

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術
の基盤研究事業
(プロジェクト)
技術評価報告書 (中間評価)

令和2年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業（プロジェクト）」は、原子力発電所や再処理施設等の操業・廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物に対応したガラス固化技術の開発を行うため、平成26年度より実施しているものである。

今般、省外の有識者からなる放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業中間評価検討会（座長：野村 茂雄 元 原子力損害賠償・廃炉支援機構 理事）における検討の結果とりまとめられた、「放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業（プロジェクト）技術評価報告書（中間評価）」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：森 俊介 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター 研究統括）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

令和2年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

委員名簿

座長	森 俊介	国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター 研究統括
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所 研究理事
	斉藤 栄子	With未来考研究所 代表
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント 研究科教授
	西尾 好司	文教大学情報学部情報社会学科 准教授
	浜田 恵美子	日本ガイシ株式会社 取締役

(敬称略、座長除き五十音順)

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業

中間評価検討会

委員名簿

座長 野村 茂雄	元 原子力損害賠償・廃炉支援機構 理事
浅沼 徳子	東海大学工学部原子力工学科 准教授
澁谷 進	公益財団法人原子力研究バックエンド推進センター フェロー
関 哲朗	文教大学情報学部情報社会学科 教授
山田 基幸	原子力発電環境整備機構 技術部 部長

(敬称略、座長除き五十音順)

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業

技術評価に係る省内関係者

【中間評価時】

(令和元年度)

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課長
久米 孝(事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

(平成 28 年度)

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課長
覚道 崇文(事業担当課長)

大臣官房参事官(イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【事前評価時】(事業初年度予算要求時)

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課長
小澤 典明(事業担当課長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 飯村 亜紀子

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術 の基盤研究事業

中間評価（令和元年度）の審議経過

◆「放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業」評価検討会 第1回評価検討会（令和元年11月25日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（令和2年1月17日）

- ・技術評価報告書（中間評価）（案）について

◆産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ （令和2年2月19日）

- ・技術評価報告書（中間評価）（案）について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

委員名簿

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 中間評価検討会 委員名簿

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 技術評価に係る省内関係者

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 中間評価の審議経過

目次

ページ

I. 放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業（プロジェクト）の概要

A. ガラス固化技術の基盤整備	I-A-1
1. 事業アウトカム	I-A-3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	I-A-4
3. 当省（国）が実施することの必要性	I-A-8
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップ	I-A-8
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	I-A-11
6. 費用対効果	I-A-12
B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討	I-B-1
1. 事業アウトカム	I-B-2
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	I-B-3
3. 当省（国）が実施することの必要性	I-B-7
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップ	I-B-8
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	I-B-8
6. 費用対効果	I-B-9

II. 外部有識者（評価検討会等）の評価

A. ガラス固化技術の基盤整備	
1. 事業アウトカムの妥当性	II-A-1
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	II-A-2
3. 当省（国）が実施することの必要性の妥当性	II-A-3
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップの妥当性	II-A-4
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	II-A-4
6. 費用対効果の妥当性	II-A-5
7. 総合評価	II-A-6
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	II-A-8
B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討	
1. 事業アウトカムの妥当性	II-B-1

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	Ⅱ－B－2
3. 当省（国）が実施することの必要性の妥当性	Ⅱ－B－2
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップの妥当性	Ⅱ－B－3
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	Ⅱ－B－4
6. 費用対効果の妥当性	Ⅱ－B－5
7. 総合評価	Ⅱ－B－5
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	Ⅱ－B－7

Ⅲ. 評点法による評点結果

A. ガラス固化技術の基盤整備	Ⅲ－A－1
B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討	Ⅲ－B－1

Ⅳ. 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

Ⅳ－1

I . 放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の
基盤研究事業
(プロジェクト) 概要

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業
（ガラス固化技術の基盤整備）
技術評価報告書（中間評価）

プロジェクト名	放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 （ガラス固化技術の基盤整備）
行政事業レビューとの関係	平成 31 年度行政事業レビューシート 0330
上位施策名	エネルギー基本計画
担当課室	資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 我が国では、使用済燃料を再処理した際に生じる高レベル放射性廃液については、日本原燃の六ヶ所再処理工場においてガラス固化技術が実用化されている一方、原子力発電所等の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃液等のガラス固化技術については、高レベル放射性廃液と異なり、組成が多種多様であり技術的に容易では無いことから、国内における研究開発は手付かずの状況である。他方、韓国では廃棄物を粉体状で保管する事が禁止されており焼却に代わる減容化が必要であるため、仏国では再処理施設等の廃止措置時に発生する廃棄物を安定的に保管するため、米国では軍用施設で発生した廃棄物を安定した状態で処理・処分するため、既にガラス固化処理が実用化されている。今後、我が国では原子力発電所等の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃棄物等についても安定的な処理が求められることが想定され、ガラス固化の技術的可能性について検討しておくことは重要である。また、高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術についても、更なる廃棄物の減容化を可能とするガラス組成及び熔融炉の運転制御技術の開発の実施により、最終処分という国が前面に立つべき課題の解決に資することとなる。 当初、本事業は使用済ウラン燃料の再処理等において発生する放射性廃棄物を対象とし、平成 30 年度に事業を終了する予定であったが、平成 30 年 7 月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、使用済MOX燃料の処理の方策について引き続き研究開発に取り組みつつ核燃料サイクル政策を推進することとされたことから、これを踏まえた新たな技術開発に着手することとなった。具体的には、これまで開発してきた技術を活用して、使用済燃料の再処理等において発生する様々な種類の放射性廃棄物について、高充填化を妨げる白金族元素の凝集を抑制する技術や、長寿命または発熱性の高い核種を分離する技術等を開発することを目的として、令和 6 年まで継続実施することとする。	

予算額等（委託）				（単位：百万円）
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 2 6 年度	令和 6 年度	令和元年度	令和 6 年度	株式会社 IHI 日本原燃株式会社 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 一般財団法人電力中央研究所
H28FY 執行額	H29FY 執行額	H30FY 執行額	H26～H30FY の 総執行額	総予算額
655	336	368	2, 704	6, 904

※総予算額は平成 26 年度から平成 30 年度執行額と令和元年度から令和 6 年度予算額の合計

A. ガラス固化技術の基盤整備

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
低レベル放射性廃棄物の成分に適したガラス組成の開発及びそれに対応する信頼性の高いガラス溶融炉の運転制御技術の基礎試験等を実施することにより、低レベル放射性廃棄物の減容化、安定化に優れたガラス固化技術の基盤を整備する。 また、それら基盤整備で得られた知見を反映し、国内で実用化されている高レベル廃液のガラス固化の高度化についても検討することにより、多くの廃棄物（現状の廃棄物充填率の2～3割向上を目指す）を安定的に取り込むことができるガラス固化技術の基盤を整備する。 さらに、上記の技術を活用し、燃料多様化に伴い発生する様々な種類の高レベル放射性廃液をガラス固化できる技術を開発し、放射性廃棄物の一層の減容化技術の基盤を整備する。 これら基盤の整備により、今後の実証・実用化の道筋をたてる。		
指標目標値		
事業開始時 (平成26年度)	計画： ① ガラス固化技術に係る様々な関係者の協力の下で実施し、外部有識者による研究開発計画等の評価、助言を得ることができる体制を構築する。	実績：目標達成度 100% ①研究機関、再処理事業者、溶融炉メーカー等のガラス固化に係る関係者が参加する体制を組むとともに、有識者、ガラス産業界等から構成される研究評価委員会（3回/年）を設置し、評価、助言を得ながら事業を進める仕組みを構築した。
中間評価時 (平成27年度末)	計画： ①高充填化が可能なガラス組成を探索できるデータベースの基本設計を行う。 ②文献調査等により、評価項目、管理基準の設定、評価方法を検討する。 ③低レベル放射性廃棄物の性状を明らかにし、ガラス化が可能な廃棄物を選定する。 ④高レベル放射性廃液の充填率を2～3割向上できるガラス固化技術を開発する。	実績：目標達成度 100% ①既存のデータベースと連携可能なデータ構造、仕様を決定しプログラミングに着手した。 ②実用化に必要な評価項目、基準値を設定した。 ③ガラス固化が適用されていない低レベル放射性廃棄物に対してガラス化できる組成候補を選定した。 ④高レベル放射性廃液を模擬した廃液を用い廃棄物充填率を3割以上向上できる候補組成を選定した。
中間評価時 (平成30年度)	計画： ①放射性廃棄物について、ガラス固化体中への充填率や品質等の観点から有望なガラス組成を選定・開発できるプラットフォームを構築する。	実績：目標達成度 100% ①ガラス固化体中への充填率や品質等の観点から有望なガラス組成を選定・開発できるプラットフォームを構築した。 ②放射性廃棄物の高充填が可能な組成、

	②放射性廃棄物の高充填が可能な組成、溶融炉方式および運転制御方法を選定する。 ③低レベル放射性廃棄物ガラス固化体については、処分時の管理基準を提案する。	溶融炉方式および運転制御方法を選定した。 ③□低レベル放射性廃棄物ガラス固化体の処分時の管理基準を提案した。
終了時評価 (令和6年度)	計画： ①燃料の多様化に伴い、これらを再処理した際に発生する様々な高レベル廃液に対する処理・貯蔵・処分の技術的見通しを得ると共に、開発課題を抽出する。また、廃液から MA 分離技術を開発する。 処理・貯蔵・処分の全体最適化を進めると共に、工学的成立性に向けた課題を抽出する。 ②ウラン廃棄物からウランを分離または除染する技術の実用化に目途をつける。	実績：—
目標最終年度	計画： 低レベル放射性廃棄物の溶融ガラス化技術の技術的な知見が詳細に整備されることで、原子力発電所等の操業・廃止時に発生する低レベル放射性廃棄物の処理方法の一つとして評価することが可能となる。その知見に基づき低レベル放射性廃棄物の合理的な処理、処分方法についての議論が進展する。 ガラス固化技術の基盤が整備されることにより、高レベル放射性廃液のガラス固化技術が向上し、廃棄物充填率を 2～3 割増加させることで、六ヶ所再処理工場にて発生するガラス固化体については約 8000 本～12000 本の低減が期待でき、最終処分場面積の縮減も期待できることから、それらに係るコスト低減、立地選択肢の拡大等が期待できる。さらに、上記の技術を活用し、燃料多様化に伴い発生する様々な種類の高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた技術的課題の解決に道筋をつけ、核燃料サイクル政策の推進に資する。	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

(1) 研究開発内容

廃止措置等で発生する対象とする低レベル放射性廃棄物の性状を明らかにし、溶融ガラス化が可能で廃棄物成分をより多く安定的に取り込むことができるガラス組成を開発する。また、含有させる廃棄物を増加させると成分の一部が結晶として析出し、ガラス固化体の安定性が低下する等の問題が生じるため、成分の析出を防止する溶融炉運転技術（温度管理、攪拌等）を開発する。低レベル放射性廃棄物等のガラス固化技術の研究で得られた成果を踏まえつつ、高レベル放射性廃棄物の

ガラス固化技術についても、さらなる廃棄物の充填率向上（２～３割向上）を可能とするガラス組成及び溶融炉の運転制御技術を開発する。なお、将来発生する廃棄物について、最適なガラス固化条件を短期間で効率的に探索するため、上記の結果（組成探索・運転制御）を踏まえたガラス固化技術に係るデータベースを構築する。

さらに、上記の技術を活用し、燃料多様化に伴い発生する様々な種類の廃液に応じて溶融・固化プロセスを改善し、溶融炉の運転において問題となるイエローフェーズの生成や白金族元素の沈降を抑える技術等を検討するとともに、廃液から長寿命で発熱性の高い核種の分離技術を開発することで、燃料の多様化に伴い発生する廃液に対する安定固化方法を確立し、最終処分までのシナリオ検討を行い、課題抽出を行う。

（２）事業アウトプット

事業アウトプット指標		
多種多様な低レベル放射性廃棄物の組成に対応可能なガラス材料の検討に必要な情報を整理するため、原子力発電所や再処理施設等の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃棄物の組成を調査する。 多くの高レベル放射性廃液を安定的に処理できるガラス溶融技術の検討を行うため、国内外の文献等を調査し、有用なガラス組成について把握する。 諸外国で研究・実用化が行われているガラス固化技術の実態について調査する。 上記調査の結果等を踏まえ、ガラス組成及び廃棄物組成の関係性等、ガラス固化技術に係るデータベースを作成する。 上記の技術を活用し、燃料多様化に伴い発生する廃液に対する安定固化方法を確立し、放射性廃棄物の一層の減容化を実現する。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成２６年度）	計画： 最終目標（平成３０年度末時点） ①低レベル放射性廃棄物をガラス化できる組成を把握し、ガラス溶融方式の選定、運転方法を確立する。 ②ガラス固化に係る過去の知見および本事業で得た成果を反映したデータベースを作成する。 ③高レベル放射性廃液の充填率を２～３割向上できるガラス固化技術を開発する。	実績：－
中間評価時 （平成２７年度末）	計画： 中間目標（平成２７年度末時点） ①ガラス固化が可能な低レベル放射性廃棄物を選定する。	実績：目標達成度 100% ①ガラス固化が可能な低レベル放射性廃棄物６種類の非放射性の組成模擬物に対してガラス化できる候補組成を選定

	②国内外のガラス溶融炉の調査を行い、ガラス固化に適した溶融炉を選定する。 ③低レベル放射性廃棄物の実用化に必要な評価項目を設定する。 ④データベースへ登録する項目の整理、基本設計を行う。 ⑤小規模の試験にて高レベル放射性廃液の充填率を2～3割向上できるガラスマトリックスを開発する。 ⑥文献等を調査し、廃棄物充填率を向上できる運転制御技術についてガラス溶融炉を用いた試験を行い適用性を確認する。	した。 ②上記廃棄物のガラス固化に適したガラス溶融炉を2種類（CCIM, プラズマ）選定した。 ③ガラス固化体の製造、処分の観点から特性評価項目を20件設定した。 ④既存のデータベース（INTERGLAD, FactSage）と連携可能なデータ構造、仕様の設計を行い、プログラミングに着手した。 ⑤高レベル放射性廃液を模擬した非放射性溶液で廃棄物充填率を3割向上できる組成を4種類開発した。 ⑥文献調査の結果、廃棄物充填率の向上を見込める運転制御技術を4件選定し、そのうち1件について処理能力が向上することを確認した。
中間評価時 （平成30年度）	計画： ①低レベル放射性廃棄物をガラス化できる組成を把握し、ガラス溶融方式の選定、運転方法を確立する。 ②ガラス固化に係る過去の知見および本事業で得た成果を反映したデータベースを作成する。 ③高レベル放射性廃液の充填率を2～3割向上できるガラス固化技術を開発する。	実績：目標達成度 100% 低レベル放射性廃棄物6種類に対して、製造、処分の観点から、重要な5項目について特性評価を行い、選定された溶融炉方式を用い、特定の廃棄物において、運転方法を確立した。 ②本事業で得られたガラスの基礎データも含め、データを格納し、物性が予測可能なツールを作製した。 ③製造処分の観点からの特性評価、運転方法（原料の小径化等）を検討し充填率を2～3割向上したガラス固化技術を開発した。
終了時評価 （令和6年度）	計画： ①使用済燃料多様化に伴って発生する様々な廃液に対する安定固化方法を確立する。 ②液から高分離効率でマイナーアクチニド（MA）を分離するプロセスを確立する。	実績：－

	③高ウラン濃度廃棄物の減容化技術を確立する。	
--	------------------------	--

< 共通指標実績 >

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実 施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
12	0	1	0	0	0	1

3. 当省(国)が実施することの必要性

本事業で対象とする原子力発電所等の操業・廃止から発生する廃棄物は、事業者には処分責任があるものの、多種多様の廃棄物に適したガラス組成の選定とそれに対応する信頼性の高い固化技術を開発するため、技術的難度を有するとともに多額の開発費用と長期の開発期間を要する。このため、民間事業者にとっては開発リスクが高い事業であり国の主導で行う必要がある。

低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術は、将来当該技術を使用する原子力事業者が多数にわたるとともに、今後の原子力発電所等の原子力施設の廃炉措置の円滑化にも資するものである。また、高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術については、最終処分という国が前面に立つべき課題の解決に資するものである。

ガラス固化技術は困難性を伴う研究課題であり、各国ではその取組を国の研究機関がプロジェクトとして実施しており、我が国においても国が前面に立つことにより、放射性廃棄物の処理、最終処分問題に対して、事業者、研究機関、大学、企業等国内外の英知を結集したオールジャパン体制での対応が可能となる。

平成 30 年 7 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、使用済 MOX 燃料の処理の方策について、引き続き研究開発に取り組みつつ、核燃料サイクル政策を推進すること、また、核燃料サイクルの重要なプロセスとして、放射性廃棄物を適切に処理・処分し、その減容化・有害度低減のための技術開発を推進すること、特に高レベル放射性廃棄物については国が前面に立って最終処分に向けた取組を進めることが明記されている。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

(1) 平成 26 年度の成果

- ①低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の調査のため、国外においては、既にガラス固化を実施している研究機関および民間事業者へのヒアリング、国内においては、原子力発電所および再処理事業者からヒアリングを行い、ガラス固化に資する廃棄物を整理し、本事業にて対象とする廃棄物を選定した。また、文献調査を行い、高充填化が見込める廃棄物組成および運転制御方法を選定し、一部の廃棄物組成については、 SiO_2 , Na_2O , B_2O_3 , Al_2O_3 の添加量に着目し熔融ガラス化の適用性試験を行った。
- ②現在、日本原子力研究開発機構が保有しているガラス組成および特性データとの連携を図る既存のデータベースや計算ソフトウェアを調査し、a. 熱力学平衡計算ソフト FactSage、b. 国際ガラスデータベース INTERGLAD、c. 統合型熱力学計算システム Thermo-Calc を抽出し利用方法および必要となる機能について整理した。
- ③ガラスマトリックスの調査において、開発シーケンスおよび評価項目を設定した。評価のフローとしては、熔融ガラス化の有効性を確認できる基本特性を評価する一次サーベイ、ガラス熔融炉の選定およびプロセス検討に必要な特性を評価する二次サーベイを行い、実用化に向けたガラス組成を設定する事とした。
- ④高レベル放射性廃液の高充填化については、現在、再処理工場にて使用している原料ガラスを一部改良し、ガラス化試験を行った。具体的には、B/Si 比、バナジウム添加量、リン添加量に着目したガラスマトリックスにてるつぽ規模での試験を行い、廃棄物充填率を 5 割上昇させた組成で、一部耐水性が劣るガラスがあったものの、高充填ガラスを作製できる見通しを得た。

（２）平成 27 年度の成果

①低レベル放射性廃棄物 6 種類の組成模擬物に対してガラス化できる候補組成を選定し溶融ガラス化試験を実施した。具体的には、イオン交換樹脂、焼却灰、アルミニウム類、ホウ酸系濃縮廃液（2 種類）、有害物を含有する廃棄物にて溶融ガラス化が可能な見込みを得た。

また、上記廃棄物のガラス固化に適したガラス溶融技術を 2 種類選定した。具体的には、コールドクルーシブル処理技術、プラズマ溶融処理技術である。

②低レベル放射性廃棄物処分場へ埋設処分する際に想定される処分要件、評価項目・基準を設定した。具体的には、機械強度、ガラス密度、高温粘度等、ガラス固化体の製造、処分の観点から特性評価項目を 20 件設定し、平成 28 年度に実施する 1 次サーベイの基準値とした。

③データベースに要求される機能を抽出し、基本設計として登録する情報の構造的な整理、出力用グラフのイメージの検討、画面設計を行った。また、既存のデータベースである INTERGLAD と連携可能なデータ形式に変換し、データエクスポートできるようデータ変換プログラミングに着手した。

④平成 26 年度の成果から、廃棄物充填率を 5 割程度向上できる組成の目処がついたため、平成 27 年度は耐水性の改善に着目し、ガラス組成の探索を行った。具体的には、 B_2O_3 量を低下させ Al_2O_3 量を増加させる事により、 MoO_3 の溶解度を維持しつつ耐水性を向上させることが可能である事を確認した。

（３）平成 28 年度の成果

①低レベル放射性廃棄物 6 種類および高レベル放射性廃棄物に対して、物性や化学的安定性等を有するガラス組成の検討を実施した。本年度は、平成 27 年度の検討結果を基に、各廃棄物に対して、物性等を考慮してガラス組成の検討を進めるとともに、得られたガラス組成に対して、1 次サーベイ項目（粘度、化学的耐久性等）の評価を実施し、組成の絞り込みを行った。

②マトリックスデータベースに関して、モデルやコードに関する設計を行い、プロトタイプを作成した。また、本事業で検討されたガラスの組成・物性データの信頼性を向上させることを目的として、高信頼性データの要件を整理した。

③ガラス溶融炉の運転技術として、低レベル廃棄物については、バブリング技術を用いた適用性試験を行い、選定したガラス組成において、有効性を示した。

④ガラス溶融炉の運転技術として、高レベル廃棄物については、小型溶融炉を用いて高充填運転試験を行い、課題抽出を行った。

（４）平成 29 年度の成果

①低レベル放射性廃棄物 6 種類および高レベル放射性廃棄物に対して、均質性や化学的安定性等の向上を目指してガラス組成の改良を行った。また、ガラスの廃棄体（ガラス固化体）を貯蔵・処分する観点から設定した 2 次サーベイの項目の一部に対して、評価を行い、組成選定を行った。

②これまでに作成したプロトタイプマトリックスデータベースについて、信頼性の向上等を目的とした高度化、改良を行った。

③ ガラス溶融炉の運転技術として、低レベル廃棄物については、選定されたガラス組成に対して、溶融炉の運転を模擬した管状炉などを用いて、適用性の確認を行った。廃棄物を溶融し、均質なガ

ラスを製造することが確認できたが、硝酸ナトリウムなどの一部の廃棄物においては、オフガスへの移行を評価し、運転方法について課題抽出を行った。

④ガラス溶融炉の運転技術として、高レベル廃棄物については、小型溶融炉を用いて高充填運転試験を行い、課題抽出を行った。

（５）平成 30 年度の成果

①低レベル放射性廃棄物 6 種類および高レベル放射性廃棄物に対して、均質性や化学的安定性等の向上を目指してガラス組成の改良を行った。また、ガラスの廃棄体(ガラス固化体)を貯蔵・処分する観点から設定した 2 次サーベイの項目に対して、評価を行い、組成選定を行った。

②これまでに作成したプロトタイプのマトリックスデータベースについて、更なる信頼性の向上等を目的とした高度化、改良を行い、実用版を整備した。また、本事業で得られた成果を反映した。

③ガラス溶融炉の運転技術として、低レベル廃棄物については、選定されたガラス組成を用いて、炉の運転を模擬した試験を行い、処理速度やオフガス移行率の観点から運転方法を検討し、適用性を確認した。

④ガラス溶融炉の運転技術として、高レベル廃棄物については、小型溶融炉を用い、また、これまでに技術選定されたガラス原料の小粒子化やバブリングを用いて、高充填運転試験を行い、適切な運転方法を検討し、処理可能な見通しが得られた。

⑤事業で得られた減容に関する成果から、廃棄物を処分するまでの費用を算出し、その削減効果について概算した。

（６）令和元年度から令和 6 年度の目標

令和 6 年度までに、燃料多様化に伴い発生する様々な高レベル放射性廃液の性状に応じて、高充填化に最適なガラス組成の選定・評価を行うとともに、高充填化を妨げる原因となる白金族元素の凝集やイエローフェーズの発生を抑制する技術等の開発を行う。あわせて、MA の分離技術として、抽出クロマトグラフィの安全性や工学的成立性を確保するための基盤技術を開発し、実用化に向けた見通し判断に必要な知見を取得する。

（７）事業終了後のアウトカム達成まで

本事業にて構築したプラットフォームを活用し、各事業者および各研究機関と連携し実用化に向けた基礎研究、スケールアップ試験等を行い、事業アウトカムを達成する。

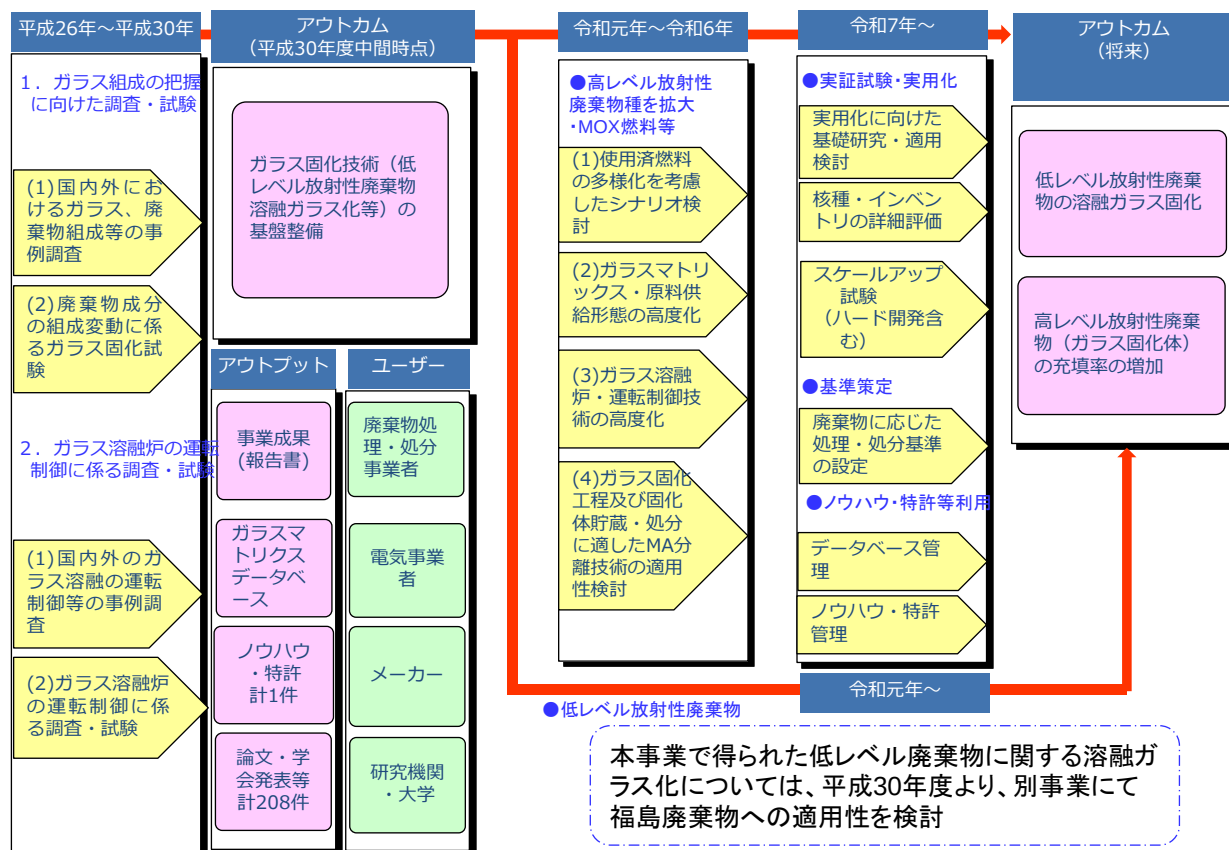


図4 アウトカム達成に向けたロードマップ

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

事業の実施に当っては、着実かつ有意義な研究成果を得るため、ガラス固化技術に精通している4社体制で共同受託し、ガラス産業、鉄鋼、原子力等を専門とする研究機関および企業の協力のもと開発を実施している。また、外部から評価、助言を得るため有識者による研究評価委員会を2～3回/年開催し、当該委員会等での議論を事業に反映できる柔軟な実施体制を構築している。なお、事業の着実な推進ため、受託4社での月例会議（1回/月）を実施し、各研究の課題、フォローアップ等を行っている。開発に当っては、幅広い分野において大学との連携によりガラス固化の基盤的技術の高度化を実施している。

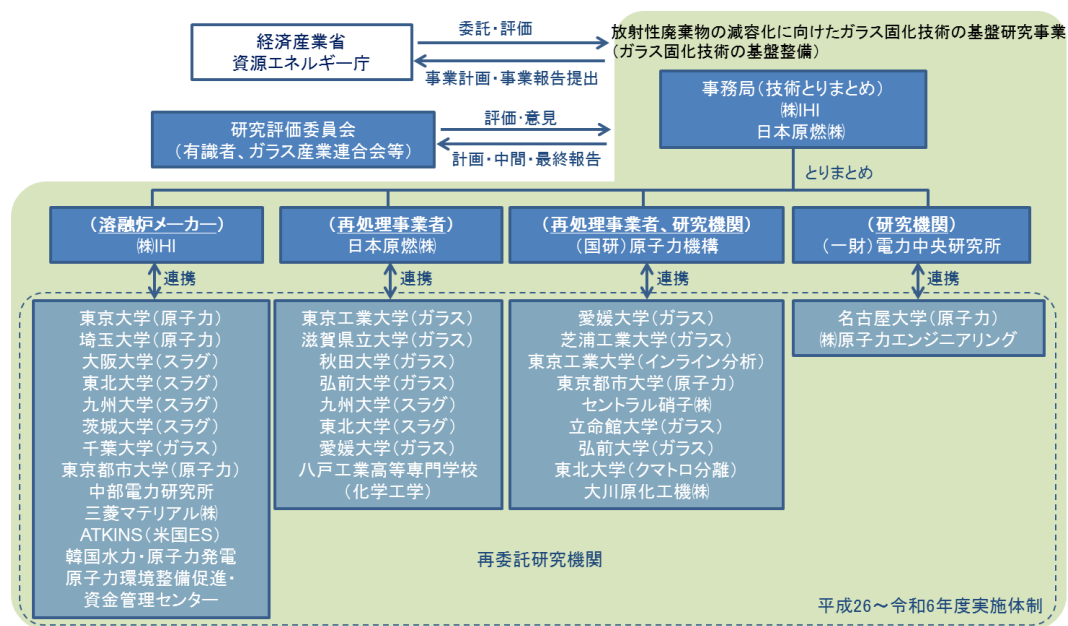


図5 事業の実施・マネジメント体制

6. 費用対効果

低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術が確立された場合、既存の技術で処理が困難な廃棄物の処理が可能となる。具体的には、廃樹脂、濃縮廃液、焼却灰等が対象となり、一例として、低レベル濃縮廃液をガラス固化した場合について、セメント固化に対しガラス固化体の発生量が 1/4 に低減した場合、輸送費・処分費用等が約 133 億円の低減（TRU 廃棄物の処分施設の操業期間全体としての削減効果）が見込まれる。

また、高レベル放射性廃液のガラス固化技術の向上により、現状の廃棄物充填率を 3 割向上できた場合、ガラス固化体処分時の貯蔵費用・輸送費用として約 2790 億円の低減（処理施設 40 年操業期間としての削減効果）が見込まれる。

【参考資料】

<事業成果（詳細版）>

1. 事業の目的・政策的位置付け

1－1 事業目的

我が国では手付かずの状況である低レベル放射性廃棄物等のガラス固化技術について、基盤技術を確立するものであり、ガラス固化に係る技術的課題等が把握されれば、今後、原子力発電所の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃棄物の処理方法を検討する際の一つの手法として評価することが可能となる。

また、当該事業により、ガラス固化技術の基盤が整備されることに伴い、高レベル放射性廃液のガラス固化技術も向上することが想定される。これにより、より多くの廃棄物を含有し、また安定的に取り込むことが可能になれば、ガラス固化体の発生本数ひいては最終処分場問題という国が前面に立つべき課題の解決にも資することとなる。

なお、平成 30 年 7 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては、「廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、低レベル放射性廃棄物も含め、発生者責任の原則の下、原子力事業者等が処分に向けた取組を進めることを基本としつつ、処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進するなど、安全確保のための取組を促進する。」こと、「廃棄物を発生させた現世代の責任として将来世代に負担を先送りしないよう、高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向け、国が前面に立って取り組む必要がある。」こと、「使用済MOX燃料の処理の方策について、引き続き研究開発に取り組みつつ、検討を進める。」ことが明記されている。

2. 研究開発目標及び成果、目標の達成度

2-1 全体の目標設定

我が国では手付かずの状況である低レベル放射性廃棄物等のガラス固化技術について基盤を構築するため、事業終了時の目標を以下の3項目に設定する。

- ①放射性廃棄物について、ガラス固化体中への充填率や品質等の観点から有望なガラス組成を選定・開発できるプラットフォームを構築する。
- ②放射性廃棄物の高充填が可能な組成、溶融炉方式および運転制御方法を選定する。
- ③低レベル放射性廃棄物ガラス固化体については、本事業の成果を基に処分時の管理基準を提案する。

これらの目標を達成するため、本事業における中間目標、最終目標を表2-1に示す。

表2-1 全体の目標

目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
①低レベル放射性廃棄物をガラス化できる組成を把握する。 ②低レベル放射性廃棄物をガラス化できる溶融炉の選定、運転方法を確立する。 ③過去の知見および本事業で得た知見を反映したデータベースを作成する。 ④高レベル放射性廃液の充填率を2～3割向上できるガラス固化技術を開発する。	①低レベル放射性廃棄物の選定 ②低レベル放射性廃棄物をガラス化できる溶融炉を選定した。 ③データベースへ登録するデータの整理、基本設計を行う。 ④高レベル放射性廃液の充填率を2～3割以上向上できるガラスマトリックスを開発する。	各種廃棄物組成に適したガラス組成を短期間で開発できるよう、過去の知見、一般産業界で利用されているソフトウェアと連携したデータベースを作成し、開発プラットフォームを構築することを目標とし、必要な情報の調査・検証を行う。 高レベル放射性廃棄物の減容化の一環として、核燃料再処理工場にて発生する高レベル放射性廃液について、ガラス固化体中への廃棄物充填量を向上させる事によりガラス固化体の発生本数を低減させるための技術開発を目標とし、高充填化に適したガラスの開発、溶融炉運転技術を確立する。

2-2 各個別要素技術開発の目標、成果、目標の達成度

2-2-1 ガラス組成の把握に向けた調査

表 2-2-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
対象廃棄物の検討	①原子力発電所の操業・廃止時の除染等により発生する低レベル放射性廃棄物の組成・特性等を把握する。	①原子力発電所、再処理施設において発生する低レベル放射性廃棄物の種類、性状等を調査により把握した。さらに、本事業で対象とする6種類の廃棄物を選定すると共に、ガラス組成の検討(試験計画)に反映した。 【対象廃棄物】 a. イオン交換樹脂 b. 低レベル放射性濃縮廃液(高硝酸ナトリウム廃液) c. 低レベル放射性濃縮廃液(リン酸廃液) d. 焼却灰 e. HEPA フィルタ f. イオン交換樹脂の溶離液	達成
マトリックス評価方法の検討	①低レベル放射性廃棄物及び高レベル放射性廃液に対するガラス組成の検討における評価項目を設定する。	①文献調査により、評価項目を以下のとおり設定した。 低レベル: 20 項目 高レベル: 11 項目	達成
データベースの作成・管理	①ガラスマトリックスの組成・物性の検索機能、物性予測機能等を有するマトリックスデータベースの基本設計を行う。	①マトリックスデータベースの基本設計を実施し、データの出力方式、データ構造、出力画面等の仕様の設計を行い、プログラミングに着手した。	達成
溶融除染技術の調査	①再処理施設の廃止措置等で発生する金属廃棄物への溶融除染の適用性を確認する。	①金属の溶融除染係数は 10000 以上である事を明らかにし、再処理施設等の廃止措置で発生する金属廃棄物に対して、溶融除染が適用可能である事を確認した。	達成

2-2-2 ガラス組成の把握に向けた試験（低レベル放射性廃棄物の溶融ガラス化の開発）

表 2-2-2 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
廃棄物組成に応じたガラス組成の開発	①多くの低レベル放射性廃棄物を安定的に取り込むことができるガラス組成を基礎試験により選定し、ガラス固化体の基本特性を取得する。 ②硫黄が高濃度で含まれる廃液に対して、ガラス化可能な組成を明らかにする。	①ガラス化する低レベル放射性廃棄物を 5 種類選定し、粘度、短期浸出率のデータを取得し、いずれにおいても良好な結果を得た。 a. イオン交換樹脂：充填率約 35wt% b. 低レベル放射性濃縮廃液：充填率約 30wt% c. 焼却灰：充填率約 75wt% d. スラッジ混合物：充填率約 21wt% e. HEPA フィルタ：充填率約 25wt% ②ガラスセラミックスを用いガラス化できる見通しを得た。 SO₃ 充填率：約 15wt%	達成
溶融除染スラグに対する溶融ガラス化の検討	①溶融除染で発生したスラグに対して、溶融ガラス化による安定化が可能なことを確認する。	①廃棄物充填率 60wt%程度でガラス化が可能であることを確認した。	達成
吸着ガラスの開発	①ガラス自体を吸着材として用いる多孔質ガラスの組成、製造方法を明らかにすると共に、溶融ガラス化の適用性を確認する。	①コバルト等を吸着分離可能な多孔質ガラスの組成、製造条件を確認した。	達成

2-2-3 ガラス組成の把握に向けた試験（高レベル放射性廃液ガラス固化の高度化）

表 2-2-3 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
ホウケイ酸ガラスの改良	① 現行のホウケイ酸ガラスを改良することにより、廃棄物充填率 20wt% (Na 除く) 以上が可能な組成を開発する。 a. 改良ホウケイ酸ガラス b. バナジウム添加ガラス c. リン添加ガラス	a. $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3=1.75$(mol 比) かつ Al_2O_3 濃度を 2 倍に増加させた組成において、廃棄物充填率 26wt% を達成。Mo 溶解度も向上し、耐水性は良好な結果を得た。 b. バナジウムを添加しアルカリ比を $(\text{Na}_2\text{O}+\text{Li}_2\text{O})/(\text{SiO}_2+\text{B}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_5)$ を 0.22~0.27(mol 比) にすることで、廃棄物充填率 20wt% を達成。Mo 溶解度も向上する見通しを得た。 c. P_2O_5 の添加により、廃棄物充填率 26wt% を達成。 MoO_3 溶解度も向上することを確認した。	達成
代替ガラスの調査	① 現行のホウケイ酸ガラスでは処理が困難な廃棄物について、安定的にガラス固化できる新しい組成を検討する。	a. 鉄リン酸ガラス ・鉄リン酸ガラスマトリックスで、高レベル放射性廃液の模擬物をガラス固化できることを確認した。ただし、現在の組成範囲では、Zr 等のリン酸塩結晶が析出することを確認した。 ・浸出速度は低く、耐水性は良好であることを確認した。 b. ガラスセラミックス化 ・非水溶性の CaMoO_4 結晶相を充填率 15-18wt%-(MoO_3 相当) で分散できることを確認した。	達成
吸着ガラスの開発	① ガラス固化技術を応用した新しい概念を検討する。	① 抽出材を含浸させた SiO_2 担体による抽出クロマトグラフィ法を選定し、模擬廃棄物成分を吸着させた吸着材を用い、熔融ガラス化できることを確認した。	達成
ガラス組成の選定（多種燃料）	① 平成 30 年度までに開発したホウケイ酸ガラス組成をベースに、燃料多様化に伴い発生する様々な種類の高レベル放射性廃液に適用可能なガラス組		

	成の開発を実施する。 ②アルカリ廃液をより多く安定的に固化可能なガラスマトリックスについて検討する。		
原料供給形態の改良 (多種燃料)	①ガラスマトリックスの改良で検討した組成に対して、原料ガラスのスラリー化や、比表面積が大きいガラスなど、原料供給形態の変更による影響を調査し、物質移動の促進やYP抑制などの効果を確認する。		
構造解析によるガラスの健全性評価 (多種燃料)	①近距離～長距離の視点で段階的にガラス構造の解析を行い、ガラス組成や製造条件による違いを明確化し、ガラス固化技術高度化のために資するデータとして蓄積する。		

2-2-4 ガラス溶融炉の運転制御にかかる調査・試験

表 2-2-4 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
国内外のガラス溶融炉の事例調査	①国内外で実用化されているガラス溶融炉について調査し、本事業で対象とするにふさわしい技術を選定する。	①対象とした低レベル放射性廃棄物 6 項目に対し有用性の高い溶融方式を 2 項目選定した。 【溶融方式】 a. コールドクルーシブル処理 b. プラズマ溶融処理 ②高レベル放射性廃液処理用のガラス溶融炉は、情報の入手性および溶融炉の規模の観点から、本事業ではジュール加熱方式を選定した。	達成
国内外のガラス溶融炉の運転制御等の事例調査	①国内外のガラス溶融炉にて開発・実用化されている運転技術や開発動向を把握し、調査結果を本事業の運転制御試験に反映するため、適用可能な技術を選定する。	①国内外で開発・実用化され、原子力施設に利用されているガラス溶融炉を調査し、17 件の有効性のある技術を確認した。そのうち、高充填を見込める 4 件の運転技術を選定した。 a. ガスバブリング b. 還元剤の添加 c. ガスバブリング＋添加物の添加 d. 攪拌器＋ガスバブリング	達成
低レベル放射性廃棄物溶融ガラス化の開発	①選定した溶融方式において、溶融ガラス化をできる事を確認する。	①基礎試験にて溶融ガラス化できる見通しを得たイオン交換樹脂に対し、プラズマ溶融炉にて溶融ガラス化試験を実施し、ガラス化できる見込みを得た。ただし、原料の供給方法については改善の余地がある。	達成
高レベル放射性廃液ガラス固化の高度化	①廃棄物充填率の向上に伴い発生する運転課題の抽出と対策方法を検討する。 a. 処理能力の向上 b. イエローフェーズ成分の溶解性の向上 c. 白金族元素の沈降抑制 d. 原料の供給形態の影響評価・ガラス化反応の解明	a. 溶融ガラス中にてバブリングを実施することにより、処理能力(ガラス固化体製造速度)が 33%向上することを確認した。(廃棄物充填率: 14wt%時) b. 原料ガラスを 8 μ m 程度に小径化することで、仮焼層上部において炉内雰囲気遮蔽され、酸化を抑制することにより、イエローフェーズ形成を抑制できることを確認した。	達成

		c. 白金族元素沈降現象を数値解析モデルにより再現した。 d. ガラス原料サイズの減少により、ガラス中の白金族元素粒子が分散される傾向が確認された。	
ガラス溶融炉の高度化	・廃液多様化への対応 濃度変化等の廃液多様化に対応したガラス溶融炉を開発するために必要な課題抽出を行う。 ・溶融炉の調査・検討 溶融炉や耐火物の調査を行い、適用性について検討を行う。		
センシング技術の開発	ガラスと仮焼層の構造情報を得るために、計測技術を調査し電気化学的センシング等の手法を検討する。		
運転技術の高度化	白金族元素の形態と沈降等のメカニズムを解明および廃液中の Na 量の低減、廃液供給方法の変更等の高度化により、白金族元素の沈降やイエローフェーズの生成を抑制しプロセスを安定化する。		

2-2-5 使用済燃料の多様化を考慮したシナリオ検討および

ガラス固化工程及び固化体貯蔵・処分に適した MA 分離技術の適用性検討

表 2-2-5 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
国内外のシナリオ調査	フランスを中心に原子力利用及び燃料サイクル・処分に關する研究・事業を調査し、先行事例としてシナリオ検討・検証に反映させる。		
シナリオ検討	サイクル条件の多様性を考慮した評価システムを構築し、地層処分と整合的な技術オプションシナリオを提示する。		
シナリオ検証	関連技術の開発成果や原子力利用及びサイクル・処分事業の進捗を考慮することでシナリオを検証し、地層処分の負荷低減を提示すると共に、サイクル全体の課題を抽出する。		
MA 分離フローシートの構築	①供給液組成の変動による分離回収製品への影響評価を行う。 ②上記に必要となるシミュレーションコード用インプットデータ整備する。		
MA 分離技術の安全性評価	①微粒子の流入防止のために、遠隔操作性に優れたフィルター概念の提示を行う。 ②吸着材放射線劣化生成物の同定を行う。 ③吸着材物性に及ぼす造粒条件の影響を把握する。		

	④吸着材の再生方法、分解・減容方案を提示する。		
MA 分離システム開発	⑤分離塔流出液の迅速分析手法、制御フロー案を提示する。 ⑥良好な耐久性を備えた装置機器概念を具体化する。		

2-2-6 ウラン分離・回収技術の開発

表 2-2-6 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
スラッジ類の性状把握 及び類型化	合理的な処理方法の開発のため、スラッジ類の分析を通して後段の処理の簡略化に必要な類型化を行う。		
ウラン回収試験の必要に応じたコールド及びホット試料の作製	スラッジ類の分析結果を踏まえ、後段のウラン回収試験に必要な模擬スラッジ(コールド)及び浸出液(ホット)等を作製する。		
ウラン前処理技術の開発	ウランの浸出を効果的に実施する為に浸出前のスラッジ処理方法を検討する。		
ウラン浸出方法の検討	ウランの分離・回収に効果的な浸出方法を検討すると共に、その成分を把握し、後段の回収試験に情報を提供する。		
ウランの選択回収技術の開発	共存化学種やウラン濃度に分離性能を左右されにくいプロセスの開発を行う。		
処理液再利用または分解技術の開発	処理液の再利用または分解技術を開発し、廃棄物の発生量の低減を図る。		
有害物・化合物の把握	・スラッジ状廃棄物の固化試験のための性状把握を行う。 ・合理的な処理対策の検討のための情報取得およびスラッジの類型化を行う。		
有害物を含む廃棄物の安定固化技術の開発	有害物を含む多種多様なスラッジの固化に対応でき、かつ固化材の添加量をできる限り低減したプロセスを開発する。		

2-3 研究開発成果：学会発表状況

学会発表は日本原子力学会春の年会および秋の大会、ガラスおよびフォトンクス材料討論会、Asian Nuclear Prospects2016 (ANUP2016)、GLOBAL2017、ICG Annual meeting 2018 等、国内外の様々な会議において本事業の PR および成果について発表を行い、原子力業界だけでなくガラス産業界においても当事業について関心がもたれている。また、論文投稿を 16 件行い、当事業の PR を行なっている。

表 2-3 学会発表状況

	学会発表数	投稿論文数
平成 26 年度	7 件	1 件
平成 27 年度	40 件	1 件
平成 28 年度	51 件	4 件
平成 29 年度	56 件	7 件
平成 30 年度	38 件	3 件
合計	192 件	16 件

1)学会発表内容

①日本原子力学会 2015 年春の年会

日時:平成 27 年 3 月 21 日

会場:茨城大学 日立キャンパス

発表テーマ:次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業

- (1)基盤研究事業の全体計画について
- (2)低レベル廃棄物に対する溶融ガラス化の検討
- (3)コンビナトリアル手法による高充填減容固化用ガラスマトリックス組成の探索
- (4)仮焼層における白金族の結晶生成挙動
- (5)溶融ガラスにおける白金族の沈降挙動

②第 56 回ガラスおよびフォトンクス材料討論会

日時:平成 27 年 11 月 12 日

会場:愛知県産業労働センター ウィンクあいち

発表テーマ:放射性廃棄物の高充填減容固化のための簡素化組成模擬ガラスの耐水性評価
ーホウ素とナトリウムの含有量の影響ー

③Asian Nuclear Prospects 2016(ANUP2016)

日時:平成 28 年 10 月 26 日

会場:東北大学 川内キャンパス

発表テーマ:Development of Glass Melting Process for LLW

-Glass Formulation Testing to be Compatible with Composition Changes-

④GLOBAL2017 International Nuclear Fuel Cycle Conference

日時:平成 29 年 9 月 25 日

会場:Sheraton Grande Walkerhill (Seoul, Korea)

発表テーマ:Development of High Waste Loading Glasses

⑤ICG2018 Annual Meeting 2018

日時:平成 30 年 9 月 25 日

会場:パシフィコ横浜

発表テーマ:The outline of 'Basic Research Programs of Vitrification Technology
for Waste Volume Reduction'

他 183 件

2)論文投稿内容

①電気硝子工業会「電気ガラス」

論文件名:次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業について

②日本原子力学会バックエンド部会誌「原子力バックエンド研究」

論文件名:次世代再処理ガラス固化技術基盤研究事業の全体概要について

③一般社団法人ニューガラスフォーラム機関紙「NEW GLASS」

論文件名:我が国における放射性廃棄物ガラス固化の状況

④Journal of Non-Crystalline Solids

論文件名:Thermal conductivities of alkali-silicate and calcium-alkali-silicate melts

他 12 件

放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業
（低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討）
技術評価報告書（終了時評価）

プロジェクト名	放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業 （低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討）
行政事業レビューとの関係	平成 31 年度行政事業レビューシート 0330
上位施策名	エネルギー基本計画
担当課室	資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力立地・核燃料サイクル産業課

プロジェクトの目的・概要

低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除染に伴い発生する廃液等のガラス固化への課題を整理し、ガラス固化の前処理としてのウラン等の除染技術及び除染結果を精密に測定する技術の開発を目的とする。

具体的には、ウラン等と共にはぎ取られた母材がガラス固化に与える影響について検討し、ガラス固化の課題を整理する。また、ガラス固化の前処理として、除染時の母材の混入量を極力抑え、かつ除染のための薬品等の二次廃棄物の発生を最小化するウラン除染技術を開発するとともに、除染の効果を確認するため、母材からのウラン等の除染結果を精密に測定する技術を開発する。

＜上位施策の中での本プロジェクトの位置付け＞

本技術開発は、「廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分については、低レベル放射性廃棄物も含め、発生者責任の原則の下、原子力事業者等が処分に向けた取組を進めることを基本としつつ、処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進するなど、安全確保のための取組を促進する。」としたエネルギー基本計画に基づくものである。なお、再利用可能な金属のクリアランスを進めることで、循環型社会構築を図ることに繋がる。

予算額等（委託） （単位：百万円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 26 年度	平成 29 年度	平成 28 年度	令和元年度	・ 国立研究開発 法人日本原子力 研究開発機構 ・ 原子燃料工業 株式会社
H26FY 執行額	H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額
60	103	154	59	(H26 年～29 年) 377

* 端数処理のため合計が一致しない場合がある。

B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討

1. 事業アウトカム（【終了時評価項目1】）

事業アウトカム指標	
1. 除染技術開発 ○低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等 【金属からのウラン等の除染技術】／【除染廃液からの不純物分離技術】 ガラス固化の前処理として、母材の混入量を極力抑え、薬品等の二次廃棄物の発生を最小化する低レベル放射性廃棄物からのウランの除染・分離技術を開発する。 2. 測定技術開発 ○クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 確実にクリアランスするため、母材からのウラン等の除染結果を精密に測定する技術を開発する。 除染技術開発及び測定技術開発により、2050年までに発生するウラン廃棄物のうち、約半数を占める金属のクリアランスが可能であり、以下の効果が見込まれる。 ・クリアランスの促進 ・ウラン廃棄物の物量低減 ・放射性廃棄物処分場の必要面積の縮減 ・最終処分場の逼迫時期の延命 ・新たな評価手法による検認技術の運用 ※事業の実施にあたっては、将来にも亘る実効性のある研究成果を得るために、国内のウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を十分に踏まえる。	
指標目標値	
計画： 【金属からのウラン等の除染技術】 金属の低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除染技術として、金属表面に残留しているウラン等を選択的に除去し、母材の混入を極力避けることが可能な酸浸漬法及び表面に残留するウラン等を効率的に切削することが可能なブラスト法の技術的実証。 【除染廃液からの不純物分離技術】 除染廃液からの母材及びウランの分離・回収技術、並びに除染剤の再利用に適用可能な分離・回収技術の実証。	実績：事業終了時 【金属からのウラン等の除染技術】 ・最適な除染方法として選定したブラスト除染及び酸浸漬除染について、除染条件を最適化した除染試験を実施し有効性を確認。特に、ブラスト除染は金属形状に対する柔軟性が高く90%以上の金属廃棄物に適用可能。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・酸除染では、中和・沈殿反応により容易に酸を除去可能。 ・ブラスト除染では、除染・分離統合システム

【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・測定対象の材質及び形状的な多様性や、除染後にわずかに残留しているウラン等の分布状態、母材の発錆等の表面状態を考慮し、クリアランスに求められる精度で、α線による測定(日本原子力研究開発機構の例では約 30 分)と同程度の実用的な時間で測定することができるγ線による測定評価手法の確立。	を開発。研磨材と水の再利用により二次廃棄物の発生を抑制できることを実証。 ・二次廃棄物からのウラン回収は工程スラッジの処理プロセスの中で実施することが合理的。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・クリアランス測定装置を製作した。模擬ドラム缶を用いた測定データを取得し、かさ密度 1.0g/cm³ 程度の測定対象について、放射能濃度 0.1Bq/g (NU) の測定を 60 分以内で実現可能であることを確認した。 ・事業終了後も継続して、国内のウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を踏まえて電力共通研究を実施。また、標準化(原子力学会)に向けた作業を実施中。 ※国内のウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を十分に踏まえて、定量可能な放射性廃棄物のかさ密度の範囲、収納条件を評価することが課題。
--	--

2. 研究開発内容及び事業アウトプット (【終了時評価項目 2】)

(1) 研究開発内容

1. 除染技術開発

○低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等

【金属からのウラン等の除染技術】／【除染廃液からの不純物分離技術】

国内外で取組まれている低レベル放射性廃棄物からのウラン等の除去技術を調査し、物理的・化学的な除染・分離、その適用範囲、その際に発生する二次的な廃棄物の発生量、固化ガラスの安定性への影響に係る技術の特徴を整理する。

2. 測定技術開発

○クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等

【除染済み母材の残留ウラン測定技術】

国内で多量に発生している複雑形状の金属廃棄物の特徴を踏まえ、ウラン等の除去後の母材に残留したクリアランスレベルのウラン等の検出が可能となる高感度な γ 線測定手法を開発する。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
1. 除染技術開発 ○低レベル放射性廃棄物中のウラン等の除去試験等 【金属からのウラン等の除染技術】／【除染廃液からの不純物分離技術】 国内外で取組まれている低レベル放射性廃棄物からのウラン等の除去技術を調査し、物理的・化学的な除染・分離、その適用範囲、その際に発生する二次的な廃棄物の発生量、固化ガラスの安定性への影響に係る技術の特徴を整理する。		
2. 測定技術開発 ○クリアランスレベルのウラン等の測定技術に係る試験等 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 国内で多量に発生している複雑形状の金属廃棄物の特徴を踏まえ、ウラン等の除去後の母材に残留したクリアランスレベルのウラン等の検出が可能となる高感度なγ線測定手法を開発する。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（26 年度）	計画： 【金属からのウラン等の除染技術】 文献等により、最適な除染方法の選定及び除染で発生する二次廃棄物の特徴を調査する。 選定した除染方法による予備的な除染試験を行い、基礎データを得る。 【除染廃液からの不純物分離技術】 文献等により、除染廃液からの母材及びウランの分離、除染材の再利用に適用可能な不純物分離技術を調査する。	実績：目標達成度 100% 【金属からのウラン等の除染技術】 文献調査により、酸浸漬法及びウェットブラスト法を有効な除染候補として絞り込むとともに、予備的な除染試験を行い、二次廃棄物の特徴を含めた基礎データが得られた。 【除染廃液からの不純物分離技術】 文献調査により、酸浸漬の廃液は化学的分離、ウェットブラスト法の廃液は物理分離が有力な候補となりうることを確認した。

	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 γ線測定手法への除染方法の影響評価試験を行い、γ線によるウランの定量法の成立性を検証する。 クリアランス対象物の形状やウラン等の付着状態の違いによる遮蔽効果等を考慮したモデルを検討する。	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 試験及びシミュレーションにより、γ線測定手法に影響する酸浸漬法による除染後の母材表面のU-238とPa-234mの残留状況に関わるデータを取得し、γ線によるウランの定量法の成立性を確認した。 シミュレーションにより、線源の空間的な偏りとγ線遮へい状況が測定対象物の放射能の評価結果へ与える影響についてモデル化してデータを取得した。
中間評価時（27年度）	計画： 【金属からのウラン等の除染技術】 酸浸漬法及びウエットブラスト法による除染試験を行い、最適条件を見出す。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ウエットブラスト法の模擬廃液を用いた小規模なサイクロン分離機による分離試験を行い、基礎データを得る。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 γ線測定手法への除染方法の影響	実績：目標達成度 100% 【金属からのウラン等の除染技術】 除染試験により、酸浸漬法の最適条件及びウエットブラスト法の最適条件に関するデータを取得した。この条件を実用化における除染条件とすることとした。 【除染廃液からの不純物分離技術】 ブラスト研磨材と金属表面の研削屑の分離に係る基礎データを取得し、不純物分離に係る技術的見通しを得た。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 酸浸漬法によるウラン化合物、

	響評価試験を行い、解析結果をデータベース化する検討を行う。 線源の空間的な偏りとγ線遮へい状況が、測定対象物の放射能の評価結果へ与える影響について、シミュレーション及び模擬コンテナ等を用いた測定試験を実施し、散乱γ線等価モデル法の適用の妥当性を検証する。 ウラン燃料加工施設等におけるクリアランス測定装置設置場所の調査、複数位置測定を模擬した装置によるγ線の効率的な測定を実現するための検出器配置を調査する試験等を実施し、クリアランス測定装置の仕様を決定する。	トリウム化合物の溶解度のシミュレーションによる放射平衡状態に関するデータを取得し、データベース化を検討した。 シミュレーション及び模擬コンテナ等を用いた測定試験により、各種データを取得した。これにより、散乱γ線等価モデル法適用の妥当性を確認した。 各施設でのバックグラウンド測定データを解析し遮へい体の厚さを設定した。また、既存のドラム缶測定装置の測定データから検出器の台数を設定した。これらの結果をもとに、クリアランス測定装置の仕様を決定し、概念設計を終了した。
終了時評価時 (29 年度)	計画： 【金属からのウラン等の除染技術】 平成 27 年度までの技術開発により、枢要技術としての除染技術に関する開発目標は達成されたことから、平成 29 年度に計画している統合システムにおいて、実廃棄物サイズの試料に対する除染効率等を確認し、実規模での技術的成立性を評価する。 【除染廃液からの不純物分離技術】 平成 27 年度に技術的見通しが得られたサイクロン分離機による分離について、実用的な廃液量を処理可能な実規模スケール	実績：目標達成度 100% 【金属からのウラン等の除染技術】 【除染廃液からの不純物分離技術】 ・実廃棄物を想定した模擬廃棄物を用いて、除染から分離までを行う実規模の統合システムを設計・製作。 ・模擬廃棄物を用いて実運用を想定した試験を実施。 ・試験結果から除染性能及び二次廃棄物の分離性能を評価し本装置の技術的成立性を実証。 ・なお、二次廃棄物はガラス固化可能であることを確認(金属 100 トン当たりガラス固化体 12 本程度)。

	での試験を実施し、実規模での技術的成立性を評価する。 【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ドラム缶型容器を対象としたクリアランス測定装置を製作し、定量性能を評価する。実用的な測定時間（60 分以内）で、クリアランスレベル（1Bq/g 以下）の残留ウランの測定が可能であることを実証する。	【除染済み母材の残留ウラン測定技術】 ・クリアランス測定装置を製作し、模擬ドラム缶を用いた測定試験により、各種データを取得した。これにより、かさ密度 1.0g/cm³ 程度の測定対象について、放射能濃度 0.1Bq/g (NU) の測定を 60 分以内で実現可能であることを確認した。
--	--	--

<共通指標実績>（該当のない項目は、セル↓は削除して構わない。）

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 （出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの作成
2	1	1	0	0	クリアランスの除染方法及び測定方法について、成果の標準化（学会標準）に向けた取り組みを実施中	・除染及び分離に係る統合システムの製作（H29 年度製作） ・クリアランス測定装置の製作（H28 年度製作）

3. 当省(国)が実施することの必要性（【終了時評価項目3】）

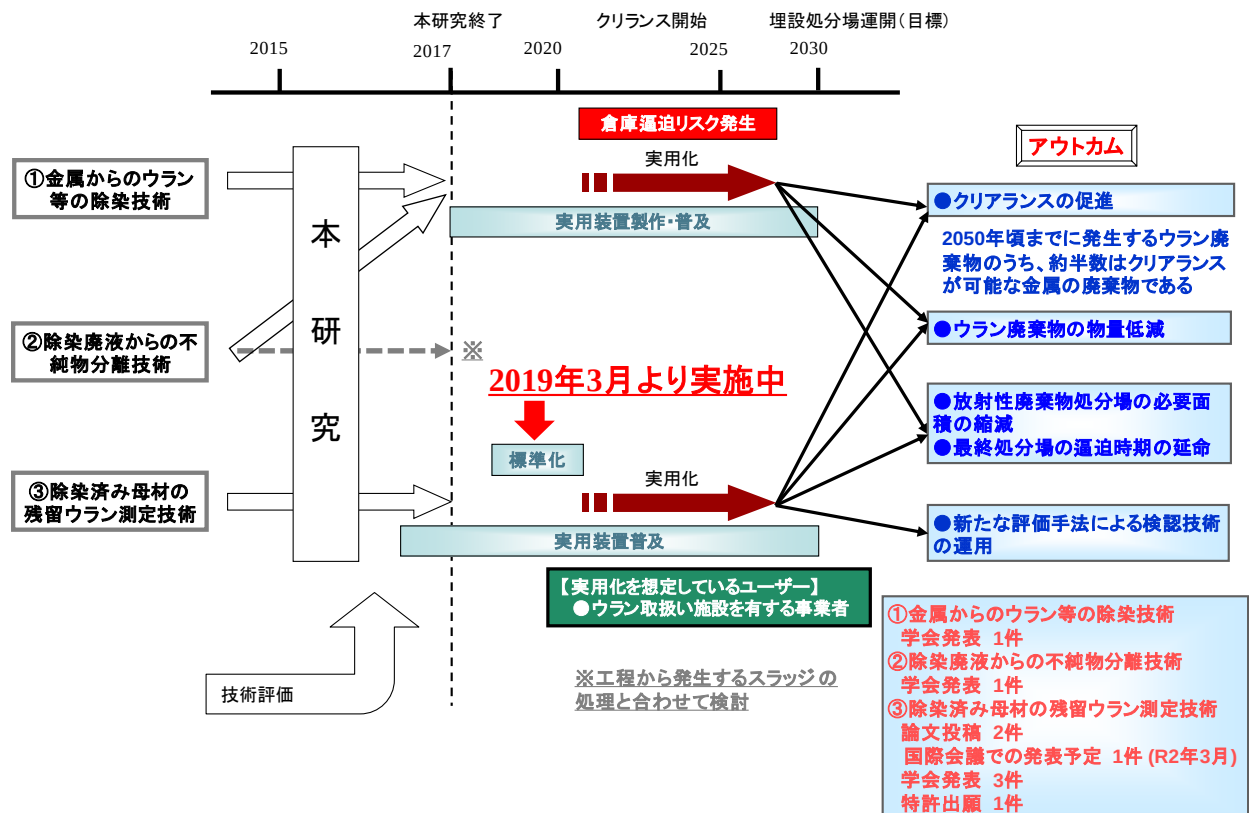
- ① 放射性廃棄物の排出者である核燃料サイクル事業者は、廃棄物の安全、安心な処理処分を行うための技術的及び社会的な共通の課題を有している。これらの課題解決には技術的難度を有するとともに多額の開発費用と長期の開発期間を要するため民間事業者にとって開発リスクが高いと言えることから国が主導で行う必要がある。
- ② 国内の主要事業者が一体となって取り組むことで、クリアランスの除染方法及び測定方法について、成果の標準化（例：複雑金属のクリアランス測定方法について学会標準を作成する）が促進され、さらに国内の事業者は本事業の成果を導入しやすくなる。
- ③ 国の関与によって産学官連携が強まり、開発過程の知見を共有できるため、上記の標準化が進

めやすくなるとともに、規制側も多様な手法への対応の負担を軽減できる。

- ④ 平成 30 年 7 月閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、放射性廃棄物の処分については、原子力事業者等が処分に向けた取組を進めることを基本としつつ、処分の円滑な実現に向け、国として必要な研究開発を推進することが明記されている。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ（【終了時項目 4】）

- 平成 29 年度までに、金属からのウラン等の除染技術開発では、金属表面に残留しているウラン等を選択的に除去し、母材の混入を極力避けることが可能な酸浸漬法、及び表面に残留するウラン等を効率的に切削することが可能なブラスト法の技術的実証を行った。除染廃液からの不純物分離技術では、除染廃液からの母材及びウランの分離・回収技術、並びに除染剤の再利用に適用可能な分離・回収技術を実証した。除染済み母材の残留ウラン測定技術では、測定対象の材質及び形状的な多様性や、除染後にわずかに残留しているウラン等の分布状態、母材の発錆等の表面状態を考慮し、クリアランスに求められる精度で、 α 線による測定（日本原子力研究開発機構の例では約 30 分）と同程度の実用的な時間で測定することができる γ 線による測定評価手法を確立した。
- 本事業終了後の平成 31 年 3 月より、クリアランス測定方法について、成果の標準化（複雑金属のクリアランス測定方法について学会標準を作成する）に向けた取り組みを実施している。



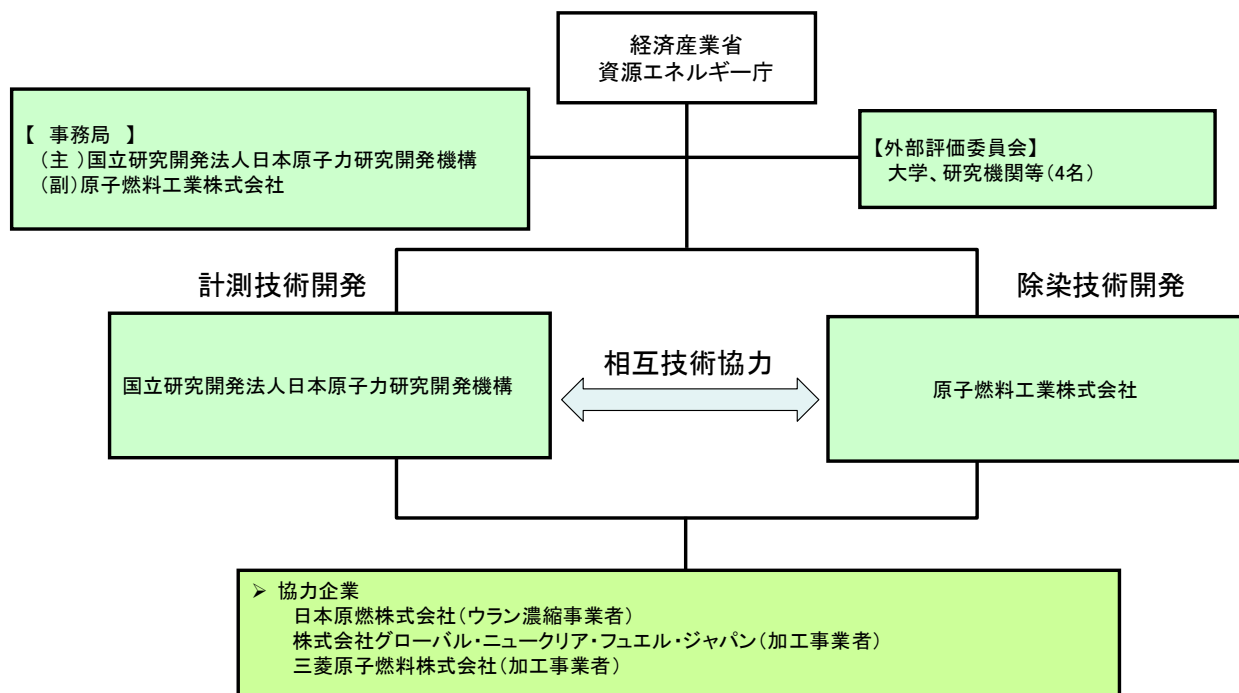
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等（【終了時評価項目 5】）

- 事業の実施に当たっては、着実かつ有意義な研究成果を得るため、国立研究開発法人日本原子

力研究開発機構と原子燃料工業株式会社の 2 社体制で除染技術開発と測定技術開発を行うとともに、国内のウラン取扱い事業者の協力を得ながら、ウラン燃料加工施設やウラン濃縮施設等から発生する低レベル放射性廃棄物の現状を十分に踏まえ事業を進めた。

また、外部から評価、助言を得るため有識者による外部評価委員会を開催（2 回／年）し、当該委員会等での議論を事業に反映できる柔軟な実施体制を構築した。

なお、事業の着実な推進のため、受託 2 社での調整会議を定期で開催（6 回／年）し、各研究の課題、フォローアップ等を行った。



6. 費用対効果（【終了時評価項目 6】）

- 投入した国費総額は約 4 億円（4 年間）である。
- 本事業により以下のアウトプットが得られた。
 - ・ 除染・分離及び測定に係る装置設計に関する技術情報
 - ・ 装置の有効性や評価手法の妥当性に関する技術情報
- 国内のウラン取扱い事業者は、本技術情報を共有する。その結果、国内事業者はクリアランスの実施（アウトカム）に向けて、開発や標準化に必要な費用の重複を回避することができ、規制側も多様な手法への対応を軽減できるため十分な費用対効果が得られる。
- 2050 年頃までに加工メーカ及び原子力機構等から発生すると見込まれる低レベル放射性廃棄物のうち、約 64,000 トンの金属がクリアランスの対象となり得るとされている。本事業で開発した技術の対費用効果を見積もるにあたり、上記の金属のうちの約半数（3 万トン＝15 万本／200L ドラム缶）のみに本技術を適用するとした相当に保守的な仮定を置いたとしても、少なく

とも 300 億円程度の埋設処分費用の削減が見込める。

現行、ウラン廃棄物の処分制度が確立していないため、コストの算出にあたっては、第二種廃棄物埋設事業における処分単価＊１を参考にした。

＊１：文部科学省 原子力科学技術委員会 研究施設等廃棄物作業部会（第 9 回）

資料１「埋設処分業務の実施に関する計画」に基づく業務の実施状況について

【トレンチ処分単価：186 千円／本】

トレンチ処分する費用単価を 20 万円/本と仮定すると、約 300 億円の処分費用の削減が見込める。

Ⅱ．外部有識者（評価検討会等）の評価

A. ガラス固化技術の基盤整備

1. 事業アウトカムの妥当性

本事業で対象としている放射性の使用済イオン交換樹脂や焼却灰等は、従来のセメント固化などの方法では処理・処分が難しい「難処理廃棄物」である。これらに対するガラス固化技術が実用化されることで、我が国の原子力のバックエンド分野での国際競争力の維持、強化に貢献する技術開発になり得るものである。また、得られた成果は今後の燃料の多様化（MOX 燃料の使用拡大）を踏まえたガラス固化の高度化へ反映するなど、本事業は極めて実効的であり、アウトカムは適切であると判断できる。

一方、廃棄物充填率の向上は固化体本数の低減には有効であるが、必ずしも処分場の負荷低減にはつながらないことも考えられる。処理から処分までの全体最適化を図るため、廃棄物の性状の変化が処分に影響する点を整理しながら進める必要があると考える。

また、国内で研究事業を行うことの必要性を積極的に示すべきと考える。税の投入による事業であることを踏まえ、本事業が関わる核燃料の個別性、国内に技術を蓄積し、国内で核廃棄物処理を行うことの意味を取り込んだ前提の設定を意識することが必要と考えられる。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）本事業で対象としている放射性の使用済イオン交換樹脂や焼却灰は、いわゆる従来のセメントなどの方法では処理・処分が難しい「難処理廃棄物」として、米、英、仏などが最適な処理法を、国を挙げて探索している。我が国においても同様な扱いであり、本事業のアウトカムは明確である。さらに中期的に取組み、これらを実用化することで、我が国の原子力のバックエンド分野での国際競争力の維持、強化に貢献する技術開発になり得る。
- ・（B 委員）低レベル放射性廃棄物のうち、ガラス化による廃棄体化に向いている組成や材質があることに着目したことは大変有意である。ガラス固化技術が実用化されることで、今後廃止措置を迎える多くの原子力関連施設から発生する廃棄物の課題の解決に貢献できるものと推察する。
- ・（C 委員）海外における低レベル廃棄物に対するガラス固化の実用化の状況は、それぞれ国の廃棄物処理処分政策や対象となる廃棄物の発生元や種類などに依存していると思われ、それがそのままわが国に当てはまるとは限らない。しかしながら今後発生量が増大する低レベル廃棄物の中には従来の技術では固化困難なものもあり、それに対処するため自前の技術として実用化が期待されること、また、得られた成果は今後の燃料の多様化（MOX 燃料の使用拡大）を踏まえたガラス固化の高度化へ反映するなど、本事業は極めて実効的である。
- ・（D 委員）本基盤研究事業は、国民の安全・安心の確保に資する基礎的な技術に関するものであり、そのために設定されたアウトカムは適切であると判断できる。
- ・（E 委員）低レベル放射性廃棄物のガラス固化は、廃棄物減容、廃棄物性状の安定化、処分の安全性が期待され、本事業は有効である。

高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の高度化については、減容化により廃棄物発生量の減少、土地利用上の柔軟性が向上することが期待される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）各国の取組みを踏まえ、極めて高度であるが中期的に必須となる技術開発を目指していることを、事業者自ら、さらに強くアピールして頂きたい。

- ・（Ｂ委員）廃棄物充填率の向上は固化体本数の低減には有効であるが、必ずしも処分場の負荷低減にはつながらないことも考えられる。今後、燃料組成の変化や元素分離技術の発展などにも適応しうる技術開発を目指し、最終的には処分場の負荷低減にもつながると良い。
- ・（Ｄ委員）諸外国で達成されている技術に追いつくことを目標としている感が否めない。繰り返しの指摘になるが、「追いつくこと」が悪いのではなく、我国の原子力政策上、改めて国内で研究事業を行うことの必要性を積極的に示すべきと考えられる。税の投入による事業であることを踏まえ、本事業が関わる核燃料の個別性、国内に技術を蓄積し、国内で核廃棄物処理を行うことの意味を取り込んだ前提の設定を意識することが必要と考えられる。
- ・（Ｅ委員）処理から処分までの全体最適化を図るため、廃棄物の性状の変化が処分に影響する点を整理しながら進める必要があると考える。

２．研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

事業アウトカムを達成するために必要な研究開発内容が詳細に検討・抽出され網羅されている。また、そのアウトプットについても具体的な目標や定量的な目標値が明確にされている。低レベル放射性廃棄物については、その性状に応じてガラス原料や溶融ガラスの特徴が具体的に整理されている。高レベル放射性廃液については、ガラス固化に関する国内外のデータが網羅的に収集できていると考えられ、開発のポイントが絞り込まれている。特に、ガラス溶融炉の運転制御技術については、複数の極めて有望な廃棄物の充填率向上技術が開発できており、我が国の核燃料サイクル事業への適用が期待できる。

また、技術開発の経緯で得られた情報や知見は、膨大であると予想され、これらの情報・知見だけでなく、技術の課題や問題点についても記録に残し、継承していくことが財産になるものと期待される。

一方、低レベル放射性廃棄物の溶融ガラス化は複数方式の特徴整理に留まらず、より方式を絞り込んで単純化させた場合の溶融ガラスの特徴への影響まで検討を踏み込むと、より実用的で合理的な処理方式が期待できる。また、論文公開数が少ないように感じられる。この理由が、アウトカムに設定された本基盤研究事業の特性や特許取得に備えたりするもの等なのであれば、その旨を提示すべきである。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）低レベル廃棄物については、ガラス組成を選定し、運転方法を確立した。当初計画を 100% 達成した大きな成果が得られている。

ガラス溶融炉の運転制御技術については、複数の極めて有望な廃棄物の充填率向上技術が開発できており、我が国の核燃料サイクル事業への適用が期待できる。

なお、この分野は、とくに米、仏を筆頭に、膨大な開発が進行中であり、さらに我が国の規制・ガラス固化体の製造基準など厳しいものがあり、諸外国の技術ノウハウを簡単に導入できない背景がある。

- ・（Ｂ委員）研究開発を構成する各要素についてきちんとした検討がなされており、その成果を統合することで明確なアウトプットが得られていると判断できる。技術開発の経緯で得られた情報や知見は、膨大であると予想される。技術の課題や問題点についても記録に残し、継承していくことが財産になるとものとする。

- ・（Ｃ委員）事業アウトカムを達成するために必要な研究開発内容が、詳細に検討・抽出され網羅されている。また、そのアウトプットについても具体的な目標や定量的な目標値が明確にされている。
- ・（Ｄ委員）期待される成果が得られており、本基盤研究事業のアウトプットは妥当である。
- ・（Ｅ委員）低レベル廃棄物の性状に応じてガラス原料や溶融ガラスの特徴が具体的に整理されている。高レベル廃液の溶融化は国内外のデータが網羅的に収集できていると考えられ、開発のポイントが絞り込まれている。

【問題あり・改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）本研究基盤事業の成果を公開することで評価を受けるという意味では、論文公開数が少ないように感じられる。一方で、ここで少ないと断ずることは適切ではない部分もある。論文の公開数が１２件に留まり、また、被引用数が０であることが、アウトカムに設定された本基盤研究事業の特性、アプローチの手段・段階に依存したり、特許取得に備えたりするものであるなどの理由があるのであれば、その旨を提示すべきであろう。
- ・（Ｅ委員）低レベル廃棄物の溶融ガラス化は複数方式の特徴整理に留まらず、より方式を絞り込んで単純化させた場合の溶融ガラスの特徴への影響まで検討を踏み込むと、より実用的で合理的な処理方式が期待できる。

３．当省(国)が実施することの必要性

本事業で進めているガラス化技術は、高温で非定常の溶融ガラス流体を制御する難度の高い技術開発であり、多額の研究開発費および長期にわたる研究開発期間を要することから、民間企業のみでは実施することは非常に困難であるため、国が主導し、本事業を進めるのは極めて妥当である。

一方、アウトカムやアウトプットの設定、評価に対し、単なる目標の設定と評価に留まらず、国のエネルギー事業の根幹をなす事業との視点からのベネフィットの視点を導入すべきである。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）本事業で進めているガラス化技術は、１,１００～１,２００℃の高温で非定常の溶融ガラス流体を制御する難度の高い技術開発であり、開発費用、開発期間の観点からも、国が基盤的に実施すべき事業である。さらに研究者にとっては、大変挑戦的な先進的技術開発でもあり、シミュレーションや最適物質探索型のデータベース開発などの分野を含め、多くの付加価値が期待できる。
- ・（Ｂ委員）技術開発により得た成果が実現し、事業目的を果たすまでには、長期間を要することが予測される。技術力の維持継続も含めて、国の積極的な関与が必要な開発課題である。
- ・（Ｃ委員）原子力の研究開発・実用化は、核燃料サイクルの確立を目指すのが国の国是であり、産官学の総力・叡智を結集して取り組むべき事業である。そのなかでは、当然国と民間の役割分担があるが、本事業においては、技術的開発の相当の困難が考えられ（期間、費用など）、民間ではリスクが大きい。国が主導し、本事業を進めるのは極めて妥当である。
- ・（Ｄ委員）国民の安全・安心、また、我国の現在と将来にわたるエネルギー事業を支える大変意味のある、重要な基盤研究事業である。
- ・（Ｅ委員）低レベル廃棄物の処理技術は廃棄物の性状に応じた安定化等がポイントであり発生する事業に依らず共通的であるが、民間事業者には開発リスクがあるため研究開発が期待できない。原子力施設の廃止措置の円滑化や信頼性の高い処理技術の開発のためには国の主導で行うことは適

切である。

高レベル廃液の溶融は高度な技術が必要であり、国の主導でオールジャパン体制により対応が必要である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）アウトカムやアウトプットの設定、評価に対し、単なる目標の設定と評価に留まらず、国のエネルギー事業の根幹をなす事業との視点からのベネフィットの視点を導入すべきである。

４．事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

事業アウトカム達成に至るまでの適切・妥当なロードマップは適切に設定され、また、確実に達成されている。

一方、高レベル廃液を高充填溶融することによる、処分への影響の観点からの廃棄物の性状の変化についての検討を行う必要があると考えられる。基盤研究事業の成果とその享受者についての説明において、国のエネルギー事業の一部であること、また、国民の長期にわたる安全・安心に資する事業であることを意識し、国民の受けるベネフィットに関する表現が期待される。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）当初計画通りの成果が得られており、ロードマップは適切に設定されている。低レベル廃棄物の今後の実用化を目指したガラス化の取り組みについては、東電福島事故廃棄物のガラス固化事業への適用性を評価する事業で継続して行われる計画であり、妥当と判断される。
- ・（Ｂ委員）すべての技術開発項目に対して目標を達成できており、ロードマップは妥当であったと判断する。
- ・（Ｃ委員）これまでの事業展開においては、事業アウトカム至るまでの適切・妥当なロードマップが作成され、それに基づき期待された成果を挙げられてきている。令和元年度からに事業については、最終年度（Ｒ６年度）までの実施内容、達成されるべき目標が明示されているが、初年度においては研究開発内容や達成目標の年度展開を含むロードマップの作成が望まれる。
- ・（Ｄ委員）適切に設定され、また、確実に達成されている。
- ・（Ｅ委員）低レベル廃棄物が福島廃棄物への適用性検討に繋がられており研究成果の有効活用が期待される。

【問題点・改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）基盤研究事業の成果とその享受者についての説明において、国のエネルギー事業の一部であること、また、国民の長期にわたる安全・安心に資する事業であることを意識し、国民の受けるベネフィットに関する表現が期待される。
- ・（Ｅ委員）高レベル廃液を高充填溶融することによる、処分への影響の観点からの廃棄物の性状（核種）の変化についての検討を行う必要があると考えられる。

５．研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

実用化、技術開発、および基礎基盤研究のそれぞれについて、わが国の産官学の総力・英知を結集し、オールジャパン体制で取り組んでいる事業であり、計画的に会合が持たれ協議調整もなされていることから、研究開発実施・マネジメント体制は万全と考える。

一方、マネジメントの視点からは、その体制、方法論、また、リスクの見込みと対策、マネジメントの評価方法、教訓の獲得と成功へのフィードバック構造が提示されておらず、また、国民の受けるベネフィットの視点からの全体最適化について言及されていないため、改善の余地がある。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）実用化、技術開発、および基礎基盤研究のそれぞれについて、我が国の最先端の専門家を集めたオールジャパンの開発体制が確立されている。プロジェクトリーダーの専門性や管理能力も極めて高く、評価委員会の定期レビューを踏まえ、適切な研究開発、知財のデータベース化と技術ノウハウの管理が適切に実施されている。
- ・（Ｂ委員）非常に多くの機関と連携しており、進捗管理や調整に多大な時間や労力を要すると思われるが、計画的に会合が持たれ協議調整もなされており、マネジメント体制としては整っているものと推察する。
- ・（Ｃ委員）わが国の産官学の総力・叡智を結集して取り組んでいる事業である。ガラス固化や熔融炉の技術力・知見・経験豊富な機関・組織が参集しており、研究開発実施・マネジメント体制は万全と考える。さらに、外部からの中立的な評価や助言を反映できる柔軟な実施体制を構築している。また、主要受託４社での月例会議（１回/月）が開催され、各研究の課題、フォローアップ等が行える点も評価できる。
- ・（Ｄ委員）複数の事業者の連携の下で、適切に実施されており、妥当と判断できる。
- ・（Ｅ委員）高レベル廃液の溶融については高度な研究開発が必要となるが、オールジャパン体制であり適切である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）マネジメントの視点からは、その体制、方法論、また、リスクの見込みと対策、マネジメントの評価方法、教訓の獲得と成功へのフィードバック構造が提示されておらず、また、ベネフィットの視点からの全体最適化について言及されていない。
- ・（Ｅ委員）高レベル廃液の溶融における海外機関の協力については、知財の権利関係、原子力技術であることからの共有の範囲を明示される必要があると考えられる。

６．費用対効果の妥当性

本事業では、処分すべき廃棄体の削減効果が期待でき、これは処分事業の効率化に直接つながるため、投資対効果の高い事業と判断される。

一方、ベネフィット視点の評価が不足しており、必ずしも適切に評価できない部分もある。また、セメント固化とガラス化の比較で投資効果の総合評価を事業終了時に行う予定にしている。しかし、そもそも従来型の普通セメントによる固化では、安定的な処分廃棄体が製造できない可能性が高い廃棄物を扱う場合もあり、この点を踏まえた総合評価が必要である。高レベル廃液の高充填化にあたっては、熔融固化から最終的な処分までの全体最適化に踏み込んで、トレードオフになる課

題(例えば高充填による減容効果と埋設処分への影響等)やメンテナンス容易性等を整理の上検討を進められると、より合理的で実用的な成果が期待できると考えられる。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 平成 26～H30 年度までの総執行額は約 27 億円であり、極めて投資対効果の高い事業と判断される。

処分すべきガラス固化体廃棄体は数万本レベルに及ぶもので、高レベル処分の場合、1 本当たり数千万円を必要とする。本事業では、処分すべき廃棄体の削減効果が期待でき、これは処分事業の効率化に直接つながるので、投資額の妥当はこうしたケーススタディからも容易に判断できる。

- ・(B委員) ある程度の仮定や不確実性も存在する中で試算されているが、はじき出された金額としては、一定の効果があると評価する。
- ・(C委員) 低レベル廃棄物、高レベル廃棄物ともに、本事業により開発された技術が実用化された場合に見込まれる、具体的な経費削減効果が示されており、投入された資源量に対し大きな効果が得られることが期待される。
- ・(D委員) 期待される成果が得られており、妥当である。
- ・(E委員) 低レベル廃棄物については減容化に伴う輸送・処分コストの減少は期待され、また高レベル廃液の溶融化は輸送コスト等の減少が期待される。コストの観点以外にガラス固化することで有機物が処理され廃棄物性状が安定化する効果も期待される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) セメント固化とガラス化の比較で投資効果の総合評価を事業終了時に行う予定にしている。しかし、そもそも従来型の普通セメントによる固化では、安定的な処分廃棄体が製造できない可能性が高い廃棄物を扱う場合もあり、この点を踏まえた総合評価が必要である。
- ・(B委員) あくまでも試算であり、事業成果が実現することで初めて効果が評価されるものであるから、実現に向けて継続的な取り組みが必要と考える。
- ・(D委員) ベネフィット視点の評価が不足しており、必ずしも適切に評価できない部分もある。
- ・(E委員) 高レベル廃液の高充填溶融にあたっては、溶融固化から最終的な処分までの全体最適化に踏み込んで、トレードオフになる課題(例えば高充填による減容効果と埋設処分への影響等)やメンテナンス容易性等を整理の上検討を進められると、より合理的で実用的な成果が期待できると考えられる。

7. 総合評価

極めて合理的な研究開発計画を策定し、当初の計画以上の成果が得られた。この分野の専門家の英知を結集したオールジャパン体制で、強いリーダーシップと PDCA 的な進捗管理のもと、着実な技術開発が行われた。今後、高燃焼度燃料や MOX 燃料の処理において発生する廃棄物へも対象を広げていく場合、当事業で整備したデータベースや蓄積した技術的知見が、柔軟かつ適切に活用できるものと推察する。国が積極的に関与しつつ、当事業の成果がきちんと生かされる場を追求し、経済効果や環境負荷低減(処分場の負荷低減)につながるよう継続的な努力を望む。

一方、溶融固化から最終的な処分までの全体最適化の観点に踏み込んで、トレードオフになる課

題等を整理の上検討を進めるべきである。また、一定の成果を期待して実施する事業であるので、国民の利益を考慮したベネフィットを明確化し、ベネフィットの達成をもって最終的な成功とすることを評価に加えるべきと考える。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）極めて合理的な研究開発計画を策定し、当初の計画以上の成果が得られた。オールジャパン体制で、この分野の専門家の英知を結集し、強いリーダーシップと PDCA 的な進捗管理の元、着実な技術開発が行われた。それぞれの役割分担も適切であり、さらに評価委員会からの効果的なアドバイスも頂けたことが、有機的で優れた成果が得られた背景としてある。
- ・（Ｂ委員）低レベル放射性廃棄物のガラス固化技術の基盤整備、高レベル廃液のガラス固化技術の高度化という当初の目標は十分に達成できたものとする。今後、高燃焼度燃料や MOX 燃料の処理において発生する廃棄物へも対象を広げていく場合、当事業で整備したデータベースや蓄積した技術的知見が、柔軟かつ適切に活用できるものとなっているかが明らかになるものと推察する。
- ・（Ｃ委員）平成３０年度までの低レベル廃棄物のガラス固化技術については、的確かつ妥当なロードマップ・計画の基づき確実に成果が挙げられ、目標が達成されている点で、高く評価できる。
高レベル廃棄物のガラス固化については、今後燃料の多様化が益々進展するものと予想され、着実に進めて行ってほしい。
- ・（Ｄ委員）妥当な成果が得られており、国費による基盤研究事業として適切である。
- ・（Ｅ委員）廃棄物処理は埋設処分までを考慮して廃棄物性状を安定化させること及び全体のコストを低減させるために減容することの両立を目指すことが基本的考え方であると考えられる。本事業はこの考え方に沿った取り組みであり研究成果が期待される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）高レベル廃棄物のガラス固化についての技術成果について、今後事業者 JNFL が自らの事業に取り込む戦略を、本事業の進捗を踏まえ、中期的に明らかにする必要がある。
- ・（Ｂ委員）費用対効果として机上検討による試算にとどまるのではなく、技術が実際に活用されて初めて効果として現れると考える。国が積極的に関与しつつ、当事業の成果がきちんと生かされる場を追求し、経済効果や環境負荷低減（処分場の負荷低減）につながるよう継続的な努力を望む。
- ・（Ｄ委員）国費の最適化配分を保証するポートフォリオが明確ではなく、本基盤研究事業のアウトカムの設定が個別の研究活動の目標設定に終始している感がある（実際がそうであるという意味ではない）。萌芽的ではなく、一定の成果を期待して実施する事業であるので、国民の利益を考慮したベネフィットを明確化し、事業の計画と進行の両面で最適化を図ることが必要である。加えて、ベネフィットの達成をもって最終的な成功とすることを評価に加えるべきと考える。
- ・（Ｅ委員）溶融固化から最終的な処分までの全体最適化の観点に踏み込んで、トレードオフになる課題等を整理の上検討を進められることで、より合理的で実用的な成果が期待できると考えられる。

【評点を付けるに当たり、考慮した（重要視した）点】

- ・（Ａ委員）成果そのものと、これらを支える体制、さらには専門的知見のレベル。

- ・（Ｂ委員）各実施項目に対して得られた成果と、それらを統合することで事業全体の目標に対してどのような結果が得られているかという点。
- ・（Ｃ委員）固化技術・熔融炉技術を支える技術諸要素について、本事業の実用化に当たっての練度（可能性）および総体的な費用削減効果
- ・（Ｅ委員）高レベル廃液の高充填溶融について、費用対効果の中で具体的にコスト低減効果が評価されており今後の開発が期待される

８．今後の研究開発の方向等に関する提言

ガラス固化体への廃棄物充填率を向上させることは、固化体の本数を削減できるという意味では効果的に見えるが、管理上も処分場の負荷も大きく変わらない可能性もある。溶融固化から最終的な処分までの全体最適化の観点に踏み込んで、トレードオフになる課題等を整理の上検討を進めることで、より合理的で実用的な成果が期待できると考えられる。

今後、高燃焼度燃料や MOX 燃料の処理により発生する廃棄物をガラス固化する場合の検討を進めていくことになるが、充填率の高いガラス固化体を作ることが効果的となるのはどのような条件か、シナリオを検討し選定していくことが必要と考える。

本事業が、国民に対してどのようなベネフィットを提供することに繋がる成果を示せたのかといったようなことを適切に示せるように事業を進めるべきである。

また、事業者、国、大学の専門家を集めたこれまでの体制を、世代交代、人材育成を踏まえ、維持、発展できるよう、国の強い支援が望まれる。

【各委員の提言】

- ・（Ａ委員）今後低レベル廃棄物のガラス化については、東電福島第一サイトにある事故廃棄物のガラス化事業にマージして開発・評価を行う道筋ができているが、高レベル廃液のガラス固化は、これまで本事業で得られた極めて有望な方策を、継続・発展する計画である。工学的技術開発課題を適切に設定し、関係者が高度なイノベーション技術を開発するという強いマインドとプライドを持って取組むことを切望する。

なお、事業者、国、大学の専門家を集めたこれまでの体制を、世代交代、人材育成を踏まえ、維持、発展できるよう、国の強い支援をお願いしたい。

- ・（Ｂ委員）ガラス固化体への廃棄物充填率を向上させることは、固化体の本数を削減できるという意味では効果的に見えるが、管理上も処分場の負荷も大きく変わらない可能性もある。経済効果が試算されているが、本来ならば処分への影響（効果）まで含めた総合的な評価をすべきである。今後、高燃焼度燃料や MOX 燃料の処理により発生する廃棄物をガラス固化する場合の検討を進めていくことになるが、充填率の高いガラス固化体を作ることが効果的となるのはどのような条件か、シナリオを検討し選定していくことが必要と考える。また新たな課題を抽出し、研究開発のモチベーションとなるよう、まとめていくことも重要と考える。
- ・（Ｃ委員）低レベル廃棄物のガラス固化は、従来技術に比べれば施設設備費は格段に大きい。実用化に当たっては、多目的型（万能型）ではなく対象物を限定した（例えば、廃イオン交換樹脂）施設設備を検討すること、また、ガラス固化体は廃棄体数を削減できることに加えて、それ自身にバリア機能（閉じ込め機能）を期待できる点で、わが国の処分方策に改革をもたらす可能性があることを念頭において進めることを提言する。

令和元年度からの、高レベル廃棄物のガラス固化の高度化事業については、早急に後年度の事業ロードマップ・計画の策定を進めて頂きたい。

海外調査にあたっては、実用施設設備が稼働中であれば、その実績・稼働率や不具合・トラブル情報も可能な限り収集して欲しい。

- ・（D委員）プロジェクトの計画と評価に終始することなく、ポートフォリオ・レベル、および、プログラム・レベルでの評価の導入が期待される。

研究開発プロジェクトは、課題の性格によるが、必ずしも事業的な発展を期待するものばかりではないだろう。これは、国費を投入するものであれば一層のこと、プロジェクトの統合体であるプログラムとしての成果が、国費配分の根拠となるポートフォリオの期待するベネフィットに適うものであるか、また、最終成果物に至るプロセスがベネフィットの最大化を基準に最適化されたか否かを評価に加え、これによって国民への説明義務を果たし、事業に対する理解を得るべきであると考ええる。

本基盤研究事業は、目前にある核廃棄物の処理を確実、安全・安心に行うために必要な必須事業であると考えられる。事業者は、何を行うべきか、何を求めるべきかに関して、概ね適切な対応と成果を得たと考えられる。一方で、その成果が如何に使われ、如何に国民の利益に還元されるかに関しては、少なくとも、その説明の必要十分性の充足に欠ける点は否めない。

本事業が必要なものであることは繰り返し言うところではなく、一方で、その成果の表現の仕方については、今後の実用化段階を見据えた取り組みを行う過程において明確にするよう改善を求めたい。

- ・（E委員）「7. 総合評価の【問題点・改善すべき点】」で述べたとおり、溶融固化から最終的な処分までの全体最適化の観点に踏み込んで、トレードオフになる課題等を整理の上検討を進められることで、より合理的で実用的な成果が期待できると考えられる。

<上記提言に係る担当課室の対処方針>

平成 31 年度以降の事業において、MOX 燃料の利用を念頭とした、ガラス固化から最終的な処分までの全体最適化の観点に踏み込んだ処分シナリオ検討を行う。具体的には、ガラス固化体への廃棄物充填率向上に伴う課題の整理を行うとともに、ガラス固化体発生本数及び処分場の面積や管理面などの観点から、最も効果的となる廃棄物充填率等の検討を実施する。

本事業は、我が国の産業活動や国民が享受する電力供給を担う、原子力関連事業から排出される放射性廃棄物の安定化、減容化等を目指した処理技術の開発を行うものであり、この成果は国民生活の安全、安心や環境防護の向上に繋がるとともに、国が推進する原子力政策への信頼性の向上に資すると考えている。そのようなベネフィットを有している点について、「エネルギーに関する基礎用語や基本データ、最新の動向やトピックなど政策に関連する情報をできる限りわかりやすく表現するよう継続的に努めるとともに、その内容を、資源エネルギー庁のホームページなどを活用して、随時、丁寧に発信していく」としたエネルギー基本計画（平成 30 年 7 月閣議決定）に基づき示していく。具体的には、資源エネルギー庁のホームページなどで、核燃料サイクルによる高レベル放射性廃棄物の減容効果（ガラス固化体）などを紹介している。引き続き、エネルギー基本計画に基づき、本事業成果を含むエネルギーに関する基礎用語や基本データ、最新の動向やトピックなど政策に関連する情報を随時、丁寧に発信していく。

本事業は令和6年度までの継続事業であることから、今後も得られた成果などを再委託先の関連メーカーや大学など幅広く展開することで、これまで構築してきた体制を一層発展させるとともに、引き続き維持できるよう支援していく。

B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討

1. 事業アウトカムの妥当性

低レベルウラン廃棄物に含有されるウランの処理・処分の課題に対する解決策として、出来る限りウランそのものを廃棄物から除去することが有力かつ現実的である。ウラン廃棄物の除染方法の選定やクリアランスレベルの測定手法の確立や二次廃棄物の処理方法も含め、本事業で開発する技術は低レベル放射性廃棄物の負荷低減効果が大きいと期待され、また、国民の安全・安心の確保に資するものであり、そのために設定されたアウトカムは適切であると判断できる。特に、ウラン廃棄物のウラン含有量の非破壊測定の研究開発は、チャレンジングであり、かつウラン廃棄物以外にも適用できる可能性があり、今後の展開が大いに期待される。

一方、もう少し定量的な指標を盛り込んだ目標値を設定するとともに、クリアランスされた廃棄物を有効利用する方策についてのケーススタディ等への取り組みがあっても良かったと考える。

【肯定的所見】

- ・（A委員）低レベルウラン廃棄物に含有されるウランの処理・処分にに向けた取り組みは、各国とも主として安全規制の観点から難題となっている。出来る限りウランそのものを廃棄物から除去することが有力かつ現実的な解決策である。
本事業で取り組んだ低レベル廃棄物からのウランの除去とその効果を判定する測定技術開発は、国内のウラン取扱い事業者が中期的にウラン系廃棄物の処理・処分やクリアランス利用を効率的に推進する上で、極めて実用的かつ重要な基盤研究事業である。
- ・（B委員）ウラン廃棄物の除染方法の選定やクリアランスレベルの測定手法の確立、除染に伴い発生する二次廃棄物の処理方法も含め、本事業を実施することで手法の選定が明確化され、低レベル放射性廃棄物の負荷低減の可能性があるため、課題解決に与える効果は大きいと考える。
- ・（C委員）わが国においては低レベル廃棄物中のウラン汚染物の処理処分は大きな課題であることを的確に認識し、その低減および最終的に発生する廃棄物のガラス固化を念頭に措いた研究開発は妥当である。特に、ウラン廃棄物のウラン含有量の非破壊測定の研究開発は、チャレンジングであり、かつウラン廃棄物以外にも展開できる可能性があり、大いに期待される。
- ・（D委員）本基盤研究事業は、国民の安全・安心の確保に資する基礎的な技術に関するものであり、そのために設定されたアウトカムは適切であると判断できる。
- ・（E委員）実証試験による除染効果の確認、二次廃棄物の低減、測定装置による性能確認がなされており、実用的な成果が図られている。また、成果を学会標準として歯止めをかけている取り組みは効果的である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（B委員）設定した課題に対して技術的な実証や手法の確立が目標となっているが、もう少し定量的な指標を盛り込んだ目標値を設定してもよかったのではないかと考える。それにより、除染手法と二次廃棄物の処理・ガラス固化まで含めた一連の流れの中で、最適な手法選定に繋がるものと考えられる。さらに目標値を達成するための条件や課題も抽出できれば、次へのステップになると考える。
- ・（D委員）成果物のあるべき姿が明確であり、特に示すべき問題点・改善はない。
- ・（E委員）本事業は効果的な除染と検認にフォーカスされているが、クリアランスされた廃棄物を

有効利用する方策についてのケーススタディ等への取り組みがあっても良かったと考える。再利用や再使用することでのメリットが効果として付け加わり、効果として認知されることにより、クリアランス処理の実施が促進され、ひいては循環型社会の形成に寄与できると考える。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

事業アウトカムを達成するために必要な検討項目が詳細に抽出され網羅され、アウトプットについても具体的な目標や定量的な目標値が明確に設定されている。この結果、除染・精密測定データを計画どおり取得し、実規模の除染・分離統合システム装置の試作・試験を行い、実用化の見通しまで得られたことは大いに評価できる。また、当該研究の範囲が概ね限定的であるにも関わらず、論文公開2件、引用1件、特許1件といった可視化された成果を得たことも評価できる。

一方、実規模の除染・分離統合システム装置の試作機にウエットブラスト法のみが採用されており、酸浸漬法が採用されなかった理由を明確にすべきである。

【肯定的所見】

- ・（A委員）除染技術を二通り選定し、模擬廃棄物を用いて、実廃棄物に適用するための各種工学的、基礎的データを計画通り取得し、それらの効果を実証した。さらに微量の残留ウラン測定技術を含め、実規模の統合システムへの展開、実用化の見通しが得られた。
- ・（B委員）各課題に対し十分な検討がなされ、除染・分離統合システム装置の製作と性能評価を実施できたことは評価できる。また、クリアランス測定についても標準化に向けた取り組みに繋がり、良好な成果が出されたものと判断できる。
- ・（C委員）事業アウトカムを達成するために必要な研究開発内容が、詳細に検討・抽出され網羅されている。また、そのアウトプットについても具体的な目標や定量的な目標値が明確である。
- ・（D委員）期待される成果が得られており、本基盤研究事業のアウトプットは妥当である。本基盤研究事業の成果が、当該専門学会で取り上げられたことは、この分野の専門的な議論に何らかの端緒を与えたことであり、その結果を見るまでもなく歓迎すべきことである。また、当該研究の範囲が概ね限定的であるにも関わらず、論文公開2件、引用1件、特許1件といった可視化された成果を得たことは評価されるべきである。
- ・（E委員）除染データや測定データ等が具体的に得られており、ウラン等の除去技術の特徴が整理されている。

【問題あり・改善とする所見】

- ・（B委員）酸浸漬法とウエットブラスト法のどちらも技術的には成立するが、統合システム装置にはウエットブラスト法が採用されており、その判断理由があまり明確ではない印象を受けた。

3. 当省(国)が実施することの必要性

本事業は国民の安全・安心、また、我が国の現在と将来にわたるエネルギー事業を支える大変意味のあるものであること、また、国内にはウラン燃料加工メーカーや研究開発機関、大学などウラン系廃棄物を管理している機関が多くあるものの、いずれも中小規模であることから、本事業のような共通基盤的で優先度の高い先端技術開発は国の主導で実施することが適切である。

一方、アウトカムやアウトプットの設定、評価に対し、単なる目標の設定と評価に留まらず、国のエネルギー事業の根幹をなす事業との視点からのベネフィットの視点を導入すべきである。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）国内には軽水炉用ウラン燃料製造メーカーやＲ＆Ｄ機関、大学などウラン取扱い事業者やウラン系廃棄物を管理している機関が多くあるが、いずれも中小規模であり、共通基盤的で優先度の高い技術課題や先端的技術開発は、国が主導で行う必要がある。
- ・（Ｂ委員）国が推進する核燃料サイクルの一部であるという明確な理由が存在する。特に、フロントエンドから発生する廃棄物については、特徴が明確なものが多いと思われ、処理処分のための方策を積極的にとることで、廃棄物低減に効果を発揮できると考える。一方、ウラン廃棄物を抱える事業者は限定的であり、課題を解消するためには国の積極的なサポートが必要である。
- ・（Ｃ委員）核燃料サイクルの確立を目指した研究開発は、我が国の国是であり、産官学の総力・叡智を結集して取り組むべき事業である。本事業はウラン廃棄物に係わる事業であり、民間の役割が大きいものの、国が主導し、本事業を進めるのは妥当である。
- ・（Ｄ委員）国民の安全・安心、また、我国の現在と将来にわたるエネルギー事業を支える大変意味のある、重要な基盤研究事業である。
- ・（Ｅ委員）核燃料サイクル事業者に共通的な技術課題であることと、事業者によるクリアランス処理の促進による廃棄物の有効利用を目指すことは、廃棄物の低減のみならず、ひいては循環型社会の形成に寄与する意味から、国の主導で実施することは適切である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）アウトカムやアウトプットの設定、評価に対し、単なる目標の設定と評価に留まらず、国のエネルギー事業の根幹をなす事業との視点からのベネフィットの視点を導入すべきである。

４．事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

事業終了後の実用化を前提として、除染、二次廃棄物からの分離、除染後廃棄物の精密測定といった３段階の技術開発計画が明確である。これをベースとして事業アウトカム至るまでのロードマップが適切に作成され、成果技術の標準化を進めるための基礎データ取得を含め当初計画通りの成果が得られたことから、極めて妥当な取り組みであったと評価する。

一方、クリアランス処理後の残されたものに対して、除去後のウラン等の扱いやウラン等が除去された廃棄物の有効利用について追加されるとより網羅的な技術開発になると考えられる

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）中期的な廃棄物の処理・処分事業の本格化時点 2030 年頃を前提に、それまでの実用化、規格化、さらには実際の廃棄物製造などの取り組みを行うロードマップを設定している。この中期に至る初期の重要な取り組みが本事業であり、標準化を進めるための基礎データ取得を含め、当初計画通りの成果が得られ、極めて妥当な取り組みである。
- ・（Ｂ委員）2050 年頃までに見込まれるウラン廃棄物の量が把握できていることから、実用化に向けた取り組みが着実に進められれば、ロードマップの通りに達成できると推察する。それには、除染廃液からのウラン回収、最終的なガラス固化まで含めた検討も同時に進める必要がある。
- ・（Ｃ委員）本事業においては、事業終了後の実用化を前提にして、事業アウトカム至るまでの適

切・妥当なロードマップが作成され、それに基づき期待された成果を挙げられてきている。今後は、実用化に当たって急務となる技術の標準化の実現に期待する。

- ・（Ｄ委員）適切に設定され、また、確実に達成されている。
- ・（Ｅ委員）ウラン等の除去、二次廃棄物からの分離、検認の３段階での取り組みが明確であり、適切であるとする。

【問題点・改善とする所見】

- ・（Ｄ委員）基盤研究事業の成果とその享受者についての説明において、国のエネルギー事業の一部であること、また、国民の長期にわたる安全・安心に資する事業であることを意識し、国民の受けるベネフィットに関する表現が期待される。
- ・（Ｅ委員）クリアランス処理後の残されたものに対して、除去後のウラン等の扱いやウラン等が除去された廃棄物の有効利用について追加されるとより網羅的な技術開発になると考えられる。

５．研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

国内の主要なウラン取扱いメーカーや研究機関の協力のもとで、本事業が組織的かつ計画的に展開され、特許の出願や標準化への取り組みが行われていることから、効果的な研究開発体制が組み立てられていたものと判断する。

一方、マネジメントの視点からは、リスクの見込みと対策や教訓の獲得と成功へのフィードバック構造などが明示されておらず、今後はそのような取り組みも推進すべき。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）国内の主要なウラン取扱いメーカーや研究機関の協力の元、本事業が組織的かつ計画的に展開された。国内の共通技術として実用化する上で、こうした体制や計画での技術開発への取り組みは必須のものであり、妥当と判断される。
- ・（Ｂ委員）ウラン廃棄物が発生し対応が必要となる事業者が協力し取り組みがなされている。特許の出願や標準化への取り組みが行われていることから、効果的な研究開発・マネジメント体制が組み立てられていたものと推察する。
- ・（Ｃ委員）わが国の産官学の総力・叡智を結集して取り組む事業である。ウランに関しての豊富な研究開発の実績を有する国の機関とユーザーとなる民間企業の相互協力からなる研究開発実施・マネジメント体制は、事業アウトカム達成までの期間も妥当であり、継続すべきである。
- ・（Ｅ委員）適宜開催された調整会議や外部評価委員会によるフォローアップ等を実施してきており、研究開発の実施・マネジメント体制は適切であったと考えられる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ｂ委員）本事業成果を基に、実用化を目指した取り組みを推進すべきであるが、事業者任せだけでは進めることは難しいと思われる。その意味では、事業後の体制がやや不明確な印象を受ける。
- ・（Ｄ委員）マネジメントの視点からは、その体制、方法論、また、リスクの見込みと対策、マネジメントの評価方法、教訓の獲得と成功へのフィードバック構造が提示されていない。さらに、ベネフィットの視点からの全体最適化について言及されていない。

6. 費用対効果の妥当性

本事業の成果は、低レベル廃棄物からのクリアランスを実現するために直接利用できるものである。国内の関連事業者がクリアランスを進めることで、埋設処分費用の低減になり、大きな投資対効果が得られるものと期待される。今後、発生量が急増するウラン汚染資器材のクリアランス化は、循環型社会形成推進基本法にそった事業であり、促進が望まれる。

一方、廃棄物から除去したウラン等の処理処分についての課題等や廃棄物の有効利用による更なる効果についての評価が加えられるとよい。

【肯定的所見】

- ・（A委員）本事業の成果は、低レベル廃棄物からのクリアランスを実現する過程で直接利用でき、国内の関連事業者がクリアランスを進めることで、埋設処分費用の低減になり、大きな投資対効果が得られる。
- ・（B委員）ウラン廃棄物の発生量の予測が可能であることから、本事業の成果が実現すれば費用対効果も明確であると考ええる。実用化を目指した更なる取り組みが必要ではないか。
- ・（C委員）本事業により開発された技術が実用化された場合に見込まれる、具体的な経費削減効果が示されており、投入された資源量に対し大きな効果が得られることが期待される。また、今後発生量が急増するウラン汚染資器材のクリアランス化は、循環型社会形成推進基本法にそった事業であり、促進が望まれる。
- ・（D委員）期待される成果が得られており、妥当である。
- ・（E委員）投入した国費に対して期待される効果は大きく十分な費用対効果が得られると考えられる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（D委員）ベネフィット視点の評価が不足しているが、研究対象が限定的であり、期待される成果物が得られていることを容易に確認できる。
- ・（E委員）除去したウラン等の処理処分についての課題等や廃棄物の有効利用による更なる効果についての評価が加えられるとよいと考えられる。

7. 総合評価

ウラン廃棄物の特性を考慮すると、ウラン廃棄物からのウラン除染・回収及びクリアランスは廃棄物量の低減につながる大変重要なプロセスである。本事業で開発した技術の実用化に向け、厳しいクリアランス制度を満足できる除染技術や残留ウラン測定技術を実証することが肝要で、今後進めることにしている工学規模の試験にしっかり取り組んで頂きたい。また、より網羅的な廃棄物処理処分のため、クリアランス後の廃棄物の有効利用や除去されたウラン等の処理処分についての課題に踏み込んだ取り組みが求められる。

また、本事業は一定の成果を期待して実施してきたものであるため、国民の利益を考慮したベネフィットを明確化し、その達成をもって最終的な成功とすることを評価に加えるべき。

【肯定的所見】

- ・（A委員）当初計画通りの成果が得られ、低レベルクラスのウラン系廃棄物の処理・処分に向けて

大きく前進したと判断される。

- ・（Ｂ委員）ウラン廃棄物は減衰が期待できないため、永久的な管理が必要となることを考慮すると、除染・ウラン回収及びクリアランスは廃棄物量の低減につながる大変重要な事案である。本事業では、これらを解決するための技術的情報がまとめられており、成果を実用化へ着実につなげるため、取り組みを継続すべきである。
- ・（Ｃ委員）現在のところウラン廃棄物に対する処分制度の整備は先送りになっているが、本事業のアウトプットやアウトカム成果は、適正かつ合理的な処分制度の確立に資することが大いに期待される。
- ・（Ｄ委員）妥当な成果が得られており、国費による基盤研究事業として適切である。
- ・（Ｅ委員）核燃料サイクル事業者にとって共通的な課題であり、クリアランス処理による効果的な廃棄物処理は国として取り組む意義がある。また、実証を経て得られた成果は具体的である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）クリアランス制度については、規制委員会が最近厳しい内規を設定した。これを満足できる除染技術や残留ウラン測定技術を実証することが肝要で、今後進めることにしている工学規模の試験にしっかり取り組んで頂きたい。
- ・（Ｂ委員）最終的に発生する廃棄物はガラス固化することが本事業の目的であったが、本事業内でガラス固化への流れがやや希薄になっているように感じた。ただ、発生する廃棄物について、ガラス固化への適用が見通せることが確認されているので問題はない。
- ・（Ｄ委員）国費の最適化配分を保証するポートフォリオが明確ではなく、本基盤研究事業のアウトカム設定が個別の研究活動の目標設定に終始している感がある（実際がそうであるという意味ではない）。萌芽的ではなく、一定の成果を期待して実施する事業であるので、国民の利益を考慮したベネフィットを明確化し、事業の計画と進行の両面で最適化を図ることが必要である。加えて、ベネフィットの達成をもって最終的な成功とすることを評価に加えるべきと考える。
- ・（Ｅ委員）より網羅的な廃棄物処理処分のため、クリアランス後の廃棄物の有効利用や除去されたウラン等の処理処分についての課題に踏み込んだ取り組みが今後求められると考える。

【評点を付けるに当たり、考慮した（重要視した）点】

- ・（Ａ委員）実用化までの見通しがある技術成果の取得と難易度の高い技術開発の達成状況。
- ・（Ｂ委員）成果の具体的内容とそれが及ぼす効果、実用化の可能性について。
- ・（Ｃ委員）除染・分離技術を成立させる技術諸要素について、本事業の実用化に当たっての練度（可能性）および総体的な費用削減効果。
- ・（Ｅ委員）具体的なアウトプット、費用対効果

８．今後の研究開発の方向等に関する提言

実際に廃棄物のクリアランスを推進するためには、本事業で開発した技術の標準化や基準化、実際の汚染検査過程への適用など、さらに多くの取り組みが必要とされる。現在、原子力学会で取り組んでいる標準化、さらには実廃棄物での実効的データの積み重ねと改善などを着実に進めてほ

しい。また、今後、クリアランス後の廃棄物の有効利用や除去されたウラン等の処理処分についての課題に踏み込んだ取り組みが実施されることを期待する。

さらに、国民の期待に応えているか否かという視点からベネフィット・ベースの最適化、評価を期待したい。

【各委員の提言】

- ・（Ａ委員）実廃棄物のクリアランスを推進するためには、標準化や基準化、実際の検査過程への適用など、さらに多くの取り組みが必要とされる。現在、原子力学会で取り組んでいる標準化、さらには実廃棄物での実効的データの積み重ねと改善など、を着実に進めていって頂きたい。
- ・（Ｂ委員）クリアランス対象となるウラン廃棄物が発生量の５０％以上を占めていることを考えると、本事業の成果をきちんと実行できるよう進めるべきである。各事業者の独自の対応に任せるだけでは、実現は難しいのではないか。
- ・（Ｃ委員）現在、第二種埋設事業（低レベル廃棄物の埋設事業）の改正規定が施行されようとしている。この改正は、「仕様規定」を「性能規定」化するものであり、性能を満たす仕様の決定にあたっては民間基準（例えば、学会標準）の採用が促進される。本事業においては、除染・分離技術および非破壊測定技術の学会標準化がアウトカムの一つの柱であるとの認識のもと、事業を積極的に進めて行ってほしい。
- ・（Ｄ委員）以上までに示した通りであるが、プロジェクトの計画と評価に終始することなく、ポートフォリオ・レベル、および、プログラム・レベルでの評価の導入が期待される。

研究開発プロジェクトは、課題の性格によるが、必ずしも事業的な発展を期待するものばかりではないだろう。これは、国費を投入するものであれば一層のこと、プロジェクトの統合体であるプログラムとしての成果が、国費配分の根拠となるポートフォリオの期待するベネフィットに適うものであるか、また、最終成果物に至るプロセスがベネフィットの最大化を基準に最適化されたか否かを評価に加え、これによって国民への説明義務を果たし、事業に対する理解を得るべきであると考ええる。

本基盤研究事業は、達成すべき目標が明快であるので、必ずしも上述のことが当てはまらないかもしれない。中・小規模プロジェクト、特に限定的かつ具体的な成果を得るためのプロジェクトにおいては、国民の期待に応えているか否かという視点からベネフィット・ベースの最適化、評価を期待したい一方で、規模、期間等に見合った計画と評価を求めるべきと考える。

- ・（Ｅ委員）「７．総合評価の【問題点・改善すべき点】」で述べたが、より網羅的な廃棄物処理処分のため、クリアランス後の廃棄物の有効利用や除去されたウラン等の処理処分についての課題に踏み込んだ取り組みが今後求められると考える。ウラン等廃棄物に限らないがクリアランス廃棄物の有効利用を促進する取り組みは、処分コストの低減のみならず循環型社会の形成に寄与すると考える。

＜上記提言に係る担当課室の対処方針＞

現在取り組んでいる原子力学会での標準化に加え、実廃棄物への検査適用確認などのクリアランス実施に必要な取組を、引き続き確実に行う。

クリアランス後の廃棄物の有効活用は、ウラン汚染物に限らず、放射性廃棄物に共通の重要な課

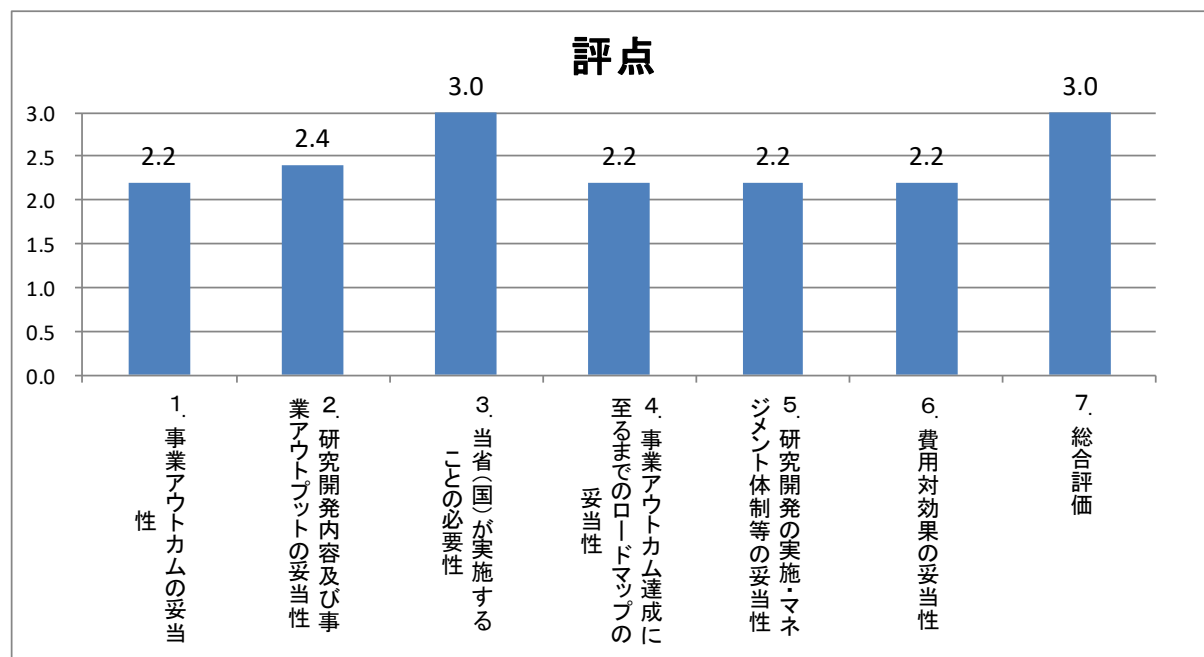
題と認識している。今後の実用化に向けた課題の一つと考えており、ケーススタディを行う等の検討を行い、クリアランス後の廃棄物の有効活用につなげるための取組を、引き続き確実に行う。

令和元年度以降の事業では、最終成果物に至るプロセスがベネフィットの最大化を基準に最適化されたか否かを評価に加える。

Ⅲ. 評点法による評価結果

A. ガラス固化技術の基盤整備

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.2	2	2	3	2	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.4	2	3	3	2	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	3.0	3	3	3	3	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.2	2	2	2	3	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.2	3	2	3	1	2
6. 費用対効果の妥当性	2.2	2	2	2	3	2
7. 総合評価	3.0	3	3	3	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

3点：極めて妥当

2点：妥当

1点：概ね妥当

0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(中間評価の場合)

3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

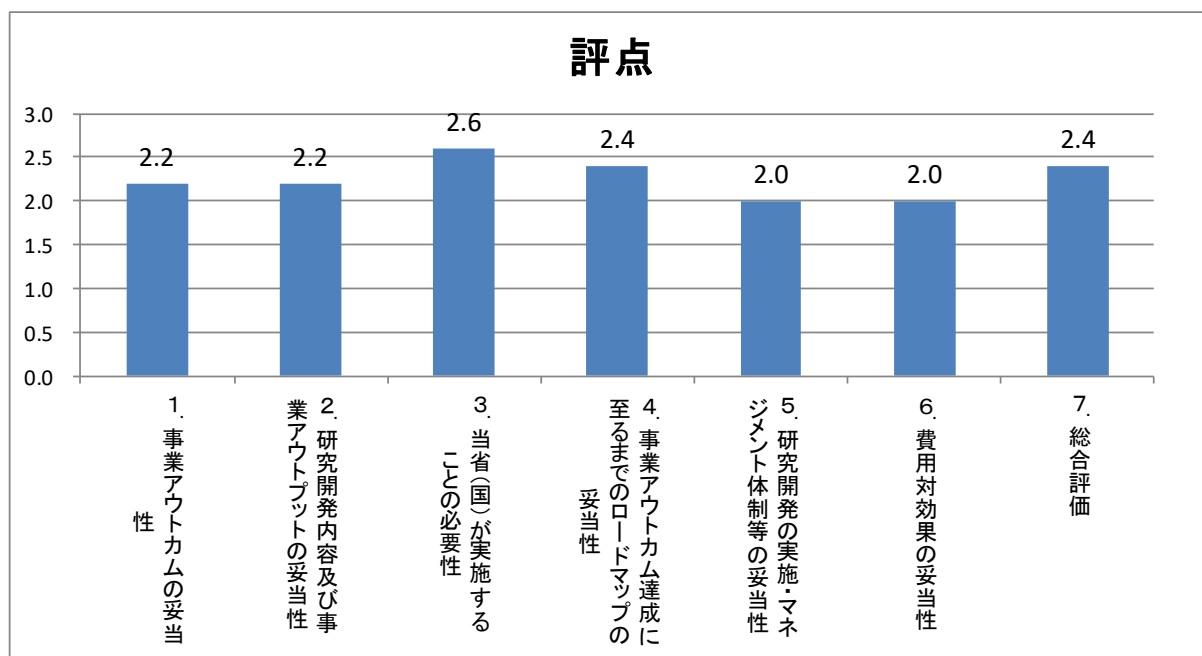
2点：事業は良好であり、継続すべきである。

1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点：事業を中止することが望ましい。

B. 低レベル放射性廃棄物の除染方法の検討

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.2	2	2	3	3	1
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.2	2	2	2	3	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.6	2	3	2	3	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.4	2	2	3	3	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.0	2	2	3	1	2
6. 費用対効果の妥当性	2.0	2	2	1	3	2
7. 総合評価	2.4	2	2	3	3	2



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

3点：極めて妥当

2点：妥当

1点：概ね妥当

0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

(終了時評価の場合)

3点：実施された事業は、優れていた。

2点：実施された事業は、良かった。

1点：実施された事業は、不十分なところがあった。

0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

IV. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた 改善点等

IV. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

評価ワーキンググループの所見【中間評価（令和2年）】

技術開発としては、中間評価段階では目標達成しているが、最終的な減容化によるメリットやデメリット、或いは最適な技術の組み合わせについて、ガラスの処理から最終処分の観点まで含めて、トータルコストも踏まえた上で継続して検討を続けて頂きたい。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価（令和2年）】

ガラス固化処理から最終処分までの様々なシナリオを評価し、トータルコストを踏まえた上で、最終的な廃棄物減容化によるメリットやデメリット、最適な技術の組み合わせ等の検討を進めていきます。

評価ワーキンググループの所見【中間評価（平成28年）】

<研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性>

- ・減容化とともに安全性を確保する技術の着実な進展を図ること。

<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性>

- ・多くの大学・機関が関係しているので、実証に向けた体制・仕組みづくりを早めに検討すること。

<研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

- ・ノウハウや特許等の知財を確保し、将来の国際的なビジネス展開を視野に入れて、国際的な優位性を図ること。
- ・福島廃棄物への適用の可能性を検討すること。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価（平成28年）】

<研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性>

- ・本事業においては、計画当初より安全性を確保するための試験・評価についても実施することとしており、本事業が国民の安全・安心に繋がるよう、引き続き着実な技術の進展を図っていきます。

<事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性>

- ・事業終了後の実証段階に向けた体制・仕組みづくりについては、今後の事業の進捗を踏まえるとともに、関係事業者との調整を行いながら検討を進めていきます。

<研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

- ・本事業においては、これまでも海外の技術・動向を注視しながら実施してきており、引き続きこの取組みを継続するとともに、国際的なビジネス展開が見込まれる技術的な成果が得られる場合には、積極的に知的財産権の確保・ノウハウ管理を図っていきます。
- ・福島の事故により発生した廃棄物へのガラス固化技術の適用の検討については、本事業の範囲外ですが、事業成果の波及効果という観点で、今後、本事業の成果が他分野にも活用できるよう事業成果をまとめていきます。

評価ワーキンググループの所見【事前評価】

（アウトカムに至るまでの戦略、実用化に向けた取組）

本プロジェクトの位置づけは、原子力政策全体のロードマップに左右されるところであるが、本プロジェクトで開発した技術の導入計画と廃棄物の処理計画との整合性を図りつつ、ガラス組成等の基礎的な研究開発から段階的、計画的にプロジェクトを進めることが必要。

また、幅広く人材を求め、原子力分野以外の者が保有する技術を有効に活用することが必要。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】

（アウトカムに至るまでの戦略、実用化に向けた取組）

原子力発電に係る廃棄物の処理については、今後、原子力政策全体のロードマップが明らかになる段階で、より具体的な検討が進むものと想定される。その方向性とも整合性を図りつつ、低レベル放射性廃液等のガラス固化技術の基盤の確立に向け、ガラス組成等の基礎的な研究開発から段階的、計画的にプロジェクトを進めることは極めて重要と認識。

このため、外部有識者による研究評価委員会を設置し、事業の進捗を踏まえた計画及び体制の柔軟な見直し等を含め、適時、研究開発計画等を評価し、助言を得ることとしている。

また、本プロジェクトは、幅広い分野の研究機関、再処理事業者、ガラスメーカー、熔融炉メーカー等のガラス固化に係る様々な関係者の協力の下で対応することとしている。