



令和 5 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「原子力施設の廃止措置及び
関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」
(事前評価)

Assessment Report of Research and Development Activities in FY 2023; Activity
“Implementation and Technological Development of Decommissioning of Nuclear Facilities”
and “Implementation and Technological Development of Radioactive Waste Processing”
(In-advance Evaluation)

BE 資源・処分システム開発部
Nuclear Backend Technology Development Department

核燃料サイクル工学研究所
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

March 2025

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒 319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section,
Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

令和 5 年度 研究開発・評価報告書
評価課題「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」
(事前評価)

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所 B E 資源・処分システム開発部

(2024 年 12 月 3 日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成 28 年 12 月 21 日内閣総理大臣決定）」に基づき、令和 6 年 3 月 21 日に「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」に関する第 4 期中長期目標期間の研究開発計画のうち、令和 3 年度以降に開始した研究テーマに対する事前評価を廃止措置研究開発・評価委員会に諮問した。

これを受けて、廃止措置研究開発・評価委員会は定められた評価の観点に従い評価を行った。

本報告書は、廃止措置研究開発・評価委員会が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。なお、令和 6 年 11 月 1 日付けの組織改正により、事務局は旧バックエンド統括本部バックエンド推進部から以下の部署に移管された。
日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
B E 資源・処分システム開発部 プロジェクト管理課（事務局）
旧本部事務所：〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-49

**Assessment Report of Research and Development Activities in FY 2023 ; Activity
“Implementation and Technological Development of Decommissioning of Nuclear Facilities”
and “Implementation and Technological Development of Radioactive Waste Processing”
(In-advance Evaluation)**

Nuclear Backend Technology Development Department,
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 3, 2024)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as “JAEA”) consulted the “Evaluation Committee on Research and Development Activities for Decommissioning” (hereinafter referred to as “Committee”) about the in-advance evaluation of research themes which had started after FY2021 of R&D plan for the 4th medium- and long-term objectives period concerning “Decommissioning of nuclear facilities and development of technologies for the treatment of related radioactive waste” project in accordance with the “Guideline for evaluation of government R&D activities”.

In response, the Committee evaluated to the evaluation points of view made by JAEA.

Keywords: Decommissioning, Radioactive Waste Management

This evaluation report presents the results of third-party evaluation conducted on the basis of “General guideline for evaluation of government R&D activities”, etc.

(Secretariat) Project Management Section,

Nuclear Backend Technology Development Department,
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories,
Japan Atomic Energy Agency

目 次

1. 概要	1
2. 廃止措置研究開発・評価委員会の委員構成	2
3. 審議経過	3
4. 評価方法	4
5. 評価結果（答申書）	5
6. 廃止措置研究開発・評価委員会の提言に対する原子力機構の措置	22
付録 1 研究開発課題の事前評価について（諮問）	33
付録 2 第 6 回廃止措置研究開発・評価委員会配付資料	37

Contents

1. Overview	1
2. Evaluation Committee on Research and Development Activities for Decommissioning	2
3. Status of Assessment	3
4. Procedure of Assessment	4
5. Results of Assessment (Committee Report)	5
6. JAEA's Response to the Recommendations by Evaluation Committee	22
Appendix1 In-advance Evaluation of R&D activities (Consultation)	33
Appendix2 Handouts in the 6th Evaluation Committee	37

This is a blank page.

1. 概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成 28 年 12 月 21 日内閣総理大臣決定）」に基づき、令和 6 年 3 月 21 日に「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」に関する第 4 期中長期目標期間の研究開発計画のうち、令和 3 年度以降に開始した研究テーマに対する事前評価を廃止措置研究開発・評価委員会に諮問した。

諮問に先立ち、令和 6 年 3 月 8 日に第 6 回廃止措置研究開発・評価委員会を開催し、評価項目、評価方法、研究テーマ等に関して原子力機構から説明するとともに、質疑を実施した。委員会はそれらの説明と質疑をもとに定められた評価の観点に従い評価を行った。

本報告書は、廃止措置研究開発・評価委員会による「評価結果（答申書）」及び「廃止措置研究開発・評価委員会の提言に対する原子力機構の措置」をまとめたものである。

2. 廃止措置研究開発・評価委員会の委員構成

本委員会は令和 6 年 3 月 21 日（諮問日）現在、以下の 6 名の委員で構成されている。

委員長	佐々木 隆之	国立大学法人京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授
委員	浅沼 徳子	学校法人東海大学 工学部 応用化学科 准教授
委員	桐山 崇	日本原子力発電株式会社 廃止措置プロジェクト推進室長
委員	永橋 賢司	国立研究開発法人海洋研究開発機構 経済安全保障重要技術育成プログラム統括プロジェクトチーム 海空無人機開発プロジェクトチーム プロジェクト長
委員	新津 好伸	日本原燃株式会社 技術本部 技術管理部長
委員	吉田 剛	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 イノベーション推進部長

（委員については五十音順）

3. 審議経過

3.1 第6回 廃止措置研究開発・評価委員会：令和6年3月8日（事前評価）

令和3年度以降に開発を開始した以下の研究テーマについて、研究開発課題の選定の妥当性、方向性・目的・目標等の妥当性、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性等の観点で評価のための聞き取りを実施した。

- ・レーザーによる保管廃棄物容器補修技術
- ・保管廃棄物容器自動点検技術の開発
- ・放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発
- ・レーザー除染技術開発
- ・廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発（デジタル技術）
- ・廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

3.2 諮問：令和6年3月21日

3.3 答申：令和6年10月1日

4. 評価方法

事前評価にあたっては、評価対象とした研究開発項目、評価の観点、評価手順等について原子力機構事務局より廃止措置研究開発・評価委員会において説明を行い、各委員の了承を得て進めた。

4.1 評価対象及び研究開発項目

評価対象については、第4期中長期目標期間（令和4年4月～令和11年3月）の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発のうち、令和3年度以降に開発を開始した以下の研究開発項目とした。

- ①レーザーによる保管廃棄物容器補修技術
- ②保管廃棄物容器自動点検技術の開発
- ③放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発
- ④レーザー除染技術開発
- ⑤廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発（デジタル技術）
- ⑥廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

4.2 評価の観点及び評価区分

以下の評価の観点①～⑥について、評価区分「妥当」、「要改善」の評価を行った。

【評価の観点】

- ①研究開発課題の選定の妥当性（効果・効用（アウトカム）の観点を含む）
- ②方向性・目的・目標等の妥当性（効果・効用（アウトカム）の観点を含む）
- ③研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性
- ④国内外他機関との連携の妥当性
- ⑤社会実装に向けた取組計画の妥当性
（技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む）
- ⑥科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性

5. 評価結果（答申書）

令和 6 年 10 月 1 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

バックエンド統括本部

本部長 板倉 康洋 殿

廃止措置研究開発・評価委員会

委員長 佐々木 隆之

研究開発課題の事前評価結果について（答申）

令和 6 年 3 月 21 日付貴発「令 05 原機(バ統)001」において諮問のありました、研究開発課題「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」の事前評価について、評価結果を別紙のとおり答申します。

This is a blank page.

(別紙)

「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」
に関する事前評価

令和 6 年 10 月 1 日

廃止措置研究開発・評価委員会

This is a blank page.

目次

1. はじめに	11
2. 廃止措置研究開発・評価委員会委員名簿	12
3. 評価の方法	13
4. 事前評価結果	14
4-1. 研究開発項目別評価結果	14
4-2. 総合評価結果	20

This is a blank page.

1. はじめに

廃止措置研究開発・評価委員会は、日本原子力研究開発機構（機構）が進める原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発についての評価及び助言を行うことを目的とし、日本原子力研究開発機構の外部委員会として設置されている。

本評価委員会は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 28 年 12 月 21 日内閣総理大臣決定）に基づき、令和 6 年 3 月 21 日に日本原子力研究開発機構から、「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」に関する事前評価について諮問を受けた。

本評価委員会は、諮問に基づいて日本原子力研究開発機構において令和 3 年度以降に開発を開始した研究テーマについて事前評価を実施し、その評価結果を本答申書に取りまとめた。

本評価委員会による評価や意見が、今回討議及び評価を実施した各々の研究開発テーマへ適切に反映されるとともに、今後の原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発の更なる発展に役立てられることを切に願う。また、本評価委員会の委員各位には、多忙を極める中で、非常に熱心に評価に携わっていただいた。各位のご尽力に深甚の謝意を表する。

令和 6 年 10 月 1 日
廃止措置研究開発・評価委員会
委員長 佐々木 隆之

2. 廃止措置研究開発・評価委員会委員名簿

	氏名	所属・職位
委員長	佐々木 隆之	国立大学法人京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授
委員	浅沼 徳子	学校法人東海大学 工学部 応用化学科 准教授
委員	桐山 崇	日本原子力発電株式会社 廃止措置プロジェクト推進室長
委員	永橋 賢司	国立研究開発法人海洋研究開発機構 経済安全保障重要技術育成プログラム統括プロジェクトチーム 海空無人機開発プロジェクトチーム プロジェクト長
委員	新津 好伸	日本原燃株式会社 技術本部 技術管理部長
委員	吉田 剛	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 イノベーション推進部長

3. 評価の方法

昨年度、研究開発・評価委員会のルールの一部が変更となり、独立行政法人の評価に関する指針に基づく評価を研究開発・評価委員会で実施する必要がなくなっているが、今年度の委員会では、これまで通り、研究開発の質の向上、成果の国民への還元の観点から、各委員の専門の立場で評価することとした。

事前評価の対象とした研究開発項目を表-1 に、評価の観点を表-2 に示す。特に、研究開発課題の選定の妥当性、方向性・目的・目標等の妥当性、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性等の観点で評価を実施した。なお、これらの新たな研究開発 6 テーマは、既に研究開発を実施していることから、中間評価の観点(各観点についての見直しの必要性、効果・効用の暫定的確認、資源の再配分の妥当性等)についても合わせて評価を実施した。

評価区分は「妥当」、「要改善」とし、評価の観点にしたがって評価を実施した。

表-1 事前評価における研究開発項目

No.	研究開発項目
①	レーザーによる保管廃棄物容器補修技術
②	保管廃棄物容器自動点検技術の開発
③	放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発
④	レーザー除染技術開発
⑤	廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)
⑥	廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

表-2 事前評価における評価の観点

No.	評価の観点
(1)	研究開発課題の選定の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)
(2)	方向性・目的・目標等の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)
(3)	研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性
(4)	国内外他機関との連携の妥当性
(5)	社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む)
(6)	科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性

4. 事前評価結果

4-1. 研究開発項目別評価結果

① レーザーによる保管廃棄物容器補修技術

1F 廃炉を含めて原子力施設の廃止措置が長期化している中、保管廃棄物の健全性維持が重要な課題と認識した上で、産業界でも信頼性、安全性の高いレーザー技術を選定して廃棄物容器の除錆作業に適用することは、得られる効果も明確であり効果的な手法であることから、課題の選定は妥当である。

工程短縮と品質向上を目途に、既存技術を適用する場合の技術的課題を明確にし、技術実証のための条件の最適化を目指していることから、方向性・目的・目標等は妥当である。

機構内の連携はできており概ね妥当ではあるが、資金配分については評価に十分な説明が得られなかったことから改善が必要である。

機構内での連携・活用を経た上で国内外他機関との連携や社会実装に向けた取組が計画されていることから連携は妥当である。

機構内の廃棄物容器への適用のみならず、腐食の影響を受けやすい沿岸部の原子力施設の廃棄物や高線量の廃棄物を保管する 1F への適用、さらには装置の小型化や可搬性の向上により、様々な分野への適用拡大が見込まれることから、ニーズへの適合性は妥当である。

以上のことから、改善すべき点も含めて総合的に判断した結果、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員から以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・コスト評価を実施して資金配分の妥当性を示すこと。
- ・内容物は可燃物だけでなく様々なものが想定されることから、内容物に与える熱の影響を十分に検討してほしい。また、全体の作業工程(除錆の場合、下塗、乾かす等)や対象範囲が限定されるのかも含めて検討してほしい。
- ・適用可能性、適用範囲、コスト、二次廃棄物の扱いについては、他の技術と比較も踏まえての判断が必要である。そのため、他拠点の異なる容器材料についてもできるだけ早期の検討に着手した方がよい。また、容器の保管環境や状態が各拠点で異なると想定されるため、今回の補修は、どの環境下のものを対象とするのか、どの程度の発錆までを対象とするのか明確にした方がよい。
- ・長寿命化を目指すためのメカニズム理解等の基礎研究については、目的を絞った形

で進めてほしい。

- ・実証された技術等の積極的な採用により、開発リスクを極小化することがより望ましく、外部機関の連携や原子力以外の他分野のレーザー技術も参考にし、課題解決のための知見を得る可能性を検討してほしい。
- ・特許取得した後は積極的に開示し、産業界との協力を通じて、社会への技術還元を行うことが期待される。なお、その際には、原子力以外の他分野のレーザー技術の出願状況を分析して、協働していく等の戦略も検討してほしい。
- ・防錆処理はまだ克服すべき課題が残されていると判断する。特許化はあくまで将来的な目標と考え、実証の可能性も含めて計画的に取り組むとよい。
- ・補修技術は重要である一方、ドラム缶の維持管理を適切に行うこととつなげて検討してほしい。

② 保管廃棄物容器自動点検技術の開発

本技術は、作業員の負荷や被ばく低減に貢献する課題であるとともに、作業員確保という喫緊の課題にも貢献できる技術である。また、同様の廃棄物を保管する機構内外の施設への適用も考慮されており、課題の選定は妥当である。

効率化や判断性の向上、被ばく低減も含めた安全性の向上の点で方向性や達成目標が明確化されている上、コスト意識をもって計画されていることから概ね妥当ではある。しかし、技術の展開には施設ごとの廃棄物容器の状況、それに対応したカメラの仕様、画像診断技術等のトータルバランスとコストも含めた総合評価が不可欠であり、過去の画像と比較する技術も含めて要求される画像認識能力も含めた目標設定が必要であることから、課題の方向性・目標については目標の改善が必要である。

機構内の協力体制はできており、資源の配分も妥当である。

地元企業との連携が図られており、開発連携体制は妥当である。

本技術は汎用性が高く、ふげんのみならず原子炉施設やサイクル施設への適用も期待できることから社会実装に向けた取組計画は妥当である。

本技術は、自動化による省人化、安全性向上のニーズに応えられる技術である上、機構内外の廃棄物保管施設へも適用可能であり、社会的・経済的意義/ニーズについては、概ね妥当である。

以上のことから、改善すべき点も含めて総合的に判断した結果、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員から以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・過去の画像と比較する技術も含めて要求される画像認識能力も含めた目標を設定す

ること。

- ・技術の導入により、作業員の技量の低下や熟練者の減少を招くことにならないような取組を目指すことも検討してほしい。
- ・廃棄物容器の保管時の点検については、機構内でも展開可能な技術と考えられ、まずはふげんサイトで実証まで進めることが重要であるとする。取組の中で、他部署の特徴や問題等も把握し、適宜連携が取れるとよい。
- ・同じような画像診断による点検例は多く存在するはずなので、関係する学会への参加等で情報収集すべき。その上で、実証された技術等の積極的な採用により、良好な開発成果を確実に得られるようにしてほしい。
- ・様々な意見を聞くことは妥当だが、拠点の環境・ロケーションにより、状況が異なると思われるため、総花的にならないように、優先順位をつけた方がよい。
- ・画像診断システムについては、変化や進展が著しい分野と推察する。取り入れている技術が妥当な水準のものなのか、目的にかなっているかどうか、適宜判断しながら進める必要がある。その上で、目視点検に代わる効率的な手法が開発できればよい。なお、本研究開発の成果は、他事業者への展開も望まれ、他事業者における同様の点検の実情やニーズについて具体的に調査把握し、解決に向けた技術課題を共有することも必要である。
- ・中途半端な自動化により作業員の負担が逆に増加しないよう、全体の点検作業の中で、人がかかわる点検の部分を具体的に書き出し、自動化の対象となる点検の部分を明確にすることを検討してほしい。
- ・廃止措置が長期化している中で、保管中の廃棄物の健全性維持は重要な課題であることから、本研究成果は他事業者への展開も望まれる。
- ・ドラム缶の積み下ろし作業の省略の記述があるが、どの程度の欠陥までを対象として確認するのか、開発目標を段階的に定める等、明確にしてはどうか。保管容器の収納方法に関して、検査しやすいような設置方法についても目を向ける必要がある。

③ 放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発

一定の技術と経験が必要なため大きなコスト要因となっている分析前処理技術について、合理化を図る技術課題であることから、課題の選定は妥当である。

分析のシームレス化で多様な核種分析に対応する手法を目指しており、概ね妥当ではあるものの、目標、分析スキームの妥当性を正確に評価するために、課題の方向性・目的については、具体的な対象廃棄物やニーズを明確にする改善が必要である。

資源の配分については概ね妥当ではあるものの、目標、目的がより明確に絞られれば、妥当性の判断をより明確に行うことができる。また、人材配分についても、具体的な例示が必要である。

大学とも連携しており概ね妥当ではあるものの、最新の課題を共有する上で重要な 1F

との連携の意義を具体的に示すことが必要である。

社会実装に向けた取組計画は概ね妥当ではあるものの、社会の具体的なニーズや対象となる廃棄物を明確化することが必要である。

分析技術の高効率化、自動化は社会のニーズに合致するとともに 1F 廃炉推進にも貢献できることから開発の意義は大きく、概ね妥当ではあるものの、1F 廃炉の推進の具体的なニーズへの適合性をより明確に示すことが必要である。

以上のことから、改善すべき点も含めて総合的に判断した結果、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員から以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・目標を明確化するため、具体的な廃棄物・ニーズを明確化すること。
- ・人材配分を具体的に示すこと。
- ・最新の課題を共有する上で重要な 1F との連携の意義とニーズを具体的に示すこと。
- ・社会の具体的なニーズを明確に示すこと。
- ・取り組んでいる内容は、基礎研究として高い価値を見出しているものと感じる。この技術が現場のニーズに適合すれば、高い成果を生み出すと考えられるので、早い段階で整理したほうがよい。活用先も視野に入れた取組が必要である。
- ・本技術開発については、優秀な人員確保とともに、人材育成が進むことに期待したい。
- ・ニーズを分析し、より効率的な手法の開発に期待したい。現在取り組んでいる研究成果がどのように活用できるか、逆に、現場での要望にどう研究成果をアレンジして実装できるか、早めに整理して取り組むことを期待したい。
- ・現場との連携によりターゲットを明確にして進めていくことも必要である。

④ レーザー除染技術開発

本技術は、二次廃棄物発生量、コスト及び被ばくの低減のために有効であり、また、対象を絞って優先的に取り組む計画となっていることから課題の選定は妥当である。

クリアランス化も目指した除染技術に向け、検討方法、実証方法も明確にされていることから目的・目標等は妥当である。

優先順位の高い重点課題として関係拠点とも連携して進める計画となっており、また、資源の配分も妥当である。

大学、企業と連携して試験条件や材料等の物性に関する検討を実施しており、連携は妥当である。

本技術は汎用性が高く、クリアランスの達成にも貢献でき、電力の濃縮事業や廃炉の

効率化にも期待できることから、社会実装に向けた取組計画は妥当である。

濃縮事業も含めた他の原子力施設での適用、他の技術と連携して多様な展開が期待できることから社会的ニーズ等への適合性は妥当である。

以上のことから、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員からは以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・最終的な他施設への展開にあたり、CO₂及びUV レーザーの選択やその方法等について、具体的な指針や留意点を示すことで、実用化の評価がしやすくなる。
- ・遠心機のウランフッ化物の除染で、反応機構や特徴を把握し、他の汚染物へ応用するための要素をまとめられるとよい。他の乾式・湿式法との比較も合わせて行うと実用化のための判断材料になる。
- ・炭酸ガスレーザーの選択により、目的を達成できる可能性があり、そのための準備も進められていると判断する。除染により発生するヒュームの回収とその取扱い（二次廃棄物の扱い）についても今後検討を進めてほしい。
- ・コスト削減や二次廃棄物の発生量低減について、他の技術と比較可能なように、得られる情報を取りまとめていくとよい。上記が達成されれば、社会的・経済的意義/ニーズに適合するものと考ええる。
- ・本研究開発は、レーザーによる保管廃棄物容器補修技術と関連があると思われるため、原理的な部分は連携をしてほしい。

⑤ 廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)

今後の原子力施設の廃止措置を見据えて、解体した廃棄物の保管容器の充填率を上げていくことは、重要な着眼点であり、デジタル技術を活用することで、被ばく低減や作業効率・コスト低減につながるため、課題の選定は妥当である。

現場の要望に応じて最適化が可能なデジタル技術であり、目的、アプローチ、エンドステートが十分検討されていることから目的・目標等は妥当である。

研究資金やプログラム要員の確保のほか、現場の人員を配置して実証する体制も整備されているため、資源の配分は妥当である。

機構内での実証の後、電力との連携や産業界のニーズ取り込みを計画していることから連携は妥当である。

コストを考慮し、適切な計画を立案していることから、社会実装を見据えた計画は妥当である。

本技術は廃棄物インベントリとの紐付けにより被ばく評価や安全評価にも有益であり、安全につながる作業効率化のニーズに対応している。また、長期にわたる廃止措置

は今後増加するため、ふげんでの実証を通じて得られる知見をもとに機構内外へも展開可能であり、ニーズへの適合性は妥当である。

以上のことから、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員から以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・現場の情報をデータベース化しそれを適時に反映させて、柔軟なコード開発を目指してほしい。その後、実際の現場への適用をきちんと視野に入れて進められるとよい。
- ・他の分野(輸送関連等)にも同じような最適化手法がないか調査が必要ではないか。
- ・コストと被ばく量の関係も同時に検討が必要である。
- ・効率的な開発には、最適なツールと、これに長けた人材確保が重要である。
- ・既に収納容器に入った廃棄物の内容を画像認識で把握し、事前に充填率を最適化できれば、作業の安全面、省力化が大きく進展するものと期待される。
- ・各種廃棄物をどのような廃棄体として、埋設処分までもっていくことが必要なのかといった検討を、最初にあるいは少なくとも並行して実施した方がよいのではないか。詰め替え(手戻り)が発生すると、最終的にコストアップになるおそれもある。

⑥ 廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

本技術は、様々な形状の排気フィルタ処理に対し、安全性向上や被ばく低減、効率化を目指して汎用性のあるロボットを適用することから、廃炉作業への適用も含めて課題の選定は概ね妥当であるものの、ロボットの適用範囲について、さらに適用範囲を広げていく検討も必要である。

作業の全てをロボットに任せるのではなく協調作業を目指す点、汎用性の高いロボットの使用や廃炉作業への展開の点で、課題の方向性・目的・目標等は概ね妥当である。目標設定においては、ロボットの導入による被ばく量低減やコスト削減の定量的な効果を示して欲しい。加えて、優先度の高い廃棄物処理作業の業務全体の作業を俯瞰して人手作業の見直すべきポイントを明確化、ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)の具体化などを進めていくことも必要である。

研究資金や人材は十分確保されており、資源の配分の点では概ね妥当ではあるものの、ロボットありきの予算配分が懸念される点では改善が必要である。

協力部署等との連携が示されており、連携は概ね妥当ではある。

ニーズのポテンシャルが大きく、社会実装に向けた取組計画は妥当である。

機構内のみならず原子力施設の排気フィルタ処理への展開が可能であり、社会的・経済的意義・ニーズへの適合性は概ね妥当ではあるものの、人員不足への対応の点では優

先度の高い廃棄物処理作業を対象にターゲットを明確化すべき点で改善が必要である。

以上のことから、改善すべき点も含めて総合的に判断した結果、本研究開発項目を実施することについては「妥当」と評価する。

なお、委員会では、委員から以下の提言があったので、今後の研究開発の参考としてほしい。

- ・目下の課題である排気フィルタ処理へのロボットの適用を実証した後は、現に実施している様々な作業の中から人員不足や安全性向上、効率化の観点で課題を選定すること。
- ・ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)を示すこと。また、今後の展開に際しては、優先度の高い廃棄物処理作業の業務全体の作業を俯瞰して人手作業の見直すべきポイントを明確化すること。
- ・ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)を示し、ロボットありきの開発ではないことを示すこと。
- ・学生の受け入れだけではなく、必要であれば大学等と連携を取って進めること。
- ・ロボット技術は、他の分野での成功事例を上手く取り入れ、連携を進めるべきであるとともに、作業内容を具体的に絞って検討すれば、ロボットの選定や学習方法等も含めて、他機関との連携も具体的になってくるものとする。
- ・一般にロボットの開発コストは求める能力によって大きな幅があると推察する。調査を継続し、他の廃棄物処理への展開の可否は多角的に判断、提案がなされることが望ましい。
- ・安全かつ効率的な廃棄物の取扱いは、各種原子力施設で非常に重要である。しかし、取り扱う廃棄物の種類は様々であるため、社会実装に向けては、共通の課題を見出す、優先度をつける等、計画に反映することを期待する。
- ・協調ロボットの開発には、現場との連携が不可欠であるため、現場からの具体的なフィードバックを得る体制や頻度を適切に設定して進めることも必要である。
- ・まずは、廃棄フィルタの打ち抜きへの適用に向けて具体化させ、活用実績を得つつ、他の廃棄物へ拡張していくとよい。

4-2. 総合評価結果

研究開発課題「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」について、令和3年度以降開始した研究開発テーマの事前評価を実施した。

全体として、いずれの研究開発項目においても、機構施設の廃止措置や廃棄物の処理を進める上で不可欠な技術の開発、実証を目指している。これらの研究開発を着実に進めることにより、施設の廃止措置や廃棄物処理が円滑に進むとともに、国内外の原子炉施設の

廃止措置や廃棄物処理の安全かつ着実な実施への貢献が期待できることから、課題、方向性・目的・目標等については適切に設定されていると評価できる。また、実用化に向けた取組が計画されており、成果の社会実装が期待される計画と認められる。さらに、各研究開発項目の実施に当たっては、他機関との連携を行う計画となっており、人材育成、国内外他機関との連携が期待される計画と評価できる。

これらのことから、本委員会に提案された研究開発課題を実施することは「妥当」と評価する。

本研究開発課題を進めるに当たっては、廃止措置や廃棄物処理の経済性を考慮し、福島第一原子力発電所の廃炉への貢献を含めた社会実装の実現を期待するとともに、今までとは違う新たな分野との連携によるイノベーション創出への取組も期待する。一方、新たな状況変化に対しては、人材配置や資金配分の見直しを含め、計画を見直す柔軟性を保つことが望まれる。

以上

6. 廃止措置研究開発・評価委員会の提言に対する原子力機構の措置

①レーザーによる保管廃棄物容器補修技術

提言	機構の措置
コスト評価を実施して資金配分の妥当性を示すこと。	本テーマは、令和 5 年度に現場実装を行い、適用の実現性を確認しています。資金配分の妥当性については、令和 6 年度に本技術の導入コスト、ランニングコスト、省人効果等を含めた総合的な評価により示します。
内容物は可燃物だけでなく様々なものが想定されることから、内容物に与える熱の影響を十分に検討してほしい。また、全体の作業工程（除錆の場合、下塗、乾かす等）や対象範囲が限定されるのかも含めて検討してほしい。	保管している廃棄物は基本的に不燃性又は難燃性であり、仮に木、布、紙等の可燃性廃棄物が混在する場合であっても、除錆時には発火等に対し十分低い温度であることを確認しております。一方で、防錆処理については、除錆よりも高温となるため、内容物に与える熱の影響について今後も検討を進めてまいります。また、作業工程対象範囲については、他拠点等に展開する際に、現場の特性等に合わせて検討を進めます。

提言	機構の措置
適用可能性、適用範囲、コスト、二次廃棄物の扱いについては、他の技術と比較も踏まえての判断が必要である。そのため、他拠点の異なる容器材料についてもできるだけ早期の検討に着手した方がよい。また、容器の保管環境や状態が各拠点で異なると想定されるため、今回の補修は、どの環境下のものを対象とするのか、どの程度の発錆までを対象とするのか明確にした方がよい。	本技術の対象は機構内に大量にあるドラム缶容器であり、基本的に JIS 規格(炭素鋼)のものを使用しているので材料の問題はないものと考えています。加えて、本技術がステンレス製容器にも適用できることも既に実証済みです。今後、材料の異なる特殊な保管容器に適用するニーズが発生した場合には、経済性等も含めて改めて検討します。 高線量下や狭隘な場所で保管している容器も想定されますが、これらは除錆装置のある低線量下の場所に移動させて除錆します。また、発錆の程度ですが、本技術は今のところドラム缶容器全体に亘って発錆しているものについて錆・塗膜を全体に亘って除去するものであり、タッチアップ的な補修を目指したものではありません。点検者が目視で判断し本技術を適用しますが、明らかに強度不足と判断できるものは詰め替えし、その判断基準についてはできる限り定量化していきたいと考えています。
長寿命化を目指すためのメカニズム理解等の基礎研究については、目的を絞った形で進めてほしい。	バックエンド対策に有効な技術開発の発展に寄与するような基礎研究となるように、目的を設定して研究開発を進めます。
実証された技術等の積極的な採用により、開発リスクを極小化することがより望ましく、外部機関の連携や原子力以外の他分野のレーザー技術も参考にし、課題解決のための知見を得る可能性を検討してほしい。	外部機関との連携や原子力以外のレーザー技術等の情報収集を進め、今後の研究開発に反映していきます。
特許取得した後は積極的に開示し、産業界との協力を通じて、社会への技術還元を行うことが期待される。なお、その際には、原子力以外の他分野のレーザー技術の出願状況を分析して、協働していく等の戦略も検討してほしい。	取得した特許は積極的に開示し、産業界との協力、社会への技術還元を行います。また、製品化や技術還元の際には原子力以外の他分野とも協働していく等の戦略も検討します。

提言	機構の措置
防錆処理はまだ克服すべき課題が残されていると判断する。特許化はあくまで将来的な目標と考え、実証の可能性も含めて計画的に取り組むとよい。	今後の研究開発について、実証及び知財戦略を考慮して計画的に進めます。
補修技術は重要である一方、ドラム缶の維持管理を適切に行うこととつなげて検討してほしい。	補修の機会を減らすため、発錆の原因となるドラム缶の保管環境や取扱い作業の方法等について規制や機構内のルールに従って引き続き適切に実施し、改善していきます。

②保管廃棄物容器自動点検技術の開発

提言	機構の措置
過去の画像と比較する技術も含めて要求される画像認識能力も含めた目標を設定すること。	早期実装の点でまずはふげんの保管廃棄物を対象として、容器表面の異常を判別できる画像認識能力を有する基本的なシステムの確立を目標に技術開発を進め、過去の画像との比較技術などソフトウェアのアップデートについては次の段階で進めていきます。
技術の導入により、作業員の技量の低下や熟練者の減少を招くことにならないような取組を目指すことも検討してほしい。	現段階では本技術の導入による作業員の技量に係る課題は想定していませんが、導入後の作業員の技量の維持、熟練者の養成については引き続き教育や OJT により進めていきます。
廃棄物容器の保管時の点検については、機構内でも展開可能な技術と考えられ、まずはふげんサイトで実証まで進めることが重要であると考えます。取組の中で、他部署の特徴や問題等も把握し、適宜連携が取れるとよい。	本テーマは機構内の複数の部署で要望のあった課題を採択しており、ドラム缶の上下面の点検を可能にするパレットの導入とその点検方法の検討を他部署と連携して進めています。引き続き他部署との連携を深め、機構内への展開を図っていきます。
同じような画像診断による点検例は多く存在するはずなので、関係する学会への参加等で情報収集すべき。その上で、実証された技術等の積極的な採用により、良好な開発成果を確実に得られるようにしてほしい。	画像診断に関しては、一般産業界や関係する学会等から積極的に情報収集を進め、実証された技術については費用対効果も含めて積極的に採用を図ります。

提言	機構の措置
様々な意見を聞くことは妥当だが、拠点の環境・ロケーションにより、状況が異なると思われるため、総花的にならないように、優先順位をつけた方がよい。	基本的にはふげんサイトでの早期実証を目途に研究開発を進めています。連携している拠点でも保管方法はほぼ同様（ドラム缶パレット積み）ですが、ドラム缶の間隔やパレット形状が少し異なる場合があることから、それらに対応する方法も検討中です。他拠点への展開時に発生するその他の課題については、優先順位を付けて進めていきます。
画像診断システムについては、変化や進展が著しい分野と推察する。取り入れている技術が妥当な水準のものなのか、目的になっているかどうか、適宜判断しながら進める必要がある。その上で、目視点検に代わる効率的な手法が開発できればよい。なお、本研究開発の成果は、他事業者への展開も望まれ、他事業者における同様の点検の実情やニーズについて具体的に調査把握し、解決に向けた技術課題を共有することも必要である。	基本的にはふげんサイトでの早期実証を目途に研究開発を進めています。日々進歩する画像診断技術については積極的に情報収集を進め、必要に応じて本システムをアップデートするなど目的に沿った開発を進めていきます。 社会還元、実用化の段階では、他事業者のニーズ等を調査した上で技術課題を共有し、積極的に進めていきます。

提言	機構の措置
中途半端な自動化により作業員の負担が逆に増加しないよう、全体の点検作業の中で、人がかかわる点検の部分を具体的に書き出し、自動化の対象となる点検の部分を明確にすることを検討してほしい。	保管容器の外観点検では、パレット多段積みドラム缶容器を作業員が目視またはファイバースコープ等を用いて点検しています。欠陥や発錆を確認した場合にはフォークリフトで取り出し、容器の状態に応じて入替え等の措置を行い、保管場所に戻す作業の繰り返しとなり、大変時間のかかる作業です。 本技術を導入することにより、作業員が目視確認し、欠陥箇所かどうかの判断を行っていた部分がカメラを搭載した装置を移動・設置し、容器の隙間にカメラを挿入して撮影した画像について画像診断することで欠陥や発錆を確認することが可能となり、手作業で行っていた点検及び欠陥の判断を自動化できることから作業時間の削減になります。今後も本技術の導入により作業員の負担が増加しないよう、引き続き研究開発を進めていきます。
廃止措置が長期化している中で、保管中の廃棄物の健全性維持は重要な課題であることから、本研究成果は他事業者への展開も望まれる。	社会還元、実用化の段階では、他事業者のニーズ等を調査した上で技術課題を共有し、成果の展開を積極的に進めていきます。
ドラム缶の積み下ろし作業の省略の記述があるが、どの程度の欠陥までを対象として確認するのか、開発目標を段階的に定める等、明確にしてはどうか。保管容器の収納方法に関して、検査しやすいような設置方法についても目を向ける必要がある。	基本的には点検者の目視判断と同程度を考えていますが、その基準についてはできる限り定量化して開発目標を定めていきます。 保管については許可上の収納方法や本数の変更を伴うため、現状の保管施設での変更は難しいですが、今後保管庫を新設する場合には点検を考慮した設置方法も検討していきます。

③放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発

提言	機構の措置
目標を明確化するため、具体的な廃棄物・ニーズを明確化すること。	機構のトレンチ処分における重要核種として位置付けられている ^{239}Np を対象に、溶融固化体を想定した Np 分析の前処理自動化技術開発を行います。開発に当たっては、Np と同様に分離の際に原子価調整が必要となる Tc や Pu への適用拡大も含めて進めていきます。
人材配分を具体的に示すこと。	主担当は研究員 1 名(専門:分析化学、デバイス開発)、研究員 1 名(専門:ICP-MS 分析、分析機器接続開発)、主任研究員 1 名(専門:電気化学、電解セル開発)、管理監督は副主任研究員 1 名(専門:分析化学)の 4 名体制に、本技術の実装を想定した廃棄物管理部署の協力を加えた体制で開発に当たります。
最新の課題を共有する上で重要な 1F との連携の意義とニーズを具体的に示すこと。	1F では滞留水等の分析における二次廃棄物や廃液の発生量が多いことが課題となっています。本技術は、二次廃棄物量の少ない分析手法でもあり、1F のニーズに合致した技術であることから、1F での利用を視野に入れ連携を進めます。また、今後の廃炉の進展にともない発生する高濃度の放射性核種を含む廃液の分析では、Np だけでなく U や Pu 等の α 核種の個別分析が必要となるため、これらの試料分析のニーズとして適用が期待できます。
社会の具体的ニーズを明確に示すこと。	原子力発電所等の廃止措置の加速に伴い分析作業も増加するため、分析作業工程の大幅な短縮・省力化を実現する本技術は廃止措置のコスト削減ニーズを満たす技術として期待できるものと考えます。また、分析核種の多い再処理施設等において工程管理上の分析コスト削減にも適用できるものと考えます。

提言	機構の措置
取り組んでいる内容は、基礎研究として高い価値を見出しているものと感じる。この技術が現場のニーズに適合すれば、高い成果を生み出すと考えられるので、早い段階で整理したほうがよい。活用先も視野に入れた取組が必要である。	現場の様々な分析ニーズを調査し、今回開発した技術が適用できるニーズを選択するとともに、適用するための取組（発展・改良）を進めていきます。
本技術開発については、優秀な人員確保とともに、人材育成が進むことに期待したい。	大学等、外部の研究機関等との連携を視野に入れるとともに、本技術の現場への実装に必要な人材育成も考慮していきます。
ニーズを分析し、より効率的な手法の開発に期待したい。現在取り組んでいる研究成果がどのように活用できるか、逆に、現場での要望にどう研究成果をアレンジして実装できるか、早めに整理して取り組むことを期待したい。	機構のトレンチ処分においては、 ^{239}Np は重要核種として位置付けられており、本技術は処分前の Np 分析の効率化に寄与できるものと考えています。また、本技術は、二次廃棄物量の少ない分析手法でもあり、1F のニーズに合致した技術であることから、1F での利用を視野に入れ連携を進めます。
現場との連携によりターゲットを明確にして進めていくことも必要である。	現場との連携により、機構のトレンチ処分における重要核種として位置付けられている ^{239}Np を対象に、熔融固化体を想定した Np 分析の前処理自動化技術開発を行います。開発に当たっては、Np と同様に分離の際に原子価調整が必要となる Tc や Pu への適用拡大も含めて進めていきます。

④レーザー除染技術開発

提言	機構の措置
最終的な他施設への展開にあたり、 CO_2 及び UV レーザーの選択やその方法等について、具体的な指針や留意点を示すことで、実用化の評価がしやすくなる。	基本的には人形峠サイトでの実証を目途に研究開発を進めていますが、他拠点への展開に当たっては人形峠サイトでの実績等を踏まえ、 CO_2 及び UV レーザーの選択の方法等について具体的な指針や留意点を示して進めていきます。

提言	機構の措置
遠心機のウランフッ化物の除染で、反応機構や特徴を把握し、他の汚染物へ応用するための要素をまとめられるとよい。他の乾式・湿式法との比較も合わせて行うと実用化のための判断材料になる。	技術開発とともに除染メカニズムの解明等を進めているところですが、人形峠サイト以外の汚染物へ応用するために技術開発の要素となるポイントについても今後まとめていきます。また、技術の比較についても今後示していきます。
炭酸ガスレーザーの選択により、目的を達成できる可能性があり、そのための準備も進められていると判断する。除染により発生するヒュームの回収とその取扱い(二次廃棄物の扱い)についても今後検討を進めてほしい。	除染により発生するヒュームの回収とその取扱いについては実証に向けた開発計画に織り込み済みであり、計画に従って今後進めていきます。
コスト削減や二次廃棄物の発生量低減について、他の技術と比較可能なように、得られる情報を取りまとめていくとよい。上記が達成されれば、社会的・経済的意義/ニーズに適合するものと考ええる。	コスト削減や二次廃棄物の発生量低減について、他の技術と比較できるよう情報を取りまとめます。
本研究開発は、レーザーによる保管廃棄物容器補修技術と関連があると思われるため、原理的な部分は連携をしてほしい。	すでに原理的な部分については敦賀総合研究開発センターを通じて連携していますが、引き続き効率的な開発を目途に連携を進めていきます。

⑤廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)

提言	機構の措置
現場の情報をデータベース化しそれを適時に反映させて、柔軟なコード開発を目指してほしい。その後、実際の現場への適用をきちんと視野に入れて進められるとよい。	ふげんの廃止措置で発生する廃棄物を対象に、現場への実装を目指して研究開発を進めています。すでに現場の情報を採取し反映している段階ですが、引き続き実用的コード開発に努めていきます。
他の分野(輸送関連等)にも同じような最適化手法がないか調査が必要ではないか。	定型物の最適収納化はあるものの、最適な収納のために切り出す形状決定、切り出した切断片の最適収納化までを含めた手法はほとんどないことから開発を進めています。引き続き他分野も含めた情報収集を進めます。

提言	機構の措置
コストと被ばく量の関係も同時に検討が必要である。	コストと被ばく量については開発計画に織り込み済みであり、計画に従って今後進めていきます。
効率的な開発には、最適なツールと、これに長けた人材確保が重要である。	人材確保・育成とツールの費用対効果等を考慮しつつ研究開発を進めていきます。
既に収納容器に入った廃棄物の内容を画像認識で把握し、事前に充填率を最適化できれば、作業の安全面、省力化が大きく進展するものと期待される。	本テーマの目的は廃止措置で発生する解体廃棄物に対して、充填率の向上を考慮した切断方法と、発生した切断片を保管容器に収納する方法の最適化です。既に収納容器に入った廃棄物の詰め替えは、容器の劣化等で余儀なくされる場合を除き想定しておりませんが、大量のニーズ(コストメリット)が発生した場合には、非破壊測定技術と組み合わせて事前に充填率を最適化する方法も検討していきます。
各種廃棄物をどのような廃棄体として、埋設処分までもっていくことが必要なのかといった検討を、最初にあるいは少なくとも並行して実施した方がよいのではないかと。詰め替え(手戻り)が発生すると、最終的にコストアップになるおそれもある。	本テーマの目的は廃止措置で発生する解体廃棄物に対して収納を考慮した切断方法と、切断片を保管容器に収納する方法の最適化です。通常、保管容器に収納した廃棄物は、容器も含めてそのまま廃棄体にはできず、廃棄体化という品質保証を含めた手順を踏んで処分することになります。廃棄体化に必要な要件は入手しており、その条件下で切断・収納を最適化することも可能です。廃棄体化については機構内の担当部署が埋設処分に向けてさらに様々な基準を検討している段階ですので、各種廃棄物が手戻りのない廃棄体になるよう担当部署と情報共有しつつ研究開発を進めていきます。

⑥廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

提言	機構の措置
目下の課題である排気フィルタ処理へのロボットの適用を実証した後は、現に実施している様々な作業の中から人員不足や安全性向上、効率化の観点で課題を選定すること。	排気フィルタ処理へのロボット適用を実証した後は、現に実施している様々な作業の中から人員不足や安全性向上、効率化の観点で課題を選定するよう今後の計画を策定します。また、排気フィルタ処理へのロボット適用を実施する中でも、切断等の各要素について、現在実施している現場作業への適用を念頭に知見を整理します。
ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)を示すこと。また、今後の展開に際しては、優先度の高い廃棄物処理作業の業務全体の作業を俯瞰して人手作業の見直すべきポイントを明確化すること。	今後得られる成果をもとに、ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)をより具体的に明示するよう努めるとともに、現在行われている、あるいは今後計画されている人手作業全体を調査し、ロボット化への見直しによる効果が高いものと想定されるポイントについて明確にして技術開発に取り組みます。
ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)を示し、ロボットありきの開発ではないことを示すこと。	ロボット化によるメリット(被ばく低減効果や費用対効果)だけでなく、適用可能性があるロボット化以外の代替手段についても示し、ロボット化のもたらすメリットが相対的に高いことが分かる説明となるよう工夫します。
学生の受け入れだけではなく、必要であれば大学の研究室と連携を取って進めること。	技術的な要素ごとに適用可能な技術の有無を整理した上で、国内外他機関との連携について幅広く調査し、必要に応じて大学の研究室と連携する等、成果の最大化に向けて柔軟に取り組みます。
ロボット技術は、他の分野での成功事例を上手く取り入れ、連携を進めるべきであるとともに、作業内容を具体的に絞って検討すれば、ロボットの選定や学習方法等も含めて、他機関との連携も具体的になってくるものとする。	他分野での成功事例の情報を取り入れるとともに、ロボットに任せる作業内容を絞って検討することにより、他機関との連携を進めます。

提言	機構の措置
一般にロボットの開発コストは求める能力によって大きな幅があると推察する。調査を継続し、他の廃棄物処理への展開の可否は多角的に判断、提案がなされることが望ましい。	他廃棄物への適用については、多角的な視点で判断します。
安全かつ効率的な廃棄物の取扱いは、各種原子力施設で非常に重要である。しかし、取り扱う廃棄物の種類は様々であるため、社会実装に向けては、共通の課題を見出す、優先度をつける等、計画に反映することを期待する。	社会実装に当たっては、共通の課題を見出す、優先度をつける等を研究開発計画に反映します。
協調ロボットの開発には、現場との連携が不可欠であるため、現場からの具体的なフィードバックを得る体制や頻度を適切に設定して進めることも必要である。	廃棄物を取り扱う現場との連携を進めます。
まずは、廃棄フィルタの打ち抜きへの適用に向けて具体化させ、活用実績を得つつ、他の廃棄物へ拡張していくとよい。	ロボットの活用実績を積み重ね、他への適用を進めます。

以上

付録 1 研究開発課題の事前評価について（諮問）

This is a blank page.

令05原機(バ統)001
令和6年3月21日

廃止措置研究開発・評価委員会
委員長 佐々木 隆之 殿

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
バックエンド統括本部
本部長 板倉 康洋
(公印省略)

研究開発課題の事前評価について（諮問）

「研究開発・評価委員会の設置について」(17(達)第42号)第3条第1項に基づき、次の事項について諮問します。

記

〔諮問事項〕

「原子力施設の廃止措置及び関連する放射性廃棄物の処理に関する技術開発」に関する事前評価

以 上

This is a blank page.

付録 2 第 6 回廃止措置研究開発・評価委員会配付資料

This is a blank page.

資料 1

令和 5 年度 廃止措置研究開発・評価委員会 議事次第

1. 日 時：令和 6 年 3 月 8 日（金） 13：00～17：00
2. 場 所：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 1 会議室
3. 議 題：
 - (1) バックエンドの技術開発方針とテーマの選定について
 - (2) バックエンドの技術開発に関する事前評価
4. 配付資料
 - 資料 1 令和 5 年度 廃止措置研究開発・評価委員会 議事次第
 - 資料 2 令和 5 年度 廃止措置研究開発・評価委員会 進行スケジュール
 - 資料 3 廃止措置研究開発・評価委員会 委員名簿
 - 資料 4 課題評価の進め方について
 - 資料 5 事前評価シート
 - 資料 6 バックエンドの技術開発方針とテーマの選定について
 - 資料 7－1 レーザーによる保管廃棄物容器補修技術
 - 資料 7－2 保管廃棄物容器自動点検技術の開発
 - 資料 7－3 放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発
 - 資料 7－4 レーザー除染技術開発
 - 資料 7－5 廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発
(デジタル技術)
 - 資料 7－6 廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

以 上

資料 2

令和 5 年度 廃止措置研究開発・評価委員会 進行スケジュール

資料No.	項 目	予定時間
	機構挨拶	13:00～13:05
	資料確認	
資料3	委員の紹介と委員長の選出	13:10～13:20
資料4, 5	課題評価の進め方について	13:20～13:25
資料6	バックエンドの技術開発方針とテーマの選定について	13:25～13:50
	質疑	(発表15分/質疑10分)
資料7-1	レーザーによる保管廃棄物容器補修技術	13:50～14:15
	質疑	(発表10分/質疑15分)
資料7-2	保管廃棄物容器自動点検技術の開発	14:15～14:40
	質疑	(発表10分/質疑15分)
資料7-3	放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発	14:40～15:05
	質疑	(発表10分/質疑15分)
休憩		15:05～15:20
資料7-4	レーザー除染技術開発	15:20～15:45
	質疑	(発表10分/質疑15分)
資料7-5	廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)	15:45～16:10
	質疑	(発表10分/質疑15分)
資料7-6	廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発	16:10～16:35
	質疑	(発表10分/質疑15分)
全体質疑		16:35～16:55
	連絡事項	16:55～17:00

資料 3

廃止措置研究開発・評価委員会 委員名簿
(委嘱期間：承諾日～令和 6 年 3 月 31 日)

(敬称略、五十音順)

委員氏名	所属・職位
あさぬま のりこ 浅 沼 徳子	学校法人東海大学 工学部 応用化学科 准教授
きりやま たかし 桐 山 崇	日本原子力発電株式会社 廃止措置プロジェクト推進室長
ささき たかゆき 佐々木 隆之	国立大学法人京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授
ながはし けんじ 永 橋 賢司	国立研究開発法人海洋研究開発機構 経済安全保障重要技術育成プログラム統括プロジェクトチーム 海空無人機開発プロジェクトチーム プロジェクト長
にいつ よしのぶ 新津 好伸	日本原燃株式会社 技術本部 技術管理部長
よしだ たけし 吉田 剛	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 イノベーション推進部長



課題評価の進め方について

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
バックエンド統括本部

< 4/89 >



研究開発評価の概要

1

研究開発評価の目的

研究開発を督励するとともに、経営資源を有効に活用して、研究開発成果の最大化及び業務運営の効率化を達成するための効果的な研究開発業務に資することを目的とします。

評価スケジュール

令和5年度は、令和3年度以降開始した研究開発6テーマの事前評価を実施します(令和3年度に事前評価が実施されている研究開発テーマを除く)。



< 5/89 >



令和5年度廃止措置研究開発・評価委員会の進め方

2

- ・ これまで、研究開発の評価は独法評価と関連して実施されており、直近では令和3年度に事前評価が実施されていますが、その後新たに研究開発6テーマを開始していることから、本年度の委員会では、これら6テーマの事前評価をお願いします。
- ・ 昨年度、研究開発・評価委員会のルールの一部が変更となり、独法評価から研究開発・評価委員会が切り離され、各分野の評価委員会ごとに研究課題の評価を実施することとなりました。そのため、令和3年度に実施したような独立行政法人の評価に関する指針に基づく評価(S・A・B・C)を研究開発・評価委員会で行う必要がなくなりました。
- ・ 当委員会では、事前評価は研究開発の開始前に行い、事後評価は終了後に実施します。中間評価は長期の研究開発期間を有するものについて、3～4年の間隔で実施します。
- ・ 今年度の委員会では、これまで通り、研究開発の質の向上、成果の国民への還元観点から、各委員の高度な専門的立場で評価いただきます。特に、研究開発課題の選定の妥当性、方向性・目的目標等の妥当性、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性等の観点で評価をお願いします。
- ・ なお、新たな研究開発6テーマは、既に研究開発を実施していることから、中間評価の観点(各観点についての見直しの必要性、効果・効用の暫定的確認、資源の再配分の妥当性等)についても合わせて評価をお願いします。

< 6/89 >



本日の評価委員会の内容(1/2)

3

事前評価を受ける研究開発課題

以下の研究開発課題について報告し、研究開発課題ごとに評価いただきます。

- ① レーザーによる保管廃棄物容器補修技術
- ② 保管廃棄物容器自動点検技術の開発
- ③ 放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発
- ④ レーザー除染技術開発
- ⑤ 廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)
- ⑥ 廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発

< 7/89 >



本日の評価委員会の内容(2/2)

4

事前評価における評価の観点

- (1) 研究開発課題の選定の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)
- (2) 方向性・目的・目標等の妥当性(効果・効用(アウトカム)の観点を含む)
- (3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性
- (4) 国内外他機関との連携の妥当性
- (5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性(技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む)
- (6) 科学技術政策、社会的・経済的意義／ニーズへの適合性

- ・評価の観点に基づき、資料5の評価シートに評価結果とご意見をご記入の上、事務局にご提出ください。
- ・電子メール等でご提出の場合は3月29日(金)までに事務局までお送りください。

事前評価の結果は答申書としてとりまとめ、
半年後を目途に報告書として公開します。

< 8/89 >

資料5

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
① レーザーによる 保管廃棄物容器 補修技術	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 産業界で普及しつつあるレーザー除錆技術を原子力業界にも導入し、放射性廃棄物容器(炭素鋼)の補修に適用することで、特に内容物を包含した状態での照射等を考慮した最適な照射パラメータに係る知見を得ることができる。また、レーザーによる熱処理を利用した防錆処理に係る研究も行う。得られた成果は、内容物を内包する炭素鋼容器全般に広く適用が期待される。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 放射性廃棄物容器の補修を省人化・高品質化し、メンテナンスコストの低減及び容器の長寿命化を目的とし、内容物を包含した容器での安全な除錆技術の実証と、防錆処理の実現性検証を行う。将来的には、機構内の他拠点への展開により、放射性廃棄物容器の補修に係る合理化を推進する。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性 令和4年度の予算により、必要な資機材の調達は完了しており、技術開発に必要な人員については、レーザー除錆・防錆に係るニーズ部署(原子力科学研究所、大洗研究所)とシーズ部署(レーザー・革新技術共同研究所)とが連携した体制を構築している。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(4) 国内外他機関との連携の妥当性 技術が確立され、従来技術に対する優位性が確認された場合は、特許出願を行うとともに、商業的な装置群及び運転員の供給のために外部機関(企業)との連携を検討する。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 9/89 >

	(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 技術開発の過程で得られた知見は、出願予定特許のコアとなる部分を除いて積極的に学会等で公知化するとともに、ニーズ調査を行う。レーザー除錆技術については、既にいくつかの特許が既出のため、将来的には主に防錆処理も含めたレーザー処理としての特許化を目指す。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性 放射性廃棄物については、機構だけでも埋設処分の対象が67万本(200リットルドラム缶換算)によるとされており、福島研究開発部門が関与する1F廃止措置においても多量の放射性廃棄物管理が必要となるため、長期的で多量の放射性廃棄物容器の合理的な補修技術は極めて重要と考える。また、原子力分野以外にも、危険物等を包含した容器への適用も可能となる。防錆技術についても、橋梁等のような巨大な構造物を含めた炭素鋼素材に広く適用が期待される。		☐ 妥当 ☐ 要改善

自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)

< 10/89 >

資料5

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
②保管廃棄物容器 自動点検技術の 開発	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 保管廃棄物容器自動点検技術は、ふげんだけではなく原子力機構内の施設の他、他電力の原子力施設における点検にも貢献が期待できる分野であり、自動化技術が実用化されれば、短時間で客観的に異常を検出でき、点検の効率化及び異常検出の汎用化を図ることができることから、課題の選定は妥当と考える。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 保管廃棄物容器自動点検技術の目的は、現在、熟練者の目で健全性及び劣化等の兆候がないか定期的に外観点検を実施しているが、これらの点検の効率化及び異常検出の汎用化を図ることを目的としており、作業員の技量に依らない統一的な判断が可能な点検手法、予兆段階での検知による法令報告事象の未然防止、遠隔操作による点検時の被ばく低減など、これらの技術を確立することで、原子力機構内施設及び他電力の原子力施設に技術を展開することで社会貢献を目指す方向性は妥当であると考えます。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性 保管廃棄物容器自動点検技術開発費用については、技術課題解決促進事業を活用し、技術的課題の解決に向けたアイデアを地元企業から募集し、試作や調査等を実施し、実用化に向けた成立性を見極めてきているとともに、機構内で同じ課題を持つ拠点同士で協力しながら限られた予算の中で最大の成果を挙げられるように計画的に進めている。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 11/89 >

(4) 国内外他機関との連携の妥当性 地元企業、各拠点と提携することは、様々な意見を反映しながら課題に向け取り組むことができ革新的な技術開発を進める上で有効であり、連携は妥当であると考えます。		☐ 妥当 ☐ 要改善
(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 保管廃棄物容器自動点検技術開発については、ふげん内での課題であるとともに、機構大でも同じような課題がある。そのため、ふげんでこれまで取り組み技術開発してきたニーズを、展開し更なる課題解決に向けた取り組みを展開している。また、本技術は他電力にフィードバックできる技術であることが期待できる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性 保管廃棄物容器自動点検技術開発については、作業員の被ばく量低減のために点検効率の向上及び予兆段階で早期に異常検知による法令報告事象の未然防止を達成するために必要な技術であり、ふげん外においてニーズも高く、社会的ニーズへの適合性は高いと考える。		☐ 妥当 ☐ 要改善

自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)

< 12/89 >

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
③放射性廃棄物分析前処理の自動化技術開発	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 放射性廃棄物の安全かつ合理的な処分技術の確立は機構共通の技術的課題となっている。特に多種多様な性状の放射性廃棄物を対象とし、インベントリ対象核種の多い化学分析を合理化できれば分析コストの削減が期待できる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 計測に先立ち測定妨害核種を化学分離する前処理の要素技術を簡易・省力化し、パッケージ化する方法により多種の核種分析に適用しようとする方向性は妥当である。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性 研究資金については、理事長裁量経費により実施しており、今後も機構内資金を基に進める計画である。人材については、経験豊富な人員の配置がなされており、今後キャリア採用により人員を増強する計画である。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(4) 国内外他機関との連携の妥当性 放射性廃棄物分析の合理化は福島第一原子力発電所の廃炉においても課題となっており、関係機関と連携をとりながら検討を進める。また、ICP-MS分析技術開発を手掛ける福島大学との連携を進める計画である。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 原子力科学研究所を始めとした機構内の研究所廃棄物の分析現場における分析ニーズを汲み上げ、分析対象に応じた前処理デバイスをアレンジする技術検討を行い、社会実装に向けた実証試験を展開する。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 13/89 >

(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性 高線量の廃棄物試料の安全かつ合理的な分析技術の確立は、バックエンド対策の合理化・経済性向上のニーズに合致する。また、1F廃炉の推進にも貢献出来るため社会的意義は大きい。		☐ 妥当 ☐ 要改善
---	--	---

自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)

< 14/89 >

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
④ レーザー除染技術の開発	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む)		☐ 妥当 ☐ 要改善
	レーザー除染は金属表面の汚染に対し、除染に伴って発生する二次廃棄物量を低減する除染法として期待されており、人形峠環境技術センターでは、使用済み遠心機を対象にクリアランスへの適用を進めている。 レーザー除染は応用範囲が広く、使用済み遠心機以外に、他原子力施設の廃止設備の除染や、継続利用設備の作業員の被ばく低減のための除染にも活用できる可能性が高く、レーザー除染による金属の除染及びクリアランス化技術が実用化されれば、機構以外の施設の廃止措置にも貢献できる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む)		☐ 妥当 ☐ 要改善
	目的はレーザーによる汚染部材の除染及び汚染金属等のクリアランス化であり、今後増加する原子力施設の廃止措置のための除染手法の1つとして実用化を目指す。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性		☐ 妥当 ☐ 要改善
	研究資金については、機構のバックエンド資金であり、研究を実施するのに十分な資金計画である。また、人材については、人形峠環境技術センターだけでなく、敦賀総合研究開発センターのレーザー・革新技術共同研究所や、各拠点担当者も協力部署として参画しており適材適所な配置がなされており、妥当であると考ええる。		

< 15/89 >

	(4) 国内外他機関との連携の妥当性		☐ 妥当 ☐ 要改善
	九州大学は、核燃料取扱施設廃止措置のためのレーザー除染法の開発や、エネルギー物質科学に関する研究を行っている。そのため、レーザー照射により核物質と金属等の相互作用を究明する上で有効である。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む)		☐ 妥当 ☐ 要改善
	人形峠環境技術センター及び機構各拠点のニーズに基づき設定された課題であり、レーザー除染の適用可能な範囲を明確にすることで、機構以外の他の原子力施設の廃止措置に適時的確に成果を創出できるような取組計画を設定している。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性		☐ 妥当 ☐ 要改善
	レーザー除染技術の開発は、各種原子力施設の廃止措置における除染コスト、二次廃棄物量の低減等に関する課題の解決のために設定されており、具体的な研究の進め方及び成果を提示することにより、課題解決のための方策の提案となると考える。また、原子力施設を所有する業界からのニーズも高く、政策及び社会的ニーズへの適合性は高いと考える。		

自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)

< 16/89 >

資料5

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
⑤廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発(デジタル技術)	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 解体廃棄物を収納する容器数を減少させるためには、追加的な切断によって充填率を向上させることが必要で、作業量や被ばく線量の増加とトレード・オフの関係にある。これを最適化することで、全体的なコスト削減を達成でき、原子力機構だけでなく、国内の原子力施設の廃止措置の安全と効率化が可能となることが期待できる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 3DCAD を用いた廃止措置作業における切断・収納作業の最適化を目的としており、収納容器数削減に寄与しない無駄な作業の排除、一時保管エリア確保を優先とした容器数削減など、解体作業の現場の要望に応じた優先順位を考慮して最適化することも可能である。最適化手法の解体作業現場への適用を通じて技術実証を進め、社会貢献を目指す。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性 研究資金については、廃止措置を進める上での本件の必要性や重要性を機構内で十分に議論して進められる。人材については、プログラム開発要員の確保及び解体作業現場であるふげんにおいて担当職員を配置することにより、開発した最適化手法を用いて選定された切断・収納方法を適用して実証する体制が整備されている。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 17/89 >

	(4) 国内外他機関との連携の妥当性 ふげんにおいて開発した手法の適用性を実証し、手法の改良を進める。今後電力事業者等と連携することで、産業界からのニーズを直接に取り込みつつ、適切な成果を無駄なく創出する。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 本研究開発はふげんでの適用性検証後、機構内の廃止措置活動へ展開し、廃止措置から処理・処分までのコスト最適化に反映させる。また、すでに収納容器に入った廃棄物に対しても充填率を向上させて詰め替える作業にも適用が可能である。商用化を視野に国内外へ展開させることを前提に開発を進めている。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性 廃止措置は、基本的に安全を前提の上合理的に進めることが求められており、作業者の被ばく線量を抑制しつつ全体コストを削減することは、循環型社会の実現に向けた社会的・経済的意義に適合するとともに、研究への資源配分向上につながる。		☐ 妥当 ☐ 要改善

自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)

< 18/89 >

事前評価シート

研究開発テーマ名	評価の観点(自己評価)	評価理由/ご意見	評価
⑥廃棄物処理作業へのロボットの適用に関する技術開発	(1) 研究開発課題の選定の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) 放射性廃棄物の処理等に用いるロボット技術の開発では、複雑な作業を行える汎用性のあるシステムの実現が求められ、これは世界中の原子力産業においても廃棄物取扱い作業の人員の不足、安全性向上、効率化などの課題に対処するために重要である。 そのため、まずは汎用性の高いアーム型のロボットの適用性を評価することで、どの程度の効率化が図れるか検討をおこなう。 本実施内容は機構の廃止措置を合理的に進める上でも重要な技術開発である。 また、原子力業界への適用に対して、新しい技術や知見が得られると期待できることから、バックエンドロードマップ及び施設中長期計画との整合及び、埋設に向けた廃棄体製作に必要な放射性廃棄物の処理技術開発としての課題として妥当である。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 19/89 >

	(2) 方向性・目的・目標等の妥当性 (効果・効用(アウトカム)の観点を含む) ロボット技術の汎用性評価および合理的な実装を可能とする開発を目的として、実際に人手で行われている実作業に適用し、ロボット技術の実装に向けた評価を進める。本目標は、現在人手で実施している廃棄物の取扱い作業をいかにロボット技術と融合させていくかということであり、作業員の不足解消、被ばく低減、効率化によるコスト削減など達成し、廃止措置の合理化を推進するものである。 特にバックエンドロードマップ及び施設中長期計画との整合及び、埋設に向けた廃棄体製作に必要な放射性廃棄物の処理技術開発として埋設に向け解決すべき課題であること、廃棄物に関するニーズや一般産業界でのニーズなど考慮して、方向性を定めていることから妥当であると考えられる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(3) 研究資金・人材等の研究開発資源の配分の妥当性 研究資金については、運営費交付金が充当されており、研究を実施するのに十分な資金計画であると思われる。また、人材については、適材適所な配置がなされており、妥当であると考ええる。		☐ 妥当 ☐ 要改善
	(4) 国内外他機関との連携の妥当性 これまで機構内で作業を実施し課題を収集してきた。現在、これら収集した課題に対して、各々専門性がある研究機関の調査を開始したところであり、今後、専門性のある研究機関と連携し、お互いにコミュニケーションをとりながら、研究を進展させる計画としており、妥当である。		☐ 妥当 ☐ 要改善

< 20/89 >

	(5) 社会実装に向けた取組計画の妥当性 (技術・知識基盤プラットフォームの構築・提供を含む) 廃棄物取扱い作業へのロボット適用の技術開発では、本事業を通じてフィールド整備を実施し、これを活用しフィルタの解体だけでなく、様々な廃棄物取扱い作業への拡張を行う予定である。 これらは、同様の廃棄物を抱える他原子力事業者のニーズに合わせ活用可能であり、機構だけでなく国内の廃止措置作業に係る技術向上に役立つ取り組みであると考ええる。 また、本事業で得られた成果や整備したフィールドは一般産業界でも活用できるものと考えており、計画は妥当と考えている。	☐ 妥当 ☐ 要改善
	(6) 科学技術政策、社会的・経済的意義/ニーズへの適合性 廃棄物取扱い作業の人員の不足、安全性向上、効率化などの課題を対象としており、バックエンドロードマップ及び施設中長期計画との整合及び、埋設に向けた廃棄体製作に必要な放射性廃棄物の処理技術開発として、廃棄物取扱い作業へのロボット適用の技術開発を行うことで、同様の廃棄物を抱える原子力事業者の役に立つ取り組みである。 また、汎用性を考慮した技術開発であるため一般産業界でも活用できるものと考えており計画は妥当と考えている。	☐ 妥当 ☐ 要改善
自由記述欄(全体的な評価、ご意見等がございましたらご記入ください。)		

< 21/89 >



バックエンドの技術開発方針と テーマの選定について

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
バックエンド統括本部

1
< 22/89 >



目 次

1. バックエンドの技術開発方針
2. 技術開発テーマの選定
(バックエンド技術開発戦略ロードマップの概要)

2
< 23/89 >



1. バックエンドの技術開発方針

(1) バックエンド対策に係る全体的な戦略

To the Future / JAEA

バックエンド対策の必要性・重要性

- 多種多様な研究施設の廃止措置経験・マネジメント経験が少ない
- 将来、埋設施設が運用開始となっても、埋設可能な廃棄体作製の準備が終了していない
- 自施設の廃止措置や廃棄物処理を合理的に進める方策が個別の拠点で整備できない

解決策

- ・ 施設の特性に応じた廃止措置経験を積み上げていく
- ・ 廃棄体作製に係る基準類を定め、埋設施設設置までに廃棄体を製作する
- ・ 廃止措置及び廃棄体化を効率的に進めるため、**早期の技術開発と現場実装を行う**

【第4期中長期計画の全体戦略】

安全の確保を最優先としつつ、限られた資源及び人材を活用し、原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分を円滑かつ計画的に実施

廃止措置

- 施設の特性に応じた廃止措置経験の積上げ
- 合理的な廃止措置の推進と知見の共有

核燃料・廃棄物処理

- 廃棄体化に必要な基準類の策定、品質保証に必要なデータ取得
- 集約管理

バックエンド 対策全体の最適化

技術開発及び現場実装

- 共通的な課題の解決
- リスクやバックエンド対策費用の低減

人材育成

- 若手技術者の廃止措置経験の蓄積・技術継承
- バックエンドを担う人材の教育

3

< 24/89 >



1. バックエンドの技術開発方針

(2) バックエンド統括本部と拠点との役割分担

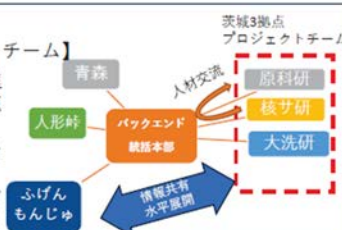
To the Future / JAEA

安全の確保を最優先としつつ、限られた資源及び人材を活用し、原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分を円滑かつ計画的に実施していくため、バックエンド統括本部と拠点との連携により、共通的な課題への技術開発と現場実装を進めるとともに、各分野に必要な基準整備、人材育成及びモデル事業に取り組む。

廃止措置

【茨城3拠点プロジェクトチーム】

- ・ バックエンド対策の推進に影響する課題等に拠点レベルで対応する
- ・ 拠点で得られた知見等を他拠点のプロジェクトチーム及びバックエンド統括本部と共有していく



技術開発及び現場実装

【技術開発戦略】

- ・ 組織横断的な実施体制を構築して安全確保を含む共通的な課題やバックエンド対策費用を削減する課題を優先して実施し、現場実装を進める

バックエンド統括本部

連携

拠点シーズ部署

協働

拠点ニーズ部署

核燃料・廃棄物処理

【廃棄体製作基準検討委員会】

- ・ 廃棄体製作の基準類やマニュアルの策定や改定と品質保証に必要なデータの取得計画、重要な課題の実施方針などをバックエンド統括本部（廃棄体化、埋設担当部署）が事務局として各拠点バックエンド担当部署を集めて議論

バックエンド統括本部



人材育成

【廃止措置講座及び人事交流】

- ・ 廃止措置、廃棄物管理などバックエンド対策について学習するとともに、優先廃止措置実施施設での経験の蓄積・技術継承を図る
- ・ 人事交流を介してマネジメントの経験を積む

バックエンド統括本部

教育

人事交流

各拠点のバックエンド部署の新人や実務者

4

< 25/89 >



1. バックエンドの技術開発方針

(3) 第4期中長期計画における技術開発の位置付けと方針

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

6. 安全を最優先とした持続的なバックエンド対策の着実な推進

(1) 廃止措置・放射性廃棄物処理処分の計画的遂行と技術開発

1) 廃止措置・放射性廃棄物の処理処分に係る技術開発と成果の実装

原子力施設の廃止措置及び放射性廃棄物の処理処分に係る課題解決のため、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置と機構の廃止措置の相互裨益の観点、安全確保を前提とした低コスト化、廃棄物発生抑制につながる研究開発、研究開発拠点における共通的な課題解決ニーズ、広く一般産業の先駆的な技術の取り入れ等を考慮した**戦略ロードマップ**を作成し技術開発に取り組み、機構内のデコミッション改革のための**イノベーション**の創出を目指すとともに、その**成果の現場への実装を進める**。

- ・ **戦略ロードマップを作成し、共通的な課題や将来のバックエンド対策費用を削減する課題を優先して整理・選定し、組織横断的な実施体制を構築することで、技術開発全体の合理化を図りながら進める。**

5
< 26/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

(1) ニーズ・シーズ調査の実施

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

原子力機構内のバックエンドに関する共通的な課題の中から優先的に進めるテーマを選定するため、バックエンド対策に関する開発技術（シーズ）と課題（ニーズ）についてのアンケート調査を令和4年度に実施

放射性廃棄物の管理※に係る技術開発についての設問 (※廃棄物の発生、処理、保管、処分など)

問1. 貴部署で発生した放射性廃棄物を管理するために、やらないといけない技術開発、あるいは必要な技術開発（未実施のもの）はありますか？ それはどんなものですか？

問2. 放射性廃棄物を管理するために、あれはいいなと思う技術、こんな技術を開発したいと思うものはありますか？ それはどんなものですか？

問3. 貴部署で発生した放射性廃棄物を管理するために、今取り組んでいる技術開発、すでに取り組みが終わっている技術開発、技術開発を終えて現場に実装している技術はありますか？ それはどんなものですか？

問4. 問3で答えていただいた技術のうち、他部署・他拠点の廃棄物管理に適用可能な技術はありますか？ それはどの技術ですか？

問5. 新たな技術開発ではなく、放射性廃棄物の管理を合理化（コスト削減、高速化、簡易化、安全化など）するために既存の技術を導入した、導入を計画しているというものがあれば教えてください。

施設の廃止措置に係る技術開発についての設問

問6. 貴部署が所掌する施設の廃止措置を進めるために、やらないといけない技術開発、あるいは必要な技術開発（未実施のもの）はありますか？ それはどんなものですか？

問7. 施設の廃止措置を進めるために、あれはいいなと思う技術、こんな技術を開発したいと思うものはありますか？ それはどんなものですか？

問8. 貴部署が所掌する施設の廃止措置を進めるために、今取り組んでいる技術開発、すでに取り組みが終わっている技術開発、技術開発を終えて廃止措置の現場に実装している技術はありますか？ それはどんなものですか？

問9. 問8で答えていただいた技術のうち、他部署・他拠点の廃止措置に適用可能な技術はありますか？ それはどの技術ですか？

問10. 新たな技術開発ではなく、廃止措置を合理化（コスト削減、高速化、簡易化、安全化など）するために既存の技術を導入した、導入を計画しているというものがあれば教えてください。

6
< 27/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（2）共通的な課題、費用削減の課題の整理

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

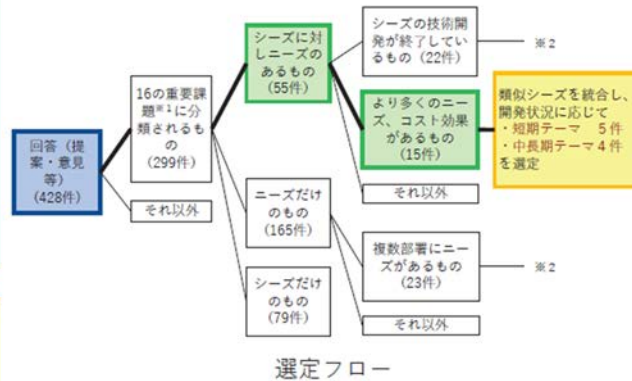
428件の全回答を、廃止措置や廃棄物処理処分プロセスを考慮した重要課題に分類（299件）した上で、シーズとニーズがマッチするものを抽出（シーズとして55件）

さらに

- 共通課題（横断的な実施体制）：
複数部署からのニーズがあるもの
- 費用削減が期待される課題：
高速化、自動化、遠隔化に関するものを抽出（シーズとして15件）

成果の現場への実装の観点で実用化に近いと考えられるものの中から

- 短期テーマ（概ね3年を目途に試運用開始）：5件
 - 中長期テーマ（概ね6年を目途に試運用または実用化の目途）：4件
- を優先的に進める技術開発テーマに選定



※1：原子力機構の廃止措置や廃棄物処理処分等のプロセスを考慮した分類で、具体的には、難処理廃棄物処理（液体）、難処理廃棄物処理（固体）、保管体内容物非破壊測定、保管体外部検査の自動化、放射能濃度測定方法・大型容器等の非破壊測定技術、廃棄物処理技術として選定した減容技術、低温処理技術・核種セメント固化技術、クリアランスの迅速測定・大型対象物測定技術、排気フィルター処理技術、コンクリートブロック体対応技術、遠隔技術、除染技術、解体技術、汚染検査、処分技術基準、福島第一廃止措置技術

※2：開発技術の現場への展開、シーズ技術等の調査を継続して進める。

7
< 28/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（3）選定した技術開発テーマと期待される効果

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

技術開発テーマ	期待される主な効果
1 レーザーによる保管廃棄物容器補修技術	ケレン・塗装下地作りの自動化による人件費の削減
2 高エネルギーX線CTによる保管容器内廃棄物確認技術	検出器の低コスト化により装置製作費の削減 従来技術と比較して測定速度の高速化
3 高線量グローブボックス遠隔解体技術	Pu系2施設への適用を想定し、解体費、解体期間、廃棄物発生量の削減
4 保管廃棄物自動点検技術	点検のためのドラム缶積み下ろし作業が無くなるため人件費の削減
5 分析前処理の自動化技術	個々の分析前処理を一体化・自動化することにより人件費の削減
6 有害廃棄物の安定固化処理技術	低アルカリセメントやアルカリ活性材料等による固化性能の改善により処理・処分費用の削減
7 レーザー除染技術	湿式除染と比較して設備・保守・人件費の削減 廃物・廃液が発生しないため二次廃棄物の大幅な削減
8 廃棄物の分割・収納方法最適化技術（デジタル技術）	解体廃棄物一時保管用メッシュボックスの充填率を2～3倍に増加
9 使用済み排気フィルター解体技術（ロボット技術）	作業のロボット化、協働化による人件費の削減

本日評価いただく6テーマ

8
< 29/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（4）個別テーマの概要と狙い（1/4）

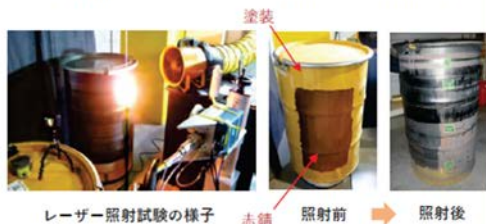
未来へつなぐ
To the Future / JAEA

1. レーザーによる保管廃棄物容器補修技術

ドラム缶健全性確認における補修の際のレーザーによる錆びの除去・防錆技術。照射条件の最適化と安全性評価を進める。

狙い：廃棄物管理の安全性向上・低コスト化

- レーザーによる廃棄物保管容器の除錆
- レーザーによる容器表面の防錆加工
- 作業の高速化によりコスト削減
- 容器の長寿命化により管理上の安全性向上・コスト削減

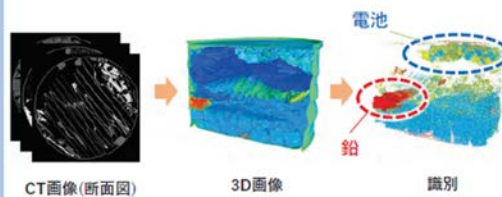


2. 高エネルギーX線CTによる保管容器内廃棄物確認技術

高エネルギーX線CTによる非破壊検査技術。深層学習モデルと組み合わせて廃棄物ドラム缶内のそのままでは処分できない物質を識別する。コストのかさむ検出システムの低コスト化を目指す。

狙い：内容物確認作業の高速化・低コスト化

- ソフトウェアの開発による評価の高速化
- 検出器の開発による測定のコスト削減
- 作業の高速化・コスト削減
- 装置コストの削減



本日評価いただくテーマ

9
< 30/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（4）個別テーマの概要と狙い（2/4）

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

3. 高線量グローブボックスの遠隔解体技術 (アドバンスド スマート デコミッショニング システム, A-SDS)

高線量下のグローブボックス解体作業に遠隔操作機器等を併用することで作業者の負担軽減や作業効率化を図るシステム。小型重機、切断シャワー、粉砕機等を導入し適宜実装・実証する。

狙い：設備解体作業の安全性・経済性の向上

- ① 遠隔機器の活用による手作業の低減・入域時間の短縮
- ② 大型機器用バックアウトシステムによる資機材の再利用
- ③ 細断物用収納容器等の採用によるビニール梱包の省略
- 作業の安全性向上
- 廃棄物量の低減
- 解体作業の効率化



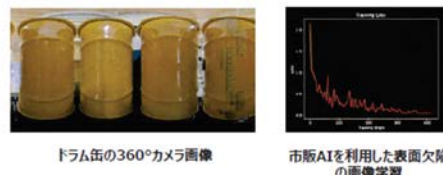
本日評価いただくテーマ

4. 保管廃棄物自動点検技術

360°カメラ画像診断技術を利用した保管廃棄物容器（ドラム缶）外観点検技術。死角の少ない技術を目指す。

狙い：廃棄物管理の安全性向上・低コスト化

- 点検のためのドラム缶積み下ろし作業の省略
- 画像診断による高速化、欠陥（サビ、キズ等）の定量化、見逃しの排除
- 作業の安全性向上・コスト削減
- 管理の安全性向上・コスト削減



10
< 31/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（4）個別テーマの概要と狙い（3/4）

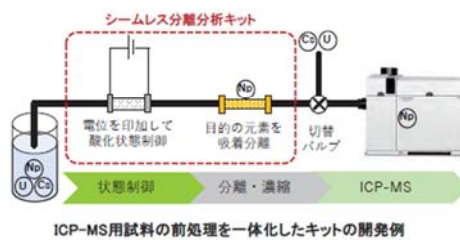
未来へつなぐ
To the Future / JAEA

5. 分析前処理の自動化技術

分析の微量化・自動化による作業省力・被ばく低減を目的とする分析方法の合理化技術。測定核種や適用する分析方法の拡大を目指す。

狙い：分析作業の廃棄物発生量低減・低コスト化

- カラム等機器の小型化
- 前処理の一体化による分析の高速化
- 廃棄物発生量の低減
- 分析作業のコスト削減



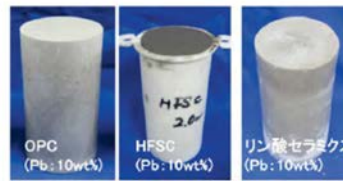
■ 本日評価いただくテーマ

6. 有害廃棄物の安定固化処理技術

水銀、ホウ素、フッ素等の環境有害物質を含む放射性廃棄物を種々の固化材料（セメント、アルカリ活性材料等）で安定に固化する技術を開発する。

狙い：処理・処分費用の低コスト化

- 環境有害物質の溶出抑制
- 充填量の増大
- 廃棄体数の削減、処理処分コスト削減



様々な固化材でPbを固化した例

OPC:普通セメント
HFSC:低アルカリセメント

11

< 32/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（4）個別テーマの概要と狙い（4/4）

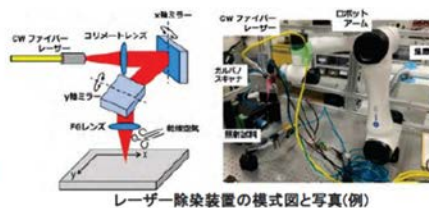
未来へつなぐ
To the Future / JAEA

7. レーザー除染技術

狙い：除染作業の高速化・廃棄物発生量の低減

液体の二次廃棄物が多量に発生する湿式除染に代わり高速で二次廃棄物の少ない除染技術を開発する。

- 自動走行機構による除染の高速化
- 汚染部位のみを乾式除染
- 除染作業のコスト削減
- 二次廃棄物発生量の低減



レーザー除染装置の模式図と写真(例)

8. デジタル技術

狙い：廃止措置の収納容器発生数低減・低コスト化

廃止措置で発生する廃棄物を保管容器へ効率的に収納し、一時保管のスペース確保や保管のコスト削減を図るため、廃棄物の分割・収納方法を最適化する手法を開発する。

- 3D CADを用いた機器分割と切断片の容器への収納の自動生成
- 収納容器発生数と被ばく経量抑制の最適化評価コードの開発
- 収納容器数の低減
- 廃止措置費用と被ばく経量の低減



廃棄物の分割・収納方法の最適化手法の開発

9. ロボット技術

廃止措置及び廃棄物を管理する現場における危険作業等のリスク低減とコスト削減を目指したロボット技術を開発する。

狙い：作業の安全性向上・低コスト化

様々な大きさの使用済み排気フィルターの解体処理作業のロボット化

- 作業の安全向上
- 作業の高速化
- コスト削減



使用済み排気フィルター解体技術

■ 本日評価いただくテーマ

12

< 33/89 >



2. 技術開発テーマの選定（戦略ロードマップの概要）

（５）技術開発の進め方

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

- **実施体制**
共通的な課題の解決に向け、シーズ部署をリーダーとしてニーズ部署が協力する組織横断的な体制を構築して進める。
- **資金の確保**
テーマの内容、規模、実施場所等に応じて原子力機構の予算や公募等の外部資金の確保を目指すとともに、実施部署の予算、人員、施設・設備等のリソースの共有を可能な限り図りながら合理的に進めていく。
- **人材育成と基盤整備**
研究開発拠点においては、技術開発を推進するため若手の人材を投入し、OJTも含めた育成を図るとともに、技術開発と人材育成の両立を目指して共用の研究施設や横断的な技術開発組織を整備するなど基盤整備に努めていく。
- **開発成果の普及**
開発成果の原子力機構内への適用のほか、東京電力㈱福島第一原子力発電所も含めた国内の原子力施設・研究施設等の廃止措置、廃棄物管理等への適用など社会実装を目指していく。
- **テーマの拡大**
アンケート調査の回答には共通的な課題ではあるものの機構内にはシーズのないニーズがある。これらのニーズの整理と機構外のシーズ調査を進め、技術開発項目の具体化により今後のテーマ拡大を図っていく。
- **海外との協力・展開**
NDA、CEA、KAERI等とのバックエンドに関する協力の枠組みの中で技術開発の国際協力を進めるとともに、開発技術の海外展開も図っていく。

13
< 34/89 >



－ 参考 1 －

未来へつなぐ
To the Future / JAEA

表、調査回答のうち16の重要課題に分類されたもの(299件)の分布

番号	重要課題	割合(%)
1	難処理廃棄物処理（液体）	15%
2	難処理廃棄物処理（固体）	6%
3	保管体内容物非破壊測定	5%
4	保管体外観検査の自動化	4%
5	放射能濃度決定方法、ドラム、大型容器非破壊測定技術	10%
6	廃棄体化前処理として適した減容技術	4%
7	低温処理技術・各種セメント固化	4%
8	クリアランス迅速測定・大型対象測定	5%
9	排気フィルタ処理	1%
10	コンクリートブロック固化体対応	1%
11	遠隔技術	8%
12	汚染検査技術	3%
13	除染技術	7%
14	解体技術	7%
15	廃棄体化技術基準（固化体物性、濃度上限値案など）	7%
16	福島1F関係技術	11%

14
< 35/89 >



－ 参考 2 －

未来へがむき
To the Future / JAEA

表. ニーズとマッチしたシーズ55件の例（一部）

番号	重要課題	シーズ技術	技術開発段階
1	保管体内内容物非破壊測定	高エネルギーX線CTによる廃棄物ドラム缶内処分不適物（鉛、水銀）非破壊検査技術	実用化開発
2	保管体外観検査の自動化	デジカメ及びファイバースコープによる保管廃棄物点検作業の効率化	基礎研究
3	放射能濃度決定方法、ドラム缶・大型容器の非破壊測定技術	パッシブガンマ法によるコンテナ収納U系廃棄物の非破壊測定技術	製品化
4	廃棄体化前処理として適した減容技術	Pu系難燃物焼却技術（水冷ジャケット式円筒炉）	製品化
5	難処理廃棄物処理（液体）	酸素プラズマによる酸化処理法（廃PCB、廃樹脂等への適用）	基礎研究
6	難処理廃棄物処理（液体）	ウラン系廃油・廃溶媒の水蒸気改質処理技術	実用化開発
7	難処理廃棄物処理（固体）	環境有害物質（Pb,Cd,Hg,F等）を含むスラッジ状廃棄物の安定固化処理技術	基礎研究
8	遠隔技術	廃棄物処理のためのロボットによる遠隔操作技術	基礎研究
9	解体技術	遠隔操作機器を併用して作業効率化を図るGB解体システム	実用化開発
10	解体技術	セル内の高放射性固体廃棄物のレーザー等による（遠隔）解体技術	製品化

15
< 36/89 >



－ 参考 3 －

未来へがむき
To the Future / JAEA

表. マッチングシーズ55件のうち共通的な課題、費用削減が期待される課題15件

番号	重要課題	シーズ技術	開発段階	機体内複数展開	コスト削減効果	ステージ2以上	採否 ○：短期テーマ ●：中長期テーマ
1	難処理廃棄物処理（固体）	環境有害物質（Pb,Cd,Hg,F等）を含むスラッジ状廃棄物の安定固化処理技術	ステージ1（基礎研究）	○	○		●
2	保管体内内容物非破壊測定	高エネルギーX線CTによる廃棄物ドラム缶内処分不適物（鉛、水銀）非破壊検査技術	ステージ3（実用化開発）	○	○	○	○
3	保管体内内容物非破壊測定	カメラ画像の深層学習モデルによる物体検出・分類技術（廃棄物の自動分別への適用）	ステージ1（基礎研究）	○	○		●※
4	保管体外観検査の自動化	デジカメ及びファイバースコープによる保管廃棄物点検作業の効率化	ステージ1（基礎研究）	○	○		○ (類似テーマを集約)
5	保管体外観検査の自動化	画像診断技術を活用した保管廃棄物容器（ドラム缶）外観点検技術	ステージ3（実用化開発）	○	○	○	
6	保管体外観検査の自動化	保管廃棄物の監視カメラ(ITV)による遠隔外観点検技術	ステージ2（応用研究）	○	○	○	
7	保管体外観検査の自動化	炭酸ガスレーザーによる保管廃棄物ドラム缶塗装の自動クレン技術	ステージ1（基礎研究）	○	○		○ (類似テーマを集約)
8	保管体外観検査の自動化	レーザーによる廃棄物ドラム缶表面の錆びの除去・防錆技術	ステージ2（応用研究）	○	○	○	
9	福島1F廃止措置技術	レーザーによる廃棄物ドラム缶表面の錆びの除去・防錆技術	ステージ2（応用研究）	○	○	○	
10	保管体外観検査の自動化	作業人工合理化のための廃棄物保管ドラム缶の自動補修（クレン・塗装）技術	ステージ3（実用化開発）	○	○	○	
11	放射能濃度決定方法、ドラム缶・大型容器の非破壊測定技術	廃棄物の放射能濃度を保守的に評価する非破壊測定技術	ステージ1（基礎研究）	○	○		業務として実施しているため除外
12	遠隔技術	廃棄物処理のためのロボットによる遠隔操作技術	ステージ1（基礎研究）	○	○		●
13	除染技術	廃止措置への適用を目的としたレーザー除染技術	ステージ1（基礎研究）	○	○		●
14	解体技術	遠隔操作機器を併用して作業効率化を図るGB解体システム	ステージ3（実用化開発）	○	○	○	○
15	福島1F廃止措置技術	分析前処理化学操作と定量分析を一体化するシームレスな微量高速分析技術	ステージ2（応用研究）	○	○	○	○

※ No. 2のテーマと同時に開発する課題のため、デジタル技術を活用するこれに代わる新たなテーマとして「廃棄物の分割・収納方法最適化技術」をR5年度に採用した。

16
< 37/89 >



レーザーによる保管廃棄物容器補修技術

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 原子力科学研究所
バックエンド技術部 放射性廃棄物管理第1課

< 38/89 >



技術開発の目的

○放射性廃棄物処理場における放射性廃棄物容器の補修

- ・令和元年度～令和5年度の5年間で約27,000本のドラム缶について**健全性確認**を実施中
- 優先度区分A：著しい錆 → 新容器に**詰替え**（約11,000本）
- 優先度区分B：**軽微な錆** → 容器を**補修**して**再利用**（約16,000本）
- ・従来は作業員が**電動工具**を用いて除錆（ケレン）を実施
全ての錆を除去できないため、**錆転換材**を併用
（腐食進行性の赤錆を、安定な酸化被膜である黒錆に転換）

○ドラム缶補修における課題

- ・人工費用が**高コスト**（年間約1億円）
- ・作業員の被ばくリスク+安全リスク（粉塵等）
- ・錆だけでなく**健全な母材**まで**研削**するおそれ（電動工具）



放射性廃棄物容器の保管状況



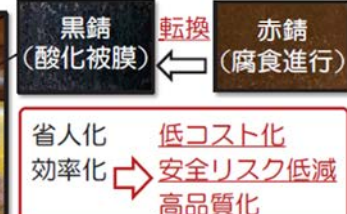
補修前



電動工具ケレン



補修後



< 39/89 >

1



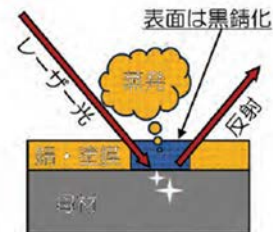
技術開発の概要

○レーザー除錆

- 産業界で導入が進んでいるレーザー除錆を放射性廃棄物容器に適用
- 母材へのダメージを最小限にしつつ、錆と塗膜を効率的に除去

○レーザー防錆

- レーザーの急加熱/急冷却の特性を熱処理として活用
- 炭素鋼表面を微細結晶化するとともに酸化被膜を形成
- レーザー除錆と同じ機器を使用（照射パラメータのみ変更）



レーザー除錆の原理

○実施体制

- 予算：理事長裁量経費（8,000万円）令和4～5年度
- 主体：原子力科学研究所 バックエンド技術部 放射性廃棄物管理第1課（現場で技術開発）
- レーザー除錆に係る情報収集及び技術開発の成果を太洗研究所と共有
- レーザーの専門家であるレーザー・革新技術共同研究所と連携し、技術開発を加速



< 40/89 >

2



R5年度の成果

○レーザー除錆（Rust Removal）

- レーザー除錆機及び周辺機器を現場（原科研）に実装し、実際の廃棄物入りドラム缶表面のレーザー除錆を実施済み
- レーザー除錆処理対象：200Lドラム缶 約500本（令和6年1～3月、平均10本/日程度）
（ドラム缶の状態等によって照射を行わないもの、一部照射を行うもの等も含まれる）
- 現状の効率：ドラム缶1本 20分 → 更なる短縮のためにパラメータ等を調整中
- 容器内表面の最大温度120℃、内圧上昇0.1気圧未満を確認済み
- 導入のメリット：人工費用低減、安全リスク低減、母材へのダメージ低減
- 内容物を包含した状態の金属容器に広く適用可能



レーザー除錆中の様子



照射後

処理時間・品質の比較

処理方法	処理時間	品質
電動工具 ＋ 錆転換材	除錆20分 下塗10分 乾燥8時間	△ 母材研削
レーザー 除錆	20分	◎

従来と同じコスト（人工）で
±30%の処理量が目標！

< 41/89 >

3



R5年度の成果

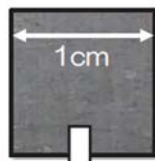
〇レーザー防錆（Rust Protection）

- ・ドラム缶から切り出した試料に対してレーザー防錆が有効であることを確認済み
- ・現状の効率：ドラム缶1本 100分
- 今後さらなる照射条件最適化を行い、**処理時間を短縮化**
- ・導入のメリット：長期的な容器メンテナンスコストの低減（**長寿命化**）
- 今後は防食性能の電気化学的評価も行い、長寿命化の効果を定量化
- ・**炭素鋼素材に広く適用**できるため、将来的にはドラム缶に限らず大型の構造物（橋梁等）への適用も検討

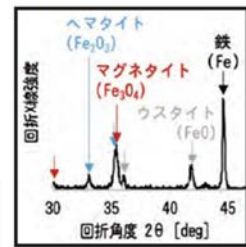
■腐食試験の結果

屋外で3%食塩水を噴霧しながら1か月間腐食

総照射時間が同じでも、**複数回に分割**した照射の方が防錆に有利



未照射

長時間
1回照射短時間
複数回照射

XRD組成分析
酸化被膜（**マグネタイト**
上）の形成を確認

4

< 42/89 >



まとめ、今後の予定

〇レーザー除錆（Rust Removal）

- ・現状：**原科研**で放射性廃棄物を包含する**200Lドラム缶**の補修に**実装済み**
- ・成果：従来（電動工具＋錆転換材）：ケレン20分＋転換材塗布10分＋転換材乾燥8時間
レーザー除錆：**20分**（省人化、効率化、高品質化）
内表面温度、内圧が十分に**安全な範囲**と確認
- ・今後の予定：連続処理（～20本/日）を行いつつ、更なる**短時間化を検討**
（照射パターン、走査速度、回転速度、下処理等）
ステンレス素材のドラム缶への適用
メンテナンス費用等も含めた**コスト評価**

〇レーザー防錆（Rust Protection）

- ・現状：50mm×50mm**試料**で効果を**実証**
- ・成果：レーザー照射による**酸化被膜**の形成を確認
防錆処理に有利な熱処理方法（**分割照射**による**急加熱冷却サイクル**の実現）の把握
- ・今後の予定：**200Lドラム缶**での**実証**、短時間化
防錆品質の定量評価（腐食電流測定、結晶粒径分析等）
除錆と防錆の**ワンスルー処理**の実証

5

< 43/89 >



保管廃棄物容器自動点検技術の開発

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
敦賀廃止措置実証部門
新型転換炉原型炉ふげん

< 44/89 >



第4期中長期計画における取組み内容

1

令和5年度の実施計画

- ふげんでは廃棄物貯蔵施設での容器点検の効率化及び異常検出の汎用化を目的とし、令和4年度までに360度カメラを取り付けた小型アームと画像診断ソフトを用いた検査装置を試作し、一定条件下でパレットに積載保管中のドラム缶表面の錆、傷等の異常を自動検出できる見通しを得ている。
- 令和5年度より各拠点のニーズに合わせ、本装置の実用化に向け、ふげん、核サ研で実際に使用しているパレットに積載した状態での容器の上下面の確認方法等を調査・検討する。また、画像診断の速度を向上させるための調査、検討を行う。

項目	R4	R5	R6	R7
(1) 自動検査装置試作(ふげん)	自動検査装置 試作機製作 機能確認			
(2) 実用化試験(ふげん)		点検装置調査検討 (設計図作成) 画像診断システム 調査検討	制作 機能試験	
(3) 実証試験(核サ研・ふげん)		パレット導入	準備(許認可等)	実証試験
予算(百万円)		10	10	10

< 45/89 >



保管廃棄物容器自動点検技術の開発目的

2

【技術開発の目的】

原子力機構の廃棄物貯蔵施設では、放射性廃棄物をドラム缶や鉄箱に収納して貯蔵保管しており、これらについては、人の目で健全性及び劣化等の兆候がないか定期的に外観点検を実施している。これらの点検の効率化及び異常検出の汎用化を図ることを目的とし、貯蔵物の異常を迅速かつ客観的に自動検出する方法を開発する。

廃棄物貯蔵施設での保管・点検状況

●ドラム缶や鉄箱は隙間なく積み付けた状態であり、**狭隙部や死角が存在し**、さらに暗所で**視認性が悪く**、異常箇所の**判断が困難**



【従来の点検方法】

- 手鏡やファイバースコープの画像を基に**経験を有する熟練者が異常有無を判断**
- かなりの物量であり点検には**人員及び時間を要する**

点検方法の更なる改善を志向

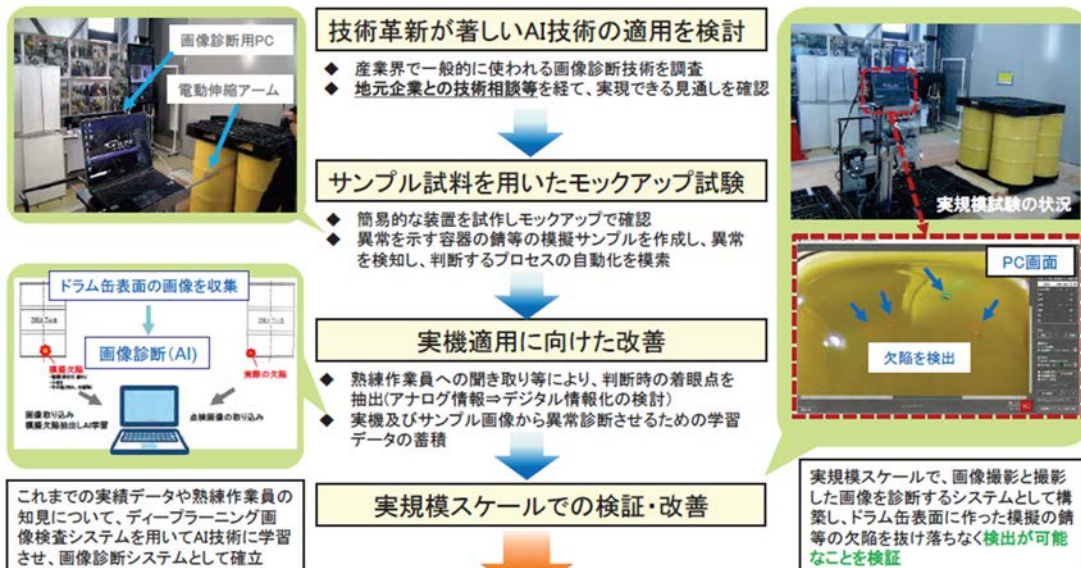
- ◆ 熟練作業員以外でも判断できる手順
- ◆ 作業員の技量を補完する仕組みの付加
- ◆ 視認性が劣る部位での判断性の向上
- ◆ 作業時間短縮を含む点検作業の合理化 等

< 46/89 >



点検方法技術開発状況(～R4年度)

3



画像診断技術(AI)を組み合わせた、先駆的な点検方法として成立できる見通しを確認

< 47/89 >



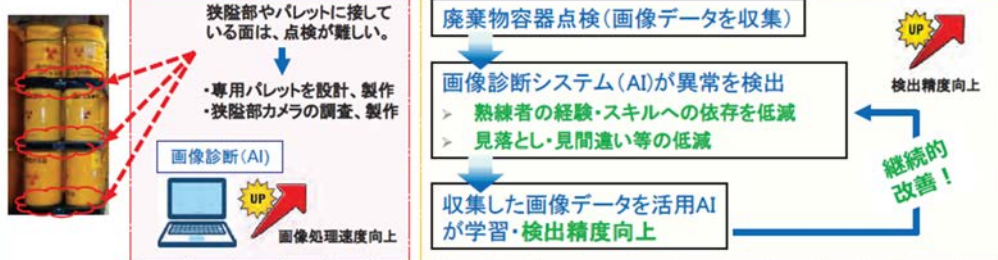
点検方法の確立と今後の展開

4

合理的かつ確実な点検方法の確立

既往課題の改善を実現

- 実用化に向けては、容器の上下面の確認、画像診断の処理速度の向上等といった課題
- マニュアル等で伝授することが難しい異常徴候の判断を画像診断を活用し客観的に判断



R5年度～R6年度で検討、設計、製作、R7年度実証試験

機構内外の他施設への成果展開

周囲への汚染に至る前に異常を予兆段階で検知

- ・ 作業員の技量に依らない統一的な判断が可能な点検手法として確立
- ・ 予兆段階での検知による法令報告事象の未然防止
- ・ 遠隔操作による点検時の被ばく低減

< 48/89 >



R5年度の実施内容

5

① 積載状態での容器上下面の検査に向けた調査と検討

- ・ 狭隙部にアクセス可能な小型カメラの調査
- ・ 狭隙部にアクセス可能でたわみの少ない小型アームの検討・設計図作成

【具体的な取り組み】

試作した点検装置では廃棄物容器間(最低幅:30mm)に360度カメラを取り付けた小型アームを挿入することで廃棄物容器の側面を確認できるが、廃棄物容器の上下面はパレットが干渉して確認できないため狭隙部にアクセス可能な小型カメラを調査する。また、点検装置の小型アームはカメラを取り付けるとたわみが発生し、狭隙部へのアクセスが難しくなることから、たわみが少なく狭隙部へのアクセスが可能な小型アームの検討(計画図面作成含む)する。

② 画像診断速度の向上に向けた調査と検討

- ・ カメラ画像のPCへの保管処理や画像診断ソフトへの移行高速化(リアルタイム測定含む)
- ・ 低コストで実現可能なシステム

【具体的な取り組み】

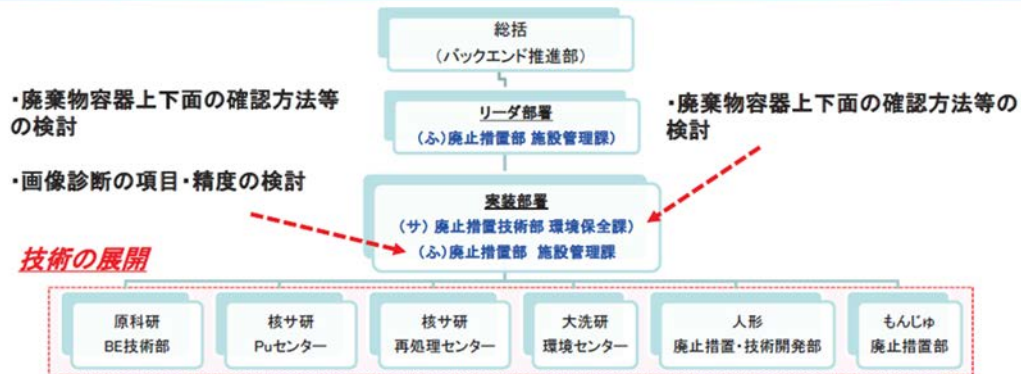
試作した点検装置の画像診断システムでは、カメラで撮影した画像データを画像診断ソフトにて診断可能な状態へ変換しなければならず、異常箇所の検出に時間を要するため、カメラ画像の変換処理や画像診断ソフトへの移行の高速化のための調査をする。また、システムの構成上、画像診断までの手順が複雑であるため、容易に使用できるシステムの構成について調査する。

< 49/89 >



実施体制、期待される成果、波及効果

6



【期待される成果:アウトプット】

- ・積載状態で対象物の全面が確認可能な点検装置の仕様決定
(小型カメラ及び小型アームの仕様等)
- ・異常検出精度及び画像処理制度の高い画像診断システムの仕様決定

【期待される成果の波及効果:アウトカム】

- ・自動点検装置導入により点検実施体制が4人体制から2人体制で実施が可能になり人工数の削減効果が得られる。
- ・短時間で客観的に異常を検出でき、作業時間短縮、熟練作業員の知識伝承が解決する。
- ・原子力機構内の施設の他、他電力の原子力施設における点検にも貢献が期待される。

< 50/89 >



放射性廃棄物分析前処理 の自動化技術開発

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門
原子力科学研究所

< 51/89 >



第4期中長期計画における取組み内容

➤ 令和4年度及び令和5年度の実施計画

項目	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
(1)〔基礎研究〕 小型化要素技術開発	分離カラム 基礎工Cで 開発済み	フロー電解 ▲	小型電解セルによるNp電解条件決定				
(2)〔応用研究〕 状態制御と分離デバイスを 統合し一体化			一体化技 術開発 ▲	一体化デバイスによるNp分析前処理分離条件決定			
(3)〔実用研究〕 計測機器とシームレスに接 続し自動化				テーラーメイド技術検討 ↓	実分析試料に最適化し た分析デバイスの製作 ▲		
(4)〔実証研究〕 実分析への適用性評価					ニーズ部署施設にて実証試験		
予算(百万円)		13.5	15	8	8	8	8

< 52/89 >

1



分析前処理の自動化技術の状況

【研究の目的】

機構共通の技術的課題：放射性廃棄物の安全かつ合理的な処分技術の確立

- ・ 放射性廃棄物は多種多様：廃液、がれき、鉄くず、スラッジ、etc.
- ・ インベントリ対象核種の数が多い：主要38核種

このため、放射能、質量分析等の計測に先立つ
化学的な前処理に多くの労力と時間が必要

⇒処分コストを増大させる要因

機構内ニーズ

原科研における放射性廃棄物分析の現状

- ・ 年間20試料×20核種の化学分析を実施
- ・ 1分析あたり3～5日間要する。（平均4日）

分析コスト（1試料・核種あたり）

派遣分析者	約330,000円
分析の外注費用	約250,000円

分析コスト削減ニーズ

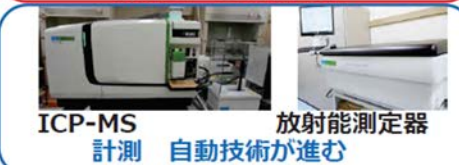
- ・ 機構内の処分対象ドラム缶本数

	原科研(使用施設)	機構全体(機構外も含む)
トレンチ処分	3万4千本	37万本
ピット処分	3万3千本	23万本

合理的な処分のため、多数の廃棄体を効率よく分析する前処理技術の開発



原子価調整 カラム分離 沈殿分離
前処理 主に手作業



ICP-MS 放射能測定器
計測 自動技術が進む

< 53/89 >

2



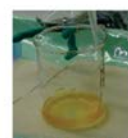
分析前処理の自動化技術の状況

分析合理化のボトルネックとなる原因 技術課題

- ・ 前処理は複数の化学操作の組合せ
- ⇒核種毎に専用のデバイスを開発することは不合理
- 各操作を要素技術として簡易・省力化し、パッケージ化
- ⇒多様な核種分析に適用が可能

【実施内容の概要】

- ・ 分析機器への接続を念頭に、化学処理を流液化、小型化
- ・ 化学状態制御デバイスと分離濃縮デバイスを開発
- ⇒これらを組み合わせてパッケージ（集積）化、様々な核種分析へ対応可能



原子価調整

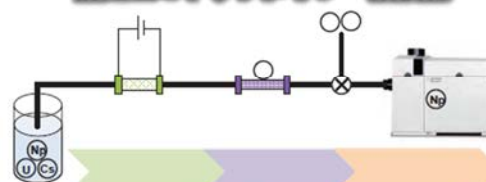


カラム分離
主に手作業



沈殿分離

前処理のトップダウン・集積化



分析のシームレス化

- ・ ウランを対象に小型分離デバイスを開発（R4までに開発済み）
- ・ イオンの化学状態の制御デバイスを開発（R5での開発目標）



小型分離カラム

< 54/89 >

3



分析前処理の自動化技術の状況

【達成目標】

計測の前処理を自動化するデバイスを開発し、実試料分析に適用する

放射性廃棄物の核種分析を合理化する技術開発として、高感度な核種定量装置であるICP-MSの前処理デバイスを完成させ、実試料に適用する。

本技術の有用性・拡張性

本課題で開発する技術はICP-MS及び放射能測定で行う核種分析の前処理に適用可能
具体例は次のとおり

Se-79, Tc-99, U, Np-237, Pu-238, 239, 240, 241, 242

但し、分析対象核種は、廃棄物の発生施設、発生源により個別に考慮される。

ICP-MS分析を実施する**全拠点へ展開可能**

今後の分析ニーズの拡大見通し

- ・ 廃止措置対象施設 原科研31施設、機構全体79施設

廃棄物の放射能データを**施設ごとに実分析するニーズ**が発生

- ・ 高放射能の余裕深度処分廃棄物（TRU廃棄物）の分析ニーズが発生

手作業での分析が困難なセル内での分析が必要→**自動分析システムが必須**

本技術はこれらの将来的な分析ニーズ・課題も解決できる。

< 55/89 > 4



分析前処理の自動化技術の状況

【技術の将来展望】

実装に向けて

- ・ 機構内で研究所廃棄物の分析現場における、放射性廃棄物の性状や放射性核種に応じた分析ニーズを汲み上げ、前処理デバイスをアレンジする技術検討（テラーメイド）を行い、実証試験を展開する。【原科研 放射性廃棄物管理技術課と連携】

- ・ 1F廃炉における廃棄物分析への適用に向け検討を進める。【CLADS放射性廃棄物処理研究Grとの連携】

期待されるアウトカム

放射性核種の自動分析システムによる**分析コスト削減**

本技術により、1分析あたりの作業日数を1日に短縮可能

約40,000円（1試料・核種あたり） **分析コストを87.5%削減**

アウトカムを検証する方法

分析現場での実証試験を実施し、分析精度、分析時間、費用等について従来の手順による核種分析との比較を行う

< 56/89 > 5



分析前処理の自動化技術の状況

【体制(人員動向)】



【他機関、他部門との連携】

原科部門、福島部門による連携

【予算動向に関する情報】

R5年度理事長裁量経費
予算総額 13,500千円

6

< 57/89 >

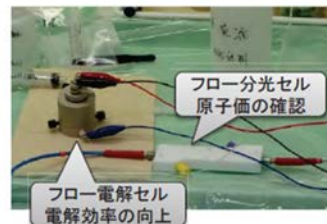


分析前処理の自動化技術の状況

【令和5年度の成果】

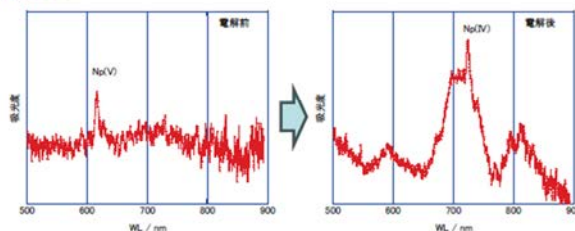
実施内容

- 高濃度ウラン含有試料中のNp-237分析を想定
- 小型フロー電解セルによるNpの電解還元試験



成果

- 未修飾のカーボン電極による電解
フロー分光測定によりNpの酸化状態変化をモニタ
→電解電位-0.25 VまでNp(V)の還元は見られない
- 白金修飾による電極触媒効果の検証
→Np(V)からNp(IV)への電解還元成功
全量還元を達成できる電解電位を決定
- 送液速度の最適化
→分離カラムへの接続に適した試料溶液の送液速度を決定



電解還元によるNpの原子価変化

白金修飾電極を用い、0 V vs SSEの電位での電解により全てのNpをNp(IV)へ還元可能

第一段階の「小型化要素技術開発」は計画通り終了

7

< 58/89 >



レーザー除染技術開発

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門
人形峠環境技術センター

< 59/89 >



レーザー除染技術開発の背景

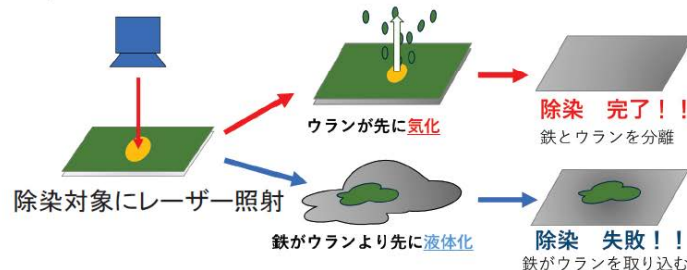
集合型遠心機



人形峠では集合型をはじめとした遠心機の除染を進める必要があった
【ニーズ】除染のコスト及び発生する放射性二次廃棄物量の低減

エネルギー（光と熱）で付着物の除去を行うレーザーに着目

低レベル化は可能だが母材が溶解し、汚染物を取り込む恐れがある
⇒ クリアランスレベルの到達は困難



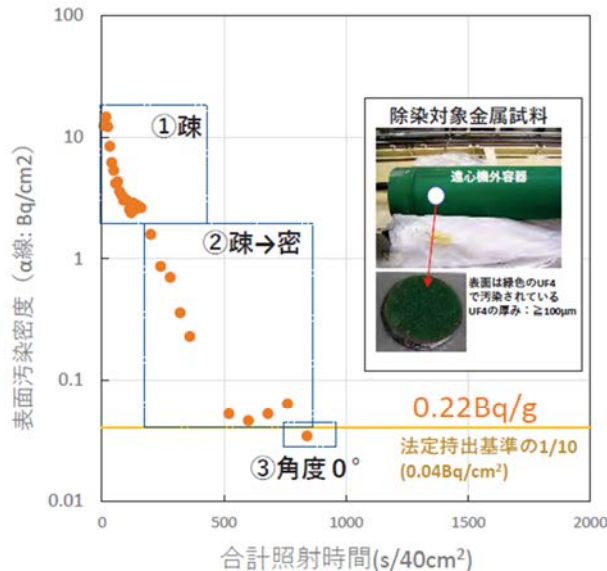
クリアランスレベルの到達には
除染対象部材の汚染の状況や母材材質、表面状況を詳細に分析を行い
最適なレーザー照射条件を見出す事が重要

1

< 60/89 >



R5年度までの人形峠環境技術センターにおける開発状況



事前にいくつかの照射試験を行った結果、
**単純に出力を上げても
目標基準(α線量:0.04Bq/cm²)を
クリアすることはできない**

照射条件変更

- ①金属への取り込みを懸念
疎(弱く)で照射
- ②照射密度: 疎 → 密
出力: 一定(弱)

最後の一回で角度変更(出力向上)

- 20度 0度
- 照射角度20° → 0° (真上から)

ラボ試験レベルでクリアランス基準、持出基準ともにクリア

< 61/89 >

2



レーザー除染技術開発の状況

【本プロジェクトの目的】

- ・使用済み遠心機を対象とした実規模スケールでのクリアランス実証
- ・遠心機以外の汚染部材・核種に対するレーザー除染の有効性の評価【他拠点のニーズ】

【実施体制】

リーダー部署: 核燃料・バックエンド研究開発部門 人形峠環境技術センター 廃止措置推進課

協力部署: 高速炉・新型炉研究開発部門 敦賀総合研究開発センター レーザー・革新技術共同研究所
敦賀廃止措置実証部門 敦賀廃止措置実証本部 廃止措置推進室 廃棄物処分計画グループ
核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 再処理廃止措置技術開発センター
核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター
原子力科学研究部門 原子力科学研究所 臨界ホット試験技術部

【他機関との連携】

九州大学 大学院工学研究院エネルギー量子工学部門 有馬 立身
東北大学 東北大学 原子炉廃止措置基盤研究センター 佐藤 修彰
ライテック株式会社 高橋 良夫

< 62/89 >

3



レーザー除染の実用化に向けた5ヶ年計画

実施項目	第4期				
	令和5年度	令和6年度	令和7年度	令和8年度	令和9年度
基礎情報整理	(1)除染対象材質の調査 (2)汚染核種の調査 (3)汚染・除染モデル設定 (4)除染性能評価 (5)レーザー照射による相互作用 ①熱力学解析 ②超高速カメラ撮影 (6)文献調査	(1)汚染模擬材除染試験 (2)レーザー照射による相互作用 ①熱力学解析 ②超高速カメラ撮影			
照射機構開発		(1)レーザー走査機構開発 (2)外観観察機構開発 (3)サーベイ機構開発			
回収機構開発			(1)汚染ヒューム回収機構開発 (2)再汚染防止機構開発		
総合照射試験				(1)総合照射試験 ①組立作動試験 ②全体調整	
実証試験	(1)許可変更申請 ①レーザー除染試験装置			(2)実証試験準備 ①許可変更申請 ②作業要領書(特作)作成 ③実機汚染回収装置準備	(1)実証試験 ①使用済み遠心機回転除染試験 ②評価
予算(百万円)	11	10	20	20	10
得たい成果	・レーザー除染が可能な汚染部材核種なのか? ・レーザー照射によって何が起るのか?	・最適なレーザー条件は? ・除染レベルは? ・(クリアランスレベル?) ・除染後のサーベイ方法は?	・ヒュームの回収方法は? ・再汚染防止対策は?	・使用済み遠心機を 対象とした場合の設備設計	・使用済み遠心機のレーザー 除染実証 ・湿式除染法の遠心機処理設 備へのレーザー除染法適用に よる処理コスト及び放射性廃 棄物の低減

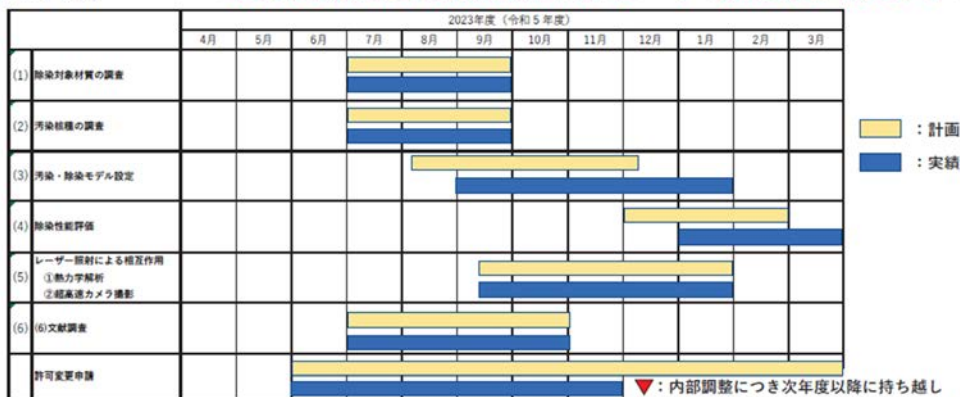
< 63/89 >

4



令和5年度実施内容と進捗状況

- (1) 除染対象材質の調査、 (2) 汚染核種の調査 ⇒ 協力部署からの情報提供及び現場での視察
 (3) 汚染・除染モデル設定、 (4) 除染性能評価 ⇒ 情報をもとに模擬試料を作製、レーザー照射
 (5) レーザー照射による相互作用 (九州大学で実施)
 ① 熱力学解析 ⇒ 材質及び汚染核種にレーザーを照射した際の熱力学的相互作用をCaTCalcで計算
 ② 高速度カメラ撮影 ⇒ レーザーを照射した際に物理的にどのような挙動をするかを撮影
 (6) 文献調査 ⇒ 国内外のレーザー除染やその他除染方法を調査
 許認可申請 ⇒ R9年度実施予定の実規模試験に向けてレーザー装置を設置可能にする



< 64/89 >

5



汚染状況調査結果

拠点名	設備・機器	形状(概略寸法)	表面構成材質	主な構成材質	核種
人形峠 環境技術センター	使用済み遠心機 (外容器)	円筒形(内径約200mm)	ブラスト処理済み	鋼材	ウラン
原科研 (ホットラボ)	鉛ブロック (トンク、鉛ガラス、 鉛含む)	1ブロック当たり: 100×100×200mm (約22.6kg) :約1,000個+α個↓ ・Jrセル及びS・Hセル: 279個(デモシヨコング技報)	表面処理なし	鉛(Pb)金属	【Jr(ジュニア)セル】 Rh-106 【S・H(セヒョットセル)】 Eu-154, Eu-155, Cs-137, Ce-144, Co-60
	鉛ブロック(トンク、 鉛ガラス、鉛含む)	1ブロック当たり: 100×100×200mm (約22.6kg) :約1,000個+α個↓	表面処理なし	鉛(Pb)金属	【U/M(ウランマグノックス)用鉛セル】 Cs-137, Am-241
	重コンクリートセル	○各セル ○冶金 複数	床:鉄4.5mm (樹脂系塗装) 壁:樹脂系塗装	コンクリート	Am-241 Co-57 Cs-137 Co-60
核サ研 (再処理廃止措置技 術開発センター)	フィルタケーシング	箱型 (1,700mm×2,400mm×750mm) 厚さ4mm 開口部700mm×400mm程度	不明	鋼材 一部ステンレス	¹³⁷ Cs(10%) ²⁴¹ Am(90%)
敦賀廃止措置 実証本部 (高速増殖原型炉 もんじゅに適応を 想定)	ナトリウム機器 配管等	ナトリウム機器・配管等により多種多様	SS400製のフィルタケーシング 内外面:表面塗装 ステンレス製は塗装なし	ステンレス鋼	H-3 Na-22

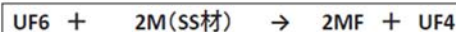
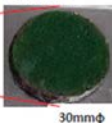
母材はステンレス鋼、鋼材、鉛、コンクリートが主、元素はRh、Eu、Cs、Ce、Co、Am
Am以外は安定同位体により、コールド除染試験が可能

< 65/89 >

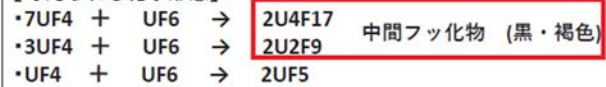
6



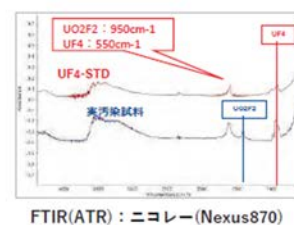
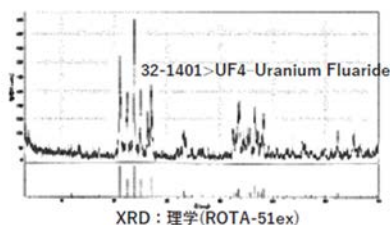
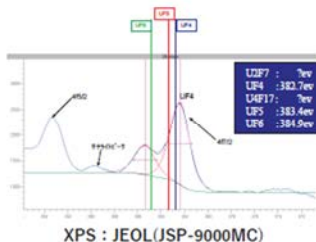
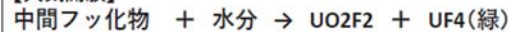
人形峠の汚染物の化学状態



【考えられる化学形態】



【大気開放】



組成分析により解体時の汚染物の化学形態は UF_4 と UO_2F_2 と推定

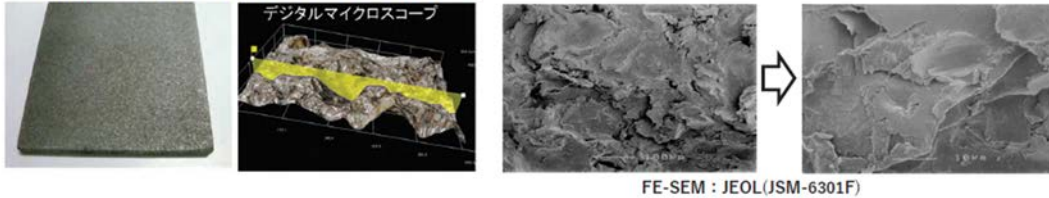
< 66/89 >

7

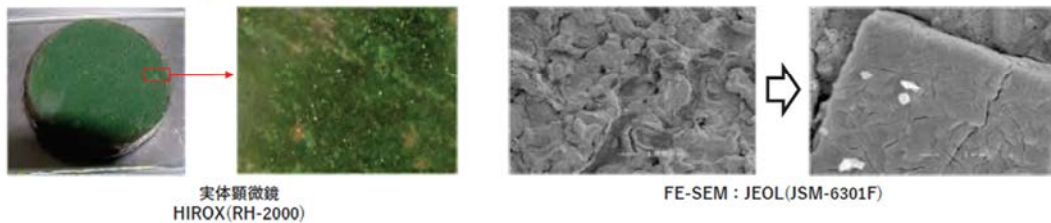


人形峠の汚染金属試料の付着状態

未汚染の金属母材の表面観察 (SEM)
(外容器 (輻射率確保のためブラスト処理))



採取した汚染金属試料(外容器)



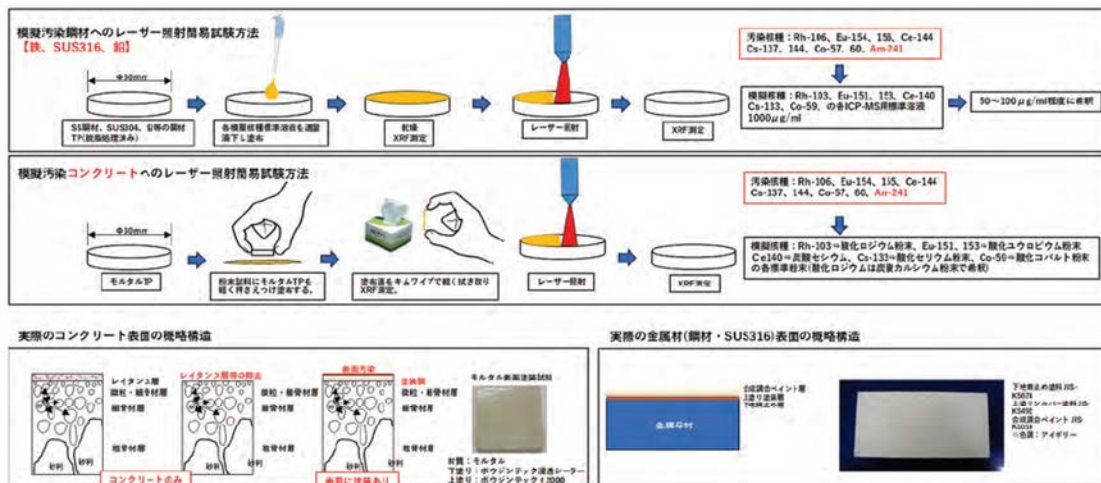
汚染物はブラスト処理した金属表面にポーラス状態に存在

< 67/89 >

8



模擬汚染試料の製作方法



パルスレーザー (人形峠)、cwレーザー (敦賀) で照射実施

< 68/89 >

9

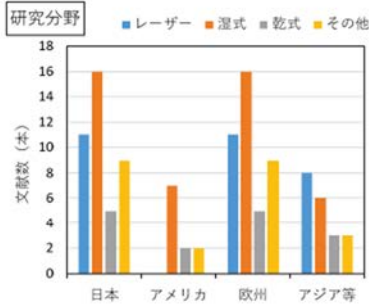


文献調査の方法と結果

文献調査の方法

- ① 除染に関する検索キーワード(対象建材、除染方法等)を組み合わせ検索(約2600件検出)
- ② 関連度が高そうな文献を抽出(80件)
- ③ 文献解析

・研究機関の所属国
・各国の研究分野
・除染方法(レーザー除染、レーザー以外、その他)
・対象核種
等



レーザー除染に関する文献本数

	パルス 1発ずつ照射	CW 連続照射
金属	15	6
コンクリート	0	8

- ・パルスレーザーによるコンクリート除染の報告なし
- ・鋼材上のCo、Cs、Eu、Ceに対するファイバーレーザーやYAGレーザーを利用したレーザー除染報告が数件あるが、クリアランスは不可
- クリアランスには短波長が有効との報告があった ⇒ **レーザー波長選択が重要?**¹⁰

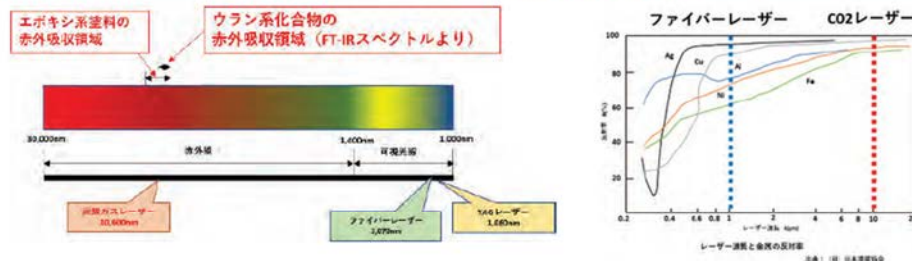
< 69/89 >



今後の予定と展望

鋼材上のウラン除去に有効と考えられる炭酸ガス(CO₂)レーザーで試験を計画

炭酸ガスレーザーの波長は、ウラン系化合物やエポキシ系塗料の赤外吸収領域と同じ赤外線領域であり、高出力の赤外レーザーの照射により分子はレーザー光と共鳴する振動モードを窓口として高振動励起状態になり、その内部エネルギーが分解に必要なエネルギーを越えると分解が起こり昇華・蒸散する場合が多い。また、炭酸ガスレーザーは金属に反射するため、汚染母材への影響がほとんど無い。回収したウラン酸化物を核燃料物質と定義できる物性・純度であれば、二次発生廃棄物量を大幅に低減できる可能性がある。



炭酸ガスレーザーを金属に照射すると、反射したレーザー光が本体の光学系に入り、故障する。その対策費が高額となり委託契約による試験はできなかった。【事前の打合せでは了解して頂いていた。】

そこで、R5年度にUVレーザー(短波長)を購入した
今後、照射試験を実施予定

< 70/89 >



以下、参考資料

< 71/89 > 12



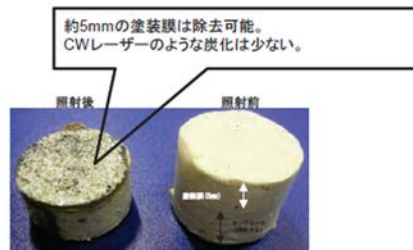
CO₂レーザー除染技術開発の状況

Synrad製炭酸ガスレーザー仕様

発振波長: 10,600nm
最大出力: 200 W



コンクリート表面5mm厚塗装試料



コンクリート表面5mm厚塗装試料表面への炭酸ガスレーザー照射

約5mmの塗装膜は除去可能。
CWレーザーのような炭化は少ない。

- ・炭酸ガスレーザーで厚い塗装膜の除去は可能。(塗装膜に非常に有効)
- ・ミラー伝送のため、レーザーの伝送に制約が多い。
- ・モルタル表面がガラス状に変質。

< 72/89 > 13



廃止措置における廃棄物の分割・ 収納方法の最適化手法の開発 (デジタル技術)

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門
安全研究センター 廃棄物・環境安全研究グループ

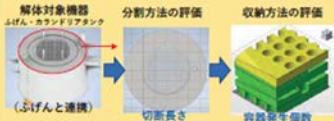
< 73/89 >



第4期中長期計画における取組み内容

1. 分割・収納方法の自動探索手法の開発

- ✓ 3DCADでの切断・収納の操作の自動化を実行する制御プログラムの開発

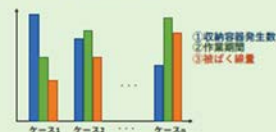


- ✓ 切断・収納の制約条件を調査（BE統括本部）
- ✓ 充填率の高い組み合わせを遺伝的アルゴリズムで自動探索し、最適化評価のための複数候補を選定
- ▶ 3DCADの機能を利用した自動探索コードの開発

実施項目と開発スケジュール

2. 切断・収納工程の最適化評価

- ✓ 1.の評価結果を取り込んで、切断と収納の組み合わせで、作業時間、被ばく線量等評価
- ✓ 複数の候補（ケース1～n）から最適な組み合わせを抽出（費用便益法など）



- ▶ 1.の評価結果と連動した廃止措置安全評価コードDecAssessの改良

3. 実際の解体作業への適用性の検証（ふげんと連携）

- ✓ 入力に必要な解体作業データの取得（切断片寸法、容器収納状況など）
- ✓ ふげんの機器を対象に最適化評価した切断・収納方法を提示して、ふげんで解体作業を実施
- ✓ 実際の切断片サイズ、収納状況や切断時間等のデータと比較して、適用性を検証し、合理化に有益であることを実証する



実施項目	R4年度	R5年度	R6年度	
1. 収納容器への高い充填率を実現するための分割方法と収納方法の評価手法（自動探索コード）の開発	切断片生成と収納の自動化機能の開発 作業実態に関する情報収集（BE統括本部と連携）	自動探索機能の開発		
2. 最適な廃止措置の作業工程の評価		DecAssessの改良	自動探索コードとDecAssess統合	
3. 実際の解体作業への適用性の検証（ふげんと連携）	検証作業に係る準備作業 3DCADデータの提供	ふげんでの検証データ取得	実際の解体作業への適用性の検証	
予算（理事長裁量経費）	8,700千円	21,200千円	21,200千円	51,100千円

< 74/89 >

JAEA 廃止措置における廃棄物の分割・収納方法の最適化の開発状況

背景・目的

- ✓ 廃止措置で一時保管エリアが逼迫し、解体作業が遅延するおそれ
- ✓ 放射性廃棄物を収納する容器の発生個数を低減できれば、一時保管エリアを確保でき、ひいては処分費用の軽減につながる

追加切断で充填率を向上させ、容器数低減

トレード・オフの関係 ▶ 最適化が必要

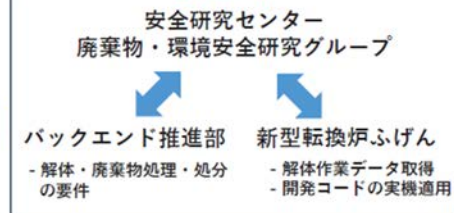
作業者被ばく線量・作業工数（コスト）は増加

研究アプローチ・開発手法

- ✓ 3DCADを活用した、充填率を向上させる機器の切断方法と切断片の容器への収納方法の特定（遺伝的アルゴリズムの導入）
- ✓ 収納容器数や被ばく線量などを指標とした最適化手法を開発
- ✓ 実解体作業への適用性検証（ふげん）

廃止措置安全評価コードDecAssessを活用

開発体制



解体作業への適用を通して、作業者の集団被ばく線量を制限しつつ、処理・処分を含めたコスト低減に貢献

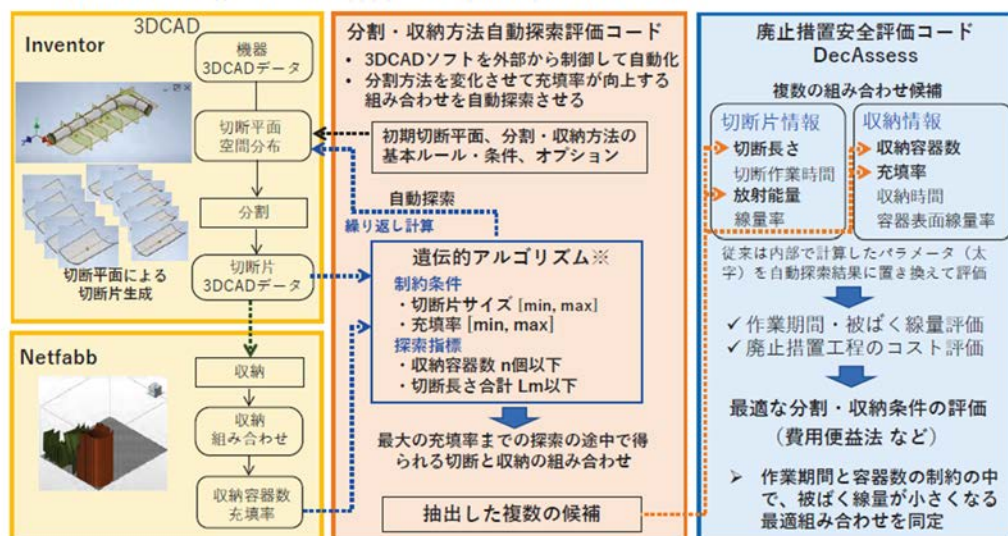
< 75/89 >

2



最適化評価に向けた評価コードの構成

3DCADを活用した、自動探索評価コードで候補となる切断・収納の組み合わせを複数選定し、DecAssessで作業データを評価して、最適な組み合わせを抽出



※3つ以上の組み合わせ候補をもとに、収納容器数が少なくなった条件を一部交換したり、条件を一定の確率でランダムに変化させて、収納容器数がより少ない結果を探索する。

< 76/89 >

3



3DCADの自動化機能（令和4年度の成果）

切断分割機能（Inventor）

- 作業平面での分割設定（基準面と面間隔、円周方向の分割数）

ふげんカランドリアタンク上蓋

直径7950mm

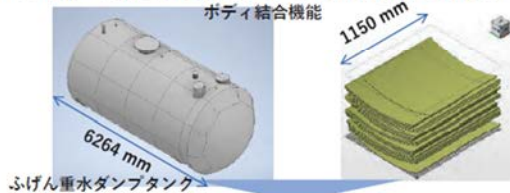
作業平面で分割

円管状の機器を任意の切断片大きさに切り出すことが困難

容器にフィットする切断片にならない

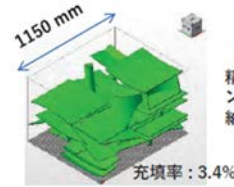
- 基準点から指定した切断片寸法で順次切断片を切り出し

ボディ結合機能

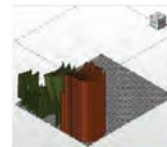


機器の分割と切断片回転の自動化を実現

切断片の容器収納機能（Netfabb）



（Netfabb・モンテカルロ法）
精度設定の条件を変化させてもモンテカルロ法では充填率の高い収納は見込めない（10%以下）



（Netfabb・接近法）
あらかじめ切断片を回転させ方向を揃えることで相互の距離を詰める方法



（Inventor・干渉チェック機能）
あらかじめ切断片を回転させ方向を揃えた上で、干渉チェック機能を活用し、順次配置する方法

切断片の容器内配置の自動化を実現した

InventorとNetfabbを同時に制御して、切断・収納の一括処理が実行可能になった

< 77/89 >

4



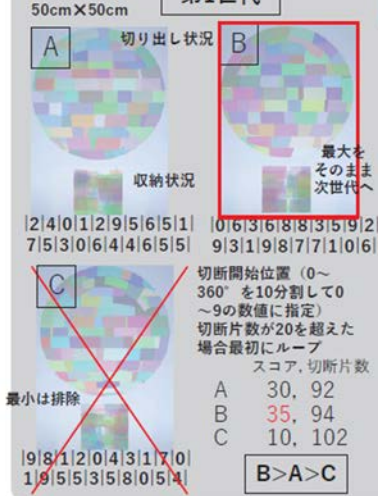
遺伝的アルゴリズム導入による充填率向上の例（令和5年度成果）

切断・収納対象物
ふげん重水ダンプタンクのドーム部

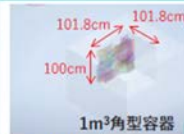
スコア算出
（充填率 - 切断長さ）

最大切断サイズ：
50cm×50cm

第1世代



ドーム部



第2世代



第3世代

GAにより世代を重ねることで高スコアの遺伝子を見つけることが可能になった

< 78/89 >

5



将来展望

- ✓ 機構の廃止措置施設全体への展開
- ✓ デジタルデコミッションング（DD）による廃止措置効率化の促進
 - 放射化計算ツールとの融合
容器内切断片配置による容器表面線量率低下方法の検討（被ばく線量低減）
 - 廃止措置エンジニアリング支援システムなどとの統合
- ✓ すでに収納されている廃棄物の最適化
 - 充填率の低い廃棄物収納容器の詰替作業で追加切断、収納方法の作業支援

X線CTによる非破壊・非開封の
内容物の3次元評価結果

3DCADデータ化



容器を開封して、内容物（切断片など）を3Dスキャナによって3DCADデータを取得し、最適化することも可能

- ✓ 商用化に向けたコード開発
 - 機構外の事業者での試験・実証
 - 広く利用してもらい、我が国全体の廃止措置活動を支援

< 79/89 >

6



廃棄物処理作業へのロボットの 適用に関する技術開発

令和6年3月8日

日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所

< 80/89 >



第4期中長期計画における取組み内容

令和5年度の実施計画

・廃棄物処理作業へのロボット適用のモデルケースとしてサイクル研ウラン系廃棄物処理で課題となっている様々な形状の使用済み排気フィルタの切断を選定し、小型のロボットを使用してこのための動作分析を行うとともに、今後の技術開発のベースとなるシステムの構築に向けて、産業用ロボットを使用できる試行エリアを整備する。これと並行して、放射性廃棄物処理作業におけるロボット利用に関する課題の調査や、フィルタ切断方法の検討を進める。

項目	R5	R6	R7	R8	R9
(1) ロボット利用に関する課題調査	廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の調査 切断作業に関するロボット利用課題の調査				
(2) 試行エリアの整備	エリア 整備				
(3) ロボットシステム構築・動作試験	小型ロボットによる検討 マスタスレーブシステムの構築・動作試験 ビジョンシステムの構築・動作試験				
(4) 切断システムの設計・開発	切断方法の検討 エンドエフェクタの設計・製作				
(5) 実スケールシステムの構築・実証試験				システム構築・切断試験	フィルタ切断実証試験
予算(百万円)	3.7	10	20	40	10

< 81/89 >

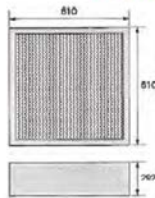


1. 開発の背景と目的(1/2)

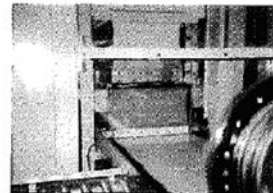
【背景】

- 近年、ロボットの利用ニーズが増加中・・・作業の人手不足の解消や効率化への期待
- 放射性廃棄物の処理作業については、被ばく量の低減や安全性の向上
- 廃棄物処理の現場におけるロボットの導入：主に特定の作業を行う専用機としての役割を持つ装置、ロボット
- 継続的に使用されている装置は少ない・・・専用機では対象とできる廃棄物の種類・形状が限られるという課題がある
- 様々な対象への拡大・・・現場の作業者がロボットに動きを教示しなおす必要
- 高度な知識が要求されるため、作業者が容易に実施できるものではないという課題がある
- 原子力施設では、マスタスレーブ型の遠隔操作がよく用いられてきた
- 補修等が容易でない環境における人為的な故障リスクを低減するために、作業者の高度なトレーニングが必要
- トレーニングによる作業者の認定制度を導入している現場もある

処理可能なフィルタの寸法



メディア打抜減容装置



出典：JNC TN8440 99-027

< 82/89 >

2



1. 開発の背景と目的(2/2)

【背景(続き)】

- 自律型ロボットの普及・・・近年急速に発達しているデジタル技術の利用
 - 作業者の負担がほとんどなく、扱いやすいシステムが利用可能
 - 但し、原子力施設においては、より高いレベルの安全性が求められることから、一般の産業界に比べて、最新技術の取り込みが慎重になり、遅くなる傾向があるという課題がある
- これらの先端的なロボット技術の利用に向けては、まずは比較的簡単な課題に対して実装し、効果を実証していくことが重要である

【目的】

- 最新のロボット技術を廃棄物処理に取り込み、様々な廃棄物処理のニーズに対応していくことを目的とする。
- 技術実装のモデルケースとして、サイクル研ウラン系施設以外の様々な部署(再処理施設、プルトニウム系施設)からのニーズがあり、物量が多くて処理が滞っている異種形状の使用済み排気フィルタの処理を選定し、ロボット技術を実装していくことを目指す。

現状



出典：JAEA-Technology 2016-024

実装イメージ



< 83/89 >

3



2. 方針と実施内容

【開発の方針】

- 現場実装までの期間・コストを低く抑え、汚染時の廃棄を容易にするため、**既成の汎用品をベースとしたシステムの構築を目指すこととし、足りない要素部分を開発製作する。**

【実施内容】

- (1) ロボット利用に関する課題調査 (R5～R9年度予定)
 - ・ 原子力施設においてこれまでに用いられてきたロボットシステムについて、実運用上どのような課題があるかについて調査する。また、特に切断作業に着目し、ロボットを利用する際の課題を調査する。
- (2) 試行エリアの整備 (R5年度終了予定)
 - ・ 産業用ロボットを用いた試験を実施するために、労働安全衛生規則150条の4に規定される危険防止措置を講じたコールドの試行エリアを整備する。
- (3) ロボットシステム構築・動作試験 (R5～R7年度予定)
 - ・ 小型のロボット(協働ロボット*)や中型の産業用ロボットを用いた動作試験により、フィルタの切断にロボットを用いる際に適した姿勢・制御方式を検討する。
 - ・ 原子力施設においてよく用いられるマスタスレーブ型の遠隔操作システムと、3Dカメラを用いたビジョンシステムを構築し、フィルタの切断に用いる際の利点を比較検討する。
- (4) 切断システムの設計・開発 (R5～R7年度予定)
 - ・ フィルタの切断に適した工具について比較検討する。
 - ・ 産業用ロボットに取り付けるためのフィルタ切断用工具を設計・開発する。
- (5) 実スケールシステムの構築・実証試験 (R8,R9年度予定)
 - ・ 実スケールのフィルタ切断に用いるシステムを構築し、動作試験を実施する。
 - ・ 構築したシステムを、異種形状フィルタ切断のコールド試験に適用し、効果を実証する。

*協働ロボット: 人と同じ空間で一緒に作業を行えるロボットのこと。

< 84/89 >

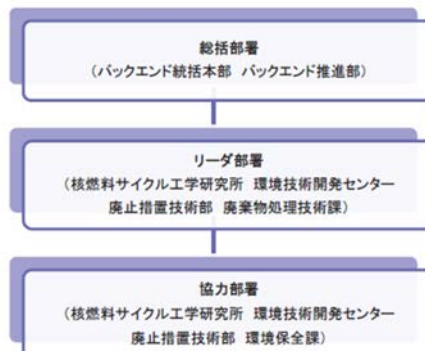
4



3. 実施体制

【体制】

- 以下の部署が連携した体制により開発を進める。
- ・ 統括部署: バックエンド統括本部 バックエンド推進部
原子力機構全体のバックエンド対策に関連した、優先的なR&Dテーマのマネジメントを実施する。
- ・ リーダ部署: 核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター 廃止措置技術部 廃棄物処理技術課
本開発テーマの推進に関する中心的役割を担う。
- ・ 協力部署: 核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター 廃止措置技術部 環境保全課
使用済み排気フィルタを保管しており、廃棄物や作業の情報交換及び開発成果の実装先として想定している。



< 85/89 >

5



4. R5年度の目標と成果(1/2)

【R5年度の目標】

- R5年度は、今後の開発に向けた試験環境の整備・課題の調査と、協働ロボットによるフィルタ切断動作を模倣した試験を実施し、ロボットの制御・配置に関する基礎的な検討を行う。また、切断方法の検討と、マスタスレーブシステムの構築・動作試験に着手する。

【R5年度の成果】※R5年度は下半期から開発に着手した。

(1) ロボット利用に関する課題調査

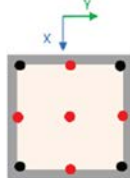
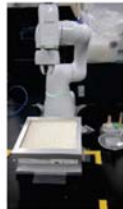
- ・ 機構内の実際のロボット使用施設を見学し、ロボットの展示会に参加した。また、ロボットを利用した技術開発に関する文献を調査した。これにより、ロボットを利用する際の課題(一部、背景に記載)や、最新のロボット開発の動向が把握できた。

(2) 試行エリアの整備

- ・ ロボットを稼働させるための試行エリアの準備のため、安全柵や架台の選定・発注を実施した。
- ・ 開発に用いるその他の物品(PC, 3Dカメラ等)、マスタスレーブ制御のためのソフトウェアや電源工事についても実施した。

(3) ロボットシステム構築・動作試験

- ・ 協働ロボット(デンソーウェーブ製COBOTTA)を用いて座標検出動作試験を実施し、フィルタの位置や寸法を自動で検出することができた。また、マスタスレーブ制御の準備を整えた。



・衝突検出により●の点の座標を取得し、四隅の位置(●の点)を計算

< 86/89 >

6



4. R5年度の目標と成果(2/2)

(4) 切断システムの設計・開発

- ・ 協働ロボットを用いた切断動作の模倣試験により、フィルタの切断にロボットを用いる際に適した姿勢・制御方式を検討している。
- ・ 今後の課題として、切断動作中にロボットを制御できなくなる姿勢(特異点)をとることがあることが分かった。より大きいロボットの利用に向けて、特異点をどのような操作によって避けることができるか、できるだけ大きなフィルタを切断するにはどのように配置するのがよいかについて調査している。

切断動作の模倣試験



ロボットの姿勢による可動範囲の調査



【その他】

- 人材育成の一環として、大学から学生を1名受け入れた。

【まとめと今後の予定】

- R5年度は、今後開発をしていくためのベースとなる設備の整備や基礎的な検討に着手した。
- 今後、上記課題の解決に向け、ロボットシステムの構築に関する知見を有する大学や企業との共同研究についても模索していく予定である。

< 87/89 >

7



以下、参考資料

< 88/89 > 8



年度ごとの実施内容・目標

項目	R5	R6	R7	R8	R9
(1) ロボット利用に関する課題調査	・【複数年継続】廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の整理 ・【複数年継続】切断作業に関するロボット利用課題の整理	・【複数年継続】廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の整理 ・【複数年継続】切断作業に関するロボット利用課題の整理	・【複数年継続】廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の整理 ・【複数年継続】切断作業に関するロボット利用課題の整理	・【複数年継続】廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の整理	・【複数年継続】廃棄物処理作業におけるロボット利用課題の整理
(2) 試行エリアの整備	・コールド試行エリアの整備				
(3) ロボットシステム構築・動作試験	・協働ロボットを用いた動作分析 ・マスタスレーブの連動動作	・マスタスレーブシステムによるフィルタ切断の模倣試験 ・3Dカメラの比較検討 ・カメラ取付位置の検討	・ビジョンシステムの構築 ・マスタスレーブシステムとビジョンシステムの比較検討		
(4) 切断システムの設計・開発	・切断工具の比較検討	・切断用エンドエフェクタの調査・設計	・切断用エンドエフェクタ製作		
(5) 実スケールシステムの構築・実証試験				・実スケール切断システム（プロトタイプ）の構築 ・フィルタ切断試験の実施	・異形フィルタ切断の実証

< 89/89 > 9

