



令和2年度以降の幌延深地層研究計画(案)について － 第4回確認会議 資料集 －

令和元年10月31日

日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター

深地層の研究施設 (瑞浪と幌延)

- ・ 深地層の研究施設計画は、**地質環境の調査・評価技術 (瑞浪、幌延)** や、**処分場の設計・安全評価技術 (幌延)** を**実際の地質環境に適用**することを通じて、その**信頼性・実用性を確認**し、得られた成果を**処分事業や安全規制に反映**することを目的に、段階的に進められてきました。
- ・ **瑞浪超深地層研究所**においては、当初に設定した**研究目標を達成**したため、今後は**坑道の埋め戻し**を行う計画です。
- ・ **幌延深地層研究センター**においては、これまで必須の課題の成果に基づいて研究課題を検討し、**令和2年度以降、第3期及び第4期中長期目標期間を目途に研究開発に取り組みます**。その後、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します**。

2つの深地層の研究施設

瑞浪超深地層研究所
(岐阜県瑞浪市)

花崗岩 (結晶質岩)
淡水系
硬岩

(イメージ図)

幌延深地層研究センター
(北海道幌延町)

泥岩 (堆積岩)
塩水系
軟岩

(イメージ図)

- ・ 地層処分において重要となる「地下水の流れ方*」、「地下水の水質」、「岩盤の固さ」に着目して、それらの特性が異なる地質環境を対象に研究開発を実施している。
* 結晶質岩：岩盤の割れ目を流れる、堆積岩：粒子の隙間を流れる。

研究開発成果の反映先

	文献調査段階	概要調査段階	精密調査段階
処分事業 (NUMO)	文献の収集	地上からの調査	地下調査施設(坑道)での調査および地上からの調査
	地質環境の評価	地質環境の調査・評価	地質環境の調査・評価
	処分場の設計 (建設可能性検討※)	処分場の設計 (概念構築※)	処分場の設計 (基本設計※)
	安全評価 (概念的※)	安全評価 (予備的※)	安全評価 (総合的※)

※NUMO (2011) より

研究開発 (JAEA地下研) 瑞浪超深地層研究所 幌延深地層研究センター

第1段階: 地上からの調査研究段階

第2段階: 坑道掘削時の調査研究段階

第3段階: 地下施設での調査研究段階

安全規制 (規制委員会) 安全審査基本指針 ~ 安全審査

- ・ 深地層の研究施設計画は、地層処分事業における処分地選定のプロセスを想定して段階的に進めており、現在は瑞浪、幌延ともに第3段階の地下施設での調査研究を実施しています。
- ・ これまでの成果については、各段階の報告書やWeb上に体系化した報告書 (CoolRep) として取りまとめるとともに、個別の論文や学会発表等を通じて公表してきています。
- ・ 公表された情報や知見は、NUMOの「包括的技術報告書」に反映されるなど、わが国における安全な地層処分の実現に向けた技術基盤を構成しています。

地層処分における研究領域と深地層の研究施設計画

地質環境の調査・評価

処分場の設計

安全評価

連携

地質環境の調査・評価 ↔ 処分場の設計 (地層処分の調査・評価への設計からのコース)

処分場の設計 ↔ 安全評価 (安全評価に必要な人工バリアや処分施設に関する情報)

安全評価 ↔ 地質環境の調査・評価 (安全評価に必要な地質環境情報)

- ・ 地層処分技術を構成する3つの研究領域である、「地質環境の調査・評価」、「処分場の設計」および「安全評価」に関する研究開発を、瑞浪、幌延、東海において実施しています。
- ・ これらの研究領域について原子力機構では、「地質環境の調査・評価」については地層科学研究として、「処分場の設計」および「安全評価」については地層処分研究開発として実施しています。

研究開発の現状と今後

瑞浪超深地層研究所

幌延深地層研究センター

成果のとりまとめ (進捗状況の確認)

外部有識者によるレビュー

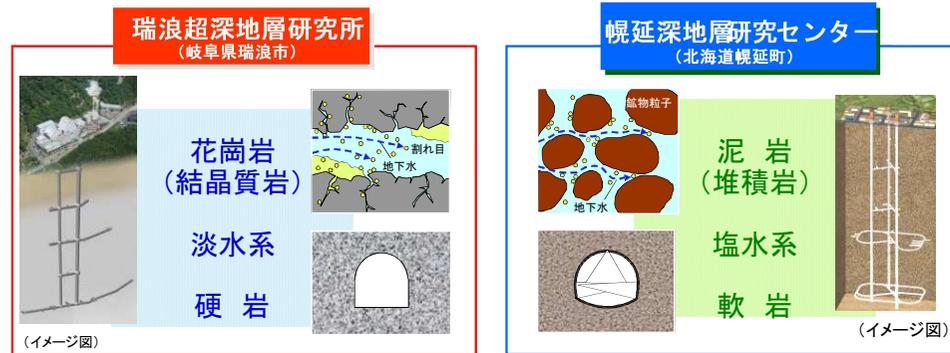
地層科学研究を完了 → 埋め戻しに着手

地層科学研究については、ほぼ当初の目的を達成
地層処分研究開発において様々な課題が指摘されたことから、今後は地層処分研究開発を中心に取り組んでいく → 研究開発を継続

- ・ 地層科学研究のみを実施していた瑞浪については、当初の目標を達成したため、調査研究を終了して、地下施設の埋め戻しを行う計画です。
- ・ 幌延における地層科学研究についてはほぼ当初の目標を達成してきていますが、地層処分研究開発において様々な課題が指摘されたことから、今後は地層処分研究開発を中心に取り組んでいきます。なお、地層科学研究のうち、地層処分研究開発の目的である処分システムの設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用が考えられるものについては、地層処分研究開発を進める観点から、引き続き必要最低限の研究開発に取り組みます。

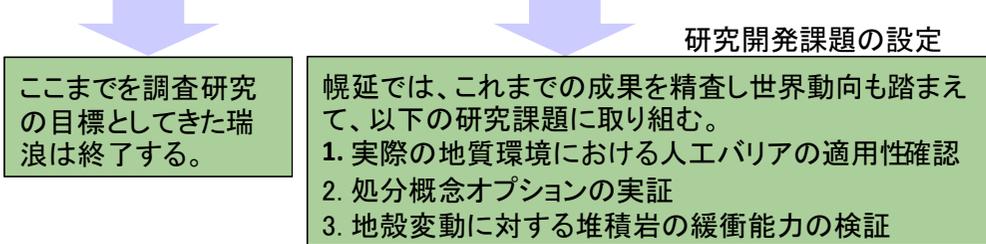
深地層の研究施設（瑞浪と幌延）

- 瑞浪、幌延の両深地層の研究施設では、地質環境の評価のための体系的な調査・解析・評価技術の基盤の整備と、深地層における工学技術の基盤の整備を目的とした地層科学研究を行ってきています。
- 瑞浪については、この地層科学研究について、当初の目的を達成できたため、埋め戻す方向で進めています。
- 幌延については、地層科学研究に加えて、処分システムの設計・施工に関する技術の開発および安全評価手法の信頼性確認を目的とした地層処分研究開発も併せて実施してきました。
- このうち、地層科学研究については、幌延もほぼ当初の目的を達成してきているが、地層処分研究開発において様々な課題が指摘されたことから、今後は地層処分研究開発を中心に取り組んでいきます。
- なお、地層科学研究のうち、地層処分研究開発の目的である処分システムの設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用が考えられるものについては、地層処分研究開発を進める観点から、引き続き必要最低限の研究開発に取り組む。



- 両地下研では、大深度の水平地下空間を安全に掘削し維持する技術を確立できた。
- その地下空間を活用しながら、大深度の地質環境を調査・評価する技術も確立できた。

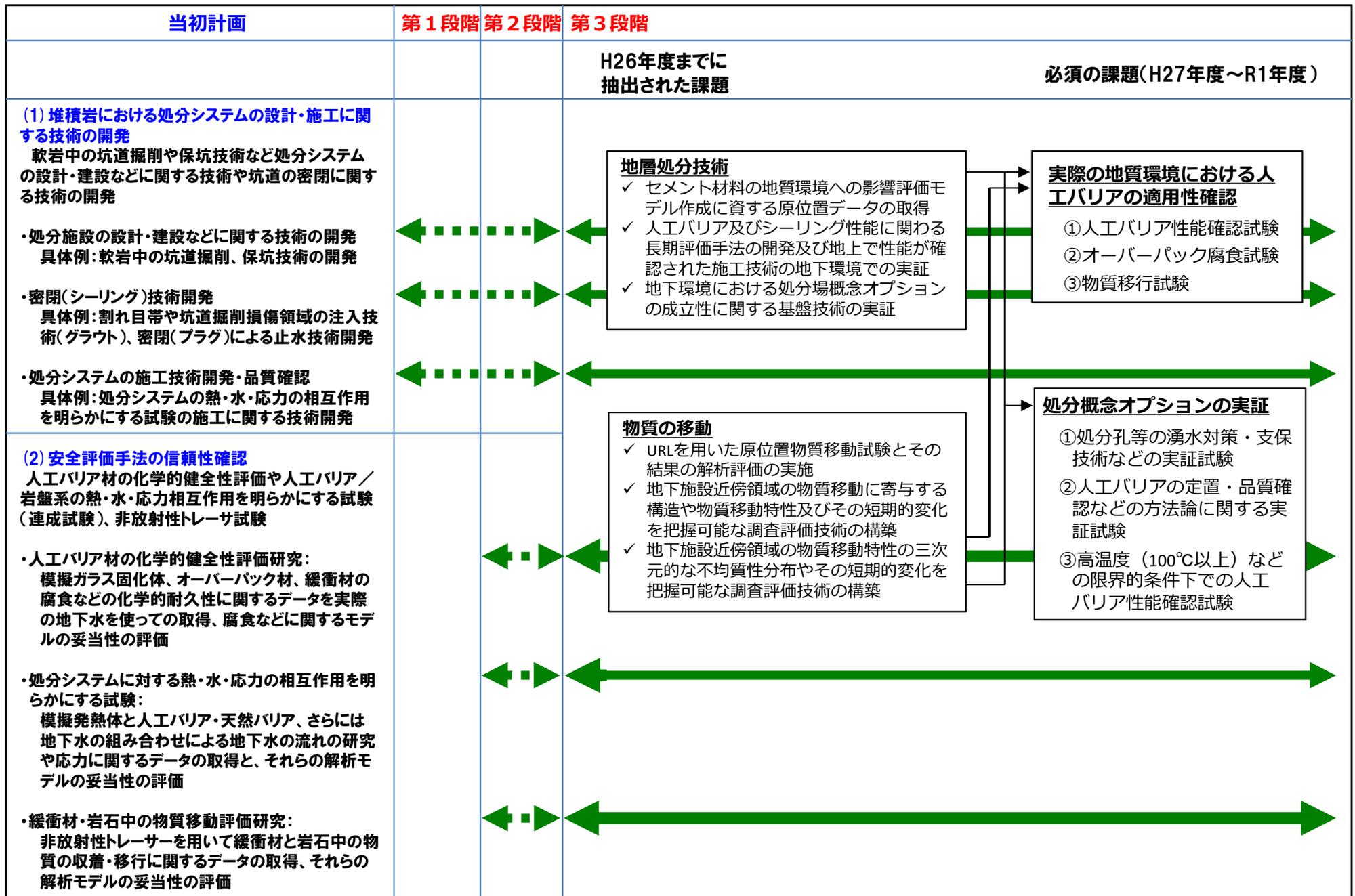
すなわち、法律で定められた最終処分場の深度(300m以深)までの地下空間を調査・評価し、そこに地下施設を建設・維持できることを実証した。



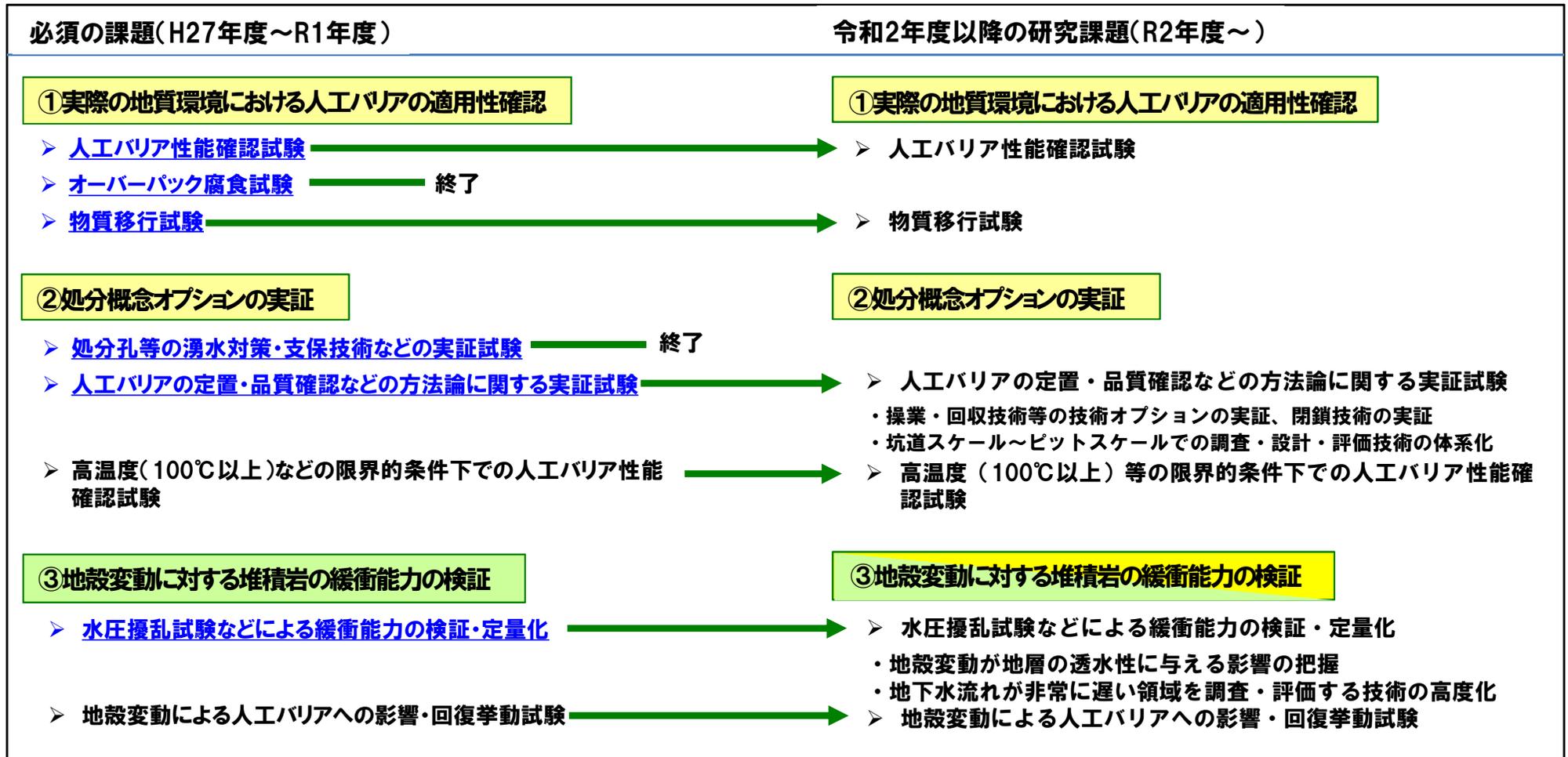
研究課題の変遷：当初計画～必須の課題（1.地層科学研究）

当初計画	第1段階	第2段階	第3段階
			H26年度までに抽出された課題
<p>(1) 深部地質環境特性に関する研究 地質環境条件の測定や、坑道掘削に伴うそれらの変化の把握、あるいは実際の深地層中での物質移行試験等により、堆積岩を対象として開発を行ってきた地質構造、水理、水質等に関するモデルの妥当性を確認</p>			<p>地質・地質構造 ✓ 地質環境の長期変動に関わる知見の蓄積によるモデル化精度の向上と、多分野を含むモデル化・解析に関連する不確実性の評価手法の構築 ✓ 断層などの天然現象の地質環境への影響範囲を把握する手法の提示</p>
<p>1) 地表から行う調査研究 ・物理探査やボーリング試験 ・モデル解析等</p>	↔		<p>岩盤中の水理 ✓ 考慮すべき自然事象や、それらが影響を及ぼす地下水流動特性の抽出に関わる体系的な調査・解析・評価技術の構築 ✓ 地震に伴う地下水位変化の発生メカニズムや、それが水理特性や地下水流動特性に与える影響の把握</p>
<p>2) 坑道を掘削しながら行う調査研究 ・地層や断層の分布、地下水の性質等を観察、調査 ・坑道掘削影響試験</p>		↔	<p>地下水の地球化学 ✓ 地震後の長期的な水圧変化に応じた水質変動幅の予測と検証 ✓ 施設閉鎖時後の地球化学特性の変化幅の把握、地質学的時間スケールにおける長期変動幅との比較、安全評価への反映の考え方を整理</p>
<p>3) 坑道を利用して行う調査研究 ・精密な物理探査やボーリング調査 ・非放射性的トレーサー注入試験 ・岩盤や地下水の性質の空間的な不均質性調査</p>			<p>岩盤力学 ✓ 地震時のEDZの挙動の理解 ✓ EDZのセルフシーリングのメカニズムの評価とモデル化 ✓ 施設閉鎖後の地質学的時間スケールにおける初期応力状態、EDZの長期変動幅の推定</p>
<p>(2) 調査技術開発と関連機器の開発 地質環境調査の要素技術(例えば地震波を利用した弾性波反射法など)を系統的に組み合わせ、地上及び地下坑道での総合的な調査手法の有効性確認</p>	←		<p>物質の移動 ✓ 地質構造発達・地質環境変動に伴う地下施設近傍・遠方領域の物質移動特性の長期変動幅を推定可能な調査評価技術の構築 ✓ 地質学的時間スケールでの物質移動特性変動のモデル化技術の構築</p>
			<p>地質環境の長期安定性 > 断層運動に伴う地下水流動系の変化に関する評価技術 ✓ 地層処分更なる安全性の検討に際しては、東北地方太平洋沖地震のように1000年に1回の稀頻度の地質イベントを考慮した評価シナリオと解析手法の開発が必要 > 地形変化シミュレーション技術 ✓ 10万年程度で生じる将来の地形変化は、数値シミュレーション結果と外挿・類推の結果との比較・検討による予測結果の信頼性向上が課題 > 超長期における予測・評価手法に関する検討 ✓ 超長期の予測・評価では、不確実性が著しく増大することから、予測期間に応じた不確実性を定量的に評価するための手法の開発が必要</p>
			<p>必須の課題(H27年度～R1年度)</p> <p>地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 ① 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化 ② 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験</p>

研究課題の変遷：当初計画～必須の課題（2.地層処分研究開発）



研究課題の変遷：必須の課題～令和2年度以降の研究課題



- 地層科学研究
- 地層処分研究開発

*令和2年度以降の研究課題については、地層処分研究開発を中心に組み込んでいきます。なお、地層科学研究のうち、地層処分研究開発の目的である処分システムの設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用が考えられるものについては、地層処分研究開発を進める観点から、引き続き必要最低限の研究開発に取り組めます。

資料 - 4

物質移行試験について

専門有識者 3 - 2 (p 31)

更問1: 資料集59ページのセシウムとストロンチウムの図で、濃度比になっていますが、濃度としては何ppm位になりますか。

トレーサー濃度とバックグラウンド濃度

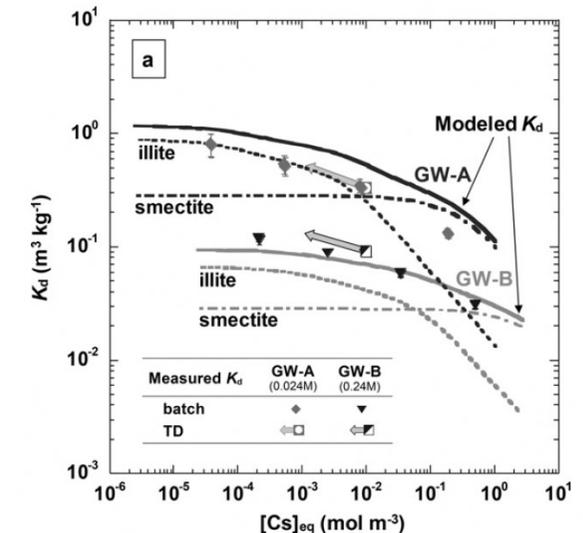
	注入濃度	バックグラウンド濃度
Cs (セシウム)	100 ppm	数ppb
Sr (ストロンチウム)	20 ppm	数ppm

更問2: 低濃度域と高濃度域で同一であるというのは岩盤であるからという理解でよろしいでしょうか。

更問3: 岩盤と粘土は明らかに収着に関する現象が違うという理解でよろしいでしょうか。

更問4: 濃度依存性はないということですか。

- ✓ 幌延の珪質泥岩中には粘土鉱物（イライト、スメクタイトともに10~10数%程度）が含まれており、これら粘土鉱物の寄与が支配的である吸着に寄与するという点で、粘土（緩衝材）における吸着現象と同様に取り扱えると考えております。
- ✓ 低濃度域では、粘土鉱物層のエッジ付近への吸着が支配的であるのに対し、より高濃度域ではエッジ付近の吸着サイトが飽和し、粘土鉱物層の表面への吸着が支配的になります。
- ✓ 一般的には吸着には濃度依存性があることが知られています。資料集59ページの図は、バックグラウンド中に含まれる天然の安定同位体の濃度が収着分配係数に与える影響を評価したのになります。使用したトレーサー濃度（20ppm）に対してバックグラウンド濃度（数ppm）が高いストロンチウムにおいてもバックグラウンド濃度の考慮/未考慮によって収着分配係数へ与える影響の差異が小さいと考えられることから今回の実験におけるバックグラウンド濃度レベルにおいては収着分配係数に対する濃度依存性の影響は小さいと考えております。



室内試験によるCsの収着分配係数の濃度依存性の検討

専門有識者 4 - 9 (p 34)

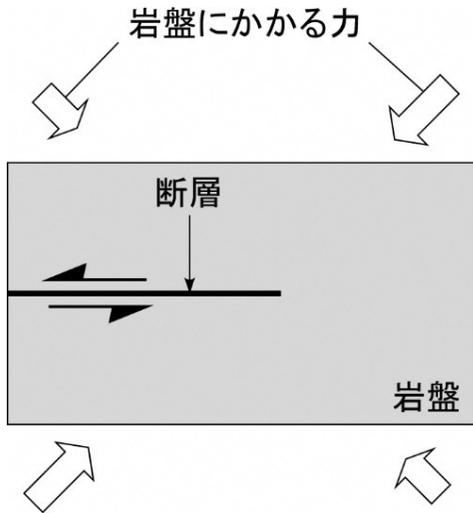
更問5: 研究を継続する部分として得られるものの優先順位、研究の必要性の部分に戻った時に、それぞれの項目の中で、こういうパラメーター、こういう結果を得ることが、色々な実験をすれば様々な結果を得ることになるが、その優先順位、重要性を具体的な実験と関連づけて説明してほしい。

- ✓ 物質移行試験において重要な要素として、核種の移行経路と核種の移行に影響を及ぼす要因の2つをあげることができます。核種の移行経路としては、健岩部、割れ目、断層、掘削影響領域があります。核種の移行に影響を及ぼす要因としては、地下水の地球化学的特性（pH、酸化還元状態等）、微生物・有機物等をあげることができます。これらは、いずれも核種の移行を評価するうえで欠くことができない要素ですので、優先順位をつけるのは困難です。

ダクティリティーインデックス(DI)の概念

岩盤の水の流れやすさを四次元的
(三次元+時間変化)に推定するた
めのパラメーター

既にある断層に力がかかると断層は動く

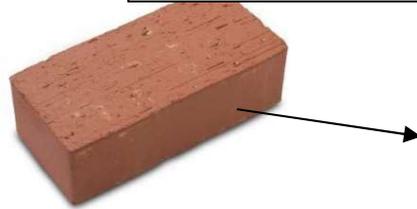


岩盤にかかっている力と
岩盤の固さのバランス
(DI)で割れ目ができるか
変形するのかが決まる

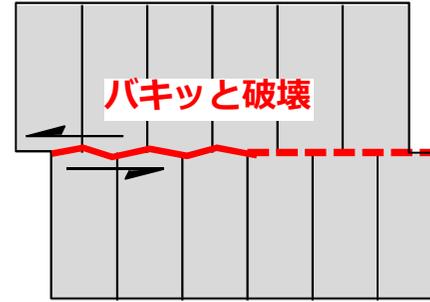
$$DI = \frac{\text{岩盤にかかる力}}{\text{岩盤の固さ}}$$

- ※岩盤にかかる力は深度が深くなると大きくなります
- ※岩盤にかかる力は平均応力を用います
- ※岩盤の固さは引張強度を用います

レンガのような固いイメージ



DIが小さい(岩盤にかかる力に対して
岩盤が十分に固い)と割れ目ができる

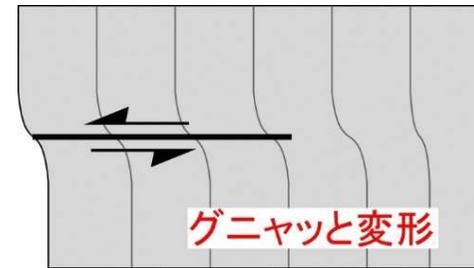


将来的に水が流
れやすい岩盤

DI < 2

DI ≫ 2

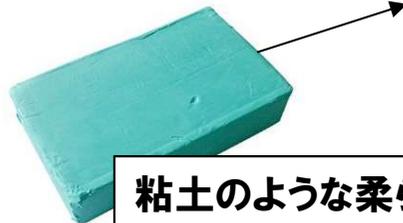
この違いを数値で判断できる



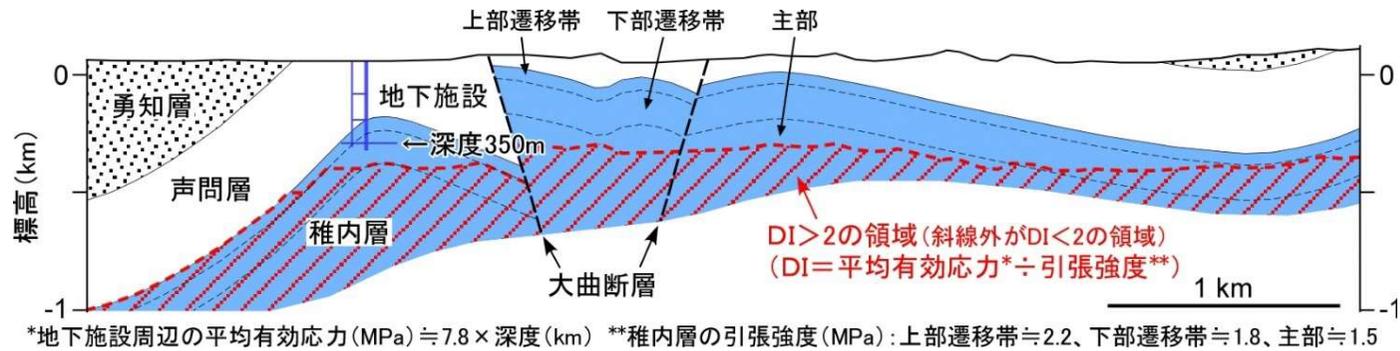
将来的に水が流
れにくい岩盤

DIが大きい(岩盤にかかる力に対して岩盤が十分
に柔らかい)と変形する(割れ目はできない)

粘土のような柔らかいイメージ

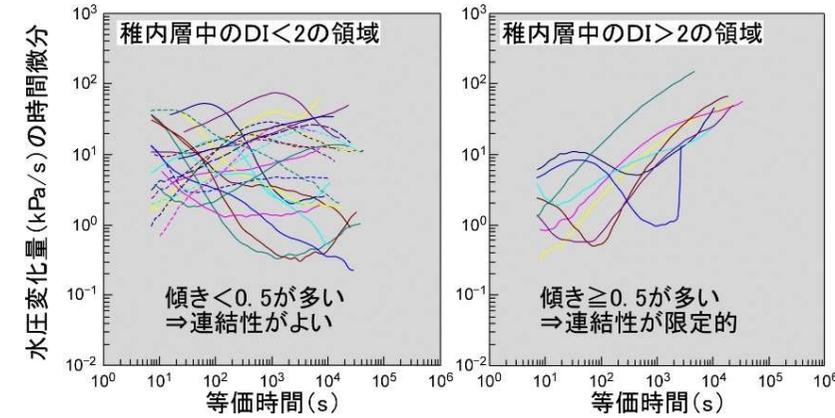


ダクティリティーインデックスの分布



*地下施設周辺の平均有効応力(MPa) ≒ 7.8 × 深度(km) **稚内層の引張強度(MPa): 上部遷移帯 ≒ 2.2、下部遷移帯 ≒ 1.8、主部 ≒ 1.5

力学的検討に基づく稚内層中のDIの分布



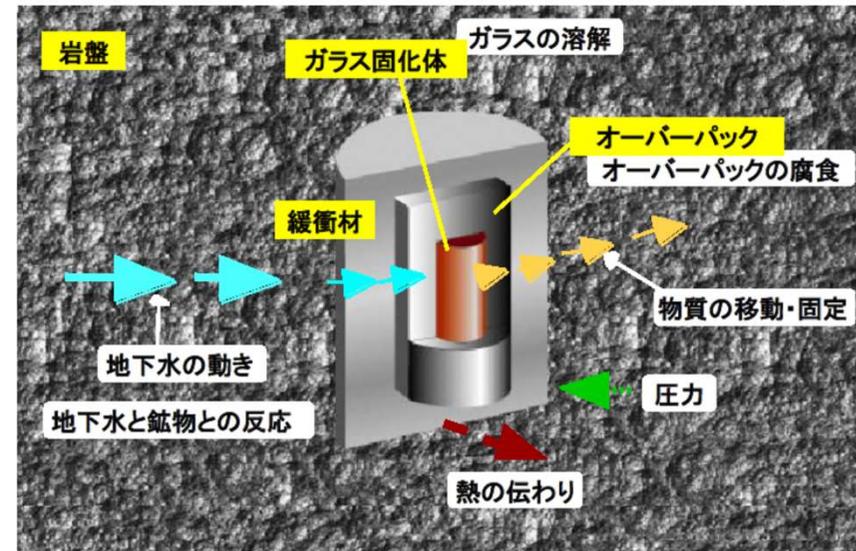
透水試験の詳細解析による亀裂の不連結性の評価
⇒ DI > 2の領域が連結性限定的

亀裂の不連結性のDI依存性
(第3回確認会議 資料集p43に追記)

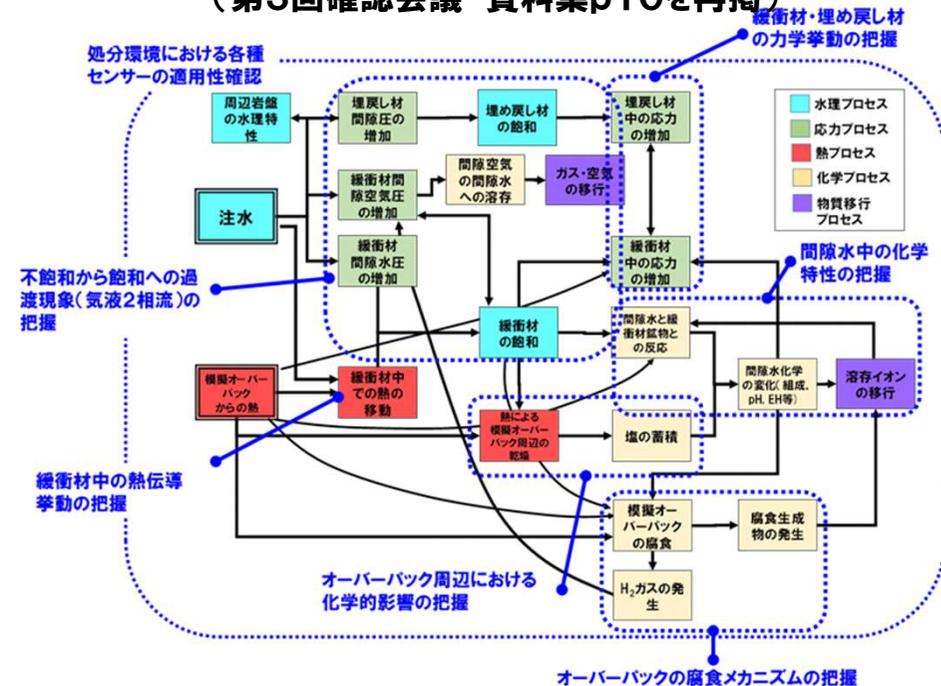
人工バリア性能確認試験で得られる成果の意義

- 第2次取りまとめ(1999)では、仮想の地質環境を幅広く設定して、処分場や人工バリアを設計し、安全評価を実施しました。この評価においては、人工バリアや地質環境において、例えば、オーバーバック1000年で機能を失うなどの保守的な条件を設定しています。
- その結果、諸外国で設定されている安全基準を下回っていることから、日本においても地層処分が可能との判断がなされました。
- 一方で、実際の地質環境に調査技術やモデル化・解析技術を適用して、その有効性を実証することが第2次取りまとめ以降の重要な課題となり、幌延の深地層の研究施設計画を開始しました。

- ✓ 幌延で実施している人工バリア性能確認試験で得られる成果としては、我が国に広く存在する堆積岩における人工バリアやその周辺で生じる、**熱-水-応力-化学連成現象を把握**することや、**連成モデルや解析ツールの有効性が示される**ことです。
- ✓ 現象を把握することの具体例としては、熱によるオーバーバック周辺の乾燥に伴う塩の蓄積などです。
- ✓ 現象を正しく理解することで、**安全評価**で想定している**シナリオが適切である**ことを示すことができます。このことが重要と考えています。
- ✓ さらに、第2次取りまとめで示した**人工バリアの仕様(緩衝材の厚さなど)**を合理化する際の設計の妥当性を評価するツールの整備と位置づけることができます。



人工バリア周辺で生じる現象
(第3回確認会議 資料集p10を再掲)



人工バリア性能確認試験で考慮する複合現象
(第3回確認会議 資料集p24を再掲)