

巻頭言

- 1 長期的な視点に立ち、真正面からは々々非々の議論を 津田大介

特集 秋の学会 廃炉検討委セッションから

- 7 福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策の状況について

中長期ロードマップに沿って、国内外の叢智を結集した福島第一原子力発電所の廃止措置が進展している。平井裕秀

- 10 福島第一原子力発電所の現状と課題

福島第一ではタンクに貯留していた高濃度汚染水処理を終了。陸側遮水壁の試験凍結を開始し、サブドレンが稼働を始めた。今後は使用済燃料や燃料デブリの取り出しが本格化する。増田尚宏

- 13 福島第一原子力発電所廃炉の技術戦略とリスク低減

NDF が策定した廃炉のための技術戦略プランでは「放射性物質によるリスクを継続的、かつ速やかに下げる」ことを基本方針としている。福田俊彦

- 16 IRID の研究開発の概要

IRID の研究開発は大きく分けると、使用済み燃料プールの燃料取り出し、燃料デブリ取り出し準備発、放射性廃棄物の処理・処分の3分野からなる。菅沼希一

時論

- 2 福島第一原発事故の作業員が白血病で労災認定—海外専門家への説明 長瀧重信

- 4 正しい情報による風評被害の払拭と福島浜通りの創生 西本由美子

解説

- 42 世界の原子力発電利用・開発動向—エネルギー安全保障と原子力

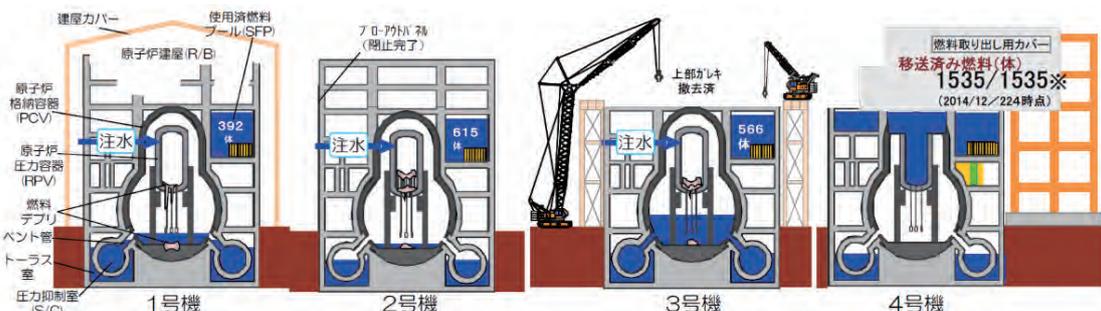
原子力開発利用の要因となるのは、各国のエネルギー安全保障やエネルギー利用状況、それに経済合理性や環境適合性といった「3E」であり、安全性ではない。村上朋子

- 19 放射性廃棄物の処理処分

事故で発生した廃棄物は炉心燃料や海水の成分が混入しているだけでなく、大量で汚染のレベルが多岐にわたっている。このため、それに適応した処理処分方法の研究開発を実施している。宮本泰明

- 22 燃料デブリの性状把握

炉内にある燃料デブリは燃料要素や構造材等のさまざまな成分が複雑に熔融混合している。これを取り出すためには、その特性を把握する必要がある。鷲谷忠博



福島第一原子力発電所の現状(原子炉や建屋の状況, 2015年8月現在)

特集 今後のエネルギー利用の長期視点 (1)

24 資源確保及び自然環境・社会環境との調和

原子力の大局観を認識した上で、原子力システムの今後の姿について俯瞰する。 藤家洋一

27 軽水炉プルトニウムリサイクルの見通し

エネルギー自給率、温暖化抑制、電力コストの観点から原子力は欠かせず、その長期利用には核燃料サイクルが必須である。原子力比率20%においても、その意義は変わらない。 田中治邦

30 プルトニウム利用の進展 —高速炉における利用と国際協力

核燃料サイクルの推進を図る上で、ナトリウム冷却高速炉は重要な役割を担っている。ウラン資源の有効利用とエネルギーセキュリティーへの貢献、高レベル放射性廃棄物低減を可能にする。 上出英樹

33 持続可能な原子力を求めて —福島に統合型高速炉を

福島に統合型高速炉IFRと乾式再処理施設を建設し、デブリ処理をすることを提案する。 田中伸男

解説シリーズ 転機を迎えるエネルギー市場 (2)

47 日本のエネルギー需給の現状と展望

今後の日本のエネルギー消費は長期的に減少するものの、温室効果ガス排出量を2013年度比で26%削減するためには、石油危機以降に匹敵する脱炭素化や省エネが必要となる。 小宮山涼一

会議報告

59 ウィリアム・マグウッド OECD/NEA 事務局長講演会の報告

楠見紘司, 古川冬馬

60 核燃料国際会議 Top Fuel 2015

太田宏一

36 NEWS

- 規制委、「もんじゅ」保守管理不備で勧告
- 原電、敦賀2号機の適合性審査を申請
- 海外ニュース

報告

53 原子力・放射線利用に関する安全強化 —人間・組織・制度的視点から

原子力・放射線利用に関する安全を強化するためには設備・システム等のハードウェア面とともに、人間・組織・制度的視点からの安全対策・強化が重要である。OECD/NEAにおける取り組みについて解説する。

下村和生

56 AESJ-CTF の学生・若手活性化活動 フォーラム21「イオンビームの物理と応用」と共催

日本原子力学会の若手・学生の活性化と充実に貢献すべく立ち上げた活動の近況を報告する。

上坂 充, 他

ジャーナリストの視点

58 がれき受け入れ自治体のいま

鈴木誠之

理事会だより

61 編集委員会担当から

岡嶋成晃

9 From Editors

- 62 会報 原子力関係会議案内、新入会一覧、フェロー候補推薦募集、基金寄付者芳名一覧、英文論文誌 (Vol.53, No.1) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

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

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

長期的な視点に立ち、真正面から是々非々の議論を

巻頭言



ジャーナリスト/「ポリタス」編集長

津田 大介 (つだ・だいすけ)

1973年生まれ。早稲田大学社会科学部卒。京都造形芸術大学客員教授。ソーシャルメディアを利用した新しいジャーナリズムをさまざまな形で実践。主な著書に『ウェブで政治を動かす!』(朝日新書)、『動員の革命』(中公新書ラクレ)など。

福島第一原発事故からまもなく5年が経過する。未曾有の過酷事故を経て、原発やエネルギーをめぐる環境や政策は大きく変わることとなった。しかし、この国における原発議論は目下、再稼働の是非が中心であり、エネルギー政策においてどう原発を位置づけるべきかという根本的な部分については未だ定まっておらず、議論も停滞している状況だ。原発を続けるにせよ、脱原発するにせよ、事はそう単純には進まない。再稼働の可否や安全対策も重要だが、それ以上にいま求められているのは、長期的・俯瞰的な視点に立った議論であろう。

その先鞭をつけるべく、2015年5月から6月にかけて筆者が編集長を務めるオンライン政治メディア『ポリタス』で「原発“新設”の是非を問う」という特集を公開した(<http://politaz.jp/features/6>)。原発の「40年運転制限」を厳格に適用した場合、増設・リプレースを含む新設を行わなければ原発はいずれゼロになる。同特集は数年後に議論が本格化するであろう「原発の新設は必要なのか」という論点を先取りし、新設賛成派から反対派まで総勢16名による論考を掲載。広く読者にエネルギー問題を考える材料を提供することを目指した。

特集公開後、著しく反響が大きかったのは、インフォグラフィックを利用した記事「あなたは原発の寿命を知っていますか?」だ。最初に、読者が自身の生年月日を入力することで、時間軸に沿って自分と原発の寿命を比較しながら体感することができ、原発問題を抽象的な事柄ではなく、「自分事」として捉えてもらえるようにした。

一般的に、エネルギー政策は「3E」と呼ばれる経済性、環境性、エネルギー安全保障の3つの観点を踏まえて策定される。原発の経済性が高いのか低いのかは、推進派と反対派がそれぞれ計算方法を変えるため、意見が真っ二つに分かれている。しかし、「原発を新設する」という観点に立つと話は変わる。経済産業省の原子力小委員会では2016年4月に始まる電力小売り完全自由化を受け、差額決済制度(CfD)を始めとする原発補助策について話し合われた。CfDは新設の原発に対する価格保証制度で、既にイギリスで導入が進められている。原発新設が必要だと主張する国際環境経済研究所の澤昭裕所長もこのような原発補助策の導入を求めている。原発を新設する経済性は著しく低いという点で推進派・反対派双方の意見は一致しているのだ。

ほかの観点はどうか。原発はCO₂を出さないため地球温暖化対策として有効である。だが、電力取引監視等委員会の八田達夫委員長によれば、原発補助策より炭素税率の引き上げや途上国への技術援助のほうが費用対効果に優れているという。八田委員長はその上で、エネルギー安全保障の観点から燃料備蓄の増強や輸入元の多様化などの対策が済むまで、最低限の原発利用が認められるという見方を示した。このあたりは今後再生可能エネルギーがどれだけ普及するかによっても変わってくるだろう。

原発再稼働や新設の議論とは別に考えなければならないのが、放射性廃棄物の問題だ。再稼働を進めた場合、早い原発では数年で使用済み燃料プールが満杯になる。原発を使い続けるのなら、最終処分場と核燃料サイクルについても結論を下さなければならない。

国は最終処分場の選定について関わりを強化する方針を示しているが、見通しは暗い。たとえ候補地が決まっても国が立地地域から信頼を得ることができなければ現実問題として難しいだろう。

原子力小委員会は、原子力資料情報室の伴英幸委員が指摘するように議事の動画が非公開になった。強引な再稼働や不透明な議論の進め方は、原発事故でこの国が失った信頼をさらに低下させる。二項対立に終止し、硬直化した原発の議論を活性化するには、原発推進派・反対派双方が長期的な視点に立ち、真正面から是々非々で議論することしかない。

(2015年11月5日記)



福島第一原発事故の作業員が白血病で労災認定 ：海外専門家への説明



長瀧 重信 (ながたき・しげのぶ)

長崎大学名誉教授，放射線影響研究所理事
長

東京大学医学部卒。長崎大学医学部長，放射
線影響研究所理事，放射線影響協会理事長
などを歴任。国際放射線医療協会名誉会長。

はじめに

先月の10月20日に厚生労働省は，東京電力福島第一原発事故後の作業員に係る放射線被ばくによる初の白血病の労災認定について発表しました。この発表に関連して，私の周辺ではいくつかの動きがあり，その対応の中で私の見解の一端を披露したいと思います。

取材の電話(10月20日)

国際甲状腺学会で“Radiation and the Thyroid : from Hiroshima/Nagasaki, Chernobyl to Fukushima”というタイトルの招待講演のため米国のホテルに滞在中に，日本のテレビ局から，「19.8mSv(うち福島第一原発では15.7mSv)被ばくの原因事故の作業員が白血病で初めて労災認定となった。ご意見を聞きたい」という電話がありました。私は労災が専門というわけではないし，熟慮する時間もないと断ったうえで取材に応じました。その意見はのちに放送されました。

テレビ，新聞の記事(10月20-21日)

厚生労働省の発表を多くの報道機関が取り上げ，各社の立場，主張にしたがって，年間5mSv以上被ばくすれば白血病を発症するというのではないという解説から，「不安なお」，「線量管理は現場任せ」，「高線量の被ばくを伴う作業が続き，壁が厚い補償認定の見直しが必要」など，5mSvという基準を考慮もしない解説もありました。

日本原子力学会から時論の寄稿依頼(10月23日)

日本原子力学会から，福島第一原発で過去に作業した方の労災認定について時論にご解説いただけないでしょうかとお誘いを受けました。

海外からの問い合わせ(10月26日)

UNSCEAR(原子放射線の影響に関する国連科学委員会)の福島報告書の責任者であった方から，かなり詳細

な質問がありました。その内容は，以下のとおりです。

ウィーンでのIAEAのConferenceに出席中の火曜日にNHKのPress Release「日本政府は福島第一原発の作業に関連した癌の診断を初めて認定したと厚労省が発表した」との報道があった。しかし，このPress Releaseは政府の決定の根拠が明確ではないと受け止められたので，会議の出席者が困惑している(この決定の根拠の部分に質問1とします)。また，「A practical guide / edited by Shengli Niu, Pascal Deboodt, Hajo Zeeb; jointly prepared by the IAEA, ILO and WHO. Geneva, ILO, 2010 (Occupational Safety and Health Series, No. 73). http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_120131.pdf というIAEA, ILO, WHO共著のガイドラインを引用して，そのpage 37ffに原爆被爆者の補償のプログラムが出ているが，労災の認定は原爆とも大きく違っている」とも書いてありました(原爆との違いを質問2とします)。さらにこの原爆被爆者の補償に関しては，男性のColon Cancerを例として，被ばく線量と被ばく時年齢からProbability of Causation(原因確率，%)を計算した表が添付してありました。

その上で質問は「日本政府のこの決定はどのような論理的根拠(rationale)に基づくのか，今回の補償に関する現存のschemeに関する公式の情報を知らせてほしい」(rationaleに関しての情報を質問3とします)というメールでした。

質問に答える基本的な態度及び時論との関係

このような大変な質問に何故私が答えなければならぬのかと迷いました。しかしながら，正しい情報を海外に発信することは，我々専門家としての大切な義務であると主張してきましたので，「この返答は決して政府の回答ではない，私個人が専門家として調べた結果であることを理解して頂きたい，ただし回答を作成するために厚生労働省の担当の方に大変お世話になりました」と前書き

に書いた上で回答しました。

この段階で原子力学会の編集部と相談し、依頼された時論を書く際には、日本の歴史的な背景を説明し、作成当時のポリシーを紹介することしかできないとお話したところ、その方針で了解が得られたので、海外からの質問に対する返答をお伝えするという寄稿をここに書いていくところです。

海外からの問い合わせに対する返答

前述の質問の順番に沿って返答しました。

解答1：政府決定の根拠になる事実(Facts)について。

1976年に作成された労災認定で、その中の放射線被ばくと白血病の考え方について説明しました。

(1) がんに対する約100mSv以下の低線量の被ばくの影響は他の要因にかくれてしまうほど小さく、健康リスクの明らかな増加を証明することは難しいと国際的に認識されている。また、白血病の発症には様々な要因が関係することから、業務と疾病の間の因果関係を個々の労働者ごとに認定するのは容易ではない。このため、放射線被ばくによる白血病の労災認定については、労災制度の趣旨に鑑み、労働者への補償の観点から、労災の認定基準を定め、これに合致すれば、医学検討会の協議を経たうえで、業務以外の要因が明らかでない限り、労災として認定することとしている。認定基準は、

①相当量(5mSv×従事年数)の電離放射線に被ばく
②被ばく開始後少なくとも1年を超える期間を経た後に発病

(2) 白血病の労災認定基準は、年間5mSv以上の放射線被ばくをすれば発症するという境界を表すものではなく、労災認定されたことをもって、科学的に被ばくと健康影響の因果関係が証明されたものではない。

(3) 電離放射線障害によりがんを発症したとして労災請求が行われた場合、厚生労働省において、医学専門家による「電離放射線障害の業務上外に関する検討会」(非公開)が開催される。その検討会で今回の労災認定が業務上と認められた。事案の労働者は30歳代の男性

①平成23年11月～平成25年12月の間で1年6か月放射線業務に従事 東電福島第一原発での作業は平成24年10月～平成25年12月までのうち、1年1か月間

②従事した作業の概要は、原子炉建屋の覆い設置工事や廃棄物焼却設備の設置工事

※作業時には防護服・鉛ベスト・全面マスク等を着用

(4) 原発労働者に係る放射線被ばくによる「がん」の労災認定は、これまで計13人。(白血病6人、悪性リンパ腫5人、多発性骨髄腫2人)

ここで注意すべきは、この労災認定は1976年に作成されていることです。当時のICRPの勧告は公衆の被ばくの線量限度が5mSv/年、職業被ばくの最大許容線量が50mSv/年の時代で、このICRPの値を参考にしたと伺いました。

解答2：原爆被爆者と労災の違いについて。

原爆症の認定が紹介されているIAEA, ILO, WHOによるA practical guideは2010年に発表されているが、原爆の援護法はその後に改定され、癌の補償に必要な被ばく線量は、爆心地から3.5km以内の被ばく線量(1mSv)に改定された。原爆被爆者の補償と労災による補償は其々の設定された時代の科学と補償の考え方で異なっている。

解答3：日本政府決定のrationale, 理論的根拠。

まず労災は法律であり、労働者災害補償保険法(Industrial Accident Compensation Insurance Act, Ministry of Labour)で、認定基準は法令ではなく労働基準局長通達(Criteria for Recognition", Notification by Director General of Labour Standards Bureau)である。前述の放射線被ばくと白血病の考え方もこの中に書かれている。

この返答にたいして感謝の言葉と共に、この返答をIAEAの福島委員会にも報告したいとの連絡を頂きました。さらに、英国の専門家からも日本の決定に見解を求めたいと連絡がありました。

終りに

外国の専門家からの質問に答えるという形で、日本の専門家の読者の方に、労災の歴史的な背景を説明し、作成当時のポリシーを紹介しました。認定基準の労働基準局長通達が1976年(昭和51年)だったことから、当時のICRPの勧告は線量制限大系(Pub26)以前の状態だったことを考慮する必要があります。一方原爆の補償は福島原発事故後に改定されています。

世界の補償の考え方は、上記Practical Guideに示されていますが、補償の考え方が科学の進歩、防護の考え方、その他様々な社会的な事情により、時代とともに大きく変化していることを実感しました。

(2015年11月9日記)



正しい情報による風評被害の払拭と福島浜通りの創生



西本 由美子 (にしもと・ゆみこ)

特定非営利活動法人 ハッピーロード
ネット理事長

福島県総合計画審議会委員

相双地域活性化ビジョン推進委員会委員

すまいるふたば観光交流大使

中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送に係る委員・廃炉・汚染水対策福島評議会委員

はじめに

今もなお人々の記憶に残る東日本大震災。尊い生命が失われた震災の発生から4年半が過ぎました。今でも、あの時受けた心の傷をいまだに癒せずにいる人も多いことでしょう。特に、福島浜通りにおいては原子力発電所の事故により多くの方々が避難生活を余儀なくされており、今なお大変な苦勞をされていることと思います。

当NPO法人ハッピーロードネットは、まち・みち・地域づくりに関するコーディネート、人的ネットワークづくり、人材育成等の各種事業を行い、楽しく住みやすい地域社会の実現に向けて活動しています。

ふくしま浜街道・桜プロジェクト

震災後、私たちは希望をなくしつつある福島浜通りの住民に元気と希望を与えるべく、『ふくしま浜街道・桜プロジェクト』を立ち上げました。国道6号のいわき市から新地町までの総延長163kmとその沿線の区市町村道に桜の苗木を植樹し、未来の子供たちのため、再び戻ってきた子供たちが自分の故郷はここだと胸を張れるような桜並木を作り、震災を後世に語り継ぎたいと考えたものです。

また、福島浜通りの未来を担う子供たちが、住民の一人として主体的にこのプロジェクトに関わっていきける環境をつくり、「愛するふるさとの復興」を作り上げていく礎となるよう、復興のシンボルとして二万本の桜並木を目指して活動を進めています。

植樹費用や維持管理(除草・施肥・防除等)にあたっては、全国を対象としたオーナーやボランティアを募集しており、誰でも桜1本分の「オーナー」になればメッセージと名前が書かれたプレートが掲げられます。全国の皆さんと被災地域との交流を活発化することにより、福島浜通りの復興や活性化に寄与するものであり、全国の大勢の方々からご支援を頂いて活動を継続しているところです。

社会貢献活動として植林事業や里山の保護などに力を

入れている自然化粧品の製造・販売を行なっている会社では、社員のみなさんが福島を訪れ桜の苗木の植樹を実施したところ、同社の製品を愛用しているお客さんの多くの方々も植樹活動に参加して下さいました。

また、スウェーデンの原子力関係で仕事をしている皆さんが視察に見え、桜のオーナーになって頂きました。メッセージも記入して下さい「来年も植樹した桜を見に来ます」と約束して帰られました。このように海外まで大きな広がりを見せているところです。

地域ボランティア活動の復活

去る10月10日に、「みんなでやっぺ!!きれいな6国」ゴミ拾いボランティア活動を復活しました。震災以前から、「ゴミを捨てないまちづくり・人づくり」を目指して、毎年2千人規模で、子供達の自主的な参加により清掃ボランティア活動を行っていましたが、震災により休止していました。子供達からの「またやろうよ」という声をうけて、5年ぶりの活動再開となりました。

福島県いわき市から新地町まで国道6号の8区間約50kmを清掃しました。今回集まったボランティアは、約1400人。そのうち約200人が高校生たちです。浪江町や富岡町の比較的線量の高い地区は、大人たちの担当エリアです。前もって放射線量を計って安全性は確認済みです。今回掃除活動した国道6号の区間は、子どもたちの通学路となっている箇所です。

震災発生以降、全国の大勢のボランティアの方からの献身的なサポートをいただき、温かいご支援をいただいています。一方で、一部の人たちから「子供たちにこんなことをさせて」と組織的に抗議もありました。福島は放射線量が高いというイメージがありますが、線量計を見ると東京などとあまり変わらないと思います。比較的線量の高い地域も一部あるけれども、すべてひっくり返して福島は放射線量が高いと決めつけられ、これが風評被害に繋がっています。

福島で生活して、福島物を食べている私たちは人生

が終わっている。と言われているみたいで悲しいことです。ごみ拾いの時だけでなく、この地域に暮らす私たちの生活は復活しているのです。「抗議する人たちには、どうしたら私たちの暮らしが良くなるのか、一緒に考えてほしい」「不確かな情報に惑わされずに、地域の実情を見て良くなるための意見を述べてほしい」と思います。

正しい情報提供と風評被害の払拭

2013年9月に、駐日ウクライナ大使館の支援を得て視察した、放射能問題を克服してまちを復興したチェルノブイリのことを思い出しました。

福島原発事故の規模は、チェルノブイリの事故と比較すると数千分の1程度で、被害は限られた地域ですが、チェルノブイリと同様に、健康被害を受けるのは、原発から離れたところであり、その原因は放射性物質よりも、社会的な影響の方が大きいとのことでした。

放射能と放射線の知識が乏しいために、作り話や噂がさらに過剰な反応を生み、精神的なストレスが健康被害を生んでいく。日本でも、汚染レベルが比較的低くても過剰な反応が現れると、政府も過剰な反応を示し、さらに過剰な反応を生む「負の連鎖」が生じました。

チェルノブイリでの長期にわたる研究によりますと、「一番の被害は放射線自体よりも誤った情報による被害だ」との報告が出されているようです。専門的な見聞からの正確な情報が伝わる前に、メディアから個人まで広範囲に誤った知識が広まってしまった。また、問題をより深刻に捉えて、被災者を精神的に追い詰めていることが一番の悲劇だということです。さらにそれが、マスメディアによる情報被害に繋がっていきます。

正しい情報の周知によって情報除染(心の除染)を効果的に行ったうえで、地域住民、さらには国民の意識・認識を変えていくことが、復興のための重要な要素であり、私たちは放射線に対する正しい知識を持たなければなりません。これまでの日本の放射線に対する情報は、偏見に満ちているように感じます。放射線に対する正しい情報提供や教育を充実するなど、正しい知識を持って行動することが大切です。

子どもたちが家族とともに幸せに暮らせる「福島浜通りの再生」にあたっては、原発事故による風評被害対策は最も重要な課題であり、国、県、さらにはこの地域に

暮らすみんなが一緒になって情報発信し、交流を進め、風評被害の払拭に向けて取り組んでいくことがとても大事なことだと感じています。

地域住民と原発に従事する方々との「共生」

地震・津波による被災地の復興は進み、平成27年3月1日には福島浜通りを縦貫する常磐自動車道が全線開通しました。JR常磐線も除染作業が開始され再開通に向けて作業が進められています。また、被災各地の集団移転団地の整備や災害公営住宅も建設が進められており、川内村や楡葉町などの帰還も始まりました。今後、原発避難地域のまちづくりが加速化されようとしています。原発がいい悪いは別にして、被災した町は復興していかなければなりません。

廃炉作業や除染のため、原発や除染関連事業者が増加しています。住民からは「子どもたちを外で遊ばせられない」との声も上がる。原発作業員は、緊迫した作業を強いられ、ストレス解消もままならない。復興のために廃炉作業を進めているのに、悪いイメージだけが取り上げられています。町は防犯パトロール体制を組み、住民の不安解消に乗り出しました。「作業員には、ごみ出しなど地域のルールを順守してもらう」と受け入れに理解を求めています。

原発の処理は誰がやっているのでしょうか、「地方の小さな問題」なのでしょうか、もちろん原発の収束・廃炉は、専門的知識や経験がなければできませんが、全国各地から作業に従事する方々が来ております。福島県民が中心的に処理作業に従事していると聞きます。今年も多くの高校生が原発関連産業に就職しているようです。原発で働く方々を守る。それは将来の原発で働く子供達を守ることに繋がります。放射能汚染の問題で「子供を守る」と叫ぶ人がいても、福島原発で働くことになるかも知れない「子供達の将来を守る」という話は誰も言いません。子や孫の世代に立派に渡せる。そういう地域に再生していく必要があります。

福島浜通りの復興を進めるうえで、廃炉には30年以上かかるとされるため、電力関連企業、行政、地域住民が一緒になって、住民と原発作業員との「共生」を目指した「まちづくり」を考えていかなければなりません。

(2015年11月1日記)

福島第一原子力発電所の中長期戦略と研究開発 —原子力学会秋の大会セッションから



福島第一原子力発電所の廃炉においては、政府や東電、原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）をはじめとして、世界の英知を集めた取り組みが進展している。一方、原子力学会は2014年に「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」（廃炉委）を設置。現在、4つの分科会を設けて、これらの取り組みが安全かつ円滑に進められ、地元の復興に結びつくよう、課題の抽出と対応策などを検討している。これらの取り組みに関わる最新の研究成果を共有し、それにもとづく議論を深めるために2015年秋の年会で、終日にわたるセッションを開催した。ここではこのセッションでの報告を中心に、1Fの廃炉における技術開発と適用の取り組みのあらましを紹介する。

（写真は東電HPより）

秋の学会 廃炉検討委セッションから 福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策の状況について

経済産業省 平井 裕秀

東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故から5年目に入り、平成27年6月には「東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(中長期ロードマップ)について3回目の改訂を行った。今回の改訂は、リスク低減を重視した考え方を取り入れ、目標工程(マイルストーン)を明確化した。これらマイルストーンを念頭に、汚染水・燃料取り出し・燃料デブリ取り出し等の対策を進めるべく様々な取り組みを行っている。これらは世界に前例のない困難な事業であることから、国内外の叡智を結集し、互いに連携して取り組めるよう、研究環境等の整備を進めている。

KEYWORDS : *Mid-and-Long-Term Roadmap , decommissioning, fuel debris, debris retrieval*

I. 中長期ロードマップについて

東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故から5年目に入り、平成27年6月には中長期ロードマップの3回目の改訂を行った。

今回の改訂は、廃炉技術戦略の司令塔機能を担うべく、平成26年8月に改組された原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)が策定した「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015」(戦略プラン2015)を踏まえたものである。この中長期ロードマップに基づいて、燃料デブリ取り出し、廃棄物の取り扱い等の重要な課題について、中長期的な戦略を確実な体制で実行していく。

II. 中長期ロードマップの改訂の内容

第3回改訂版の中長期ロードマップにおいては、リスク低減の考え方を示している。これまでは、ともすると迅速さを特に重視した工程を設定してきたが、結果的に作業現場に負担をかけたり、新たな事象が判明する度に遅延が生じたりする等の事態を招いてきた。迅速な実施は重要ではあるが、地域の皆様や周辺環境、作業員等へのリスクの低減も重視する必要がある。

そのため、リスクを大きく3つに分類し、優先順位を付けて最適な対策を実施していくこととしている。

まず、高濃度汚染水、使用済燃料プール内の燃料については、相対的にリスクが高いことから、可及的速やかに対処する。燃料デブリについては、直ちにリスクとして発現するとは考えにくい、拙速に対処した場合にかえってリスクを増加させ得るため、周到な準備の上、安全・確実・慎重に対処する。そして、固体廃棄物や水処理二次廃棄物については、経年劣化や放射性物質の飛散・漏えい等のリスクに十分配慮しつつ、長期的に対処

することとしている。

今後も、安全を最優先としつつ、地域と国民の皆様の御理解を得て、継続的に検証を加え、中長期ロードマップを見直していく。

III. 中長期ロードマップに基づく廃炉・汚染水対策の概要

汚染水対策では、汚染源を「取り除く」、汚染源に水を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」という3つの基本方針の下、予防的・重層的な対策を進めている。

「取り除く」対策として、多核種除去設備(アルプス)等による汚染水浄化により、タンク内のほぼ全ての高濃度汚染水(約62万m³)の主要な核種を除去(2015年5月)、トレンチ内の高濃度汚染水の除去及び充填(2015年8月完了)を行っている。

「近づけない」対策として、地下水バイパスによる地下水の汲み上げ(2015年5月~)、建屋近傍の井戸(サブドレン)での汲み上げ(2015年9月~)及び凍土方式の陸側遮水壁の設置(2015年7月施工完了)等を行っている。

「漏らさない」対策として、水ガラスによる地盤改良(2014年3月施工完了)、海側遮水壁の設置(2015年9月10日より開口部の並行作業を実施)等を行っている。

使用済燃料プールからの燃料取り出しについては、2014年12月に4号機使用済燃料(1,533本)の取り出しを完了した。また、1~3号機については、取り出しに向けたガレキ撤去作業を行っているところである。1,2号機の燃料については2020年度、3号機の燃料については2017年度に取り出しを開始する予定となっている。

燃料デブリ取り出しについては、燃料デブリの分布や原子炉格納容器(PCV)内の状況の把握を最優先の課題として取組を進めている。その一環として、1号機については、原子炉格納容器内につながる配管を活用し、ロボットによる調査を実施し、原子炉内部の温度や線量、

連携を促進することとなっている。2015年7月には、第1回会議が開催され、今後の取組の方向性が取りまとめられたところ。第2回会議では、具体的なアクションを検討・共有するとともに、実行可能なものから直ちに具体的なアクションを開始する予定となっている。

経済産業省としても、最新の現場状況、国内外の知見等を踏まえつつ、大学等で行われる基礎研究の知見や諸外国の技術や経験の取り込みにより、国内外の叡智を更に結集し、総力を挙げた研究開発を進めるべく取り組んでおり、原子力学会の皆様にも叡智の結集に、ぜひ御協力を賜りたくお願い申し上げます。

－ 参考文献 －

- 1) 東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ.
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/pdf/20150612_01a.pdf

著者紹介



平井裕秀 (ひらい・ひろひで)
経済産業省大臣官房原子力事故災害対処審議官

 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 －
(12月2日第6回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・ 11月期に英文誌へ29論文、和文誌へ3論文が投稿された。
- ・ Taylor & Francis社からの英文誌発行契約が更新されたことが報告された。
- ・ 来年度からの英文誌および和文誌の価格を改訂することが了承された。
- ・ 英文誌の掲載料支払い不能著者に関して取り扱いを検討した。
- ・ 運営内規のメール審議規定関連条項を検討した。

【学会誌関係】

- ・ 編集委員長より理事会報告があった。
- 企画委員会で「学会員としての行動指針・倫理規定」の周知活動の一つとして、学会誌の掲載場所が議案になった。
- ・ 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。
- ・ 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>

秋の学会 廃炉検討委セッションから 福島第一原子力発電所の現状と課題

東京電力(株) 増田 尚宏

2011年3月11日の事故以降、汚染水処理が大きな社会問題となり、処理装置を増設するなどの「汚染源を取り除く」対策により処理を加速させ、2015年5月末にはタンクに貯留していた高濃度汚染水処理を終了した。また陸側遮水壁の試験凍結を開始するとともに、関係者の理解を得てサブドレンが稼働するなど「汚染源に水を近づけない」対策も確実に進んでいる。福島第一での廃止措置においては今後使用済燃料や燃料デブリの取り出しを本格化させることになるが、これらは高線量下での作業を伴うため作業員の被ばくも考慮した総合的なリスク低減対策に留意する必要がある。福島第一の現場では除染作業を進めた結果、発電所敷地内の約90%で全面マスクの着用が不要となり、また大型休憩所や給食センターも稼働し作業環境は大きく改善している。一方で、社会目線に立った情報公開という精神が社内に浸透していなかったことに鑑み、2015年8月から放射線データの全数公開を開始した。

KEYWORDS: Fukushima Daiichi, decommissioning, contaminated water treatment, fuel removal

I. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う、福島第一原子力発電所の事故発生以降、東京電力は政府及び協力企業と一体となって、原子炉や燃料プールの注水冷却、汚染水の浄化および海洋への漏洩防止対応に注力してきた。

この間、福島第一原子力発電所の廃止措置は一定の進捗を見たものの、今なお10万人以上もの方々が避難生活を余儀なくされており、地域の皆様はもとより広く社会の皆様にご心配とご迷惑をおかけしておりますことを心よりお詫び申し上げます。

II. 福島第一原子力発電所の現状(第1図)

震災当時1~3号機は運転中、4~6号機は定期検査中であった。

1号機は水素爆発の影響で原子炉建屋上部が損傷したため、放射性物質の拡散を防止することを目的に2011年11月に建屋カバーを設置した。これまでの解析や調



第1図 福島第一原子力発電所の現状(原子炉や建屋の状況)

査結果から炉心位置にはほとんど燃料が残っておらず、大部分は溶融していると考えている。

2号機は1号機の水素爆発時にブローアウトパネルが開いたため水素が逸散し、水素爆発は免れたものの、内部の放射線量が高く作業員が長時間入ることができないため、線量低減対策が大きな課題となっている。

3号機は1号機と同様に水素爆発を起こしたため、原子炉建屋オペレーティングフロアの線量が非常に高いことから、遠隔操作にてガレキ撤去作業を実施しており、2015年8月にはプールに落下した燃料交換機を撤去した。2013年から線量低減対策を実施しているが、当初の期待通りの除染効果が得られていないことから追加遮蔽体の設置及び追加除染等の対策を実施する予定である。

4号機は被災時、3号機から水素が流入し水素爆発を起こしたため、使用済燃料取り出しに際しては燃料取出用架台を設置した。燃料取り出しは2013年11月18日に開始し、2014年12月22日に使用済燃料プールに保管されていた全ての燃料1535体(使用済燃料1331体、新燃料204体)の取り出しを完了した。これにより4号機の燃料によるリスクは無くなった。

福島第一原子力発電所の現状(原子炉や建屋の状況)を第1図に示す。

III. 冷却水の再循環と汚染水対策

1~3号機は溶融した燃料デブリ冷却のため原子炉に1時間当たり4.0~4.5トンの注水を継続しているが、原子炉建屋に一日当たり約300トンの地下水が流入、燃料デブリや高線量の建屋内部に接し汚染水となり、その処理が大きな課題となっている。そのため、汚染水対策とし



第2図 汚染水対策(三つの基本方針とそれぞれの対策)

て①汚染源を取り除く、②汚染源に水を近づけない、③汚染水を漏らさない、を基本方針として様々な対策に取り組んでいる。

汚染水対策(三つの基本方針とそれぞれの対策)を第2図に示す。

汚染水を取り除く対策としては、多核種除去設備をはじめ RO 濃縮水処理設備、モバイル型ストロンチウム除去装置、セシウム吸着装置と第二セシウム吸着装置による処理を進め、タンク底部の残水を除き 2015 年 5 月 27 日に RO 濃縮水(逆浸透膜(Reverse Osmosis Membrane)を用いた淡水処理後の汚染水)の処理を完了した。

今後も建屋内に滞留する汚染水や貯蔵タンク内のストロンチウム処理水の処理を継続し、汚染水のリスクを低減していく。

汚染源に水を近づけない対策としては地下水バイパス及びサブドレンによる地下水のくみ上げを行っている。サブドレンは建屋近くに設置された井戸(サブドレン)を復旧させて、建屋近傍で地下水を汲み上げることで建屋内への地下水流入を抑制するもので、汲み上げた地下水は浄化設備を通し一定の基準以下であることを確認し排水するもので、2015 年 9 月から運用を開始した。

さらに凍土方式の陸側遮水壁の設置を実施中である。これは建屋の止水及び建屋内滞留水の汲み上げを可能にするため 1~4 号機周辺(延長約 1,500m)を凍結させ遮水するもので、深さ 30m まで凍結管を敷設し、その周辺を凍らせ遮水壁とし、地下水の流入を抑制する対策である。2015 年 4 月 30 日から試験凍結を開始しており設備は順調に稼働している。

汚染水を漏らさない対策としては 1~4 号機海側に鋼管矢板で遮水壁(全長 780m)を構築し、汚染された地下水の海洋流出を防ぐ工事を実施している。現在鋼管矢板の打設は終了し 2015 年 10 月末までに継手処理を終了する予定である。

IV. 設備の信頼性向上とリスクの低減

現場には事故に際して応急的に設置した設備が残って

いるため、設備の恒久化対策等信頼性の向上に取り組んでいる。具体的には電源設備のリプレースや水処理設備移設ラインの耐圧ホースからポリエチレン配管への変更、汚染水を貯蔵するタンクについてはフランジタンクから信頼性の高い溶接型タンクへのリプレースなど、長期の廃炉に対応できる設備の恒久化を進めている。汚染水を貯蔵するタンクについてはリプレースに加え、過去の教訓を踏まえて、堰カバーや雨樋設置に加え、タンク周辺の堰のかさ上げや堰内雨水監視カメラの設置など雨水対策も実施した。

V. 燃料取出しに向けた状況

5.1. 廃炉の主な作業ステップ

廃止措置は政府が定める中長期ロードマップや原子力損害賠償・廃炉等支援機構(以下「NDF」)が策定する戦略プランに沿って進められており、大きく①使用済燃料プールからの燃料取出し、②燃料デブリ取り出し、③原子炉施設の解体等、に分けられる。使用済燃料プールからの燃料取出しに関しては 4 号機で終了し廃炉作業の大きなステップとなったと評価しており、1~3 号機はオペフロのガレキ撤去・除染を進めている段階である。燃料デブリ取り出しについては 1~3 号機ともに除染、格納容器内の調査を進めており、本格的な廃炉作業は今後実施することになる。

5.2. 3号機の状況

オペフロ上の大型ガレキの撤去を完了し、現在は除染・遮蔽作業、使用済燃料プール内の大型ガレキ撤去を進めており、2015 年 8 月 2 日には破損した燃料交換機の撤去を完了した。3号機の燃料取出しカバーは、発電所構内での作業時間を短縮し作業員の被ばくを低減するため 50km 以上離れた小名浜港で製作を進めるとともに、現地での組み立て作業の訓練を行っている。

5.3. 1号機の状況

使用済燃料を取り出す装置を設置するため、建屋カバーの解体を進めており、2015 年 10 月 1 日現在、屋根パネル 6 枚のうち 5 枚を取り外している。作業に当たっては周辺への影響を抑制するため飛散防止剤を散布するとともに放射線量の監視を強化しており、これまでのところ周辺への影響は認められていない。今後オペフロ上のガレキ撤去を進めていく。

VI. 燃料デブリ取り出しに向けた研究開発

燃料デブリの取り出しには、格納容器内の状態を把握するとともに燃料デブリ位置、取り出し工法を検討する必要があり、NDF、技術研究組合国際廃炉研究開発機構(以下、「IRID」)の協力を得ながら技術開発を実施中である。

これまでは格納容器内に水張りを実施し、放射線の遮蔽に優れた水中で燃料デブリを取り出す冠水工法が最も確実な方法と考えられていたが、格納容器の補修が困難

である場合には気中での取り出し工法も視野に入れて検討を進めていく。

燃料デブリ取り出し工法の検討に必要な情報を入手するため、2015年4月にロボットを用いて、1号機原子炉格納容器内のベダスタル外側1階グレーチング外周部の環境や既設構造物の状況調査を行い、格納容器内部の損傷状況や各調査ポイントで温度、線量情報を取得した。今回障害物が無いことが確認できた地下階への開口部から、今後、別のロボットを投入し、格納容器地下階の調査を実施する計画である。

また廃炉に関する技術基盤を確立するため、独立行政法人日本原子力研究開発機構がモックアップ施設および放射性物質の分析・研究施設を計画している。モックアップ施設は原子炉格納容器下部の実寸大模型を設置し、漏洩箇所を調査・補修するロボットの実証試験や運転員の訓練を実施するもので、2015年度中の運用開始を目指して楢葉町で建設が進んでいる。放射性物質の分析・研究施設は燃料デブリや放射性廃棄物を分析・研究する施設で、2017年度中の運用開始を目指している。

VII. 労働環境改善

平日1日あたりの平均作業員数は増加傾向で推移し、今年に入り7,000人程度と2年前の2倍に達している。地元雇用率は2015年7月時点で約50%である。

40年にわたる廃炉作業を確実に進めるためには、地元企業をはじめとする協力企業の方々が一貫して働ける環境を整えることが重要であり、安定的な雇用が確保できるよう、福島第一原子力発電所で発注する9割で随意契約を適用している。これにより長期的な要員確保が可能となり、より計画的な要員配置や人材育成も可能となる。

雇用確保とともに労働環境改善も重要である。労働環境の抜本的改善として線量低減対策を掲げ、除染作業の加速化による全面マスク省略エリアの拡大に取り組んでおり、これまでの除染活動の結果、2015年5月29日から全面マスク着用を不要とするエリアを構内の約90%まで拡大した。

労働環境改善(除染の推進と軽装備化)の状況を第3図



第3図 労働環境改善(除染の推進と軽装備化)

に示す。

更に厚生施設等の改善にも取り組んでおり、全作業員を対象とした労働環境に関するアンケートを実施することで、現場ニーズを踏まえた改善を行ってきた。具体的には食堂を備え約1200名を収容できる構内大型休憩所の運用を2015年5月30日に開始した。また大熊町大川原地区に設置を進めていた3,000食を提供できる給食センターが2015年6月1日から運用を開始し、作業員の職場環境が大きく改善した。これらの施策により作業環境が改善されるとともに作業員同士のコミュニケーションも改善され、災害・事故の防止に寄与することを期待している。

VIII. 情報提供・コミュニケーション改善

情報公開については重要な問題と認識して取り組んできたが、2015年3月、K排水路に関する情報公開が不十分で社会目線に立った情報公開という精神が社内に浸透していなかったとの指摘を受けた。このため社内組織のコミュニケーションを質・量ともに大幅に拡充するとともに、放射線データの全数公開の方針を発表、2015年4月30日より水質分析データをホームページ上で公開開始し、8月20日より線量率等のデータを追加、放射線データの全数公開となった。

IX. おわりに

事故発生から4年8カ月が経過し事故に伴う汚染水処理には一定の見通しが立ってきたが、使用済燃料や燃料デブリの取り出しには高線量下での作業が伴うため、今後の廃炉作業の実施については作業員の被ばくりスクを含めた総合的なリスク低減対策を考慮する必要がある。中長期ロードマップもこの観点を踏まえて改訂されており、引き続き政府、東京電力を中心に廃止措置等に向けた中長期の取組を着実に進めていく。

併せて、避難されている住民の皆様の一瞬も早いご帰還を実現し、地域及び国民の皆様のご不安を解消するためにも、ホームページや現地調整会議等の場で廃炉作業の進捗状況を適切に情報発信することで透明性の確保・向上を図っていく。(2015年10月1日 受理)

著者紹介

増田尚宏 (ますだ・なおひろ)

東京電力常務執行役、福島第一廃炉推進カンパニー・プレジデント兼廃炉・汚染水対策最高責任者

(専門分野) 1982年3月横浜国立大学大学院(電気工学専修)を修了し、同年4月東京電力入社、福島第二原子力建設所に配属。その後原子力部門の勤務を経て2010年6月より福島第二原子力発電所長を務め、2014年4月より現職。



秋の学会 廃炉検討委セッションから 東京電力(株)福島第一原子力発電所廃炉の技術戦略とリスク低減

原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 福田 俊彦

原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)が策定した福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015では「放射性物質によるリスクを継続的、かつ、速やかに下げる」ことを基本方針とし、燃料、汚染水、廃棄物等の様々な放射性物質(リスク源)の潜在的影響度と閉じ込め機能喪失の起こりやすさにより表されるリスクの低減戦略を展開している。主要なリスク源を3分類し、そのうち周到な準備と技術によって安全・確実・慎重に対処し、より安定な状態に持ち込むべきリスクである燃料デブリ取り出し分野と長期的な措置をすべきリスクである廃棄物対策分野のリスク低減に向けて、5つの基本的考え方(安全、確実、合理的、迅速、現場指向)に基づき、技術戦略検討を行う。

KEYWORDS: *strategic plan, decommissioning, risk assessment, fuel debris retrieval, waste management*

I. はじめに

NDFは、政府の「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以下「中長期ロードマップ」という。)の着実な実行や改訂の検討に資すること、すなわち、中長期ロードマップにしっかりした技術的根拠を与えることを意図して、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2015(以下「戦略プラン」という。)¹⁾を策定し、2015年4月30日に公表した。具体的には、事故炉の廃炉において中長期的視点から重要な2つの課題、溶融して固まった燃料(以下「燃料デブリ」という。)の取り出し及び廃棄物対策について、研究開発や技術調査を含め取組計画を取りまとめた。

II. リスク低減戦略の基本的考え方

2.1. 基本的考え方

戦略プランでは、福島第一原子力発電所の廃炉は、事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質によるリスクを、継続的、かつ、速やかに下げることが基本方針としている。リスクは、放射性物質の減衰、放射性物質を閉じ込める施設の劣化や廃炉にともなう燃料デブリの取り出し作業によっても段階によって変化することから、中長期の時間軸に沿ったリスク低減戦略の設計が求められる。

福島第一原子力発電所の廃炉を進める上で、リスク低減に向けての5つの基本的考え方を以下に示す。

- ・安全 放射性物質によるリスクの低減^{注)}及び労働安全の確保
 - ・確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術
- 注) 環境への影響及び作業員の被ばく

- ・合理的 リソース(ヒト、モノ、カネ、スペース等)の有効活用

- ・迅速 時間軸の意識

- ・現場指向 徹底した三現(現場、現物、現実)主義

上記の考え方には作業リスクやプロジェクトリスクの要素も含まれており、これらのバランスを考慮に入れながら、一連のリスクを総合的に低減しつつ進めるプロジェクト・マネジメントが求められる。

2.2. 放射性物質によるリスクの低減戦略

a. リスク源の特定

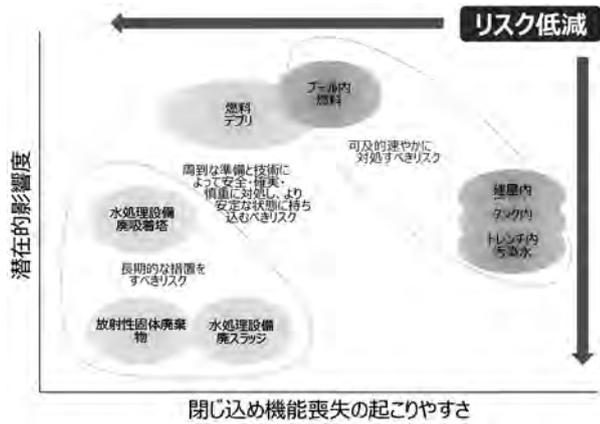
放射性物質によるリスクの低減戦略を検討するにあたり、主要なリスク源として以下を対象とする。

- ・燃料デブリ、1~3号機使用済燃料プール内燃料(以下「プール内燃料」という。)
- ・建屋内汚染水、トレンチ内汚染水、タンク内汚染水
- ・水処理設備二次廃棄物(水処理設備廃吸着塔及び水処理設備廃スラッジ)、放射性固体廃棄物

b. リスクの分析

リスクの大きさ「リスクレベル」は、ある「事象」の「結果」とその「起こりやすさ」の組合せとして表される。上記のリスク源が持つ放射性物質による影響については、「事象」としては地震、津波、故障、誤操作等の起因事象による閉じ込め機能の喪失等を、「結果」としては人や環境への影響を、「起こりやすさ」としては「事象」の起こりやすさを考える。

本来、この「結果」については、「事象」によって放射性物質のある量が環境中に放出され、それが移行・拡散して人や環境に及ぼす影響を評価するものである。しかしながら、ここでは、事象が起こった際の放出の影響評価は行わず、「結果」に相当するものとして、安全側に、リスク源が持つ放射性物質の全量に、漏えい又は移動のし



第1図 福島第一原子力発電所のリスクイメージ

やすさの観点から気体、液体、固体等の性状を加味したものを「潜在的影響度(又はハザード・ポテンシャル)」と定義し、これを用いることとする。現実には、対象のリスク源に含まれる放射性物質が全量放出される可能性は極めて小さいと考えられる。

「起こりやすさ」は、起因事象が、リスク源を閉じ込めている施設の健全性等に及ぼす影響を考慮した「閉じ込め機能喪失の起こりやすさ」とする。

対象とする各リスク源に対して、潜在的影響度と閉じ込め機能喪失の起こりやすさを考慮したリスクのイメージを第1図に示す。

リスクレベルは二つの指標に関連し、図中右上ほど大きい。

なお、この分析は、主要なリスク源の評価時点に対するものであり、その他のリスク源や作業に伴うリスクは考慮していない。今後、その他のリスク源や作業リスクも含め時間軸を考慮したより詳細な分析についても、検討を進める。

c. リスク低減戦略

放射性物質によるリスクを着実に低減するために、分

析結果を基に優先順位を付けたリスク低減戦略を構築する。対象とする8つの主要なリスク源は、そのリスクレベルによって3分類し、各々以下のように対応すべきであるといえる。

(1) 可及的速やかに対処すべきリスク

第1図において右上の領域に位置する汚染水及びプール内燃料は、主として閉じ込め機能や性状の点でリスクレベルが相対的に高く、また、その対策の実行は容易ではないものの中長期にわたる研究開発課題はないので、すでに進めている汚染水の対策及びプール内燃料の取り出しを着実に継続していくべきである。

(2) 周到な準備と技術によって安全・確実・慎重に対処し、より安定な状態に持ち込むべきリスク

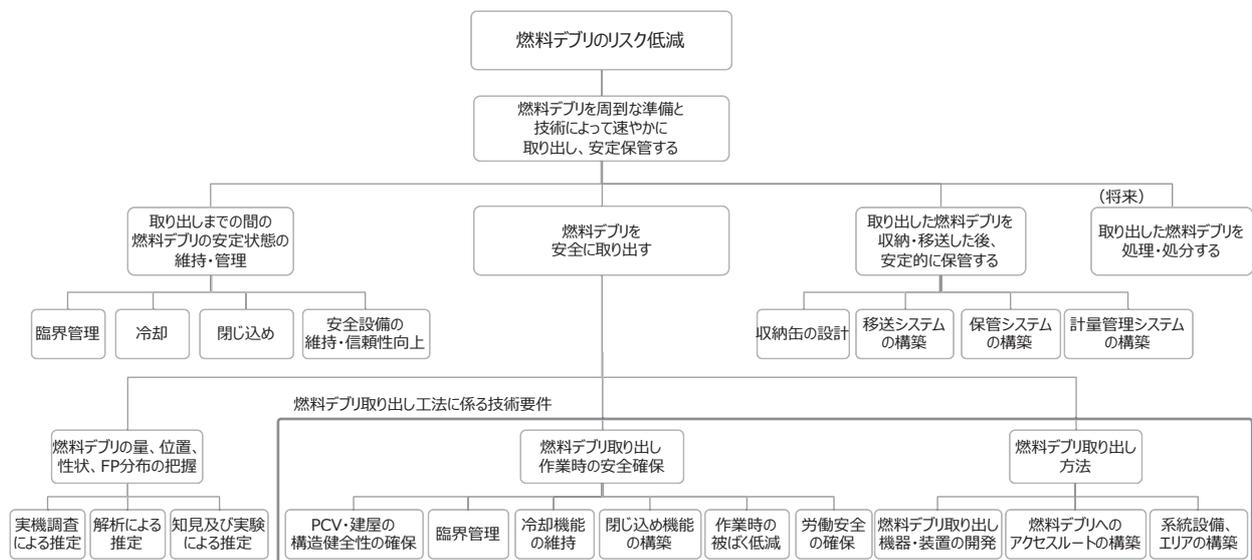
燃料デブリは一定の安定状態にあり、上記の可及的速やかに対処すべきリスク源ほどにはリスクレベルが相対的に高くないものの、放射性物質の量が多く、位置や性状について不確かさも大きいため、周到な準備と技術によって安全・確実・慎重に対処し、より安定な状態に持ち込むべきである。

(3) 長期的な措置をすべきリスク

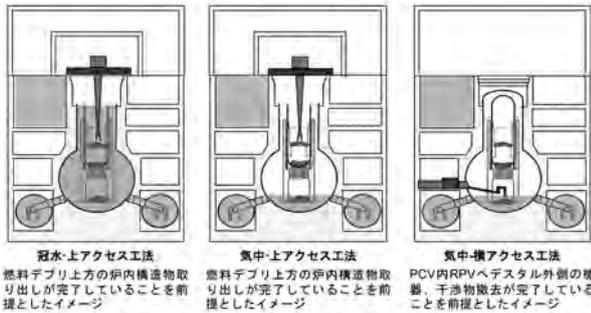
左下の領域に位置する水処理設備廃スラッジ、水処理設備廃吸着塔及び放射性固体廃棄物は、放射性物質の量が比較的少なく、また、すでに一定の安定状態にある。これらを更に安定な状態に持ち込むためには、長期的な視点に立った廃棄物戦略を構築すべきである。なお、水処理設備廃スラッジは、液体に近い状態にあることに留意して慎重な対応が必要である。

Ⅲ. 燃料デブリ取り出し分野の戦略プラン

燃料デブリは、現在一定の安定状態にあるが、さらにそのリスクを低減するためには、周到な準備と技術によって取り出し、安定保管することが必要である。第2図に燃料デブリ取り出し方法の骨格となる必要な要件の



第1図 福島第一原子力発電所のリスクイメージ



第3図 重点的に取り組む3工法(イメージ)

構成「ロジック・ツリー」を示す。

中長期ロードマップにおいては、冠水工法による格納容器上部からの燃料デブリ取り出しを基本として、2021年12月までに初号機の燃料デブリ取り出し作業を開始することを目標に、現場における作業・調査を進めるとともに、工法を実現するために必要な遠隔での除染・調査・作業用の装置・設備などの技術開発を進めてきた。また、上部までの冠水が困難になることを想定して、気中工法などの検討も併せて進めることとしている。

本戦略プランでは、考えられる燃料デブリ取り出し工法オプションを格納容器内水位とアクセス方向の組み合わせに基づき提示し、その中から重点的に検討する3つの工法を選定した。

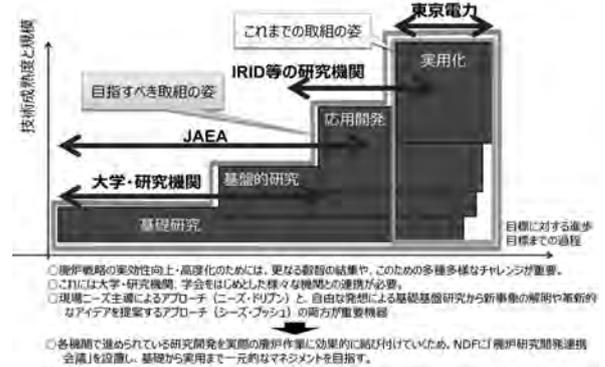
第3図に重点的に取り組む3工法のイメージを示す。さらに、3つの工法の組合せによる複数のシナリオから号機ごとの状況に応じたシナリオの選定計画を立案した。

IV. 廃棄物対策分野の戦略プラン

廃棄物対策としては、事故等で発生した固体廃棄物が、破損した燃料に由来した放射性物質等の付着、塩分の含有等、従来の原子力発電所で発生していた廃棄物とは特徴が異なるため、その安全かつ安定な保管管理とともに、中長期を見据えた処理方法や処分概念の検討が重要である。

このため、廃棄物対策分野の戦略プランは、以下の手順で検討を実施した。

- (1) 今後、固体廃棄物の処分方策を具体化していくに当たり、国際的(IAEA/ICRP)に取りまとめられている一般的な放射性廃棄物の処分に対する安全確保の基本的考え方を整理しておくとともに、それに関連して留意すべき処理のあり方も整理する。
- (2) 固体廃棄物に関する取組の現状を評価するとともに、今後の廃棄物対策の取組の内容又はスケジュールに影響を与え得る課題を抽出する。
- (3) 上記(1)の基本的考え方、上記(2)で抽出された課題等を踏まえ、中長期的な固体廃棄物対策において、現時点から対応又は留意すべき事項について記載する。
- (4) 上記(2)(3)を踏まえ、研究開発も含めて固体廃



第4図 研究開発の取組概念

棄物対策に関わる今後の対応方針について述べる。

V. 研究開発への取組

戦略プランを合理的に展開していくためには、燃料デブリ取り出し分野及び廃棄物対策分野の優先事項や現場の最新状況等を踏まえた上で、現場工事等に関する技術的検討を含めた研究開発プロジェクトを全体的に捉える研究開発マネジメントの仕組みの構築を目指していくことが重要である。第4図に研究開発の取組概念を示す。

廃炉戦略の実効性向上・高度化のためには、更なる叡智の結集や多種多様なチャレンジが重要となる。これには大学・研究機関、学会をはじめとした様々な機関との連携が必要となり、現場ニーズ主導によるアプローチ(ニーズ・ドリブン)と、自由な発想による基礎盤研究から新事象の解明や革新的なアイデアを提案するアプローチ(シーズ・プッシュ)の両方を結び合わせていくことが重要となる。

各機関で進められている研究開発を実際の廃炉作業に効果的に結び付けていくことを、NDFに「廃炉研究開発連携会議」を設置し、基礎から実用まで一元的なマネジメントを目指すこととしている。

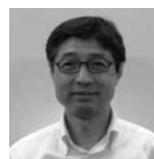
VI. まとめ

今回、戦略プランの初版を提示したが、今後の現場状況把握の進捗や研究開発動向を踏まえた評価を継続するとともに、不断にその見直しを行うこととしている。

— 参考文献 —

- 1) 東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2015, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, 2015.

著者紹介



福田俊彦 (ふくだ・としひこ)

原子力損害賠償・廃炉等支援機構 技術グループ執行役員
(専門分野)原子力発電所の建設・保守・運営管理・廃炉、品質マネジメントシステム、耐震・構造工学

秋の学会 廃炉検討委セッションから 放射性廃棄物の処理処分

日本原子力研究開発機構/国際廃炉研究開発機構 宮本 泰明

福島第一原子力発電所の事故により発生した廃棄物は、炉心燃料に由来した放射性核種を含んでいること、津波や事故直後の炉心冷却に起因する海水成分を含む可能性があること、高線量であり処理・処分の実績が無いゼオライトやスラッジを含むこと、汚染のレベルが多岐にわたりその発生物量も大きいこと等、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物と異なる特徴がある。これらの放射性廃棄物の処理・処分に関する安全性の見通しを得るため、従来の放射性廃棄物とは異なる特徴等を考慮した研究開発を実施している。

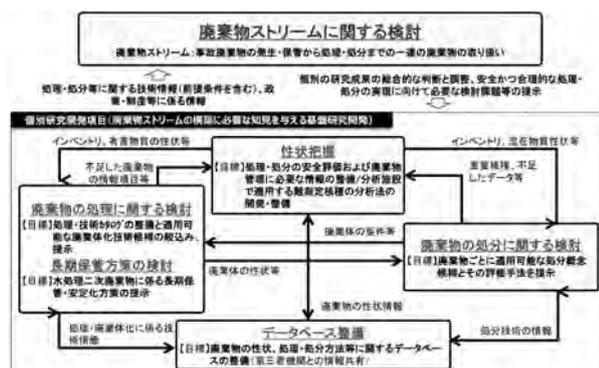
KEYWORDS: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant treatment and disposal radioactive waste radioactive waste management

I. はじめに

福島第一原子力発電所で発生する放射性廃棄物の処理・処分に関しては、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」において全体概要が示されており、判断ポイントとして、2017年までに「固体廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ」を、2021年までに「固体廃棄物の処理・処分における安全性の見直し確認」を行うことが示されている。

II. 研究開発の進め方

第1図に放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発項目を示す。放射性廃棄物処理・処分に係る研究開発の実施にあたっては、廃棄物を安全に処理処分するための廃棄物ストリームの策定を目的として取り組んでいる。廃棄物ストリームは、事故廃棄物の発生・保管から処理処分までの一連の放射性廃棄物の取扱いを示すものである。廃棄物の性状把握、処理検討、長期保管方策検討、処分検討といった個別研究開発項目と相互に関連させることにより、廃棄物ストリームの成立性を高めていく。



第1図 放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発項目

III. 研究開発成果

3.1. 性状把握

(1) ガレキ類の核種分析

原子炉建屋内から採取したガレキ類の核種分析を実施した結果を第2図に示す。採取した試料は、1号機・3号機原子炉建屋1階で行われた遠隔重機「ASTACO-SoRa」を用いた障害物撤去作業において大量に回収されたガレキで、建屋搬出時に握り拳程度の大きさのものとして分取されたコンクリート片、保温材、及び、2号機原子炉建屋5階オペレーティングフロアで採取されたボーリングコア試料の表面塗膜(直径約40mm)である。

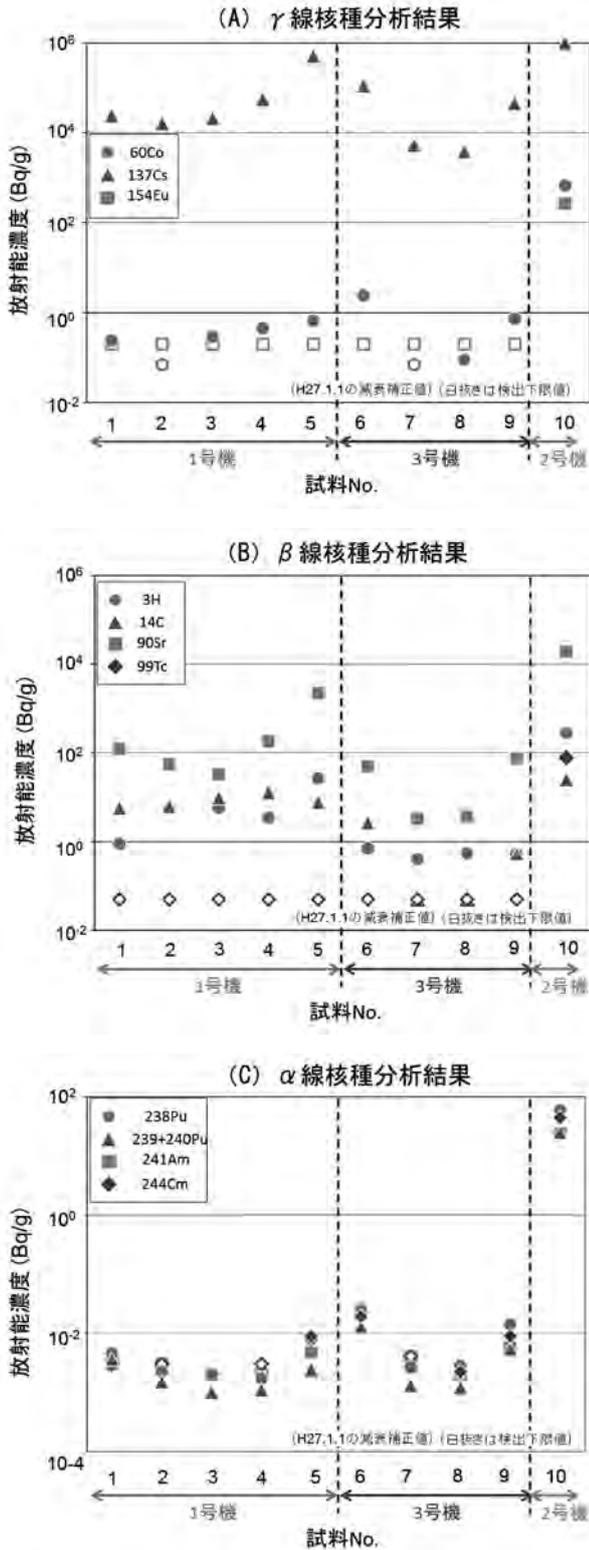
分析結果から、1号機と3号機から採取したガレキの核種濃度はほぼ同程度であるが、2号機原子炉建屋5階のオペレーティングフロアで採取した試料の核種濃度が2から3桁程度高くなっていることが分かる。これは、各号機における事故進展に差異があること、または、原子炉建屋のフロア毎の汚染状況が異なることを示唆しており、今後、このような状況を踏まえた分析サンプル採取計画を策定していく必要がある。

(2) 多核種除去設備スラリーの性状把握

多核種除去設備(ALPS)から発生する鉄共沈スラリー及び炭酸塩スラリーを採取して、固液比、固形成分の粒子の形状を測定した結果、鉄共沈スラリーの固液比は、重量比で10:90、体積比で3:97であり、炭酸塩スラリーの固液比は、重量比で14:86、体積比で6:94であった。

炭酸塩スラリーの粒径分布を第3図に示す。炭酸塩スラリーの固体成分の円相当径に対する平均粒子径は $3.62\mu\text{m}$ であり、最大粒子径は $23.2\mu\text{m}$ であった。

鉄共沈スラリーと炭酸塩スラリーの主要核種の放射能濃度を表1に示す。濃度を支配する核種はSr-90であり、Cs-137や遷移金属核種の濃度はSr-90に比べて

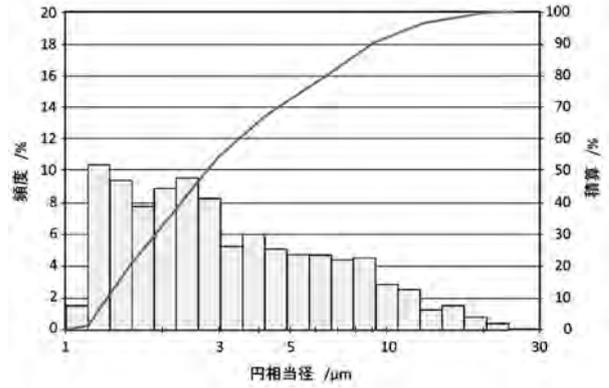


第2図 建屋内ガレキ核種分析結果

4~5桁程度低い。また、炭酸塩スラリーのSr-90濃度は、鉄共沈スラリーに比べて1桁ほど高くなっており、遷移金属核種に関しては鉄共沈スラリーの方が高いことが分かる。

3.2. 放射性廃棄物処理

表2に多核種除去設備スラリーの脱水技術を比較した



第3図 炭酸塩スラリーの粒径分布

結果を示す。加熱乾燥方式、フィルタプレス方式、遠心分離方式が候補技術となるが、試験結果から、固体成分と水分を分離する性能から、加熱乾燥方式とフィルタプレス方式が有効であると考えられる。

3.3. 放射性廃棄物処分

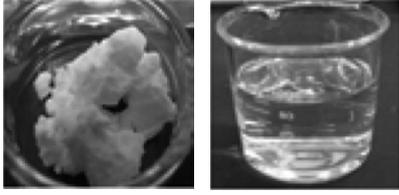
処分の評価においては、既存の処分概念およびその検討例等を参照し、安全評価手法(シナリオ、モデル、パラメータ)を暫定的に設定した。これらの結果を用いて、想定した処分概念ごとに基準線量相当濃度と同じ意味を持つ濃度の成立条件(C:基準を満足するために求められる条件)を暫定的に算出した。この濃度の成立条件(C)を用いて、廃棄物中に含まれる核種の濃度(D)との比較(暫定的なD/Cの評価)を処分概念ごとに実施した。

第4図にガレキをトレンチ処分する場合のCs-137の結果を例として示す。グラフの縦軸は核種濃度(Bq/t)であり、各解析ケースに対する濃度の成立条件(C)を棒グラフで表している。この棒グラフの位置は解析ケースごとに与えられる基準線量に相当し、それよりも高い濃度は、基準線量以上の影響を与えることを意味している。横軸は解析ケース、グラフ中の3本の横線はインベントリの推算値から求められる廃棄物中の核種濃度(D)(レファレンス、最大値、最小値)である。ガレキの場合、

表1 鉄共沈スラリーと炭酸塩スラリーの放射能濃度

核種	放射能濃度(Bq/mL)	
	鉄共沈	炭酸塩沈殿
Co-60	$(8.4 \pm 0.1) \times 10^2$	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^2$
Nb-94	$< 8 \times 10^0$	$< 6 \times 10^1$
Cs-137	$(3.1 \pm 0.1) \times 10^2$	$(2.4 \pm 0.3) \times 10^2$
Eu-152	$< 2 \times 10^1$	$< 2 \times 10^2$
Eu-154	$< 2 \times 10^1$	$< 2 \times 10^2$
Mn-54	$(1.5 \pm 0.1) \times 10^2$	-
Sb-125	$(9.0 \pm 0.2) \times 10^2$	-
H-3	$(3.0 \pm 0.2) \times 10^2$	$(3.3 \pm 0.3) \times 10^2$
Sr-90	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^6$	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^7$

表2 多核種除去設備スラリー脱水技術の比較

	横ドラム型減圧乾燥装置	フィルタプレス装置	デカンタ式遠心分離装置
特徴	減圧、加温(約50℃)条件下で試料を脱水物と水分に分離し、脱水物は、スクレイパーにより剥離しながら装置外に排出する。	試料はポンプにより閉板した室内に送られ、ろ布を通し脱水する。脱水物は開板時に排出する。	試料は遠心力により脱水物と水分に分離、排出する。分離性能は試料の比重及び粒径に依存する。
試験結果	分離回収水はスラリー成分の混入が少ない分離水を得た。スラリーは含水率数%まで脱水可能。	分離回収水の濁度は低く、含水率50~60%程度の脱水ケーキを得た。	含水率は80%以上であった。分離回収水の濁度、ガス発生等の課題がある。
	 <p>模擬スラリー (処理前) 安定化物 (乾燥物) 分離回収水</p>	 <p>安定化物 (脱水ケーキ) 分離回収水</p>	 <p>安定化物 (脱水ケーキ) 分離回収水</p>

トレンチ処分において、Cs-137の廃棄物中の濃度(D)が濃度の成立条件(C)を表す棒グラフを超え、安全性を確保できない可能性があることがわかる。瓦礫をトレンチ処分することを考える場合は、少なくともCs-137の濃度を精度よく把握すること、さらには、長期保管、または、除染による廃棄物濃度の低減をオプションとして考慮するなどの検討が必要となる。今後は、解析ケースの設定の妥当性を詳細に考慮するとともに、インベントリのバラツキが大きく、区分評価への影響が大きい核種を重点的に検討するなどにより、インベントリ評価の精度を上げる必要がある。

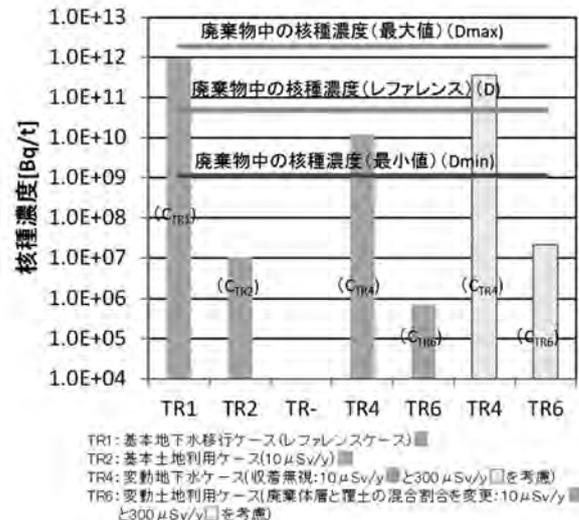
IV. まとめ

福島第一原子力発電所事故廃棄物の処理処分に関する技術開発を進める上では、廃棄物ストリームに関する総合的な検討が重要である。

性状評価については、廃棄物中のインベントリについて、分析値と文献値及び解析的手法を併用し、様々な不確実性を考慮して、より信頼性の高い廃棄物中の核種インベントリを設定する。

汚染水処理廃棄物の処理・長期保管対策の明確化に関しては、セシウムを吸着したフェロシアン化物を含んだ廃棄物やスラリーの安定固化にはジオポリマーが有効であることが示されおり、今後は、これらの知見に基づき、基礎試験を継続し、データ蓄積、評価精度向上を図る。

放射性廃棄物処分に関しては、事故廃棄物の特徴や処分システムの安全機能の特性等を踏まえ、評価手法や解析ケースの設定の妥当性を向上させる。また、これらの評価手法や詳細な検討に基づき設定されたインベントリデータ等を用いて処分の安全性の評価を行い、廃棄物の処分区分の提示とその論拠を整備する。



第4図 ガレキのトレンチ処分に係る濃度の成立条件(C)と廃棄物中の核種濃度(D)の比較

本発表内容は、経済産業省受託事業「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備(事故廃棄物処理・処分概念構築に係る技術検討調査)」及び経済産業省/平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(事故廃棄物処理・処分技術の開発)」の成果を含む。

著者紹介



宮本泰明 (みやもと・やすあき)
 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門
 国際廃炉研究開発機構 開発計画部 (専門分野)放射性廃棄物処理・処分技術

秋の学会 廃炉検討委セッションから 燃料デブリの性状把握

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 鷲谷 忠博ⁱ

福島第一原子力発電所の原子炉内には燃料要素や構造材等のさまざまな成分が複雑に溶融混合した燃料デブリが形成されており、その組成や形態は事故進展の状況により異なると推定される。廃炉作業の最難関の課題である燃料デブリの取出しでは、発生している燃料デブリの特性(化学的特性、物理的特性、等)を把握することが一連の廃炉作業を円滑に進める上で重要な情報となる。そのため、国際廃炉研究開発機構(IRID)では、模擬デブリやTMI-2のサンプル等を用いて、燃料デブリの特性把握に関する研究開発を実施している。

keyword: Fuel debris, solidified molten corium, MCCI, characterization, debris retrieval, thermodynamic calculation

I. はじめに

炉心内部にある燃料デブリの特性は、デブリ取出し作業やその後の収納保管等の一連の廃炉作業を円滑に進める上で重要な情報となる。事故によって生じる燃料デブリは、原子炉の構造、燃料組成、炉心損傷過程、事象収束対応等によって異なる想定され、その特性を把握するためには、福島第一原子力発電所(1F)事故に特有な影響を考慮する必要がある。また、損傷した原子炉内の状況については、格納容器(PCV)および圧力容器(RPV)内の調査やミュー粒子を利用した確認作業が進められており、少しずつ内部の情報がわかりつつあるが、依然として炉内にあるデブリの特性に係る直接的な情報は非常に限られている。そのため、燃料デブリの状態を推定し暫定情報としてとりまとめることで、他の廃炉工程に関する技術検討や開発等を効率的に進めることができると考えられる。

本研究では、模擬デブリや米国スリーマイル島原子力発電所(TMI-2)事故のデブリサンプル等を用いた実験的な検討に加えて、シビアアクシデント研究や過去の事故情報、炉内状況把握プロジェクトによる炉内状況のシミュレーション結果等を参考として、福島第一原子力発電所の燃料デブリの特性を推定している。

II. 炉内の燃料デブリの推定

これまでに事故進展解析コードを用いた燃料の溶融・崩落挙動の解析が実施され、燃料デブリの分布状況について推定が行われている。しかし、分布状況に応じたデブリの化学形について検討した例は無いため、炉内で生成し得る燃料デブリの化学形を事故進展解析による分布状況から熱力学平衡計算により概略評価した¹⁾(第1

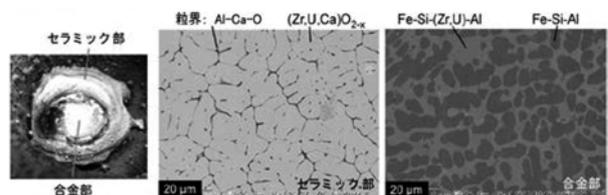


第1図 溶融・崩落後の圧力容器内の燃料デブリ生成状況

図)。生成する物質は系内の酸素量に大きく影響を受けるが、酸化物としては(U,Zr)O₂、金属としてZr(O)、Fe₂(Zr,U)が主要な燃料デブリと考えられる。まず、これらについて検討に必要な特性を把握した。一方、1Fでは溶融した燃料デブリが圧力容器を破壊し、ベDESTAL部において溶融炉心・コンクリート反応(MCCI)が起きたと想定されており、MCCIによって生成する燃料デブリ(MCCI生成物)に関しても今後、評価が必要であると考えている。

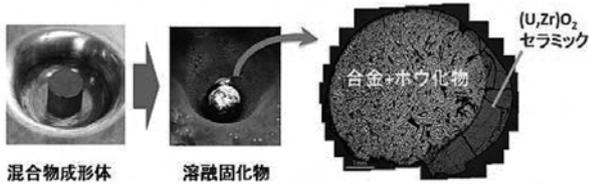
III. デブリ特性データの取得

代表的なデブリ組成である(U,Zr)O₂に対して、結晶構造の異なるサンプルや不純物を含むサンプルを作製し、その機械的性質として硬さ、弾性率、破壊じん性を測定・評価し、酸化物系燃料デブリの特性データを整備している。また、U-Zr-O系酸化物のうち高次の酸化物が生じる条件下でのU-Zr-O系の相関係を実験的に調査



第2図 集光加熱による模擬MCCI生成物の調製の様子

ⁱ 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構



第3図 B₄C/SUS/Zr/(U,Zr)O₂の熔融固化物の外観

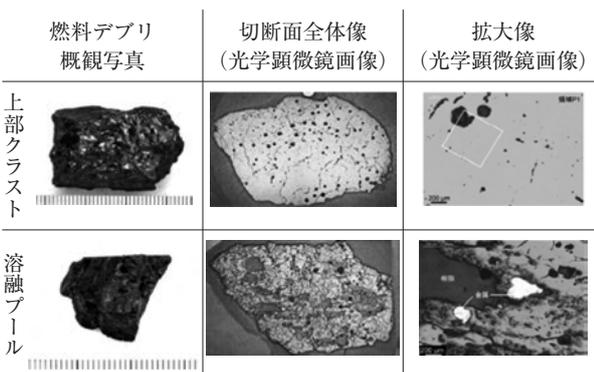
している。

また、金属系のデブリとして Fe₂(Zr,U) 等を作製し、同様に機械的性質を測定評価している。一方、取出し装置を想定してコールド材料の穿孔試験を行い、穿孔性能に与える各物性の影響を推定している。MCCI については、アーク溶解や集光加熱を用いて模擬 MCCI 生成物を作製し基礎データを取得している(第2図)。また、制御棒の主要成分の B₄C が構造材である Fe の影響(第3図)、Gd 含有燃料を想定したデブリの物性データも測定している²⁾。

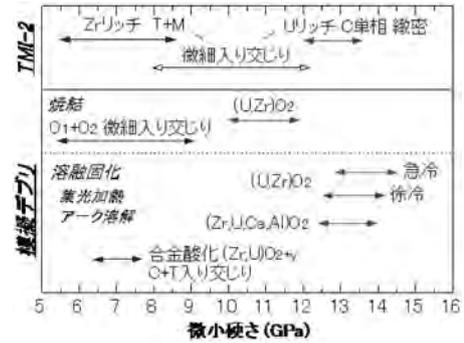
デブリのマクロ特性については、仏国 CEA との MCCI 生成物に関する協力、カザフスタン国立原子力センター(NNC)との金属/セラミックス熔融固化体に関する協力により研究を進めている。また、デブリの収納・移送・保管に資する特性把握についても、関連プロジェクトのニーズを確認しつつ、研究開発を進めている。特に安全性の観点から問題となる水素発生量の評価に大きく影響する含水・乾燥特性に関して、多孔質セラミックスを用いた含水・乾燥特性の評価を行い、乾燥特性に影響を与える因子を整理している。さらに、模擬デブリを用いた酸化還元挙動評価および酸化還元中の性状変化についても評価を進めている。

IV. TMI-2 デブリとの比較

TMI-2 事故における燃料デブリの特性を把握し、上述の試験研究より取得された燃料デブリの特性データと比較・検討するため、JAEA 内で保管している TMI-2 デブリを用いて、試料の加工、金相観察を行い、ビッカース硬さを取得している(第4図)。また、第5図に TMI-2 デブリと模擬デブリの硬さデータの比較を示す。



第4図 TMI-2 デブリの外観



第5図 TMI-2 デブリと模擬デブリの硬さの比較

模擬デブリは TMI-2 デブリの硬さを概ね網羅出来ていることが分かる。また、同サンプルを用いて燃料デブリの分析前処理法として、有望なアルカリ溶融法の適用性を検討している。

V. デブリ特性リストの整備

上記の模擬デブリ等を用いた特性データを集約し、文献調査結果等と合わせて実デブリの特性リストを整備している。

VI. デブリ取出しに向けたデブリ情報の整理

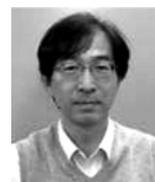
IRID では、燃料デブリの取出しに係る各作業の検討を進めるにあたり、炉内のデブリに対する想定や暫定的な設計条件を共有する観点から、各プロジェクトと連携し考慮すべきデブリ性状について暫定的な整理を進めている。2017 年の取出工法の方針決定に向けて、特に機械的な特性を中心に 2015 年度末までにデブリ情報をまとめる予定である。これについては、今後の事故進展解析や内部観察、サンプリング等により新しい情報が得られた際にはその都度改訂を行っていく必要がある。

本報は、IRID が受託した経済産業省委託事業(平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤事業)及び IRID が補助事業者として実施した平成 25 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」に係る補助事業の成果の一部を含む。

－ 参考文献 －

- 1) Ikeuchi, H. et al., Chemical form estimation of in-vessel fuel debris by thermodynamic calculation with melt progression analysis, Proc. NuMat 2014 Florida, USA, Oct. 27-30, (2014).
- 2) Takano, M. et al., Characterization of solidified melt among materials of UO₂ fuel and B₄C control blade, Journal of Nuclear Science and Technology, vol. 51, 2014, pp. 859-875.

著者紹介



鷺谷忠博(わしや・ただひろ)

日本原子力研究開発機構
(専門分野)燃料デブリの特性評価、高速炉燃料の再処理工学

今後のエネルギー利用の長期視点 “資源確保及び自然環境・社会環境との調和”

東京工業大学名誉教授

ニュークリアサロン代表理事 藤家 洋一

原子力の大局観を認識した上で、原子力システムの今後の姿について俯瞰する。自然に学び自然を真似ることを基本に、高速中性子による核分裂反応により生成する中性子を活用して、「利用」から「調和」へ移行していくことが持続的な原子力利用を可能とする。

KEYWORDS: *Sustainability, Nuclear Fuel Cycle, Fast Reactor, Neutron, From Utilization to Harmonization, Self-Consistent Nuclear Energy System (SCNES), Integral Fast Reactor (IFR)*

I. 原子力の大局観

1. エネルギー、物質、技術、情報

人類はこの地球上に生存を始めてから、既に1000万年近くを過ごしてきた。多少の例外はあるにしても、その過程は採取と狩猟による生活から、次第に農耕と牧畜に転換し、大河のほとりの定住生活に移行し、他の生物には見られない文明を構築し、その恩恵の中で生きて来た。文明はまた人類が産み、育ててきた科学技術への依存の中で進化して来ており、科学技術に、「エネルギー」、「物質」、「技術」及び「情報」を求めてきた。

この中で「エネルギー」の存在が特別に扱われることが多い。他の3つの要素は多くの場合、「エネルギー」の供給によって初めてその本来的な機能を発揮することが可能になる。また、文明はその文明を支えてきた「エネルギー」が何であったかで特徴付けられよう。自然エネルギー、化学エネルギー、核エネルギーなどである。歴史的には自然エネルギーや化学エネルギーには人類が百万年を超えて依存してきたことになり、資源はそれぞれの時代で消費に耐える量が存在していた。核エネルギーについても「高速炉システム」が実現すれば、そして、海水中の核分裂親物質(ウラン238)の量が40億トンとも50億トンとも言われていることを考えれば、これまた優に百万年のエネルギー資源ということが出来る。このような視点で文明を見るのが大切である。

2. 自然科学の文明論的展開

人類は火の制御と利用に成功し、それを発展させた化学反応を文明に導入し、これを通してエネルギー変換を積極的に行う化学反応の文明を構築してきた。化学反応に根ざす文明は近代文明の構築に貢献したが、画期的であったのは18世紀半ばから19世紀にかけて起こった産

“Securing of Resources to harmonize both Natural Circumstances and Social Environment” : Yoichi Fujii-e.

(2015年10月15日 受理)

業革命であろう。化学エネルギーを熱エネルギーに変換し、さらに機械エネルギーや電気エネルギーにまでの変換を可能にしたことである。この結果、蒸気機関や電気駆動の機器が出現し、文明はおおよそ200年で飛躍的に発展した。しかし、同時にこのエネルギーの大量消費が、生態系のバランスなどに影響を与える結果になり、文明をその根幹で支えるエネルギー資源の転換をも考慮すべき事態に至った。

21世紀に入り、エネルギー利用・確保のための営み・努力が、地球環境を維持できるレベルを越え、社会との調和が保てない状況が出現してきた。エネルギーの大量消費は、地球に蓄積された「物質」の利用に重点が置かれ、近年は局地的な燃料物質の枯渇やCO₂排出量の多さが問題となっていることは周知のとおりである。

3. 小さな宇宙と大きな宇宙を同一視野に

自然科学追究の欲求は、ここ約100年で認知のスケールに大幅な拡大をもたらした。この間、人類は距離1mをもとにすると、「1/2」にする操作を57回行うと素粒子の世界(10⁻¹⁷m)の小さな宇宙になり、「2倍」にする操作を86回以上行くと宇宙の果てまでの世界(10²⁶m以上)を解き明かしている。時間については原子核反応時間(10⁻¹³秒)から宇宙時間137億年(地球時間46億年)までを認識してきた。質量とエネルギーの関係、ヒトゲノム遺伝子情報の解読などである。これらの急速な知識・知見の増加は、「現在」ある技術・社会体系のみで、将来を判断することは大きなリスクを持つことを語っている。

核エネルギー分野では1932年に英国の物理学者のチャドウィックが中性子を発見し、物質との相互作用に関する知識を飛躍的に拡大させ、核エネルギーの利用が核分裂炉として実現に至った。また、人類の認知技術の拡大は、この地球上の核分裂エネルギーは20億年前の地球上に存在していたこと、100kW程度以下の出力で数十万年に亘って間欠的に核分裂反応を持続していたことを明らかにした¹⁾。

20世紀半ばに人類は核分裂反応が発見されてから最初の原子炉CP-1の建設までの4年で、持続的な核分裂を実現した。その後、天然ウランと原子炉とリサイクル技術の組み合わせによる核燃料物質の製造にも成功するところとなった。このように物質の情報は飛躍的に増大している。一方、原子力のように放射性物質を含む場合の環境との調和については、まだ緒に就いたばかりとの認識が社会にみられる。

Ⅱ. 原子力システムの今後の姿

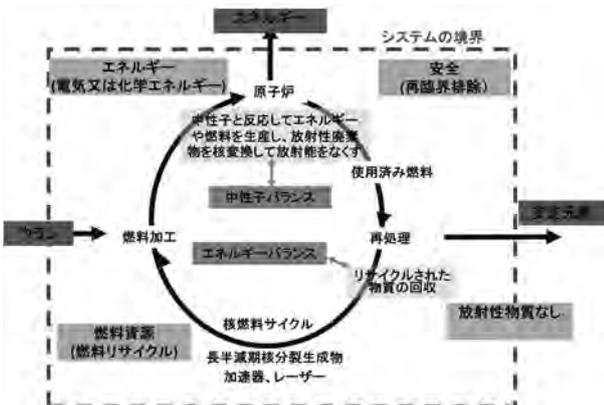
原子力エネルギーシステムは端的に言って中性子に支配されたエネルギーシステムと表現できる。核エネルギーの利用には、中性子の特徴を最大限に活かす大きな特徴があり、核反応によって生まれたエネルギー及び物質の流れを中心とした取扱いがなされてきている。

筆者が1992年に提示したSCNES(自ら整合性のある原子力システム:Self Consistent Nuclear Energy System)の概念はそのためのもので、資源の完全利用と放射性物質の無放出は科学的に可能かという議論だった²⁾。リサイクルと高レベル廃棄物のゼロリリース(ゼロエミッション)は可能かという問いかけであった(第1図)。

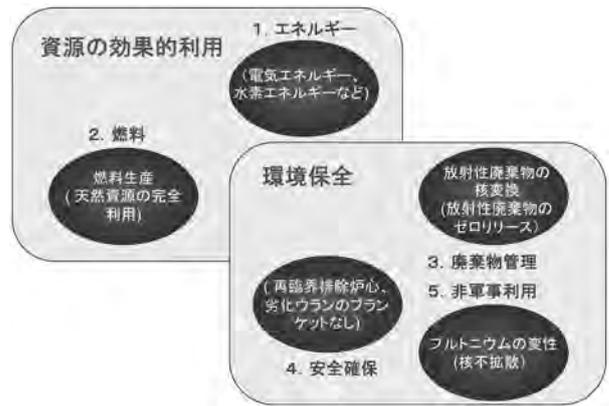
SCNESの議論とは、核分裂反応の財産の範囲で何が出来るか、すなわち約2.9個の中性子と約200MeVのエネルギーを使って何が出来るかという観点からの議論である。言い方を変えれば核分裂反応の能力を駆使すればシステムに予想される問題を自ら解決できるかとの問いかけと言える。

エネルギーシステムに求められる要求、すなわち、「エネルギー生産」、「燃料生産」、「安全確保」、「廃棄物処理・処分」、さらに加えて「核拡散抵抗性」の確保が果たしてすべて満足できるかという問いである(第2図)。この答えは科学的には用意できる。これまでの知見の蓄積としての科学的な事実は、これは将来にわたる長期視点へのパラダイムシフトの軸・基盤であり「ぶれることはない」。

原子力新時代の到来は、2000年から始まった第四世代原子力システム国際フォーラム(GIF)³⁾の拡がりとともに世界のあちこちに見られる。エネルギー資源と環境保



第1図 整合性のある原子力システム概念



第2図 エネルギーシステムに求められる5つの要求

全の同時達成に向けても、世界は今や素直に原子力の将来を語り始めたように思われる。

1. 利用から調和へ

国連が1992年に「人類の持続的発展」について決議を採択したように、「人類の持続的発展」は今後の人類の共通課題になっている。その前提として、「自然に学び、自然を真似る」姿勢が科学技術的にはもちろん社会的にも大切だと考えられる。地球、太陽、宇宙、いずれも、自然に存在するものであり、そこでは多くの現象が自然に起こっている。この「自然に学び、自然を真似る」⁴⁾姿勢が、我々が科学技術へ取り組む原点であろうか考える。我々が作り出してきた文明を維持し、発展させる中で生まれてきたエネルギー問題や環境問題もやはり、自然との関連で捉えて行くことが必要であろう。

2. 社会環境との調和

福島第一原子力事故に対する社会の反応は、これまでの原子力の平和利用と安全確保の説明だけでは、もはや原子力の社会性を語るに不十分であることを示したようで、その後の世論も脱原発がこれまでと違った観点も含めて語られているように思える。

宇宙には、科学技術の求める多くの自然現象がある。人間があたかも、自ら作り出し、使用しているかのような錯覚にとらわれることがあるが、その多くは自然界に存在している。核融合や核分裂反応に加えてレーザーや光子の生成等、今後の原子力の研究開発の対象が自然に存在している。地球を取り巻く自然と人類また地球の自然には、「化学反応に根ざした文明構築」に力があった海や動植物の共存する生態系、さらには地下には生態系の遺産としての化石エネルギーが存在している。「化学エネルギーから核エネルギーへの緩やかな移行」を考える時、原子力が原子力発電のためだけでなく、21世紀以降に人類文明をその根幹で支える科学技術に成長、発展してゆくべき宿命を持っているものと思われる。「化学反応に根ざす文明から核反応に根ざす文明への緩やかな移行」を通じて何が可能になるのか。原子力に求められ

るものは何か、社会が満足できる条件とは何であろうか。我々に求められているのは文明の総体を支える原子力の全体像と原子力に根ざす文明構築への道筋の提示であろう。

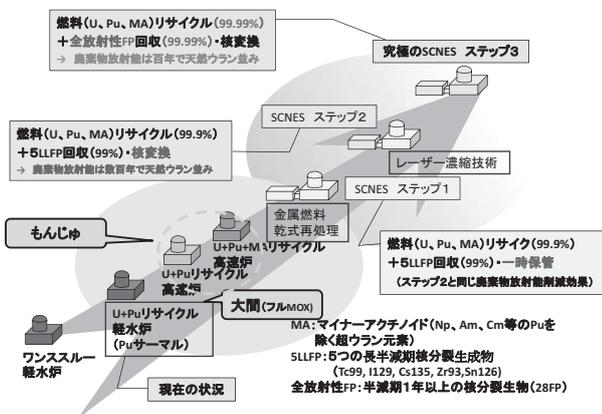
3. 核分裂反応の財産でどこまで調和できるか

SCNES ではエネルギーの取り出しと、核燃料の生産、更には放射性廃棄物の有限時間での非放射化、核不拡散のためのプルトニウムの組成変更は、核分裂反応の財産の範囲で行い得ることを確認した。核分裂によって生まれた中性子を減速させず、高速中性子のまま次の核分裂に使うことで、ウランだけでなくプルトニウム等の他のアクチノイド核種を分裂させることができる。核分裂によって 2.9 個の中性子を生み出し(減速した熱中性子を利用する軽水炉では約 2.3 個しか生まれない)、ウラン以外のアクチノイド核種も燃料として核分裂させられることは、整合性ある原子力システムとしていく上で不可欠である。

このような科学的概念をいかなる技術によって具体化し、効率の良い、科学的可能性に近いものに仕上げているか。米国のアルゴンヌ国立研究所で続けられている IFR(一体型高速炉: Integral Fast Reactor)⁵⁾ もその一つの試みであろう。このようなあるべき姿について、軽水炉は中性子経済の上で対象にはならず、高速中性子炉が不可欠である。2.9 個の中性子では不足で、幾つかの長寿命の核分裂生成物を短寿命の放射性物質に核変換させることが出来ない。元素レベルの物質分離では核分裂生成物の放射能の非放射化は不十分で核種分離(同位体分離)が必要になる。ここにはレーザーによる新しい技術の導入が必要になるだろう。(第3図)

このような議論の必然的行き先は、

- 1) 高速中性子炉による核反応の自由度の確保(燃料生産と放射能消滅)
- 2) エネルギーの高度利用(高効率の発電、水素製造による化学エネルギー確保)
- 3) 閉じた核燃料サイクルの確立



第3図 SCNES に向けた段階的アプローチ

- 4) レーザー、加速器など先端技術の導入(核反応、物質分離の自由度の確保)
となると考えられよう。

Ⅲ. 結び

戦後、自ら民主主義国家として生きていくことを決断した日本が、独立国としてエネルギー資源の確保を重要視したことは当然であるが、国際紛争に繋がりがねない資源支配のエネルギー(化石エネルギー)より、技術支配の原子力開発を選択した。これは、日本の技術力を背景に、地政学的宿命の克服にも役立った。

私は「長崎の鐘」、「ロザリオの鎖」、「この子を残して」などの著作でも有名な長崎医科大学の永井隆助教授の原爆救護団報告書⁶⁾の結辞に接した時、愕然とした思いに捕らわれた。一つは彼が原子力のことを大変よく知っていたことである。その当時の日本の科学界に原子力の知識がどの程度有ったかは必ずしも定かでないが、原子力の本質を見事に捉えていた。さらに驚いたのは8月9日に長崎に原爆が投下されて僅か2ヶ月後の10月に、これだけの考えに至ったことである。まだ原爆の悲劇から立ち直るところか混乱と怨念の中で、原子力を平和利用することが未来の文明に貢献し、被爆者の心を安らかにする方向だと言い切っていることである。この一節の英文は、2003年にアメリカ、ニューオーリンズで開かれた、アイゼンハワー大統領の国連演説「Atoms for Peace」⁵⁰周年会議の基調講演⁷⁾で紹介した。

今回の福島第一事故は原子力の安全について、さらにその社会受容性に立ち戻って課題を与える結果になった。この視点を踏まえ、日本が原子力の平和利用を進めることは、世界の「資源持続性と地球環境・社会との調和」へきめ細かい貢献をすることに繋がるのではなかろうか。

－ 参考資料 －

- 1) A.P. Meshik, The Workings of an Ancient Nuclear Reactor, Scientific American, Nov. 2005.
- 2) Y. Fujii-e, An Approach to Self-Consistent Nuclear Energy System -Potential of Fast Reactors, ANP'92, 1992.
- 3) GIF ホームページ：
https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_9334/origins
- 4) 藤家洋一, 原子力-自然に学び, 自然を真似る-, ERC 出版, 2005.
- 5) C. Till and Y.I.L.Chang, Plentiful Energy: The Story of the Integral Fast Reactor, 2011.
- 6) 長崎医科大学第11医療隊, 原子爆弾救護報告, 1945.
- 7) Y. Fujii-e, Future prospect of global role of nuclear energy, Global2003.

著者紹介

藤家洋一 (ふじいえ・よういち)
ニュークリアサロン代表理事
(専門分野/関心分野)原子力安全, 原子力システム

今後のエネルギー利用の長期視点 軽水炉プルトニウムリサイクルの見通し

日本原子力学会理事 田中 治邦

エネルギー自給率、温暖化抑制、電力コストの観点で原子力は欠かせず、その長期利用には核燃料サイクルが必須である。原子力比率 20%においても軽水炉再処理・プルサーマルの意義は変わらず、直接処分に対して経済優位性が出る高速炉サイクルの時代に備えりサイクル技術の経験蓄積が大切である。どなたにでもできる簡単な計算でこのことを説明する。

KEYWORDS: Light water reactor, Plutonium recycling, Mixed oxide fuel, Fuel cycle cost, Rokkasho reprocessing and MOX fuel fabrication plants

I. 資源論からみた原子力発電と核燃料サイクルの意義

Pu 利用を語るにはその意義、即ち原子力の長期利用の必要性を理解しなければならず、読者には若干遡ることにお付き合い頂きたい。気候変動に関する政府間パネル IPCC によれば、産業革命以前と比べ全地球平均の気温上昇を 2 度に抑えるためには、今世紀末までに CO₂ 排出をゼロにしなければならない¹⁾。その場合の CO₂ ゼロエミッション電源の候補は、(1)水力発電、(2)火力発電+炭素回収・隔離貯蔵(CCS)、(3)原子力発電+核燃料サイクル、(4)再生可能エネルギー+バッテリー、(5)バイオマス+CCS の 5 つである。我が国におけるこれらの将来性を考えると、水力発電は最早大きな開発規模は望めないし、「火力発電+CCS」には化石燃料の資源制約と CCS 立地に難しさがある。「再生可能エネルギー+バッテリー」には良く知られているように規模とコストに懸念があり、「原子力発電+核燃料サイクル」は、とりわけ国民理解の獲得が難しい。理論的には CO₂ 濃度を減らす効果のある「バイオマス+CCS」はとて現在の経済規模を満たせないし、CCS 立地に難しさがある。いずれの候補も重要であるが、規模が大きく安定に基底負荷対応が可能な原子力は、資源に乏しい我が国には捨てられない選択肢である。

しかし、その原子力も軽水炉で核燃料をワンスルー利用としたのでは、天然ウランの内のごく僅かしか使わないため(²³⁵U の存在比は 0.7%)、在来資源をあっという間に使い切り、化石燃料と比べて利用可能期間に優位性は無い。海水からのウラン回収は、放射性物質を殆ど含まない廃液の希釈放水すらままならない海洋国で、大規模プラントを海上に建設できるとは思えない。

そこで、使用済燃料の再処理・リサイクルを繰り返して、²³⁸U を Pu に変えて燃料とすれば、天然ウランに含

まれる ²³⁸U の存在比 99.3% と ²³⁵U の 0.7% との比較から明らかなように、ウラン資源の利用可能年数がおよそ 2 桁増加し、人類は今後数千年にわたりエネルギー資源の制約から解放されることになる。このような理解があるからこそ、1951 年に世界で初めて発電した原子炉は高速炉であったし(EBR-1)、我が国の電力業界は国の高速増殖炉開発に協力して来ているのである。

II. 軽水炉サイクルの根拠とその進捗状況

一方、その電力業界が自ら取り組む軽水炉のプルサーマル計画の妥当性はどこにあるだろうか。

軽水炉の使用済燃料は、全 Pu で 1% 弱、核分裂性 Pu で 0.55% を含む²⁾。これを回収して富化度を 5% 程度とすれば、およそ 9 体の使用済燃料から 1 体の MOX 新燃料を作り出し 11% の資源節約となる。また、同じく 95% 程度のウランが燃えずに残っており、その中の ²³⁵U の比率が天然ウランの存在比程度にまで劣化しているとして、これを 4.5% 程度にまで再濃縮すれば、簡単な計算で分かるように新燃料の 9% 程度の資源節約となり³⁾、合わせて 20% 程度の無視できない効果と言える。

勿論、回収ウランの再濃縮利用は、若干の反応度損失と汚染により濃縮や成型加工コストが天然ウランの場合より高くなるだろうが、現状見通せる資源価格などからウランクレジットを期待できる⁴⁾。従って、国内軽水炉再処理でも回収ウランが蓄積すればその利用に商業的成り立ちが十分にあると判断できるが、現在の核燃料サイクルの経済性計算ではそのコストメリットを考慮していない。

高速増殖炉の場合と比べ資源節約効果が小さく、従ってフロントエンド側の負担を減らす効果が低く、また燃焼度も 5% 程度しかとれないために再処理単価が高い軽水炉の燃料リサイクルは、直接処分(ワンスルー)に対してコストメリットが無い。そもそも分別回収してリサイクル利用することは手間がかかり、単純に捨てる(ワンスルー)よりも割高になるのはごく当たり前の話である。大切なことはコスト高のリサイクル利用を道徳的

Prospects for Plutonium-recycling in Japan's LWRs : Harukuni Tanaka.

(2015 年 11 月 4 日 受理)

に是と認めるか否かであり、一般社会では多くの汎用品がリサイクルにより再生産されている。

軽水炉の場合に重要なことは、再処理・リサイクルを含んだ原子力発電コストが、他の電源と比べて競争力があるか否かである。このコスト比較はこれまでに幾度もなされ、最新のコスト検証結果でも、福島第一事故の反省から強化された新規制基準へ適合するための設備追加に起因する資本費や事故リスクコストを反映してすら原子力は最も競争力ある電源となっている⁵⁾。

ところでこの事故リスクコストは4,000炉年に1回の割合で福島第一事故相当の過酷事故が再発し大きな環境放射能汚染があるとして計算されている。これは原子力規制委員会の安全目標に合致しないリスクであり⁶⁾、再稼働或いは新規建設炉の発電コストを計算している立場としては矛盾した異常に厳しい計算条件である。

では、プルサーマル計画の進捗状況はどうか。全電力会社がPuを保有しており⁷⁾、これを平和利用して行く責任がある。各社がそれぞれMOX燃料を装荷する炉として指定したものは比較的新しい原子炉であり、電力会社は廃炉ではなく新規制基準に適合させて再稼働したいと考える筈である。2015年10月末現在で再稼働申請の出されている原子炉25基の中だけでも10基がプルサーマル計画炉である。福島第一事故の直前の段階で、炉心にMOX燃料を装荷して運転していた炉が4基、既に発電所にMOX新燃料が搬入されていた炉が3基あった。早晚プルサーマル計画が再び動き出すものと期待している。

当面のプルサーマル計画で使われるMOX燃料は欧州で成型加工されるものである。我が国の電力業界は、これまでに英国Sellafield再処理工場に4,193tUを、仏国LaHague再処理工場に2,944tUを再処理委託した⁸⁾。両国には現在合計24.5tPufの核分裂性Puを預けており²⁾、核不拡散上も核物質防護上も問題は無いと考えるが、これは日本の貴重なエネルギー資源である。

Ⅲ. 六ヶ所再処理工場

我が国初の商業用大型再処理施設である六ヶ所再処理工場は、2006年3月に使用済燃料を使ったアクティブ試験を開始し、これまでに425トンの再処理を行い、MOX製品粉末6.7tHM、ウラン製品粉末364tU、ガラス固化体346本を製造している⁹⁾。高レベル廃液のガラス固化試験に苦労したが、それも2013年5月に終了している。

六ヶ所再処理工場の安全設計は、深層防護、多重閉じ込め、耐震設計、非常用電源、火災防護等の原子力発電プラントの安全設計を踏襲するとともに、臨界防止、化学試薬漏洩対策、溶媒火災対策、分析要員のPu内部取込防止、航空機落下対策、Puを扱うため最高レベルの保障措置と核物質防護等の再処理工場特有の対策を適用している。また平常時の操業に伴う周辺公衆の年間被曝線

量を評価して十分に低いことを確認するとともに、(1)運転時の異常な過渡変化、(2)運転時の異常な過渡変化を超える事象、(3)立地評価事故を設計基準事象とし、判断基準やPuめやす線量以下を確認している。加えて福島第一事故の教訓を反映するために、緊急安全対策(2011年5月報告)と欧米と同様のストレステスト(2012年4月、2013年5月報告)を行っている。

さらに規制委員会が新規制基準を定めたことに対応して、2014年1月7日に事業変更許可申請を提出し、設計基準を強化して内部溢水対策、竜巻飛来物対策、地震対策の強化等を、また重大事故対策として高レベル廃液蒸発乾固、臨界発生、水素蓄積、燃料プール水位異常低下、有機溶媒火災等の事故を想定して評価を行うとともに、対策工事を行うこととなっている。新規制基準への適合性審査の進捗状況から見て、また今後の改造強化工事もあり、国による最終的な使用前検査を受検できるのは遅れる見通しである。この新規制基準への対応により再処理コストは増加する方向だが、その影響は既に感度解析に示されている通り限定的である⁵⁾。

Ⅳ. 六ヶ所MOX燃料加工工場

再処理から回収するPuの平和利用を貫徹するためには、これを利用してMOX燃料を製造し、全国各地の原子力発電所にプルサーマル用燃料として供給する燃料成型加工工場が必要で、六ヶ所再処理工場に隣接して我が国初の商業用MOX燃料工場が建設中である。完成すれば原料のMOX粉末は再処理工場から地下トンネルを通して持ち込まれる。

最大加工能力は130tHM/年であるが、再処理工場が最大能力で運転されると $800 \times 0.55\% = 4.4\text{tPuf/年}$ の核分裂性Puが回収されるので、これを富化度5%に加工するとすれば処理量は約90tHM/年となり十分に包含される。

なお、このMOX燃料工場は2010年5月に核燃料物質加工事業許可を取得し同年10月に着工したが、福島第一事故後の議論などの影響を受け建設工事は遅れ気味であり、更に現在は再処理工場と同様に新規制基準への適合性に関する安全審査を受けているところである。

Ⅴ. 国の長期エネルギー需給見通しによる軽水炉リサイクルの収支

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、原子力をエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源と位置づけ、原子力への依存度は可能な限り低減させる方針の下で確保していく規模を見極めるとし、再処理・プルサーマル、もんじゅの研究計画などの核燃料サイクルの推進を先送りせず着実に進める取り組みとした。

その原子力の規模を、2015年7月に経産省が決定した

長期エネルギー需給見通しでは、2030年において発電電力量ベースで全体の20～22%としている。そこで原子力比率20%に相当する原子力設備容量と燃料需要を計算してみる。2030年の総発電電力量は、それまで平均1.7%/年の経済成長を見込みつつ大幅な省エネルギーを想定して1兆650億kWhとされているので、その20%は2,130億kWh。設備利用率を70%として3,470万kW(100万kW級34基相当)となる。その際の燃料需要、即ち使用済燃料発生量は、現在と同じ核設計(燃焼度45,000MWd/t)が用いられていると仮定して約570t/年で、六ヶ所再処理の定格容量800tU/年より小さいこととなる。

しかし既に国内には17,000tUの使用済燃料が蓄積していることから¹⁰⁾、六ヶ所再処理工場の40年間の操業期間中を通して使用済燃料の発生量が570tU/年であったとしても $17,000 + 570 \times 40 = 39,800 > 32,000 = 800 \times 40$ となる。この簡単な収支計算では、原子力が再稼働して供給比率20%を達成する時期と六ヶ所工場が100%稼働に達する時期との前後関係、許認可上の処理対象燃料の種類等の詳細を考慮していないが、原子力発電規模が現在より3割ほど縮小しても六ヶ所再処理工場が遊んでしまうことは無く、発電所の使用済燃料蓄積との関係もあり全力疾走が必要なことはいささかも変わらない。

また前述の再処理工場が100%稼働した場合のMOX加工量90tHM/年は、取替新燃料需要570t/年より十分に小さく、プルサーマル計画対象炉の詳細は調整が必要だが原子力容量20%で十分に包含できることがわかる。

VI. 核燃料サイクルの将来

六ヶ所再処理工場の稼働により今世紀中頃までは軽水炉の核燃料サイクルが回ることになるが、今世紀後半の姿は如何なるものとなるか。勿論世界では多くの軽水炉が引き続き稼働し、その燃料需給からウラン資源価格を推定することは難しいが、シェールガス・シェールオイル等の非在来型化石燃料資源による火力コストの抑制効果もやがて衰え、原子力の競争力は維持されると考える。かかる状況の下で、ウラン価格が低位に留まれば軽水炉核燃料サイクルを継続すればよいし、一方それが上昇してくれば新たなシナリオの展開に備えることになる。

高速炉は、プラント熱効率が高いこと、燃料増殖により天然ウラン需要が殆ど無くフロントエンドの負担を抑制できること、燃焼度が高いためにフロントエンド・バックエンド共にコストダウンが期待できることなど大きな魅力があり、その結果、全体の核燃料サイクルコス

トは軽水炉の直接処分を下回り、しかもその効果はウラン価格が上がるほど大きくなる。燃焼度が現在の軽水炉と比べ2倍に増えるだけでも核燃料サイクルコストは1.54円/kWh⁵⁾から0.77円/kWhとなり直接処分の場合の1.0円/kWh¹¹⁾を下回る。原子力の総発電原価10.3円/kWh⁵⁾の内およそ半分が原子炉建設費に比例する部分なので、コスト低減効果0.77円/kWhは高速増殖炉の建設費が軽水炉と比べて14%程度高くても同一の発電原価に出来ることを示唆する⁵⁾。高速増殖炉を導入する時代は、ウラン価格が上昇していることを意味するから、直接処分に対する優位性も拡大している筈である。

六ヶ所工場の次に来る商業用第二再処理工場は、その時代に残る軽水炉から継続発生する使用済燃料と、六ヶ所工場では処理されず中間貯蔵されていた使用済ウラン燃料、使用済MOX燃料を再処理してPuを取り出し、高速増殖炉との間でリサイクルを繰り返すものとなる。その時代に軽水炉プルサーマルは使命を終える。

このような理解に基づき、使い捨て方式と比べれば経済性の劣る軽水炉核燃料サイクルに取り組み、将来の高速増殖炉核燃料サイクルの実現に役立つ技術経験の蓄積に努めるのである。

(補足)本稿の計算では幾つかの前提を置いた。これに異論のある読者には計算し直して頂くとしても、概ね結論に相違の無いことがわかる筈である。

－ 参考資料 －

- 1) IPCC, AR5, WG-III, SPM-4, P.10, 2014.
- 2) 原子力委員会 2015年7月21日資料第3号 P.3-4.
- 3) 濃縮プロセスの廃品濃度を0.3%として計算.
- 4) 原子力委員会 技術等検討小委 2011年11月8日資料第2号 P. 6-7.
- 5) 総合資エ調 発電コスト検証WG報告 P.12, 13, 73, 78, 79, 発電コストレビューシート(平成27年5月).
- 6) 原子力規制委員会 平成25年4月10日資料5.
- 7) 原子力委員会 2013年3月26日資料第2-2号 P.5.
- 8) WNA Information Library, Japan's Nuclear Fuel Cycle (Oct. 2015)
- 9) 日本原燃：安全協定に基づく定期報告書(毎月更新).
- 10) 総合資エ調 原子力小委 平成26年9月16日資料3 P.4.
- 11) 原子力委員会 技術等検討小委 平成23年11月10日資料1 - 1 P.7.

著者紹介

田中治邦 (たなか・はるくに)

日本原燃(株)

(専門分野/関心分野)炉心設計, 安全解析, リスク評価, 核燃料サイクル, 経済性評価

今後のエネルギー利用の長期視点 プルトニウム利用の進展 高速炉における利用と国際協力

日本原子力研究開発機構 上出 英樹

今後の核燃料サイクルの推進を図る上で、ナトリウム冷却高速炉は重要な役割を担うものである。すなわち、プルトニウムを介したウラン資源の有効利用と準国産エネルギーとしてのエネルギーセキュリティーへの貢献、高レベル放射性廃棄物低減を含め、高速中性子を利用することで、柔軟なプルトニウムの利用を可能とする。このような高速炉の開発の現状と特に国際協力を活用したその開発促進について述べる。

KEYWORDS: *Fast Reactor, Sodium, Safety Design Criteria, Minor Actinide, Fuel Cycle*

I. 高速炉の特徴とプルトニウム利用

国土が狭く、エネルギー資源の乏しい我が国にとって、長期的なエネルギー安定供給と環境負荷低減の両立を考慮した場合、原子力発電におけるプルトニウム利用(核燃料サイクル)がその有力なオプションとなる。

一方、平成26年末時点で国内外にて管理されている我が国のプルトニウム総量は約47.8トンある。我が国は利用目的のない余剰プルトニウムは持たないことを原則としており、プルトニウム利用の透明性を高めアジア地域における核不拡散上の懸念を払拭するため、国際社会に対しプルトニウム利用計画を示すことは重要である。

「エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)では、原子力発電を「重要なベースロード電源」と位置付けるとともに、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、「使用済燃料を再処理して、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進」が堅持された。また、プルトニウム利用の中核を担う技術として期待されている高速炉については、「米国や仏国等と国際協力を進めつつ、高速炉等の研究開発に取り組む。」とされ、改めてその役割、位置付けが示されたところである。

高速炉は、高速中性子による核分裂反応を利用してエネルギーを取出しながら、核分裂に寄与しない余剰な中性子を利用して天然ウランの大部分を占める核分裂を起こしにくいウラン同位体からプルトニウムを生成し、核燃料を増殖する原子炉である。高速炉を利用し、核燃料のリサイクルシステム(高速炉サイクル)を構築することでエネルギー資源(ウラン資源)の利用効率を飛躍的に高

めることができる。また、高速炉の特長として、核燃料の効率的な燃焼と高い熱効率によって、その重量あたりに取り出せる電気エネルギーを多くすることができる。さらに、使用済み燃料に含まれる半減期の長い放射性物質であるマイナーアクチニド(MA)を効率的に核分裂させることで燃料として利用できる。MAをリサイクルし高速炉サイクル内に閉じ込めることで、高レベル放射性廃棄物の発生量の低減に繋がるほか、潜在的な有害度を低減させることが期待できる。

高速炉サイクル技術はプルトニウム利用を含む核燃料サイクルの確立に欠くことのできない技術である。日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)ではその実用化に向けた研究開発を国際協力も活用しつつ進めている。高速増殖原型炉「もんじゅ」の運営管理について厳しい指摘を受けているところではあるが、「もんじゅ」の使命の重要性は変わることなく、高速炉プラントとしての技術成立性確認や放射性廃棄物低減にかかる技術開発等のために運転再開し、実プラントデータを取得することが高速炉技術を進展させる重要なステップとなる。

II. 高速炉サイクル技術の今

1. 原子炉システム

ナトリウムを冷却材に用いる特徴から、原子力機構では高速炉の実用化に向けて高温構造設計や自然循環、ナトリウム水反応、炉心安全性などその特性を念頭に研究開発を展開してきている。東京電力福島第一原子力発電所での事故以降、「安全性強化」「高レベル放射性廃棄物の減容・有害度低減」を中心に実施している。

この中で高速炉の特徴を考慮した安全設計の考え方を実用炉に向けて国際標準化し、安全性の世界的な向上に寄与する活動を行っている。2030年以降の実用化を目指す第4世代原子炉概念として有望なナトリウム冷却高

Progress of Pu Utilization, Role of Sodium Cooled Fast Reactor and International Collaboration : Hideki Kamide.

(2015年11月12日 受理)

速炉の開発は、フランス、ロシア、インド、中国において維持・加速されている。第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)においては、安全性・信頼性に関わる共通の目標を達成するための国際的協調の必要性が東京電力福島第一原子力発電所事故以前より認識されており、第4世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計クライテリア(SDC)¹⁾が2011~2013年にかけて構築された。構築にあたっては、原子力機構が日本原子力学会の特別専門委員会のもとで国内専門家の意見を集約し、これを反映するとともに、国際的にも主導的役割を果たした。SDCはGIFの安全目標および基本的安全方策を実現するための設計要件を定めたもので、現行世代の軽水炉を主な対象とした国際原子力機関(IAEA)の安全基準SSR-2/1「原子力プラントの安全性：設計」に相当する。SDCでは特に、商用炉としてGIFの高い安全目標である「万一のシビアアクシデントにおいても敷地内事象終息を達成する高い安全性」の実現を目指し、深層防護第4層である設計拡張状態に対する炉心損傷の防止対策および緩和対策の安全設計への取り入れ、従来の動的な安全システムに加えて受動安全・固有安全を原子炉停止系と崩壊熱除去系に積極的に活用、といった特徴がある。SDCはGIFの報告書としてまとめられ、現在、国際原子力機関(IAEA)および高速炉開発国(アメリカ、フランス、中国)の規制機関などによるレビューを反映している段階にある。またSDCを次世代高速炉の実際の設計に具体的に反映させるための「安全設計ガイドライン」の整備²⁾が、原子力機構の主体的な活動成果を受けてGIFにより進められている。

2. 燃料サイクルシステム

高速炉の炉心はエネルギーの高い中性子を主成分とする中性子スペクトルを有しており、これを利用してリサイクルを重ねることにより、軽水炉では燃えにくい高次同位体が増加したプルトニウム(高次化プルトニウム)を燃焼することが可能である。同様に、長寿命放射性核種であるMAを大幅に減少できる可能性を有している。

このような特徴を有する高速炉の炉心と使用済燃料の再処理および再処理により得られるウランやプルトニウム等を原料とする燃料製造を組み合わせた燃料サイクルシステムでは、核燃料をリサイクルして核分裂エネルギーを取り出し利用していく。これには、安全性の確保・向上に加えて以下のような研究開発要素がある。すなわち、再処理に供する使用済燃料は、軽水炉のウラン酸化物燃料の他、軽水炉サイクルのウラン・プルトニウム混合酸化物燃料、高速炉の混合酸化物燃料などが含まれ、使用済燃料の燃焼度の増加やプルトニウム含有率の増加などに対応するため、現状技術の改良や新たな技術が必要である。また、核拡散抵抗性を従来以上に向上する技術、廃液等の発生を抑制する技術なども重要である。

高速炉燃料の製造技術としては、プルトニウム含有率が高いことやアルファ崩壊核種が多い高次化プルトニウムの崩壊熱の大きさなどに対応する技術が必要である。

また、MAをリサイクルして燃焼する技術については、その実現性を見通すための研究開発も注目されている。原子力機構では、これらに関する独自の技術の研究開発や国際協力の利用による研究開発を進めている。以下に、試験研究を中心に内容を述べるが、これらに並行して、それぞれについて解析的研究や基礎過程・挙動のモデル化に関する研究開発も進めているところである。

再処理技術については、核拡散抵抗性の向上にも寄与するウラン・プルトニウム共抽出技術や処理機器のコンパクト化と処理時間の短縮等が期待できる遠心抽出器を適用する技術などが主要な研究開発テーマである。ウラン・プルトニウム共抽出技術では、新たな技術であるコプロセッシング法の開発を進めており、幅広いプルトニウム含有率に対応できることを確認しつつある。また、遠心抽出器を用いたウラン・プルトニウムの抽出技術についても基礎データの取得を進めており、実際の適用に向けた本格的な高度化技術開発の着手に備えている。

燃料製造については、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料を「常陽」や「もんじゅ」の運転用燃料として製造する実績を重ね量産技術を開発し実証してきている。現在は従来の原料粉の混合工程を簡略化する、発熱量の多い原料にも対応できるといった高度化をねらった簡素化ペレット法の技術開発など³⁾を進めている。

MAのリサイクルにより高レベル放射性廃棄物の低減等を実現していく技術については、その見通しを得るための研究開発を進めている。これは、再処理プロセスの高レベル廃液に含まれるMAを分離・回収する技術、MAを含む酸化物燃料のペレットを効率よく製造する技術などに関する研究開発や、その燃料の燃焼中のふるまいや安全性を評価するための燃料物性研究・照射挙動モデル開発などである。また、今後再開する照射試験等について準備を進めている。

さらに、これらの個別技術の研究開発に加えて、実際の使用済燃料に含まれるMAを1グラム以上回収して燃料に加工し高速炉である「常陽」での照射により燃焼させる世界で初めての小規模リサイクル実証試験⁴⁾を進めている。「常陽」での照射後は、さらにそれを再処理・MA分離に供していく計画である。この試験では、単なる実証だけではなく、一連のリサイクル試験を行うことでMA分離から燃料製造に受け渡される原料の特徴と燃料製造上の適合性や製造した燃料の照射特性などについて整合性をもった知見が得られるものと期待している。

Ⅲ. 国際協力による開発促進

2014年4月に定められたエネルギー基本計画では、「廃棄物減容化・有害度低減のための、高速炉等を用いた技術開発の国際的ネットワークを活用した推進」、燃料サイクルに関し、「米国や仏国等と国際協力を進めつつ高速炉等の研究開発に取り組むこと」、「もんじゅは、廃棄物減容・有害度低減技術等の向上のための国際的研究拠点との位置付け」などが謳われている。このような点に鑑み、機構では次の取り組みを行っている。

二国間協力として、仏国との間では仏国の第4世代ナトリウム冷却高速炉 ASTRID に関する設計、研究開発にかかる協力を実施している。これには我が国から、原子力機構の他、三菱重工株式会社、三菱 FBR システムズ株式会社が実施機関として参加しており、2014年8月に開始した。この中で、研究開発として原子炉技術、炉心での過酷事故に関する解析コード開発および共同評価などの安全性、燃料等に関する協力を進めている。また、日仏相互の優位な技術を生かした設計協力として、第4世代ナトリウム冷却高速炉の安全性向上のための、崩壊熱除去系、原子炉停止系および免震システムの設計を実施している。さらに、「もんじゅ」、「常陽」、原子力機構のナトリウム試験施設等を用いて将来実施可能な試験について、これらの施設運転計画に基づいて共同で計画を立案する予定である。

仏国政府は、ASTRID を使用済燃料のリサイクルおよび、高レベル放射性廃棄物の減容・有害度技術の実証にも活用する計画であり、日本においても本協力が高度な安全性を備え、廃棄物減容・有害度低減に資するナトリウム冷却高速炉の実証技術の確立につながるものと考えられる。

2016年からは仏国の ASTRID 炉開発が基本設計に移行する予定であり、我が国の取組みはナトリウム冷却高速炉技術の開発・実証技術の確立の面ですます重要となる。

米国との間では、2012年7月に設置された民生用原子力エネルギーの研究開発ワーキンググループの下で、高速炉および燃料サイクルの技術基盤高度化を目指した協力として、原子炉に用いる先進材料や、プラントシミュレーション技術等についての研究協力を行っている。

その他、カザフスタン共和国との間で同国国立原子力センターの試験用高性能原子炉(IGR)等の実験施設を利用して、高速炉の炉心崩壊事故時の燃料の振る舞い等、炉心の安全性に係る共同研究を実施しており、第4世代炉の安全技術の向上に資することが期待される。

多国間の国際的な枠組みとして GIF が組織されているが、我が国は、前述のように日本の技術をベースにした安全設計クライテリア(SDC)の取りまとめを主導するとともに、より具体的な安全設計ガイドライン(SDG)

の構築を進め、国際標準化をリードしている。また、日仏米間で「もんじゅ」、「常陽」を用いたアクチニドリサイクル国際実証を進めるとともに、シビアアクシデントが生じて炉心を安全に冷却できることを確認するため、ナトリウム施設を利用した試験の計画も検討している。

また、IAEA の革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト(INPRO)に参画し新興国も含め、持続可能な原子力システム実現に向けて国際貢献を果たしている。

今後は、仏米との協力の一層の推進に加え、高速炉開発の主要国の一つであるロシアとの協力も模索していく必要がある。

Ⅳ. まとめ

高速中性子を利用するナトリウム冷却高速炉は、プルトニウムを介してウラン資源の有効活用に高いポテンシャルを有する。すなわち、高次化したプルトニウムの利用から増殖まで幅広いレンジで、核燃料サイクルの発展の段階に応じて使い分けることが可能であるとともに、MA の効率的燃焼を含む高レベル放射性廃棄物の低減にも大きく寄与することができる。

これを実現するための課題は明確であり、その解決に向けた技術開発は着実に進展している。炉においては実用化段階炉の安全設計が具体化できるレベルにある。実用化に向けて、国際協力による開発の促進が重要であり、仏国との ASTRID 協力を始めとして設計、開発能力を高めるとともに、「もんじゅ」、「常陽」、その他の施設を用いた国内の試験研究を含む高速炉システムの物作りと評価能力、プラント運用能力の向上を図っていく必要がある。

－ 参考資料 －

- 1) R. Nakai and T. Sofu, Safety Design Criteria for Generation IV Sodium-cooled Fast Reactor System, Proc. GIF Symposium, San Diego, CA, 12-15 Nov. (2012), pp.35-43.
- 2) 久保重信, 「第4世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計ガイドラインの構築」, 日本原子力学会誌, vol.57, No.10(2015).
- 3) S. Takeda, Predominant Achievements of Fuel Cycle Technology Development in the FaCT Project, GLOBAL2011, Makuhari, Japan (2011).
- 4) H. Nakamura, SmART Cycle Concept: Irradiation test program of MA-bearing MOX fuel fabricated by using recovered MA from spent fuel, OECD/NEA 13th IEMPT, Seoul, Korea (2014).

著者紹介

上出英樹 (かみで・ひでき)

日本原子力研究開発機構

次世代高速炉サイクル研究開発センター長

(専門分野/関心分野)原子炉熱流動, 高速炉サイクル

今後のエネルギー利用の長期視点 持続可能な原子力を求めて —福島に統合型高速炉を—

笹川平和財団 理事長 田中 伸男

原子力に対する国民の信頼を回復するためにはエネルギー安全保障、経済性、地球環境対策での利点だけでなく受動的安全性、廃棄物処理、核不拡散という条件を満たす必要がある。福島に統合型高速炉 IFR と乾式再処理施設(Pyroprocessing)を建設しデブリ処理をすることが持続可能な原子力の可能性を国民に示すことになるのではないかな。

KEYWORDS: Nuclear, Integral Fast Reactor, IFR, Pyroprocessing, Fukushima accident, Nuclear Waste, proliferation

I. 失われた信頼をどう取り戻すのか

東京電力福島第一原子力発電所の事故から四年半が経った。2015年11月初め現在で稼働している原子炉は九州電力川内発電所一号及び二号炉の二基のみであり、政府や電力業界挙げての国民に対する説明にもかかわらず、多くの世論調査では回答者の半数近くが再稼働に反対している。その理由は原子炉の安全性への懸念であることは想像に難くない。世界一厳しいと言われる安全基準を策定し、一年以上の時間をかけて慎重の上にも慎重な原子力規制庁の審査を経ても国民は納得していないようだ。これは国民が求めるものが「安心」であって「安全」だけではないからではないのか。

1. 安全と安心

政治家が原子力のみならず国民生活へのリスクを選挙民に説明するのに使うキーワードが「皆さまの安全と安心」である。安全には国際的専門家によって科学的、客観的、合理的に定められているリスクレベルの指標がある。しかし絶対的安全はない以上すべての対策を講じた上でも残るリスクは合理的範囲内で許容されなければならない。しかしここで安心もと言うと簡単ではない。多くの国民は絶対の安心を求めて、安全基準は厳しければ厳しいほど良いと考えるからである。安心とは心の安寧であって感情的、情緒的なものである。これを高めるために安全基準を厳しくしたのでは無駄なコストをかけ世界の常識を覆すことにもなりかねない。私はむしろ違った手段で安心を高めるべきだと考える。例えば福島第一事故が起こるまで日本が怠っていたものに重大事故への対処がある。つまり考えられないことを考えること、更にこれを最新の知見で常に見直していくことが重要であ

What is the sustainable nuclear power? Integral fast reactor for the spent fuel debris solution at the Fukushima Daiichi NPP:
Nobuo Tanaka.

(2015年10月29日 受理)

る。しかしながら、この見直しを怠ったのが事故の原因だと国際原子力機関は断じている。緊急事態のための専門家集団の組織化もその一つである。米国には連邦緊急事態管理庁(FEMA)と呼ばれる組織があり常に四千人の職員とそれと等しい数の予備役の職員が緊急事態に備えている。専門家集団によるコントロールがなかったことが福島第一事故拡大の一因であるが、四年経った今もその組織はできていない。これでは国民は安心できないのではないかな。東京電力の経営者、オペレーターが信頼できないという新潟県民もいるだろう。それなら柏崎刈羽原子力発電所は他社に売却するとか、東電本社を柏崎刈羽原発内に移すことだって地元民の安心を得ることになる。これらの措置では必ずしも安全は高まらないが安心は高まるのである。

2. 受動的安全性

新型原子炉の中には人間の手を介さなくとも非常事態に安全に停止する機能を持つものがある。これが受動的安全性だ。軽水炉でも第3世代プラス炉と言われるものは電動ポンプでなく重力で冷却水を送り込んだり、炉心燃料が溶融しても「受け皿」を用意して原子炉容器の損傷を食い止める設計がある。AP1000、欧州が進めるEPR、小型モジュラー型軽水炉のSMRなどがそれである。ロバート・ストーン監督の映画「パンドラの約束」に出てくる統合型高速炉IFRもその一つである。1986年に米国アイダホのアルゴンヌ国立研究所にある実験増殖炉EBR2で行われたのは正に福島第一事故と同じ全電源喪失実験だった。操作員が稼働中の原子炉の電源を切ると炉内温度は上昇する。皆が息を飲んで見守る中で温度は計算された通り下がり始め間もなく自動停止した。この原子炉が福島にあればあの事故は防げたはずだ。ボイド係数やら金属燃料ウランとナトリウムの熱伝導率を使ってどうして安全に停止するかを科学的に説明することはできるが、こんな実験をして見せることのほうが国民をもっと安心させることにつながると思うが、どうだろう。

Ⅱ. 核のゴミ問題

原子力についての国民の不安は安全問題だけではない。軽水炉から出る使用済み燃料は現在世界で約 35 万トンあるがこれが 2040 年には倍増する。この処分は例え原子力利用を止めてもやる必要がある。そのまま捨てるか(直接処分)再処理してプルトニウムは高速炉や MOX 燃料として軽水炉で燃やし、残るゴミが高レベル廃棄物として処理されなければならない。ガラス固化体として安定的な地下深くに 10 万年に亘って処分する(地層処分)地点を探している。このような場所が簡単には見つからないのではないかと、10 万年もの長い間、放射能が環境に影響を及ぼさないことを保証できないのではないかと、というのが原子力利用に反対する論拠になっている。

1. 福島第一原子力発電所の燃料デブリ処理

福島第一の事故で溶けた燃料デブリも取り出す技術の研究が進んでいるが、取り出してから他県に運び出すことは政治的に困難だろう。県内で処理する必要がある。ゴミ処理のオプションとして有望なのが米国アルゴンヌ国立研究所で開発された乾式再処理(Pyroprocessing)である。この技術は統合型高速炉の一環として開発された。この炉の使用済み燃料にはウラニウム、プルトニウム、マイナーアクチニド(MA)とジルコニウムが含まれるが、再度燃料として燃やせるウラニウム、プルトニウム、MAなどを電気分解で取り出して高速炉で燃すことで放射性廃棄物の有害度を天然ウラン並みに落とすのに必要な期間が、軽水炉の使用済み燃料では 10 万年程度要するものを、300 年程度に短縮するとともにゴミの量も減らすことができる。このシステムは使用済み燃料を塩化物にしてバッチ処理で燃える成分を分離するのだが、福島第一のデブリもほぼ同じ成分からなると考えられること、デブリを徐々にためて処理することになるので六ヶ所再処理施設で採用されている硝酸で溶かす化学プラント方式よりは電解バッチ処理に馴染むと考えられる。今は取り出す技術開発に集中しているが取り出した後のことも考えておくべきだろう。

2. ゴミ焼却炉としての高速炉

もんじゅ日本の原子力界が総力をあげて開発してきた高速増殖原型炉である。軽水炉は天然ウランの 1 パーセント前後しか利用できないが再処理してプルトニウムを燃やせば約 100 倍のエネルギー源が得られる。原子力利用の究極の姿でありエネルギー自立を目指すシンボルだった。しかしナトリウム漏えい事故が技術的問題というよりビデオ隠しで事件化したことや、最近ではプラント保全管理に関する問題等で長期停止中である。もんじゅは原型炉であり、ナトリウム冷却炉としてのプラント運営管理のためにいろいろ失敗することによって学ぶための原子炉である。失敗はない方が良いが色々な失敗

を積み重ねることで安全性は進歩するのであって、今後もんじゅが再稼働しても失敗をすることは当然と考えるべきだ。国民の安心を高めるためにはどんな経験から学べるのかできる限り前もって説明しておくべきだろう。高速増殖炉はウラニウムとプルトニウムの高度利用という経済性とほぼ自立的資源であることでエネルギー安全保障にとって極めて重要だ。また二酸化炭素を出さないことで地球温暖化の切り札になりうる。しかしこれだけではない。うまく使えば核のゴミの焼却炉として利用できるのだ。増殖炉として機能させるには燃料の周辺部に劣化ウラン U238 を並べておけば(ブランケット)中性子を吸収して Pu239 に変わり増殖する。これをしないで Pu や MA を燃やすだけならプルトニウム焼却炉となる。電気は副産物として出てくるが、あくまで目的は核のゴミ処理だ。これが統合型高速炉(IFR)の目指すところである。それを福島第二発電所に作れないかというのが私の提案である。

Ⅲ. 持続可能な原子力を目指して

東京電力福島第二発電所は事故を起した第一発電所から南へ 10 キロ行ったところにあり、あの千年に一度の地震と津波に耐え抜いた、言ってみれば日本で最も安全であることを実証した発電所である。しかし福島県民はそれでも安心できず廃炉にするよう要望していると聞く。私は廃炉にするくらいならそこで福島第一の燃料デブリから出る核のゴミ焼却炉の実証実験を行うべきだと思う。

1. 統合型高速炉のその他の技術特性:核不拡散性など

受動的安全性と核のゴミの減容化はすでに触れたが、IFRにはそれ以外にも優れた特徴がある。乾式再処理施設と高速炉が一体化して一つの施設の中にあるためプルトニウムを施設外に出して輸送する必要がなく核テロの対象になりにくいこと。プルトニウムと放射能が非常に強い MA が同時に分離されるため爆弾用の純粋なプルトニウム抽出が技術的に難しいこと。また燃料は使用済み燃料から得られるプルトニウムや MA、さらに劣化ウランなので軽水炉や高温ガス炉のようにウランの濃縮技術が不要なこと。これらは統合型高速炉の核不拡散性を軽水炉の体系より一段と高めている。「パンドラの約束」にも出てくるが、軽水炉は元来原子力潜水艦の動力源として選択され、ウラン濃縮と純粋プルトニウムの分離技術という核爆弾製造技術を伴う核拡散性の強い技術体系である。米国ではリッコーパー提督の努力が原子力潜水艦隊を作り、乗組員を安全管理に厳しく育てることで安全な軽水炉技術運用を可能にした。これが原潜技術のスピンアウトとしての商業原子炉の成功を招き、逆に原子力の本命であった高速炉開発をクラウディングアウト(Crowding out)したと言うのが「パンドラの約束」の最

大のメッセージである。

2. 日本の核燃料サイクルを補完する技術

IFRを福島第二に建設しデブリ処理が可能になり高レベル廃棄物の貯蔵廃棄に道が開ければ、事故で毀損していない使用済み燃料処理も可能はずだ。十万年にわたって放射性廃棄物を地層処分する方策の他に、放射能の持続時間を短縮できる方策についても、開発を進めていくべきと考える。また現在の六ヶ所村の再処理施設は早期に稼働すべきだが、そもそも今後出てくる軽水炉の使用済み燃料を全て処理する能力はなく、再処理したプルトニウムをMOX燃料として軽水炉で燃やした使用済みMOX燃料を再処理することもできない以上、新たな再処理施設をどこかに作る必要がある。福島にできることは他の原発サイトにおいても可能はずである。年季の来た軽水炉は今後徐々に廃炉にし、高速炉に置き換えていくことが核のゴミの廃絶とエネルギーセキュリティーを確保する体制を作ることになるのではないかと。その際、IFRに置き換えていくことが再生可能エネルギーを補完する分散型電力供給体制を作る意味では有効ではないか。また六ヶ所村の再処理施設でできる高レベル廃液から高放射性のMAを抽出しIFRで燃やせば最後のゴミは十万年ではなく約三百年のゴミにできる。そうなれば処分地探しはずっと楽になるのではないかと。乾式再処理はこんな形で現在のシステムを補完することができる。

3. 2018年の日米原子力協定改定と国際協力

1988年に締結された日米原子力協定はまもなく三十年の期限を迎える。日米のいずれかが破棄の意思を示さない限り現行の協定が続くことになる。これを自動延長と呼ぶものがあるが日本がそのつもりはなくとも米国が日本でのプルトニウム貯蔵を問題視すればいつでも協定の停止ができることになり日本にとっては頭の上にダモクレスの剣がブラブラしているようなものだ。協定をさらに三十年間延長して日本は再処理の権利を引き続き確保すべきであるし、そのために福島でのIFR実証計画が役に立つ。実はIFR建設に最も熱心な国が韓国である。米韓原子力協定改定の目玉が乾式再処理技術研究の解禁であり、すでに米韓はアルゴンヌ国立研究所で共同研究

に入っている。福島での実証実験は技術保有国の米国とともに韓国との三国間協力で行うことが望ましい。ギクシャクする日韓関係改善の糸口にもなりうる。またIFRは核不拡散型の技術体系でありこの実証実験がアジアにおける原子力平和利用のモデルともなりうる。

IV. 結び

アルゴンヌ国立研究所で統合型高速炉と乾式再処理を研究してきたユン・チャン教授はこの技術はパイロットプラントレベルでは十分確立しておりあとは商業的なサイズで実証するだけだという。商業版IFRはS-PRISM炉としてGE日立がデザインしたが建てる事業者がいれば五年間で建設できると開発に当たったエリック・ローエン氏は言う。日本も父ブッシュ政権末期に電力中央研究所が中心になってアルゴンヌ国立研究所と共同研究した実績がある。

笹川平和財団では福島第二発電所での実証実験にはどのくらいの費用と時間がかかり、どんな技術課題をクリアする必要があるのかという技術検討を開始した。永井隆氏が長崎での被曝の直後に言われたように、禍を転じて福となすにはどうすべきなのか、平和を目指す財団としてその答え探しを是非やり遂げたい。

— 参考資料 —

- 1) Charles E. Till and Yoon I. Chang, *Plentiful Energy: The Story of the Integral Fast Reactor*, 2011, ISBN: 978-1466384606.
- 2) 小山, 尾形, 変化する将来に柔軟に対応するサイクルオプション, 乾式リサイクル技術と金属燃料FBR, 日本原子力学会誌, Vol.52 No.7, 2010年.
- 3) 田中, インテグラルファーストリアクター(統合型高速炉IFR)の物語, 日本原子力学会誌, Vol.55 No.4, 2013年.
- 4) 田中, 座談会 プルトニウム利用計画の明示を, 日本原子力学会誌, Vol.57 No.9, 2015年.

著者紹介

田中伸男 (たなかのぶお)

笹川平和財団理事長, 国際エネルギー機関前事務局長
(専門分野/関心分野)エネルギー安全保障



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

規制委員会、「もんじゅ」保守管理不備で文科相に勧告

原子力規制委員会は11月13日、日本原子力研究開発機構「もんじゅ」の保守管理不備に関し、所管官庁の文部科学省に対して半年を目途に(1)原子力機構に代わって「もんじゅ」の出力運転を安全に行う能力を有する者を具体的に特定する、(2)それが困難であれば「もんじゅ」が有する安全上のリスクを明確に減少させるようあり方を抜本的に見直す一ことについて報告するよう勧告した。規制委員会が勧告を出すのは2012年の同委発足以来、これが初めて。

勧告文書では1995年のナトリウム漏えい事故以降、原子力機構の前身である旧動燃事業団、旧核燃料サイクル開発機構による対策や、監督官庁である旧科学技術庁、旧原子力安全・保安院による指導が再三行われてき

たが、具体的な成果が上がることなく推移してきたと指摘。規制委員会発足後も保守管理不備に係る問題が相次いで発覚したため原子力機構にはその都度の措置を、さらに文科省には適切な監督を行うよう2度にわたり要請したものの、現在まで十分な改善は見られていないとしている。

それらを踏まえ「もんじゅ」については、商業炉レベルの出力規模をもつとともに高速増殖炉固有のリスクがあるとして、原子力機構にはそれに相応しい安全確保能力を持つとは考えられないと評価。所管官庁である文科省に対し、原子力機構に代わる運営主体を特定するよう勧告している。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

原電、敦賀2号機の適合性審査を申請

日本原子力発電は11月5日、敦賀発電所2号機の新規制基準への適合性確認審査に関する原子炉設置変更許可と保安規定変更認可の申請を原子力規制委員会に提出した。これにより2013年7月の新規制基準施行以降、既に設置変更許可に至っている関西電力高浜3、4号機、四国電力伊方3号機、稼働している九州電力川内1、2号機も含めて、規制委員会に適合性審査が申請されたプラントは計11社26基となった。原電では、東海第二発電所に関する申請が2014年5月に行われている。

敦賀2号機については規制委員会の敷地内破砕帯に関する有識者会合が2013年5月、2015年3月と、途中に原電による追加調査報告書提出を受けての再検討を挟んで、「原子炉建屋直下に活断層が存在する」ことを旨とする評価書を取りまとめ、同委では評価結果を「重

要な知見の1つとして審査の参考とする」こととしている。

原電では再三にわたって規制委員会に対し、敷地内破砕帯に関する評価の進め方や科学的・技術的な内容について問題点を指摘し反論。今回の申請に際しては2015年3月の評価書取りまとめ以降、9月まで継続的にデータ拡充してきた調査結果に基づいて、敷地に分布する破砕帯は「将来活動する可能性のある断層等ではない」ことを確認し、提出書類に反映したとしている。

また、可搬型の重大事故対処設備については、地震、津波、その他の自然現象やテロの影響なども考慮し、常設の重大事故対処設備とは異なるトンネル内に保管することが特徴となっている。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

IAEA、年次報告で「温暖化対策に原子力は大きく貢献」

国際原子力機関(IAEA)は10月20日、「気候変動と原子力発電」と題する年次報告書の2015年版を公表し、現代の最大の環境問題である気候変動に対し、原子力発電が大きく貢献しているという事実を訴えた。IAEAは、原子力は主要な低炭素電源の1つとして今日利用可能な

エネルギー源であり、多くの国が「信頼性できるエネルギーの供給保証と温室効果ガスの排出削減という双子の課題解決の一助になる」と記述している。2020年以降の気候変動・温暖化対策の大枠を決める国連気候変動枠組条約・締約国会議(COP)がパリで開催されるのを6週間後に控え、温暖化防止で原子力が潜在的に果たし得る役割と、その他の経済やエネルギー、環境問題に対する貢献について包括的にレビューし、こうした事実が正しく認識されることを狙った。原子力に内在する安全性の問題や放射性廃棄物処分、核拡散といったリスクについても検証している。

報告書はまず原子力の利点について、安定した燃料価格を挙げた。化石燃料は近年価格が大幅に下落したものの、将来再び高いレベルに戻る恐れがあるのに加え、産出国における政情不安など供給セキュリティ上の問題がある。一方、原子燃料となるウラン資源は世界中の信頼できる供給源から安定価格で入手可能であるほか、原子力発電所は大気汚染物質を出さないため、化石燃料を原子力で代替することには環境上、大きな利点があるとした。さらに原子力には経済的な競争力もあり、化石燃料の炭素コストを30ドル/トン、割引率を3%とした場合の「耐用期間中の均等化発電コスト(LCOE)」は26~64ドル/MWhで、石炭火力の65~95ドル/MWhやガス火力の61~133ドル/MWhより安いとする調査結果に言及した。

一方、原子力発電における大きな課題である巨額の建設費に関して報告書は、政府による安定した政策や適正な規制体制、適切なリスク配分プログラムの下では、資金調達が可能になるとの見解を表明。福島第一原子力発電所事故を契機に懸念が噴出した安全性についても、IAEAが策定した原子力安全行動計画の実行を加盟各国が誓約しており、同事故の教訓すべてを考慮した改善策の継続で団結していると指摘した。同報告書はまた、放射線リスクや放射性廃棄物管理、核拡散に対する懸念が今なお存在し、国民受容に影響を及ぼしている現実を認識。その上で、通常運転時の原子力発電所による放射線リスクは自然放射線等と区別出来ないレベルの低さであること、IAEAその他の国際機関や事業者の一致した努力により原子力発電所が産業部門で最も安全な設備となっていること、地質学その他の科学的根拠に基づき廃棄物を安全に処分できる最初の処分場が10年以内に操業開始予定であることなどを明らかにした。

さらに同報告書は世界の原子力発電設備容量が将来的に、福島第一事故後も緩やかにではあるが増加傾向にあるとしており、2030年までに高ケースで6億3,200万kW、2050年までに9億6,400万kWに増加すると予測。原子力発電の開発意欲が今後も衰えない主な理由は

変わっていないとして、原子力の持つ利点を改めて強調した。原子力を各国のエネルギー・ミックスに含めようとする最大の理由の一つは温暖化の抑制であるが、同報告書としてはそうした課題の解決に原子力をいつどこで、どれだけ、どのように役立てるかは、各国における条件や国としての優先事項、国連気候変動枠組条約で締結される新たな目標枠組などによって決まると指摘。原子力を導入・利用・拡大する、あるいは原子力から撤退するにしても、最終判断を下すのは各国の考え次第であるとの認識を表明している。

ボリビア、ロシアと原子力の平和利用分野で協力覚書

ロシアの国営原子力総合企業ロスアトム社は10月8日、原子力の平和利用分野におけるボリビアとの協力覚書に調印したと発表した。現時点で原子力発電所が存在しないボリビアで、将来的にロシア製原子力発電所を建設することも視野に入れた包括的な協力内容。そのため枠組となる政府間原子力協力協定を策定・調印する可能性についても、協議していくことで両国が合意したと明言している。

同覚書への調印はロスアトム社のS. キリエンコ総裁と、ボリビア炭化水素・エネルギー省のL. サンチェス大臣が行った。協力分野は多岐にわたり、放射性同位元素と放射線技術の利用、および工業・医療・農業などへの応用、関連人材の教育訓練、ボリビアの原子力計画における管理・規制インフラの開発支援、研究炉やサイクロトロン、ガンマ線照射施設、研究所複合施設といったインフラを有する原子力科学技術センターの建設可能性協議、原子力と放射線安全、ロシア製原子力発電所の建設可能性コンサル、原子力発電プロジェクトの国民受容対策プログラム策定一など。

これらの協力分野について、覚書ではさらに詳細を詰めることも示唆しており、そのための公認担当者も両国は近く決定。双方にとってメリットのある具体的なプロジェクトを策定していくとしている。

サウジ、ハンガリーと原子力平和利用協力協定を締結

サウジアラビアの原子力発電導入計画担当機関である「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市(KACARE)」は10月19日、首都リヤドでハンガリーとの2国間原子力平和利用協力協定に調印したと発表した。今後20年間で1,200万~1,800万kWの原子力発電設備建設を目指す同国は、既にフランス、韓国、中国、

アルゼンチン、ロシア、フィンランドと同様の協定を締結済み。原子力企業への投資や国際的な戦略パートナーシップの構築などで下準備を行い、門戸を広く開放するために、今後もその他の国々と原子力協定を締結していくとしている。

ハンガリーとの協定では、両国が協力関係を結ぶ様々な分野を特定。具体的には商業炉と研究炉の設計・建設・運転、原子力の安全・セキュリティ、緊急時の計画と対応、放射性廃棄物管理、医療・工業・農業分野への原子力技術の応用、人材育成一となっている。サウジではハンガリーを先進的な技術産業を備えた国の1つと評価。同国との協力は、再生可能エネルギーと原子力を含む多様で持続力のあるエネルギー・ミックスの実現に向けたサウジの努力を一層加速するほか、関連技術の移転や原子力発電所における良い慣行の共有の促進でも大いに役立つとの認識を明らかにした。ハンガリーでは現在、唯一の原子力発電設備であるパクシュ発電所の4基(各50万kW、ロシア型PWR)が1980年代から稼働中。2014年以降、これらの運転期間を順次20年延長する手続を進める一方、ロシアの低金利融資により5、6号機(各出力120万kW、ロシア型PWR)を建設する計画も進めている。

英 EDF エナジー社、ヒンクリーポイントへの投資で中国 CGN と合意

英国サマセット州でヒンクリーポイント C 原子力発電所(HPC)建設計画を進めている EDF エナジー社は10月21日、英国と中国の両政府が2013年に交わした了解書に基づき、同計画に共同で投資を行う戦略的投資協定の締結で中国広核集団有限公司(CGN)と合意したと発表した。総工費180億ポンド(約3兆3,000億円)の同計画に対して、CGNは33.5%にあたる60億ポンド(約1兆1,000億円)の投資を約束したほか、EDF エナジー社がサフォーク州で検討中のサイズウェル C 原子力発電所計画には20%を出資する。また、エセックス州のブラッドウェル B 原子力発電所計画では、中国が独自ブランドの輸出用第3世代設計と位置付ける100万kW級PWRの「華龍1号」を採用し、2016年にも英国における包括的設計審査(GDA)を申請する見通しになった。同計画で中国は主導的役割を担う予定で、対欧米では初となる同計画の輸出実績を足がかりに原子力輸出を拡大していく考えとみられている。

英中が民生用原子力分野における長期的な連携協力の実施で合意したのは2013年10月のこと。翌2014年6月には、同分野での協力強化で両国政府は協定を結んでおり、この中でHPC計画に対する中国企業の3~4割の

出資、および将来的に中国製原子炉を英国の新設計画に導入することを盛り込んでいた。このような経緯に基づき、今回の投資協定は中国の習近平国家主席が英国ロンドンでD. キャメロン首相と会談したのを機に調印されており、仏アレバ社製の160万kW級欧州加圧水型炉(EPR)を2基建設するHPC計画にEDF エナジー社とCGNはそれぞれ、66.5%と33.5%出資することで合意した。EDF エナジー社としては少なくとも50%の出資比率を維持した上で、その他の投資家の参加も募るのに対し、CGN側では英国で投資を行うための新会社「ジェネラル・ニュークリア・インターナショナル(GNI)」を設立するとしている。両社はまた、サイズウェル C とブラッドウェル B 両計画の共同開発を視野に入れた幅広い連携に関する契約前文書に合意。HPC計画を今後さらに前進させるには、この契約前文書に基づく詳細文書を最終決定するほか、EDF エナジー社の資金調達計画の最終決定、EDF エナジー社とCGN両社の取締役会における承認一など、最終投資決定に向けた条件を整える必要がある。

米 WH 社、英国政府に SMR の共同開発を提案

東芝傘下のウェスチングハウス(WH)社は10月20日、英国政府に対して小型モジュール炉(SMR)の共同開発を提案したと発表した。英国政府がSMRの潜在的な可能性に関して近年開始した「第2段階調査」を補完することを意図しており、この共同開発を通じて、英国は世界の原子力市場において買い手の立場から、最新原子力技術の提供者となることのできるとの展望を示した。同社製の大型炉設計であるAP1000については現在、英国ムーアサイドで3基を建設する計画が進展中。一方SMR関連では、米国のニュースケール社が今月5日、独自開発中の設計で英国の原子力市場に参入する計画を明らかにしたことから、WH社も原子力市場の見通しが米国より明るい英国で、事業チャンスの一層の拡大を狙う考えと見られている。

WH社は今回の「一方的な」提案について、同社が開発中のSMR概念設計に基づく「共有の設計・開発モデル」になると説明した。英国政府および産業界との連携を通じて同設計の開発と認可手続を完了する計画で、AP1000設計の革新的技術を活用した、安全でクリーンな原子力の新オプションを創造することになると強調している。J. ベンジャミン上級副社長によると同提案は、約60年前の原子力発電黎明期にコールダーホール発電所を開発した英国を、SMR開発の最先端に押し出すことのできる戦略。英国産業界が全面的に関与すること

と、雇用創出につながる新規の製造活動を促進するよう意図しているため、原子力技術革新における同国の地位を向上させるとともに大きな経済チャンスが生まれ出されると明言した。

WH社のSMRは電気出力22.5万kWの一体型PWRで、すべての1次系機器を圧力容器内に収納。技術が確証済みの機器や受動的な安全系に加えて、モジュール工法など大型のAP1000で認可された技術を採用した。米国では標準設計の1つに認定されるための審査を受ける予定になっており、これに先立ち実施する安全試験プログラムについては、2015年3月に米原子力規制委員会(NRC)から承認を得ている。一方、英国政府との連携においてWH社は相当量の試験・分析を実施する計画で、それによりSMRの技術開発を成功に導く、明確で信頼性のある道筋をつけられるとの認識だ。

仏アレバ社、中国核工業集团公司と連携で覚書

フランスのアレバ社は11月2日、少数の同社株購入可能性を含めた連携協力で中国核工業集团公司(CNNC)と覚書を締結したと発表した。財政難に陥った同社は7月末、同社の原子力サービス・機器部門である「アレバNP社」の株式、少なくとも51%をフランス電力(EDF)に売却し、自らは最大25%保有の少数株主となることでEDFと合意。EDFでは残りのアレバNP社株を購入する可能性のある企業を模索している。しかし今回、資本関連以外でアレバ社とCNNCが協力合意した事業は、ウラン採掘、燃料サイクルのフロント・エンド、使用済み燃料リサイクル、事業ロジスティクス、廃止措置などで、EDFが買収予定の原子炉事業は除外。燃料サイクル事業もEDFの買収とは直接関係しないとしている。

今回の覚書は、6月末に両者が中国における使用済み燃料の再処理・リサイクル施設建設プロジェクトや燃料サイクル全般に関して合意した協力枠組に基づくもの。調印は中国の習近平国家主席とフランスのF.オランド大統領立ち合いの下、CNNCの銭智民総経理とアレバ社取締役会のP.バラン会長が北京で行った。

アレバ社の経営再建については、三菱重工業がアレバNP社への出資を前向きに検討しており、アレバ社およびEDFと協議中。三菱重工業は、トルコへの輸出が決定した第3世代プラスのPWR「ATMEA1」をアレバ社との合弁企業「ATMEA社」で共同開発するなど、アレバ社とはすでに緊密な協力関係にあるが、同社の宮永俊一社長は10月30日の決算説明会で、「欧州委員会の承認が得られれば、2016年1～2月にかけて基本的な合意に達

したい」と述べた模様。アレバ社本体への出資についても、前向きな姿勢を示したと伝えられている。

アルゼンチン、国内4基目と5基目の原子炉建設で中国と交渉合意

アルゼンチン計画投資省は10月31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号機の建設計画について、使用技術と商業契約に関する中国核工業集团公司(CNNC)との交渉が完了したと発表した。出力約80万kWの加圧重水炉(PHWR)を1基建設するための契約条件で合意したもので、両者は近く正式調印することになる。計画投資省はまた、アルゼンチン5基目の原子炉として、同国初の大型軽水炉を導入する協力枠組の協定文言でCNNCと合意に達し、仮調印したことを明らかにしている。

同国ではアトーチャとエンバルセの両原子力発電所でPHWRがそれぞれ2基と1基稼働中だが、近年はこれらのPHWR路線と並行して軽水炉の導入を検討中。出力2.5万kWの小型PWR原型炉を独自開発する一方、商業規模の軽水炉については、ロシアが提案したロシア型PWR(VVER)を4基目に採用することも検討していた。しかし、アルゼンチン政府は最終的に4基目をPHWRに決定。ロシアからの導入炉は6基目とする判断を下し、2015年4月にロシア政府と建設協力の枠組設置で了解覚書を結んでいる。

今回決着した交渉は、2014年7月に両国がアトーチャ3号機建設協力に関して調印した政府間協定に基づき行われていた。同年9月にアルゼンチン国営原子力発電会社(NA-SA)とCNNCは同計画の協力枠組協定を締結しており、CNNCが総工費58億ドルの同計画に対して20億ドル相当の長期的財政支援として技術支援や機器・サービス、資機材等を提供する一方、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、運転まで行うと決定。2015年2月に計画投資省は、2014年の政府間協定が正式に批准されたと発表している。3週間に及んだ今回の集中交渉の結果、NA-SAとCNNCは3号機建設に向け、コンソーシアムを創設することで合意。機器類の7割以上をアルゼンチン企業が供給することを確認したほか、中国側は同計画への資金調達を決定するため、中国国内の金融機関との交渉を進めることになった。

ルーマニア、チェルナボダ3、4号機建設で中国と覚書

ルーマニアの国営原子力発電会社(SNN)は11月9

日、チェルノブイダ原子力発電所3、4号機の設計・建設・運転・廃止措置に関する協力について、中国広核集団有限公司(CGN)と了解覚書に調印したと発表した。SNNはCGNの出資協力により、途中まで建設した両炉を完成させる計画を進めており、同覚書はSNNとCGNが共同で同計画を実行する将来的な方向性を定める内容。ルーマニア政府は同計画を政府戦略の一部と位置付けていることから、9月に同覚書の締結を承認しており、SNNの株主も10月21日の臨時総会で承認していた。同覚書により両社は今後、正式な投資協定の締結に向けた協議と、CGNが少なくとも51%出資する合併企業の定款について交渉を開始。3、4号機完成計画への投資構造などを決定した後、同合併企業は新たなプロジェクト会社として発足する見通しである。

3、4号機の建設工事は、チャウシエスク政権崩壊にともない1991年に作業が停止。それぞれ15%と14%完成しており、これらを完成させるといふ政府決定を受けたSNNは、2009年にプロジェクト会社としてエネルギーニュークリア社を設置した。しかし、同社への出資を約束していた欧米企業6社がすべて撤退したことから、SNNは新たな投資家を模索。2011年10月にCGNが出資参加に関心表明したのに続き、2014年9月には投資資格を有する企業として同社を認定していた。

【米国】

経済性悪化からピルグリム原発が2019年6月までに閉鎖へ

米国の大手原子力発電事業者のエンタジー社は10月13日、マサチューセッツ州のピルグリム原子力発電所(BWR, 71万kW)を2019年6月1日までに閉鎖することを決定した。供給地域におけるエネルギー価格の下落や偏った市場構造の改善が近い将来に見込めないこと、運転コストの上昇による収益の減少などを理由として列挙。同社はすでに、電力供給地域である米北東部ニューイングランドの独立系統運用会社(ISO-NE)にこの方針を傳達済みだが、正確な閉鎖期日はISO-NEとの詳細協議を含めたさまざまなファクターを踏まえて2016年前半に決定予定で、閉鎖後は廃止措置に移行させる考えを明らかにしている。

閉鎖後の廃止措置については、エンタジー社は2015年9月末現在で約8億7,000万ドルの信託金があると明言。必要な財政保証額2億4,000万ドルを超えており、閉鎖活動計画の提出は、その他の財政保証が必要であることを判断して行うとしている。

ワッツバー2号機に運転許可、2016年初頭に運転開始へ

米国のテネシー峡谷開発公社(TVA)は10月22日、米原子力規制委員会(NRC)からワッツバー原子力発電所2号機(PWR, 120万kW)を40年間運転する許可を取得したと発表した。同炉は1996年に同1号機が営業運転を開始して以来、米国で20年ぶりの新設原子炉であるとともに、100基目の商業炉となる。1970年代に着工した同炉の建設工事は1985年に一旦停止。建設・運転一括認可(COL)を必要としない古い許認可システムに従って、2008年から完成工事が始まっていた。運転許可の取得により、ワッツバー・チームは最初の燃料を装荷する準備に入るが、これにはNRCの点検審査や主要機器とシステムすべての準備を含めて数週間を要するため、運転を開始するのは2016年初頭になるとの見通しを示している。

NRCの発表によると、ワッツバー発電所は事故時の影響緩和策や使用済み燃料貯蔵プールの計装強化など、福島第一事故関連の指令に適合した最初のサイト。現在、NRCによる2名の駐在検査官が同サイトの活動を日常的に監督しているほか、追加の検査官が2号機の起動活動を監視中である。

【ドイツ】

廃止措置関連の全経費を事業者に負わせる法案を閣議了解

2022年までに脱原子力の達成を目指すドイツ連邦政府は10月14日、原子力発電所の閉鎖に伴う廃止措置費や放射性廃棄物処分費など、追加的に発生する諸経費も確実に手当てするための法案を閣議了解した。発電所を運転・所有する事業者が廃業した場合に、これらの経費として公的資金が充当されるリスクを最小限に抑え、事業者の親会社に長期的な法的義務をすべて負わせるという趣旨。原子力発電事業者のE.ON社が2014年11月、分社化予定のUNIPER社に原子力発電事業を移管する計画を打ち出したことから、ドイツ国内では追加経費の負担を逃れるためではないかとの疑念が噴出した。これに対して政府が2015年9月に、このような組織改革による閉鎖原子炉への責任回避を防止する法案を提案していたもので、E.ON社ではその後、原子力発電事業の移管を断念している。同法案ではまた、脱原子力政策のための資金調達を審査する委員会の設置を明記。同政策が経済的に進められるよう、追加発生する諸経費の調達方法を政府に代わって検証し、2016年1月にも勧告事項を

提案することになっている。

同委員会はその審査過程において、政府が会計監査の専門企業に委託して実施した原子力発電事業者4社の資産に関する健全性検査(ストレステスト)の結果を参照する予定。会計監査企業の専門家は「廃止措置や廃棄物処分追加経費は事業者達の合計引当金ですべてカバーできる」との報告書を取りまとめており、経済問題エネルギー省が10月10日にその詳細を公表していた。

【スウェーデン】

オスカーシャム原発1, 2号機の早期閉鎖を決定

スウェーデンでオスカーシャム原子力発電所を運営するOKG社は10月14日の臨時株主総会で、大株主である独E・ON社の方針により同発電所1号機(O1)(40万kW級BWR)と2号機(O2)(60万kW級BWR)を早期閉鎖するという政治的決断を下した。これにより停止中のO2は再稼働させず、O1については現在の計画に従って運転を行い、廃止措置の日程などが準備出来た段階で閉鎖日を決定することになる。ただし、出力の大きい同3号機(O3)(120万kW級BWR)が今回の決定から影響を受けることはなく、技術的な寿命を迎える2045年まで低炭素電源として発電を継続すると明言している。

O1とO2の早期閉鎖は、2015年6月にE.ON社が戦略的提案としてOKG社に勧告していたもの。経済性が低下したO1についてOKG社は同月18日、永久閉鎖するための準備として許可申請書を国土環境裁判所に提出していたが、O2は2013年に開始した大規模な安全性改良工事が年内の再稼働に向けて終盤に入ったところだった。E.ON社はO2を早期閉鎖する理由として安全性関連の問題からではなく、恒常的な電力価格の低迷や原子力発電設備に対する課税、安全要求項目の追加にともなう巨額の投資を指摘。同炉を2020年以降も継続運転するための投資にはビジネス・チャンスが不足しているとしたほか、O2のような小出力プラントで広範な投資を行うより、O1とO2の合計出力より大きいO3こそ長期的な電力の安定供給戦略上、重要との認識を示していた。

【EC】 放射性廃棄物を地層処分に移行する 英国の価格設定方法を承認

欧州委員会(EC)は10月9日、英国政府と原子力発電事業者が使用済み燃料などの放射性廃棄物を地層処分に移行させる際に交わす契約のコスト価格設定方法を承認したと発表した。この措置は、英国で新たに建設される原子力発電所からの使用済み燃料処分経費は納税者が負担するのではなく、事業者が将来的な負担責任額をカバーするのに十分な資金を確保した上で負担する点を保証するためのもの。英国政府はこれらを埋設する地層処分場の操業を2040年頃から開始したい考えだが、今のところ建設サイトも決まっていない、また、移行価格の最終的な確定が難しいことから、ECはその設定方法をEUの国家補助規則に照らし合わせて評価し、EU共同市場における競争原理を損なうものではないと結論付けた。これによりEDFエナジー社がサマセット州で進めているシンクリーポイントC原子力発電所建設計画でも、最終的な廃止措置と廃棄物処分コストの事業者負担が明確になった。

ECの発表によると、英国政府は既存炉および今後新設される原子力発電所から出る使用済み燃料や中レベル放射性廃棄物を埋設するため、深地層処分場の建設を計画。2040年頃から中レベル廃棄物の埋設を開始する一方、使用済み燃料については2075年頃から処分を開始し、2140年まで継続するとしている。このような処分への移行価格は実際の処分経費を反映するもので、原子炉が発電を開始した後、約30年経って処分施設の原価要素が明確になった時点でのみ決まるが、原価要素の多くは現時点では未確定。同価格は特に、設定後にコストが増加する可能性を反映した適切なリスク保険料率、予想される変動価格や固定価格のすべてをカバーすることが求められており、その設定にあたっては、EU規則の適用範囲内でいかなる国家補助も含まれないとしている。事業者も、最終価格が決まるまで定期的にコスト予測額を改定し、将来的に発生する負担も十分カバーできる資金の確保が義務付けられている。

世界の原子力発電利用・開発動向

エネルギー安全保障と原子力

(一財)日本エネルギー経済研究所 村上 朋子

原子力開発利用の要因(ドライバー)となるのは、各国のエネルギー安全保障やエネルギー利用状況、それに経済合理性や環境適合性といった「3E」であり、安全性ではない。安全性に懸念があるから利用しない、というだけではエネルギー・環境を巡る様々な課題に対処できないことを踏まえ、現実的で冷静な政策を進める諸外国の動向に注目すべきである。

KEYWORDS: *energy security, economic efficiency, environmental sustainability, nuclear development, cost competitiveness, capacity factor*

I. 世界の原子力開発動向

2011年3月の東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、福島事故)は、エネルギー供給途絶のリスクと原子力安全性に対する懸念が顕在化したことで、世界に衝撃を与えた。これを境に安全神話が崩壊し、2007年頃からの「原子力カルネサンス」の流れ、すなわち世界の多数の国々が積極的に原子力開発を行っていた動向は一気に後退してしまっただけでなく、とよくいわれている。

しかし、安全性に関する懸念は世界主要国が原子力エネルギーの利用を開始した1950年代からあり、しかも1979年の米国スリーマイル・アイランド2号機事故、1986年の旧ソ連チェルノブイリ4号機事故はまさにそのリスクが顕在化し世界中に周知された出来ごとであった。にもかかわらず米国・ロシアをはじめこれまで原子力発電の開発利用を進めてきた国々は現在に至るまで原子力発電の利用を止めていないし、近い将来止める意向も見せていない。

我々が特定の技術ないしは特定の国について現状分析と将来見通しを考える際には、表面的な事項のみにとらわれず、その背景や要因を分析し、どこまでが確実にどのくらい変動の余地があるのか、よく見極める必要がある。

本章では2011年以降のエネルギー・環境を巡る主要

な変化について、その変化が何によってもたらされたかを可能な限り掘り下げるとともに、今後の国際原子力開発動向との関係を考察していくこととする。

1. 国別原子力開発の現状

2015年1月1日現在、世界の31カ国で431基、3億9,223万kWの原子力発電所が運転中である。第1表に2015年1月1日現在における世界各国の原子力発電設備容量を示す¹⁾。最大なのはアメリカ、次いでフランス、第3位は日本であるが、建設中・計画中のプラントは中国・ロシア等に多い。これらの31カ国の中には一貫して原子力発電を推進し、今後とも積極的利用を継続する見通しの国もあれば、早期に商業化したもののその後新設を中止し、いずれ廃止する計画の国もある。この31カ国の他にも今後導入を検討中の国もあれば、導入検討もしない国もあるなど、その状況は様々である。

第2表に同じ出典による2010年のデータを示す。第

第1表 国別原子力発電設備容量(2015年)

Country	Operating		Constructing/Planned	
	Capacity(GW)	Unit	Capacity(GW)	Unit
1 US	103	99	12	10
2 France	66	58	2	1
3 Japan	44	48	16	12
4 Russia	25	29	28	26
5 S.Korea	21	23	12	9
6 China	20	22	61	56
7 Canada	14	19	0	0
8 Ukraine	14	15	2	2
9 Germany	13	9	0	0
10 UK	11	16	3	2
11 Sweden	9	10	0	0
12 Spain	7	7	0	0
Others	45	76	65	65
Total	392	431	201	183

Trends and prospects of nuclear power development in the world -The role of nuclear power in securing energy- : Tomoko Murakami.

(2015年11月9日 受理)

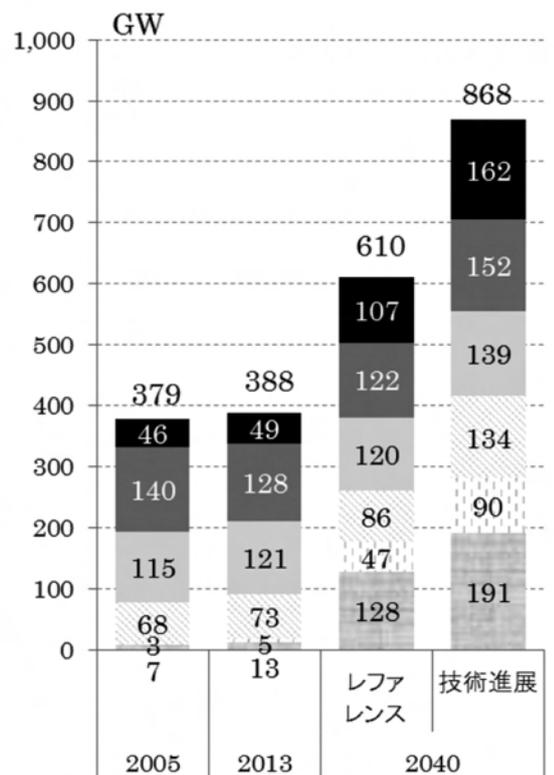
第2表 国別原子力発電設備容量(2010年)

Country	Operating		Constructing/Planned	
	Capacity(GW)	Unit	Capacity(GW)	Unit
1 US	105	104	11	9
2 France	66	59	2	1
3 Japan	49	54	20	15
4 Russia	23	27	16	17
5 Germany	22	17	0	0
6 Korea	18	20	10	8
7 Ukraine	14	15	2	2
8 Canada	13	18	0	0
9 UK	12	19	0	0
10 Sweden	9	10	0	0
11 China	9	11	38	36
Others	15	8	22	0
合計	356	377	120	116

1表と比較すると2011年の福島事故前後での変化がわかるが、2011年福島事故後に段階的廃止を決めたドイツが2010年の5位から2015年には9位になっている半面、福島事故後も新規建設を中止しない中国が11位から6位に躍進していることは注目すべきである。その他の10位以内の順位に特に変動が無い中、ドイツ・中国それに設備はあるものの2015年8月まで全プラントが停止していた日本は、世界でも特徴的な存在であるといえよう。

2. 原子力利用開発の長期見通し

では、今後の世界各国における原子力利用開発の見通しはどうか。第1図に、(一財)日本エネルギー



第1図 2040年までの原子力開発利用展望

経済研究所(エネ研)²⁾による2040年までの世界各地別の原子力発電設備容量見通しを示す。

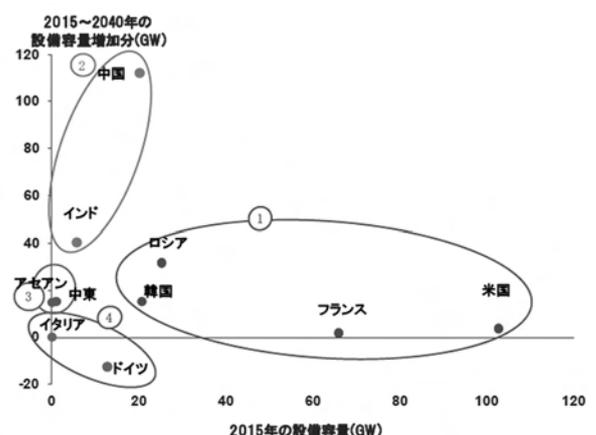
エネ研では現在までのエネルギー・環境政策等を背景とした「レファレンスケース」及び、各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動問題への対処のため強力な政策を打ち出し、省エネルギー・低炭素化が最大限に進む「技術進展ケース」の2通りについて展望を出している。それによると、2013年から2040年にかけて世界の原子力設備容量はレファレンスケースで1.6倍、技術進展ケースで2.2倍に拡大する。特にアジアでの拡大が著しく、技術進展ケースではいずれも世界のほぼ半分を、中国・インドを中心とするアジア諸国が占めることとなっている。今後も経済成長が続くアジア、特に中国・インドといったエネルギー消費国では、化石燃料自給率が低下する中、準国産エネルギーである原子力は一層重要と位置付けられる見通しである。

3. 2010年と2015年の比較による国別開発傾向

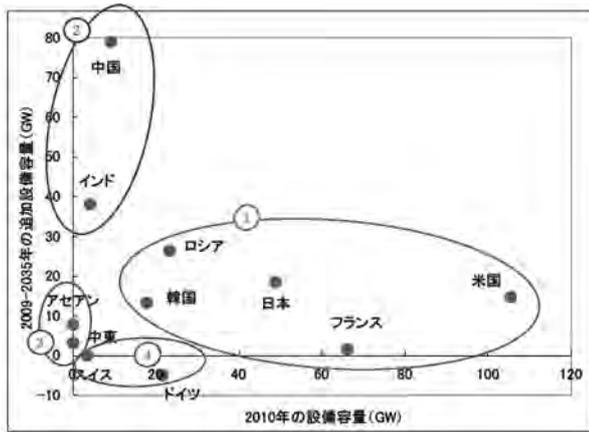
商業用原子力発電所を運転中の31カ国及び導入検討中の数カ国は、2015年現在保有する設備容量、及び今後2040年頃までに増加する見通しの設備容量の2軸により、第2図のように以下の4分類に大別できる。

- ①原子力利用・推進国：原子力エネルギーを基幹電源として十分に活用し、今後もその方針を維持していく見通しの国。
- ②原子力急成長国：現在原子力エネルギーは十分に基幹電源となるほどのシェアではないが、今後は大量の増設が予定されており、基幹電源となる見通しの国。
- ③新規導入検討国：現在は商業用原子力発電所を持っていないが、持つことを検討中・計画中の国。
- ④脱原子力傾向国：これまで原子力を一定比率で利用してきたが、今後は他の電源に置き換え、いずれは廃止する見通しの国。

第3図には2010年時点における同様の定義のマップを示す。



第2図 国別の原子力設備容量と開発見通し(2015年)



第3図 国別の原子力設備容量と開発見通し(2010年)

第2図は福島事故から4年近く経過した時点、第3図は福島事故前であるが、両者を比較すると日本を除きどの国の傾向も基本的に変わっていないことが一目瞭然である。分類①に含まれる国は、2010年時点の日本も含め、その国の資源、エネルギー消費量、経済規模、技術や社会インフラ水準などから原子力発電を基幹電源として利用してきた国である。福島事故後もその状況が変わっていない以上、原子力利用を止めるという選択肢は無くして当然であろう。

同様の事情は分類②、分類③の国にも言える。アジアの2大エネルギー消費国(中国、インド)は言うまでもなく、インドネシアやベトナムといった東南アジアの新興国、UAEやサウジアラビアのような中東の新興国は、いずれもエネルギー事情の上での十分な理由があって原子力導入を検討してきた。これらの国にとっては原子力を利用することのリスクより、利用しないことのリスクのほうが総じて大きいと判断されたからこそ、福島事故があっても計画は中断されていない。

分類④の脱原子力傾向国すなわちドイツ・スイスにつ

いては、福島事故から20年程度遡った時代から国内での脱原子力議論が行われてきた結果、長期的には原子力に依存しない電源構成とすること、少なくとも今以上のシェアで利用はしないことで国民的合意が得られていた。つまりこれらの国では福島事故前から原子力に代わるエネルギー利用のあり方が合意されていたのであり、福島事故があったから原子力利用をやめたのではない。

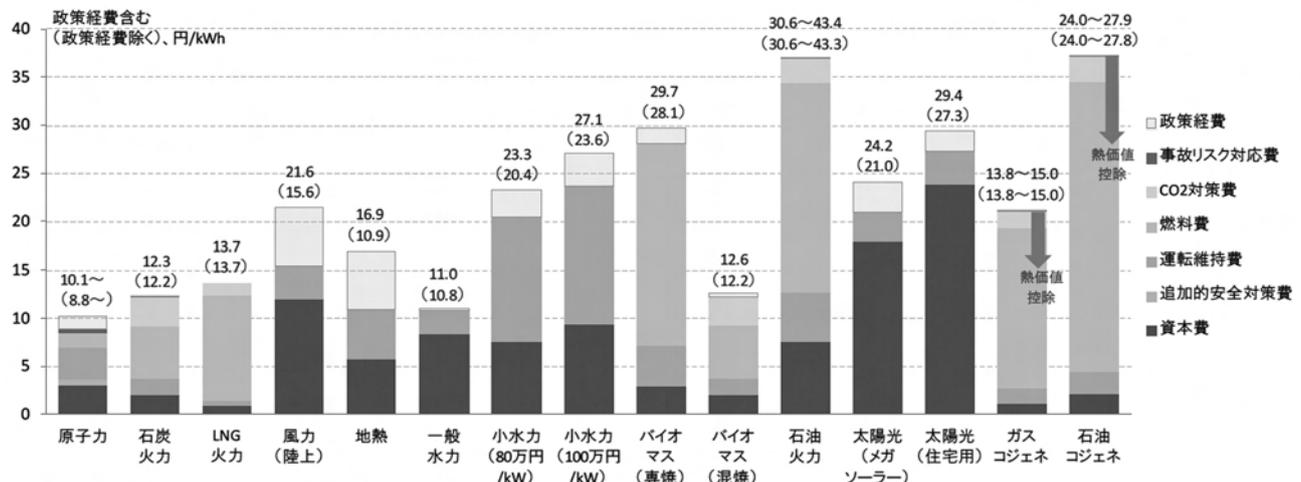
以上より、冒頭に紹介した“世界の多数の国々が積極的に原子力開発を行っていたところ、福島事故により一気にその流れが後退してしまった”という説は全くの誤りである。原子力開発利用の要因(ドライバー)となるのは、各国のエネルギー安全保障やエネルギー利用状況、それに経済合理性や環境適合性といった「3E」であり、安全性ではない。原子力安全水準と利用拡大傾向との間に何の関係もないことは第3章でも後述する。

II. 原子力発電のコスト競争力

福島事故後、原子力発電を含む各種電源コストについても分析・議論が行われた。その結果、莫大な事故リスク対応費を積んでも、日本における原子力は他電源と比較して遜色ないコスト優位性を有しているといえる。ただ、どの電源がコスト優位であるかは国により様々であり、一様にどの発電技術が安い(高い)とは言い切れない。本章では日本政府と国際機関における電源別発電コスト試算の最新結果を紹介しつつ、コスト比較が意味する電源の特徴について述べる。

1. 日本における電源別発電コスト

2015年、日本政府の審議会「発電コスト検証ワーキンググループ」にて議論され、まとめられた電源別発電コスト一覧を第4図に示す。この審議会では各種発電手段の建設費・燃料費・運転維持費といった直接コストに加え、通常ではコストに含めない「事故リスク対応費」や研



第4図 日本における電源別発電コスト比較

究開発費等の「政策経費」も原子力発電等に積んで試算を行った結果、原子力発電は事故リスク対応費や政策経費を含めても最安となった。本試算における事故リスク対応コストの算出方法は以下のとおりである。

- 福島第一原子力事故の経験等を踏まえ、事故被害額を9.1兆円と想定。
- モデルプラント1基の発電電力量を7.06TWhと仮定。
- 大事故の発生頻度を「4,000 炉年に1度」と仮定。

この条件で算出した事故リスク対応費は約0.3円/kWhであり、事故被害額が1兆円上昇すると0.04円/kWhの発電コスト上昇となる。技術革新や努力により発生頻度を下げる、あるいは事故影響を緩和し被害額を下げれば、事故リスク対応費は低下する。ただし、本来、事故リスク対応費の大小でもって原子力の選択の是非を論じるべきではないことを我々は認識する必要がある。

2. 世界の電源別発電コスト比較

2014年、経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)において各国の電源別発電コストの最新データが持ち寄せられ、条件を同一にした上での比較検討が行われ、結果

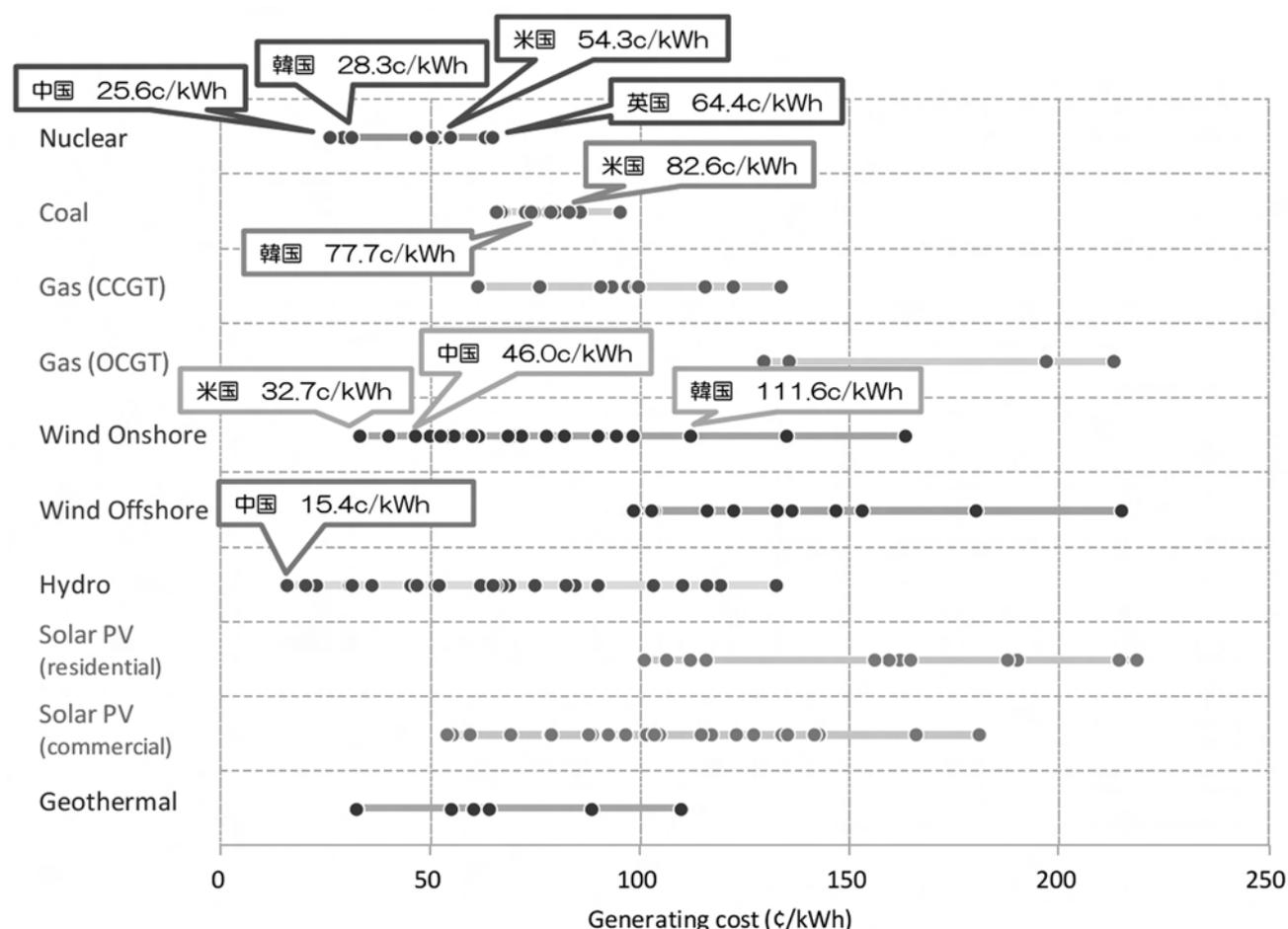
が2015年に公表された³⁾。第5図はその結果の一部で、原子力・石炭火力・ガス火力・風力・太陽光・水力等の電源別に国ごとの発電コストをプロットしたものである。

これを見れば、電源別発電コストはその絶対値も、また電源別の相対的な大小関係も、国・地域により大きく異なることがわかる。米国では陸上風力、韓国では原子力、中国では水力、ドイツでは石炭火力が最安電源である。また、例えば原子力発電コストひとつとっても、データを提出した国の中で最も高い英国と最も安い中国との間では約2.5倍の開きがある。

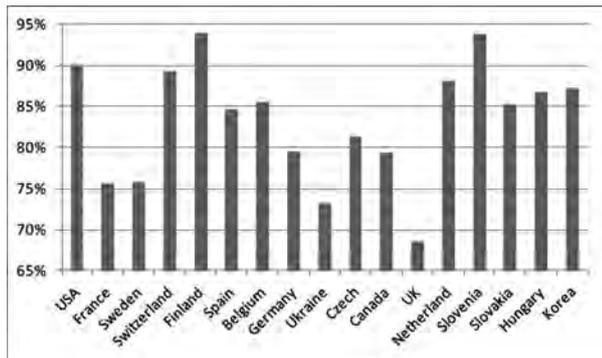
更に言えば、設備利用率(1年間の発電電力量を、その発電所を定格電気出力で1年運転したときに得られる発電電力量で割った値)も同じ電源であっても国ごとに異なる値が適用されており、仮にこの設備利用率が異なれば電源間のコスト順位も入れ替わる。このことは、どの電源が高い・安いと一概に定義する難しさを端的に象徴している。

III. 設備利用率から見える世界の現実

設備利用率は原子力のコスト競争力を左右する大きな要因の1つであるとともに、その国で原子力がどのよう



第5図 世界各国の電源別発電コスト比較 (割引率3%)



第6図 国別設備利用率の10年平均値(2005~2014)

な利用のされ方をしているかをみる重要な指標でもある。

日本の原子力発電コストは中国等と比較して割高であるが、それは安全性を厳しく見ているからだ、とはよくいわれることである。では、先進国に比べて安全水準が十分に高いとはいえない OECD 非加盟の新興国の原子力発電所はさぞかしトラブルが多く、止まってばかりで設備利用率も低いのであろうか？ 現実はそのようではない。

第6図に、世界17カ国の原子力発電設備利用率の10年平均値(2005~2014年、データはIAEA“Power Reactor Information System”⁴⁾より引用)を示す。これを見ると設備利用率実績と安全基準の間にはあまり相関がなさそうなことは明らかである。なぜなら10年平均して高い設備利用率(80%以上)を維持している国の中には、米国・フィンランド・スイスといった欧米先進国と並んで、スロバキア・スロベニア・ハンガリー・チェコといった国々も入っているからである。対照的に、先進国の中でも高い原子力安全技術水準を有しており基準も厳しいはずの英国・フランス・スウェーデンの設備利用率はあまり良いとは言えない。この現実は何を意味するのか。

プラント1基1基の運転パフォーマンスを見るとその要因が推察できる。例えばハンガリー・バクシュ発電所4号機で2009年5月4日、「燃料取替停止中における原子炉ホールでの自己出力形中性子検出器の輸送用容器からの落下」という、国際原子力安全尺度(INES)2に相当する事象が発生している。同機は5月いっぱいこの事象のため停止していたものの翌6月には通常運転に復帰しており、2009年設備利用率は88%であった。これが欧米先進国あるいは日本であれば、こうも早い通常運転復帰がなされたかどうか疑わしい。似た事例は上記に列挙した高設備利用率の新興国で多く見受けられる。

以上のことから、設備利用率の高い新興国は、トラブルが起きてそれをひたすら乗り越え、結果として原子力が国の基幹電源としての役割を果たしている、という現実が垣間見える。先進国と違い電力も不足しがちな

新興国では、先進国の厳格な基準に適合しない原子炉であっても最大限に有効活用し、電力安定供給に貢献させるほうが、世界最高水準の安全性を厳守して停止期間を長期化するよりメリットが大きいのである。「世界最高水準の安全性であれば結果としてそのほうが安い」が先進国の論理であり、原子力を利用している・あるいはこれから利用する全ての国にとっての正義ではないことを我々は現実として受け止める必要がある。

IV. 福島事故後の原子力展望

福島事故後の世界の原子力動向を概観すると、増大する電力需要や地球環境問題への対策上、原子力に期待される役割が後退してはいない、とは少なくとも言える。ただし原子力を電源として利用している国は世界31カ国、近い将来の導入を検討している10カ国前後を含めても40~50カ国程度であり、原子力の利用など考えたこともなければ今後も当面利用する計画の無い国がその3~4倍はあることも無視できない現実である。

全ての国にとって必須のエネルギーではない中、なぜ日本を含む31カ国は原子力の導入を決め、利用してきたのか、そして今後も利用継続しようとしているのか。福島事故は多くの人々の間に原子力の安全性に係る懸念を引き起こしたが、原子力なしでは経済や生活が成り立たない国は、全力で福島事故の教訓を学び、自国における原子力発電の安全性向上に一層注力することで課題を乗り越えようとしている。安全基準の厳格さと設備利用率、及びその結果としての経済性が必ずしもリンクしないという現実もある。

安全性に懸念があるから利用しない、というだけではエネルギー・環境を巡る様々な課題に対処できないことを踏まえ、現実的で冷静な政策を進める諸外国の動向には日本としても参考にすべき点が多い。

— 参考資料 —

- 1) 『世界の原子力発電開発の動向』(一財)日本原子力産業協会、2010年版及び2015年版。
- 2) 『アジア/世界エネルギーアウトルック』2015年10月、(一財)日本エネルギー経済研究所。
- 3) “Projected Costs of Generating Electricity”, OED/NEA, 2015.
- 4) “Power Reactor Information System”, International Atomic Energy Agency.

著者紹介



村上朋子 (むらかみ・ともこ)

(一財)日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 原子力グループ マネージャー
(専門分野/関心分野)原子力政策, 原子力産業動向, 企業経済学, 財務分析

転機を迎えるエネルギー市場

(その2)日本のエネルギー需給の現状と展望

東京大学 小宮山 涼一

日本のエネルギー消費は、人口減少や高効率機器普及等による省エネ進展により、長期的に減少する見込である。供給面では、太陽光等の再エネ普及や、原子力の電源比率を2割とする目標により、脱炭素化が進む。また現在、日本政府は2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で26%削減することを目標としているが、長期エネルギー需給見通しでは、安定的な経済成長を維持した上でこの目標を達成するには、石油危機以降(1973年～1990年)を上回る、もしくは、匹敵するテンポでのエネルギー供給の脱炭素化や省エネが必要であることが示唆されている。

KEYWORDS: *energy outlook, energy security, climate change, nuclear energy, power generation mix, primary energy supply, final energy demand,*

I. 長期エネルギー需給見直し

これまで過去、経済産業省は日本の長期エネルギー需給見直しを数回にわたり公表してきたが、2011年3月の福島原発事故以降ではじめてとなる長期エネルギー需給見直しを2015年7月に公表し¹⁾、わが国の望ましいエネルギーミックスのあり方が示された。福島事故前の需給見直し²⁾では、電源構成比率で原子力発電を約5割、再生可能エネルギーを約2割まで引き上げることで、わが国のエネルギー自給率向上とCO₂排出量の抑制を図り、エネルギー安定供給確保と環境適合性のあるエネルギー需給構造の実現を掲げていた。しかし福島事故による原子力への国民の信頼低下を受け、従来の原子力政策は大きな変更を迫られることとなった。福島事故前では、14基の原発新設が計画されていたが²⁾、事故後に策定されたエネルギー基本計画³⁾では、世論のエネルギー問題への関心が高まる中、省エネの徹底、再エネ導入拡大や火力発電の高効率化などを進め、原発依存度を可能な限り低減する基本的な方向性が定められた。それを踏まえ、新しい需給見直し¹⁾では、安全性、安定供給、経済効率性、環境適合に係る政策目標を同時達成した場合の望ま

しいエネルギー需給の展望が示されている。

最新の社会経済や技術の動向を踏まえた短期、中期および長期のエネルギー需給展望は、エネルギー・環境政策や企業戦略を考える上での重要な「羅針盤」の役割を果たすため、欧米^{4)~10)}、世界の主要機関^{11)~19)}や企業²⁰⁾²¹⁾、および国内²²⁾²³⁾²⁴⁾にて精力的に作成されている。本稿では、日本のエネルギー需給の現状を踏まえ、福島原発事故後に作成された長期エネルギー需給見直し¹⁾と需給見直しを見る上でのポイントについて解説する。

II. エネルギー需要の現状と展望

(1) 社会経済構造

一国のエネルギー供給量は、基本的にその国の社会経済活動により生じたエネルギー需要量に対してほぼ決まる。そのため、エネルギー需給の将来シナリオを考える上で、まずエネルギー需要を適切に評価することが極めて重要である。また、そのエネルギー需要は基本的にエネルギーを消費することで得られるサービス(空調や輸送など)に対する需要であり、また、工業製品等の財の製造に必要な需要(投入財、中間財等)であることを認識することが必要である。エネルギー需要は、社会経済活動の過程で発生する「派生需要」であって、エネルギーの消費自体が目的で生じることは無い。よって、エネルギー需要の展望の上で、社会経済活動(マクロフレーム)を的確に見通すことが大変重要となる。

Turning point in energy market - (No.2) Energy demand and supply outlook in Japan : Ryoichi Komiyama

(2015年10月1日 受理)

【前回のタイトル】

(その1)再生可能エネルギー普及に向けた課題



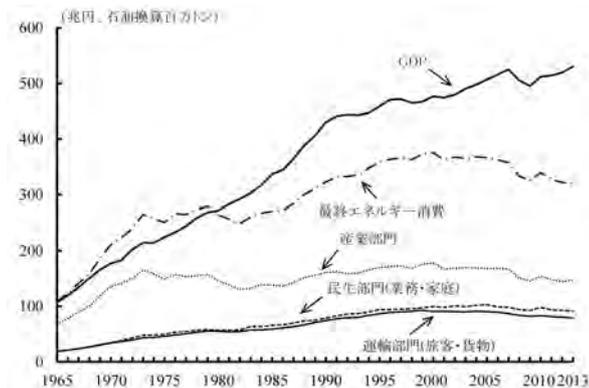
第1図 経済とエネルギー需給(参考資料²⁵)より作成

まず、わが国の総人口は2010年をピークに既に減少し始めている(第1図)。長期需給見通しでは、国立社会保障・人口問題研究所の中位推計を採用し、2013年度の1億2700万人から2030年度には1億1700万人まで低下すると見込んでいる。一般的に経済成長の面から考えた場合、一人当たりの財の消費額が不変であれば、人口減少により財やサービスの需要が減少する。さらに、労働生産性が不変であれば、財やサービスの供給が減少する。よって、人口減少は経済成長抑制の一要因になると考えられる。一方で、将来の技術革新で労働生産性が上昇して経済の効率性が向上し、一人当たりの所得が増加すれば、結果的に一人当たりの消費額も増加し、投資も増え、経済成長は持続しうると考えられる。

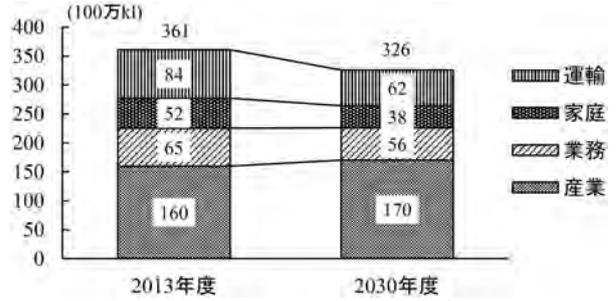
最近の経済情勢を見ると、雇用環境改善を受けて個人消費が徐々に回復し、油価下落の恩恵等による順調な企業収益に支えられ設備投資も改善し、円安で輸出も堅調な情勢にある。長期需給見通しでは内閣府の見通しを踏まえ、2030年度までのわが国の経済は、人口減少下でも、最近の財政金融政策と成長戦略を踏まえ、年率1.7%の実質GDP成長率を維持すると想定している。

(2) 最終エネルギー消費

1970年代の石油危機後、原油価格高騰をうけて、省エ



第2図 経済と最終エネルギー消費(参考資料²⁵)より作成



第3図 最終エネルギー消費(参考資料¹)より作成

第1表 最終エネルギー消費の要因分解(参考資料¹)より作成
(単位:年率%)

	1973~1990年	1990~2013年	2013~2030年
最終エネ消費計	1.2	▲0.03	▲0.6
GDP原単位要因	▲2.9	▲0.9	▲2.3
一人当たりGDP要因	3.4	0.8	2.2
人口要因	0.7	0.1	▲0.5

* 1973~2013年は実績値、それ以降の2030年までは予測値

ネ対策が進んだ。しかし、それらが一巡した1980年代の中頃以降から2000年頃まで、途中、バブル経済崩壊による経済成長低迷にもかかわらず、最終エネルギー消費は増加基調で推移した(第2図)。背景には、バブル崩壊をうけての公共投資による景気対策とエネルギー多消費の素材系生産の増加や、自動車保有台数の堅調な増加が挙げられる。しかし、1990年代後半から、省エネ対策の効果やサービス産業の比率増加などで、最終エネルギー消費の伸びは停滞し、2004年以降は減少に転じている。

最近の最終エネルギー消費の動向を見ると、財政金融政策を受けた景気回復による産業活動の活性化、貨物物流の活発化、気温の影響などで微増している。しかし長期需給見通しが示す通り、長期的には人口減少、省エネ技術の普及、産業構造の高付加価値化等により、最終エネルギー消費全体は、産業部門で微増しつつも、2030年度まで年率0.6%で継続的に減少すると見込まれている(第3図、第1表)。最終エネルギー消費の伸びを3つの指標に要因分解すると((最終エネ消費/GDP) × (GDP/人口) × (人口))、2030年度にかけて、エネルギー消費効率を表すGDP原単位(最終エネ消費/GDP)は年率2.3%で改善するが(第1表)、石油危機以降(1973年~1990年)、同指標は同2.9%で改善している。よって長期需給見通しでは、2030年度の最終エネルギー消費まで省エネするには、石油危機以降と同等のテンポでの省エネ実現が必要であることが示唆されており、技術革新等によるさらなる省エネ対策強化が必要となる。

(3) 産業部門

わが国のエネルギー消費の半分近くを占める産業部門

での消費は70年代の石油危機以降、経済成長拡大にも関わらず、ほぼ横ばいで推移している(第2図)。各業種の自主的な省エネ対策(経団連自主行動計画等)や、産業構造の変化(高付加価値化等)により、生産活動の活発化の下でも、エネルギー消費には強い連動が見られず、大きく増加していない。足元では、電気機械や自動車産業等での生産活動復調により、産業部門のエネルギー消費も若干増加傾向にあり、長期需給見通しでの2030年度のエネルギー消費も2013年度比で6%増の微増となる(第3図)。

産業部門のエネルギー消費は、財の生産活動と関連するので、同部門の消費量の約7割を占める素材系産業(粗鋼、セメント、エチレン、紙・板紙)の生産量の見方が重要となる。長期需給見通しの素材系産業の生産量は、人口減少による社会資本や建築物の建設需要の頭打ちで、以下の通り、微増や減少基調で推移の見込である。既に減産が続くセメント生産は公共投資抑制などで、2013年度62百万トンから2030年度には56百万トンへ減少する。粗鋼生産は、出荷の3割強を占める高機能鋼材への堅調な海外需要等で、2013年度の1.1億トンから2030年は1.2億トンへ若干増加する。石油化学製品は、北米の安価なシェールガス由来の化学製品のアジア市場への流入等により、エチレン生産は2013年度680万トンから2030年度には570万トンへ減少する。紙・板紙生産量は、貨物輸送の緩やかな増加で板紙需要が堅調に推移するが、人口減少やIT化によるペーパーレス化で需要の伸びは鈍化し、2030年度まで現状の27百万トンにて横ばいで推移する。一方、非素材系産業では高付加価値化が進み、主に電気機械、自動車産業等で高性能な家電製品、自動車、IT関連機器の需要増が考えられる。

(4) 民生部門

民生部門のエネルギー消費は、石油危機以降も増加基調にあったが、2005年以降、人口や世帯数増加の頭打ち、省エネ機器普及等により、減少している(第2図)。最近では気温要因や景気回復で微増にあるが、長期需給見通しでの2030年度の家計部門の最終エネルギー消費は2013年度比で27%減、業務部門も14%減となる(第3図)。民生部門で最も大きな省エネが見込まれている。

家庭部門のエネルギー消費は、人口や世帯数との相関が強く、今後も人口、世帯数は減少の見込である。同部門では高性能家電機器の普及、快適性の追求、高齢化等により、空調や給湯、動力等のサービス需要は増加すると見られるが、省エネ基準(トップランナー基準)をうけた高効率機器普及で効率改善が進み、サービス需要増加の大半を抑制すると考えられる。

業務部門(事務所、卸小売、学校、病院など)のエネルギー需要は延床面積との相関が強い。業務用延床面積は第三次産業の拡大で、90年代は経済成長の伸び以上の増

加も見られた。2030年度に向けても、サービス産業の活発化が見込まれ、IT機器の保有台数の増加、新機器の普及、快適性追求(冷房の長時間化など)といったエネルギー消費の上昇要因がある一方、人口減少、建築物断熱性能向上、機器効率改善、エネルギーマネジメント普及や延床面積の伸びの頭打ちにより、業務部門のエネルギー消費の伸びは抑制されると考えられる。

(4) 運輸部門

最近の運輸部門のエネルギー消費は、油価下落といった増加要因もあるが、自動車保有台数の頭打ち、車の燃費改善、輸送高効率化等で減少基調にある(第2図)。長期需給見通しでは、2030年度にかけて、輸送需要(人キロ、トンキロ)の伸びが緩慢な中、燃費改善、輸送効率向上などにより、2030年度の運輸部門のエネルギー消費は2013年度比で26%減となる(第3図)。輸送需要のうち旅客輸送需要(人キロ)は人口減少に伴い微減で推移し、貨物輸送需要(トンキロ)も経済のサービス化等の減少要因もあり、微増程度で推移すると考えられる。

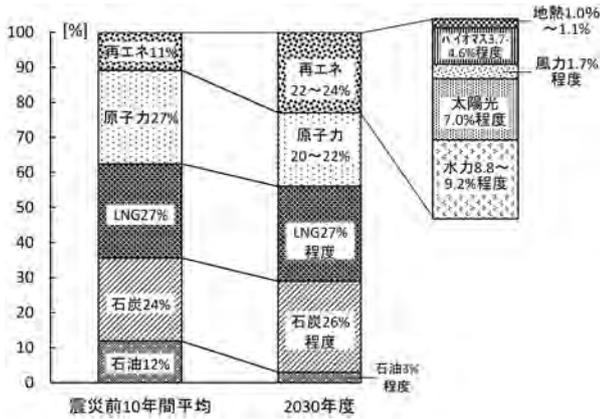
運輸の輸送需要に占める自動車の割合は5割~6割程度であるが、エネルギー消費では8割以上を占める。そのため、運輸部門全体のエネルギー消費減少は、主に自動車の動向に起因する。自動車のエネルギー消費は、保有台数、走行距離、燃費の3要素に要因分解できる。乗用車の保有台数は、普及率飽和と人口減少で大きな伸びは見込まれない。貨物車保有台数は貨物輸送の効率化などから既に1990年をピークに減少に転じ、今後も減少基調で推移すると見られる。乗用車の平均走行距離は近年、高齢化等の影響により短距離化の傾向にある。一方、貨物車の平均走行距離は、稼働率向上で長距離化の傾向にある。燃費は、燃費基準(トップランナー基準)等を受け、乗用車、貨物車、バスでは着実に燃費改善が進んでおり、乗用車の新車平均燃費は10年前に比べ3割以上も効率が改善している²⁵⁾。長期的に見ても、従来型自動車の燃費改善、環境対策強化の進展とともに、インフラ整備に不確実性もあるが、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車などの次世代車普及が、運輸のエネルギー消費を抑制すると見込まれる。

III. エネルギー供給の現状と展望

(1) 電力需給

最近の電力需要は、電灯はオール電化需要が堅調に推移し、大口電力も製造業をはじめ各産業の生産復調により増加基調にある。長期需給見通しでもエネルギー需要全体が伸びない中、電力化が進み、電力需要は2030年度にかけて年率0.1%で増加し、最終エネルギー消費に占める電力比率も2013年度の25%から2030年度には28%へ上昇する。

電化製品の効率向上は電力需要の減少要因となるが、



第4図 電源構成(参考資料¹⁾より作成)

これを上回る需要増加要因、例えば、利便性や安全性の追求、新たな高性能電化製品の普及や電力多消費な電気機械の生産増加等が進めば、電力需要は堅調に推移すると考えられる。産業部門では、電気機械製品の生産拡大や、非電気機械系製品でも高機能化、高付加価値化が進んで電力需要は増加し、家庭部門でも電化需要の増加で電力需要は堅調に推移すると考えられる。電化製品の省エネが進展しても、暖房や給湯などでの石油、ガスからの電力シフトや、利便性の高い高性能家電普及などで、省エネ効果を上回る電力需要増加の可能性もある。また高齢化も、利便性や安全性の高い電化需要を下支えすると考えられる。業務部門もデータセンター等IT関連機器冷却用の冷房需要や、サービス産業増加などが電力需要押し上げに寄与すると考えられる。

また、電力供給サイドでは、原子力発電への依存度は、エネルギー基本計画の通り、省エネや再エネ導入、火力電源の高効率化などで、震災前10年間平均の27%から2030年度には20~22%へ低減する(第4図)。しかし、原子力は2030年度の電源比率約2割を占める依然として重要な電源であり、2015年8月11日に九州電力の川内原発1号機が再稼動したが、これを契機に今後の電力システム改革の下でも、他の再稼動計画の着実な進展が、電源構成の目標実現の上で必要となる。

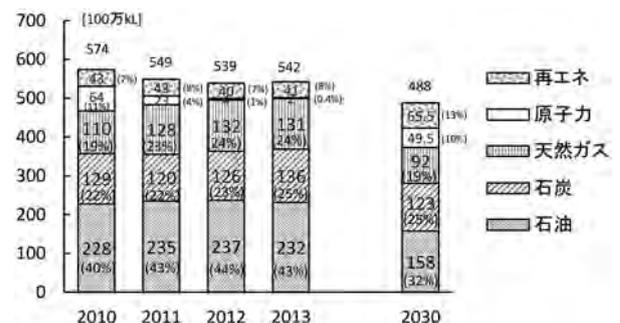
2030年度の他の電源比率は、再エネ22~24%、LNG火力27%、石炭火力26%となっている。水力発電は、包蔵水力の約7割を開発済みで、環境影響を背景に更なる開発が困難なため、設備容量は微増にとどまる。火力電源は再エネ増加に伴い電源比率は震災前平均63%から2030年度には56%へ縮小する。石炭火力の2030年度の電源比率は26%となり、原発を上回る比率となる(第4図)。石炭火力は一般に環境負荷が高いが、超々臨界圧発電などの高効率技術により、従来よりCO₂排出を抑制できるベース電源としての役割を担う。現在、電力システム改革を見据え、経済優位性のある石炭火力の新設が多数計画されている^{26)~30)}。日本は2030年度までに温

室効果ガス排出量を2013年度比26%削減する目標を掲げており、電力コスト上昇を回避しつつ、環境負荷の高い石炭火力の電源比率を26%以内に抑制することが重要な課題であり、省エネ法に基づく小規模な石炭火力の規制等の政策措置の活用もひとつの手段となる。環境負荷の低いLNG火力も、高効率で起動停止性能に優れた複合発電などを中心に、ミドル電源や太陽光発電等の不安定な出力を調整する電源として活用されると考えられる。石油火力は、太陽光発電普及やピーク電源としてのLNG火力活用で減少すると考えられるが、緊急時対応用にある程度の量は2030年時点でも維持される。また、エネルギー利用効率の高いコージェネレーションも、普及テンポは電気料金、燃料価格、インフラ整備にも依存するが、2030年度の導入量は1千億kWhを超えると見込まれている。

電源構成ではベストミックスの視点が重要である。再エネ拡大はCO₂削減やエネルギー自給率向上に寄与するが、電力供給信頼度に係る問題や電気料金上昇リスクを招く。一方、電気料金抑制のため、コスト優位性のある石炭火力を拡大すれば、CO₂増加とエネルギー自給率低下を招く。各電源の長所、短所を調整する意味で、ベストミックスの視点は重要である。ただし、今後の電力システム改革に伴う発送電分離をうけて、電気事業者はより一層、収益性を意識して設備投資を行うと考えられる。経済優位性のある電源開発に偏り、コストが高い低炭素電源等の普及が進まず、電源の多様化、環境対策、安全保障確保が円滑に進まない可能性もあり、これらの公共政策上の課題の解決にも貢献しうる効果的な市場制度の設計が求められる。

(2) 化石燃料供給

一次エネルギー供給の約4割を占める石油消費は既に省エネや燃料転換により減少傾向にある。この趨勢は続き、石油依存度(LPG含む)は2013年度の43%から2030年度には33%まで低下する(第5図)。比率低下の背景は、自動車の燃費効率向上、産業や民生部門での燃料転換にある。運輸部門では自動車の燃費効率向上や軽自動車普及の影響により、石油消費は継続的に減少する。産



第5図 一次エネルギー供給(参考資料¹⁾より作成)

業部門の石油消費は、環境対策や化学原料(エチレン等)の生産減少や長期的な産業構造の変化の影響もうけて減少する。民生部門も、暖房や給湯での電力やガスへの燃料転換が長期的に継続し、石油消費は減少する。

天然ガスの比率は震災後、原発代替燃料として大きく伸びた。最近でも、製造業、サービス業等での生産活動の回復、家庭用燃料電池などの普及により、都市ガス販売量は過去最高を更新している。2030年度の一次エネルギー供給に占めるガス比率は震災前と同じ19%程度で推移するが(第5図)、量的には人口減少や省エネ進展で緩やかに減少する。足元での都市ガス販売量は商業用や工業用で堅調な伸びを示すが、家庭用では長期的に減少すると考えられる。家庭用は人口減少で給湯、厨房需要が頭打ちで、電力との競合もあり、1件当たりの都市ガス販売量は2010年以降、既に減少しはじめている²⁵⁾。工業用は、工業炉等での石油からの燃料転換やガスコージェネ普及が進んでいるが、長期的にはそれらも一巡し、産業構造の変化もあり、徐々に新規需要が減少すると考えられる。発電用LNG消費は、原発再稼働、再エネの電源比率増加、LNG火力の発電効率向上で、大きな増加は見込めないと想定される。

石炭消費は最近では、石炭火力の安定的なベース運転と、鉄鋼やセメントなど産業部門の生産回復により、微増傾向にある。長期的にもガスに比べ今後も安定的需要が見込まれる(第5図)。製鉄用の原料炭は、次世代コークス炉等の省エネ技術導入が消費の減少要因となるが、高級鋼材への需要が下支えすると見込まれる。発電用の一般炭は、石油危機以降の電源多様化で増加したが、今後は環境対策の観点から大きな伸びは見込めないが、コスト優位性や供給の安定性などにより、安定的需要が見込まれると考えられる。

(3) 二酸化炭素排出量

わが国はこれまで化石燃料消費増加に伴い、CO₂排出量は増加を続けてきた。2013年度のCO₂排出量は、原発停止の影響などにより、過去最大の12.4億トン(2005年度比1%増)に達した。日本政府は2030年度までに温室効果ガス排出量を2013年度比26%削減する目標を掲げており³¹⁾、今後、エネルギー起源のCO₂排出量を抑制することが重要な公益的課題となる。長期需給見通しでは、2030年度のCO₂排出量は9.3億トン(2013年度比25%削減)まで減少する。CO₂排出量の変動を燃料転換(CO₂/一次エネルギー国内供給)、省エネ(一次エネルギー国内供給/GDP)、経済成長(GDP)の3要因に分解³²⁾すると(第2表)、安定的な経済成長を維持して(GDP年率1.7%増)、長期需給見通しでのCO₂排出量削減(年率1.7%削減)を達成するためには、燃料転換では石油危機以降(1973~1990年、年率0.8%削減)を上回るテンポ(2013~2030年、同1.1%削減)で、省エネは石油

第2表 CO₂排出量の要因分解(参考資料¹⁾より作成)

(単位:年率%)

	1973~ 1990年	1990~ 2013年	2013~ 2030年
CO ₂ 排出量	0.8	0.7	▲1.7
燃料転換(CO ₂ /エネ)	▲0.8	0.4	▲1.1
省エネ(エネ/GDP)	▲2.5	▲0.6	▲2.3
経済成長(GDP)	4.2	0.9	1.7

* 1973~2013年は実績値、それ以降の2030年までは予測値

危機以降(1973~1990年、同2.5%削減)と同等のテンポ(2013~2030年、同2.3%削減)で進めることが必要となる。このため、2030年度に向けてエネルギー・環境分野の技術革新等により一層の省エネ、低炭素化を進めることが重要となる。

IV. まとめ

わが国は2度の石油危機を契機に省エネと燃料多様化を進め、世界トップクラスの省エネ先進国となった。最終エネルギー消費は2004年にピークを打ち、一次エネルギー供給も頭打ちとなっている。しかし日本は依然、中国、米国、ロシア、インドに次ぐ世界第5位のエネルギー消費大国であり、エネルギー源の大半を海外輸入に依存し、安全保障の観点から脆弱な供給構造となっている。さらに現在、気候変動問題への対応が国際的課題となっており、CO₂排出量削減が必須となっている。

日本は今後、人口減少と高齢化等による社会構造の変化の中、福島原発事故後の国民意識の変化や、快適性や利便性、安全性の追求、ライフスタイルの変容などから、エネルギーへのニーズは質的に変化すると考えられる。また、今後の電力・ガスシステム改革によるエネルギー市場自由化の下で、市場原理のみでは解決が困難である環境保全、エネルギー安全保障確保という公益上の課題にも取り組む必要がある。

このような背景において、内外の社会経済動向の変化や、先端技術の研究開発動向などを踏まえ、わが国の長期的なエネルギー需給の展望を行うことは、今後のエネルギー・環境政策や、各産業におけるリスクやチャンスといった企業戦略を考えていく上でも極めて有益である。また、気候変動問題への効果的な対応の上で、わが国の長期的な需給見通しにおいて、CO₂削減目標達成に要するコスト分析が可能になればさらに望ましい。CO₂削減は世界全体が取り組むべきグローバルな問題であり、各国のCO₂削減に係る経済的負担が均等になることが望ましく、目標を達成する際のCO₂限界削減費用を他国と比較する視点が必要である。このことから限界削減費用等のコスト分析³³⁾は重要である。また将来の原油価格や経済成長、新技術の普及は予測が難しく、不確

実性も大きいため、需給見通しに影響の大きいこれらの要因に関してのリスク分析の視点も今後重要になると考えられる³⁴⁾。

－ 参考資料 －

- 1) 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し, 平成 27 年 7 月
- 2) 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し(再計算), 平成 21 年 8 月
- 3) 経済産業省, エネルギー基本計画, 平成 26 年 4 月
- 4) EIA/DOE, Annual Energy Outlook 2015, April 2015.
- 5) EIA/DOE, International Energy Outlook 2014, September 2014.
- 6) EIA/DOE, Short-term Energy Outlook, September 2015.
- 7) NEB (National Energy Board), Canada's Energy Future 2013 - Energy Supply and Demand Projections to 2035, 2013.
- 8) European Commission, World Energy Technology Outlook - 2050, 2006
- 9) European Commission, World and European Energy and Environment Transition Outlook, 2012.
- 10) Department of Energy & Climate Change, United Kingdom, Updated energy and emissions projections: 2014, 2014.
- 11) OECD/IEA, Medium-Term Oil Market Report 2015, 2015.
- 12) OECD/IEA, Medium-Term Gas Market Report 2015, 2015.
- 13) OECD/IEA, Medium-Term Renewable Energy Market Report 2014, 2014.
- 14) OECD/IEA, Medium-Term Coal Market Report 2014, 2014.
- 15) OECD/IEA, World Energy Outlook 2014, 2014.
- 16) ADB (Asian Development Bank), Energy Outlook for Asia and the Pacific, 2013.
- 17) WEC (World Energy Council), World Energy Scenario Composing energy futures to 2050, 2013.
- 18) OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries), 2014 World Oil Outlook, 2014.
- 19) APERC (Asia Pacific Energy Research Centre), APEC Energy Demand and Supply Outlook 5th Edition, 2013.
- 20) Exxon Mobil, The Outlook for Energy: A View to 2040, 2015
- 21) BP, The BP Energy Outlook 2035, 2015
- 22) 日本エネルギー経済研究所, アジア/世界エネルギーアウトック 2014, 2014
- 23) 日本エネルギー経済研究所, 2016 年度までの日本の経済・エネルギー需給見通し, 2015
- 24) 電力中央研究所, 2015・16 年度日本経済と電力需要の短期予測, 2015.
- 25) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編, エネルギー・経済統計要覧, 2014 年
- 26) 東京電力, プレスリリース, 2014 年 5 月 15 日.
< http://www.tepco.co.jp/cc/press/2014/1236420_5851.html >
- 27) 関西電力, プレスリリース, 2014 年 11 月 28 日.
< http://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2014/1128_1j.html >
- 28) 中部電力, プレスリリース, 2014 年 11 月 28 日.
< http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_release/press/3254876_19386.html >
- 29) 九州電力, プレスリリース, 2014 年 11 月 19 日.
< http://www.kyuden.co.jp/press_h141119-1.html >
- 30) 東北電力, プレスリリース, 2014 年 11 月 14 日.
< http://www.tohoku-epco.co.jp/news/normal/1188477_1049.html >
- 31) 首相官邸 地球温暖化対策推進本部, 日本の約束草案, 平成 27 年 7 月 17 日
- 32) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, エネルギー・経済データの読み方入門改訂 3 版, 2011 年
- 33) McKinsey & Company, Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve, 2010
- 34) R.Komiyama, C.Marnay, M.Stadler, I.Azevedo, S.Borgeson, B.Coffey, and J.Lai, IEEJ Energy Journal Vol. 4, No. 2, 2009

著者紹介



小宮山涼一 (こみやま・りょういち)
(現職) 東京大学,
(専門分野/関心分野) エネルギー需給分
析, 電力システム, エネルギー安全保障


 報 告

原子力・放射線利用に関する安全強化 人間・組織・制度的視点から

経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)事務次長・原子力統括監 下村 和生

原子力・放射線利用に関する安全強化については、設備・システム等のハードウェア面とともに、人間・組織・制度的視点からの安全対策・強化が重要である。経済協力開発機構(OECD/NEA)における取り組みについて報告する。

KEYWORDS: *Emerging Risks, Nuclear Safety, Radiological Protection, Human Aspects, Safety Culture, Organizational factors, Lessons Learnt from Fukushima Dai-ichi NPP Accident, Effective Regulatory body*

I. はじめに

経済協力開発機構(OECD)は、2003年、特別プロジェクト“Emerging Risks in the 21 Century: An Agenda for Action, OECD 2003”を実施した。そのプロジェクトで取り扱った課題を題材に、2005年8月26日、東京大学安田講堂で開催された「大学等における放射線安全管理研修会」にて、「危機管理的アプローチによる放射線安全管理」という題目で特別講演を行ったことがある。この特別プロジェクトは、OECD内の関係部局が関与し、21世紀に直面する主要なリスクを討議し、必要なアクションを提案するものであった。直面するリスクとして、5つの分野、1)各種大規模自然災害の発生(欧州における暴風・洪水、日本における大規模地震、スマトラ沖地震による大規模津波等)2)技術的欠陥、並びに人的・組織的要因による事故、3)人間(AIDS、エボラウイルス)及び動物(BSE)に対する新たな脅威、4)テロリストアタック(日本におけるサリンガス、米国における貿易センターテロ、ロンドンにおける地下鉄等同時テロ)、5)コンピュータウイルスによる情報ネットワークへのかく乱」を挙げ、それらのリスクは、①急速に変化し、複雑化する技術、社会、経済システムにおけるリスク、②リスク及びそのマネジメントに関する変化というふたつの複合要因によるものとした。原子力機関(NEA)では、広範囲に及ぶOECD内のプロジェクトであったことから、チェルノビル原子力発電所の事故に関するもののみを扱った。しかしながら、このプロジェクトで取り扱った課題、要因等は、10数年経過した現在も重要であり、原子力関連では3)を除く4つの分野について、継続的に取り組む必要があるだろう。本稿では、上記の2)の課題の

*Acting Deputy Director-General and Chief Nuclear Officer,
OECD/NEA : Kazuo Shimomura.*

(2015年8月25日 受理)

中の、人的・組織的・制度的視点からの安全管理・強化に関する原子力機関(NEA)の取り組みについて報告する。

II. 管理(マネジメント): 人的, 組織的, 制度的視点

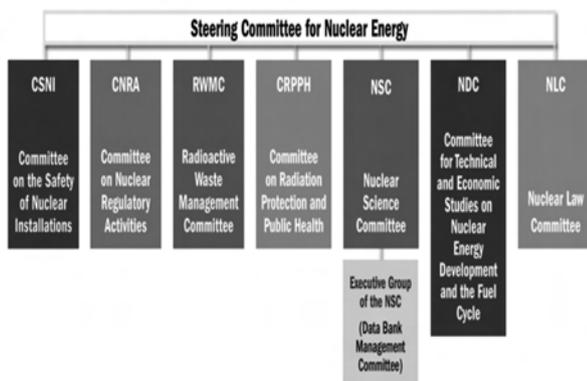
1970年代、先進各国において、新しい原子力発電所の建設が大規模に行われ、その効率的な運転・運用の管理(マネジメント)に焦点が置かれていた。ところが、1979年3月に発生したスリーマイル島の原子力発電所事故は、技術的、手続的、訓練、マン・マシンインターフェイスのような人的側面が重要であることを認識させた。事故後すぐに出されたケメニー報告書(Kemeny, 1979)及びロゴビン報告書(Rogovin, 1980)にある組織的脆弱性に関する記載、「組織における構造的な問題、いろいろなプロセスでの欠陥、及びキーパーソン・グループ間のコミュニケーション不足(Kemeny, 1979)、原子力発電所の安全はハードウェアの問題ではなく、マネジメントの問題である(Rogovin, 1980)、制度的、組織的、管理的な問題・体制の変革が必要(Rogovin, 1980)」などの指摘は示唆的である。

1986年4月のチェルノビル原子力発電所事故に関して、当初は、原子炉の設計上の問題・欠陥が示されたが、その後の評価で、組織的、文化的、管理・制度的な欠陥が指摘され、セーフティカルチャーの欠陥(lack of an adequate Safety Culture, IAEA/INSAG-4, 1991)が重大視された。また、2003年の米国のスペースシャトル、コロンビア号の事故に関する調査報告においても、「強力な組織的カルチャー並びに安全戦略構築へのコミットメントの重要性」が指摘されるとともに、米国航空宇宙局(NASA)のセーフティカルチャーの脆弱性、予算等資源の不足、指揮命令系統の混乱、運行スケジュール優先などの組織的な問題が指摘されている。

Ⅲ. 原子力機関(NEA)における取り組み

NEAでは、1980年代終わりのころから、原子力施設安全委員会(CSNI)の下、人的及び組織的因子に関する特別専門家グループ(SEGHOF)による活動を展開してきた。1990年代終わりのころからは、電力市場の自由化・競争等の動き、設計変更及び保守、新しい運転制御(デジタルI & C)等への人的、組織的要素の影響をも重要視し、他の関連のワーキンググループ、例えば、原子力規制活動委員会(CNRA)の下の運転安全ワーキンググループ(WGOE)、CSNIリスクワーキンググループ(WGRISK)などと連携し、CSNI人的及び組織的因子に関するワーキンググループ(WGHOF)として活動を展開してきた。

2011年3月11日の巨大地震と津波の後に発生した福島第一原子力発電所の事故を受けて、世界中の原子力規制当局、政府、産業界、及び国際機関は、日本への支援とともに、あらゆる原子力施設の安全性を確保するために、一連の解析とフォローアップ対策が開始された。NEAでも、事故から数週間のうちに、原子力安全及び放射線防護の分野で専門家グループを設置し、日本の当局、他の国際機関との情報交換を進めるとともに、7つの常設技術委員会(第1図)のうち、CNRA、CSNI、及び放射線防護・公共安全委員会(CRPPH)の下、事故への対応、教訓、課題等を取りまとめ、2013年9月、「福島第一原子力発電所事故：OECD/NEA原子力安全の対応と教訓」(7161-fukushima2013, 日本語要旨 NEA No.7217 OECD 2014, 7217-fukushima-es-jp-2014, 第2図)として発刊した。その報告書には、多くの重要なメッセージが取りまとめられているが、特に重要なものとして、日本の国会事故調査委員会報告書等においても指摘されている「人、組織、文化の視点」がある。規制当局の独立性、技術的能力、及び透明性の確保も重要な課題としている。CNRAでは、上級専門家タスクグループ(STG)を組織・討議し、「実効・効果的な原子力規制者として持つべき特性：The Characteristics of an Effective Nuclear Regulator, 2014」をグリーンブックレットとして発刊した(第3図)。教訓の中には規制者が持つべき重要な特性



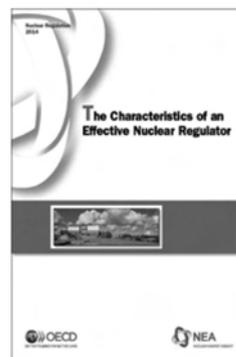
第1図 OECD/NEA 運営委員会および常設技術委員会組織図

The Fukushima Dai-ichi NPP Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt

- Published on 10 September 2013.
- 3 standing technical committees:
 - ↳ Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA)
 - ↳ Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)
 - ↳ Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH)
- Areas covered:
 - ↳ Immediate response by NEA member countries, key messages and conclusions
 - ↳ NEA actions in follow-up to the Fukushima Dai-ichi NPP accident
 - ↳ Direct support to Japan by the NEA



第2図 福島第一原子力発電所事故：OECD/NEAによる対応と教訓に関するレポート(2013年9月)



The Characteristics of an Effective Nuclear Regulator
NEA Regulatory Guidance Booklets
Volume 16, 2014, NEA/CNRA/R(2014)3

第3図 効果的な原子力規制機関がもつべき機能・特性に関する報告書

として、セーフティカルチャー、強力な組織的能力等が含まれている。2015年6月には、NEA加盟国のみならず、中国、インド等の規制機関の首脳をも招待し、「NEA/CNRA/CSNI/CRPPHワークショップ：規制者のセーフティカルチャーへのチャレンジ及び高度化」を開催した。このワークショップの成果は、引き続き上級専門家タスクグループにて討議され、グリーンブックレットとして発刊される予定である。(https://www.oecd-nea.org/nsd/workshops/scr2015/) また、福島第一原子力発電所事故に関するその後のフォローアップ活動を織り込んだ報告書も、近く発刊される予定である。

国内及び国際的なコミュニケーション、各国の規制機関及び関係機関等の情報交換についても、大幅に改善する必要性が認識され、特に、原子力緊急事態における関係各国間での国際的な情報伝達・交換等のあり方について、CRPPHの下の原子力緊急事態ワーキングパーティ(WPNEM)において検討が行われた。NEAは1990年代後半から、一連の国際原子力緊急訓練(INEX)を企画・実施してきたが、この教訓から得られた課題を解決すべく、2015年から2016年にかけて、INEX-5(テーブルトップ訓練)として実施する。日本国は過去のINEXシリーズの訓練に参加して来なかったが、今回のINEX-5へは参加する。国際機関、近隣諸国等との連携機能を確認・改善するためのアプローチは今後さらに重要となる。

また、安全管理の強化に関して、人的、組織的、制度的な視点から取り組む場合、運転経験からの教訓、リスク評価、ステイクホルダーとの対話等を通じた意思決定プロセスへの関与等、実効的なコミュニケーションも重要である。NEA では、常設委員会の下、上記以外の関連活動も活発に実施している。その概要・成果等については、当機関のウェブサイトを参照願いたい。(http://www.oecd-nea.org/)

IV. おわりに

安全確保・向上は、施設等の計画、設計、建設、運転、異常時・緊急時の対応まで深層防護 (DiD: Defence-in-Depth) のコンセプトにより構築され、それらを効果的・効率的に実行 (Implementation) することにより達成される。その実行に際しては、人的、組織的、制度的な要因が大きく影響する。事故の教訓等に基づき、新たな対策 (格納容器のベントシステム、非常用電源の多様化・多重化等) が行われているが、それらが効果的・効率的に運転・運用できるかどうかは、まさに人・組織にかかっている。新しく設置された機器・システムへの対応・習熟は容易ではない。実際の運用に当たっては運転員および関係する全ての支援要員に対する十分な教育・訓練とともに、組織的・制度的な面でのサポートが不可欠である。

原子力関連分野のみならず、宇宙・航空分野等でも繰り返し指摘され、各種対策が講じられてきた。しかしながら、科学・技術の急速な進歩、グローバルな市場経済の進行、複雑に変化する社会・世代構造、異文化の交錯などの影響で、今後さらに複雑化してゆくであろう。機器・システム等のハードウェアによる安全強化は、それらを運転・運用管理できる人・組織とのバランスがあって初めて効果的・効率的なものとなる。限られた資金・人的資源の中で、原子力及び放射線利用を安全に、かつ効果的・効率的に運用していくためには、人的、組織的、制度的視点からのさらなる安全強化が重要である。



第4図 OECD/NEA 運営委員会 (2015年4月)

- 参考資料 -

- 1) Emerging Risks in the 21 Century: An Agenda for Action, OECD 2003.
- 2) State-of-Art Report on Systematic Approaches to Safety Management (SEGHOF), NEA/CSNI/R(2006)1.
- 3) The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt, OECD 2013 NEA No. 7161.
- 4) The Characteristics of an Effective Nuclear Regulator, OECD 2014 NEA No. 7185.
- 5) Crisis Communication: Facing the Challenges, OECD 2013 NEA No. 7067.
- 6) Summary of the Fourth International Nuclear Emergency Exercise (INEX-4), OECD 2013 NEA No. 7134.

著者紹介



下村和生 (しもむら・かずお)

OECD/NEA 事務次長・原子力統括監
(専門分野/関心分野) 原子力政策, 原子力開発および安全・セキュリティ, 放射線利用および安全, 国際共同研究, 原子力関連条約, 国際人材教育・育成・訓練, セーフティカルチャー, 人的・組織的・制度的因子, ステイクホルダーとの対話



AESJ-CTF の学生・若手活性化活動 フォーラム 21「イオンビームの物理と応用」と共催

東京大学 AESJ-CTF 主査 上坂 充

日本原子力学会にて、特に若手・学生の活性化、さらに学会活動の内容充実に貢献すべく立ち上げた AESJ Collaboration Task Force のこの 1 年と大阪教育大学で行われたフォーラム 21(関西近隣の大学・院の放射線物理学関係の研究会)企画セッション、4th JAPAN-IAEA Joint Nuclear Energy Management School での学生・若手の活性化活動を報告する。

KEYWORDS : AESJ-CTF, Forum21, JAPAN-IAEA Joint NEM School, Alumni Session, CPD, YGN

I. AESJ Collaboration Task Force 活動について

AESJ Collaboration Task Force(CTF)は、学会、日本の枠を超え、各種組織を縦横に横断して協力・連携し、学会、ひいては世界の原子力界の活性化に貢献するため、平成 25 年に発足した。平成 26 年に続き、フォーラム 21 にて、今回は核セキュリティに関する企画セッションについて報告する。また 4th JAPAN-IAEA Joint Nuclear Joint Energy Management School(平成 27 年 6 月 1-17 日東大本郷・いばらき量子ビーム研究センター)にて、当マネジメントスクールに参加経験のある受講生、サブメンターなどで構成される Alumni Association, YGN (Young Generation Network)との合同セッションを企画・実施した。本セッションでは、学協会による技術者の CPD (Continuing Professional Development, 継続研鑽)支援・登録制度(研鑽実績をポイント化, 27 年度より本学会教育委員会も着手)の説明, YGN の世界大会の日本誘致の説明を行い、国際的な議論を通して、横断的に寄与した。

II. フォーラム 21 における AESJ CTF 企画

1. 背景

CTF の第一弾企画として、26 年 1 月に奈良女子大で開催されたフォーラム 21 で、CTF セッションを開催した[1]。

「医学物理・保健物理研究分野における今後の展開」と題して、横山須美氏(藤田保健科学大学)より、医療現場の放射線利用の現状と最新の研究概要が紹介され、学生たちから好評を博した。27 年は第二弾として、大阪教育

Activities of AESJ-CTF for Introduction of AESJ to Students, Young Scientists and Engineers, Co-sponsored with FORUM21 "Physics and Applications with Ion Beam" : Mitsuru Uesaka.

(2015 年 8 月 7 日 受理)

大学で開催された第 20 回フォーラム 21 にて、「核セキュリティへのビーム応用」と題し、CTF 企画による特別講演を含め 12 件の発表があった。また、学会の若手メンバーが活動している AESJ 学生連絡会、YGN 及び CTF の活動を紹介し、原子力業界への若手参入を呼びかけた。

本章ではその内容について紹介する。

2. 特別講演の概要

核セキュリティ分野では、不法に核物質が存在することを非破壊検知する(核検知)技術は非常に重要であり、日本原子力研究開発機構(JAEA)は国内外の研究所と連携し、ビームを用いた最先端技術を開発している。これについて、JAEA の川久保陽子技術員が 2 つのプロジェクトを紹介した。

2.1 レーザー・コンプトン散乱ガンマ線利用核共鳴蛍光による非破壊測定技術²⁾

既存技術では、海上貨物コンテナの内部等、厚い遮蔽体に隠べいされた核物質の検知は困難である。この種の非破壊核検知を可能とする技術として、JAEA はレーザービームと電子ビーム散乱(レーザー・コンプトン散乱)により発生する単色ガンマ線を利用した「核共鳴蛍光非破壊測定技術」を開発中である。先般高エネルギー加速器研究機構において、その基礎実証装置が整備され、平成 26 年度末に試験を行った。

2.2 中性子共鳴濃度分析法技術²⁾

JAEA は共同研究センター標準物質・計量研究所(JRC-IRMM)と共同で中性子共鳴濃度分析法技術を開発中である。本技術により、測定対象物質中のウラン同位体核種や超ウラン核種の含有量を、同位体ごとに非破壊定量することができる。このため本技術は、不法な押収物中の核分裂性核種の存在の有無や核物質同位体組成比を非破壊分析する手段として期待される。JAEA が

新たに開発した検出器を JRC-IRMM の GELINA (中性子共鳴透過測定法で実績を有する施設) に持ち込み、平成 26 年度末に大強度パルス中性子ビームを用いた実証試験を行った。

(平成 27 年 11 月現在 両試験終了、データ解析中。)

III. 学生増の動き

日本原子力学会の学生会員数は時代ごとに大きく変動している。変動の理由については様々な要因が考えられるが、原子力関連の事故後は大きく学生会員数が減少していることから、原子力産業への期待と魅力が大きく関連していると考えられる。また今回のフォーラムに参加した学生との意見交換では、原子力業界への就職について関心がうかがえたが、その一方で原子力学会員になるかどうか、つまり原子力学会で発表を行うかどうかは指導教員の意向が大きいとの意見が聞けた。学生会員増加へ向けては、学生への PR だけではなく、大学教員との連携も必要であると感じた。

IV. 4th JAPAN-IAEA Joint Nuclear Energy Management School, Alumni Session での CPD 説明

Alumni Session では、AESJ 浜崎教育委員会委員長より、“Continuing Professional Development (CPD) for Nuclear Engineers & Researchers” と題するプレゼンを行った。様々な学協会が、会員の CPD 活動を支援している。CPD とは、技術者や研究者の自己研鑽のための諸活動を言い、学会・セミナー・シンポジウム等へ出席しての最新知見習得等は代表的なものである。ここでは、CPD とは何か、学協会による CPD 支援の仕組み(例：CPD プログラム情報の提供、CPD 登録による実績の見える化等)や考え方、学協会による CPD 支援制度に関する相互協力について紹介された。平成 25 年に施行された新規制基準では、継続的な安全性向上が求められている。教育委員会は、継続的安全性向上への貢献の観点で、今後、原子力分野での CPD の重要性は増すと考えており、2008 年に立ち上げ後約 1 年で運用停止した CPD 登録制度の再開に向け、準備を進めていると紹介された。この School を日本原子力学会教育委員会推奨 CPD プログラムと位置付け、参加した会員には、教育委員会委員長名で CPD 実施証明書を発行する予定であると説明された。

当日の受講生は、CPD という考え方になじみがうすく、プレゼン前に CPD を知っていると手を挙げた受講生は 1 名だけであった。自己研鑽の PDCA サイクル構築ツールとして、組織の提供する CPD 支援を活用する

ことが期待される。

VI. これからの展開

フォーラム 21 での共同セッションが定着し、フォーラム 21 側から定例化の賛同が得られた。今後、学生の学生連絡会への参加、若手の YGN への入会が期待される。

Alumuni Association では、CPD ポイント取得、YGN 世界大会の日本誘致、国際若手ネットワーク作り等について活発な議論がなされた。昨今せっかく入会した学生会員が就職後、学会員であるメリットを見出せず、退会する傾向がある。YGN 等に加わり、国際若手ネットワーク活動を行い、CPD ポイントとして社内教育実績ポイントを取得できれば、学会員であるメリットを見出しやすくなることを期待したい。

今後は、定例活動に加え、活動メンバーを増強し、YGN の世界大会の日本誘致に貢献できるよう活動し、成果を学会へ報告していく。

- 参考資料 -

- 1) 上坂充 他 「AESF-Collaboration Task Force (CTF) の設立と活動 フォーラム 21「イオンビームの物理と応用」と共催」日本原子力学会誌 2014 年 1 月号
- 2) 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター HP
<http://www.jaea.go.jp/04/iscn/org/tecdev.html>

著者紹介

上坂充 (うえさか・みつる)

東京大学大学院 原子力専攻
(専門・関心分野) 先進小型加速器開発、可搬型ライナックの医療・原子力応用、人材育成

西山潤 (にしやま・じゅん)

東京工業大学 原子炉工学研究所
(専門・関心分野) 革新炉の設計、核データ、宇宙原子力利用

川久保陽子 (かわくほ・ようこ)

日本原子力研究開発機構
(専門・関心分野) 核不拡散、核セキュリティ、保障措置、中性子非破壊測定

浜崎学 (はまさき・まなぶ)

三菱重工業、日本原子力学会 教育委員会
(専門・関心分野) 炉心安全設計、原子力教育

白木貴子 (しらき・たかこ)

三菱重工業
(専門・関心分野) 炉心・遮蔽設計、人材育成

「がれき受け入れ自治体のいま」

鈴木 誠之

萌葱(もえぎ)色の茶畑に目を癒やしながらかち切で停車していると、目の前を愛嬌たっぷりの「きかんしゃトーマス」が煙を吐きながら走り抜けていく。偶然遭遇した人々は相当驚く光景だろう。日常とアニメが混在した静岡県島田市のこうした風景は2013年、大井川鐵道がアジア初のリアル「きかんしゃトーマス」運行を始めて以来、少しずつ板に付いてきた。運行日には駅や沿線に親子と祖父母3世代の笑顔があふれる。文金高島田の島田髷でも知られる10万人ほどのこの小都市は、東日本大震災以後の震災がれき問題と今でも深く関わる。

11年12月にさかのぼる。岩手、宮城両県の震災がれきの広域処理が急務だった当時、被災地と東京都を除き全国の自治体で初めて受け入れに名乗りを挙げたのが島田市だった。環境省の打診にも関わらず受け入れ自治体がなかなか出てこなかったころ。東京電力福島第一原発から離れた2県のがれきとはいえ、放射能の不安解消は避けて通れず、首長たちを躊躇させていた。島田市が嚆矢となり、堰を切ったように全国で受け入れ表明が相次いだ。今は「きかんしゃトーマスが走るまち」と説明すると通りが良いが、当時は「震災がれきを最初に受け入れた島田市です」と説明すると県外の人々にも「あの島田市ですか」と分かってもらえた。

被災地からも感謝された島田市だが、各地で広域処理が軌道に乗るとその名は次第に全国ニュースから消えた。市の本当の苦労はここからだった。焼却灰を埋める最終処分場の地権者の一部が、受け入れを断行した前市長への不信感と放射能の不安から市と対立。土地貸借の契約更新に応じず、処分場をロープで封鎖する実力行使に出た。これでは市民の生活ごみの焼却灰も処分できない。市側は突貫工事で新たな搬入口を設置するなどして応酬した。市と反対地権者の争いは法廷に及んだ。13年3月、地権者7人が処分場の土地返還などを求めて市を提訴。15年8月、静岡地裁は契約更新手続きに市側の不備があったと認め、土地返還を命じる原告勝訴判決を出した。受け入れ時の男性市長とは違う女性市長が以前から地権者側にも理解を示していることから、市は控訴せず平和的解決を模索している。100Bq/Kgを超えるごみは受け入れない—などと訴える地権者側と粘り強い交渉が続く。大震災から5年が経とうとしているが、被災地と同じく島田市の“3・11”もまた、いまだ続いているの

である。

大震災以降、多くの学会や専門家が社会との接点の在り方を探り続けている。15年9月に静岡大で開かれた日本原子力学会秋の大会でも、関連する多くのセッションが開かれ、活発に意見交換された。こうした取り組みは大変素晴らしい。一方、島田市の“その後”を知っていた方はどれほどいただろうか。中央で政策や基準づくりなどに関与することも極めて重要だが、不安な住民と膝を突き合わせて分かりやすく説明し、冷静な判断材料を与えることも放射性物質に詳しい専門家の重要な役割だと感じる。直接的に住民のいない国レベルの議論は机上で粛々と進むかもしれないが、実際に住民を持つ基礎自治体レベルの現場は、放射能という言葉がわずかに絡むだけで混沌とするのが残念ながら現実だ。ところが、現場まで来て一肌脱いでくれる専門家はそれほど多くない。むしろ反対派が呼ぶ専門家の腰が軽く、地元住民の間ではそちらの説明のほうが浸透することもある。

島田市の例は中立的な専門家の不在、“行司”の不在が行政と一部住民との溝を広げた一因だと私は考えている。市幹部が「健康に影響ない」と繰り返しても、不安な住民は納得しない。自治体ももっと専門家に助言を求め、専門家ももっと地方の現場に目を向けて積極的に存在感を示してくれることに期待したい。地方の現場に寄り添おうとする専門家の姿勢は、必ず行政や住民との信頼関係を生む。今後の原子力政策や放射性廃棄物の最終処分場建設に必要なものは、地方のこうした泥臭い現場レベルから積み上げる信頼関係だと確信している。

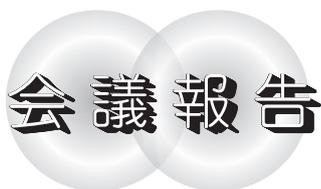
最後に、島田市は牧之原台地を擁する茶の一大産地であり、大震災に端を発する茶価低迷に今も苦しんでいることを付記しておきたい。

著者紹介

鈴木誠之 (すずき・まさし)



平成12年、静岡新聞社入社。三島支局、御前崎支局などを経て社会部で浜岡原発1、2号機廃炉と6号機新設の特報を機に開始した連載企画「浜岡原発の選択」と3・11後の続編を担当。平成24年から島田支局で震災がれき問題を取材した。平成27年から再び社会部。



ウィリアム・マグウッド OECD/NEA 事務局長講演会の報告

Report of the lecture by William D. Magwood IV, Director-General OECD/Nuclear Energy Agency

2015年10月2日(京都市)

ウィリアム・マグウッド OECD/NEA 事務局長(米国エネルギー省(DOE)原子力局長, 米国原子力規制委員会(NRC)委員を歴任)による講演が京都大学桂キャンパスにおいて、学生と研究者との交流を目的として2015年10月2日に開催された。福井工大からも含め約40名の学生、教員の参加があった。講演は、杉本教授の司会により、“Looking Forward: Nuclear Energy Issues and Opportunities”という題目で行われた。その講演はNEAの成り立ちと構成から始まり、福島第一原子力発電所事故に関連して原子力発電所の安全性、世界における原子力発電の現状とCO₂による環境問題、そして高レベル放射性廃棄物の処理問題についての話が主な内容であった。講義全体を通して、原子力エネルギーが世界にとっていかに重要であるかということや、エネルギー先進国における原子力技術の役割について述べられた。

1958年に発足したNEAでは、原子力安全研究や放射性廃棄物管理、放射線防護といった21の共同プロジェクトを行ってきたが、現在の共同プロジェクトの一つにBSAF(The Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant)があるそうだ。このプロジェクトの目的は福島第一原子力発電所事故から得られた科学的知見により原子力発電所の安全を確かなものとするためにシビアアクシデント解析コードを改良することであり、福島第一原子力発電所事故のNEAの結論として、高いレベルの安全基準とその効果的实施を継続して改善するためには、問いかけ学ぶ姿勢が必須であることが述べられた。

また、CO₂による環境問題に関連して2015年11月にパリで開かれるCOP21のことが話題に上がった。COP21では、1990年の水準から世界のCO₂排出量を50%減らすことで地球温暖化を2度以下に抑えることをねらった合意を得ようと交渉される予定である。IEAの2℃シナリオを実現するためには、2050年には世界の電力供給に対して原子力が最大の役割を果たす必要性があることが述べられた。

その後、先進国における国民の原子力政策に対する信頼度が半分以下である国々が多いということが説明されたが、これに対して筆者は非常に興味を持った。技術者や科学者は、人々の信頼を得るためにより安全な原子力

技術の開発に勤しまねばならないと改めて実感した。また、原子力エネルギーに対する信頼度が低い要因の一つとして放射性廃棄物処理・処分問題があると思われる。近年、発展途上国の原子力発電所の建設が計画されていて、原子力エネルギーが占める割合は増加傾向にある。こうした状況下でNEAでは、すべての原子力発電所保有国に対して長期的な計画を提示することを義務付けている。マグウッド氏も学生に対して、この問題に真剣に取り組んでほしいということを述べられた。

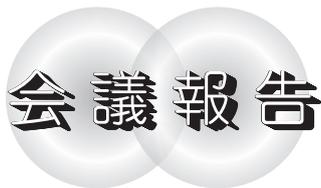
そして講演の最後は、技術者と科学者は原子力安全への公衆の心配を解消できるのか、核廃棄物の難題に対処できるのかといった本公演をまとめる聴衆への5つの質問で締めくくられた。

講演後の質疑応答では、各国の国民の自国の原子力政策に対する信頼度の低さについての質問が多く、このことに対して非常に関心が高いことがうかがえた。さらに、NEAとしてこれからの地球全体におけるエネルギー政策についてどのような指針を示していくのかということや、NEAの事務局長としてマグウッド氏が考える理想の原子力政策に対する考え、高レベル放射性廃棄物の処理・処分問題に関してなど、非常に興味深い議論が学生と教職員から活発に行われた。

また、講演会の前にはマグウッド氏と京都大学の学生との昼食会が開かれた。学生は15人ほどの参加者がおり、各々の専門の研究内容や原子力に関することなどが自由に語り合われた。研究になじみが薄い学部生からは、国際機関の長として勤めることの全体像に関する質問が多く、院生からは原子力政策における具体的な質問が多く見受けられた。マグウッド氏自身は、研究に関する内容で学生に対して質問を活発にしてくださり、当大学における高温ガス炉の研究に関して非常に興味を持っておられた。マグウッド氏はとても親しみやすい方で学生相手でも快く話してくださり、2時間という楽しい昼食会の時間はあっという間に過ぎた。

筆者の感想としては、国際機関のトップに立たれる方は、博識でとても冷静に物事に対応することができる方だという印象を受けた。国際機関の事務局長と学生の貴重な時間を頂いたことを、ここに感謝申し上げます。

(京都大学 楠見絃司, 古川冬馬, 2015年10月28日 記)



核燃料国際会議 Top Fuel 2015

Top Fuel/Reactor Fuel Performance 2015

2015年9月13～16日(チューリッヒ市, スイス)

核燃料に関する本国際会議は、欧州、米国およびアジア(日本、中国、韓国)の各原子力学会の共催によって、各地域の持ち回りで毎年開催されており、2015年は欧州原子力学会(ENS)の主催により9月13日(日)から16日(水)の日程で、スイス最大の都市チューリッヒのスイスホテルにおいて開催された。2014年に日本で開催された際には、水炉燃料国際会議(Water Reactor Fuel Performance Meeting = WRFPM)と称されていたように、各回の主催機関によって会議の名称や目的は必ずしも統一されているわけではない。今回の Top Fuel 2015 では、既存燃料の信頼性向上から第4世代炉に向けた革新燃料開発、さらにはバックエンド技術に至る広範な技術が対象とされた。世界25か国から燃料メーカーやプラントメーカー、電力会社、研究機関、大学の他、規制当局からの参加者もあり、オープニングセッションから技術報告(口頭発表130件、ポスター発表70件)の最終日まで非常に盛況であった。なお、Top Fuel 2015のプログラムや発表論文は、ENSのホームページから入手可能である。

上述のように核燃料に関する様々なテーマについての技術報告が行われたが、近年、現行軽水炉を対象に、冷却材喪失事故時の燃料破損挙動や燃料分散モデルの見直しや、過酷条件においても損傷しにくく、より高い信頼性や安全性の実現を目的とした新型燃料・炉心材料(Accident Tolerant Fuel = ATF)の開発が国際的に注目されており、ATF関連の報告が年々増加の傾向にある。Top Fuel 2015では、オープニングセッションでOECD/NEAが主催するATF専門家会合の活動状況について紹介されるとともに、様々なATF概念に関する技術報告が30件近く発表された。今回報告があった主なATF開発の状況を以下にまとめる。

米国では、ジルカロイを代替するSiC複合材やFeCrAl合金、Mo合金等を用いた新型被覆管や窒化物、シリサイド等の高密度燃料などの開発を進めている。多様な概念に対するフィージビリティ検討から実用化開発フェーズへの移行にむけ、2016年にエネルギー省の主導による技術選定が計画されており、さらに2022年には商用炉による先行照射を実施するといった野心的な開発計画が立てられている。フランスでは、原子力・代替

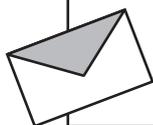
エネルギー庁(CEA)、電力会社(EDF)およびAREVA社が共同でATFの開発を行っており、特にジルカロイ表面をCrによって均質かつ稠密にコーティングし、高温水蒸気酸化耐性を著しく向上させることに成功している。2016年からは、 UO_2 を装荷したCrコーティング被覆燃料の照射試験を予定している。さらに、韓国では韓国原子力研究所(KAERI)を中心に、SiC被覆管やFeCrAl-Zr二層被覆管、Cr等によるコーティング被覆管の開発の他、FPの保持性を高めたマイクロセル UO_2 燃料等の開発を進めている。我が国においても様々なATF技術が検討されているが、今回の会議ではSiC複合材の高温腐食試験やイオン照射試験、事故時挙動評価、さらに酸化物分散強化型のFeCrAl合金の炉内物質との高温反応試験などの結果が報告された。これら以外にも英国やロシア、スペインなどからATFに関する報告があり、多くの聴衆を集めていた。

本会議の特別セッションとして、将来炉の革新燃料製造やその再処理技術に焦点を当てた欧州の研究開発プロジェクトASGARDの第2回国際セミナーが開催された。ASGARDでは、酸化物や窒化物の他、炭化物燃料が対象とされ、マイナーアクチニド含有燃料や粒子燃料の製造、それらの再処理に向けた溶解試験など革新燃料の基礎的な特性評価試験や製造試験が数多く行われていた。また、フランスで建設を計画している高速炉ASTRIDではAm入りブランケット燃料の利用が検討されており、(U,Am) O_2 燃料の製造や特性評価に関するものも複数見られた。これらの検討の多くに大学が関与しており、数多くの学位論文も執筆されていることが強調されていた。欧州では、ASTRIDやMYRRHA(ベルギー)の建設といった大規模プロジェクトが進められている一方で、粒子燃料や炭化物燃料などの技術開発にも一定の予算を継続的に投じる仕組みを作り出すことで、基礎データや製造技術の蓄積を図りながら学生の参画をサポートし、将来の人材確保にも貢献していることが伺えた。

次回のTop Fuel 2016は米国原子力学会の主催によってアイダホ州ボイシーで2016年9月11日から開催される予定である。

(電力中央研究所 太田宏一, 2015年10月16日記)

理事会だより



編集委員会担当から

理事に就任してから1年半が経過しました。主たる担当は、学会誌 ATOMOΣ および論文誌(英文誌と和文誌)の発行を担う編集委員会です。学会誌 ATOMOΣ は会員の方々への情報提供と学会外部への情報発信の役割を担い、論文誌の発刊は研究開発に従事する会員にとっての情報発信の場の提供を担っていることから、会員の方々にもっとも身近に存在する委員会であると思います。

理事の仕事の手始めとして、英文誌の発刊を行っている Taylor & Francis 社(以下、T&F 社)との契約更新に係る案件がありました。これは、現行契約において契約時からある一定期間経過後にジャーナル購読のための会員特別価格を見直す条項があり、それに基づいて、当初に想定した会員による購読者数に満たないことによる減収を見直す申し出でした。これに関する契約調整を進めて行く内に、細則で学会誌についてはその配布が定められているのに対して、論文誌の配布については別途定めるとの記載はあるものの、成文化された規約等が存在しないことが判明しました。そこで、これまでの配布に関する考え方、配布の現状を鑑みて、論文誌の電子ジャーナルと冊子体の配布について、以下のような内容を成文化しました。

- 電子ジャーナルの無料アクセス権を個人会員および希望する賛助会員に対して与えること
- 冊子体の購読を希望する個人会員および購読を希望する賛助会員に領賦すること

和文誌については、創刊当時より、電子ジャーナルへのアクセス権を会員のみならず非会員にも公開していることから、それを明記し、冊子体については、英文誌と同様に、購読を希望する個人会員に加えて購読を希望する賛助会員に対して、会員特別価格にて領賦することとしました。

なお、価格は発行部数や印刷費等に依存して変化しますが、市販価格よりも遙かに廉価で入手できるようになっています。

この配布方法を成文化した後、ジャーナル購読料を含むその他の点についても、T&F 社との契約更新を進めました。その結果、これまでと大きく異なる点に掲載料があります。つまり、2016年1月から英文誌への掲載料が変わります。これまでと異なり、刷り上がり8ページまでの掲載料を引き下げ、9ページ以降の掲載料は従来通りの価格です。この掲載料変更の主たる目的は、投稿者の掲載料に対する負担の軽減です。それに加えて、論

文1編当たりのページ数の減少も期待しています。これは、論文1編当たりのページ数が多いと、1号あたりに掲載される論文数が減少し、その結果、査読を通過したものの、掲載待ちになっている論文数が増加している現状を少しでも打開するためです。また、T&F 社との間には、年間総ページ数が定められており、そのページ数を超過すると、超過分を支払うこととなっています。これは、経営上、好ましい事ではありません。これらの事情への対応策です。是非、このような事情を鑑みつつ、論文投稿をして頂ければと思います。

一方、ATOMO Σ では、震災以降、様々な記事企画を行い、多種多様な分野からの記事掲載や、特集号の発刊を行っています。それは、自然科学分野すなわち理系分野に留まらず、人文科学や社会科学すなわち文系分野の方々や、福島への復興に従事されている方々の意見や声も届けるようにしています。

ところで、改めて「復旧」と「復興」を考えると、その両者の意味は少し違います。広辞苑によると、「復旧：元通りになること」であるのに対して、「復興：再び盛んになること」とあります。すなわち、建物等を以前の通りに戻すのが復旧です。そこから更に、再び活気のある街や元気が人が暮らす様子を取り戻すのが復興です。私は、福島に対して、これまでは壊れたものや傷んだものの復旧に重点が置かれており、今後は、復旧から次のステージである復興に向けて、どのようなことをすべきか/できるかを考える必要があると思っています。たとえば、社会的に大きな事件や災害が発生した場合、昭和の時代には大きく取り扱われなかったが、昨今では取り扱われるようになった事柄の一つに、被害に遭われた方々への心のケアを挙げることができると思います。これは、昭和の時代は復旧で終わっていたものが、現在は復興まで対応することの一例だと思います。そして、復興に向けてのアクション等を考えるには、理系分野だけでなく、文系分野の観点も重要とのことだと考えます。

現在、ATOMO Σ では、復興に向けた特集号を企画しています。この特集号が、復興に向けてのアクションを考える一助になると思うと共に、私自身福島の復興に微力ながらも貢献していきたいと思っています。

(理事 岡嶋 成晃)

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