

廃炉プロセス 「処理・処分・環境回復（燃料に由来する $\alpha$ 核種が含まれる廃棄物含む）」  
検討対象 「クリアランス」  
課題 「クリアランスによる廃棄物量の低減」

## ニーズ

### 1. 解体から生じる廃棄物（コンクリートや金属）の合理的処理・処分方法を知りたい。

処理・処分・環境回復：【長期2】

#### 望ましい状態とその理由

- クリアランスにより解体廃棄物の物量をどこまで低減できるか等を合理的に検討するために、放射性物質が付着したコンクリートや金属等の解体廃棄物の測定や分別といったシナリオを検討する必要がある。
- クリアランスにより解体廃棄物の物量をどこまで低減できるか等を合理的に検討するために、放射性物質が付着したコンクリートや金属等の解体廃棄物の除染技術を整備する必要がある。

#### 理想に対する現状

- コンクリートガラは破碎し、表面線量率がバックグラウンド相当と確認した上での路盤材へのリサイクルが実施されている。
- 金属をリサイクルするための除染方法として溶融除染等の検討が行われている。廃炉・汚染水・処理水対策事業において、溶融・除染時の核種分配挙動の解明と溶融処理後の検認手法に係る検討が着手されている。

#### 解決すべき課題

- 解体によって発生する廃棄物は大量になるため、除染技術を整備しクリアランスによる物量低減が必要である。
- 溶融スラグ除染法による金属リサイクルは、既に欧米諸国で多くの実績があるため有望な候補技術と考えられる。核種等の欧米諸国と福島第一原子力発電所で条件が異なる部分に着目し、適用性評価に取り組む必要がある。
- コンクリートガラは廃炉作業の進捗に応じ継続的に発生することから、今後の発生量とリサイクル量のバランスを適切に評価し、追加の対策が必要となる場合は、リードタイムを考慮した対応を検討しておく必要がある。

## 参考文献

- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2023、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2023年10月18日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018\\_SP2023FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018_SP2023FT.pdf)
- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2024、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2024年9月27日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927\\_SP2024FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927_SP2024FT.pdf)

## (参考) 関連する研究課題

### 実施されている研究課題

- 廃炉・汚染水対策事業「固体廃棄物の処理処分」
  - [https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022015\\_kotaihaikibutsu.pdf](https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022015_kotaihaikibutsu.pdf)
- 廃炉・汚染水・処理水対策事業「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発（柔軟で合理的な廃棄物対策実現のための技術オプションの予備的検討）」
  - [https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20240919\\_r05-result-1st\\_VNSJ\\_JP.pdf](https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20240919_r05-result-1st_VNSJ_JP.pdf)
- H28年度英知「汚染コンクリートの解体およびそこから生じる廃棄物の合理的処理・処分の検討」
  - [https://www.kenkyu.jp/nuclear/result/h29/document/H29eichi\\_houkokukai\\_shiryo\\_poster\\_28.pdf](https://www.kenkyu.jp/nuclear/result/h29/document/H29eichi_houkokukai_shiryo_poster_28.pdf)

### 検討されている研究課題

- 特になし

## 2. 福島第一原子力発電所特有の環境下における分析手法の開発および合理化、分析の迅速化を行いたい。

処理・処分・環境回復：【長期2】

### 望ましい状態とその理由

- 良好な分析結果を取得するためには、①分析の手法・体制、②分析結果の品質及び③サンプルのサイズ・量を適正に保つことが有効である。
- バックグラウンドが高いといった福島第一原子力発電所特有の環境がある。高バックグラウンド下における分析手法の開発が望まれる。
- 今後解体等により、コンクリート・金属廃棄物が大量に発生することになる。大量の廃棄物のクリアランスを迅速に行うことは廃止措置をスムーズに進めることにつながるため、分析手法の簡素化が望まれる。
- 分析結果を廃止措置の各工程で反映する東京電力が中心となり、分析結果を効率的に収集・評価できる分析体制、分析施設や機能を構築・整備することが望まれる。

- ALPS 処理水、環境試料等のより低濃度領域の分析需要が拡大すると、含まれる放射性元素の量が少ないことから検出精度の向上を行う必要が生じ、燃料デブリや高線量廃棄物等の高線量領域の分析需要が拡大すると、遮へい及び閉じ込めのような放射線防護機能の拡充や元素分布や構造解析のような分析項目の多様化を行うことが求められる。
- 分析設備を有効に活用するため、分析対象物に対して取得を望む情報とその数量、検出精度、分析頻度等に関してバランスを取り、分析設備の定期メンテナンス等を考慮した計画を立案することが求められる。
- 固体廃棄物は、核種組成や放射能濃度が多様かつ物量が多い特徴を有することから、通常の発電炉における廃棄物確認方法の整備と異なり、スケーリングファクター法、その他の評価方法設定のためのデータ取得、蓄積、整理、統計的手法の適用といった福島第一原子力発電所の廃棄物に特有な廃棄物確認方法の整備に係る開発業務が求められる。
- 種々の分析業務に対して各分析人材に期待される資質をあらかじめ考慮し、求められる役割が適切に達成されるように分析人材を計画的に育成することが求められる。

## 理想に対する現状

- 東京電力は、分析の進捗状況や保管管理上のリスク等を踏まえて分析優先度の高い廃棄物を抽出し、各廃棄物の特徴を踏まえた性状把握方針及び分析計画を 2023 年に策定した。その後、特定原子力施設の実施計画の審査等に係る技術会合等で提示した方針・計画の反映として、水処理二次廃棄物等の固化処理方針策定のための分析、ガレキ類の放射能濃度管理手法構築のための分析、建屋解体物等の解体モデルケースの検討のための分析、分析優先度の見直し、及び試料採取状況等を踏まえた分析数の更新が行われている。
- これまで、JAEA は、日本核燃料開発株式会社及び MHI 原子力研究開発株式会社とともに、PCV 内部調査に伴う堆積物、付着物、固体廃棄物サンプル等の分析を実施してきている。これにより燃料デブリや廃棄物の性状の一部が明らかになっている。JAEA では、これまでの経験と実績に基づいて、廃炉作業を安全かつ着実に進めるニーズの観点で課題解決に必要な燃料デブリの分析対象項目や分析フローを検討している。
- 原子力規制委員会では、廃炉に向けて中長期的に実現すべき姿とそれに向けた目標を明確にすることを目的として、中期的リスクの低減目標マップを更新している。放射性物質の安定的な保管への移行の重要性に鑑み、固体状の放射性物質に対して優先して取り組むべきリスク低減に向けた分野として、水処理廃棄物等、ガレキ類等、建屋解体物等を挙げている。さらに、「実現すべき姿」の達成に向け完了が必要な分析についても示している。

## 研究・施設

- データを簡易・迅速に取得するための分析手法を開発、試料前処理の合理化・自動化等により迅速化した分析方法の標準化及び様々な試料形態や難測定核種に対応するための分析手法開発が取り組まれている。
- DQO プロセスとベイズ統計を用いたデータ取得計画法や統計論的インベントリ推定手法といった、少ない分析データで性状把握を行うための手法の構築への取組が廃炉・汚染水・処理水対策事業等において行われている。

- 燃料デブリ取り出し時の廃棄物については、溶融燃料や構造材料が混在しているため、損傷した支柱や配管等への付着物中にウランが含まれるか否かを迅速に確認することができれば、作業性の向上が期待できる。そのため、簡易（その場）分析の技術開発としてレーザー誘起ブレークダウン分光分析法による技術開発が実施されている。
- 従来のサンプル分析に加え、他の計測手法による燃料デブリ性状の不確かさの低減についての検討が廃炉・汚染水・処理水対策事業において 2020 年度から開始されている。
- JAEA の放射性物質分析・研究施設の施設管理等が 2018 年に運用開始、第 1 棟（固体廃棄物の分析及び ALPS 処理水の第三者分析の実施が目的）が 2022 年 10 月に分析作業を開始、2023 年 3 月には ALPS 処理水の第三者分析を開始した。第 2 棟（燃料デブリの分析の実施が目的）は実施計画変更認可申請審査及び事業者選定プロセス中で 2026 年度の竣工が目指されている。東京電力も現行のルーチン分析のほか、燃料デブリや固体廃棄物の分析といった将来の分析ニーズを踏まえた分析施設（総合分析施設）の建設を検討しており、2020 年代後半の竣工を目指している。

### 人材育成

- 東京電力-JAEA 間での人材交流及び東京電力への日本核燃料開発株式会社からの人材の受け入れが継続的に実施されている。
- 東京電力では、現体制に加え、廃棄物の分析に対して 2030 年代に向けて 30 名程度の追加人員が必要になると試算しており、廃炉・汚染水・処理水対策事業の分析関連プロジェクトに参画させて実践経験を積ませながら育成することを 2023 年度より開始している。福島第一原子力発電所構内の分析作業員においては、これまで主に液体試料の分析経験のみであったため、総合分析施設の立ち上げに向けて、第 1 棟においてホットセルやグローブボックスを用いた高線量試料の分析トレーニングを行うとともに、2023 年度から将来の分析技術者候補を派遣し、研究開発に参加させることで分析技術者の育成を実施している。
- JAEA では、茨城地区、大学を活用した分析技術ネットワークを形成し、JAEA 大熊分析・研究センターの分析の検証、分析技術の高度化等を実施することを通じて人材の確保・育成を図っている。

### 解決すべき課題

- 分析計画は今後の廃炉の進捗に伴うニーズの変化等を反映し継続的に更新していく。また、計画の取組を実行するとともに、その進捗を踏まえ、必要な対策について不断の見直しを行う必要がある。

### 研究・施設

- 今後、分析手法の開発については、JAEA の放射性物質分析・研究施設第 1 棟において検証を行い、分析手法を確立し、東京電力のニーズを踏まえた分析計画に基づき、性状把握を行う計画となっている。
- 高バックグラウンド下においても十分な分析が行える技術の開発が必要である。
- 今後解体等により、コンクリート・金属廃棄物が大量に発生することになる。クリアランスの基準に基づいて分析を行うには時間を要するため、簡素化が求められる。

- 燃料デブリに対しては、金属組織観察、ミクロ組織観察、元素マッピング等、廃棄物の分析よりも分析項目が多くなるため、第2棟の運用開始以降において第2棟の分析キャパシティを超過することが懸念される。また、燃料デブリの処理・処分方法は第3期に決定することから、採取した燃料デブリを用い、熱物性や水の放射線分解による水素の発生量の測定等の処理・処分に関連するデータの取得を検討する必要がある。

## 人材育成

- 東京電力にとっては経験の少ない分野での人材育成を可能な限り短時間で行わねばならず、 $\alpha$ 核種の取扱いや燃料の分析技術に関して十分な知識と経験をもつ JAEA 及び民間企業の協力を得ながら、東京電力が分析技術者の育成に効率的に取り組むことが重要である。
- 東京電力及び JAEA が時間経過に伴う分析ニーズの変化と課題を相互に抽出、連携しながら人材育成を進め、資源エネルギー庁、NDF 等の関係機関も分析人材確保に係る支援を行うことが必要である。
- 今後、想定される分析需要の拡大に伴い、あらかじめ分析結果の活用方法を見越した分析計画の立案が可能な高度な人材が必要となる。

## 参考文献

- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2023、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2023年10月18日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018\\_SP2023FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018_SP2023FT.pdf)
- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2024、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2024年9月27日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927\\_SP2024FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927_SP2024FT.pdf)

## (参考) 関連する研究課題

### 実施されている研究課題

- 廃炉・汚染水対策事業「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」
  - [https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022015\\_kotaihaikibutsu.pdf](https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2022/08/2022015_kotaihaikibutsu.pdf)
  - [https://dccc-program.jp/files/20221011ANADEC\\_j.pdf](https://dccc-program.jp/files/20221011ANADEC_j.pdf)
  - [https://dccc-program.jp/files/20221214KurionJapan\\_j.pdf](https://dccc-program.jp/files/20221214KurionJapan_j.pdf)
  - [https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20240214\\_IHI.pdf](https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20240214_IHI.pdf)

### 検討されている研究課題

- 特になし

### 3. 構内で再利用し、廃棄物量を低減したい。

処理・処分・環境回復：【長期1】

#### 望ましい状態とその理由

- 構内での再利用に関する具体的な技術開発が望まれる。例えば、遮蔽ブロックとしての再利用や充填材としての再利用が考えられる。

#### 理想に対する現状

- コンクリートガラは破碎し、表面線量率がバックグラウンド相当と確認した上での路盤材へのリサイクルが実施されている。
- 金属をリサイクルするための除染方法として溶融除染等の検討が行われている。廃炉・汚染水・処理水対策事業において、溶融・除染時の核種分配挙動の解明と溶融処理後の検認手法に係る検討が着手されている。

#### 解決すべき課題

- 汚染が少ない廃棄物を有効活用するための用途検討や技術開発が必要である。
- 溶融スラグ除染法による金属リサイクルは、既に欧米諸国で多くの実績があるため有望な候補技術と考えられる。核種等の欧米諸国と福島第一原子力発電所で条件が異なる部分に着目し、適用性評価に取り組む必要がある。
- コンクリートガラは廃炉作業の進捗に応じ継続的に発生することから、今後の発生量とリサイクル量のバランスを適切に評価し、追加の対策が必要となる場合は、リードタイムを考慮した対応を検討しておく必要がある。

#### 参考文献

- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2023、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2023年10月18日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018\\_SP2023FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20231018_SP2023FT.pdf)
- 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2024、原子力損害賠償・廃炉等支援機構、2024年9月27日
  - [https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927\\_SP2024FT.pdf](https://dd-ndf.s2.kuroco-edge.jp/files/user/pdf/strategic-plan/book/20240927_SP2024FT.pdf)

#### (参考) 関連する研究課題

##### 実施されている研究課題

- 特になし

##### 検討されている研究課題

- 特になし

## 4. 構外での再利用に関する社会的受容性を高めたい。

処理・処分・環境回復：【長期 1】

### 望ましい状態とその理由

- 今後クリアランスとなった廃棄物を実際に構外で再利用する際、公衆との合意形成がスムーズに行えるよう社会的受容性を高めておくことが望まれる。

### 理想に対する現状

- 現段階では、検討は十分に進んでいない。

### 解決すべき課題

- 再利用する廃棄物に関する再利用環境や科学的な安全性について、正確かつ分かりやすい説明方法や説明体制の確立が必要である。

### 参考文献

#### (参考) 関連する研究課題

実施されている研究課題

- 特になし

検討されている研究課題

- 特になし

## 関連する課題

- 処-102「廃棄物戦略」