

巻頭言

1 卓越性と完全性への憧憬

松浦祥次郎

時論

2 福島廃炉と復興を魅える化するには

鈴木俊一

解説

24 試験研究炉の低濃縮化に関する取り組みと国際動向

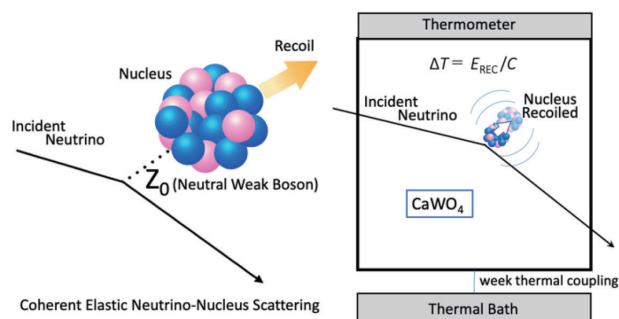
核不拡散や核セキュリティ上のリスクを低減するために実施されている試験研究炉の高濃縮ウラン燃料の撤去と低濃縮化について解説する。

宇根崎博信

29 原子炉ニュートリノ測定実験の現状とその先端技術

原子炉は地上最強のニュートリノ線源である。ニュートリノはほぼ完全に地上の物質と関わりことなく宇宙の彼方に飛び去るが、考え抜かれた装置にその極微の痕跡を残すので検出は可能である。

吉田 正



CEvNS 過程 (左) と Chooz プラントでの次期ニュートリノ実験で使われる極超低温カロリメーターの動作模式図 (右)

Perspective

4 科学的根拠なく情緒的な政治的配慮に翻弄される原子力・エネルギー政策の蹉跌

山本一郎

特集 新型燃料の導入に向けた道筋 安全評価技術の継続的向上の視点から

12 企画趣旨と課題整理

新型燃料導入を題材に、原子力事業者、学会、規制の各々の視点から、ハードウェア及びソフトウェアの新技术導入に係る現状の課題を整理し、改善の方向性を示す。

田邊恵三, 村上健太

14 10×10 燃料を導入する際の課題とその解消に向けた道筋

国内の BWR プラントへの 10 × 10 燃料を導入する際の課題について、安全設計、許認可対応の観点から整理し、その解消に向けた道筋の概要について紹介する。

鶴田義昭

16 炉心燃料分野の解析コードの高度化と学会標準の整備状況

炉心燃料分野の解析コード及び関連する評価手法について、その高度化及び関連する学会標準の整備状況、並びに新技术の導入に当たっての論点を整理する。

工藤義朗

19 新型燃料に関する規制対応上の技術的課題

導入が計画されている BWR 用 10 × 10 型燃料に関し、原子力規制委員会が行ってきた安全研究の成果を基に規制上の技術的課題を検討した。

永瀬文久, 金子順一, 北野剛司

22 新型燃料の継続的な導入に必要な知識基盤とその論点

メーカ毎の設計の違いを適切に考慮しながら代表的知見を外挿する仕組みが必要である。解析コード及び燃料試験とパフォーマンスの関係を深く理解することがその前提となる。

村上健太, 山本章夫

34 都市域での放射線テロ対策の最前線(1) 核セキュリティ事案における初動対応

都市域での放射線テロとして懸念される汚い爆弾(ダーティーボム)への対応と関連した技術開発について解説する。

土屋兼一



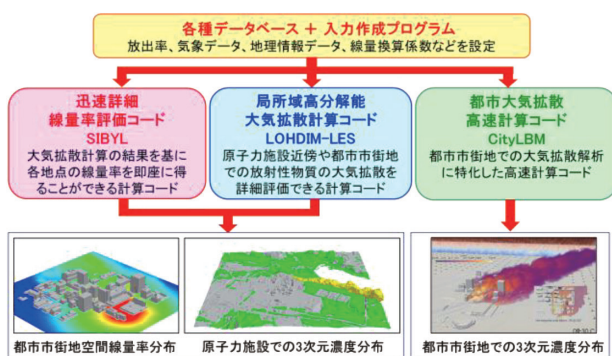
USOTOPEを放射線検出器に装着

駅構内で実施した放射線テロ対策訓練の例

37 都市域での放射線テロ対策の最前線(2) 局所域高分解能大気拡散・線量評価 システム LHADDAS の開発と放射線 テロ対策への応用

建物影響を考慮した大気拡散計算コードと、建物の遮蔽効果を考慮して放射線の線量率寄与を計算する線量評価コードを組み合わせた高分解能大気拡散・線量計算コードを開発した。

中山浩成, 佐藤大樹



LHADDAS の概念図

46 Column

原子力発電所立地県都の住民が思うこと
“誰かがやってくれる”
核エネルギーとはどういうものか
森田敏夫さんに学ぶ
「災害の防止」と脆弱性
東戸塚から学ぶ患者さん目線の医療

石原孝子
今泉友里

小出重幸
菅原慎悦
妹尾優希

6 NEWS

- 東電, 処理水の海洋放出を開始
- 文科省, 「SPRING-8」の高度化で報告書
- 海外ニュース

解説

41 ふげんの廃止措置の状況と今後 (2)

今回は新型転換炉原型炉ふげんの廃止措置の状況を紹介します。今回はこれまでに得られた主な知見や経験を紹介します。

水井宏之



理事会だより

49 年会・大会の今後の運営について

林 巧

13 新刊紹介「照射材料科学の基礎」

園田 健

- 50 会報 原子力関係会議案内, 共催行事, 新入会一覧, 標準書籍発行のご案内, 英文論文誌 (Vol.60, No.10) 目次, 主要会務, 編集委員コラム, 編集関係者一覧
- 52 Vol.65 (2023), No.10 J-STAGE 閲覧
購読者番号・パスワード

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

学会誌ホームページはこちら
https://www.aesj.net/publish/aesj_atomos



卓越性と完全性への憧憬

巻頭言



財団法人原子力安全研究協会 理事長

松浦 祥次郎 (まつうら・しょうじろう)

京都大学大学院工学研究科修了。日本原子力研究所(現：日本原子力研究開発機構)入所，原子力安全委員会委員長，日本原子力研究開発機構理事長などを経て，2021年より現職。

わが国がエネルギー非資源国であること，現在のエネルギー自給率を大きく高める必要が国内は当然，諸国にもよく認識されている。そして環境問題の深刻化からまずカーボンニュートラルを，やがてはカーボンフリーを目指さなくてはならないのは明白である。世界のほとんどの先進国が，そのためには原子力エネルギーと再生可能エネルギーの適正な組み合わせ利用が不可欠と早々決定した。わが国もようやく原子力利用に本気を取り戻しそうになったが多事多端である。

わが国は原子力研究開発利用の導入において，原子力の威力を知らされた最初の経験が戦時の原爆攻撃であったという特段に不幸な経験を有している。広島・長崎の災禍は決して国民の心から消えることはない。さらに福島第一原子力発電所事故，JCO事故，美浜発電所3号機事故等の原子力施設での予想外の事故被害も忘れられない。原子力問題の困難に対応する上でこのような国民心理の深淵に記憶されている傷を慎重に認識して置く必要がある。福島事故の少し前に「原子力問題解決にわが国では他国に比して相当に長い期間が必要なケースが多い。基本的共通原因は何か」をある私的な研究会の依頼で公表データに基づき個人的に調査した。その結果，問題の原因確認と対策の決定に科学・技術的困難があったケースは全くなく，社会的问题が解決長期化の基本的共通原因である事が明らかになった。しかもその問題解決には科学技術的側面に大きな努力が尽くされたが，一方，社会的側面への解決努力はかなり限定的であった。

また同時に明確にされた事実は，科学技術的側面についても，社会的側面についても問題発生前に今一段の念を入れた調査，検査，詳細配慮が払われていれば問題発生の確率を圧倒的に低く出来たであろうと判断できたことである。このことは社会的に大問題となったいくつかの事故例を取り上げ，その主原因を指摘すれば十分であろう。

- ① 原子力第一船「むつ」放射線漏れ：压力容器と外部遮蔽体との間隙から上方への放射線漏れ：設計手法が不適切。
- ② 高速増殖原型炉「もんじゅ」ナトリウム漏れ・火災：ナトリウム温度計鞘の製作不良。先例技術の不採用。
- ③ JCO臨界事故(死傷事故)：技術的無知。作業管理の不適。犠牲者は作業についての危険教育を受けていなかった。
- ④ 浜岡1号機配管水素爆発による破裂：機能向上のための改造が炉内発生水素のたまり場となった。
- ⑤ 美浜発電所3号機2次冷却系配管破断(死傷事故)：検査対象とすべき配管が検査対象とされず，摩滅破損。

それぞれは非常に特異な例であろう。しかし，これは端的に原子力科学技術の利用には特段の完全性への要求が深く厳しい事が明瞭に示されている。原子力科学技術に関わり，仕事を為す者は原子力科学技術に尊敬を抱き，事業の全ての階層において自己の行為と思考の卓越性・完全性を指向しての努力を継続せざるをえないと考える。

卓越性，完全性への指向を強化する上で是非とも今後必要なのは，社会・経済・心理学・脳科学，および哲学系の専門家と原子力科学技術専門家との話し合い，意見交換さらにテーマを設定しての共同作業の試行を推奨したい。このような試みの結果を基盤として社会と原子力分野との往来が盛んになれば，原子力問題の社会的困難への対応の筋道と仕組みが前向きに大きく進むと期待できる。

(2023年8月21日記)



福島廃炉と復興を魅える化するには



鈴木 俊一（すずき・しゅんいち）

東京大学大学院工学系研究科上席研究員
1957年東京電力入社，2015年より東京大学
大学院工学系研究科特任教授，2023年4月より
現職。専門分野は原子炉材料，統合廃炉工学。

福島第一原子力発電所(以降 1F)事故が発生して、ほぼ 12 年が経過した。同発電所では汚染水対策、使用済み燃料の取り出しなど種々の課題に直面しながらも、廃炉に向けた取り組みが一步一步着実に進められている。しかしながら、1F 廃止措置を完遂するためには、今まで誰も経験したことのない困難な課題へ挑戦する必要がある。なぜなら、通常プラントの建設・保守は、過去の知見・経験をベースにした定常的な問題をいかにうまく解くかが鍵であるが、事故炉の廃止措置は今まで経験したことのない、しかも環境・プラント状態等が時間とともに変わりうる非定常の課題であるためである。長期的な視点にたつて多岐にわたる課題を的確に処理する必要がある、資金・実現性・技術的成立性・被ばく・安全・セキュリティ・環境負荷等を考えて優先度のバランスをとる必要がある。新たな技術開発は必須であるが、長期にわたることから従前とは異なる新たな発想や、学生・若手研究者等の次世代を支える人材を育成する必要がある。計画・実践にあたっては、ステークホルダーとの議論を十分に行い、社会的合意形成を図るとともに、地域復興の視点から、雇用、人材育成、研究拠点の活用を考慮するなど、技術と社会との調和を図ることも重要な課題である。

—課題を解決するにはどうすればよいか？—

1F が抱える多くの複雑な課題を克服するためには、将来を予測し、複数の対策シナリオを考え、必要とされる新たなコンセプトを構築するという、“未知への挑戦”が求められている。

工法検討にあたっては、1F の特殊性、すなわち、①腐食等経年劣化の考慮、②高放射線環境下での多くの作業、③多くの既設設備が利用不可、④大量の放射性廃棄物の発生、⑤特有のリスク管理等を十分に認識する必要がある。1F 廃炉では、数多くの作業が相互に関連しているため、個別技術のリスクというよりも、全体を俯瞰してトータルリスクを管理することが鍵となる。

戦略の策定にあたっては、End-State(最終的にどうしたいか)を考え、実現可能なさまざまなオプションを検討し、その結果、第一案だけでなく必ず代替案を準備す

る必要があるだろう。また、各プロジェクトの目的・ゴールを明確にした上で、部分最適ではなく全体最適となるように計画することも忘れてはならない。このような特徴を踏まえると、未曾有のプロジェクトに対していかに若い世代が俯瞰的な視野をもち、新しい発想を産み出すことができるかが今後の大きなポイントとなる。

—全体を俯瞰することが重要—

長期にわたる廃止措置の過程において何が起りうるかを現時点において完全に予測することは困難である。ただし、将来何が起りそうかリスクを含めて俯瞰し、仮説をたてた上であらかじめ何らかの備えをすることは可能であろう。この場合、影響度合いが大きいのと思われる不確実な事象を徹底的に洗い出し、モニタリングすることによって仮説を検証することが重要となる。

本質的な問題を解決するための有効な手法として、仮説指向計画法(Discovery-Driven Planning)があげられる。アプローチとしては、まず目標を明確にした上で、何を行えばその目標が達成できるかを考え、可能性のある仮説をたてる。次にどのようにしたら、その仮説が正しいと判断できるか、検証できる計画をたてる。最後に計画を次々と実行に移す。これを繰り返すことにより不確実性のある事象の対応を含めた複数の案が浮かび上がるとともに、真に重要な本筋(幹)はどこにあるのかがより明確になるという概念である。

筆者らは、エンドステートを意識した全体像を俯瞰しておおよそのマップを作成した上で、現在必要な技術と、将来から俯瞰して必要と判断される技術のマッチングを試みている。一見現状では適切に思える工法も将来を考えるとマッチングがうまくいかない場合には、廃炉を完遂する成功パスにつながる工法とはいえない。例えば、将来の廃棄物処理・処分に負荷を与えない燃料デブリ取り出し工法を選択することは極めて重要である。ここで、放射性廃棄物の処理・処分のエンドステートの定義が重要となるが、「廃棄物を安定化した状態にすること」、すなわち「放射性物質を移動させない状態にすること」が最も重要な概念であると考えている。このような思考を展開すると、廃棄物管理を見据えた燃料デブリ取

り出しには、一旦燃料デブリを固化・安定化した上で、大規模に取り出す工法が有効な戦略であるとの発想にたどりつく。

—廃炉研究を行っている学生の意見—

以前、米国廃止措置現場である DOE ハンフォード原子力サイトと宇宙産業の中核である NASA ジョンソン宇宙センターを訪問した際の学生の感想を以下に紹介する。

- ・廃炉と宇宙開発の相違は、原子力分野ではロボットは危険な作業を代行しているのに対して、宇宙開発では人との協調に重点が置かれていた。一方、共通点は、ともに多重防護やフェイルセーフといった何が起こるか判らない環境にあって失敗を補償する枠組みが重要視されている点が印象に残った。
- ・ともに国家的大規模プロジェクトであり、一旦決まった手法に対して異なるコンセプトを途中で採用することは困難であるが、計画推進のためにはプロジェクトの区切りごとに計画を見直すことが極めて重要と感じた。
- ・相違点は、廃炉はネガティブなイメージ、宇宙開発はポジティブなイメージであること、また線量やロボット開発の目的に相違があること。共通点はともに最先端技術、国際的であり国民の理解が必要であること、また長期間を要するプロジェクトである点など。
- ・廃炉事業と社会との良好な関係を築くためには、ハンフォードのパシフィックノースウェスト研究所が行っているウェブサイトを活用した住民参加型意思決定方式の導入などにより、時間をかけて地元から理解を得る努力を継続することが重要と感じた。
- ・今後廃炉を推進するためには、若手技術者への前向きなチャレンジ精神を育成する土台が必要と感じた。

学生の多くは、「廃炉は国家的難事業、自分も是非貢献したい」という積極的な思いがあり、大いにやりがいを感じている。一方、「ロケット打ち上げは皆が関心を持ち、成功すると拍手されるが、廃炉作業でそのような状景は見たことがない。」という率直な感想も貴重である。モチベーションが高くても、彼らの行動を評価し、称えるという社会からの反応が少ないことは若手の意欲を維持・継続する上で解決すべき重要な課題だと思っている。

では、社会が関心を持つためにはどうすればよいか？

1F 廃炉には、原子力、機械、電気、化学、材料、土木、建築など多岐にわたる分野の最新技術の集結ばかりではなく、究極のプロジェクト管理や、社会との対話が必須である。国内外を問わず、多くの分野から技術者や研究者が参加しているが、関係者間、いわゆる廃炉村に情報が集約されると、一般の方には中味が見えてこない。集積される新技術や概念を他分野に還元する、すなわち、

得られた知恵を社会が魅力的と感じる「魅える化」することにより、重要性が広く認識されるようにならないだろうか？例えば、炉内調査技術は宇宙・海洋探査技術に適用可能であり、ロボット技術は AI による自動制御・遠隔施工技術に展開できる。未知の課題に対するプロジェクトマネジメントや社会科学的対応も代表例である。より具体的な例としては、燃料デブリ切削時に発生するエアロゾル対策技術を手術時発生するウィルス飛散から外科医を守る医療技術へと発展させることも可能だろう。

—復興を想う—

先日常磐線に揺られて、窓際からの風景を眺めながら、浜通り復興のためには何が「創造」できるのか想った。

優れた町おこしの例として徳島県神山町ならびに新潟県山古志地域を訪問したことが鮮明に思い出される。

神山町は過疎の現状を受け入れた上で、「創造的過疎」という新たな概念を打ち出している。成功の理由の一つとして、光ケーブルや WiFi が使える通信環境の早期実現により、仕事と遊びが両立した IT 企業家にとって魅力ある場所に変革したことがあげられる。ゆとりのない都会とは異なり、「楽しい、快適」と感じられる「ゆるい仕事環境」を通信環境の整備により創造したことが若い世代に大きな魅力となっている。一方、山古志地域は 2004 年の中部地震で被災し、住民の大半が村外へ避難することとなった地域である。震災時の 2,000 人以上の人口は、2022 年時点では 800 人となり「このままでは山古志がなくなってしまう」という危機感からメタバースと NFT を用いた町おこしを行ってきた。具体的には、「デジタル山古志村」を作り、NFT のアートを販売して「デジタル村民票」を発行するとともに、メタバース山古志村を作り、その中でデジタル村民が交流できるようにした。その結果、「デジタル村民」は約 1 年で 1,000 人を超え、実際の人口を上回ることとなった。

浜通り復興を考えると、この地だからこそその意義を汲み、魅力ある地として「若い人」が集まる戦略が必要である。特に、廃炉・復興などの「知」を活かし、若人が集い、彼らを育てる環境づくりが必要だろう。負のイメージを払拭するためには、正のイメージがスパイラル状に生まれる仕組み、引火ではなく自ら発火する「社会的発火点の創出」が必須であり、地域の施策としてリアル、デジタルを含む若者の誘致を目指してはどうだろうか？

1F 事故の教訓のみならずその後の廃炉・復興過程で得られる智慧・経験は、将来世界の模範となるであろう。今後、多種多様な分野において若者を核とした「知の集積」が進展することを期待したい。

(2023 年 7 月 31 日 記)