資料４

「幌延深地層研究計画　令和７年度調査研究計画」に関する質問

確　認　事　項	回　　答
３．令和６年度の成果および令和７年度の計画の概要	**３．令和６年度の成果および令和７年度の計画の概要**
■　有識者(石川教授①)(計画　Ｐ13) p.6 の表１には「3.地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」についても 2.1.2 を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施すると記載がありますが、ここに記載されていないのは本年度実施する計画がないということでしょうか？	■　有識者(石川教授①)(計画　Ｐ13) ご理解の通りです。令和７年度はｐ．６の表１に示した「２．処分概念オプションの実証」のうち「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を主に実施する計画としており、「３．地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」については計画していません。
■　北海道①　（計画　Ｐ８） 10 年間の坑道開放期間において強度の低下が見られなかったとのことですが、今後の運用において強度に関する予測はどのように行われ、どのようにモニタリングが実施される予定かお教えいただけますか	■　北海道①　（計画　Ｐ８） 令和６年度までの結果から、ほぼ全体が中性化した試験体に対して測定した一軸圧縮強度が幌延の地下施設の設計強度基準よりも十分に高く、また時間経過に伴う明瞭な強度の変化もないことが確認されました。そのため、少なくとも中性化の進行が強度に与える影響は小さいと考えられ、今後、追加で計測等を行う計画はありません。
■　北海道②　（計画　Ｐ９） 粘土止水壁の透水係数が５年間にわたって安定していることを確認したとのことですが、将来的に環境条件が変化した場合、透水の安定性を確保するためにどのような予防策を検討しているのか、また、予測できる変動要因について説明をお願いできますか。	■　北海道②　（計画　Ｐ９） 粘土止水壁の試験は、透水性が高い掘削損傷領域を含む坑道の底盤部において、止水プラグと同じ材料を用いた壁を設置することによって、透水性がどのように変化するかを実物大よりも小さなスケールで確認しているものです。 例えば、NUMO の包括的技術報告書（原子力発電環境整備機構，2021）では、止水プラグの主要な材料であるベントナイトの透水性に影響を及ぼす条件の一つとして、地下水の水質（塩濃度）が挙げられています。このような水質による影響は、設計時に考慮されることとなっています。 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―，NUMO-TR-20-03，2021. https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html

確　認　事　項	回　　答
■　北海道③　（計画　P14） 　可燃性ガスの存在を考慮した防爆対策として採用する機器にはどのような仕様が求められ、具体的にどのような監視体制が整備される予定ですか。また、防爆対策として今後具体的にどのような取り組みが予定されていますか。	■　北海道③　（計画　P14） 　防爆対策として、設定した防爆エリアで使用する機器は防爆検定合格品などを使用しています。監視体制としては、坑内環境監視システムにより、可燃性ガス発生時には、ガスの発生位置や濃度の把握を行っており、ガス濃度に応じて、段階的に自動で坑内への警報などが行われます。 　今後も坑内環境監視システムによる監視を継続するとともに、新規に整備した坑道にもセンサー等の配置を行うなど、安全に配慮した施設管理を行っていきます。
■　北海道④　（計画　P14） 　掘削土（ズリ）の有害物質を定期的に確認するための具体的な方法や頻度について、どのような基準に基づいて確認が行われる予定ですか？	■　北海道④　（計画　P14） 　掘削土（ズリ）の有害物質の確認については、立坑掘削 25m毎に１回の頻度で確認しており、土壌汚染対策法に準拠した管理を実施しています。実施にあたっては、北海道環境生活部殿と相談しながら進めています。
■　北海道⑤　（計画　P14） 　作業者に対する安全教育や訓練の内容について、具体的にご教示いただけますでしょうか？訓練はどのような状況を想定した訓練を実施されるのでしょうか。	■　北海道⑤　（計画　P14） 　安全教育として、安全に関するルールや事故発生時の対応のほか、過去に発生した事故事例を共有しています。 　訓練としては、事故発生時の影響の最小化及び対応の迅速化を目的として、事故対応訓練を実施しており、令和６年度は地下施設整備の請負業者と共同で地下施設における掘削作業中の岩盤崩落を想定した過酷事象の訓練を行いました。

確　認　事　項	回　　答
■　北海道⑥　（計画　P15） 　多くの方々にご理解をいただくためには、幅広く効果的な周知が重要であると考えますが、HIP フェーズ１における研究成果の公開については、どのような手法により展開されるご予定でしょうか。 　また、フェーズ２の研究を進めるにあたって、新たに想定される課題や、期待される成果についてお伺いできますでしょうか。	■　北海道⑥　（計画　P15） 　フェーズ１における研究成果を取りまとめた報告書は、国際共同プロジェクトの協力を得ている OECD/NEA から公開されます。OECD/NEA のホームページでの公開に加え、幌延深地層研究センターのホームページにおいてもリンクを貼る形での公開を考えています。 　　フェーズ２で新たに想定される課題はありません。フェーズ２では、フェーズ１に引き続き各タスクの参加機関の協力を得て、試験計画の検討を進めるとともに、250m調査坑道でのトレーサー試験や 350m調査坑道での人工バリアの解体試験、500m調査坑道での試験に本格的に取り組みます。さらに、これらの試験により得られたデータの分析、解析をそれぞれの機関で実施します。これらの取り組みにより、原位置試験の効率的な実施や、多角的な観点での解析による試験結果の評価が可能となり、効果的な研究成果を創出することが期待できます。 なお、本プロジェクトで実施する物質移行試験は、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化の課題として実施します。

確　認　事　項	回　　答
４．実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	**４．実際の地質環境における人工バリアの適用性確認**
■　有識者（東條准教授①）（計画　Ｐ23、28、30） ***＜東條准教授が当日欠席のため資源エネルギー局長が質問＞*** P23、P28、P30 いずれの箇所にも 「「坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足などがあった場合に追加で試験や解析を実施します。」との記載があります. 「体系化を実施する」とは具体的に何をするということでしょうか. また，情報の不足が無ければ特に検討は行わないということでしょうか.	■　有識者（東條准教授①）（計画　Ｐ23、28、30） 幌延深地層研究計画で実施する「体系化」とは、これまでに構築してきた地質環境調査、工学的対策、モデル化に関する技術を 500m調査坑道の試験坑道８・９で実施する試験などに適用して、廃棄体設置の可否や廃棄体設置の間隔の設定などを検討するための調査・設計・評価の一連の技術を整理する計画です。 なお、令和６年度で終了した個別課題については、情報の不足などがなかった場合には検討は行いません。
■　有識者（石川教授②）（計画　Ｐ19） 「設置したセンサーや解体試験により... 評価モデルの高度化や適用性の確認を行います」と記載がありますが、具体的にはどのようにデータを利用するのでしょうか？例えば何らかの損傷を受けた場合のデータとして利用するということでしょうか？	■　有識者（石川教授②）（計画　Ｐ19） 人工バリア周辺の熱－水理－力学－化学連成現象の理解や連成現象を評価する解析コードを検証するためのデータとして利用します。例えば、ガラス固化体の発熱を模擬したヒーターによる加熱や岩盤からの地下水浸潤を模擬した人工注水によって生じる、緩衝材や埋め戻し材中の温度、水分量、応力変化などの計測データがこれまで開発してきた解析コードで再現可能か、などを検証します。
■　有識者（渡邊教授①　）（計画　Ｐ24） 図 14 について、比較対象としている天然の割れ目、健岩部の評価結果のデータがどのようなものなのか説明してください。	■　有識者（渡邊教授①　）（計画　Ｐ24） 原位置トレーサー試験から推定される分散長の値は、室内試験規模の値よりも数桁大きいことが知られており、原位置試験においても試験の規模によって推定される値が異なることが知られています。図 14 の黒丸のプロットは、砂、粘土、岩盤中の割れ目などを対象とした様々な原位置トレーサー試験結果から推定された縦方向分散長を試験規模との関係で整理されたものであり（Gelher, et,al.,1992)、水が流れる場所の種類によらず試験規模が大きくなるにつれて縦方向分散長も大きくなることを示しています。

確　認　事　項	回　　答
5．処分概念オプションの実証 ■　有識者（渡邊教授②）（計画　P44） 図 26 のデータについて、もう少し詳しく説明をお願いします。	**5．処分概念オプションの実証** ■　有識者（渡邊教授②　）（計画　P44） 図 26(a)は少量のトレーサーを短期間ある孔の区間に注入し別の孔の区間で回収した時の回収区間でのトレーサー濃度の経時変化を示しています。本試験は、試験条件の確認など、予察試験的な目的も兼ねて実施しました。トレーサー注入約 250 分後に回収区間でトレーサーが検出され始め、約 500 分後に最大値に到達しました。その後、トレーサーは長期間検出され続け、非対称な形状を示す濃度変化のグラフ（図中の曲線）が取得されました。この原因としては、この試験ではトレーサーとして収着性の低いウラニンを使用したことや原位置の岩石の間隙率が 60%と非常に高いことから、亀裂と岩石の間のトレーサーの移動の影響などを考えられます。 図 26(b)は、図 26(a)の結果を踏まえた上で、回収区間でトレーサー濃度が一定になるまでトレーサーを注入し続けた時の回収区間でのトレーサー濃度の経時変化を示しています。本試験では、濃度の上昇および減少時のデータの解析による物質移行特性の把握に加え、濃度が一定に達した際のデータからトレーサーの回収率の計算が可能です。トレーサー注入約 200 分にトレーサーが検出され始め、約 3 日後に概ね一定濃度に到達しました。この時の濃度から回収率は概ね 50%と算出されました。また、試験の途中で注水と揚水を停止し亀裂内の流速を 0 に近づける操作を 3 度実施しました。この操作により、亀裂と岩石の間のトレーサーの移動が原因と考えられる濃度変化を認めることができました。トレーサー注入時に濃度が概ね一定になった後も緩やかな濃度上昇が認められますが、これは水圧変化による流速の変化が原因であると考えられます。

確　認　事　項	回　　答
■　有識者(石川教授③)(計画　P32、35) 「地下施設に施工後約 10 年が経過した... 評価しました」や「中性化の進行速度は... 長期的な変質の影響範囲を見積もることが可能であると考えられます」と記載がありますが、材料特性の経時変化を 10 年程度の短期間で評価する妥当性について説明ください。	■　有識者(石川教授③)(計画　P32、35) 本課題では幌延で観測された約 10 年間の材料特性の経時変化について評価を行い、既存の知見を支持する結果などを得ることができました。10 年を大きく超える期間の材料特性の経時変化については明示的に本課題の対象としていませんでしたが、実際の処分場において、10 年を大きく超える期間で坑道を解放し続けたとしても、本課題で検証できた既存の知見（例えば図 20 の中性化深さと経過時間が相関する関係）を活用して長期的な変化を予測することが可能と考えます。併せて、定期的に坑道の内空変位などの計測を継続することにより、坑道内の作業の安全性を維持することが可能と考えます。
■　有識者(石川教授④)(計画　P38) 図 23(b)に示す弾性波速度分布の推定結果ですが、計測を図 28 に示すような方法で実施しているため、三角形の分布になっていると考えられますが、隣接する 2 つの抗道間の距離によっても計測範囲が変化し計測結果が影響を受けることはないのでしょうか？p.50 でトモグラフィ調査から得られた EDZ の推定結果と比較した旨の記載がありますので、その妥当性について説明ください。	■　有識者(石川教授④)(計画　P38) 隣接する坑道間の距離が狭まった場合、波線が調査対象としない側(図 23(b)の左側）に位置する坑道の吹付コンクリートの影響を受ける可能性があるため、適切な速度構造の推定にはその坑道も解析において考慮する必要があると考えられます。図 23 の解析では、解析時に実施した感度分布解析の結果から、上記の影響が認められるデータが数点のみであり、解析対象とする坑道周辺の速度分布推定への影響が無いと考えられたため、隣接する坑道の影響に関しては考慮していません。 EDZ の推定結果の妥当性に関しては、試験坑道 2 においても BTV 観察が実施されており、これら観測による亀裂分布と弾性波トモグラフィで得られた低速度領域の範囲が概ね一致することを確認しています。

確　認　事　項	回　　答
■　有識者(石川教授⑤)(計画　P46) 図 28 ではトモグラフィ調査を抗道掘削前後で実施する旨の記載がありますが、この調査の頻度を増すと掘進の進捗に応じて損傷領域が広がる影響を評価できるのでしょうか？	■　有識者(石川教授⑤)(計画　P46) 今回の試験では、試験坑道８の掘削前と掘削完了後にトモグラフィ調査を行い、それらの結果を比較することにより、掘削損傷領域の広がりを評価します。ご指摘の観点での試験は、過去に 250m調査坑道で実施しており、掘削の進捗に応じて掘削損傷領域が広がる様子をトモグラフィ調査によりで捉えることができています（青柳ほか、2014)。今後、他深度で実施した既存の試験結果等も踏まえて、堆積岩を対象とした掘削損傷領域の評価手法を取りまとめていく予定です。 青柳ほか：幌延深地層研究所の 250m 調査坑道における掘削損傷領域の経時変化に関する検討，土木学会論文集 C（地圏工学)，vol.70，no.4，2014，pp.412-423 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejge/70/4/70_412/_article/-char/ja
■　有識者(石川教授⑥)(計画　P52) 「令和 7 年度は... 検討します」と記載がありますが、500m調査坑道において計画している試験の目的は、350m調査坑道で実施した試験結果をもとに構築した各種予測手法の一般性の拡張という理解でよろしいでしょうか？	■　有識者(石川教授⑥)(計画　P52) ご指摘の通り、500m調査坑道において計画している試験の目的は、350m調査坑道で実施した試験結果をもとに構築した各種予測手法の一般性の拡張と理解することができます。
■　有識者(石川教授⑦)(計画　P55) 「これまで稚内層... 評価することが可能です」と記載がありますが、予測評価手法を利用する際のフローチャートを示した上で説明ください。この際、当該フローチャートでこれまでの研究成果がどのような形で活用されているのかが理解できるように説明してもらえると研究の進捗状況を把握し易くなると考えます。なお、同じようなフローチャートはこれ以外の研究項目でも作成できる場合があると思いますので、合わせて他の研究項目についても検討をお願いします。	■　有識者(石川教授⑦)(計画　P55) ご指摘の部分については計画書の表４がフローチャートに該当すると考えています。同表では地質学的な情報に基づいて堆積岩を５種類に分類しており、表の一番右側の列に「主要な水みち割れ目の代表的な透水性の調査・評価手法」を整理しています。表の中央列の「地層例」に示す通り、本表には稚内層や声問層で得られた知見も含まれており、本表を作成する上で幌延の成果が活用されています（特に分類 I-a)。割れ目の開口幅についても同様な表を作成しています（本計画書の表 3)。 他の項目についても今後、体系化して取りまとめる中でフローチャートや表を用いて整理することを検討します。

確　認　事　項	回　　答
その他（複数の項目を跨ぐ質問や計画全体についての質問　等） ■　有識者（渡邊教授①）(計画　P23、28、30、36、40、42、63、68、72) 「情報の不足などがあった場合に追加で試験や解析を実施」との記述があるが、それぞれの項目において、今後、どのような作業が実施され、情報の不足などがある場合はどのように判明するのか、説明してください。 また、それぞれの項目については、所期の目標が達成されていると記載されているが、幌延のサイトに関して明確になったもの、他のサイトにおいて適応可能な技術、手法が得られたもの、他のサイトにおいて適応可能な定量的な関係性が得られたものなど、成果の性質について説明してください。	**その他（複数の項目を跨ぐ質問や計画全体についての質問　等）** ■　有識者（渡邊教授①）(計画　P23、28、30、36、40、42、63、68、72) 主に 350m調査坑道で実施してきた個別課題は令和６年度までに目標を達成したと外部委員会で評価を受けており、今後は、個別課題の成果を主に 500m調査坑道に体系的に適用し取りまとめます。 「坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、これまであまり重要視していなかった現象や特性を考慮する必要性が発生し、その現象や特性と、それぞれの項目（物質移行試験、操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証、水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化）の成果との関係の可能性があり、且つ、その関係を「体系化」を進める上で明らかにする必要性が生じた場合に、「追加で試験や解析を実施」することになると考えています。 それぞれの個別課題に関して、得られた成果の性質としては、以下のように考えています。 「掘削損傷領域を対象とした物質移行試験」 堆積岩中の掘削損傷領域内の物質の分散現象を従来のトレーサー試験手法や解析手法により評価できることを確認しました。堆積岩中の掘削損傷領域での原位置トレーサー試験は過去に例がないため、本成果は物質移行試験に係る従来の技術の汎用性の高さをより確かにしたものと捉えることができます。 「有機物・微生物・コロイドを対象とした物質移行試験」 本課題では、堆積岩中の地下水コロイドとトレーサー元素との相互作用の程度を、従来の室内・原位置試験手法（限外ろ過による地下水コロイドの粒径分離、ボーリング孔内への地下水循環による拡散試験等）を組み合わせることにより評価できることを確認しました。そのため、本成果は本課題に係る従来の技術の実用性の高さをより確かにしたものと捉えることができます。 「ブロックスケールを対象とした物質移行試験」 ダクティリティインデックス（DI）が２よりも大きく、割れ目の水理学的連

確　認　事　項	回　　答
	結性が低い低膨潤性の泥岩における主要な物質移行経路を、非常に長い一次元の経路でモデル化できることを確認しました。そのため、本成果は他のサイト（例えば計画書表４のⅠ-a に分類されるような堆積岩）において適用可能な手法が得られたものと捉えることができます。 「搬送定置・回収技術の実証」 　坑道周辺の低アルカリ性吹付けコンクリートや岩盤について、従来の試験・分析手法や数値解析手法を適用することにより、長期的な特性変化を評価できることを確認しました。そのため、本成果はコンクリートの特性評価に係る従来の技術の実用性の高さをより確かにしたものと捉えることができます。 「閉鎖技術の実証」 　従来考えられてきた埋め戻し材や止水プラグの施工方法の原位置環境への適用性・実現性を確認するとともに、幌延で新たに得られた成果も反映して実際の設計・検討に活用できる設計フローを作成しました。そのため、本成果は他のサイトにおいて適用可能な技術、手法が得られたものと捉えることができます。 「人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いによる品質保証体系の構築」 　緩衝材の流出現象について、原位置で計測が可能な湧水量や水圧を指標とし、それらに基づいてより現実的な緩衝材の総流出量を評価できるモデルを作成することができました。緩衝材の仕様はサイトに大きく依存しないため、本成果は他のサイトにおいて適用可能な手法が得られたものと捉えることができます。 「高温度（100℃以上）等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験」 　100℃を超える高温条件における緩衝材の特性変化を確認するための室内試験および原位置試験を実施し、水理学的、力学的、化学的な観点でそれぞれの特性変化に関する知見を得ることができました。緩衝材の仕様はサイトに大きく依存しないため、本成果は他のサイトにおいて適用可能な知見が得られたものと捉えることができます。

確　認　事　項	回　　答
	「地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握」 　計画書表４の I-a に分類されるような堆積岩の場合、断層や割れ目の代表的な透水性と DI の関係や水圧擾乱試験を適用することにより、地殻変動の影響を考慮した地層の長期的な透水性を評価できることが分かりました。そのため、本成果は他のサイト（例えば上記のような堆積岩）において適用可能な知見や手法が得られたものと捉えることができます。 「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」 電磁探査とボーリング調査を組み合わせた化石海水の三次元分布の推定や、地下水の水質や年代も考慮した地下水の水理解析などを行い、化石海水に係る一連の調査・モデル化の中で従来の技術が適用できることを確認しました。そのため、本成果は化石海水に係る従来の技術の実用性の高さをより確かにしたものと捉えることができます。
■　北海道⑦ 　昨年度の確認会議において、西立坑については得られた情報に基づき湧水抑制対策工を実施中とのことであったが、湧水の排出量は想定どおりで、当初の対策で十分対応できている状況か。 　また、500m調査坑道については、調査ボーリングで対策が必要となるほどの湧水が確認されず、抑制対策を行わずに掘削を行う工程と説明があったが、状況に変化はないのか。	■　北海道⑦ 　西立坑については、先行した東・換気立坑と比較して掘削中における湧水量も少なく、当初の湧水抑制対策で十分対応できています。 　また、500m調査坑道についても、湧水量は少なく、湧水抑制対策は必要のない状況です。
■　北海道⑧ 　令和６年度で、物質移行試験など５項目について、所期の目標を達成することができたとされ、情報の不足などがあった場合に追加で試験等を実施とされているが、現時点で、令和７年度以降に追加で実施することが見込まれているものはあるのか。	■　北海道⑧ 　物質移行試験などの５つの課題については、外部委員会においても所期の目標が達成できたとの評価を得ました。今後は、これまでに構築してきた技術を「坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」で適用し、体系的な手法として提示していきます。その中で、情報の不足などがあった場合に追加で試験や解析を実施することとしていますが、現在のところ追加で実施することが見込まれている課題はありません。

確　認　事　項	回　　答
■　北海道⑨ 　各研究は概ね計画どおりに進捗しており、500m調査坑道の施設整備についても、本年度中に完了する予定であると伺っております。 　このことからすると、当初の計画どおり、令和 10 年度までに必要な成果を得て、技術基盤の整備が完了するという認識で差し支えないでしょうか。	■　北海道⑨ 　500m調査坑道の施設整備について、令和６年度は事故トラブル無く進めており、本年度中に整備を完了する予定です。ただし、深度 500mの地質環境は、土圧が大きく、岩石が軟らかい、地下水圧が高いという特徴があるため、工期に影響を及ぼす可能性のある湧水量の一時的な増加やガスの湧出を最小限に抑えられるように、今後も安全第一で施設整備を進めていきます。 　「地層処分の技術基盤の整備」は、令和元年度の確認会議においてご説明したとおり、「幌延の地下施設において、調査技術やモデル化・解析技術が実際の地質環境に適用して、その有効性が示された状態を意味します。すなわち、ＮＵＭＯが包括的技術報告書（原子力発電環境整備機構，2021）で示す課題などに対して整備された技術が適切な精度で実際に活用できるものであることが示された状態を意味し、その確認は外部専門家による評価などを想定しています」としています。各研究については、概ね計画どおりに進捗しており、令和 10 年度までに必要な成果を得て、技術基盤の整備が完了するよう取り組んでいきます。 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―，NUMO-TR-20-03，2021. https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html