木)

一般社団法人日本原子力学会 論文誌編集委員会

論文誌編集委員会では、英文論文誌、和文論文誌の継続的な発刊と論文の質の維持・向上に努めているところであります。

この度、英文論文誌の出版を委託しておりますTaylor & Francis社との出版契約の更新に伴い掲載料ならびに定期購読価格を見直し、以下の様に変更となりますのでお知らせします。

> ご投稿者のみなさまへ

英文論文誌の掲載料を値下げいたします。

これまで掲載料は、刷り上がり1ページ当たり100 USドルの一定価格としておりましたが、2016年1月1日投稿受付分より1~8ページまでは1ページ当たり70 USドルに値下げ、9ページ以上は100 USドルの据え置きとします。

これは主として円安による国内投稿者の負担軽減を考慮したのですが、過度に長い論文をできるだけ避けていただきたいということも強く意図しております。

> 正会員・学生会員のみなさまへ

英文論文誌の定期購読料を値上げいたします。

これまでは正会員および学生会員の定期購読料を特別割引で6,000円/年(6冊)としておりましたが、ページ数増加とそれに伴う諸経費の増大により、平成28年度より8,000円/年(6冊)に改めさせていただきます。

和文論文誌の購読料は2,400円/年(4冊)のまま、変更はございません。

> 賛助会員のみなさまへ

冊子体の定期購読を開始いたします。

【英文論文誌】

一般販売価格633 USドル(2015年現在)のところ、特別割引価格として、平成28年度(5-6月合併号)より10,000円/年(6冊)で販売いたします。

※賛助会員への無料電子アクセス権のご提供は、継続しておこなってまいります。

【和文論文誌】

これまでは、賛助会員口数に応じて冊子体を無料配布しておりましたが、英文論文誌冊子体の有償販売化に併せて、平成28年度6月号より、一般定期購読価格15,120円(税込)のところ、5,000円/年(4冊)で販売いたします。

【お申し込み方法】

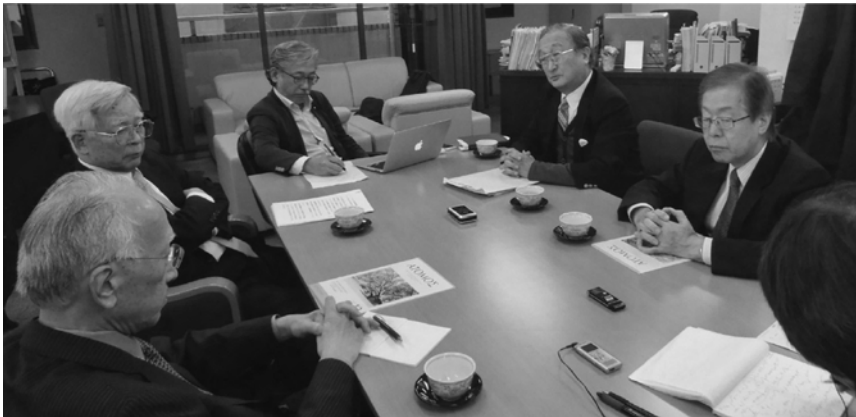
本会ホームページ「賛助会員サービス」専用フォームにてお申込みください。

URL : http://www.aesj.net/service_for_member/service_for_com

座談会

「どうする？ もんじゅ」

エネルギー面での自立は、国の存続の根幹に関わる



金子 熊夫
坂田 東一
田中 伸男
藤家 洋一 (50音順)
司会 澤田 哲生

原子力規制委員会から運営主体の変更を求められた原子力機構の「もんじゅ」。この問題は日本の核燃料サイクルのあり方や、日本のエネルギー政策の行く末にも関わる。有識者を集めた本誌座談会では、エネルギー資源に乏しい日本において、エネルギー面における技術的な独立は国の存続の根幹に関わる重要事項であること、そして「もんじゅ」はその中核に位置しており、それを放棄することは技術立国そのものの基盤を危うくするとの懸念が示された。さらに「もんじゅ」の運営主体については、経済産業省の関与を求める選択肢も提案された。

「エネルギー面での自立が、国の基本」

澤田 日本は大変な苦勞の末に、再処理を含むフルセットの核燃料サイクルという技術オプションを日米交渉の中で獲得しました。なぜ日本はフルセットの核燃料サイクルを持つべきであったのか。その前提には何があるのでしょうか。

藤家 まずは、この地球を取り巻く環境の話からしましょう。

澤田 お願いします。

藤家 この地球には太陽の光が降り注ぎ、それによって炭酸ガスが分解し、炭水化物や有機物、さらには生物が生まれました。そこには動物と植物が共存する生態圏が育ちました。しかし、人類の登場によって、そのバランスが崩れつつある。それが加速されたのが、産業革命の時です。それ以来、人類は生態圏のエネルギーを、動力や電気エネルギーに変換しはじめました。しかし化学反応を軸とした文明では、資源確保と環境保全を同時に満足できなくなってきました。そこで、それにかわるものとして原子力が入り込んできました。

澤田 原子力はその崩れかけたバランスを補うものだと。

藤家 そうです。そもそも原子力の発祥となる X 線が発見されたのが 1895 年。日本では敗戦直後から原子力に目を向けるようになり、原子力基本法という法律を作り、平和利用に専念するというでそれを進めてきました。そして軽水炉のエネルギーシステムを実用化するところまで来ました。

さらに次の段階になると、資源確保と環境保全を同時に満足させるために、高速炉の重要性が認識されるようになります。これは原子力の草創期のころに、すでに認識されていたことです。だから高速炉を導入する話は、「なぜ『もんじゅ』をやる必要があるのか」という次元の議論ではなく、大きな流れの中にある話です。

澤田 なるほど。資源確保と環境保全を考えれば、自ずと高速炉「もんじゅ」に行き着くわけですね。

藤家 そうです。私は「もんじゅ」なしで日本の原子力が生きていくことは、無理ではないかと思えます。これは日本の科学技術の、そして日本人の知恵の象徴です。かつてフランスがフェニックス計画をやめる時に、原子力関係者の間では「世界はその次を、『もんじゅ』に託そ

う」というのが共通認識でした。

金子 私は外務省で1960年代半ばから核不拡散の問題と、公害や環境問題に携わってきました。「かけがえない地球」という標語は当時私が創作したものです。国連にも出向して世界の環境行政に携わっていましたが、1973年末に第1次石油危機が起こり、アラブ諸国にいらまれた国——日本もその1つ——は石油輸入を絶たれて、暗いみじめな生活を余儀なくされました。そのことがあって、日本は脱石油化によりエネルギー自立を図らねばならない、その反省をふまえて、原子力に急ピッチで傾斜していきました。

澤田 1970年代の状況ですね。

金子 そうです。そのころは当時の田中角栄首相が資源外交に熱心で、国内では原発立地を促進するために電源三法を作りました。さらにバックエンドや再処理の後の高速増殖炉を本格的にやりはじめました。ところが、その矢先の1974年5月に、インドが核実験を行いました。このため米国のカーター大統領は、1977年に就任するや否や核不拡散の立場から各国の核燃料サイクル計画に急ブレーキをかけました。米国は自国の再処理をやめるから、日本にも再処理やプルトニウム利用をやめてくれと迫りました。

当時の日本は東海村の再処理工場を稼働させる直前だったので、当時の福田首相と宇野科学技術庁長官兼原子力委員長が先頭に立って、いわゆる日米原子力戦争を繰り広げ、私はその交渉の実務担当でした。その後、カーター氏の提唱で国際核燃料サイクル評価(INFCE)が設立され、丸2年半かけて核燃料サイクル全般について、世界中から一流の専門家や科学者を大勢動員して、原子力平和利用と核不拡散を両立させるにはどうしたらよいか、大議論を展開しました。

■ 日本は苦勞して核燃料サイクルのフルセットオプションを勝ちとった

澤田 当時のドイツはどうでしたか？

金子 日本以上に核燃料サイクル推進に熱心でした。一方でイギリスやフランスは日本やドイツとの再処理事業で商売をしたかったので、日本やドイツの立場を応援する側で、日独英仏4カ国がスクラムを組んだためにカーター氏の思惑は外れ、核燃料サイクルの推進と核不拡散は両立しようという結論になりました。その結果、カーター氏はメンツをつぶされた形となり、作戦を転換し、次に二国間の原子力協定で日本などに歯止めをかけようとなりました。この日米交渉はとても厳しかったのですが、最終的には東海再処理工場の稼働と、もっと大型の第二再処理工場、つまり六ヶ所再処理工場のことですけれども、それを建設することをしぶしぶ認めてくれました。

澤田 なるほど。しかし、そういった話は今ほとんど

知られていませんね。

金子 そうかも知れません。ただし、東海再処理工場の運転は当初は2年間、99トンまでの再処理という厳しい条件がついており、その延長についてはワシントンに相手にずいぶんしんどい思いをして、交渉をしたものです。その後、延々と丸10年かけて協定改正交渉を行い、1988年に現行協定が締結されることになりました。

澤田 そうなんですか。大変な苦勞があったと・・・

金子 そのような交渉の際に我々は米国や世界に対し、日本にはエネルギー資源がない、ウラン燃料を大切に使うために高速炉を使って準国産エネルギーとし、エネルギー面での自立をするしかないのだという正論をアピールし続けました。その信念や考え方は、今でも変わりません。エネルギー小国であるために日本はかつて第二次大戦を始めましたが、その時と現在で、根本的な状況や前提は変わっていません。そうならないためにも、エネルギー面での自立が日本存続の基本であるべきです。

澤田 その根本的な理由、理念がいま失われかけている。

金子 もう一つは、プルトニウム利用と核不拡散の問題です。日本1970年に核不拡散条約(NPT)に署名し76年に批准しました。当時の米国は、核燃料サイクルでは日本だけを特別扱いしてくれました。その背景には日米の固い同盟関係があったと思います。当時の私たちが文字通り体を張って、再処理、プルトニウム利用のためのルールを敷きました。あとは技術屋さんがんばってもらって六ヶ所工場も「もんじゅ」も首尾よく完成させてもらおうと期待していたのに、今日、こういう状況になったことはとても不本意で、残念です。

澤田 そもそも日本が先の戦争に走らざるを得なかった背景には、米国からの油断(石油供給ストップ)があって、資源を求めてアジアに進出した側面もあったわけですよ。

金子 そうです。

澤田 1970年ごろに日本は石油や石炭などの資源がないということで原子力に力を入れ始めるのですが、そこでは使える燃料はどんどん回す、つまり0.7%しかないウラン235に対して、99.3%も残っている膨大な量のウラン238を有効に使えるのが核燃料サイクルであり、サイクルが達成できれば理論的に資源量は何十倍にもなります。さらにウラン燃料はいったん装荷すると、1年以上もちます。だから、備蓄性に優れるし使い勝手もいい。ただし、安全面の問題やプルトニウムに対する懸念が今も払拭できていません。

坂田 東海再処理交渉で一番懸案だった問題は、1968年に日米間で結ばれた旧原子力平和利用協定の中に、日本が米国の燃料を使って再処理をする場合には日米の共同決定が必要だとされていて、これは事実上米国に拒否

権があるということです。日本の当時の政権はこれがあると、日本が今後、核燃料サイクル政策を進める上で支障が出る可能性があると考え、それを外す努力をしました。

他方で米国は、1978年に核不拡散法(NNPA)を制定しており、同法の規定に従い対外原子力協力についてそれまで以上に種々の規制をかける可能性がありました。このため日本政府は68年の従来協定を改訂する前に、その交渉をすることが国益にかなうかどうかを真剣に考え、本交渉の前に10回ほど非公式協議をし、それを踏まえて本交渉に臨みました。結局、包括同意方式の導入で両国協力関係が安定化するフレームワークをめざし、5回の正式協議を経て署名に至りました。

米国内では、この内容は日本に譲り過ぎているとの反対がありました。日本は同盟国だし、核拡散の危険がない信頼できる国であるということで、米国内の議会や世論も最終的には納得しました。結果として日本には、特別のステータスが与えられて、今日に至っています。その了解を含んだ協定が2018年7月に期限を迎えるので、これをきちんと延長しなければいけない。そのときに日本政府は核燃料サイクルについてはこういう考え方で計画を持っているという、責任ある説明ができなければなりません。

澤田 そこで「もんじゅ」を進めるというオプションがもし廃れたとすれば、核燃料サイクルそのものの先行きが極めて不透明になる。

坂田 「もんじゅ」は日本の核燃料サイクルの中核的な国家プロジェクトです。従って「もんじゅ」については一定期間、試験をして成果を上げ、その結果を次世代に引き継いでもらいたいと思っています。とりわけ「もんじゅ」は仕掛品なので中途半端にあきらめることはしてもらいたくないというのが、私の素直な気持ちです。

澤田 我が国の軽水炉も導入期はどれもこれも仕掛品でした。揺籃期にはそれなりの対応と苦労が要るのが当たり前はずですね。

金子 当時は外国の中にも日本に対して懸念を持つ国がありました。例えばオーストラリアは日本に天然ウランを供給すると、それがいずれはプルトニウム、そして核爆弾に化けて北半球から南半球に飛んでくるかもしれないという懸念を持っていました。当時はまだ、大戦の記憶が生々しく残っていましたから。

澤田 日本が核武装するのではないかと。

金子 だから当時は、米国以上にオーストラリアは日本に懸念をもってたんです。また、日本の天然ウランの最大の供給先であるカナダも、インドの核実験(1974年)がカナダ産の原子炉と天然ウランを使って作ったプルトニウムによるものであったために、核拡散に非常に神経質になっており、対日規制権の強化を要求してきました。そして、もし先方の要求に応じなければウラン供

給をストップすると言ひ、実際に一時停止しました。当然電力会社はピンチに陥りました。日本側はずいぶん抵抗したのですが、結局「持てる者」と「持たざる者」の力関係で、先方の要求に応じざるをえませんでした。

しかし、米、加、豪の3カ国との原子力協定改正交渉を同時並行的にやるのはきついし、我が方の不利になると思ったので、私の判断で、3カ国の中で一番与しやすと考えられたオーストラリアとの交渉を先行させました。その交渉中に「長期包括的事前同意」方式の雛型をまず作り、次にそれをカナダとの交渉でさらに精緻なものとし、それをベースにいよいよ1980年代初めから対米交渉をスタートさせたわけです。

つまり、簡単にいうと、「長期包括的事前同意」という仕組みは、日本の原子力平和利用活動を、天然ウランの輸入(豪等から)、濃縮(米仏やウレンコで)、燃料加工(日本で)から再処理(英仏で)、プル返還、FBR、プルサーマル、廃棄物管理に至るまで、すべての核物質の流れを各施設ごとに細かくリストアップし、それぞれ計画段階、建設段階、運転段階に分けて明示するという仕組みです。そういう一覧表を先方に渡しておけば、例えばオーストラリアやカナダから買った天然ウランがフランスやアメリカの濃縮工場に行き濃縮されて、それが日本のどの電力会社のどこに行っているか、どういう状態かが一目で分かるから日本が怪しいことをしていないということが分かり、安心できるというわけです。

また、特に再処理問題については、当時も今も、米国は「プルトニウムバランス」に強い関心を持っています。初期の日米交渉の際にはまだ「ふげん」がありました。これはプルトニウムもウランも使える優れた炉で、この新型転換炉を持っているのは世界の中では日本しかありませんでした。「ふげん」でプルトニウムを使うのだから、よその国はまねられない。そして、この「ふげん」の先に高速炉「もんじゅ」があり、そこでのプルトニウムの扱い方を習熟するためにプルサーマルサイクルをしたいというロジックでした。

澤田 「ふげん」、「もんじゅ」、そしてプルサーマルという三本立てになっていたのですね。

金子 米国が当時、心配していたのはインド、韓国、イラン(王政時代)などいろいろな国が日本と同じように、再処理してプルトニウムを使って核燃料サイクルするようになると困るということです。それに対して日本側は、よその国とは違う、NPTを批准し、IAEA査察を厳格に受け入れている、プルトニウム管理もしっかりとやるという主張でした。

澤田 大変な苦労の上にようやくそこにたどり着いた。

金子 そんな中で「ふげん」の役割は大きかった。

澤田 ところが「ふげん」はいかにも呆気なくやめました。

金子 あれは悪い先例になっていると思います。だから今回、「もんじゅ」については、そんな軽率なことはやってほしくない。技術面を含めた「エネルギーの自立」(energy independence)は非常に大事だと思います。

田中 私も坂田さんと一緒に対米交渉をやりました。資源やエネルギー源がない日本にとって、原子力は非常に重要な役割があります。再生可能エネルギーや省エネも必要ですが、それだけでは足りないし、コストもかかります。化石燃料とともに、さまざまなものを持つことがエネルギー安全保障上、とても重要です。資源がない日本や韓国にとって、原子力をやめるというのは自殺行為だと思います。

今の米国はシェールオイルがあるし、ガスは非常に安い。石炭も豊富に持っています。その上で、再生エネルギーもそれなりにやっています。つまり、日本とは全く事情が異なり、化石燃料も含めたエネルギー自立があります。だから使用済み燃料をすぐに再処理してプルトニウムを使わなくても、十分もちます。使用済み核燃料は100年ぐらいドライキャスクに入れて置いておいても困りません。

澤田 米国が原子力に足踏みしている背景は、日本とまったく違うのですね。

米国は中東にもロシアにも依存しなくていい。今の米国の中東やロシアに対する外交政策は、このエネルギー自立の前提に立っています。けれども日本は、そんなぜいたくにつき合ってられません。中東の今の不安定な状態を見れば、これからは中東依存を減らし、化石燃料でロシアとつきあわざるを得ない。これは米国を説得する必要がありますけれども。

一方で原子力を始めた以上、高速炉でウラン238とプルトニウムを使っていくというのは、当然のことです。使用済み燃料を国内で処理していかなくてははいけなくなると、処理して、減容して、それから放射線の毒性を下げるごみ焼却炉としての高速炉も絶対必要なので、そういう観点が世の中での説明では抜けています。高速炉にはバックエンドとしての意味もあります。

澤田 それが、今や国民にあまり伝わってない。

田中 さきほどの藤家さんの文明論の中にあつた自然との調和を考えれば、放射性廃棄物の処理とエネルギー源がない日本にとっては安全保障、そして地球環境のためにはどうしても、高速炉が必要だという説明を、原子力関係者はしていかなければなりません。

さらにグローバルな視点から言うと、途上国はこれから原子力を使っていきます。中東が資源枯渇後を見据えて、持っているお金で原子力や再生エネルギーに投資をしています。その人たちが安全に運転し、さらに安全にごみを処理して、それを核爆弾にしないように使ってもらわなければならない。日本は、平和利用のモデルを示し続ける必要があると思います。

澤田 それが世界に果たすべき日本の役割なのですね。

田中 そうです。それを米国にも理解してもらい、米国と一緒にやるべきだと思います。また日本は、原爆が投下された後は原子力の平和利用に徹しており、IAEAに日本の天野事務局長が選ばれているのは、日本のパフォーマンスが世界に認められているからであり、日本の名誉ある平和利用のモデルになっていると思います。

イランも平和利用に徹し、中東における一種のモデルをつくっていくという道もあります。

澤田 日本の非核三原則のようなものが世界各国でできれば……。

田中 平和利用についてきちんとコミットしている国にはしかるべき待遇をし、核不拡散型の技術を使えば再処理をやっていいということ認めていく方向に世界が転換していかないと、闇でつくる人たちがふえてしまいます。

世界では今、60カ国ぐらいが核兵器をつくる潜在的な技術的能力を持っています。ただし、本当に持っているのは米国、ロシア、イギリス、フランス、中国の5カ国のほかにパキスタン、インド、それからイスラエルです。イランと北朝鮮はどうカウントするかという問題がありますが。残る約50カ国には、つくらないという意味をきちんと持ってもらうということが重要だと思います。

「もんじゅ」をきちんとやらないと、日本の将来はない

澤田 日本が核燃料サイクルのフルセットオプションを米国から勝ちとったという経緯と、文明論的なバックグラウンドを紹介していただきました。ところが日本では、核燃料サイクルの一つとして重要だった「ふげん」をやめてしまった、その後の「もんじゅ」はうまくはかどっていない。なぜでしょう。

藤家 「ふげん」は簡単にやめたわけではありません。しかし当時には軽水炉の全炉心にMOX燃料を入れるということがわかり、それに比べたらふげんは経済的に高くなる。このため大間でのフルMOXという話になりました。

澤田 その後の「もんじゅ」が、うまく立ち上がっていません。

坂田 その第一の原因は、ナトリウム漏れに関するビデオ改ざんですね。それによって事故が事件になりました。「もんじゅ」は技術よりもむしろ社会的問題になりました。二つ目は改造工事後の試験運転のうちに、燃料交換用の設備でトラブルを起こしました。「もんじゅ」は社会的に問題視されていたところに技術的な問題が起こり、さらに不評をかいました。三つ目として、福島事故後に現場作業での不備が続いていることがあります。ロシアの高速炉でもナトリウム漏れは何度も起きています

が、ロシアは技術的な対応だけですませ、その後の運転を順調に行っています。日本の風土との違いを感じます。日本はロシアのようにはいきませんが。

澤田 「もんじゅ」は原型炉と呼びますが、発電装置もついている「実験炉」に過ぎないので、実験段階でいろいろなことが起こるのは当たり前です。それを直しながらシステムとしての向上を図っていくのが目的なのに、その初期段階でつまづいて再起がなかなかできないままです。それは技術の問題とは別の問題かもしれません。

藤家 「もんじゅ」をきちんとやらないと、日本の原子力の将来はないと思っています。我々は資源確保と環境保全を同時に満足するような原子力のシステムを、核分裂反応を使ってやりたいと思っています。それを日本はオープンに議論して、その方向に議論を進めていかなければなりません。

澤田 去年、私は地元の中学生と「もんじゅ」を見学させていただきました。その際、都会の生徒さんにも声をかけたのですが、担当の先生から「もんじゅ」には悪いイメージがあるので、今回は遠慮したいとお返事がありました。だから我々が、もっと語らなければいけない。それで私は、「もんじゅ」応援団みたいのものを SNS などにつくってはどうかと、とある関係筋に意見をもとめました。が、「なにを言っているのかわからない」というような反応でした。一般の人々に語りかけたり、理解を求めることにはほとんど関心がないのかなと。

金子 原子力の専門家が「もんじゅ」の重要性をあまり語らないということ、私は危惧しています。もし今、日本が「もんじゅ」をあきらめると、高速炉という構想自身も立ち行かなくなります。高速炉は今、「BN-800」の商業発電を最近始めたロシアを先頭に、インドや中国などが猛烈に進めています。フランスはスーパーフェニックスは頓挫しましたが、ASTRID という技術実証炉の計画を持っています。また、インドでは、日本が1950~60年代に原子力ブームだった当時のように、意気込みがあり、技術エリートは社会的に尊敬され、政府が反対論を抑えています。このような旧共産圏国家か、トータルリアン(全体主義的)な国家でないと、高速炉は開発しにくいかもしれません。その意味では、日本はあまりにも民主主義国家で、世論が幅を利かせており、政治家もマスコミもポピュリズム(大衆迎合)に走る傾向があります。

他方、実用化の前段階である研究や実験の過程では、失敗はつきものです。ナトリウム漏れも、それに該当します。しかし技術の発展というものは、そのような試行錯誤の過程を経て進展していくものです。現在の日本のように、「もんじゅ」をめぐる重箱の隅をつつくような規制や報道が続くと、技術の進展を逆に妨げる可能性があります。優秀な技術屋さんが創意を発揮できるような

状況をつくらなければなりません。

藤家 このまま放っておいてあと10年たつと、「もんじゅ」のことがわかっている人がいなくなります。今、わかっている人たちで「もんじゅ」に対して愛情を持っている人は相当いますから、その人たちだけを集めるだけでも、「もんじゅ」は動かせるはず。でも、「もんじゅ」が何を意味しているか。日本がなぜ戦後すぐに原子力基本法までつくって原子力を始めたのか。その根本思想や哲学は今も共有できます。原子力は資源確保と環境保全を同時に満足できるものです。さらに、前の化石エネルギーの文明では到達できなかった世代が、これから待っているわけです。そこへの道筋を日本が切り開いていくという意欲を、原子力関係者が見せてほしい。

澤田 今の大学の中で高速炉の研究をやっている人は、わずかです。

田中 米国では小型炉や統合型高速炉など、いろいろなタイプの炉を研究して、皆さんが競争し切磋琢磨しています。

澤田 3.11以降、原子力関連の予算は除染と廃炉に大きくシフトしました。今の大学は競争的資金をいかにとってくるかというのが一つの重要なミッションなので、その関係の研究に皆の関心が向かっています。あとは、人材育成くらいですね。

坂田 大学の先生が予算のある方向になびき、ないところには手が出しにくいということも理解できます。一方で政策論として、田中さんが言われたように新しいアイデアを出していくことも必要でしょう。

原子力を考える司令塔がなくなってしまった

澤田 藤家さんが原子力委員長でいらしたころには、原子力利用長期計画のような国家としての政策があり、その中で位置づけられたものに予算がつくようになっていました。けれども今は、原子力政策を企画する司令塔がなくなってしまいました。

藤家 かつての原子力利用長期計画のようなビジョンに相当するものを、なくしてはいけません。

澤田 それが今は何もないので、この惨憺たる状況です。復活させなければなりません。

田中 司令塔がないというより、司令塔の人がみんな自信を喪失し、指令をしなくなっています。経産省の若手と議論すると、彼らは福島を除染と廃炉に、ほとんどのエネルギーと予算をつぎ込むつもりだと言います。けれどもエネルギーの将来やエネルギー安全保障を考えたら、そんなことでは国の針路を間違えてしまいます。

坂田 経産省も文科省も役人は長期的な視点を見据えて考えないといけないのですが、そのためには知恵をつける人も必要です。役人は、いろいろな人の話を聞いて、世の中のためにはこれから、こういったことをやる

のがよさそうだとすることを判断する職業でもありません。

田中 原型炉で失敗や事故が起きるのは、ある意味当然のことです。透明性を考えれば、これから実際に動かしたときにどういう事故や失敗が起こるのか、ある程度予想できます。それらのトラブルを事前に説明しておくことが必要だと思います。

藤家 安全神話を含め、原子力の安全について語る時には、ほとんどが放射線の安全に集中しています。けれども火災発生時や、機器や建造物の破壊、崩壊についても説明を加えることも大切です。原子力施設の安全の特性にかんがみて、放射線被曝に限定して説明されすぎていたようにも思えます。福島事故の教訓は平和利用に加えて自然や社会との調和の観点から論じることの重要性を示したように思えます。

田中 ロシアで起きているナトリウム漏れの多くも、おそらくは放射能漏れではなく、化学反応ではないかと思えます。そのような事故はたぶん、「もんじゅ」を運転すると二次系では起こると思います。それを前もって言えないだろうか。もう一つは藤家さんらが手がけられたことで、カザフスタンでの実験では高速炉の炉心が溶けてもたいしたことにならないということがわかりました。そのようなことを広く周知し、国民に理解を求めておくことも必要だと思います。

澤田 今は福島原子力発電所事故の後なので、炉心が溶けること自体がそもそも事実上だめだというような規制になっています。

どういうことかと言えば『安全目標』を定めていません。安全目標は平たく言えば過酷事故時に“何ベクレルまでなら漏れても仕方ない”、“何人までなら急性被ばくによる死者がでも致し方ない”という基準で、腹を決めるということです。そこを避けているから、事実上ゼロリスク規制になっている。燃料は仮に融けても大人しく排出できて大事に至ることはない、そういう仕組みが出来るとするのがEAGLE実験ですね。

藤家 世界で初めて高速炉安全の重要テーマである再臨界排除の実験をカザフのEagle炉を使っていい結果が得られましたが。あまり関心と呼ばなかったようでした。

田中 中部電力ではPR館に、過去の失敗の事例が展示されています。どのようにして失敗するのか、そうするとどんなことが起こるのかということがよくわかれば、怖いという思いは少なくなります。特に技術系の人たちは、実験したときに失敗することある程度前提にしてやっているわけでしょうから。

勸告に対応するために、必要な人を集める

澤田 核燃料サイクルの中で非常に重要である「もん

じゅ」が、規制当局から勸告を受けました。勸告とはどういうものか、どの程度の効力があるのでしょうか。

坂田 勸告自体に法的な拘束力はないと言われてます。けれども原子力規制委員会が勸告を出したという政策判断は、とても重たいものだと思いますし、文部科学省もそう受けとめると大臣も発言しています。このため、勸告で指摘された別の運営主体を探すこと、それができなければ「もんじゅ」のあり方の抜本見直しに、きちんと向き合わざるを得ないでしょう。このため文科省は今後の方策について、2015年12月中に検討会を設けるとしています。その検討結果がどうなるかですが、「もんじゅ」はきちんと運転して成果を出してもらいたいという気持ちに変わりはありません。

澤田 本誌2010年10月号で、当時の川端達夫・文部科学大臣にインタビューを行いました。ちょうど「はやぶさ」が小惑星のかけらを持ってかえってきた直後の時で、川端大臣は「私が文科大臣として、かなえたいことが2つある」とおっしゃっていました。一つはその時のはやぶさ。そしてもう一つは「もんじゅ」で、これをぜひ動かしたいということをおっしゃっていました。今、行政の長である大臣に、こういう強いリーダーシップがあるようには感じられません。トップの思いや熱がない状況の中で、この勸告が出ているような気がします。そこが弱い。原子力政策の空洞化に強い危機感を感じます。

さて、今は運営組織を変えるということは事実上、あり得ないですね。

藤家 わかった人を中心にやってもらうということは、一番大事なことです。ただ、「もんじゅ」に期待しないという判断をするなら、それはしょうがありません。期待するのであれば、それに適した人を集めればいい。

澤田 本誌2014年9月号で、「もんじゅ」現場に携わっている若手3人集まってもらって、座談会を開いたことがありました。彼らは、「もんじゅ」はびかびかであり、準備が整いしだい、いつでも動かせると力強く明言していました。

藤家 「もんじゅ」を手がけたベテランの人が、まだいるから、さらにそういう人を動員すればいいと思います。

坂田 彼らはとても貴重な存在だと思います。福島事故の政府事故調の委員長でもあった失敗学の権威の畑村洋太郎先生から話を聞いたことがあります。システムを考えると、その全体システムを最初につくった人たちは、その全貌がよくわかっている。だから、どこかの部分が壊れたときに、それをどう直したら全体システムに影響を与えずに改良できるかは、その人たちにはわかる。ところが、時間がたってみんながパーツごとの役割になってしまった時に、ある部分が壊れると、その担当の人はそこだけ最適化するように直してしまう。でも、それは結果的に、全体最適にならないことがある。

それが失敗を生むと。

そういう意味では全体を知っている人が「もんじゅ」のオペレーションのマネジメントに何らかの形で関与することが、必要です。

藤家 「もんじゅ」の司令塔ですね。

坂田 だから、そういう形にすると失敗しにくい。

「もんじゅ」は、実質的には20年ぐらい動かしていない。人も代わっている、新しい人たちは運転した経験がない。だから、全体をわかっているとは言えない。だとすれば昔「もんじゅ」をつくり、あるいは試運転を行った原子力機構やメーカーや電力会社の人、あるいはOBの人たちが集団で現場のアドバイザーや指導者になって関与する仕組みをつくるという方法も、重要だと思います。

原子力機構の現場がそういうことを全くやっていないわけではないでしょうし、新しく来られた児玉理事長は現場をエンカレッジされておられると聞いています。さらに経験や知識がある関係者やOBが参画できるような形になることを望みます。

澤田 「常陽」の経験も生かせますね。

坂田 「ふげん」は電気出力16万5,000kWで、「もんじゅ」の半分強の出力です。「ふげん」は現役の時に772体のMOX燃料集合体を燃やし、当時の動燃事業団と電力会社の人と一緒に、健全に運転した実績があります。また高速実験炉「常陽」もきちんと経験があります。そういう実績があるのだから、「もんじゅ」にも生かせるはずではないかと思うのです。また、そのことで当事者である原子力機構の人たち自身が、「おれたちはがんばってやるのだ」と声を上げる気概がほしいです。

「もんじゅ」がなくなれば、技術立国が成り立たなくなる

金子 日本は資源小国だったので、だからこそ技術立国で行くということが戦後の国の基本でした。これは今も変わりません。半導体や自動車などの分野ではそれは実現していますが、私は国家にとって、一番大事なのはエネルギー面での技術の独立、別の言葉で言えば、国産技術の振興だと思います。

例えば、かつて1970年代末、日本では当時の通産省と電源開発の両角総裁とが、カナダからCANDU炉の導入を提案したことがありました。一方で、科学技術庁や当時の動燃は、国産の「ふげん」を進めるべきだということを主張していました。その論争は非常にもめました。それに決着をつけたのが土光敏夫氏です。同氏はINFCE対策等のために、原子力委員会の下に「国際原子力問題等懇談会」なる臨時的組織を作り、自ら座長を務められましたが、実質的にはその懇談会は原子力委員会より上位に位置づけられ、そこに関係省庁の代表や電力会社の社長や原子力委員を集めて、土光氏の強いリー

ダーシップの下にこのCANDU炉問題も決着させました。もしCANDU炉を導入すると、あとあとまでカナダに技術の首根っこを押えられるから、技術はあくまで国産主義でいくべきだということで、CANDU不導入を決定したわけです。

一方、現在は中国が猛烈な勢いで原子力を進めており、AP-1000をコピーした中国製原子炉の輸出も手がけています。それにイギリスがめざとく接近し、フランスを介して中国のお金と技術に目をつけている。これからイギリスで新設する原発の大部分は、フランスと中国のチームでつくってもらおうことになりませんが、いずれ近い将来フランスの技術よりも、中国製炉が大量にイギリスに導入されていくと思います。

それでも、「もんじゅ」がおしまいということになってしまうと、日本の技術屋さんは先進的な原子力をやる気をなくし、大学の原子力関連学科はいずれ全滅すると思います。原子力分野における技術立国が成り立たなくなります。しかし、今回のCOP21でも、結局経済成長をとめずに人々の生活水準を下げないでCO2を減らすためには、原子力をやる以外にないことになっています。

澤田 これは世界の常識ですよ。

金子 そういうときに日本が原子力から手を引けば、石炭や石油や天然ガスを使うしかない。そうするとCO2排出量は増え、必ず国際社会から叩かれます。この5年間は福島原発事故の後だからということで対日批判はおさまっていましたが、これからは温暖化防止に熱心ではないという意味で日本に対しプレッシャーがかかってきます。その時に、どうしても原子力をやらざるを得なくなる。

しかし、そのときに日本の技術屋さんが絶えているということになりかねない。高速炉を今やっているのはロシアと中国とインドくらいなものです。将来中国から高速炉を買うということになったら、これはえらいことになります。

澤田 それは中国製の第4世代原子炉を日本が輸入するという将来像でしょうか。

金子 それを考えると、僕はロシアやインドと高速炉分野で協力を進めてはどうかと思っています。

澤田 なぜインドなんですか。

金子 本誌2015年12月号にも書いたのですが、日印原子力協定が署名されて原子力協力が本格化すれば、メーカーが日本製の原子炉を輸出するだけでなく、科学技術分野での研究協力を進めることができます。

インドの「原子力の父」と言われるホミ・バーバ博士による三段階方式では、最初に天然ウランを利用する重水減速・加圧重水冷却炉を手がけ、次いでプルトニウムを利用した高速炉、そしてトリウムとウラン233を利用した高速増殖炉と進むわけですが、高速炉の研究開発では

日本と協力ができます。そもそもインドは高速炉の研究開発を結構やっていますから。だからこれからは日印が、安全保障面でも経済貿易面でも科学技術面でも大いに協力するべきで、それによって対中共同戦線を張るべきだということを提唱しています。安全保障面というのは、たとえばマラッカ海峡以西のインド洋のシーレーン防衛協力が重要です。

田中 私はインドに、第4世代炉心に向けた研究協力を提案しています。そのほかに韓国やカザフスタンも協力相手の候補かもしれません。中国と手を組むのは難しいです。

金子 逆にやられてしまいますからね。

田中 それぐらいを見越して、今後はアジアが中心になることを考える時期が来ていると思います。そこで中心となるのは、高速炉しかない。これをどうやったらうまく連携して発展させられるかが課題です。

金子 ともあれ、ぜひ「もんじゅ」計画がこのまま生きながらえて発展していくことを切に願います。決して、大英帝国の二の舞にならないようにしないとはいけません。

原子力を含む総合科学が、文明の根幹を支える

澤田 いろいろな論点が提示されました。一つにはベテランを含めて技術者が、今こそ総力を結集して気概を持ってキッチリやるべきことをやらなければならないということ。日本はフルセットの核燃料サイクルオプションを持っており、日米関係もその基盤に問題はありませぬ。その中で独自の技術を持たないと、特にエネルギーは日本の国家の根幹を左右するわけですから、可能な限りインディペンデントに近づけていく。その中で原子力、とりわけ高速炉というのが重要な意味を持っているということが、改めて確認できたと思います。

しかし、現役の技術者や研究者に覇気がない。そこに何とか喝を入れていただきたい。さらに学会はどうすべきかについても言及していただければ。

坂田 技術の自立は、実は国力そのものです。いろいろな意味で不安定な21世紀を生き抜くためには、原子力や宇宙などの技術をきちんと持つということはとても重要だと思います。それは安全保障そのものだと言ってもいいものです。

澤田 今の原子力は、ベースロード電源的な位置づけぐらいしか人々の頭になんないけれども、そうではないと。

坂田 はい。エネルギーというセクターの中での重要性はその通りですが、もっと高い次元で見れば、国家としての力、国家の安全保障を守るために極めて重要なエレメントです。だから日本のような国は、例えば中国が今は何をやっているかということ冷静に見て分析し、それをふまえて日本はどうやって生きていくべきなのか

という視点も、原子力を考えるときには入れ込むべきです。21世紀はそういう視点なしに、ただ清く正しい国家として生きていくには難しい時代になるということを忘れてはいけません。だから、今回の問題についてもそういう側面も考えて対応してもらいたいと思います。

それから学会の先生方は、政府や民間以上に自由な立場にあります。これから尊敬される国家として持続的発展をしていくためにも、学会の先生方こそが自らを奮い立たせて、我々は、あるいは政府や社会はこうあるべきだと主張し、役人や政治家に気づかせ、彼らと国家の進路を決めていくという関係をぜひつくってもらいたいと思います。

藤家 原子力の将来は、総合的な科学技術としての成長をどうやって遂げていくのかということに関わります。それはエネルギーや物質、技術、情報、そして社会的な問題にも関わります。

田中 学会は今の政府の政策とは少し違うことを言った方がいいと思います。原子力の世界では競争が起きておらず、多様性がない。統合型高速炉や進行波炉(TWR)、熔融塩炉、商業型の核融合炉など、海外ではいろんな競争が起こっていて、政府からの資金も供給されている。これらは夢のある話なので、人材が集まってきています。

藤家 1945年から70年間、世界では核兵器が現実に使われることはありませんでした。これに対する日本の貢献を我々は自信を持って言うべきだと思っています。

原爆投下で自らも被爆した永井隆先生は、「原子爆弾の原理を利用し、動力源として文化に貢献できるとく一層の研究を進めたい。転禍為福。世界の文明形態は原子エネルギーの利用により一変するにきまっている。そうして新しい世界が作られるならば、多数犠牲者の霊もまた、慰められるであろう」と訴えた。それは日本がこれからも捨てていけない一番肝心のポイントだと思います。

原子力を含めた総合科学が、文明の根幹を支えるものになっていなければなりません。今の世界では、放射線を使わない世界なんてほとんどありえない話です。エネルギーについても、それが文明を支えるという夢のある話をすべきです。

私は、長寿命の放射性核種をどうやって消滅させるかまで考えた時に、原子力をめぐる安全問題が初めて解決すると思っています。

澤田 そこでメインプレイヤーになるのが高速炉だということですね。

藤家 軽水炉は燃料をつくれぬ。だから、どうしても高速炉が必要です。軽水炉でやる世界はもう十分我々理解しているから、今必要なのは高速炉の研究です。高速炉は放射性廃棄物というマイナスをゼロにする可能性まで持っています。それをめざすことは、私は新しい文

明を構築することだと見えています。

経産省が「もんじゅ」に関与する

金子 今回の規制委員会の勧告をうけて、これから「もんじゅ」問題をめぐっているいろいろな動きが出てくるでしょう。六ヶ所工場の問題もあります。その観点で注意すべき点の1つは、2018年に現行の日米原子力協定が満期になるということで、国内には日米交渉と「もんじゅ」や六ヶ所問題をリンクさせて心配する向きがあります。しかし、私は、この問題についてはそれほど心配しておりません。協定の「改正」は必要ではなく、日米安保条約と同様に「自動延長」で行けるようになっており、それで行くべきだからです。過去の経験からみて、日米同盟関係が安泰である限りは、原子力関係が悪くなるということはないはずですが、だから、このことはあまり騒がない方がいいと思っている。ただ、せっかく勝ち得た再処理やプルトニウム利用の権利を十分生かしてないというのは、まことに不都合で、この状態が長く続くと米国内の核不拡散派の連中を勢いづかせる恐れはあります。

一方、規制委員会の勧告に対応するためには、「もんじゅ」のためのオールジャパンの支援体制を早く作り、衆知を結集しなければなりません。3.11以後、原子力業界も学界もふぬけの状態になっています。皆さんは原子力の司令塔がないと言うけれども、言うだけでは動きません。私らの現役時代には土光さんが業界も官界もがっちりまとめてくれた、そういう雷親父が今は日本の社会にいない。ないものねだりかもしれませんが。

そこで集团的知恵ということで、ぜひ関係官庁や関係組織にお願いしたいのですが、今まで原子力の研究開発と実用面の所管官庁、具体的に言えば文部科学省と原子力機構と、一方の経産省と電力会社との連携プレーがうまくいっていません。「ふげん」がそうでしたが、「もんじゅ」の場合はもっと深刻です。せっかく技術屋さん苦労してつくった技術が実用化されないまま朽ち果てるということでは非常にまずい。高速炉についてはぜひ、研究段階から実用段階にうまく繋げてもらいたい。

そのためには電力、それを仕切っている経済産業省にも、ぜひ「もんじゅ」の問題にも首を突っ込んでもらいたい。将来的には、経済産業省が原子力発電に関連する研究開発はすべて一元的に所管することが望ましいと思います。米国では、1970年代にカーター政権下で原子力委員会を廃止し、規制関係は原子力規制委員会(NRC)に、推進関係はエネルギー省に一本化しました。日本もこの方向を目指すべきでしょう。

ついでに言えば、かつて原子力開発を牽引した原子力委員会は、3.11以後、権限も委員も大幅に縮小され、すっかり弱体化してしまいました。もし経済産業省(資源エネルギー庁)が文字通り原子力推進の中心になれば、

原子力委員会を中途半端な形で残す必要はなくなりません。今は原子力規制委員会の天下で、一人勝ちの感がありますが、この委員会の在り方も早晩見直すべきです。

澤田 原子力政策の司令塔とするべく、建て直す？

金子 なお、目下(2015年12月下旬)、再処理事業で日本原燃に代わる認可法人を設立する話が進んでおりますが、その新法人に「もんじゅ」をも担わせることにして、オールジャパンのがっちりした体制を文科省と経産省でつくることも一つの選択肢です。

最後に、原子力学会にも、もっと頑張っていたきたい。優秀な研究者を集めて、ぜひ「もんじゅ」計画を支えてもらいたい。「もんじゅ」は一つのシンボルであり、それをつぶすと、大英帝国の二の舞になりかねません。ぜひここでしっかり頑張っていたきたいというのが切なる願いです。

澤田 原子力学会にも重い責任がある。学会だけでなく、技術者や事業者、ひいては日本にとってこの「もんじゅ」は一つの象徴的なものであって、この「もんじゅ」をいかに活用していくかということが、日本が進むべき道を再確認することであると思いました。ありがとうございました。

(2015年12月3日実施, 編集協力 佐田 務)



かねこ・くまお/外務省初代原子力課長、外務参事官、東海大教授などを経て外交評論家、エネルギー戦略研究会会長、EEE会議代表。



さかた・とういち/文部科学省事務次官、駐ウクライナ大使などを経て、日本原子力研究開発機構特別顧問、日本宇宙フォーラム理事長



たなか・のぶお/国際エネルギー機関事務局長、日本エネルギー経済研究所特別顧問などを経て、笹川平和財団理事長



ふじいえ・よういち/東京工業大教授、原子力委員長、広島大学技術顧問などを歴任。



さわだ・てつお/独カールスルーエ研究所客員研究員を経て、東京工業大学原子炉工学研究所助教

特集

今後のエネルギー利用の長期視点 高い核拡散抵抗性を有するプルトニウム

東京工業大学 齊藤 正樹

使用済み燃料に含まれるマイナーアクチニドを軽水炉のウラン燃料や高速増殖炉のブランケット燃料に少量添加すると、燃料中に軍事転用困難な²³⁸Puの同位体割合を増加させ、高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムを生成することが可能である。「もんじゅ」は、余剰プルトニウムを効率的に燃やしながらかつ、核拡散抵抗性の高い軍事転用困難なプルトニウムを増殖する(Pu Breeder)核不拡散上極めて重要な技術の実証に向けた国際研究開発拠点として、国内外の英知を結集して再構築し、将来のエネルギー安全保障のみならず、原子力の平和利用と核不拡散の両立の観点からも、人類史上初めての挑戦を、国は高い志を持って、揺るぎなく進めるべきである。

KEYWORDS: *Excess plutonium, Pu eater, Minor actinide, Plutonium with proliferation resistance, Pu breeder, Monju, International research and development Center, Peaceful use of nuclear energy and non-proliferation*

I. プルトニウムの核拡散抵抗性

原子力の平和利用を地球規模で円滑に進めて行くためには、核不拡散に向けた国際的条約などの外交活動は重要であるが、これらは、基本的には国際的信頼性に基づく約束ごとであって、本質的な意味における核不拡散の問題の解決策ではない。国際的な破壊行為をする集団(国際テロ)や“ならず者国家”に対しては限界がある。より本質的に重要なのは、使用する核物質そのもの自身が、核拡散に対して固有の強い防護特性(核拡散抵抗性)を有することであり、平和目的の利用には有効に使えるが、軍事的には転用が非常に困難な核物質に変換することである。

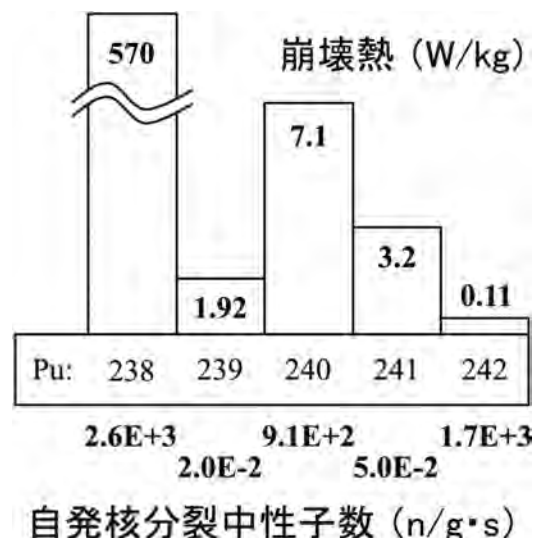
例えば、第1図に示すように、²³⁸Puは1Kgあたり約570ワットの崩壊熱を放出する。これは、軍事利用に最も魅力的な材料である²³⁹Puと比較すると、約300倍であり、このように、大量に発熱する²³⁸Puの混合率の多いプルトニウムは、軍事転用する場合、核弾頭を常に冷やしておかないと、プルトニウム自身が融点に達したり、また、周囲の材料(高速爆縮するための爆薬等)や機器に大きな悪影響を及ぼすため、軍事転用は非常に困難な物質である。

さらに、²³⁸Puは1g当り1秒間に約2600個の自発核分裂中性子を自然に放出する。これは²³⁹Puの約13万倍である。自発核分裂中性子を多く放出する²³⁸Puは、核爆発の早期爆発現象を誘導し、軍事転用には非常に魅力のない物質である。また、不審な移動に対して検知が比較的容易である。

しかし、²³⁸Puは原子炉(特に高速中性子炉)内では、²³⁹Puと同様に核分裂をして平和的に安全に安定してエネルギーを生成する。

このような特性から、国際原子力機関(IAEA)の報告によると、80%以上の²³⁸Puを含むプルトニウムは、保障措置(査察)の対象から免除されている¹⁾。また、最近のIAEAと共催して東京工業大学で開催されたプルトニウムの核拡散抵抗性に関する国際科学技術フォーラム²⁾や東京工業大学での研究³⁾では、それよりもっと低い²³⁸Puの混合率でも(例えば、10%から15%以上であれば)、軍事転用は非常に困難であるという議論がなされている。

また、軽水炉の使用済み燃料中には比較的多く含まれている²⁴⁰Puや²⁴²Puも自発核分裂中性子を多く放出す



第1図 Pu 同位体の崩壊熱と自発核分裂中性子

Plutonium with high proliferation resistance : Masaki Saito.
(2015年12月10日 受理)

るため、これらのPu同位体を多く含有するプルトニウムも軍事転用に魅力がない核物質である。例えば、IAEAの元事務次長のB. Pellaudは、30%以上の²⁴⁰Puが含むプルトニウムは、核兵器への転用について“Practically Unusable”と述べている⁴⁾。

しかし、²³⁸Puの核拡散抵抗性における熱的効果は、単位質量当り²⁴⁰Puの約80倍(²⁴²Puの約5200倍)ある。即ち、熱的効果のみで言えば、プルトニウム中の²³⁸Puの混合率を1%増加させることは、²⁴⁰Puの混合率を約80%増加させる効果に等しいといえる。

因みに、現行軽水型原子炉から取り出される使用済み燃料中の²³⁸Puの混合率は約1~2%程度である。

それでは、如何にして原子炉内で高い固有の核拡散抵抗性を有する²³⁸Puを多く含むプルトニウムを作ることができるか？

Ⅱ. マイナーアクチニドは核のゴミですか？

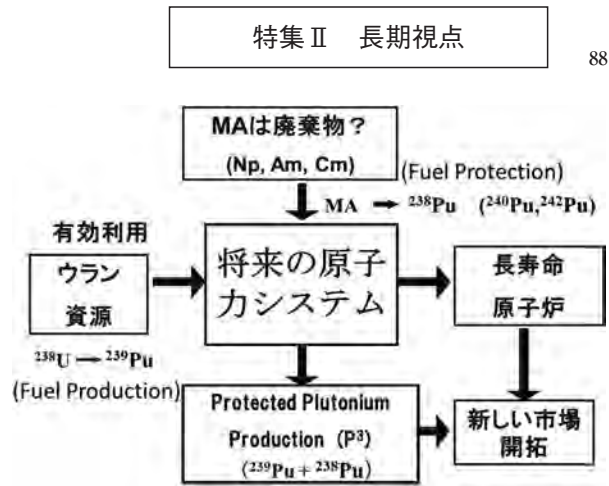
マイナーアクチニド(MA)とは、ネプツニウム(Np)、アメリシウム(Am)、キュリウム(Cm)等の総称である。国際原子力機関(IAEA)と東京工業大学の最近の共同研究によると、高レベル廃棄物中及び貯蔵されている使用済み燃料中に含まれるMAの総量は、2010年で、世界に約270トン、また、2050年には世界で1270トンに増加すると予測されている⁵⁾。

これらのMAは、現在、多くの国では、高レベル放射性廃棄物として地層処分の対象とされているが、しかし、MAは確かに放射性物質であるが、本当に廃棄物なのだろうか？

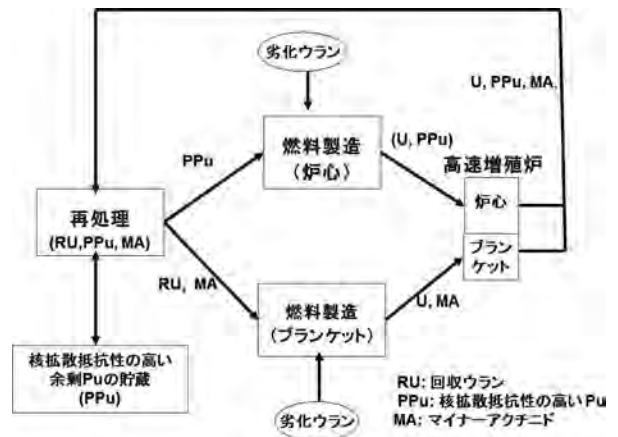
例えば、現行の軽水炉から取り出される使用済み燃料中のMAの約半分を占める²³⁷Npは、特に熱中性子領域では大きな中性子捕獲断面積を持ち、中性子をよく吸収する。中性子を吸収すると²³⁸Npを経て、²³⁸Puに核変換する。残り約半分のMA(Am, Cm)は、例えば、前述の²³⁷Npよりもっと大きな中性子捕獲断面積を持つ²⁴¹Amは、中性子を吸収すると、²⁴²Amを経て、主に²⁴²Cmに核変換される。この²⁴²Cmは半減期約163日でα崩壊して、²³⁸Puに核変換する。また、²⁴²Amは、電子捕獲して²⁴²Puに核変換する。さらに、²⁴⁴Cmはα崩壊して、²⁴⁰Puに核変換する。

このように現在、高レベル放射性廃棄物の対象とされているMAを軽水炉のウラン燃料や高速増殖炉のブランケット燃料に少量添加することにより、発電しながら、どのような燃焼度のタイミングで取り出しても、燃料中に²³⁸Puや²⁴⁰Puを多く含む高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムを生成(Protected Plutonium Production: PPP(P³)(第2図))することが可能となる⁶⁾。

このP³メカニズムは、中性子エネルギースペクトルの異なる国内外の2種類の研究炉(JAEAの高速実験炉



第2図 高い核拡散抵抗性を有するプルトニウム生成



第3図 P³技術を適用した核拡散抵抗性の高い軍事転用困難なPuを増殖する高速増殖炉サイクル(原子力の平和利用と核不拡散の両立)

「常陽」と米国アイダホ国立研究所の熱中性子研究炉「ATR(Advanced Test Reactor)」で実証している⁷⁾。

従って、第3図に示すように、高速増殖炉では、MAは炉心に装荷して核分裂によって燃焼して減らすのではなく、ブランケットに装荷して、核拡散抵抗性の高いプルトニウムの増殖に活用すべきである⁶⁾。

また、²³⁷Npや²⁴¹Amは、初期の余剰反応度を抑える可燃性毒物かつ親物質として効果的に働くため、炉心の長寿命化に貢献する⁶⁾。

また、軽水炉の使用済み燃料から回収されたウランには、²³⁷Npの約10倍の²³⁶Uが含まれていて、これは²³⁷Npの原料物質である。このことは、今後、世界的に大量に蓄積される軽水炉の使用済み燃料からの回収ウランを再濃縮し、P³燃料の材料として軽水炉で再利用することにより、ウラン資源の節約を図ると同時にPu核拡散抵抗性を向上させる新たな戦略的な核燃料サイクルシナリオ構築に寄与する⁸⁾。

因みに、Albert Einsteinは“It is easier to denature plutonium than it is to denature the evil spirit of man”と述べている⁹⁾。

Ⅲ. 「もんじゅ」について

1978年に環境審査が開始し、1980年に安全審査が開

始され、1985年に本体工事着工、1992年に性能試験開始、1994年に初臨界達成した。「もんじゅ」の安全審査や建設は官民一体で取り組み、当時は「もんじゅ」国家プロジェクトに参画することは若い技術者や研究者にとって誇りであった。しかし、翌年1995年にNa漏洩事故が発生し、その後、Na漏洩対策が終了し、2007年に運転再開はしたが、その後も、新たなトラブルや不具合が見つかり、「もんじゅ」は行き着く方向を見失い始めた。

巨大プロジェクトには、ビジョン(目標)と組織的なチャレンジ力(挑戦力)が必要・不可欠である。ビジョンを見失い始めると、挑戦力が揺らぐ。また、状況が混乱すると目先のことしか見えなくなるのが常である。「もんじゅ」を取り巻く状況は、まさに、このような状況である。何故、このような状況になったのか?その要因と対応策のいくつかを以下に述べる。

(1) 有能な人材不足

多くの熟練した技術者や研究者が定年退職して、その補充や新人教育が間に合っていない。再度、国内外の英知を結集して、有能な人材を補充し、国際研究開発拠点として再構築すべきである。

(2) トップマネジメント力の低下

組織のトップマネージャーは、時代の流れ、国内外の動向、科学技術の新しい知見等を常に的確に把握し、プロジェクトのビジョンを見失わずに、先頭に立って、組織に挑戦力を湧き立たせ、荒波を乗り切っていく覚悟と責任が必要・不可欠である。

(3) 高速増殖炉のビジョン(開発目標)の見直し

国は原点に戻って、今後の高速増殖炉のビジョンを徹底的に見直すべきである。閉鎖的な議論ではなく、国民も含めて国全体でもう一度議論することが重要である。透明性を高めて情報公開を徹底し、広く国民に意見を求め、国の政策に反映すべきである。

その際に考慮すべき点を以下述べる。

- ①技術的な安全性の保障(公衆の安全確保)
- ②長期的なエネルギー安全保障(核燃料の自給(増殖とサイクルの確立))
- ③長期的な環境保全(地球環境保全と核廃棄物の低減)
- ④原子力の平和利用と核不拡散の両立(余剰プルトニウムの効率的な燃焼と核拡散抵抗性の高い軍事転用困難なプルトニウムの増殖)

原子力規制委員会は、「もんじゅの運営主体の交代」を勧告し、不可能な場合は、廃炉も選択肢として除外していないとする見解を示したが(毎日新聞)、「高速増殖炉」プロジェクトを継続するか、中止するかは、国の政策の問題であり、新基準に基づいて安全審査を終了した軽水炉の再起動については、国や地方自治体が決めることと原子力規制委員会が自ら言っているように、原子力規制委員会の役割ではない。原子力規制委員会は「運営主体

の交代」の勧告を提出して、安易に突き放すのではなく、新基準に基づいて、中立公平な立場で、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に向けて、責任を持って指導をすることを期待したい。

IV. まとめ

現在、厄介な「核のゴミ」として扱われているMAは決して「ゴミ」ではなく、将来の人間社会の平和と繁栄を支える貴重な「宝」である。

P³技術を活用すれば、我が国のみならず、世界の原子力の平和利用と核不拡散が促進され、人間社会の持続的発展に大きく寄与することが期待される。

「もんじゅ」は、余剰プルトニウムを効率的に燃やししながら(Pu Eater)、かつ、核拡散抵抗性の高い軍事転用困難なプルトニウムを増殖する(Pu Breeder)核不拡散上極めて重要な技術の実証に向けた国際研究開発拠点として、国内外の英知を結集して再構築し、将来のエネルギー安全保障のみならず、核廃棄物の減容と毒性の低減や原子力の平和利用と核不拡散の両立の観点からも、人類史上初めての挑戦を、国は高い志を持って、揺るぎなく進めるべきである。

— 参考資料 —

- 1) IAEA, INFCIRC/153, 1972.
- 2) The 2nd International Science and Technology Forum on Protected Plutonium Utilization for Peace and Sustainable Prosperity, Tokyo, September, 2009.
- 3) Y. Kimura, M. Saito and H. Sagara, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 48, No. 5, p.215-723 (2011).
- 4) B. Pellaud, "Proliferation aspects of plutonium recycle", J. Nucl. Mater. Manage. Vol. 31, No.1, 2002.
- 5) K. Fukuda, Y. Peryoga, H. Sagara, M. Saito and M. Ceyhan., progress in Nuclear Energy, 50, p. 654-659, 2008.
- 6) M. Saito, Proc. of GROBAL 2009, p. 2363-2368, Sept. 6-11, 2009.
- 7) S. Koyama, M. Osaka, M. Itoh, H. Sagara and M. Saito, "Protected Plutonium Production by Transmutation of Minor Actinides for Peace and Sustainable Prosperity - Irradiation Tests of Np-U samples in Experimental Fast Reactor JOYO (JAEA) and Advanced Thermal Reactor ATR (INL) -", Proc. Of GROBAL 2009, p. 2358-2362, Sept. 6-11, 2009.
- 8) K. Fukuda, H. Sagara and M. Saito, J. of Nuclear Science and Technology, Vo. 45, No.10, p.1016-1027, 2008.
- 9) "bite-size Einstein", Quotation on Just About Everything from the Greatest Mind of the Twentieth Century", Compiled by J. Mayer & J. P. Holms.

著者紹介

齊藤正樹 (さいとう・まさき)

東京工業大学, 名誉教授, 特命教授

(専門分野/関心分野)原子炉安全, 核不拡散, 核セキュリティ

今後のエネルギー利用の長期視点 加速器駆動システム(ADS)導入による核燃料サイクルの展開 ADS 階層型核変換システムについて

日本原子力研究開発機構 岡嶋成晃, 辻本和文

高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術として、分離変換技術が着目されている。本稿では、様々に想定される原子力利用局面において、柔軟に対応できる技術として期待されている核変換専用の加速器駆動システム(ADS)を導入した核燃料サイクル(ADS 階層型核変換システム)について、ADS の特徴と開発の現状、将来計画を中心に述べる。

KEYWORDS: *Partitioning and transmutation, Minor actinide, Double-strata concept, Accelerator Driven System (ADS)*

I. はじめに

わが国では、使用済み燃料を再処理して U・Pu を分離・回収し、回収した核燃料物質を有効利用するとともに、残ったアクチノイド元素と核分裂生成物(FP)を高レベル放射性廃棄物として地層処分することを基本方針としている。この方針と最終処分計画に沿った取り組みの状況を鑑み、原子力委員会は「高レベル放射性廃棄物の処分に関する取り組みについて」の審議を学術会議に依頼(2010年9月)し、学術会議は2012年9月に回答を行った¹⁾。その中には、高レベル放射性廃棄物の処分が(原子力エネルギーを使用した)現世代の責任であるとの考えに基づき、暫定保管を提言するとともに、理論的に考えられるいくつかの選択肢のうちからどの技術を選ぶかの権利がその時その時の国民にもあると指摘した。

東日本大震災後に出された「エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)では、対策を将来へ先送りせず、着実に進める取組として、「高レベル放射性廃棄物については、国が前面に立って最終処分に向けた取組を進める。」とし、「あわせて、将来の幅広い選択肢を確保するため、放射性廃棄物の減容化・有害度低減などの技術開発を進める。」としている。

このように、高レベル放射性廃棄物の処分に関して、放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る技術開発は、将来世代に対する責任ある対応であり、今後の原子力エネルギー利用にとって大きな課題である。現在、将来の幅広い選択肢確保の具体的方策として、高レベル放射性廃棄物に含まれるマイナーアクチノイド(MA: Np, Am, Cm などのアクチノイド元素の総称)を分離し、高

速中性子で核分裂させる高速炉や加速器を用いて核変換する技術(分離変換技術)の開発が行われている。ここでは、加速器を用いて MA を核分裂させる核変換技術と、それを利用した分離変換サイクルに関して俯瞰する。

II. 分離変換技術

分離変換技術とは、使用済み燃料や使用済み燃料を再処理した後の高レベル放射性廃棄物に含まれている様々な元素や放射性核種を、その半減期や利用目的に応じていくつかのグループに分離するとともに、長寿命核種を短寿命核種または安定核種に変換する技術である²⁾。

分離変換技術の導入は、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度の低減、高レベル放射性廃棄物の地層処分場に対する要求の軽減、廃棄物処分体系の設計における自由度の増大といった意義がある³⁾。ここで、潜在的有害度とは放射性核種を経口摂取した場合の内部被ばく線量で重みづけした指標であり、処分される廃棄物の特性を相対的に比較することができる。この潜在的有害度は、再処理後数百年頃までは FP の寄与が支配的であるが、それ以降は MA と回収漏れの Pu を合わせた TRU (transuranic, 超ウラン) 元素の寄与が支配的となる。従って、現在は高レベル廃棄物となっている MA を十分な割合で回収して短寿命核種に変換することができれば、放射性廃棄物の潜在的有害度を飛躍的に低減することができる。その結果、潜在的有害度が天然ウランのレベルを下回るまでに 10 万年を要する通常の使用済み燃料に対して、再処理によって Pu を回収することで 1 万年程度に短縮でき、さらに MA の核変換によって数百年にまで短縮できる可能性がある。また、MA の回収・核変換に加え、発熱性 FP (⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs) を分離・回収すると、残った高レベル放射性廃棄物は、既に潜在的有害度及び発熱の点から、従来の高レベル放射性廃棄物に比べて取扱いが容易なものとなり、処分場面積の大幅削減等

Development of partitioning and transmutation system using accelerator driven system (ADS): Shigeaki Okajima, Kazufumi Tsujimoto.

(2015年12月1日 受理)

が期待できる。この分離変換技術は、ガラス固化して地層処分するという従来の方針を変更できるものではないが、処分方法の選択肢を大きく広げる。

分離変換技術を導入した MA 核変換システム概念として、発電用高速炉サイクルを用いる方法と、発電用核燃料サイクルとは別に小規模の核変換専用サイクルを設け、その中で MA 核変換専用の加速器駆動システム (Accelerator Driven System: ADS) を用いて MA の核変換を行う方法 (ADS 階層型) が考えられている。

Ⅲ. ADS を用いた核変換システムの研究開発

1. ADS 階層型核変換システムの特徴

ADS は、数百 MeV から数 GeV の高エネルギーに加速された陽子と重核種との核破砕反応によって放出される大量の高速中性子を中性子源とする中性子増倍体系である。MA 核変換専用のシステムでは、増倍体系の燃料は MA を主成分とし、MA は中性子を吸収して核分裂反応を起こす。ADS における増倍体系は未臨界状態にしておくことから、加速器の陽子ビームによる核破砕反応で発生した中性子で核分裂連鎖反応は一定状態に保持されるが、臨界状態で運転する通常の原子炉と異なり、陽子ビームを止めれば直ちに停止するのが特徴である。

核燃料サイクルを発電用核燃料サイクルと核変換専用サイクルとに区分する ADS 階層型概念は、発電用核燃料サイクルの状況から独立して高レベル放射性廃棄物処分に貢献できることが大きな特徴である。また、ADS は、燃料組成に対する許容範囲が広いことや MA を核変換専用サイクルで扱うことで導入時期や規模に柔軟性が高く、その結果、発電サイクルと核変換サイクルをそれぞれ最適化できる等のメリットがある。よって、軽水炉全盛期、高速炉への移行期、高速炉全盛期、原子力利用の終末期等の様々に想定される原子力利用局面において、柔軟に対応できると期待される。

2. ADS の研究開発の現状

ADS 階層型概念は、我が国では原子力機構を中心としてその概念の研究開発が行われてきた⁴⁾。原子力機構が提案する ADS は、超伝導陽子加速器と高速中性子スペクトル未臨界炉心を組み合わせたシステムで、炉心冷却及び核破砕ターゲットには液体鉛ビスマス合金 (LBE) を用いる。MA を大量に含む燃料としては、MA 元素を多様な組成で共存させることが可能な窒化物が第一候補である。これまで基礎的な研究開発が行われてきたが、実現には多くの技術課題がある。原子力委員会によるチェックアンドレビュー³⁾では、ADS 階層型概念は、「フィージビリティ研究 (アイデア確認の段階)」、「基礎研究」、「準工学研究」、「工学研究」の 4 段階のうち、現在は「基礎研究」段階とし、概念実現のために解決すべき具体的な技術課題を挙げ、「各課題に対する解あるいは解

に対する技術的・経済的見込みを得る活動を着実に推進すべきである」と指摘した。以下に、その技術課題と解決に向けた取組について簡単に紹介する。

課題①「安全性、信頼性、経済性の高い ADS 用加速器の実現」では、大電流化、加速効率の向上、信頼性の向上が主な技術開発上の課題である。

課題②「ビーム窓の工学的成立性の確認」では、使用環境における外力、熱応力、除熱、腐食等の検討に基づき、成立の見込めるビーム窓の概念検討を進めてきた。今後の課題としては、ビーム窓候補材の照射損傷に関するデータの整備、特に ADS のビーム窓と同等の温度 (~500°C) での照射データの取得等があげられる。

課題③「未臨界炉心の炉物理的課題を高い信頼度で解決」では、核データの整備や、京都大学原子炉実験所の臨界集合体 KUACA と FFAG 陽子加速器を用いた ADS 模擬体系において未臨界度の測定技術開発などが進められている。KUACA では、熱中性子体系での実験であること、MA を大量に装荷した実験ができないこと等の制約があるため、今後、高速中性子体系での MA を大量に装荷した炉物理実験の実施が必要である。

課題④「LBE 冷却炉の設計及び安全性を高い信頼度で確認」では、実用規模の MA 核変換用 ADS の核特性解析を進めて炉心設計を行うとともに、レベル 1PSA 手法に基づく異常事象を系統的に整理し、高速増殖炉等で使用される安全解析コードを用いた動特性解析を実施している。

課題⑤「窒化物燃料の製造を高い信頼度で確認」では、第一候補である ADS 用 MA 含有窒化物燃料 (不活性母材として ZrN を想定) の製造について、実験室規模において、炭素還元法 (原料である酸化物を炭素粉末と混合し、窒素ガス雰囲気中で加熱) による窒化物生成後に窒素-水素気流中での加熱により残存炭素を除去する調製法が確立されており、この方法などで調製した TRU 含有窒化物に関する物性測定値がデータ集としてまとめられている。一方、窒化物燃料の照射挙動は、十分に把握されているとは言えず、今後の試験研究が必要である。

課題⑥「窒化物燃料の乾式再処理技術の実用性の提示」では、ADS 用窒化物燃料の再処理には、高融点のセラミックスでありながら金属と同程度の電気伝導度を示すこと等から、金属燃料再処理用に開発されてきた乾式処理法を第一候補として研究開発が行われており、これまでに、原理的成立性が確認されている。

MA 分離プロセスについては、Am 及び Cm とその数倍から 30 倍量共存するランタノイド (Ln) (両者の化学的挙動が極めてよく類似) との分離が重要である。Ln には中性子吸収断面積の大きい同位体が含まれることから、有効に核変換するためには、この Ln を十分に除去することが鍵となる。現在、高レベル廃液から、新規抽出剤を用いた MA と Ln を回収する「MA・Ln 回収プロ

セス」と、MA と Ln を相互に分離する「MA/Ln 分離プロセス」の2段階を組み合わせた抽出分離プロセスの開発を進めている。今後、実液試験による分離プロセスの確立と、溶媒再生技術や二次廃液の処理などの周辺技術の開発、MA 分離プロセスの工学的な成立を目指したスケールアップに必要な研究開発を計画している。

3. 今後の計画

前述のように基礎的な研究開発が進められているが、「準工学研究」、「工学研究」へと進めて行くには、各段階における技術の実証が必要であり、そのためにはある程度の量の MA を取り扱う実験施設が必要不可欠である。たとえば、前記の課題①～③の解決に向けて、現在、原子力機構では J-PARC の陽子加速器を用いて ADS の概要技術に対する研究開発を行う核変換実験施設 (TEF: Transmutation Experimental Facility) の建設を計画している。TEF は、ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) と核変換物理実験施設 (TEF-P) から成る。TEF-T は、250kW 陽子ビームと LBE 核破砕ターゲットを組み合わせた実験施設であり、ADS 用中性子源の技術開発、流動 LBE 中での ADS 用ビーム窓材料の照射試験及び LBE ターゲット取扱技術の開発を目的としている。TEF-P は、高速中性子体系の臨界集合体と低出力 (10W 程度) 陽子ビームを組み合わせた実験施設であり、ADS や FBR を用いた核変換システムの炉物理特性の研究が可能となる。

また、課題⑤及び⑥に対しては、既存施設の改造により MA 取り扱いの経験と技術を積み重ねつつ、多量の MA を取扱うことができる新たな実験施設の建設・利用へと段階的に進める必要がある。

これらの実験施設は、ADS 階層型核変換システムのためだけでなく、発電用高速炉サイクルを用いる方法の分離変換技術開発にも不可欠な施設である。

IV. まとめ

原子力利用に伴いこれまで発生し、今後も発生する高レベル放射性廃棄物の処分は、将来世代への責任ある対応として着実に解決すべき課題である。放射性廃棄物の減容化・有害度低減などの技術開発は、将来の高レベル放射性廃棄物の処分に関する幅広い選択肢を確保するために重要であり、分離変換技術はその選択肢の一つである。この分離変換技術は、地層処分の代替技術ではなく、地層処分の物理的・時間的負担軽減を目指した技術である。その研究開発は、日本が世界に先駆け、かつ先導して進めてきている。ここでは、分離変換技術を導入した MA 核変換システム概念である ADS 階層型核変換

システムについて紹介した。この他に内閣府が進める革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) では、LLFP (長寿命 FP) の核変換を対象とした「アイデア確証の段階」の研究開発が開始されている⁵⁾。

将来の選択肢であるためには、将来の様々な状況に柔軟に対応可能な技術であることが望ましい。ADS を用いた核変換技術は、その有望な技術であるとともに、発電用核燃料サイクルから独立して進めることも期待できる。将来、高レベル放射性廃棄物の処理処分方法が幅広い選択肢から決定されるならば、その時まで、可能性のある有望な技術開発は着実に進めなければならない。よって、高速増殖炉サイクルの研究開発と並行して研究開発を進め、工学規模での技術的成立性の確認に取り組む必要がある。おそらく MA の取り扱いを始め、多くの科学的・技術的困難に遭遇するであろう。あまたの若い意欲のある研究者によってそれらが克服され有望な選択肢として実現されることを期待する。いつか幅広い選択肢の中から分離変換技術がどのような形で実現されるかは、我が国における原子力政策に依存するであろうが、エネルギー利用の観点から国民的な課題の共有が必要である。なお、将来の選択時に、新国立競技場の選考のように、説明が出来ないようなコストの増加、選択における説明の合理性欠如や判断の責任回避等にならないことを切に願う。

－ 参考資料 －

- 1) 「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」日本学術会議 (2012 年 9 月 11 日)
- 2) 「総説 分離変換工学」(「分離核変換工学」専門委員会 社団法人日本原子力学会 (2004 年 2 月))
- 3) 「分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」原子力委員会研究開発専門部会分離変換技術検討会 (2009 年 4 月 28 日)
- 4) 「日本原子力研究開発機構における長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」JAEA-Review 2008-074
- 5) 「革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)」
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html>

著者紹介

岡嶋成晃 (おかじま・しげあき)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 原子炉物理実験に基づく核データ評価や新型炉心の性能評価など

辻本和文 (つじもと・かずふみ)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 核データ/核変換システムの核特性解析、マイナーアクチノイド断面積の実験的検証

特集

今後のエネルギー利用の長期視点 ImPACT プログラム「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」を起点として

科学技術振興機構 藤田 玲子

エネルギー基本計画では原子力は基盤となる重要なベースロード電源と認められたが、エネルギー利用の長期視点からは原子力の根本的な課題である高レベル放射性廃棄物の処分の研究に取り組むことが重要である。そこで、内閣府の革新的研究開発プログラム (ImPACT) に採択され研究開発を進めている「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」について概要を述べる。

KEYWORDS: *High-Level Radioactive Wastes, Long Lived Fission Products Transmutation, Reduce, Recycle*

I. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(福島事故)から4年9ヶ月が経った。事故を起こした福島第一原子力発電所内における汚染水の処理も凍土壁や遮水壁の運用も始まり、廃炉にも方向性が見えてきた。一方、発電所外の福島の再生、復興についても国が直接除染する地域の除染も進みつつあり H29 年3月末を目標とした放射性物質汚染対処特措法に基づく除染も今後、フォローアップで追加除染を実施するとしても、おおよそ目処がつきつつある。

一方、新規基準に適合した原子力発電所の再稼働もこれまで2基が実際の営業運転に入り、一旦、福島事故が収束したかのように見える。

しかしながら、福島事故で10万人の方が未だに避難されていること、事故の放射線の直接の影響で亡くなられた方はおられなくとも、避難されて体調を崩されたり、発電所内の廃炉作業で命を落とされた方々がおられる事実からは事故の大きさを改めて、常に認識しておくべきである。

福島事故を踏まえて、日本の原子力政策をどう進めていくかは将来をどう予測することが日本の国民と国にとって最善の選択かを問う重要な視点であり、昨年4月に示されたエネルギー基本計画はその意味で2030年に向けた目標値として原子力の割合を22~20%とした点で評価できる。22~20%という値を達成するために今、何をすべきかを考えることは重要であり、2つの視点があると考えている。

1つは22~20%を達成するための安全性を向上させた

Toward the fusion of science and engineering through innovative approaches for reduction and resource recycling of high-level radioactive wastes with nuclear transmutation : Reiko Fujita.

(2015年11月30日受理)

プラントを何基調達できるか。勿論、現在のプラントの寿命を40年~60年に延長して運転していくことは1つの選択肢である。しかしながら、それですべて賄うことが日本の原子力政策にとって本当に良いのか。また、国民が安心を得られるかと考えたとき、安全性を高めた新規プラントの導入を選択肢として検討する余地はある。それには福島の再生・復興を着実に実施することが前提条件ではあるが。

もう1点は原子力の根本的な問題に正面から向き合うことではないかと考えている。すなわち、高レベル放射性廃棄物の処分の問題である。高レベル放射性廃棄物は現在、300メートルより深い地層に処分することになっている。しかしながら、処分場の候補地がなかなか見つからないという課題が世界各国で生じている。日本でも元首相がこの高レベル放射性廃棄物の処分を問題として原子力政策に異議を唱えている。

そこで、原子力を今後も推進していくにはエネルギー利用の長期視点からこの高レベル放射性廃棄物処分の問題に取り組むことが原子力界にとって重要である。勿論、現状の高レベル放射性廃棄物の処分は安全性に欠けるという訳ではなく、国民や周辺の住民の方々の不安を軽減するための研究開発に並行して取り組む必要がある。

内閣府の革新的研究開発推進プログラム *Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Program* (ImPACT) では昨年6月に本テーマ「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」¹⁾が12テーマの1件として採択されたが、この流れも前述した原子力を取り巻く状況を反映したものだとして理解している。本稿では、上記 ImPACT のテーマについて概説する。

Ⅱ. 核変換による高レベル放射性廃棄物を大幅に低減・資源化するプログラム

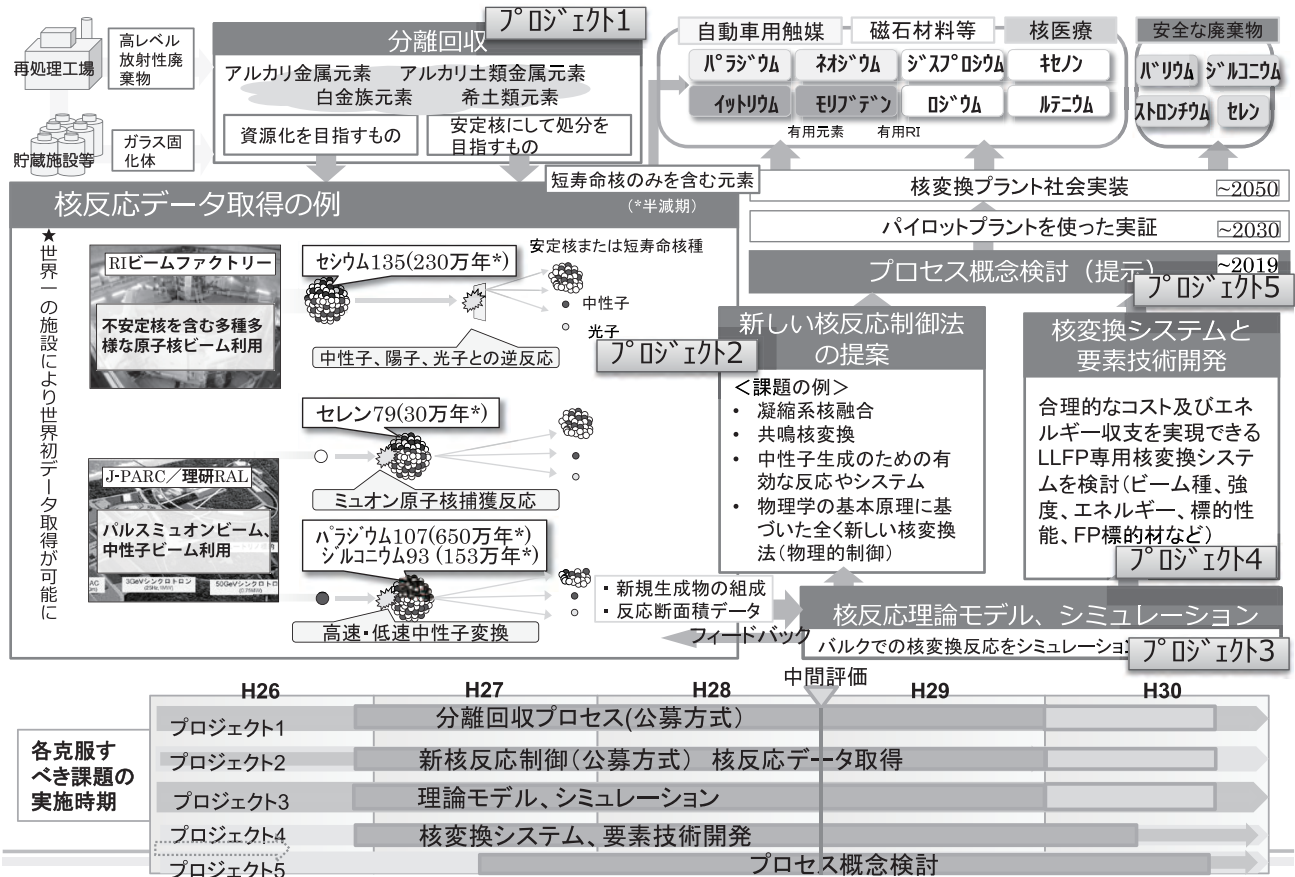
高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性核種はマイナーアクチニド(Minor Actinides(MA))と長寿命核分裂生成物(Long Lived Fission Products(LLFP))とがある。MAは既に日本原子力研究開発機構(JAEA)において核変換の研究開発が進められている²⁾。また、高レベル放射性廃棄物の中には多くの有用元素が含まれている。しかしながら、これらの有用元素は回収しても放射性核種が含まれており、再利用することが困難であった。1980年代にはオメガプロジェクトが立ち上げられ、分離・核変換についての研究が進められたが、基本的には同位体分離を行うことを前提にしてLLFPを核変換する概念³⁾であった。そこで、本プログラムでは同位体毎の核種分離を前提にせずに核変換する新しい反応経路(パス)を提案することを目的として世界最先端の加速器を用い、新しい核反応データを取得し、高レベル放射性廃棄物を大幅に低減・資源化する概念をImPACTに応募した。概要を第1図に示す。本プログラムではLLFPの対象核種として資源化を目指しPd-107およびZr-93を選定し、高レベル放射性廃棄物の処分における隔離期間を短

縮することを目指しSe-79およびCs-135に絞り、分離回収技術とその核変換技術およびそれを支えるシミュレーションや制御技術と加速器開発を含めて実施する。

Ⅲ. プログラムの内容

プログラムは5つのプロジェクト(PJ)から構成されている(第1図)。PJ1は再処理工場から発生する高レベル放射性廃液と欧州の再処理工場から既に変換されたガラス固化体も含め、LLFPを回収する技術の開発である。また、PJ2は理化学研究所(理研)の最先端加速器RIビームファクトリーやJAEAにあるJ-PARCなどを用いて新しい核変換データを取得する。しかしながら、核変換のデータを取得しただけでは核反応経路を提案することは難しい。そこで、シミュレーションコードPHITS⁴⁾を用いてバルクにおける反応を明示し、合わせてその核反応を制御する技術の開発をPJ2で実施する。シミュレーションコードPHITSの改良は核反応の理論モデルの構築も含め、PJ3で行う。有力な核反応経路の候補が示された後はそれを実現する技術の開発が必要である。加速器開発を中心とした要素技術の開発と核変換システムの構築をPJ4で実施する。このプログラムの終了時にはLLFPの回収から核変換のシステムの全体

研究開発プログラム全体構成



第1図 プロジェクトの全体構成とスケジュール

のプロセス概念を示し(PJ5)、2050年には社会実装を目指す。

IV. 今後の長期視点にむけて

ImPACT というプログラムは元々、簡単には実現しないが、世の中を変える可能性のあるテーマが採択されている。福島事故以来、原子力には新しい研究分野が少なく夢がないと言われることが多い。しかしながら、このような時期だからこそ、福島の事故を克服して新しい分野を開拓することが重要である。原子力先進国と言われた日本が福島事故のようなレベル7の事故を不測にも起こしてしまったからこそ世界に先駆けて、原子力の新たな分野を開拓、挑戦していく義務があると考えている。

また、このプログラムでは従来の原子力工学(工学)と新しく核物理(理学)の融合を目指している。理学と工学の間には死の谷やゲーウインの海といわれる難題が存在し、通常の研究、技術開発でもそれを超えることは容易ではない。日本では原子力の技術開発の当初から広島と長崎に原子爆弾が落とされた不幸な経緯から他の世界各国では存在し得ない核物理と原子力工学の間に高い壁があり、これを取り除くことをもう1つの主眼としている。2050年の社会実装を目指し、世界に先駆け原子力の新しい分野を提供し、情報社会と世界協力という新たなトレンドで進める人材育成の観点からも日本が今、求められている課題の解決策の1つにしたい。若い世代に原

子力の分野に夢を持ってほしいと考えている。是非、若い研究者や学生にいろいろなアイデアを持って参画してほしい。

— 参考資料 —

- 1) www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html
- 2) 原子力科学技術委員会群分離・核変換技術評価作業部会(議事録)：文部科学省審議会資料
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/070/gijiroku/1352357.htm
- 3) 「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」2009年4月28日、原子力委員会研究開発専門部会分離変換技術検討会(2009).
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bunri/houkokusho-090428.pdf>
- 4) T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, T. Furuta and L. Sihver, Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013).

著者紹介

藤田玲子 (ふじた・れいこ)

国立研究開発法人科学技術振興機構、福島県除染アドバイザー

(専門分野/関心分野)群分離・核変換、オフサイト除染、放射性廃棄物処理、燃料再処理

2015年NPT運用検討会議における核不拡散と原子力平和利用をめぐる議論

「グランド・バーゲン」の再確認と「南北」の対立

一橋大学 秋山 信将

2015年核兵器不拡散条約(NPT)運用検討会議は、中東非大量破壊兵器地帯をめぐるアメリカと中東の対立から最終文書の採択に失敗したこと、核の非人道性をめぐる議論の盛り上がりの中で核軍縮に関する議論が盛り上がったことがハイライトであると評価される。他方、福島原発事故後初めてのNPT再検討会議であったが、平和利用については大きな注意が払われたわけではないが、それでも、核軍縮、核不拡散、平和利用というNPTの三本柱の間の「グランド・バーゲン」という構造の重要性が改めて認識され、また、非発電分野における平和利用が、途上国など必ずしも原子力の大規模利用をしていない国々のNPTへの関与を維持するという点で意義があることが示された。今後、開発分野との関係、途上国と先進国の間の平等性という点でも原子力平和利用の重要性は高まるであろう。

KEYWORDS : *NPT, non-proliferation, grand bargain (of NPT), peaceful use of nuclear technology, development*

I. はじめに

2015年4月から5月にかけて開催された核兵器不拡散条約(NPT)再検討会議は中東非大量破壊兵器地帯の設置に関する国際会議(以下、中東会議)の開催をめぐりアメリカと中東諸国が対立し最終文書の採択に失敗した¹⁾。

また、会議では、核軍縮の分野において「核の非人道性」をめぐる議論が盛り上がりを見せた。2012年から3回開催された「核の非人道的結末に関する国際会議」の流れを受け、人道的な観点から核兵器を法的に禁止すべきと主張するグループが勢いを増していた。ニュージーランドなどが主導した「いかなる状況においても核兵器を使用してはならない」とする共同声明には159か国が署名した。また、オーストリアが主導した「人道的約束(プレッジ)」は、核の非人道性を懸念し、その廃絶のためには核兵器禁止条約を目指すべきであるという方針に賛同を呼びかけたものだが、107か国が集まった。

Peaceful use agenda at the 2015 NPT review conference ; Reaffirming grand bargain and North-South agenda : Nobumasa Akiyama.

(2015年11月2日 受理)

一方で、核兵器国とその同盟国、すなわち拡大抑止の提供を受けている国を中心に、現実の安全保障環境や核兵器によりもたらされるとされる戦略的安定性などを考慮することなしに、時限を切って核兵器を核兵器禁止条約等によって違法化し、核廃絶を実現することは不可能であるとの議論を展開した。クリミアをめぐる一連の動きの中で、ロシアのプーチン大統領が核兵器の使用を示唆するような発言をしたり、あるいは紛争の早期段階における核兵器の使用を示唆する核ドクトリンに言及するなど、核軍縮をめぐる環境は悪化している。

こうした中でのNPT運用検討会議における核軍縮をめぐる対立の激化は、最終文書の未採択という会議そのものの失敗と同等かそれ以上に、今後のNPT再検討会議、あるいはNPTそのもののあり方に対する深刻な影を差し掛けることになっている。

今回の会議の中で大いに注目された中東会議問題と核軍縮問題の陰に隠れて、核不拡散および原子力の平和利用の問題は、必ずしも注目を浴びたとは言えない。しかし、これらの領域においても核をめぐる国際秩序を論じる上でいくつかの示唆に富む議論があったことも指摘されるべきであろう。

また、後述するように、会議のプロセスを見ると、むし

ろこれらのイシューは、会議全体を成功裏に導くために核軍縮の分野において合意を得るための取引の材料として扱われたとも言えよう。

しかし、そのことは逆説的ではあるがNPTの「グランド・バーゲン」の重要性を再認識する契機ともなった。核軍縮、核不拡散、原子力の平和利用という3本柱の間のバランスが核をめぐる国際秩序の基本的な構造を構成しているという現状が変化を起こすことは容易ではなく、またそうした構造のレジリエンスゆえに、いずれかの柱の分野のみでドラスティックな変更がもたらされる——そしてそれは三本柱の間のグランド・バーゲンの変更へと導かれる——ということは政治的に極めて難しいことを示している。

本稿の目的は、2015年NPT再検討会議において原子力の平和利用および核不拡散領域においてどのような議論が展開されたのかを分析することである。まず、平和利用および核不拡散というイシューがNPTという条約の枠組みの中で核軍縮とどのような関係にあるのか、「グランド・バーゲン」の概念を概説する。そのうえで、今会議での議論の経緯と、(未採択ではあったが)最終文書案の内容について、最近の政策論の動向も踏まえつつ分析する。最後に、国際社会における原子力の平和利用、核不拡散に関する国際秩序の態様の変化について論じる。

II. 2015年NPT再検討会議の評価

1. NPT再検討会議の構造的課題²⁾

(1) NPTの三本柱と不平等性

1970年に発効したNPTは、国際社会が核とどのように関わりあうべきかを規定する礎石(cornerstone)として認識されている。民生、軍事分野を問わず核に係る様々な規制は、このNPTに準拠する形で構成されている。

いうまでもなく、この条約が実現を目指している最も重要な価値は、核兵器を保有する国家の数を増加させないことである。1967年1月1日前に核爆発させた国とそうでない国を区別し、前者を核兵器国として核兵器の合法的な保有を認め、それ以外の国を非核兵器国として核兵器の保有を認めないことが規定されている。

核兵器国は、他国が核兵器を獲得しようとすることを譲渡や製造などの支援を通じて援助、奨励することなどが禁じられている(NPT第1条)。また、非核兵器国は、いかなる方法によっても核兵器を獲得することを禁止されており(第2条)、このような非核兵器国の不拡散義務を担保するため、非核兵器国が平和利用のために取得した核分裂性物質や資機材が軍事目的に転用されていないことを検証する国際原子力機関(IAEA)の保障措置を受けることが義務付けられている(第3条)。

このような核不拡散をめぐる条約上の義務は、締約国

を、核兵器を持てる国と持たざる国に固定化させることになる。となれば、国際社会において最も重要な規範として想定されている主権国家間の平等性を著しく毀損させることになる。とりわけ、核兵器は安全保障上極めて効用が高く、国家間のバランス・オブ・パワーの形成に決定的な影響をもたらしかねない。核の保有をめぐる、平等であるはずの主権国家間の不平等性を固定化することは、非核兵器国にとって本来であれば受容し難いものである。

そこで条約は、不平等性を受忍する非核兵器国の懸念を薄め、また宥和するために、平和利用の「奪い得ない権利」を担保し、核兵器廃絶(核軍縮)によって究極的には不平等性を是正することが盛り込まれている。核不拡散の義務と、原子力平和利用の権利の保証、そして核軍縮の義務という、NPTに定められた3つの主要な価値の間には、取引関係が成立していると解されており、これを、NPTの「グランド・バーゲン」という。すなわち、これらのいずれかの領域での権利の行使もしくは義務の履行は、選択的であってはならずすべての領域における権利及び義務とパッケージでなくてはならない。

平和利用については、第4条において原子力の研究、生産及び利用については、締約国の「奪い得ない権利」を定め、すべての国、とりわけ開発途上国へ配慮しながら、この平和利用のための設備、資材並びに科学技術情報の交換のための国際協力を約束する。これにより、核不拡散を担保することにより平和利用への制限が課されるのではないかと非核兵器国の懸念に配慮するようになっている。ただし、後述するように、原子力の平和利用の中核にある濃縮と再処理の技術については、軍事目的の利用においても中核的な技術であり、それらめぐる扱いが核不拡散と平和利用の「奪い得ない権利」の関係性、ひいては条約の不平等性をめぐる政治的対立の主要なイシューとなっている。

また、核兵器の廃絶(核軍縮)については、第6条に、核兵器国の、ではなく、すべての締約国の義務として規定されているが、その義務は核不拡散に比べると弱いものとなっている。すなわち、第6条における核軍縮義務とは、核軍縮のための「効果的な措置」並びに「全面的かつ完全な軍備縮小に関する条約」について「誠実に交渉する」義務を定めているに過ぎない。この核軍縮義務が「誠実な交渉」を介した間接的なものとなっていることは、非核兵器国側からすると核兵器国に対して核兵器の削減を迫るための制約となっている。

この「グランド・バーゲン」の存在により、NPTは核兵器国と非核兵器国の間の不平等性を認めつつそれを緩和することを可能にしている一方で、3本柱すべてにおいてバランスをとる必要があるために、大きな変化を起こしにくく、核不拡散、核軍縮などの実現において劇的な進展が期待しにくいという問題も内包する。

その一方で、北朝鮮の核問題やイランの核開発疑惑、米国同時多発テロ以降にいつそう顕著になったテロの脅威と大量破壊兵器拡散のリスクの結合などにより、核不拡散への関心がアメリカや欧州を中心に高まる中、IAEA 保障措置協定の追加議定書の普遍化の促進や、輸出管理を含め核不拡散上の措置を強化する動きが1990年代半ば以降、とりわけ2000年代以降に顕著になってきている。そのような核不拡散の強化は、非同盟諸国から見ると、核兵器保有をめぐる不平等性に加え、原子力の平和利用においても不平等性を固定化しかねない措置として反発が根強い。NPT や IAEA など、原子力分野の議論、意思決定をする国際フォーラムでは、ある種の「南北」対立が深刻化している状況があり、これが、国際的な核不拡散レジームの一体性(レジームに参加する国家の秩序維持への忠誠もしくはコミットメント)を脅かし、また合意形成への障害になるという状況が出現している。今回のNPT 再検討会議における最終文書採択失敗の背景には、こうした政治的潮流があることは留意すべきであろう。

(2) NPT の再検討プロセス

NPT 再検討会議の意義を理解するためには、そのプロセスのメカニズムも理解する必要がある。NPT は、その第10条において、発効から25年後に無期限に延長するか、あるいは追加の一定期間延長するかを決めることが規定されており、その規定に従って1995年に開催されたNPT 延長・再検討会議において無期限延長が決定された。

この条約の履行を促すことを目的として再検討会議を5年ごとに開催することが第8条に規定されているが、この無期限延長と合わせて、再検討プロセスの強化も決定された。再検討プロセスを強化するという事は、各国の条約の履行状況をより丁寧にレビューすることにより、その履行、すなわち核軍縮の進展や核不拡散義務の遵守を強化することを意味する。

再検討プロセスは5年ごとに4週間の会期で開催される再検討会議と、その直前3年間に毎年2週間の会期で開催される計3回の準備委員会で構成されている。準備委員会は、再検討会議にむけて、議題の設定や議長を選定といった会議運営に関する手続等について決定することが期待されているほか、核不拡散、核軍縮、原子力の平和利用の領域における論点の頭出しなども行われる。

再検討会議は、一般討論を行う全体会合と、核軍縮を扱う主要委員会Ⅰ、核不拡散を扱う主要委員会Ⅱ、原子力の平和利用を扱う主要委員会Ⅲがあり、各主要委員会の下には、さらに特定の問題を扱う補助機関が設置される。今回の再検討会議では、主要委員会Ⅰの下補助機関Ⅰにおいて核軍縮の「効果的な措置」などが議論された。また主要委員会Ⅱの下補助機関Ⅱでは中東の非大

量破壊兵器地帯に関する議論が、主要委員会Ⅲの下補助機関ⅢではNPT の制度改革等の問題がそれぞれ議論された。

再検討会議の目的は、条約の履行状況の検討をこれまでの再検討会議での決定や最終文書を参照しながら行い、また今後履行を促進するための方策について検討することである。検討された結果は、最終文書として、通常コンセンサスによる採択を目指す。規則上は多数決での決定も可能ではあるが、「グランド・バーゲン」概念の下、核軍縮、核不拡散、原子力の平和利用に関する文書をパッケージで採択することと同様、決定が条約に与える影響の重要性に鑑み、コンセンサスによる採択を慣例としている。

このような意思決定のメカニズムは、普遍性の高い、すなわち締約国の数が多く包摂性が高い多国間の取り決めにおいては、締約国の取り決めへの忠誠を高め、一体性を維持することに貢献するが、他方で各国が容認できない事項についてはコンセンサスを人質に取り下げを要求するため、時に実効的な決定が困難になることがある。

例えば、2010年の再検討会議では、合意を優先するためにイランが主張するイランの核疑惑に関する非難の文言の削除を強く求め、それにより当時国際社会における核不拡散上の最大の関心事でもあったイラン問題がNPT の最終文書において全く触れられていない³⁾という事態が起きたのであった。

2. 最終文書採択の失敗

(1) 過去の再検討会議での最終文書採択

最終文書の採択に失敗したこと自体は、NPT 再検討会議の歴史上それほど珍しいことではない。過去にも1980年、1990年、1995年(後述)、2005年の再検討会議は最終文書の採択がなされずに終了している。

しかし、冷戦終結後の流れを見てみると、NPT 再検討会議を成功裏にまとめることは、それ以前に比べてより政治的な重要性が付与されるようになったと言える。1995年は無期限延長、再検討プロセスの強化、核不拡散および核軍縮の原則と目標が決定され、中東決議が採択された。2000年の再検討会議でも、核軍縮の「明確な約束」と13のステップの決定など、核兵器の廃絶に向けて前進があった。そのために2005年、核軍縮を進めたい非同盟諸国などと、2001年のアメリカ同時多発テロ以降、それまでの核不拡散への取り組みにより一層の重心をシフトさせたアメリカなどとの間での対立の深まりから最終文書が採択されなかったことは大きなショックであった。

2010年の再検討会議は、2005年の「失敗」を受け、会議全体に何とかこの会議では最終文書を採択して成功させなければいけないという雰囲気満ちており、何とか成功にこぎつけた。とはいえ、2005年に顕在化した、核不

拡散を最優先事項として核軍縮については積極的な姿勢を示さない核兵器国と、非同盟諸国の対立が解消されたわけではなく、これまでの条約の履行状況の評価についてはコンセンサスを得られずに議長によるサマリーとして残されるにとどまり、合意されたのは64項目からなる行動計画の部分だけであった。もちろん、このような行動計画の採択は、条約の履行に関して、法的な拘束力は持たないものの、政治的なベンチマークを提供したという点で重要な意味を持つものである。2010年から2015年にかけての核軍縮をめぐる議論においても、2010年の行動計画に盛り込まれた透明性や、この行動計画の中で、NPTの最終文書として正式に核兵器の非人道性(国際人道法への言及など)への参照があったことで、これらが議論の重要なアジェンダとして設定されることになった。

その意味では、2015年NPT再検討会議において最終文書が採択されなかったことは、これから次の再検討会議までの活動の指針が示されなかったことを意味する。すでに核軍縮領域においては、核の非人道性を根拠に核兵器禁止条約を目指すべきか否かをめぐり対立が深刻化しており、指針の不在の問題が顕著になっている。

(2) 採択失敗までの経緯

前述のように、NPT再検討会議においては、三本柱の「グラント・バーゲン」という規範のもと、いずれかの領域における権利義務関係に係る了解事項や内容の変更は、他の領域とのバランスにおいてのみ合意されうるとされ、最終文書の採択においても、それぞれの領域をパーツごとに採択するのではなく一括での扱いが原則となっている。今回の再検討会議における最終文書の採択失敗に至る経緯も、こうした規範の影響下にあったといつてよいであろう。

2015年NPT再検討会議の最終文書を取りまとめるにあたっては、二つの重要な論点で深刻な対立があった。まず、核軍縮については「核の非人道性」の扱い、および条約第6章にある核軍縮のための「効果的な措置」としての核兵器禁止条約の考え方が文書に盛り込まれるかどうか争点となっていた。「核の非人道性」の認識の高まりの中、核兵器禁止条約を求める「人道的アプローチ」を支持する国々と、戦略的安定性という安全保障上の要請から核軍縮は「ステップ・バイ・ステップ」で進めていくべきというグループが鋭く対立した。

そして、中東の非大量破壊兵器地帯の設置のための国際会議の開催をめぐる対立である。2010年NPT再検討会議の行動計画に盛り込まれた、2012年までに会議を開催するという目標が達成できなかったため、中東諸国は、会議の開催についてより実効的で、また会議を主催すべき米英口の参加国に加えて国連の関与を求めている。これに対し米国などは、イスラエルの孤立化を懸念

し、それを避けることが可能な会議開催の方式を模索した。この両者の溝は深く、会議の開催前から調整が難航していたため、会議関係者は当初からかなり厳しい見通しを持っていた⁴⁾。

会議は、全体会合での一般討論の後、各主要委員会での討論と最終文書に盛り込まれるべく各委員会の報告書案の作成を行う。基本的に、表の会議とは別に、各委員会の議長を中心に少数の国が関与した非公式な会合の中でドラフト(報告書案)づくりが行われるが、今回は、合意が難航視されていた核軍縮を扱う主要委員会Iや、中東問題を扱う補助機関IIでは、少数国での非公式作業によってほとんどの文案が作成され、それに参加していない国からの不満も聞こえていた。

こうした中、核不拡散を扱う主要委員会II、原子力の平和利用を扱う主要委員会IIIでも、後述するようないくつかの争点はあった。しかし、議論は、IAEA総会などすでに他のフォーラムで議論されてきた内容が多く、それらの論点における意見の相違はすでに織り込み済みでもあり、再検討会議においてはそのような相違も含め意見の集約が不可能なようには見えなかった。実際に、各委員会での討議日程が終盤に差し掛かると、ほとんどの論点は議論しつくされていたようであった。

しかし、実際には主要委員会II、IIIとも、全体会議長への報告はコンセンサスで採択できず、各委員会の議長の職権による個人的なサマリーという非公式な扱いのワーキングペーパー(WP)で全体会議長への報告がなされた。それは、「グラント・バーゲン」としてすべての領域をパッケージで扱うという習慣から、対立が激しい核軍縮領域における合意形成に向けた取引や妥協のためのカード、もしくは政治的なレバレッジを確保しておいたほうが成功につながるであろうという計算が締約国の間に働いていたこと、そして、非同盟諸国からすれば、核不拡散、原子力の平和利用における議論の中で最重要視する不平等性について、十分な是正措置が議論されず逆に核不拡散の強化による不平等性の拡大への懸念があり安易な妥協はできないという要因があげられよう。

その意味では、核不拡散、原子力の平和利用を扱うアリーナはあくまでもウィーン、すなわちIAEAであり、NPTの文脈においては、本来核不拡散は条約の中心的課題であるはずではあるが、実質的に最大の争点である核軍縮における合意を目指し条約の一体性を確保するための要素としての意味が強いと言える。

III. 核不拡散、平和利用をめぐる議論

1. 主要委員会IIにおける不拡散等の争点

主として核不拡散問題を扱う主要委員会IIにおいて争点となったのは、保障措置の強化、輸出管理、核セキュリティ、非核兵器地帯であった。核不拡散や核セキュリティの強化を狙う欧米諸国と、そのような規制の強化は

原子力の平和利用の権利を侵害しかねないとする非同盟諸国、という対立の構図の中で議論が交わされたが、その議論を取り仕切ったのは、東側グループから選出されたルーマニアの議長であった⁵⁾。

主要委員会Ⅱでの保障措置をめぐる議論の中心的論点は、NPT 第3条に規定された非核兵器国による保障措置を受ける義務の中に、包括的保障措置協定の追加議定書の批准を含むかどうかであった。先進国は、追加議定書を義務的なものとして規定したいと試みてきたが、非同盟諸国がそれに強く反対するというのは、1997年にモデル追加議定書が作成されて以来、続いてきた対立の構図である。先進国は、このような非同盟諸国の反発を理解し、義務とする代わりに、検証の「標準」とし、すべての締約国が追加議定書を締結するように求めている(追加議定書の普遍化)。非同盟諸国も追加議定書の普遍化自体は否定するものではないが、それはあくまでも締約国の法的義務ではなく自発的な意思に基づくべきものであり⁶⁾、2010年の行動計画では、核兵器の全面的な廃絶が達成された際には包括的保障措置協定と追加議定書は普遍化されるべきとの書きぶりになっている⁷⁾。

今回の最終文書案作成過程を見てみると、議長の職権により作成されたWPと、総会議長によって最終的に示された最終報告書案を比べてみると、保障措置の強化について先進国と非同盟諸国の間のギャップが明瞭になる。例えば、WPでは、追加議定書がIAEA保障措置の「一体化された一部」となっていた記述⁸⁾が削除されており、追加議定書によって補完された包括的保障措置協定が強化された検証標準にすることを考慮するという記述については、議論があったことにとどめとなっている⁹⁾。また、追加議定書の普遍化についても、WPでは言及されていたが、最終文書案では削除されている。

近年追加議定書を締結している国は増加してきており、再検討会議開催時において126か国と1機関が批准している。その中には南アフリカのような非同盟の国も含まれるが、その南アフリカも、あくまでも追加議定書の締結は各国の自主的な決定にゆだねられるべきものであり法的義務とすべきものではないと、非同盟の議論に同調している。非同盟諸国にとってみれば、これは単に不拡散の強化をめぐる問題と言うだけでなく、国際社会における不平等性の固定化につながるような措置を否定するという原則的な姿勢の表れと考えるべきであろう。

他方で、付け加えられたものとして、地域保障措置の信頼醸成措置としての役割の重要性に留意するという項目である¹⁰⁾。これは、非同盟の中でも核軍縮に熱心なブラジルの要請に応じたものと考えられる。地域保障措置の実効性については、IAEAの追加議定書と同等の普遍的かつ浸透的な検証が必ずしも担保されないという懸念もあり、追加議定書の代替措置とはならないという議論が有力であることも留意すべきであろう。

なお、輸出管理については、核物質や核関連の資機材の移転には、受領国がIAEAの保障措置を受けていることを条件としているが、そこに追加議定書は含まれない。

2. 原子力の平和利用をめぐる

主要委員会Ⅲでは、平和利用の「奪い得ない権利」を最大限に確保したい非同盟諸国と、核不拡散重視の先進国という、主要委員会Ⅱと同様の対立の構図が、主として「奪い得ない権利」という原則をめぐる議論として展開された。とりわけ、奪い得ない権利は第3条の保障措置義務の不履行によって停止されるのか否かを争点に議論された。最終文書案では、平和利用の「奪い得ない権利」は条約の第1条、第2条の不拡散義務および第3条の保障措置義務に従っている限り、条約のいかなる規定もそれを妨げないことと、その権利の再確認がなされている¹¹⁾。

平和利用の「奪い得ない権利」を不拡散の目的のために制限すべきかどうかという議論は、単に非同盟諸国のアジェンダということではなく、日本にとっても核燃料サイクル技術追求の正当性を国際制度上維持できるかどうかという点で重要な意味がある。この議論は、1970年代後半のINFCE(国際核燃料サイクル評価)において、平和利用には濃縮、再処理も含まれそれらも核不拡散の国際制度(NPTなど)では禁止をすることができないとの結論が出ていた。しかし、北朝鮮やイランの核開発疑惑などを受け、濃縮、再処理技術の拡散の防止がより実効的な核不拡散に繋がらうという認識が広がり、これらを制限する可能性について議論されるようになった。

その一つとして、核燃料サイクルの多国間管理が核燃料サイクル技術の拡散を抑制するための手段として議論されてきていたが¹²⁾、このアプローチがもし法的に義務化されるようなことがあれば「奪い得ない権利」に制限を加えることになり、核の「持てる国」対「持たざる国」の不平等性の固定化にもつながりかねない。このような不拡散の実効性と国際社会の平等性の原則が衝突するような形で議論が展開される間に、多国間管理の問題は、核燃料サイクル技術移転の規制そのものよりも、燃料供給保証というインセンティブ要因(もしくは技術獲得の誘因を下げる)の側面が主として議論されるようになっていくが、このイシューについても、最終文書案の記述は、こうしたアプローチのメリットよりも、このアプローチによって奪い得ない権利を害さないようにという点が強調される文章になっている¹³⁾。

また、第4条においては、不平等性を緩和する措置と位置付けられる、国際協力についても言及がなされている。条約の履行という点ではこのような国際協力の実施についても争点となりえることから、アメリカや日本などはこのような平和利用における協力についても言及をするようになってきている¹⁴⁾。最終文書案では、この平和利用における技術協力にかなりのパラグラフを割いて

記述している。原子力科学技術は、社会的および経済的発展にとって必要不可欠と位置付けられ、持続的な開発と、国連のミレニアム開発目標及びその後継の開発目標の達成を助けるものであると位置づける¹⁵⁾。IAEAも、天野之弥事務局長が、「Atoms for Peace and Development」と位置付けたように、開発のために、原子力の平和利用(とりわけ非発電分野の医療や農業など)における協力を重視している¹⁶⁾。

これ以外にも、福島原発事故以降の原子力安全や核物質の輸送、原子力賠償に関する議論も最終文書案には記載されているが、紙幅の都合で議論は他の機会に譲ることとする。

IV. おわりに

核不拡散、原子力の平和利用は、核軍縮の陰に隠れてあまり注目を集めることはない。しかし、NPTが現在の核に係る国際秩序の基盤を提供し続けるためには、多くの国に支持され、忠誠を寄せる存在であり続ける必要がある。そのためには、三本柱の「グランド・バーゲン」のバランスを維持することが重要である。こうした基盤が揺らぐような動きが高まれば核兵器国側であれ、非同盟諸国であれ、NPTへの忠誠を低下させかねない。しかしながら、核のリスク(核拡散や核兵器による攻撃の脅威)を低減するための実効的な措置、すなわち保障措置や輸出管理といった不拡散のための措置の強化の実現をしようとすれば、非同盟諸国側に平和利用の奪い得ない権利の制限への懸念を生じさせる。こうした構造的な問題は、NPTというフォーラムが、実効的な決定ができない非実効的なものであるとの見方に力を与える。しかしながら、NPTが規範提供力を失った国際秩序において現在より安定し、リスクの少ない状況が想像しえない以上、国際社会は、漸進的であったとしてもNPTをプラットフォームとしてより核リスクの少ない社会を、平等性の原則の実現に配慮しつつ進めていくしかないのである。

— 参考資料 —

- 1) 2015年NPT再検討会議の評価については、黒澤満「2015年NPT再検討会議と核軍縮」、『阪大法学』65(3)、2015年9月、885-910頁、秋山信将「NPT再検討会議『失敗』の意味するもの」、『外交』32号、2015年7月、81-89頁参照。
- 2) NPT再検討会議の詳細な制度的分析については、秋山信将編『NPT一核のグローバルガバナンス』岩波書店、2015年を参照。
- 3) 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty On the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, *Final Document*, NPT/CONF.2010/50 (Vol. I), May 2010, New York.

- 4) 会議関係者、参加国代表(いずれも匿名)とのインタビュー。2015年4月27日、ニューヨーク国連本部にて。
- 5) 現在でも、NPTでは冷戦期の名残である「西側グループ」、「東側グループ」、非同盟という集まりがあり、慣例として、主要委員会Iの議長は非同盟、主要委員会IIの議長は東側グループ、主要委員会IIIは西側グループから選出され、総会議長は非同盟から選出されることになっている。なお、今次会合の総会議長はアルジェリア出身であった。
- 6) 例えば、para.15, *Working paper of the Chair of Main Committee II*, NPT/CONF.2015/MC.II/WP.1, May 18, 2015.
- 7) Action 30, NPT/CONF.2010/50 (Vol. I), p25.
- 8) Para.18, NPT/CONF.2015/MC.II/WP.I と、 para.20, *Final Document Draft*, NPT/CONF.2015/R.3, May 21, 2015 を比較。
- 9) Para.20, NPT/CONF.2015/MC.II/WP.I と、 para.23, NPT/CONF.2015/R.3, May 21, 2015.
- 10) Para.23, *ibid.*
- 11) Para.56, *ibid.*
- 12) *Multilateral Approaches to Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the International Atomic Energy Agency*, INFCIRC/640, February 22, 2005.
- 13) Para.85, NPT/CONF.2015/R.3
- 14) Alex Burkart, *Main Committee III, US statement*, May 4, 2015, http://www.reachingcriticalwill.org/images/documents/Disarmament-fora/npt/revcOn2015/statements/4May_US_MCIII.pdf, and *Statement by Ambassador Mitsuru Kitano to Main Committee III*, http://www.reachingcriticalwill.org/images/documents/Disarmament-fora/npt/revcOn2015/statements/4May_Japan_MCIII.pdf
- 15) Paras.65-67, *ibid.*
- 16) Yukiya Amano, *STATEMENT TO 2015 REVIEW CONFERENCE OF PARTIES TO THE TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR WEAPONS (NPT)*, April 27, 2015, http://www.reachingcriticalwill.org/images/documents/Disarmament-fora/npt/revcOn2015/statements/27April_IAEA.pdf

著者紹介



秋山信将 (あきやま・のぶまさ)

一橋大学大学院法学研究科教授
(専門分野/関心分野) 国際政治学、核軍縮、核不拡散、安全保障、エネルギー安全保障

変動電源のシステムコスト

もうただ乗りは許されない

エネルギーコンサルタント 小野 章昌

太陽光や風力などの変動電源は電力システム全体に与える影響が大きいため、発電端における発電コストだけを見てはコストの全貌をつかむことができない。IEA(国際エネルギー機関)と OECD・NEA(OECD 原子力エネルギー局)が共同で作成した最新レポート「発電コスト予測 2015」¹⁾の第 11 章からその内容を紹介し、システムコストを考える重要性を解説したい。

KEYWORDS : *Variable Renewable Energy (VRE), Levelised Costs of Electricity (LCOE), capacity credit, levelised costs of capacity, flexibility provision, value factor of variable renewables*

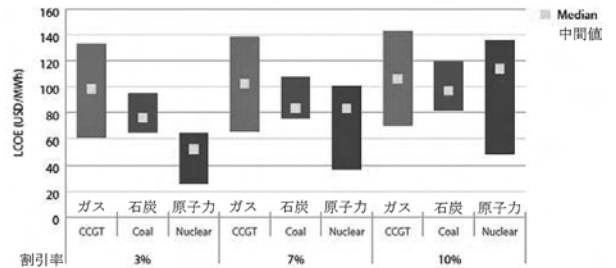
I. 単純な発電コスト比較は全貌を表していない

今回の IEA/NEA レポートでは主要 22 か国で現在建設進行中の種々の電源 181 プラントについて寿命中の「平均発電コスト (LCOE: Levelised Costs of Electricity)」という形で計算を行っており、在来型電源のコストを第 1 図のように示している。具体例として割引率(金利)3%の場合で一番安い国と一番高い国を取り上げると、コンバインドサイクル・ガス火力では米国の 6.1 セント/kWh に対して日本が 13.3 セント/kWh、石炭火力ではドイツの 6.6 セント/kWh に対して日本が 9.5 セント/kWh、原子力では韓国の 2.9 セント/kWh に対して英国が 6.4 セント/kWh となっている。このような在来型電源(例、火力発電、原子力発電)については従来の「平均発電コスト」方式による比較が適していると記述している。

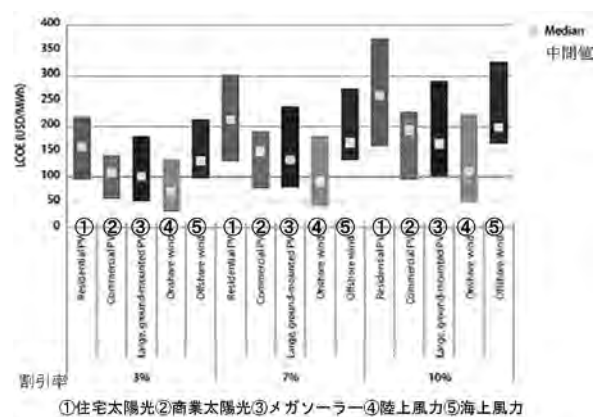
一方変動電源(例、太陽光発電、風力発電)については平均発電コストを第 2 図のように示している。同じ 3% 割引率でメガソーラーについては一番安い米国の 5.4 セント/kWh に対して一番高い日本が 18.1 セント/kWh、陸上風力については一番安い米国の 3.3 セント/kWh に対して一番高い日本が 13.5 セント/kWh となっている。安い国の発電コストは在来型電源の発電コストを下回る

System cost of variable renewables - Free ride will no more be permissible : Akimasa Ono.

(2015 年 10 月 30 日 受理)



第 1 図 在来型電源の発電コスト



第 2 図 変動電源の発電コスト

ものも見られるが、「平均発電コスト」方式は変動電源の電力システム全体に与える影響を考慮せず、そのまま単純比較することは適切ではなく、システムコストや市場構造、政府政策や資源の有無など全体像を考慮する必要があると結論付けている。

II. システムコストの内容

それではシステムコストの内容はどのように考えるべきであろうか？上記レポートはまるまる1章(レポートの第11章)を使って次のように具体的な問題提起をしている。

変動電源が存在するとその出力変動や間欠性を補うために別の安定電源(需要に応じていつでも供給できる電源:例えば火力発電)の存在が必要になり、急速な変動に対処するためのフレキシビリティの提供も必要となる。変動電源が増えると電力系統網拡充の必要性和合わせて既存の在来型電源(火力, 原子力)が大きな影響を受けるようになる。このようにシステム全体にストレスを与えることになり、システムの変更が必要になってくる。

1. 在来型電源に与える影響

変動電源が増加すると在来型電源は次のような影響を受ける。

- 稼働率の低下
- 卸売市場価格の低下
- 供給電力のボラティリティ(変動率)の大幅増加に対処するための急速な出力増減の必要性

短期的には変動費(主として燃料費)の高い電源、例えばガス火力が稼働率の低下と市場価格低下の影響を大きく受け、長期的には原子力や水力などの初期投資額の大きな電源が市場価格の低下による影響を受けて経済性を失うことが考えられる。このように自由化された市場で変動電源が増えると「平均発電コスト」方式は使えなくなる。

したがって「平均発電コスト」方式を補って全貌をつかむためには次のような要素や尺度を考える必要が出てくる。

- 容量クレジット: その電源の出力(kW)のうち必要な時に供給可能な出力(kW)の割合をいう。通常はピーク需要時に供給可能な出力(kW)の割合として用いられる。
- 平均容量コスト: 変動電源の間欠性を補うために使われる電源の固定費(主として投資コスト)相当分。
- フレキシビリティ能力: 短期間に出力を上げたり下げたりする能力。主としてガスタービンや石油火力などのピーク電源がこの能力を提供するが、電力貯蔵やデマンドレスポンスもこの範疇に入る。

2. 容量クレジット(安定供給への貢献度)

電力システムに「平均発電コスト」方式を応用する場合には、構成する電源が必要な時に必ず安定供給を行えることと、ベースロード電源の発電量を上回る電力需要が必ずあることが前提となる。しかし変動電源が多く導入

された場合にはこの2つの条件が必ずしも満たされなくなる。太陽光・風力などが増大するとシステム中の発電容量(kW)と発電量(kWh)が比例しなくなる。必要以上に発電することもあれば、全く不足するケースも出てくる。優先購入制度に守られた変動電源の発電量(kWh)が増えると卸売市場(kWh)の価格は下がるが、需要に見合う発電容量(kW)のニーズは変わらず、安定電源のニーズは変わらない。

発電容量(kW)のニーズに応える貢献度を専門家は「容量クレジット(capacity credit)」と呼んでいる。通常はその電源の容量(kW)のうちピーク需要時に貢献できる割合で表されている。例えば欧州の風力発電の容量クレジットは5~10%である。ドイツの電力系統監視機関BNAは将来の需給計画を策定するに当たって風力発電の容量クレジットをゼロとして計算している。

変動電源の容量クレジットが小さいことは他の電源でそのギャップを埋める必要があることを意味している。一方原子力、石炭火力、ガス火力などの在来型電源の容量クレジットは一般的に90%以上である。しかし、変動電源が増えるとこれらの在来型電源の稼働率が下がるため、市場からの収入だけでは資本回収が難しくなり、新規投資の判断が困難になる。変動電源のシステムコストはその容量クレジットの大きさによって異なってくる。

3. 平均容量コスト(kWを提供できるコスト)

安定供給能力(Adequacy)とはシステムがいつでも需要に応じられる能力のことである。仮に政府が年間の停電時間を2~3時間程度の短いものにしようとしたら、毎年数時間しか運転しない発電所も維持する必要が出てこよう。そのようなバックアップ用プラントの価値は極端な気候条件(年に数度の暴風雨や風)の下でも供給できるところにある。変動電源が増大するとこのようなプラントの価値は増大する。「平均容量コスト(Levelised Costs of Capacity)」はプラント建設費を年間に均等分配したものであるが、「平均発電コスト」と同様に有益な指標である。政府が容量(kW)市場を作る際に参考にできる指標である。

通常はガスタービンやコンバインドサイクル・ガス火力などが、その資本費が一番安くつくため平均容量コスト計算の対象とされている。米国の場合で割引率(金利)7%の場合には、ガスタービンの平均容量コストは70ドル/kW、コンバインドサイクル・ガス火力は106ドル/kWと計算されている。顧客は毎年この金額を所有者に支払う必要がある。原子力や石炭火力などのベースロード電源についても市場からの収入では不足する部分については同様の方式による容量コストの回収が考えられる。

第1表 電源のフレキシビリティ能力

電源	立ち上げ時間	30秒変化率 (%)	最大出力変化率 (%/分)
ガスタービン	10~20分	20~30	20
コンバインドサイクル・ガス	30~60分	10~20	5~10
石炭火力	1~10時間	5~10	1~5
原子力	2時間~2日	5以下	1~5

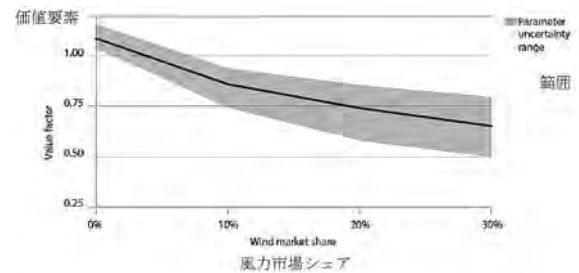
4. フレキシビリティ能力

変動電源が増大すると、急激に変化する風力や太陽光発電の変動に加えてピーク需要の変動や天候予測の誤差などスイング幅が大きくなり、システムとして一層のバランスを取ることが求められる。このような変動に対処する能力は「フレキシビリティ」と呼ばれている。第1表のようにガスタービンや石油火力は数分の間に立ち上げることができ、出力上昇も短時間でできる。一方大型の石炭火力や原子力は立ち上げ時間も長く掛かり、出力上昇にも時間が掛かる。また運転上の最小出力(例: 30%)というのがあり、それ以下では運転をすることができない。部分負荷運転ではプラントの熱効率も下がってしまう。またプラントの運転モードを頻繁に変えることは機器の摩耗や損傷を増やしてメンテナンスコストや運転コストを増大させ、プラント寿命を縮めさせる。

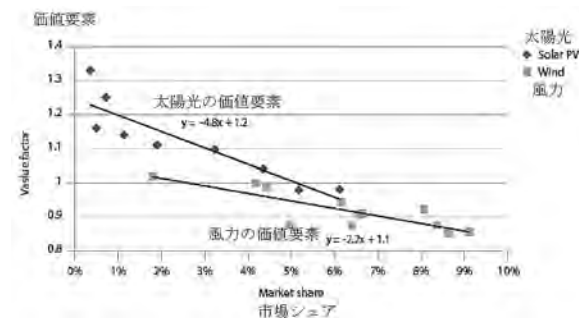
フレキシビリティを提供するプラントのコストを正確に計算することは難しいが、電力量(kWh)を取引する市場の価格、容量(kW)を取引する市場の価格、そしてアンシラリーサービス(電圧や周波数などの調整に資するサービス)を提供する市場の価格を参考にすることは1つの方法と言えよう。米国の典型的なガス火力の例で見ると、フレキシビリティ提供のコストは10ドル/kW/年程度で、平均容量コストの10%程度が毎年コストとなっている。しかし市場ごとに電源ミックスも、容量市場も、アンシラリーサービスの内容も異なり、一様な計算はできない。

5. 変動電源の価値要素(市場価値の低下)

上記のシステムコストの他に、変動電源においては個別の平均発電コストでは判断できない要素がある。それは電源間の比較を行う際には市場で受け取ることでできる「市場価値」を考慮に入れる必要があることである。太陽光や風力発電が市場で受け取れる価格はベースロード電源が受け取れる価格とは異なるのが普通である。太陽光・風力発電が複数あるとおたがいに同じ時間帯に発電を行ういわゆる「自動相関」の関係がある。風が強く吹いたり、太陽が強く照る時には同じ仲間の発電が重なり、市場価格を引き下げることになる。したがって変動電源が増えれば増えるほど既存のすべてのプラントの価



第3図 風力発電の市場価値低下



第4図 太陽光と風力の価値要素低下

値と収入を引き下げることになる。このように変動電源が市場で得られる収入は常に市場の平均価格を下回ることになる。供給が多く、需要が少ないときにはゼロの価格(価値)に下がることもあり得る。このことは電力市場の設計に基本的な問題を提起し、自由市場で太陽光・風力発電設備がコストをすべて回収することができるかどうかという問題も生じる。

これまで幾つかのスタディーが行われているが、変動電源の割合が増えると市場価値が下がることを Hirth (2013)²⁾の研究は下記のように示している。

- 風力発電の場合、電力システム中の割合が0から30%に増えるにつれて、その価値は110%から50~80%へ下がる(第3図参照)。
- 太陽光の場合、その割合が15%に増えたところで上記風力発電と同じレベル(50~80%)まで価値が下がる(第4図参照)。

III. レポートの結論

長年個別の電源に使われてきた「平均発電コスト」という概念は太陽光や風力などの変動電源の大規模導入によって実態を表さなくなってきた。すなわち電力システムにおいてベースロード電源の収益リスクが増すとともに、システムの安定を保つために別途の容量(kW)供給やフレキシビリティ供給が必要になっている。OECD 先進国では変動電源への補助を急いであまり、電力システムは海図のない海域への航海を強いられている。

したがって IEA と NEA の事務局は「平均発電コスト」方法の補助要素として次の4つの要素を加味検討することとした。

- ・電力システムの安定化に寄与する度合いである「容量クレジット」
- ・「平均容量コスト」
- ・「フレキシビリティ能力」
- ・変動電源の導入割合に応じた「価値要素」(市場価値の低下)

今回の「発電コスト予測」共同レポート作成に当たっては、この課題に挑戦したい。そしてその成果は将来にわたって OECD メンバー諸国の政策担当者、電力市場モデル作成者、市場エキスパートの良い参考資料となるであろう。

IV. まとめ(筆者感想)

今回の IEA/NEA 共同レポートは、「変動電源のシステムコスト」というこれまであまり検討されて来なかったが、実際には現在の電力システムと電力業界が直面している非常に大きな問題に、核心を突いた形で焦点を当て問題提起したものと感じている。その意味で画期的なものと言えよう。数量的な分析はまだまだこれからであるが、引き続いて検討を進めるといっているのでその進捗を待ちたい。

変動電源に対するバックアップ電源の必要性や送配電網拡張の必要性はよく言われていることであるが、そのコスト(システムコスト)についてのスタディーは余りにも少なかったように思う。固定価格買い取り制度(FIT)などの優先政策によって変動電源が大量に導入されても、安定供給の役目を担う既存電源の退役は許されないため、必然的に電力システムに過剰設備をもたらすことになる。ドイツでは太陽光・風力発電の容量が8,000万kWに達し、ピーク需要量(約7,600万kW)を上回ることになったが、それでも既存の発電設備を廃止することはできていない。例えば、政府は老朽褐炭火力270万kWの退役を認めず、「戦略的予備電源」と名付けて補助金を出すことにした。結果的にドイツ全体の発電容量はピーク需要量の2.5倍近くになっている。過剰設備は当然のことながら既存の発電設備の稼働率低下と卸売市場価格の低下をもたらし、ドイツ最大の電力会社エーオン社は従来の主力ビジネスであった火力発電を別会社化して、将来の事業破綻や売却に備えるともとれる行動を取っている。すべてが変動電源優先、過剰設備のもたらした現象と考えられ、問題の根は深く、ますます深刻化することが予想される。

風力や太陽光発電の電気を市場でそのまま売りに出し

たらどの程度の価格で購入されるであろうか？システムコスト分だけ割り引いて価格が付くことは当然予想されることである。加えて風力同志、太陽光同志で発電が重なるため第3図、第4図が示すような価値の低下も合わせて考える必要があるだろう。本来なら変動電源を持つ事業者は蓄電池を備えるか、火力発電や揚水発電事業者と提携して自らの力で安定供給を行うべきなのである。

我が国でも電力の完全自由化が進められているが、最終的には発電量(kWh)の取引を行う「前日市場」、「1時間前市場」、「リアルタイム市場」、「先物市場」などに加えて、容量(kW)を扱う「容量市場」、フレキシビリティ供給を扱う「アンシラリーサービス市場」などをすべて整備しなければ市場が安定供給の機能を果たすことはできないであろう。このうち「容量市場」の設計には多くの課題が残っていて、ドイツ政府は創設をあきらめ、既存の発電設備を戦略的予備電源に指定して、問題を先送りしている。市場における容量(kW)不足が将来の大きな問題となってくるであろう。

市場の完全整備には、いずれにしても現在の電力量(kWh)取引に加えて新たな取引市場を作る必要があり、「容量(kW)コスト」を筆頭に新たなコストが生じるわけであり、送配電網拡充のコストと合せて消費者の負担がますます増えて行くことだけは疑いがないであろう。

変動電源については、これまでシステムコストが考慮に入れられたことはなく、単に発電コスト(発電端コスト)だけの比較が行われてきたが、自由化された市場ではシステムを含めた実際のコストを反映したものにならざるを得ないであろう。もうただ乗りは許されないのである。

— 参考資料 —

- 1) EIA/OECD・NEA: Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition.
- 2) Hirth, L. (2013): The Market Value of Variable Renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price, Energy Economics, Vol.38, pp218-236.

著者紹介



小野章昌 (おの あきまさ)

エネルギーコンサルタント

(専門分野/関心分野)化石燃料資源、再生可能エネルギー、原子力発電、電力市場と自由化

地層処分に適した安定な地質環境について

—地層処分の安全性を担保する地質環境の安定性とは—

(公財)原子力安全研究協会 増田 純男

地層処分の安全性に疑問を呈する理由として、日本列島における地質環境の長期安定性の保証の困難性を指摘する見解が示されることが多い。残念なことに、このような見解における地質環境の安定性に関する論点は、殆どの場合、地層処分による廃棄物の隔離と閉じ込めの性能に対する影響という地層処分の安全性に関する本質的な論点から外れている。

本稿は地層処分の性能に影響する地層や地質環境の安定性とはどういうことかということ論じ地層処分選択の正当性を考える一助としたい。

KEYWORDS: *geological disposal, geological environment, tectonic stability, hydrogeology, geochemistry, safety assessment, near field, far field*

I. はじめに

変動帯に位置する日本列島で地層処分に適した安定な地質環境を探し出すことは難しいという指摘がある。

日本学術会議が2012年9月に発表した、「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」¹⁾にも地質環境の安定性に言及する記述が随所に見られ、地層処分の技術的実現性に対する疑問の根拠とされている。

具体的に引用すると、「そもそも(特に高レベル放射性廃棄物の最終)処分場の実現性を検討するにあたっては、長期に安定した地層が日本に存在するかどうかについて、科学的根拠の厳密な検証が必要…」、「日本は火山活動が活発な地域であるとともに、活断層の存在など地層の安定性には不安要素…」、「…超長期にわたって安定した地層を確認することに対して、現在の科学的知識と技術的能力では限界…」、「…地質環境の安定性の評価については、こうした見解とは異なる認識を示す専門家が国内外に存在することもまた事実…」、等々の指摘がその代表である。

本稿は地質環境の安定性に関するこのような認識が日本における地層処分の実現性に関する議論の根拠として妥当であるか否かを論じるものである。

II. 地層処分の安全性に関する本質的論点は何か

本来、地質環境の安定性に関する論点は地層処分による放射性核種の隔離と閉じ込め性能という、地層処分の安全性に関する本質的な論点と結びつけられている。ところが、専門家の間においても、地層処分の性能を保証する地層と地質環境の安定性に関する認識が共有されていない場合には、しばしば本質的論点からの逸脱が生じ、議論の噛み合わないことが多い。そもそも、「地質環境(geological environment)」という言葉は、地層処分という分野で意図を持って明示的に用いられるようになったものである²⁾。

では、地層処分の安全性を確保する上で注目すべき地質環境とは、どの程度の広がりにおけるどのような特質に関するものであり、また、それらの安定性とはどういうことであろうか。

地層処分では、地下深部に本来備わる包蔵性に着目し、そのような環境の固有特性をさらに確かなものとして利用するため、工学的なシステム(人工バリアと呼ばれる)を配して多重のバリア(障壁)を構築する。その中にガラス固化体を隔離して人間との接触を防止し、さらに、地下水により放射性核種が人間環境へ移行する可能性を考慮して放射性崩壊に必要な時間枠にわたって放射性核種が人間や環境に悪影響を与えないように地下に閉じ込められた状態にすることを意図するものである^{3,4)}。ここで、「閉じ込め」とは、放射性物質を少しも漏らさな

Stable geological environment appropriate to geological disposal : Implications of stability of geological environment to ensure the safety of geological disposal : Sumio Masuda.

(2015年10月9日 受理)

いようにするというのではなく、放射能が高く発熱に寄与する比較的短寿命の放射性核種は人工バリア内で減衰させ、人工バリア周辺の岩盤への移行は放射性廃棄物全体の放射能や熱が十分に減少した後になるようにすることを意味し⁴⁾、そうすることによって、人間への影響を許容範囲内に収めることができる。

地層処分についての「安定な地質環境」については国際的な共通認識があり、「地層処分システムを構成する領域における地質環境内部での、また、外部からの擾乱に対して、その地質環境が有する本来の緩衝能力により、長期にわたって突発的あるいは急激な機能喪失を生ずる可能性の低いものをいう。また、擾乱をもたらす地質学的な事象やプロセスが排除できるか、十分頻度が低いか緩慢であるか、あるいは結果としての影響が十分小さいなどの条件により、処分場の安全性について必要な時間枠にわたって考慮する必要がないならば、サイトは地質学的に安定であると考えられる。」とされている⁵⁾。

Ⅲ. 地層処分の隔離機能

地下深部にガラス固化体を置くことで岩盤の厚さによる物理的な隔離が保証される。地下深部にあるガラス固化体と人間の生活環境との距離が縮まる要因としては、隆起・侵食といった長期的に連続する緩慢な事象と将来世代の鉱物資源の探査掘削行為等による人間の偶発的接近が考えられる。また、火山の多い日本では、噴火に伴う放射性核種の噴出は突発的に地層処分の隔離機能が失われる事象として懸念される。このような観点から、地層処分を行う位置を決める際には、隆起・侵食の著しい地域、鉱物資源の賦存する可能性のある地域、及び火山地帯を事前の十分な調査により避けることとしている。さらに、万一これらが発生した場合のシナリオ(隔離機能喪失シナリオ(Isolation Failure Scenarios⁶⁾)というを想定し、それでも影響のないことを確認しておくというのが基本的な姿勢である。

このような隔離機能喪失シナリオで考慮する地層の広がり論じる範囲は一様ではない。隆起・侵食は広域的な事象であるので、安全評価においては地層処分施設が設置される範囲の全域が評価の対象となる。人間の行為による隔離機能喪失シナリオに関しては、比較的浅いところに処分する低レベル放射性廃棄物の処分施設においては、処分施設全体を掘り起こすシナリオを評価することが必要となりうるが、地層処分施設の場合は、施設全体に人間が接近する可能性は考え難いので、鉱物資源の探査のために地表からボーリングを行う行為を様式化して評価することが一般的である⁷⁾。この場合に考慮の対象となる地表や地下深部の拡がりはボーリング孔の内径程度の極めて限定的な範囲となる。また、火山の噴火に伴う放射性核種の噴出による影響評価の場合、火山が処分場に影響を及ぼす可能性については、マグマとともに

噴出する放射性核種の放射エネルギーの想定において、マグマの火道や岩脈の拡がり等が考慮されるべき対象となる。

これらの隔離機能喪失シナリオについては、評価事例が報告されており^{8,9)}、万一これらの事象が発生したとしても、広域に破局的な影響を生じるような結果とはならないとされている。

Ⅳ. 地層処分による放射性核種の閉じ込め機能

ガラス固化体と人間環境との間の隔離が保たれたとしても、放射性核種の人間環境への影響について考慮すべき別の可能性がある。地下深部に普遍的に存在する地下水を介して廃棄物中の放射性核種が人間の生活環境に還流して影響を及ぼすプロセスである。地下深部の隔離された位置から生活圏に放射性核種がもたらされる経路は地下水による移行以外にはない。このプロセスは隔離機能喪失シナリオと異なり、長期的にみると、場所には依存せずほぼ確実に発生しうるものとして考慮する必要がある。

地下水は放射線を受けても放射能を有することにはならないが、地下水に放射性核種が溶解することによって地下水の動きに連れて放射性核種が移行する。このため、地下水の動きが遅い、物質を収着するといった本来の閉じ込め性を有するように選定された処分サイトの地質環境の特性に十分配慮した工学的なバリアを設計し、自然の岩盤が持つ安全機能と相互に補完する多重の地層処分システムを構築する。多重バリアとしての基本的な性能を満たすことを確認するために、地下水による人間環境への影響について、安全評価のシナリオ(地下水シナリオという)を想定して人とその環境に与える影響の評価を行うことは不可欠である。地下水シナリオに基づいて、地層処分システムによる閉じ込め性能が評価されることになる。

Ⅴ. 安全評価の対象となる地層処分システムの構成は

安全評価の対象は地層処分された状態になったガラス固化体を放射線源とする人間の被ばく線量である。地層処分された状態とは、20cmの厚さを有する直径1m弱のオーバーバックに収納されたガラス固化体と母岩を掘削した処分孔の間隙に厚さ1m弱の緩衝材が施工されることによりガラス固化体の周囲を多重のバリアが取り囲んだ状態⁸⁾である。この状態にあるシステムを包蔵しその挙動を支配する環境が地層処分サイトとして選定された地質環境であり、この環境を構成する物質即ち岩石と地下水によって特徴づけられる。

地下水シナリオはガラス固化体の外側から内部に地下水が浸潤することが発端事象となるので、地下水接触を抑制するオーバーバックと緩衝材がいつまでどのように

働くかについて、バリア効果を評価する。次に、いつかは地下水接触バリアが有効ではなくなると仮定して、ガラスから地下水へ放射性核種が溶解する挙動を評価し、続いて緩衝材領域を通過して周辺の地質環境へ移行する挙動が評価される。このような地下水移行の安全性を決定付ける重要なプロセスは処分孔周辺岩盤の領域で想定される地下水による放射性核種の溶解移行挙動である。

VI. 地層処分の安全評価において重要な地質環境とは

放射性核種の溶解移行挙動の評価においては、隣接するガラス固化体を含む系同士が共有する数メートル程度の岩盤(ニアフィールドという)が取り巻いている範囲が特に重要な領域となる。ガラス固化体の放射能の99.9%はこの領域内で減衰し消滅する。ニアフィールドから地下水に溶け出す放射性核種の全量はその外側の岩盤(ファーフィールドという)を通過して、地表の生活圏に直結した破碎帯に入るといった経路を通過して生活圏に達する放射性核種の量を基準にガラス固化体1体による被ばく線量が算出される。

40,000本のガラス固化体が処分された地層処分場からの地下水シナリオによる総被ばく線量は1体あたりの被ばく線量を40,000倍することにより求められる⁸⁾。この方法は、例えば、隣り合った系の地下水はバリア材やガラスから溶け出した成分で飽和している可能性が高いが、その効果を見捨て、常に新鮮な地下水によってガラスやバリア材との化学反応が進むとしており安全評価上は保守的な手法と考えることができる。

ガラス固化体1体に対するものを基本とする安全評価において重要な地質環境特性はニアフィールドの岩盤における岩石と地下水の特性からもたらされる。深部の岩盤は透水係数が小さく、動水勾配も小さいので、地下水の動きは極めて小さい、また、深層地下水は還元性である¹⁰⁾。この二つの特性は深部地質環境に特有のものであり、ガラス固化体、オーバーパック及び緩衝材の性能に影響する地球化学的条件とファーフィールドの岩盤の水理学的条件および核種の岩石への収着挙動に影響する岩石と地下水の地球化学的条件を与える。

このように、地層処分システムの閉じ込め機能を決定付ける「安定な」地質環境として重要なことは、放射性核種の溶出移行挙動を支配する廃棄体近傍あるいは核種の移行経路に沿った微視的な領域の水理学的及び地球化学的な特性の安定性であり、それを期待する空間的な拡がり、ニアフィールドについては数メートル程度、ファーフィールドについては数十メートル程度の範囲に相当する。

VII. 日本列島の地層の安定性等から地層処分を疑問視する議論の例

地層処分の成立性に対する日本学術会議の疑問の根拠として引用されている文献は岩波「科学」に掲載された石橋らの「高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるか、I - 変動帯日本の本質」と「高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるか、II - 安全性は保証されていない」の2編である。

石橋は、2012年12月、日本学術会議主催の学術フォーラム「高レベル放射性廃棄物の処分を巡って」の講演においても、「将来10万年程度安定で、地層処分に適した地質環境が広く存在」ということは地震現象の科学からは疑問。「地質環境の長期安定性」という言葉は地震の影響を曖昧にしている。」と指摘している¹¹⁾。

このような議論は日本における地層処分の技術的可能性について、それまでの地層処分の研究開発成果に基づいて初めて総合的に論じた「第1次取りまとめ」の時代(1994年頃)からあり、例えば土井は「地層処分の安全性は岩石圏の安定性を基本にしているが、わが国土は各種の地殻変動があり、高い降水量などの面からみても、決して地層処分に好適な地点が多い地域ではない。・・地震などの地殻変動が起こった場合、地下水の挙動がどのように変化するかも解析しておく必要がある。しかし、地球科学の現状は岩石中の空隙を高精度で探知することすらも困難な状況にあり、岩石圏中での地下水の挙動を把握し、さらに予測される地震などの影響までを解析するにはほど遠い状況にある。」¹²⁾としている。

残念なことに、これらの指摘における地質環境の安定性に関する論点は地層処分による放射性核種の隔離と閉じ込め性能に対する影響という、地層処分の安全性に関する本質を踏まえていないといわざるを得ない。

処分場周辺の地質環境の変化が放射性廃棄物の隔離・閉じ込め機能にどのような影響を与え、さらに生活圏に及ぼす影響を及ぼすかに関する議論がなく、大地震等による地殻の変動について日本列島全体を巨視的に捉え、それらが処分施設の機能に大きな影響を与えるに違いないと大雑把に論考しているに過ぎないように思われる。

地層処分の閉じ込め性能において、地質環境に期待される機能と拡がりとは比較的限られた領域における主として化学的特性の安定性に委ねられると言える。このため、上記のような批判的な見解を述べる専門家が指摘する日本列島全体の地層の物理的な安定性や拡がりとは、ここで言う地質環境の安定性の本質とは大きく離れたものであり、別の次元で扱われるべきものである。

誤解を恐れずに言うなら、変動帯に位置する日本列島全体の地質構造特性やその影響を受ける地球物理学的特性の安定性並びにその予測の困難性を根拠に地層処分概

念の成立性を根本的に疑問視する議論には、惑わされるべきではないということである

VIII. まとめ

地層処分の成立性において意味のある安定な地質環境に関する議論を以下に要約する。

1. 地層処分は現時点で高レベル放射性廃棄物が保管されている地表の環境と対比してはるかに安定した状況にある地下深部の環境を処分位置として利用することにより環境保全を実現しようという発想を起点とする。
2. 地層処分の要件となる安定な地質環境とは何か
 - ① 地下深部は本来的に人間の生活環境から隔離された環境である。
 - ② 地質環境は岩石と地下水から構成されている。
 - ③ 地下深部の地質環境が有する低透水性と還元性の二つの特性は、日本列島の地質学的な位置とは無関係な、地質環境に共通の性質である。
 - ④ 人間と高レベル放射性廃棄物が直接接触する可能性に対しては廃棄物を地下深部に処分することにより十分な隔離機能がはたらく。
 - ⑤ 地下水によって高レベル放射性廃棄物から放射性核種が溶かし出され地表に運ばれる可能性に対しては、還元性地下水による放射性核種の溶解度制限と低透水性、及び岩盤の物質を収着する性質を基本とする閉じ込め機能が自然(自発的)にはたらく。
 - ⑥ 放射性核種移行の出発点となる放射性核種の地下水への溶解度は地質環境の物理的状態の変化があっても上昇することはない。
3. 安定な地質環境の特性を乱す要因は何か
 - ① 隔離性を乱す要因となり得るのは隆起・侵食による長期にわたる緩慢な深度の減少プロセスと突発的な火山の噴火に伴う放射性核種の噴出、及び鉱物資源探査等の人間による掘削行為である。
 - ② 閉じ込め性を乱す要因となり得るのは断層による地下水移行経路の短絡、熱水や深部流体の流入、海水準変動による酸性地下水の流入などであり、これらの事象が発生する位置および事象の継続期間は限定的であり、あるいは変化が極めて緩慢である。
4. 安定な地質環境の選定とはどういうことか
 - ① 地層処分の観点(廃棄物を人間環境から隔離し、放射性核種の移行を遅らせるための機能)からみれば、深部の地質環境は時間的にも空間的にも地表の環境に比べて相対的に長期にわたってはるかに安定であるという意味で「安定な」という形容詞をつけて地質環境を表現している。
 - ② 地層処分のサイト選定という行為は、変動帯に位置する日本列島には限られた「安定な地質環境」と広

範囲な「安定でない地質環境」が存在すると二分して捉え、その中から「安定な地質環境」を探し出すということではない。地層処分にとって「安定」な地質環境に対して擾乱を与える自然事象や人間の行為の影響が小さい地域をより好ましいものとして選定することである。

IX. 結論

地質環境は変動するものであり、変化しないということではない。重要な点は地質環境の変化が地層処分の機能に及ぼす影響が安全を確保していく上で許容できるものかどうかを論ずることである。特に、化学的条件は地質構造の変化が生じても普遍性が維持される可能性が高く、その長期継続性を科学的に高い信頼性を持って扱う。

所期の時間にわたり所期の範囲において安全を確保する地層処分の機能が維持されるような環境を「安定な地質環境」と呼ぶ。

— 参考資料 —

- 1) 日本学術会議「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」(2012).
- 2) OECD/NEA, "Objectives, Concepts and Strategies for the Management of Radioactive Waste Arising from Nuclear Power Programmes", (1977).
- 3) National Research Council, "A Study of the Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Wastes", (1983).
- 4) IAEA No. SSR-5, "Disposal of Radioactive Waste", (2011).
- 5) OECD/NEA, "Considering Timescales in the Post-closure Safety of Geological Disposal of Radioactive Waste", (2009).
- 6) H. Umeki, "Key Aspects of the H12 Safety Case", Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol.663, (2001).
- 7) IAEA No. SSG-23, "The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste", (2012).
- 8) 核燃料サイクル開発機構, 「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－」, TN1410 2000-001, (1999).
- 9) U.S. Department of Energy, "The Safety of a Repository at Yucca Mountain", (2008).
- 10) IAEA No. SSG-14, "Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste", (2011).
- 11) http://historical.seismology.jp/ishibashi/opinion/121202gakujyutsu_haifu.pdf
- 12) 土井和己, 「高レベル放射性廃棄物の『処分』は可能か」, 原子力工業, 第40巻第5号, (1994).

著者紹介

増田純男 (ますだ・すみお)
(公財)原子力安全研究協会
(専門/関心分野)放射性廃棄物処分



地球科学の原子力安全への貢献

(その1)地球科学からみた地殻流体と地層処分技術への応用

日本原子力研究開発機構 梅田 浩司, 浅森 浩一

一見、地球科学は原子力工学を代表とする実学からやや遠い印象もあるが、ウラン資源探査、原子力施設の耐震安全性、放射性物質の環境モニタリングなどといった原子力エネルギーの利用にも少なからず貢献してきた。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、数百年から千年を超える時間間隔で発生する巨大地震・津波といったこれまでの原子力安全では想定していなかった自然現象のリスクを再認識させた。特に、原子力施設の耐震安全性と放射性廃棄物の処分の2つの問題については、メディアなどを通じて国民的関心と呼んでおり、その解決に向けた早急な取り組みが求められている。地質学、地球物理学、地球化学などの地球科学の分野における最先端の理論と技術を活用して進めている地層処分および耐震安全の2つの研究開発の現状を2回にわたって紹介する。

KEYWORDS: *geological disposal, site selection, safety assessment, geofluids, electrical conductivity, helium isotopes*

I. はじめに

放射能レベルが高い廃棄物については、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(以下、特魔法)に従って、地下300m以深の岩盤中に埋設し、放射能が十分に減衰するまでの間、われわれの生活環境から隔離する(地層処分)ことになっている。しかし、放射性廃棄物中には半減期の長いアクチニドやいくつかの種類の核分裂生成物による放射能が、減衰しつつも長期にわたって残存するため、燃料製造に必要な量のウランの潜在的な危険性と同程度となるまでに数万年程度という時間を要する¹⁾。変動帯に位置する日本列島では、地層処分システムの性能を維持することが可能な地域を選定することや、漏洩した放射性物質による生物圏への影響を評価することによって地層処分の安全性を確保することになる。しかしながら、「数万年以上にわたって安定な地質環境がそもそも日本列島に存在するのか」、「仮に存在したとしてもその場所を適切に選定することが可能なのか」といった点がしばしば議論されてきた^{2),3)}。また、日本学術会議⁴⁾は、暫定保管によってモラトリアム期間を

確保し、その間に地層の安定性に関する研究(地質環境の長期安定性に関する研究)を一段と進展させることを提言している。

II. 地層処分と地質環境の長期安定性

地質環境の長期安定性に関する研究は、平成3年に動力炉・核燃料開発事業団(現日本原子力研究開発機構)によって始められた。その後、特魔法の制定と実施主体の設立のベースとなった「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性(第2次とりまとめ)」¹⁾では、「地層処分システムの設置に適した地質環境がわが国にも存在し得ること」を示すための科学的な根拠となる知見やデータが取りまとめられた。現在は原子力機構のほか、産業技術総合研究所、電力中央研究所、大学などの関係研究機関によって、サイト選定や安全評価に必要な調査・評価技術の高度化に向けた取り組みが続けられている。

安定な地質環境を選ぶためには、それを阻害する要因(自然現象)を排除することが基本となる。そのためサイト選定の事前確認の段階において、「最近の地質時代に活動した火山がある場所から15km程度の範囲」、「深部流体による熱環境または化学場への影響が明らかな場所」、「最近の地質時代に活動した断層長さの100分の1程度の範囲」、「過去十万年における最大侵食量が300m

Contributions of geosciences to nuclear safety (1); Detecting geofluids and its implications for geological disposal: Koji Umeda, Koichi Asamori.

(2015年10月26日受理)

を超えたことが明らかな範囲」を除外することが求められている⁵⁾。さらに、概要調査などによって候補地の地下深部において、マグマ・熱水、大きな地震を引き起こすような断層(震源断層)の痕跡が存在しないことや将来の隆起・侵食量を明らかにすることが求められる。最近の地球物理学や分析化学の飛躍的な進歩によって、火成活動を含む広義の地殻変動には、地殻流体(沈み込むプレートによってもたらされた地球内部の水やメルトなど)が密接に関係することがわかってきたが、このことは地殻流体が地質環境の安定性を検討する上での重要な指標となることを示唆する。筆者らは、内陸地震の震源域や地熱地帯を事例に、地質学、地球物理学、地球化学のデータを総合的に解析することにより、地殻流体の存在状況や性質などを明らかにするといったユニークな研究を進めてきたが、本報ではその研究を概観する。

III. 地質環境の安定性の指標としての地殻流体

日本列島の下には太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込んでいる。沈み込みに伴ってプレート(スラブ)は高温・高圧状態になり、そこに含まれる間隙水や含水鉱物が脱水する。脱水した流体はスラブそのもの、またはその上のマンツルの融点を低下させるため、ケイ酸塩メルトが生成されるが、これが地殻中を上昇していくと火成活動が生じる。また、脱水した流体の一部は、そのまま熱水として地殻浅所まで上昇し、非火山地帯の温泉の熱源となることもある。これらの流体は、単に火山や温泉の形成のみならず、日本列島の地震活動や地殻変動に極めて重要な役割を果たしていると考えられている。このうち、内陸地震については、沈み込むスラブと陸域地殻に挟まれた領域であるマンツルウエッジから上昇してきた流体が下部地殻の強度を低下させ、その上の地殻に応力が集中して破壊が生じるといったモデルが提唱されている⁶⁾。さらに、これらの流体は下部地殻のみならず上部地殻でも局所的に非弾性変形を生じさせるため、隆起山地の形成やその周辺の地震活動にも関与していると考えられている。

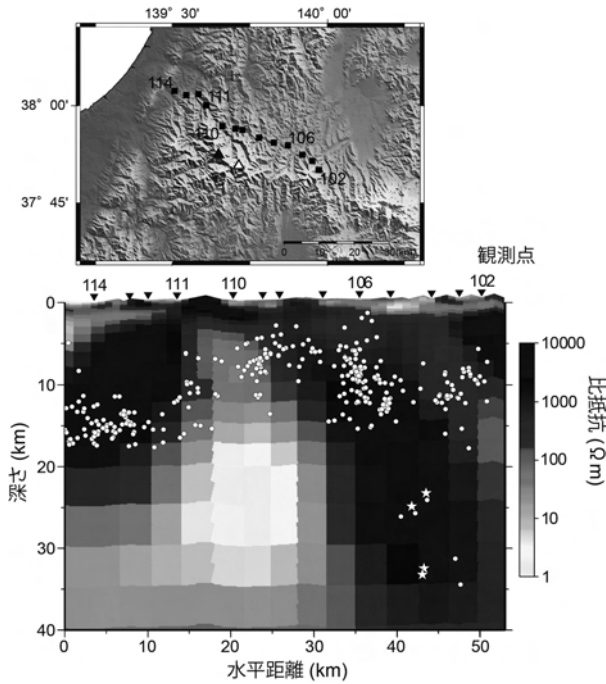
ここで地殻内部の温度は高くとも400°C程度であり、上記のような塑性流動に必要な原子間結合のつなぎかえは本来生じにくい。しかしながら、岩石中に水が存在すると、その高い反応性のために、溶解—流体中の物質輸送—析出という一連のプロセス(圧力溶解)で原子間結合のつなぎかえが起きようになる。実際、地殻内部で変形した岩石には、圧力溶解の証拠となる組織が知られている。このように地殻流体の存在は、島弧地殻・上部マンツル物質の変形・流動特性(レオロジー)構造の空間的不均質を生み出しており、その不均質に応じて様々な現象が地殻浅所に生起するが、現在のプレート運動が継続する限り、その現象の発生場所や規模・頻度などに著しい変化が生じるとは考えにくい。そのため、地殻流体の

存在状況や性質などを通じて広域的(～数十km)な地殻構造の不均質性を理解することが、長期的な安定性を評価するためにも重要な情報となる。

地殻流体の存在状況に関する情報については、主に地震観測と電磁気観測によって、地球内部の地震波速度構造や電気伝導度構造として推定されている。地震波速度(km/sec)や電気伝導度(S/m)は、岩石の種類や温度、間隙流体の存在度などに依存することが室内実験などによって知られており、岩石中の流体の存在度が高いほど、地震波速度は小さくなり、電気伝導度は大きくなる。岩石と流体の弾性定数の違いは1桁程度であるが、電気伝導度の違いは6桁以上に及ぶため、流体が少量であっても連結して存在する場合の電気伝導度は数桁のオーダーで変化する。電磁気観測は人工ノイズに影響されやすいといった問題点もあるが、地球内部の地殻流体の存在状況を把握するといった点では、電気伝導度の方が地震波速度に比べて感度が高いといえる。一方、地殻流体の起源やその性質については、微量元素組成や同位体組成といった地球化学的なパラメータで検討される。地殻流体には、スラブ起源流体や岩石の続成・変成作用で発生した流体(続成・変成脱水流体)などがある。スラブ起源流体から放出された水やそれに伴って生成されたメルトには、主にマンツルウエッジを起源とするヘリウムが蓄積されているため、その他の流体に比べてヘリウム同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)が高くなる。そのためヘリウム同位体比は、地殻流体の起源の推定によく用いられる。また、続成脱水流体、変成脱水流体などの起源は、Cl, Li, Bなどの微量成分組成によって判別することが可能である。

IV. 東北日本、飯豊山地

飯豊山地は、東北地方の福島と山形の県境に位置し、ジュラ紀の足尾帯と白亜紀～古第三紀の花崗岩類からなる。当該地域は、第四紀火山から50km以上も離れているにも係わらず、飯豊温泉(55°C)、泡の湯温泉(41°C)、湯ノ平温泉(56°C)などの高温泉が分布し、温泉放熱量も $1,000 \mu \text{W}/\text{m}^2$ を超える非火山地帯に存在する高温異常域の一つである。これらの温泉の熱源に地殻流体が関与している可能性を検討するため、山地を横断する東西方向に13の観測点を設置し、約2か月間にわたって電場と磁場を観測した。これらの時系列データから周波数領域での見掛比抵抗、位相を求め、インバージョン解析によって三次元の電気伝導度構造を推定した⁷⁾。第1図は深さ40kmまでの二次元電気伝導度構造である。なお、解析結果は電気伝導度の逆数である比抵抗(Ωm)で示されている。飯豊山地北西の北岳岳(2,025m)の深さ10km以深には電気伝導度が顕著に高い領域(高伝導度体)が存在し、マンツル最上部(深さ30km)まで続いている(白色に近づくほど電気伝導度が大きいことを示す)。さらに、この高伝導体の上面の形状は、地殻内地震の震



第1図 飯豊山地下の比抵抗断面図

源(第1図の白丸)の下限深度(cut-off depth)と調和的である。一般に脆性破壊と塑性流動の温度境界は300~400℃と考えられていることから、高伝導体は約400℃以上の高温の物質であると考えられる。

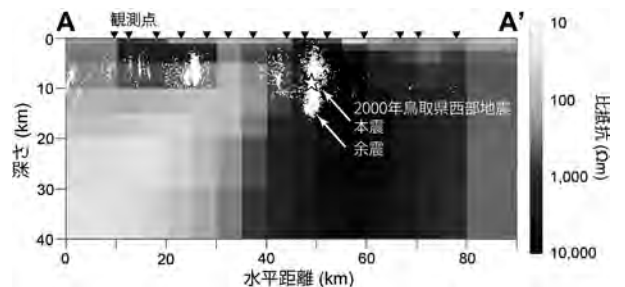
次に電気伝導度の不均質を生じさせていると考えられる地殻流体の起源を検討するため、山地周辺の温泉井から遊離ガスを採取し、それを二つの検出器で同位体を同時に測定するダブルコレクター希ガス質量分析計によってヘリウムの同位体を測定した。前述したようにヘリウム同位体比は、地球の各部分(大気、地殻、マントル)で大きく異なり、かつ大気中の存在度が小さいため、マントル成分の寄与に対して敏感なトレーサーとして地球化学の研究ではよく用いられている。測定したヘリウム同位体比を大気値($1R_A = 1.4 \times 10^{-6}$)で規格化すると多くのガスは一般的な火山ガスに含まれるヘリウム同位体比と同程度あるいはそれより高い値(マグマが発生するマントルと同程度の値)であった。このことは高い電気伝導度は、地殻流体の中でもマグマあるいはマグマの一部固化したものから吐き出された熱水によって生じている可能性が極めて高い。また、飯豊山地は急峻で周辺の山地に比べて隆起速度も速いと考えられるが、この地域の東西圧縮の地殻応力によって中~下部地殻が非弾性変形を生じ、飯豊山地の隆起が引き起こされたのかもしれない。

IV. 2000年鳥取県西部地震震源域

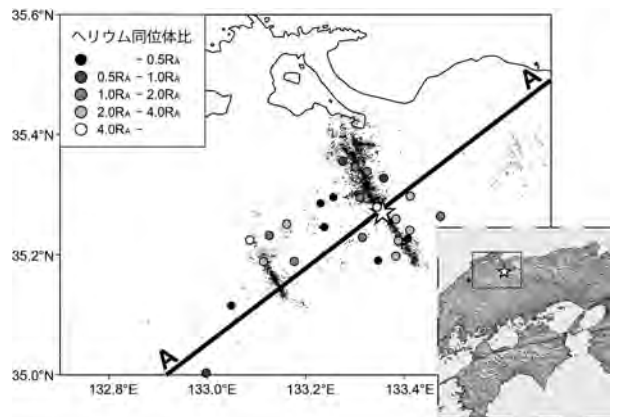
地震の規模を示すマグニチュード(M)が7程度以上になると震源断層の破断が地表に達する。そのため、比較的大きな地震を引き起こす震源断層は、活断層としてあ

らかじめ地表で認識されている。しかしながら、2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震はM7.3であったにもかかわらず、地表に明瞭な破断(地表地震断層)が生じなかった。また、余震分布域にもこれまで活断層が認識されていなかった。一方で、鳥取県西部地震を起こした震源断層は地表にまで成長していない未成熟な断層であった可能性があり、これまで活断層として識別できていなかったのは当然であるとの指摘もある。このような未成熟の断層の形成や運動にも地殻流体が何らかの関与をしているのであろうか。

筆者らが行った電磁気観測では、鳥取県西部地震の震源域をカバーするよう観測点を設置し、約1か月間にわたって電場と磁場を観測し、三次元の電気伝導度構造を推定した⁸⁾。第2図は震源断層に直行する方向の鉛直断面図である(第3図)。本震と余震が集中している領域を震源断層とみなすことができるが、その西側に深さ40kmのマントル最上部から深さ15kmの下部地殻に延びる電気伝導度が高い領域(高伝導体)が存在する。これだけでは高伝導体が水あるいはメルトのどちらの影響を受けているかはわからないが、ここでは地震が発生していない。一般に脆性破壊と塑性流動の温度境界は300~400℃と考えられていることから、水であったとしても高温の流体として存在していると考えられる。また、震源断層は、高伝導体と低伝導体の境界よりやや低伝導体側に位置している。このことは、高伝導体の領域



第2図 鳥取県西部地震震源域(第3図)の比抵抗断面図：
<http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai/2014/index.html>



第3図 鳥取県西部地震震源域のヘリウム同位体比：
<http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai/2014/index.html>

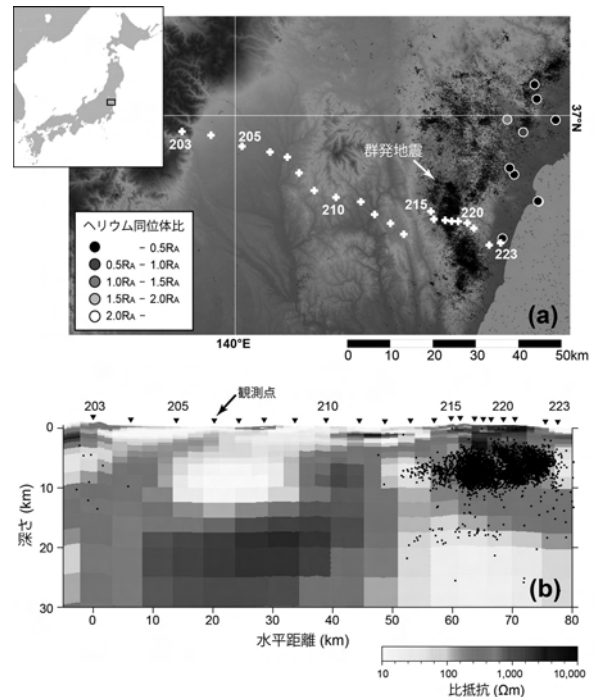
に存在する地殻流体によって局所的な非弾性変形が生じ、それに隣接する震源断層の応力が増加したことにより破壊に至った可能性を示唆する。

次に電気伝導度の不均質を生じさせていると考えられる地殻流体の起源を検討するため、震源周辺で使われている生活水用の井戸から地下水試料の採取を行い、実験室で超音波振動によって溶存ガスを分離し、ヘリウムの同位体を測定した。第3図は本震・余震の震央分布に採取した井戸の位置と試料のヘリウム同位体比を大気で規格化した値を示したものであるが、これによると震源断層の近傍の井戸では大気の3倍以上高いヘリウム同位体比を示す。このことは溶存ガスにはマントル成分のヘリウムが一定の割合で混入していることを示しており、地殻流体がスラブ起源流体あるいはメルトであることを意味している。また、断層から離れるにしたがって、ヘリウム同位体比が顕著に低下している。ヘリウムは化学的に不活性であり、原子も小さく他の元素より移動性が高いが、これらが地殻中の震源断層を選択的に移動して地表付近までもたらされたと考えられる。したがって、未成熟な断層であっても断層の形成にスラブ起源流体などが関与していれば、規模の大きい地震が発生する前であっても、地下水試料の採取・分析によって震源断層の位置をおおむね特定できる可能性がある⁹⁾。

V. 福島県浜通り群発地震震源域

2011年東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)の直後から東日本の各地で地震活動が活発化したが、これらの地震は東北沖地震に伴う動的(表面波の通過に伴う断層法線応力の低下)あるいは静的な応力変化によって誘発されたものと説明されている。このうち、福島県浜通りから茨城県北部の地域では、これまで地震活動の空白域であったにもかかわらず、東北沖地震の直後から震源の浅い正断層型の群発地震活動が始まり、発生当初に比べて低調ながら現在(2015年9月)も活動が継続している。特に、東北沖地震の1か月後の4月11日には、いわき市付近の深さ約5kmを震源とする M_w 6.6の地震が発生したが、その際に生じた地表地震断層はこれまで認識されていた活断層(湯ノ岳断層、井戸沢断層)と一致している。井戸沢断層の西側トレースで行われたトレンチ調査によると、一つ前の活動は12500~17000年前であり、東北沖地震と同じくプレート境界で発生した869年の貞観地震の際に活動した痕跡は認められていない。また、4月11日の地震の直後から活断層の西側では湧水が認められ、それは4年以上経った現在でも一部続いている。

ここでの電磁観測では、群発地震の活動域を北西-南東方向に横断する約90kmの測線で観測を行った。さらに、 $N30^\circ E$ 走向に直交する方向と平行な方向の2種類の見掛け比抵抗と位相を求め、インバージョンによって深

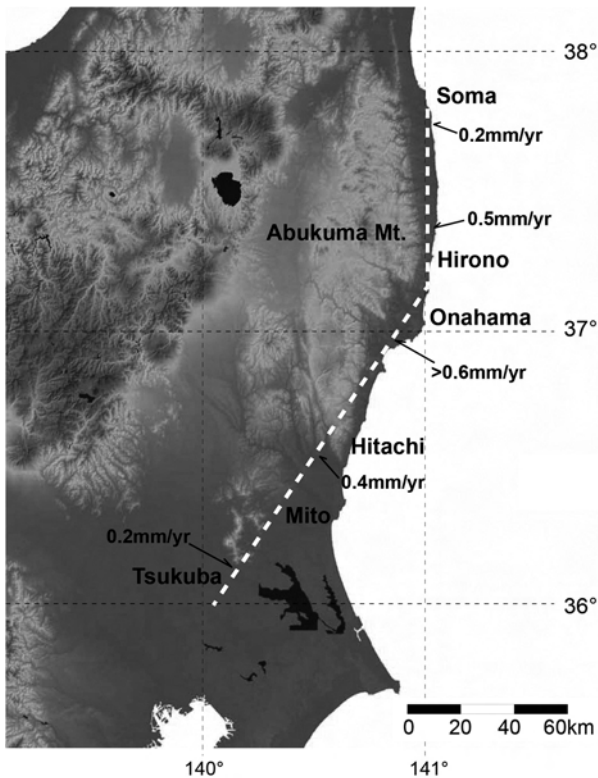


第4図 福島浜通り群発地震震源域の(a)ヘリウム同位体比および(b)比抵抗断面図(参考資料10)の原図に2011年3月11日以降の震源分布を图示した

さ30kmまでの2次元電気伝導度構造を推定した。この付近の大局的な地質構造境界である棚倉構造線を境に中生代の堆積岩類や花崗岩類からなる足尾帯と阿武隈帯が分布しているが、ここでは電気伝導度の低い領域となっている。これに対して、群発地震が発生している地域の深さ15km以深に、数 Ωm の高い電気伝導度を示す領域が地震の分布と極めて整合的に存在している(第4図)。また、地震波速度構造の解析でもほぼ同じ場所に地震波速度の低い領域が存在していることが明らかにされている。特筆すべきことは、東北沖地震の発生する前の地震データのみで行った解析でも同様な低速度領域が見出されており、この地球物理学的観測により見出された異常体は、群発地震が生じる前から存在していたことになる。

また、約12.5万年前に沿岸域で形成された海成段丘の分布をみると、群発地震が発生している地域では、数万年オーダーで顕著な隆起が生じていることがわかる(第5図)。このことは、群発地震が東北沖地震のような稀頻度のイベントによって誘発された可能性がある一方で、この地域では過去数万年にわたって間欠的な群発地震と局所的な隆起が生じていたことを示唆する。このことは地質調査や地球物理学的観測を行うことによって、現在は地震活動が静穏と考えられている地域であっても、将来の安定性に何らかの影響を及ぼす可能性を予見できることを意味する。

さらに、この地域は火山フロントの太平洋側のいわゆる前弧域に相当することから、地震活動や隆起にメルト



第5図 東南北部～関東北部の隆起速度の分布

(マグマ)が関与しているとは考えにくい。地殻流体の起源を検討するため、鳥取県西部地震と同様に群発地震の活動域周辺から地下水を採取し、溶存ガスに含まれるヘリウム同位体を測定した。これによると、ヘリウム同位体比はすべての地点で大気より低い値を示した。このことは、上述の地球物理学的観測により捉えられた異常体の原因となっている流体は、スラブ起源流体ではなく、日本海溝から運びこまれた海底堆積物を起源とする続成流体や変成流体などである可能性を示唆する。それでは群発地震はどのようなメカニズムで発生したのだろうか。現状では以下のシナリオが考えられている¹⁰⁾。まず、流体が存在している地殻には、それまで東西方向に圧縮する応力が作用していたが、東北沖地震によって圧縮していた応力が弱まり、地殻内の亀裂が開口し易くなった。これに伴い亀裂に流体が侵入することによって間隙水圧が大きくなり、せん断破壊が生じたという考えである。しかしながら、東北沖地震やそれによって誘発された地震については、多くの研究者が詳細な現象の解明に取り組んでいることから、今後も他のメカニズムによって説明される可能性がある。

VI. おわりに

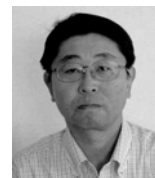
最新の地球科学の研究によって、火山地帯に限らず地

殻中にはメルトや水などの地殻流体が存在することが明らかになった。これらの流体の存在によってレオロジーの空間的不均質が生じ、それに伴って大きな地震や地殻変動が生じる。そのため、地層処分において数万年以上に及ぶサイトの安定性を検討する際には、その地域の地殻流体の存在や起源を知ることは極めて重要となる。

— 参考資料 —

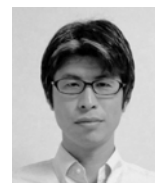
- 1) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ, JNC TN1400 99-020, 1999.
- 2) 藤村 陽ほか, 高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるか I—変動帯日本の本質, 科学, 70, 12, 1064-1072, 2000.
- 3) 石橋克彦, 変動帯の日本列島で高レベル放射性廃棄物地層処分の適地を選定できるか?, 学術の動向, 2013.6, 27-33, 2013.
- 4) 日本学会会議, 高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言—国民的合意形成に向けた暫定保管, 2015.
- 5) 総合エネルギー調査会, 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—, 2014.
- 6) Iio, Y. et al., Water-weakened lower crust and its role in the concentrated deformation in the Japanese islands, Earth Planet. Sci. Lett., 203, 245-253, 2002.
- 7) Umeda, K. et al., Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline Iide Mountains, northeast Japan, J. Geophys. Res., 112, B05207, doi:10.1029/2006JB004590, 2007.
- 8) Umeda, K. et al., A large intraplate earthquake triggered by latent magmatism, J. Geophys. Res., 116, B01207, doi:10.1029/2010JB007963, 2011.
- 9) Umeda, K. and Ninomiya, A., Helium isotopes as a tool for detecting concealed active faults, Geochem. Geophys. Geosyst., 10, Q08010, doi:10.1029/2009GC002501, 2009.
- 10) Umeda, K. et al., Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake, J. Geophys. Res., 120, doi:10.1002/2014JB011598, 2015.

著者紹介



梅田浩司 (うめだ・こうじ)

(現職)日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)地層処分, 地質学,
地球化学



浅森浩一 (あさもり・こういち)

(現職)日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)地層処分, 地震学,
地球物理学



屋内退避か？避難か？ 災害対策における緊急時モニタリングの役割

名古屋大学 山澤 弘実, 青森県原子力センター 木村 秀樹
福島県 小山 吉弘, 東北大学 岩崎 俊樹

本報告は、2015年秋の大会において行われた保健物理・環境科学部会企画セッションの取りまとめである。原子力災害対策指針が求めるモニタリングの内容と課題を掘り下げた講演に加えて、福島原発事故時に地元県が甚大な自然災害下という制約下で行ったモニタリングの状況・教訓と現在の見直し状況に関する講演が行われた。また、大気拡散を専門とする日本気象学会から予測計算の有用性と制約に関する講演が、同学会が事故後に行った提言の説明とともに行われた。モニタリングと大気拡散予測の何れにも一長一短があり、両者の相補的な活用がより実効性の高い防災スキームに繋がるということが、セッション全体として議論の方向性であった。

KEYWORDS: *nuclear accident, environmental monitoring, emergency operation, emergency response scheme, atmospheric dispersion prediction*

I. はじめに

原子力災害が発生した場合に、事業者、国および地方の行政機関並びに関連する公共機関等が災害対策を円滑かつ確実に実施できるように、原子力規制委員会は「原子力災害対策指針」(以下、「指針」と記述)を2012年に定め、第5回目となる2015年8月の改正を経て現在に至っている。災害対策の目的は、放射線による確定的影響の防止と確率的影響の最小化である。この制定および改正では、福島第一原子力発電所事故前の原子力防災対策には住民視点の欠如、体制・資材の準備不足、意志決定方法の不明確さ等、多くの問題があったという反省を踏まえて行われており、基本的な考え方として「住民視点の対策」、「継続的情報提供」、「最適化のための見直し」が前文に謳われている。

この指針では、実測された空間線量率等から災害対策を決定することを基本方針とし、明確な判断基準で対策の意思決定ができる仕組みになっている。分かりやすさの点では合理性があると思われる。それでは、この指針に基づけば、十分に災害対策の目的が達成できるのだろうか？指針が描くスキームが実効性を持って働くかどうかは、判断基準が合理的であるかどうかという点を除けば、ひとえに緊急時モニタリングの成否にかかっている。判断基準の合理性については別途議論が必要であろうが、ここでは、特にブルーム防護や飲食物の摂取制限

については空間線量率の値のみから判断を下すことは原理的に困難であることを指摘するにとどめる。

セッションでは、判断の材料となる環境中での状況の把握に関して緊急時モニタリングで取得することが求められる情報、モニタリングの実現性、問題点等を中心議題とし、関連する大気拡散予測計算の利用可能性についても議論に含める構成とした。最初に、指針制定の際のモニタリングに関する議論に参画された青森県原子力センター所長の木村秀樹氏にモニタリングを実施する立場から指針の要点と課題をお話いただいた。次に、福島原発事故時に福島県原子力安全対策課長として県全体の対応を統括する立場にあった小山吉弘氏に当時の状況と反省点をお話いただいた。最後に、日本気象学会理事である岩崎俊樹氏に、原子力事故時の大気拡散予測計算の利用可能性についての気象・大気拡散の専門分野での認識と、気象学会がこれまでに行ってきた原子力防災に関する提言についてご講演いただいた。

個々のご講演についてはフロアーから議論百出であり、緊急時モニタリングや大気拡散予測についての現状や問題点を参加者全員で共有するという目的は十分達成できたものと思われる。一方、座長を務めた筆者の取り回しの稚拙さから、セッション全体としてのまとめの議論がほとんどできなかった。座長の立場からは、モニタリングと大気拡散予測の何れも一長一短があり、相補的な位置づけで全体のスキームを考える必要があり、モニタリングのみを採用する現スキームには脆弱性が危惧されることをセッション全体の議論の方向性として指摘した。特に、原子力災害のみが単独で起こることは考えにくく、福島原発事故と同様に重大な自然災害と複合する

Sheltering or evacuation? Role of emergency monitoring in nuclear disaster control: Hiromi Yamazawa, Hideki Kimura, Yoshihiro Koyama, Toshiki Iwasaki.

(2015年11月16日 受理)

ことを前提として、設備面と要員確保の両面で現スキームが本当に実効性を持つのか真剣に考える必要がある。

(山澤弘実)

II. 原子力災害対策指針が求めるモニタリング

1. 環境放射線モニタリングの現状

我が国における環境放射線モニタリングは、原子力施設の周辺地域における放射線影響の調査と、全国における環境放射能水準の調査に大別される。前者は、原子力施設が立地された地方自治体を中心となり、事業者とともに実施している。後者は、国からの委託事業として、全国47都道府県が実施するとともに、(公財)日本分析センターが高度かつ専門的な放射能分析を行っている。調査内容としては、いずれの場合も、モニタリングポストによる空間放射線量率の連続測定、大気浮遊じん、飲料水、土壌、海水、食品等の環境試料中の放射性物質の分析測定などである。

2. 原子力災害対策指針における緊急時モニタリング

緊急時における環境放射線モニタリング(以下、「緊急時モニタリング」という。)については、2011年3月の東日本大震災に伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所事故を踏まえ、2012年10月に制定された「原子力災害対策指針」(以下、「指針」という。)やその補足参考資料等に考え方が示されている。

指針では、緊急事態の初期対応段階において、原子力施設の状況に応じ、緊急事態を警戒事態、施設敷地緊急事態および全面緊急事態の3つに区分している。また、原子力災害が発生した場合に重点的に対策を講じる区域として、原子力発電所の場合、緊急時活動レベル(EAL)に応じて放射性物質の環境への放出前の段階から予防的に防護措置を準備する区域(PAZ)を発電所から概ね半径5km、EALおよび運用上の介入レベル(OIL)に基づき緊急時防護措置を準備する区域(UPZ)を発電所から概ね30kmと定めている。

国、地方自治体、原子力事業者および関係指定公共機関は、警戒事態において緊急時モニタリングの準備を行い、施設敷地緊急事態には緊急時モニタリングセンター(EMC)を中心に、緊急時モニタリングを実施する。原子力施設から環境へ放射性物質が放出された場合には、緊急時モニタリング結果をもとに必要な措置を実施することとなるが、この判断基準として、空間放射線量率や環境試料中の放射性物質濃度等の原則計測可能な値で表されるOILを設定している。

緊急時モニタリングの目的は、

- ①原子力災害による環境放射線の状況に関する情報収集
- ②OILに基づく防護措置の実施の判断材料の提供
- ③原子力災害による住民等と環境への放射線影響の評価材料の提供

にあるが、初期モニタリングにおいては、防護措置に関する判断に必要な項目を優先する。

OIL1(空間放射線量率500マイクロシーベルト/時)のためのモニタリングについては、固定観測局および可搬型モニタリングポスト等による空間放射線量率の連続測定を第一とし、必要に応じてモニタリングカーやサーベイメータを用いたモニタリングを実施する。OIL2(空間放射線量率20マイクロシーベルト/時)のためのモニタリングについても実施手法や実施地点は同様であるが、さらに固定観測局等の測定を補完するために、航空機モニタリングを実施する。

飲食物中放射性物質濃度の基準であるOIL6のためのモニタリングについては、まず固定観測局等による空間放射線量率の測定や航空機モニタリング等により、飲食物中の放射性物質濃度測定を実施すべき地域(空間放射線量率0.5マイクロシーベルト/時を超える地域)を特定する。OIL6としては、「飲料水、牛乳・乳製品」および「野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他」を対象に、放射性ヨウ素、放射性セシウム、プルトニウムおよび超ウラン元素のアルファ核種、ウランについて初期設定値が示されており、これらについて分析・測定を行う。

原子力施設から放出された放射性プルームからの影響を考慮したUPZ圏外の防護措置については、施設側の状況や緊急時モニタリング結果等を踏まえて、屋内退避の指示をUPZ圏外の一定の範囲に拡張することとし、放射性物質が当該範囲外へ通過したと判断されたときは、速やかに屋内退避の指示を解除する。このためには、敷地内や敷地境界などの情報を把握することに加え、UPZ圏内の観測装置を用いたモニタリングにより放射性プルームの流跡の概要を把握するほか、走行モニタリングや航空機モニタリング等の機動的なモニタリング手法を用い、拡張された防護範囲における放射性プルーム通過の判断に資する情報を収集する必要があるとしている。

3. 今後の課題と展望

以上のような原子力災害対策指針が求めるモニタリングに対応するために、空間放射線量率の測定体制の強化やモニタリング情報共有・公開システムの整備等が進められてきたところであるが、モニタリングの実効性をさらに向上するために、以下のような課題に取り組む必要がある。

空間放射線量率の測定においては、自然災害への対策として、まず通信回線を多重化すること、また測定器の堅牢性を高めるとともに、機器の交換や他の機器による代替測定を迅速に行える体制とすることが挙げられる。加えて、線量率レベルの面的な把握やプルームの流跡の推定などのために、測定値と計算シミュレーションを組み合わせた解析システムの構築に取り組む必要がある。

環境試料中の放射性核種の測定では、膨大な試料に対応するため、行政分野を横断した測定体制の確立や今回の事故の経験を反映させた前処理・測定マニュアルの整備が望まれる。また、住民の内部被ばく線量の評価や施設からの影響把握のために、大気中放射性核種の採取・測定体制やアルファ核種(プルトニウム等)及びベータ核種(ストロンチウム 90 等)の分析体制を強化する必要がある。

最後に、効果的かつ効率的なモニタリング体制により「データをとる」、評価結果の見える化や住民に届ける仕組みにより「データを活かす」、そして、何より、総合的なモニタリングの教育・支援体制の整備により「人を育てる」ための取組を継続することが、今後のモニタリングの充実強化に不可欠と考える。

(木村秀樹)

Ⅲ. 福島第一原子力発電所事故における福島県の緊急時モニタリングの初動対応

1. 緒言

福島県(以下「県」という)では、原子力災害発生時の環境放射線モニタリング(以下「緊急時モニタリング」という)における自然災害への対応の強化を図ってきたが、2011年3月11日(以下年月は特に断らない限り省略)に発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下「第一発電所」という)事故に際しては、東日本大震災により設備、資材、要員確保等全般にわたり大きな制約を受けた中で対応せざるを得なかった。本稿においては、県における初期の緊急時モニタリング活動の状況について、その概要を述べる

2. 震災発生時の状況

(1) 地震・津波による施設の被害状況

福島県原子力センター(以下「県センター」という)は、第一発電所の西南西約4.9kmの大熊町地内に福島県原子力災害対策センター(以下「オフサイトセンター」という)に隣接し、設置されており、原子力災害発生時には緊急時モニタリングセンターとしての役割を担うことが求められていたが、震度6強の地震直後から、地域一帯が停電、上水道断水、一般公衆電話回線や携帯電話はほとんど使用困難になる等公共インフラが機能喪失した中におかれた。県センターの建物自体については顕著な被害は認められず、非常用発電設備も問題なく稼働したものの、事務、計測室のプリンタやFAX装置等が転倒、ゲルマニウム半導体検出装置全4台中2台の遮蔽体がずれて測定不能となる等の被害を受けた。さらに、原子力発電所周辺6町に設置された全23基の環境放射線測定局の集中監視を行っていた「環境放射能テレメータシステム」は、測定局4基が津波により流出、さらに11日午後4時42分頃には有線専用回線が不通となり、県センター

敷地内の測定局1局を除き残りの測定局のデータ収集ができないという状況に陥った。

県センター(職員定員8名)では、施設の被害状況の把握、復旧等の対応に迫られる中、原子力災害対策特別措置法に基づく異常事態発生通報を受け、緊急モニタリング準備を進めることとなった。

なお、当時、県センターと外部の通信については電子メールが12日未明まで断続的に使用できていたが、12日以降は使用不可能となっていた。災害時に備えた専用回線等も次第に通信困難となり、12日午後以降はほぼ衛星携帯電話のみが通信手段となっていた。

(2) 緊急時モニタリング要員の参集状況

県の原子力防災計画では、初期対応として県センター職員が準備や監視強化に当たり、地元の県行政機関、地元町、東京電力からの要員派遣(総員52名)を待って、緊急時モニタリングチームを組織し、その後、国機関の支援を受けて体制を拡充(総員120名)していくこととされていたが、震災発生直後は、地震・津波対応等から県、町の地元機関からの要員派遣が困難な状況にあった。翌12日未明から、東京電力(5名)、日本原子力研究開発機構(7名)、県(20名)からの派遣要員が漸次参集し、屋外の空間線量率の測定等、具体的な緊急時モニタリング活動が開始できた。さらに13日には文部科学省からの派遣要員も加わり、14日まで常時約30名の要員で緊急時モニタリング活動を実施した。

しかし、避難指示範囲の拡大に伴い、調査対象範囲も重点的な緊急時モニタリング実施範囲としていた発電所周辺10kmを超え、県センターとモニタリングカーとの無線交信が困難となり、交代要員の確保や車両の燃料補給の見通しが立たない等、次第に活動の継続に支障をきたしてきた。このため、14日午後には、オフサイトセンター放射線班と協議の上、現地での活動継続を中止し、同日夜には県センターから退避、福島市内に緊急時モニタリング活動の拠点を移すこととなった。

3. 緊急時モニタリングによる測定結果

(1) 県センターにおける緊急時モニタリング結果

12日早朝の段階では、前日21時23分に出されていた第一発電所周辺3km以内の避難指示範囲が5時44分には10kmに範囲が拡大されており、第一発電所10km圏内の全域の概況を把握する目的で、モニタリングカーで移動しながら空間線量等を測定するサーベイチームを3班編成し、主に太平洋岸を南北に走る国道6号線沿線を調査した。12日第一回目調査では、8時から9時にかけて、第二回目調査では、11時30分から13時30分にかけて、それぞれ9地点で空間線量率を測定し、また3地点で大気浮遊塵の採取を行い県センターに持ち帰り核種分析を行った。第一回調査において、第一発電所北、北西方向で空間線量率の上昇(最大値は北西8km地点で

15 μ Sv/h)が観測され、また、全地点の大気浮遊塵試料からヨウ素 131 等の放射性核種(ヨウ素 131 最大 166Bq/m³)が確認され、福島第一発電所正門付近では12日4時頃から線量率が上昇しているが、周辺の広範囲に影響が及んでいることが明らかにされた。

12日17時39分には福島第二原子力発電所10km以内、18時25分には20km以内にも避難指示が拡大され、限られた要員、資材でどのような緊急時モニタリングを実施すべきかについてオフサイトセンター放射線班とも協議し、翌13日は、主に南相馬市からいわき市まで福島第一原子力発電所から南北約30kmの範囲で空間線量率の測定と大気浮遊塵の採取を実施した。日本原子力研究開発機構のモニタリングカーも南相馬市から大熊町まで第一発電所北西方向20km内の走行サーベイを実施した。

その結果、南相馬市、浪江町、双葉町で30 μ Sv/h以上の空間線量上昇を確認、また、ヨウ素131も同日午後にはいわき市北部でも検出された。

これらの調査結果は、すべてオフサイトセンターの放射線班に報告されたが、一部が原子力安全・保安院から公表されたにとどまり、その成果を住民避難等の防護対策の策定等に有効に活用されたとは言えなかった。県においても福島県庁の県災害対策本部と県センター間のモニタリング情報の共有が困難となっていたこともあり、避難市町村等関係機関に適切な情報提供がなされなかった。オフサイトセンター放射線班で把握していた11日～15日間の全測定データは6月3日に公表された。

なお、津波で流出した4測定局以外の19局のうち、4局は停電を免れており、また残りの15局も非常用電源の燃料が切れる15日頃まで測定は継続していたことが、後日データを回収して判明した。これらのデータは初期の放射性物質の拡散状況の解析に役立てることができた。

(2) 福島県内全域におけるモニタリング結果

県は、原子力災害発生時には、県センターの調査とは別に県内全域の放射線レベルを把握するため、県内7か所の地方振興局においてサーベイメータによる空間線量率の測定を行うこととしており、県災害対策本部においては、11日から12日にかけて開始された測定結果を集約するとともに、他道県のモニタリング機関の支援を受け、13日までに8台の可搬型モニタリングポストを福島第一原子力発電所から20～50km圏内に設置した。

これらの調査により第一発電所の北北西約25kmに位置する県相双地方振興局(南相馬市)では、12日17時過ぎから空間線量率の測定を開始し、同日21時には20 μ Sv/hの線量上昇が確認されたが、他の6地方振興局では、15日午後から線量上昇が確認された。

4. その後の対応

16日以降は政府において、文部科学省が環境モニタリングの実施のとりまとめ及び結果の公表を行うこととなり、県も、県原子力センター福島支所(福島市)に緊急時モニタリングの拠点を置き、オフサイトセンター放射線班と県災害対策本部との連携もようやく確保され、県内全域にわたる放射性物質の汚染状況の把握に全力を傾注することになった。

また、初期の緊急時モニタリング活動に関連しては、県本部におけるSPEEDI情報や可搬型モニタリングポストデータの取り扱いに適切性を欠いたこと等の指摘も受けた。県は、こうした震災時の経緯を踏まえ、初動対応の課題として、「自然災害に対する緊急時モニタリング資機材の備え」、「複合災害発生時における緊急時モニタリングの要員確保」、「オフサイトセンターが機能しない場合のデータ公表」の3点を重点的に緊急時モニタリング体制の見直しを図ってきている。

(小山吉弘)

IV. 原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散に関する数値予測情報の活用策について—日本気象学会の作業部会報告から—

1. 日本気象学会の活動

日本気象学会は、福島第一原子力発電所の事故(以下、福島事故と略記)の後、放射性物質漏えい事故の際の情報提供のあり方を検討するために、「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質拡散に関する作業部会(以下、作業部会と略記)」を設置した。作業部会は、モニタリング体制の整備と数値モデルを用いた拡散予測の活用が必要だと結論し、2012年3月5日に、学会理事長名で「原子力関連施設の事故発生時の放射性物質拡散への対策に関する提言」を発表した¹⁾。

原子力規制委員会は、2014年10月8日に発表した「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の運用について」の中で、「緊急時における避難や一時移転等の防護措置の判断にあたって、SPEEDIによる計算結果は使用しない。」こととした²⁾。作業部会の見解とは異なるので、「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散監視・予測技術の強化に関する提言」をとりまとめ、日本気象学会として数値モデルの活用を提言した³⁾。同時に、「原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散に関する数値予測情報の活用策について」(以下、「活用策」と略記)を作業部会から発表した⁴⁾。

原子力規制委員会は、2015年3～4月に、原子力災害対策指針(改定原案)等に関する意見募集を行った。日本気象学会は、数値モデルを活用すべき、との意見を提出した⁵⁾。日本気象学会及びその作業部会が取りまとめた

これら提言の基本的な考え方や活用策の要点を以下に示す。

2. モニタリングデータと予測データ

モニタリングポストなどによる正確な地上観測は、実況監視に必須のものであり、積極的に展開すべきである。しかしながら次のような欠点を承知すべきである。

- (1) リードタイムの無い実況データであり計画的な避難等への利用は限定的である。
- (2) 地上の点のデータであり、モニタリングを実施していない地域での汚染や、上空高いところを通過する放射性物質を見逃す可能性がある。
- (3) 福島事故のように、大規模な自然災害に起因する事故では、モニタリングポストや通信網が必ず機能するとは限らない。

数値モデルによる放射性物質の大気拡散予測では、事前に警告を発する(リードタイムをとる)ことができる点で大きなメリットがある。しかしながら、放出量の推定誤差や数値計算誤差のために、予測された絶対値には相当の誤差が含まれる。このため、「活用策」ではなく、時間空間的な相対的な危険度を示す指標として活用することを提案した。数値予測が放射性物質の大気中の動きをほぼ再現できることは、当時行われていたSPEEDIの予測計算⁶⁾や、日本学会議による計算モデル比較⁷⁾でも明らかである。

原子力災害において、モニタリングデータと数値予測データは相互補完の関係にある。両者を最大限活用し、被害の軽減を図るべきである。

3. 数値予測有効活用のための要点

- (1) 防災にはリードタイムを含む予報と正確な実況の両方が必要

自然災害では、これまでの多くの経験に基づき、予報と実況の組み合わせにより状況を判断する防災体制が確立している。台風の場合、不確実性を含む予測情報「明日午後、XXでは、台風の強風域に入り風が強くなる可能性が高い」と、実況値「本日午後3時、XXでは、最大瞬間風速30m/sを記録した」は、どちらも被害軽減のために重要な防災情報である。原子力災害においても、あらゆる情報を利用して、被害を最小限に食い止める仕組み(防災体制)を作ることが重要である。

- (2) 放出量が不明の場合、一定量放出の条件でシミュレーションを実施し、時間的空間的に相対的な危険度の情報として活用

一定量放出は最悪シナリオに相当し、空振りはあるが見逃しのない情報が得られる。このようなシミュレーションは、緊急時モニタリング計画の策定や、離散的なモニタリングデータの評価にも重要な役割を果たす。

- (3) 放射性物質が地上近くを浮遊することと、湿性沈着することは、区別して注意喚起し、鉛直積算量をポテンシャル沈着量として利用

数値予測では予測された降水量を利用して沈着量を算出することも可能だが、降水量分布の予測誤差が大きく、結果として沈着の見逃しの原因となる。沈着無で計算した放射性物質の鉛直積算値を見逃しの無い最悪シナリオ(ポテンシャル最大沈着量)として利用する。

○地上付近の大気が高い放射性物質濃度が予測された場合、「XXでは○○時頃、地上付近の大気中放射性物質濃度が高まる危険があるので退避する」などの警告を発する。

○高いポテンシャル沈着量が予測された場合、「XXでは○○時頃、降水が放射能を含む危険がある」と警告する。実際に雨が降った場合には、取水制限や流通制限を実施し、汚染状況を確認する。降水が無ければ、湿性沈着対策は解除する。

- (4) 予測結果の不確実性を考慮し、危険範囲を時間空間的に広めに想定

原子力災害時の拡散予測では、最悪シナリオを想定し、ある程度の空振りを認め、見逃しをなくすることが大切である。

以上、述べたように、避難や一時移転等の防護措置判断にモニタリング結果を使用するとしても、数値予測はモニタリング計画の策定と評価、避難時等に無用な被ばくを避けるための予報として利用できる。また、チェルノブイリ事故や福島事故からわかるように、UPZ(30km圏)から相当離れた地域にも、湿性沈着は深刻な汚染を起こす。鉛直積算量(ポテンシャル沈着量)予測値と降水の実況値を活用すれば、汚染された可能性の高い地域を大幅に絞り込むことができ、効率的な汚染地域の把握とそれに対する食物検査等の対策が可能となる。数値予測には、様々な利用価値がある。有効に活用されることを期待する。

(岩崎俊樹)

－ 参考資料 －

- 1) 日本気象学会,2012: 原子力関連施設の事故発生時の放射性物質拡散への対策に関する提言, http://www.metsoc.jp/others/News/proposal_120305.pdf
- 2) 原子力規制委員会, 2014: 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)の運用について <http://www.nsr.go.jp/data/000027740.pdf>
- 3) 日本気象学会, 2014: 原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散監視・予測技術の強化に関する提言 <http://www.metsoc.jp/2014/12/17/2467>
- 4) 日本気象学会作業部会,2014: 原子力関連施設の事故に伴う放射性物質の大気拡散に関する数値予測情報の活用策について <http://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2014/12/teigen-201412.pdf>
- 5) 日本気象学会理事会,2015: 原子力災害対策指針及び関係す

る原子力規制委員会規則の改正に関する意見 <http://www.metsoc.jp/2015/03/31/3837>

- 6) 茅野政道, 検証! SPEEDI が福島原発事故で提供した予測情報 - その精度と適時性, 今後の活用 -, 原子力誌, 55, 220-224, 2013.
- 7) 日本学術会議, 2014: 報告「東京電力福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の輸送沈着過程に関するモデル計算結果の比較」103pp.

著者紹介

山澤弘実 (やまざわ・ひろみ)

名古屋大学大学院工学研究科

(専門分野/関心分野) 環境放射能, 環境動態モデリング

木村秀樹 (きむら・ひでき)

青森県原子力センター

(専門分野/関心分野) 環境放射線モニタリング/特に再処理施設に関する影響評価, 緊急時モニタリング

小山吉弘 (こやま・よしひろ)

福島県原子力安全対策課

(専門分野/関心分野) 環境科学/特に環境政策, 環境放射線モニタリング

岩崎俊樹 (いわさき・としき)

東北大学大学院理学研究科

(専門分野/関心分野) 気象学, 数値予報, 気象モデル

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 —

(1月12日第7回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・12月期に英文誌へ13論文, 和文誌へ1論文の投稿があった。
- ・2015年の英文誌への年間新規投稿数が378論文, 再提出が350論文であったことが報告された。
- ・英文誌の掲載遅れの解消方法を検討した。
- ・編集委員会運営内規および投稿規定の改定に関して検討した。

【学会誌関係】

- ・小原編集理事より理事会報告があった。
- ・編集長より, 特集企画とそのスケジュールについて説明があった。
- ・11, 12月号学会誌アンケート結果の報告があり, 記事の評価をレビューし, 今後の参考にした。
- ・次号以降の記事進捗状況の報告と確認を行った。
- ・論文誌から参加した委員およびゲストと意見交換を行った。

編集委員会連絡先 <hensyu@aesj.or.jp>



原子力リスク研究センターシンポジウム 2015 開催報告

電力中央研究所 佐藤 清

原子力リスク研究センター(NRRC)が、2015年9月2日に東京の大手町サンケイプラザホールで発足後初めて「原子力リスク研究センターシンポジウム 2015」を開催した。NRRCは原子力発電の自主的な安全性向上に必要な研究開発の拠点とすべく、2014年10月に電力中央研究所内に設置した組織である。今回はこの1年間の活動報告ならびにリスク情報を活用した意思決定に関する基調講演を行うと共に、原子力事業者、規制機関、立地自治体、大学、マスメディア等から多様な有識者を招いて、原子力のリスクを専門家と社会がどのように認識し、低減していくことができるかについて、パネルディスカッションを行った。テーマは、(1)NRRCにどのような役割を期待するか、(2)リスク情報を活用した原子力のリスク管理を実現するために何が必要か、の2つを設定し、自由闊達な討論の中から様々な意見、提言が出された。当初の予定を大幅に上回る約440名が参加した熱気溢れるシンポジウムの概要を紹介する。

KEYWORDS: *Nuclear Safety, Residual Risk, Managing Uncertainty, Defense in Depth, Probabilistic Risk Analysis, Risk Communication, Risk Informed Decision Making, Safety Goals*

プログラムは2部構成で、第1部では「原子力リスク研究センター(NRRC)の活動状況」報告を受けてパネルディスカッション1「NRRCの活動に期待すること」が行われた。後半の第2部では、まずNRRCのアポストラキス所長が基調講演を行い、続いてパネルディスカッション2「リスク情報活用の定着に向けて」が行われた。最後にアポストラキス所長が再登壇し、総括コメントを述べてシンポジウムを締め括った。

2つのパネルディスカッションは、事前にモデレーターからパネリストに議論の枠組みを明確に提示し、それぞれ2時間と3時間の長丁場を、聴衆との意見交換も交えた、忌憚のない討議の場とすることができた。

I. 第1部の概要

1. 原子力リスク研究センター(NRRC)の活動状況

NRRCの横尾副所長より原子力リスク研究センターの活動について報告された。以下に概要を示す。

(1) NRRC 設置の経緯

原子力発電所を運営している事業者は、福島第一原子力発電所の事故後、原子力リスクを経営の最重要課題と位置づけ、リスク低減に向けた対応力強化を図っている。一方、低頻度外的事象によるリスク対応のための技術開発は事業者共通の課題で、高い専門性が要求される

Report of nuclear risk research center symposium 2015: Kiyoshi Sato.

(2015年11月5日 受理)

ため、一元化された研究開発体制の確立が効果的との判断があり、電力中央研究所の中にNRRCが設置された。

(2) ミッション・ビジョン

NRRCは確率論的リスク評価(PRA)、リスク情報を活用した意思決定、リスクコミュニケーションの最新手法を開発し、それらを活用し原子力事業者及び原子力産業界を支援し、原子力施設の安全性を向上させるミッションを有している。また、PRA手法及びリスクマネジメント手法の国際的な中核的研究拠点(センター・オブ・エクセレンス)として、ステークホルダーから信頼を獲得するというビジョンを掲げている。

(3) 運営体制

所長、顧問に国際的な権威であるアポストラキス氏、メザープ氏を迎え、意識や文化の変革を試みると共に、技術諮問委員会も国内外の優れた有識者で構成し、常に高いレベルを目指して本質的な議論を行っている。

(4) 国内 PRA のレベルアップとモデルプラント PRA 評価

PRAのレベルアップに向けて、国際標準に学びながら、現状の国内水準を引き上げる。また、四国電力の伊方発電所3号機をモデルプラントとして、研究開発成果を実用化して、その他のプラントにも水平展開を図る。

(5) 国際協力とオープンで透明性の高い活動

多年に亘って培ってきた海外ネットワークを縦横に活かして効果的に研究開発を推進している。また、オープンで透明性が高くなるように、ウェブサイトに拠るタ

イムリーな情報発信に努めると共に、国内外の会議への参加、報告会・シンポジウムの開催などを通じて、研究計画、成果、その活用について広く発信する。

2. パネルディスカッション1「NRRCの活動に期待すること」 (敬称略)

冒頭、尾本モデレーターは、「原子力発電がいま置かれている状況とNRRCの設置目的に照らして、NRRCは正しい道歩んでいるのか。また、大型設備と多彩な知的資産を有しているメリットを活かして、NRRCにはどのような研究に取り組んで欲しいか、広く意見を聴きたい。」とパネルの趣意を語った。パネリスト全員のショート・プレゼンテーションの後、討議に入った。

モデレーター：尾本 彰(東京工業大学 特任教授)

パネラー：

川村 慎一(東京電力 原子力設備管理部長)

倉田 聡 (原子力安全推進協会 安全性向上部長)

品田 宏夫(新潟県刈羽村 村長)

滝 順一 (日本経済新聞社 論説委員)

山形 浩史(原子力規制庁 原子力規制部安全規制管理官)

討議の中から、特に重要な発言を以下に記す。

(1) PRAに関して

- ・我が国のPRAを世界でもトップレベルの品質に高めるための研究を進めて欲しい。日本では地震、津波といった自然現象が原子力発電に与える影響が非常に大きい、不確かさが大きく、確定論的な評価では極めて保守的な判断をせざるを得ない。PRAによる不確かさを考慮した現実的な評価が意思決定にうまく活かされるべきである。
- ・電力会社は属人的な組織で、情報や知識が十分に形式化されていない。PRAは最新のプラントの状況を把握することからスタートするので、そうした情報を確実に形式化して、永続的な取組みとなるように支えて欲しい。国際色豊かで、異なる文化を背負った人々が集うNRRCには、海外の優れた点を吸収して日本に根付かせて欲しい。
- ・活動報告で紹介された伊方発電所3号機でのモデルプラントPRAのような取組みを積極的に推進し、電力会社に対する模範を示して欲しい。
- ・PRAに研究すべき課題が多いことは事実だが、こういったツールは使っていくからこそ、課題が見えてくる。その解決への対応をNRRCに期待している。

(2) リスクマネジメントについて

(注) パネルディスカッション1 & 2の様子は電力中央研究所のホームページでノーカット版をご覧いただくことができるため、本稿では論点となった事柄に焦点を絞って紹介する。

- ・原子力発電所の事故に至るまでの経緯を踏まえ、リスクを考慮した包括的な意思決定のプロセスを通じて安全性の向上を図る場合、PRAは意思決定の重要な事項(インプット)の一つである。NRRCには、リスクマネジメントのプロセス全体を有効に機能させるための検討、研究を通じて意思決定のインプットの質を向上して欲しい。
 - ・リスクアプローチを取り入れる前提として、NRRCは原子力事業者の安全哲学の確立をサポートすべきである。
 - ・今後の電力市場自由化の中で電力が安全性向上にむけたインセンティブを維持確保する仕組みを考えるべきである。
- (3) リスクコミュニケーションについて
- ・多様な分野の専門家間のリスクコミュニケーションが意思決定の成否において重要であるため、産業界内外を統合する視点で研究を進めていただきたい。
 - ・リスクと便益のトレードオフの考え方が容易には受け入れられない現実を直視すること。不合理な人間の感情を考察するには、心理学、社会学、あるいは社会心理学まで踏み込んで、工学から社会につながるような研究をして欲しい。そういう研究でなければ実際には役立たない。

多岐に及んだ豊かな討議内容を、尾本モデレーターがシャープに集約した「パネルディスカッション1のまとめ」から、NRRCに特に関連が深い項目を抜粋して記す。

〔PRAの向上と活用〕NRRCは産業界のデータや手法の整備をリードし、PRAの質を高め、事業者はPRAからの知見を意思決定に活用しリスク低減に役立てるべきである。

〔過去への反省〕我が国ではリスク情報が米国ほど活用されてこなかった理由を把握し(経営姿勢、社会のリスクへの向き合い方、リスク評価技術の成熟度など)、NRRCと原子力事業者はその反省に基づいて行動し、その理由に立ち向かうべきである。

〔PRAの質を高める研究〕電中研の中にあるという特性を活かし、知見が不十分かつ不確かさの大きな自然現象等についての研究成果を、PRA手法開発に活かして欲しい。

〔基本思想確立〕NRRCは産業界を支援し原子力の基本安全原則(深層防護等)に則った活動の中で、リスク情報をどのように役立てるか基本思想を確立すべきである。例えば、「責任ある事業者としての安全目標」や「確率論的手法と決定論的手法の併用のありかた」等。

〔リスク評価とその結果への視点〕住民の立場でリスク評価を行い、結果の意味するところを伝えるべきである。

〔リスクコミュニケーション〕原子力は社会にとっての便益を生む。NRRCは原子力を失うリスクを含めて原子力のリスクと便益について発信すべきである。
 〔海外の知見の活用〕リスクの評価・管理・コミュニケーションに関し、海外の良い慣行・効率的な仕事のやりかたも学び、これを含め電力を支援して欲しい。
 〔監視システム〕安全性向上に向けては外からの安全監視という仕組みが重要で、原子力安全推進協会(JANSI)もNRRCもこの点を考慮に入れるべきである。

II. 第2部の概要

1. 基調講演「リスク概念と、それを活用した原子力施設の安全問題の合理的解決」

NRRCのアポストラキス所長より基調講演が行われた。以下に概要を示す。

(1) リスクの概念

社会には様々なハザード(危険の発生源)があるが、必ず好ましくないことを起こすとは限らず、いつ起こるかも判らない。そこで用いるのがリスクという概念である。リスクを考える上で「不確実性」は、不可欠な要素である。リスクはしばしば「発生確率×影響の大きさ」と説明されるが、この表現は完全とは言えない。数値的な情報に関心が留まると、その他の様々な情報を見落としかねない。

(2) 安全性 対 残留リスク

私達は日々の生活でハザードに対する予防策を講じるが、対策が実際に機能するかどうか不確実性が残る。これが残留リスクである。例えば、日本での交通事故死の確率は0.005%程度でゼロではない。リスクは必ずある。

(3) なぜ残留リスクを容認するのか

残留リスクを便益と照らし合わせ、社会として容認するかを考える必要がある。原子力発電にもリスクがあるが、エネルギー安全保障への貢献やクリーンで優れた環境性などの便益がある。便益を定量化するのは困難だが、リスクは比較的定量化しやすい。だが、分からないもの、未知の事象が起こる可能性は常に存在するため、不確実性も勘案して意思決定するという考え方、姿勢が重要だ。

(4) 不確実性にいかに対処するか

意思決定においては不確実性も勘案するが、それをどう扱うかには二つの考え方がある。従来の保守的アプローチでは、いくらでも多重に層を設け、大きなマージンを取るが、コストは増大する。負担するのは電力会社だけでなく、最終的には社会全体である。一方、PRAは不確実さをできる限り定量化する考え方であり、その点が伝統的手法との大きな違いである。様々な事故の頻度、防護策が失敗する頻度を定量化する。それに、実際



第1図 講演するアポストラキス所長

の統計が裏付けとなり、技術者や科学者の判断も加味される。意思決定主体にとって重要なのは、事故シーケンスについて、確率が高く影響がより大きいものを順位付けた結果である。

(5) 規制機関の意思決定への示唆

人々はPRAのうちP(probability)に注目するが、そこが一番大切な点ではなく、事故シーケンスを明らかにすることこそ重要である。それにより事業者と規制機関双方がプラントで何が起こり得るかを理解できる。PRAは未来を予測するものではなく、判っている知見をすべて動員し、意思決定の材料を提供するものである。意思決定は常に討議のプロセスを経たもので、その中には、技術的な分析結果、決定論的、確率論的な分析の要素も含まれる。従来型の決定論的手法にも長所があるので、それも使いつつ、リスクベースのアプローチを併用する「リスク情報を活用した意思決定」が重要である。

(6) 米国における主要な成功例

米国の場合、1980年代まではPRA手法の積極的な活用に関して、規制機関と事業者の間に信頼関係はなかった。しかし、「保守規則」、「原子炉監視プロセス」、「リスク情報を活用した供用期間中検査」、「火災防護規則」に上手く活用されたことに拠り、意識が変わってきた。

(7) 結論

原子力発電の安全を考えるに際して、リスクと便益の評価を行い、残留リスクを容認できるかどうかを判断することが必要である。そして、原子炉の安全に関する意思決定は、利用可能なあらゆる情報に基づいて行われるべきである。PRAについては、多くの人々はPの部分に注目しているが、実際は事故シナリオこそが最も重要な情報をもたらしてくれる。

PRAを用いたリスク評価から得られる知見は、原子力発電の安全確保にとって何が重要かについて、規制機関と事業者双方に注意を喚起するための光明である。

2. パネルディスカッション 2「リスク情報活用の定着に向けて」 (敬称略)

山口モデレーターからパネリストに対して、4項目の着眼点、即ち「リスク管理の枠組みと組織」、「合理性が認められる法体系」、「リスクのコミュニケーションと社会の共感」、「リスク定量化のエビデンス」が示された。

次に、パネラー4名(更田、櫻井、唐木、長谷川)からショート・プレゼンテーションが行われ、引き続き討議に入った。山口モデレーターは、当初設定した議論の枠組みに拘泥することなく、パネリストと聴衆の反応を見て、多様な意見も取り込みながら、議論の枠組みを自在に広げ、躍動感あるパネル運営を行った。

モデレーター：山口 彰(東京大学 教授)

パネラー：

唐木 英明(食の安全・安心財団 理事長)

櫻井 敬子(学習院大学 教授)

長谷川聖治(読売新聞社 編集局次長)

更田 豊志(原子力規制委員会 委員)

松浦祥次郎(原子力安全推進協会 代表)

渡部 孝男(東北電力 取締役副社長)

主要な論点の中で、特に重要な発言を以下に記す。

(1) リスク情報を活用した安全向上の取組みについて

- 原子力事業者として工学的安全性のリスクアセスメントに関する研究を40年来継続してきたが、不確実性の部分が大きく、なかなか実践的なものとなり得なかった。
- 不安全情報、リスクを国民に伝え、各層の意見を踏まえて政策決定することが望ましいが、食品の世界でも狂牛病問題が発生した時など、上手くいかなかった。
- マイナス情報を出しながら、理解を得ることができれば理想的だが、実際に民主的社會の中で生身の人間を相手にする場合、容易ではない。特に原子力事故の場合、放射能災害は長期に亘り影響が残るため、国民、特に中間層の支持を得られるかが鍵となる。
- 安全性を巡る議論の前提として、工学的安全性(施設の安全性)と社会科学的安全性(人間が住む都市空間)の違いに留意すべきである。事業者の安全性と住民から見た安全性との差異を感受できることも不可欠である。
- 自然災害の分野では阪神・淡路大震災以降、リスク情報を活用した「減災」が常識になり、原子力分野の議論は周回遅れである。リスク情報を、施設を堅固にする観点ばかりでなく、避難対策や、立地規制や離隔距離など立法・行政措置の面で活用することも考えなくては、実益は乏しい。
- 国民とのリスクコミュニケーションの観点では、民主的正当化の手続きを確立することには手付かずで、相

変わらず技術基準の強化の話ばかりしている印象である。

- 立地地域の住民にとって PRA がどのような意味を持つのか理解しやすいように、旧規制基準と新規制基準のもとにおける3・11事故の評価を行い、得られた数字を解析していただきたい。
- リスク情報活用の重要性を忘れないように産業界側がつくった最大の“制度”は NRRC であると思う。今度は原子力規制委員会(NRA)側が、NRRC といかにコミュニケーションしていくかという課題を受け取らなければならない。NRRC には「リスク」を共通言語に NRA と透明性を持ってやり取りできる存在に育てて欲しい。

(2) 安全目標の設定について

- 安全目標は、リスク活用の意思決定の一番のベースとなるものだが、かつて原子力安全委員会で設定しようとした際には、事故時の人間の急性死亡や癌の発生による死亡確率などを指標としたため、受け入れられなかった。
- 安全目標を理解してもらうために、自動車事故やたばこの害など、他のリスクと比較するやり方がある。リスクの専門家は、最終的にそれが健康や命に対してどの位危害があるのかという指標を揃えてリスクの大きさを比較するが、一般人からの評判は余り良くない。
- 日本社会で安全目標あるいはリスクの比較が、大多数の中間層に納得してもらえないのは、自然災害が多い地理的な環境に起因すると思われる。近代文明を創造し、異なる環境におかれているヨーロッパであるから、難題に知恵と力で対抗し、安全目標をセットし、その道筋、コンセプトの中から、確率論的、あるいは決定論的な考え方が導き出され、安全に対する仕組みを創り上げてきた。これまで欧米で成功して日本では成功しなかった背景・要因にはそのようなこともあると見ている。
- 安全目標の「安全」の中身を吟味する必要がある。数値化は重要だが、世の中の事象は複雑で、そこに汲み尽くされないものを汲み上げる受け皿を制度の中に入れることが必要だ。原子力法制に足りないのはこの部分で、例えば原子炉等規制法が特定の領域に特化しているのは非常に問題である。
- リスク情報の活用が余り進まなかったのは、規制する側もされる側もリスク情報を使うメリット、強い動機がなかったからではないか。原子力規制委員会はシビアアクシデントから戦争行為を除くテロ行為に対する防護策まで規制の範囲となっており、安全目標やリスク情報に対する強いニーズを持っている。ただ、言葉や説明の至らなさ、未成熟さに、安全目標を社会に向けて説明できる段階に進めていない。

(3) インセンティブの導入に関して

- ・リスク情報の活用を安全文化の醸成や規制の要否に帰着させてしまうと課題は解決しない。法規制などの中で、PRAをインセンティブ・ストラクチャーの中にビルトインしていくことを考えないと、精神論で終わってしまう。
- ・何に対してインセンティブを考えるのかについては、例えば各事業者の安全意識や安全文化のレベルをきちんと見て、独自の工夫によって安全性が順調に向上していることが確認できれば、現在の設置変更許可や工事計画認可等の役割を大きく減じることができると思う。規制の役割が必要以上に大きく見える状態は健全ではない。

シンポジウムの後日、山口教授が、パネルディスカッション2の「主要な論点と提言」を纏められ、NRRCに提供して下さった。ご本人の了解を得て、その要旨を記す。

〔リスク活用への意思とリスク評価の不確かさ〕 自主的安全向上のためにリスクを活用する機運に、事業者も規制者も応えるべきである。PRAの不確かさや不確かさを了解しつつ、リスク活用することがより良い安全向上につながるとの信念をもつ必要がある。

〔社会に対する開放性〕 PRAはネガティブなリスク情報を正しく発信できる方法である。従って、リスク活用することによりネガティブ情報を正しく理解していただくことが実現される。不安全情報などが“独り歩き”をしないためには、繰り返し全体情報を発信すること、そのような取り組みの正当性を与える規制制度や法的枠組みが必要である。

〔安全向上のコミュニケーション〕 リスクコミュニケーションは、リスク情報のみではなく、リスクマネジメントの全体像についての双方向対話である。ネガティブな情報はポジティブな情報と合わせて伝えるべきである。PRAを使ってリスクと安全の全体像をコミュニケーションする方法が求められる。原子力のリスクには、事故リスクだけでなく、安価なエネルギーの安定供給への脅威というリスクもある。

〔安全目標〕 わが国で安全目標やリスク活用に取り組もうとしていたが実現できなかった事実を重く受けとめる必要がある。これは、関係者の心底に根強く潜むゼロリスクの幻想と無関係ではない。リスク活用の戦略と合わせて原子力分野での安全目標の策定に真摯に取り組む必要がある。

〔マスメディアの役割〕 リスク活用、安全目標、リスク・安全全体像のコミュニケーションを実現するためには、社会のリスク認知が大切である。不安全情報も発信する質の高いリスクコミュニケーションを行うためには、冷静かつ論理的なメディアの報道姿勢が求め

られる。国民の中でも特に中間層でコンセンサスが構築されておらず、中間層に納得してもらうことが大切である。メディアの責任と役割、報道の方法論等を検討すべきである。

〔制度上の仕組み〕 安全文化や自主性といった抽象度の高い概念で安全向上を目指すことは原子力関係者のもつべき意思であるが、同時にそれを支援する制度上の仕組みも必要である。あるリスクを許容するためにどのようなリスク管理を行うべきかも検討課題である。この点は、規制基準、リスク評価、ALARP (as low as reasonably practicable) の考え方、安全目標、自主的安全向上などの多くの問題と関係しており、リスク活用による安全向上の本質的な問題である。

〔インセンティブ構造の工夫〕 持続性のある安全向上、リスク活用の仕組みに繋がるためには、安全向上への取り組みに対するインセンティブを与える仕組みが必要である。

Ⅲ. シンポジウムの総括

アポストラキス所長よりシンポジウムの総括が行われた。以下に要旨を示す。

(1) リスクコミュニケーション

リスクコミュニケーションは、事業者や規制側が公衆に向かって語り掛けるだけでなく、自らの行為、振る舞いを通じて、信頼関係を築いていくということが大切である。また、透明でオープンであることも重要である。

(2) PRA手法の本質

誰のためのPRAか、という議論があった。PRAは元来プラントで何が起こり得るかを理解する技術者向けツールで、専門家間でやり取りをするためのものであることは認識しておく必要がある。

(3) PRAのメリット

米国では予想外の効果もあった。発電所にテレビ画面で常に最新の炉心損傷頻度を表示するようにしたら、職員が自分の作業に伴うリスクの増減がわかるようになって、安全に対する意識が高まった。

(4) 公衆に対する説得力

公衆に対する説得力という観点からは、技術者が語り掛けるよりも、小さい子供を持ち、原子力事故に対する感受力の高い母親が、伝達内容をよく考えながら、語り手となることが望ましい。

(5) インセンティブに対する見解

日本でも、事業者が素晴らしいPRAを行うようになれば、規制当局に対してリスクを使っての議論ができるようになるだろうが、福島事故からまだ時間が経っていないのと、PRAの質に改善の余地があることから、時期尚早である。

(6) 安全目標の考え方の本質

安全目標は満たすべき「基準」ではなく、一つの指針である。実際にその目標を目安として、さらなるリスク低減を図るかどうかの意思決定に活かすことによって、はじめて、安全目標を作った意味が出てくる。

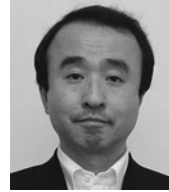
IV. シンポジウムを終えて

テーマの今日性と多様な分野の著名な有識者諸氏のご参画を得たことなどにより、高い関心を集めた。

NRRC は研究開発を通じてリスク情報の活用を持続的に推進する役割を担い、NRA との対話の場も検討し、原子力関係者のリスク文化を支えることが重要であると感じた。また、NRRC のミッションである「確率的リスク評価(PRA)」、 「リスク情報を活用した意思決定」、

「リスクコミュニケーションの最新手法の開発と利用」の重要性は、今回のパネルディスカッションの議論の中でも再確認され、今後 NRRC はミッションを具体化するための様々な活動を、関係者と連携しながら実践していく所存である。

著者紹介



佐藤清 (さとう・きよし)
電力中央研究所
原子力リスク研究センター
(専門分野/関心分野) 知的財産政策, 技術者倫理, コミュニケーション論

新刊紹介

アト秒科学

—1京分の1秒スケールの超高速現象を光で観測・制御する

大森賢治著, 200p.(2015. 8)

化学同人(定価 3,800 円+税) ISBN 978-4-759-81805-5

フェムト秒(フェムト: 10 のマイナス 15 乗)のパルス幅を持つレーザーは市販品として広く普及し、キースイッチを回せば安定に動作する時代であるが、最先端の超高速分野ではさらにアト秒(アト: 10 のマイナス 18 乗)のパルス幅が実現し、電子ダイナミクスの実時間観測が可能となりつつある。本書は、超高速科学の極限と言えるアト秒領域の科学について、基礎理論から最近の研究成果までバランスよく構成されており、大学院生や専門外の研究者からこれからアト秒科学に参入しようという研究者まで幅広い読者に有益な内容を提供してくれている。各章、その内容の最先端を行く方々によって執筆されており一読に値する。

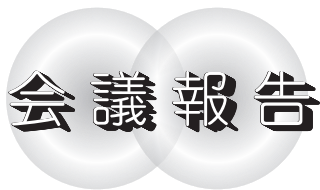
第1章ではアト秒パルス発生原理について解説されている。レーザー電場によるトンネルイオン化・加速、再衝突の半古典的な3段階モデルは直観的であり、対応する量子論も確立している。第2章は、レーザー電場がクーロンポテンシャルを歪めることによって起こるトンネルイオン化の理論的な詳細が記載されている。第3章からは実験研究になり、第3章は、アト秒パルス発生に利用されているフェムト秒

レーザーの開発とそれらの高次高調波発生によるアト秒パルス発生手法について網羅している。第4章では、発生したアト秒パルスの波形計測法とアト秒パルスや高次高調波を利用した超高速分光への展開について紹介されている。第5章では、アト秒パルスから離れ、可視・紫外領域のレーザーパルスをアト秒の精度で制御した実験に関するものである。以前の超高速分光はパルス幅が計測の時間分解能を決めているが、光の中の波の形(位相)まで把握した実験を行うと光の周期である数フェムト秒よりもはるかに短い時間スケールの現象を見ることが可能になる。実際、第4章で紹介されている可視光領域のレーザーパルス電場をプローブとしたストリーク分光でも、光の位相のずれを観測することで光パルスの幅よりもはるかに高い時間分解能が得られている。

アト秒科学は単にパルスの幅が短くなっただけではない。光位相の精密制御によって、物質の量子的な観測が新たな段階に入ったことが本書から伝わってくる。

(日本原子力研究開発機構・板倉隆二)





第 16 回原子炉熱流動国際会議 (NURETH-16) 報告

16th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics

2015 年 8 月 30 日～9 月 4 日 (Chicago, Illinois, USA)

2015 年 8 月 30 日～9 月 4 日に米国シカゴにて 16th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16) が開催された。主催は米国原子力学会熱流動部門である。第 1 回が 1980 年に米国サトガスプリングスで開催され、今回が 16 回目の開催である。第 10 回以降は隔年、奇数の年に開催されている。同部門主催の会議は他に NUTHOS (International Topical Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics, Operation and Safety) があり、偶数年に開催されている。両会議は原子炉熱流動研究を対象とした最大規模且つ権威ある国際会議であると紹介された。なお、NUTHOS 会議では原子炉熱水力以外にも運転と安全を対象に含めている。

口頭発表 621 件と 56 件のポスター、合わせて 677 件の発表が行われた。プレナリーは 3 件、キーノートは 12 件であった。一論文当たり 2.5 人が査読したことが報告された。今回、著者の 2/3 が若手研究者であることが強調された。会議での発表者と出席者は増加しているが、日本からは大学と産業界共に出席者は少なかった。

会議の冒頭で同年 6 月 30 日に他界された米国マサチューセッツ工科大学の Mujid Kazimi 教授の追悼の辞が述べられた。引き続き 40 年間の原子炉工学研究と題した特別セッションが行われ、同教授のこれまでの業績が思い出と共に紹介された。

Track 1 Fundamental Thermal-Hydraulics では沸騰・凝縮伝熱や実験計測・可視化技術、流動励起振動、自然循環などの現象論、並びに界面積濃度輸送やサブチャンネル流体のモデル化などが議論された。

Track 2 Computational Thermal-Hydraulics では、不確かさ解析や数値流体力学計算の一般論、並びに炉心や格納容器等を対象とした数値計算が紹介された。

Track 3 Validation & verification (V&V) では、数値解析結果と実験結果の比較のみならず、V&V として要求される指標が議論された。既に多くの実験データや相関式が報告されている研究対象であっても、V&V の観点からは境界条件が精度良く設定されること、乱流諸量が計測されていることなど質の高い実験が望まれることが強調された。キーノートセッションの発表では、V&V に必要な実験の要求レベルが整理されて報告された。質疑応答では実験に対する厳しすぎる要件であることや、不確かさ以上に高い質を望むことはできないなど、現実的な議論が交わされた。これらの議論を反映した V&V

に必要な要件が提案されることが望まれる。

Track 4 では既存炉の運転と安全性について、不安定現象や過渡・事故事象を対象とした解析が紹介された。また最適評価と不確かさの定量化や適用事例が報告された。

Track 5 は過酷事故に関して、蒸気爆発や水素燃焼、放射性物質の移行挙動が報告された。また過酷事故のモデル化や模擬試験などが紹介された。報告者の発表と同じ時間であったため聴講できなかったが、FAI 社 Robert E. Henry 氏が RORAX-1 や SPERT-1, SL-1 事故に関する新たな考察を講演するなど、著名な研究者が新たな解釈を加えた講演が多く見られ、議論が活発であった。

Track 6 では新型炉の熱流動として、高温ガス炉や、ナトリウム、鉛、鉛ビスマス冷却高速炉、超臨界圧炉、小型モジュール炉などの報告があった。

Track 7 は Special Topics として、国際ベンチマーク等プロジェクト研究での成果や進捗等が報告された。福島第一原子力発電所の OECD/NEA ベンチマーク問題は 3 セッション共に関心が高く、活発な議論が行われた。また事故で得られた教訓について個別にセッションが設けられ議論された。その他には PWR サンプスクリーン閉塞や革新的軽水炉シミュレーション CASL などのプロジェクトの成果が報告された。

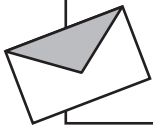
バンケットはシカゴ美術館を貸し切って開催された。モネやゴッホ、ルノアールなど印象派絵画を楽しみ、その後に着席して盛大なパーティが開かれた。特に印象的であった表彰式では、トラック毎に選出された優秀論文表彰計 7 件、若手講演賞 2 件に続き、本会議の論文査読に対して顕著に貢献した査読者 4 名に賞が贈呈された。本会議の権威をさらに高めるために、あらゆる配慮がなされていることに感銘した。

最終日にはアルゴンヌ国立研究所の見学ツアーが催行された。同研究所が誇る計測技術を備えた自然対流除熱試験設備や MAX 流体力学設備、Advanced Photon Source を訪問した。昼食時の基調講演において、原子炉の開発がアルゴンヌ国立研究所の歴史となっていること、高速炉が今後も重要な役割を果たすことについて説明を受け、深く共感した。

次回は 2 年後の 2017 年に中国西安で開催される予定である。

(電力中央研究所 古谷正裕, 平成 27 年 10 月 30 日 記)

理事会だより



学会組織運営と会員サービス

複数の学会の運営に携わるようになるとそれぞれの学会の特徴がよく見えてくる。それぞれの学会が関係する学問領域の個別の事情や経済的な問題も異なっているので一概に比較することは難しいが、原子力学会が他の学会と比較してどのような特徴を持っているかを認識することは重要なのではないかと思う。私は今年度会員サービスを担当する理事を拝命しているので、その観点から原子力学会の特徴を考えてみたい。

最初に学会の規模的には原子力学会は中規模の学会という位置付けになる。この規模は会員管理システム更新を検討している現在、一番問題になっている点である。1000～2000人程度の規模の学会であれば商用のデータベースを使えば管理は可能であり、2万人以上の規模であれば独自にシステム開発を行うだけの財政力を持つことができる。その狭間に位置する当学会はどちらにしても中途半端な状態になってしまう。現在は、汎用の会員管理システムをカスタマイズするという方向でシステム更新を行う方針で検討を進めている。

アカデミアと産業界のバランスという点においては、原子力学会はかなり特殊な部類に属する学会であろう。ご存じのように当学会は大学・産業界・JAEAがほぼ全体を三分する構成となっている。この会員の構成に関しては、会員の学会活動へのコミットメントの形態に大きな影響を及ぼす。それぞれの会員はステークホルダーとして学会に対して異なる観点からの利害関係を持っており、学会へのコミットメントの動機は異なっている。学会発表や論文投稿を行うためというのも一つの動機であり、研究を行うに当たっての連携の基盤として学会を活用するという動機もあろう。昨年度会員サービス委員会で学会員に対して行ったアンケートでは、「原子力の情報を収集するため」、「論文発表に必要だから」、「研究開発に役立つから」が原子力学会員である意義は何ですかという質問に対する上位の回答となっている。基本的には学会へのコミットメントはボランティアなものであるということが原則であるが、産業界から見たときに実際的なメリットがなければ学会活動にコミットする理由がないことも事実であろう。

これに関連して私は以前より「会員サービス」という言葉に違和感を持っている。会員は「会費」を支払っているのだからそれ相応の「サービス」を受けることは権利と考える。しかし、それでは「理事会+事務局」がサービスを提供する主体であり、会員はそれを受けるだけというこ

とになる。事務局職員は有給であり会員に対して適切な態度でサービスを提供する義務があることは自明である。しかし、ボランティアな会員で構成されている理事会等の運営主体だけがサービス提供の主体であるという認識は改める必要があるのではないだろうか。理事は会員の中から選ばれて責任ある立場についているわけであり、要求されたミッションを果たすことが求められることは当然である。しかし、全ての会員も学会員であるという自覚のもと、自分が学会に対して何をできるかということに常に考えていかなければ、学会活動は成り立たない。もちろん学会への貢献にはいろいろなレベルがある。研究領域が細分化している現在、多くの会員にとって部会レベルでの活動が直接的な学会へのコミットメントの対象になる。これに加えて支部活動も直接的な対象になっているであろう。理想論になってしまうが、それぞれの会員がそれぞれのレベルで学会に対してどのような貢献ができるかということに真剣に考える必要があると思う。今後、直面する会員数の減少に対しては、このような学会員の主体的なコミットメントがなければ対処は難しいのではないだろうか。

偉そうなことを書いたが、かく言う私も東北支部から指名され今の立場になって、訳も分からず学会活動に巻き込まれたというのが事実である。使命感を持って活動されている先輩方を見ると本当に頭が下がる。会員サービスの向上をミッションとして与えられているのだから、その努力は続けていく所存である。今なすべきことはより多くの会員の方の意見を吸い上げて、それを学会運営に反映させていくことなのではないかと考えている。今後アンケート等によって会員各位の意見を吸い上げるよう努力するが、同時に会員の皆様にも積極的なコミットメントをお願いしたい。

(東北大学 高橋 信)

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