

日本原子力学会 2017 秋の大会 水化学部会企画セッション 「福島第一原子力発電所デブリ取り出しに関わる水化学管理」参加報告

中村勤也*1

はじめに

北海道大学で開催された 2017 秋の大会において、「福島第一原子力発電所デブリ取り出しに関わる水化学管理」と題する企画セッションが 9 月 13 日（水）に開催され、参加したので報告する。

セッションの概要

福島第一原子力発電所（1F）では、廃炉に向けた中長期ロードマップに従い、2021 年の燃料デブリの取り出し作業の開始に向けて様々な分野の技術開発が進められている。燃料デブリを取り出すためには、燃料デブリ性状の把握、取り出し装置の開発、臨界管理・計量管理等の様々な課題の検討に加え、水化学管理面からの幅広い検討も必要とされている。本セッションは、燃料デブリ取り出しに関わる水化学管理にスポットをあて、水化学、核燃料、材料およびバックエンドの 4 部会合同企画として開催された。本セッションの座長を務められた、高木純一氏（水化学部会副会長、東芝）より、今回は燃料デブリ取り出し方針が決まりつつある中での開催であり、今後の課題を頭出しするきっかけになれば幸いであるとの開会宣言がなされた。

1 燃料デブリ取り出しに向けての取組み：中野純一氏（NDF）

1F 廃炉に向けた燃料デブリの取り出し方針に関する、「1F 廃炉のための技術戦略プラン 2017」（2017/8/31 公表）に基づき、特に、燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた提言と重要研究開発課題について紹介があった。

これまでに、典型的な 3 つの取り出し工法（冠水-上アクセス工法、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法）について実現性を評価した結果、止水技術開発状況並びに止水作業に伴う作業員の被ばく線量が年間総被ばく線量を大きく上回ると推定されること等から、気中-上アクセス工法と気中-横アクセス工法の 2 つの組み合わせが抽出された。燃料デブリ取り出し方針の決定に向けて、次の 6 つの戦略的提言が示された。①全体最適化を目指した総合的な計画検討を進める、②先行炉から得られる情報に基づいて柔軟に方向性を調整するステップ・バイ・ステップのアプローチを進める、③複数の工法の組み合わせを前提にする、④気中工法に軸足を置いて予備エンジニアリングや研究開

発等を進める、⑤まず、PCV 底部の燃料デブリの取り出しに重点を置いて取り組む、⑥PCV 底部の燃料デブリへのアクセスルートとして PCV 横方向からのアクセス（気中-横アクセス工法）から検討を進める。なお、気中工法といえども、完全なドライではなく掛け流し程度の冷却が行われる。

中長期を睨んだ研究開発として、NDF 内に設置した研究連携タスクフォースの中間評価に基づき、JAEA 廃炉国際共同研究センター（CLADS）内の廃炉基盤研究プラットフォームで議論した結果、戦略的かつ優先的に取り組むべき 6 つの重要研究開発課題（燃料デブリの経年変化プロセス等の解明、特殊環境下の腐食現象の解明、画期的なアプローチによる放射線計測技術、廃炉工程で発生する放射性飛散微粒子挙動の解明、放射性物質による汚染機構の原理的解明、廃炉工程で発生する放射性物質の環境中動態評価）が抽出された。現在、課題別分科会が CLADS 内に設置され、ニーズ側とシーズ側の専門家で研究開発戦略の策定作業が進められている。

2 PCV 内部調査の進捗状況：久米田正邦氏（東電 HD）

燃料デブリ取り出しに向けた取組みの一環として、1 号機から 3 号機までの PCV 内部調査の進捗状況が紹介された。これまでに各号機の PCV 内に調査ロボットが投入され、PCV 水位や空間線量率、燃料デブリの有無や拡がり等が調査・検討されてきた。その結果、1 号機については、PCV 外側ドレンサンプ周辺の構造物に大きな損傷がなく、PCV 底部に確認された堆積物表面の主線源は Cs-137 であり、堆積物が薄い箇所では燃料デブリが存在しないか存在しても少量であると推定されている。また、ペDESTAL 開口部近傍では堆積物が厚いものの、内部に燃料デブリが存在するか特定できていない。2 号機については、ペDESTAL 開口部からペDESTAL 内部の映像等が取得され、ペDESTAL 内のグレーチングの一部の脱落や変形等が確認されている。3 号機については、水中 ROV（Remotely Operated Vehicle）の映像より、RPV 下部の CRD ハウジングの複数箇所支持金具が脱落、変形するとともに支持金具に溶融固化したと思われる堆積物が付着していることが確認されている。また、ペDESTAL 内のプラットフォームは大きく欠落し、ペDESTAL 内の構造物上に溶融固化したと思われる堆積物が確認されている。ペDESTAL 下部には、小石状や砂状の堆積物が確認され、グレーチング等の構造物の落下物が確認された。これらの堆積物や落下物等の同定はこれからであり、得られた画像をもとにペDESTAL 内部等の状況を継続的に確認していく予定である。

Report on the planned session by the Division of Water Chemistry in 2017 AESJ Fall Meeting, "Management of water chemistry on retrievable of fuel debris at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station" by Kinya NAKAMURA (kinya@criepi.denken.or.jp)

*1 電力中央研究所 原子力技術研究所 燃料・炉心領域
Nuclear Fuel & Reactor Core, Nuclear Technology Research Laboratory,
Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)
〒210-8511 東京都狛江市岩戸北 2-11-1

3 デブリ取り出し工法の検討状況：高守謙郎氏（IRID）

燃料デブリ取り出し技術の構成と、特に水化学に求められる安全要求・機能要求や制約事項について、最新の検討状況が紹介された。

燃料デブリの取り出しに冠水工法を採用するには、漏えい箇所を修理して止水する必要があるが未だ PCV の漏えい箇所の全容を特定できていない。これは、特に PCV 上部が高線量になっているためである。また、1号機と3号機では、燃料デブリの多くは PCV の下部にあると推測されており、気中・横アクセス工法を先行し、気中・上アクセス工法と併せて検討する方針が示された。取り出しイメージとして、ペネトレーションから水平にアクセルレールを挿入して遠隔操作ロボットを PCV 内に投入し、このロボットが取り出し作業を行う計画である。

安全要求から機能要求に落とし込んでシステムを構築する必要があるが、まだ構築できていない。「とめる」「冷やす」「とじこめる」のうち、「とじこめる」が最重要ハザードであり最も課題が大きい。そのため、圧力抑制室またはベント管を止水し冷却水循環系を構築したうえで、気相は負圧勾配による負圧管理システムで、水相は PCV 水位が地下水水位を上回らないように PCV 水位監視装置で管理する。未臨界の維持が担保されない場合には、五ほう酸ナトリウムを冷却水に添加してホウ酸水濃度を制御するシステムも検討されている。別途、水素発生対策も必要とされる。

水化学分野に期待する項目として、様々な安全管理システム（負圧管理、冷却水循環、水質管理、水位監視、中性子吸収材濃度管理等）の健全性・メンテナンス性の向上や、収納・保管・移送プロセスにおける水素発生量の管理（時間管理等）、構造物の腐食の抑制（ $[\text{Cl}^-]$ 、 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 管理等）、放射性物質のビルドアップの抑制等が挙げられた。

4 デブリ性状把握と放射線分解挙動評価：永石隆二氏（JAEA）

従来、水化学分野では、高温高压下での比較的美丽な水を扱ってきたが、1F 事故以降は常温常圧下の海水塩成分等が溶存したり不溶性の構造物等が混入した複雑かつ複合的な水を研究対象としている。汚染水処理に関する廃吸着塔や廃棄物等に特徴的な核種（Cs-137, Sr-90）から放出される飛程の長い低 LET（線エネルギー付与）の β 線や γ 線による水の放射線分解挙動について、特に水素発生との観点からの研究成果が紹介された。

海水では、溶存するハロゲン化物イオン（ Cl^- , Br^- ）が分解生成物の水酸化ラジカルを補足して水素の酸化を抑制するため、純水よりも水素の発生量が多い。一方、水酸化ラジカル同士が結合して生成する過酸化水素は、海水よりも純水の方が生成しやすい。また、ゼオライトを海水および純水へ浸漬した試験結果から、水の分解生成物と固体表面（特に、多孔質物質の細孔内表面）との相互作用が顕著になり、水素発生に影響を及ぼすことが示された。

一方、燃料デブリは、飛程の長い β 線や γ 線を放出する FP だけでなく飛程の短い α 線を放出するアクチノイドも

含むため、燃料デブリを取り巻く環境は α β γ 線が混在した複合的な照射場となる。簡易評価によると、燃料デブリの取り出しが始まるまでの 1F 事故後 10 年間は低 LET の β 線や γ 線が燃料デブリ周囲の水の分解に支配的となるが、10 年以降は高 LET の α 線の影響が無視できなくなり、燃料デブリ表面の付着・吸着物の分解および燃料デブリ内部の照射損傷が顕著になると考えられている。これは、時間経過とともにラジカル生成物が減少し、分子生成物が燃料デブリの表面や内部で増加することを示唆する。また、 α 線による水の放射線分解により、燃料デブリの結晶粒径が経年変化に影響を及ぼす可能性がある。

5 水化学管理面からの研究課題—各部会トピックス—

燃料デブリの化学的性状、燃料デブリ取り出し時に想定される水質の変化、それに対応した材料腐食や水素発生等、水化学管理面からの今後の研究課題について、各部会の代表者から提言が示された。

○核燃料部会：大石佑治氏（大阪大学）

- ・水中における燃料デブリからの浸出挙動
- ・1F 事故条件での MCCI（溶融炉心-コンクリート相互作用）挙動

○材料部会：加治芳行氏（JAEA）

- ・構造材料の腐食リスクの主要パラメータ（ $[\text{O}_2]$ 、 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 、pH、電気伝導度等）の解明
- ・破損孔からの空気流入やコロイド形成
- ・構造健全性に寄与する高放射線環境下における材料データベースの構築

○バックエンド部会：石森健一郎氏（JAEA）

- ・燃料デブリ取り出し時の二次廃棄物発生量の抑制（取り出し機器はすべて廃棄物になる）
- ・燃料デブリや構造物の化学的特性データ（化学組成、同位体組成等）
- ・燃料デブリや構造物の特性に及ぼす有害物質の影響（鉛、ホウ素、有機物等）。有害物質の使用抑制および使用記録

○水化学部会：永石隆二氏（JAEA）

- ・燃料デブリの性状や化学特性の把握（化学組成、溶解、放射線分解による水素発生、海水との反応、ヨウ素との共存性）
- ・事故時や廃止措置対応（pH 管理、水素発生対策、腐食対策等）

最後に

本セッションには約 100 名の学会員が参加し、一部に立ち見が出るほど盛況であった。本セッションにより、燃料デブリ取り出しに関する現状と課題を共通認識とし、水化学分野に関する技術開発の検討状況を他部会の学会員と共有することができ、今後の技術開発が部会を越えて効率的に進められる契機になったと考えられる。