

第39回深地層の研究施設計画検討委員会 (令和7年10月20日)における中間評価の 審議検討結果について

令和7年12月8日

深地層の研究施設計画検討委員会

第4期中長期計画について

深地層の研究施設計画（幌延、抜粋）

幌延深地層研究計画（堆積岩：北海道幌延町）については、調査・研究を委託や共同研究等により重点化しつつ着実に進める。同計画では、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、**実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める。**研究の実施に当たっては、**稚内層深部（深度500m）に坑道を展開して研究に取り組むとともに、更なる国内外の連携を進め、研究開発成果の最大化を図る。**これらの研究課題については、目標期間を目途に取り組み、その上で、国内外の技術動向を踏まえて、**地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。**

深地層の研究施設計画（瑞浪、抜粋）

超深地層研究所計画については、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、有効性を確認した**モニタリングシステムを用いた地下水の調査と地上観測孔による地下水調査を環境モニタリング調査として、坑道の埋め戻し後5年程度継続して実施する。**地下水の環境モニタリング調査終了後は速やかに、**地上施設の基礎コンクリート等の撤去及び地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞を行う。**その後、用地の整地を行い、全ての作業を完了する。また、坑道埋め戻し及び地上施設の撤去等の作業に伴う研究所周辺的环境への影響の有無を確認するため、研究開始当初より実施している河川水等の水質分析及び騒音・振動測定といった**環境影響調査を継続して実施する。**

中間評価にあたっての観点

幌延深地層研究計画(評価)

【研究内容の妥当性】

- ✓ 適用した技術の適切性
- ✓ 取得データの質・量
- ✓ 結果・解釈に至るまでの論理性等

【目標の達成度】

- ✓ 成果の技術レベル
- ✓ 公表済み成果の質・量
- ✓ 科学的・技術的意義(処分事業・安全規制への貢献見込み、他分野への波及の可能性)等

超深地層研究所計画(瑞浪)(提言・所見)

- ✓ 埋め戻し後の地下水圧・水質等環境モニタリングデータの解釈への助言
- ✓ 成果の具体的な活用方策に対する助言 等

深地層研究施設計画検討委員会 委員

【委員長】

竹内 真司 (日本大学文理学部 教授)

【委員】

川村 洋平 (北海道大学大学院工学研究院 教授)

岸田 潔 (京都大学大学院工学研究科 教授)

桐島 陽 (東北大学多元物質科学研究所 教授)

児玉 淳一 (北海道大学大学院工学研究院 特任教授)

榊 利博 (ESEコンサルティングLLC 代表)

下茂 道人 (公益財団法人深田地質研究所 特別研究員)

所 千晴 (早稲田大学理工学術院 教授)

廣野 哲朗 (大阪公立大学大学院理学研究科 教授)

安原 英明 (京都大学大学院工学研究科 教授)

令和2年度以降の幌延深地層研究計画 (令和4年度～令和6年度)における 各研究課題の評価結果

課題名①:実際の地質環境における人工バリアの 適用性確認に関する評価結果

別紙 資料(幌)-1

【総括評価】

- 研究内容の妥当性については、原位置(中略)、室内試験、数値解析との間で高い整合性が確保されているほか、国際共同研究におけるベンチマークテストを通じた解析モデルの信頼性評価にも精力的に取り組んでいることから、適切に研究が実施できたと評価する。
- 目標の達成度については、(中略)処分事業に有用と考えられる新たな知見や技術を提示し(中略)ていることから、概ね目標を達成していると評価する。
- 今後は、(中略)人工バリア性能確認試験の解体試験データを活用した解析モデルの一層の検証・高度化や、有機物・微生物・コロイド影響評価を多角的に評価するための原位置試験の実施など、これまでの成果を踏まえた研究の更なる深化を期待する。

【指標別評価結果】

研究内容の 妥当性	① 適切であった 2 概ね適切であった 3 やや適切でなかった 4 適切でなかった	★★★★★★★★(8名) ★★(2名)
目標の 達成度	① 十分に目標が達成できた ② 概ね目標が達成できた 3 あまり目標が達成できなかった 4 ほとんど目標が達成できなかった	★★★★★(5名) ★★★★★(5名)

注)○の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。
評価結果が同数の場合、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

課題名②：処分概念オプションの実証に関する 評価結果

別紙 資料(幌)-2

【総括評価】

- 研究内容の妥当性については、(中略)実環境での機能・性能確認を目的とした計画・実施・評価が一体的かつ適切に行われている点が評価できる。また、(中略)現場への適用性を考慮した工学技術の高度化が進められるなど、地層処分の技術基盤を強化する上で重要かつ適切な研究内容であったと評価する。
- 目標の達成度については、各研究で得られた成果がタイムリーにまとめられ、英文4編を含む6編の学術論文として公表されていることから、目標は概ね達成できたと評価する。
- 今後は(中略)研究が本格化する「体系化」への成果反映を確実に進め、科学的根拠に基づく設計要件の体系化と、処分設計フローの合理的かつ実装可能な具体化を期待する。

【指標別評価結果】

研究内容の妥当性	① 適切であった 2 概ね適切であった 3 やや適切でなかった 4 適切でなかった	★★★★★★★(7名) ★★★(3名)
目標の達成度	1 十分に目標が達成できた ② 概ね目標が達成できた 3 あまり目標が達成できなかった 4 ほとんど目標が達成できなかった	★★(2名) ★★★★★★★(8名)

注)○の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。
評価結果が同数の場合、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

課題名③：地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 に関する評価結果

別紙 資料(幌)-3

【総括評価】

- 研究内容の妥当性については、地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握において、ダクティリティインデックス(DI)を用いた独自の予測手法が科学的根拠に基づいて提示され、その有効性も確認されている点で適切と評価できる。また、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化においても、幌延で(中略)得られた知見を基に、調査・解析・評価に至る一連の手順が体系的に構築されており、適切であると評価する。
- 目標の達成度については、上記の研究の成果として、英文13編を含む16編の学術論文が公表されていることから、目標は概ね達成できたと評価する。
- 今後は(中略)処分事業への適用を可能にするため、一般性かつ柔軟性を備えた評価手法の取りまとめとそれら成果の国内外への発信を体系化の中で進められることを期待する。

【指標別評価結果】

研究内容の 妥当性	① 適切であった 2 概ね適切であった 3 やや適切でなかった 4 適切でなかった	★★★★★★(6名) ★★★★★(4名)
目標の 達成度	1 十分に目標が達成できた ② 概ね目標が達成できた 3 あまり目標が達成できなかった 4 ほとんど目標が達成できなかった	★★★(3名) ★★★★★★★(7名)

注)○の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。
評価結果が同数の場合、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

**令和2年度以降の超深地層研究所計画(瑞浪)
の実施報告(令和4年度～令和6年度)に対する
提言・所見結果**

瑞浪の実施報告に対する提言・所見総括

別紙 資料(瑞)-1

【提言・所見総括】

- 地下水の環境モニタリング調査および研究所周辺的环境影響調査については、計画に基づいた長期的な観測が着実に実施されており、現時点においては、いずれも埋め戻しに伴う周辺環境への影響は認められていないと評価できる。
- 地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞および立坑埋め戻し面の沈下に対する対応については、それぞれ安全面に配慮した作業が適切に進められている。この内、立坑埋め戻し面の沈下に関しては、事象の発生後、速やかな対策が講じられたほか、一連の経緯を取りまとめた報告書を公表しており、透明性および信頼性の確保に向けた取り組みとして評価できる。
- 今後は、全ての作業が完了する令和9年度末に向けて、これまで以上に安全かつ着実に計画を進めるとともに、本事業を通じて得られるデータや技術的知識が科学的・技術的に極めて高い価値を有することを改めて認識し、それらの記録が地下空間利用に関する技術的遺産(レガシー)の一つとして国内外の研究者・技術者に広く継承・活用されるよう、より一層の情報の発信と知見の共有に取り組むことを期待する。

中間評価結果(全体)

中間評価結果(全体)

別紙

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画の成果(令和4年度～令和6年度)については、全体として計画通りに研究を進め、個別課題の成果を取りまとめるとともに、(中略)体系化に関する研究を推進するなど、期中の目標を概ね達成できたと評価します。今後は、幌延国際共同プロジェクトにおける国際協力の強化等を通じて、人工バリア性能確認試験の解体調査等を着実に実施するとともに、体系化研究として、一連の評価手法を実証することで、技術基盤の整備が着実に進められることを期待します。
2. 令和2年度以降の超深地層研究所計画(瑞浪)の実施内容(令和4年度～令和6年度)については、計画に沿って事業が適切に進められており、(中略)ボーリング孔の埋め戻しや立坑埋め戻し面の沈下に関する対応についても安全に作業が実施されているものと評価します。今後は、令和9年度末の全作業完了に向けて、より安全かつ着実に計画を進めるとともに、得られたデータや技術的知識が広く共有・活用されるよう、更なる情報の発信と知見の共有に取り組まれることを期待します。

2025年11月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所
所長 高田 千恵 殿

深地層の研究施設計画検討委員会
委員長 竹内真司

第4期中長期期間における深地層の研究施設計画の進捗評価結果について(報告)

貴機構より深地層の研究施設計画検討委員会に依頼がありました第4期中長期計画期間の当初3ヵ年(2022年度～2024年度)における令和2年度以降の幌延深地層研究計画の成果及び令和2年度以降の超深地層研究所計画(瑞浪)の実施内容の評価について、第39回(2025年10月20日)委員会において審議した結果を下記のとおり報告いたします。

記

1. 令和2年度以降の幌延深地層研究計画の成果(令和4年度～令和6年度)については、全体として計画通りに研究を進め、個別課題の成果を取りまとめるとともに、深度500mの調査坑道を整備しつつ国際プロジェクトの枠組みを活用し、体系化に関する研究を推進するなど、期中の目標を概ね達成できたと評価します。今後は、幌延国際共同プロジェクトにおける国際協力の強化等を通じて、人工バリア性能確認試験の解体調査等を着実に実施するとともに、体系化研究として、一連の評価手法を実証することで、技術基盤の整備が着実に進められることを期待します。個々の課題評価結果については、資料(幌)-1～3に取りまとめましたので、ご参照願います。
2. 令和2年度以降の超深地層研究所計画(瑞浪)の実施内容(令和4年度～令和6年度)については、計画に沿って事業が適切に進められおり、現時点において、埋め戻しに伴う地下水や周辺環境に対する影響が認められていないことに加え、ボーリング孔の埋め戻しや立坑埋め戻し面の沈下に関する対応についても安全に作業が実施されているものと評価します。今後は、令和9年度末の全作業完了に向けて、より安全かつ着実に計画を進めるとともに、得られたデータや技術的知識が広く共有・活用されるよう、更なる情報の発信と知見の共有に取り組まれることを期待します。個々の実施内容に関する提言・所見については、資料(瑞)-1に取りまとめましたので、ご参照願います。

以上

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題及び体系化への取組み
課題名①：実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

資料(幌)-1

【総括評価】

研究内容の妥当性については、原位置の条件を踏まえたフィールドデータ、室内試験、数値解析との間で高い整合性が確保されているほか、国際共同研究におけるベンチマークテストを通じた解析モデルの信頼性評価にも精力的に取り組んでいることから、適切に研究が実施できたと評価する。

目標の達成度については、掘削損傷領域における物質移行特性や有機物・微生物・コロイドの影響評価等に関して、処分事業に有用と考えられる新たな知見や技術を提示し、それらの成果を英文8編を含む12編の学術論文として発表していることから、概ね目標を達成していると評価する。

今後は、積極的な成果の公開を進めるとともに、人工バリア性能確認試験の解体試験データを活用した解析モデルの一層の検証・高度化や、有機物・微生物・コロイド影響評価を多角的に評価するための原位置試験の実施など、これまでの成果を踏まえた研究の更なる深化を期待する。

【評価指標別評価結果】

研究内容の妥当性	① 適切であった	★★★★★★ (8名)
	② 概ね適切であった	★★ (2名)
	③ やや適切でなかった	
	④ 適切でなかった	
目標の達成度	① 十分に目標が達成できた	★★★★★ (5名)
	② 概ね目標が達成できた	★★★★★ (5名)
	③ あまり目標が達成できなかった	
	④ ほとんど目標が達成できなかった	

注) ①の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。評価結果が同数の場合、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

【委員からのご意見等】

研究内容の妥当性について

- 計画に従って実施された。
- 熱-水-応力-化学の連成解析に関する国際共同研究において、解析技術と解析結果の妥当性を確認するなど、研究内容は適切であったと評価できる。
- 人工バリア性能確認試験と物質移行試験について現場の条件と実験・数値解析の対応付けが明確に示されており、検証設計は概ね妥当と思われる。境界条件に対する設定根拠も理解しやすい。
- 人工バリア性能確認試験において、熱-水-応力-化学連成挙動を精密に把握し、解析モデルの信頼性を国際共同研究と照らして検証している点は極めて適切である。データ取得・解析・検証の一

連の流れが明確であり、研究体制もよく整っている。

- 掘削損傷領域における物質移行、有機物・微生物・コロイドの影響評価、ブロックスケールを対象とした物質移行試験の研究細目に対して、高い妥当性をもった研究内容および成果を出しており、大いに評価できる。
- 原位置での人工バリア試験と物質移行試験を計画的に実施しており、取得データも豊富で信頼性が高い。国際共同研究による解析比較も有効で、連成モデルの検証に適している。
- 研究内容の設定はおおむね妥当であった。人工バリア性能確認試験のなかで、国際共同研究を組織したことは有意義であった。物質移行試験のなかの有機物・微生物・コロイドの影響評価については、これまでの結果を踏まえて、どのような対象に対してどのように研究を展開すべきかについて、さらに検討を深化させてほしい。
- 原位置試験（特に実規模）はそれを計画・遂行すること自体がノウハウ、高い計測・データ分析技術を要するため、試験の成功はこれらが十分であったことを示すと考えられる。また、技術者の能力・経験の向上に貢献したと考えられる。一方でデータ量に関する一つの側面として、人工バリア試験で緩衝材内側の水分や湿度についてセンサーが全滅しているようであった。確かに寿命が短いセンサーはあるが、どのセンサーが何%故障したのかや、もともと設置したものが数的にはヒーター1体に対し（諸外国と比較して）少なすぎてなかったかなどを検証してみると良い。試験の準備コストと計算コスト（さらに言えば解体コスト）に一定のバランスは常に必要ではないか（今回それに疑義を呈しているわけではない）。
- 人工バリア性能試験の解析では、DECOVALEXにおける課題として各機関との比較の中で結果の評価がなされており、今後の進展に期待ができる。物質移行試験については、物質移行評価に重要な掘削損傷領域を対象とした試験と解析が適切に行われている。

目標の達成度について

- 解析結果については、海外機関との比較を行い、妥当性の評価がなされている。今後、明らかになった課題への対応が望まれる。
- 英文8件を含む12件の学術論文を発表しており、成果のレベルや質・量ともに十分に目標を達成していると評価できる。
- 設定指標（性能・再現性）の達成が示されており、不確実性の整理も進んでいると思われる。論文等の成果発表は概ねできていると思われる。
- 連成現象の理解と解析モデルの改良に関して、当初目標を十分に達成しており、国際的な研究動向の中でも高い位置付けを確立している。今後の解体試験を通じた追加データ取得により、さらなる高度化が期待される。
- すべての項目について、粛々と進捗していると評価できる。
- 人工バリアの挙動や物質移行の把握など、所定の目標をおおむね達成している。

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題及び体系化への取組み
課題名①：実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

資料(幌)-1

- 人工バリア性能確認試験は順調に進んでおり、連成解析モデル開発に進展が見られた。今後の解体試験より得られる知見にも期待したい。トレーサーを用いた物質移行試験では掘削損傷領域においてもモデルによる移流分散の評価ができることが示され、十分な成果となった。
- DECOVALEXの対象であることから、得られたデータのレベルの高さがうかがえる。一方で、例えば、実規模人工バリア試験は諸外国でもいくつか実施済・実施中のものもあるため、それらとの目的の違い、得られた結果の共通点・相違点がわかるように比較表のようなものがあれば、成果の独自性が強調できそうである。また、解体時に何を重点的に分析するかなどを選定する際に役にたつかも知れない。
- 人工バリア試験に関して、解体試験を通じた連成モデルの検証などに期待したい。

その他、ご意見等

- 資料 39-4-1、資料 39-4-2 の項目と「課題名」との対応が分かりやすいと良い。資料 39-4-2 は、実施内容ごとに成果をまとめていただくと分かりやすい。資料作成上の要望である。
- 今後は、解体試験を通じて微視的データとの突合を行うことで、モデルの信頼性をさらに高めることが期待される。
- 委員会におけるご説明の順番・構成がこの評価シートと合っていないが、配布資料をもとに評価させていただいた。非常に多岐にわたる課題に対して、大変な尽力をなさっていることが大いに伝わってきた。
- 今後、実施項目間の連携を深めることを期待する。例えば、核種移行の関係因子として有機物を添加した系でトレーサーを用いた孔間の物質移行試験などの実施を目標とすると、「有機物・微生物・コロイドの影響評価」の項目でどのようなデータを取得する必要があるか、より議論が深まると思われる。
- 本試験の解体時には、例えば、埋め戻し材や緩衝材については、含水比、乾燥密度、飽和度などについて空間的な分布が分かるコンター図を描くに十分な数のサンプルを採取するのが望ましい。サンプル採取・分析には費用もかかるが、これまでに投じた費用・時間を考慮するとその価値は十分にあると思われる。評価と直接関係はないが、成果発表リストで（今回のような評価の対象となる際には）試験ごとに分けてあると、それぞれの試験について見やすいかと思われる。
- 引き続き、積極的な成果の公開を期待したい。
- 連成解析により人工バリアの熱 - 水 - 力学応答を整理し、適用性確認に資する知見が得られている。ただし新規な計測・解析手法を導入する余地は残る。

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題及び体系化への取組み
課題名②：処分概念オプションの実証

資料(幌)-2

【総括評価】

研究内容の妥当性については、高温条件下での人工バリア性能確認試験や閉鎖技術の実証に関わる研究を中心に、実環境での機能・性能確認を目的とした計画・実施・評価が一体的かつ適切に行われている点が評価できる。また、それらの研究を通じて、限界条件下での緩衝材の変質や物性変化に関する新たな知見が得られたほか、現場への適用性を考慮した工学技術の高度化が進められるなど、地層処分の技術基盤を強化する上で重要かつ適切な研究内容であったと評価する。

目標の達成度については、各研究で得られた成果がタイムリーにまとめられ、英文4編を含む6編の学術論文として公表されていることから、目標は概ね達成できたと評価する。

今後は、現時点で取りまとめ中の研究成果を遅滞なく公表するとともに、研究が本格化する「体系化」への成果反映を確実に進め、科学的根拠に基づく設計要件の体系化と、処分設計フローの合理的かつ実装可能な具体化を期待する。

【評価指標別評価結果】

研究内容の妥当性	① 適切であった	★★★★★★ (7名)
	2 概ね適切であった	★★★ (3名)
	3 やや適切でなかった	
	4 適切でなかった	
目標の達成度	1 十分に目標が達成できた	★★ (2名)
	② 概ね目標が達成できた	★★★★★★ (8名)
	3 あまり目標が達成できなかった	
	4 ほとんど目標が達成できなかった	

注) ○の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。評価結果が同数の場合は、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

【委員からのご意見等】

研究内容の妥当性について

- 計画に従って実施された。
- 高温条件下での原位置試験を通じて、加熱により緩衝材で生じる諸現象を明確にするなど、研究内容は適切であったと評価できる。
- 高温条件下でのバリア性能確認試験における温度・水圧分布のモニタリングは妥当で有用だと思われる。埋め戻し材の施工についての評価も有用と考えられる。
- 閉鎖技術や止水プラグ、湧水抑制対策などを実際の坑道スケールで検証しており、設計 - 施工 - 評

価を一体化した試行は妥当である。取得データの精度、施工手順、評価手法も整っており、研究内容は高く評価できる。

- すべての研究細目に対して、限られたリソースの中で高い妥当性をもった成果を出しており、大いに評価できる。
- 止水プラグや坑道閉鎖に関する実証試験は、実環境を模擬した条件で計画的に行われており、研究手法として妥当である。設計解析と施工試験を一体的に進めている点も評価できる。
- 閉鎖技術の実証や高温度の限界的条件下での人工バリア性能確認試験については、研究目的が明確で実施内容も妥当であった。
- 処分概念オプションの実証については実規模坑道閉鎖試験については事前の予備試験など段階的にステップを重ねてきており、その部分で十分な成果が上がっている。その成果をもとに実規模本試験の準備段階にあると認識している。本試験のデータ自体はこれからであるが前段階までで得られているデータ・知見は十分と考えられる。
- 操業・回収技術等については、適切に選択された手法に基づいて、評価が行われた。高温度等の限界条件下での人工バリア性能試験においも適切な手法の下、評価が行われた。

目標の達成度について

- 吹付けコンクリートの施工性や要求性能の確認がなされた。止水プラグについても同様な成果を期待します。100℃を超えた場合のオーバーパック性能が確認された。ヒーター近傍のひび割れが蒸留水、塩水のいずれも閉塞することを確認された。一方で、解析的な検証も重要である。
- 英文4件を含む6件の学術論文を発表しており、研究成果の質は適切と考える。
- 加熱試験で得られた成果を適切にまとめられており、成果としては評価できると思われる。ただし、運用面（施工性・保守性）の実証データをもう一段積み上げると良い。論文等の成果発表は概ねできていると思われる。
- 原位置試験を通じて実施工に即した知見を蓄積し、NUMOの設計体系との整合も確認されている。今後は体系化研究への橋渡しを進めることで、さらに処分概念設計への具体的貢献が期待できる。
- 全項目について、粛々と進捗していると評価できる。特に、短期的に100℃を超えた場合に緩衝材に生じる変質・人工バリアおよびその周辺に発生する現象の原位置条件での把握が完了されたのは大きな成果・達成度として評価できる。
- 処分概念オプションの主要な課題であった湧水抑制や閉鎖構造の安定性確認は概ね達成されている。100℃超条件での性能確認など、所定の目標をおおむね達成している。今後、試験結果をNUMO設計フローへ反映し、長期挙動モデルに展開することで、成果の実用性がさらに高まると考える。
- 閉鎖技術の実証については、原位置環境での吹付け試験実施や、トモグラフィを駆使したEDZの範囲や物性の調査手法整備が進み、良い成果が得られた。一方、回収技術の整備に関しては明確な成

果が分かりにくい印象を受けた。

- 成果の公表については、一部のトピックに関連するものが出てきており、これからさらに公開されてくるものと思われる。R8～の実規模閉鎖試験の建設が完了したら、比較的早い時期に試験の全体像（目的、仕様、計測項目、期間など）がわかるような論文があると情報の拡散・共有が速いと思われる。高温でのEBS性能確認試験では、海外でも岩盤、地下水、寸法、温度など異なる条件での試験が実施されている。特に高温領域では、140、175、200度などが存在するが、幌延での高温試験とこれらの事例について、目的、条件、知見などについて概略の比較表（図）があると同試験の（国際規模での）位置づけがより明確になるかと感じられた。
- 両試験とも所期の目標が達成されている。

その他、ご意見等

- 坑道設計から安全評価までの一連の流れが見えており、実用段階への橋渡しとして重要な成果を挙げている。今後も現場試験の継続が望ましい。
- テーマ中に「回収技術」とある。委員会中に少し触れたが、実際の回収作業はコンクリートプラグの解体が含まれることになるが、海外の解体事例において、地上の解体で使われるような重機を使わずに限られたスペースでコンクリート塊を壊すのは難易度が非常に高かったようである。人工バリア試験の解体ではアクセス坑道を使うためこの問題が今回は発生しないが、坑道内でのコンクリート塊の解体についてはどこかの時点で考慮されると良い。
- 埋め戻し材・止水プラグ等の施工実証と品質保証体系が整理され、処分場設計への反映可能性が示されている。一方、技術選択の根拠提示の整理があるとより良い。

令和2年度以降の幌延深地層研究計画における必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題及び体系化への取組み
課題名③：地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

資料(幌)-3

【総括評価】

研究内容の妥当性については、地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握において、ダクティリティインデックス (DI) を用いた独自の予測手法が科学的根拠に基づいて提示され、その有効性も確認されている点で適切と評価できる。また、地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化においても、幌延での地質環境調査から得られた知見を基に、調査・解析・評価に至る一連の手順が体系的に構築されており、適切であると評価する。

目標の達成度については、上記の研究の成果として、英文 13 編を含む 16 編の学术论文が公表されていることから、目標は概ね達成できたと評価する。

今後は、DI の適用範囲や前提条件を明確にするとともに、概要調査など処分事業への適用を可能にするため、一般性かつ柔軟性を備えた評価手法の取りまとめとそれら成果の国内外への発信を体系化の中で進められることを期待する。

【評価指標別評価結果】

研究内容の妥当性	① 適切であった	★★★★★ (6名)
	2 概ね適切であった	★★★★ (4名)
	3 やや適切でなかった	
	4 適切でなかった	
目標の達成度	1 十分に目標が達成できた	★★★ (3名)
	② 概ね目標が達成できた	★★★★★★ (7名)
	3 あまり目標が達成できなかった	
	4 ほとんど目標が達成できなかった	

注) ○の付いた項目は最も多かった評価結果を、★の数は集計数を示す。評価結果が同数の場合、改善の余地を重視して、下位の評価結果を用いる。

【委員からのご意見等】

研究内容の妥当性について

- 計画に従って実施された。
- ダクティリティインデックスを用いた EDZ の透水性を予測する手法の妥当性を検証したうえ、坑道埋め戻し後の EDZ の透水性を予測するモデルを構築するなど、研究内容は適切であったと評価できる。
- 地殻変動に対する緩衝メカニズムの仮説 - 検証ループは筋が通っていると思われる。観測・解析の整合性も概ね良好だと思われる。

- 稚内層を対象に水圧擾乱試験や割れ目特性評価を的確に行い、地殻変動が透水性や物質移行に与える影響を定量的に示している。手法と解析の整合性が高く、研究の進め方は極めて堅実である。
- すべての研究細目に対して、限られたリソースの中で高い妥当性をもった成果を出しており、大いに評価できる。
- 地上施設と地下施設を統合的に扱う解析枠組みは、処分システム全体の合理化を目指す研究として妥当である。
- DI を用いた透水性評価手法開発が継続的に続いており、評価できる。また、化石海水の三次元分布推定技術や、水理場・化学環境の確認手法といった閉鎖後長期の評価の基盤となる研究が着実に進展している。
- 他の課題の各種試験と異なり、地殻変動と地層という規模や時間スケールが異なるものを対象としてデータの評価などもそのような面からの困難な分野と思われる。DI のように我が国独自の評価手法が確立されて、その成果も多数公開され、そして国内外において評価・認識されているのは高く評価される。
- 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握については、割れ目等の水理学的な連結性と DI の関係に基づく評価手法が整備された。低流動域を評価する技術については、調査から解析に至る一連の手順が構築された。地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験においては、埋め戻し後の EDZ の透水性の変化や、EDZ の割れ目のずれが透水性に与える影響等を評価する技術が整備されている。

目標の達成度について

- 特定の概念やパラメータのみに依存しない、柔軟で一般性のある評価手法の確立も重要と思われる。
- 英文 13 件を含む 16 件の学术论文を発表しており、研究成果の質・量ともに非常に優れていると評価できる。
- 基礎指標の達成は概ね良いが、DI については以前から指摘している通り適用限界・前提条件を明確にして欲しい。適用範囲の図表化を追捕すると、外部適用時の誤用防止と再現性担保に有効と思われる。論文等の成果発表は概ねできていると思われる。
- 堆積岩の緩衝特性に関する基礎的理解が進み、安全評価への応用可能性を明示している。さらなる長期モニタリングによって、知見の深化と信頼性向上が期待される。
- 多くの項目について、粛々と進捗していると評価できる。ただし、「地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握」について、多様な種類・変形様式をもつ日本独自の岩石において、次の中長期計画も視野に入れて、研究体制・実験装置の整備を将来的に進めたほうがよいと思われる。
- 地上から地下に至る設計連携の概念整理と初期モデル構築が進み、目標は概ね達成されている。
- 成果の公開に関しては、十分に軌道に乗っていると思われる。「緩衝材・埋戻し材が EDZ の力学

的・水理学的な緩衝能力に与える影響の解析手法」だが、例えばモンテリではモンモリロナイト含有量が高いので、亀裂が湿潤・膨潤することで亀裂が閉塞する要因も大きくなる。ここでいう解析手法とは、緩衝材・埋戻し材の膨潤により EDZ が圧縮されて、亀裂が閉塞する部分が主要因となっていると推察したが、モンテリで分かっていることと、幌延でわかったことの共通点・相違点について洗い出してみるのもいいかと思われる。

- いずれの項目も開発整備された手法や方法論が整備され、所期の目標が達成されている。また、国際誌への多くの成果の公表は高く評価できる。

その他、ご意見等

- 地殻変動という難課題に対し、実測・解析・理論の融合的アプローチを着実に進めており、非常に意義深い研究である。
- 委員会でもコメントさせていただいたように、「地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握」は日本のような変動帯における地層処分において極めて大きなテーマであるため、次の中長期計画でより包括的に進めていただければと思う。それにおいて、地球惑星科学分野の研究者との連携（共同研究など）も大事になってくると思われる。
- 海外事例との比較について、幌延での成果を説明する際に、他所との知見と併せて見た場合にどのように位置づけられるのかといった視点があると分かりやすいのではないかと。提案程度にご理解いただければと思う。
- 今後の体系化に向けた成果の集約に期待したい。併せて概要調査に適用可能な成果の整理も検討いただきたい。
- 学生の積極的な受け入れについては高く評価できる。更に積極的な募集に期待したい。今後は、受け入れ制度受講生の地層処分分野への就職の追跡を実施していただきたい。産学連携で学生や若手研究者を育成する体制の整備の検討を期待する。
- 過去に行われた研究と類似した研究が実施されている可能性があり、成果の継承システムを構築するのが望ましいと感じる。
- 水圧擾乱試験と DI を基盤とした透水性評価は整理が進み、地殻変動影響を考慮した長期透水性評価手法として有効性が高い。処分事業への反映性が明確。

【提言・所見総括】

地下水の環境モニタリング調査および研究所周辺の環境影響調査については、計画に基づいた長期的な観測が着実に実施されており、現時点においては、いずれも埋め戻しに伴う周辺環境への影響は認められていないと評価できる。

地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞および立坑埋め戻し面の沈下に対する対応については、それぞれ安全面に配慮した作業が適切に進められている。この内、立坑埋め戻し面の沈下に関しては、事象の発生後、速やかな対策が講じられたほか、一連の経緯を取りまとめた報告書を公表しており、透明性および信頼性の確保に向けた取り組みとして評価できる。

今後は、全ての作業が完了する令和9年度末に向けて、これまで以上に安全かつ着実に計画を進めるとともに、本事業を通じて得られるデータや技術的知識が科学的・技術的に極めて高い価値を有することを改めて認識し、それらの記録が地下空間利用に関する技術的遺産(レガシー)の一つとして国内外の研究者・技術者に広く継承・活用されるよう、より一層の情報の発信と知見の共有に取り組むことを期待する。

【委員からの提言・所見等】

実施項目：地下水の環境モニタリング調査

- 能登半島地震が地下水圧の変化に継続して影響を及ぼしていることがよくわかった。
- 地下水圧・水質変化を継続的に監視し、能登半島地震の影響を含む水圧変動の把握を的確に行っている。データの質・量ともに十分であり、埋め戻し後の長期挙動を科学的に捉えようとする姿勢は高く評価できる。モニタリング体制も堅実に維持されている。
- 順調に実施されており、十分な成果を収めていると判断できる。一方で、能登半島地震時の水圧変化は興味深い。埋め戻し前後で地下水に溶存している各種化学成分が変化していないという科学的なデータを取得されている点も、大いに評価できる。
- 埋め戻し後の地下水圧は順調に回復し、水質も安定している。主要イオンやpHはほぼ一定で、Ca、B、Uなどの変動も短期間で落ち着いている。今後は、水圧と水質の変化を合わせて分析し、場所ごとの回復の違いや化学成分の応答を調べることで、埋め戻し部と周辺岩盤のつながりや地下水の動きをより深く理解できる可能性がある。
- 計画通り、モニタリングが継続的に行われている。地下水の各パラメータより埋め戻し後の坑道内が安定な状態に向かっていることが分かる。今後、地下水の各パラメータの経時データが蓄積されてくるが、埋め戻し前に行った地下環境等のアセスメント結果と実際に取得した地下水の各パラメータの経時変化がどの程度一致または不一致であるのか考察すると有意義かと思われる。また、Fe、Se、Cr、Sといった地下水中の酸化還元電位に応じて化学状態が大きく変化する元素に着目して分析を行えば、埋め戻し後の地下の還元雰囲気回復状況に関して考察が可能と思われる。このあたりは研究のシーズになりうると思われる。
- スライド5の能登半島地震時の水圧変化について別の地震時にも反応があったと説明された。他

の複数の大き目の地震の事象について、同様のプロットで同じような傾向があったのか、地域や震源の距離(もちろん震度)などの変化の有無などが表などでちょっとした一覧になっていると良いように感じた。現状だと、この特定の事象について変化があった、ということだけが分かるように見える。そちらではいろいろな情報がまとめてあると思うため、他の地震での反応(変化の有無、あった場合は傾向の類似性、震源距離・地域や深度との関係)についてごく簡単に比較できるような見かたをしてみたい。

- 本件は実規模の埋戻し実験であるものの、機構では積極的なモデル解析は実施できないことから、モニタリングデータの公開を積極的に実施することと、第三者の利用価値を高めるため、電子データ等での公開も検討いただきたい。
- 調査データが分かりやすく整理されている。評価にあたっては、過去の調査試験データや掘削時のデータも含めて分析されたい。
- 各種計測や調査が適切に進められている。今後も環境モニタリングを継続していただきたい。簡単で良いので、令和6年の能登半島地震による水圧の変化に関して、過去の地震時の事例との整合性などに関する説明があれば良いと感じた。
- 長期にわたる水圧・水質の連続観測により埋め戻し影響や能登半島地震の応答が捉えられ、貴重な基盤データが蓄積された点は評価できる。JAEA-Dataとして公開され、第三者による研究活用も整備されている。一方で、外部発表や査読論文としての知見発信が必ずしも十分でなく、成果の体系化と国際的情報発信の強化が望まれる。

実施項目：研究所周辺の環境影響調査

- 地域環境への影響を丁寧に把握しており、調査結果の透明性や説明責任に配慮している点は良好。周辺地域との信頼関係を維持しながらデータを積み上げている。
- 特に異常が観測されていないとのこと、適切な埋め戻し作業の賜物だと思われるので、高く評価できる。
- 排水水質、井戸水位、河川水質、空間線量率などの監視が継続的に実施されており、これまで特段の異常は確認されていない。環境保全協定に基づく測定体制が維持され、地域環境の変化も見られないことから、調査は適切に実施されていると判断される。今後も同様のモニタリングを継続し、データの蓄積を通じて長期的な環境安定性を確認していけばよいと思われる。
- 順調に進んでいる。閉鎖後地下施設が環境に負のインパクトを及ぼさないことを示すために、継続的にモニタリングを継続してほしい。
- 適切に実施されている。
- 地下研究施設に対する地元の理解を得るためにも重要な調査項目であり、今後も継続発信されたい。

- 水質・騒音・放射線量等の継続的な監視が制度に基づき実施され、異常がないことを透明性高く公表している点は評価できる。データ公開は地域住民や研究者の信頼醸成にも資する。一方で、モニタリングの目的や結果の意義について、地域住民や自治体への平易な説明・共有をより計画的に行うことが、処分事業への理解促進に繋がると考える。

実施項目：地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞

- 計画的かつ慎重に閉塞作業を進めており、技術的手順の確立も適切である。地盤変化への影響評価を伴った管理が行われており、総じて完成度は高い。
- 順調に進捗しており、高く評価できる。
- 地上から掘削したボーリング孔の閉塞は計画的に進められ、多くの孔で作業が完了している点は適切である。ただし、長年にわたり取得されたボーリング孔やコア試料は、地層構造や水理特性を理解する上で貴重な研究資源であり、十分に活用できなかったことは残念である。今後は、閉塞に先立って学術的・技術的利用の可能性をより広く検討し、外部機関との共同活用の仕組みを整えることが望ましい。
- 順調に進んでいる。
- 今後ボーリング孔や坑道などと一切使えなくなることや、一切の計測機器を入れない、計測をしない、という部分が残念に思われる。これまでに投資したコストや人的エネルギーを考えるとなかなか難しい判断だったであろうと感じた。
- 当初計画通りに実施されている。閉塞に先だって実施されている、長期モニタリングシステムの引き抜き状況は、今後の同様の作業に役立つことから、記録として残していただきたい。
- ケーシング、孔内観測装置等の引き抜きに関する知見は貴重であり、ぜひ整理して共有していただきたい。埋め戻し・閉塞の経過と地下水環境モニタリングデータとの関係にも着目していただきたい。
- 埋め戻し作業自体は計画に沿って進められているものの、閉塞状況をどのように確認・検証するかが課題として残る。坑道で適用された物理探査技術を応用し、閉塞品質の非破壊的評価手法を検討することは有効と考えられる。今後の処分事業においては、埋め戻しの健全性確認方法を標準化し、手順として明確化することが重要である。

立坑埋め戻し面の沈下に対する対応

- 継続して沈下の有無について継続する必要があると思われる。再埋め戻しの後も、数10cmは沈下しているので、「変化なし」と記述するのは少し乱暴ではないかと思われる。
- 沈下量を詳細に計測し、対策を迅速に講じている。原因解析と今後のモニタリング計画も整備されており、対応は極めて適切である。現場の施工管理能力が高いことがうかがえる。

- 沈下部の再埋め戻しによって、さらなる大規模な沈下は生じていないとのこと、適切な対応を実施されたと高く評価できる。
- 埋め戻し後の立坑沈下について継続的に観測が行われており、現時点で特段の異常は認められない。能登半島地震後の挙動も適切に確認されており、地震や圧密に伴う影響は小さいと判断される。観測体制は適切であり、今後も引き続き沈下量と地下水圧の変化を併せて評価し、長期的な安定性を確認してほしい。
- 沈下という事象を検証し技術報告書として公開したことは評価できる。再沈降の有無については今後も継続的にモニターしてほしい。また、埋め戻し等の事業が終了するR9年度以降に、沈下のメカニズムの推定結果や、埋め戻し時の施工の反省点等を含めた報告書を作成予定とのことであるが、これは非常に有意義な取り組みであるのでぜひ進めてほしい。
- 立て坑埋戻しについては、巨大な費用をかけて建設した施設を最後に埋め戻すことも壮大な原位置試験だったと思われる。その後起きた沈下に関しては、埋め戻し管理のための計測ツールが入っていたり、充填密度の鉛直方向分布などを推定することができればどの部分が沈下したかなどについて推察することもできたであろうと思われる。沈下部分に追加埋戻しをした区間についても報告書がでているが、詳細な施工記録はないように見受けられた。追加埋戻しでは一定の記録が残っていると思われるが、砂の乾燥密度の鉛直方向分布を示せるといい。容易でないかもしれないが、その情報が1回目の埋戻し時の状況を推察するのに役に立てばと感じた次第である。
- 適切な対応がなされている。現在検討されている次の報告書(沈下メカニズムや埋戻し時の施工に関わる反省点など)についても遅滞なく公開できるよう、努めていただきたい。
- 沈下の経緯、測定データ、要因検討、対策と今後の方針などについてレポートにまとめて対外的に発信しているのは評価できる。今回の経験に基づく将来の処分事業への貢献、提案がより一層望まれる。
- 埋め戻し後あるいは再埋め戻しに係る計測や問題点を正確な記録として残しておくことを望む。

その他(全体的な所見等)

- 事業は計画どおり順調に進んでいると拝察する。一方で、モニタリングは引き続き継続いただきたいところである。地下研究施設(URL)の埋め戻し後に再冠水の影響を評価できる事例は世界的にも極めて稀であり、本件は大変貴重な成果を示していると考えられる。
- 瑞浪での取り組みは、長期にわたるモニタリングデータを蓄積しつつ、環境影響を科学的に整理する堅実な姿勢が貫かれている。研究所閉鎖後のフォローアップとして重要な役割を果たしており、進捗・成果ともに良好。「よくやっている」と自信を持って評価できる。
- 計画通りに実施されており、全体としても大いに高く評価できる。また、予期せぬ沈下に対しても、その後に適切な再埋め戻しによって、現在は安定しているということは極めて大事であると判断できる。なお、これまでに蓄積されたデータは、第三者が利用できるようなデジタル形式としての

公開が望ましいであろう。

- 基本的に順調にモニタリングが継続されている。
- 報告書が適時、適切に公開されている旨の報告を受けたが、公開されたタイミングで委員にその旨を共有していただきたい。
- 委員会でも意見が出たように、情報公開（特にデータ公開）は、可能な範囲で分析に利用しやすいフォーマットで提供されることを望む。
- 地下水・環境影響の長期データ取得と公開は評価できる。一方で成果の体系化と埋め戻し健全性確認手法の明確化が今後の課題と考える。