

放射性廃棄物処分関連分野プログラム

中間評価 技術評価報告書

(案)

2023 年 1 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28年12月21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29年5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「放射性廃棄物処分関連分野プログラム」は、放射性廃棄物の着実な処分の実施、処分候補地選定の推進や安全性の向上を通じた国民の地層処分に対する納得感や安心感の向上・醸成を目的として、A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費（1987年度から開始）、B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費（1998年度から開始）の2つの研究開発課題を実施し、処分事業の推進に必要な基盤技術の整備及び高度化を実施している。

今般、省外の有識者からなる放射性廃棄物処分関連分野プログラム 中間評価検討会（座長：梅木 博之 原子力発電環境整備機構 理事）における検討の結果とりまとめられた、「放射性廃棄物処分関連分野プログラム 中間評価 技術評価報告書」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：鈴木 潤 政策研究大学院大学教授）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。

2023年1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	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	秋澤 淳	東京農工大学大学院 生物システム応用科学府長・教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所 研究理事
	浦野 栄子	With 未来考研究所 代表
	竹山 春子	早稲田大学先進理工学部生命医科学科 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)

放射性廃棄物処分関連分野プログラム

中間評価検討会 委員名簿

座長 梅木 博之 原子力発電環境整備機構 理事

井口 哲夫 名古屋産業科学研究所 上席研究員、名古屋
大学 名誉教授

常盤 哲也 信州大学大学院総合理工学研究科理学専攻
准教授

福井 勝則 東京大学工学系研究科システム創成学専攻
教授

渡邊 直子 北海道大学大学院工学研究院応用量子科学部
門 准教授

(敬称略、座長除き五十音順)

放射性廃棄物処分関連分野プログラム

技術評価に係る省内関係者

【中間評価時】

(2022 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課長 下堀 友数（事業担当課長）
産業技術環境局 研究開発課 技術評価調整官 金地 隆志

(2019 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課長 那須 良（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

(2016 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策技術室長 宮本 岩男（事業担当室長）
産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

(2013 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 伊藤 正雄（事業担当室長）
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

(2010 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 苗村 公嗣（事業担当室長）
産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 秦 茂則

(2008 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 渡邊 厚夫（事業担当室長）
産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 長濱 裕二

(2007 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 渡邊 厚夫（事業担当室長）
産業技術環境局 技術評価調査課長 本橋 克広

(2006 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野 恭司（事業担当室長）
産業技術環境局 技術評価調査課長 柴尾 浩朗

(2005 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室長 吉野 恭司 (事業担当室長)
産業技術環境局 技術評価調査課長 柴尾 浩朗

(2004 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室長 山近 英彦 (事業担当室長)
産業技術環境局 技術評価調査課長 陣山 繁紀

(2003 年度)

資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策室長 山近 英彦 (事業担当室長)
産業技術環境局 技術評価調査課長 杉山 茂

放射性廃棄物処分関連分野プログラム

中間評価の審議経過

【中間評価】

◆「放射性廃棄物処分関連分野プログラム」評価検討会

第1回評価検討会（2022年10月20日）

- ・評価の進め方について
- ・事業の概要について

第2回評価検討会（2022年12月14日～12月20日：書面審議）

- ・技術評価報告書（中間評価）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（2023年1月17日）

- ・技術評価報告書（中間評価）について

目次

第1部 事業の概要

第1章 複数課題プログラムの概要	1
1. 本プログラムの政策的位置付け/背景	3
2. 当省（国）が実施することの必要性	4
3. 複数課題プログラムの内容	5
4. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等	6
5. 事業アウトプット	7
6. 事業アウトカム	8
7. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	8
8. 費用対効果	9
9. 前回評価の指摘事項と対応状況	10

第2章 研究開発課題（プロジェクト）の概要

A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費	13
1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況	14
2. 研究開発の内容	14
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	22
4. 事業アウトプット	23
5. 事業アウトカム	25
6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	26
7. 費用対効果	27
8. 前回評価の指摘事項と対応状況	27
B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費	29
1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況	30
2. 研究開発の内容	32
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	60
4. 事業アウトプット	62
5. 事業アウトカム	71
6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	75
7. 費用対効果	77
8. 前回評価の指摘事項と対応状況	78

第2部 評価

第1章 研究開発課題（プロジェクト）の評価

A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費	82
1. 総合評価	82
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言	85
3. 評点法による評点結果	87

B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費	88
1. 総合評価	88
2. 今後の研究開発の方向等に関する提言	91
3. 評点法による評点結果	93
第2章 複数課題プログラムの評価	94
1. 当省(国)が実施することの必要性	95
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	98
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	101
4. 事業アウトカムの妥当性	103
5. 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	105
6. 費用対効果の妥当性	106
7. 総合評価	108
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	110
第3章 評価ワーキンググループの所見	113
1. 研究開発課題（プロジェクト）	114
A 低レベル放射性廃棄物の処分にに関する技術開発委託費	114
B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費	114
2. 複数課題プログラム	116
参考文献	119
成果リスト	122

第 1 部 事業の概要

第 1 章 「複数課題プログラム」の概要

(複数課題プログラムの目的等)

プログラム名	放射性廃棄物処分関連分野プログラム						
上位施策名	科学技術・イノベーション						
担当課室	資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課						
目的	放射性廃棄物の着実な処分の実施、処分候補地選定の推進や安全性の向上を通じた国民の地層処分に対する納得感や安心感の向上・醸成を目的として、処分事業の推進に必要な基盤技術（調査技術や評価技術）の整備及び高度化を実施する。これらを通じて、放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進と着実な処分の実施を、以下の事業の遂行により推進する。 A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費 B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費						
類型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実施時期	1987 年度～2027 年度（予定）（40 年間）						
評価時期	中間評価：2003 年度、2004 年度、2005 年度、2006 年度、2007 年度、2008 年度、2010 年度、2013 年度、2016 年度、2019 年度、2022 年度 終了時評価：2028 年度（予定）						
執行額 （百万円）	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	総執行額	総予算額
	3,657	3,710	3,744	3,737	3,804	18,652	19,806

1. 本プログラムの政策的位置付け／背景

原子力発電によって生じる放射性廃棄物は、原子力発電所の運転などにもない発生する放射能レベルの低い「低レベル放射性廃棄物」と、使用済燃料の再処理にもない再利用できないものとして残る放射能レベルが高い「高レベル放射性廃棄物」とに大別される。これらの放射性廃棄物の着実な処分の実施、処分候補地選定の推進や安全性の向上を通じた国民の地層処分に対する納得感や安心感の向上・醸成のために、処分事業の推進に必要な基盤技術（調査技術や評価技術）を整備していくことは、わが国における原子力政策を進めていくうえで考慮していかななくてはならない重要な課題である。

エネルギー基本計画¹⁾では、原子力発電所等の廃炉等に伴って生じる放射性廃棄物の処分（注：中深度処分を念頭に置いている）について、円滑な実現に向けて国として必要な研究開発を推進するとしている。特に、国内では24基の商用原子炉が廃止措置中であり、安全かつ円滑に廃炉作業を進めていく必要がある。廃炉等に伴い発生する廃棄物のうち、クリアランス制度によって国の確認を得た物は再利用が可能であるが、制度が社会に定着するまでの間は、原子力事業者が自主的に再利用先を電力業界内や理解促進のための展示に限定し、市場に流通しないよう運用している。一方、今後廃炉の本格化に伴い、クリアランス金属の発生量の増加が見込まれるため、廃止措置の円滑化や資源の有効活用の観点から、更なる再利用促進や、今後のフリーリリースを見据えたクリアランス制度の社会定着に向けた取り組みが不可欠である。

さらに、核燃料サイクルにおいて、使用済燃料の再処理の過程で、ウランやプルトニウムといった、燃料として再利用できるものを除去した放射能レベルの高い廃液をガラス固化させた高レベル放射性廃棄物については、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、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（2015年5月閣議決定、以下、基本方針と記載）に基づき、国が前面に立って取り組んでいる。2020年11月には、北海道寿都町と神恵内村で文献調査が開始されたが、引き続き、より多くの自治体に手を挙げていただけるよう、また、一人でも多くの国民が自分事として放射性廃棄物の処分に対して問題意識を持っていただけるよう、国民理解・地域理解を深めていくための取組を継続している現状にある。高レベル放射性廃棄物の地層処分に資する技術として、実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）は、最新の技術開発動向を踏まえた処分事業の安全確保のための考え方やその手法を「包括的技術報告書」としてとりまとめた²⁾。他方、その技術的信頼性に関する専門的な評価が国民に十分には共有されていない状況を引き続き解消していくことが重要である。

このように処分場選定プロセスを進めるべく、政策的な取り組みや研究開発が進んでいる現状にあるが、エネルギー基本計画¹⁾では、国としては、これまでの構築してきた技術的信頼性の向上、高度化に向けて、わが国の地下深部の地質環境特性を考慮した調査・評価技術の適用性などの最新の科学的知見を、定期的かつ継続的に評価・反映する必要がある。また、将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点から、使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究、処分場を閉鎖せずに廃棄物を回収できるよう維持した場合の影響等について、国が主体的に調査・研究を進める必要があるとしている。

以上の観点から、放射性廃棄物の処分に対する技術的信頼性の向上や、国民の納得感や安心感の醸成と着実な処分事業の円滑化に資する技術基盤の整備を国が主導で進めていくことが重要である。

2. 当省（国）が実施することの必要性

原子力発電に伴い必然的に発生する放射性廃棄物の処分は、公益性が極めて高く、国民全体の利益から見ても重要な課題である。

低レベル放射性廃棄物は、図 1-1 に示すとおり、原子力発電所解体に伴い発生する廃棄物全体のうち 2 % である。低レベル放射性廃棄物は、放射能レベルや発生場所によって下図のように L1～L3 廃棄物に分類される。本事業の対象は、70m 以上の深度の地下に処分（中深度処分）されることが想定されている比較的放射能レベルが高い廃棄物（L1 廃棄物）であり、低レベル放射性廃棄物の中でも 2 % を占めるものである。中深度処分については、規制ガイドラインなどの案が策定され、処分場の選定状況に合わせて審査に必要な規程類が整備されていく見通しとなっている。一方で、事業者による処分場選定はまだ進んでいない。したがって、事業者（廃棄物発生者）が円滑に処分を進められるよう、処分場の立地活動を事業者が中心となって行いつつ、並行して国としても中深度処分に特化した課題については基盤技術開発を推進していく必要がある。また、本事業のもう一つの対象となる、クリアランス対象物については、図 1-1 に示すとおり廃棄物のうち 5 % となっており、クリアランス制度によって国の認定を受けたものは、有価物として再利用もしくは産業廃棄物として廃棄物処理法に従って「適正処理」が可能となっている。クリアランス対象物（原子力規制委員会の確認後、有価物もしくは産業廃棄物として扱えるもの）のうち、例えば、金属は、現状では年間 1,000 トン程度発生している。今後、廃炉が増加するにつれて、約 10 年後には 10 倍程度発生する見通しである。今後増加するクリアランス対象物をテーブル、ベンチ、ブロック等だけでなく、一定のボリュームの需要が期待できる建材に活用する等して、再利用を促進するとともに、クリアランス制度の社会定着に向けて、制度や安全面等に関する理解活動を国が引き続き行う必要がある。

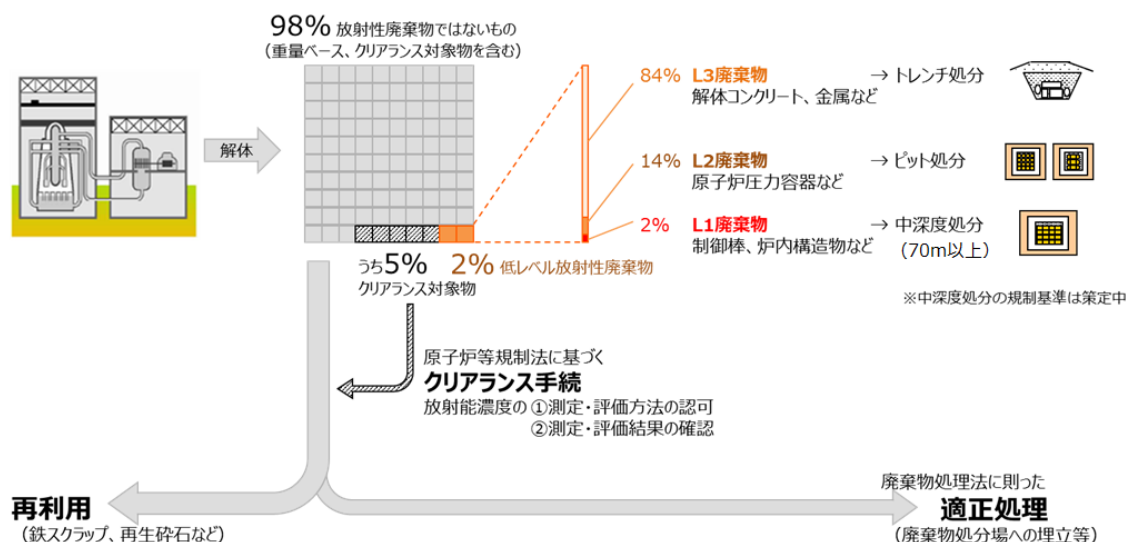


図 1-1 原子力発電所解体に伴い発生する廃棄物の種類と放射性廃棄物の割合

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、わが国の処分計画の着実な推進に向けて、国としても先導性と継続性をもって基盤的な研究開発を着実に進め、国民各層の理解を得ていくことが重要である。さらに、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が運営する幌延深地層研究センター等の現場を活用した実証的な試験については、実際の概要調査、精密調査や、建設、操業、閉鎖にお

いて信頼性を確保した技術を開発するためには不可欠であるが、NUMO が主体的に実施することが困難であるため、国が実施していく必要がある。また、地層処分は、地質学、材料学、土木工学、地球化学、放射化学等の多岐に亘る学問分野の知見を総括して課題解決を進める必要があり、技術的難易度も高いものであるが、そういった分野間を連携した研究開発や、成果の統合化についても国が先導して実施していく必要がある。

3. 複数課題プログラムの内容

本課題では、放射性廃棄物の処分に関する技術開発を網羅するため、図 1-2 に示すように低レベル放射性廃棄物（放射性廃棄物に分類されないクリアランス対象物の取り扱いを含む）、高レベル放射性廃棄物の処分という 2 つの観点から技術開発を実施している。

A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費

原子力発電に伴って発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルが比較的高い廃棄物（図 1-1 で示した L1 廃棄物）を対象とする中深度処分（地下 70m 以深）に関し、地下空洞型処分施設の閉鎖後の人工バリアの長期健全性を確認するためのモニタリング技術を開発し、中深度処分事業の円滑化を図る。

また、今後廃炉の本格化に伴い発生量の増加が見込まれる、放射能レベルが極めて低く、人の健康に対する影響を無視できるレベルであるクリアランス金属に関し、廃炉の円滑化や資源の有効活用観点から、適切な再利用手法の実証及び確立を通じ、更なる再利用の促進を図る。

B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費

高レベル放射性廃棄物や TRU 廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進と着実な処分事業の円滑化を図るために、処分事業の操業開始までの長期的な展開を視野に入れ、実際の処分場操業にあたって、各調査段階（文献調査、概要調査、精密調査）や建設操業、施設閉鎖後長期の各段階における地質環境の調査技術や安全評価のための基盤となる技術を先行的に整備する。また、将来世代が最良の処分方法を選択できるよう、使用済燃料の直接処分等の代替オプションや、将来世代に幅広い選択肢を確保するために廃棄体の回収に関する技術開発を並行して進める。

なお、放射性廃棄物の処理・処分に関する研究のうち、高レベル放射性廃棄物のガラス固化、使用済 MOX 燃料処理技術の基盤整備、低レベル放射性廃棄物のうちウラン廃棄物に関連する研究は、原子力立地・核燃料サイクル産業課の委託事業で実施している。

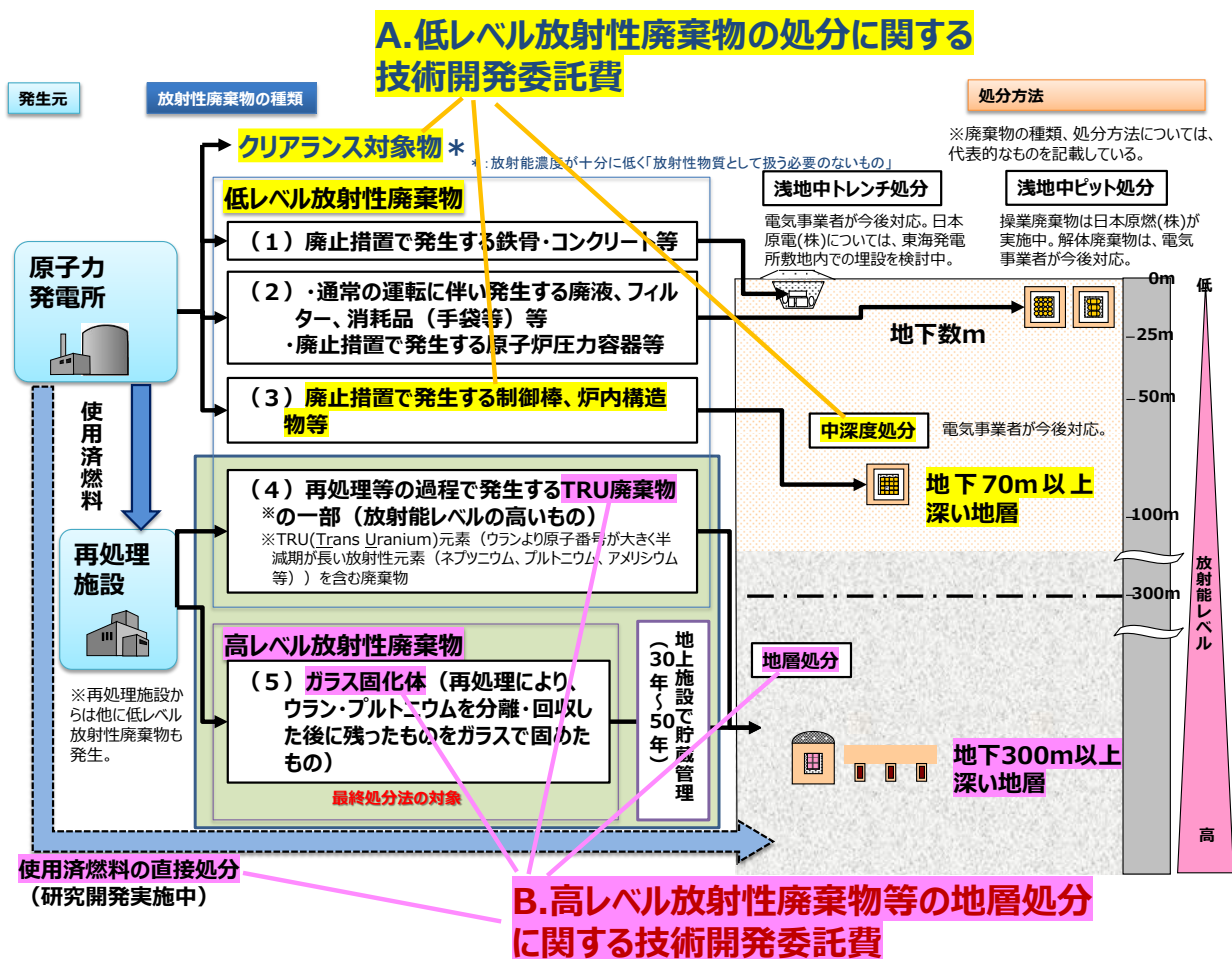


図 1-2 放射性廃棄物の種類と放射性廃棄物処分関連分野プログラムの対象廃棄物の関係

4. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等

図 1-3 に示すように、各研究開発項目の単位で外部専門家等（5～9名）により構成される評価委員会を設置し、研究計画や成果についてレビューを受けている。例えば、事業が5年の場合は初年度に研究開発に関するレビュー、3年目に中間評価としてのレビュー、最終年度に研究開発成果のレビューを実施している。また、同外部委員会を毎年度2～3回程度実施し、年度毎の研究開発計画、実施内容や成果及び課題についてレビューや指摘を頂いている。これにより、限られた予算の中で学術的に有意義かつ放射性廃棄物の処分事業を円滑に進められるような成果を得られる体制を構築している。

低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費で実施している研究開発項目のうち、地下空洞型処分調査技術高度化開発については、オブザーバーとして原子力規制庁、日本原燃株式会社、電気事業連合会といった、廃棄物処分に関係する機関が参加し、適宜意見交換を行いつつ事業に資するとりまとめが出来るよう調整している。原子力発電所金属廃棄物利用技術確証試験でも、電気事業連合会等関係する機関と意見交換を適宜実施し、方向性等について調整している。

また、高レベル放射性廃棄物等の地層処分技術開発委託費で実施している研究項目については、技術開発費の効率化や重要な抜け落ちがないように、資源エネルギー庁放射性廃棄物対策課が開催している地層処分研究開発調整会議³⁾で審議・調整された結果を受けて実施しており、5ヵ年ごと

に進捗等についてレビューを受けることで実施内容に関するマネジメント体制を確保している。

本複数課題プログラムでは、これらの外部委員会や研究会からの指摘事項を研究開発計画や実施内容に反映し、マネジメント体制を確保している。

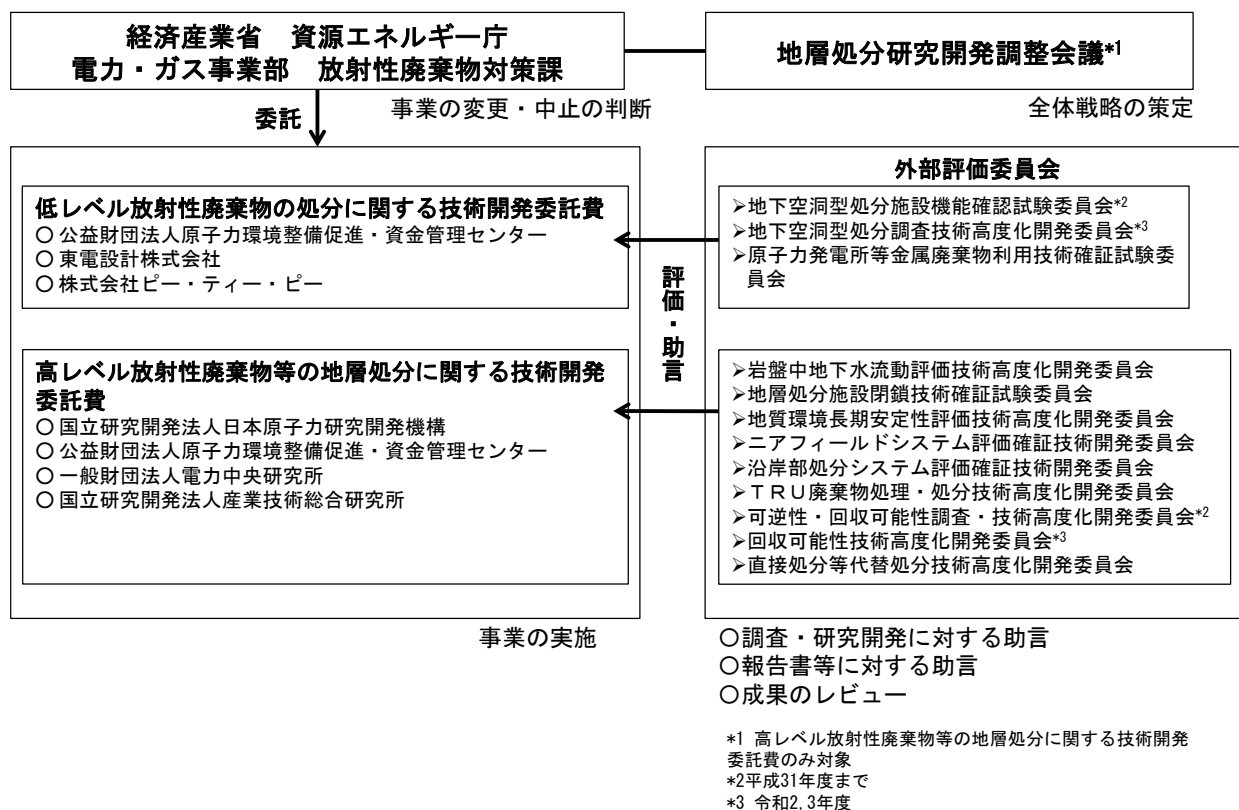


図 1-3 放射性廃棄物処分関連分野プログラムのマネジメント体制

5. 事業アウトプット

低レベル放射性廃棄物、高レベル放射性廃棄物いずれの事業においても、各研究開発項目で設定した達成目標およびそれに対して得られた成果を、定性的なアウトプットとして第2章に詳細に取りまとめた。また、定量的なアウトプットの指標として、査読付論文、国際学会、国内学会等の成果発表数を重要視している。本複数課題プログラムにおいて、2019～2021 年度に得られた成果数を下表にまとめる。

年度	査読付論文数	国際学会発表	国内学会発表	特許出願	その他
2019	10 件	22 件	67 件	0 件	22 件
2020	21 件	11 件	54 件	1 件	21 件
2021	27 件	15 件	71 件	0 件	17 件

* その他には、各研究開発機関が発行している研究開発報告書類、広報誌への掲載や、基調講演、報告会での発表、プレスリリース、受賞の件数を含む。

また、技術開発において、下記の通り新たな概念の測定装置や、既存の計測機器の高分解能化、複雑な現象を取り扱う核種移行解析ツールのプロトタイプを開発しており、新技術の開発・適用も積

極的に実施した。

プロトタイプ作成
● 新たな初期地圧測定手法である「円錐孔壁ひずみ法」の計測装置の試作品の開発 ● 高分解能を有する孔内物理検層装置の試作品の開発 ● 異なる材料の相互作用を含むニアフィールド複合環境の長期変遷に応じた核種移行解析ツールのプロトタイプ作成

6. 事業アウトカム

放射性廃棄物の処分を円滑に進めていくためには、種々の検討項目を段階的に達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで信頼性のある技術が構築される。そこで、各種技術開発を実施する上で必要な検討項目数を、低レベル放射性廃棄物、高レベル放射性廃棄物の両事業において、研究開発項目ごとにアウトカム目標として設定した。詳細については、第2章の記載を参照されたい。

両事業におけるアウトカム目標が達成されると、低レベル放射性廃棄物の事業では、中深度処分の規制動向を踏まえた処分場周辺環境調査や処分場設計、クリアランス対象物の安全かつ合理的な再利用手法の確立にむけて前進するものとなる。高レベル放射性廃棄物の事業では、地層処分に対する技術的な信頼性が向上するとともに、NUMO にとっても調査計画の立案や調査仕様、処分場設計、安全評価等を効率的に進められるようになると考える。

また、事業目的を踏まえたアウトカム内容は、「放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進による放射性廃棄物処分に対する納得感や安心感を醸成。それによる処分事業の円滑化」とした。最終的に国が目標としている事業の円滑化のためには、アウトカムの達成により得られた成果を専門家集団のみならず一般の国民にも広く対外的に発信していく必要がある。高レベル放射性廃棄物の地層処分に関しては、当課と NUMO の主催で全国を対象として一般の方向けに実施している対話型説明会の資料においても、本複数課題プログラムで開発された要素技術の成果を盛り込む形で作成し、適宜説明に用いている。説明会のアンケートを分析したところ、「満足した」、「どちらかと言えば満足した」と答えた割合は、2018～2019 年度は 36.5%程度であったのに対し、2020 年度以降は、52～55%で推移しており、満足度合いが向上している。このように、地道かつ積極的な広報活動により、高レベル放射性廃棄物の技術面も含めて地層処分に対する理解度が深まってきていることがわかる。低レベル放射性廃棄物関連では、原子力発電金属廃棄物利用確証試験において、経済産業省こどもデーに出展するなど、広く一般の方への理解促進を行っているところである。このように、少しずつではあるが、一般への理解促進も進んでいる状況にあり、アウトカム目標に少しずつ近づいている状況にある。引き続き、理解促進活動を進めることにより、放射性廃棄物処分に対する納得感や安心感を醸成し、処分事業の円滑化を図っていく。

7. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

低レベル放射性廃棄物の処分に関しては、2024 年度まで（原子力発電所金属廃棄物用技術確証試験については 2023 年度まで）、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関しては、2022 年度までに現行の研究開発に取り組み、図 1-4 に示すアウトカムに資する成果を取りまとめる。取りまとめとともに

に、アウトプットとして得られた成果を適宜公表し、各種放射性廃棄物の実施主体等に提供するとともに、技術開発と並行して実施している国民への理解促進活動に活用することで、放射性廃棄物の処分に係る国民理解の獲得・促進に寄与すると共に、処分事業の円滑化を進める。

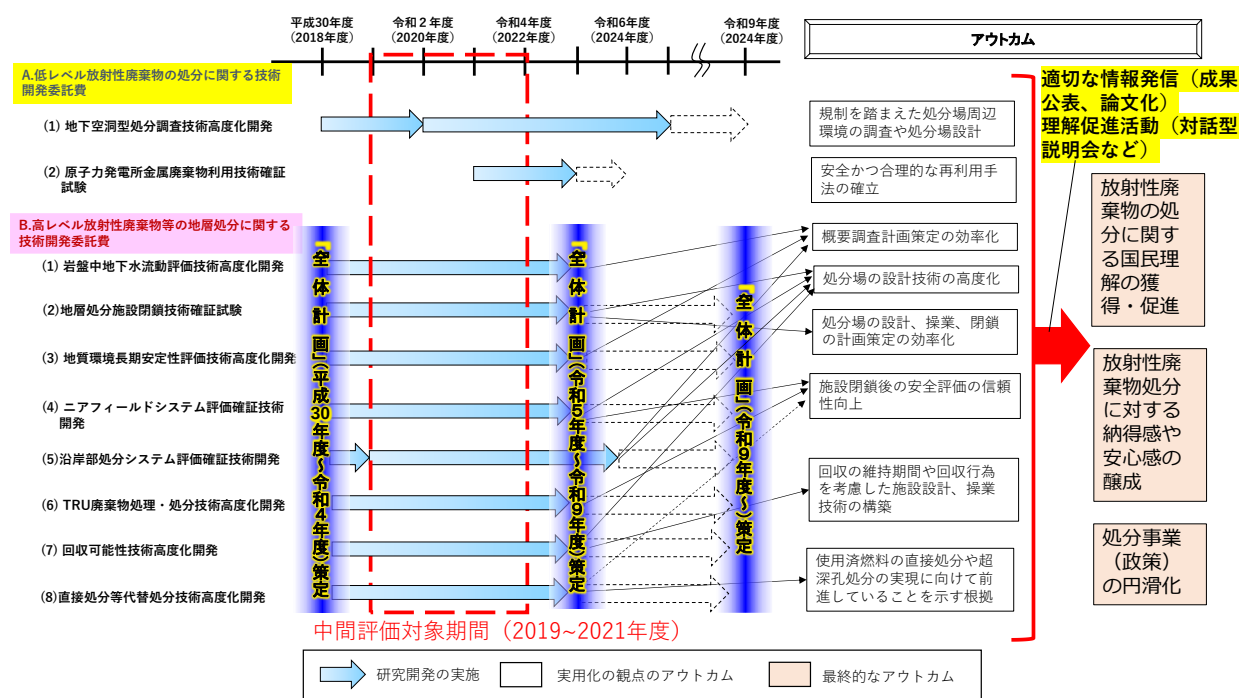


図 1-4 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

8. 費用対効果

本複数課題プログラムでは、2019 年度から 2021 年度にかけて、「A. 低レベル放射性廃棄物の処分に係る技術開発委託費」で 5.6 億円、「B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発委託費」で 107.3 億円の国費を投資している。その中で、外部発表件数は、A で 27 件（うち査読付論文が 4 件）、B で 332 件（うち査読付論文が 54 件）であった。多くの研究開発項目は、2018 年度～2022 年度の 5 年間で成果を取りまとめることとなっており、2019 年度～2021 年度の 3 年間は、事業の中間にあたる期間ではあるものの、十分な数の成果発信をしており、当該分野の国内外の技術者・研究者への理解促進に寄与していると考えられる。また、外部発表の結果として得られるフィードバックにより、技術開発成果が高度化されており、アウトプットという観点では妥当な費用対効果が得られていると考える。

次に、アウトカム目標である、「放射性廃棄物の処分に係る国民理解の獲得・促進」に対する効果については、6. 事業アウトカムに記載したとおり、全国各地での説明会の実施や子供向けイベントでの出展等により理解促進を進めており、少しずつではあるが、理解が深まってきている状況にあることから、投入費用に対する効果が現れているといえる。

個別要素技術ごとの費用対効果については、第 2 章の各 7. 費用対効果に記述している。また、本複数課題プログラムの要素技術の成果については、単年度ごとの報告書及び各要素技術開発の完了ごとの取りまとめ報告書を以下の資源エネルギー庁ホームページ※で公開している。

9. 前回評価の指摘事項と対応状況

評価検討会（中間評価）

今後の研究開発の方向等に関する提言	対応状況
放射性廃棄物処分関連分野プログラムでは技術的信頼性を向上させることが主な目的となっていることから、放射性廃棄物の処分についてはいまだに技術的に問題点が多いかのような印象を与え、一見して「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」に反するようにも捉えられる。このため、研究開発成果を国民へ効果的に発信するためのコミュニケーション技術の向上、技術的進展によってコストを削減する取組の拡大、人工知能やビッグデータなどの他分野の技術の取り込み、研究開発を取り巻く状況変化への配慮などを通じて、アウトカムの達成に向けて継続的に取り組むことが必要である。	継続的に他分野の技術の進展など研究開発を取り巻く状況の変化に柔軟に対応できるように取り組む。また、当課で実施している別の枠組みの委託事業において、技術者のコミュニケーション技術の向上も視野に入れた人材育成プログラムを検討している。これらの取組も通じて、アウトカム達成に向けて継続的に取り組む。なお、コスト削減に関する検討は、地層処分事業の実施主体の技術開発として鋭意取り組んでいく。
今後は、各プロジェクトの成果の統合化と人材育成も必要となることから、年度単位の研究成果を情報共有する場を設定するなど、マネジメント体制の具体化を進めるべきである。また、個々の技術開発内容は世界的にも貴重なデータや知見を生み出す内容であり、今後日本が地層処分技術をもって海外に技術協力や輸出などを行う際にも重要な支援情報となり得る。したがって、これらの点を踏まえたアウトカム指標及び目標の設定が必要となろう。	事業者間での研究成果を定期的に共有する仕組みの構築などを通じてマネジメント体制を強化する。また、各プロジェクトの技術開発成果は、海外への技術協力や輸出に資するものである。実際に、いくつかの成果は、国際共同研究の枠組みにより得られたものである。また、前回に引き続き積極的な国際学会での発表、国際誌への受理実績も多い。このような成果は、国際的にコンセンサスが得られたものにもなるので、ユーザーにとっても信頼性のある技術として適用できる。また、成果を適切に発信していくことで、アウトカムである国民の納得感や安心感の向上・醸成にも資すると考えられる。なお、前回の指摘を踏まえ、今回の技術評価では、国際学会での発表件数もアウトプット指標として活用した。今後もアウトプット指標の一つとして、海外への外部発表を推進する。

評価 WG（中間評価）

所見	対応状況
アウトカム目標に近づける方策について、様々な手法等を用いて努力することを期待する。	今後も継続的に改善を重ねながら、日本全国でのきめ細やかな対話活動が続け、アウトカムに掲げる「放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進」の達成に向けて尽力する。加えて、「総合資源エネルギー調査会 放射性廃棄物ワーキンググループ」での議論に基づき、幅広い層に向けた新たなコミュニケーションツールも活用した情報発信の強化や「より深く知りたい」層のニーズに応じたきめ細やかな情報提供の場の構築等の取組強化などを検討していく。さらに、現在文献調査が進んでいる寿都町や神恵内村において実施されている対話の場でも地層処分技術開発の現状を説明し、文献調査実施地域の理解促進活動に役立てていく。
アウトカム目標に向けて一般向けの理解を得る努力を今後も続けること。	今後も当該複数課題プログラムで得られた成果を活用しつつ全国での対話活動等を継続し、理解獲得に向けて尽力する。なお、高レベル放射性廃棄物関連については、対話型説明会の年度ごとの満足度推移が 2019 年度までは 36.5%程度であったのに対し、2020 年度以降は 52～55%で推移しており、徐々に説明会に対する満足度が高まっている。引き続き地道な広報活動の継続、積極的な学会発表や論文投稿を進め、理解促進、技術の信頼性向上を図っていく。

第2章 研究開発課題（プロジェクト）の概要

A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費

上位施策名	科学技術・イノベーション						
担 当 課 室	資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課						
目 的	原子力発電に伴って発生する低レベル放射性廃棄物のうち、放射能レベルが比較的高い廃棄物を対象とする中深度処分（地下 70m 以深）に関し、地下空洞型処分施設の閉鎖後の人工バリアの長期健全性を確認するためのモニタリング技術を開発し、中深度処分事業の円滑化を図る。また、今後廃炉の本格化に伴い発生量の増加が見込まれる、放射能レベルが極めて低く、人の健康に対する影響を無視できるレベルであるクリアランス金属に関し、廃炉の円滑化や資源の有効活用の観点から、適切な再利用手法の実証及び確立を通じ、更なる再利用の促進を図る。具体的には、中深度処分施設の閉鎖後の長期的な管理に資するために、実際の地下環境に構築された中深度処分を想定した実物大の地下空洞を活用し、地圧や地下水流動といった、地下施設設計・建設時に必要なデータを計測する手法の開発や、人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能確認方法の確立を行うための技術開発等を行う。さらに、クリアランス金属の運搬から前処理、溶融加工といった再利用までのプロセスにおいて、安全性や管理手法等の技術的成立性を実証し、安全かつ合理的な再利用手法の検討を行う。これらを通じて、低レベル放射性廃棄物に関する国民理解の獲得・促進と着実な処分の実施を推進する。						
類 型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実 施 時 期	1987 年度～2024 年度（予定） （37 年間）			会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計		
評 価 時 期	中間評価：2005 年度、2008 年度、2010 年度、2013 年度、2016 年度、2019 年度、2022 年度 終了時評価：2025 年度（予定）						
実 施 形 態	国 → 民間企業等（委託）						
プロジェクトリーダー	研究開発項目ごとに異なるため、3.（3）を参照						
執 行 額 （百万円）	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	総執行額	総予算額
	209	167	179	177	204	936	974

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

低レベル放射性廃棄物の処分については、諸外国においてすでに処分場の選定や建設、処分が進んでいる。日本では、第1章図1-1に示したとおり、低レベル放射性廃棄物として、放射能レベルに応じてL1～L3に区分して処分を進めることとしているが、海外では、低レベル放射性廃棄物、中レベル放射性廃棄物と区分している国が多い。多くの国々で、すでに処分場が操業中、もしくは計画中の状況にあり、研究開発も並行して実施されている状況にある⁴⁾。一方、日本においても、中深度処分については規制ガイドラインなどの案が策定され、処分場の選定状況に合わせて審査に必要な規程類が整備されていく見通しとなっている。このような背景の下、日本では、青森県六ヶ所村に有する実規模の試験空洞を活用して、処分場の設計や、地質環境調査に資する研究が実施されてきているが、現状としては事業者による処分場選定はまだ進んでいない。したがって、事業者（廃棄物発生者）が円滑に処分を進められるよう、処分場の立地活動を事業者が中心となって行いつつ、並行して国としても中深度処分に特化した課題については基盤技術開発を推進していく必要がある。

また、本事業のもう一つの対象となる、クリアランス対象物については、電力事業者と製造事業者の民間同士の契約により日本各地でクリアランス金属の加工が行われてきているが、事業者の自主的ルールにより電力業界内での再利用となっている。再利用先拡大のためには実績の積み上げや業界の外での利用におけるルール等について検討の必要がある。

2. 研究開発の内容

2-1 研究開発の全体構成

研究開発項目	実施者
(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発 (平成31年度は地下空洞型処分施設機能確認試験)	公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター（以下、原環センター） 東電設計株式会社（以下、東電設計）※ ※令和2～3年度
(2) 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験	株式会社ピー・ティー・ピー（以下、ピー・ティー・ピー）

2-2 各研究開発項目の実施内容

(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発

<研究目的>

中深度処分に係る規制基準では、処分施設は10万年後の将来にわたって地表から70メートル以上の設置深度が確保できること、複数の技術オプションの中から最適な組合せを選択して施設設計すること、廃止措置の開始までの期間（300～400年程度）におけるモニタリング等の能動的管理が求められる方向にある。このことを踏まえ、大断面の地下空洞の掘削可能性を評価するため、岩盤の初期地圧をできるだけ場を乱すことなく効率的に測定できる基盤技術の開発や、地下空洞の形状・寸法、地下環境、人工バリアの長期的な安全性等を考慮し、複数の技術オプションの実効性を確認することが重要となる。このことから、地下空洞型処分施設の閉鎖措置まで並びに閉鎖措置後廃止措置までに取り組むことが可能なモニタリングの課題に資する人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法の確立を目的とした検討、並びに、大規模な坑道や地下空洞型処分施設などを

建設する上で必要となる岩盤に作用する初期地圧の三次元的な分布を測定する技術の開発等と最適な施設設計を支援するための技術整備に取り組む。

<研究実施内容>

中深度処分施設においてモニタリング対象期間に想定される人工バリア・周辺岩盤挙動について既往研究成果の整理と解析的検討を行うとともに、近年開発に著しい進展が見られ、放射性廃棄物処分におけるモニタリングへの適用性が期待されている光ファイバセンサー技術について実験的研究を実施した上で、中深度処分施設におけるモニタリング計画の検討を行った。また、わが国に広く分布する堆積軟岩への適用を念頭に、中深度処分施設で想定される設置深度に応じた三次元の初期地圧を効率的に測定できる技術の開発等を行うとともに、人工バリア等の工学的な構成要素について関連する安全機能を精査し、安全機能の更なる改善、安全性を損うことなく設計合理化が図れる可能性のある複数の技術オプションの整備等を行った。全体スケジュールを図 2A-1 に示す。また、2019 年度までの実施体制と、2020 年度以降の実施体制を図 2A-2、3 に示す。

開発項目	(2015年度～)	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
機能確認の実現性確認	長期挙動の予測解析等 光ファイバセンサーに係る試験研究 モニタリング計画の具体化検討						
既設の実規模施設における地震時挙動評価及びコンクリートピット等のひび割れ観察	地震動観測及び地震時挙動評価 実規模施設におけるひび割れ観察						
初期地圧測定技術の高度化開発			参照データの取得 3次元初期地圧測定装置の開発 概念設計 基本設計 初期地圧測定に係る技術課題の検討 全体計画 最適なオーバーコング径の評価等	詳細設計/製作 室内検証試験/改良 現場検証試験 検証試験との比較 適用性評価/まとめ			
地下水流動評価技術の調査			既往技術の調査と中深度処分への適用を想定した課題の抽出・整理 概略検討 詳細検討 追加検討				
地震時影響評価技術の検討及び地震動観測			地震時影響評価技術の検討 既往検討成果の調査 地震動観測・メンテナンス 計測計画 計器の追加設置	解析手法の開発 地震応答解析/まとめ 計器撤去			
技術オプションの検討			既往検討成果の調査、前提条件の整理 技術オプションの検討 オプション候補選定 課題抽出	オプション提示 オプション評価 最適化手法の整備			
ベントナイト系材料の移行抑制性能メカニズムに関する研究			既往文献調査 基礎データ取得 移行抑制機構の評価 [← モンモリロナイト密度・含水比をパラメータに、透水性や水分分布データを取得 ⇒]				

図 2A-1 全体スケジュール

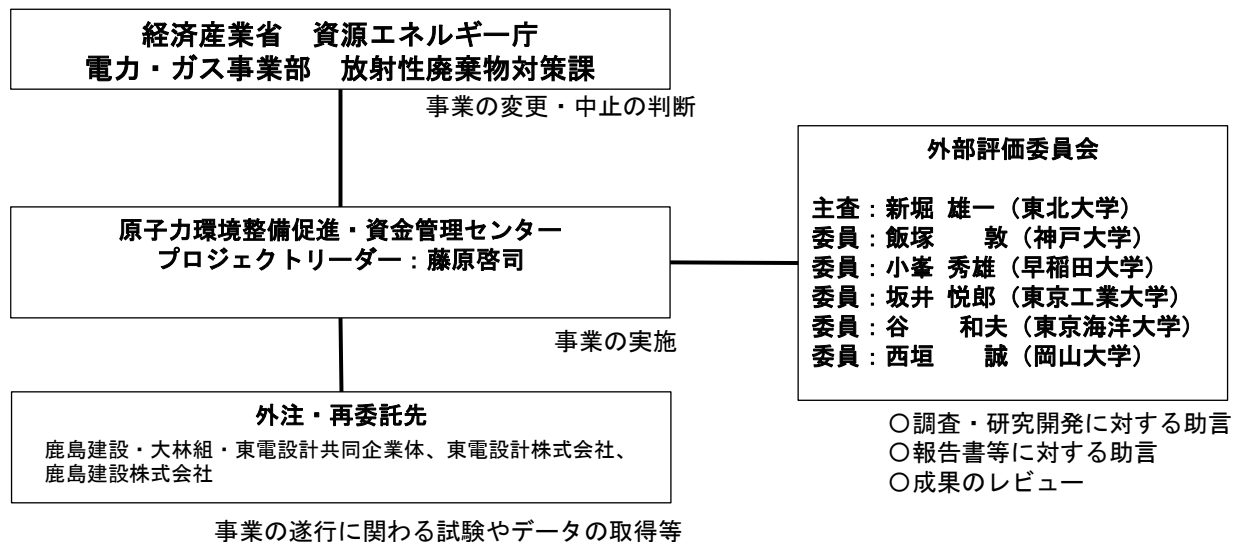


図 2A-2 地下空洞型処分機能確認試験マネジメント体制図（2019 年度）

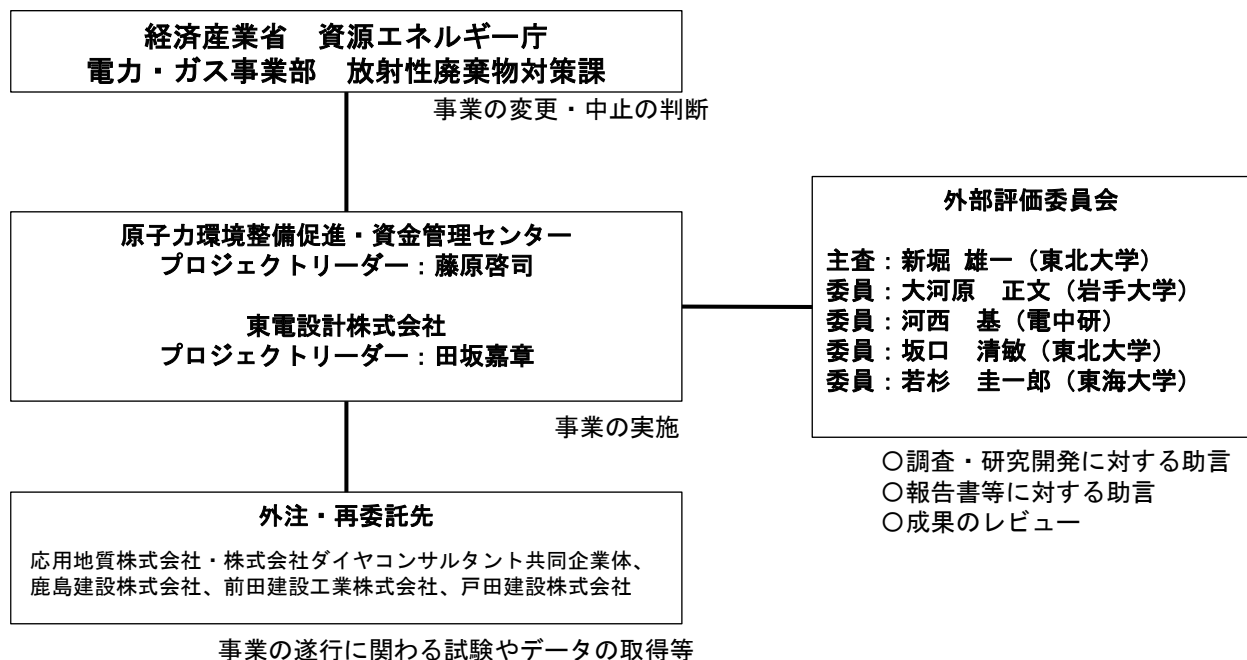


図 2A-3 地下空洞型処分調査技術高度化開発マネジメント体制図（2020～2021 年度）

<研究成果>

モニタリング技術に係る検討では、既往の研究成果のレビューと解析的検討を通じて中深度処分施設周辺での長期挙動に関する知見をとりまとめるとともに、室内試験と原位置試験（図 2A-4）を通じて、既存の計測技術の持つ課題を解決する新たな計測技術として期待されている光ファイバセンサー技術が、放射性廃棄物処分のモニタリングへの適用性が非常に高いことを明らかにした⁵⁾。その上で、いつ・どこで・何を・どのように計測するのか、加えて、その計測結果をどのように利用するかという観点でモニタリングの具体例を示した。これにより、地下空洞型処分施設の閉鎖措置まで並びに閉鎖措置後廃止措置までに取り組むことが可能なモニタリング計画に資する人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法について例示・提案することができた。その一方で、信

信頼性あるデータがどの程度の長期間継続して取得できるのか、そのための保証は何か、設備・機器の更新の問題はクリアされるのか否か、計測箇所での測定値の変動からどのように影響事象発生箇所とその発生の程度を把握できるのかなど、機能確認方法の確立には、まだ残された課題も多いことも明らかにした。

これらの成果は、事業者が中深度処分施設のモニタリングを計画する際に活用できるものである。



(既設の実規模施設)

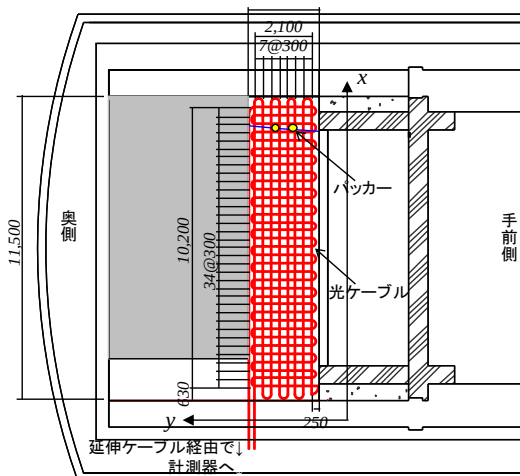


図 2A-4 光ファイバセンサーに係る原位置試験の例（既設の実規模施設の上部低拡散層を対象とした光ファイバセンサーによるひび割れ・ひずみ分布の計測試験）

大深度三次元初期地圧測定技術の開発では、開発する新たな初期地圧測定手法を「円錐孔壁ひずみ法」（図 2A-5）と呼称することとし、概念設計及び基本設計を終えた。基本設計では、孔形状及びひずみ計の最適配置、接着方法及び接着剤、孔内状況確認方法などの技術課題を抽出・整理した上で基礎試験や解析を通じて課題解決を図り、本測定装置開発の実現性を確かなものとした。開発予定の大深度三次元初期地圧測定技術は、事業者が中深度処分の天然バリアを評価する際の調査技術として反映できる。

技術オプションの検討では、わが国における中深度処分と類似の処分概念を持つ諸外国における既往の検討成果を、ALARA や BAT の概念の取り込み方や技術オプションの絞り込み方法に着目して調査し、技術オプションの検討に資する基盤情報を整備した。また、低拡散層と低透水層の部材厚、処分空洞断面あたりの廃棄体数及び岩盤の透水係数を変動パラメータとした核種移行解析を実施し、人工バリア仕様の違いが線量評価結果に及ぼす影響度を明らかにした。その上で、規制基準に従った形で「人工バリアの設計等に係る選択枝の設定」か

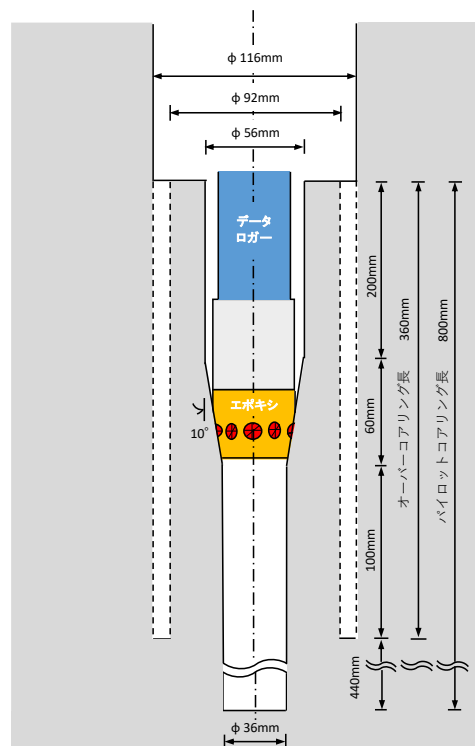


図 2A-5 円錐孔壁ひずみ法の概念図

ら「設計の選択肢の中からの最終的な設計の選定」に至るプロセスの試行を実施し、ここで適用した評価手法が、技術オプションの絞り込みや最適化に向けた有効な手段の一つになることを明らかにした。これらの成果は、規制基準に則した設計プロセスに係る評価技術として反映できる。

（２） 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験

＜研究目的＞

わが国では、現在 24 基の商業用原子力発電所の廃止措置が決定されている。原子力発電所の廃炉等で発生した物のうち、クリアランス制度に基づく確認を受けたものは再利用が可能となっているが、これまでは原子力事業者が自主的に再利用先を限定し、市場に流通することがないよう運用してきた。今後、廃止措置の円滑化や資源の有効利用の観点から、加工業者の協力や地域の理解を得ながらクリアランス物の再利用先を拡大していくことが必要である。

本事業では、クリアランス金属の加工プロセスの安全性の実証と適切な再利用モデルの検討を行うことで、今後の再利用実績の拡大や国民理解の推進を図ることを目的とする。

＜研究実施内容と成果＞

本事業では、原子力発電所から発生するクリアランス金属のさらなる再利用先の拡大を推進するとともに、今後のフリーリリースを見据え、クリアランス制度の社会定着に向けた取組を 2021～2023 年度までの 3 年間で実施する（図 2A-6）。また、図 2A-7 に示すようなマネジメント体制で研究開発を実施した。

2021 年度は、原子力施設から発生したクリアランス金属を一次資材（インゴット）に溶融加工するまでのプロセスにおける安全性を実証するとともに、適切な加工プロセスの検討を行った。また、クリアランス制度の社会定着に向けた今後の取組等について、有識者を交えた検討を行った。

	令和3年度	令和4年度	令和5年度
加工実証	クリアランス金属調達・インゴット製造	インゴットから一般製品等製造	今後要検討
再利用モデル検討	実証結果も踏まえた適切な再利用モデルの検討		
有識者検討委員会	年3回実施	年3回実施	今後要検討

図 2A-6 全体スケジュール

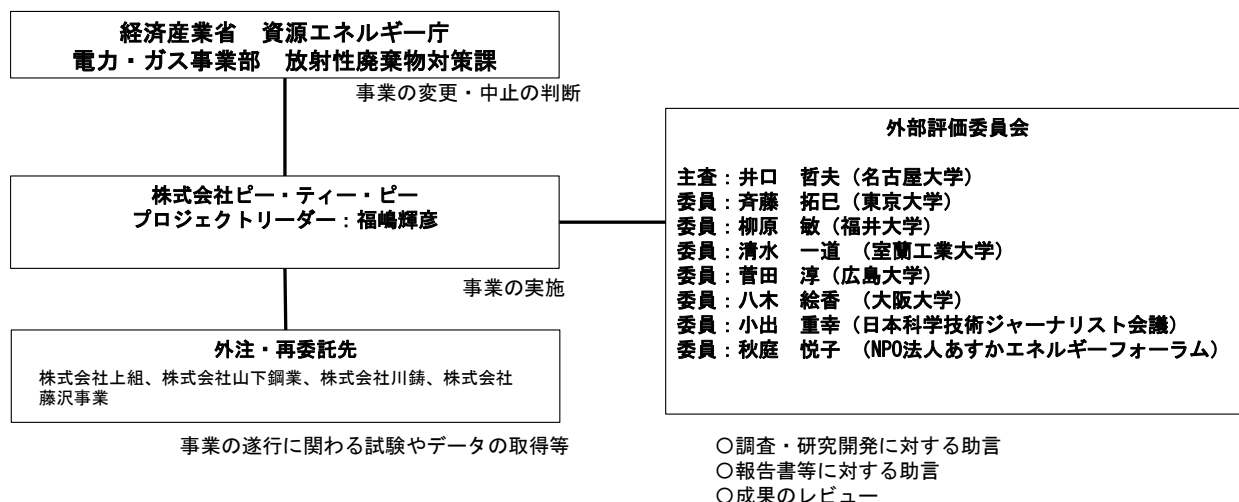


図 2A-7 マネジメント体制図

<研究成果>

(a) 加工実証

クリアランス金属の調達、運搬、前処理、一時保管、加工、保管

SS400 のクリアランス金属約 10t を調達した。保管容器のままトラックに詰替して運搬し、スクラップヤードに搬入した。搬入後、鋳造事業者の炉のサイズに合わせるため、保管容器毎にガス切断を行い、一時保管を行った。切断されたクリアランス金属を鋳造事業者へ搬入し、FC300 のインゴットを 102 個（約 100kg/個、300mm×300mm×155mm）製造した。製造後は倉庫内にて保管している。



図 2A-8 加工実証の流れ

トレーサビリティの確保と分別管理

トレーサビリティの確保と分別管理については、これまでに電力業界内での再利用に取り組んできた際に確保・運用してきた方法を参考にしながら実施した。また、再利用モデルの構築（加工実証関係者による検証）について有識者による検討委員会での検討・評価を行うため、可能な限り小さな単位である保管容器単位をクリアランス評価単位の基準として管理していくことを決定した。

工程を進めていく上で、一般の加工事業者等で加工する際、分別管理が不可能なダスト等の発生する副産物について、ダスト等分別管理が不可能なもの、更に再利用が可能なもの、廃棄する必要のあるものがあることが確認できた。結果は図 2A-9 の通りとなり、トレーサビリティが確保できていることが確認できた。

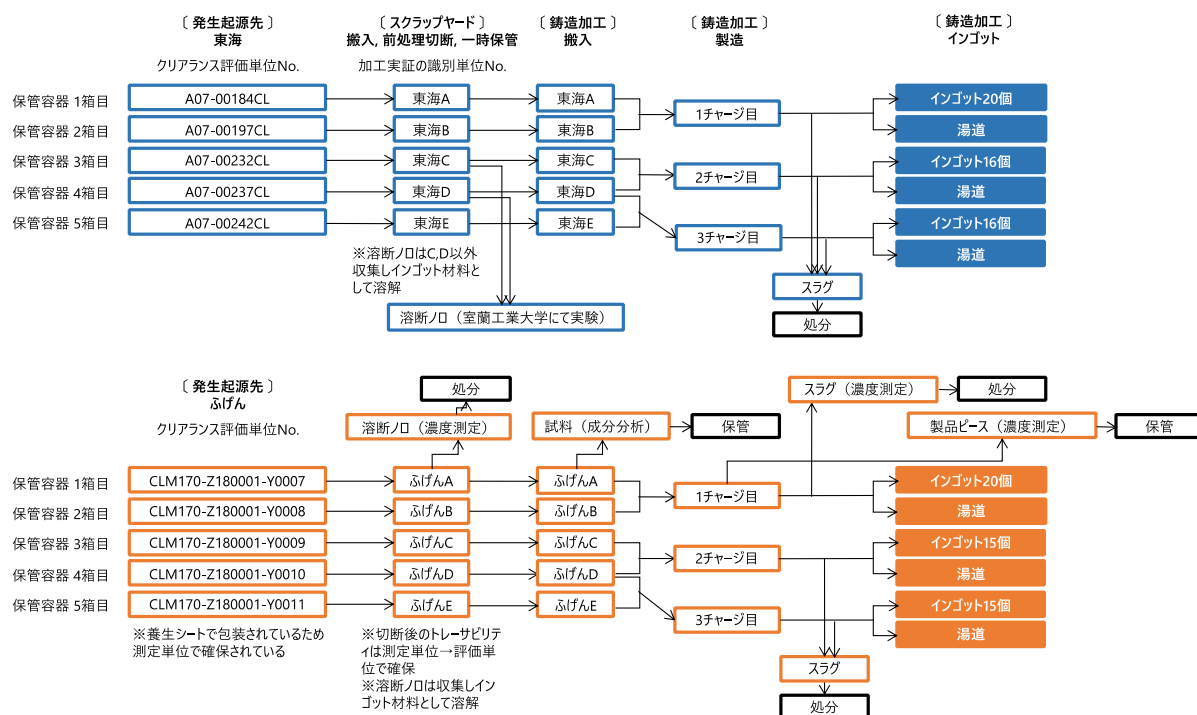


図 2A-9 加工実証におけるトレーサビリティの確保

放射能汚染及び被ばくに関する安全性の確認

放射能汚染及び被ばくに関する安全性を確認するため、副産物を含め、以下のポイントで線量測定や汚染検査を実施した。

- 輸送が完了したクリアランス金属
- 加工の各工程の終了時点におけるクリアランス金属、加工場内及び敷地内各所
- 各使用機器及び設備

また、製造したインゴット及び副産物の放射能濃度がクリアランス基準値未満であることを確認するため、放射能濃度を測定した。調査核種は、指定10核種のうちCo-60、Eu-152、Eu-154と、東日本大震災以降に各法令で規制されたCs-134、Cs-137の5核種とした。その結果、クリアランス金属の輸送前後や加工工程において線量に変化はなく、また使用機器の表面線量にも変化はなかった。製造したインゴットについて、試料重量当たりの放射能濃度は、すべての試料について5核種全てで検出限界値未満であり、クリアランスレベル（0.1Bq/g）以下であることを確認した。

加工実証を終え、加工実証に参加した事業者や専門家と検証を行い、今後クリアランス金属を取り扱う際に適切な工程や管理について検討を行い、主に次の見解が示された。

- 安全性の確認について、原子力規制委員会による確認後の測定は不要もしくは簡素化できるものと思われる。
- クリアランス金属を取り扱うにあたり、特段支障となる因子はなかった。
- 今回の実証企業では、社員は特段の不安は感じていない模様であったことから、一般の事業者でもクリアランス金属の取扱いが可能であると言える。

(b) 有識者による検討委員会

検討委員会での議論を経て、次のとおり提言としてまとめられた。

【中長期を見据えた取組】

国として「制度の社会定着」の示すところを明確化し、社会定着の判断に必要な要件や、理解を求める対象範囲等についても検討し、フリーリリースまでに必要なステップとそれに応じた一定の条件や運用方法を具体的に設定し、着実に進めるべき。将来的には、クリアランス金属が一般のスクラップ金属と同様に扱われ、調達・再利用されることが望まれる。

【当面の取組】

電力業界内での再利用実績をこれまで以上に積み重ねることに加えて、幅広い層への周知が必要。電力業界外でクリアランス金属を利用するに当たっての運用について更に整理する必要がある。

あわせて、加工実証の結果を踏まえ、「加工事業者等によるクリアランス金属の取り扱いに関する留意事項」において前述のとおり整理され、次のとおりまとめられた。

- クリアランス金属のトレーサビリティについては、当面の間、加工事業者等や再利用先の安心や信頼を担保しながら、制度への理解や再利用を促進するためにも、電力事業者等の整えた方法に則って確保していくことが重要。
- トレーサビリティの確保や、一般のものとの混在を防ぐためにも、調達量に対応した分別管理を行っていくことが必要。
- クリアランス検認時に確認された安全性については、クリアランス金属を取り扱う加工事業者等や地域の意向に応じ、追加的な放射線測定等により再確認することも、関係者の更なる理解や安心の向上に有益な取組である。
- クリアランス金属の取り扱いにあたっては、電力事業者等との協議や、必要に応じ関連する地域への説明を行い、様々なステークホルダーの考えを尊重しながら個別の事情に照らして適切な対応を進めていくことが望ましい。
- 再利用先の制限により、実績が積み重ねられず、結果として制度への理解浸透が進まない状況を生み出していることも事実であることから、制度の社会定着に向け、電力業界外も含めた段階的な再利用先の拡大も含め、各段階において必要とされる措置を明らかにしながら、着実に取組を進めていくことが重要である。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

3-1 研究開発計画

各研究項目の研究開発計画については、2.（2）各研究項目の実施内容に工程表として記載したので参照されたい。

3-2 資金配分

事業名	内訳	執行額（千円）		
		2019 年度	2020 年度	2021 年度
(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発（平成31年度は地下空洞型処分施設機能確認試験）	原環センター	178,943	149,555	143,531
	東電設計	—	27,181	28,270
	合計	178,943	176,736	171,801
(2) 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験	ピー・ティー・ピー	—	—	32,288

3-3 研究開発の実施・マネジメント体制

各研究項目のマネジメント体制については、2.（2）各研究項目の実施内容に記載したので参照されたい。

地下空洞型処分調査技術高度化開発については、オブザーバーとして原子力規制庁、日本原燃株式会社、電気事業連合会といった、廃棄物処分に関係する機関が参加し、適宜意見交換を行いつつ事業に資するとりまとめが出来るよう方向付けを行っている。また、高レベル放射性廃棄物の地層処分とも共通する技術開発テーマも存在することから、NUMO もアドバイザーとして参加している。

原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験について、有識者検討委員会には、クリアランス金属の再利用先拡大を進めるため、金属関連団体、建設事業者、商社等がオブザーバーとして参加している。

3-4 知財や研究開発データの取扱い

日本版パイ・ドール制度の目的（知的財産権の受託者帰属を通じて研究開発活動を活性化し、その成果を事業活動において効率的に活用すること）及び本プロジェクトの目的を達成するため、本プロジェクトにおいては、知的財産マネジメントを実施することを原則とする。

本方針に記載のない事項については、本プロジェクトの目的を踏まえ、プロジェクト参加者間の合意により必要に応じて定めるものとする。

プロジェクト参加者は、本方針に従い、原則としてプロジェクト開始（委託契約書の締結）までに、プロジェクト参加者間で知的財産の取扱いについて合意するものとする。

なお、プロジェクト参加者間での知的財産の取扱いについての合意書（以下「知財合意書」という。）の作成に当たっては、経済産業省の「委託研究開発における知的財産マネジメントに関する運用ガイドライン」（平成27年5月、令和4年3月改訂）を参考にした。

4. 事業アウトプット

4-1 研究開発目標

研究開発項目	中間目標（2019～2021年度）	最終目標（2022～2024年度）	設定（変更）理由
(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発 （平成31年度は地下空洞型処分施設機能確認試験）	地下空洞型処分施設の閉鎖措置まで並びに閉鎖措置後廃止措置までに取り組むことが可能なモニタリングの課題に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法を確立する。 また、処分施設を建設する上で必要となる、岩盤にかかる初期地圧の三次元的な分布を測定する技術の開発等、地下環境を把握するための技術整備を行うと共に、最適な施設設計支援技術の整備を行う。	処分施設を建設する上で必要となる、岩盤にかかる初期地圧の三次元的な分布を測定する技術の開発等、地下環境を把握するための技術整備を行うと共に、最適な施設設計支援技術の整備を行う。	平成31年度で地下空洞型処分施設機能確認試験が完了したことを受けた目標の修正。
(2) 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確認試験	一次製品までの加工プロセスを実証する。	二次加工以降のプロセスを含めた、再利用モデルの構築を達成する。	令和3年度事業で一次製品までの加工プロセス実証を達成したため、次年度以降は一次加工以降の実証を実施する。

4-2 研究開発の成果

研究開発項目	中間目標（2019～2021年度）	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/今後の見通し
(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発 （平成31年度は地下空洞型処分施設機能確認試験）	地下空洞型処分施設の閉鎖措置まで並びに閉鎖措置後廃止措置までに取り組むことが可能なモニタリングの課題に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法を確立する。 また、処分施設を建設する上で必要となる、岩盤にかかる初期地圧の三次元的な分布を測定する技術の開発等、地下環境を把握するための技術整備を行うと共に、最適な施設設計支援技術の整備を行う。	○ 処分施設の閉鎖後に、処分施設周辺の水質、処分施設の変形、コンクリートのひび割れ、埋め戻し材の膨潤	一部達成	○ 三次元的な応力場の測定装置については、実際の地質環境での適用性を検討す

分施設機能確認試験)	に資する、人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法を確立する。 また、大規模な坑道や地下空洞型処分施設などを建設する上で必要となる、岩盤にかかる初期地圧の三次元的な分布を測定する技術の開発等、地下環境を把握するための技術整備を行うと共に、最適な施設設計を支援するための技術整備を行う。	圧、地震動など計測すべき事象を抽出した。 ○中深度処分対象となる70～数百m程度の深度において三次元応力場を測定可能な装置のプロトタイプを開発し、室内試験や解析により現場測定に適用できる見込みを示した。 ○処分場において廃棄体に設置する低拡散層（人工バリア）の部材厚、低透水層の部材厚や、断面あたりの廃棄体数、岩盤の透水係数を変動パラメータとした核種移行解析が、設計オプションの絞り込みや最適化に有効な手段になることを明らかにした。 ○これらの成果は、将来処分実施事業者が中深度処分の規制で求められる事項を踏まえ実施する、処分場周辺環境の調査や処分場設計に役立つものである。 ○外部発表実績（2019～2021年度）：27件（うち査読付論文4件）		る必要があるが、これについては、2024年度までに実証を行い、目標を達成できる見込みである。 ○設計オプション提示については一手法の有効性を示したのみであるため、2024年度までに、オプション検討、提示を継続したうえで最適化手法を提示できる見込み。
(2) 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験	令和4年度までに一次製品までの加工プロセスを実証する。	○令和3年度事業ではクリアランス金属を一次資材（インゴット）に溶融加工するまでの安全性の実証と加工実証を踏まえ、クリアラン	達成	

		ス金属の取り扱いに関する留意事項を作成した。		
--	--	------------------------	--	--

4-3 活動指標

年度	査読付論文数	国際学会発表	国内学会発表	特許出願	その他*
2019	1 件	3 件	7 件	0 件	1 件
2020	1 件	0 件	6 件	0 件	2 件
2021	2 件	0 件	2 件	0 件	2 件

国際標準への寄与
—

プロトタイプの作成
新たな初期地圧測定手法である「円錐孔壁ひずみ法」の計測装置の試作品の開発を実施

* その他には、各研究開発機関が発行している研究開発報告書類、広報誌への掲載や、基調講演、報告会での発表、プレスリリース、受賞の件数を含む。

5. 事業アウトカム

5-1 事業アウトカムの内容

低レベル放射性廃棄物の処分を円滑に進めていくためには、種々の検討項目を段階的に達成する必要があり、着実に各検討項目を実施することで信頼性のある技術が構築される。そこで、各種技術開発を実施する上で必要な検討項目数を研究開発項目ごとに次節にてアウトカム目標として設定する。

このアウトカム目標が達成されると、中深度処分の規制動向を踏まえた処分場周辺環境調査や処分場設計、クリアランス対象物の安全かつ合理的な再利用手法の確立にむけて前進するものとなる。さらに、地下空洞型処分調査技術高度化開発では、光ファイバセンサー技術の中深度処分におけるモニタリングへの適用性について研究開発が実施され、処分施設に生じるひずみや温度計測に係る適用性やその精度が確認されるとともに、光ファイバセンサーの基礎的特性の把握のために行われた促進試験等を通じて、長期耐久性に関する知見が得られた。これらの成果は、高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるモニタリングにも活用できることは言うまでもなく、建物、道路・鉄道やその他の施設など土木・建築建造物の維持管理分野において、予防保全型維持管理を計画する際に活用できる成果になり得る。

また、最終的に国が目標としている事業の円滑化のためには、アウトカムの達成により得られた成果を専門家集団のみならず一般の国民にも広く対外的に発信していく必要がある。これにより、国民への理解促進が図られ、放射性廃棄物の処分やクリアランス対象物の再利用に対する納得感や安心感の醸成につながり、事業の円滑化にもつながると考えられる。

5-2 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由
2019 ～ 2021 年 度	(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発(平成31年度は地下空洞型処分施設機能確認試験) 将来建設される中深度処分施設の人工バリアや周辺岩盤の長期に亘る機能を確認する技術や方法論を開発するために必要な検討項目として、2015～2019年度で24項目の(2019年度で24項目達成済)、2020年度～2024年度に15項目の技術開発を実施する。 2021年度時点での実績:6項目	中深度処分の規制動向等を踏まえ、研究すべき項目を抽出したうえでアウトカム目標を設定した。各研究開発項目における技術開発の過程において、種々の検討項目を達成する必要があるが、これらを着実に実施することで、中深度処分の実現に資するための信頼性のある技術が開発できるため。
	(2) 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験 原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験において、クリアランス金属の再利用促進に必要となる適切な再利用手法の確立のために対応すべき項目として、2021～2023年度に3項目の技術開発を実施する。 2021年度時点での実績:1項目	クリアランス物の再利用促進に向けて、原子力発電所外への搬出から業界内再利用までのサプライチェーンにおける、クリアランス物の特殊性を鑑みた再利用モデルを構築する必要がある。各項目を実施することで、再利用モデルを構築する。

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

研究項目の事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図2A-10に示す。地下空洞型処分技術高度化開発については、2024年度まで、原子力発電所金属廃棄物利用技術確証試験については令和2023年度まで現行の研究開発を継続して実施する。この研究開発により、5-2で設定した技術的なアウトカム目標を達成するとともに、特に地下空洞型処分技術高度化開発については、規制条件を踏まえた処分場設計や調査を進めていく技術基盤の整備に資する成果として提示していくことを目標とする。

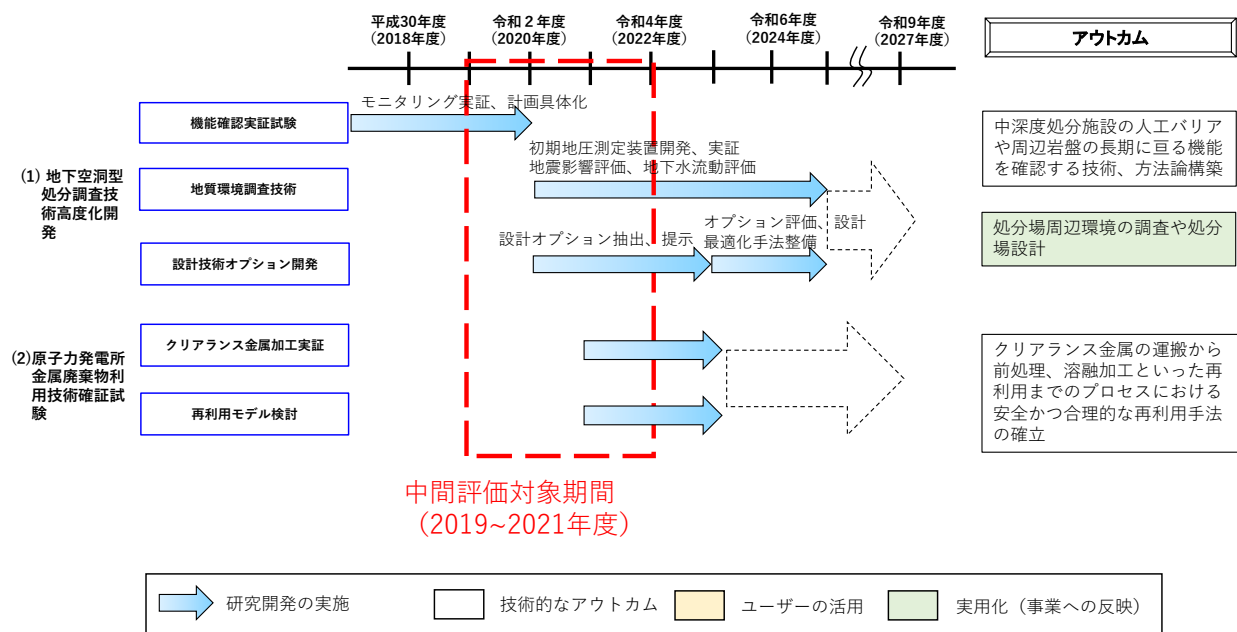


図 2A-10 事業アウトカムに至るまでのロードマップ

7. 費用対効果

3-2 資金配分に記載したとおり、2019 年度は 1.8 億円、2020 年度は 1.8 億円、2021 年度は 2.0 億円の国費を投入している。定量的な観点としては、この 3 年間で 4 本の査読付論文が掲載されており、国費投入に見合ったアウトプットがなされているといえる。アウトカム達成の観点からは、いずれの研究開発項目も国費に見合った達成状況であるかどうかは現状判断が難しいが、地下空洞型処分調査技術高度化開発については、2019 年度に 5 力年のアウトカム目標を達成できていることから、国費投入に対して妥当なアウトカムが得られているといえる。

8. 前回評価の指摘事項と対応状況

評価検討会（中間評価）

今後の研究開発の方向等に関する提言	対応状況
本プロジェクトは工学技術開発であることから、研究成果を論文化することが難しいことは理解できるものの、成果の公表が重要な項目と捉え、これまで以上に成果の公表に注力することが必要である。加えて、アウトカムとの関係では、廃棄物の処分技術を体感する機会を増やすことを通じて国民の理解促進に積極的に貢献していくこと、他のプロジェクトと緊密な連携を図ることが不可欠である。	本提言を受けて、受託者へ学会等への投稿など、成果の公表を促進した。その結果、2021 年度までに 4 本の査読付論文が受理されるに至った。引き続き、放射性廃棄物の処分技術を体感できる場を確保し、国民の理解促進に貢献していく。また、他のプロジェクトと、緊密な連携を図ることができる体制の構築は引き続き検討していくが、成果を取りまとめるにあたっては、高レベル放射性廃棄物の地層処分関係の事

	業者との連携により効率的に進めているので、最終年度まで継続していく。
地下空洞型処分施設機能確認試験については、実規模大の施設を利用した長期モニタリング技術を開発しており、着実に進展している。例えば、コンクリート構造物における不測の事態として、ひび割れの発生を検知できる仕組みを構築しつつある。なお、実規模施設を利用した技術の実証においては、原位置試験において必要となる時間とコストに配慮した今後の研究開発の継続が望まれる。	原位置試験においては、その結果について実用化に向けて試験等に掛る時間などの観点も考慮し、他事業との連携を図るなど効率的に取り組んだ。その結果、地下空洞型処分施設機能確認試験については平成31年度に当初のアウトカム目標を達成することができた。 原位置試験については、引き続き令和2年度以降も地下空洞型処分調査技術高度化開発において初期地圧測定装置の開発、実証のテーマで実施しているので、事業内容を効率的に実施する方法等を検討し、最小限の業務量となるように計画を策定したうえで成果を取りまとめている。
原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、実際のクリアランス金属を用いて金属廃棄物利用技術を実証できたことは評価できる。研究プロセス及びロードマップの設定が明確であるとともに、廃炉問題を抱える地域の住民への安心感、信頼性の醸成に実際に役立つものであり、アウトカムに照らして妥当と判断する。	原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発については、所期の目的を達成した。今後は、得られた成果も活用し、クリアランス金属の加工実証を進めて再利用モデルを構築するとともに、理解促進活動を進めていく。

評価WG（事前評価／中間評価）

所見	対応状況
コメントなし	—

B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費

上位施策名	科学技術・イノベーション						
担 当 課 室	資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課						
目 的	高レベル放射性廃棄物等の地層処分は、将来世代へ負担を先送りしないためにも、着実に実施する必要がある。処分事業の操業開始までの長期的な展開を視野に入れ、具体的な地点を対象とした調査評価のための基盤となる技術を先行的に整備し、処分事業等の円滑化を図る。また、将来世代が最良の処分方法を選択できるように、代替オプションに関する技術開発を並行して進める。具体的には、地質調査技術、地下水移行評価、操業技術等の工学技術及び安全評価技術の信頼性向上を図るとともに、海域における地質環境調査技術や、巨大地震等の天然現象による地層処分システムへの影響評価、操業期間中の安全対策に係る技術開発を行う。また、長半減期低発熱放射性廃棄物（ＴＲＵ廃棄物）の処理・処分技術の高度化開発等を行う。これらの技術開発と並行して、最終処分について幅広い選択肢を確保する観点から、廃棄体の回収技術や代替処分オプションに関する技術開発を行う。これらを通じて、高レベル放射性廃棄物やＴＲＵ廃棄物の処分に關する国民理解の獲得・促進と着実な処分事業の円滑化を図る。						
類 型	複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度						
実 施 時 期	1998 年度～2028 年度（予定） （31 年間）			会計区分	一般会計 / エネルギー対策会計		
評 価 時 期	中間評価：2003 年度、2006 年度、2010 年度、2013 年度、2016 年度、2019 年度、2022 年度 終了時評価：2029 年度（予定）						
実 施 形 態	国 → 民間企業等（委託）						
プロジェクトリーダー	研究開発項目ごとに異なるため、3.（3）を参照						
執 行 額 （百万円）	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	総執行額	総予算額
	3, 448	3, 543	3, 565	3, 560	3, 600	17, 716	18, 832

1. 国内外の類似・競合する研究開発等の状況

高レベル放射性廃棄物については、i) 将来世代の負担を最大限軽減するため、長期にわたる制度的管理（人的管理）に依らない最終処分を可能な限り目指す、ii) その方法としては現時点では地層処分が最も有望である、との国際認識の下、各国において地層処分に向けた取組が進められている。図 2B-1 に諸外国における地層処分事業の進展の状況を示す。ここに示すように、すでにフィンランドでは地層処分場の建設が進んでおり、スウェーデンにおいても、処分場着工に向けた規制対応が進んでいる。また、フランスでは、2022 年頃に設置許可申請が行われる予定、スイスでは候補エリアが 3 つまで絞り込まれた状態であったが、2022 年 9 月に候補地 1 カ所を選定済、カナダでは 2023 年までに 1 カ所の好ましいサイトを特定するという状況であり、立地プロセスに進展が見られる状況にある。処分場選定プロセスが比較的進展しているこれらの国々における研究開発の概況を下記に示す。

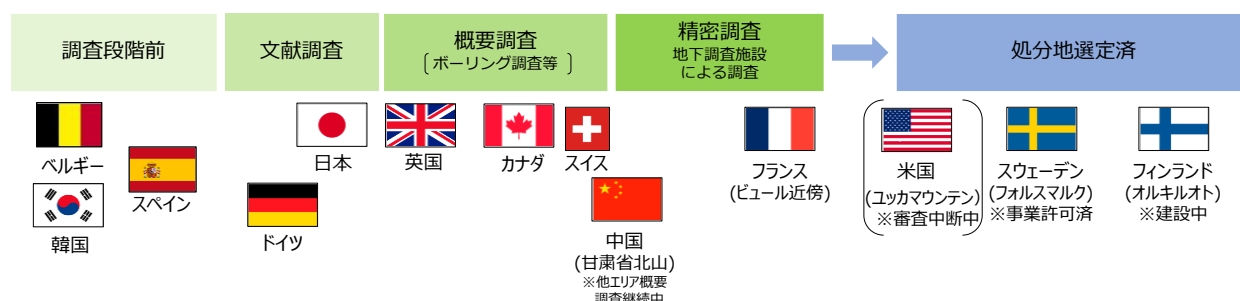


図 2B-1 諸外国における地層処分の状況⁶⁾

フィンランド：

使用済燃料を直接処分する方針。最終処分地に決定したオルキオトの詳細なサイト特性調査のために、2004 年 6 月から ONKALO と呼ばれる地下特性調査施設の建設が開始されている。実施主体であるポシヴァ社が、ONKALO の建設作業と並行して、処分場の建設許可申請に必要な岩盤や地下水のデータを収集し、また、掘削がこれらの特性に及ぼす影響についての調査を行ってきた。処分場の建設開始後は、ONKALO は処分施設の一部として利用されるが、ONKALO でこれまで利用されてきた研究・実証用の坑道エリアでは、人工バリアの定置技術等の研究開発が継続されている。

スウェーデン：

使用済燃料を直接処分する方針。実際の地層環境での研究を目的として建設された「エスポ岩盤研究所」において、1995 年から、「母岩の調査手法の開発と試験、岩盤特性に応じた処分概念の開発と試験、処分場の安全性を高めるための科学的見知の蓄積、処分場で使用される技術の開発、試験及び実証」を主に実施。この他に、岩盤の天然バリアとしての機能を把握するために地下水の挙動や、その化学組成に関する調査などが行われている。なお、この研究所では、国際的な共同研究も多く進められており、今日では日本を含む合計 7 カ国がプロジェクトに参加している。2022 年 1 月にスウェーデン政府が実施主体 SKB 社の使用済燃料最終処分に対する事業許可を発給。処分場の着工に向けた安全規制が開始された。

フランス：

使用済燃料の再処理により発生するガラス固化体と TRU 廃棄物を処分する方針。「可逆性のある地層処分場」の設置許可申請に向けた処分技術開発を進めている。その一貫として、地下研究所であるビュールサイトにおいて、粘土層を対象とした掘削時の岩盤や地下水挙動の研究、人工バリアの挙動に関する調査研究や、TRU 廃棄物の処分に関する研究を実施している。2022 年頃には処分場の設置許可申請が行われる予定となっている。

カナダ：

使用済燃料を直接処分する方針。ホワイトシェル近郊の地下研究所にて、2010 年まで地表及び地下の特性調査、地下水・核種の移行研究、地下水の地球化学及び微生物学、温度及び時間の経過に伴う岩盤の変形及び破壊の特性分析、コントロールボーリング及び発破とその影響の評価、埋戻し材の開発と性能評価を実施してきた。また、地下施設の閉鎖後は、核燃料廃棄物処分の長期的アプローチとして採用された「適応性のある段階的管理」(APM) の実施をサポートするための技術的研究を進めている。事業としては、2010 年から開始したサイト選定プロセスに 21 地域が参加。絞り込みが進められており、2023 年までに 1 ヶ所の好ましいサイトを特定することとなっている。

スイス：

使用済燃料の再処理により発生するガラス固化体と TRU 廃棄物の地層処分及び使用済燃料の直接処分を実施する方針。結晶質岩を対象としたグリムゼル試験サイトと堆積岩のオパリナス粘土を対象としたモン・テリ岩盤研究所の 2 つの地下研究所がある。グリムゼル試験サイトでは、実スケールでの高レベル放射性廃棄物の定置概念の実証、及び人工バリアや周囲の岩盤における放射性核種の移行に関する実験など、処分場と同様の条件下での定置概念の現実的な実証に主眼が置かれている。一方、モン・テリ岩盤研究所では、オパリナス粘土での放射性核種やガスの拡散、微生物の活動、母岩への熱の影響を調べる研究などを重点的に実施している。

これらの国々では、地層処分の実施主体が中心となって、国や研究機関等と連携して研究開発を進めている状況にある。また、フランスについては、国が策定した計画に則って実施主体が研究機関等と連携して研究を進めている。一方、日本においては、国が地層処分研究開発調整会議を立ち上げ、実施主体である NUMO のリーダーシップの下、研究機関とともに地層処分研究開発全体計画を 5 年おきに改訂し、それぞれの役割分担を定めた上で研究を進めている。また、諸外国の研究開発動向を踏まえ、日本特有の地質環境、自然事象等を考慮した地質環境調査・評価技術、処分場設計・工学技術、安全評価技術を、科学的な知見を継続的に蓄積して開発していく必要がある。したがって、次章に示す研究開発項目を定め、それぞれを受託している研究機関が研究を進めている状況にある。

2. 研究開発の内容

2-1 研究開発の全体構成

高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費では、下表に示す8件の研究開発項目を実施している。それぞれの研究開発項目とその成果が反映される地層処分事業における選定プロセスとの対応関係や、着目している空間スケールについてまとめたものを図2B-2に示す。各研究開発項目の設定にあたっては、地層処分研究開発調整会議³⁾において審議された地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度策定、令和2年度改訂）（以下、全体計画と記載）⁷⁾に沿う形で地質環境調査、施設設計、安全評価の3分野を網羅するようにした。各研究開発項目を統合することにより、俯瞰的に地層処分事業に資する成果を創出することを狙いとしている。

なお、エネルギー基本計画にも記載のとおり、使用済燃料の直接処分は代替処分オプションとしての位置づけ¹⁾のため、直接処分等代替処分技術高度化開発の事業の成果反映先は処分地選定プロセスの外側にある事業となる。したがって、図2B-2の関係図上に位置づけを記載することはできないが、安全評価・施設設計を対象としたものである。

研究開発項目	実施者
(1) 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA） 一般財団法人電力中央研究所（以下、電中研）
(2) 地層処分施設閉鎖技術確証試験	JAEA 原環センター
(3) 地質環境長期安定性評価技術高度化開発	JAEA 電中研
(4) ニアフィールドシステム評価確証技術開発	JAEA 原環センター
(5) 沿岸部処分システム評価確証技術開発	国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研） 原環センター 電中研
(6) TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発	原環センター JAEA
(7) 回収可能性技術高度化開発（2019年度は可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）	原環センター JAEA
(8) 直接処分等代替処分技術高度化開発	JAEA

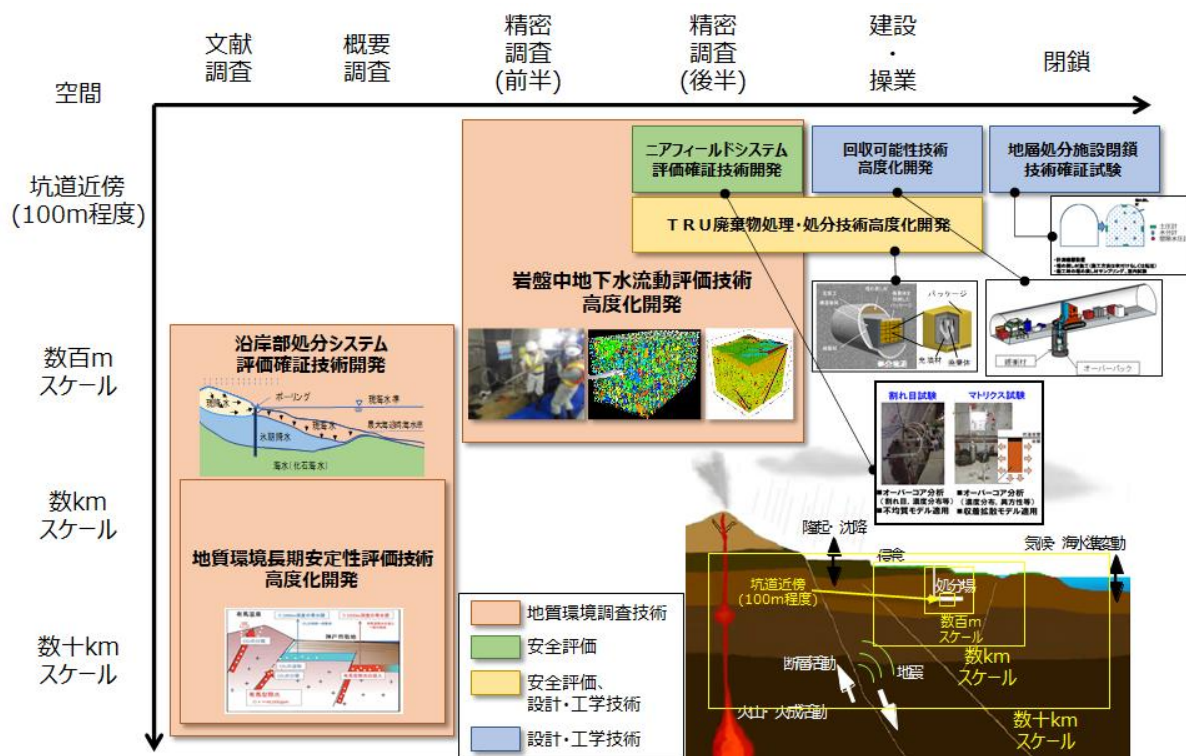


図 2B-2 各研究開発項目の地層処分事業への反映先と着目スケールの関係
(直接処分等代替処分技術高度化開発は含まない)⁸⁾

2-2 各研究開発項目の実施内容

(1) 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発

<研究目的>

概要調査において重要となる涵養域から流出域までの広域的な地下水流動（移流場）や、地下水が長期にわたり滞留する領域（拡散場）の三次元分布に係る調査・評価の信頼性向上に向け、これまでに整備された水理・物質移行場の特性に係る調査・評価技術の妥当性の確認を通じて、それぞれの水理・物質移行場のスケールや特徴に応じた方法論として整備する。

<研究実施内容>

移流場に対しては結晶質岩が分布する東濃地域の旧瑞浪超深地層研究所周辺を、拡散場に対しては堆積岩が分布する幌延地域の幌延深地層研究センター周辺を事例として、図 2B-3 のスケジュールを基本として方法論を整備する。また、実施体制を図 2B-4 に示す。

瑞浪における研究開発では、坑道スケールから広域スケールまでを包含する水理パラメータおよび物質移行パラメータの設定手法を整備するとともに、それらのパラメータを反映した広域的な地下水流動・物質移行解析に反映する。その解析では、地下水年代測定技術の高度化において求められた地下水年代を対象とし、広域的な地下水流動モデルの校正手法を構築する。幌延における研究開発では、 Cl^- 濃度と酸素・水素同位体比を指標として、低流動域の分布を物理探査とボーリング調査といった概要調査における主要な調査により効率的に把握するための方法を構築する。さらに、 Cl^- 濃度と酸素・水素同位体比を低流動域の存在を確認するための指標として用いることの妥当性を示すとともに、低流動域がどのような経緯により現在の分布になったのかといった古水理地質学的

変遷を明らかにするために、拡散で分離・分別する指標を用いた拡散場調査の有効性、 ^{81}Kr を用いた地下水年代測定の有効性および地史を踏まえた水質形成機構を検討する。これらの成果を踏まえ、長期的に安定な水理場・化学環境の三次元分布を地上から把握する調査・評価技術を体系化する。

研究開発項目		平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
瑞浪における研究開発	内陸部の広域的な地下水流動(移流場)を評価するための技術の高度化					
	広域的な地下水流動・物質移行解析技術の高度化	← 広域的な地下水年代を対象とした地下水流動・物質移行解析技術の開発 → 水みちのネットワークによる水理・物質移動特性の調査・評価技術の開発 亀裂性岩盤の透水不均質性の調査・評価技術の開発		← 水理パラメータ設定手法開発 物質移行パラメータ設定手法開発 →		
	地下水年代測定技術の高度化	←		→		
幌延における研究開発	内陸部の地下深部に存在する長期的に安定な水理場・化学環境(拡散場)を評価するための技術の高度化					
	低流動域の分布を概要調査で効率的に把握するための技術の高度化	← 既存の物理探査およびボーリング調査データを用いた低流動領域の分布の検討 既存孔を使用した長期注水試験 →		← 施設スケールを対象とした物理探査 →	← ボーリング調査、地下水調査 →	
	低流動域の存在を確認するための技術の開発	←		← 拡散で分離・分別する指標を用いた拡散場調査の有効性の検討 ⁸¹ Krを用いた地下水年代測定の有効性の検討 地史を踏まえた水質形成機構の検討 →		→
	長期的に安定な水理場・化学環境の三次元分布を地上から把握する調査・評価技術の体系化	←		← 低流動域を対象としたモデル化・解析手法の整備 低流動域の三次元分布の推定方法の検討(地球統計学的手法) →		→
				← 方法論の体系的整理 →		事業全体を対象とした方法論のとりまとめ実施
	移流場と拡散場に応じた調査・評価技術の整備					→

図 2B-3 全体スケジュール

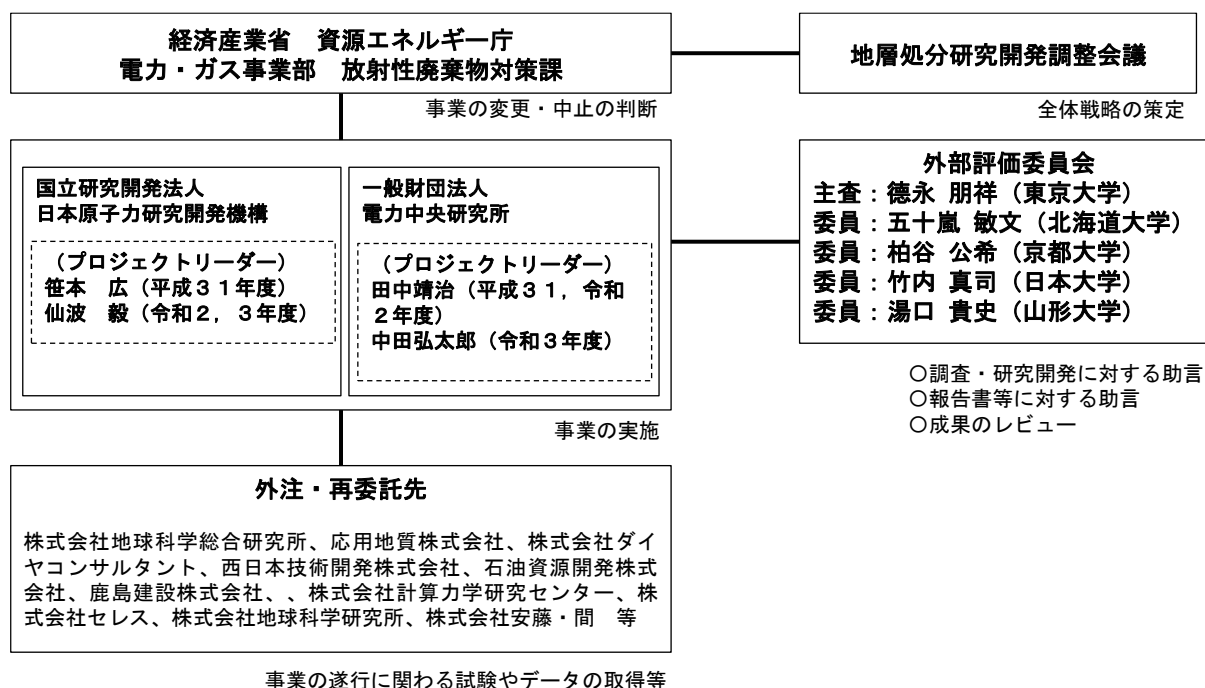


図 2B-4 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発のマネジメント体制

<研究成果>

瑞浪地域を事例として、スケールに応じた最適な水理・物質移行パラメータ設定の手法を提示し、その整合性を確認した(図 2B-5)。

水理パラメータの設定では、瑞浪立坑での割れ目の特性を考慮した原位置の透水試験結果を基に、モデル化スケールに応じた水理パラメータの設定方法を検討した。この結果、施設スケールにおいては割れ目の透水性に起因する透水不均質性のモデル化が重要であるのに対し、広域スケールでは割れ目に起因する透水不均質性よりも断層等の大規模な不連続構造に起因する透水不均質性のモデル化が重要であることを確認した。

物質移行パラメータの設定では、瑞浪立坑での割れ目の特性を用いて、母岩を考慮した DFN モデルを作成し、 ^{14}C の移行挙動を評価した。この結果、見かけの間隙率は母岩の間隙率のほぼ半分程度となり、割れ目系の物質移行現象において、マトリックス拡散の寄与が大きいことを明らかにした。

広域地下水流動モデルでは、地下水年代 (^4He と ^{14}C) を用いて、透水係数 (k)、間隙率 (n) を校正し、水圧だけの校正より良い精度で推定でき、既存の結果や前述の結果と概ね整合することを確認できた。

放射性希ガスを用いた地下水年代測定法を適用するために、中空糸膜を用いて水からガスを抽出する装置を小型化し、地下施設等でも使用を可能にした。開発した装置を瑞浪の地下水に適用し、地下水年代評価に用いる K_r の抽出効率を明らかにした⁹⁾。

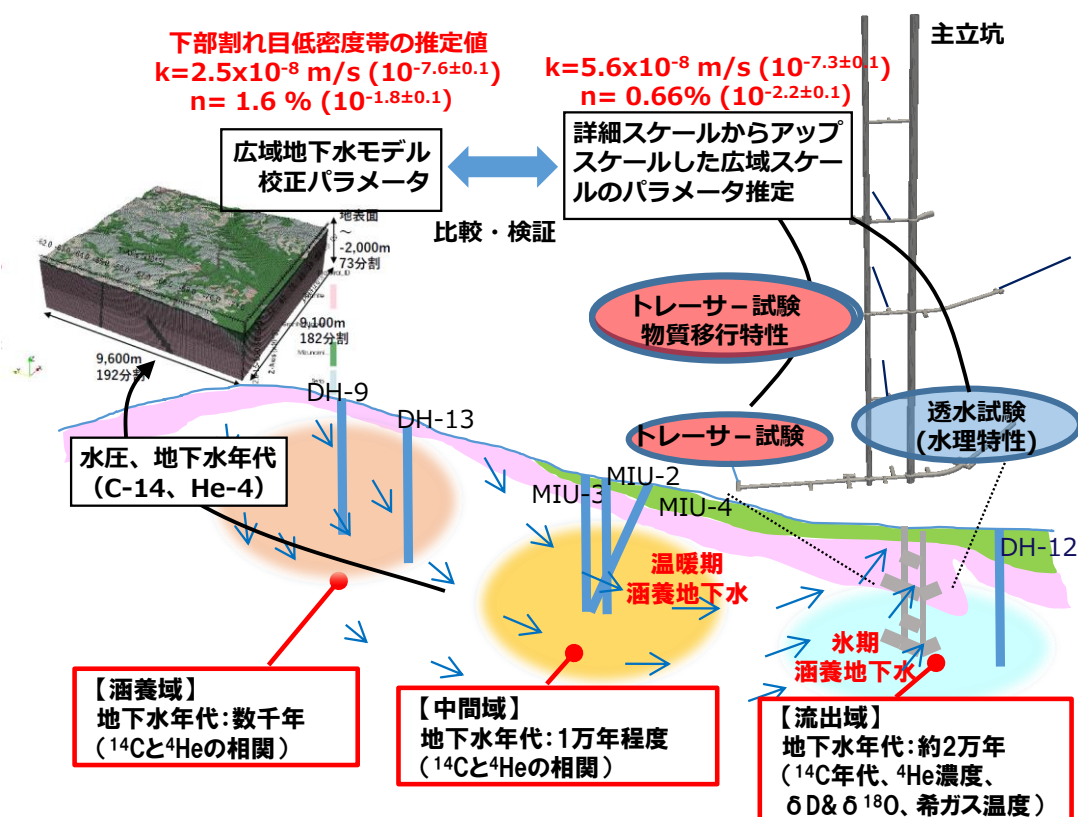


図 2B-5 地下水年代分布と広域地下水流動モデルの校正イメージ

幌延地域を事例として、広域スケールの範囲から長期的に安定な水理場・化学環境（低流動域）が存在する施設スケールを絞り込み、施設スケールにおいて低流動域の三次元分布を推定する手法について、その手法を適用する場合の物理探査（測点の数や地点、解析方法など）やボーリング調査

(本数、地点、掘削深度、1つのボーリング孔におけるサンプリング深度や数など)の考え方を整理した。

低流動域を評価する際、地下水の Cl^- 濃度と酸素・水素同位体比が有力な指標であり、地下水の Cl^- 濃度は地下の比抵抗と相関性が認められることから、地下での空間分布の把握には電磁探査が有効であることを示した。具体的には、幌延深地層研究センターを調査範囲に含む約 3 km 四方において、高密度測点の MT 法を適用し三次元比抵抗分布を得た。そして、地下水の成因を評価できる酸素・水素同位体比と物理現象として直接関係しない比抵抗との相関性を確認することで、三次元比抵抗分布を用いた地球統計学的手法により三次元分布が推定可能であることを示した (図 2B-6)。

拡散係数の違いで分離する物質 (Cl^- と水同位体)、分別する同位体 (^{35}Cl と ^{37}Cl) について、実験的に評価する方法を提案した¹⁰⁾。ボーリング孔での同位体 (^{35}Cl と ^{37}Cl) の分布を拡散方程式で再現することにより、拡散場であることを原位置データで例示した。

地下水から分離したガスサンプルで ^{81}Kr 年代測定を実施するためのサンプリング、前処理、分析、評価方法を整備した。これにより、処分事業で重要な、10~100 万年程度の年代を測定する技術・地表付近の水の混入を評価可能な技術が強化された。

地下水年代評価に用いる希ガスについて、瑞浪・幌延で取得されたデータを基にしてサンプル採取時に起こりうる脱ガス挙動を明らかにし、サンプル採取時に脱ガスが起きた場合でもそれを補正できる方法を提案した¹¹⁾。

生物起源シリカおよび粘土鉱物を比較的多く含む海成堆積層中の長期的な地下水の水質形成機構の評価に取り組み、初生的な海水の塩濃度と酸素水素同位体比が、天水との混合を経ずとも、現在の幌延地域の地下深部に見られる地下水の水質と同程度まで変質し得る知見が得られた。

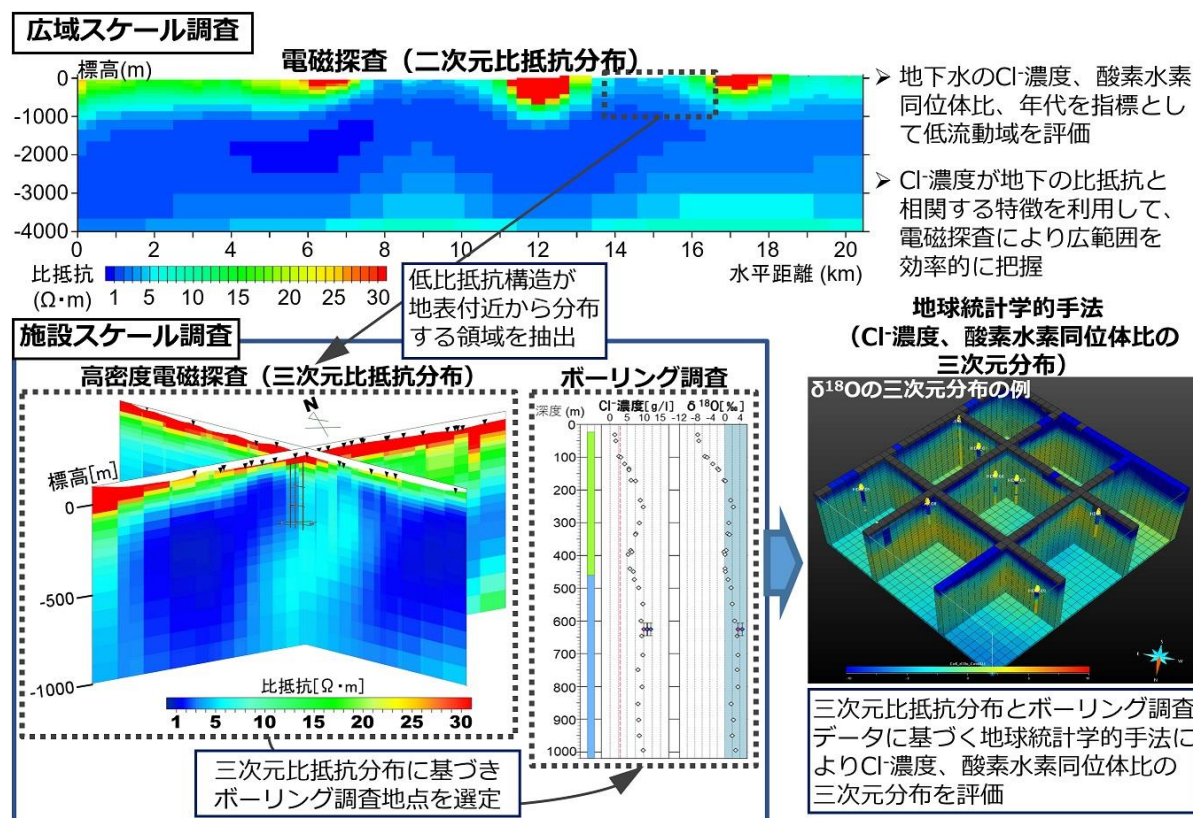


図 2B-6 電磁探査とボーリング調査を組み合わせた低流動域の三次元分布の評価例

（２） 地層処分施設閉鎖技術確証試験

＜研究目的＞

処分場の閉鎖後に、坑道自体や掘削損傷領域（以下、「EDZ」という）が、地下～地上まで直結する水みちとなることを防止するためのプラグや埋め戻しといった坑道シーリング技術の整備や、人工バリアを含むこれらの品質管理手法の構築に向けた技術開発を、わが国で対象となる結晶質岩盤および堆積岩盤を対象に実施する。

＜研究実施内容＞

本事業の年度展開を図 2B-7 に示す。また、本プロジェクトに関するマネジメント体制図を図 2B-8 に示す。坑道シーリング技術の整備については、わが国に分布する岩盤を対象とした坑道の埋め戻し材やプラグの設計・施工の観点から必要な技術の整備を行うため、坑道シーリング設計・評価技術の整備、シーリング技術の性能確認および坑道シーリングの施工技術の整備の 3 つの項目をたて研究開発を実施した。また、高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術の開発では、人工バリアを含む地下構成要素の品質保証の観点から重要となる品質管理やその性能確認の具体的な方法論の検討およびそれらを支える計測技術の整備を進めた。

	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
(a) 処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備					
a) 坑道シーリング設計・評価技術の整備					
i シーリングシステム長期性能評価技術開発	計画検討	水理・物質移動解析、反応輸送解析等に基づく移行経路分析、安全性への影響評価、シーリングシステムの性能の考え方の検討	設計フローの更新・高度化（必要に応じ）	更新した設計フロー等の見直し・高度化（必要に応じ）	多様な地質環境条件等を想定したシーリングシステムの性能の考え方の提示
ii シーリングシステム設計評価技術開発	計画検討	設計フローの更新・高度化等	設計フローの更新・高度化（必要に応じ）	更新した設計フロー等の見直し・高度化（必要に応じ）	
b) シーリング技術の性能確認					
i 膨潤挙動相互作用試験	計画検討・試験装置の製作	検証データの取得・解析評価	緩衝材と埋め戻し材の力学的相互作用下での室内試験および解析・緩衝材の膨潤挙動に影響を与える化学的事象の検証		
ii EDZシーリング試験	計画検討・試験着手	検証データの取得・解析評価	原位置試験、検証データの取得・解析評価		
iii 掘削影響領域等の連続性に関わる調査技術開発		調査データの取得・解析評価	高精度物理探査による物性値の取得、EDZの連続性調査技術の検討		
iv ボアホールシーリング試験			計画検討	室内・工学規模試験の実施	原位置試験による技術の検証
v EDZシーリングのための代替材料に関する基礎的検討				コンクリーション充填剤の適用性の検討	
c) 坑道シーリングに関わる施工技術の整備					
i 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験	埋め戻し材の施工試験・モニタリング	モニタリング・事後調査	成果の公表		・埋め戻し実規模施工試験等 ・埋め戻し材の製造・施工プロセス管理手法の提示
ii 埋め戻し材の特性を踏まえた施工オプションの整備	計画検討・室内要素試験・工学規模試験	試験結果・概念設計等による基盤情報整備	埋め戻し材データ拡充、施工技術オプション整備		
(b) 高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術開発					
a) 製作・施工技術に係る品質保証体系の整備					
i 品質保証・性能確認の手法や知見の体系化に資する基盤情報の整備	計画検討・情報調査収集（国際共同研究・海外先行事例調査）		品質保証・性能確認プログラムわが国における設置方式と横置きPEM方式に適用可能な品質保証プログラム案の具体化に向けた情報整理		
ii 地下構成要素の状態変化に係る関連ハード技術の整備	計画検討・開発動向調査	新たなセンサー技術（無線給電、加熱式光ファイバー）等の要素試験			計測技術の適用性確認(c) ii 実規模実証試験

図 2B-7 全体スケジュール

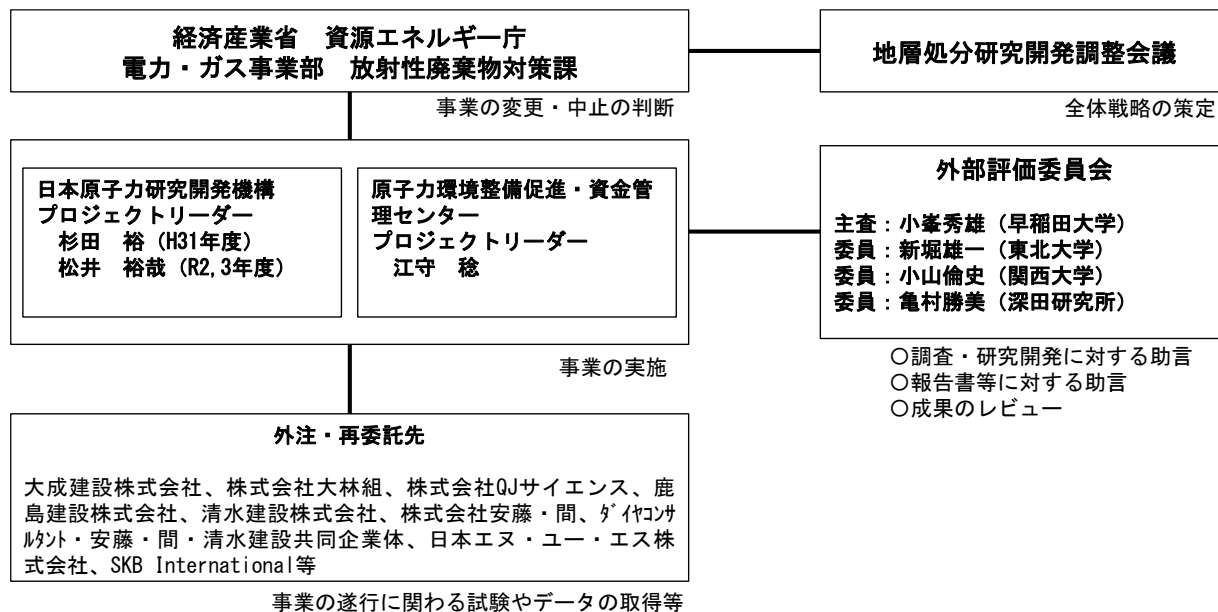


図 2B-8 地層処分施設閉鎖技術確証試験マネジメント体制

<研究成果>

(a) 処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備

1) 坑道シーリング設計・評価技術の整備

坑道閉鎖部の長期的な性能を解析的に検討するために、岩盤—支保工コンクリートの境界付近の現象に着目した反応輸送解析を実施した結果、コンクリートの影響は地下水流れの上流側のごく一部に限られることがわかった。また、止水プラグ設計の観点から、プラグ形状を矩形およびソロバン型の2種類仮定し、母岩、EDZ および止水プラグ周辺のEDZの連続性をパラメータとした2次元の物質移動感度解析を実施した結果、形状としては矩形が望ましいことが示唆された。

2) シーリング技術の性能確認

止水プラグについては、幌延深地層研究センターの深度350m坑道底盤部にスリットを設けベントナイトペレット充填により構築した止水壁の性能を確認する透水試験を継続実施し、その性能に大きな変化がないことを確認するとともに、側壁部に止水プラグを設置する場合に吹付け工法によりベントナイト系材料を目標の乾燥密度よりも高く施工可能であることを原位置試験により確認した(図2B-9)。また、プラグ設計に必要な坑道周辺岩盤中のEDZの連続性やその経時変化の評価技術の高度化として、分解能などを高めた孔内物理検層装置を試作し、適用性を確認した。

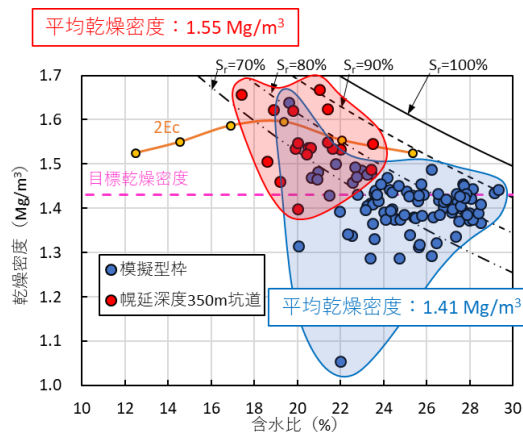


図 2B-9 止水プラグの切欠き部に対する吹付けによる施工試験
(幌延深地層研究センターの深度 350m 調査坑道) (2021 年度)

さらに、止水プラグ構築のための岩盤掘削による EDZ の拡大などの影響を避ける方策として、名古屋大学と積水化学工業（株）が共同開発した、人工的にコンクリーションを生じさせることが可能な充填材であるコンシード(特願第 6889508 号)を EDZ に注入する工法の有効性を検討するための原位置試験を開始し、注入後 3 か月程度で透水係数が 2 オーダー程度低下し、代替材料・工法として有望である結果を得た（図 2B-10）。なお、この材料は、止水材料としての他分野（例えば建築材料など）への応用も期待されている。

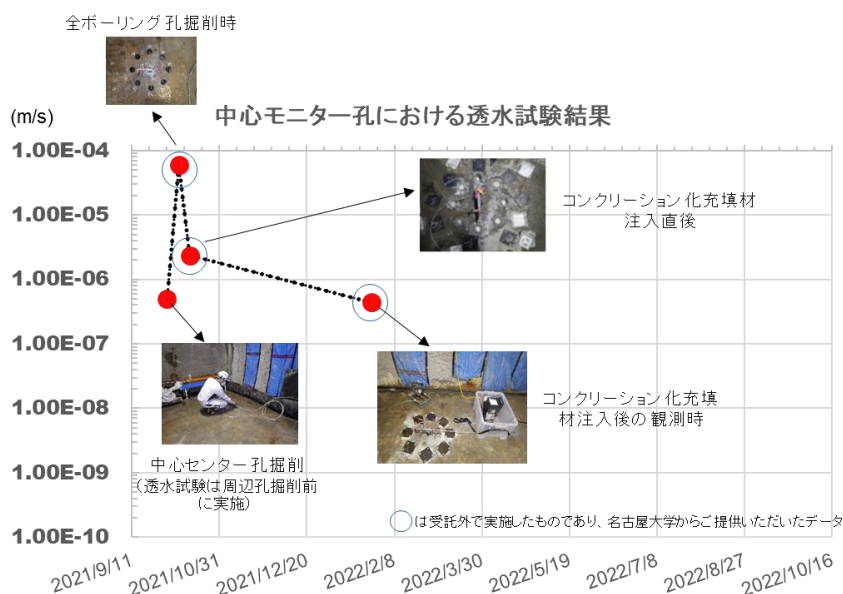


図 2B-10 コンシード注入前後の EDZ の透水係数の経時変化（幌延深度 350m 坑道）
(2021 年度)

3) 坑道シーリングに関わる施工技術の整備

2018 年度に瑞浪超深地層研究所（結晶質岩を対象）の深度 500m 地点で実施した吹付けによる埋め戻し試験の事後調査を行い、深度 300m より深い場所において施工目標（深成岩類相当の透水性: 10^{-8} m/sec オーダー以下）を満足する埋め戻しが吹き付け施工により可能であること（図 2B-11）を、その品質管理手法と併せ実証的に示した。また、幅広い地質環境に対応するための埋め戻し施工技術オプションを整備するために、撒き出し・転圧工法、吹き付け工法、スクリー工法、ブロック工法に

関する要素試験、工学規模試験を実施し、施工技術の選定に資する情報を取得するとともに、撒き出し・転圧工法については実規模の模擬坑道を対象とした施工試験を実施して乾燥密度のばらつき等に関するデータを取得した。

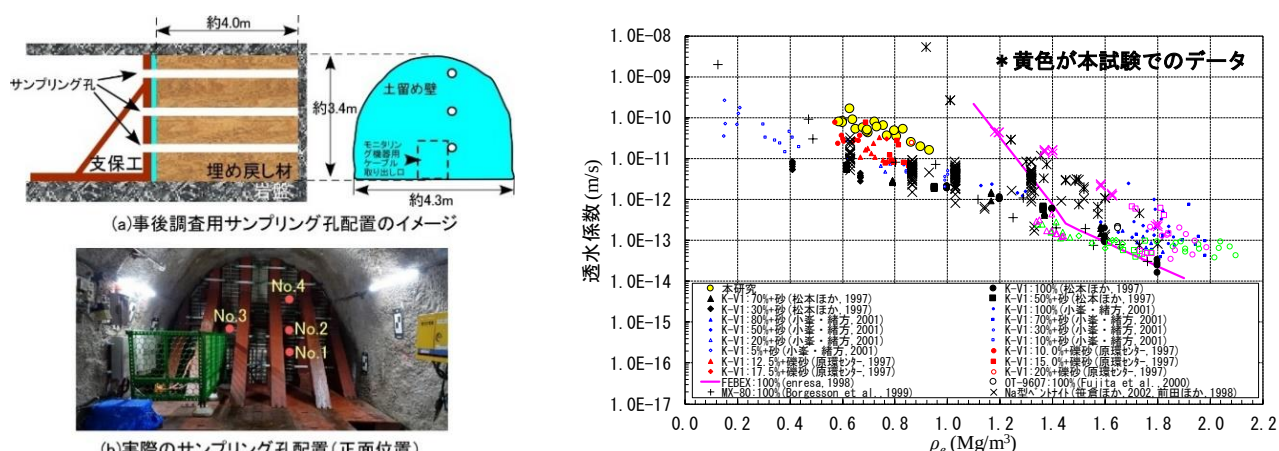


図 2B-11 事後調査（瑞浪深度 500m 坑道）と室内試験結果の一例（室内透水試験）（2019 年度）

(b) 高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術の開発

処分事業が先行する諸外国における地下構成要素の品質保証に関する文献等を調査し、処分場の閉鎖の判断に資する品質保証体系の構築に向けた情報を整理した。また、埋め戻し材の品質保証に向けて乾燥密度の測定や坑道界面の隙間の検知技術としての光ファイバや時間領域反射法の適用性の見通しを得るとともに、測定や電力供給等に必要なケーブルが水みちになる可能性を防止するための無線技術における長期運用性や給電効率を確認した。

(3) 地質環境長期安定性評価技術高度化開発

<研究目的>

わが国の地質環境は火山や活断層の分布、隆起・侵食の特徴や地下地質等において地域ごとに非常に大きな違いがある。このような様々な地質環境に対して、地層処分に適したサイトを選定するための自然現象の影響評価に着実に対応できるよう、幅広い調査・評価技術を整備しておくことは、地層処分の技術的信頼性を確保していく上で非常に重要である。本事業では、地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象の影響把握及びモデル化に係る課題を解決するための研究開発に取り組む。

<研究実施内容>

地層処分システムにおける火山・火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食の影響を評価するため、地質学、地形学、地震学、地球年代学といった各学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を総合的に進めた。実施に当たっては、地層処分に係る自然現象の調査・評価技術開発に多くの実績を有する日本原子力研究開発機構及び電力中央研究所が共同で実施し、各機関が有している知見・技術を相互補完的に利用することで、地層処分における自然現象の影響の観点に対して効果的な成

果の創出を図った。上述の全体計画に基づく本事業の年度展開について図 2B-12 に示す。また、マネジメント体制図を図 2B-13 に示す。

事業項目	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
(1) 火山・火成活動に関する調査・評価技術	マントル内の流体分布・移行、マグマの影響範囲に関する知見の蓄積		地殻浅部のマグマ水平移動に関する知見の蓄積		
(2) 深部流体に関する調査・評価技術	深部流体の移動・流入に関する科学的知見の蓄積		深部流体の影響に関する評価手法の整備		
(3) 地震・断層活動に関する調査・評価技術	個別要素技術の適用性の検討		個別要素技術の高度化		
	水理学的影響に関する事例の整理・事例研究		水理学的影響に関する評価手法の検討		
(4) 隆起・侵食に関する調査・評価技術	個別要素技術の適用性の検討		個別要素技術の高度化		
	データマップの整備				

図 2B-12 全体スケジュール

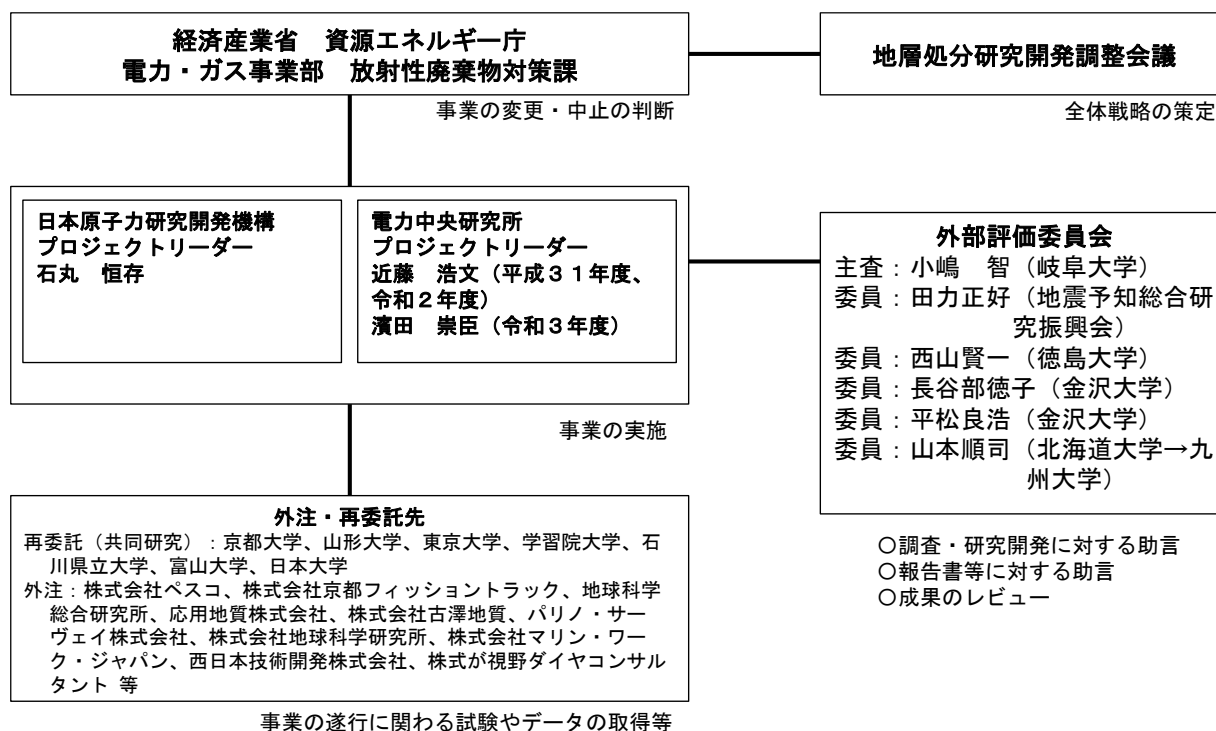


図 2B-13 地質環境長期安定性評価技術高度化開発マネジメント体制

<研究成果>

将来新たに火山・火成活動が発生する可能性について評価したり、地下のマグマの活動範囲を把握したりする上で適用される代表的な技術である地震波トモグラフィ解析や電磁探査等について、

空間分解能の向上や研究事例の蓄積を進めた。これらの成果は、地層処分における火山・火成活動の影響を評価するための調査技術として反映できる。

地下深部からの流入の可能性が想定される非火山性の深部流体については、高温、低 pH、あるいは高炭酸濃度の特徴を持つものがあり、それらの分布や移動経路の把握は地層処分のサイト選定や安全評価においても重要な課題である。本事業では、深部流体の熱的・化学的特徴を把握するための複数の手法開発を進めたほか、深部流体の混合程度や成因を把握するためのフローを整理した。例えば、ヨウ素の同位体比は深部流体を識別する指標の 1 つとされているが、ヨウ素は揮発しやすかつ酸化・還元により存在形態が変化しやすいことから、従来は高精度での分析が困難であった。本事業では、同位体比の過去数十年間の変動が克明に保存されている浅海サンゴ試料を事例対象とした加速器質量分析計を用いた分析により、ヨウ素の同位体比を高精度で把握する手法を構築した¹²⁾ (図 2B-14)。さらに、地震波解析や岩盤中の割れ目方向解析に基づき、深部流体の地下からの移動経路について把握するための調査事例の蓄積を図った。

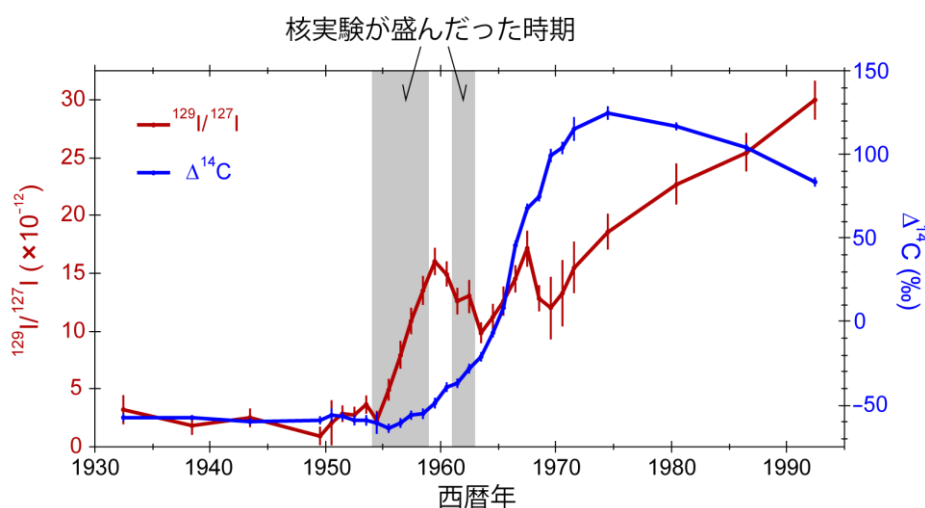


図 2B-14 浅海サンゴ試料を用いたヨウ素と炭素の同位体測定結果（ヨウ素と炭素の同位体比ともに、核実験活発時期以降の上昇が明瞭に捉えられている）¹²⁾

地震・断層活動については、測地学（GNSS 観測）、地震学（高精度の震源メカニズム解析等）、地形学（空中写真判読等）、及び地質学（小断層解析等）の各手法を組み合わせたアプローチにより、地下に伏在する活断層等の分布を把握する手法を提示した。さらに、ボーリングや地下坑道掘削中に新たに出現した断層の活動性を把握するための年代測定法の開発を進めたほか、断層内物質（断層破碎に伴う水-岩石反応によって生成された粘土鉱物等）の化学組成データを用いた多変量解析に基づき活断層と非活断層とを識別するための手法を新たに提示した¹³⁾ (図 2B-15)。これらの成果は、地震・断層活動が地層処分システムに及ぼす影響の評価に対してのみならず、より一般的な地震防災に対しても反映できる内容である。

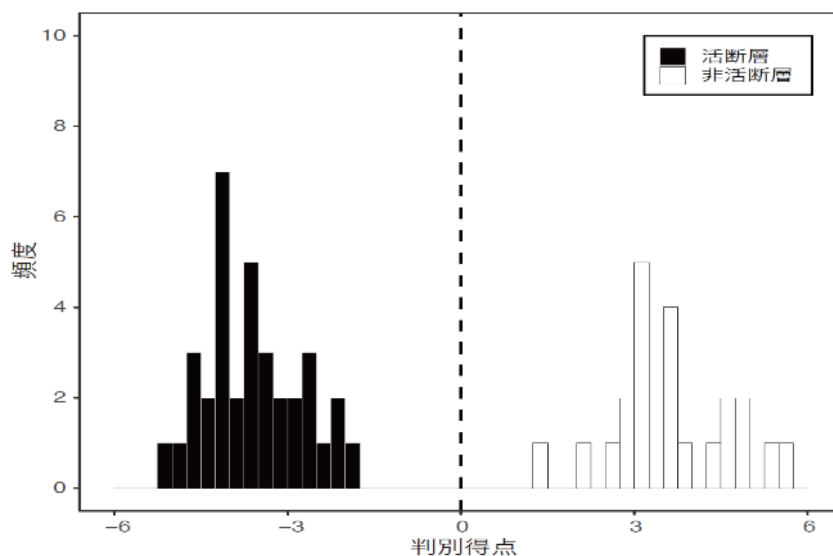


図 2B-15 断層内物質の化学組成データを用いた多変量解析による
活断層と非活断層の分類結果の例¹³⁾

地層処分では数万年～数十万年の非常に長期にわたる時間スケールでの自然現象の影響の評価が求められるため、そういった長期の時間スケールにおける隆起量・侵食量の評価も、廃棄体の地上への接近や、動水勾配に基づく地下水流動の変化の観点から重要となる。そこで、幅広い地質環境かつ様々な時間スケールに対して隆起・侵食評価が可能になるよう、複数の調査・評価技術の整備を進めた。例えば、内陸部の隆起量を高い信頼性で推定するための手法として、環流旧河谷（蛇行する河川において流路の短絡が発生することで形成される昔の河川の痕跡）に着目し、その堆積物に含まれる鉱物（長石）の光ルミネッセンス年代測定（時間経過とともに鉱物に蓄積されたエネルギーが光の刺激によって放出される現象を利用した年代測定）に基づき、隆起量を計算する手法を確立した¹⁴⁾（図 2B-16）。

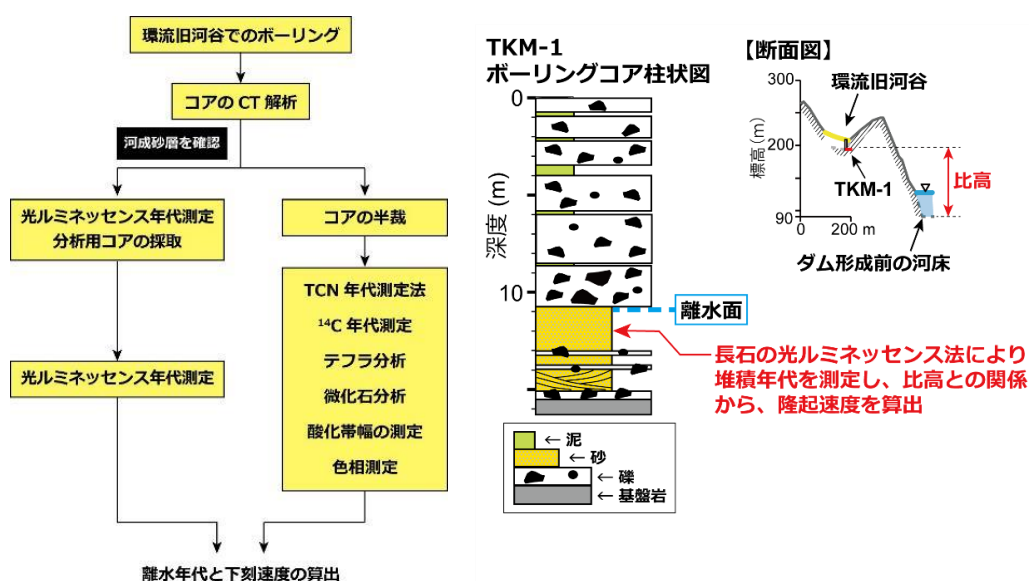


図 2B-16 環流旧河谷の堆積物のルミネッセンス法に基づき隆起・侵食速度を推定する場合の
調査フロー（左）及び適用事例（右）¹⁴⁾

（４） ニアフィールドシステム評価確証技術開発

<研究目的>

地層処分システムの安全性の評価では、実際のサイトの地質環境条件や地層処分システムの長期変遷等をより現実的に考慮した評価を行うことが求められることから、地層処分システムの廃棄体定置後の過渡的な時期から閉鎖後長期にわたる期間を対象に、ニアフィールド（人工バリアとその近傍の岩盤）の環境変遷とそれらを考慮した核種移行をより現実的に評価するための技術を、最先端の科学的知見や手法を駆使して開発し、ニアフィールドシステムの評価の妥当性を示す。

<研究実施内容>

実際のサイトにおける地質環境の特徴、バリア構成要素間の相互作用を含むニアフィールド環境の過渡期から長期にわたる変遷などをより現実的かつ精緻に取り扱うことが可能な評価モデルを整備することとした。具体的には、ニアフィールド環境の過渡期から長期にわたる変遷を評価するための解析技術、そのうち特に長期変遷を評価した結果を反映した核種移行解析技術、及びそれらを統合的に解析評価する技術を開発することとし、それぞれを以下の３つのサブプロジェクト（SP）として設定して、図 2B-17 の全体スケジュールに沿って、相互に連携させつつ技術開発を進めた。また、実施体制は図 2B-18 に示すとおりである。

- ① ニアフィールド環境の変遷を評価するための個別現象モデル開発やパラメータ整備等の技術開発（SP1）
- ② 環境変遷を考慮した核種移行を評価するための個別現象モデル開発・パラメータ整備等（SP2）
- ③ 現象解析モデルの統合化技術、ニアフィールドの環境変遷を反映した核種移行評価技術の開発（SP3）

ニアフィールド環境の長期変遷を考慮した核種移行評価の実現に向けて、個別現象研究や個々の現象解析モデルの統合化においては、ニアフィールド環境の変遷のうち核種移行解析結果に重大な影響を及ぼす現象やその相互作用から優先的に取り組むこととした。また、このような現象解析モデルの統合化技術と、その成果を反映した核種移行評価技術により得られる知見を個別現象モデル開発などに反映させつつ進めることで、ニアフィールド環境の長期変遷を考慮した核種移行評価の実現に向けた研究開発を効果的・効率的に進めることを目指した。

	H30	H31/R1	R2	R3	R4
ニアフィールド環境変遷に係る個別評価技術の開発（SP1）	人工バリアの個別現象データ取得・モデル高度化	人工バリアの個別現象データ拡充・モデル検証	環境変遷に対応した人工バリア挙動のデータ取得、現象把握	過渡期の環境変遷に対応した人工バリア挙動評価手法構築	環境変遷挙動評価手法の適用性評価と課題抽出
ニアフィールド環境変遷を考慮した核種移行評価技術の開発（SP2）	核種移行データ取得・モデル開発	原位置等データの取得・モデルの適用性評価	環境変遷を考慮した核種移行データ取得、現象解明	環境変遷を考慮した核種移行モデル開発	環境変遷を考慮した核種移行評価手法の適用性評価と課題抽出
ニアフィールド性能の総合評価技術開発（SP3）	開発アプローチ・プロトタイプ化	試解析・システム開発課題の抽出	解析システム・核種移行解析手法の改良	ニアフィールドシステム変遷評価・核種移行解析の試行	環境変遷と核種移行解析手法の構築と課題抽出

図 2B-17 全体スケジュール

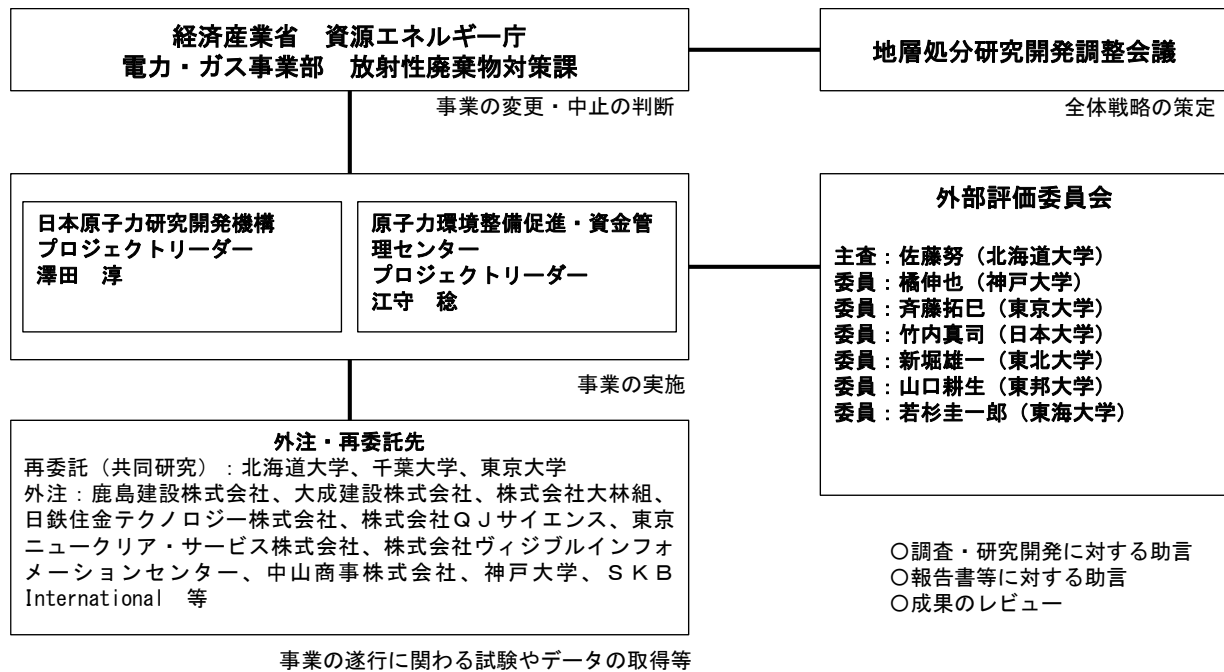


図 2B-18 ニアフィールドシステム評価確証技術開発マネジメント体制

<研究成果>

異なる材料が共存するニアフィールドの過渡期から長期の環境変遷を評価するため、原位置試験や天然類似試料分析等によって、金属の腐食、緩衝材の変質、緩衝材の熱(T)–水(H)–応力(M)–化学(C)連成挙動、セメントと岩石の相互作用に関する評価モデルや、緩衝材の流出に関する抑制対策技術と評価方法を提示した（SP1）。

緩衝材の THMC 連成挙動について、スイスのグリムゼル試験場における FEBEX 試験で得られたデータを活用し、過渡期の THM 連成挙動に関する現象解析モデルの検証を行った（図 2B-19(a)）。その結果、温度、相対湿度、全応力等の THM 連成挙動を概ね再現できることが確認できた¹⁵⁾¹⁶⁾。過渡期の緩衝材の力学モデルの検証に向け、X 線 CT 測定による膨潤圧試験中の供試体観察を行い、膨潤圧の変化と供試体内部の状態変化の関係を把握した¹⁷⁾。また、粘土含水系の挙動や物質移行の評価へのマルチスケール解析手法の構築を目指し、粘土含水系の圧縮過程の数値シミュレーションを、粗視化分子動力学法によってメソスケールで行う方法を開発した¹⁸⁾。

緩衝材の流出に関する抑制対策技術と評価方法を、幌延深地層研究センターの地下施設にて実施した実環境における流出試験（図 2B-19(b)）や多様な条件下における要素試験を通じて提示した。

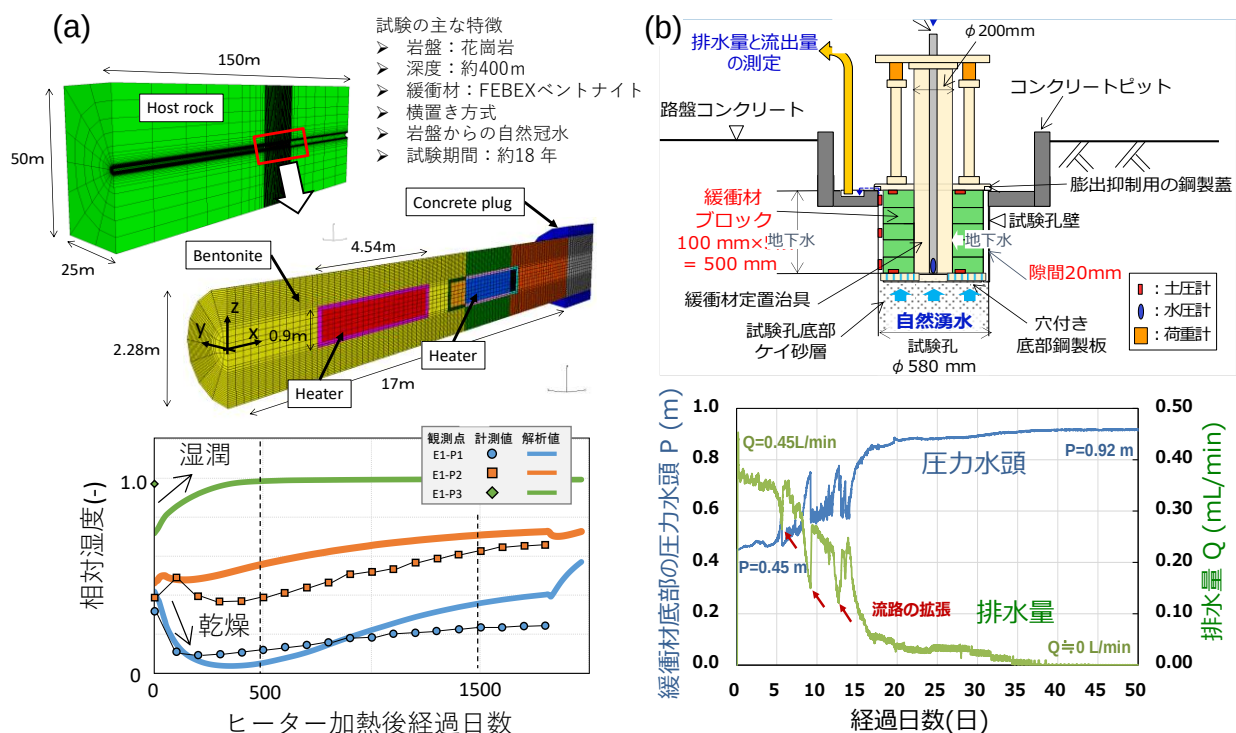


図 2B-19 (a)FEBEX 試験の解析モデル体系と再現解析結果、(b) 緩衝材流出の原位置試験図と試験結果

実際の地質環境の特徴やニアフィールドの長期環境変遷を考慮した核種移行評価を可能とするため、先端分析・計算科学技術や原位置試験等の活用を通じて、結晶質岩や堆積岩を対象としたより現実的な核種移行評価モデルを構築したほか、バリア材料の共存や有機物・微生物等の核種移行への影響評価手法を構築した (SP2)。

バリア材料の共存による核種移行影響評価として、処分環境のオーバーパック領域で生成・変遷する鉄鉱物に対し、重要核種である Se が取込まれる現象のメカニズムを実験と分析から明らかにした (図 2B-20(a))¹⁹⁾。このような核種移行の遅延プロセスは、従来の安全評価において考慮されていなかったものであり、本成果を根拠として、今後の安全評価において核種移行遅延機能として反映することが可能となる。

また、セメント系材料の共存影響として、緩衝材ベントナイトの変質に伴うコロイドろ過性能に及ぼす影響評価手法を構築し、多様な条件でのコロイドろ過性能を把握した²⁰⁾。さらに、セメント系材料の共存によるニアフィールド岩盤の環境変遷や核種移行への影響について、先行研究調査をもとに現状の理解と課題を整理するとともに²¹⁾、幌延の泥岩とセメントとを用いた室内試験・解析評価を通じ、セメントと泥岩反応における主要現象の理解と解析評価の適用性を示した²²⁾。

地下水中的高炭酸濃度が核種移行に及ぼす影響評価については、U(VI)の炭酸共存下でのイライトへの収着データを取得し、時間分解レーザー蛍光分析 (TRLFS) により炭酸濃度や pH の変化に伴うスペクトル形状の変化から収着形態の情報を得つつ、多様な炭酸濃度条件での収着評価を可能とする収着モデルを構築した²³⁾ (図 2B-20(b))。

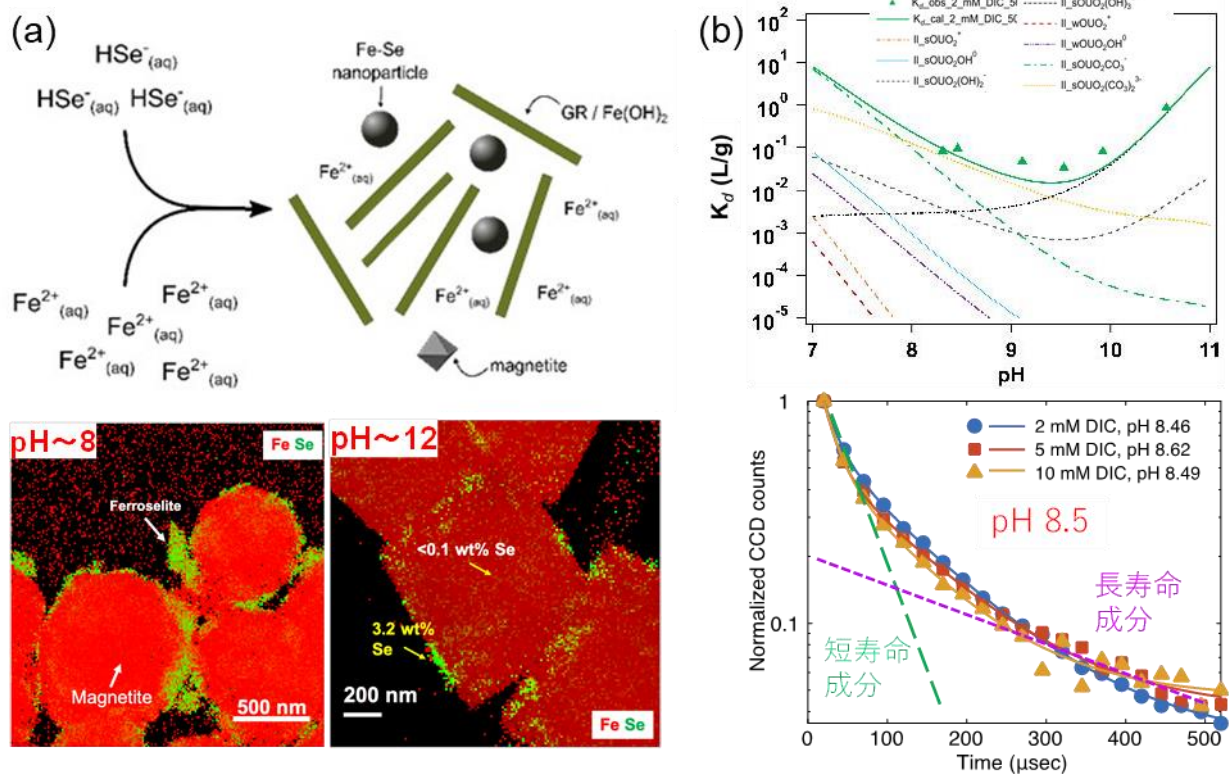


図 2B-20 (a) 鉄鉱物への Se の取り込みに関する試験結果、(b) 炭酸共存下での U(VI) のイライトへの収着試験・分析とモデル化

上記の個別現象研究の成果を踏まえつつ、異なる材料の相互作用を含むニアフィールド複合環境の長期変遷の解析手法（図 2B-21(a)：鉄とセメントの共存系での緩衝材変質解析例）と、その環境変遷に応じた核種移行特性の変化を考慮した核種移行評価技術（図 2B-21(b)：環境変遷状況を考慮した Cs の核種移行解析例）を構築した（SP3）。

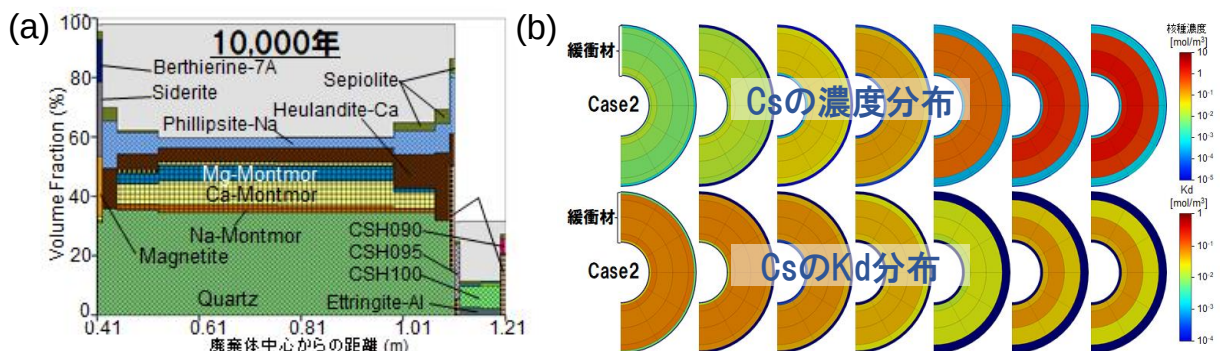


図 2B-21 (a) ニアフィールドの環境変遷解析（緩衝材変質）と (b) 核種移行解析（Cs）の例

（５） 沿岸部処分システム評価確証技術開発

＜研究目的＞

沿岸部における地形や地質ごとの地下水質の特徴や、その動きを決定する要因など沿岸特有の地質環境特性、沿岸部特有の多様な地下水の水質特性がセメント系材料や緩衝材などの性能に及ぼす影響を評価するため、沿岸部特有の地質環境特性の把握と、それにともなうセメント系材料や緩衝材の性能評価試験による知見の拡充に取り組む。

＜研究実施内容＞

沿岸部特有の研究課題に対して、地質環境分野ならびに工学技術分野で連携しつつ、調査・評価技術の高度化や知見の拡充に取り組んだ。5か年の全体計画を図 2B-22 に示す。また、マネジメント体制を図 2B-23 に示す。

事業項目	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
1) 海陸3連続3次元地質環境モデルの構築の高度化	全国モデルの検討・構築				
		駿河湾モデルの検討・構築			
2) 地質環境モデルの検証のためのデータ取得方法の高度化		ボーリング調査による沿岸部深部地下水の挙動の把握			
		海底湧出地下水に関する知見や調査技術の開発			
			浅海域における3次元海上音波探査技術の開発		
3) 沿岸海底下に着目した工学技術の高度化	沿岸部地下水を想定したセメント系材料と緩衝材の性能評価試験によるデータ拡充				
	緩衝材の性能評価手法の整備と体系化				
	緩衝材とオーバーバックの相互作用把握のためのデータ取得とモデリング				
分野間（内）連携	データフローダイアグラムの作成（地質－工学）				
		地下水データや実地下水試料の提供（地質－工学）			
			データ共有や試験条件の調整（工学）		
			ボーリングデータの共有と地質モデルの統合（地質）		

図 2B-22 実施工程

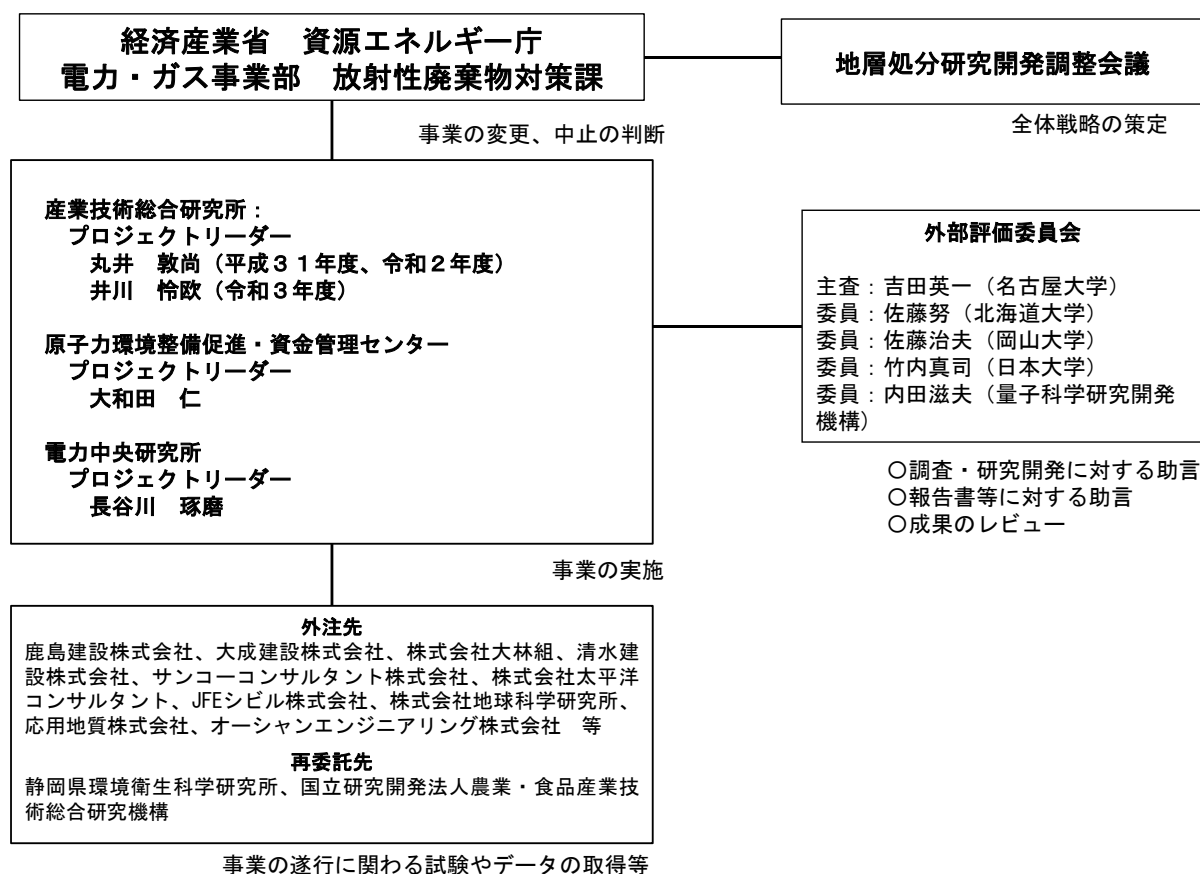


図 2B-23 沿岸部処分システム評価確証技術開発マネジメント体制

<研究成果>

1) 海陸連続三次元地質環境モデルの構築手法の高度化

国内の沿岸部における地質環境特性の一般性を示すために、全国の沿岸平野を統一的な手法で評価するためのモデル構築手法の開発とそのために必要となるデータセットの作成に取り組んだ。この成果により、全国の55か所の沿岸平野を統一的な手法で一律に評価することができた。

ボーリング地点（駿河湾沿岸部）を対象に、文献データに基づいて、地質モデルを構築し、不確実性をモデルの多様性で示すことができた。また、地質モデルの不確実性が地下水流動へ与える影響を地下水解析によって把握することができた。一方で、本地点では文献で得られる浅部のデータだけでは、深部の地質モデルや地下水流動を十分に推定できないことがわかった。

2) 海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得方法の高度化

(a) ボーリング調査については、塩淡水境界より下位の地下水の挙動の把握と地質環境モデルの検証を目的として、深度800mまでの掘削を実施している。2020～2021年度にわたる深度400mまでの掘削によって、塩淡水境界の位置、地下水年代の深度方向の変化、塩淡水境界より下位の地下水の流速が確認できた（図 2B-24）。これらのデータにより、地質環境モデルにおける解析結果の検証と精度の高度化が期待される。また、採水した地下水は、分野間連携を通じて後述するセメント系材料の性能評価試験にも使用している。

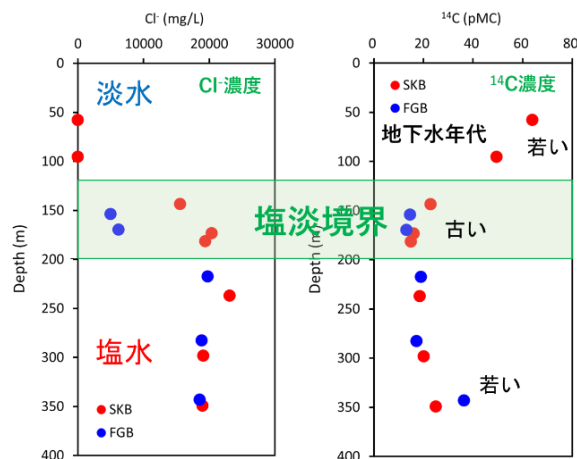


図 2B-24 淡水、塩淡水境界、塩水領域の深度分布と地下水年代の関係

地下水年代は相対的に塩淡水境界付近で古くなる。掘削を継続し、さらに詳細な年代データを取得することで塩水領域における正確な地下水挙動の把握につながることが期待される。

この他にも既存の手法（水圧破碎法）による応力測定よりも安全でコストカットが期待できる新たな測定手法（二重開放コア変形法）による応力測定を実施し、その実証性を確認し、さらに現地掘削と並行して実施した文献調査とヒアリングにより、沿岸の軟弱地盤を想定した斜坑掘削に関する知見を整理し、課題の洗い出しと改良に向けた提言を行うことができた。

これらの成果は、地層処分事業における現場作業の安全性の向上やコスト削減に反映できるものと考えられる。

(b) 海底湧出地下水調査では、海底湧出地下水の起源や流路を正確に把握することも目的に、採水器の改良や流出量の測定手法の高度化に取り組んだ。その結果、陸域地下水の割合が 90% 以上の高精度の採水が可能となった。また、高感度の音響カメラの画像解析を利用した流出量測定手法を開発したことにより、駿河湾全体における海底湧出地下水の湧出量を定量的に把握することができた。さらに、様々な地質環境条件における最適な調査手法を選択可能とするために、探査深度と調査範囲、調査対象ごとに手法を整理した。

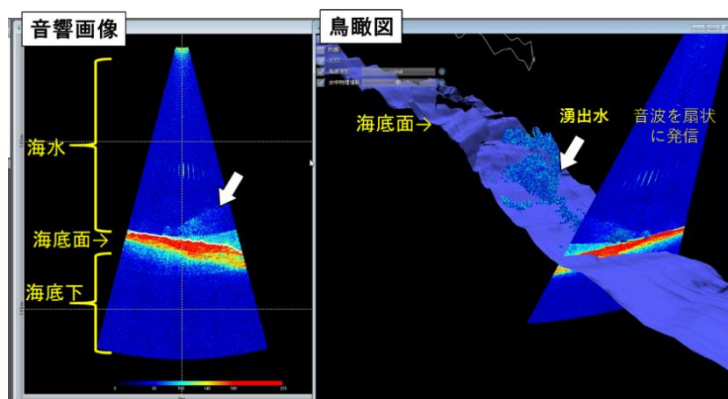


図 2B-25 新たに開発した音響カメラ画像を使った海底湧出地下水の測定手法。

画像中のプリュームの堆積から湧出量を求めることができる。

(c) 三次元音波探査では、これまで調査手法による制限からデータの空白域となっている水深 20m 以下の浅海域を対象とした曳航式の三次元音波探査手法の開発に取り組んでいる。2021 年度は神奈川県金田湾において、過去に実施された既存手法による測定結果との比較検証を実施し新たな手法の改善点の洗い出しを行った。

3) 沿岸海底下特有の地質環境に着目した工学技術の高度化

本テーマでは上述したように、操業から再冠水までの期間を想定したセメント系材料と緩衝材に関する 4 つの項目について、施設設計時の仕様設定や材料選択に資することを目的に研究を実施している。

- (a) 淡水～汽水～塩水まで多岐にわたる国内の沿岸域深部地下水の水質データを用いて類型化した模擬地下水や、採取した実地下水を用いて、各種セメント系材料等に対する浸漬試験やフロースルー試験を実施し、地下水に含まれる成分の濃度や組成により、試料ごとに二次鉱物の生成過程が異なることを把握した。
- (b) 多様な沿岸部の地下水組成を対象に、緩衝材の自己シール性にかかわる膨潤量についての知見を拡充するため、異なる陽イオン種をもつ溶液等で最大膨潤率とイオン強度の関係を調べ、最大膨潤率はイオン種によらずイオン強度の平方根に反比例する関係で近似でき、概略の挙動を把握した。
- (c) 処分場の各構成部材の性能評価にかかる基盤整備のために、緩衝材の性能評価に必要となる項目を整備した。また、斜坑掘削と地下水の引き込みとの影響を把握するための水理解析では、地下水の塩分濃度よりも地盤の透水係数の方が、地下水の引き込みや坑道内の地下水の湧出量に大きな影響をあたえることを確認できた。
- (d) 緩衝材とオーバーパックスの相互作用について、人工海水を使ったベントナイトの透水膨潤圧試験とせん断透水試験を実施した結果、Ca 型ベントナイトでは Na 型とは異なり、塩分濃度により膨潤圧や透水係数はほとんど変化せず性能変化が小さいことや、せん断面が水みちになっていないことを把握した。また、海水環境下の緩衝材中のオーバーパックスの変位挙動等を明らかにするための遠心力模型試験を実施し、オーバーパックスの変位量は Ca 型緩衝材中の方が Na 型より小さいことを把握した。

4) 分野間連携

地質環境と工学技術（施設設計）のデータの受け渡しを想定したデータフローダイアグラムを作成するとともに、過年度事業で取りまとめた全国沿岸部の深部地下水データや実地下水試料の提供を実施した。

(6) TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発

<研究目的>

TRU 廃棄物はヨウ素等の収着性に乏しい放射性核種を含有するとともに、ガスや有機物、硝酸塩など安全評価に影響を及ぼす多様な影響因子を含むことから、人工バリアの閉じ込め機能の向上、処分坑道の閉鎖前安全性の評価技術の整備および地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化を目的とした研究開発に取り組む。

＜研究実施内容＞

TRU廃棄物に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上、閉鎖前安全性の評価技術の整備、地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化のために、種々の試験研究やモデルの高度化を実施した。工程表を図 2B-26 に示す。また、実施体制を図 2B-27 に示す。

	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
① 人工バリアの閉じ込め機能の向上		遠隔溶接技術等廃棄体パッケージの製作技術の整備			
1) 廃棄体パッケージの閉じ込め性能に係る試験と評価		内部充填材の水素ガス発生抑制の対策、施工性の確認			
	落下時の堅牢性の検討			実規模廃棄体パッケージ製作確認試験	
2) 陰イオン核種に対する閉じ込め技術の開発		廃棄体パッケージの長期的性能評価に係る構造健全性評価及び腐食試験			
			ヨウ素閉じ込め技術の開発		
			陰イオン吸着材の開発		
② 閉鎖前安全性の評価技術の整備		硝酸塩と有機物の反応評価に関わるデータ取得			
1) アスファルト固化体の発熱特性の評価		発熱速度モデルの見直し、妥当性の確認		発熱速度モデルの改良、妥当性検討	
③ 地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化		C-14等のハル等廃棄体中の分布評価			
1) 廃棄体からの核種溶出モデルの高度化		ハル・エンドピースの溶出試験			
		エンドピースの溶出モデルの構築			
2) ニアフィールド構成要素の現象解析モデルの構築・高度化		先進的セメント系材料の地下水との反応挙動評価			
		先進的セメントー緩衝材相互作用評価モデルの高度化			
		ナチュラアナログによる緩衝材の長期安定性の検証			
3) 廃棄体由来の発生ガスに関する現象解析モデルの妥当性検討		小規模モックアップによるガス移行試験			
		力学連成ガス移行評価モデルの高度化、ガス移行解析			
		長期変遷を考慮したガス移行場の状態設定			
		ガス発生量の評価			核種移行への影響評価
4) 有機物の影響評価モデルの高度化		ISA等の共存条件での溶解度試験			
		ISA等の有機配位子の収着への影響評価			
5) 硝酸塩の現象解析モデルの妥当性検討		硝酸イオンの化学的変遷モデルの信頼性向上			
		硝酸塩等の人工バリアの長期特性および核種移行データに及ぼす影響調査			

図 2B-26 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発の実施計画

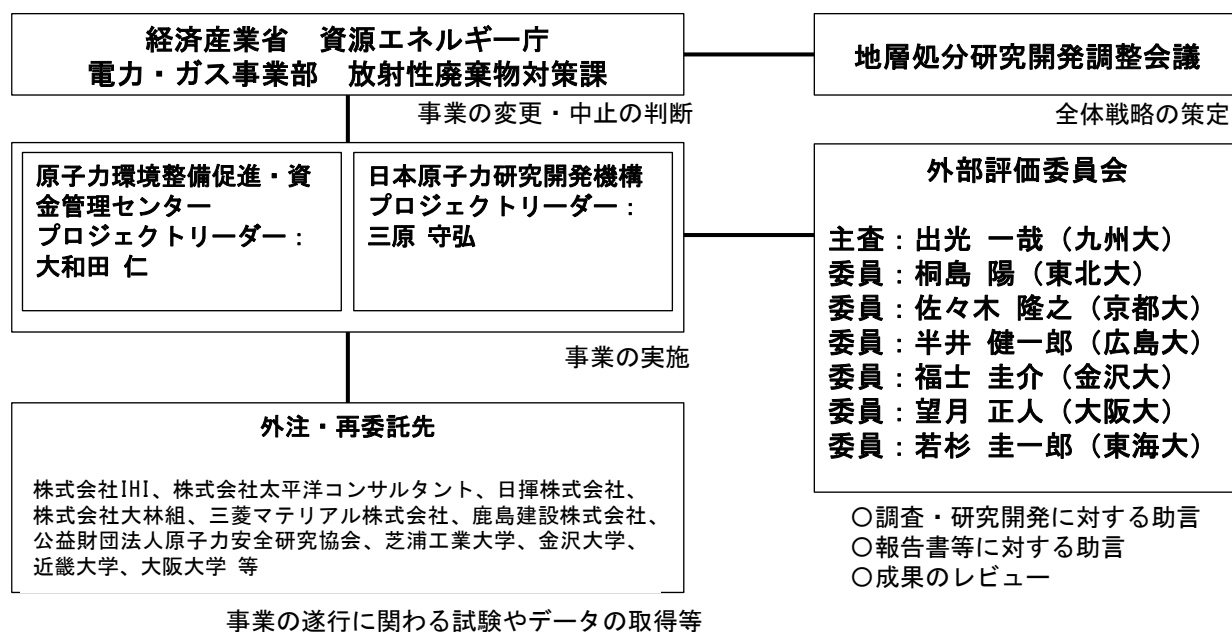


図 2B-27 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発マネジメント体制

＜研究成果＞

廃棄体パッケージの閉じ込め性能に係る試験と評価では、処分環境下での構造健全性評価を実施し、蓋溶接における溶接後熱処理による残留応力低減及び内部への入熱緩和を要素試験や伝熱解析により確認するとともに、放射線分解によるセメント系内部充填材の水素ガス発生量が配合等によらずセメント中の自由水量に依存することや、ガス発生抑制対策としてプレキャスト充填材の乾燥が有効であることを確認した。

陰イオン核種に対する閉じ込め技術の開発では、ヨウ素 129 への対策技術である 2 種の代替固化技術（HIP 固化および BPI ガラス固化）それぞれについて、任意時間までのヨウ素放出量を算出可能な放出モデルを提案した。また、BPI ガラスに関しては、ヨウ素放出予測の根拠となるガラスの溶解過程の理論計算のためのガラスの微細構造モデルを構築した²⁴⁾。

アスファルト固化体の発熱特性の評価では、火災が発生した際の昇温速度を想定した条件を考慮し、昇温速度を変化させて模擬アスファルト固化体の熱流量測定を行い、模擬アスファルト固化体の発熱特性を把握した。また、熱流量の測定結果に基づきアスファルト固化体の発熱速度モデルを整備し、熱流量測定値を概ね再現できることを確認した（図 2B-28 参照）。

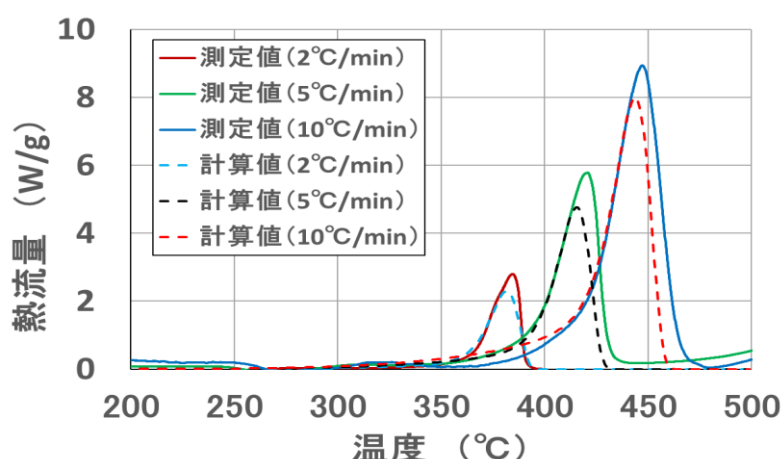
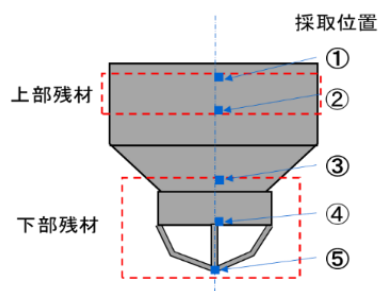


図 2B-28 模擬アスファルト固化体の熱流量測定値と整備した発熱速度モデルによる計算値との比較

- 図の凡例の括弧内の数値である昇温速度は、その値が大きくなるにともない測定された模擬アスファルト固化体の熱流量のピーク位置が高温側にシフトする。
- 熱流量のピークの高温側へのシフトを再現可能な発熱速度モデルを整備した。

廃棄体からの核種溶出モデルの高度化では、エンドピース（燃料集合体末端片）中の核種濃度とその分布を詳細に把握するため、加速器質量分析（AMS）により C-14 濃度を定量し従来手法との整合性を確認するとともに、従来手法では検出できなかった Cl-36 についても十分な感度で定量値を得た（図 2B-29）。さらに、エンドピースの形状に応じた放射能分布の実測データ取得やエンドピース中の窒素等の分析を実施し、核種インベントリの解析精度の向上を図るとともに、三次元構造や核種分布を反映したエンドピースの溶出モデルを構築した。



	放射能濃度 (AMS)	放射能濃度 (従来手法)
	Bq/g	Bq/g
STEP-1	1.00E+02 ± 2.30E+00	1.16E+02 ± 8.80E+00
STEP-3	1.08E+01 ± 1.94E-01	1.17E+01 ± 9.19E-01
採取位置①	1.81E-02 ± 1.63E-04	< 8.51E-02 (検出限界以下)
採取位置③	3.69E-03 ± 5.53E-05	< 8.64E-02 (検出限界以下)
採取位置⑤	2.70E-03 ± 5.67E-05	< 1.06E-01 (検出限界以下)

図 2B-29 エンドピース試料の採取位置と AMS 及び従来の放射線測定による Cl-36 の定量結果

セメントと緩衝材の相互作用については、セメントと緩衝材を一定期間接触させた試料に対して界面微小領域の分析を行い、相互作用により生成した二次鉱物の種類など、セメント及び緩衝材の変質状態を把握した。また、HFSC 浸出水に相当するアルカリ地下水の流出がみられる地点でのナチュラルアナログ研究により、アルカリ変質による二次鉱物生成反応²⁵⁾と Fe、Mg に富む環境でのスメクタイト化の反応プロセスを明らかにした。

廃棄体由来の発生ガスに関する現象解析モデルの妥当性検討では、小規模モックアップガス移行試験及び再破過試験により、体積拘束状態の差異や三次元効果に起因する要素試験と異なるガス移行特性や緩衝材の自己修復性を確認するとともに、気／液相移動－力学連成解析モデルを高度化した。

廃棄体由来のセルロースの分解生成物であるイソサッカリン酸 (ISA) の金属元素の溶解度や収着への影響に関するデータを取得した。スズについては、顕著な溶解度への影響がみられないことを確認した一方、パラジウムについては、溶解度への影響がみられ、ISA との錯生成定数を算出した結果、安全評価への影響を定量的に見積もることができるようになった。

硝酸塩の現象解析モデルの妥当性検討では、地下深部の岩盤中に存在し硝酸イオンを還元する能力を有する黄鉄鉱に対して硝酸イオンの変遷速度に関するデータを取得した。また、硝酸イオンがアンモニウムイオン変遷した場合におけるベントナイトの変質が限定的であることを確認した。

(7) 回収可能性技術高度化開発 (2019 年度までは可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発) ＜研究目的＞

最終処分施設閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性 (回収可能性) を確保するために、回収技術の実現性を示すとともに、回収可能性の維持期間に関する調査研究などの課題に対する技術的検討を着実に進める。

＜研究実施内容＞

上記課題への対応方策に関する多面的な議論を経て、回収可能性に関する技術的な検討の枠組みを整理した^{※1}。これを踏まえ、本事業では以下の 2 つの課題を設定して取り組む。

(a) 高レベル放射性廃棄物の回収技術の高度化

現行の2つの候補概念（処分孔縦置き方式、処分坑道横置き・PEM※2方式）に対して、廃棄体を回収するための技術の実証試験を実施した。また、現実的な期間内での回収作業の完了や、作業安全上の不確実性の低減のため、回収作業の迅速化に向けた技術開発を実施した。さらに、回収の容易性を高めた詳細設計オプションの検討を進め、回収可能性を支える技術の信頼性向上を図った。

(b) 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備

処分施設を最終閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響の定量化に向け、建設・操業期間中からの地下環境や構造物に生じる事象や状態変遷を体系的に把握するための検討を実施した。また、定量化に必要な物性値の取得や実地下環境をモデル化した予察的解析を実施し、維持期間中の事象の程度や変遷過程を定量的に把握し、数値解析的に予測評価するために必要な知見を拡充した。

上述の全体計画に基づく本事業の年度展開について図 2B-30 に示す。また、2019 年度までの実施体制と、2020 年度以降の実施体制を図 2B-31、32 に示す。

※1 可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会。平成 27～28 年度に当該事業内に設置した有識者検討会。

※2 Pre-fabricated Engineered barrier system Module の略。

事業項目	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
(a) 高レベル放射性廃棄物の回収技術の高度化	横延URLでの回収実証試験（横置きPEM方式）		除去作業の迅速化に向けた技術開発 （流体的除去技術、機械的除去技術）		（縦置き除去実証試験）
	回収作業時間の短縮に向けた詳細設計オプションの開発	回収容易性を高める技術的方策の整理	現行の2つの候補概念を起点とした設計オプションの技術的成立性検討		
(b) 回収可能性の維持に伴う安全性への影響評価技術の整備	PIDから抽出した事象による影響に着目した、力学、水理、化学解析手法の検討		建設・操業期間中からの閉鎖までのフーリーボードの整備		
			横延URL試験坑道を活用した物性値の取得、予察的解析		
※事業名称	可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 （平成27年度～平成31年度）		回収可能性技術高度化開発（令和2年度～令和4年度）		

図 2B-30 全体スケジュール

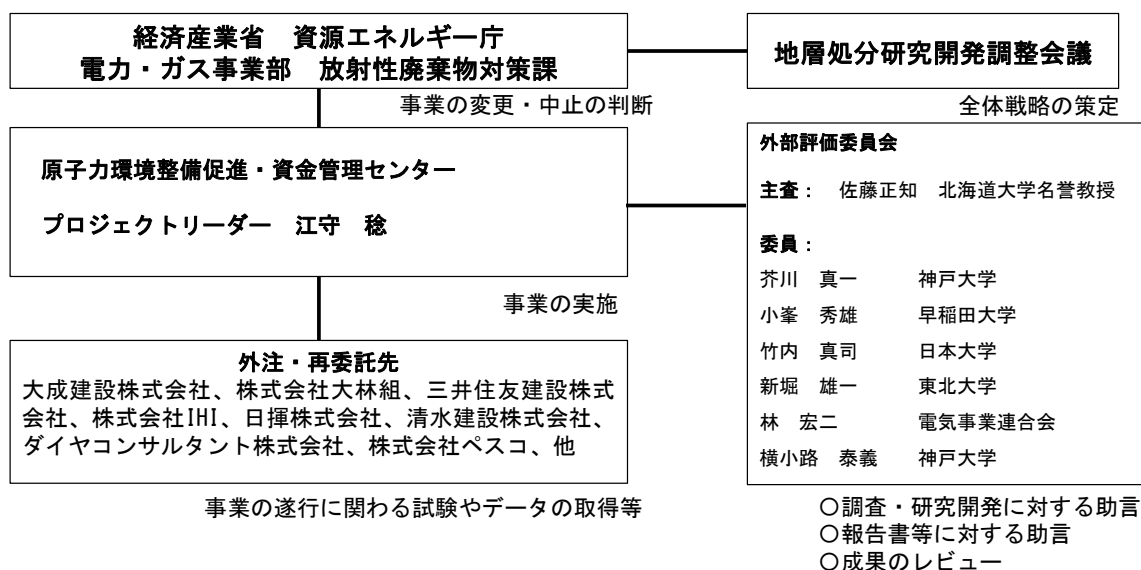


図 2B-31 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発マネジメント体制

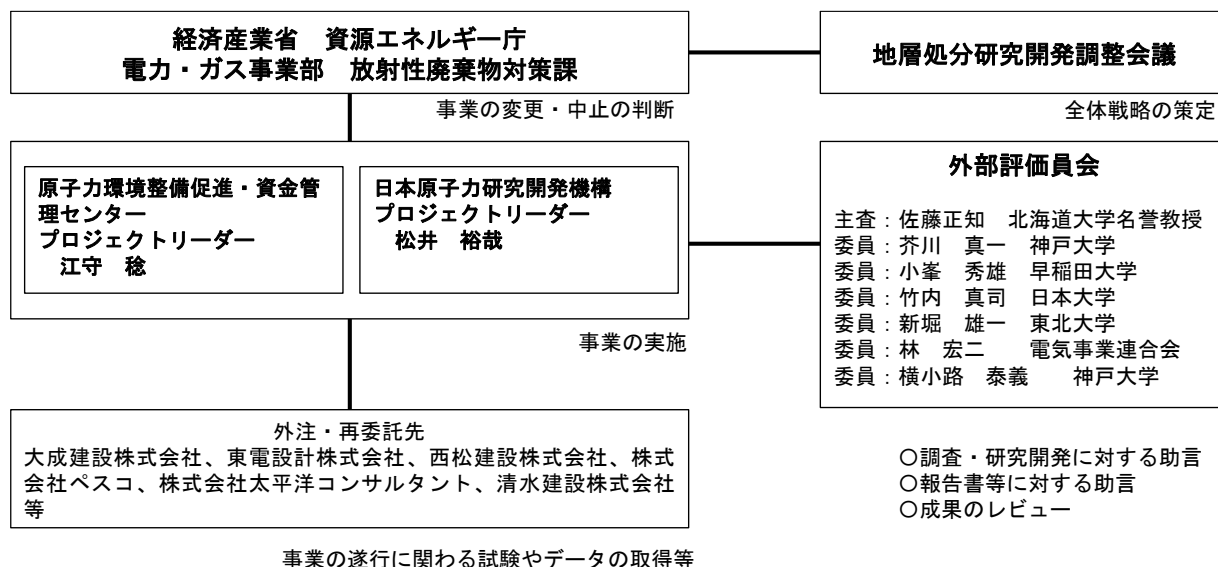


図 2B-32 回収可能性技術高度化開発マネジメント体制

<研究成果>

(a) 高レベル放射性廃棄物の回収技術の高度化

・廃棄体の回収に係る技術の実現性の提示（第一段階の技術開発）

処分坑道横置き・PEM方式に対して、PEM周囲の隙間充填材の除去とPEMの坑道外への搬出（回収）の2段階からなる回収作業に係る技術の実規模スケールでの実証試験を幌延深地層研究センターの深度350mの調査坑道で実施した。隙間充填材の除去技術には機械的除去技術（オーガ方式）と流体的除去技術（WJ:ウォータージェット方式）を適用し、PEMの坑道外への搬出（回収）技術にはエアベアリング方式の定置装置を逆動線で動作させることで、既に定置されたPEMを搬出できることを確認した（図2B-33）。過年度に実施した成果とあわせ、現行の2つの候補概念に対して実規模スケールでの技術実証を通した回収作業の技術的実現性の見通しを得た。



図 2B-33 幌延深地層研究センターにおける横置き・PEM方式の隙間充填材の除去試験

・現実的な期間内での回収作業の完了に向けた迅速化（第二段階の技術開発）

処分場全体の回収作業を見据えた工程分析を行い、回収作業の迅速化のボトルネックとして隙間充填材の除去作業を抽出し、現実的な期間内で回収作業を実現するための迅速化に向けた開発目標を具体化した。流体的除去技術については噴射する塩水の高圧化、機械的除去技術について

は既存の軟岩用切削ツールの粘土材料への適用に向けて、装置設計や除去手順などを要素試験等で取得した。これにより、廃棄体 1 体あたりの除去作業時間を第一段階の技術開発成果である 70 時間から、数時間程度に短縮できる見通しが得られつつある。

- ・回収の容易性を高めた詳細設計オプションの検討

現行の 2 つの候補概念に対して、処分坑道が埋め戻された状態からの回収工程の分析、全体回収作業時間の検討を通して、再開放時間の短縮化に資する詳細設計オプション案を提示するとともに、廃棄体からの発熱の観点からオプションの成立性を確認した。

(b) 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備

- ・回収可能性維持に伴う影響の定量化手法の整備

処分場の建設・操業及び閉鎖から再冠水完了までの期間を対象に、「地下構造物の安定性」及び「供用性」に着目した処分システムの状態変遷に関わる知見を集約したストーリーボードを試行的に作成した。回収可能性の維持期間を設けることに伴う影響や維持期間中の地下坑道の状態の違いに伴う変遷プロセスの違いなどを基本となるストーリーボードとの差分（比較表）として提示することで、回収可能性維持の影響を網羅的かつ視覚的に示すことができた。

- ・定量化に必要な物性値の取得

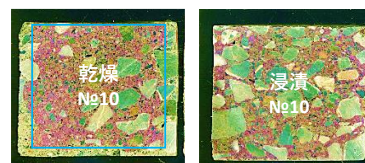
回収可能性の維持期間中の開放坑道の安全性への影響評価手法の構築に資するため、低アルカリ性吹付けコンクリートを再現した供試体を作成し、その初期物性を把握するとともに、作成した供試体を異なる条件（気中・水中）で坑道内に定置養生したのち、供試体の分析を実施した。その結果、養生条件の違いによる変質（中性化）の程度の違い等を把握することができた（図 2B-34）。



吹付けによる再現



実地下水を用いた暴露試験



乾燥：坑道内気中養生
浸漬：原位置地下水養生
※図中の番号は供試体番

中性化の進行度の例（約 1 年）

図 2B-34 異なる環境下で定置・養生した吹付けコンクリート供試体の各種試験結果の例

(8) 直接処分等代替処分技術高度化開発

<研究目的>

「わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価—直接処分第 1 次取りまとめ—」を踏まえ、わが国における使用済燃料の直接処分に特有の技術課題に絞り込み、設計・安全評価手法の高度化のための技術基盤の整備を実施する。また、その他の代替処分オプションとし

て、超深孔処分を対象に、諸外国の事例調査を通じて最新の技術動向や技術的課題等を把握したうえで、わが国における成立性や課題の検討に資する調査を重点的に行う。

＜研究実施内容＞

使用済燃料の直接処分に関する技術基盤の整備およびその他代替処分オプションの調査について、わが国で想定される諸条件への対応の観点で特に重要と考えられる項目を設定し、技術開発を進めた。本事業の年度展開について図2B-35に示す。また、実施体制を図2B-36に示す。

直接処分等代替処分技術高度化開発	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
(1) 処分容器の挙動評価	国内外の関連情報の収集・分析 腐食試験実施、データ解析 (予察試験・短期試験) 現実的な材料配置を想定した臨界評価のモデル化で重要となる知見等の収集・分析	国内外の関連情報の収集・分析 (種々の因子影響確認試験等) 予察的解析等による臨界安全評価事例の蓄積	国内外の最新関連情報等に関する収集・分析 長期試験、広範な環境条件での試験等によるデータ拡充 材料の状態・配置の変化を反映した臨界安全評価手法の検討	腐食寿命評価 事業成果のとりまとめ 臨界安全評価手法の提示 事業成果のとりまとめ	
(2) 使用済燃料、緩衝材の挙動評価	ウラン酸化物溶解速度測定試験 ウラン酸化物溶解度測定試験 瞬時放出挙動に関する調査検討	ウラン酸化物溶解速度測定試験 ウラン酸化物溶解度測定試験 瞬時放出挙動実測データ取得のための作業環境整備に関する検討等	ウラン酸化物表面状態の分析と溶解速度データの拡充 ふげん実燃料を使用した浸透試験 (酸化性条件での予察試験)	溶解速度評価 ふげん実燃料を使用した浸透試験・検証分析 (核種放出挙動に寄与する因子に対する影響評価) 事業成果のとりまとめ 緩衝材変質試験データの高度化 事業成果のとりまとめ	
(3) 直接処分システムの成立性の多角的な確認	国内外の最新情報の収集・分析 システム成立性の信頼性向上で重要となる課題の抽出	国内外の最新情報の収集・分析 課題の相互関係の整理、位置づけの確認	国内外の最新情報の収集・分析(継続)	代替処分オプションの成立性の検討に資する既往研究・調査成果の整理 事業成果の取りまとめ	
(4) その他の代替処分オプションについての調査	国内外の最新情報の収集・分析 超深孔処分の性能に影響する因子の抽出、影響の定量的把握	国内外の最新情報の収集・分析(継続)	わが国で想定される地質環境条件等に対する超深孔処分の性能の見通しの提示	事業成果の取りまとめ	

図 2B-35 全体スケジュール

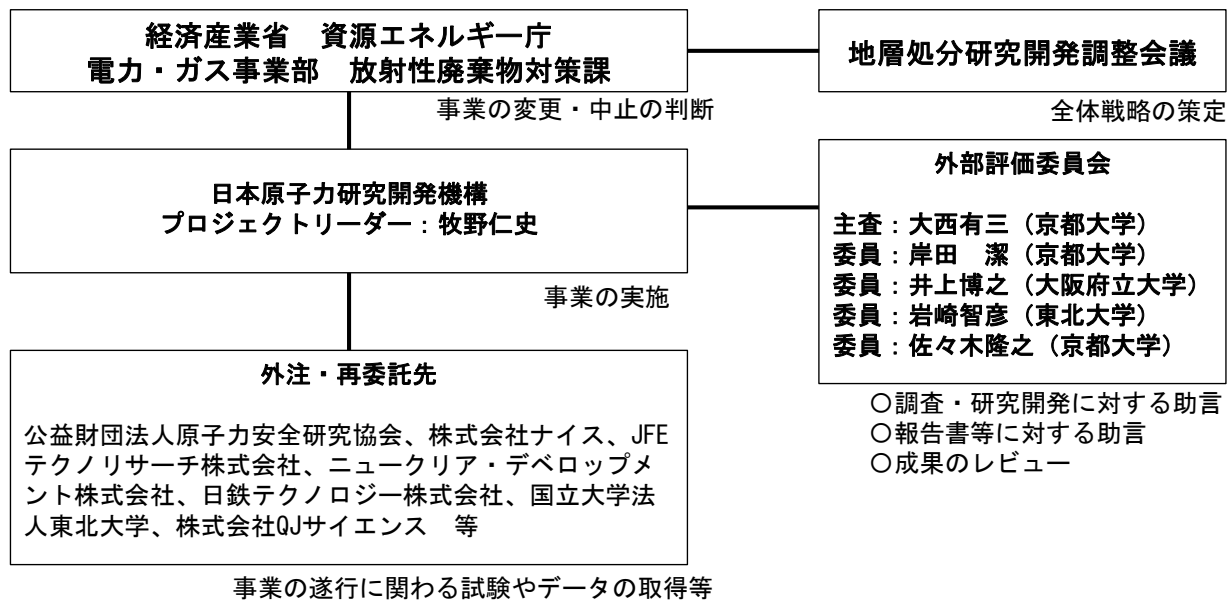


図 2B-36 直接処分等代替処分技術高度化開発マネジメント体制

<研究成果>

使用済燃料の長期溶解速度評価については、 UO_2 ペレットの浸漬試験を行い、その結果から、マトリクス溶解速度が炭酸濃度依存性を有することを確認するとともに、長期溶解速度に炭酸濃度依存性を組み込む必要性を明らかにした。また、ウラン酸化物 (U_3O_8 等) の浸漬試験試料表面のラマン分光分析等により溶解挙動を詳細に検討した結果、過酸化水素 (H_2O_2) の反応メカニズムが炭酸塩濃度に強く依存し、高炭酸塩濃度では H_2O_2 による酸化とウランの溶解が進むが、炭酸塩濃度の減少に伴ってウランの溶解は進みにくくなり、低炭酸塩濃度の条件では H_2O_2 の酸素 (O_2) への分解が主要な反応経路となることを明らかにした²⁶⁾ (図 2B-37)。

放射性核種の瞬時放出率については、実燃料からの大気雰囲気下での浸漬試験のデータを取得し、浸漬溶液の炭酸濃度が溶出割合に及ぼす影響が顕著ではない可能性を指摘した。

Proposed U_3O_8 surface layer formation upon H_2O_2 addition

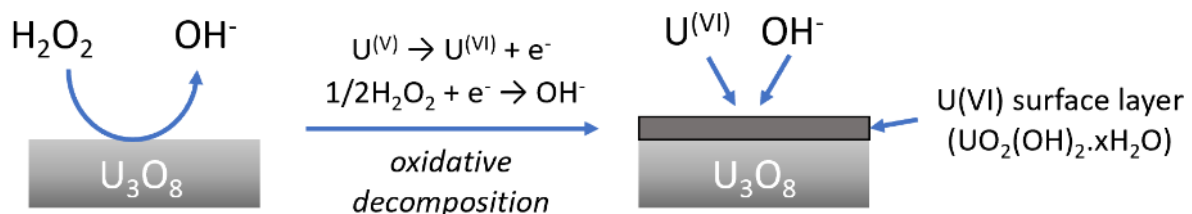


図 2B-37 U_3O_8 への固相析出による H_2O_2 反応経路の変化の概念²⁶⁾

処分容器の長寿命化が期待できる候補材料である銅材料について、腐食を促進しうる環境因子である硫化物が共存する条件での腐食試験やその結果に基づく簡易的なモデルによる寿命評価を実施し、仮想的な腐食代条件 (3 mm および 40 mm) において 5 年以上の腐食寿命が期待できる硫化物濃度を把握することができた (図 2B-38)。また、処分容器の候補材料である銅との相互作用に伴う緩

衝材の変質挙動を把握するための変質試験を行った結果、緩衝材と共存する可能性のある炭酸や鉄についてはこの変質挙動に影響を及ぼさないと推測された。

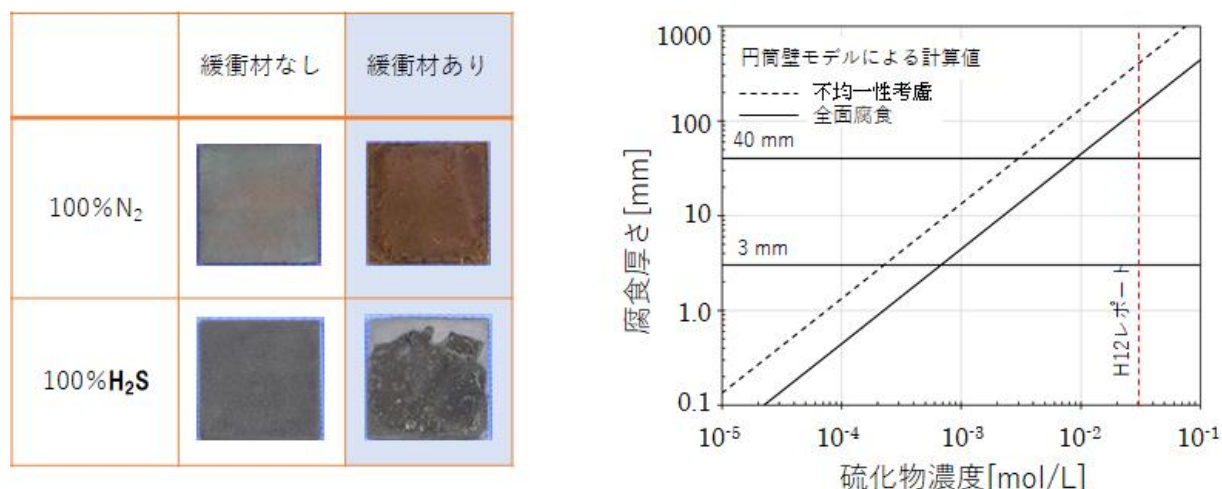


図 2B-38 腐食評価の成果の例

(左：浸漬試験後の試験片外観（試験期間 100 日）、右：長期腐食量の評価結果の例)

その他の代替処分オプションについての調査として、超深孔処分については、掘削の可否に岩盤の力学条件が大きく影響する可能性が示唆される等の成果を得た。

3. 研究開発の実施・マネジメント体制等

3-1 研究開発計画

各研究項目の研究開発計画については、2.(2) 各研究項目の実施内容に工程表として記載したので参照されたい。

3-2 資金配分

事業名	内訳	執行額（千円）		
		2019 年度	2020 年度	2021 年度
① 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	JAEA	243,360	186,304	268,638
	電中研	289,989	194,835	199,243
	合計	533,349	381,139	467,881
② 地層処分施設閉鎖技術確証試験	JAEA	238,195	252,203	269,513
	原環センター	268,935	290,580	272,519
	合計	507,130	542,783	542,032
③ 地質環境長期安定性評価技術高度化開発	JAEA	257,068	314,811	309,160
	電中研	79,701	78,769	75,834
	合計	336,769	393,580	389,994
④ ニアフィールドシステム評価確証技術開発	JAEA	225,575	233,867	223,601
	原環センター	129,355	127,507	120,651
	合計	354,930	361,374	344,252
	産総研	282,004	314,313	439,198

⑤ 沿岸部処分システム評価 確証技術開発	原環センター	84,495	92,378	88,176
	電中研	100,000	101,726	94,475
	合計	466,499	508,417	621,849
⑥ TRU 廃棄物処理・処分技 術高度化開発	原環センター	461,214	479,891	443,310
	JAEA	85,586	114,433	110,086
	合計	546,800	594,324	553,396
⑦ 回収可能性技術高度化開 発（2019 年度は可逆性・ 回収可能性調査・技術高 度化開発）	原環センター	620,999	547,186	459,431
	JAEA	—	24,386	36,527
	合計	620,999	571,572	495,958
⑧ 直接処分等代替処分技術 高度化開発	JAEA	198,827	207,602	190,442
合計		3,565,304	3,560,792	3,600,803

3-3 研究開発の実施・マネジメント体制

各研究項目のマネジメント体制については、2.（2）各研究項目の実施内容に記載したので参照されたい。なお、すべての研究開発項目において、実際に処分事業を行う NUMO がアドバイザーとして参加している。これにより、NUMO は国の研究開発成果に関する情報を得ることができ、なおかつ各研究開発項目担当者も、NUMO のニーズを踏まえた技術開発を行うことができる。以上のように、地層処分事業に直接貢献する成果の創出を効率的に行える体制としている。

TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発については、オブザーバーとして、原子力規制庁、電気事業連合会、廃棄物発生者である日本原燃株式会社が参加し、TRU 廃棄物処分関係の研究開発に関する情報を得るとともに、規制動向、廃棄物発生者からの意見を聞きつつ研究を実施する体制を取っている。地層処分施設閉鎖技術確証試験や回収可能性技術高度化開発では、再委託・外注先の企業も外部評価委員会に参加しており、再委託・外注企業が適切に地層処分事業のニーズに即した技術開発が行えるよう育成する取り組みを実施している。

分野をまたいだコミュニケーションの充実化を図ることにより各研究機関（特にプロジェクトリーダー）が報告書作成時に俯瞰的な視点を持ちつつ取りまとめを実施できるよう、2021 年度に 8 件の研究開発項目受託者を集めた情報交換会を開催した。分野間連携の取り組みの強化の一環として、引き続きこのような意見交換会を定期的に開催していく。

3-4 知財や研究開発データの取扱い

日本版バイ・ドール制度の目的（知的財産権の受託者帰属を通じて研究開発活動を活性化し、その成果を事業活動において効率的に活用すること）及び本プロジェクトの目的を達成するため、本プロジェクトにおいては、知的財産マネジメントを実施することを原則とする。

本方針に記載のない事項については、本プロジェクトの目的を踏まえ、プロジェクト参加者間の合意により必要に応じて定めるものとする。

プロジェクト参加者は、本方針に従い、原則としてプロジェクト開始（委託契約書の締結）までに、プロジェクト参加者間で知的財産の取扱いについて合意するものとする。

なお、プロジェクト参加者間での知的財産の取扱いについての合意書（以下「知財合意書」という。）の作成に当たっては、経済産業省の「委託研究開発における知的財産マネジメントに関する運用ガイドライン」（平成27年5月、令和4年3月改訂）を参考にした。

4. 事業アウトプット

4-1 研究開発目標

研究開発項目	中間目標（2019～2021 年度）	最終目標（2022、2023 年度）	設定（変更）理由
（１） 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	地層処分場選定における概要調査で重要となる地下水流動場や、地下水流れの安定した場の調査・評価に向け、これまでに整備された手法の妥当性の確認を通じて、評価するスケールや岩盤、流動場の特徴に応じた方法論として体系的に整備する。	2022 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—
（２） 地層処分施設閉鎖技術確証試験	地層処分施設の閉鎖後に坑道や周辺の損傷領域が水みちとなることを防止するための止水壁や埋め戻しといった坑道閉鎖技術やその施工品質を評価する手法を、地下研究施設での実証等を通じて整備する。	2022 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—
（３） 地質環境長期安定性評価技術高度化開発	地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象（火山、活断層、隆起・侵食）の影響把握及びモデル化に係る課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を図る。	2022 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—
（４） ニアフィールドシステム評価確証技術開発	地層処分システムの廃棄体定置、埋め戻し後の再冠水に至るまでの過渡的な時期から閉鎖後長期にわたる期間を対象に、ニアフィールド（人工バリアとその近傍の岩盤）の環境変遷とそれらを考慮した核種移行をより現実的に評価するための技術を、最先端の科学的知見や手法を駆使して開発し、それらに基づいて、ニアフィールドシステムの評価の妥当性を示す。	2022 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—

(5) 沿岸部処分システム評価確証技術開発	沿岸海底下の地下環境の評価技術の確証を得ることを目的に、沿岸海底下特有の塩淡水境界付近の水質や地下水流動特性等を解明する。また、沿岸海底下の地下環境の調査・評価手法として、陸域から海域をつなぐ領域を連続的に調査する手法を開発する。沿岸部を対象とした工学技術として、塩淡水境界の変遷や様々な海水条件において適用可能なセメント系材料や緩衝材の材料仕様選定方法、人工バリアの海水中的の挙動を検討する。	2023 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—
(6) TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発	TRU 廃棄物処理・処分に特化した研究課題として、回収を維持する期間の核種の閉じ込めや、岩盤への収着が期待できない陰イオンの長期閉じ込めのための処分容器や廃棄体固化技術の開発、廃棄体から発生するガスや、硝酸塩の影響を考慮した地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化を図る。	2022 年度まで継続して実施するため、目標変更の予定はない。	—
(7) 回収可能性技術高度化開発 (2019 年度は可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発)	廃棄体の回収可能性について、実際の地質環境において廃棄体 1 体を回収できることを示したうえで、回収を現実的な時間で実施できるよう、回収技術の高度化を図る。また、回収可能性を維持した場合の影響の定量化に向け、建設・操業期間中からの地下環境や構造物に生じる事象や状態変遷を体系的に把握するための検討を実施する。	廃棄体の回収を現実的な時間で実施できるよう、回収技術の高度化を図る。また、回収可能性を維持した場合の影響の定量化に向け、建設・操業期間中からの地下環境や構造物に生じる事象や状態変遷を体系的に把握するための検討を実施する。	2019 年度で廃棄体 1 体の回収について技術的実証を完了したことを受けて 2020 年度に事業内容を改定したことを受けた目標変更。
(8) 直接処分等代替処分技術高度化開発	わが国における使用済燃料の直接処分に特有の技術課題のうち、処分容器の耐食性評価、臨界安全評価、	2022 年度まで継続して実施するため、	—

	使用済燃料からの核種溶出、緩衝材の挙動評価を実施し、設計・安全評価手法の高度化のための技術基盤を整備する。また、その他の代替処分オプションとして、超深孔処分を対象に、諸外国の事例調査を通じて最新の技術動向や技術的課題等を把握したうえで、わが国における成立性や課題を検討する。	目標変更の予定はない。	
--	---	-------------	--

4-2 研究開発の成果

研究開発項目	中間目標（2021年度）	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	地層処分場選定における概要調査で重要となる地下水流動場や、地下水流れの安定した場の調査・評価に向け、これまでに整備された手法の妥当性の確認を通じて、評価するスケールや岩盤、流動場の特徴に応じた方法論として体系的に整備する。	○物理探査とボーリング調査を展開し、移流場か、拡散場かを判断しながら、地質構造や地下水流動場を評価する方法論を示した。 ○広域スケール（数十 km 四方）の範囲から地下水流動が緩慢な領域が存在する施設スケール（数 km 四方）を絞り込み、その範囲に対して具体的な水理場の三次元分布を評価する手順の考え方を示した。 ○これらの成果は、概要調査における地下水流動評価の効率的な実施に資するものである。 ○外部発表実績（2019~2021年度）：31件（うち査読付論文3件）	—	2022年度までに、瑞浪地域、幌延地域で実施した調査手法を体系的に取りまとめ、概要調査において実施主体が活用できる信頼性が確保された技術として整備することで当該研究開発項目の目標は達成見込み。
地層処分施設閉鎖技術確証試験	地層処分施設の閉鎖後に坑道や周辺の損傷領域が水みちとなることを防止するための止水壁や埋め	○ベントナイト止水壁の設置により、坑道周辺の掘削損傷領域を含む領域で低透水性を確保できる	—	開発した要素技術を取りまとめ、俯瞰的に坑道閉鎖に係る技術と

	戻しといった坑道閉鎖技術やその施工品質を評価する手法を、地下研究施設での実証等を通じて整備する。	ことを確認できた。また、吹付け工法の適用性を確認するための原位置施工試験を実施し、要求される乾燥密度で止水壁が施工可能であることを実証した。 ○将来の施工技術オプション（転圧、吹付け）の仕様検討のための材料製造及び施工プロセスにおける管理項目、フロー等を作成して、品質管理プログラムを具体化し、適切な施工方法を選択できる見通しを得た。 ○これらの成果は、実際に廃棄体定置後に施設を埋め戻す際の止水壁の設計、施工手順提示、埋め戻し仕様および施工方法選定等の効率的な実施に役立つものとなる。 ○外部発表実績（2019~2021年度）：27件（うち査読付論文0件）		して取りまとめる作業が2022年度で完了する。これにより目標達成の見込み。
地質環境長期安定性評価技術高度化開発	地層処分に適した地質環境の選定に係る自然現象（火山、活断層、隆起・侵食）の影響把握及びモデル化に係る課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を図る。	○火山・火成活動の影響評価のための調査技術として、電磁探査データ等の詳細な検証により、地下の部分溶融域の分布を指標としたマグマの活動範囲に関するモデルの妥当性を提示した。 ○活断層地形が不明瞭なせん断帯において活構造の分布を把握する手法を提示するとともに、断層粘土の化学組成データを	—	2022年度まで各自然現象に対する事例蓄積を継続し、俯瞰的に概要調査の方法論を取りまとめる。これにより目標達成の見込み。

		用いた多変量解析に基づき活断層と非活断層とを識別するための手法を新たに提示した。 ○熱年代学的手法、ルミネッセンス法、宇宙線生成核種法に基づく隆起量・侵食量推定手法を提示するとともに、海底地形情報や既存音波探査記録の収集・解析により、海域の地形と地層の分布を説明する隆起／侵食、沈降／堆積現象の特徴・傾向・速度を把握する手法を提示した。 ○これらの成果は、概要調査において安定した地質環境を効率的に把握するための調査の仕様選定に役立つものである。さらに、活断層関係の成果は、地域防災の観点からも有意義な成果となる。 ○外部発表実績（2019~2021年度）：115件（うち査読付論文9件）		
ニアフィールドシステム評価確証技術開発	地層処分システムの廃棄体定置、埋め戻し後の再冠水に至るまでの過渡的な時期から閉鎖後長期にわたる期間を対象に、ニアフィールド（人工バリアとその近傍の岩盤）の環境変遷とそれらを考慮した核種移行をより現実的に評価するための技術、最先端の科学的知見や手法を駆使して開発	○過渡期から長期の環境変遷を評価するため、原位置試験や天然類似試料分析等によって、金属の腐食、緩衝材の変質、セメントと岩石の相互作用に関する評価モデルを構築した。 ○先端分析・計算科学技術や原位置試験等の活用を通じて、結晶質岩や堆積岩を対象としたより現	—	過渡期のニアフィールド状態変遷に係る室内試験や解析の継続、核種移行研究の継続、それらを統合した複合的な視点での核種移行に及ぼす影響について2022年度に検討し、取りまとめる。それに

	し、それらに基づいて、ニアフィールドシステムの評価の妥当性を示す。	実的な核種移行評価モデルを構築した。 ○これらの成果は、処分場閉鎖後長期の安全評価において、実際の地質環境の特徴やニアフィールドの長期環境変遷を考慮した、より現実的かつ信頼性の高い核種移行挙動を評価する際に役立つものとなる。 ○外部発表実績（2019~2021年度）：61件（うち査読付論文 25件）		よって目標達成の見込み。
沿岸部処分システム評価確証技術開発	沿岸海底下の地下環境の評価技術の確証を得ることを目的に、沿岸海底下特有の塩淡水境界付近の水質や地下水流動特性等を解明する。また、沿岸海底下の地下環境の調査・評価手法として、陸域から海域をつなぐ領域を連続的に調査する手法を開発する。沿岸部を対象とした工学技術として、塩淡水境界の変遷や様々な海水条件において適用可能なセメント系材料や緩衝材の材料仕様選定方法、人工バリアの海水中的の挙動を検討する。	○駿河湾における調査を通して、地下水流動評価時の不確実性の低減する方法や有効なデータが明らかになり、現地調査において調査地点をより明確に示すことができた。 また、塩淡水境界より下位の塩水の流速が非常に小さいこともわかった。 ○ボーリング調査、海底湧水調査、浅海部の物理探査の組合せにより、陸域～海域にかけて連続した地質構造や塩淡水境界を含む領域の地下水流動を評価できる見通しを得た。 ○人工バリア材料について、地下水の組成の膨潤率への影響はイオン強度との関係で整理でき、これまでの淡水と海水のデータに基づく仕様設定を	—	現地調査等により、データを蓄積して、構築した手法の信頼性向上に取り組む。2023年度までに沿岸部を対象とした場合の概要調査の方法論を取りまとめる作業を実施。これにより目標達成の見込み。

		より合理的にすることが可能となった。 ○これらの成果は、陸域とは条件が異なる海域を含む領域で概要調査を実施する際の調査・評価の仕様選定や、沿岸海底化での処分事業実施時の処分場設計時に役立つものとなる。 ○外部発表実績（2019~2021年度）：25件（うち査読付論文4件）		
TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発	TRU廃棄物処理・処分に特化した研究課題として、回収を維持する期間の核種の閉じ込めや、岩盤への収着が期待できない陰イオンの長期閉じ込めのための処分容器や廃棄体固化技術の開発、廃棄体から発生するガスや、硝酸塩の影響を考慮した地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化を図る。	○実規模廃棄体パッケージの製作確認試験を実施し、閉じ込め機能を有するパッケージに求められる品質を担保して容器を製作するための技術を整備した。 ○ヨウ素代替固化技術（HIP 固化、BPI ガラス固化）の開発、陰イオン閉じ込めのメカニズムの検討により、ヨウ素等の陰イオンの人工バリアの閉じ込め機能を向上させた。 ○廃棄体からの核種溶出モデルの高度化として、エンドピース中の核種濃度とその分布を把握したうえで、核種溶出モデルを構築した。 ○これらの成果は、TRU 廃棄物の地層処分システムの状態設定のためのモデルの高度化に資するものとなり、実際に閉鎖後長	—	パッケージ化技術、陰イオン閉じ込め技術、ガス発生に対する核種移行の影響、有機物、硝酸塩影響について個別成果を統合し、俯瞰的な視点で TRU 廃棄物処分における工学技術、安全評価技術の進展について 2022 年度に取りまとめる。これにより目標達成の見込み。

		期の安全評価に反映できるものである。 ○ 外 部 発 表 実 績 (2019~2021 年度) : 45 件 (うち査読付論文 9 件)		
可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 (2019 まで) 回収可能性技術高度化開発 (2020、2021 年度)	廃棄体の回収可能性について、実際の地質環境において廃棄体 1 体を回収できることを示したうえで、回収を現実的な時間で実施できるよう、回収技術の高度化を図る。また、回収可能性を維持した場合の影響の定量化に向け、建設・操業期間中からの地下環境や構造物に生じる事象や状態変遷を体系的に把握するための検討を実施する。	○処分坑道横置き・PEM 方式の搬送・定置技術及び回収技術の実規模スケールでの実証試験により、実際のスケールで埋め戻し材の除去、廃棄体の取り出しが技術的に可能であることを確認した。 ○現行の 2 つの候補概念における回収技術高度化として、塩水噴射による緩衝材除去の効率化を行った結果、廃棄体 1 体あたりの除去作業時間を 70 時間から数時間程度に短縮できる見通しを得た。 ○回収可能性の維持期間の追加に伴う安全性への影響について、建設～回収までの状態変遷を表現するストーリーボードを整備した。安全性に影響を及ぼす要因やシナリオを整理するとともに、定量化に必要な物性値や地質環境のモデル化手法を、実際の地下環境を活用し整備することで、回収可能性の維持が処分システムの安全性へ及ぼす影響を分析・整理した。 ○これらの成果は、操業～埋め戻しに至るまでに回収を行う判断根拠とな	一部 達成	回収の迅速化に向けた実規模の試験を 2022 年度に実施。また、回収可能性維持を考慮したストーリーボードが 2022 年度に完成。これにより、回収技術、回収可能性の維持を考慮した場合の留意事項の取りまとめが完了し、目標が達成できる見込み。

		る、回収維持期間の設定や、地下研究施設での現場実証試験により、実際に廃棄体が回収できることを、信頼を持って説明できるものである。 ○ 外 部 発 表 実 績 (2019~2021 年度) : 13 件 (うち査読付論文 0 件)		
直接処分等代替処分技術高度化開発	わが国における使用済燃料の直接処分に特有の技術課題のうち、処分容器の耐食性評価、臨界安全評価、使用済燃料からの核種溶出、緩衝材の挙動評価を実施し、設計・安全評価手法の高度化のための技術基盤を整備する。また、その他の代替処分オプションとして、超深孔処分を対象に、諸外国の事例調査を通じて最新の技術動向や技術的課題等を把握したうえで、わが国における成立性や課題を検討する。	○銅材料に関して、仮想的な腐食条件 (3 mm および 40 mm) において 5 年以上の腐食寿命が期待できる硫化物濃度を把握することができた。 ○瞬時放出率や、長期溶解速度の全炭酸濃度依存性に関するデータ等を取得し、取得データに基づく瞬時放出率と長期溶解速度の評価を行うことにより、ソースタームパラメータの暫定的な設定値を提示できた。 ○現時点での諸外国における超深孔処分の検討状況及び、超深孔処分の実施において鍵となる掘削関連技術等の現状、超深孔処分の技術的実現性に係る課題等を提示できた。 ○使用済燃料の直接処分や超深孔処分について、国が幅広い選択肢の確保に向けて前進していることを示す成果が得られた。	—	2015 年に実施した直接処分第 1 次取りまとめ以降の研究開発の進展について、個別要素技術を統合して 2022 年度に取りまとめる。これにより目標達成見込み。

		○ 外部発表実績 (2019~2021 年度) : 15 件(うち査読付論文 4 件)		
--	--	---	--	--

4-3 活動指標

年度	査読付論文数	国際学会発表	国内学会発表	特許出願	その他*
2019	9 件	19 件	60 件	0 件	21 件
2020	20 件	11 件	48 件	1 件	19 件
2021	25 件	15 件	69 件	0 件	15 件

国際標準への寄与
—

プロトタイプの作成
● 高分解能を有する孔内物理検層装置の試作品の製作 ● 異なる材料の相互作用を含むニアフィールド複合環境の長期変遷に応じた核種移行解析ツールのプロトタイプの作成

* その他には、各研究開発機関が発行している研究開発報告書類、広報誌への掲載や、基調講演、報告会での発表、プレスリリース、受賞の件数を含む。

5. 事業アウトカム

5-1 事業アウトカムの内容

地層処分研究開発調整会議において策定した全体計画にしたがって技術開発を進めることにより、処分事業に資する成果を得ることができる。ただし、処分事業に資する技術開発の過程では、種々の検討項目を段階的に達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで信頼性のある技術が構築される。そこで、各種技術開発を実施する上で必要な検討項目数を研究開発項目ごとに次節にてアウトカム目標として設定する。

このアウトカム目標が達成されると、地層処分に対する技術的な信頼性が向上するとともに、NUMOにとっても調査計画の立案や調査仕様、処分場設計、安全評価等を効率的に進められるようになる。ただし、現状は地質環境調査、処分場設計、安全評価の3分野それぞれで個別要素技術開発に注力している現状にあるため、それぞれの分野のテーマが連携したうえで、処分システムの成立性の観点から課題点等抽出したうえで、必要な課題を効率的に実施していく仕組みが必要である。また、処分事業の円滑化のためには、得られた成果を専門家集団のみならず一般の国民にも広く対外的に発信していくことで、地層処分に対する納得感や安心感の醸成につながり、処分事業の円滑化にもつながると考えられる。

さらに、各研究開発項目で得られた成果は、放射性廃棄物関連分野以外の学問分野や、産業界への波及も期待できる。

岩盤中地下水流動評価技術高度化開発では、広域的な地下水流動が生じている場あるいは地下水の流れが非常に遅い領域が広がる場に対する調査・評価手法を体系的に整理し、我が国の地質環境

に広く適用できる方法論を構築することを目指している。そのため、この成果は水の大きな循環系や有害物質の挙動の理解に寄与するものであり、我が国の健全な水循環系構築において、地下水資源や地熱の利用、地下水汚染といった諸問題解決に貢献する調査・評価技術への応用が期待できる。

地層処分施設閉鎖技術確証試験では、坑道の閉鎖技術について実証的な整備を進めており、埋め戻し施工技術やその品質管理手法は、資源・土木分野における地下の空洞などの埋め戻し施工技術としての応用が期待できる。また、止水のためのコンクリーション化充填材、光ファイバ計測技術や無線給電技術については、建築材料や地下施設の維持管理のための性能確認技術としての幅広い応用が期待できる。

地質環境長期安定性評価技術高度化開発事業では、活断層と古い断層のスクリーニングに断層内物質の化学組成の多変量解析が有効であるという成果や、長期間にわたる火山の位置の安定性を示す上で地球物理学的探査手法や地形の数値解析が有効であるという成果などが得られている。さらに本事業で高度化された技術を活用し、化学組成に基づき津波堆積物を特定する手法等の開発を実施している²⁷⁾。これらの成果は、本事業において高度化されてきた年代測定手法による、より正確な時間軸の評価とあわせて、火山、地震、津波などが関係する防災分野への活用が期待できる。

ニアフィールドシステム評価確証技術開発事業では、最先端のゲノム解析技術を適用して地下深部微生物の特性評価に取り組んでおり、その成果は地下微生物の生態解明のみならず、全生物を対象とした生命系統樹の再構築においても活用され、世界最高峰の Nature 誌に論文が掲載されるなど²⁸⁾、最先端科学に大きなインパクトのある波及効果を創出している。

沿岸部処分システム評価確証技術開発事業では、海底下を含む沿岸部の地下水挙動を把握するための調査手法の高度化と、それらの調査データを用いた流動解析技術の高度化を行っており、これらの成果は深度 500～1000m 程度の帯水層への CO₂ 溶解を目的とした分散型 CO₂ 地中貯留技術の一つである CO₂ マイクロバブル地中貯留分野への活用が期待できる。

TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発では、中深度処分対象の廃棄物と共通の課題である金属廃棄物中の微量成分を分析可能とした。金属中の微量成分はその金属の物性や耐食性への影響が大きいことから、金属加工や金属材料開発の観点から広く産業界に波及すると考えられる。また、ガラス固化体の寿命評価は、TRU 廃棄物のみならず高レベル廃棄物との共通の課題であり、ガラスの微細構造に基づいた溶解挙動の評価は、高レベル放射性廃棄物の寿命評価への応用が考えられるとともに、学術変革領域研究としても注目されている。加えて、セメント水和物の熱力学データの整備を実施しており、土木・建築分野におけるコンクリート構造物の耐久性評価への活用も期待できる。

可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発及び回収可能性技術高度化開発では、廃棄体回収の観点から坑道のような狭い空間で安全に重量物の取り回しが可能な多種類の機械の設計・製作を行っている。そのノウハウは鉱山開発やトンネル工事等における機器開発等に反映できると考えられる。また、周辺環境や支保工などの地下構成要素の状態変遷や性能の変化を予測・評価するための技術は、通常のトンネル構造物等の設計（寿命評価）や維持管理計画の立案への活用や維持管理コストの低減への活用が期待できる。

直接処分等代替処分技術高度化開発では、銅等の高耐食性材料の腐食を促進し得る種々の環境因子（硫化物など）の影響に関するデータが取得されており、プラント、輸送機器等の幅広い産業分野での材料選定や寿命予測への活用が期待できる。

5-2 事業アウトカム目標

アウトカム目標		目標の設定理由
2019 ～ 2021 年度	(1) 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発 地質環境中の地下水流動について、複数の指標（原位置のモデル・解析や地下水年代など）で統合的に評価可能な手法を構築するために必要な項目として、2018～2022 年度で 25 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：20 項目	地層処分研究開発調整会議にて策定された「地層処分研究開発に関する全体計画」に基づき、アウトカム目標を設定。各研究開発項目における技術開発の過程において、種々の検討項目を達成する必要がある。着実に各検討項目を実施することで、地層処分事業に資するための信頼性のある技術が開発され、これを適宜理解促進活動等で発信していくことにより、地層処分に対する納得感・安心感の醸成につながると考えられる。
	(2) 地層処分施設閉鎖技術確証試験 深地層の研究施設を活用し、坑道閉鎖時に坑道が核種の移行経路とならない埋戻し方法の開発並びに確証を得るために必要な項目として、2018～2022 年度で 30 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：24 項目	〃
	(3) 地質環境長期安定性評価技術高度化開発 天然現象により地質環境に生じる長期的な変化を三次元的に評価する技術や、岩石の年代を精度良く評価する技術、隆起侵食や活断層の判別技術等を開発するために必要な項目として、2018～2022 年度で 50 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：40 項目	〃
	(4) ニアフィールドシステム評価確証技術開発 地下研究施設等を利用した試験を通じて人工バリア及びその周辺岩盤の領域（ニアフィールド）で生じる複雑な現象を考慮できる評価モデルや確証に必要なデータの取得等を行うために必要な項目として、2018～2022 年度で 40 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：32 項目	〃

アウトカム目標		目標の設定理由
	(５) 沿岸部処分システム評価確証技術開発 沿岸部での地質環境の調査技術・人工バリア等に関する工学技術・地下水の時間変化等に係る安全評価技術の整備・体系化を行うために必要な検討項目数。ならびに、構築してきた要素技術の実フィールドへの適用に向けて必要な項目として、2019～2023 年度で 77 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：43 項目	〃
	(６) TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発 TRU 廃棄物処分における新しい固化技術や固化体からの放射性ヨウ素や炭素の長期溶出挙動評価のための技術の開発、人工バリア材の長期挙動等に関する研究開発や、廃棄体パッケージの試作等を行うために必要な項目として、2018～2022 年度で 45 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：36 項目	〃
	(７) 回収可能性技術高度化開発(2019 年度は可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発) 定置した廃棄体の回収技術の実現性や信頼性を示す上で必要な検討項目として、2015～2019 年度までに 41 項目の技術開発を実施し、目標を達成済みである。搬送定置技術や緩衝材除去技術を地下環境で実証するとともに、回収期間坑道を解放した場合の周囲に与える影響の検討、回収を迅速に行うための技術の開発を確認するために必要な項目として、2020～2022 年度まで 30 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：17 項目	〃
	(８) 直接処分等代替処分技術高度化開発 使用済核燃料の直接処分の実現可能性に関する技術開発を行うとともに、超深孔処分等の代替処分オプションの実現可能性についての検討を行うために必要な項目として、2018～2022 年度まで 29 項目の技術開発を実施する。 2021 年度時点での実績：23 項目	〃

6. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

各研究項目の事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 2B-39～41 に示す。現行の研究開発を 2022 年度まで（沿岸部処分システム評価確証技術開発については 2023 年度まで）継続することで、5-2 で設定した技術的なアウトカムを達成するとともに、ユーザーである NUMO が事業で活用できる成果として技術移転をしていくことを目標とした。また、直接処分等代替処分技術高度化開発については、国が幅広い選択肢の確保に向けて前進していることを示す根拠として取りまとめていくことを目標としている。これらの研究開発項目のうち、岩盤中地下水流動評価技術高度化開発以外のテーマについては、一部合理化は行うものの、次期の全体計画（2023 年度～2027 年度）の中で継続して取り組み、技術のさらなる信頼性の向上に向けて取り組んでいくこととしている。

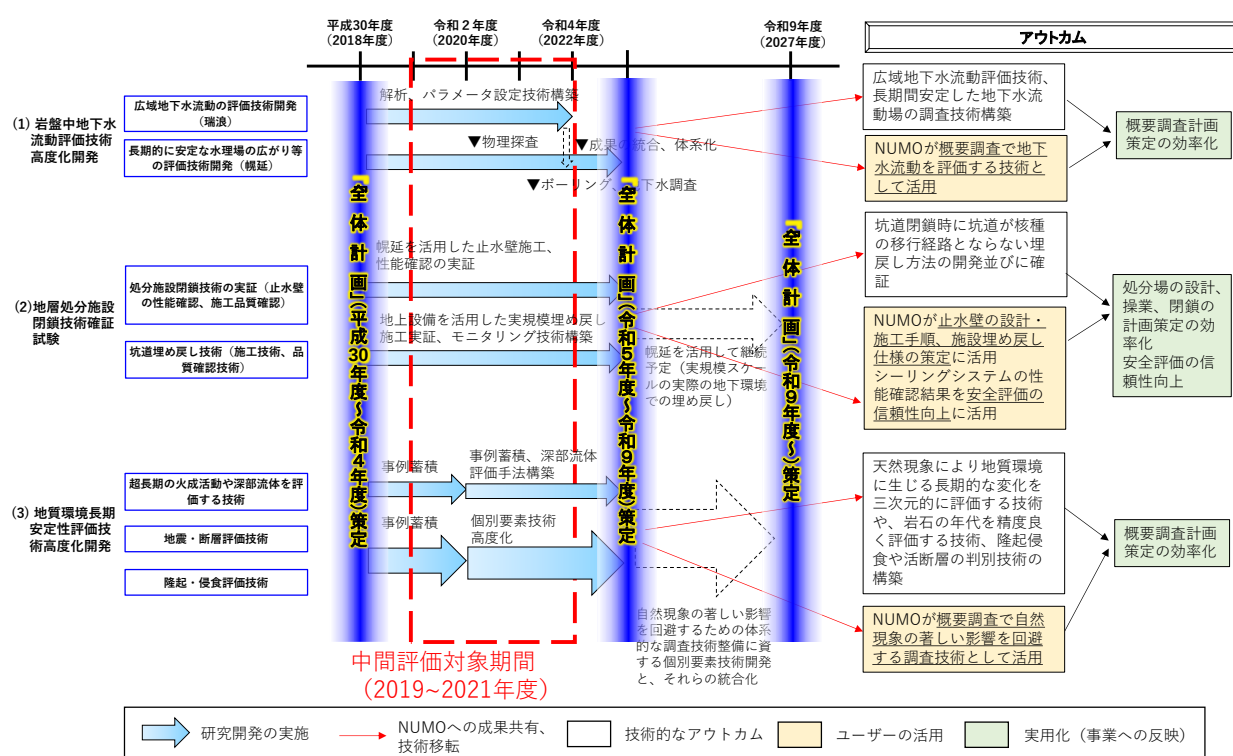


図 2B-39 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ（1 / 3）

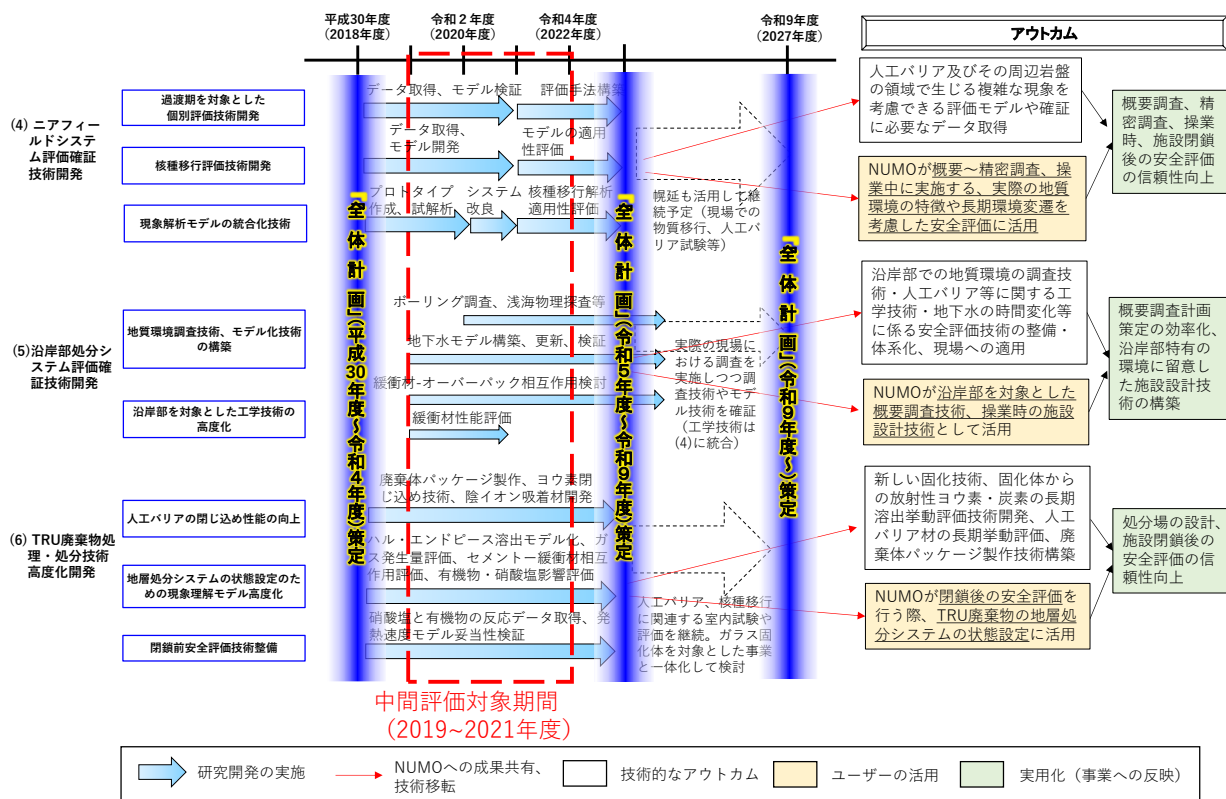


図 2B-40 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ (2 / 3)

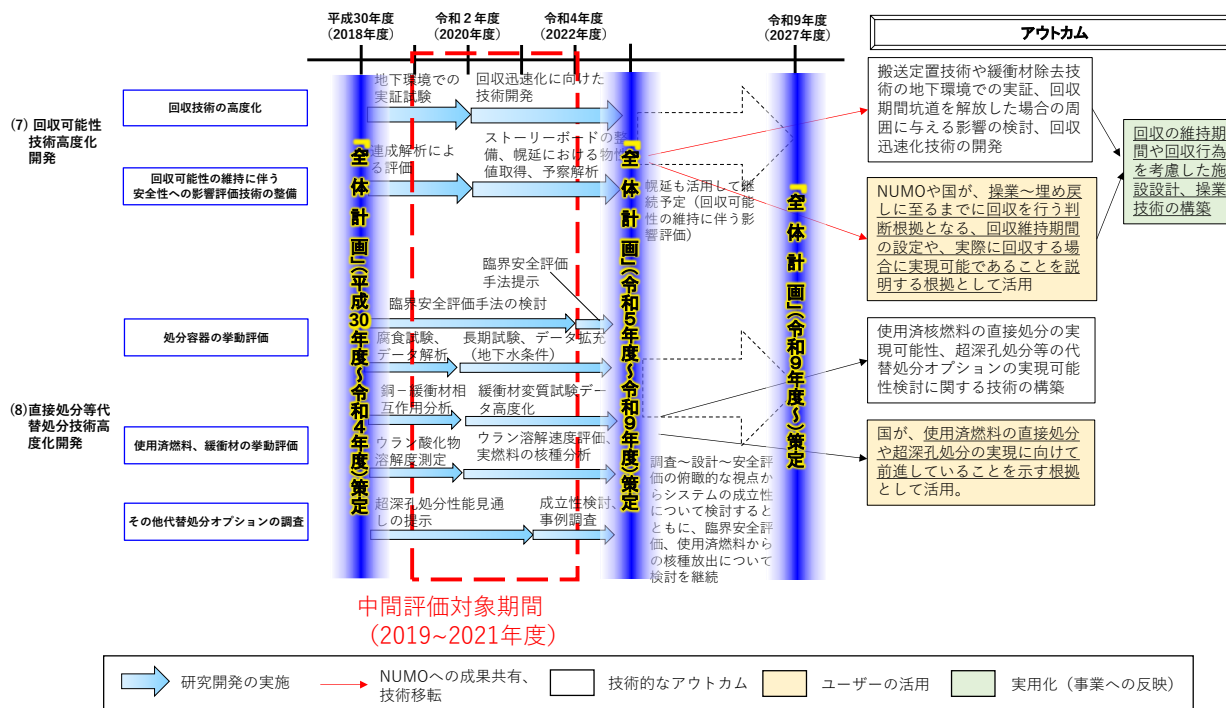


図 2B-41 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ (3 / 3)

7. 費用対効果

3-2 資金配分に記載したとおり、2019 年度は 35.7 億円、2020 年度は 35.6 億円、2021 年度は 36.0 億円の国費を投入している。アウトプットに関しては、定量的な観点としては、査読付論文が 2019 年度に 9 本、2020 年度に 20 本、2021 年度に 25 本掲載された。2019 年度については、多くの研究開発項目が 2018 年度から開始されたため、成果取りまとめに至っていないテーマがあったため少なかったと思われるが、総じて国費投入に見合ったアウトプットがなされているといえる。

なお、各研究開発項目の支出予算額と外部発表件数の関係を表 2B-1 に示す。地層処分施設閉鎖技術確証試験と回収可能性技術高度化開発の査読付論文数は 0 件であった。2022 年度以降はこれらの研究課題成果を取りまとめて査読付論文に掲載し、信頼性の高い技術として構築していくことが求められる。その他については査読付論文が受理されており、費用対効果も高いものであるといえるが、今後とも地層処分事業に資する成果を積極的に外部発表していくよう指導していく。

表 2B-1 各研究開発項目の支出と外部発表数の関係

研究開発項目	2019～2021 年度 支出額（億円）	外部発表数	査読付論文数
岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	13.8	31	3
地層処分施設閉鎖技術確証試験	15.9	27	0
地質環境長期安定性評価技術高度化開発	11.2	115	9
ニアフィールドシステム評価確証技術開発	10.6	61	25
沿岸部処分システム評価確証技術開発	16.0	25	4
TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発	16.9	45	9
回収可能性技術高度化開発 (2019 年度は可逆性・回収可能性調査・ 技術高度化開発)	16.9	13	0
直接処分等代替処分技術高度化開発	6.0	15	4

アウトカム達成の観点からは、いずれの研究開発項目も 2022 年度までの研究期間（沿岸部処分システム評価確証技術開発については、2023 年度）であるため、最終取りまとめの成果を踏まえたうえで費用対効果について論じるべきであるが、現状は、適宜ユーザーである NUMO が事業に使えるように取りまとめを進めており、アウトカム達成を目指して特段遅延なく研究開発が進んでいる状況である。したがって、国費投入に対して妥当なアウトカムが得られているといえる。

アウトカム達成のための一般向けの理解促進としては、第 1 章の事業アウトカムの部分でも記載したとおり、対話型説明会の年度ごとの満足度推移が 2019 年度までは 36.5%程度であったのに対し、2020 年度以降は 52～55%で推移しており、徐々に説明会に対する満足度が高まっている（図 2B-42）。このような観点から、技術的な面も含めて国民への地層処分に対する理解が着実に進んでいる状況にあり、一般向けの理解促進の観点からも費用対効果が現れていると考えられる。

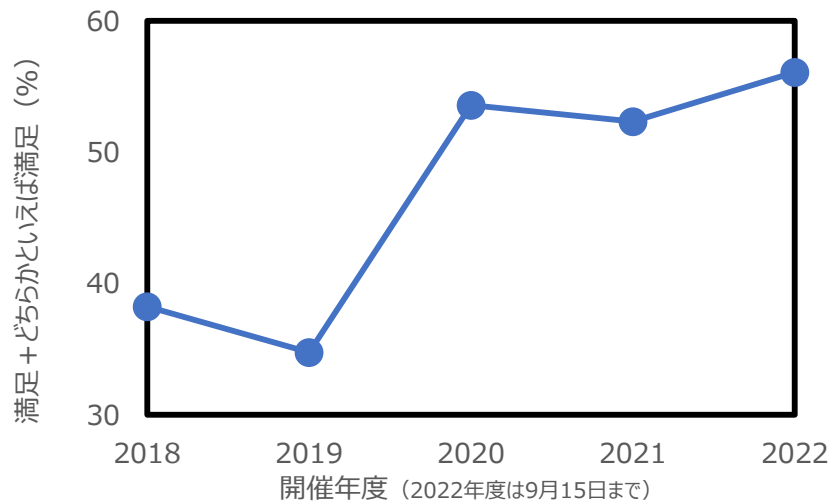


図 2B-42 対話型説明会の満足度合いの推移

地層処分事業は、文献調査～概要調査～精密調査～処分値の選定～建設～操業～閉鎖と 100 年以上に亘る事業であることから、長期的な視点で人材育成、人材確保を進めていく必要がある。放射性廃棄物対策課では、本複数課題プログラムとは別の枠組みの予算を活用して、人材育成プログラムを作成しており、その一環として人材育成セミナーを年 1 回実施している²⁹⁾。また、若手技術者育成のための教材を作成している。これらには、表 2B-1 に示す研究開発項目の成果も活用されていることから、人材育成の観点からも費用対効果のある事業であるといえる。

8. 前回評価の指摘事項と対応状況

評価検討会（中間評価）

今後の研究開発の方向等に関する提言	対応状況
計画を着実に進めることは大切な事であるが、他分野の科学技術の進捗も勘案して取り入れていくことも重要と考える。合わせて、同時並行で進められている他の個別要素技術の開発で得られている成果も、他の個別要素技術開発にとっても相互に有用なものであり、それらのタイムリーな情報共有ができるような場を検討することも必要と考える。	地層処分のみならず、関連する他分野（土木工学、資源工学、地質学、放射化学、地球化学など）で開発が進められている技術の適用可能性についても検討し、プロジェクトの取りまとめに柔軟に取り入れていく。また、個別要素技術開発で実施している内容や成果を定期的に共有できる仕組みとして、2021 年度に受託している事業者を一同に介した情報交換会を実施した。今後もタイムリーな情報共有が出来る場を設置して、事業者同士の連携を図っていく。
アウトカムに掲げている「国民の地層処分に対する納得感や安心感の向上・醸成」に向けて、プロジェクトリーダーや実際に研究開発を行っ	アウトカムの達成に向けて、当課が別途委託事業として実施している人材育成プログラムの構築に向けた調査事業なども活用し、技術者自身

ている技術者自らが、その研究の意義や成果などを広く国民に分かりやすく情報提供・公開していくことが今後重要になると思われる。	による情報発信の意識を高めるよう検討を進めるとともに、若手の技術者も、本プロジェクトで得られた成果や、実施している現場での試験等に触れて、地層処分技術開発の最先端を理解する場を提供していく。一般の国民に対する広報については、当課が NUMO と共催で実施している対話型説明会での説明に本プロジェクトで得られた成果を資料に盛り込むなどして、地層処分技術の信頼性について広報を続けていく。
深地層の研究施設を活用した検討に重きが置かれているが、深地層の研究施設にのみこだわらず、研究分野の特性に応じて国内の様々な地質環境も想定した検討が必要である。	継続的に、研究分野の特性に応じて、深地層の研究施設以外の現場も活用した技術開発を実施していく。たとえば、地質環境長期安定性評価技術高度化開発では、日本全国を対象とした地下水や岩石試料の採取、沿岸部処分システム評価確証技術開発では、静岡県駿河湾や神奈川県金田湾沖を対象とした研究を展開しており、このように深地層の研究施設以外の現場も積極的に活用して、技術の汎用性や適用可能性を検討している。

評価 WG（事前評価／中間評価）

所見	対応状況
アウトカム目標に向けて一般向けの理解を得る努力を今後も続けること。	今後も当該プロジェクトで得られた成果を活用しつつ全国での対話活動等を継続し、理解獲得に向けて尽力する。なお、対話型説明会の年度ごとの満足度推移が 2019 年度までは 36.5%程度であったのに対し、2020 年度以降は 52～55%で推移しており、徐々に説明会に対する満足度が高まっている。引き続き地道な広報活動の継続、積極的な学会発表や論文投稿を進め、理解促進、技術の信頼性向上を図っていく。

第2部 評価

本章では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、枠下の箇条書きは各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

第 1 章 研究開発課題（プロジェクト）の評価

A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費

1. 総合評価

低レベル放射性廃棄物の処分について、委託事業の研究開発対象として中深度処分とクリアランス対象物に特化して取り組んでいることは合理的である。また、順調に研究開発事業が進んでいるとともに、事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットなど全般的に妥当であり、費用対効果も適切である。

地下空洞型処分調査技術高度化開発に関しては、中深度処分特有の留意事項に焦点を当てて、特に実際に地下空洞を用いた研究開発を進めていることは適切であり、長期の施設モニタリングや初期地圧測定等に対し、新技術の開発を行い、実用見通しの成果が得られていることは高く評価できる。原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験では、原子力発電事業者外の具体的なサプライチェーン及びユーザーを含むクリアランス金属再利用システムのひな型構築が見込まれ、その成果は我が国における今後の利用拡大や社会定着に向けた試金石になると思われる。また、安全性の確認など、ローカルなレベルで実務的なデータが得られている。

改善すべき点として、日本原子力学会では、中深度処分関連の学会標準が発行されており、原子力規制庁でも類似の中深度処分関連の安全研究が行われているので、これらの他の事業内容と本事業の技術開発項目との関連性（棲み分けや位置付け）をもう少し明確に示したほうがよい。また、両事業とも低レベル放射性廃棄物管理に関わる多くの課題の中でどのように選定されているか説明できるように、国の政策や規制の状況、社会的条件などを幅広く勘案して委託事業が設定されるような仕組みを構築していくことが重要である。全般的に成果の公表が少ないので、技術的信頼性の確保の観点から、国際学会発表、特許、プレス発表や広報資料としての公開等の事業アウトプットの積極的な積み上げが望まれる。また、より積極的なステークホルダーへの関与が必要である。

【肯定的意見】

（A委員）地下空洞型処分調査技術高度化の開発研究では、現行の中深度処分の規制基準の要求に則って、我が国に立地建設する安全かつ合理的な処分場サイトや施設の設計に必要な技術の調査検討が着実に進められている。特に長期の施設モニタリングや初期地圧測定等に対し、新技術の開発を行い、実用見通しの成果が得られていることは高く評価できる。原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験では、原子力発電所の廃止措置から発生するクリアランス金属再利用のこれまでの取組みから一歩踏み出す実施項目となっている。原子力発電事業者外の具体的なサプライチェーン及びユーザーを含むクリアランス金属再利用システムのひな型構築が見込まれ、その成果は我が国における今後の利用拡大や社会定着に向けた試金石になると思われる。

（B委員）低レベル放射性廃棄物の処分について、委託事業の研究開発対象として中深度処分とクリアランス対象物に特化して取り組んでいることは合理的である。

中深度処分対象の放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物の中でも放射能レベルが高く潜在的な危険性が長期に及ぶことから、国が率先して優先度の高い技術開発に取り組む

ことは、産業界を先導するとともに様々なステークホルダーの理解や技術的信頼を得て行くうえで意義がある。すでに事業として実施されている他の低レベル放射性廃棄物処分に係る技術を考慮し、中深度処分特有の留意事項に焦点を当て、特に実際に地下空洞を用いた研究開発を進めていることは適切である。本研究開発は、高レベル放射性廃棄物等の地層処分と共通する内容もあることを考慮して地層処分実施主体の専門家も外部評価委員会のアドバイザーとして招聘していることなど、成果を活用するためのマネジメント上の努力が払われている。

クリアランス対象物の利用は社会との関係性が強く、同様に国が率先してこのための研究開発を行い、その信頼性を高めていくことは社会的受容の観点から意義深いものである。再利用価値の高い原子力発電所金属廃棄物を対象としていることは合理的であり、社会との関係性を考慮した外部評価委員会構成もマネジメントとして適切である。

両研究開発項目とも、これまでに有益なアウトプットの創出とアウトカムの達成に向けた着実な進捗が得られており、費用対効果も適切なものとなっていると評価する。

- (C委員) 明確な目標設定とそれを達成するための取り組みにおいて、問題がなく、順調に研究開発事業が進んでいると判断される。また、新たな地圧測定手法の開発においても高く評価される。
- (D委員) 研究項目の範囲が限られているので内容はわかりやすく、事業アウトカム、研究開発内容及び事業アウトプットなど全般的に妥当と考える。
- (E委員) 低レベル放射性廃棄物の処分に関しては、研究開発の必要な項目が挙げられ、それらについて一つずつ成果が上がっていることがわかる。また、クリアランスに関しては安全性の確認など、ローカルなレベルで実務的なデータが得られている。

【問題点・改善すべき点】

- (A委員) 地下空洞型処分調査技術高度化の開発研究について、中深度処分の規制基準を意識した技術開発項目となっているが、日本原子力学会では、中深度処分関連の学会標準が発行されており、また原子力規制庁でも類似の中深度処分関連の安全研究が行われている。これらの他の事業内容と本事業の技術開発項目との関連性（棲み分けや位置付け）をもう少し明確に示していただけるとよい。

原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験では、学術的な成果公表は実施内容的に難しいところながら、その他に分類される事業アウトプットの積極的な積み上げが望まれる。

- (B委員) 委託事業で対象としている研究開発項目はいずれも重要で優先度が高いものであると認められるものの、これらが低レベル放射性廃棄物管理に関わる多くの課題の中でどのように選定されているかについて常に説明ができるようにしておくことが必要であると考えられる。このためには、国の政策や規制の状況、社会的条件などを幅広く勘案して委託事業が設定されるような仕組みを構築していくことが重要である。現在のマネジメント体制では、外部専門家のレビューが中核的な役割を担っているが、これに加え、研究開発の状況や成果を定期的に広く発信し、産業界や幅広い分野の専門家、関心の高い非専門家などのご意見を伺いながら、事業の適切性を確認しながら進めていくことができ

るようにしていくことが重要と考えられる。

また、成果の判断基準として学会発表や査読付き論文を取り上げることは技術的信頼性の確保という観点で重要であり、さらに進めていただくことを期待するが、何故取り組んでいるのか、その成果が社会にどのように還元できるのかについて、例えば論文のインパクト係数や事業者や産業界が成果を反映した実績を判断基準として導入することがアウトカムを最大化するうえで有効と考えられる。

- (C委員) 達成事業においてわずかであるが目標まで達成できていない点があり、当初の目標設定もしくは目標達成までの取り組みに若干の問題があった可能性が指摘される。また、コロナ禍で厳しい状況であることは理解しているが、国際学会発表での発表を増やすことが期待される。
- (D委員) 全般的に成果の公表が少ないと思う。地下空洞型処分施設機能確認試験では、2020年に終了しているが、検討した成果を特許など確立した技術としてもっと公開してほしい。
- (E委員) 放射性廃棄物処分もクリアランスも、国民の理解が必須の事業であり、アウトカムとして国民理解の醸成を達成するためには、研究成果の公表のみでなく、より積極的なステークホルダー関与が必要である。

2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
多様な低レベル放射性廃棄物の発生から処分までの全体像を俯瞰し、優先して取り組むべき課題と研究開発項目を明らかにするとともに、その成果が事業に反映されていることを確認するプロセスを明確にしたうえで研究開発に取り組むこと。	現状実施している低レベル放射性廃棄物関連の課題は、中深度処分の規制動向や、クリアランス制度の社会定着といった問題意識を踏まえた設定となっており、少なくとも 2024 年度までは現行事業を進めていくこととしている。その後については、ご指摘の通り、俯瞰的な視点で処分事業を進めるうえで求められる課題を抽出し、適切な課題設定を行うこととする。
地下空洞型処分調査技術高度化開発で実施している技術の最適化プロセスについては、放射性廃棄物処分全般の適正化に共通であるため、汎用的な評価手法として整備されたい。また、様々なモニタリング項目が考えられるが、実施内容は一部に限られており、必要とされる他の項目の現状技術との関連を明確にした、研究開発の方向の提示をお願いしたい。	高レベル放射性廃棄物の地層処分の委託事業者との連携を進めるべく、情報交換会の仕組みを検討し、放射性廃棄物全体としての当該事業の成果の立ち位置について確認するとともに、高レベル放射性廃棄物地層処分で適用している技術の応用の観点からの情報収集を進めていく。これにより、放射性廃棄物処分全般に共通の評価手法として体系的な成果の取りまとめを進める。 モニタリング技術に関しては、事業の計画立案時に施設挙動の定量的検討を数値解析や先行研究事例のレビュー等により実施し、測定対象を絞り込んだ上で、最新の光ファイバ技術を適用して方法論を実証した。今後はご指摘の通り、俯瞰的な観点で他分野の技術との関連性についてもまとめていくことが重要と考えている。
原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験については、更なるクリアランス金属再利用システムの社会定着に向けた具体的事業の展開、提案を期待するとともに、次のステップとしてローカルな実践とフリーリリースに向けた国民理解をつなぐ策が必要である。	2022 年度事業では、電力業界外にクリアランス金属再利用物を設置する予定であり、その実施内容を踏まえた留意事項を公表する予定である。ご指摘の通り、今後本事業のような取組が展開されていくよう、電力業界等と理解促進活動を進める。

【各委員の提言】

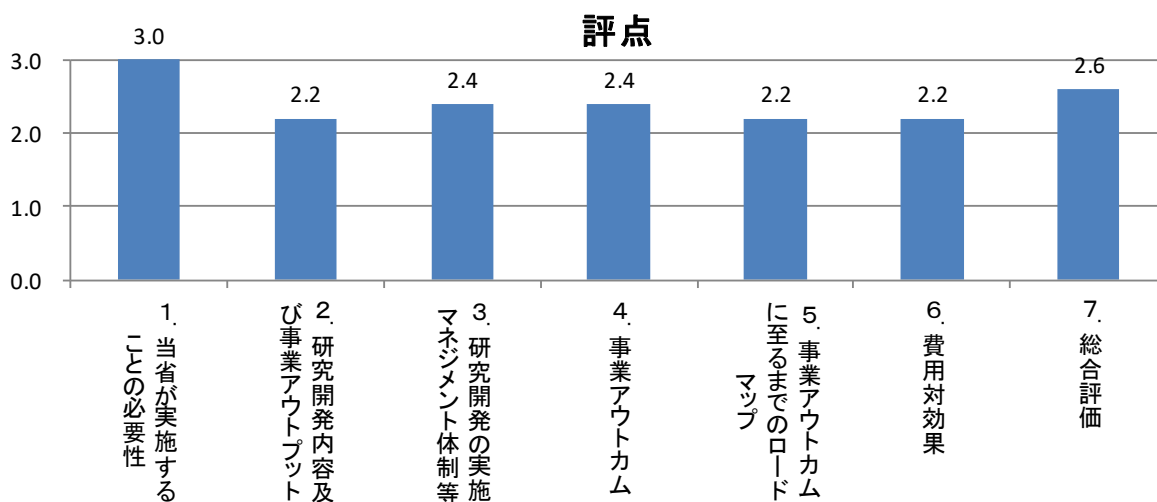
（Ａ委員）地下空洞型処分調査技術高度化の開発研究の重要な研究項目として「技術オプションの検討」があり、既に技術オプションの絞り込みや最適化に向けた有効な手段を提示できたとあるが、具体的な処分場が定まっていないときの最適化プロセスの考え方は、廃棄

物処分全般の適正化に共通と思われるので、汎用的な評価手法としての整備を期待する。原子力発電所等金属廃棄物利用技術確証試験の令和 5 年度の実施計画は、今後要検討となっているが、令和 4 年度の成果をもとに、更なるクリアランス金属再利用システムの社会定着に向けた具体的事業の展開（及び提案）を期待する。

- （B 委員）包括的な放射性廃棄物管理の視点から、多様な低レベル放射性廃棄物の発生から処分までの全体像を俯瞰し、優先して取り組むべき課題と研究開発項目を明らかにするとともに、その成果が事業に反映されていることを確認するプロセスを明確にすることが重要。このための一案として、オンラインという手段（手頃かつ安価）も利用しながら、政策関係者や規制機関、実施主体、様々な分野の専門家、関心の高い非専門家など幅広いステークホルダーの参加が可能な公開の成果報告会を定期的を開催し、委託事業の成果を社会に敷衍するとともに今後の方向性についてヒントを得るようにしていくことが考えられる。また、様々なステークホルダーと情報共有するためにもデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が重要であり、これを意識して取り組みにあたっていただくことを期待する。
- （C 委員）特に大きな問題は見受けられず、このまま更なる研究開発を進める必要がある。
- （D 委員）地下空洞型処分施設機能確認試験では、様々なモニタリング項目が考えられるが、実施内容は一部に限られており、必要とされる他の項目の現状技術との関連を明確にした、研究開発の方向の提示をお願いしたい。
- （E 委員）国民理解の醸成という目的のためには、低レベル放射性廃棄物の処分に関しては、それぞれの検討項目が処分体系の中でどのような技術要素となっているのか、いつ、どこで、どのように必要なのか、処分の実現に向けて、研究開発分野と達成度の全体像がわかりやすく、見える形で整理されるとよいと思う。クリアランスに関しては、次のステップとして、ローカルな実践とフリーリリースに向けた国民理解をつなぐ策が必要だと考えられる。

3. 評点法による評点結果

評価項目	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 当省が実施することの必要性	3.0	3	3	3	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	2.2	2	2	3	2	2
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	2.4	2	3	3	2	2
4. 事業アウトカム	2.4	2	3	3	2	2
5. 事業アウトカムに至るまでのロードマップ	2.2	2	2	3	2	2
6. 費用対効果	2.2	2	2	3	2	2
7. 総合評価	2.6	2	3	3	2	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）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 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費

1. 総合評価

8 件の研究開発項目は、地層処分に関連する地質環境調査、処分場設計・工学技術、安全評価という主要な三つの技術分野を網羅して設定されている。特に、瑞浪超深地層研究所や幌延深地層研究センターの地下施設を活用した各種試験は、ニアフィールドシステム、処分施設閉鎖、回収可能性技術等の工法実証に多くの有益な知見を提供しており、実際の地下環境における技術の適用性を確認しつつ進められていることは適切である。順調に研究開発事業が進んでおり、有益なアウトプットの創出とアウトカムの達成に向けた着実な進捗が得られている。個々の研究開発項目では多くの質の高い研究成果を上げており、他の学問分野や産業界への波及効果も期待される内容となっている。また、費用対効果も適切である。

ただし、各研究開発項目の地層処分事業への反映先について、地層処分に必要な技術体系としての充足度が今一つ分かりにくい。具体的に何を以て成果が達成されたのか、いわゆる研究開発成果の完成度を説明するような記載があるとよい。事業アウトカム指標が、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」となっているが、1つ1つの技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられる。資料では実施項目の抜けなどがなく、安心感の醸成には至っていないのではないかと考える。

研究開発事業によっては、査読付き論文発表に必ずしも適していない事業もあることは理解できるが、技術報告は可能と考えられるため、今後より積極的に論文発表を進めることを望む。項目間の連携や他の研究との情報交換、それらの成果を組み合わせた地層処分の実現に向けた全体像の発信などが必要である。研究開発の状況や成果を定期的に広く発信し、産業界や幅広い分野の専門家、関心の高い非専門家などの意見を伺いながら事業の適切性を確認するとともに、地層処分にに対する国民全体の信頼構築、長期的な人材育成や人材確保、産業界の活性化につなげていけるよう、さらに工夫することを期待する。

【肯定的意見】

（A 委員）我が国における地層処分サイトの選定、設計、建設、操業・管理等に必要なかつ有用な技術開発が網羅的に進められており、年代測定や地質探査等に最新技術が適用された地下水流動や地質環境等の解析評価手法が構築されつつある。

瑞浪超深地層研究所や幌延深地層研究センターの地下施設を活用した各種試験は、ニアフィールドシステム、処分施設閉鎖、回収可能性技術等の工法実証に多くの有益な知見を提供している。

（B 委員）委託事業の対象とする 8 件の研究開発項目は、地層処分に関連する地質環境調査、処分場設計・工学技術、安全評価という主要な三つの技術分野を網羅して設定されている。これらの研究開発項目の設定にあたっては、国が主導して開催している地層処分研究開発調整会議において、地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）のニーズを踏まえるとともに外部有識者のご意見を反映し、地層処分にに関する日本全体として取り組むべき課題を明らかにして研究開発計画（以下、全体計画）を策定したうえで、

事業者の技術開発との役割分担を図りながら行われている。全体計画の策定や見直しの中で、国として取り組むべき研究開発が適切に抽出されている。また、設定された研究開発を実施するうえでは、それぞれ外部専門家によるレビューや 8 件の研究開発項目受託者による情報交換会を開催するなど、成果を高めるための取り組みも実施されている。このようなマネジメントの仕組みは、体系的かつ効率的に委託事業を進めるうえで極めて有効であるといえる。

研究開発への取り組みにあたっては、特に地下研究施設を利用し実際の地下環境における技術の適用性を確認しつつ進められていることは適切である。各研究開発項目において、これまでに有益なアウトプットの創出とアウトカムの達成に向けた着実な進捗が得られており、費用対効果も適切なものとなっていると評価する。

- (C 委員) 明確な目標設定とそれを達成するための取り組みにおいて、問題がなく、順調に研究開発事業が進んでいると判断される。また、実施・マネジメント体制において、事業者側のニーズを踏まえた体制の構築に取り組んでいる点や、研究開発項目受託者を集めた情報意見交換会を行っており、研究開発項目の相互関係の理解や意識の向上が進んでいることは高く評価される。加えて、コロナ禍にもかかわらず、国際学会発表にも精力的に取り組んでいることも評価される。
- (D 委員) 研究課題を多数のプログラムに明確に分類し、個々のプログラムでは多くの研究成果を上げており、研究開発内容は明確かつ妥当である。実施主体となる NUMO が実施することもあるが、技術的信頼性を確立することを目標とすると安易に妥協することなく、技術的進展を実行するために、実施主体と異なる団体が行うことが最善であり、国が実施することは極めて有効性が高いと思う。事業アウトカム達成に至るまでの技術的課題に関してのロードマップは妥当であると思う。研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性についてはそれぞれのプログラムごとの評価委員会での検証もなされており、きわめて妥当だと思う。費用対効果についても、妥当だと思う。
- (E 委員) 各研究開発項目において着実に成果が得られている。これらの成果は処分の実現に向けた効果ばかりでなく、他の学問分野や産業界への波及効果も期待される内容となっており、質の高い成果であったと考えられる。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 本事業の各研究開発項目の地層処分事業への反映先は資料 7 の図 2B-2 で広くカバーしていることは分かるが、地層処分に必要な技術体系としての充足度が今一つ分かりにくい。各研究開発項目で優れた成果が挙がっており、最終目標に向けて順調に研究開発が進んでいることは認めるところであるが、具体的に何を以て成果が達成されたのか、いわゆる研究開発成果の完成度を説明するような記載があるとよい。
- (B 委員) 地層処分研究開発調整会議等、現在のマネジメント体制は極めて適切に構築されていると評価できるが、これに加え、研究開発の状況や成果を定期的に広く発信し、産業界や幅広い分野の専門家、関心の高い非専門家などのご意見を伺いながら事業の適切性を確認するとともに、地層処分に対する国民全体の信頼構築、長期的な人材育成や人材確保、

産業界の活性化につなげていけるよう、さらに工夫していただくことを期待する。

また、「A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費」と同様、成果の判断基準として学会発表や査読付き論文を取り上げることは技術的信頼性の確保という観点で重要であり、さらに進めていただくことを期待するが、何故取り組んでいるのか、その成果が社会にどのように還元できるのかについて、例えば論文のインパクト係数や事業者や産業界が成果を反映した実績を判断基準として導入することがアウトカムを最大化するうえで有効と考えられる。実際、多くの研究開発成果が、NUMOによりセーフティケースとして作成された包括的技術報告書に反映され事業に貢献している。

(C委員) 達成事業においてわずかであるが目標まで達成できていない点があり、当初の目標設定もしくは目標達成までの取り組みに若干の問題があった可能性が指摘される。研究開発事業によっては、査読付き論文発表に必ずしも適していない事業もあることは理解できるが、技術報告は可能と考えられるため、より積極的に論文発表を進めることが望まれる。

(D委員) 事業アウトカム指標が、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」となっているものが多数ある。NUMOと資源エネルギー庁で全国対話活動を実践され、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」への努力をされていることは重要だと思うが、1つ1つの技術的信頼性の向上が必ずしも国民の安心感の醸成と一致しないことが考えられる。例えば、地層処分研究開発調整会議での提案を受けて、研究プログラムの内容の変更はなされるが、文部科学省での実施内容との関連性が明確化されておらず、実施項目の抜けなどがないかがわかりにくく、安心感の醸成には至っていないと思う。

(E委員) 項目間の連携や他の研究との情報交換、それらの成果を組み合わせた地層処分の実現に向けた全体像の発信などが必要であると考えられる。

2. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
学術的及び技術的波及に関連した成果発表や、研究開発の全体像や達成度をわかりやすく国民へ情報発信することにより、国民理解の醸成を進めていただきたい。こうした国民理解の醸成のための情報発信にあたっては、コスト削減的な課題も研究開発も視野に入れて進めることも重要である。	査読付論文誌への投稿等、これまでも事業者に働きかけを行っているが、今後はそれに加えて、プレスリリース、一般の方々への広報活動等も積極的に働きかけることにより、国民理解の醸成に努めていく。国としても、対話型全国説明会等の一般の方々への情報発信の機会を活用して成果を発信し、理解促進に努めていく。また、ご指摘のコスト削減的な研究課題についても視野に入れて取り組むとともに、現在実施している情報意見交換会を、人材育成の観点も含めてさらに充実させていく。
地層処分技術は多岐にわたり、その最新の状況を様々なステークホルダーと情報共有するためにも DX の推進は不可欠である。その点も意識して今後の研究開発を進めていただきたい。	地層処分技術に対する DX の推進は、今後の重要な課題の一つであるため、2023 年度以降の研究開発にあたっては、そのような観点も踏まえた事業を展開していく予定としている。 また、情報共有に関しては、得られた成果やデータを一元管理できるデータベース、システム構築といった DX 化に留意して事業を進めていく。

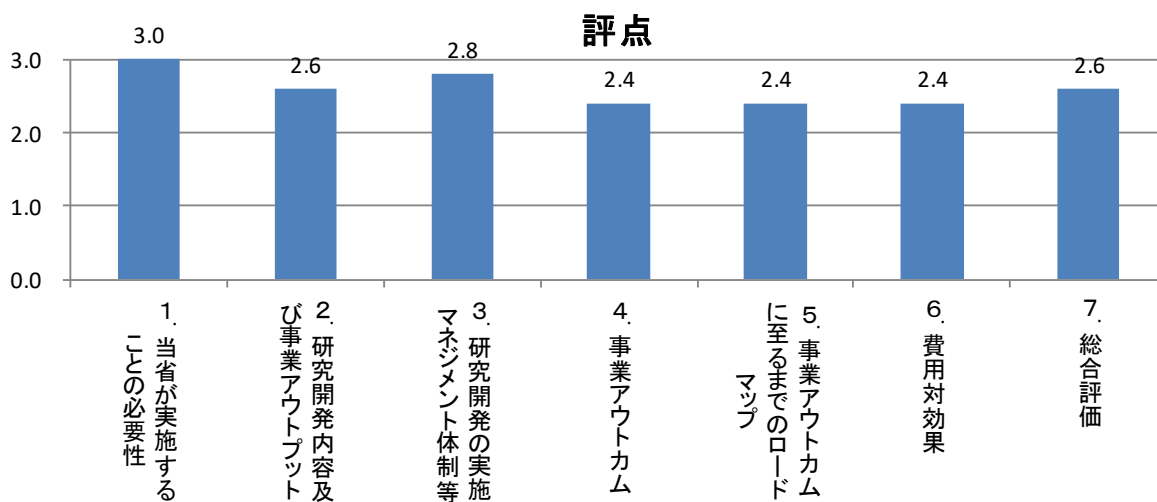
【各委員の提言】

- (A 委員) 本事業では、比較的巨額の国費が継続的に投入されているが、他の国策事業（例えば、Society 5.0 等）に比べると、国民への費用対効果の説明の説得力が弱い感がある。その改善策の一つとして、今回、事業アウトカムに各研究開発項目における放射性廃棄物関連分野以外への学術的及び技術的波及効果が追記されたことは大変望ましいと思われる。本来の研究目標の達成が第一義的に重要であるものの、今後、学術的及び技術的波及に関連した成果発表や情報発信の強化にも努めていただきたい。
- (B 委員) 委託事業により大きな成果が得られており、これを専門家だけでなく社会に敷衍するための活動をさらに強化していくことが重要である。一案として、「A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費」と同様、オンラインという手段（手頃かつ安価）も利用しながら、政策関係者や規制機関、実施主体、様々な分野の専門家、関心の高い非専門家など幅広いステークホルダーの参加が可能な公開の成果報告会を定期的を開催し、委託事業による技術開発全体の理解が進むようにするとともに今後の方向性についてヒントを得ることが考えられる。また、地層処分技術は多岐にわたり、その最新の状況を様々なステークホルダーと情報共有するためにも DX の推進は不可欠であり、これを意識して取り組みにあたっていただくことを期待する。

- (C委員) 大きな問題点は認められず、このまま予算を確保し、研究開発事業を進めていただきたい。なお、現在取り組んでいる情報意見交換会は、事業間の相互理解や意識の向上だけでなく、人材育成の観点からも重要で優れたものであると判断されるため、今後も行っていくことが望まれる。
- (D委員) 個々のプログラムの研究によって技術的信頼性を向上させていることは理解できるが、「国民の納得感」を考えると、今後は、コスト削減的な研究課題にも取り組むことが重要であると考ええる。
- (E委員) 多分野、多領域にわたる研究となっており、国際的にも様々な研究開発が進んでいる。世界共通の事象、地域特有の事象を整理し、研究開発の全体像と達成度を、わかりやすく国民に提供することが国民理解の醸成につながると考えられる。

3. 評点法による評点結果

評価項目	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 当省が実施することの必要性	3.0	3	3	3	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	2.6	2	3	3	2	3
3. 研究開発の実施・マネジメント体制等	2.8	2	3	3	3	3
4. 事業アウトカム	2.4	2	3	3	2	2
5. 事業アウトカムに至るまでのロードマップ	2.4	2	3	3	2	2
6. 費用対効果	2.4	2	3	3	2	2
7. 総合評価	2.6	2	3	3	2	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）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。

第 2 章 複数課題プログラムの評価

1. 当省(国)が実施することの必要性

カーボンニュートラルなエネルギーシステムを目指し、原子力利用に関する持続可能性を確保していくうえで、原子力システム全体を対象とした包括的な放射性廃棄物の管理を実現するための研究開発が不可欠である。放射性廃棄物の管理においては、施設の運転や廃止措置によって発生する多岐にわたる低レベル放射性廃棄物や高レベル放射性廃棄物の最終的な処分にいたる道筋をつけることが必要であり、そのための研究開発は長期にわたる。また、多額の研究開発費が必要であること、多くの研究領域にまたがり、様々な技術的課題があるゆえ、技術的難度が高いことから、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されないことが想定される。それゆえ、国が率先してこの研究開発に継続的に取り組むことは極めて重要であり意義がある。また、放射性廃棄物処分の事業は、世界的に見ても国が主導して実施されていることが多く、その技術開発や事業推進に国が積極的に関与して進める姿勢を国民に示すことが、国民への事業の必要性や安全性理解の信頼を得る上で重要である。

今後の取り組みにあたっては、国際動向やわが国固有の条件を考慮して長期的、継続的に具体的戦略やアプローチとして明確にしていくための枠組みを構築することが重要である。特に、高レベル放射性廃棄物等の地層処分、低レベル放射性廃棄物の処分を包括したバックエンド全体を視野に入れ、より上位の戦略を示すことができないか、国として検討することが重要である。これにより、放射性廃棄物管理に関する様々な分野間の連携や先進的原子炉・核燃料サイクルに伴う将来の放射性廃棄物も考慮した処分への対応が可能となると考えられる。公的な研究機関とともに電力事業者等の放射性廃棄物発生元を含む民間企業との連携は必要不可欠であるが、国民から見て公正な立場に徹することが必要である。特に、規制側と対等の立場で意思疎通が図れるような環境作りが望まれる。また、今後も継続的に技術開発予算を確保していく必要がある。

【肯定的意見】

(A委員) 国が当該プログラムを実施することが必要な理由としては、評価基準 1－1 ①、②が該当すると思われる。

放射性廃棄物処分の事業は、世界的に見ても国が主導して実施されていることが多く、その技術開発や事業推進に国が積極的に関与して進める姿勢を国民に示すことが、国民への事業の必要性や安全性理解の信頼を得る上で重要と考える。

(B委員) カーボンニュートラルなエネルギーシステムを目指し、原子力利用に関する持続可能性を確保していくうえで、原子力システム全体を対象とした包括的な放射性廃棄物の管理を実現するための研究開発が不可欠である。このような放射性廃棄物の管理においては、施設の運転や廃止措置によって発生する多岐にわたる低レベル放射性廃棄物や高レベル放射性廃棄物の最終的な処分にいたる道筋をつけることが必要であり、そのための研究開発は長期にわたる。国が率先してこの研究開発に継続的に取り組むことは極めて重要であり意義のあることである。

現在取り組まれている個別研究開発項目については、「A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費」、「B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費」とともに適切であり、目的や目標に対して、着実に大きな成果を挙げているものと評価する。事業の長期性を考慮すれば、下記改善点で述べるような長期的視点に立って

取り組むための枠組みをより明確に示していくことが重要と考えられる。

- (C委員) 多額の研究開発費や長期の開発期間が必要であり、国が主体となって研究開発を行っていくしかないと判断される。
- (D委員) 地層処分は多くの研究領域にまたがり、様々な技術的課題があり、長期にわたる研究開発期間が必要で、高い技術的難度のあることから、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されないことが想定されるなど、国で実施することが不可欠である。
- (E委員) 上記の評価基準の複数を満たす内容であり、原子力発電に伴って発生する廃棄物の適正な処分にに向けた研究は、広く国民の利益に結びつくものである。

【問題点・改善すべき点】

- (A委員) 国が主導すると言っても、公的な研究機関とともに民間企業（電力事業者等の放射性廃棄物発生元を含む）との連携は必要不可欠であるが、国民から見て公正な立場に徹することが必要。特に、規制側と対等の立場で意思疎通が図れるような環境作りが望まれる。
- (B委員) 上記のような包括的視点に立って、課題の優先順位をいかに明確にし、これらに取り組んでいくかについて、国際的動向やわが国固有の条件を考慮して長期的、継続的に具体的戦略やアプローチとして明確にしていくための枠組みを構築することが重要であると考えられる。

「B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費」に関しては、地層処分研究開発調整会議において、「国の全体計画」が策定され、優先的に取り組む課題と国の果たすべき役割を明確にしつつ委託事業の研究開発項目が設定されているが、「A. 低レベル放射性廃棄物の処分にに関する技術開発委託費」に関しても、このような全体像を国主導で示し、事業者と調整しつつ課題を明らかにして、研究開発項目の設定や取り組みのアプローチを明確にしながら実施する仕組みをより明確に示すことが有益と考えられる。こうした仕組みは委託事業における研究開発項目ごとに設定されている外部評価委員会で一定程度実現されているが、A.、B. を包括したバックエンド全体を視野に入れ、より上位の戦略を示すことができないか、国として検討していただくことが重要ではないかと思われる。これによって、放射性廃棄物管理に関する様々な分野間の連携や先進的原子炉・核燃料サイクルに伴う将来の放射性廃棄物も考慮した処分への対応が可能となると考えられる。併せて、成果の価値を広く世に伝え、委託事業について意見を聴取するための工夫（例えば、研究開発の適切な区切りで、委託事業全体を紹介する説明会の開催など）について検討していただくことを期待する。これによって、委託事業自体の最適化を図るとともに、産業界の活性化や長期的な人材確保にも貢献できるのではないかと考えられる。

- (C委員) 研究開発により得られた技術や知識の維持に加え、人材確保の観点からも、継続的に予算を確保していく必要がある。現状、予算が確保されており、大きな問題は見受けられないが、予算確保が困難になる事態は避けなければならないと考える。
- (D委員) JAEA が文部科学省所管でもあることから、地層処分は、国として経済産業省だけでなく、文部科学省も絡んでおり、これらの関係性が不明瞭となっており、日常業務とここでの

研究との違いに関して明瞭化してほしい。
(E委員) 特になし。

2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性

本プログラムが技術的信頼性の確保や社会的受容性の向上を目的としていることから、成果の学会発表や論文数、特許出願数を事業アウトプットの定量的な指標として採用することは妥当である。アウトプットの目標達成については、委託各研究開発項目に関する成果が具体的に示されており、当該分野として国内外に多数かつ先導的な成果公表がなされていることから妥当である。

複数課題の研究開発項目間で、技術体系的な観点から、相互連携の明示とともに、もう少し充足度／完成度の「見える化」が図られるとよい。また、アウトプットの評価指標をもう少し幅広くする必要があるように思う。より直接的な指標として、発表した論文のインパクト係数や成果が直接事業者利用されている実績などを取り上げることも検討されたい。このための方法として、幅広いステークホルダーを対象とした委託事業全体を紹介する公開の報告会の開催など、より積極的な情報発信の方法を考えていただきたい。成果として論文発表しにくい施工的な技術開発事項について、投稿先などの工夫で論文数を増やすことや、論文以外の情報公開（マスコミ発表など）を進めていただきたい。講演論文の発表する学会が分野ごとにほぼ固定されていて、一部の研究者だけへのアピールにとどまっているように思えるので、もう少し広く様々な学会に成果を発表いただきたい。

【肯定的意見】

（A委員）当該プログラムは、実施計画、事業の進捗、成果のレビュー等について、定期的に複数の専門家グループによる外部評価が実施されており、実施内容の妥当性確認や事業アウトプットの達成状況の評価・確認がなされている。特に、評価基準 2-3 については、当該分野として国内外に多数かつ先導的な成果公表がなされていると評価する。

（B委員）原子力利用を持続可能なものとするためには、原子力システム全体を視野に入れた包括的な放射性廃棄物管理の実現が不可欠であり、その一環として低レベル放射性廃棄物処分と高レベル放射性廃棄物処分に係る課題に一体的に取り組んでいる本複数課題プログラムの内容はこの目的に適う適切なものである。個々の研究開発要素は、低レベル放射性廃棄物に関しては今後事業化が図られる中深度処分とクリアランス制度の社会定着という優先度が高く国が率先して取り組むべき課題、高レベル放射性廃棄物処分に関しては地層処分研究開発調整会議を介して、事業者との役割分担を行いながら国として実施すべき課題に対応して明確に設定されている。これらの実施にあたっては、国際的動向を反映したうえで、わが国固有の条件を考慮して進められており、また、低レベル放射性廃棄物処分と高レベル放射性廃棄物処分という両取り組み間、各取り組みにおける個別研究開発項目間の連携を図るような工夫が払われている（評価基準 2-1）。

事業アウトプットの定量的な指標として、成果の学会発表や論文数、特許出願数が採用されていることは、このプログラムの取り組みが技術的信頼性の確保や社会的受容性の向上を目的としていることから妥当なものであるといえる。また、定性的なアウトプットが把握されており、両指標によってアウトプットの適切性を判断するという考え方は合理的である。定性的なアウトプットについては、各研究開発項目に関する実施計画に応じた成果によって目標を達成しているかどうかを判断することが可能であると考えら

れるが、定量的指標である論文数等については目標値を具体的に設定することは困難であり、その十分性をアウトカムの達成度に含めて判断しようとするアプローチは適切なものと考えられる（評価基準 2-2）。

上の考え方に沿った判断されているアウトプットの目標達成については、低レベル放射性廃棄物処分と高レベル放射性廃棄物処分の両課題とも、委託各研究開発項目に関する成果が具体的に示され、学会発表や論文投稿、特許出願数を最大限実施していることから妥当なものと評価する（評価基準 2-3）。

- （C 委員）課題プログラムの内容や事業アウトプットの目標について、大きな問題はなく、適切な設定であると判断される。また、アウトプットにおいても、全体的には多数の査読付き論文を発表しており、研究技術開発が順調に進んでいると判断される。
- （D 委員）アウトプット目標値に関してかなり高い達成度であり、論文リストから個々の要素技術に関して、多くの成果が論文として公開されていることがわかる。プログラム内容に関しては妥当であると思う。
- （E 委員）すべての評価基準を満たしており、妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- （A 委員）複数課題の研究開発項目間で、技術体系的な観点から、相互連携の明示とともに、もう少し充足度／完成度の「見える化」が図られるとよい。
- （B 委員）低レベル放射性廃棄物処分については、「1. 複数課題プログラムを構成する研究開発課題（プロジェクト）に対する評価」の総合評価で述べたように、研究開発項目の設定に関する説明性の向上を図るため、そのための体系的な仕組みを構築することが重要である（評価基準 2-1）。
両研究開発課題において、より直接的な指標として、発表した論文のインパクト係数や成果が直接事業者利用されている実績などを取り上げること検討することを期待する。また、このための方法として、幅広いステークホルダーを対象とした委託事業全体を紹介する公開の報告会の開催など、より積極的な情報発信の方法を考えていただきたい（評価基準 2-2 および 2-3）。
- （C 委員）研究開発事業によっては、査読付き論文発表に必ずしも適していない事業もあることは理解できるが、技術報告は可能と考えられるため、より積極的に論文発表を進めることが望まれる。
- （D 委員）中間発表という位置づけで時間の制約が大きいと思うが、特許の件数が少ないと思う。一部の技術開発要素のうち、成果として論文として発表しにくい施工的な技術開発事項のプログラムにおいて、投稿先などの工夫で論文数を増やすとか、論文以外の情報公開（マスコミ発表など）を進めていただきたい。波及効果に関しては、これ以外の分野の技術開発に比べ、内容的に弱い印象を抱くので、波及効果も見据えながらの研究プログラムの設定が必要だと思う。講演論文の発表する学会が分野ごとにほぼ固定されていて、一部の研究者だけへのアピールにとどまっているように思えるので、もう少し広く様々な学会に成果を発表してほしい。

（E 委員）研究課題が複雑であるため、研究開発項目相互の関係性がわかりづらくなっており、もう少し説明性を増した資料が必要だと思われる。また、アウトプットの評価指標をもう少し幅広くする必要があるように思う。

3. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性

当該プログラムの実施・マネジメント体制は、各研究課題に対し、これまでの研究実績や関連機関の有機的連携を踏まえて、適切に構成されていると評価する。高レベル放射性廃棄物処分に
関する研究開発については、地層処分研究開発調整会議によって体系的なマネジメントの仕組み
が構築されていることは高く評価する。研究開発事業間での情報意見交換会を行っており、事業
間の相互理解を進めている点も高く評価する。

報告書の公表にとどまらず、産業界の活性化や人材育成に寄与できるよう、利用可能性をより
高めるような工夫、例えば DX 化の推進を検討することが有益である。国民とのコミュニケーション
に関しては、各々のプロジェクトレベルから国レベルまで、対象も特定の利益のあるステーク
ホルダーから広く国民まで様々なレベルがあるため、誰がどのような活動を行うのか、議論が必要
である。その点は、広報のプロの助言を得るなどした創意工夫が望まれる。また、全般的に、
外注が多くみられ、どのように管理されたかなどが不明で、やや信頼性に欠くように思える。

【肯定的意見】

(A 委員) 当該プログラムの実施・マネジメント体制は、各研究課題に対し、これまでの研究実績や
関連機関の有機的連携を踏まえて、適切に構成されていると評価する。

(B 委員) 両研究開発課題について、各研究開発項目に対し外部専門家の意見を取り入れながら資
金配分も含め適切に研究計画が策定されており、また、研究開発実施者は専門的能力と
利用可能な人的資源・研究開発基盤に応じて選定され、適切に体制が構築されている。
また、研究開発の目的や内容に応じて、それぞれ外部評価委員会が設定され、環境条件
の変化に柔軟に対応しつつ取り組みが進められている。こうしたマネジメント体制は、
放射性廃棄物管理に求められる研究開発に関する一般的な要件に照らして妥当なもので
ある。また、両研究開発課題間、それぞれの課題における研究開発項目間の連携を促進
するための工夫も払われている。特に高レベル放射性廃棄物処分に
関する研究開発については、地層処分研究開発調整会議によって体系的なマネジメントの仕組みが構築され
ていることは高く評価する（評価基準 3-1）。

両研究開発課題について、知財や研究開発データは、日本版バイ・ドール制度の目的や
本プロジェクトの目的の達成のため、知的財産の取り扱いに関する合意のもとに知的財
産マネジメントが実施され、適切に管理されている（評価基準 3-2）。

(C 委員) 研究開発計画や実施体制等、大きな問題は認められず、極めて妥当であると評価される。
また、研究開発事業間での情報意見交換会を行っており、事業間の相互理解を進めてい
る点も高く評価される。

(D 委員) 個々のプログラムに関する評価委員会もその専門家から構成されており、その評価もう
けており、研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制などの研究体
のマネジメント体制は妥当である。

(E 委員) 全ての評価基準について概ね妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) 実施・マネジメント体制として、国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動に一定の努力は認められるが、広報のプロの助言を得るなどしてもう少し創意工夫が望まれる。
- (B 委員) 低レベル放射性廃棄物処分に関しては、抽出されている研究開発項目は適切なものである判断するが、その選定過程は高レベル放射性廃棄物処分に比して明確ではない。何故、これらの研究開発項目が選定されているのかを明確に説明できるような仕組みの構築を検討することを期待する（評価基準 3-1）。
- 両研究開発課題とも、知財や研究開発データの取り扱いに関しては、知的財産マネジメントを適切に実施したうえで、報告書の公表だけでなく、産業界の活性化や人材育成に寄与できるよう、利用可能性をより高めるような工夫、例えば DX 化の推進を検討することは有益であると考えられる（評価基準 3-2）
- (C 委員) 特に問題点は認められず、このまま研究開発事業を進めることが望まれる。研究開発事業間での情報意見交換会は、事業間の相互理解の観点から重要であるだけでなく、研究開発の過不足の理解や人材育成の観点からも重要であるため、今後も継続的に実施することが望まれる。
- (D 委員) 全般的に、外注が多くみられ、どのように管理されたかなどが不明で、やや信頼性に欠くように思える。
- (E 委員) 国民とのコミュニケーションに関しては、各々のプロジェクトレベルから国レベルまで、また、対象も特定の利益のあるステークホルダーから広く国民まで様々なレベルがあるため、誰がどのような活動を行うのか、議論が必要ではないか。

4. 事業アウトカムの妥当性

低レベル放射性廃棄物の処分、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関するそれぞれの事業の段階を踏まえ、長期的視点に立って研究開発項目ごとに評価対象年度のアウトカム指標と目標が適切に設定されている。当該プログラムの事業アウトカムとして掲げている信頼性や安定性の向上は明確かつ妥当であり、我が国の長年の懸念となっている放射性廃棄物の処分問題の解決に繋がる効果が期待できる。また、我が国の自立したエネルギー源として欠かせない原子力発電のライフサイクルを完結する観点からも、本事業のアウトカムのインパクトは大きい。

アウトカムとして設定している「国民の安心感や納得感の醸成」は、指標としてあいまいである。また、技術的信頼性の向上とこのアウトカムの関係があいまいで、全体として信頼性や安定性の向上となっているかがやや不明瞭である。国民理解の醸成は定量的な評価が難しいため、段階的、具体的な目標設定とそれらに対する定量的、定性的な評価があることが望ましい。

【肯定的意見】

（A委員）当該プログラムの事業アウトカムは明確であり、我が国の長年の懸念となっている放射性廃棄物の処分問題の解決に繋がる効果が期待できる。また、我が国の自立したエネルギー源として欠かせない原子力発電のライフサイクルを完結する観点からも、本事業のアウトカムのインパクトは大と考える。

（B委員）両研究開発課題とも、原子力利用において不可欠な放射性廃棄物処分の実施に寄与する技術的な信頼性の確保と社会的受容性の向上に資するものとして、事業アウトカムは明確で妥当なものである（評価基準 4-1）。

上記事業アウトカムに対して、低レベル放射性廃棄物処分、高レベル放射性廃棄物処分に関するそれぞれの事業の段階を踏まえ、長期的視点に立って研究開発項目ごとに評価対象年度のアウトカム指標と目標が適切に設定されている（評価基準 4-2）。

（C委員）事業アウトカムは我が国特有の地質環境をとらえた明確かつ妥当なもので、大きな問題は認められない。

（D委員）CO₂ゼロエミッション宣言のもと、原子力発電の重要度が増しつつある現状において、放射性廃棄物処分関連分野の技術的検討は国策として遂行すべき重要なプロジェクトとなっている。この放射性廃棄物の処分において、信頼性や安定性の向上をアウトカムとしていることは極めて妥当である。また多くの地元説明会を実施し、その成果もあがっており、アウトカムの実践に努力されていることが感じられる。

（E委員）評価基準は概ね満たされている。

【問題点・改善すべき点】

（A委員）当該プログラムの事業アウトカムが国民の生活改善に密接に繋がることをアピールするために、放射性廃棄物分野以外への学術的・技術的波及効果についても積極的に成果公表や情報発信をすることが望まれる。

（B委員）アウトカムの目標達成度を判断するうえで、「評価項目 2」で述べたように、アウトプッ

トに関して現在設定されている定量的・定性的指標だけでなく、論文のインパクト係数や事業への反映実績など、成果のより直接的な意義を測る指標を導入することを検討していただくことを期待する（評価基準 4-2）。

（C委員）特になし。

（D委員）アウトカムとして、「国民の安心感や納得感の醸成に資する」とされているが、指標として定量的にはあいまいであり、また技術的信頼性の向上とこのアウトカムの関係があいまいで、全体として信頼性や安定性の向上となっているかがやや不明瞭である。

（E委員）国民理解の醸成は、定量的な評価が難しいため、段階的、具体的な目標設定とそれらに対する定量的、定性的な評価があることが望ましい。

5. 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

個々のプロジェクトのロードマップはわかりやすく明示されている。また、実施内容の妥当な年次展開と見込まれる事業アウトカムの対応付けができており、設定根拠も妥当である。

改善点として、事業アウトカムの達成を客観的に評価できる基準のようなものが設定されるとよい。また、特に低レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発項目の設定に関する説明性を高めていくことが重要である。

【肯定的意見】

- (A委員) 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップについて、項目的にやや雑駁な感はあるが、実施内容の妥当な年次展開と見込まれる事業アウトカムの対応付けができておりと評価する。
- (B委員) 両研究開発課題とも、関連する法律、安全規制の策定状況、国際的な考え方や技術動向など様々な環境条件に依存して柔軟に対応する必要がある、ロードマップの策定や改定は事業アウトカムの達成に向け段階的に研究開発を進めることができるように配慮されている。このようなロードマップの策定や改定は、低レベル放射性廃棄物処分では外部評価委員によるレビューや事業者との綿密な意見交換、高レベル放射性廃棄物処分に関しては地層処分研究開発調整会議における全体計画の定期的なレビューや改定によって進められている。現在提示されているロードマップはこうした仕組みにより適切に設定されているものと評価する（評価基準 5-1）。
- (C委員) 大きな問題は認められない。
- (D委員) 個々のプロジェクトのロードマップはわかりやすく明示されているし、目標の達成が見込まれると思う。
- (E委員) 評価項目は満たされており、着実に成果が上がっている。

【問題点・改善とする所見】

- (A委員) 事業アウトカムの内容とその達成に向けた取り組みは明示されているが、具体的な目標値というような記載が見当たらない。定量的な数値目標の設定が困難であることは理解するが、事業アウトカムの達成を客観的に評価できる基準のようなものが設定されるとよい。
- (B委員) ロードマップの策定や改定をより適切なものとしていくために、特に低レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発項目の設定に関する説明性を高めていくことが重要であると考えられる（評価項目 2 の【問題点・改善すべき点】参照）（評価基準 5-1）。
- (C委員) 特になし。
- (D委員) 特になし。
- (E委員) 研究内容が大きく複雑であるため、研究項目ごとの関係性、他研究との関係性がわかりやすく説明されることが望ましい。

6. 費用対効果の妥当性

費用対効果の客観的指標として、事業アウトプットでは、学術論文等の外部発表数、事業アウトカムでは、成果の活用見込みや一般向けの理解促進活動でのアンケート結果が根拠となっており、概ね妥当である。工学的な実施項目が多くあるため、基礎研究より費用が高くなっていること、設定した目標に対して支障なく達成していること、多くの学会発表や論文公表も行っていること、他分野・産業界への波及効果も含めて成果を上げていることを踏まえると、費用対効果については妥当である。

ただし、元々当該プログラムの事業は、利益追求の民間企業が実施することに馴染まないものであるため、将来の国益としてどのくらい見込まれるかの視点（説明）が重要視されるべきである。また、費用対効果をより高めていくために、事業アウトプット指標の改善や、委託事業全体を紹介する公開の報告会の開催など、より積極的な情報発信による様々なステークホルダーからのフィードバックに基づいて計画を改善していくプロセスを構築することを期待するとともに、引き続き論文公表を積極的に行う努力を望みたい。

【肯定的意見】

- （A委員）当該プログラムの費用対効果の客観的指標として、事業アウトプットでは、学術論文等の外部発表数、事業アウトカムでは、成果の活用見込みや一般向けの理解促進活動でのアンケート結果が根拠となっており、概ね妥当と評価する。
- （B委員）両研究開発課題とも、事業アウトプットに関する定量的指標及び定性的指標に基づいて成果が明確に示され、これらが事業アウトカムに貢献していることは明らかであり、投入予定の国費総額に照らして妥当なものと判断する（評価基準 6-1）。
- （C委員）設定した目標に対して支障なく達成していることや、多くの学会発表や論文公表も行っており、費用対効果については妥当であると判断される。
- （D委員）全体的にみて、工学的な実施項目が多くあるため、基礎研究より費用が高くなっていることを考慮すれば、費用対効果は妥当であると思う。
- （E委員）事業アウトプット、事業アウトカムともに、他分野・産業界への波及効果も含めて成果を上げており、妥当である。

【問題点・改善すべき点】

- （A委員）国民に対して国費を投入することの説明責任を果たす観点から、客観的な指標により費用対効果を示すことは必要と思うが、元々当該プログラムの事業は、利益追求の民間企業が実施することに馴染まないものであるため、将来の国益としてどのくらい見込まれるかの視点（説明）が重要視されるべきではないか。
- （B委員）費用対効果をより高めていくために、事業アウトプット指標の改善や、委託事業全体を紹介する公開の報告会の開催など、より積極的な情報発信（評価項目 2 の【問題点・改善すべき点】参照）による様々なステークホルダーからのフィードバックに基づいて計画を改善していくプロセスを構築することを期待する（評価基準 6-1）。

- (C委員) 研究開発事業によっては、査読付き論文発表に必ずしも適していない事業もあることは理解できるが、論文公表は分かりやすい評価指標であるため、技術報告でも良いので、論文発表を進めることが望まれる。
- (D委員) 個々のプロジェクトで成果としての論文などが少ないものもみられるため、今後の努力を望みたい。
- (E委員) 特になし。

7. 総合評価

原子力利用の持続可能性を確保するために必須である放射性廃棄物の管理を体系的に実施するための研究開発を適切に計画、実施し、中間報告の段階でも学術的・技術的に優れた成果を挙げつつあると評価できる。また、研究開発事業の順調さが関係学会においても客観的に評価されていると考える。実施・マネジメント体制については、研究開発事業間での情報意見交換会による事業間の相互理解も取り組んでいる点も高く評価できる。以上の観点から、本複合課題プログラムの実施状況は妥当なものであると評価できる。

今後、これまでに提示した課題点を踏まえた検討を行い、プログラムをより最適なものにしていただくことを期待する。また、放射性廃棄物処分の全体的な技術体系の中で、中深度処分、地層処分、クリアランスの定着とクリアランス物のフリーリリースに向けた研究の位置づけ、研究開発項目間の連携状況、今回の研究期間で開発された技術の実用化までの段階レベルを明確にわかりやすく説明していくことが、国民の理解を深めるためには必要である。アウトカムとして掲げている「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」を実現するには、様々な個々の技術開発だけでなく、むしろ安全を担保するために必要な項目の抜けがないようすることの方が重要である。個々のプログラムは外部委員会の評価を受けながら必要な技術開発が実現されていると思うが、全体としてみた場合に何が安全につながるのかを考える必要がある。

【肯定的意見】

- (A委員) 放射性廃棄物処分事業としての基盤技術の整備・高度化を目的とする当該プログラムは、我が国の原子力発電の行く末に限らず、避けて通れない必要不可欠な研究開発課題を包含しており、最終目標が達成できるまで、国が主導的に継続して支援すべき事業であることは論を俟たない。現在の研究開発項目と実施内容は、これまでの研究実績に基づいて適切に選定・計画され、概ね当初予定通り着実に進展しており、中間報告の段階でも学術的・技術的に優れた成果を挙げつつあると評価する。
- (B委員) 上述した各評価項目に沿った評価に基づき、原子力利用の持続可能性を確保するために必須である放射性廃棄物の管理を体系的に実施するための研究開発を適切に計画、実施し、成果を挙げている本複合課題プログラムは総じて妥当なものであると評価する。
- (C委員) すべての評価項目に関して大きな問題は認められず、研究開発事業が順調に進んでいると判断される。特に重要な、研究開発の内容とアウトプットにおいては、ほとんどが設定目標に達していることに加え、多くの学会発表や論文発表を行っており、研究開発事業の順調さが関係学会においても客観的にも評価されていると考える。また、実施・マネジメント体制については、研究開発事業間での情報意見交換会による事業間の相互理解も取り組んでいる点も高く評価される。
- (D委員) 様々な項目からみても、全体的にプログラムの実施状況は妥当である。
- (E委員) 目標の達成に向けて着実に質の高い成果があげられている。

【問題点・改善すべき点】

- (A 委員) できれば、当該プログラムの各研究開発項目や成果について、放射性廃棄物処分の全体的な技術体系の中でどのような位置づけにあるのかや、この研究期間で開発された技術の達成レベル（TRL、実用化までの段階レベル）を具体的に示していただけるとよい。
- (B 委員) 本プログラムを構成している二つの研究開発課題に対し、評価項目に沿って問題点や改善すべき点を指摘した。今後、これらについて検討を行っていただき、プログラムをより最適なものとしていただくことを期待する。
- (C 委員) 全体を通しての大きな問題点や改善点は認められない。しかし、事業によっては論文発表に適していないため、発表が少ない事業が認められる。この点については、可能であれば技術報告などに投稿することにより、改善を希望する。
- (D 委員) 事業アウトカム指標が、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」となっていて、これを実現するのは、様々な個々の技術開発だけでなく、むしろ安全を担保するために必要な項目の抜けがないようすることの方が重要であると考え。この観点において、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発は、多数のプログラムからなっており、個々のプログラムは外部委員会の評価をうけながら、必要な技術開発が実現されていると思うが、全体としてみた場合に、その評価が行われていない点が気になる。今後は全体として何が安全につながるのかを考える機関などが必要であると思う。
- (E 委員) 研究内容全体の説明性をあげることで、中深度処分、地層処分、クリアランスの定着とクリアランス物のフリーリリースに向け、各研究項目が全体像の中のどこに位置づけられるのか、他のどのような研究と連携しているのかなど、明確にわかりやすく説明していくことが、国民の理解を深めるためには必要だと考えられる。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

提言	対処方針
放射性廃棄物の処分は、放射性廃棄物管理の最終点であり、原子力システム全体の在り方に影響を受けるため、原子力施設の運転や廃止措置、処理・貯蔵など上流側の様々な条件を考慮して柔軟に対応できるように研究開発項目と実施内容を設定できるような仕組みを構築していくことが重要である。調査研究から事業の実現に向けた橋渡しの事業も今後必要になると思われる。	高レベル放射性廃棄物の地層処分、低レベル放射性廃棄物の処分それぞれにおいて、原子力行政の現状を俯瞰的に把握したうえで現状の取りまとめ状況の立ち位置を確認し、それを基に研究課題を抽出することを検討していく。なお、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関しては、地層処分研究開発調整会議にて、有識者を交えた議論により俯瞰的な視点から取り組むべき課題を抽出して研究に取り組んでいるが、今後は低レベル放射性廃棄物処分についても、国が全体を俯瞰したうえで取り組むべき課題を調整する必要があると考える。 また、実施主体とコミュニケーションを図ることにより、実施主体のニーズを踏まえた課題設定を適切に行っている現状にあるが、今後は技術移転に際して国として橋渡しする場を設けることが重要であると認識している。実施方針については今後検討していく。
放射性廃棄物の処分の分野は長期にわたる研究開発が必要であるため、ゴールが見えにくいところであるが、全体研究開発の中での本プログラムの位置づけについてももう少し明確に示すべきである。また、長期にわたる事業であるため、人材育成の年次展開を示す必要がある。特に、各事業のスペシャリストだけでなく、事業全体を把握した人材の育成を進めることを望む。	ご指摘の通り、本複数課題プログラムを構成する各研究開発項目を総括した形での目標設定がわかりにくい状況であった。今後はプログラムの位置づけについて意識したうえで研究開発目標を設定していく。 また、人材育成については、本複数課題プログラムとは別の事業で人材育成プログラムを検討している状況であるが、人材育成教材やセミナーの実習教材に、本複数課題プログラムで得られた成果を活用することにより、俯瞰的な視点で物事を捉えることが出来る人材の育成を進める。
今後、コスト低減的な研究プログラムをいれることによって、技術的問題点だけでなく、コスト的問題点も切り込んでいることを国民に理解いただき、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」を目指す必要がある。	地層処分場の設計や施工技術の最適化について、これまでも研究開発を進めてきている。今後は、常に最新の科学的知見や技術を反映するとともに、DX化にも留意して研究開発事業を進める。これらの成果を体系的に取りまとめる

提言	対処方針
	ことにより、最適化に当たってコストも含め様々な要因をバランス良く検討しつつ研究開発を進める。

【各委員の提言】

- (A委員) 当該プログラムは、40年間に渡る長期の研究開発であり、明確なゴールが見えないところではあるが、今回評価の対象となっている研究期間の研究開発項目に対する全体研究開発の中での位置付けをもう少し明確に示すべきではないか。これだけ長期の研究開発になると、各研究開発項目に関連する人材育成の年次展開にも言及すべきではないか？
- (B委員) 評価項目ごとに今後の研究開発の方向性等に関する提言を述べさせていただいている。全体的に言えば、「放射性廃棄物の処分」は、「放射性廃棄物管理の最終点」であり、原子力システム全体の在り方に影響を受けるため、原子力施設の運転や廃止措置、処理・貯蔵など上流側の様々な条件を考慮して柔軟に対応できるように研究開発項目と実施内容を設定できるような仕組みを構築していくことが重要ではないかと考えられる。こうした仕組みによって、将来的には先進的原子炉や核燃料サイクルの導入も視野に入れた包括的な放射性廃棄物管理システムの構築に資する委託事業を検討するためのプラットフォームを提供できると思われる。
- (C委員) 全体を通して大きな問題は認められないため、継続して研究開発を進めて行くことを望む。また、現状取り組んでいる情報意見交換会などを通しての事業間の相互理解や過不足の把握を進めると共に、各事業のスペシャリストだけでなく、事業全体を把握した人材の育成を進めることを望む。
- (D委員) 地層処分関連は今後まだ長年の技術開発が必要な状況であり、それを担う多くの人材が必要となると考えられるが、以前に比べ研究費の削減などにより分野によっては研究者や技術者が激減している分野がある。その分野では将来的に人材不足が予想されて、人材育成の努力はされているように思えるが、まだその努力がかなり不足しているように思われる。さらなる努力をお願いしたい。
- 放射性廃棄物処分関連分野プログラムでは技術的信頼性を向上させることが主な目的となっていて、コスト低減に関するプログラムがないように思える。ただ単純なコスト削減というのであれば実施主体が実施すればよいという言い方になるが、技術革新を伴うようなコスト削減対策は国が実施していく必要を感じる。「国民の納得感」というアウトカムでは、コスト削減が重要であると考えられる。大規模な坑道掘削では多額の費用となることは明白であり、このコスト低減は重要な課題であると考えられる。坑道掘削は不均質性に大きく影響を受けるために明確な改善策はないが、この数十年間の徐々なる技術的進展によって徐々にコスト低減がなされている。これに国が積極的にかかわり研究支援することによって新たな工法の開発や改善がなされれば、研究費用に比べ建設コストが大きく低減することが期待できると思われる。すでに技術は確立されているので国が関与する必要はなく、民間の建設会社がすればよいとの意見もあるが、それではなか

なかコスト低減がなされないように思える。また、技術的信頼性の向上だけを目的とした場合に、放射性廃棄物の処分はまだまだ技術的に問題点が多くあると言っているように聞こえ、事業アウトカム指標である「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」に反するようにも思える。ここで、コスト低減的な研究プログラムをいれることによって、技術的問題点だけでなく、コスト的問題点も切り込んでいることを国民に理解をいただき、「国民の地層処分に対する納得感や安心感の醸成」をめざすことが必要であるとする。

（E委員）調査研究から実現にむけた橋渡しの事業も必要となってくると考えられる。

第3章 評価ワーキンググループの所見

1. 研究開発課題（プロジェクト）

A 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費

中間評価（2022 年度）

所見	対処方針

中間評価（2019 年度）

所見	対処方針
コメントなし	—

中間評価（2016 年度）

所見	対処方針
極めて重要な調査事業であり、定められた事業期間内に着実に目標を達成すること。	事業化に向けた研究成果を積み重ねることにより、目標が達成できるように研究開発を着実に進めていく。

中間評価（2013 年度）

所見	対処方針
管理型処分における持続的な管理の課題について、技術的な側面に加えて、制度、事業者による事業の継続体制なども含めて取組を進めることが必要である。	管理型処分における持続的な管理の課題については、制度面については規制庁の動向を考慮しつつ、研究開発事業として今度重要となる長期モニタリング技術に関連する研究開発を進めていく。開発した技術の実用化の見通しがおおむね得られた段階で事業者による事業の継続についても検討していく。

B 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費

中間評価（2022 年度）

所見	対処方針

中間評価（2019 年度）

所見	対処方針
アウトカム目標に向けて一般向けの理解を得る努力を今後も続けること。	今後も当該プロジェクトで得られた成果を活用しつつ全国での対話活動等を継続し、理解獲得に向けて尽力する。なお、対話型説明会の年度ごとの満足度推移が 2019 年度までは 36.5%程度であったのに対し、2020 年度以降は 52～55%で推移しており、徐々に説明会に対する満足度が高まっている。引き続き地道な広報活動の継続、積極的な学会発表や論文投稿を進め、理解促進、技術の信頼性向上を図っていく。

中間評価（2016 年度）

所見	対処方針
全体としては極めて重要で、国として遂行すべきプロジェクトであるので、技術的内容を着実に進展させてその目標を達成すること。	本プログラムは国が責任を持って進めることが重要であり、今後も資金を効果的に活用して研究開発を着実に進めていく。
目標の一つである安全性については、技術的に予測可能な将来についても、評価をしておくこと。	技術的に予測可能な将来についての安全性評価に係る研究開発を引き続き実施していくとともに、その不確実性の幅についても評価できるように研究開発を進めていく。
信頼性、安心を含めた国民の理解は、必ずしも技術開発だけで得られるものではないことに留意しつつ、対応を丁寧に行うこと。	近い将来に予定している地層処分に関する地域の科学的な特性を示したマップの提示に伴う国民理解活動等の場を通じ、放射性廃棄物の処分に関する研究開発を国が実施することの意義や、これまで研究開発された技術と今後の課題などを国民に分かりやすく継続的に情報発信する。また、広報の効果をより高める観点から、セグメントごとに広報素材を使い分けるなど、よりきめ細かい広報を実施していく。

所見	対処方針
国内のみならず、国際的な波及効果を考えつつ、成果の有効活用を検討すること。	地層処分に係る研究開発は各国共通の課題であるので、他国の成果について最大限取り込むとともに、国際学会での情報発信などを通じ、成果の有効活用を図っていく。
アウトプットとアウトカムは距離があるため、費用対効果の尺度、評価方法を再検討すること。	費用対効果の提示方法については、従来の論文数や特許数などのアウトプット指標に加え、研究開発における目標に対しての達成度を指標化するなど、アウトプットとアウトカムの距離感を縮める工夫を検討する。

中間評価（2013 年度）

所見	対処方針
震災を踏まえた大きな変更点として、地層処分に可逆性の視点が導入された点が挙げられる。これまで、超長期の放射性廃棄物処分の安全性評価のシミュレーションについてはその手法自体が課題であったが、今後は現実には実施可能な方法により安全性評価を行うことも技術的選択肢となる。このため、可逆性を担保する技術開発の設計見直しについて、安全保障上の管理体制の整備的な視点も含めて、最終処分計画の見直しを経て本施策の技術開発事業に適切に反映させていくことが必要である。	東北地方太平洋沖地震後の情勢変化への対応と同様、個別研究開発事業の内容は十分にフレキシブルであることから、放射性廃棄物 WG での議論、今後の最終処分計画の見直しや安全保障上の管理体制の整備に関連する規制側の動向なども踏まえつつ、可逆性・回収可能性に関連する技術開発を適切な事業の中で実施していく。また、超長期の安全評価手法についても、これまで同様研究開発を進め、信頼性向上を図っていく。

2. 複数課題プログラム

中間評価（2022 年度）

所見	対処方針

中間評価（2019 年度）

所見	対処方針
アウトカム目標に近づける方策について、様々な手法等を用いて努力することを期待する。	今後も継続的に改善を重ねながら、日本全国でのきめ細やかな対話活動を続け、アウトカムに掲げる「放射性廃棄物の処分に関する国民理解の獲得・促進」の達成に向けて尽力する。加えて、「総合資源エネルギー調査会 放射性廃棄物ワーキンググループ」での議論に基づき、幅広い層に向けた新たなコミュニケーションツールも活用した情報発信の強化や「より深く知りたい」層のニーズに応じたきめ細やかな情報提供の場の構築等の取組強化などを検討していく。さらに、現在文献調査が進んでいる寿都町や神恵内村において実施されている対話の場でも地層処分技術開発の現状を説明し、文献調査実施地域の理解促進活動に役立てていく。
アウトカム目標に向けて一般向けの理解を得る努力を今後も続けること。	今後も当該複数課題プログラムで得られた成果を活用しつつ全国での対話活動等を継続し、理解獲得に向けて尽力する。なお、高レベル放射性廃棄物関連については、対話型説明会の年度ごとの満足度推移が2019年度までは36.5%程度であったのに対し、2020年度以降は52～55%で推移しており、徐々に説明会に対する満足度が高まっている。引き続き地道な広報活動の継続、積極的な学会発表や論文投稿を進め、理解促進、技術の信頼性向上を図っていく。

中間評価（2016年度）

所見	対処方針
このプログラムは極めて重要かつ必要であるため、着実に進めていくこと。	本プログラムは国が責任を持って進めることが重要であり、今後も資金を効果的に活用して研究開発を着実に進めていく。
アウトプットとアウトカムの間には距離があるので、費用対効果の提示方法等を工夫すること。その際、目標に対しての達成度やリスク軽減への貢献度なども指標として検討すること。	費用対効果の提示方法については、従来の論文数や特許数などのアウトプット指標に加え、研究開発における目標に対しての達成度を指標化するなど、アウトプットとアウトカムの距離感を縮める工夫を検討する。
国民の理解を促進し、安全と安心を結びつける	近い将来に予定している地層処分に関する地域

所見	対処方針
ため、技術開発だけでなく他の手法も含めて対応を検討すること。	の科学的な特性を示したマップの提示に伴う国民理解活動等の場を通じ、放射性廃棄物の処分に関する研究開発を国が実施することの意義や、これまで研究開発された技術と今後の課題などを国民に分かりやすく継続的に情報発信する。また、広報の効果をより高める観点から、セグメントごとに広報素材を使い分けるなど、よりきめ細かい広報を実施していく。

中間評価（2013 年度）

所見	対処方針
施策全体として、放射性廃棄物の処分に関する合意形成プロセスを確立していく必要がある。そのためには、社会的受容性を高める研究、教育、人材育成など幅広い課題があり、他の政府機関との連携を含めて、政府全体で適切な体制をとって検討できるよう進めていくべきである。	地層処分の社会的受容性を高めるために、現在実施している放射性廃棄物 WG などの議論も踏まえ、広報・広聴活動についても見直し等を行っているところであり、今後の科学的観点からの有望地選定などの状況を踏まえつつ、人材育成の観点も含め個別研究開発事業でこれをサポートできるような取組を行っていく。合わせて関係閣僚会議なども活用し、関係省庁が連携して放射性廃棄物処分の問題に取り組む。
震災を踏まえた大きな変更点として、地層処分に可逆性の視点が導入された点が挙げられる。これまで、超長期の放射性廃棄物処分の安全性評価のシミュレーションについてはその手法自体が課題であったが、今後は現実に実施可能な方法により安全性評価を行うことも技術的選択肢となる。このため、可逆性を担保する技術開発の設計見直しについて、安全保障上の管理体制の整備的な視点も含めて、最終処分計画の見直しを経て本施策の技術開発事業に適切に反映させていくことが必要である。	東北地方太平洋沖地震後の情勢変化への対応と同様、個別研究開発事業の内容は十分にフレキシブルであることから、放射性廃棄物 WG での議論、規制サイドの検討を踏まえつつ、今後、可逆性・回収可能性に関連する技術開発を適切な事業の中で実施していく。

参考文献

- 1) エネルギー基本計画, 2021.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf
- 2) 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—(本編), NUMO-TR-20-03, 2021.
- 3) 地層処分研究開発調整会議について, 第7回地層処分研究開発調整会議 参考資料 1,
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chiso_shobun/pdf/007_s01_00.pdf
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課: 諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて(2022年度版), 2022.
<https://www2.rwmc.or.jp/publications:rwmhg2022>
- 5) 今井道男、広中良和、佐々木敏幸、藤原啓司、脇寿一、寺田賢二、須山泰宏、水成基之: 放射性廃棄物処分施設モニタリングへの分布型光ファイバセンサ適用に向けた実験的検討、土木学会論文集F2(地下空間研究), Vol. 77, No. 1, 60 - 74, 2021.
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課: 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について(2022年度版), 2022,
<https://www2.rwmc.or.jp/publications:hlwkj2022>.
- 7) 地層処分研究開発調整会議: 地層処分研究開発に関する全体計画(平成30年度~令和4年度; 令和2年3月改訂), 2020,
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chiso_shobun/pdf/20200331_001.pdf
- 8) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課: 研究開発の現状について(経済産業省), 第7回地層処分研究開発調整会議 資料2-1, 2022.
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chiso_shobun/pdf/007_02_01.pdf
- 9) Ohta, T., Hasegawa, T., Nakata, K., Tomioka, Y., Matsumoto, T., Mahara, Y.: Optimization of a portable hollow-fiber-based device for extracting radiokrypton dissolved in deep groundwater and selection of ^{222}Rn as an indicator of Kr extraction efficiency, Journal of Hydrology, Vol. 574, 476-485, 2019.
- 10) Hasegawa, T., Nakata, K., Gwynne, R.: Measurement on Diffusion Coefficients and Isotope Fractionation Factors by a Through-Diffusion Experiment. Minerals, 11, 208.
<https://doi.org/10.3390/min11020208>, 2021.
- 11) K. Nakata, T. Hasegawa, D.K. Solomon, K. Miyakawa, Y. Tomioka, T. Ohta, T. Matsumoto, K. Hama, T. Iwatsuki, M. Ono, A. Marui: Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling, Applied Geochemistry, Volume 104, 2019, Pages 60-70, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.007>, 2019.
- 12) Mitsuguchi, M., Okabe, N., Yokoyama, Y., Yoneda, M., Shibata, Y., Fujita, N., Watanabe, T. and Saito Kokubu, Y.: $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ records in a modern coral from Rowley Shoals off northwestern Australia reflect the 20th century human nuclear activities and ocean/atmosphere circulations, Journal of Environmental Radioactivity, 235-236, 106593, 2021.

- 13) 立石良、島田耕史、清水麻由子、植木忠正、丹羽正和、末岡茂、石丸恒存)：断層ガウジの化学組成に基づく活断層と非活断層の判別：線形判別分析による試み，応用地質，Vol. 62, 104-112, 2021.
- 14) 小形学、小松哲也、中西利典：穿入蛇行河川堆積物の長石光ルミネッセンス (OSL) 年代測定：紀伊山地十津川の事例，第四紀研究，Vol. 60, 27-41, 2021.
- 15) Takayama, Y: Impact of non-linear elastic behavior on bentonite density evolution at the FEBEX, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 136, 104538, 2020.
- 16) Gens, A., Alcoverro, J., Radim, B., Hasal, M., Michalec, Z., Y. Takayama, Lee, C., Lee, J., Kim, G. Y., Kuo, C. W., Kuo, W. J., Lin, C. Y.: HM and THM interactions in bentonite engineered barriers for nuclear waste disposal, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Vol. 137, 104572, 2021.
- 17) 高山裕介、菊池広人：X線CT測定による膨潤圧試験中のベントナイトの吸水圧縮挙動の観察，土木学会論文集C（地圏工学），Vol. 77, No. 3, 302-313, 2021.
- 18) 木本和志、河村雄行、牧野仁史：粗視化分子動力学法による水和モンモリロナイトの組織構造シミュレーション，Journal of Computer Chemistry, Japan, Vol. 19, No. 2, 46-49, 2020.
- 19) Francisco, P. C. M., Matsumura, D., Kikuchi, R., Ishidera, T., Tachi, Y.: Selenide [Se(-II)] immobilization in anoxic, Fe(II)-rich environments: Coprecipitation and behavior during phase transformations, Environmental Science & Technology, 2022.
- 20) 遠藤貴志、館幸男、石寺孝充、寺島元基：デンドリマーを用いた圧縮ベントナイト中のコロイドの拡散・ろ過挙動の評価手法の構築，日本原子力学会 和文論文誌，Vol. 20, No. 1, 9-22, 2021.
- 21) Wilson, J., Bateman, K., Tachi, Y.: The impact of cement on argillaceous rocks in radioactive waste disposal system: a review focusing on key processes and remaining issues, Applied Geochemistry, 2021.
- 22) Bateman, K., Murayama, S., Hanamachi, Y., Wilson, J., Seta, T., Amano, Y., Kubota, M., Ohuchi, Y., Tachi, Y.: Evolution of the Reaction and Alteration of Mudstone with Ordinary Portland Cement Leachates: Sequential Flow Experiments and Reactive-Transport Modelling, Minerals, 2021.
- 23) Mei, H., Aoyagi, N., Saito, T., Kozai, N., Sugiura, Y., Tachi, Y.: Uranium (VI) sorption on illite under varying carbonate concentrations: Batch experiments, modeling, and cryogenic time-resolved laser fluorescence spectroscopy study, Applied Geochemistry, 2021.
- 24) Nagao, M., Sakida, S., Benino, Y., Nanba, T., Mukunoki, A., Chiba, T., Kikuchi, T., Sakuragi, T., Owada, H.: Effect of bond valence sum on the structural modeling of lead borate glass, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 592, No. 15, 121751, 2022.
- 25) Shimbashi, M., Yokoyama, S., Watanabe, Y., Sato, T., Otake, T., Kikuchi, R., Fujii, N.: Formation of natural silicate hydrates by the interaction of alkaline seepage and sediments derived from serpentinized ultramafic rocks at Narra in Palawan, the Philippines, Minerals, Vol. 10, No. 8, 719, 2020.

- 26) McGrady, J., Kumagai, Y., Watanabe, M., Kirishima, A., Akiyama, D., Kitamura, A., Kimuro, S.: The kinetics and mechanism of H_2O_2 decomposition at the U_3O_8 surface in bicarbonate solution, RSC Advances. Vol.11, No.46, pp. 28940–28948, 2021.
- 27) Watanabe, T., Kagami, S., and Niwa, M.: Geochemical and heavy mineral signatures of marine incursions by a paleotsunami on the Miyazaki plain along the Nankai-Suruga trough, the Pacific coast of southwest Japan, Marine Geology, vol.444, 106704, 2022.
- 28) Al-Shayeb, B. et al.: Clades of huge phage from across Earth's ecosystems. Nature, Vol. 578, pp. 425–444, 2020.
- 29) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成31年度放射性廃棄物共通技術調査等事業 放射性廃棄物に係る重要な基礎的技術に関する調査研究の支援等に関する業務(国庫債務負担行為に係るもの) 報告書(2021年度分), 2022.
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2021/3fy_juyokiso.pdf

成果リスト

A. 低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発委託費

(1) 地下空洞型処分調査技術高度化開発

査読付論文

- 1) 今井道夫 他：放射性廃棄物処分施設モニタリングへの分布型光ファイバセンサ適用に向けた実験的検討、土木学会論文集 F2（地下空間研究）、Vol. 77、No. 1、60 - 74、2021
- 2) Kosuke Yokozeki et al.: Dissolution Characteristics of Cement Paste Using Quick Setting Admixture for shotcrete（吹き付けコンクリートに用いる急結剤を用いたセメントペーストの溶解特性）、Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 19, 1173-1180, November 2021
- 3) Michio Imai et al.: Optical Fiber-Based Crack Monitoring on Engineered Barrier of Radioactive Waste Repository, European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM) Special Collection of 2020 Papers, Volume 2, 2021.1
- 4) 山川剛 他：吹き付けコンクリートの溶解特性に関する検討、コンクリート工学年次論文集 Vol. 41, No. 1, 2019. 7

国際学会

- 1) Yoshihiro Ito et al.: Seismic response analysis of the underground cavern type disposal facility, The proceedings of 2019 ROCK DYNAMICS SUMMIT IN OKINAWA, 2019. 5
- 2) Michio IMAI et al.: Existing crack monitoring by distributed optical fiber sensor, The proceedings of 5th Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, 2019. 8
- 3) Toshiyuki SASAKI et al.: A Study on Monitoring Program in Intermediate Depth Disposal of Low-Level Radioactive Waste, The annual Waste Management (WM) Conference 2020, 2020. 3

国内学会

- 1) 石黒健 他：ベントナイト混合土の締固め後粒子間隙構造の可視化に関する検討、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021. 9
- 2) 岩山晃大 他：堆積軟岩体の水没鉛直井における高精度地圧計測法の開発、資源・素材学会 2022 年度 春季大会、2022. 3
- 3) 丹生屋純夫 他：地下空洞型処分施設におけるモニタリング項目の計測実現性確認（5）―地下空洞型処分施設機能確認試験（その 21）―、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9
- 4) 山川剛 他：放射性廃棄物処分施設からのイオン溶出挙動に関する検討―地下空洞型処分施設機能確認試験（その 22）―、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9
- 5) 水成基之 他：地下空洞型処分施設への適用に向けた光ファイバセンサーの敷設方法と圧力計測の検討―地下空洞型処分施設機能確認試験（その 23）―、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9

- 6) 広中良和 他：実規模施設における人工ひび割れ試験時の光ファイバセンサーによるひび割れ検知ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 24）ー、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9
- 7) 伊藤喜広 他：地下水分析による中深度処分施設の機能確認方法の検討ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 25）ー、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9
- 8) 佐々木敏幸 他：光ファイバセンサー技術を活用した中深度処分施設における機能確認方法の検討（2）ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 26）ー、第 75 回土木学会年次学術講演会、2020. 9
- 9) 広中良和 他：中深度処分における機能確認方法に係る検討の概要ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 14）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 10) 丹生屋純夫 他：地下空洞型処分施設におけるモニタリング項目の計測実現性確認（3）ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 15）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 11) 森岩寛稀 他：地下空洞型処分施設におけるモニタリング項目の計測実現性確認（4）ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 16）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 12) 山川剛 他：コア分析に基づく中深度処分施設の吹付けコンクリートの変質に関する検討ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 17）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 13) 今井道男 他：実規模施設での光ファイバセンサーの適用性検討（長期連続計測）ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 18）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 14) 伊藤喜広 他：既存計測技術を活用した中深度処分施設における機能確認方法の検討ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 19）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9
- 15) 佐々木敏幸 他：光ファイバセンサー技術を活用した中深度処分施設における機能確認方法の検討ー地下空洞型処分施設機能確認試験（その 20）ー、第 74 回土木学会年次学術講演会、2019. 9

その他

- 1) 低レベル放射性廃棄物の処分に関する調査研究ー地下空洞型処分調査技術高度化開発ー、原環センター 2020 年度技術年報（2022 年 1 月発行）
- 2) 原環センターにおける中深度処分に関する研究開発について、原環センタートピックス（2021. 6. No. 138）
- 3) 低レベル放射性廃棄物の処分に関する調査研究ー地下空洞型処分施設機能確認試験ー、原環センター 2019 年度技術年報（2020 年 11 月発行）
- 4) 藤原啓司、広中良和：原環センターにおける中深度処分に関する研究開発について、2020 年度第 3 回原環センター講演会（2021 年 3 月 31 日開催）
- 5) 低レベル放射性廃棄物の処分に関する調査研究ー地下空洞型処分施設機能確認試験ー、原環センター 2018 年度技術年報（2019 年 11 月発行）

B. 高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発委託費

(1) 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発

査読付論文

- 1) Hasegawa, T.; Nakata, K.; Gwynne, R. (2021): Measurement on Diffusion Coefficients and Isotope Fractionation Factors by a Through-Diffusion Experiment. *Minerals*, 11, 208. <https://doi.org/10.3390/min11020208>.
- 2) K. Nakata, T. Hasegawa, D.K. Solomon, K. Miyakawa, Y. Tomioka, T. Ohta, T. Matsumoto, K. Hama, T. Iwatsuki, M. Ono, A. Marui (2019), Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling, *Applied Geochemistry*, Volume 104, 2019, Pages 60–70, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.007>.
- 3) Tomoko Ohta, Takuma Hasegawa, Kotaro Nakata, Yuichi Tomioka, Takuya Matsumoto, Yasunori Mahara, Optimization of a portable hollow-fiber-based device for extracting radiokrypton dissolved in deep groundwater and selection of ^{222}Rn as an indicator of Kr extraction efficiency, *Journal of Hydrology*, Volume 574, 2019, Pages 476–485

国際学会

- 1) Hasegawa, T.; Nakata, K. (2020) : Investigation on evaluation method for diffusion field –a case study in the Horonobe area–, JpGU – AGU Joint Meeting 2020.
- 2) Hasegawa, T., Nakata, K., Tomioka, Y., Ota, T., Okamoto, S., Hama, K., Watanabe, Y. and Iwatsuki, T. (2020): Multiple groundwater dating conducted at Mizunami URL, 30th Goldschmidt Conference (Goldschmidt 2020).
- 3) Y. Tanaka, T. Uda, S. Nohara, S. Okamoto (2019) : In-situ tracer experiment at underground research laboratory in Japan, The 14th International Congress On Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019).

国内学会

- 1) 長谷川琢磨、中田弘太郎(2019) : 拡散場の評価に関する検討、日本地下水学会、秋季講演会.
- 2) 中田弘太郎、長谷川琢磨、Kip Solomon(2019) : 砂岩間隙水中の溶存ヘリウムの拡散係数評価、日本地下水学会、秋季講演会.
- 3) 岡本駿一、長谷川琢磨、中田弘太郎 (2019) : 地下水年代による地下水流動モデルの校正と検証、日本地下水学会、秋季講演会
- 4) 濱田藍 (2019) : 坑道スケールの水みち割れ目とその周辺マトリクスの水理地質構造, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.
- 5) 幡谷竜太 他 (2019) : 電力中央研究所における深地層の研究施設を活用した研究開発について、日本原子力学会 2019 秋の大会
- 6) 窪田 健二, 森藤 遥平, 佐藤 礼, 山田 信人 (2020) : 弾性波トモグラフィによる花崗岩中の割れ目探査—瑞浪超深地層研究所における検討—, 公益社団法人物理探査学会第 143 回学術講演会論文集, 91–94.

- 7) 濱田藍 (2020) : 土岐花崗岩の坑道～微視スケールの水理地質構造モデルの構築, 日本応用地質学会令和 2 年度研究発表会.
- 8) 濱田藍 (2020) : 深度 300m ボーリング横坑周辺岩盤の水理地質構造, 日本地球惑星科学連合 2020 年大会.
- 9) 佐藤 菜央美ほか, 化石海水分布の把握を目的とした MT 法による三次元比抵抗分布, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 5-6 月
- 10) 岡本駿一ほか, 単一割れ目を模擬した室内トレーサー試験による割れ目内流速と収着による遅延効果の関係性の検討, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 5-6 月
- 11) 濱田藍ほか, 水みち割れ目周辺の水理地質構造および物質移行モデルの構築, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 5-6 月
- 12) 長谷川琢磨ほか, 拡散試験による分離・分別係数の評価, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, 2021 年 5-6 月
- 13) 石橋ほか, 割れ目ネットワークモデルのアップスケーリングが解析結果に及ぼす影響について, 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, 2021 年 9 月
- 14) 石橋ほか, DFN モデルの水理学的パラメータ推定手法; 説明性向上のための予察的検討, 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, 2021 年 9 月
- 15) 石橋ほか, 地上からのボーリング調査と地下坑道調査で得られる幾何学・水理学的割れ目情報の比較、応用地質学会令和 3 年度研究発表会, 2021 年 10 月
- 16) 田中靖治ほか, 花崗岩の割れ目ネットワークを対象としたトレーサー試験, 日本地下水学会 2021 年秋季講演会, 2021 年 12 月)
- 17) 杉山歩ほか, トレーサーとしての蛍光染料溶液の保存性の検証, 日本地下水学会 2021 年秋季講演会, 2021 年 12 月
- 18) 岡本駿一ほか, 破過曲線から岩石基質部の拡散と収着を評価するための検討, 日本地下水学会 2021 年秋季講演会, 2021 年 12 月
- 19) 長谷川琢磨ほか, Cl と $\delta 37\text{Cl}$ による拡散場の評価, 日本地下水学会 2021 年秋季講演会, 2021 年 12 月

その他

- 1) 長谷川琢磨 (2020) : 超深地層研究所計画 (瑞浪) 共同研究成果トピックス (電力中央研究所)、深地層の研究施設計画に関する報告会 2020、日本原子力研究開発機構.
- 2) 幡谷 竜太, 田中 靖治, 長谷川 琢磨, 窪田 健二 (2020) : 電力中央研究所における深地層の研究施設を活用した研究開発について、日本原子力学会誌、62 巻 4 号 p. 195-198.
- 3) 中山 雅, 雑賀 敦 (編) (2021) : 幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2020-042, p. 37-41. (3.1.2 項(5))
- 4) 濱田 藍 (2019) : 土岐花崗岩中の水みち割れ目とその周辺マトリクスの微細間隙構造、電力中央研究所報告、研究報告:N18004.
- 5) 雑賀 敦 (編) (2020) : 幌延深地層研究計画 平成 30 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2019-018, p. 41-44. (3.1.2 項(6))

- 6) 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター：幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究成果報告

(2) 地層処分施設閉鎖技術確証試験

国際学会

- 1) H. MATSUI, R. YAHAGI, H. ISHIZUKA & T. TOGURI: IN-SITU BACKFILLING EXPERIMENT OF THE SMALL SCALE DRIFT BY SPRAY METHOD IN MIZUNAMI UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY, JAPAN, Waste Management and the Environment X, pp.145–pp.159, 2020.
- 2) Yusuke Ozaki, Nobukatsu Miyara: Evaluation of time lapse behavior of excavation damaged zone by first arrival tomography in Horonobe underground research laboratory, The 14th SEGJ International Symposium. 18–21, October, 2021.

国内学会

- 1) 矢萩良二, 石塚光, 戸栗智仁, 松井裕哉, 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験(1) –実証試験に向けた材料、機械の選定–, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 VII-164, 2019.
- 2) 石塚光, 矢萩良二, 戸栗智仁, 松井裕哉, 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験(2) –瑞浪超深地層研究所を活用した実証試験–, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 VII-165, 2019.
- 3) 小栗光, 伊藤歩夢, 山田淳夫, 千々松正和, 川久保政洋, 阿部孝行, 撒き出し・転圧工法による坑道の埋め戻しに関する小規模施工試験, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, 2020.
- 4) 須山泰宏, 升元一彦, 栗原啓丞, 川久保政洋, 蓮井昭則, 地下環境における長距離無線伝送技術の適用性の検討, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, 2020.
- 5) 木村駿, 木野田君公, 杉田裕, 森岩寛稀, 丹生屋純夫, 志村友行, 埋め戻し材との力学的相互作用を考慮した緩衝材の膨潤挙動に関する検討, 日本原子力学会2020年春の年会, 1D-06, 2020.
- 6) 杉田裕, 武田匡樹, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康, シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価(1)FEPの整理, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D03, 2020.
- 7) 三津山和朗, 武田匡樹, 杉田裕, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康, 高橋博一, 橋本 朋子, シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価(2)シナリオ設定, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D-04, 2020.
- 8) 高橋博一, 武田匡樹, 杉田裕, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康, 三津山和朗, 橋本朋子, シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価(3)物質移行解析, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D-05, 2020.
- 9) 木村駿, 武田匡樹, 本島貴之, 壇英恵, 粘土系材料が有するEDZシーリング機能の検証(1)材料選定に資する基礎物性の取得, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D-12, 2020.
- 10) 武田匡樹, 木村駿, 本島貴之, 壇英恵, 粘土系材料が有するEDZシーリング機能の検証(2)原位置試験による透水性評価, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D-13, 2020.
- 11) 壇英恵, 本島貴之, 木村駿, 武田匡樹, 粘土系材料が有するEDZシーリング機能の検証(3)浸透流解析による透水性評価, 日本原子力学会2020年秋の大会, 1D-14, 2020.
- 12) 小栗光, 千々松正和, 川久保政洋, 地層処分における埋め戻し材料の締固め性および透水性, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-24, 2021.

- 13) 松井裕哉, 尾崎裕介, 川久保昌平, 千々松正和, 今井久, 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験 (3) -事後調査の概要-, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-36, 2021.
- 14) 川久保昌平, 千々松正和, 松井裕哉, 尾崎裕介, 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験 (4) -事後調査における室内試験結果-, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-37, 2021.
- 15) 上田祥央, 川久保昌平, 千々松正和, 松井裕哉, 尾崎裕介, 小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験 (5) -事後調査による品質管理手法等の検討-, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-38, 2021.
- 16) 山田淳夫, 伊藤歩夢, 川久保政洋, 模擬坑道を対象とした地層処分場の埋め戻し材の転圧施工試験, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-39, 2021.
- 17) 森拓雄, 丹生屋純夫, 森野弘之, 川久保政洋, 深谷正明, スクリューフィーダーによる地層処分場坑道埋め戻し技術の開発, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-40, 2021.
- 18) 白瀬光泰, 小野誠, 高尾肇, 山崎一敏, 川久保政洋, 八木啓介, 埋め戻し材ブロックに関する静的締固め試験, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-22, 2021.
- 19) 松井裕哉, 田中達也, 戸谷成寿, 奥木さくら, 橋本秀爾, 止水プラグの設計に関する数値解析的検討, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS12-14, 2021.
- 20) 壇英恵, 本島貴之, 木村駿, 武田匡樹, 粘土系材料が有するEDZのシーリング機能の検証 (4) 原位置試験および浸透流解析による透水性評価, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, 2021.
- 21) 木村駿, 武田匡樹, 本島貴之, 壇英恵, 止水プラグを対象としたベントナイト系材料の吹付け施工性確認試験 (1) 地上吹付け試験におけるベントナイトの吹付け特性データの取得, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, 2021.
- 22) 山本聖也, 長井千明, 市川恭子, 川久保政洋, 居村岳広, 堀洋一, 鉄筋を介した磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送における効率改善手法, 電子情報通信学会無線電力伝送研究会, 2022.

その他

- 1) 江藤次郎, 九州大学大学院工学研究院環境社会部門 島岡研究室主催 勉強会, 放射性廃棄物の地層処分における地中無線モニタリング技術の研究, 2019.
- 2) 江守稔, 可逆性を担保する回収可能性に関する技術的対応と性能評価に向けた工学技術の役割 ~ (2) より確からしい性能評価に向けた工学技術の役割 ~, 日本原子力学会誌, Vol. 62, No. 7, pp. 389-394, 2020.
- 3) 本島貴之, 松井裕哉, 川久保政洋, 小林正人, 市村哲大, 杉田裕: オールジャパンでとりくむ地層処分のいま, 第4回 処分場の設計と工学技術 (その2), 日本原子力学会誌 ATOMΣ, Vol. 64, No3, p. 37~41, 2022.
- 4) 雑賀 敦 (編) (2020): 幌延深地層研究計画 平成30年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2019-018 (既出)
- 5) 中山 雅, 雑賀 敦 (編) (2021): 幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2020-042 (既出)

- 6) 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター：幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究成果報告（既出）

(3) 地質環境長期安定性評価技術高度化開発

査読付論文

- 1) Minami, S., Sueoka, S., Fukuda, S., Kajita, Y., Ogita, Y., Yokoyama, T., Kagami, S. and Tagami, T. (2021): Two pulse intrusive events of the Pliocene Tanigawa-dake granites revealed from zircon U-Pb dating, *Earth, Planets and Space*.
- 2) 島田耕史・後藤 翠・丹羽正和・下茂道人(2021): 和歌山県田辺市本宮町川湯温泉周辺の露頭の赤外線画像, *地質学雑誌*.
- 3) Kawakami, T., Sueoka, S., Yokoyama, T., Kagami, S., King, G., Herman, F., Tsukamoto, S. and Tagami, T. (2021): Solidification depth and crystallization age of the Shiaidani Granodiorite: constraints to the average denudation rate of the Hida Range, central Japan, *Island Arc*, 30, e12414.
- 4) Mitsuguchi, M., Okabe, N., Yokoyama, Y., Yoneda, M., Shibata, Y., Fujita, N., Watanabe, T. and Saito Kokubu, Y. (2021): $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ records in a modern coral from Rowley Shoals off northwestern Australia reflect the 20th century human nuclear activities and ocean/atmosphere circulations, *Journal of Environmental Radioactivity*, 235–236, 106593.
- 5) 小形 学・小松哲也・中西利典 (2021): 穿入蛇行河川堆積物の長石光ルミネッセンス (OSL) 年代測定: 紀伊山地十津川の事例, *第四紀研究*, 60, p. 27–41.
- 6) 立石 良・島田耕史・清水麻由子・植木忠正・丹羽正和・末岡 茂・石丸恒存 (2021): 断層ガウジの化学組成に基づく活断層と非活断層の判別: 線形判別分析による試み, *応用地質*, 62, p. 104–112.
- 7) 末岡 茂・島田耕史・照沢秀司・岩野英樹・檀原 徹・小北康弘・平田岳史 (2021): フィッショソ・トラック熱年代解析に基づいた南九州せん断帯に分布する破碎帯の活動時期, *地質学雑誌*, 127, p. 25–39.
- 8) 小形 学・末岡 茂 (2021): 光ルミネッセンス (OSL) を用いた超低温領域の熱年代学, *RADIOISOTOPES*, 70, p. 159–172.
- 9) Yuguchi, T., Ishibashi, K., Sakata, S., Yokoyama, T., Daichi Itoh, D., Ogita, Y., Yagi, K. and Ohno, T. (2020): Simultaneous determination of zircon U-Pb age and titanium concentration using LA-ICP-MS for crystallization age and temperature, *Lithos*, 372–373, 105682.

国際学会

- 1) Fujita, N., Miyake, M., Matsubara, A., Kokubu, Y., Erickson, C., Matthias, K., Grazia, S., Dirk, M., Shimada, A. and Ishimaru, T.: The new 300 kV multi-nuclide AMS system at the Tono Geoscience Center, Japan Atomic Energy Agency, 15th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry (AMS-15), 2022.
- 2) Ogata, M., King, G. E., Herman, F., Yamada, R., Komura, K. and Sueoka, S.: Multi-OSL-thermochronometry using deep borehole core for thermal history over 0.1 Myr in Rokko Mountains, 17th International Conference on Thermochronology, 2021.

- 3) Yokoyama, T., Yuguchi, T., Sakata, S., Ishibashi, K., Ogita, Y., Ito, D., Ohno, T., Kagami, S., Mitsuguchi, T. and Sueoka, S. (2020) An analytical technique for simultaneously estimating crystallization age and temperature of zircon using LA-ICP-MS., Goldschmidt 2020, 2020.
- 4) Watanabe, T. and Asamori, K.: Dense GNSS observation at an active shear zone in southern Kyushu, southwest Japan., American Geophysical Union Fall Meeting, 2019.

国内学会

- 1) 末岡 茂・岩野英樹・檀原 徹・岡本 晃・田上高広：低温熱年代学に基づくスラブ起源流体活動に伴う熱異常検出の試み, ESR・ルミネッセンス・FT 合同研究会 2022 (金沢)
- 2) 小形 学・King, G. E.・Herman, F.・末岡 茂：大深度ボーリングコアを利用した multi-OSL 熱年代法による地殻浅部の古地温構造の復元：東濃地域における事例, ESR・ルミネッセンス・FT 合同研究会 2022 (金沢)
- 3) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将真・田上高広：北上山地における熱年代学データの解釈, ESR・ルミネッセンス・FT 合同研究会 2022 (金沢)
- 4) 南 沙樹・末岡 茂・福田将真・長田充弘・Kohn, B. P.・横山立憲・鏡味沙耶・梶田侑弥・田上高広：熱年代学的手法に基づく谷川岳地域の熱史・削剥史の推定, ESR・ルミネッセンス・FT 合同研究会 2022 (金沢)
- 5) 富岡祐一・近藤浩文・長谷川琢磨・楠原文武：Sr 安定同位体比を用いた深部流体の起源の検討、日本地下水学会 2021 年秋季講演会
- 6) 菅野瑞穂・丹羽正和・島田耕史・立石 良：断層ガウジに含まれる交換性陽イオンと全岩化学組成の関係、日本活断層学会 2021 年度秋季学術大会
- 7) 西山成哲・川村 淳・梅田浩司・後藤 翠・丹羽正和：GIS ソフトウェアを用いた地形解析による第四紀火山の火道および放射状岩脈のモデル化の検討、令和 3 年度日本応用地質学会研究発表会 (優秀講演者賞受賞)
- 8) 渡部 豪・平塚晋也・島田耕史：福島県いわき地方を対象とした S 波スプリットング解析、日本地震学会 2021 年秋季大会
- 9) 村上 理・渡部 豪：S 波スプリットング解析による御嶽山周辺の異方性構造、日本地震学会 2021 年秋季大会
- 10) 石原隆仙・細矢卓志・植木忠正・小形 学：光ルミネッセンス (OSL) 年代測定試料採取のためのボーリング調査事例、全地連 技術フォーラム 2021 Web 技術発表会
- 11) 川村 淳・JIA Hua・小泉由起子・丹羽正和・梅田浩司：火山岩岩脈分布に関するデータ収集及び予察的な解析、日本地質学会第 128 年学術大会, 2021
- 12) 野口真利江・宮本 樹・須貝俊彦・中西利典・小松哲也・杉中佑輔・遠藤邦彦：関東平野中央部、猿島台地～宝木台地の珪藻分析に基づく古環境復元、本第四紀学会 2021 年大会
- 13) 菊地悠斗・百瀬年彦・柳井清治・鴈澤好博：カリ長石の IRSL を用いた断層活動の評価、本第四紀学会 2021 年大会
- 14) 富岡祐一・近藤浩文・楠原文武・杉山 歩：地下水溶存成分を用いた深部流体の起源の整理とその判別方法の検討、H-CG23 原子力と地球惑星科学、日本地球惑星科学連合 2021 年大会

- 15) 杉山 歩・富岡祐一・平野伸一・栗田宗大：深部流体を対象とした微生物群集解析：スラブ起源水に微生物は生息しているのか？, H-CG23 原子力と地球惑星科学、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 16) 日浦祐樹・川村 淳・梅田浩司・丹羽正和：第四紀火山を対象とした GIS を用いた地形解析による放射状岩脈のモデル化の検討, H-CG23 原子力と地球惑星科学、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 17) 長田充弘・福田将真・末岡 茂・横山立憲・鏡味沙耶・仁木創太・岩野英樹・檀原 徹・小北康弘・梶田侑弥・南 沙樹・久保見 幸・大藤 茂・平田岳史・田上高広：ジルコンのマルチ年代スタンダードの可能性：東北日本仁左平層の予察分析, S-GL22 地球年代学・同位体地球科学、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 18) 丹羽正和・島田耕史・渡部 豪・後藤 翠・平塚晋也：測地・地形・地質の統合的アプローチによるひずみ集中帯における地殻の変形の可視化：南九州せん断帯における事例, S-CG50 変動帯ダイナミクス（招待講演）、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 19) 小北康弘・三戸和紗・石橋 梢・坂田周平・大野 剛・鈴木哲士・横山立憲・鏡味沙耶・長田充弘・湯口貴史：北上山地、遠野複合深成岩体の貫入・定置プロセス：ジルコンの U-Pb 年代・Ti 濃度同時分析と Hf 同位体分析からの制約, S-CG44 岩石・鉱物・資源、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 20) 立石 良・島田耕史・丹羽正和・末岡 茂・清水麻由子・菅野瑞穂・石井千佳子・石丸恒存：断層の活動性と断層ガウジの化学組成の関係：線形判別分析による試み, S-SS10 活断層と古地震、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 21) 渡部 豪・浅森浩一・島田顕臣・雑賀 敦・小川大輝・梅田浩司・後藤 翠・島田耕史・石丸恒存：南九州せん断帯における GNSS 観測（第 5 報）, S-CG50 変動帯ダイナミクス、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 22) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将真・横山立憲・鏡味沙耶・長田充弘・Kohn B. P.・田上高広：北上山地における白亜紀以降の隆起・削剥史の熱年代学的検討, S-CG47 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 23) 宮本 樹・須貝俊彦・丹羽雄一・中西利典・小松哲也：関東平野中北部における MIS 12 以降の地形形成と地殻変動推定（速報）, H-QR04 第四紀：ヒトと環境系の時系列ダイナミクス、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 24) 小形 学・King G. E.・Herman F.・末岡 茂・山田隆二・小村健太郎：大深度ボーリングコアを利用した光ルミネッセンス熱年代法による 10 万年スケールの熱履歴推定：六甲山地の事例, S-CG47 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 25) 末岡 茂・小松哲也・日浦祐樹：複数時間スケールの削剥速度データに基づいた日本列島の山地発達段階の分類, S-CG47 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、日本地球惑星科学連合 2021 年大会
- 26) 末岡 茂・河上哲生・鈴木康太・山崎あゆ・鏡味沙耶・長田充弘・横山立憲・田上高広：鮮新世～第四紀花崗岩類の形成深度・年代に基づく飛騨山脈黒部地域の削剥史（速報）, S-CG47 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、日本地球惑星科学連合 2021 年大会

- 27) 平塚晋也・浅森浩一・雑賀 敦：S波スプリッティング解析を用いたスラブ起源流体の移行経路推定の試み、S-SS11 地殻構造、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 28) 末岡 茂・菅野瑞穂・川村 淳・丹羽正和・岩野英樹・檀原 徹：熱年代解析と流体包有物分析に基づいた和歌山県本宮地域のスラブ起源熱水活動の熱的特徴、S-CG59 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 29) 後藤 翠・島田耕史・丹羽正和・照沢秀司：小断層調査に基づく高ひずみせん断帯の可視化：南九州の事例、S-GL33 日本列島および東アジアの地質と構造発達史、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 30) 川村 淳：高レベル放射性廃棄物地層処分に係る地震活動・断層運動の影響評価モデルの高度化に関する情報収集・整理の検討、H-CG28 原子力と地球惑星科学、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 31) 島田耕史・立石 良：化学組成を用いた機械学習による破碎帯活動性評価：取り組み事例の紹介、H-CG28 原子力と地球惑星科学、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 32) 立石 良・島田耕史・清水麻由子・末岡 茂・丹羽正和・石丸恒存：断層ガウジの化学組成を用いた線形判別分析による断層の活動性の推定、S-SS16 活断層と古地震、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 33) 渡部 豪・浅森浩一・島田顕臣・小川大輝・雑賀 敦・梅田浩司：南九州せん断帯における GNSS 観測（第4報）、S-SS14 地殻変動、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 34) Zwingmann, H.・丹羽正和・山口飛鳥・藤本光一郎：Constraining timing of thrust activity within the Nobeoka Thrust, SW Japan, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SGL34-P10、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 35) 日浦祐樹・小松哲也・末岡 茂・喜多村 陽・三箇智二：日本列島における数百～数千年スケールの侵食速度分布図、H-CG28 原子力と地球惑星科学、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 36) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将真・長谷部徳子・田村明弘・森下知晃・Kohn, B. P.・田上高広：東北日本弧北部における白亜紀花崗岩類の AFT 熱年代学：熱史逆解析に基づく熱史・削剥史の推定、S-CG59 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 37) 川村 淳・石丸恒存・丹羽正和・小松哲也：高レベル放射性廃棄物地層処分に係る自然現象の事例研究から影響評価までの体系化の検討、H-CG28 原子力と地球惑星科学、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 38) 小松哲也・小形 学・中西利典・川村 淳：穿入蛇行河川の過去数十万年間の平均下刻速度の推定-紀伊山地・津川の事例-、H-GM03 地形、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 39) 松四雄騎・小松哲也・末岡 茂・代永祐輔・小川由美・藤田奈津子・國分(齋藤)陽子：宇宙線生成核種を用いた海成段丘の離水年代測定：その適用性と限界、S-CG59 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、JpGU – AGU Joint Meeting 2020
- 40) 宮本 樹・須貝俊彦・木森大我・小松哲也・中西利典：複数のボーリングコアの堆積相解析に基づく古東京湾奥の MIS 6 から最終間氷期の地形発達史、H-QR06 第四紀：ヒトと環境系の時系列ダイナミクス、JpGU – AGU Joint Meeting 2020

- 41) 中西利典・小松哲也・本郷美佐緒・野口真利江・宮本 樹・木森大我・須貝俊彦：隆起・沈降境界域での地殻変動の推定技術の高度化に向けた検討：関東平野北部の事例、H-CG28 原子力と地球惑星科学、JpGU - AGU Joint Meeting 2020
- 42) 小形 学・King, G.E.・Herman, F.・末岡 茂・山田隆二・小村健太朗：Constraining thermal/denudation histories in the last 0.1 Myr using multi-OSL-thermochronometry applied to samples from deep boreholes: case studies in the Japanese Islands, S-CG59 地殻表層の変動・発達と地球年代学／熱年代学の応用、JpGU - AGU Joint Meeting 2020
- 43) 木森大我・須貝俊彦・宮本 樹・小松哲也・中西利典：関東平野中北部・宝木台地における最終間氷期以降の地形発達史、H-QR06 第四紀：ヒトと環境系の時系列ダイナミクス、JpGU - AGU Joint Meeting 2020
- 44) 伊藤大智・石橋 梢・坂田周平・横山立憲・小北康弘・八木公史・大野 剛・湯口貴史：ジルコン U-Pb 年代とチタン濃度の同時定量分析：大崩山花崗岩体への適用、日本鉱物科学会 2020 年年会
- 45) 石橋 梢・坂田周平・横山立憲・伊藤大智・小北康弘・八木公史・大野 剛・湯口貴史：ジルコンの U-Pb 年代とチタン濃度の同時取得：黒部川花崗岩体，土岐花崗岩体，遠野複合深成岩体を用いたアプローチ、日本鉱物科学会 2020 年年会
- 46) 小北康弘・湯口貴史：北上山地，遠野複合深成岩体の鉄チタン酸化鉱物の離溶組織と化学組成、日本鉱物科学会 2020 年年会
- 47) 濱田崇臣・楠原文武・濱田 藍・大山隆弘：風化を模擬した溶解実験による砂岩・泥岩の組織変化の特徴、日本応用地質学会 令和2年度研究発表会
- 48) 丹羽正和・島田耕史・後藤 翠・照沢秀司：地形的に不明瞭な活構造帯を把握するための地質学的手法の検討：南九州せん断帯における事例、日本応用地質学会 令和2年度研究発表会
- 49) 福田将真・末岡 茂・菅野瑞穂・Barry Kohn・田上高広：ジルコン (U-Th)/He 法の年代標準試料の探求：仁左平デイスাইトにおける年代学的検討、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2020 年度合同研究会
- 50) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将真・横山立憲・鏡味沙耶・長田充弘・田上高広：アパタイトフィッション・トラック熱年代学に基づく北上山地の剝削史の推定、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2020 年度合同研究会
- 51) 宮本 樹・須貝俊彦・小松哲也・中西利典・丹羽雄一・日浦祐樹：関東平野中央部における最終間氷期海成層の高度分布、日本地理学会 2021 年春季学術大会
- 52) 渡部 豪・雑賀 敦・浅森浩一・小川大輝・島田顕臣・梅田 浩司：九州南部のせん断帯における GNSS 観測（第3報）、SSS16-P22、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 53) 立石 良・島田耕史・植木忠正・清水麻由子・小松哲也・末岡 茂・丹羽正和・安江健一・石丸恒存：断層ガウジの化学組成を用いた多変量解析による断層活動の有無の推定、SSS15-P27、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 54) 丹羽正和・島田耕史：石英の水和反応に関する水熱実験：自然現象に対する新たな年代測定手法の開発に向けて、HCG31-P03、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 55) 小形 学・King Georgina・Herman Frédéric・末岡 茂：Multi-OSL 熱年代法による土岐花崗岩体の 10 万年スケールの熱履歴推定、SGL27-03、日本地球惑星科学連合 2019 年大会

- 56) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将眞・長谷部徳子・田村明弘・森下知晃・Kohn Barry・横山立憲・田上高広：東北日本弧前弧域における熱年代学的研究、SGL27-P07、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 57) 中西利典・小松哲也・小形 学・細矢卓志・加賀 匠：内陸部での河川下刻速度推定技術の高度化に向けた検討―紀伊半島十津川流域を例に一、HCG31-P02、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 58) 横山立憲、三ツ口丈裕、末岡 茂：地質環境長期安定性に関する研究と LA-ICP 質量分析法による年代測定、日本地球惑星科学連合 2019 年大会、SGL27-P01. (招待講演)、日本地球惑星科学連合 2019 年大会
- 59) 渡部 豪・浅森浩一：南九州せん断帯の GNSS 観測と数値モデリング、S03P-12、日本地震学会 2019 年度秋季大会
- 60) 小松哲也・末岡茂・丹羽正和・石丸恒存：隆起・侵食に関する調査・評価技術の高度化に向けた原子力機構の取り組み、R24-0-3、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 61) 河上哲生・末岡 茂・田上高広：飛驒山脈黒部地域に産する花崗岩類の固結圧力の推定、R1-P-3
- 62) 小松哲也・末岡 茂・日浦祐樹・喜多村陽・三箇智二：日本列島における削剥速度データの編集、R15-P-2、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 63) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将眞・長谷部徳子・田村明弘・森下知晃・田上高広：熱年代学に基づく東北日本弧前弧域の熱史・削剥史の推定、R15-P-3、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 64) 佐々木亮道・小松哲也・三輪敦志・照沢秀司・楮原京子・比嘉咲希：南九州せん断帯におけるリニアメントの分布、R15-P-16、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 65) 島田耕史・後藤 翠・佐々木亮道・照沢秀司・小松哲也：九州南部のせん断帯におけるリニアメント分布の方位統計学的検討の試み、R15-P-17、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 66) 比嘉咲希・照沢秀司・丹羽正和・島田耕史・小松哲也：活断層地形が不明瞭なせん断帯における力学的影響範囲の検討：南九州せん断帯の例、R15-P-18、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 67) 代永佑輔・佐野直美・雨宮浩樹・丹羽正和・安江健一：北海道幌延地域を事例とした EPMA を用いた後背地解析、日本地質学会第 126 年学術大会、R9-P-6、日本地質学会第 126 年学術大会、2019.
- 68) 濱田崇臣・清水洋平・濱田 藍・楠原文武・大山隆弘：風化を模擬した溶解実験による砂岩・泥岩・溶結凝灰岩の組織変化、P26
- 69) 末岡 茂・島田耕史・菅野瑞穂・横山立憲：原子力機構における FT および(U-Th)/He 分析施設の現状と展望、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2019 年度合同研究会
- 70) 小形 学・小松哲也・中西利典：環流旧河谷の旧河床堆積物を対象とした post-IR IRSL 年代測定：紀伊山地における事例、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2019 年度合同研究会
- 71) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将眞・長谷部徳子・田村明弘・森下知晃・Barry P. Kohn・田上高広：熱年代学を用いた北上山地の隆起・削剥史の推定、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2019 年度合同研究会

- 72) 菊地悠斗・柳井清治・百瀬年彦・鴈澤好博：断層帯カリ長石の IRSL、ESR 応用計測研究会・ルミネッセンス年代測定研究会・フィッション・トラック研究会 2019 年度合同研究会
- 73) 宮本 樹・須貝俊彦・木森大我・小松哲也・中西利典：鬼怒川低地帯南部で掘削された複数のボーリングコアに基づく堆積相解析と第四紀後期の古地理変遷, P182、日本地理学会 2020 年春季学術大会

その他

○査読無論文

- 1) 中西利典・小松哲也・小形 学・川村 淳・安江健一(2022)：熊野川中流部における環流旧河谷の堆積過程の検討, 号外地球「基礎データから考える第四紀学の新展開」特集号.
- 2) 福田将真・末岡 茂・菅野瑞穂・Kohn, B・田上高広 (2021)：ジルコン(U-Th)/He 法の年代標準試料の探求：仁左平デイサイトにおける年代学的検討, フィッション・トラックニュースレター.
- 3) 梶田侑弥・末岡 茂・福田将真・横山立憲・鏡味沙耶・長田充弘・田上高広 (2021)：アパタイトフィッション・トラック熱年代学に基づく北上山地の削剥史の推定, フィッション・トラックニュースレター.
- 4) 南 沙樹・長田充弘・末岡 茂・福田将真・梶田侑弥・小北康弘・横山立憲・鏡味沙耶・田上高広 (2021)：ジルコン U-Pb 年代測定による谷川岳地域に露出する中新世～鮮新世花崗閃緑岩の貫入年代の推定, フィッション・トラックニュースレター.
- 5) 末岡 茂・島田耕史・菅野瑞穂・横山立憲 (2020)：原子力機構における FT および(U-Th)/He 分析施設の現状と展望, フィッション・トラックニュースレター, 33, p. 15-18.
- 6) 梶田侑弥・福田将真・末岡 茂・長谷部徳子・田村明弘・森下知晃・Kohn, B. P.・田上高広 (2020)：熱年代学を用いた北上山地の隆起・削剥史の推定, フィッション・トラックニュースレター, 33, p. 28-30.
- 7) 石丸恒存 (2020)：【研究所からの報告】日本原子力研究開発機構東濃地科学センター土岐地球年代学研究所の概要と現況, 地質と調査, 155, p. 61-66.

○研究開発報告書

- 1) 後藤 翠・佐々木亮道・小松哲也・三輪敦志・照沢秀司・楮原京子・島田耕史：断層変位地形が不明瞭なひずみ集中帯におけるリニアメントカタログの作成ー南九州せん断帯における事例ー, JAEA-Research 2020-013, 88p.
- 2) 菅野瑞穂・末岡 茂・福田将真：東濃地科学センターにおける鉱物試料の(U-Th)/He 年代測定(He 測定編), JAEA-Testing 2020-010, 38p.
- 3) 後藤 翠・村上雅紀・酒井隆太郎・照沢秀司・末岡 茂：地震及び断層活動による二次的影響に関する知見の整理, JAEA-Review 2020-003, 60p.

○プレスリリース

- 1) 山形大学・東京大学地震研究所・日本原子力研究開発機構・(株) 蒜山地質年代学研究所・学習院大学：ジルコンの結晶化年代・温度を推定する新たな分析手法の構築～温度時間履歴が導く深成岩の冷却過程や隆起過程の調査・評価技術の高度化～（2020 年 11 月 5 日）

○受賞

- 1) 西山成哲・川村 淳・梅田浩司・後藤 翠・丹羽正和：GIS ソフトウェアを用いた地形解析による第四紀火山の火道および放射状岩脈のモデル化の検討、日本応用地質学会 令和 3 年度 研究発表会 優秀講演者賞
- 2) 丹羽正和、島田耕史、後藤 翠、照沢秀司、地形的に不明瞭な活構造帯を把握するための地質学的手法の検討：南九州せん断帯における事例、日本応用地質学会 令和 2 年度 研究発表会 優秀講演者賞

○講演、報告会、広報誌など

- 1) 渡部 豪：GPS ではかるとわかる地面の動き（令和 3 年度第 4 回サイエンスカフェ、R3/10/23）
- 2) 石丸恒存：岐阜県の大地の成り立ち（令和元年度第 2 回サイエンスカフェ、R1. 7. 20）
- 3) 國分陽子：炭素からわかるものの年代（令和元年度第 3 回サイエンスカフェ、R1. 8. 24）
- 4) 小松哲也：地形と地層から読む大地の変化（令和元年度第 4 回サイエンスカフェ、R1. 11. 30）
- 5) 藤田奈津子：超小型装置で時代の謎を解き明かす（令和元年度第 6 回サイエンスカフェ、R2. 1. 18）
- 6) 浅森浩一：地層処分の技術 I -地質環境・調査技術 06. 調査・評価技術各論－自然現象 1 火山・火成活動、深部流体（地層処分にに関する 令和元年度人材育成セミナー、R2. 1）
- 7) 幡谷竜太：地層処分の技術 I -地質環境・調査技術 07. 調査・評価技術各論－自然事象 2 隆起運動・侵食作用、断層運動（地層処分にに関する 令和元年度人材育成セミナー、R2. 1）
- 8) 幡谷竜太：地層処分の技術 I -地質環境・調査技術 08. 調査・評価技術各論－地質環境特性 1 地質・地盤（地層処分にに関する 令和元年度人材育成セミナー、R2. 1）
- 9) 丹羽正和・川村 淳・石丸恒存：地質環境の長期安定性に関する研究の現状（令和元年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会、R1. 11. 20）
- 10) 平塚晋也・雑賀 敦・浅森浩一：S 波スプリッティング解析による深部流体の移動経路推定の試み（令和元年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会、R1. 11. 20）
- 11) 後藤 翠、島田耕史：活断層地形が不明瞭な南九州せん断帯を例とした力学的影響範囲を把握する手法の検討（令和元年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会、R1. 11. 20）
- 12) 中西利典・小松哲也・小形 学：環流旧河谷を用いた河川下刻速度の推定技術の高度化に向けた研究開発（令和元年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会、R1. 11. 20）
- 13) 鏡味沙耶・横山立憲：テフロクロロジーのための LA-ICP 質量分析法による微量元素測定手法の開発（令和元年度 東濃地科学センター 地層科学研究 情報・意見交換会、R1. 11. 20）
- 14) 藤田奈津子：超小型装置で時代の謎を「解きあかす」ーテーブルトップ型・前処理フリー加速器質量分析装置（AMS）の開発ー（日本原子力研究開発機構 未来へげんき、No. 53、2019 年 6 月）
- 15) 横山立憲：‘地下水の化石’ の年代を測る（日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター 地層研ニュース 2019/5 月号、vol. 206）

- 16) 横山立憲：8-7 微小な領域を分析する手法で炭酸塩鉱物の年代を測定－地下水環境の変遷の推定に有効な年代測定手法－、原子力機構の研究開発成果 2019-20

(4) ニアフィールドシステム評価確証技術開発

査読付論文

- 1) 高山裕介, 菊池広人: X線 CT 測定による膨潤圧試験中のベントナイトの吸水圧縮挙動の観察, 土木学会論文集 Vol. 77, Issue 3, pp. 302-313, 2021.
- 2) Wilson, J., Bateman, K., Tachi, Y.: The impact of cement on argillaceous rocks in radioactive waste disposal system: a review focusing on key processes and remaining issues, Applied Geochemistry Vol. 130, No. 104979, 2021.
- 3) Fukatsu, Y., Yotsuji, K., Ohkubo, T., Tachi, Y.: Diffusion of tritiated water, $^{137}\text{Cs}^+$, and $^{125}\text{I}^-$ in compacted Ca-montmorillonite: Experimental and modeling approaches, Applied Clay Science Vol. 211, No. 106176, 2021.
- 4) Jaffe, A., . . . Amano, Y. . . . (11名): Patterns of gene content and co-occurrence constrain the evolutionary path toward animal association in CPR bacteria, mBio Vol. 12, Issue 4, No. e00521-21, 2021.
- 5) Bateman, K., Murayama, S., Hanamachi, Y., Wilson, J., Seta, T., Amano, Y., Kubota, M., Ohuchi, Y., Tachi, Y., Evolution of the Reaction and Alteration of Mudstone with Ordinary Portland Cement Leachates: Sequential Flow Experiments and Reactive-Transport Modelling, Minerals Vol. 11, Issue 9, No. 1026, 2021.
- 6) Tachi, Y., Ito, T., Gylling, B., A Scaling Approach for Retention Properties of Crystalline Rock: Case Study of the In-Situ Long-Term Sorption and Diffusion Experiment (LTDE-SD) at the Äspö Hard Rock Laboratory in Sweden, Water Resources Research, Vol. 57, Issue 11, 2021.
- 7) Mei, H., Aoyagi, N., Saito, T., Kozai, N., Sugiura, Y., Tachi, Y.: Uranium (VI) sorption on illite under varying carbonate concentrations: Batch experiments, modeling, and cryogenic time-resolved laser fluorescence spectroscopy study, Applied Geochemistry Vol. 136, No. 105178, 2021.
- 8) Soler, J.M., . . . Tachi, Y., Ito, T., . . . (他 23 名) .: Predictive modeling of a simple field matrix diffusion experiment addressing radionuclide transport in fractured rock. Is it so straightforward?, Nuclear Technology Vol. 208, Issue 6, pp. 1059-1073, 2021.
- 9) Francisco, P.C.M., Matsumura, D., Kikuchi, R., Ishidera, T., Tachi, Y., Selenide [$\text{Se}(-\text{II})$] immobilization in anoxic, Fe(II)-rich environments: Coprecipitation and behavior during phase transformations, Environmental Science & Technology, Vol. 56, Issue 5, pp. 3011-3020, 2022.
- 10) Takayama, Y: Impact of non-linear elastic behavior on bentonite density evolution at the FEBEX, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 136, 2020.
- 11) Gens, A., Alcoverro, J., Radim, B., Hasal, M., Michalec, Z., Y. Takayama, Lee, C., Lee, J., Kim, G. Y., Kuo, C. W., Kuo, W. J., Lin, C. Y.: HM and THM interactions in bentonite engineered barriers for nuclear waste disposal, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Vol. 137, 2021.

- 12) 高山裕介, 菊池広人: 塩水条件での緩衝材の力学挙動に対する弾塑性構成モデルの適用性に関する研究, 原子力バックエンド研究, vol. 27, No. 1, pp. 12-21, 2020.
- 13) Kitayama, A., Taniguchi, N., Mitsui, S., Electrochemical behavior of carbon steel with bentonite/sand in saline environment, *Materials and Corrosion* Vol. 72, issue 1-2, pp. 211-217, 2021.
- 14) 木本和志, 河村雄行, 牧野仁史: 粗視化分子動力学法による水和モンモリロナイトの組織構造シミュレーション, *Journal of Computer Chemistry, Japan* Vol. 19, Issue 2, pp. 46-49, 2020.
- 15) Ishii, T., Kawakubo, M., Kobayashi, I., Niibori, Y.: Experimental approach for understanding the dynamic behaviors of bentonite buffer piping erosion, *Mechanical Engineering Journal* Vol. 7, Issue 3, No. 19-00469, 2020.
- 16) Savage, D., Wilson, J., Benbow, S., Sasamoto, H., Oda, C., Walker, D., Kawama, D., Tachi, Y.: Using natural systems evidence to test models of transformation of montmorillonite, *Applied Clay Science* Vol. 195, No. 105741, 2020.
- 17) Meheust, R., Castelle, C.J., . . . , Amano, Y., Hug, L.A., Banfield, J.F. (9名): Groundwater Elusimicrobia are metabolically diverse compared to gut microbiome Elusimicrobia and some have a novel nitrogenase paralog, *The ISME Journal*, Vol. 14, pp. 2907-2922, 2020.
- 18) Ohkubo, T., Yamazaki, A., Fukatsu, Y., Tachi, Y.: Pore distribution of compacted Ca-montmorillonite using NMR relaxometry and cryoporometry: Comparison with Na-montmorillonite, *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 313, No. 110841, 2021.
- 19) 遠藤貴志, 館幸男, 石寺孝充, 寺島元基: デンドリマーを用いた圧縮ベントナイト中のコロイドの拡散・ろ過挙動の評価手法の構築, *日本原子力学会 和文論文誌*, Vol. 20, No. 1, pp. 9-22, 2021.
- 20) Yotsuji, K., Tachi, Y., Sakuma, H., Kawamura, K.: Effect of interlayer cations on montmorillonite swelling: Comparison between molecular dynamic simulations and experiments, *Applied Clay Science*, Vol. 204, No. 106034, 2021.
- 21) Benbow, A., Kawama, D., Takase, H., Shimizu, H., Oda, C., Hirano, F., Takayama, Y., Mihara, M., Honda, A., A coupled modeling simulator for near-field processes in cement engineered barrier systems for radioactive waste disposal, *Crystal* Vol. 10, Issue 9, No. 767, 2020.
- 22) Savage, D., Wilson, J., Benbow, S., Sasamoto, H., Oda, C., Walker, D., Kawama, D., Tachi, Y.: Natural systems evidence for the effects of temperature and the activity of aqueous silica upon montmorillonite stability in clay barriers for the disposal of radioactive wastes, *Applied Clay Science*, Vol. 179, No. 105146, 2019.
- 23) Francisco, P.C.M., Mitsui, S., Ishidera, T., Tachi, Y., Doi, R., Shiwa, H.: Interaction of Fe(II) and Si under anoxic and reducing conditions: Structural characteristics of ferrous silicate co-precipitates, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 270, pp. 1-20, 2019.

- 24) Al-Shayeb.,, Amano, Y.,, Banfield, J.F. (45 名) : Clades of huge phage from across Earth's ecosystems. *Nature*, Vol. 578, pp. 425-444, 2020.
- 25) Sugiura, Y., Tomura, T., Ishidera, T., Doi, R., Francisco, P.C.M., Shiwaku, H., Kobayashi, T., Matsumura, D., Takahashi, Y., Tachi, Y. : Sorption behavior of selenide on montmorillonite, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 324, pp. 615-622, 2020.

国際学会

- 1) Shinya TACHIBANA, Daisuke HAYASHI, Tomoko ISHII, Tomohide Takeyama and Atsushi IIZUKA : Numerical study on the axial and radial swelling behaviors of unsaturated compacted bentonite, *GEOMATE 2021* (2021.11 発表)
- 2) Metcalfe, R., Kawama, D., Benbow, S.J., Tachi, Y., Evolution of radionuclide transport and retardation processes in uplifting crystalline rocks. *TransRet2020* (2021.10 発表)
- 3) Fukatsu, Y., Tachi, Y., Investigation of the effect of biotite distribution on anion diffusion in crystalline rock, *AGU 2021 Fall Meeting* (2021.12 発表)
- 4) Kimuro, S., Suzuki, S., Tachi, Y. : Determination of the apparent complexation constants of deep groundwater humic acid with Zr (IV) by CE-ICPMS, *PACIFICHEM2021* (2021.12 発表)
- 5) Anraku, S., Sato, H., Walker, C., Amano, Y., Sakurai, A., Nakayama, M., Tachi, Y. : In situ interactions of concretes with mudstones from Horonobe URL, 4th Asian Clay Conference (ACC 2020) (2020.6 発表)
- 6) Iwata, H., Sekine, N., Mitsui, S. : Effects of steel overpack on aqueous alteration of vitrified high-level radioactive waste, *GLASS MEETING 2020* (2020.12 発表)
- 7) Francisco, P.C.M., Matsumura, D., Kikuchi, R., Ishidera, T., Tachi, Y. : Selenide [Se(-II)] retention and mobilization in anoxic, iron-rich environments: Impacts of iron phase precipitation and transformation, *AGU Fall Meeting 2020* (2020.12 発表)
- 8) Tachi, Y., Ito, T., Fukatsu, Y., Akagi, Y., Satoh, H., Hu, Q., Martin, A.J. : Realistic modeling approach for tracer migration and retention in fractured crystalline rocks from the Grimsel Test Site, *AGU Fall Meeting 2020* (2020.12 発表)
- 9) Y. Takayama: Thermal hydraulic mechanical coupled simulation of FEBEX, *DECOVALEX 2019 Symposium on Coupled Processes in Radioactive Waste Disposal and Subsurface Engineering Applications*, Brugg, Switzerland, 2019
- 10) Amano, Y., Beppu, H., Hirokazu, O., Taniguchi, N., Hirano, S., Matsumoto, N., Nagaoka, T. (2019) Laboratory and in-situ examinations of microbial abundance, composition and activity in compacted bentonite buffer materials. *Natural Analogue Working Group Workshops*.
- 11) Ishii, T., Kawakubo, M., Kobayashi, I., Niibori, Y. : Experimental approach for understanding the dynamic behaviors of bentonite buffer piping erosion, *ICONE 27(27th International Conference on Nuclear Engineering)*, 2019 【平成 28 年度、処分システム工学確証技術開発】

- 12) Francisco, P.C.M., Ishidera, T., Tachi, Y.: Se(-II) immobilization in Fe(II)-(hydro)oxides: Coprecipitation and post-transformation behavior, Goldschmidt 2019(2019.8 発表)
- 13) Terashima, M., Beppu, H., Endo, T., Nemoto, K., Amano, Y.: Distribution coefficients of rare earth elements to microorganisms including uncultivated species in deep sedimentary groundwater, Goldschmidt 2019(2019.8 発表)
- 14) Kimuro, S., Terashima, M., Tachi, Y., Kitatsuji, K., Miyakawa, K., Akiyama, D., Sato, N., Kirishima, A.: Thermodynamic study on complexation of deep groundwater humic acid by calorimetry, Migration 2019(2019.9 発表)
- 15) Takeda, M., Ishii, E., Ohno, H., Tachi, Y., Ito, T., Nemoto, K.: Evaluating the mass transport characteristics for fault zone in mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory, Migration 2019(2019.9 発表)
- 16) Tachi, Y., Takeda, M., Ohno, H., Ito, T., Sato, T., Nemoto, K.: In situ diffusion experiment in mudstone at the Horonobe URL: Comparative study between in situ and laboratory tests, Migration 2019(2019.9 発表)
- 17) Sasamoto, H., Arthur, R.C., Alt-Epping, P., Tachi, Y.: Sensitivity analyses of natural tracer profiles in sedimentary rocks of the Horonobe URL, Japan, Migration 2019(2019.9 発表)
- 18) Amano, Y., Beppu, H., Endo, T., Nemoto, K., Sato, T., Thomas, B.C., Banfield, J.F.: Existence and the role of subsurface biofilm in the deep sedimentary rock environment of the Horonobe area, Hokkaido, Japan. AGU 2019 (2019.12 発表)

国内学会

- 1) 松井秀岳, 増岡健太郎, 小野 誠, 石井智子, 林大介, 八木啓介: 緩衝材ブロックの製造管理を想定した X 線 CT 活用に関する基礎検討～ケイ砂分布把握の試み～, 地盤工学会研究発表会 (2021.7 発表)
- 2) 松井秀岳, 増岡健太郎, 小野 誠, 石井智子, 林大介, 八木啓介: 緩衝材ブロックの製造管理を想定した X 線 CT 活用に関する基礎検討～密度把握・推定の試み～, 土木学会全国大会 (2021.9 発表)
- 3) Mei, H., Aoyagi, N., Saito, T., Kozai, N., Tachi, Y.: A study of U(VI) sorption on illite under carbonate-rich environments: Batch experiments, TRLFS and modeling. 日本地球惑星科学連合 2021 年大会 (Web) (2021/6 発表)
- 4) 深津勇太, 石寺孝充, 舘 幸男: 圧縮ベントナイト中の複数化学種共存下での Np(V) 拡散挙動評価. 粘土科学討論会 (2021.9 発表)
- 5) 江口綾乃, 紀室辰伍, 天野由記, 舘 幸男: フミン酸共存下における幌延堆積岩への Eu の収着挙動の評価. 日本腐植物質学会大 37 回講演会 (2021.11 発表)
- 6) 太田有祐, 伊藤真司, 浅妻大樹, 橘伸也, 飯塚敦, 林大介, 石井智子: 不飽和ベントナイト供試体の吸水膨潤による隙間充填過程シミュレーション, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020

- 7) 出井俊太郎, 宮川和也, 笹本広, 舘幸男, 天野由記, Francisco, P. C. M., 杉浦佑樹, 高橋嘉夫, 北海道幌延地域における堆積岩中のセレンの存在形態, 日本地球化学会年会 (2020. 11 発表)
- 8) 橋 伸也, 伊藤真司, 田中芳典, 飯塚 敦, 石井智子, 今井政孝: 隙間充填過程を経たベントナイト緩衝材の変状シミュレーション, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019
- 9) 寺島元基, 齊藤拓巳, 赤木洋介, 遠藤貴志: Eu³⁺と地下水中溶存有機物との錯生成モデリング, 日本腐植物質学会第 35 回講演会 (2019. 9 発表)
- 10) 武井滉洋, 大窪貴洋, 舘幸男, 深津勇太: 粘土鉱物に吸着した Cs のケミカルシフトと構造の関係, NMR 討論会 2019 (2019. 12 発表)

その他

- 1) 林 大介: 緩衝材の流出現象の理解と施工技術オプションとしての基盤技術の整備, 2021 年度原環センター研究発表会 (2022/01 発表済)
- 2) プレス発表「地下深くの岩盤中の放射性物質の動きをより正確に推定する手法を構築～地層処分
の安全評価の信頼性向上に貢献～」(2021/12/15 プレス発表・レク, 茨城新聞・電気新聞・日
刊工業新聞に記事掲載)
- 3) Soler, J. M., . . . Tachi, Y., Ito, T. . . . (32 名): Evaluation report of Task 9B based
on comparisons and analyses of modelling results for the Äspö HRL LTDE-SD experiments,
SKB Technical Report TR-20-17 (2021. 7 公開)
- 4) Soler, J. M., . . . Fukatsu, Y., Ito, T., Tachi, Y., . . . (25 名): Evaluation report of
Task 9C based on comparisons and analyses of modelling results for the ONKALO REPRO-
TDE experiments, SKB Technical Report TR-21-09 (2021. 11 公開)
- 5) 鈴木英明, 高山裕介: ニアフィールドにおける過渡期の熱-水-応力連成挙動に及ぼす緩衝材の
密度変化の影響評価, JAEA-Research 2020-015, 2020.
- 6) Gens, A., Alcoverro, J., Radim, B., Hasal, M., Michalec, Z., Y. Takayama, Lee, C.,
Lee, J., Kim, G. Y., Kuo, C. W., Kuo, W. J., Lin, C. Y.: DECOVALEX-2019 Task D: INBEB
Final Report, LBNL-2001267. Lawrence National Berkeley Laboratory, 2020.
- 7) 杉田裕, 菊池広人, 星野笑美子: 幌延深地層研究計画で得られた掘削土を用いた埋め戻し材の
特性試験, JAEA-Data/Code 2020-017, 2020.
- 8) 高山裕介: 最新の安全評価のための取り組み, 地層処分事業における技術人材の育成『2019 年
度人材育成セミナー』, 2020.

(5) 沿岸部処分システム評価確証技術開発

査読付論文

- 1) Matsumoto, S., Machida, I., Hebig, K. H., Zeilfelder, S., Ito, N. (2020): Estimation of very slow groundwater movement using Single-Well Push-Pull test, *Journal of Hydrology*, 591, 1–10.
- 2) 丸井敦尚, 町田功, 井川怜欧 (2021) :沿岸域における深層地下水の研究とその社会的な役割, *シンセシオロジー*, 13 (1), 17–28.
- 3) Nakata, K., Hasegawa, T., Solomon, D.K., Miyakawa, K., Tomioka, Y., Ohta, T., Matsumoto, T., Hama, K., Iwatsuki, T., Ono, M., Marui, A. (2019): Degassing behavior of noble gases from groundwater during groundwater sampling, *Applied geochemistry*, 104, 60–70.
- 4) Ohta, T., Hasegawa, T., Nakata, K., Tomioka, Y., Matsumoto, T., Ono, M., Mahara, Y. (2019): Optimization of a portable hollow-fiber-based device for extracting radiokrypton dissolved in deep groundwater and selection of ^{222}Rn as an indicator of Kr extraction efficiency, *Journal of Hydrology*, 574, 476–485.

国際学会

- 1) Ohta, T., Hasegawa, T., Mahara, Y., Marui, A. (2019): Estimation of initial $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ ratio for groundwater dating – case study for coastal zone in Japanese island –, 2nd International conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC2019).
- 2) Hasegawa, T., Nakata, K., Tomioka, Y., Ohta, T., Marui, A., Machida, I., Ikawa, R., Ono, M., Matsumoto, Y. (2019): Stability of deep groundwater at costal area in Japan, *Goldschmidt2019*.
- 3) Ohta, T., Hasegawa, T., Nakata, K., Tomioka, Y., Jiang, W., Lu, Z-T., Yang, G-M. (2019): Study of groundwater mobility using $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ and $^{81}\text{Kr}/\text{Kr}$ tracers for the assessment of deep geological repository in Japan, *AGU Fall Meeting*.
- 4) Machida, I., Ikawa, R., Ono, M., Marui, A. (2019): Configurations of freshwater, brackish water and saltwater in two coastal zones. The 16th Natural Analogue Working Group.

国内学会

- 1) 村中康秀, 金子智英, 綿野哲寛, 岡 智也, 伊藤 彰, 小野昌彦, 丸井敦尚 (2021) :駿河湾における富士山からの海底湧出地下水 (Ⅷ), 日本地球惑星科学連合 2021 年大会.
- 2) 佐藤稔, 西本壮志, 青木稔 (2022) 塩水環境下における緩衝材中のオーバーパック変位挙動に関する遠心力模型実験, 第 48 回岩盤力学に関するシンポジウム.
- 3) 富岡祐一, 長谷川琢磨, 太田朋子, 井川怜欧, 小野昌彦, 松本親樹 (2020) :浜里 DD-1 孔における pH, 酸化還元電位の原位置計測と溶存成分を用いた推定計算の事例, 地下水学会秋季学術講演会.
- 4) 村中康秀, 神谷貴文, 岡智也, 岡田裕史, 小野昌彦, 丸井敦尚 (2020) :駿河湾における富士山からの海底湧出地下水 (Ⅶ), 日本地球惑星科学連合 2020 年大会.

- 5) 幡谷竜太, 濱田崇臣, 清水洋平 (2019): 陸域からの外挿による沿岸海域の後期更新世の隆起量評価とその不確実性. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.
- 6) 長谷川琢磨, 中田弘太郎, 富岡祐一, 太田朋子, 丸井敦尚, 町田功, 井川怜欧, 小野昌彦, 松本親樹 (2019): 沿岸部における地下水流動性の地下水年代測定による調査. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.
- 7) 太田朋子, 長谷川琢磨, 馬原保典 (2019): 沿岸深部地下水中の放射性ヨウ素・マルチ同位体情報を基にしたバックグラウンド $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 同位体比の測定, 地下水学会秋季学術講演会.
- 8) 村中康秀, 神谷貴文, 伏見典晃, 岡 智也, 小野昌彦, 丸井敦尚 (2019): 駿河湾における富士山からの海底湧出地下水 (VI), 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.
- 9) 江守稔, 川久保政洋, 小林正人, 石井智子, 林大介 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (1) 全体概要; 課題設定と研究アプローチ, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 10) 小林正人, 川久保政洋, 柴田勝志, 田上 直人, 稲葉 康介 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (2) 炭素鋼溶接部の腐食挙動に及ぼす溶液組成の影響, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 11) 石井智子, 今井政孝, 石井健嗣, 小林一三 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (3) 塩水環境下での再冠水期間における緩衝材の挙動, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 12) 小林一三, 石井健嗣, 今井政孝, 石井 智子, 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (4) 塩水環境下での緩衝材の力学挙動, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 13) 林大介, 柴田真仁, 芳賀和子, 井田雅也, 大和田仁 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (5) セメント系材料の塩水による化学変質挙動および力学特性の変化, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 14) 芳賀和子, 富田さゆり, 井田雅也, 細川佳史, 林大介, 大和田 仁 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (6) セメント系材料の化学的変質を伴う塩水浸透および鋼材腐食の予測手法の検討, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 15) 今井政孝, 前村庸之, 杉本映湖, 高尾肇, 持田泰孝, 江守稔, 石井智子 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (7) 建設・操業段階におけるニアフィールドの水理モデル化, 原子力学会 2019 秋の大会.
- 16) 高尾肇, 山崎一敏, 前村庸之, 加藤藤孝, 市川恭子, 今井政孝, 江守稔, 石井智子, 林大介 (2019): 沿岸部における地層処分のための工学技術に関する検討 (8) 処分システムの成立性の提示に係る手法の体系化に向けた試行, 原子力学会 2019 秋の大会.

特許

- 1) 吉川絵麻, 渡邊保貴: 透水評価装置, 透水評価方法. 整理番号: Q032020015, 特願 2020-192703, 提出日令和 2 年 11 月 19 日

(6) TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発

査読付論文

- 1) Oda, C., Kawama, D., Shimizu, H., T., Benbow, S., Hirano, F., Takayama, Y., Takase, H., Mihara, M., Honda, A: Modeling concrete degradation by coupled non-linear processes, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 19, pp. 1075–1087, 2021.
- 2) Shimbashi, M., Yokoyama, S., Watanabe, Y., Sato T., Otake, T., Kikuchi, R. and Fujii, N.: Formation of natural silicate hydrates by the interaction of alkaline seepage and sediments derived from serpentinized ultramafic rocks at Narra in Palawan, the Philippines, *Minerals*, 10(8), 719, 2020.
- 3) 阿部徹, 平野史生, 三原守弘, 本田明: 硝酸イオン化学的変遷挙動評価モデルの施肥由来の硝酸性窒素汚染事例への適用, *原子力バックエンド研究*, 27(1), p.3–11, 2020.
- 4) 山本修一, 佐藤伸, 志村友行, Enrique ROMERO, 西村友良, 大和田仁: サクシオン制御試験に基づくベントナイト系人工バリア材の不飽和力学特性と保水特性, *土木学会論文集 C (地圏工学)*, 75(3), p257–272, 2019.
- 5) Kobayashi, T., Sasaki, T., and Kitamura, A.: Thermodynamic interpretation of uranium(IV/VI) solubility in the presence of α -isosaccharinic acid, *The Journal of Chemical Thermodynamics*, Vol. 138, pp.151–158, 2019.
- 6) Terada, T., Tani, A. Harada, S., Satoh, H., and Hayashi, D.: Monte Carlo analysis of montmorillonite particle structures and modeling of dissolution rate reduction, *Mater. Res. Express* Vol.6, No.3, 035514, 2019.
- 7) Hayashi, D., Ida, M., Owada, H., Fujii, N. and Negishi, K.: Thermal alteration of C–S–H phase in cementitious materials, *Proceedings of the Second Annual Workshop of the HORIZON 2020 CEBAMA Project*, KIT SCIENTIFIC REPORTS 7752, pp.67–73, 2019.
- 8) Tachibana, T., Ito, S., Iizuka, A., Owada, H. and Hayashi, D.: H–M–C coupling analysis considering several scenarios of long-term alteration in cement–bentonite system, *Proceedings of the Second Annual Workshop of the HORIZON 2020 CEBAMA Project*, KIT SCIENTIFIC REPORTS 7752, pp.267–276, 2019.
- 9) Sakuragi, T. and Yamashita, Y.: Instant release fractions for ^{14}C , ^{60}Co , and ^{125}Sb from irradiated Zircaloy oxide film, *MRS Advances* 5(1–2), 9–17, 2020.

国際学会

- 1) Kikuchi, R., Sato, T., Nishiki, Y., Shimbashi, M., Fujii, N. and Kimura, Y.: Paragenesis of C–S–H and Fe-, Mg-rich smectite formed by the interaction of alkaline groundwater and ultramafic sediments, *The 4th Asian Clay Conference (ACC-2020, Online)*, 2020.
- 2) Shimbashi, M., Sato T., Yokoyama, S., Watanabe, Y. and Fujii, N.: Characterization of natural magnesium and iron silicate hydrates in Palawan, Philippines, *The 4th Asian Clay Conference (ACC-2020, Online)*, 2020.

- 3) Walker, C.S., Anraku, S., Sasamoto, H. and Mihara, M.: C(-A)-S-H gel solubility model development and its application to high content fly ash silica fume cement (HFSC), ERICA-CASH II Final Conference, Print Media Academy (PMA) Heidelberg, Germany, 2021.
- 4) Anraku, S., Walker, C.S., Oda, C., Mihara, M. and Honda, A.: Hydration and degradation of High volume Fly ash Silica fume Cement (HFSC), 15th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2019, Prague, Czech), 2019.
- 5) Walker, C.S., Anraku, S., Oda, C., Mihara, M. and Honda, A.: Formation of metal ion complexes in cementitious porewaters and leachates, 15th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2019, Prague, Czech), 2019.
- 6) Fujii, N., Yamakawa, M., Nishimura, M., Kimura, Y., Sato, T., Shimbashi, M., Satoh, H., Arcilla, C.A. and Alexander, W.R.: The Philippines International Analogue Project: An overview of the project, Natural Analogue Working Group, The 16th NAWG Workshop (NAWG-16, Yamagata, Japan), 2019.
- 7) Sato, T., Shimbashi, M., Fujii N., Yamakawa, M., Kasama, T. and Otake, T.: Bentonite-alkaline fluid interaction at bentonite deposit in Philippine: pore clogging by secondary precipitates formed from the interaction, Natural Analogue Working Group, The 16th NAWG Workshop (NAWG-16, Yamagata, Japan), 2019.
- 8) Shimbashi, M., Yokoyama, S., Watanabe, Y., Fujii, N., Yamakawa, M. and Sato, T.: Mineralogical evolution of Fe-Mg-Si phases under low-temperature, alkaline condition at Narra in Palawan, Philippines, Natural Analogue Working Group, The 16th NAWG Workshop (NAWG-16, Yamagata, Japan), 2019.
- 9) Kobayashi, M. and Kawakubo, M.: Consideration of production process about waste package in terms of productivity and quality assurance for long-term integrity, The 7th International Workshop on Long-Term Prediction of Corrosion Damage in Nuclear Waste Systems (LTC 2019, Nancy, France), 2019.
- 10) Nagao, M., Sakida, S., Benino, Y., Nanba, T., Mukunoki, A., Chiba, T., Kikuchi, T. and Sakuragi T.: Effect of bond valence sum constraints on the structural modeling of lead borate glass, The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (RACRIM13, Okinawa, Japan) , 2019.
- 11) Sakuragi T., Yamashita Y., Investigation on the instant release fractions for ¹⁴⁰C, ⁶⁰Co, and ¹²⁵Sb from irradiated Zircaloy oxide film, The 43rd Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management, October 21- 24, 2019 / Vienna International Centre, Austria, 2019.

国内学会

- 1) 石山京花, 谷秋穂, 谷秋穂, 原田周作, 八木翼: 種々の構造を有する円板粒子層中の屈曲度, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2021, 2021.
- 2) 岩田孟, 紀室辰伍, 北村暁, 宮部俊輔, 前野真実子, 田中武流, 檜枝愛美: イソサッカリン酸共存下におけるパラジウムの溶解度 (2), 日本原子力学会 2021 秋の大会発表, 2021.

- 3) 菊池亮佑, 藤井直樹, 木村志照, 佐藤努: フィリピンパラワン島ナラ地区における高アルカリ地下水と共存する火山ガラスの特徴, 粘土科学討論会 2021, 2021.
- 4) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 鉛ホウ酸塩系ガラスの逆モンテカルロ構造モデルにおける局所構造の再現性評価, 学術変革領域研究 (A)「超秩序構造が創造する物性科学」第 2 回成果報告会, 2021.
- 5) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 鉛ホウ酸塩系 RMC ガラスモデル中のヨウ素の局所構造評価, 学術変革領域研究 (A)「超秩序構造が創造する物性科学」第 3 回成果報告会, 2021.
- 6) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 鉛ホウ酸塩系ガラスモデルに固定化されたヨウ素の局所構造評価, 第 3 回放射性廃棄物固化体討論会, 2021.
- 7) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 放射性ヨウ素固定化ガラスの逆モンテカルロ構造モデルにおける局所構造評価, 第 62 回ガラスおよびフォトンクス討論会, 2021.
- 8) 紀室辰伍, 岩田孟, 江口綾乃, 西川義朗, 館幸男: IV 価テクネチウムの溶解度に及ぼす有機物影響の評価, 原子力学会 2022 年春の年会, 2022.
- 9) 大塚哲平, 桜木智史: 温度勾配下におけるジルコニウム合金被覆管中の炭素分布に及ぼす溶存酸素の影響, 日本原子力学会 2022 年春の年会, 2022.
- 10) 石山京花, 谷秋穂, 出口裕仁, 大友涼子, 原田周作, 佐藤久夫, 林大介: 球-円板混合系の平衡構造における空隙特性の定量評価, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2020, 2020.
- 11) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 鉛ホウ酸塩系ガラスにおける逆モンテカルロ構造モデルの局所構造の再現性評価, 日本セラミックス協会秋季シンポジウム, 2019.
- 12) 宮部俊輔, 前野真実子, 松原一仁, 富安かおる, 大神智有, 北村暁, 紀室辰伍: イソサッカリン酸共存下におけるパラジウムの溶解度, 日本原子力学会 2020 年秋の大会, 2020.
- 13) 八木翼, 大和田仁, 深谷正明, 志村友行, 古賀和正: TRU 廃棄物の地層処分におけるガス移行挙動, 第 36 回バックエンド夏期セミナー, 2020.
- 14) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史, 大和田仁: 鉛ホウ酸塩系ガラスの逆モンテカルロ法モデルの局所構造評価, 日本セラミックス協会 2021 年年会, 2021.
- 15) 林大介, 根岸久美, 井田雅也, 芳賀和子: セメント硬化体における熱履歴に伴うトバモライト生成条件に係る検討, 一般社団法人セメント協会 第 73 回セメント技術大会, 2019.
- 16) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史: 重金属ホウ酸塩ガラスの構造モデル化における BVS 拘束の効果, 日本セラミックス協会資源・環境関連材料部会 第 1 回資源・環境関連材料部会討論会, 2019.
- 17) 佐藤久夫, 高沢真由美, 林大介, 井田雅也: Direct observation of zeolite nucleation from compacted bentonite under hyperalkaline condition, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019.

- 18) 谷井勇太郎, 谷秋穂, 原田周作, 佐藤久夫, 林大介, 球-円板混合系の平衡構造に関する Monte Carlo 解析 - 自己配向とクラスタ形成 -, 日本混相流学会 混相流シンポジウム 2019, 2019.
- 19) 桜木智史, 植田浩義, 大和田仁: 放射性ヨウ素の固定化技術の現状と固化マトリクス特性評価, 第 35 回バックエンド夏期セミナー, 2019.
- 20) 桜木智史, 植田浩義, 山下雄生, 市川真史: 地層処分における照射済みエンドピースからの核種放出挙動評価 - (1) 安全評価における課題と試験計画の概要 -, 日本原子力学会 2019 年秋の大会, 2019.
- 21) 杉田宰, 吉岡研一, 山下雄生, 桜木 智史, 植田浩義, 市川真史: 地層処分における照射済みエンドピースからの核種放出挙動評価 - (2) 照射済みエンドピースの核種インベントリ評価 -, 日本原子力学会 2019 年秋の大会, 2019.
- 22) 小川彰一, 根岸久美, 井田雅也, 林大介, 大和田仁, 各種セメントペーストを用いた水の放射線分解による水素ガス生成の検討, 日本原子力学会 2019 年秋の大会, 2019.
- 23) 長尾正昭, 崎田真一, 紅野安彦, 難波徳郎, 棕木敦, 千葉保, 菊池孝浩, 桜木智史: 鉛ホウ酸塩系ガラスの逆モンテカルロ法構造モデル化における Bond Valence Sum 拘束の有効性, 日本セラミックス協会 第 60 回ガラスおよびフォトンクス材料討論会, 2019 .
- 24) 真崎浩一, 小坂部和也, 篠崎明, 三原守弘: 放射性廃棄物の地層処分を対象とした連成解析, COMSOL CONFERENCE 2019 TOKYO, 2019.
- 25) 北村暁, 関岡靖司: イソサッカリン酸共存下におけるパラジウムおよびスズの溶解度, 日本原子力学会 2020 年春の年会, 2020.

(7) 回収可能性技術高度化開発

国内学会

- 1) 小林正人、深地層の研究施設におけるこれまでの成果と今後の期待（原環センターにおける深地層の県施設を活用した研究開発について）、バックエンド部会企画セッション、日本原子力学会秋の大会 2019、1B-PL02、2019
- 2) 森拓雄、丹生屋純夫、小林正人、西村政典、中山雅、ベントナイトペレットによる PEM 隙間充填技術の実規模実証試験、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会 VII-137, 2019.
- 3) 磯さち恵、本島貴之、白瀬光泰、小林正人、中山雅、幌延地下 URL におけるベントナイト混合土の原位置吹付け施工試験、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会 VII-138, 2019.
- 4) 白瀬光泰、小林正人、磯さち恵、本島貴之、ベントナイト系材料を対象とした機械的除去技術（オーガ方式）の整備、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会 VII-139, 2019.
- 5) 小林正人、白瀬光泰、磯さち恵、本島貴之、ベントナイト系材料を対象とした流体的除去技術（ウォータージェット方式）の整備、令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会 VII-140, 2019.
- 6) 郷家光男、沖原光信、前村庸之、安田涼、松井裕哉、尾崎裕介、望月陽人：幌延深地層研究所を事例とした坑道周辺地質環境の長期変遷に関する予察的解析、原子力学会秋の大会 2021.

その他

- 1) 小林正人、特集：深地層の研究施設におけるこれまでの成果と今後への期待：原環センターにおける深地層の研究施設を活用した研究開発について、日本原子力学会誌 ATOM Σ , Vol. 62, No. 4, pp. 15-18, 2020.
- 2) 江守稔、可逆性・回収可能性の維持に伴う技術的対応と性能評価に向けた工学技術の役割、2019 年度原子力環境整備促進・資金管理センター研究発表会、2019.
- 3) 江守稔、可逆性を担保する回収可能性に関する技術的対応と性能評価に向けた工学技術の役割～(1)回収可能性に対する技術的対応のあり方～、日本原子力学会誌 ATOM Σ , Vol. 62, No. 6, pp. 21-25, 2020.
- 4) 山本陽一、小川祐輔、小林正人、高山裕介、西本莊志：オールジャパンでとりくむ地層処分のいま、第 3 回 処分場の設計と工学技術（その 1）、日本原子力学会誌 ATOM Σ , Vol. 64, No2, p. 41～45, 2022.
- 5) 本島貴之、松井裕哉、川久保政洋、小林正人、市村哲大、杉田裕：オールジャパンでとりくむ地層処分のいま、第 4 回 処分場の設計と工学技術（その 2）、日本原子力学会誌 ATOM Σ , Vol. 64, No3, p. 37～41, 2022.
- 6) 幌延深地層研究計画における地下施設での調査研究段階（第 3 段階：必須の課題 2015-2019 年度）研究成果報告書、JAEA-Research 2019-013
- 7) 雑賀 敦（編）（2020）：幌延深地層研究計画 平成 30 年度調査研究成果報告、JAEA-Review 2019-018（既出）
- 8) 中山 雅、雑賀 敦（編）（2021）：幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告、JAEA-Review 2020-042（既出）

- 9) 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター：幌延深地層研究計画 令和3年度調査研究成果報告（既出）
- 10) 江守稔：地層処分と可逆性・回収可能性（R&R）を考える，環境情報科学、50巻3号、pp. 53-57、2021

(8) 直接処分等代替処分技術高度化開発

査読付論文

- 1) Ishidera, T. (2021), Diffusion of acetic acid, butyric acid, and butanol in compacted montmorillonite, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Vol.330, No.1, pp.149–158
- 2) McGrady, J., Kumagai, Y., Watanabe, M., Kirishima, A., Akiyama, D., Kitamura, A., Kimuro, S. (2021), The kinetics and mechanism of H₂O₂ decomposition at the U308 surface in bicarbonate solution, *RSC Advances*. Vol.11, No.46, pp. 28940–28948
- 3) 杉田 裕, 谷口 直樹, 牧野 仁史, 金丸 伸一郎, 奥村 大成 (2020), 使用済燃料直接処分での処分容器の耐圧厚さの検討, *日本原子力学会和文論文誌* 19 巻 3 号, pp.121–135.
- 4) 北村 暁, 赤堀 邦晃, 長田 正信 (2020), 使用済燃料直接処分における放射性核種の瞬時放出率設定手法の構築, *原子力バックエンド研究* 27 巻 2 号, pp.83–93.

国際学会

- 1) Moroi, Y., Kirishima, A., Akiyama D., Sato N., Kitamura A., Kimuro S. (2019), The effect of carbonate ion on the dissolution rate of UO₂ pellet, 17th International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere, Migration 2019.
- 2) Nagaoka, T., Hirano, S., Matsumoto, N., Amano, Y. (2019), Corrosion of carbon steel in compacted bentonite buffer materials using anaerobic corrosive microbial consortium, FRC-Corrosion 2019.
- 3) Amano, Y., Beppu, H., Ono, H., Taniguchi, N., Hirano, S., Matsumoto, N., Nagaoka, T. (2019), Laboratory and in-situ examinations of microbial abundance, composition and activity in compacted bentonite buffer materials. 16th Natural Analogue Working Group Workshops.

国内学会

- 1) 小尾 繁, 牧野 仁史, 山口 正秋, 江橋 健, 高橋 博一, 土家 輝光, 三津山 和明 (2021), 超深孔処分に係る技術情報の調査, 第 37 回 バックエンド夏期セミナー
- 2) 北山 彩水, 谷口 直樹, 木村 航, 梶山 浩志 (2021), 硫化水素吹込み下での純銅の電気化学的挙動, 第 68 回 材料と環境討論会
- 3) 長田 柊平, 井上 博之, 北山 彩水, 土橋 竜太 (2020), 圧縮ベントナイト中での銅電極のカソード分極への硫化物イオンの影響, 腐食防食学会第 67 回材料と環境討論会.
- 4) 芝 知宙, 富川裕文, 山口知輝 (2020), 直接処分システムに対する地震波モニタリング情報の適用可能性評価, 第 41 回日本核物質管理学会年次大会.
- 5) 芝 知宙, 富川裕文 (2019), 使用済燃料直接処分施設に適用する保障措置・核セキュリティ技術の検討, 日本核物質管理学会第 40 回年次大会.
- 6) 諸井 悠里子, 桐島 陽, 秋山 大輔, 佐藤 修彰, 北村 暁, 紀室 辰伍 (2019), 二酸化ウランの溶解におよぼす炭酸イオンの影響評価, 日本原子力学会 2019 年秋の大会.

その他

- 1) Suyama, K., Kataoka, M., Yamamoto, K., Akie, H. (2019), Used Nuclear Fuel Criticality Safety Benchmark SiO₂ Reflector Effect: The Reflector Effect of Silicon Dioxide (SiO₂) for the Criticality Safety of Direct Disposal of Used Nuclear Fuel, NEA/NSC/R(2019)4.
- 2) 芝 知宙 (2021), 使用済燃料直接処分システムに対する地震波モニタリング情報の適用可能性評価, ISCN ニュースレター No. 0289.
(https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp_news/attached/0289.pdf) (核不拡散・核セキュリティ総合支援センターが機構の Web サイトで定期的に公開するニュースレター).