

巻頭言

1 ふくしまの復興の取り組みから学ぶもの

小沢喜仁

時論

2 原子力事業は「普通」という意識

村上朋子

特集

10 変動性再エネの導入増に伴うCO₂削減と電力安定供給の課題

変動性再エネ導入増の本質的な課題は、時空間の需給ミスマッチの解消であり、調整力の柔軟性向上と大容量のエネルギーストレージが主たる対策である。

中垣隆雄

連載講座 よくわかる PRA

—うまくリスクを为了能に (1)

26 確率論的リスク評価の技術課題

原子力施設の安全確保においては、確率論的リスク評価 (PRA) が重要な役割を担っている。連載初回の今回は、内的事象及び外的事象、レベル1、レベル2及びレベル3、各運転状態に対するPRAについて、技術の現状や課題等を概説する。

丸山 結, 喜多利亘, 倉本孝弘

連載講座 核セキュリティ入門 (2)

32 核セキュリティの強化に向けた取り組み

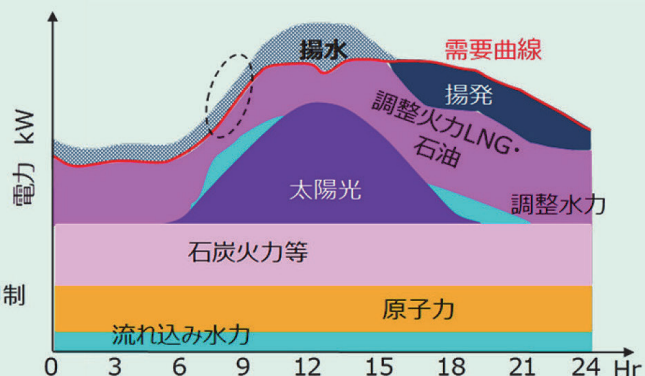
核テロへの懸念が増大している中、核セキュリティ強化に向けて議論が行われている。今回は核セキュリティ強化に向けた国際社会の取組みと、日本の核セキュリティに係る条約及びIAEAによる勧告の国内法への反映について解説する。

須田一則, 木村隆志

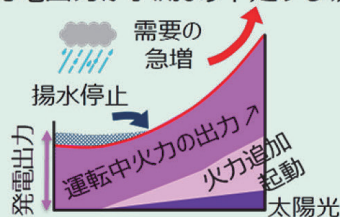
夏季始業時間帯のケース

現在の給電優先ルール

- 電源I,II (オンライン) の出力抑制, 揚水運転
- 電源III (非オンライン) の出力抑制
- 連系線を使った広域運用
- バイオマス出力抑制
- 自然変動電源出力抑制
- 長期固定 (原子力, 流れ込み水力等) の出力抑制



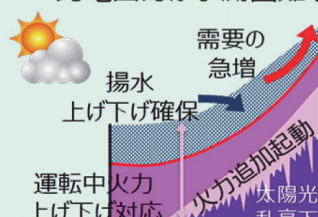
発電出力が予測より不足する場合



運転中火力の出力増のみで需要増加に追従不可
火力の追加起動で上げ代確保
 (夕方の必要台数も確保)

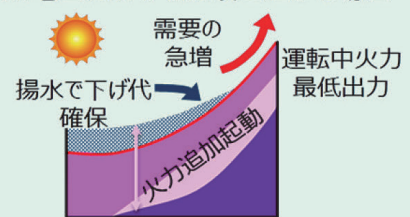
2016年 電力技術懇談会配布資料「再生可能エネルギー連系に伴う系統運用上の課題と対応 (関西電力)」を参考に作成

発電出力が予測困難な場合



太陽光の乱高下に対して、火力機の台数増と
可変速揚水の並列で
上げ下げ両方の調整力を確保

発電出力が予測より超過する場合



起動中の火力は出力調整不可
揚水で下げ代確保
 上池の空き確保: kWh面
 揚発機も残す: kW面

太陽光発電大量導入後の給電指令イメージ

18 Column

新型コロナウイルスの情報錯綜と不安
同情と共感
期限2年、汚染水処理問題をどうするのか
OECD各国の医師の男女比を調査して
見えてきたこと
行動することを躊躇する時、
幼子を思い出す
今・このために過去と世界に学ぶ

井内千穂
上野和花
小澤杏子

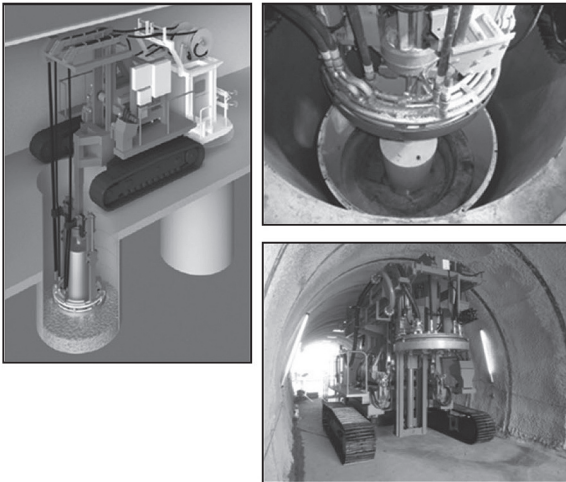
妹尾優希

服部杏菜
服部美咲

報告

21 可逆性を担保する回収可能性に関する 技術的対応と性能評価に向けた工学 技術の役割 —(1)回収可能性に対する 技術的対応のあり方

昨年12月に原環センターが開催した研究発表会で、
高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する標題に係る
研究成果が紹介された。本稿では第1回目として、前
者の内容について報告する。 江守 稔



回収方法（技術や装置）の開発に重点をおいた
技術的アプローチの例

ジャーナリストの視点

52 使いたくない言葉

河村尚志

理事会だより

53 監事の仕事と雑感

中田耕太郎

4 NEWS

- IMF, 世界経済成長率を下方修正
- JT-60SA 組み立て完了
- エネ庁, 1F 処理水取扱で意見聴取
- 原子力文化財団, 世論調査実施
- 消費者庁が食品の風評被害を調査
- 海外ニュース

Short Report

37 GLOBAL2019 国際会議の概要報告

飯塚政利ほか

41 IAEA「長期的な原発使用済み燃料の 管理に対する戦略と機会」技術会合に 参加して

佐藤 勇, 西原健司

44 軽水炉燃料国際会議 「TOP FUEL2019」の概要

坂本 寛

FOCUS

原子力人材育成ネットワークを活用した取り組み

46 茨城県大洗町における原子力人材育成

中山直人

私の主張

48 日本の石炭戦略

杉山大志

談話室

50 原子力分野におけるジェンダー バランス改善をめぐる動き —OECD/NEA 国際会議での議論から

上田欽一

54 会告 「第10回総会」のご通知

55 会報 原子力関係会議案内, 英文論文誌 (Vol.57, No.6) 目次, 和文論文誌 (Vol.19, No.2) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

ふくしまの復興の取り組みから学ぶもの

巻頭言



福島大学 特任教授

小沢 喜仁 (おざわ・よしひと)

東北大学大学院工学研究科博士課程修了。
福島大学教授，同副学長を経て今年4月から現職。福島イノベーション・コースト構想推進機構理事を兼ねる。専門は機械工学，とくに材料力学，破壊力学，複合材料工学。

東日本大震災および直後の福島第一原子力発電所事故から9年が経過した今，日本原子力学会「2020年春の年会」を福島県で開催するべく，関係する方々の協力・支援のもとに大きな努力が積み重ねられていた。市民の生活にも大きな影響を与える原子力をはじめとするエネルギー技術と現在の課題，私たちの廻りの生活環境ばかりでなく森林農地を含めた自然環境における放射線の影響評価，そして災害リスクなどの科学的理解や持続可能な開発を目指す社会の構築(SDGs)の観点からも大きな意味をもつ。新型コロナウイルス感染症対策のため「開催中止」となったことは誠に残念であり，準備を進められてきた研究者と技術者，関係する機関や企業，そして学会事務局に感謝の意を表す。なお，2月27日に公開された「春の年会」予稿集にはその英知が集積していると考えている。ご高覧を賜ると幸いである。

「福島イノベーション・コースト構想」は，原発事故被害を受けた福島県双葉8町村と周辺地域の15市町村を対象とする浜通り地域等の産業や雇用を回復するため，地域の新たな産業基盤構築を目指すもので，推進機構が整備された。事故炉の廃止作業は，東京電力ホールディングスを中心に着実に進められている。廃炉は大きなプロジェクトであり，福島大学も含め，国内外の大学や研究機関が，日本原子力研究開発機構(JAEA)・廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)，国際廃炉研究開発機構(IRID)，原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)等との協働により廃炉基盤研究に取り組んでいる。さらに環境放射能研究，ロボット開発・実証拠点や国際産学連携拠点を整備して，多様な分野を対象とするロボティクス，水素や電池なども含む再生可能エネルギー，高度化が期待される農林水産等の分野で種々のプロジェクトを進め，産業集積，人材育成や研究者の定着，住民帰還の促進と交流人口の拡大等に取り組んでいる。有識者会議では，浜通り地域の国際教育研究拠点に関するその基本コンセプト(案)が示されるなど検討が進められている。

構想が目指す姿は，福島県浜通り地域のみを対象とする新たな産業の創出にとどまらない。企業や研究機関等との連携を促進するため浜通り地域における産業情報をオープン化し，市場ニーズを適切に捉えた“ニーズ・オリエンテッドな発想”で挑戦的な技術開発と企業自らの変革を促進して，未来を拓く特徴ある成果をもたらすことが期待されている。我が国にとどまらず外国からも，研究機関，高等教育機関，開発ベンチャー企業や異業種企業，さらには金融・報道機関等を含めた有機的連携こそが，未来へのエコシステムを形成し，構想実現の原動力になると考えている。

ふくしまの復興・創成には「ここに住みたい」というアイデンティティの存在が基本となる。3月24日現在，4万人を超える人々(県内9,408人，県外30,914人)が生まれ育った地域から離れた場所での生活を余儀なくされており，被災者に寄り添った支援が引き続き必要である。顕在化する「コミュニティ in コミュニティ」の新たなまちづくりの課題，防災伝承と想定される災害等のリスクへの科学的理解，風評被害と科学理解教育の課題は，今般の新型コロナウイルス感染症対策においても同様の課題として生じていると考える。ふくしまからの学びを共有したいと願っている。

(2020年4月20日記)



原子力事業は「普通」という意識



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
原子力グループマネージャー
東京大学大学院工学系研究科原子力工学専攻
修士課程修了。日本原子力発電(株)を経て、
2007年より現職。

I. 「原子力は特別だ」

“Nuclear is special” —ある業界関係者会合の場で筆者は、石油ガス企業幹部の方からこう言われたことがある。原子力業界の方々はおそらくその発言を至極当然と受け止め、何の疑問も持たないのではないだろうか。ではどのような点が普通でなく「特別」なのかと聞かれると、例えば「数万年の厳重な管理が必要な放射性物質を扱う故に高度な技術を要するし、従って大変な年月と費用がかかる」といった答えがありそうである。現に、筆者にそう質問された同氏もそのように答えた。

確かに放射性物質は取り扱いを間違えれば危険であるため、厳重な管理と高度な安全技術を要する。半減期が数万年以上に及ぶ核種もあるから人為的手段によらない処分方法まで考えなければならない。そのように特別な管理が必要となり施設も大規模となるため、設計・建設・運転・廃止措置まで時には兆円単位の莫大な費用がかかることもある。これが業界関係者のみならず他業界の方からみても「特別」と思われるゆえんであろう。

しかし、その点に錯誤があるように筆者には思える。人体に有害な物質を扱い、取り扱いを間違えれば人々の健康・生活・財産に大きな被害をもたらす事業は何も原子力だけではない。エネルギーやインフラ事業ではむしろ、安全対策や厳密な管理を全く必要としない“リスクフリー”な分野のほうが珍しいだろう。安全設計や施設管理が不十分であれば、天然ガス液化施設ではガス漏洩や爆発が生じえる。有毒ガスを扱う化学工場ではガスが噴き出し、周辺住民が避難を強いられることもある。設計時に十分な強度を担保されなかったダムは豪雨で決壊し、広範囲にわたり人家や畑を使用不能にする。着工から竣工まで約24年を要した青函トンネルでは、総工費約7,455億円、出水等により34名の殉職者を出している。「リスクある技術」であり「莫大な時間と費用が掛かる」事業は何も原子力だけではないのである。

原理的にはそうであるはずなのに、なぜか原子力事業は特別なものであるかのように考えられている。前述の幹部の所属する石油ガス企業は昨今の低炭素化志向・代替エネルギーの台頭に伴い事業多角化を目指している

が、その方向性は例えば水素燃料電池であったり太陽光であったりして、原子力発電ではない。これまで多くのリスクあるプロジェクトを経験しており、リスク管理には慣れているはずの石油ガス企業が、なぜ原子力を事業多角化の際の進出先として選択しないのか、何がそんなに参入障壁を高くしているのかは興味ある論点である。原子力のリスクは他事業のリスクとは違い管理困難、と考えているのであればぜひその理由を知りたいところである。ちなみに同氏に「あなたは技術系? (→ Yes)では、世の中にリスクのない技術はないことはよくご存じでしょう。それなのになぜ原子力だけ特別だと思うの?」と聞いたところ、答えに窮していた。

II. 勘違いがもたらした事例

筆者がこのような論点を提起する目的は、原理的には「リスクある技術」の一つに過ぎない原子力を特別だと考えている人々に、その「特別」をいつまでも続く既得権と考えるのは勘違いだと気づいて頂きたいからである。原子力業界のいくつかの問題の根底にはその勘違いがある場合が少なくないように、筆者には思える。

例えば、研究開発段階の革新技術は実用化までに長い時間がかかる、という現実がある。確かに開発当初は、特性もよくわからない技術に対してどこまでリスクを取ってよいのかも手探りであったから当然であろう。しかし、軽水炉の実用化開始とほぼ同時期に開発が始まり、1978年に実験炉が運転開始し、1985年に原型炉が着工した高速炉の場合、「当然」で現在も通用するのだろうか。2016年10月、高速原型炉「もんじゅ」を所有・運営するJAEAは、同炉の運転・維持に今後かかる費用として「約5,400億円+α」という数字を提示した。筆者の知る限り、業界関係者にはこれを当然とする声が多かった。開発段階にある原型炉であり、実用化されれば日本のエネルギー自給率の大幅改善につながる技術だから、通常の発電コストと比較して高いという批判は筋違いである、というものである。もとよりその論理にある程度の正当性があることは、原子力工学の学部教育を受けた筆者も十分理解している。

しかし、他業界の常識では生活に必須のインフラであっても「開発段階だからいくらでも国費を投入できる」のはせいぜい数年である。着工後30年余り経ってまだ竣工していない状態で「これからいくらかかるかわからないけど仕方ないだろう」といわんばかりの態度では、他業界や納税者や政治家から支援を得られなくて当然ではないだろうか。これだけが原因ではないが、技術的には運転可能であった「もんじゅ」はその後もまもなく廃炉との政治的決定がなされている。

ナトリウム冷却の高速臨界体系とその発電システムの原理自体は古くから知られており、あとはそれを実用化するだけであった。ロシアではちょうど同じころ(2016年10月31日)、高速実証炉BN-800が数カ月の試験運転を無事終え、営業運転を開始している。一方で日本が「実用化するだけ」に無限大近い時間を要していることは、産業エコノミスト的な視点では何か技術以外の原因により実用化に際して重大な障害があることを意味する。それが政治なのか、規制なのか、社会的受容性なのかはさておき、日本の業界関係者が「もんじゅ」をめぐる経緯から考えるべきことは、自分たちの意識が他産業からどう見られるかではないだろうか。

原子力業界の勘違いと筆者が考える事例がもう一つある。核燃料サイクル技術のある分野の専門家に筆者はこう尋ねたことがある。「筆者の知る限りこの技術開発は1980年代から行われていた。30年以上前から優秀な技術者たちが切磋琢磨して開発してきて、未だに実用化に至らない理由は何か？」

答えは「この技術を実証するためには大掛かりな実験設備と希少な材料が必要であり、多額のお金がかかる。十分な材料を入手し、実験設備を維持するだけの予算が国から下りてこなかった」であった。その言葉に嘘はないと筆者も思う。物理学の世界で原理が発見されることと、工学の世界でそれを実証することとは全く別物であることも理解している。問題は、開発の進め方が本当に本質的・効率的であったかどうかを真摯に振り返り、失敗の根本原因を特定しようという姿勢がこの研究者の言葉からは感じられないことである。放置すればこの研究者はあと30年でも50年でも、国からの予算が十分でないことに不満を持ちつつも半永久的に研究を続けるであろう。原子力は「特別」だからそれでも許されると考えているのだとしたら、それをぜひ他業界の研究者に聞いてみていただきたい。「何か勘違いしているのでは」と違和感を覚えられる可能性が高いのではないか。

Ⅲ. 国の支援は当然か

更に、「時間と費用がいくらかかっても仕方ない」という意識は必然的に次のキーワードにつながる：国(政府)

の財務的支援。原子力業界にいる方なら、例えば海外原子力プラント新設の条件としてこの言葉を頭に描いたことが一度ならずあるのではないだろうか。

近年、欧米先進国で相次いでいる新規建設プロジェクトのコスト・オーバーランについて「仕方ない、何十年ぶりの新設だから(あるいはプラントベンダーにとって初めての国だから、等)」で片づけるか、それとも本当に仕方なかったかどうか厳しく検証するかは致命的な違いである。「その国、その地域、ひいては世界の“経済合理性、エネルギー安全保障、地球環境”(いわゆる“3E”)のため、お金と時間がいくらかかろうが原子力は必要。しかし当然ながら民間企業にはそのようなリスクは取れない。よって国が支援するのが当然」という論理には、他業界では常識の「コスト・オーバーランの要因追求とその抑制」という意識が抜け落ちている。

前述の幹部とは別の石油ガス企業幹部によれば、「コスト・オーバーランは何も原子力だけの専売特許ではない」そうである。石油・ガスの採掘プロジェクトでもオンタイム・オンバジェットで完了するほうが稀であるため、民間企業は相当なContingency(予備金)を積んで投資判断をしている。それでもオーバーランしそうな際には企業は早めの撤退判断をする。政府系金融機関等、国の支援に頼るのはその後の段階であり、リスクヘッジ努力もコストダウン努力もしないうちから国の支援を当然のようにあてにしたりはしない。

今日、原子力業界でプロジェクト管理をしている方々のうち、石油ガス企業からこのような話を聞いて参考に行っている方はどれくらいいるのだろうか。もし少しでも聞いているのなら、当初予想より大幅にコストが上昇してリスクを取り切れなくなったプロジェクトに関して「国の支援があるべき」という言葉は安易に出てこないはずである。特別ではない他産業の「普通の事業」であれば決して出ることのない言葉をいかに原子力関係者は多用していることか。

Ⅳ. 「普通」への意識転換

「普通の事業であれば」、研究開発を数十年続けて未だに実用化しない技術への政府予算は打ち切られるであろう。数十年にわたる投資回収の見通しが不確実な事業に政府の財務的支援は簡単には与えられないだろう。

「原子力の社会的受容性」が議論されるようになって久しいが、原子力関係者が自分たちの事業を「普通」と考え、普通にふるまうようになることが、社会の信頼を得る第一歩でもあるし、他産業からの参入障壁を下げることにもなる。“Nuclear is Special”という勘違いから早く脱却したい。

(2020年3月20日記)

変動性再エネの導入増に伴う CO₂ 削減と電力安定供給の課題

早稲田大学 中垣 隆雄

持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals:SDGs) の達成やパリ協定を睨みつつ、世界的な脱化石化、分散化、効用の電化のメガトレンドの中、変動性再エネの主力化の期待が高まっているが、変動性再エネ導入増の本質的な課題は時空間の需給ミスマッチの解消であり、調整力の柔軟性向上と大容量のエネルギーストレージが主たる対策である。対策間の技術的な連携・補完・競合を考慮しながら、電力安定供給のための対策技術として地内・地域間連系線の増強および広域運用、火力・水力発電の出力調整機能の増強、エネルギーストレージの観点でまとめ、最後に今後の展望と CO₂削減技術のリスクを述べた。

KEYWORDS: Decarbonization, Decentralization, Electrification, LFC, Ramp up & down, PSH, Power to X, Energy storage, Energy carrier, Unexpected parallel off

I. エネルギーシステムの俯瞰視

1. 持続可能性を求める国際的な動向

2015年9月に、国連サミットにおいて「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され、持続可能な開発目標(SDGs)の達成に対して日本としても気候変動、エネルギー、持続可能な消費と生産等の分野を中心にSDGsに貢献していくとの方針が政府から発表された。また、同年12月には第21回気候変動枠組条約(UNFCCC)の締約国会議(COP21)にて採択されたパリ協定の第2条に、世界全体の平均気温の上昇を産業革命以前よりも2℃高い水準を十分に下回る目標が明文化された。日本も努力義務が課せられており、提出した約束草案では、2030年の温室効果ガスを2013年比で-26%の目標を掲げ、5年ごとにReviewを受けることになっている。

2020年の化石燃料依存の現状からたった30年後の2050年までに「変わっていなければならない」とされる世界のエネルギーシステムの変容において、近年特に欧州発で金融業界を中心に加速化を牽引する動きが見られる。責任ある投資家としての社会的責務を踏まえた環境(Environment)、社会(Social)、ガバナンス(Governance)のESG投資の世界的な広まりや、持続可能性による「事業仕分け」とも言うべき分類「EUタクソノミー」が2019年に発表されるなど、長期的には在来エネルギー産業にとって厳しい局面が続くと予測される。最新の地球全体の炭素循環(The global carbon cycle)によると、大気中のCO₂は4.7GtC/y(2008~2017の平均値)増加しており、気候安定化と持続可能性の点においては、パリ協定第4条の人為起源の温室効果ガス正味排出量ゼロの目標に

Issues on CO₂ emission reduction and power grid stabilization under high VRE penetration : Takao Nakagaki.

(2020年2月28日 受理)

れは到達しなければならないとの認識がEU圏を中心に大勢を占めつつあると見られる。

2. 国内の人為的CO₂排出源のマクロな構造

国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス(GIO)によると、2017年度の国内の人為起源の温室効果ガス排出量は2013年度から4年連続で減少してCO₂換算で1.292Gt、そのうち92.1%がCO₂であった。CO₂はエネルギー起源と非エネルギー起源に大別され、それぞれ1,110.9と79.3Mtでエネルギー起源が93.3%を占めた。これらの積から、「エネルギー起源のCO₂」が温室効果ガスの86.0%と圧倒的な主要因であり、排出削減のメインターゲットとなっている。

エネルギーに視点を移して国内のフローを見てみる。パリ協定の約束草案の基準となる2013年のエネルギーフローは図1の通りである。このフローを横目に、再度GIOの部門別統計を見ると、エネルギー需給構造からCO₂排出量は民生家庭・業務部門ではエネルギー転換部門の一次エネルギー源の影響を大きく受け、輸送部門では当該部門が直接調達する一次エネルギー源で決定されている構図が透けて見える。

3. エネルギーのメガトレンド

エネルギー需給はマクロフレームの人口動態や経済成長に大きく影響される。IEA(国際エネルギー機関)によると、これまでは経済成長とエネルギー需要の増加に関係性が認められたが、これらをデカップリングし、産業部門の二酸化炭素強度(CO₂ Intensity、ここでは1,000ドルの付加価値に対するCO₂排出量でt-CO₂/\$1,000VAの単位)は2017年の0.27から2040年には0.12まで引き下げるとした持続可能な開発シナリオも示している。単独で調整機能のない風力、太陽光の変動性再エネによる

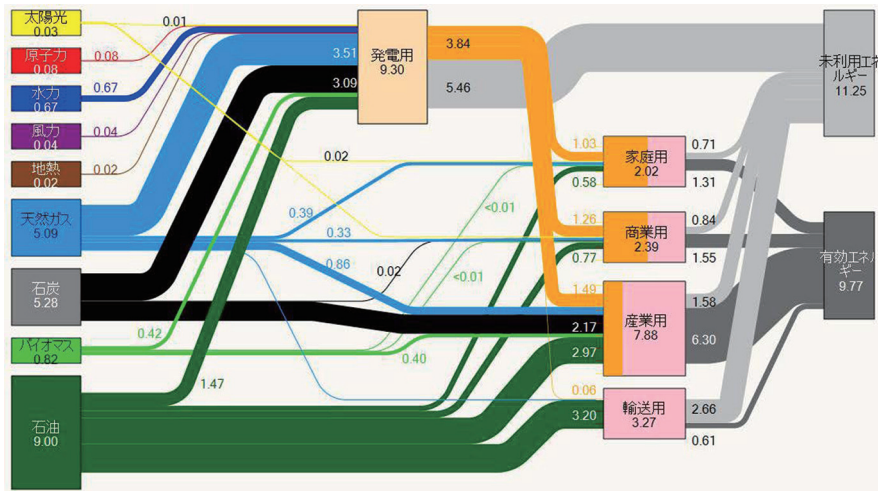


図1 2013年度の国内エネルギーフロー¹⁾

電力供給は世界で6.7 EJ(エクサジュール 10^{18} , 2018年)であり, 2040年の持続可能な開発シナリオでは, 35.7 EJまで増加すると予測されている。

国内に視点を移すと, 2018年7月に閣議決定した第5次エネルギー基本計画においても, 3E+Sと多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築が政策の基本的視座であり, 2030年に向けた政策対応の中では特に, 再生可能エネルギーの「主力電源化」が掲げられた。変動性再エネ (Variable Renewable Energy, VREとも呼ばれる) については2030年までに着実に進展すると見られるが, 当面の課題と対策として発電コストの低減と調整力の確保が重要で, 電力システム改革の進展と共に広域的・柔軟な調整に対応できる系統利用ルールの策定(日本版コネクト&マネージ)や, 蓄電池だけでなく節電で生じた余剰電力に報酬を支払う仕組みであるネガワットやピーク時の電力消費を抑制するデマンドレスポンスなどを含むカーボンフリーの調整力開発が2030年までに可能な項目として挙げられている。

一方, 2050年とその先を見据えた超長期の方針についてもエネルギー基本計画の改訂に新規に盛り込まれた。パリ協定の約束草案として2050年までに80%削減を目指すとした現在から2030年までの延長線にはない長期目標に対し, 2050年に向けては複雑かつ不確実性に対応すべくあらゆる選択肢を追求する「エネルギー転換・脱炭素化を目指した全方位での野心的な複線シナリオ」(2018年3月30日エネルギー情勢懇談会参考資料, 論点2-1)の採用が取りまとめられた。さらに次世代のエネルギーシステムが混沌とする中で, むしろそれを成長戦略と位置づけた長期戦略が2019年6月に閣議決定された。その中では特に水素導入の加速化に加え, 余剰風力が問題となったドイツを中心とした欧州で先行する電力の水素やメタンなど気体燃料への転換技術である Power to gasの動向を参考に, カーボンリサイクル技術ロードマップも同時に発表された。

このような国内・国際的な方針決定から, 2050年以降も見据えたエネルギーを取り巻くメガトレンドを抽出してみると, 以下の3点が挙げられる。

- ・Decarbonization: 一次エネルギー源の低炭素化(脱化石化)
- ・Decentralization: 民生部門を中心とした大規模集中型システムから小規模分散型システムへの移行
- ・Electrification: 輸送やものづくりを含むあらゆるエネルギー需要(効用)の電化(エネルギーキャリアとしての水素利用も含む)

すなわち, それぞれの需要端の部門での省エネはもちろん必要ではあるが, 需要の形態を化石燃料の直接利用から電化にシフトする方向と, その電源の一次エネルギーをエネルギー変換部門か各部門での自家消費を問わず脱化石化する方向の二つが同時進行していくと見られる。電化のメガトレンドとして電気事業については, 2030年のエネルギーミックス目標と $0.37 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ の排出係数目標に沿って, エネルギー供給構造高度化法によって年間販売電力量が 0.5 GWh 以上の小売電気事業者には非化石電源比率を44%以上にすることを求めている。

エネルギー計画は国家戦略の重要な柱であり, 国を境界としたエネルギーシステムでは, 一日の24時間や季節, 災害時の一時的な大変動も含むあらゆる時間軸での変動を許容できる動的なエネルギー・物質フロー, 全国津々浦々まで行き渡る送電・物流網による空間的に公平なサービス, 有限な資源による便益の持続性と廃物処理の世代間リレーのいずれもが破綻せずに成立することが前提である。つまり, 3E+Sで本質的に確保すべきは, 「持続可能 (Sustainability) でかつ, 誰もが無理のない価格 (Economical Affordability) で安定的にエネルギーを利用できること (Stable accessibility)」に集約される。

II. 具体的な対策と課題

1. 日本特有の課題

メガトレンドは、国や地域のさまざまな制約や状況によってローカライズされることから、日本特有の制約や状況を電力中心に整理しておく。周囲を海洋に囲まれた島嶼国であり、現在の東アジア情勢を鑑みると陸続きの欧州のような国際連系線の実現は困難と見られ、備蓄可能な燃料と自立した安定な電源の確保は必要不可欠である。人口減基調ではあるものの1億2千万人強(2017年公表)が暮らし、世界第3位のGDPの創出に年間約1,000TWhの電力需要があるが、そのうち2/3は安定電源が欠かせない産業部門を抱える三大都市圏に集中している。

国土は南北に長く、賦存量の多い北海道・東北と九州に変動性再エネが急速に導入されつつある。管内で地産地消に利用できる揚水発電は北海道と九州で0.8および2.35GW程度に留まり、大消費地への広域融通も北本連系(0.9GWに増強済み)や東西の50/60Hz周波数変換(2027年までに3GWに増強予定)の容量がボトルネックとなる。メガトレンドに沿って変動性再エネを大量導入・主力化するための本質的な課題は、時空間の需給ミスマッチの解消であり、変動に対する調整力のFlexibility(柔軟性)と輸送・再変換も考慮した余剰の安価なStorage(蓄エネ)が主たる解決策となる。

2. 電力系統における対策

まず、直近とも言える2030年の再エネ22~24%の電源比率の達成については、変動性再エネ増に対して電力系統で取りうる対策の拡張が中心となる。図2は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の再生可能エネルギー技術白書(第2版)にある系統サポートマップを示

しており、記載の対策は全て系統安定化目的で競合がありうる。例えば蓄エネには揚水発電の群制御や可変速化などがあり、火力・水力の調整機能向上、分散電源をネットワークで統合して発電所のように仮想的に機能させるVPP(Virtual Power Plant)・ネガワット・デマンドレスポンスによる需要制御などでも調整力を確保できる。一方、蓄電池や水素などの蓄エネルギー技術は物理的な容量や保存期間の制限がない特長があり、競合する安価な対策による変動性再エネ導入量の限界値を見定めながら、コスト競争力のある技術開発が必要となる。エネルギーシステムは複雑系であり、そのサブシステムへの要件は単独では決まらず、複数のシステムが統合されたSystem of Systemsの観点でそれぞれのシステムの補完・連携・競合などの関係性や制約を十分に考慮しながら将来設計を考える必要がある。

日本の変動性再エネは世界と異なり、太陽光に偏った導入増の傾向がある。太陽光発電および風力発電のコストは2030年までにそれぞれ7円および8~9円/kWhまで下がると試算されている。太陽光に至っては、国際的にはすでに2~3¢/kWhで取引されている例もあり、火力・原子力に対して発電量kWhでのコストデメリットはほとんどなくなるが、自律的な調整力を持たないため、システムコストとして見る必要がある。そのまま系統電力として利用する場合には、kWの時々刻々の出力変動と需要変動の残余負荷を、予備力を確保しながら火力・水力発電など回転慣性系の同期発電機で調整し、需給バランスが取られた結果としてkWhの発電量が積み上がっていく。

このため、現在も一般送配電事業者ごとの従来の系統安定化の設備や運用方法に依存することになる。東京・中部・関西の大電力消費地にはそれぞれの地域の発電事

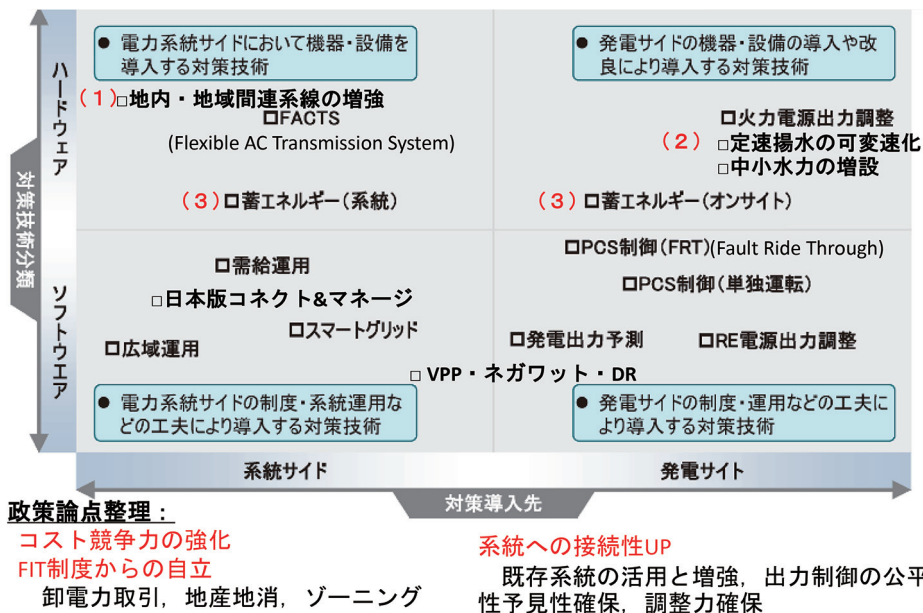


図2 系統サポート技術マップ

業者がピーク需要に対応できるように火力・水力・原子力発電の電源を保有、あるいは融通の相対契約があり、グリッドの規模も大きいため、現時点では九州ほど大問題となっていない。

風力は最低需要の夜間に発電、昼間ピーク時に無風で発電しないなど、ランダム性が強く、対策として風況の異なる地域への分散導入による平滑化で、出力ゼロの確率を下げる事が挙げられる。昼間の必要な時に大出力を得るようなkW 寄与の運転は困難なため、広域化・高度予測と大容量のエネルギーストレージによってkWhの価値を最大限高めることが望ましい。太陽光発電は気温や南中高度からその日の最大出力が予測可能であり、発電のピークは必ず南中時刻で夜間は発電しないなどパターン化されており、24時間の需要曲線とも緩やかな相関が見られるため、一日を通してのkWhよりもkWとしての価値がある。

それでも5月の大型連休中などの最小需要期には、出力抑制あるいは蓄電池などのエネルギーストレージによる日没後の需要への供給シフトなどの対策が必要になる。不安定な変動性再エネの大量導入も一因となり、年間の需要持続曲線におけるピーク対応供給力やリスク管理としての維持電源においては稼働率が極めて低くなる事が予想され、採算性の悪化が避けられない。それに伴い、自由化された発電事業者において大容量のΔkW(瞬時要求に対応できる能力)の出力が可能な電源への設備投資が抑制されることで、希頻度ではあるが電源不足の懸念もあり、対策として容量市場などの設計が進んでいる。

具体的に、夏季始業時間帯において、3パターンの気象条件における給電指令のイメージを図3に示す。特に厳しい太陽光の乱高下で予測困難な状況では、上げ代と下げ代の両方を確保するため、火力機の台数増と可変揚水の並列運転で対応することになる。当日の需要予測

は高精度で実現できていることから、これらの給電指令を安定的に実施するためには、気象のメッシュ予測の高精細化と予測精度の向上が必要不可欠である。今後はAI(人工知能)を用いた高度な発電量予測によって予測精度も極めて高くなると考えられる。

次に系統安定化対策の詳細を順に述べる。

(1) 地内・地域間連系線の増強および広域運用

図4の通り、現在の電力系統は大規模集中発電所から需要家へ一方通行で設計されており、下位から上位系統へ大量の逆潮流を想定していない。域外需要地へ送るための連系線は、運用容量の範囲内で電力広域的運営推進機関がN-1電制を含む実潮流ベースで空き容量を算定し、その隙間をノンファーム電源等に間接オークションで全容量を開放するように変更されている。

それでも容量には限界があるため、さらなる物理的な増強も計画されているが、巨額の投資も必要となる。比較的小規模な太陽光発電などは、局所の電圧上昇などの課題もあり、パワーコンディショナー(PCS)への機能追加、無効電力補償装置(SVC)、蓄電池などを効率よく配置して解決することが望ましいが、送配電網の形状と接続形態(ネットワークトポロジー)に依存した局所の問題であることから、情報の非対称性の解消に向けた送配電事業者の動きが期待される。

2030年を見据えると、大都市部への人口集中の流れは止まりそうにない。図5に示す通り、2018年時点では東京・関西・中部の3社で全体の2/3の年間需要があり、それぞれ50GW超および25GW超の夏季の最大需要がある。上位3社の用途別シェアでは産業が40%も占める。一方、変動性再エネの賦存量の多い適地は九州、東北、北海道であり、変動性再エネの出力抑制をできるだけ回避するとすれば、大消費地への広域送電は地産地消の何倍にもなる。季節で見ればオール電化の普及した家庭で冬季の需要に太陽光発電の出力低下がネガティブに作用

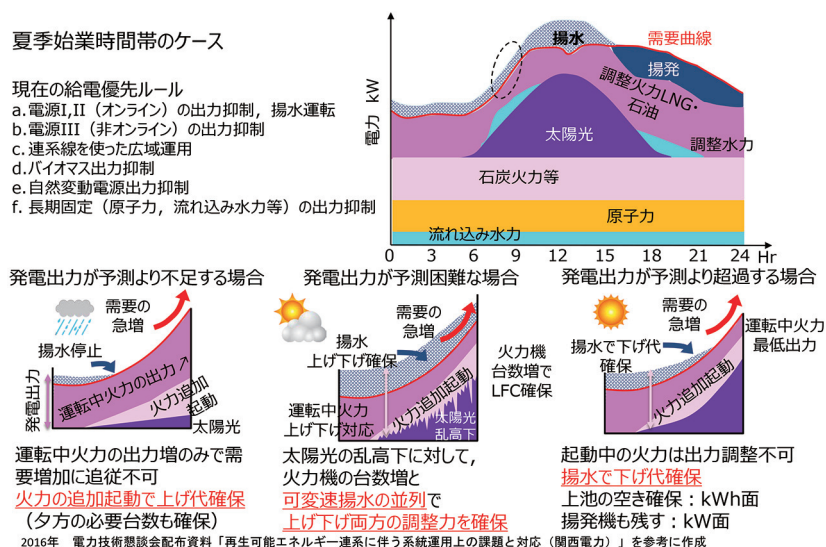


図3 太陽光発電大量導入後の給電指令イメージ

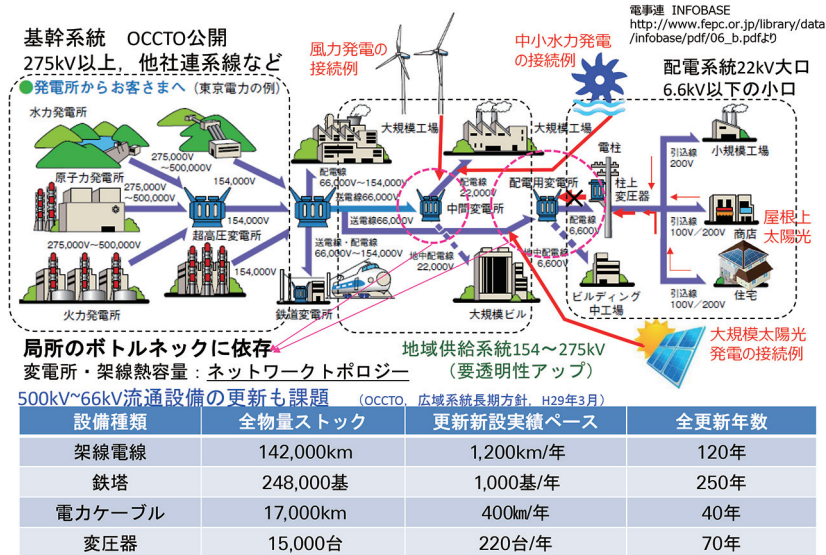


図4 連系線・送電網と配電網

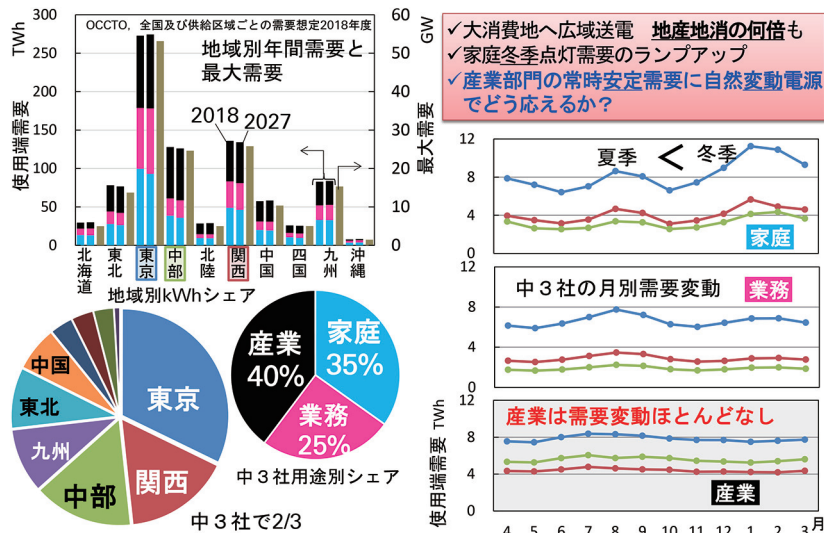


図5 需要の集中と部門別の変動の違い

し、時間断面で見れば点灯需要の増加時間帯への急速な発電出力増(ランプアップ)の対応電源が必要となる。

一方、産業用は常時安定した需要があり、その要求に対して変動性再エネのみで応えるのは困難である。さらに、電力インフラの物量ストックが増えると、現在の実績ペースでは現実的に更新に長い年月がかかってしまうため、費用対効果の高い架線・ケーブルを変動性再エネ設置計画とともに効率的に進め、AI・ロボットを駆使した点検保守技術の開発も必要である。

(2) 火力・水力発電の出力調整機能の増強

さまざまな需要変動の周期に対し、変動性再エネの大量導入で火力・水力発電にとって重要となるのが十分な負荷周波数制御(LFC)容量(マージン)の確保と短周期で大容量の出力急増・急減(ランプアップ・ランプダウン)への対応である。LFC マージンで問題となるのは、例えば需要の少ない中間期の始業時間帯の晴・曇天時の太陽光

の変動調整、夜間ベースロード付近での風力の変動調整などである。ベースロードに固定速揚水機のポンプ運転負荷を加えた需要に対し、今後再稼働が見込まれる原子力や大容量の安価な石炭火力、流れ込み水力などのベースロード電源に、ミドルおよびLFC用電源としてガスタービン複合発電などの火力発電が運転されている。

風力の変動に対し、火力発電は発電ゼロを想定した容量が確保されており、風力の出力に応じた残余負荷に対して部分負荷運転で需給調整することになる。この場合、風力が最大出力に達しても火力発電機の固有の最低出力を下回る部分負荷運転にならないように十分な下げ代を確保しておかなければならない。

一方、可変速揚水機も併用できる場合、可変速ポンプ運転による負荷の上積み調整によって、火力発電機のLFC マージンの一部を担いながら下げ代もカバーすることが可能である。この場合、LFC マージン確保と火力

の焚き減らしで、燃料費とCO₂排出量の両方の削減にメリットが生まれる。

電力中央研究所²⁾によると、自然変動電源の設備容量が増えても、その分だけ火力・水力・原子力の発電設備容量が減らせるわけでもなく、高効率なガスタービン複合発電も効率の悪化する部分負荷運転と停止時間で年間の90%を占めると報告されている。逆に可変速揚水発電機の稼働率は高くなり、変動性再エネの電力貯蔵としての機能が発揮されると予測されている。それでも風力発電の出力抑制率は太陽光発電に比べて高く、売電機会の喪失が見込まれることから、コスト競争力のある他のエネルギーストレージの容量増加に期待が高まる。

一方、既存発電機には稼働率が下がりつつも必要時の確実な起動のため、シビアなメンテナンスが求められる。電力広域的運営推進機関の調べによると、図6に示すように火力機においては稼働率が低いと計画外停止の

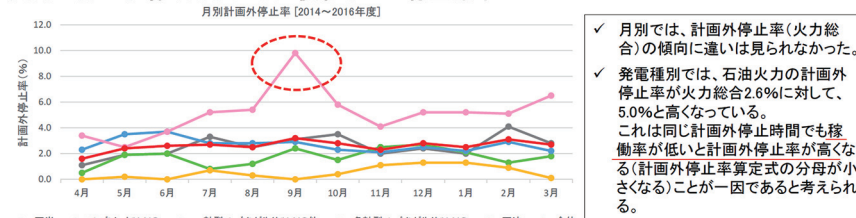
確率が高まる傾向にある。すなわち、変動性再エネが増加して運転頻度が低下すると必要時の供給不確実性が高まり、大規模な停電に繋がる恐れがある。水力機においても温暖化でゲリラ豪雨や渇水など極端な気象条件が重なると計画外停止の確率が高まり、特に夏季において深刻な電力不足を招きかねない。変動性再エネの設備にも同様なリスクがあり、温暖化の影響で巨大台風や水害・土砂災害、冬場の雪害などによって、ソーラーパネル・風車の双方にさまざまなトラブルが発生しており、設備容量増に伴い多数報告されている。

次に火力発電として汽力発電とガスタービン複合発電、水力発電として調整池式、貯水池式および揚水式の変動性再エネ調整力としての比較一覧を表1に示し、以下に簡潔にまとめる。

(i) 調整運転継続時間

火力発電は任意の出力で連続発電できるため、LFC調

火力：再エネ増でたまにしか使わない 停止確率



水力：温暖化でゲリラ豪雨増 停止確率

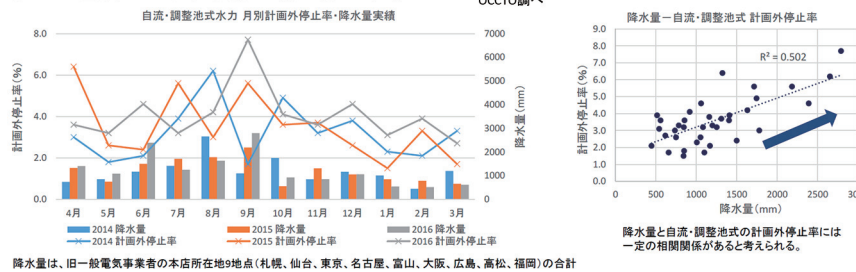


図6 計画外停止のリスク

表1 火力・水力の調整力

タイプ	BTG			LNGCC	水力(流れ込み式を除く)		
	D:ドラム(35万kW級) K:貫流(70万kW級)			M:1100°C級 (単軸15万kW級) L:1300°C級以上 (単軸35万kW級)	調整池式	貯水池式	揚水式
種別	石油	LNG	石炭	LNG	—	発電	定速揚水 可変速揚水
GF運転	◎	◎	◎	◎	△	○	○
LFC調整力	◎	◎	◎	◎	△	○	○
出力調整力	D ○ K ◎	◎	○	単軸：M△/L○ 系列：◎	○	○	○
出力下限	D 30% K 15%	D 20% K 15%	30%	単軸： M 80%/L 50% 系列:20%	30~50%		—
出力変化率 %/分	D 3% K 5%	D 3% K 5%	D 1% K 3%	M 7% L 10%	出力調整幅内の出力変化は1分程度		
起動時間	Cold	D 20~30時間 K 30~40時間		12時間	起動 3~5分 停止 1~2分	起動 5~10分 停止 1~2分	
	Hot	D 3~5時間 K 5~10時間		1時間		揚水も可変速化 (できればゼロから)	

今後重視される火力発電の性能
 起動停止時間短縮、ランプ関数の出力変化率の増大、出力下限の低下(下げ代大)
 部分負荷運転での高効率化、GF容量の確保、多様な燃料種への対応 など

整力の容量としては十分である。一方、水力発電は貯水池の貯水可能量の範囲内での発電・揚水となる。

(ii) 最低出力運転

変動性再エネ出力が増加し、残余負荷が緩やかに減少した場合には火力・水力発電の出力減で対応し、その下げ代は設備の下限値に依存する。火力発電の最低出力は汽力発電で定格 30 % 程度、ガスタービン複合発電で 50 % 程度であるが、近年、調整力の柔軟性拡張のため、最低出力を汽力発電では 15 %、ガスタービン複合発電で 25 % 程度まで下げる目標がある。水力発電の最低出力は流水中に気泡が発生して起こるキャビテーションと呼ばれる衝撃発生等により、定格 30~50 % 程度の設備が多い。

(iii) 起動停止および出力変化率

短周期で大容量の出力急変に対しては kW としての容量確保のみならず、出力変化率(ランプレート, %/分)の拡大と起動時間の短縮による急速起動性が要求性能となる。火力発電は本質的に熱膨張差が生じる温度差の大きな機械システムであり、起動停止を含む非定常時のダメージ回避のため、長期間停止した後の状態からのコールドスタートで 10 時間以上、短時間停止後のホットスタートでも数時間はかかる。すでに並列運転していれば、そこからの出力変化率は $\pm 3\sim 5\%$ /分程度である。

近年、最低出力と同様な視点により、汽力発電で最大 8 %/分、ガスタービン複合発電で 14 %/分を目標に検討が進んでいる。水力発電は無負荷から 100 % の定格運転まで数分以内で変動可能であり、数十 MW の需要低下に対しても十分に追従できる。また、緊急時においても、水力発電の起動停止はわずか数分程度である。さらに、最新の変速揚水発電機では 0~100 % の運転範囲で LFC 調整力として使えるほか、回転機の慣性を利用したフライホイール運転機能など優れた特性を持っている。

(iv) 部分負荷効率

部分負荷運転の効率低下は、火力・水力発電のいずれにとっても改善すべき課題である。火力発電の汽力発電およびガスタービン複合発電で、それぞれ定格に対する 30 % および 50 % の部分負荷運転において送電端効率はいずれも定格時の 85 % 程度に低下する。水力発電は高度成長期の電源不足に対応すべく、過去には最大出力を確保する設計で部分負荷運転では効率があまり高くなかった。近年設置されている水車は、最大出力 kW から最大発生電力量 kWh を重視した効率がフラットな特性を持つ設計に変化してきている。

(v) 国内揚水発電所の規模

変動性再エネの出力抑制率を下げるための安価で大容量のエネルギーストレージ技術が必須であり、電力系統の調整力を持ち、全電力貯蔵容量の 99 % を占める揚水発電の利活用は最重要課題である。日本国内の揚水発電所は 45 箇所(主機台数 136 台)で、発電所出力合計は

27.6 GW、全発電容量に占める揚水発電容量の割合は 11 % で、欧米の 5 % 以下に対して有利な状況にある。

一方、運転開始から経年 30 年を超過する発電所が全体の 57 % を占めており、今後ポンプ水車・発電電動機を中心とした電気設備の更新時期を控えた発電所が増えていく。元々、夜間の原子力の発電電力を特に夏季ピーク時の需要対応にシフトさせる用途で開発された定速機が多く、可変速揚水発電機は 2 GW 程度しかない。定速機はポンプ運転での調整力を持たず、発電の下限値も 30 % に留まっている。また、発電および揚水の起動停止に数百秒を、ポンプ運転と発電運転の切り換えにも 10 分以上を要する。発電機器などを製造するドイツの VOITH 社の「ターナリー・ユニット」はポンプ運転・発電を 25 秒で切り換え、 $-100\sim +100\%$ まで途切れることなく運転可能なシステムとなっており、変動性再エネの調整力として高い柔軟性を有している。これは、欧州において緊急性を要する調整力市場が形成されており、変動性再エネを中心とした安価な余剰電力で汲み上げ、発電時の売電価格との差分で利益創出できることが背景にある。

他方、国内ではフランシス型のポンプ水車ランナ 1 台で兼用しており、切り換え時間の短縮には改良技術の開発が必要となる。NEDO 調査報告によると、変動性再エネ導入増に合わせた国内揚水発電機の技術開発案では、複数台の群制御による仮想的なバッテリー機能や既設機の有効活用による機能向上をコストミニマムの第一段階として実施し、次のステップとして可変速化とダウンサイジングを主とする設備更新時期に合わせた改修、さらには国内揚水機が苦手とする高速な切り換えを蓄電池と組み合わせることで克服した日本型の高機能エネルギーストレージの実現を提案している。

(3) エネルギーストレージ

エネルギーストレージとして、水素を含む電力貯蔵については図 7 のようにまとめられる。同図には技術ごとの耐用年数(L)、技術的成熟度(T)および蓄電・放電の複合効率(η)も示した。変動性再エネ大量導入には、同図の右上の大容量をカバーできる安価な技術が必要となる。前述の揚水発電以外の選択肢は圧縮空気(CAES)、レドックスフロー電池、水電解/水素/燃料電池(HFCSS)が有力である。水素以外にもメタンやメタノールなど、回収した CO₂ を有効に利用する CCU と組み合わせた余剰電力活用(Power to X)として、化学的エネルギーキャリアへの変換も含まれる。変動性再エネを非電力用途としてすでに分散して導入されている氷蓄熱や家庭用ヒートポンプ給湯器(エコキュート)などの直接蓄熱あるいは蓄熱発電、産業界での加熱炉などにおける熱利用、電動車(xEV)の輸送動力源として用いるなどの部門間でのエネルギー融通(セクターカップリング)も浸透すると見られる。

一方、二次電池のキー元素としてリチウムがあるが、

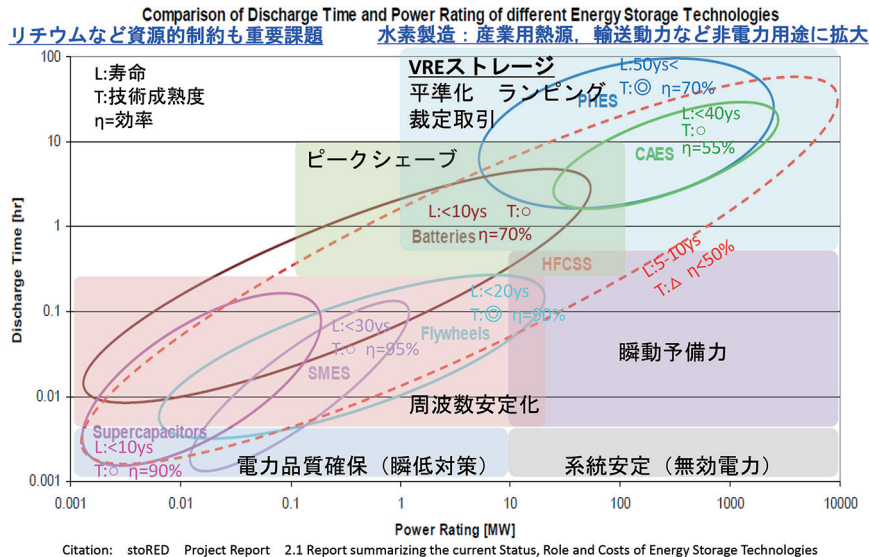


図7 電力貯蔵システムの適用範囲

その国際的な資源調達が律速する可能性や車載用バッテリーの二次利用から廃棄までを含むライフサイクルCO₂観点での社会システム構築も考慮しなければならない。エネルギーストレージの世界的な規模感として、IEAのエネルギー技術展望2017には、世界で現存する揚水発電の設備容量150GWの約3倍が、2DSでは必要との試算がある。

Ⅲ. 今後の展望とリスク

変動性再エネ利用による産業界の脱炭素化については近年、主要機関からさまざまな論文や報告が発行されているが、これらの文献において、回収CO₂由来の製品(一旦は固定)の利用あるいは廃棄まで通したライフサイクルアセスメントでの固定量の記述には疑問な点が多い。この分野の議論が収斂するまでにはさらなる研究が必要と思われる。

Negative Emission Technologies(負のCO₂排出削減技術, NETs)に属するバイオマス発電+二酸化炭素分離回収貯留(BECCS),あるいはバイオ炭によるCO₂固定等の技術にも局所の生物圏への影響などが不明なこともあり、慎重な論調もある。さらにこれらの技術は、土地利用の変化に伴う土壌固定量の変化によるフィードバックが不明で、窒素肥料(アンモニア・尿素)や真水の使用量の格段の増加も全て連環していることから、NETsとしての確実な固定量の検証が困難とも考えられている。NETsへの過度の期待や依存に対する警鐘もある。

あらゆるCO₂排出削減技術の経済性向上と急速なスケールアップが必要である。小規模から可能で事業リスクが小さく、法的規制も少ない変動性再エネや蓄電池の導入ペースに対し、その対極にある二酸化炭素分離回収貯留(CCS)などは進捗が遅い。一つの技術でのCO₂排出

削減には限界があり、単独で解決できるわけではない。変動性再エネの主力化と水素利用、省エネ、原子力発電所の再稼働、二酸化炭素分離回収・有効利用・貯留(CCUS)などそれぞれがJust Transition(公正な移行)の総力戦の一つであることを改めて認識しておくべきである。

※本文には、ボイラ研究 第393号(2015)「環境負荷低減と安定供給に向けたエネルギーシステム技術の方向性」、ターボ機械 第46号第5号(2018)「自然変動電源の大量導入とエネルギーストレージシステムの役割」、日本機械学会誌 第122巻第1203号(2019)「CCS, CCUSのレビューと技術展望、～コスト、量的寄与、リスクの観点から～」、化学工学会関東支部編、「進化する燃料電池・二次電池—反応・構造・製造技術の基礎と未来社会を支える電池技術—(最近の化学工学67)」(2019, 三恵社)、火力原子力発電技術協会誌第70巻第10号「次世代エネルギーシステムに向けた低炭素燃料の展望」(2019)、日本鉄鋼協会誌ふえらむ 第24巻第12号「人為的CO₂排出源のマクロな構造と削減技術の方向性」(2019)への著者の執筆内容を一部再編しています。

— 参考資料 —

- 1) Kato, et al., Energy Technology Roadmaps of Japan, Springer, (2016).
- 2) 山本・他3名, 電中研報告: Y14002 (2014).

著者紹介



中垣隆雄 (なかがき・たかお)
 早稲田大学理工学術院
 (専門分野/関心分野) エクセルギー視点での熱・電気・化学のエネルギー相互変換システム, CO₂分離回収貯留・利用技術

新型コロナウイルスの情報錯綜と不安

フリージャーナリスト 井内 千穂

2020年3月に入った現時点で、新型コロナウイルス感染症がどのように収束するのかしないのか、見えていない。2月29日に政府の対応に関する安倍首相の記者会見が行われ、3月2日から春休みまで、全国の小学校・中学校・高校などの臨時休校が要請されている。ここ1、2週間が正念場だという。

自分が発症に気づく前に周りにうつしてしまう厄介な感染の拡大を防ぐのは想像しただけでも難しい。多くの人は軽症で治ると言うが自分はどうか。うつすリスクを考えると老親を訪ねるのも憚られる。その中で、日本政府の危機管理意識は甘すぎるのか？ 感染疑いの検査対象を拡大すべきなのか？ 人が集まるイベントは中止すべきなのか？ 全国一斉休校は妥当なのか、無意味なのか、逆効果なのか？ 専門家の間でも見解が分かれ、マスメディアやSNSには様々な立場の情報や意見が飛び交う。デマを真に受けた人々は生活必需品を買いに走り、デマが現実化する。

このような不安と混乱は、9年前の震災による福島第一原発の事故後にもあった。放射性物質も新型コロナウイルスも、よくわからないから不安だ。政権が交代しても、政府の説明がなかなか信頼されないことに変わりはなく、未知の事態に関係者がどんな対応をしても何らかの批判がある。人々は自分の感覚や価値観に合う人の言うことしか信じない。原発を巡る状況と同じく長引きそうだ。避難先はない。

それでも、誰でも自分の意見を自由に言える社会を尊重するからには、不安と混乱自体を受け容れ、未知のウイルスとも意見の異なる人とも共に生きるすべを学ぶしかないのだろう。

Column

同情と共感

京都教育大学附属京都小中学校9年生 上野 和花

福島訪問をした学校代表が主催する報告会、討論会が行われた。私は今回初めて報告を聞く側として参加したのだが、思いがけず周囲の友人の本心を聞くことができた。友人が言うには「自分の生活には何も困っていないし、危機感を持つことはない」「福島の人にも同情して欲しくないだろうし、自分たちが同情することは逆にかわいそうだと思う」と。

言葉にうまく表せないショックを感じつつ、現状を理解して欲しいと説明したが、一方で友人の意見も理解できる自分がいた。同情とは？

調べると同情の意味や捉え方は様々だが、主に悲しみの気持ちを理解しようとする試みでそこには「かわいそうに」や「助けてあげたい」といった哀れみの感情が含まれるようだ。私の思いは同情なのか…何かもやもやとする自分。

類義語には「共感」とあるがその違いを理解することは難しかった。

そんな中あるニュースを目にした。聖火リレーのスタート地点として沿道の整備が進むも、フレコンバック置き場をシートで隠したり夜ノ森駅周辺の道だけ避難指示が先行解除されたり…東京五輪のため、偽りの復興だ！と訴える現地の声を取り上げていた。私はどんな感情よりも先に「怒り」が湧いてきた。一方で同じニュースを見た母は「気の毒に…まだまだ支援がいる」と思ったという。

この感情の差こそが同情と共感の違いか、と感じた瞬間だった。私は実際に福島を訪れ現地の方と交流し同世代の友人もいる。「共感とは相手の思考や気持ちをあたかも我がことのように感じとろうとすること」その意味がわかった気がした。同情よりも共感の輪を広げていくために…何が大切なのかを考えたい。

期限 2 年，汚染水処理問題をどうするのか

東京学芸大学附属国際中等教育学校 3 年 小澤 杏子

2019 年，東京電力ホールディングスは福島第一原子力発電所で汚染した水を浄化した後の処理水を貯めるタンクが，2022 年夏頃に満杯になるという計算を公表した。トリチウムを含む処理後の水を政府や事業者はトリチウム「処理水」と呼んでいるが，メディアやネット上では相変わらずトリチウム「汚染水」という言説が幅を利かせている。

要するに，2022 年を迎える前にトリチウム処理水ないしは「汚染水」の行方を決定し，実行に移らなければならないということになる。期限は 2 年。今まで繰り広げられてきた議論の中で決着がつかなかったこの社会問題を，たった 2 年で対応できるのか。

「汚染水」という言葉だけをみると，興味のない人は，現状の処理後の水(処理水)よりも酷いものを想像するであろう。実際，私も福島第一原子力発電所に訪れるまでは「汚染水」の実態に関する知識は皆無であった故に，「汚染水」は強い放射能を放出する危険なものだと思っていた。しかし，実際はそこまで危険ではないということを知った。というのも，ALPS 処理により三重水素であるトリチウム以外のほとんどの放射性物質が取り除かれているのが「汚染水」であるからである。トリチウムは，自然界でも生成される物質であり，雨水や水道水，大気中にも存在する。汚染水のトリチウム濃度と自然に存在するトリチウム濃度は大きく違うものの，国内外の原子力施設などでは管理された形で海洋や大気に放出されているのだ。

日本でも同様の手段をとればいい話じゃないか，と思う人も少なくないであろう。しかし，それができないのは，ロジカルなデータだけでは解決できないエシカルな問題があるからである。期限が迫っているというのに，この問題に対する大衆の危機意識が追いついていないと私は感じている。決着をつけるためにも，より多くのメディアなどでこのトピックを取り上げるべきではないのか。

Column

OECD 各国の医師の男女比を調査して見えてきたこと

コメニウス大学医学部英語コース 妹尾 優希

スロバキアよりこんにちは。昨年 9 月のコラム欄に掲載されていた，鳥居千智さんの『物理の女はカッコいいの?』を拝見しました。「男女間で脳の発達が異なることから，女性は数学・理系に向いていない」という発言に違和感をもった，との内容でしたが，こういった考えを持つ人は日本だけではなく，欧州でも少なからずいます。しかし，STEMM 分野 (Science, Technology, Engineering, Mathematics and Medicine) を専攻する学生の男女比は国際間で大きく異なり，単純に『女性は男性より劣っている』ことが要因ではないことが伺えます。

先日，STEMM 分野の職業の一つである「女性医師」の割合が，OECD 各国でかなり差がある要因について調査をし，英文医学誌にて発表しました。本稿では，今回の研究で分かったことについてお話ししたいと思います。本研究では，男女の格差に関連する様々な要因と，OECD 各国の女性医師の割合を調べました。結果，統計的に有意な相関関係を示したのは中学を卒業した成人女性の割合，小学校からドロップアウトした女性の割合，女性の学士取得の割合，女性の労働力率と大学機関に勤務する女性の割合でした。

この結果は，理系・文系に関わらず女性の高等教育の教育機会の推進や高等教育機関での就職機会を増やしロールモデルや女性の研究職へのキャリアパスを増やすことが，その国の女性医師の割合を上げるのに有効である可能性を示唆しています。出産や育児による労働時間の低下を背景に，複数の大学医学部医学科の一般入試で，女子受験者の一律減点が発覚した事案は，皆さんの記憶に新しいと思います。こうした壁に阻まれることなく，これからもスロバキアで医学を学び，欧州や日本で医師として活躍したいと思います。

行動することを躊躇する時、幼子を思い出す

福島県立安達高等学校 3年 服部 杏菜

欲しいお菓子を親に買って欲しいがためだけに、お店の床に座り込み泣き叫ぶ幼子の姿を見かけることは少なくない。なぜあんなに必死になれるのだろう。親の心を動かすために諦めず自分の意志を訴え続けるその姿は、微笑ましいばかりでなく、学ばなければならない、あるいは思い出さなければならないと感じさせるものがある。福島県では、2040年頃には県内エネルギー需要の100%相当量を再生可能エネルギーで生み出すことを目標に再生可能エネルギーの導入拡大を進めている。しかし、県民にはまったく浸透していない。少なくともそう言われても過言ではないくらいには、私の周りで知っている人が数える程しかいない。そのようないわゆる福島県民の再エネへの関心度の一端を、先日訪れたある施設で見てしまったような気がする。そこは公民館なのだが、震災後再建する際に太陽光発電や地中熱発電を取り入れたそう。特に地中熱発電に関してはそのもの自体や仕組みなどわかりやすく設置してあり大変興味深かった。しかし残念なことに私たち以外でそれらに興味を示す人間はいなかった。加えて設置当初はあったらしい説明のためのパンフレットや映像がなくなっていたこともあり、憶測は良くないが、「需要がないんだな」と察し、寂しくなった。その感情をそこで止めるか進めるかをほんの少しの間無意識裡に悩んだ。さすがに欲しいお菓子を買ってもらえないからと言って駄々をこねるほど純粋ではないが、人の心を動かすことを早々に諦めてしまうくらいに腐ってしまってもダメだよな、と思うのだった。

Column

今・このために過去と世界に学ぶ

フリーライター 服部 美咲

科学は、国境や時間を超えて、真実を求めるための方法である。過去の知見や、海外の研究成果を参照し、今・ここで私たちは考える。

東京電力福島第一原発事故による放射線の健康影響について、科学的に知ろうとするときも同様だ。かつてのチェルノブイリ原発事故や、原爆が投下された広島、長崎での知見を参照する。また、海外の研究や、それらを踏まえた国際的な勧告に十分耳を傾けることも重要だ。

これまでに、UNSCEAR(原子放射線の影響に関する国連科学委員会)などが、原発事故後の福島の放射線影響について報告している。2018年には、WHOの国際がん専門機関(IARC)が、原子力災害後の甲状腺検査について勧告した。原子力災害後であっても、甲状腺のスクリーニングをしないようにと明記する。

IARCは、既に進行中のプログラムであるため、福島の甲状腺検査の今後の方針に直接言及していない。それを理由に、「福島の甲状腺検査について、IARCの勧告に則って考えることはできない」という主張を聞いて驚いた。勧告は、放射線被ばくによる甲状腺がんのリスクや、甲状腺がんの自然史、福島の甲状腺検査の結果など、多数の研究、報告に基づいて出されたものだ。現在進行中のプログラムであろうと、将来起こるかもしれない原子力災害後であろうと、科学的には「甲状腺がんのスクリーニングプログラムは行うべきではない」という結論に変わりはないはずだ。科学は、国境も時間も超える。どんな政治的事情があろうとも、日本でだけは川が低きから高きに流れるということはある。

可逆性を担保する回収可能性に関する技術的対応と 性能評価に向けた工学技術の役割

～(1)回収可能性に対する技術的対応のあり方～

原子力環境整備促進・資金管理センター 江守 稔

2019年12月に開催された原子力環境整備促進・資金管理センター(以下、「原環センター」という。)の研究発表会において標題の観点から取りまとめて紹介された調査研究成果を2回に分けて報告する。本稿では第1回として、副題に示す回収可能性に対する技術的対応を扱う。

わが国の地層処分事業に導入された可逆性およびそれを技術的に担保する回収可能性について、更なる検討が必要と考えられる事項の検討を行った。回収可能性に対する技術的な対応の観点では、今後必要となる技術的な対応を特定し、それらの対応に向けた準備や研究開発などを進めるために、「今後の技術検討の枠組み」としての整理を行った。このような整理を踏まえて、個別の研究開発課題へと展開したうえで必要な調査研究に取り組んでいる。

I. はじめに

原子力の利用に伴い発生する高レベル放射性廃棄物等を地下深くに処分する地層処分は、多様な管理方策の比較検討を経て、現在では国際的な合意事項として選択されるとともに、隔離、閉じ込め、多重安全機能ならびに受動的な手法といった地層処分の基本的な概念や倫理的課題への対処としての段階的な進め方などが国際的な議論を経て構築されている。

わが国では、2000年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が制定され、処分実施主体の設立、段階的な処分地選定プロセスならびに処分費用の拠出など、処分事業を実施するための環境が整備され、2002年より全国の市町村を対象に第一段階の文献調査に向けた公募が開始されている。一方で、文献調査の実施に至っていない状況や、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電や科学技術に対する不安や懸念など、地層処分事業を取り巻く社会環境の変化が見られる。このような状況を踏まえ、国の審議会(放射性廃棄物ワーキンググループ、以下「廃棄物WG」という。)において、わが国の最終処分政策の再構築に向けた議論が行われた。こうした議論を経て、現世代として地層処分に向けた取組を進めるべきことが再確認されるとともに、2015年5月に改定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」(以下、「基本方針」という。)において、今

後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにするため、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保すること、および機構(原子力発電環境整備機構)は特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性(回収可能性)を確保することが定められた。

こうした背景を踏まえ、原環センターでは、資源エネルギー庁委託事業¹⁾の一環として、可逆性およびそれを担保する回収可能性(以下、「可逆性・回収可能性」という。)について、わが国における今後の具体的な制度の運用や研究開発の推進に向けて更なる検討が必要と考えられる事項を整理するとともに、今後必要とされる技術的な対応課題に取り組んでいる。

II. 段階的な進め方と可逆性・回収可能性

1. 地層処分事業の段階的な進め方

放射性廃棄物の管理については国際原子力機関(IAEA)や経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)等における議論や意見集約が行われおり、人間および環境の防護という安全目標の達成に向けて、人間の健康や環境の防護、将来世代の防護ならびに将来世代に対する負担などといった観点から管理原則が示され、これらの原則を満足させる方策として、冒頭で述べた地層処分を選択することが国際的に合意されている。また、このような管理原則に加えて、放射性廃棄物の管理方策の選択において、世代間および世代内の公平性といった倫理的な側面に考慮する必要性も示されている^{2,3)}。

受動的な管理手法である地層処分を選択することで、

Technical approach associated with the adoption of reversibility and retrievability, and the role of engineering in contributing to performance evaluation (1) ; Technical approach associated with the adoption of reversibility and retrievability : Minoru Emori.
(2020年2月10日 受理)

将来世代へ繰り越すリスクや負担の最小化という観点から一定の世代間の公平性が確保されるものの、世代内（ここではサイト選定から建設・操業・閉鎖といった事業期間中に関与する数世代を指す）の公平性については、例えば施設を受け入れる地域とそうでない地域との間の公平性など、意思決定プロセスにも関連する課題として挙げられている。このような課題は、数十年に亘る事業期間において、いかに公衆を含む関係者との協議を進め、そのような世代内の公平性に係る問題を斟酌できるかという観点から提起されている³⁾。

こうした状況を踏まえ、長期に及ぶ処分事業の実施過程において、地層処分の信頼性を段階的に向上させるという技術的な観点に加え、放射性廃棄物管理に関する倫理的課題への対処として、事業を段階的に進めることが提案されている⁴⁾。

2. 段階的な進め方における可逆性・回収可能性に関する国際的な考え方

IAEA や OECD/NEA などの国際機関を中心として、処分事業における可逆性・回収可能性に関する議論はすでに 1980 年代よりなされてきた。当初の議論は、安全上要求される品質を確保できないような場合における是正措置など、主に技術的な不確実性への対処の観点から、回収可能性に焦点を当てたものであった。その後、上述した段階的な進め方に関する関心の高まりとともに、新たな管理方策が開発される可能性や廃棄物を資源と見なすような場合など、将来の政策変更を念頭に置いた可逆性を有する段階的な意思決定プロセス、およびそのような可逆性を技術的に担保するものとして、回収可能性が地層処分の安全確保の考え方や倫理的課題への対処との関係から論じられている。

2000 年代に入り、国内外で可逆性・回収可能性に関する更なる議論が進められるなかで、OECD/NEA が 2007 年から 4 年間にわたって主導したプロジェクト（以下、「R&R プロジェクト」という。）を通して、これまでの議論を総括する形で、処分事業の段階的な進め方における可逆性・回収可能性の位置付けや考え方に関する加盟国による意見集約が行われた。意見集約の結果として、閉鎖後の遠い将来においてもなお廃棄物の回収は可能であるという共通理解のもと、処分事業における可逆性・回収可能性に関する次のような概念が整理された⁵⁾。

- 可逆性を有する段階的な意思決定の各ポイントにおける再評価の概念
- 処分場の各段階における回収可能性の変化に関する概念（事業の進展に応じた回収の容易性と費用ならびに安全確保に係る管理概念との関係を説明）

R&R プロジェクトの詳細については、本誌の Vol.55 (2013) No.9 において田辺博三氏が寄稿しているのですが、本稿での詳述は割愛するが、本稿でも踏襲している

表 1 可逆性・回収可能性の定義⁵⁾

<p>可逆性(Reversibility) 原則として、処分システムを実現していく間に行われる決定を元に戻す、あるいは検討し直す能力を意味する。後戻り(Reversal)とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為である。</p> <p>回収可能性(Retrievability) 原則として、処分場に設置された廃棄物、あるいは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力を意味する。回収(Recovery)とは、廃棄物を取り出す行為である。回収可能性があるということは、回収が必要となった場合に回収ができるようにするための対策を講じることを意味している。</p>
--

R&R プロジェクトで示された可逆性・回収可能性の定義を表 1 に再掲しておく。同定義を踏まえれば、可逆性は制度や政策的な対応能力、回収可能性は技術的な対応能力と捉えることができる。以下、技術的な観点から、回収可能性に焦点を当てて報告する。

III. 基本方針の要求事項と技術課題

1. 改定された基本方針の要求事項

冒頭で述べた廃棄物 WG での議論は、2014 年に中間とりまとめとして整理され（以下、「中間とりまとめ」という。）、“可逆性・回収可能性が適切に担保されるのであれば、現世代として地層処分に向けた取組を進めることは、最も適切な対処方策である”、“数世代にも及ぶ長期的な事業であることから、可逆性・回収可能性を担保し、将来世代も含めて最終処分に関する意思決定を見直せる仕組みとすることが不可欠”との見解が示された⁶⁾。

こうした議論を経て 2015 年 5 月に改定された基本方針は、地層処分事業における可逆性・回収可能性について、表 2 のように示している。表内の①で示される要求は明確である（施設の最終閉鎖までの可逆性・回収可能性の確保）。このような新たな施策への信頼感の醸成には、廃棄物回収技術の実現性を示していくことが技術的な対応課題といえる。他方、②の調査研究に関する要求の意図は明示的ではないが、廃棄物 WG の議論から“処分場閉鎖を行う時期(回収可能性を維持する期間)は、処分場を閉鎖せずに安全に管理可能な期間がどの程度であ

表 2 可逆性・回収可能性に係る基本方針の記述

<p>①今後の技術やその他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。このため、機構（原子力発電環境整備機構）は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保するものとする。</p> <p>②最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査研究を進め、最終処分施設の閉鎖までの間の特定放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。 ※それぞれ基本方針の第 4 および第 5 から関連箇所を抜粋。</p>
--

るか調査研究を行った上で、その範囲内で地元の意向等も踏まえ決定・見直す”という意図であることが中間とりまとめで示されている。このことから、②の調査研究の目的は、回収可能性の維持に伴う影響の定量化技術を整備していくことと捉えることができる。

2. 今後の技術的な対応のあり方

わが国の地層処分事業への可逆性・回収可能性の導入を踏まえ、原環センターでは資源エネルギー庁委託事業の一環として、わが国における今後の具体的な制度の運用や研究開発の推進に向けて更なる検討が必要と思われる事項の整理を行った。技術的な対応の観点では、可逆性・回収可能性に関して今後必要となる技術的な対応(および必要となる技術検討項目)を特定し、それらの対応に向けた準備を進めるための「今後の技術検討の枠組み」としての整理を行った¹。

(1) 回収可能性の導入に伴う技術的な対応のあり方

R&R プロジェクトでは、回収可能性の実現性を示していくうえで、次の2つの技術的な取組の方向性が示されている(回収可能性に関する技術的な対応の方針や考え方であり、ここでは「技術的アプローチ」と称す)。

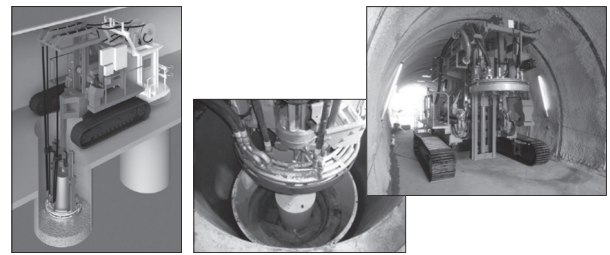
技術的アプローチ1：回収方法(技術や装置)の開発に重点をおくアプローチ

技術的アプローチ2：回収をより容易にするための方法を設計に考慮するアプローチ

技術的アプローチ1は、定置した廃棄体の回収の実施に必要な回収方法を開発しておくアプローチであり(図1)、受動的に安全な状態への速やかな移行を前提とした処分場の設計開発を先行させてきたスウェーデンやフィンランドがこれに相当する取組を進めてきたといえる。技術的アプローチ2は、回収の容易性を設計に考慮するアプローチであり、その方法や程度との関係で、多様な考え方や方法を想定し得る(表3)。本アプローチを具体化したものとして、廃棄体を完全に埋め戻さないフランスの処分場の設計例などがあるといえる(図2)。

今後、候補サイトの特定とともに処分概念や設計を具体化させていくわが国では、2つの技術的アプローチを効果的に組み合わせてアプローチしていくことが可能である。技術的アプローチ2を指向する際は、回収の容易性という指標のみにとらわれるのではなく、段階的な処分場設計の開発プロセス(設計の詳細化や最適化のプロセス)のなかで整合性を確保しつつ取り組んでいく必要がある。併せて、例えば表3に示すようなオプションの違いなど、今後採用し得る技術的アプローチの種類や内

¹ 大学等に所属する外部有識者の協力のもとで「外部可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会」を設置して検討を進めた。検討結果は、資源エネルギー庁委託事業の成果報告書の一部として取りまとめているので参照された⁷⁾。



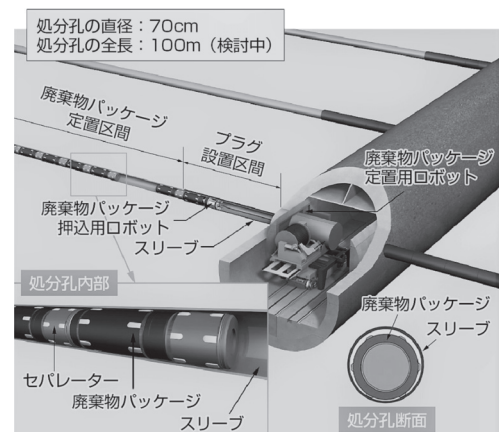
※図は処分孔縦置き方式に対する回収方法・技術・装置の開発例

図1 技術的アプローチ1の例

(出典)参考資料7)のP12の図より転載

表3 技術的アプローチ2において回収の容易性を設計に考慮する際の多様な方法の例

設計への考慮の考え方	設計への考慮の方法の例
○回収可能性の維持期間において、廃棄体へのアクセスを容易にしておく	○回収の容易性を坑道の埋め戻し状態を工夫することで考慮する(廃棄体を完全に埋め戻さない設計など)
○回収可能性の維持期間において、可能性のある将来の回収作業が容易となるようにしておく	○操業手順を工夫する ○回収時に解体・破壊しやすい地下構造物を導入する(材料選定の工夫など) ○回収の容易性を念頭に置いたレイアウトや坑道寸法設計、定置方法を工夫する、など



※図はフランスの設計例(金属製スリーブとスリーブ内に定置する廃棄体パッケージとの隙間を埋め戻さない設計であり、回収時のアクセス性を高めている)

図2 技術的アプローチ2の例

(出典)資源エネルギー庁発行「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について 2019年度版」のP65の図より転載

容に応じて、技術的に考慮すべき事項が異なることにも留意が必要である。回収可能性を一定の期間維持して将来世代の意思決定の柔軟性を確保するというメリットに関して、1)安全性、2)回収の容易性、3)回収の実施時期(回収可能性の維持期間)、4)費用、などがトレードオフの関係にあると想定される。複数のオプションからの選択においては、これらのメリット・デメリットの関係を定量化して比較検討が行われることとなる。

3. 今後の技術課題の抽出

現時点で地層処分の候補サイトならびに処分概念や設

計は特定されていないものの、候補サイトが具体化するに伴い、回収可能性の観点から次のようなことが、今後必要となる技術的な対応として想定される。

- ①わが国における回収可能性に関する技術的アプローチの具体化(例えば、回収可能性・回収の容易性に対してどのように設計オプションを準備するかといった対応方針の具体化)
- ②基本方針で示された課題である施設閉鎖までの管理のあり方の具体化(閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響の定量化)
- ③将来の可逆性・回収可能性の実施の可否を判断しなければならない場面での対応

上記の①は処分場の概念や設計を具体化する時期から、また、既述した基本方針の意図を踏まれば②は地元との協議が始まる時期から具体化を進めていく必要がある。つまり、候補サイトが具体化する段階から対応が必要となる直近の技術課題といえる。①の具体化では、幾つかの候補となるオプションの比較検討の際に、すでに述べたようなトレードオフの関係に関する定量的な情報が必要となる。②の具体化では、上記の括弧内に示すように、例えば施設の最終閉鎖をせずに回収可能性を維持する際の坑道開放状態に係るオプションの選択や回収可能性を維持する期間の決定において、比較検討を支援するための定量的な情報が必要となる。

このような技術的な対応方策の具体化等において必要となる定量的な情報を想定し、それらの定量化に必要な技術検討項目の整理を試みた。その結果は、今後の評価と技術検討に関する考え方の枠組み(今後の技術検討のフレームワーク)として整理している。表4に同フレームワークに基づく設計オプションの比較評価の概念を示す。上記①②の具体化に向けた複数のオプションの比較検討において、定量的な情報に基づいてマトリックス内に優劣を埋めることで、オプション選択の検討や選択を技術的に支援することができる。なお、表4の1)と2)が定量化できれば、安全性に有意な影響を及ぼさない期間として3)が定量化でき、また、選択する設計オプションやそれに伴い具体化される操業手順や回収手順に基づき4)を定量化することができる。その観点から、「1)安全性」および「2)回収の容易性」に関して、更なる細分化を行い、細分化した個々の項目の定量化に向けて必要となる技術検討項目へと展開・整理した(表5)。

上表を要約すれば、今後、回収可能性に関して、次のような技術的な課題に答えていくことと換言できる。これらの課題への対応は、すでに述べた基本方針の要求事項への対応を包含するものと考えられる。

安全性への影響

- 新たに設ける可能性のある回収可能性の維持期間を通して、開放坑道は安全な状態が維持されるか?
- 回収を実行する場合に、廃棄体を定置してすでに埋

表4 技術検討のフレームワークに基づく設計オプションの比較評価の概念(イメージ)

定量化すべき情報(トレードオフの関係にある評価項目)	設計オプション1	設計オプション2	設計オプション3
1) 安全性	○	△	○
2) 回収の容易性	×	○	○
3) 回収の実施時期(回収可能性の維持期間)	○	×	○
4) 費用	×	△	△

注) ○△×は定性的な評価ではなく、定量的な情報に基づいて比較評価できるようにする

表5 定量化等に向けて必要となる技術検討項目

※太字: 定量化すべき情報/斜体: 定量化に向けて必要となる技術検討項目
安全性への影響 (1) 採業期間中の安全性への影響 ① 回収可能性維持期間中の開放坑道の安全性への影響 1) 開放坑道内の作業空間の安全性 a. 開放坑道の健全性, b. 開放坑道内への廃棄体からの熱影響 ② 回収作業時の安全性への影響 1) 回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性(一度埋め戻した坑道の再掘削/再利用を前提) a. 埋め戻した坑道の再利用時の健全性, b. 再利用する坑道内作業空間への廃棄体からの熱影響 2) 回収時の廃棄体容器の健全性 (2) 閉鎖後長期の安全性への影響(回収可能性維持期間の後に回収せずに最終閉鎖する場合) ① 回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う人工バリア等に期待する安全機能への影響 1) 開放坑道を介した空気(酸素)の持ち込みによる人工バリア等の地下構造物の機能劣化等の影響 2) 廃棄体からの熱による影響 3) 坑道開放期間中に継続する坑内湧水の影響 ② 回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う天然バリアに期待する安全機能への影響 1) 地下水の引き込みによる擾乱影響の範囲と程度(化学組成の異なる地下水の引き込みの影響) 2) 開放坑道を介した酸素の供給や乾燥環境の持ち込みによる母岩側への影響範囲と程度 3) ベースライン(建設前の元の地下環境の状態)への回復過程と回復の程度
回収の容易性(回収作業時間) (1) 単位ユニットあたりの回収時間 (2) 全ての廃棄体回収に係る全体作業時間 1) より合理的な回収作業の実現に向けた技術検討/技術開発 2) より回収の容易性を高めた処分場の設計開発

め戻した処分坑道は、再掘削して回収作業で再利用するうえで安全な状態となっているか?

- 新たに設ける可能性のある回収可能性の維持期間の後に、回収をせずに最終閉鎖した場合に、閉鎖後長期の安全性に影響はないか?

回収の容易性(回収作業時間)

- そもそも廃棄体の回収技術は確立されているか?(実用技術としての実現性はあるか?)

○適切な期間内に廃棄体の回収作業を完了できるか？

IV. 個別研究開発課題への展開

定量化に向けて必要となる技術検討項目の整理(表5)を踏まえ、個々の技術検討に必要な技術へと展開して調査研究を進めている。

例えば、回収可能性を一定の期間維持することに伴う「開放坑道内の作業空間の安全性」や「回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性」への影響の評価については、開放坑道の維持期間中、あるいは一度埋め戻した坑道の再利用(再掘削)を念頭に、坑道が崩壊せずに安全な作業空間が確保できる期間を評価するための「坑道の健全性に関する予測評価技術の整備」を技術課題として設定する。その際に「坑道が崩れないように支えるコンクリートや鋼製の支持材等で構成される支保工の健全性」に着目することで、更に、支保工の機能変化の要因となり得る周辺岩盤の応力場やひずみ量の変遷、坑内湧水を含む周囲の水理や地下水化学環境の変遷ならびに温度環境の変遷挙動、また、支保工そのものの状態や機能の変化に関する構成材料(セメント系の支保工やグラウト、鋼製支保など)の変遷挙動に係る知見やデータといったものが個別の技術要素として展開される。これら個々の技術要素に対して、経験的知見の適用、現象論的試験データの内外挿、あるいは解析的手法の適用といった技術を組み合わせて健全性を評価する。現時点で十分な技術が揃っていないければ、それらは研究開発課題として抽出されることとなる。

また、これまでに、研究開発の第一段階として、現時点で有望とされる2つの処分概念(処分孔縦置方式、横置き方式)に適用可能な回収技術が実規模スケールで技術実証されている(図1および参考資料1)を参照)。既述の技術的アプローチ1に基づくこのような成果を踏まえ、表5に示す単位ユニットあたりの回収時間を見積もることが可能である。ただし、これらの実証的な研究開

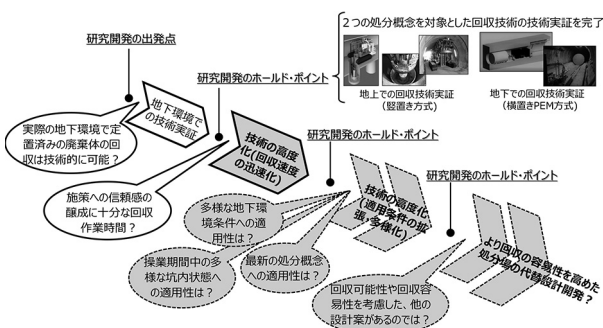


図3 段階的な回収技術の実証の開発ステップ
(出典)一部を参考資料1)より転載

発は第一段階を完了したに過ぎず、今後の候補サイトの特定に伴う関係者との多様な議論も念頭に置き、図3に示すような段階的な研究開発を着実に進めて行くことが肝要といえる。

V. おわりに

基本方針の要求事項を含め、回収可能性について今後技術的に対応すべき事項、ならびに準備を進めるうえでの技術課題が整理され、これらへの対応を進めている。新たに導入した可逆性・回収可能性という施策への社会の信頼感の更なる醸成に向けて、これらに着実に取り組んで行くことが望まれる。

本稿では、原環センター研究発表会での報告内容を原著となった資源エネルギー庁委託事業の調査研究成果¹⁾で補完しつつ紹介した。紙面の都合から、本稿での報告は委託事業の成果の一部でしかないが(特に第IV編)、委託事業の全体成果は参考資料1)や7)に取りまとめで公開されているので参照されたい。

— 参考資料 —

- 1) 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)報告書。
- 2) IAEA, "The Principles of Radioactive Waste Management", Safety Series No.111-3, Safety Fundamentals, 1995.
- 3) OECD/NEA, "The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal, A Collective Opinion of the NEA RWMC", 1995.
- 4) OECD/NEA, "Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management Experience, Issues and Guiding Principles", 2004.
- 5) OECD/NEA, "Reversibility and Retrieval (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011)", 2011.
- 6) 総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物ワーキンググループ, "放射性廃棄物 WG 中間とりまとめ", 2014.
- 7) 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成29年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)報告書(別冊、資料集)。

著者紹介



江守 稔 (えもり・みのる)

原子力環境整備促進・資金管理センター
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分の
工学技術(製造・施工技術、品質管理)、
地層処分事業の推進・規制制度

よくわかる PRA

～うまくリスクを使えるために～

第1回 確率論的リスク評価の技術課題

日本原子力研究開発機構 丸山 結,
電力中央研究所 喜多 利亘,
原子力エンジニアリング 倉本 孝弘

発電用原子炉施設、核燃料施設などの原子力関連施設の安全確保において、確率論的リスク評価(PRA)が重要な役割を担っている。PRAより得られるさまざまな知見や情報が原子力関連施設の運用に関する意思決定に有用であり、自主的安全性向上活動、新検査制度などにおいて、PRAより得られるリスクの活用もなされている。一方で、PRAの評価技術についても、日本原子力学会標準委員会において、PRA手法を中心とした標準(実施基準)の整備を行うなど段階的に進展している。こういった背景の中で、「よくわかるPRA～うまくリスクを使えるために～」と題する連載講座を本稿から7回にわたって開講する。第1回は、原子炉施設および核燃料施設を対象に、内的事象および外的事象、レベル1、レベル2およびレベル3、各運転状態(通常運転時や停止時)に対するPRAについて、技術の現状および応用例、今後の技術課題や研究・開発の方向性について概説する。

KEYWORDS: PRA, Internal Events, External Events, Application of Risk Information, IRIDM

I. はじめに

我々は、社会生活を営む上で、多かれ少なかれリスクを考えながら行動している。例えば、翌日に非常に重要なイベントが予定されている場合、それに遅刻するリスクを極力抑えるために、寝過ぎることを防止する対策や現地に余裕をもって到着する対策等を施すのではないだろうか。一方で、リスクに対する感じ方が個人によって異なるため、リスクを管理する対策の軽重が個人に強く依存することになる。要するに、定性的ではあるものの、我々は、リスク情報を活用してさまざまな行動を取っていると言える。

リスクは、安全のレベルを表す重要な指標の一つであり、その3要素と言われるシナリオ、確率および影響を用いるならば、好ましくないシナリオが生じる確率とその影響の積和と定義されよう。原子力施設の場合、通常、放射性物質を格納する機能の喪失や放射線を遮蔽する機能の劣化等により、放射線の有意な漏洩が顕在化することが好ましくないシナリオであると考えられ、その

影響として、公衆や施設従事者の放射線被ばく(人への健康影響)を主とし、環境の汚染(環境影響)、経済の損失(経済影響)等が含まれる。

冒頭の段落において、リスクに対する感じ方が個人によって異なると記載したが、これは、原子力施設のリスクであっても同様である。しかしながら、リスクに関する情報を、原子力施設の継続的な安全性の向上、シビアアクシデント対策の有効性評価や緊急時防護対策の最適化、グレーデッドアプローチ(等級別扱い)の実践、社会とのコミュニケーション等、さまざまな活動において活用する上では、少なくとも、その時々科学的・技術的な状況に則してリスクを定量的に評価するとともに、社会に発信していくことが極めて重要であると考えられる。

確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)は、定量的にリスクを評価する強力な手法である。PRAに関する研究・開発やその応用は、およそ50年前には米国を中心に始まっており、我が国においてもその有用性を認識し、概ね1980年代以降、研究・開発が活発化した。これらの成果は、電気事業者の自主的な活動と位置付けられたシビアアクシデント対策の整備等において活用された実績を有している。しかしながら、このシビアアクシデント対策の整備が終了した後は、PRAに関する研究・開発が停滞気味になったことは否めない。そのような状況下で、2011年3月に東京電力福島第一原子力発電所の事故(以下、1F事故)が発生し、1F

For Better Understanding of PRA - Guidance for Better Usage and Application of PRA (1); Technical Issues in Probabilistic Risk Assessment: Yu Maruyama, Toshinobu Kita, Takahiro Kuramoto.

(2020年3月2日 受理)

事故に係る種々の報告書において、PRAによるリスク評価の有用性・重要性が改めて指摘されたところである。

本稿では、「よくわかるPRA～うまくリスクを使えるために～」と題する連載講座の第1回として、原子炉施設および核燃料施設を対象に、内的事象および外的事象、レベル1、レベル2およびレベル3、各運転状態(通常運転時や停止時)に対するPRAについて、技術の現状および応用例、今後の課題や研究・開発の方向性について概説する。

第2回以降においては、以下のとおり、PRAに係る重要な技術課題である個別のトピックスに焦点を当てた解説を行う。

- 第2回：リスクと不確かさ
- 第3回：外部ハザードについて考えるべきこと
- 第4回：安全目標の現状と今後の課題
- 第5回：CDFとLERFがなぜ必要か
- 第6回：人間信頼性解析の現状について
- 第7回：データを用いた不確かさの推定

II. PRAの分類と技術の現状

1. 発電用原子炉施設におけるPRA

発電用原子炉施設のPRAにおいては、ランダム故障、運転員の誤操作などの内的事象および地震、津波などの外的事象を引き金として、緩和系統の多重故障が重畳することで炉心損傷および格納容器機能喪失に至る可能性がある事故シーケンスを体系的・網羅的に抽出して、それらの発生頻度を評価し、さらに周辺公衆が受ける健康影響、環境影響などのリスクを評価する。PRAからは、原子炉施設によるリスクの大きさ、系統・機器などのリスクへの寄与、リスクの不確かさの大きさとその要因などのさまざまな定量的情報が得られる。これらの定量的情報を、原子炉施設の安全確保水準の確認、安全確保への影響度合に応じた不確かさへの対応、実効的な設計・運転管理の改善策の策定、シビアアクシデント対策の策定などに活用している。

発電用原子炉施設のPRAは、評価対象とするリスク指標に応じて、レベル1～3PRAに分類される。レベル1PRAでは、炉心損傷に至る事故シーケンスを定量化することによって炉心損傷頻度を評価する。レベル2PRAでは、格納容器機能喪失に伴う放射性物質の環境への放出頻度とソースターム(環境に放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出時期、放出期間および放出エネルギー)を評価する。レベル3PRAでは、ソースタームに基づいて、環境影響リスクを含めた敷地外への影響を評価する。

一方、事故シーケンスの引き金となる事象は、原子炉施設の内部で発生する原因による場合と外部で発生する場合があります。どちらを取り扱うかに応じて、内的事象

PRAと外的事象PRAに分類される。

日本原子力学会標準委員会(以降、標準委員会)では、発電用原子炉施設を対象としたこれらのPRAを扱うため、表1に示す実施基準を発行している。

このようなPRAの分類に対する技術の現状として、事業者におけるPRAに係る取組みの実績を示す。

1F事故以前では、評価結果を公開する事業者のPRAは、定期安全レビュー(PSR)における活用等を目的とした内的事象(レベル1PRAおよびレベル2PRA)の評価にとどまっていた。原子力学会から2007年には、地震PRAの実施基準が発行され、また当時改定された耐震設計審査指針において残余のリスク評価を求められていたことから、地震PRAにも取り組んでいたものの、2007年7月に発生した新潟県中越沖地震の知見を反映する必要に迫られる等の状況もあり、1F事故前には実プラントの外的事象PRAを実施するには至らなかった。

1F事故の後、事故の教訓からPRAを効果的に活用する重要性が認識され、新規制基準では、設置許可基準規則¹⁾および原子炉等規制法²⁾において、PRAによる発電用原子炉施設の安全性評価が明確に要求されている。これに従い、各事業者においては、新規制基準に係る原子炉設置変更許可申請における重大事故等対策(炉心損傷防止対策および格納容器破損防止対策)の有効性評価に向けて、想定する事故シーケンスグループを抽出するために、内的事象PRAに加え、地震および津波を起因とした外的事象PRAを実施している。また、再稼働後のプラントでは、自主的な安全性向上に係る活動の一環と

表1 標準委員会にて発行されている
発電用原子炉施設を対象としたPRA実施基準

原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準(レベル1PRA編)：2013
原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準(レベル2PRA編)：2016
原子力発電所の確率論的リスク評価に関する実施基準(レベル3PRA編)：2018
原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的リスク評価に関する実施基準(レベル1PRA編)：2019
原子力発電所の確率論的リスク評価用のパラメータ推定に関する実施基準：2015
原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015
原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2016
原子力発電所の内部溢水を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2012
原子力発電所の内部火災を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2014
原子力発電所の確率論的リスク評価の品質確保に関する実施基準：2013
原子力発電所の確率論的リスク評価標準で共通に使用される用語の定義：2018
外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014

して、個別プラントの内的事象 PRA および外的事象 PRA を実施している³⁻⁵⁾。地震および津波を対象とした外的事象 PRA はすでに実施されているが、内部火災や内部溢水 PRA については、いくつかの事業者が試評価に取り組んでいる状況である。地震および津波以外の外的事象に関しては、結果の公表に至っていない。

PRA の手法に関しては、前述の PRA 実施基準の要求を満たした上で、さらなる高度化、精緻化への取組みを継続して行っている状況にある。リスク情報を活用した意思決定プロセスの導入のため、国際的な慣行に比肩する PRA (Good PRA) の構築 (モデル高度化) につき、電力中央研究所・リスク研究センターを中心として、取り組んでいるところである。モデル高度化にあたっては、パイロットプラントを定め (伊方 3 号機 (PWR) および柏崎刈羽 7 号機 (BWR))、海外の最新知見を取り入れるため、海外専門家のレビューを受けつつモデル化の作業を進め、得られた知見を事業者各社に展開するという枠組みで行っている⁶⁾。前述のとおり、再稼働に至ったプラントでは、再稼働後のプラントの状態に基づいた PRA が実施されるとともに、その結果については、安全性向上評価届出書において記載、公表される。これらの PRA のうち、内的事象については高度化されたモデルによる評価となっている。

2. 核燃料施設における PRA

日本原子力学会が刊行した「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準：2018」(以下、核燃料施設のリスク評価基準⁷⁾) においては、ウラン燃料加工施設、MOX 燃料加工施設、ウラン濃縮施設および再処理施設を対象として、内的事象および外的事象のうち地震に起因するリスク評価を実施する際の要件および具体的な方法を、現状の技術水準を踏まえて規定している。本節では、これらの核燃料施設のうち、相対的に多量の放射性物質等の危険源が、プロセスに依存するさまざまな形態で多様な設備の中に存在し、多岐にわたる事故のシナリオが想定され得る再処理施設を中心に述べる。

再処理施設を含めた核燃料施設の多くにおいては、上述の特徴を有しているため、発電用原子炉施設の炉心損傷 (あるいは使用済み燃料プールの燃料損傷) に相当する状態を設備に対して共通的に定義することが困難である。そのため、核燃料施設のリスク評価基準では、レベル 1 とレベル 2PRA のように事故の進展を段階に分けるのではなく、起因事象が発生してから施設外に放射性物質が放出されるまでを一連の事故シナリオとして評価する手法を提示している。例えば、ある設備の冷却機能の長期的喪失を炉心損傷に相当する状態と定義して、それが発生する確率を評価した後に、必要に応じてそれが及ぼす影響を評価することも考えられる。したがって、核燃料施設のリスク評価基準が提示する手法は、レベル

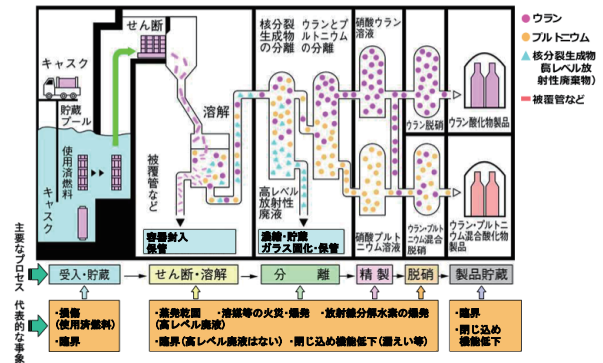


図 1 再処理施設の主要なプロセスおよび想定される事故の概要⁸⁾

1 とレベル 2PRA をシームレスにつないでいると考えることもできよう。

図 1 に示すように、再処理施設には、燃料の受け入れ・貯蔵、せん断・溶解、分離、精製、脱硝、製品貯蔵等、多くのプロセスが含まれており、各プロセスにおいて、臨界事故、溶媒火災・爆発、水素の燃焼・爆発、高レベル廃液の蒸発・乾固等、多様な事故シナリオが想定される⁸⁾。全ての事故シナリオについて詳細なリスク評価を行うことは合理的でないため、現実的な手法として、概略的なリスク評価に基づいて、リスクの観点から重要な事故シナリオを選定し、その事故シナリオを詳細なリスク評価の対象とする手法が採られる。核燃料施設のリスク評価基準でも述べているが、この手法は、グレーデッドアプローチの考え方を取り入れていると言える。

概略的なリスク評価においては、体系的なハザード分析に基づいて同定した起因事象から放射性物質の施設外への放出に至る概略的な事故シナリオの発生確率をイベントツリーやフォールトツリーといった既存の技術を用いて評価する。その際、機器故障率等のパラメータについては、オーダー値等の概略的な値を用いる。合わせて、事故時の敷地境界外における公衆個人の最大被ばく線量を、五因子法ⁱ⁾による放射性物質の放出量評価等を適用して評価する。また、必要に応じて、有害物質の放出による敷地境界外における公衆個人に対する最大の化学的影響を評価する。これら一連の評価において得られる結果を適切な考え方に基づいた基準と比較して、リスクの大きい事故または発生頻度に依らず影響の大きい事故を選定し、詳細なリスク評価を実施することになる。

ⁱ⁾ 米国原子力規制委員会が 1989 年に刊行した核燃料サイクル施設の事故解析ハンドブック⁹⁾において提案した簡易的な手法である。リスクをもたらす物質の総量 (MAR: Material at Risk)、事故の影響を受ける物質の割合 (DR: Damage Ratio)、雰囲気中に放出され浮遊する物質の割合 (ARF: Airborne Release Fraction)、肺に吸収され得る微粒子状物質の割合 (RF: Respirable Fraction) および施設外へ移行する物質の割合 (LPF: Leak Pass Factor) という 5 つの因子を掛け合わせることで放射性物質の放出量を算出する (放射性物質の放出量 = MAR × DR × ARF × RF × LPF)。

再処理施設の設備構成や事故の特徴は、原子炉施設と大幅に異なるものの、詳細なリスク評価の基本的な考え方は、原子炉施設のレベル 1PRA やレベル 2PRA と同様である。詳細なイベントツリーやフォールトツリーを用いて、放射性物質等が施設外に放出される事故シナリオを分析し、放射性物質等を閉じ込める機能を有する構築物、系統および機器(SSCs: Structures, Systems and Components)の機能が喪失する確率を人間信頼性や事故時に生じる負荷を考慮して導出する。事故の影響を評価するために必要なソースターム(施設外に放出される放射性物質等の量、化学形、放出のタイミングや持続時間)は、最新の知見に基づいて、多様な事故それぞれが有する放出経路、その経路内における熱流動や放射性物質等の移行挙動を適切に考慮した解析手法等により求める必要がある。

Ⅲ. PRA の活用例と今後の技術的課題

1. 自主的安全性向上活動への PRA の活用

1F 事故後、事業者では、リスクマネジメントを導入し、PRA などから得られるリスク情報を活用して安全性を向上することに努めてきている¹⁰⁾。特に安全性向上評価の制度は、事業者が自ら施設の安全性を評価し安全性向上のために講じた措置を公表する適切な仕組みとして運用されている。

さらに、「2. 新検査制度での PRA の活用」で詳述するとおり、新検査制度の運用検討が進んでおり、リスク情報を用いたパフォーマンスベースの制度である米国の ROP(Reactor Oversight Process)が参照されている。

このように、原子力施設の安全性を維持、向上させていくには、評価とその結果を踏まえた対策の検討を常に継続していく必要があり、そのためには、PRA などから得られるリスク情報に加え、運転経験、実施のリソース(体制、資金、時間など)ほか、多くの要素を収集、評価し、“リスク情報を活用した統合的な意思決定(IRIDM; Integrated Risk-Informed Decision Making)”を導入したマネジメントを行うことが極めて重要である。PRA から導出されるさまざまなリスク指標に基づくリスク情報が、IRIDM における最も重要な要素として活用される。リスク情報の活用については、米国をはじめとして海外において進んでおり、PRA の活用に関して多くの事例が示され^{11, 12)}、国内における自主的安全性向上活動への PRA の活用においても参考にできる。

リスク情報を活用した活動には、日常のプラント運用上の改善や規制上のプラント性能向上等、広範かつ多様なものが含まれる。具体的には以下のような取組みの例が挙げられる。

① プラントの設備変更

- ・シビアアクシデントマネジメント策の検討

- ・不適合などに対する対策の検討

② プラントの運用改善

- ・リスク上重要となる設備の状態監視強化の検討
- ・リスク上重要なシナリオにおける運転員操作を考慮した教育・訓練プログラムの検討

③ プラントの包括的な安全管理

- ・リスク情報を活用した試験・検査の検討

④ プラントの安全性評価およびパフォーマンス監視

- ・定期安全レビューにおける総合評価

2. 新検査制度での PRA の活用

2020 年度より本格運用が開始される新検査制度においては、検査における指摘事項に対し、原子力施設安全・放射線安全への影響という観点で評価をすることとなっている。このうち、原子力施設安全への影響評価においては、PRA の手法を用い、定量的評価も活用して重要度を定めることを行う。これは、安全上重要なものに注力することを目的としたものであり、規制者、事業者の双方でリスク評価を積極的に活用する環境を整備していくことを含め、国内において PRA の重要性をさらに高める取組みとなることが期待されるものである。この評価を行うための PRA モデルは、事業者と規制者とで同じモデルを使用することとなっている。

3. 技術的課題および今後の研究・開発の方向性

前章において、PRA 技術の現状につき述べたが、発電用原子炉施設における PRA、核燃料施設における PRA のいずれにおいても、対象とする PRA に係る標準委員会の PRA 実施基準に従う評価を行うことが可能である。しかしながら、PRA の評価技術のさらなる高度化の余地は残されており、また、PRA の結果をリスク情報として意思決定に活用していく観点で、検討しておく課題、整備しておく方法論がいくつかある。

以下に、発電用原子炉施設における PRA およびリスク情報を活用した意思決定を中心に据えて、今後とも研究・開発を進めていくべき技術的課題等について説明する。

(1) PRA の評価対象範囲の拡大

原子炉施設のリスクを体系的・網羅的に評価するためには、リスクへの影響が有意である内的事象および外的事象のすべてに対して、出力運転時および停止時の PRA 手法が整備されていることが重要である。考えうるすべてのハザードに対して、リスクへの影響を定性的・定量的に考察して、今後整備すべき PRA 手法を特定して、それらの開発を進めていく必要がある。標準委員会で整備されている実施基準は前章で説明したが、今後火山活動などの自然現象や複合事象(地震と火災・溢水の複合など)の PRA 手法の整備など、PRA の評価対象範囲の拡大を目指した取組みが必要である。また、1F 事故にて顕在化した FP 放出や水素爆発等の他ユニット

からの悪影響の考慮などを含めるような、複数ユニット・複数サイトでのリスク評価の実施についても、考慮すべき検討要素である。

また、地震、津波といったすでにPRA実施基準が整備されている外的事象においても、ハザードの不確かさが大きいこと、ハザードによる設備への影響の想定が難しく、保守的な評価とならざるを得ないこと等、評価手法の高度化が期待されている技術分野も残されている。溢水、火災のPRAについては、上述のとおり、試評価レベルにとどまっており、個別プラントの評価を実施することが望まれる。

(この技術的課題に関しては、“第3回：外部ハザードについて考えるべきこと”において解説する。)

(2) PRA手法の高度化

原子炉施設で現在整備されている内的事象PRAの高度化モデルにおいても、精緻化・高度化すべき個別の評価技術要素として、以下のような点などで、更なる改善の余地が残されている。

- ・PRAにおいて最も大きな技術課題の一つである人的過誤確率の評価手法改善
- ・より説明性の高いプラント固有パラメータ(機器故障率、など)の適用

(これらの技術的課題に関しては、“第6回：人間信頼性解析の現状について”および“第7回：データを用いた不確かさの推定”において解説する。)

(3) PRAにおける不確かさの扱い

PRAの重要な特徴として、不確かさがPRAの結果に及ぼす影響を鑑みて定量化するということがあるが、この不確かさの扱い、並びにリスクを活用する方法論は確定されておらず、手法等の整備が必要である。

(この技術的課題に関しては、“第2回：リスクと不確かさ”において解説する。)

(4) PRAの活用における定量的な判断基準の検討

PRAの手法に加え、PRAを活用する点においても検討すべき課題がある。PRAにより得られるリスク情報の意思決定における活用や社会的な受容性を高める上で重要となる、事故によるリスクの抑制水準である“安全目標”およびその補足的目標である“性能目標”を合理的に設定することは、PRAによるリスク情報を効果的に使用する上で必須の検討事項である。

(これらの技術的課題に関しては、“第4回：安全目標の現状と今後の課題”、“第5回：CDFとLERFがなぜ必要か”において解説する。)

(5) 核燃料施設のリスク評価に関わる技術的課題

原子炉施設と同様に、PRAの技術開発や技術の応用に係わる動向を綿密に調査・分析し、PRAに係わる手法等を最新知見に基づいて継続的に改善していくことがまずは重要であると考えられる。再処理施設を含む核燃料施設においては、放射性物質がさまざまな形態で、複数

の設備内に存在するため、事故の態様も多岐にわたる。それぞれの設備で生じ得る事故の発生確率を高い信頼性を持って評価できるよう、手法の高度化やパラメータの推定精度を高めることはもちろんのこと、事故の進展とそれに伴うソースタームを評価する解析手法の整備が不可欠である。例えば、再処理施設を例に採ると、高レベル濃縮廃液の蒸発乾固事故のリスクが相対的に高いと言われている。この主要な要因は、廃液中に含まれるルテニウム(Ru)化合物が、硝酸の存在下において、揮発性の高い四酸化ルテニウム(RuO_4)に変換され、気相中に移行することにあると考えられている。実験を通じて技術的知見が蓄積されつつあるが¹³⁾、高い放射線環境下におけるRuの液相中および気相中の化学的挙動については、十分な知見が得られていない。このような知見に係わるデータを十分に制御された実験装置を用いて高い精度で取得するとともに、実験データに基づいてモデルを構築し、ソースターム解析手法に取り入れることが重要であろう。この点は、核燃料施設の他の事故についても言えることである。

また、ソースタームに係わる情報は、レベル3PRAにおいて不可欠であるが、核燃料施設で想定される事故におけるソースタームは、放出される放射性核種の種類や化学形態が多様である。核燃料施設のリスク評価実施基準では、多様な事故の影響を単一の指標(スカラー量)に変換して比較する必要があるため、決定論的安全評価手法(気象指針に基づく評価)により“敷地境界外における公衆の個人の最大被ばく線量”を評価し、事故影響の大きさを代表して表現する手法が採用されている。これは、従来の決定論的安全評価とリスク情報の関係を理解する上でも役に立つと考えられるためである。現在のレベル3PRA手法が主に原子炉施設を対象としているため、再処理施設特有のソースタームが環境中を拡散・移行する挙動、放射線被ばくによる公衆や施設従事者の健康影響等については、今後の研究展開が期待される。

上述の通り、核燃料施設のリスク評価基準では、外的事象のうち地震のみを対象としている。言うまでもないが、外的事象には、津波、火山、強風といった地震以外の事象や複合的な事象が含まれる。原子炉施設の外的事象PRA手法等を参考にして、核燃料施設についても、発生頻度を考慮しつつ個々の外的事象に係わるPRA手法を構築することが重要であると考えられる。外的事象の場合は、それが共通の要因となって複数の事故が重畳する可能性がある。これは、原子炉施設でいうと、マルチソースのサイトレベルPRAに相当するものかもしれない。どこまでの重畳を考慮すべきかを十分に検討した上で、必要に応じて、複合的な事故のリスクを評価する手法を整備して、それを応用していくことが望ましいであろう。

IV. 最後に

「よくわかる PRA～うまくリスクを使えるために～」と題する連載講座の第 1 回目として、本稿では、国内における原子炉施設および核燃料施設を対象に、これまでに段階的に整備してきた PRA 技術の現状と今後の技術的課題や研究・開発の方向性を概説した。

PRA を活用するためには、個別プラントごとに PRA を高い品質で実施し、その評価手法を最新のものに更新することを継続していくことが重要であることは言うまでもない。また、PRA から得られる知見をさまざまな活動に積極的に活用していくことも重要である。不確かな稀有事象に対し、我々が依拠すべき定量的情報と洞察を与えてくれるのは、それが完全ではないとしても PRA しかないと考える。現状の PRA の技術が完全ではないのは事実ではあるが、その不確かさを評価、認識した上でリスク情報活用に十分に使っていけるレベルにはある。PRA の評価手法が十分に成熟した上でないと PRA の活用は進められない、また「不確かさ＝信頼できない結果」という考えがあればそれは誤解である。

本稿で示した課題は多く、それぞれの解決には多大な労力が必要なものであり、これらに対する検討については、その優先順位を考えて取り組む必要がある。1F 事故の教訓でもある PRA の積極的な活用の中で、課題の解決の道筋や検討の優先順位についても明らかになっていくことが期待される。PRA の評価技術、並びにリスク情報の活用を進めていくに際して解決すべき課題については、その背景や課題の内容、検討の方向性などに関し、連載講座の第 2 回以降で解説を行う。

また、PRA における技術的課題の検討や課題の解決、PRA の応用に対して、特に若い世代の技術者・研究者の関与および経験を増やしていくことが、リスク評価に係わる人材育成や、長い目で見ると PRA に係わる技術の進展と伝承において必要不可欠である。このような取り組みを推進していくことも重要な課題であると考えられる。

－ 参考資料 －

- 1) “実用炉発電用原子炉およびその附属施設の位置、構造および設備の基準に関する規則”，令和元年七月一日施行。
- 2) “核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律”，令和元年九月十四日施行。
- 3) 四国電力株式会社，伊方発電所 3 号機第 1 回安全性向上評価届出書，2019 年 5 月。
- 4) 関西電力株式会社，大飯発電所 3 号機安全性向上評価(第 1 回)届出書，2020 年 1 月。
- 5) 九州電力株式会社，玄海発電所 3 号機第 1 回安全性向上評価届出書，2020 年 2 月。
- 6) 電力中央研究所 原子力リスク研究センター，NRRC 研究ロードマップ 2019 年 2 月版，2019 年 2 月。
- 7) 一般社団法人日本原子力学会，「核燃料施設に対するリスク評価に関する実施基準：2018」，2019 年 3 月。
- 8) 一般社団法人日本原子力学会再処理・リサイクル部会核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ，「再処理施設において想定される事故の影響評価手法の現状と課題」，平成 29 年 1 月 31 日。
- 9) Science Applications International Corporation，“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”，NUREG/CR-6410, 1998.
- 10) 電気事業者連合会，リスク情報活用の実現に向けた戦略プランおよびアクションプラン，2018 年 2 月 8 日。
- 11) International Atomic Energy Agency，“Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants”，IAEA-TECDOC-1804, 2016.
- 12) The B. John Garrick Institute for the Risk Sciences, University of California, and The Nuclear Risk Research Center, Central Research Institute of the Electric Power Industry，“Risk-Informed Decision Making: A Survey of United States Experience”，2017.
- 13) 日本原子力研究開発機構，「平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書 再処理施設内での放射性物質の移行挙動に係る試験等」，平成 30 年 3 月，<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I029981414-00>.

著者紹介

丸山 結 (まるやま・ゆう)

日本原子力研究開発機構 安全研究センター
(専門分野/関心分野)シビアアクシデント，原子炉熱水力，リスク評価

喜多利 亘 (きた・としのぶ)

電力中央研究所 原子力リスク研究センター
(専門分野/関心分野)原子力安全，リスク評価

倉本孝弘 (くらもと・たかひろ)

原子力エンジニアリング 解析サービス本部
(専門分野/関心分野)原子力安全，リスク評価，核設計

核セキュリティ入門

第2回 核セキュリティ強化に向けた取組み

日本原子力研究開発機構 須田 一則, 木村 隆志

潜在的な核テロへの懸念が増大している中、国際的に核セキュリティ強化に向けて議論が行われている。今回の講座では、核セキュリティ強化に向けた国際社会の取組みと、日本の核セキュリティに係る条約およびIAEAによる勧告の国内法への反映について解説する。

KEYWORDS: Nuclear Security, Nuclear Security Summit, Physical Protection, Nuclear Security Guideline, International Atomic Energy Agency (IAEA)

I. はじめに

ソビエト社会主義共和国連邦(以下、ソ連)が所有していた核兵器は、ソ連崩壊後、4,600発以上の核弾頭がロシア、ウクライナ、カザフスタンおよびベラルーシに一時的に発射準備が整った状態で残され、また2万2,000発以上の戦術核兵器が存在したが、交渉の末、ロシアに返還された。当初、旧ソ連諸国の核兵器は、完璧な管理ができていなかったのではないかと懸念が示されていたが、今のところ旧ソ連諸国を含む全世界において、核兵器がテロリスト等の手に渡ったとの痕跡はない。一方、核物質については、リトアニアの発電所で警備員により燃料集合体が盗取された他、核物質の密輸等の事例が報告されている。特に、2001年9月の米国同時多発テロを踏まえ、核物質その他の放射性物質を利用したテロを防止するため、核セキュリティや核テロに関する条約、国際原子力機関(以下、IAEA)による核セキュリティに関する勧告、また核セキュリティ・サミットを通じて、各国の体制や取組みが強化されつつある。本稿では、これらの昨今における核セキュリティの国内外の動向および日本の核セキュリティ強化に向けた努力について解説する。

II. 核セキュリティの強化に向けた国際的な対応

1. 昨今の動向

核セキュリティとは¹⁾、「核物質、その他の放射性物

Introduction to Nuclear Security (2) ; Efforts to strengthen nuclear security : Kazunori Suda, Takashi Kimura.

(2019年10月23日 受理)

■前回のタイトル

第1回 核セキュリティとは？

質、その関連施設およびその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為又は故意の違反行為の防止、探知および対応」と定義され、具体的には、テロリスト等による核物質や放射線源の悪用が想定される行為である①核兵器の盗取、②盗取された核物質を用いた核爆発装置の製造、③放射性物質の発散装置(いわゆる汚い爆弾)の製造、④原子力施設や放射性物質の輸送等に対する妨害破壊行為、が現実のものとならないよう取られる措置のこととされている。

それでは、現状²⁾はどうなっているのでしょうか。日本における核セキュリティ事案発生数は少ないものの、世界的には表1に示すように様々な事案が発生している。核セキュリティで想定されている4つの行為のうち、①については先述の通り、核兵器の盗取には至っていない。②については、核爆発装置の製造までには及んでいないものの、高濃縮ウランや燃料集合体の盗取や核物質の不法移転は行われている。③については、チェチェンの過激派が、ロシア軍を撤退させるため、ロシア政府に対して「汚い爆弾」を使用すると脅し、実際にモスクワの公園からセシウム137と爆発物が発見されたという事例がある。④については、アフリカ等で武装グループによる原子力研究所やウラン加工施設への襲撃が報告されており、また米国、仏国、スウェーデン等において

表1 核セキュリティ事案の発生状況

盗取	核兵器	×
	核物質	○
	放射性物質	○
	秘密情報	○
爆発物の製造	核兵器	×
	汚い爆弾(Dirty Bomb)	○
武力攻撃	原子力施設	○
	輸送	×
その他	原子力施設への侵入	○
	放射性物質の散布	○

は、平和活動家が原子力発電所や関連施設に侵入する事例が散見されている。さらにベルギーでは、原子力発電所の従業員と思われる者がタービンの軸受けオイルを抜き取ることにより、タービンが損傷させられ、結果的に原子炉の運転停止に至った事例がある。

このように、核兵器の使用には至らないものの、原子力施設への攻撃や核物質の盗取、また盗取された放射性物質の使用は現実のものとなっている状況である。

2. 核セキュリティの脅威に向けた対応

核セキュリティの脅威に向けた制度的な対応としては、条約やガイドラインの制定、またこれらを補強する国際的な枠組みが存在する。

(1) 制度的対応(条約、勧告)

核セキュリティにおける国際的な法的枠組みの代表例として、核物質の防護に関する条約(以下、核物質防護条約)、核によるテロリズムの行為の防止に関する国際条約(以下、核テロ防止条約)がある。また日本と米国との二国間原子力協力協定に代表されるように、IAEAによる核物質および原子力施設の物理的防護に関する核セキュリティ勧告(以下、核セキュリティ勧告)のような法的拘束力のないガイドラインを二国間原子力協力協定に取り込むことで、両国で義務化する取組みもある。法的に義務化される核セキュリティ関連ガイドラインを加盟国に提供するIAEAの役割は、こうした制度やルール形成の観点からも大きい。

1) 核物質防護条約

核物質防護条約は、IAEAによる2年間の策定作業の上、1979年10月に採択(1987年2月発効)された。同条約では、国際輸送中の核物質の不法な取得・使用を防止するための防護措置をとることや、核物質の窃取等の行為を犯罪とすることを締約国に義務づけるものであった。その後、核物質の不法取引や核テロの脅威に対する国際社会の認識が高まる中、同条約の強化が検討され、2005年7月に同条約の改正案が採択された。

2) 核テロ防止条約

核テロ防止条約は、放射性物質又は核爆発装置等を所持し、使用する行為等を犯罪とし、その犯人の処罰、引渡し等について定めたものであり、2005年4月に採択(2007年7月発効)され、日本は2007年8月に加入した。

3) 核セキュリティ勧告

核物質防護に関する勧告文書は、1972年に作成され、IAEA回覧文書(INFCIRC)225³⁾として公開された。当初は核物質防護勧告と言われ、本勧告を踏まえ「国際輸送中の核物質に対する防護の義務」と、「核物質を用いた犯罪人の処罰義務、犯罪の特定、犯罪人の引き渡し」等が記された核物質防護条約の草案がIAEAにて採択された。本勧告は、1989年(Rev.2)、1993年(Rev.3)、1999年(Rev.4)および2011年(Rev.5)に改定され、1999年の

Rev.4勧告により、設計基礎脅威の明確化、機密情報保持に係る罰則規定、対応部隊との連絡体制の強化、原子力施設への妨害破壊行為に対する防護要件の明確化等が行われるとともに、勧告文書のタイトルが、「核物質防護」から「核物質および原子力施設の物理的防護」に変更されるなど、妨害破壊行為への対応が強化され、現在、核セキュリティ勧告文書と呼ばれている。

4) 核物質防護条約の改正

「核物質および原子力施設の物理的防護に関する条約(以下、改正CPPNM)」という名称が示すように、従来の核物質防護条約の内容に加えてINFCIRC/225/Rev.4の内容が追加され、大幅な内容の変更が実施された。防護措置の対象が、従来の「国際輸送中の核物質」に加えて「国内の核物質および原子力施設」に拡大された他、犯罪とすべき行為について、従来の「核物質の窃取等」に加えて「原子力施設に対する不法な行為」と「法律に基づく権限なしに行う核物質の移動」が追加された。改正CPPNMは、2010年から4回開催された核セキュリティ・サミット(以下、NSS)の中でも重要な課題の一つとして取り上げられ、そのNSSの貢献もあって、第4回NSS終了後の2016年4月8日に、改正CPPNMの締約国数が発効要件である核物質防護条約締約国(152カ国)の3分の2(102カ国)を超えたため、一ヶ月後の5月8日に効力が有効となった。

(2) 制度を補強する国際的な枠組み・協力

2001年の9.11米国同時多発テロを契機として、前述の核セキュリティ事案と相まって、核物質および放射性物質を用いたテロの可能性が、潜在的なものから現実の脅威であるとの認識が高まった。これらの脅威に対してIAEAは、原子力安全局の組織変更を行い、原子力安全・セキュリティ局を設置し、核セキュリティ面での強化を実施した。2002年には、4年毎の「核セキュリティ計画」の作成を開始するとともに、IAEAの活動を各国が支援するための核セキュリティ基金が新設された。また、2009年4月に、米国オバマ大統領(当時)は、核テロは喫緊のかつ究極の脅威であり、4年以内にすべての脆弱な核物質の管理を徹底するため、NSSの開催を提唱した。

核セキュリティの強化・向上を目指してこのように展開された国際的な活動のうち、特に重要なものとして、IAEAによる核セキュリティ・シリーズとNSSの概要について述べる。

1) IAEA核セキュリティ・シリーズ⁴⁾

核セキュリティ計画は、2002年より、これまで5回にわたって作成されてきたが、その一環で発行されてきたのが、「核セキュリティ・シリーズ」と呼ばれる文書である。これは、各国が核セキュリティ対策を強化していく上で指針となる文書として作成され、①核セキュリティ基本文書、②核セキュリティ勧告文書、③実施指針、お

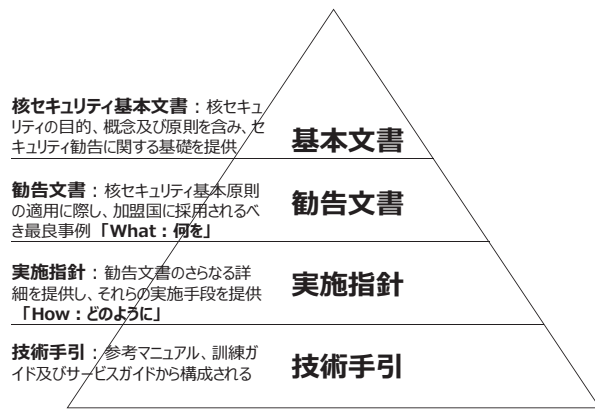


図1 核セキュリティ・シリーズ文書体系

および④技術手引という階層構造になっている(図1)。

IAEAは、2011年1月には、核物質および原子力施設の物理的防護に関する核セキュリティ勧告の改訂(INFCIRC/225/Rev.5)に加えて、ダーティーボムによる被害も甚大となり得るとの予想の下、これを防ぐための体制整備や防護措置を取りまとめた放射性物質および関連施設に関する勧告(以下、RI勧告)と、核物質の密輸が世界的な懸念であることを踏まえて、規制上の管理を外れた核物質その他の放射性物質に関する核セキュリティ勧告の3つの勧告文書を発行するとともに、その下位文書となる実施指針および技術手引等の作成を進めている。

2) 核セキュリティ・サミット⁵⁾

2010年から2016年にかけて計4回実施されたNSSでは、高濃縮ウラン保有量の最小化および分離プルトニウム保有量の最小限レベルでの維持の推奨、改正CPPNMおよび核テロ防止条約等の国際約束への早期加入の促進、IAEAの核セキュリティに係る役割の再確認、原子力安全と核セキュリティのインターフェース、核物質および放射性物質のセキュリティの向上、輸送セキュリティ等について議論が進められた。また、NSS参加国の全ての合意が困難な課題については、有志国が自発的な協議・取組みを進める「バスケット提案方式」が採用され、その強化方策の一部はIAEAの加盟国への回覧文書として取りまとめられた。主な成果は以下の通りである。

①核物質および放射性物質の最小化

NSS期間中の6年間で高濃縮ウランは29カ国と台湾から、またプルトニウムは、そのうち14カ国と台湾から、米国またはロシアに移転され、その結果、合計3.8トン以上の核物質が上記の国々から完全に撤去またはセキュアに管理されることになった。一方、放射性物質については、NSS参加国のうち23カ国が、リスクが最も高い放射線源を2016年までに国際的なガイドラインに基づきセキュアなものにすることに同意した。

②人材育成・能力構築支援

日本は、第1回NSSで、アジア諸国を始めとする各国の核セキュリティ強化に貢献するため、核セキュリティに係る人材育成や能力構築を支援するセンター(Center of Excellence: COE)を日本原子力研究開発機構に設置した。このようなCOEは、2009年以降、15カ国が国内や海外向けの核セキュリティに係る訓練の提供や人材育成、または核セキュリティに係る技術開発のためのセンターを開設し、東アジアでは、2014年に韓国、2016年に中国がCOEを設置した。

③核セキュリティ技術開発

日本はギフトバスケットの一つとして、第1回NSSで核物質の測定、検知および核鑑識に係る研究開発を実施する旨表明し、米国や欧州連合の協力を得て、ヘリウム3代替中性子検出技術、中性子共鳴濃度分析法技術、レーザー・コンプトン散乱ガンマ線を利用した核共鳴蛍光による非破壊測定技術、不純物組成分析、ウラン年代測定および粒子形状分析等の研究を実施した。

④核セキュリティ体制の強化

NSS主催国である米国、韓国およびオランダが提案したギフトバスケットである「核セキュリティ履行の強化」は、各国に国際条約の批准、IAEA核セキュリティ勧告の国内法への反映、IAEAの国際核物質防護諮問サービス(以下、IPPAS)の受け入れを促し、各国はこれを受け入れたことで強化が図られた。特に、法的拘束力を有する改正CPPNMについては、第1回NSS以降に78カ国以上の批准により発効の見通しが得られ、また核テロ防止条約の加盟国も増加するなど、NSSがこれら条約の普遍化に寄与した。

⑤核セキュリティ渉外グループの提案

第4回NSSの主催国である米国は、「国際的な核セキュリティ体制を強化するための持続的な活動」と題するギフトバスケットで、これまでNSSで採択されたコミュニケーションや作業計画、共同声明等における各国の誓約の履行促進や達成度評価を行うため、各国の政府高官からなる核セキュリティ渉外グループ(以下、NSCG)の設立と毎年の会合の開催を提案した。

Ⅲ. 日本の核物質防護に係る勧告文書を踏まえた法整備等の変遷

1. 核物質防護の国内法への導入の概要

前述の国際的な制度的対応に伴い、核物質防護を新たに取り入れた原子力協力協定の合意および核物質防護条約の加入を行うにあたり、核物質防護に係る国内法の整備が必要となった。このため、最新(当時)の核物質防護勧告(INFCIRC/225/Rev.1)を踏まえ、1988年5月、核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律(以下、原子炉等規制法)を一部改正し、核物質防護規定、核物質防護管理者等の追加がなされた。その後、同年7

月に日米原子力協力協定が発効し、11月に核物質防護条約に加入した⁶⁾。それ以降、核物質防護勧告の改定を受けた原子炉等規制法の改正が次のとおり順次行われており、国内における核セキュリティ措置の強化が進められている。

2. Rev.2 および Rev.3 を受けた法改正の概要

核物質防護勧告の改訂版である Rev.2 は、品質保証確保等が主な改訂点であったが、核物質防護を主管する原子力委員会は、関係法令(当時)で担保できるため、追加措置は不要との見解を示した⁷⁾。

1993年に発表された Rev.3 は、核物質防護対象からのガラス固化体の除外(「高線量であるとともに、(中略)回収不可能な核物質は慣行による慎重な管理が可能」との理由による)、核物質防護条約の区分表の適用が主な改訂点であり、これを受けて、1994年に原子炉等規制法施行令が改正され、同施行令に定義されている防護対象特定核燃料物質からガラス固化体が除外された⁸⁾。

3. Rev.4 を受けた法改正の概要

1999年に発表された Rev.4 では、設計基礎脅威(以下、DBT)の策定、核物質防護秘密の保持義務、核物質防護検査の導入が主な改訂点であり、原子炉等規制法に新たな核物質防護措置に係る条項が2005年に導入され、同年施行された。

本改正に伴い原子炉等規制法には、「核物質防護検査制度の導入」、「核物質に係る秘密保持義務の制度」に関することが規定された。DBTの策定については、同法改正に伴い2005年に改正・施行された関係省令に盛り込まれた。

また、上記項目2.にて述べた Rev.3によるガラス固化体の核物質防護対象からの除外は、妨害破壊行為に対する防護に関しても、Rev.4においてより具体的な検討が進められたこと等を踏まえ、ガラス固化体を防護対象とするものとして原子炉等規制法施行令の改正が行われ、2008年より、再びガラス固化体が防護対象となった。

4. Rev.5 を受けた法改正の概要

2011年に発表された Rev.5では、立入制限区域の設定、見張人詰所の機能強化、防護設備の無停電化、情報セキュリティ対策の強化などを含む全面的な改定が行われた。法令類への反映については、2011年3月の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓も踏まえ、2011年12月および2012年3月に原子炉等規制法の関連省令の改正により、まずハード的な対応が中心に行われた。Rev.5を踏まえた主な事項としては、新たな防護区域である立入制限区域の設置、施設内2人ルール(two person rule)、事業所内運搬における防護措

置の強化、情報システムセキュリティの強化、見張人詰所の防護要件強化、核セキュリティ文化醸成体制等の核物質防護規定への追加が挙げられる⁹⁾。

Rev.5で追加されたもののうち、個人の信頼性確認制度は、近年重要視されている内部脅威対策の一つとして、2016年9月の原子力規制委員会規則(例えば、使用済燃料の再処理の事業に関する規則)の改正・施行を皮切りに国内規制への取り入れが進められている。ハード面が中心であった前述の改正と比べ、本件はソフト面の強化措置と言える。具体的には、原子力施設の防護区域等の常時立入者や秘密保持義務者の指定を受けようとする者(以下、対象者)について、事前に、妨害破壊行為等を行うおそれや秘密情報を漏らすおそれがあるか否かを確認するというものである。この目的のため、事業者の責任において、対象者に対して様々な調査や面接等を実施して信頼性確認を行うとともに、確認を行った結果、対象者について、妨害破壊行為等を行うおそれがあると認められる場合には、対象者に対し、常時立入りに係る証明書等の発行や秘密保持義務者の指定を行わない等の措置が取られるという内容になっている¹⁰⁾。

5. 放射性同位元素に対する防護措置

国内における放射性物質の規制は、これまで、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」に基づき、放射性物質を取り扱う上での放射線による身体への障害を防止することを目的としたものであり、放射性物質の盗取等による防護措置を求めるものではなかった。そのような中、RI勧告では核物質のみならず放射性物質への防護措置も対象としたことに加え、2016年に実施されたIAEAの総合規制評価サービス(IRSS)の報告書においても放射性同位元素(以下、RI)に係る規制の見直し・強化が勧告された¹¹⁾ことなどを踏まえ、今般、同法律の改正等により放射性物質に対する防護措置の法整備が整い、防護措置が義務化されるに至っている。

具体的には、国際基準で定められた危険性の高いRIを取り扱う事業者に対して防護措置を義務付け、テロ対策を充実・強化することとなり、このために2017年4月から順次必要な法令類の改正が行われ、放射性同位元素等の規制に関する法律に基づくRI防護措置の運用が2019年9月から開始された。

同法律では、RIの防護のために講ずべき事業者による措置等として、施設等によるRI管理、RI防護のための設備等の整備とその点検、特定放射性同位元素防護規程の作成・届出等が新たに追加されている。また、同法律の施行規則において、RIによる人の健康への影響の度合いに応じて分けた3つの区分に応じた防護措置を講ずる構成となっている。防護措置として、防護区域の設定、防護区域立入証明書の発行、防護区域出入口の施錠管理、侵入検知装置設置等を規定している。なお、同規

則の内容は、従来からある原子力発電所等における「核物質」の防護措置に係る原子力規制委員会規則に規定されている内容と類似したものとなっている。

IV. まとめ

本稿では、世界における核テロ等の脅威の拡大の現状と、そのための核セキュリティ対策としての制度的対策の展開を示すとともに、特に、制度を補強する国際的な協力として大きく貢献したNSSの概要と成果を解説した。また、日本国内の状況として、核物質防護に係るIAEA勧告文書の改訂等を踏まえた法整備等の変遷について概説した。

今後の課題としては、国際的な観点からは、核セキュリティ強化に向けたモメンタムの維持が挙げられる。そのため、第4回NSSのコミュニケに記載された、政治的モメンタムの維持および全てのステークホルダー間の核セキュリティの認識を向上させるためのNSCGの活動が期待される。NSCGは、NSS後の各国の調整機能の役割を果たすと同時に、IAEA支援、人材育成支援、IPPASミッション、産業界との協力、核セキュリティ予算、改正CPPNMの運用検討会議、新たな課題への取り組みが主な活動として挙げられており、2016年の設立時の41カ国から、7カ国が加わり、48カ国(2019年10月現在)となった。NSCGに加えて、IAEAは、2020年2月に第3回核セキュリティ国際会議¹²⁾を開催し、各国代表による閣僚級会合等が実施され、IAEA加盟国はIAEAの中心的な役割を支持するとともに、NSSのモメンタムの維持等、更なる核セキュリティの強化に向けた議論が行われた。

一方で、核セキュリティ勧告改訂に伴う法整備を行っている日本の取組みの中で、当該法に基づき、事業者は、核物質等、関連施設および関連活動における核セキュリティに係る防護の実施に関する一義的な責任があり、このことを認識して、適宜に防護体制の実効性を評価し、改善する義務を負っている。そのため、普段から脅威の存在と核セキュリティの重要性を認識し、核セキュリティにおける自身の役割を自覚するとともに、責任を果たす必要が求められる。また、RI勧告では核物質のみならず、放射性物質の防護も取り込まれ、適切な防護措置を講ずるべく国内法令類の整備を確実に対応し、2019年からその運用が開始された。その結果、これまで原子力事業者に限られていた核セキュリティが、対象となるRIを保有する病院、大学、研究所等にも展開されており、確実に核セキュリティが強化されている。今後、新たな脅威が発生したとしても、それに応じた適切な国内体制は構築されているため、事業者による法令等の確実

な遵守が核セキュリティ事案防止上、肝要となる。

なお、本解説における意見は筆者の個人的な見解で、筆者の所属する組織等の意見を代表するものではない。

— 参考資料 —

- 1) 核セキュリティとは、外務省、https://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/n_s_ne/page22_000968.html
- 2) 直井、核テロ・放射線テロの脅威と対策、治安フォーラム、3月号、2019。
- 3) The Physical Protection of Nuclear Material, IAEA, <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/physical-protection-nuclear-material>
- 4) Nuclear Security Series, IAEA, <https://www.iaea.org/resourceres/nuclear-security-series>
- 5) 田崎他、核セキュリティに関する国際動向と日本の貢献、日本原子力学会誌、Vol.58, No.10, 2016。
- 6) 平成元年版 原子力白書 第9章 核不拡散 4. 核物質防護、原子力委員会、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1989/sb2090401.html>
- 7) 山村他、核不拡散に関する日本のこれまでの取組みとその分析、JAEA-Review 2010-040, 2010。
- 8) 平成6年第17回臨時会議資料(1994年5月13日)、原子力委員会、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V39/N05/199401V39N05.html>
- 9) 核セキュリティの現状、原子力規制庁、平成25年3月4日、<https://www.nsr.go.jp/data/000049521.pdf>
- 10) 個人の信頼性確認制度の導入に伴う核物質防護規定変更認可申請について、原子力規制庁、平成29年8月3日、<https://www.nsr.go.jp/data/000198470.pdf>
- 11) 原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律案の概要(予算関連法案・一括法案)、原子力規制委員会、平成29年2月7日、<https://www.nsr.go.jp/data/000177744.pdf>
- 12) International Conference on Nuclear Security: Sustaining and Strengthening Efforts, IAEA, <https://www.iaea.org/events/nuclear-security-conference-2020>

著者紹介



須田一則(すだ・かずのり)

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
(専門分野/関心分野)核不拡散・核セキュリティ政策、原子力協力協定、保障措置、非核化の要因分析



木村隆志(きむら・たかし)

日本原子力研究開発機構 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター
(専門分野/関心分野)保障措置、核物質防護、放射性物質防護

GLOBAL2019 国際会議の概要報告

電力中央研究所 飯塚 政利 他

燃料サイクル、新型炉に関する国際会議 GLOBAL2019 が、軽水炉燃料に関する国際会議 TopFuel2019 との共同で、2019年9月22～26日に米国シアトルにて開催された。参加者両会議合計で22か国から約540名、発表件数は約450件であった。軽水炉への高濃縮度燃料や事故耐性燃料の導入、溶融塩炉をはじめとする新型炉開発への米国の積極的な取り組みが報告される一方で、中国からの参加と発表が多数キャンセルされた。日本のパネラー、座長は少数であり、プログラム運営や燃料サイクルの方向性・技術に関する議論における存在感が低下している。本報告では GLOBAL2019 の全体概要、トピックスを紹介する。

I. 全体概要

GLOBAL は核燃料サイクル、新型炉全般に関する科学、技術的な情報交換から、開発戦略、政策、社会的課題に関わる議論までを包含する国際会議であり、1993年から2年ごとに米、仏、日(近年はアジアに拡大)が持ち回りでホストを務めている。15回目となる今回は、軽水炉燃料に関する国際会議である TopFuel2019 との共同で米国シアトルにて開催された。これまで毎回付けられていた会議の副題は見られなかった。シアトルは第1回 GLOBAL 開催地である。初日に行われたレセプションでの挨拶で、やはりシアトルで開催された第1回 GLOBAL への参加者を募ったところ、挙手は数少なく、26年という時間の経過と継承の重要性を物語っていた。

GLOBAL/TopFuel の合計で22か国から約540名の参加者、約450件の発表があったが、過去の GLOBAL 単体での平均(約600名/400件)と比較すると少なめであった。従来の GLOBAL では、世界全体の原子力利用や燃料サイクル技術開発を俯瞰した基調講演、各国の状況を紹介する全体セッションが初日に設定されるのが通例であったが、今回の全体セッションは全て米国の講演者(1日目は米国エネルギー省原子力局の R. Baranwal 氏(DOE)、フラマトム社 CEO の G. Mignogna 氏、テラパワー社開発本部長の J. Latkowski 氏、2日目はウレンコ社最高ネットワーク責任者の S. Cowne 氏と事業部長の D. Fletcher 氏)によるもので、いずれも DOE と産学が密接に協力しながら、まず軽水炉80年運転の実現を目指した上で、軽水炉への新技術導入(Cr コーティング被覆管などの事故耐性燃料、濃縮度を5～20%に上げた燃料 HALEU: High Assay Low-Enriched Uranium)採用による安全性向上と高効率化、積極的な新型炉開発(SMR、溶融塩炉、Gen-IV 炉)を進めるという方向性に沿ったものであった。

国際協力に関する話題は主に3つのパネルセッションで扱われたが、いずれも技術セッションと並行して行われたこと、各々の特徴付けが十分でないこと、各国間で共通する研究開発テーマが限られた状況であることから、議論は活発とはいえなかった。

技術セッションで扱われる分野は従来と同様に広範であったが、溶融塩炉に関する発表が非常に多い(安全性、燃料物性、炉/サイクルシステムなど5つのセッションで約30件)ことが目を惹いた。

(執筆担当: 飯塚政利(電力中央研究所))

II. トピックス紹介

1. 燃料サイクル全般

国際共同研究に関するセッションでは、衛星から撮影した解像度1kmの地上灯火分布と世界人口の分布の重なりから電気エネルギーの及ばない地域を抽出し、小型/超小型炉の活用先=潜在的マーケットとして検討した結果が報告された。より規模の小さい炉がニーズに適合しており、規制整備と並んで訓練された要員育成・確保が課題とのことであった。原子力利用に関する研究開発と事業化のターゲットが多様であること、地政学的な安定が重要であることを改めて認識した。

燃料サイクルのモデル化とシミュレーションに関する各国の研究では、軽水炉から高速炉への移行、直接処分と再処理、マイナーアクチノイドや核分裂生成物分離の適用、廃棄物処分場の最適化などをテーマにしてさまざまなシナリオを検討対象とされている。核種の移行などの計算を基に総合的に評価できるさまざまな燃料サイクルシミュレーションコードが開発されており、毒性の評価や処分時の地下水への移行など各シナリオで重要となる要因に対して、よりよい燃料サイクルの構築を目指している。

本会議直前の9月9日、HALEUの商用利用に向けた「先進的原子燃料の活用法案」が米国の議会下院で可決さ

れた。HALEU の採用により原子力利用の高効率化、二酸化炭素排出量削減への寄与が可能とされている一方で、Fissile 含有量の増加や高燃焼度化に伴って再処理技術にも改良が求められることが予測される。

(執筆担当：高橋優也(東芝))

2. 湿式再処理

例年通り、各国、研究所のプロジェクト進捗を中心に多数の研究報告が行われた。内訳としては、MA separation and Ln separation で 13 件と件数が多く、その他に Aqueous Technology Advances, Fuel Cycle Modeling and Simulation, Advanced Aqueous Separation 等のセッションでも多くの発表(計 18 件)があった。特に高燃焼度化燃料や MOX 燃料の再処理、付随した MA 分離に関する発表が多く見受けられた。

欧州では、DGA (ジグリコールアミド) を利用する EXAm, SANEX プロセス関連発表があり、高い Am/Cm 分離比が得られる条件が示された。ここでは最大 60 段のミキサセトラを使うために、より少ない段数での分離目的で高い分離性能を示す条件を探ることが望まれる。フランスでは PUREX で使われる TBP(リン酸トリブチル) に代わる化合物を採用することによる U, Pu 回収技術向上を検討中で、DGA 骨格に枝を付けた mTDDGA や疎水性尿素化合物を用いた U, Pu 実験が進められていた。還元剤を用いない改良型 PUREX プロセスについては、フランスのみならずイギリスでも研究開発を進めている。ドイツからは抽出剤と水溶性 DGA を組み合わせた抽出の発表があった。Am-Cm-Ln 分離と改良 PUREX が研究の中心と思われる。

米国も DGA 化合物利用として、An/Ln, Am/Cm 分離を進めている。2-エチルヘキシル基を導入した DGA を用いる ALSEP プロセスについて INL を始めとした国立研究所や大学からの発表があり、ALSEP プロセス概要、溶媒洗浄、オンラインモニタリング手法の開発等についての報告があった。Talspeak 法で利用する水溶性錯化剤の熱力学データ(酸乖離定数、錯形成定数)を精密に算出する報告や Am を含むアクチノイドを 6 価として沈殿分離する新技術も検討中とのことであった。欧州と同様に改良 PUREX 法の検討もなされているが、米国では、原子価を 6 価に調整して、一括抽出(GANEX)に近い方法を採用している。

アジアからは従来、中国の発表件数が多いが、今回は発表件数が極めて少なく、ほとんどが日本からの発表であった。非対称の DGA 化合物を利用した基礎研究報告、PTDA(フェナントロリンジアミド)やテトラピリジン化合物による MA/Ln 分離、ポーラスシリカに担持した HONTA(NTA アミド)による MA/Ln の抽出クロマト分離、その他イオン液体を用いた白金族分離やゲル吸着剤を用いたアクチノイド分離が報告された他、ImPACT プログラムの中で行われた長半減期 FP を対象とする分離

プロセス開発に関する発表も多く見受けられた。

(執筆担当：佐々木祐二(日本原子力研究開発機構)、中瀬正彦(東京工業大学))

3. 乾式再処理

乾式再処理およびその関連技術開発については、Pyrochemical processing や MSR chemistry 等のテクニカルセッション(21 件)およびポスターセッション(4 件)において発表があった。

日本からは、高速炉燃料サイクルに金属燃料-乾式再処理技術を取り込むことによって様々なシナリオに柔軟に対応可能となるシステムの構築に向けた技術開発(液体 Ga 電極開発や塩廃棄物減容化等、電中研)やマイナーアクチノイド核変換用窒化物燃料の乾式再処理に関するプロセスフローシート開発(JAEA)等が報告された。

米国の国立研究所(INL, ANL, PNNL)および大学(Univ. Utah, VCU)からは、金属燃料や溶融塩炉燃料の乾式再処理に関連し、金属燃料高速実験炉 EBR-II 照射済燃料からのボンド Na 除去試験、H-Y ゼオライトによる使用済塩の脱ハロゲン化処理試験、溶融塩化物中アクチノイド・希土類濃度オンラインモニタリング技術開発等が報告された。

韓国からは、乾式再処理で発生する塩および金属廃棄物の処理プロセス開発概要や、原子炉構造物中放射性同位元素の除去を目的とした溶融塩中での電気化学的検討等の報告が目された。

チェコ以外の欧州の国々や中国からは報告がなく、発表件数合計は前回 Global2017 の約半分であったが、基礎研究からアクチノイドを用いたプロセス試験や工学規模機器開発まで幅広い内容について成果の共有と情報交換がなされた。5. で後述する溶融塩炉における材料腐食、燃料塩物性評価、オンライン濃度測定などのセッションとは学術的・技術的なバックグラウンドや聴衆が重なっていることから、今後これらのトピックとの間でさらに情報共有が行われると共に研究開発が促進されていくことが期待される。(執筆担当：村上毅(電力中央研究所))

4. 炉と燃料

新型炉(Advanced Reactors)に関し、安全性、機器、小型モジュール炉、炉物理、炉概念、燃料・材料の 6 つのセッションが設けられ、合計 26 件の発表が行われた。これらの発表で対象とされていた炉型は、ナトリウム冷却高速炉 15 件、鉛冷却高速炉 2 件、高温ガス炉 1 件、PWR3 件、溶融燃料増殖炉 1 件、および炉型を限定しない発表が 4 件であった。(溶融塩炉は独立したセッションが設けられていたため新型炉には含めず、後節に概要をまとめる。)

小型モジュール炉(SMR)開発に関する経済性指標について、現在価値と平準化コストの観点からは、大型炉と比較して SMR が経済的に魅力的とはならない一方で、正味現在価値や内部収益率、投資回収期間に関して

は、0.6以上のスケールファクターでSMRが導入される場合に、経済的に競合しうることが報告された。また、リサイクルせずにウラン資源の利用率向上を目指して検討されているbreed & burn概念に関し、課題となっている被覆管等の構造材の照射損傷を緩和するため濃縮ウランを利用する設計に関する発表があった。およそ5%濃縮ウランを装荷することで、構造材の照射量は現行材の制限を満足しうることが示された一方で、ウラン利用率は約1%と現行のPWR(約0.6%)をわずかに上回るととどまることから、材料開発や運転中の構造材交換等の必要性が述べられた。

これらの技術報告に加え、バンケットの席上で、米国航空宇宙局(NASA)と米国エネルギー省(DOE)が宇宙用原子炉として共同で開発を進めているウラン-モリブデン合金燃料小型高速炉(Kilopower炉：出力1-10kWe)概念や2017年に原型炉(KRUSTY：1kWe)が完成したことが紹介され、新型原子炉の開発に対して若手研究者にも夢を抱かせる発表が行われた。

新型燃料/ターゲット/材料に関し14件の報告があった。報告内容は、高速炉用燃料挙動解析コードのベンチマーク解析、SFR用軸非均質燃料の照射試験、(U, Pu)O₂燃料の熱・機械物性の測定、高速炉金属燃料用の内面コーティング被覆管の開発、U₃Si₂燃料の結晶構造、EBR-II燃料データベースの開発など、主に液体金属冷却高速炉へのアプリケーションを想定した燃料・材料に関する広範なテーマについての検討結果が発表された。

(執筆担当：太田宏一(電力中央研究所))

5. 溶融塩炉

今回のGlobal会議では、溶融塩炉技術に特化した4つのセッションが設けられ、30件程度の発表が行われた。溶融塩炉・トリウム炉の炉システム関連(全16件)に関しては、主に米の国立研究所(ORNL, ANL, SNL)や大学、憂慮する科学者同盟UCSから報告が行われ、米以外では欧州委員会共同研究センターJRC(EU), ENG(オランダ), CNL(カナダ)そして報告者(日本)から少数の発表があった。トリウム開発を進めるインドや溶融塩炉開発を進める中国からの発表(&参加)は炉システムに関し皆無であった。また、2010年から2年おきに開催されているトリウムエネルギー会議(ThEC)では、毎回溶融塩炉ベンチャーによる発表が目白押しであるのに対し、本会議ではゼロ件であったことが特徴的であった。いくつかの発表について以下に概要を記す。

溶融塩炉では燃料塩の一次系循環により、燃料塩(かつ冷却材)中の遅発中性子先行核が生成後に炉心を離れること、また塩の中性子照射が断続的となることから動特性解析や燃焼解析ツールの新たな整備が必要であり、米の研究所や大学での開発状況の報告があった。安全解析のベンチマークも行われており、スクラムを伴わない燃料塩(冷却材)喪失、反応度印加、ポンプスピード高、

塩過冷却などの事故事象結果が、欧州SAMOFAR計画で開発されたコードと比較評価された。また核反応・崩壊のみならず、溶融塩炉施設の各所で行われる化学処理による物量変化を反映し、核物質の在庫差MUF等を計算する保障措置向け解析ツールも開発されている。

NRG(ペッテン)では、PuやU-233から生じたFPの挙動(塩によるFP保持特性)や溶融塩中材料の腐食挙動を調べるためHFRでの照射実験を開始した。前者(SALIENT-01)は2017年照射開始、2019年夏に終了。後者(SALIENT-03)は2020年から2年間実施の予定である。

UCSは、塩から脱離したXe等のFPガス未回収分を環境中へ放出する溶融塩炉の世界的な普及は、CTBTOの国際モニターシステム(IMS)に影響を与えることを指摘。またXe除去により、その娘核種であるCs-137のオフガスへの移行は環境への影響のみならず、SFを高い線量で防護する放射線源の喪失となり、核セキュリティ上の課題となるとし、対応の必要性を述べた。

米国ユタ大学から、溶融塩中に溶解させた金属により酸化還元電位を制御し材料腐食を防ぐことを目指して、溶存Mg金属が溶融塩化物中の基礎電気化学挙動に与える影響について報告された。その他、米国を中心に溶融塩の各種物性取得やオンライン濃度測定技術開発に関する発表も行われた。

今回のGlobal会議では、溶融塩炉に特化したシナリオ解析、動特性解析ツール開発、研究炉での照射実験の他、保障措置・核セキュリティ上の課題等、新たな観点での報告もなされ、本分野への関心度の高まりと研究活性化が伺えた。(執筆担当：高木直行(東京都市大学))

6. 廃棄物処理・処分

廃棄物処理・処分に関連したセッションとして、Waste Management-I(5件)および-II(5件)、Waste Form Technologies(8件)、Safety HLW(3件)、Dry Storage(10件)が設けられており、講演数としては計31件を数える。また、ポスターセッションでは国別では日本の10件を筆頭に米国9件、仏国6件、英国およびスウェーデンが2件ずつ、韓国とロシアが1件ずつであった。類似のトピックが異なるセッションで扱われるなど、各セッションの構成自体は特にコンセプトを感じさせるものではなかった。

トピックとしてはガラス固化を含めた各種廃棄物固定化関連技術、高レベル廃液中のルテニウム挙動(揮発、トラップなど)、福島事故での燃料デブリ処理技術、およびそれらに関連する基礎基盤研究が主であった。これらに加え、米仏での使用済み核燃料のドライストレージに関する講演が1つのセッションを構成するほど多い点は印象的であった。ImPACT関連については、ガラス湿式処理に関連する東工大の口頭発表2件および東芝・JAEAのポスター発表2件(ガラス乾式処理とHLW中

の Zr 溶媒抽出)が報告された。

(執筆担当：鷹尾康一郎(東京工業大学))

7. 人材育成

原子力エネルギーが将来の世界のエネルギーミックスにおいても重要な役割を担っていくためには、国際的な人材育成および研究体制の構築が不可欠であることを鑑み、4件のパネルセッションが行われた。

世界各国の学生や若手技術者・研究者を対象とした教育プログラム(世界原子力大学(World Nuclear University), IAEA management school, Nuclear Innovation Bootcamp など)では、エネルギー政策や核セキュリティのみならず核燃料サイクル全般の技術と知見について実践的に学ぶことができる旨の説明がされた他、若手のうちに築いたコミュニティが国際的な共同研究や人事交流の促進に繋がるという事例が紹介された。また、アイダホ国立研究所 Glenn T. Seaborg Institutes で実施されている核燃料サイクル関連研究について発表があった後、国際的な協力が必要になる研究内容や求人動向および産業としての将来展望について議論された。さらに、電力市場の現状と今後、原子力エネルギーの経済性、小型モジュール炉などの次世代原子力システムの可能性、各国の核燃料サイクルシナリオに関する発表もあり、その中で、再生可能エネルギーの出力変動に追随できる柔軟な原子力エネルギーシステムが求められているとの報告がなされた。

これらセッションへの参加者は総じて、国際的には原子力エネルギーの役割は既に転換しており、人材育成・研究体制いずれも改革する必要があるとの認識を共有しているようであった。日本も世界の潮流に遅れることなく、人材と研究の両面で国際協力を推進していくことが望まれる。(執筆担当：塚原剛彦(東京工業大学))

III. まとめ

今回の会議では、米国による軽水炉への新技術導入や新型炉開発への積極的な取組みが示された一方で、中国からの参加者・発表数が非常に少なかった。査証発行の問題が原因と思われる、日本に留学中の中国人学生も渡航を断念せざるを得ない状況であった。ロシア、インドからの参加者も少数であった。政治的な問題等があると思

われるものの、中国をはじめ活発に研究開発を進める国々の動向を知り、可能な範囲で情報を共有することが GLOBAL という国際会議に参加する大きな意義の一つであり、今回の状況は残念であった。

欧米と比較すると、日本からの発表には国のエネルギー・燃料サイクル戦略における立ち位置を明確にしたものが少なかった。今回の Global では各国における燃料サイクルと関連する研究開発の概況を紹介する全体セッションがなかったこともあり、「日本は今どうなっているのか、これからどうなるのか」という大局観を伝え、議論するためのメッセージが不足していると感じられた。また、GLOBAL2019 全体を通じて中国や韓国からのパネラーが多数選ばれているのに対して、日本からのパネラー、座長が各1名しかおらず、プログラム運営や燃料サイクルの方向性・技術に関する議論における我が国の存在感が低下していることを感じた。今後、研究発表によるアピールにとどまらず、国際的な会議や研究プログラムの運営に積極的に関わり議論のリードを務めていくことも重要である。

会議運営上の問題として、全てのパネルセッションが技術セッションと並行して開催されたため、パネルセッションへの参加者が非常に少なく、議論も盛り上がりに欠けたことが挙げられる。技術セッションについても、技術的に共通点が多く参加者も重複するものが同時に行われたこと(例えば「湿式再処理技術」と「MA 分離技術」、「乾式プロセス」と「熔融塩炉技術」など)も不評であった。開催期間途中で会議を去る参加者数を減らすためにバンケットを最終日に設定する一方で、初日昼に全員参加の昼食会を開いてコミュニケーションの場を保つなどの工夫も見られた。

参加者中の学生数割合は約10%で、これは通常よりも高い数字とのものである。原子力学会からの支援もあり、日本からの学生発表件数が多かったことは、今後の燃料サイクル研究開発の発展に向けて喜ばしい。

次回 GLOBAL は 2021 年 9 月 19~23 日にフランスのランス(Reims)にて開催予定である。

(執筆担当：飯塚政利(電力中央研究所))

(2020 年 1 月 30 日記)

IAEA「長期的な原発使用済み燃料の管理に対する戦略と機会」技術会合に参加して

東京都市大学 佐藤 勇,
日本原子力研究開発機構 西原 健司

IAEA 主催の使用済み燃料の管理に関する技術会合に出席した所感を述べる。核燃料サイクルの研究開発情報の共有が原子力先進国だけでなく後進国にも有用であり、多国間の核燃料物質の移動によって、世界全体の使用済み燃料管理を合理化できる可能性を感じた。また、学会における核燃料サイクルの成立性に関する研究専門委員会の検討にも、本技術会合のような国際的な議論を注視することが重要である。

I. はじめに

2019年11月25日～28日に、インド、デリーの郊外バハドゥガー(Bahadurgarh)にあるGCNEP(Global Centre for Nuclear Energy Partnership)にて、IAEAによる「長期的な原発使用済み燃料の管理に対する戦略と機会」技術会合(TM on Strategies and Opportunities for the Management of Spent Fuel from Power Reactors in the Longer Timeframe)が開催された。会合の議長は、これまでも使用済み燃料管理や将来廃棄物負担軽減のための核燃料サイクルについての会議を手掛けている、IAEA原子力部核燃料サイクル・物質セクションのAmparo G. Espatero氏である。技術会合には、アルメニア、ベラルーシ、ベルギー、ブルガリア、中国、エジプト、フランス、インド、インドネシア、イラン、日本、メキシコ、ポーランド、ロシア、スロベキア、トルコ、米国、ウズベキスタンの18か国とIAEAより、46名(うちインド25名)が参加した。本報告では、日本から参加した著者らが会合の概要と所感を述べる。なお、発表資料が閲覧可能である¹⁾。

II. 核燃料サイクルの選択肢についての議論

技術会合の目的は、加盟国間で使用済み燃料の管理方針や技術開発についての情報を共有し、技術選択肢についての要約文章を作成することである。ここでいう“管理方針”には、単に使用済み燃料の輸送や貯蔵だけでなく、再処理や分離変換、そして、処分が含まれているため、核燃料サイクルの方針と考えて差し支えない。

上述のリストに見るように参加国の原子力技術レベルは多様である。1基目の商業炉を導入しようとしている国、数基を持っている国、成熟し定常状態に達している国、建設を急速に進める国、フェーズアウトしようとし

ている国が存在する。確かなことは、いずれの国も使用済み燃料の管理を行わなければならないということであるが、一方で管理の戦略は大きく異なろう。原子力発電の開始を始めたばかりの国にとっては、発生する使用済み燃料の貯蔵が直近の課題となる。成熟した国、拡大している国では使用済み燃料の再処理およびプルトニウム利用が主な戦略であり、分離変換の研究も行われている。フェーズアウトしようとしている国では、使用済み燃料の直接処分が最も有力な戦略である。このような多様な原子力利用段階の国々が同じテーブルで議論することにどのような意味があるのだろうか？

図1は技術会合で用いられた核燃料サイクルの選択肢を示す図である。基本的に下から上に行くに従って技術難易度・開発期間は上昇し、逆に高レベル廃棄物量や処分負荷は減少する。オプション1は使用済み燃料を再処理することなく処分する。原子力発電規模が小さな国では現実的なオプションとなる。オプション2はプルトニウムの一回利用であり、我が国のプルスーマル利用を意味する。ここまですて実用化されたオプションである。オプション2の技術を持たない国であっても、海外(例え

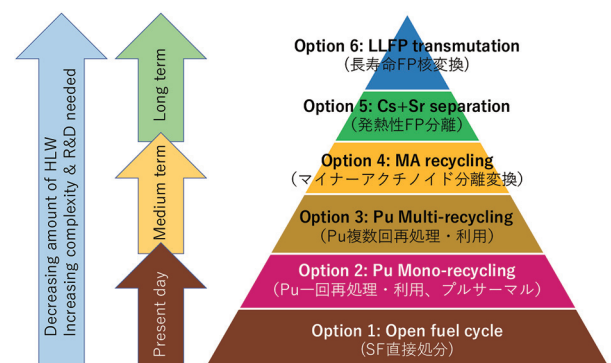


図1 核燃料サイクルの選択肢(会合配布資料より作成)

ばフランスやロシア)への依頼によりオプション2を実施することが可能である。

オプション2では廃棄物として核分裂生成物(FP)とマイナーアクチノイド(MA)を含んだガラス固化体とプルサーマル使用済み燃料が残ることとなるが、後者を低減するためにはオプション3のプルトニウム複数回再処理・利用が必要となる。この実現のためには、使用済みプルサーマル燃料の再処理に加えて、MIX燃料(軽水炉で十分な核分裂性を維持するために核分裂性ウランを加えたプルトニウム燃料)の開発、あるいは、高速中性子を用いた将来型炉の開発が必要になる。原子力先進国ではオプション3に対して活発に開発が行われており、技術実証の段階にある。

オプション4では、更にオプション2の廃棄物に含まれるMAを分離し、原子炉などで核変換することで長期毒性や発熱などの処分場の負荷になる要素を低減する。このオプションに対しても各国で研究が行われており、基盤的な技術段階を脱しようとしている。

オプション5では、廃棄物に含まれる短期の主要な発熱源である ^{90}Sr と ^{137}Cs を分離し、利用、あるいは貯蔵後処分する。図では上位に位置するがオプション3~4に比べて技術的には単純であるし、実用化時期としても短期である可能性が高い。インドでは、 ^{137}Cs 、 ^{90}Y (^{90}Sr から精製)、および ^{106}Ru を用いた放射線医療が実用化に向かっていることも報告された。

オプション6は長寿命FP(LLFP: ^{107}Pd など7核種)の分離と核変換である。化学的な分離に加えて同位体分離も必要となり、中性子断面積が小さい核種が多いなど核変換が困難で、基盤的な研究開発段階にある。その一方で、廃棄物から長期の放射能を除去し、処分後長期の不確実性を大きく減らすことができる。筆者は、日本におけるオプション6の研究開発として、内閣府ImPACTプログラム「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」(プログラムマネージャ:藤田玲子)で実施された ^{107}Pd など4つのLLFPの分離変換および利用の研究結果を報告した。LLFPを個々に分離する化学プロセスの構築、レーザーを用いた同位体偶奇分離の実用化に向けた大きな改良、核変換反応の多くの核データ取得、核データライブラリ作成、 ^{107}Pd 核変換実験、1アンペア級加速器の概念設計、中性子発生ターゲット概念構築、中深度処分可能性の提示、 ^{107}Pd ・ ^{93}Zr 再利用のためのクリアランスレベル評価など多くの成果が創出された。今後、残りの3つのLLFPへの拡張、実際の放射性廃液を用いた分離試験、大強度・省エネルギーな加速器の開発などの課題が引き続き取り組まれるべきである。原子力先進国からは、この技術の実現には多くの開発が必要であるとの印象が聞かれた一方、新奇な技術に対しても柔軟で貪欲なインド研究者からは多くの情報が求められた。

このように核燃料サイクルを大きく6個のオプション

で整理し、メリット・デメリットや技術難易度を文書化することは、原子力発電を開始した段階の国にとって、使用済み燃料を将来どのように取り扱い、処分するかを見通すために極めて有用であると考えられる。また、これらの国が原子力先進国に使用済み燃料を輸送し、先進的な再処理や分離変換技術を活用する検討にも役立つ。本会合において、ベラルーシとロシアの興味深い検討事例が紹介された。ベラルーシは2基のロシア製軽水炉VVER-1200を建設中である。このような場合、ロシアは発電した国から使用済み燃料の受け入れ、再処理し、高レベル放射性廃棄物を発電国へ送り返す。しかし、ベラルーシの場合は、ロシアで再処理を行う際にSrとCsを分離し、SrとCsのみをベラルーシに送り返すことが検討されている。SrとCsにはロシアに残されたMAなどと等価な分量が上乘せられる。ベラルーシはSrとCsを地下施設に長期貯蔵し、十分に放射能が減衰したのちに、その地下施設を閉鎖して、そのまま最終処分する。これによりベラルーシでは再処理工場や大深度の地層処分場を持つことなく、また、長期の放射能を大幅に低下させて、使用済み燃料に対処することができる。一方、ロシア側では短期的に放射能が大きく貯蔵に負担が大きいSrとCsを手放すことができる。MAは将来型炉の燃料として用いられたい。

ベラルーシの例は、原子力技術段階の低い国であっても、最先端の核燃料サイクル技術の利益を享受することが可能であることを示している。その際には、国家間の使用済み燃料の輸送が行われるため、IAEAの存在が必須となろう。多国間の使用済み燃料の管理を促進するためにも、今回の技術会合のような情報交換、政策決定者向けの文章の作成など、IAEAが果たす役割は大きいと感じる。

我が国においても、国内で全ての核燃料サイクルを完結せず一部を海外に出す、あるいは、海外からの使用済み燃料を受け入れるような考え方ができるのではないかなと思う。例えば、日本においてプルトニウムバランスの問題があるなら、プルトニウム新燃料の形で海外原子炉に供給して調整できるのではないかな?あるいは、我が国の分離変換技術が確立したなら、海外から使用済み燃料を受け入れて、処分場負荷の小さな廃棄体として返送できるのではないかな?このように、多国間の枠組みを考えることで国内での様々な制約がなくなったり、技術の効用を最大化できたりすると考える。

III. 日本国内での核燃料サイクルに対する考え方の整理に対する取組

技術会合では、我が国の核燃料サイクルに対する取組がまだオプション3にしか達していないこと(技術レベルはまだ開発途上)、また、ロシアとその近隣国のようにこれらの関係を利用した使用済み燃料の取扱いオプション

の存在, などの核燃料サイクルを俯瞰する機会を与えられた。では, 核燃料サイクルに対する考え方は日本国内でどうなっているか, また, 何のために, 何をしていくべきなのか。この命題は原子力産業に重要な示唆を与える。

まず, 東京電力福島第一原子力発電所事故以降, 核燃料サイクル関連の事業(高速炉開発および再処理事業)はどうなっているか, 振り返ってみる。前提としては, 日本は政策としては核燃料サイクルの確立を目指している, としている。

① 高速炉開発

高速原型炉「もんじゅ」は長い開発期間を経たが, 現在, 廃止措置の段階に移行しており, 使用済燃料の取出しを行っている。「もんじゅ」の廃炉は多くの人たちに「高速炉が不要である」という印象を持たせているかもしれない。なぜ廃止措置に追い込まれてしまったのか, 技術的な問題か, 組織的な問題か, 等の部分はあまり議論されずに(または, 社会的に認知されずに)進められている。高速炉が我が国の核燃料サイクルの確立に本当に不要な技術なのだろうか。

② 再処理事業

六ヶ所再処理工場は2006年にアクティブ試験を開始し, 使用済燃料を用いた再処理事業を行っていたが, 現在は「安全上重要な施設の安全機能に係る不適合等」の対応中であり, 通常操業はしていない。これまでは多くの使用済燃料の再処理を英国とフランスに頼ってきた。また, 原子力機構・東海再処理工場が停止したこともあって, 日本における再処理工場の自国のみでの対応はまだ先になりそうである。このスケジュールの遅延は, 技術的なものなのか, 政治的なものなのか, 等の部分はあまり議論されずに(または, 社会的に認知されずに)いる。

上記のように, 電力の安定供給に必要な核燃料サイクルが成立するためには, その各工程に対する十分な議論と社会も含めた認知(賛成と反対を色分けするのではなく, 状況を理解よくすること)を得ることが必要であると考えられる。そこで, 2017年4月から日本原子力学会では, 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会(前主査:井上正(電中研), 現主査:佐藤勇(都市大))を立ち上げ, 幅広い原子力業界の委員を募り, 核燃料サイクルの

各工程に対する状況把握と将来の安定的な電力供給を考えた場合の必要な核燃料サイクルに対する認知の在り方について議論を行っている。

本誌で紹介しているIAEAの技術会合においても当該取り組みを紹介させていただいた。この機会は, 他国が本課題に関してどのような状況か(何に困っているのか), について確認することができる良い機会となった。諸外国の状況は, II.で記されているように多岐にわたっていたが, 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会では, 最も危惧している課題である人材育成に関して触れられているものはなかった。本技術会合の切り口が異なっているため, あえて課題として表明されなかったのかもしれないが, 日本以外の各国では, 「事業方針が人材需給に追従する」社会構造なのかもしれない。一方, 「核燃料サイクルの成立性」研究専門委員会では, 大学の人材育成として必要なのは「学生が興味を持てる(夢のある)研究テーマ」と「質の高い研究」が求められるとの認識が固まりつつある。本委員会活動に向けて, 本技術会合に参加した国々の動向も注視した上で, 原子力産業に示唆を与える提言を創出したいと考えている。

IV. まとめ

本技術会合は, 多様な国々が集まるIAEAならではのものであり, 核燃料サイクルの研究開発情報の共有が原子力先進国だけでなく後進国にも有用であり, 多国間の核燃料物質の移動によって, 世界全体の使用済み燃料管理を合理化できる可能性を感じた。我が国は, オプション2(再処理プルサーマル)から6(LLFPの分離変換と利用)までの研究開発を行っており, これらの知見を共有することが世界の利益に繋がると考える。

日本原子力学会では核燃料サイクルが成立するためには, 十分な議論と社会も含めた認知を得ることが必要であるとの考えから研究専門委員会を実施しており, 人材育成の重要性などの原子力業界への提言を議論している。その折にも, 本技術会合のような国際的な議論を注視することが重要である。

— 参考資料 —

- 1) <https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TM%20on%20Strategies%20Opportunities%20for%20the%20Management/Forms/AllItems.aspx>

(2020年1月29日記)

軽水炉燃料国際会議「TOP FUEL 2019」の概要

日本核燃料開発株式会社 坂本 寛

2019年9月22日(日)から9月26日(木)にかけて、米国シアトルにおいて軽水炉燃料に関する国際会議 TOP FUEL 2019 が燃料サイクルに関する国際会議 GLOBAL2019 と同時開催された。本報告では、TOP FUEL 2019 の概要を中心として軽水炉燃料研究開発の現状と課題について報告者の個人的な感想を交えて紹介する。

I. TOP FUEL の概要

TOP FUEL は、アジア地域(日本、韓国、中国の順に3年毎に持ち回り)、欧州、米国の順に持ち回りで開催されているものであり、今年度は米国原子力学会(ANS)の主催によりシアトル(米国)で開催された。なお、今回開催された TOP FUEL 2019 では、メインスポンサーは燃料メーカーである Framatome が務めた。

出席者は TOP FUEL と GLOBAL を合わせて23か国から計539名(Webで公開された資料に基づく数字)であった。国別で見ると、開催国である米国(301名)が突出して多く、次いで日本(59名)、韓国(43名)、フランス(29名)、イギリス(19名)、ドイツ・中国(14名)の順であり、開催国である米国を除くと比較的アジアからの参加者の割合が高かった。

会場はシアトル中心街の Westin ホテルで、多数の企業ブースも設けられた。イベントとしては、Opening Reception(スポンサー:ORANO)、Luncheon with Speaker(スポンサー:Framatome)、Closing Banquet が開催され、オプションツアーには Harbor Cruise が行われた。

今年、WRFPM2020(欧州、米国では国際会議名は TOP FUEL、アジア地域では WRFPM(Water Reactor Fuel Performance Meeting)となる)としてアジア地域での開催となり、中国核学会(CNS)の主催で西安にて2020年9月20~24日で開催される予定であったが、執筆時(2020年2月)ではコロナウイルスによる混乱のため開催について再検討されている。

なお、TOP FUEL 2019 の講演内容の詳細については核燃料部会の部会報¹⁾として報告済みであるので、本報告ではそれら講演内容の詳細は割愛し、概要のみを紹介する。

II. 講演内容

プレナリーセッションは TOP FUEL 2019 と GLOBAL 2019 の共通セッションとして、9/23(月)と9/24(火)に合計2件のパネルディスカッションとして行われた。プレ

ナリーセッションを除く口頭発表は3会場同時進行で合計4日間にわたり開催された。なお、2日目夕方にはポスター発表が簡易パンケットとして行われた。

技術トラックは専門分野毎に以下の様に詳細に分けられたが、大きく分けると製品(ハード、ソフト)研究開発、使用実績、貯蔵・輸送のいずれかに関係している。

- ・ Advanced Fuel Designs
- ・ Development, Verification and Validation of Fuel Modeling Codes
- ・ Fuel Characteristics and Performance for Transportation and Interim/Long-Term Storage
- ・ Cladding and Structural Alloys Development
- ・ Fuel Modeling and Analysis
- ・ R&D Activities
- ・ Aging Issues
- ・ Design and Analysis Methods
- ・ Transient Fuel Behavior and Criteria Session
- ・ Fuel Rod, Fuel Cladding and Component Materials Behaviors
- ・ Fuel Behavior Modeling During Operation and Under Back-End Conditions
- ・ Fuel Operating Experience and Performance
- ・ Fuel Performance Reliability, Operations, and Maintenance Experience
- ・ Multi-Physics Coupling

特に「Cladding and Structural Alloys Development」、
「Fuel Operating Experience and Performance」の講演が多くなされた。読者の皆さんにどのような講演がなされたのかを知っていただくため、プレナリーセッションとこれら2つの技術トラックの講演概要を以下に簡単に紹介する。

プレナリーセッション：9/23(月)のパネルディスカッションにおいては、米国 DOE(Department of Energy)、Framatome、TerraPower からパネリストが参加し、今後の原子力の方向性についての講演と議論が行われた(図1)。議論においては、原子力業界全体のテーマが取



図1 9/23(月)のPlenary Sessionの様子
今後の原子力の方向性についてのパネルディスカッション

り上げられ、SMR (Smart modular reactor: 小型モジュール炉)やマイクロ発電が現在安定した電力供給にアクセスできない人々に電力を届ける有力な手段となることや、ATF (Accident Tolerant Fuel: 事故耐性燃料)については今年で5基の商用炉照射が始まり、SMRも許可される見通しであることが共通認識として述べられた。また、軽水炉燃料分野では UO_2 燃料の濃縮度増加に関する話もあり、米国においては6~7%濃縮が有望な値とのことであった。意外と米国内での再処理政策(ワンスルー核燃料サイクル)に懸念を示すコメント、質問が多く出たが、パネリストからは軽水炉のサイクルを変えようとは思っていないが、新型燃料では再処理できるようにしたいとの返答があった。

技術トラック「Cladding and Structural Alloys Development」: 本トラックでは、口頭発表が28件あり、5つのサブトラックに分かれて燃料被覆管だけでなく制御棒、燃料ペレットに係る研究開発が紹介された。いずれも事故耐性を向上させた製品の開発についてであり、被覆管材としてはFeCrAl合金やCrをコーティングしたZr合金等、燃料ペレット材としては Cr_2O_3 を添加した UO_2 やウラン窒化物(UN)等が世界的に実用化研究が進められている状況が報告された。また、ATFだけでなく、事故耐性制御棒(ATCR: Accident Tolerant Control Rod)に関する発表がFramatome(ドイツ, 米国)、NPIC(中国)、ORNL(米国)から合計3件あり、ATCRがATFとともに開発対象になってきたことが示された。

技術トラック「Fuel Operating Experience and Performance」: 本トラックは、燃料集合体の使用実績に関する発表が中心であり、ペレットや被覆管の基礎研究やプラントの水化学関連の発表が織り込まれ、4つのサブトラックに分かれて実施された。燃料集合体の使用実績に関する発表については、各国の燃料メーカーが燃料集合体の使用実績やリーク対策に関する内容を発表して注目を集めた。特に燃料集合体のリーク対策については、

Framatome, GNF, Westinghouse からそれぞれ発表があり、各社の燃料集合体設計の改良について述べられた。中でも、Framatomeは燃料のリーク実績を示し、また、Westinghouseは異物混入時の試験動画を取り入れたプレゼンを行い、何れも盛況であった。別のサブトラックにおいては、グリッドフレット耐性を高めたWestinghouseの燃料集合体CE16NGFの運転実績が示され、一度もグリッドフレットによるリークが起きていないことが繰り返し述べられた。2004年から1,000体以上の燃料が装荷されているCE16NGFのリーク実績は1度のみで、異物混入が原因と説明された。

Ⅲ. 終わりに

TOP FUEL 2019では、ATF等の比較的新しいテーマに関する発表が多かったが、日本からの参加は大部分が研究機関やメーカーであり、大学からの参加は非常に少なかった。今回は燃料サイクル全般を取り上げるGLOBALとの同時開催であったためTOP FUEL単独での参加者の傾向は把握が難しいが、将来を担う若手が参画できていない状況は憂慮すべきだと感じた。軽水炉燃料分野ではTOP FUEL/WRFPMはビジネスに直結する講演が多く、基礎科学分野の参加者や講演が少ない傾向にあるが、特に学生の皆さんには基礎科学分野の研究が製品にどのように役立っているのか、この先どのような研究ニーズが予想されるのかを知る良い機会と思われる。この記事が契機に大学の先生方、学生の皆さんには今後の参加を期待したい。なお、アジア地域で開催されるWRFPMではこのような状況を打破するため、軽水炉燃料の基礎科学分野についての国際会議ANFC (Asia Nuclear Fuel Conference)をWRFPMの開催前、もしくは開催後にWRFPMと同一地域において開催する取り決めが韓国原子力学会、中国核学会と日本原子力学会でなされており、まずはANFCに参加してWRFPMの様子をご覧いただくことをお勧めする。一方、基礎科学分野の講演が多いNuMat(原子力材料に関する国際会議: The Nuclear Materials Conference)に参加すると、日本のメーカーからの参加が少なく、これはこれで憂慮すべき状況にある。前述とは正反対となるが、どのような基礎科学分野の研究がなされているのか、製品に利用できそうな研究テーマがないのかをメーカーは積極的に探索する必要があると思われる。

－ 参考資料 －

- 1) 石橋, 坂本, 園田, 成川, 古本, 軽水炉燃料に関する国際会議「TOPFUEL 2019」の報告, 核燃料部会報 No.55-1 レポート番号, (社)日本原子力学会, 2019年12月.

(2020年2月17日記)

Focus 原子力人材育成ネットワークを活用した取り組み

茨城県大洗町における原子力人材育成

大洗町 中山 直人

KEYWORDS: *R&D, Human resource career development, Education, Science, Research*

I. 大洗町の現況

大洗町は、1963年の日本原子力研究所の誘致以降、半世紀以上にわたり、「国策」である原子力研究開発の推進に取り組んできた。1984年に制定した町民憲章においても、「原子の火を育て」と謳っており、「原子力とともに歩むまち」が町民の意識として醸成されている。

町には、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)が保有する3基の研究用原子炉(JMTR、常陽、HTTR)や東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター、関連企業が立地し、優秀な人材が集まる、いわば「知の拠点」として、我が国における原子力研究開発を支えてきた。

一方、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、新規規制準への対応のため国内の多くの原子力発電所や研究施設が停止または廃止を余儀なくされている。また、事故から8年以上経過した現在においても、原子力分野に対する国民の不信・不安は依然として高い状況にある。原子力は現在進行形で発展と進化を続けている学問であり、エネルギーに限らず、医療、産業、科学技術など幅広い分野での利用が期待されている。町としても、安全確保を前提とした原子力研究開発の必要性について、震災後も一貫して主張しているところである。

原子力が国民から理解され、今後も健全に発展していくためには、原子力の有用性を広く周知するとともに、安全を最優先として原子力施設の運転をすすめていく必要があると筆者は考えている。一方、安全の確保には、従事する職員の技術やノウハウの継承が必要不可欠であり、将来にわたり継続的に人材の育成・確保を図らなければならないはずである。そのような状況を踏まえ、町では原子力事業者と協力し、海外研修生の受入や原子力インターンシップなど、人材育成に資する様々な事業を実施してきた。本稿ではそのうち、将来の原子力分野を担うであろう学生を対象とした教育分野における取り組み、そして、原子力研究開発施設立地自治体と共に設立

した協議会の取り組みについて紹介する。

II. 学校教育における取り組み

1. 原子力教育推進研究委員会

町では、世界に誇れる最先端の原子力研究機関の立地という特色を活かし、原子力教育を推進するため、「大洗町原子力教育推進研究委員会(以下、「原推研」という。)」を2004年に設立した。原推研では、大洗わくわく科学館や原子力研究機関と連携のもと、町内の小中学生を対象としたエネルギーに関する理科実験や施設見学会、原子力災害を想定した避難訓練を実施することで、子供たちの原子力やエネルギーに対する理解を深め、原子力防災の意識向上を図っている。

また、原推研の事業の一環として、JAEAが主催している「放射線取扱実践講座」へ小中学校の教員が参加することで、児童・生徒に放射線を分かりやすく説明できる人材の育成を図っている。本取り組みは2011年度より小中学校の教員を対象に行っており、実際の測定器を使用した測定実習や霧箱での自然放射線の観察など、体験を中心としたカリキュラムをとおして、放射性物質や放射線取扱に関する正しい知識の習得を目的としている。研究機関と連携した大洗町ならではの取り組みであると感じている。

2. 大洗サイエンスカレッジ

子供たちの科学する心を育む教育の一環として、原子力事業所に従事する研究者や技術者に講師として協力をいただき、「大洗サイエンスカレッジ」を2018年に開校した。本取り組みは、町内の小学5・6年生40名を対象に、



図1 大洗サイエンスカレッジ実験風景

Nuclear energy-related human resource career development at Oarai town, Ibaraki Prefecture : Naoto Nakayama.

(2020年1月17日 受理)

放課後を利用した校外学習として、「大洗わくわく科学館」にて、年間約28回科学教室を開催している。「○○の不思議を科学する」というシリーズ構成となっており、「光」・「風」・「音」といった身近なものに加えて、「電子」のような小さな世界から「宇宙」のような大きなスケールまで取り上げ、参加する小学生の興味をかきたてる内容となっている。各教室においては、「工作」・「実験」・「観察」といった科学に直接触れる体験を中心としており、その過程や原理についても解説することで、理科の授業を発展的に学べる内容となっている。参加者からは、「いろいろな実験ができて楽しかった」、「学校で習わないことができて楽しかった」など肯定的意見が多く、次年度も参加したいと回答した小学5年生は7割以上いたことから、本取組みが子供たちの好奇心や創造力の育成に貢献していると言えるだろう。将来の原子力分野を担う人材が、大洗町から数多く輩出されることを期待しているところである。

III. 原子力研究開発推進自治体協議会

原子力研究開発の更なる推進を図るため、原子力研究開発施設の立地自治体である青森県六ヶ所村、茨城県東海村、岡山県鏡野町とともに、「原子力研究開発推進自治体協議会(会長：大洗町長 小谷隆亮)」を2018年に設立した。研究開発施設の停止・廃止に伴う技術伝承への影響や原子力分野の継続的な人材確保は、本協議会の自治体において共通の課題となっている。もちろん、原子力分野の人材育成・人材確保は、原子力事業者が第一に果たすべき役割である。しかし、原子力分野の将来展望が見えない現状において、立地自治体としても当事者意識を抱き、国策が示されることを待つのではなく、課題解決に向けて積極的にアクションを起こす必要があると考えている。

本協議会ではそのような考えのもと、国策である原子力研究開発方針の明確化を図るよう関係省庁などへ働き

かけを行うとともに、人材育成への貢献が期待される試験研究炉や研究施設についても、安全確保を前提とした早期稼働に向けて、適切な予算や人材を確保するよう求めている。

また、本協議会の自治体には数多くの研究施設が所在し、原子力人材育成・人材確保に係る取組みを立地自治体としても進めている。国としても本取組みに積極的に協力し、産官学が一体となったオールジャパン体制での人材育成・人材確保が図れるよう、協議会としての考えを説明している。現状、国から満足のいく回答は得られていないが、今後も関係機関と協力のうえ、地道な活動を展開していくことで、原子力分野の人材育成・人材確保の強化を図り、原子力研究開発の更なる推進を図っていききたい。

IV. 今後の展開

原子力人材育成の必要性は、様々なところで意見や課題として挙げられているが、現状具体的な解決策が見出せていないと感じている。そのような中、大洗町では、原子力人材育成として「何ができるか」、「何が必要なのか」、関係事業者や大学とともに知恵を出し合い、産官学連携のもと、今後より深い議論を行うことを検討している。検討にあたっては、本町も参加している原子力人材育成ネットワークと連携しながら、情報共有・課題解決を図っていく所存である。原子力人材育成の強化、そして原子力研究開発の更なる推進に向けて、今後とも関係機関の皆様のご協力を賜れば幸いである。

著者紹介

中山直人(なかやま・なおと)

大洗町まちづくり推進課

(専門分野)原子力研究開発の推進、放射線および原子力に関する正しい知識の普及啓発

私の主張

日本の石炭戦略

キャノングローバル戦略研究所 杉山 大志

石炭火力発電への風当たりが強い。しかし、日本は石炭火力発電を内外で堅持しなければならない。その理由を述べ、今後の日本の石炭利用の戦略を構想する。

I. エネルギー安全保障のための石炭火力

ある新聞記事で「石炭も輸入するから石油や天然ガスと同じでエネルギー安全保障には寄与しない」という発言を読んで筆者は驚いた。日本が石油ショックを受けて国を挙げて石炭火力開発に取り組み、しかしなお石油依存度が高く、しかも中東に頼っていること等を、何も知らないようだ。

「石炭火力発電は日本のエネルギー安全保障に不可欠」ということは、エネルギーや温暖化対策を論じる人は、誰でも知っている基礎知識だと筆者は思っていた。しかしどうやら大間違いだった。筆者だけでなく、経産省も産業界も電気事業者も同じ間違いを冒していると思う。ともすると、3E+Sとかベストミックスという言葉が政府文書に入っていればそれを以て良しとしてしまい、しつこく書き込んでこなかった。簡略なキーワードはよく解っている人の間でコミュニケーションをするには便利だけれど、丁寧に繰り返し説明しないと、幅広い聴衆には全然響かない。自称専門家の教授も大新聞の記者も全然分かっていない。関係者は情報発信を強化しなければならない。

II. 途上国の持続可能な経済開発のための石炭火力

安価で安定した電力供給は経済開発のために必須である。経済開発は、貧困撲滅、衛生状態の改善、教育、医療の充実など、あらゆる人道的な目標の達成のための基礎となる。石炭火力には、この一角を担う重大な使命がある。これを先進国が独りよがりな論理で取り上げるとすれば、それは犯罪に等しい。

石炭火力ではなく、再生可能エネルギーにすることで、経済的便益を得つつ、大気汚染も軽減できる、という主張がある。しかしこれはごく稀な状況でしか起きないことであって、アジア、アフリカの多くの途上国では、石炭火力の方が圧倒的に経済的かつ環境にも十分に優しい。

途上国は、何が持続可能な開発に資するのかわ、自分で決める権利がある。そして、このことを制度化することで、世界中の事業者にとって、安定した事業環境のもとで石炭火力を推進出来るようになるだろう。ここで制度化と言っているのは、例えば国の計画や法令におい

て、石炭火力発電が当該国の持続可能な開発に寄与するという位置づけを明確にして、事業が円滑に進むよう規定を整えることを指している。

III. 自由と平和のための石炭火力

日本をはじめ先進国が石炭火力事業から撤退すると、その間隙の多くは中国が埋めることになる。これはかつてダム事業で起きたことでもある。

石炭火力のような、大きなインフラ案件というものは、単なる商売とは一段違う、国際政治上の意味合いがある。そこではトップレベルの政治家や官僚の信頼が醸成され、事業者や労働者が国際交流を深める。これにより二国間関係は深まる。日本はきちんとインフラ整備に寄与することで、尊敬を勝ち得て、諸国と親交を結ぶことが出来るのだ。

このためには、当該の途上国が望む事業であれば、出来る限り前向きに取り組むことが望ましい。何も石炭火力事業だけを何が何でもやれというのではない。当該途上国の資源賦存状況や経済状況において、その更なる経済開発に資するために、もしも石炭火力事業として魅力あるものが提案出来るならば、それは実施すべきだろう、ということだ。もしも当該途上国が真に石炭火力事業を欲しているときに、「それは我が国の方針ではない」と言って対応しないならば、二国間の関係にとって損失となる。

もしも当該国が日本ではなく中国の事業者を選んだならば、それはその国と中国の関係が一步深まることを意味する。中国はその国の政治・行政・民間レベルへの影響力を高め、その国は親中のな立場をとるようになる。これは中国が一带一路政策で狙っていることそのものだ。わざわざその手助けを日本がするのだろうか。

日本はインフラ事業を通じて、アジアをはじめ諸途上国と親交を結び、その経済発展が自由で平和なものになるよう支援すべきだ。その為には、日本は石炭火力を含めてメリットある選択肢を示すことに徹し、何が持続可能な開発に資するかの判断は、当該国に任せるべきである。

IV. 温暖化対策としての電化に寄与する石炭火力

再び国内に目を転じよう。石炭火力に対する批判として、現時点で石炭火力が存在すると、それが長期にわたりCO₂排出を続け、長期的な温暖化対策を妨げる、という意見がある。しかし、この意見は誤りである。

日本の国全体の CO₂ 排出の 3分の2 を占める化石燃料の直接燃焼を電気利用で置き換えていかない限り、CO₂ の大幅削減は原理的に不可能である。電気利用技術が、公正な条件のもとで市場に於いて競い合い、優れたものが普及していくためには、電力価格の高騰は避けねばならない。

性急に電気の低炭素化を図るあまり、EV やヒートポンプなどの電気利用技術のイノベーションが遅れるようでは、元も子もない。「角を矯めて牛を殺す」とはこのことであろう。そうならないよう、電力価格を抑制することも重視せねばならない。すると、今日の日本の状況においては、安価な石炭火力発電を利用することは、重要な手段である。

長期的な温暖化対策において、「電化」と「電気の低炭素化」は両輪であり、どちらも、長期的な視点に立って進めねばならない。電力価格を抑制することで、イノベーションを促進しつつ電化を進める一方で、電力価格が高騰しない範囲内に限定する形で、電気の低炭素化を進めることが望ましい。

V. 設備利用率の変化で CO₂ の大幅削減は可能だ

2050 年頃に大幅に CO₂ を削減するために、ただちに石炭火力を止めるべきだという意見があるが、これは間違いだ。

というのは、設備があるということと、CO₂ が排出されるということは等価ではないからだ。設備利用率は状況によって大きく変わりうる。

日本は 2030 年まで、石炭火力を一定程度維持する方針を打ち出しているが、これは 2050 年までに大幅な CO₂ 削減をすることと全く矛盾しない。もしも情勢の変化があれば、石炭火力の設備利用率を下げることで、容易に CO₂ を大幅削減できる。

「情勢の変化」としては、例えば以下がありうる：

- 1) シェールガス採掘技術が一層進歩し、また液化天然ガス (LNG) 市場が国際的に成熟して、より安定安価に LNG が供給されるようになる。
- 2) 原子力の再稼働・新增設が進み、電源構成における比率が増す。
- 3) PV (太陽光) とバッテリーのコストが大幅に下がり、安価安定な主力電源となる。
- 4) 中国が民主化し、中東が安定化し、地政学的な緊張が

無くなる。

そんなバカなことが、と思われるかもしれないが、2050 年までということなら、様々な可能性がある。2050 年を待たずとも、上記の 1) から 4) のうちどれかが起きれば、そのときは、石炭火力の設備利用率を下げて CO₂ を減らすことも選択肢になる。そして、そのどれも起きなければ、そのときは、石炭火力の設備利用率を維持し、利用を続けられればよい。

設備利用率が下がるといっても、決して無用になったということではない。ピーク電力への対応のみならず、不安定な再エネのバックアップや、非常時対応など、電力系統の安定のために重要な寄与が出来る。

VI. 提言

最後に、4 点に絞って提言をまとめておこう。

- 1) CO₂ は、エネルギー問題における唯一の課題ではない。日本は安全保障上の理由で、電力の安定供給を確保するために石炭火力発電が当面は一定量必要と判断している訳だから、これはきちんと対外的にも説明すればよい。 エネルギーをアキレス腱とする日本が、エネルギー政策の舵取りを間違えて脆弱な国になり、自由・民主・平和といった普遍的価値の東アジアに於ける砦で無くなる事態は、欧米も望まないだろう。
- 2) 個々の民間事業者は、石炭火力への逆風に屈しやさい。それでも石炭火力を続けるためには、日本政府の方針がぶれないことが重要である。日本は、内外の石炭火力発電を、エネルギー安全保障ないし国家安全保障といった国益の観点から維持する必要があるのだから、国は政策・制度環境を整え、民間が安心して事業に取り組めるようにせねばならない。
- 3) その一環として、国は、石炭火力が持続可能な開発に資すると考える途上国に働きかけ、その旨を明確に制度化してもらうことが望ましい。
- 4) 日本は石炭火力をどう位置付け、どう活用するのか、エネルギー安全保障・国家安全保障・CO₂ 削減を包含した国レベルでの戦略の策定が必要だ。 本稿がその一助となれば幸いである。

(2020 年 2 月 25 日 記)

談話室

原子力分野におけるジェンダーバランス改善をめぐる動き—OECD/NEA 国際会議での議論から—

日本原子力産業協会 上田 欽一

I. ジェンダーバランスに関する問題点と現状

世界的にリーダーシップ、ビジネス/起業、科学技術分野 (STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics) におけるジェンダーバランスを含む多様性の拡大が進められており、経済開発協力機構 (OECD) は 2013 年と 2015 年にジェンダーバランスに関するリコメンデーションを出している。

OECD/NEA も原子力における女性リーダー育成のため、メンタリングコース (通称: 女子会) を主に日本で 2017 年より開催してきた。OECD/NEA は、このような個別の活動をポリシーレベルまで引き上げたいと考え、ジェンダーバランス改善のための国際会議を初めて開催した。

原子力に関連する国際会議に参加して、感じることもある。それは男性しかも中高年の方の多さである。例えば、日本原子力産業協会が開催している年次大会では、女性と若手の参加者を増やすための取組みを行っているが、大きくは改善されていない。それは、原子力部門が構造的に抱えるデモグラフィックの問題によるものだろう。

2018 年の IAEA のデータによると、加盟国の原子力部門に従事している女性の割合は、平均値で 22.4 % に留まっている。OECD 諸国の平均値では、STEM 分野で学位を取った学生に占める女性の割合は 31 % である。国によってその割合が変わるが、最も割合の高い国がポーランドで 44 %。最も割合の低い国がチリで 18 % である。

原子力が持続的に発展するには、優秀な人材を確保・育成していくことが不可欠である。イノベーションを創出し、より良い実績を上げるには、様々な視点やアイデアが重要であり、ジェンダーを含めた人材の多様化が不可欠だろう。原子力部門が魅力的で誰もが働きやすい環境を目指すことが重要である。

II. 女性の原子力部門への進出を妨げている要因

女性の割合が低い原子力部門であるが、その要因は何だろうか? OECD/NEA の会議では以下のようなものが挙げられた。

-ジェンダーに関する先入観: 業務内容や場所が女性の

興味や利害に合っていない。業務スケジュールや働く環境が魅力的ではない。男性視点に偏っている選考プロセスや職場文化

-原子力オペレーターになるための時間拘束とシフト制
-ワーク・ライフ・バランス: 出産や育児でキャリアパスが困難

-原子力のイメージ (悪いまたは全くない)

-社会的プレッシャーや他の優先事項

原子力部門独自で取組めないものもあるが、原子力が職業の選択肢にすら入っていない現状を改善することが望ましい。特に女子にとっては原子力やエンジニア等は遠い存在かもしれない。我々自身も中学生くらいの頃、「科学者や技術者」のビジュアル的イメージとして男性を思い浮かべていたのではないだろう。例えば、鉄腕アトムに出てくるお茶の水博士のような。

NEA から紹介があった事例では、男女の職業選択はすでに 15 歳くらいで分岐しているという。それは高等教育におけるジェンダーバランスに影響を及ぼすことになる。2017 年の OECD 諸国のデータでは、健康福祉関連学部の学生 76 % が女性であるが、エンジニア関連学部では 24 % に留まっている。ここから読み取れることは、教育の早い段階で原子力、少なくとも科学技術に興味を持ってもらうことの重要性である。

III. 各国の取組み

会議で報告のあった原子力ジェンダーバランス改善のための特徴的な各国の取組みの一部を紹介したい。

1. 米国

米国では政府レベルで STEM 分野への女性参画を増やすための活動が展開されている。C3E イニシアティブ (Clean Energy Education and Empowerment (C3E) Initiative) や Equal by 30 は特徴的活動である。米国 C3E は米国エネルギー省 (DOE) がマサチューセッツ工科大学エネルギーイニシアティブとスタンフォード大学プレコト研究所と協力して 2012 年より進めている活動である。クリーンエネルギー部門におけるジェンダー・ギャップを改善し、女性参画を増やすことを目標にしている。女性アンバサダー活動、素晴らしい活動を

した女性への賞の授与，シンポジウムの開催，ソーシャルメディア等を活用したコミュニケーションを活動の4本柱としている。

Equal by 30 はクリーンエネルギー大臣会合 (CEM : Clean Energy Ministerial) と国際エネルギー機関 (IEA) によるジョイント・キャンペーンである。2030年までにクリーンエネルギー部門における女性の平等な賃金，平等なリーダーシップ，機会の平等に向けて取り組む公的および民間の組織による活動である。日本を含めた11カ国政府と欧米を中心とした企業がこのキャンペーンに参加している。

2. 英国

英国は野心的なプログラムを実施している。現在の原子力部門における女性従事者の割合は22%であるが、2030年までには40%にすることを目標にしている。そのために、政府と産業界はパートナーシップを締結した。原子力スキル戦略グループ (NSSG: Nuclear Skills Strategy Group) が中心となり、人材の多様化のための戦略を立てている。先般、2030年に女性従事者を40%に増やすための原子力ジェンダーロードマップがNSSGとWomen in Nuclear UKとの協力により策定された。そのロードマップにはジェンダーバランス改善のために実施すべき内容がまとめられている。

3. カナダ

カナダ原子力安全委員会 (CNSC) は「Women in STEM イニシアティブ」を展開しており、コーチング、メンタリング、女性ネットワークを通じた信頼醸成や規制基準等におけるGBA+ (Gender-Based Analysis Plus) を実施している。GBA+ はカナダ独自の施策である。各省庁が新しいプログラムを行う際に、予算を財務省に要求しなければならないが、その際にその根拠とするためのジェンダー別の統計を用いた政策の影響分析のことである。GBA+ のプラスはジェンダーだけでなく障害・民族的出自・言語等のあらゆる属性との交差を意図したもので、GBA+ にはこれらの観点を含めなければならない。

4. ロシア

ロシアの国営原子力企業ロスアトム社は将来の人材育成のために400の保育所や学校、230以上の高等教育機

関と連携している。40%の女子がロシアトムの工学研修に参加しており、それら女子のうち90%が原子力部門に就職している。また、ロシア原子力産業のデジタル移行プログラムが進められているが、その責任者は女性であり、今までには考えられない事例との紹介があった。

なお、日本からは中西原子力委員が、地球科学者の猿橋勝子先生の事績、自身の経験、我が国の科学分野における女性の活動状況、政府・原子力関係機関の男女共同参画に関する取組みの内容および実績について紹介した。

IV. 国際協力と今後の展開

会議では、今後の協力分野について議論し、優先順位付けをし、次の4つの領域にまとめた。

1. 女性の原子力分野への参加に関するデータ収集、分析
2. 原子力分野でのキャリアに関する若い女性とのコミュニケーション
3. 今までよりも、多くの女性を含むより強力な人的ネットワークを構築するための教育・訓練機会の拡大
4. 原子力におけるジェンダーバランス改善に対処したい各国を支援するための政策策定

政策策定については、OECD/NEAが声明やガイドラインを作成することが加盟国の取組みの助けになるのではとの意見が出されていた。

V. 所感

ジェンダーバランスは共通の課題であることがわかった。ばらつきはあるが、OECD/NEA加盟国でジェンダーバランス改善のための活動が展開されており、一部の国ではその成果が出ている。ジェンダーバランスは多様性実現に向けた第一歩で、国籍、文化、宗教、性的マイノリティー (LGBT)、障害者等を含めた多様性についても今後は視野に入れられるべきである。制度や見直しは必要であるが、やはり意識 (マインドセット) を変えていくことが重要である。原子力部門でジェンダーや多様性についての国際的議論が開始されたことは大変意味のあることである。

(2020年2月28日記)

使いたくない言葉

共同通信社 原子力報道室 河村 尚志

記事を書く上で使いたくない言葉がある。広く定着していなかったり、紙幅を圧迫したりする言葉がそうで、エネルギーの分野で言えば「3E+S」が真っ先に浮かぶ。

まず一般の読者に知られていない。また記事の行数の制約は結構厳しいので、「安定供給(Energy Security)」、「経済性(Economic Efficiency)」、「環境(Environment)」と「安全性(Safety)」と説明を加えるのはやっかいだ。全国紙であまり見かけないのは、こういった事情もあるからではないか。

個人的に重要な理由もある。議論の余地が残る事柄に対して結論を決めつける意味合いを、この言葉に感じ取ってしまうのだ。「3E+S」には、大事な視点が欠落しているように思えるが、ここではその一つとしてお金の問題を取り上げたい。

経済記者として証券市場や経済官庁を担当し、地方時代は政治家の汚職事件を追った経験もある。記者としてお金の問題はしつこく問い続けなければならないと考えている。

お金には責任と義務とルールが伴う。投資や融資を受けた企業は収益を上げ利益を還元しなければならない。財務や経営リスクの開示も不可欠だ。税金や電気料金であれば支払う額が適正に決められ、ヒトやモノに適切に配分されなければならない。同時に投資家や納税者、消費者は自分たちのお金が正しく使われているかチェックする責任を負う。それはキロワット時当たりの発電単価がいくらという話とは異なる。

例えばあなたが今、大切な老後の資産の運用先として、核燃料サイクル事業への投資を持ちかけられたらどうだろうか。実際に、私たちは関心や知識の有無にかかわらずこの未完の事業に関わっている。年金積立金管理運用独立行政法人(GPIF)は大手電力会社の株主だが、その大手電力会社は、青森県で再処理工場を建設している日本原燃の株式の大半を保有している。また事業の原資は電気料金だ。

まず心配なのが、事業にどれだけのお金がかかるのか分からない点だ。使用済燃料再処理機構が公表している

事業費は再処理が13.9兆円、混合酸化物(MOX)燃料加工が2.3兆円の計約16兆円だが、費用がこの範囲で収まるか確信が持てない。

また使用済核燃料は全量を再処理するので、建設中の工場で処理しきれない燃料や、使用済MOX燃料を再処理するためにもう一つ再処理工場をつくらなければならない。過去の試算ではこの第2工場の費用は現行の施設と同程度とされていたから、総額は約30兆円と倍増するように思うが、公表されていない。費用は電気料金に転嫁されているが、その前提条件だったはずの第2工場の検討具体化は全く進んでいない。

建設中の工場が無事運転を開始したとしても、プルトニウムを余剰に持たないという国際的な要請と、事業としての収益性をどう両立させるのか不透明だ。

国民営だから安心できるのだろうか。しかし原子力損害賠償法の抜本的な改正は見送られ、事故が起これば無過失でも巨額の賠償責任を電力会社のみが負う仕組みは残った。実態は限りなく民営に近い。

市場では「再処理工場が稼働したら何が起こるか分からない」と、予期できない財務的なリスクの発生を懸念する声が聞こえる。先の質問に個人として答えるなら、事業の意義や是非とは無関係に、財務や経営のリスクについて情報があまりにも足りず、とても投資できないという結論になる。

私自身は原発について、廃止も活用もどちらの選択肢もありうると考えている。たださまざまな利害関係者が自ら考え、進むべき道を選ぶための材料はすべてテーブルに並べてほしいというのが願いだし、その手伝いをするのが記者の仕事でもある。自戒を込めて、安直な言葉に頼るまいと思う。

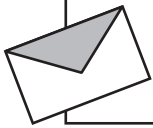
著者紹介

河村尚志 (かわむら・ひさし)

共同通信社記者。2002年入社。福岡編集部、宮崎支局を経て09年経済部。証券取引所や財界、経済産業省を担当。17年から2度目の原子力報道室。



理事会だより



監事の仕事と雑感

学会の理事会職務分掌規程によれば、学会の組織的かつ効率的な運営を図るため、監事の業務は、財産状況の監査・理事の業務執行状況の監査・違反行為の報告と定められている。これらに対応するため、理事会に出席して、審議・報告を受けながら、監事としての業務を行っている。学会への入退会状況・研究専門委員会の新設・委員会人事・事業計画などの審議事項と財務月次報告・予算外申請・規則類の改定・委員会の活動状況などの報告事項が議題として上る。特に財務状況に関しては、出版事業・春の年会/秋の大会・部会/連絡会/支部/委員会活動・事務局経費・基金の月次報告、正味財産増減計算書の詳細な報告が行われる。月次報告については、毎月の収入・支出の内容が注記されており、予算の執行内容の理解が深まるようにとの事務局側の配慮がなされている。正味財産の増減に関しては、過年度の状況や期初の計画と比較しながら、月ごとの正味財産増減や期末の「着地」見込みの報告を受ける。過年度や期初計画との比較が容易にできるように可視化されており、実績と予算の乖離がみられるものに関しては、その要因について財務担当理事あるいは学会事務局担当職員に確認することになる。期末には、公認会計士による財務諸表等(貸借対照表、損益計算書、正味財産増減表)の監査が行われる。この結果を受けて、毎年6月に開催される総会にて監査報告を行う。原子力学会に限らず、他の学会でも課題となっているのが、学会員数の減少である。現状では、年に200名程度の正会員が減少しているのが現状である。教育会員の設定や原子力理解活動などを通じて会員の増強を図ってはいるものの、学会員の減少傾向の抑制には、中期的な視野に立って地道な活動が必要である。

この原稿を記載している現在、連日コロナウィルスの感染拡大が伝えられている。当初は、国内のクルーズ船の動向に着目されたが、その後国内での感染が拡がり、対策として公立学校の休校処置などが取られた。原子力学会でも、かかる状況を受けて、大変残念なことではあるが、春の年会は中止となってしまった。多くの学会やシンポジウムが中止あるいは延期の処置をとるに至った。国内だけでなく、筆者が技術委員会の一員として参加している国際会議(イタリアで開催)も2月末に早々に延期との発表が行われた。多数の観客が集まるスポーツにおいても、中断や延期、無観客での開催などの対応がとられている。このような状況がいつまで続くのか、全く予想はできないが、社会に大きな影響を及ぼしてい

る。その後の拡大感染、WHOによるパンデミックとの評価、そして株価下落など経済的な影響、オリンピックの延期にまで発展し、状況は大きく変化した。

学会や国際会議の中止に伴う影響として、発表に伴う専門家との意見交換や他機関との交流によるネットワーク作りなどの機会が喪失されていく。学会としても、財務的な損失を被ることもあるだろうが、学会や国際会議の中止は、とりわけ若手にとっては自らの成長の機会を少なくしてしまうのではないかと。筆者の周りでも、8月に開催予定の国際会議が中止となり、発表の機会を失った技術者がいる。予稿あるいは論文が受領されれば、会議自体は中止になったとしても、多くの学会では研究発表がなされたものとなり、研究公表実績として認定される。しかしながら、専門家と意見交換を直接交わすことにより、身につくものは少なくないはずである。このような状況は、一時的なものであろうが、学会発表の在り方を多様化できないものだろうか。集合形式ではない方法はとることはできないか。Webを使用した会議が行われているが、このような形式で学術発表を行うことは可能だろうか。あるいは、学会の年会・大会で使用されている「Confit」という演題登録システムの中に発表者にコメントを伝えられるような機能があるが、この機能を意見交換に活用してはどうか。集合形式とした場合でも、専門領域に分けて規模を小さくして開催することは可能だろうか。学会として、発表の機会を継続的に確保するために、多様な手段・形式を考えておく必要はないのだろうか。

コロナウィルスについては執筆時点での状況を記したが、本記事が学会誌に出るときは、状況が収束され、感染の終息が見えていることを期待している。コロナウィルスで感染症などの多くの専門家が、ニュース番組に出るなりして、ウィルスの特徴・予防対策などの解説を行っており、国の機関でも日夜、状況分析と対策を練っているであろう。改めて専門家という立場の重要性を認識した。コロナウィルス対応で出てきた課題には、専門家の方々が検討を進め、その総括を行ない、必要に応じて新たな感染症に対する提言をまとめていくことであろう。東日本大震災と1F事故から9年が経過したが、その後どのように対応してきたのか、その結果を広く社会に示していくことが原子力の専門家集団としての原子力学会としての役務である。

(東芝エネルギーシステムズ(株)・中田 耕太郎)