

研究開発の現状について

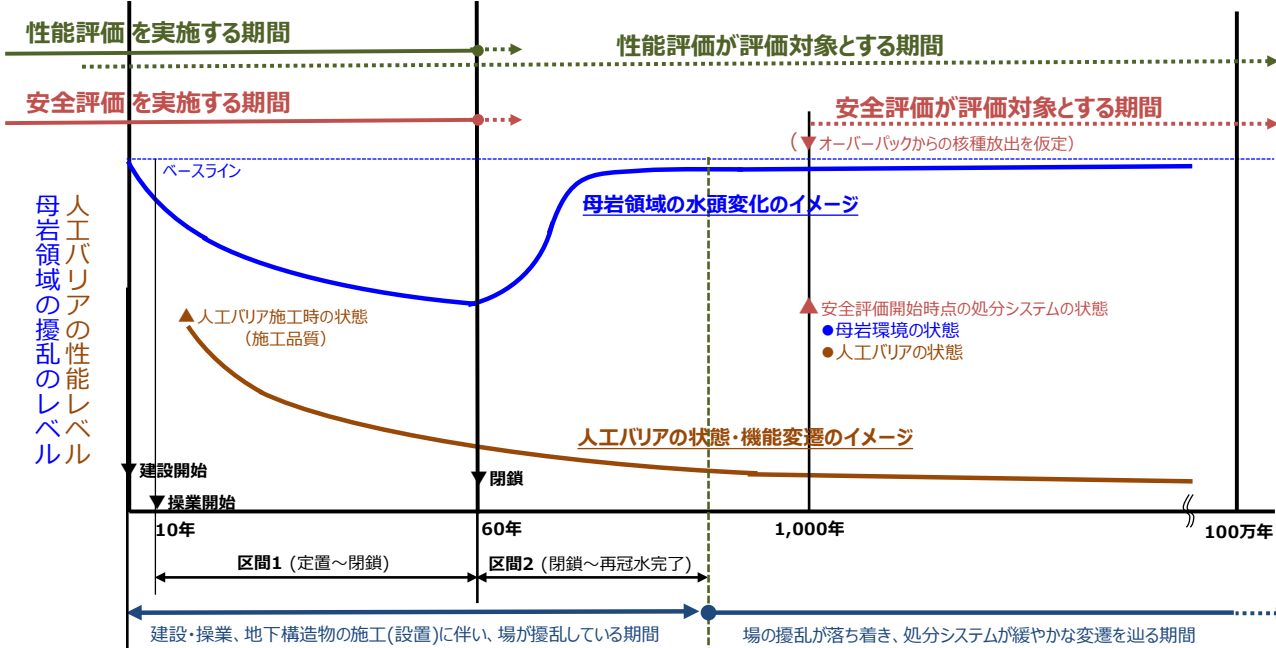
～工学技術分野の研究開発の動向を中心に～

公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター

1. 原環センターにおける工学技術分野に関する研究開発の視点

- 処分システム(人工バリアを含む地下構成要素)に期待される製造・施工品質の達成 (以下に留意)
 - 地下構成要素の材料特性・性能目標 (設計要件・施工仕様)
 - 地下環境 (地下空洞の物理形状や湧水等の施工環境)
 - これらを踏まえた適用性・実現性のある製造・施工技術
- 施設の最終閉鎖判断に資する、構築した処分システムの性能確認技術の確立
 - ⇒ 地下原位置での測定やモニタリングだけでなく、事前の実験や実証 (他の類似環境や地上実験施設等での試験) など、多様な取組を組み合わせて達成

工学的観点から、建設・操業～閉鎖後の再冠水に至る迄の期間 (場の擾乱が落ち着くまでの期間) を対象とした、『**より確からしい性能評価(※)**』の実施に貢献



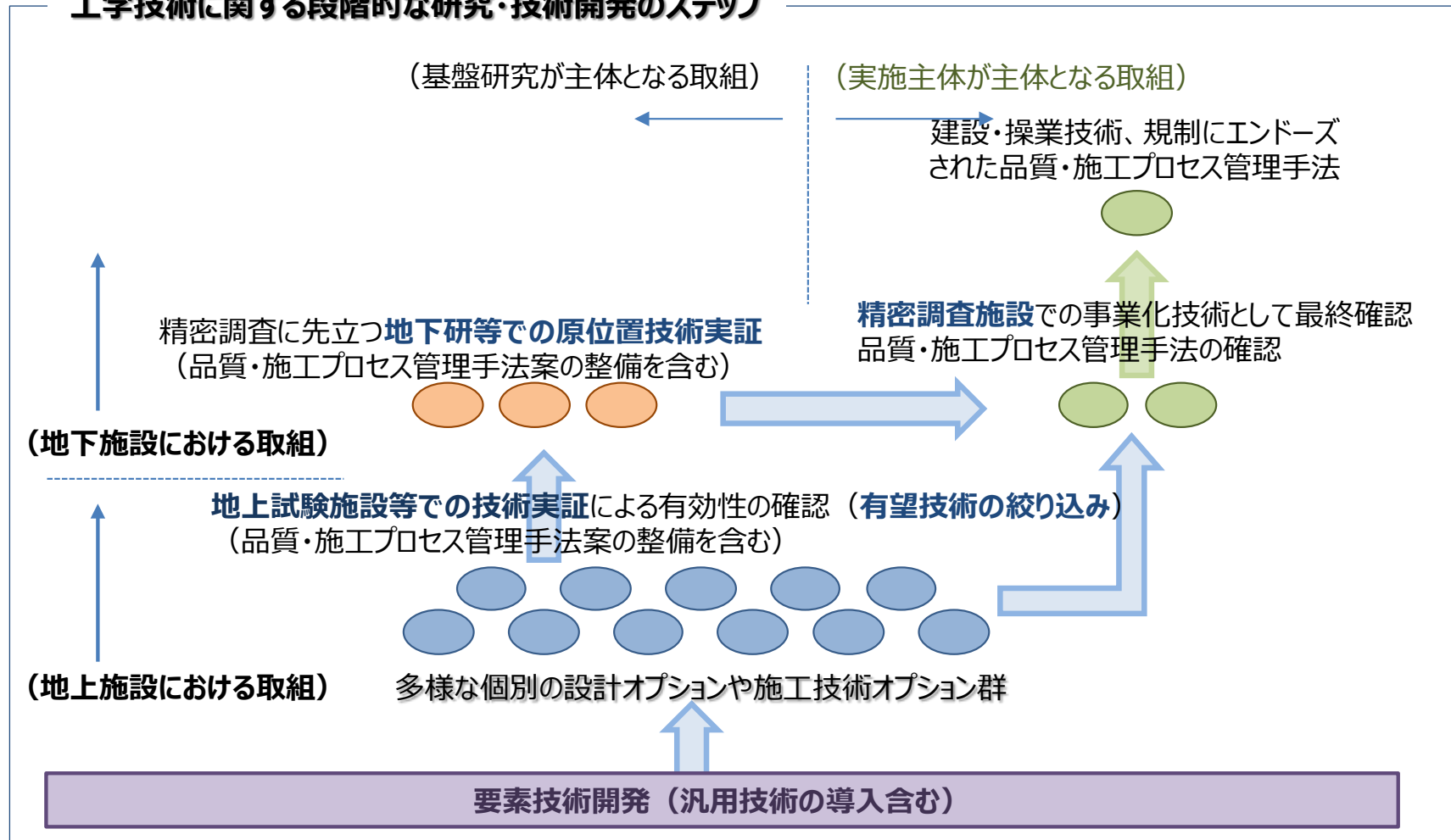
(※) 性能評価：施工後の処分システムの変遷挙動 (状態や機能の変化)に関する分析・予測評価

○ 技術の実用化に至るまでの段階的な開発ステップに留意

⇒ 地層処分という特有の環境条件への適用を見据えた、ロバストな技術としての実用化（技術実証）に至るまでの段階的な研究開発・技術開発のステップ

- 要素技術 ⇒ 統合・体系化技術
- スケールアップ（要素 ⇒ 工学規模 ⇒ 実規模）
- 実験室 ⇒ 地上施設 ⇒ 地下施設

工学技術に関する段階的な研究・技術開発のステップ

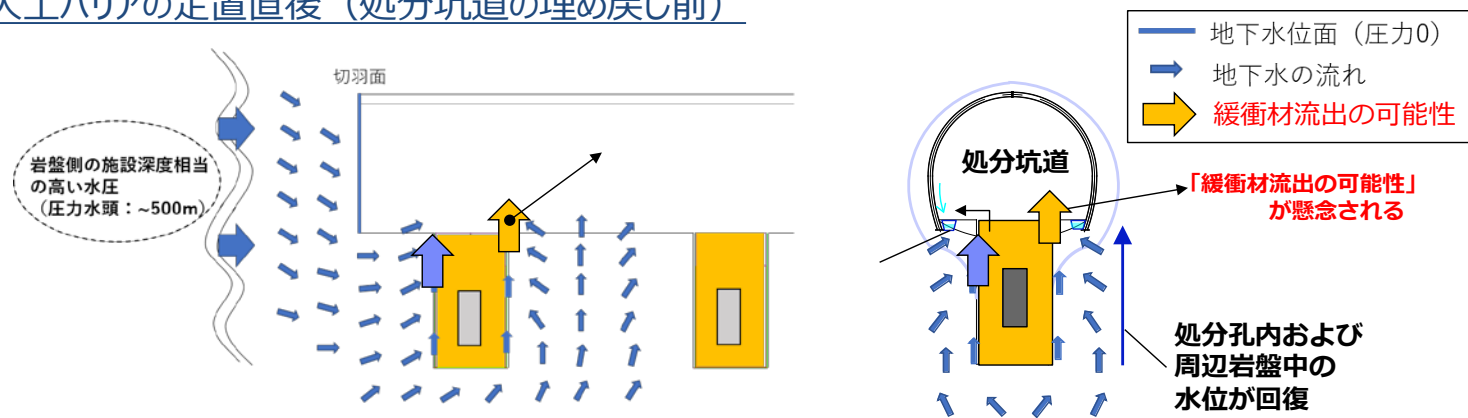


(1) 全体実施概要（原環センターにおける設定課題）

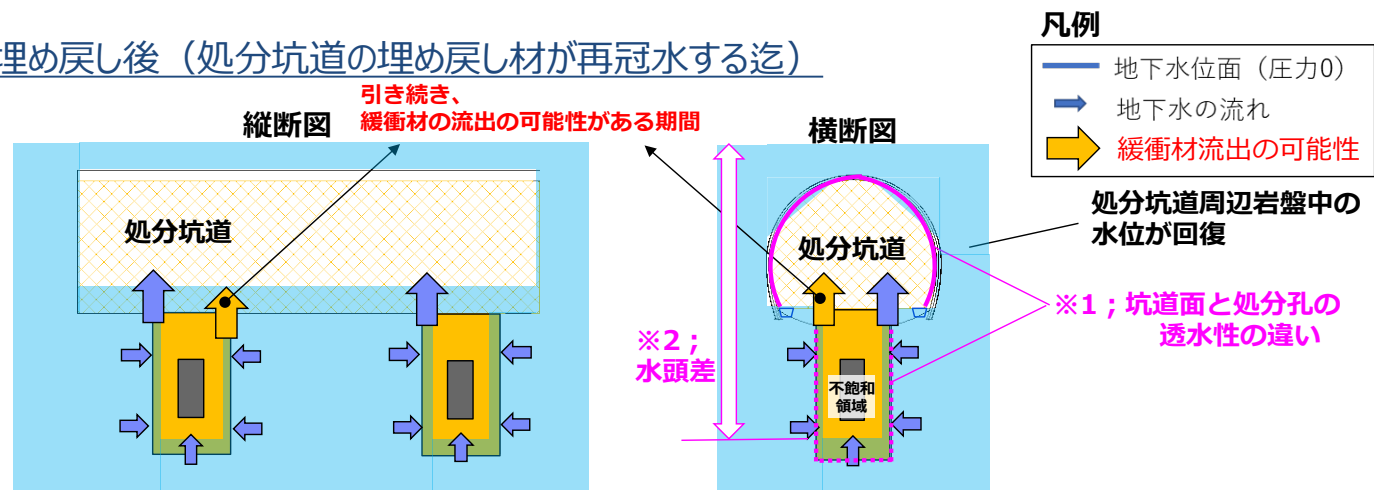
- ① 処分孔竖置き・ブロック方式における、緩衝材の流出現象の把握、工学的対策技術の提示
- ② 緩衝材の流出を考慮した、再冠水後の緩衝材の状態予測技術（密度分布等）の開発・整備

緩衝材の流出が懸念される2つの期間（擾乱期における2つの坑内の状態）

【期間1】 人工バリアの定置直後（処分坑道の埋め戻し前）



【期間2】 処分坑道の埋め戻し後（処分坑道の埋め戻し材が再冠水する迄）



(2) 本年度までに得られた主要な成果（見通し）

① 緩衝材の流出抑制に係る工学的対策オプション

- 緩衝材の流出が危惧される施工時の隙間に着目（孔壁と緩衝材の境界部分）
- 工学的対策オプションの1つとして、『隙間にケイ砂を充填』を検討

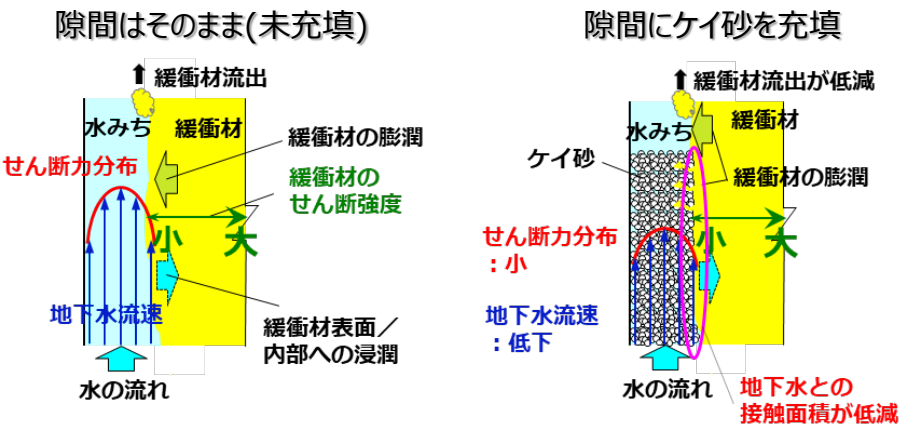
⇒ 期間1を念頭に置いた室内試験や地下原位置（幌延URL）での試験をととして、その効果・有効性に関する見通しを得た【右下図】

② 緩衝材の再冠水プロセスを対象とした解析モデルの開発

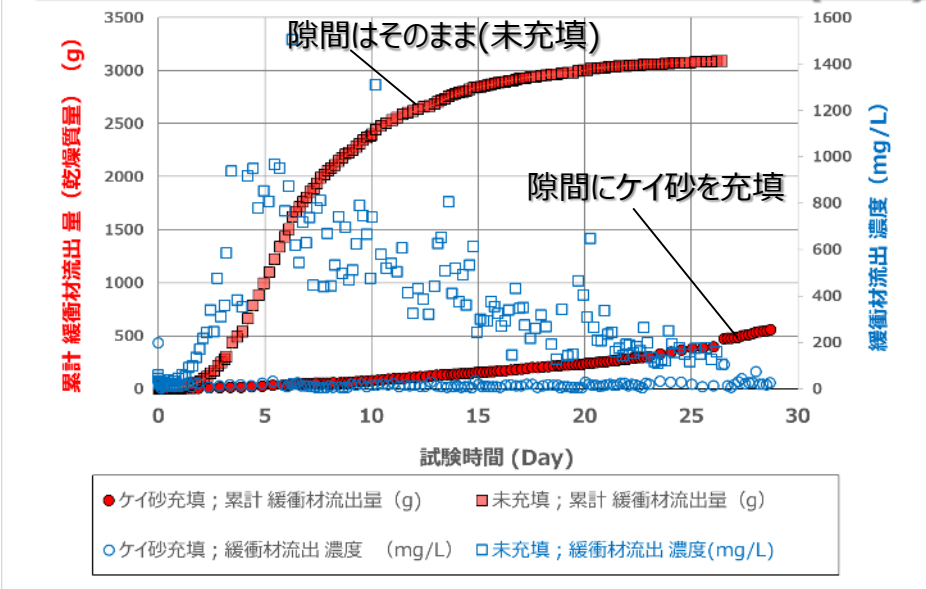
- 段階的なモデル開発を指向
 - まずは、一次元の単純な系でモデルを構築
- 小型セルサイズ試験を再現できる力学モデルを整備・検証
 - 隙間がある場合の緩衝材の膨潤挙動、密度の均質化プロセスについて力学解析を実施

⇒ 小型セルサイズの試験の再現性を確認
（隙間部の密度が低いまま定常状態に至る）

隙間処理に関する工学的対策オプション



孔内湧水の排出と供に流出する緩衝材の量(濃度)



(1) 全体実施概要（原環センターにおける設定課題）

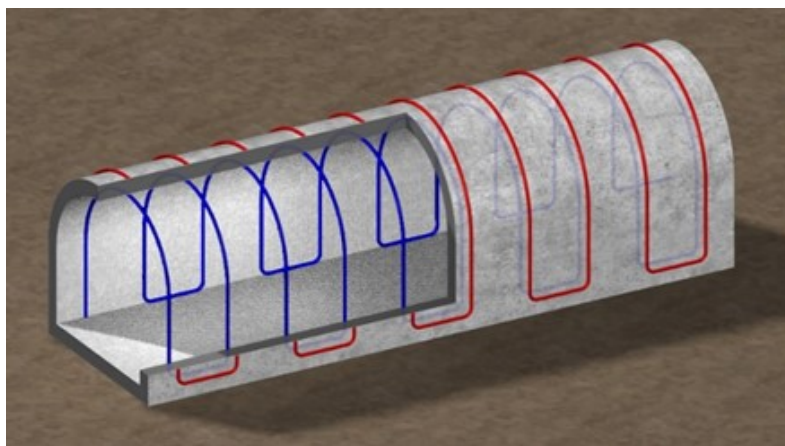
① 製作・施工技術に係る品質保証体系の整備

- 人工バリアを含む地下構成要素を対象とした、品質保証やモニタリングを包含した『性能確認プログラム』の構築に資する基盤情報の整備
- モニタリング等の地下構成要素の状態把握に資するハード技術の高度化・整備（無線技術や新たな計測技術）

② 坑道シーリングに関わる施工技術の整備（埋め戻し材の材料特性等を踏まえた施工技術オプションを整備し、将来の迅速な技術選択に必要な情報を整備）

- 埋め戻し材の材料特性に係る基盤情報の整備（データベース整備）
- 材料特性を踏まえた施工技術オプションの整備・開発

埋め戻し材に対する光ファイバセンサの適用概念の検討例



埋め戻し材に関する施工技術オプションの例

吹付け工法



転圧工法

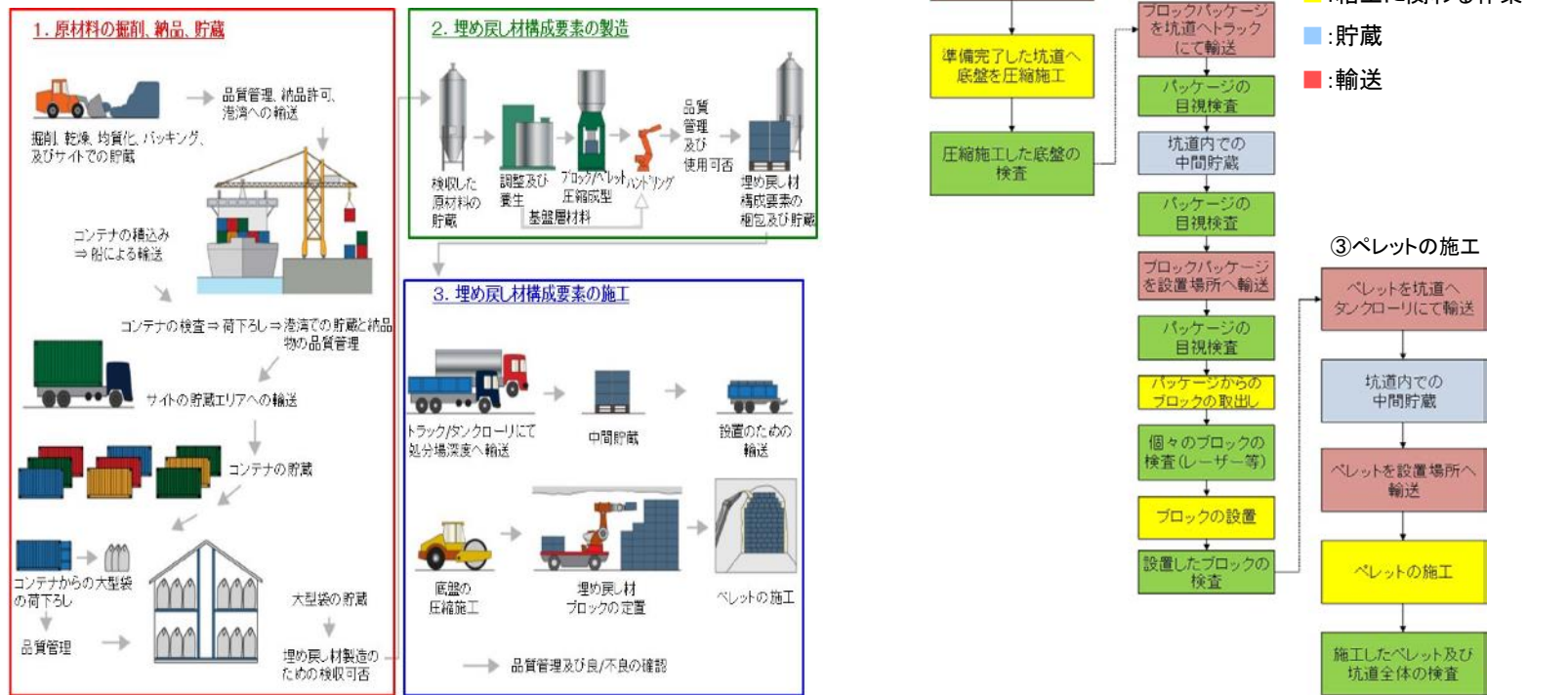


(2) 本年度までに得られた主要な成果（見通し）

① 製作・施工技術に係る品質保証体系の整備

- 諸外国の先行検討事例等の調査を経て、品質保証等を包含した性能確認プログラムの構築に係る考え方を整理（研究開発の方向性を含む）
- 原位置状態把握に資するハード技術開発
 - 無線伝送システムを実装する際のシステム構成の具体化
 - 無線給電システムの概念設計手法の基盤整備
 - 光ファイバセンサの適用事例等の整理

諸外国における埋め戻し材の品質保証プログラムの具体化検討例 （フィンランドPosiva社の品質保証プログラム開発例）



② 坑道シーリングに関わる施工技術の整備

● 埋め戻し材の材料特性・施工品質に関する試験データを取得して基盤情報として整備

- ベントナイトの種類・混合率、模擬掘削土の種類・粒径などをパラメータとした室内試験
- 転圧工法と吹付け工法による小規模施工試験

材料特性に係る取得データの例

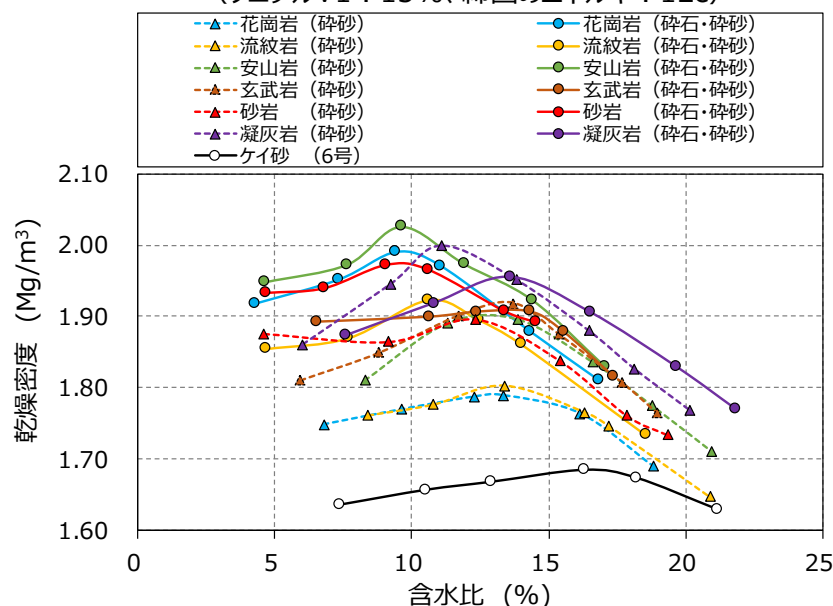
- 模擬掘削土の岩種や粒径による施工影響を考慮した埋め戻し材の乾燥密度、透水係数 など
- 乾燥密度（または有効粘土密度、有効モンモリロナイト密度）と透水係数及び膨潤圧の関係 など

施工品質に係る取得データの例

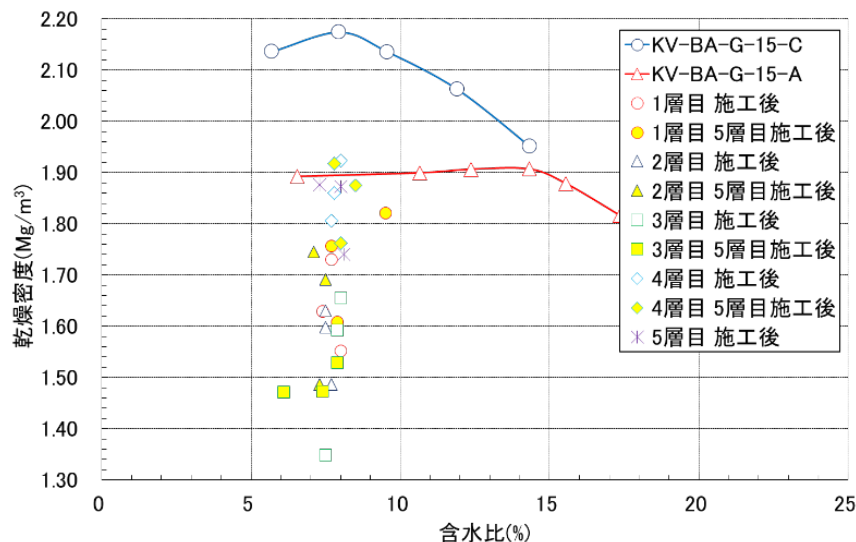
- 乾燥密度、含水比とそのバラツキ
- 透水係数
- 施工時間
- 材料ロス率 など

埋め戻し材に関して得られた締固め特性の例

模擬掘削土の種類と粒径をパラメータとした埋め戻し材の締固め試験の結果
(クニゲルV1 : 15%、締固めエネルギー : 1Ec)



転圧工法による埋め戻し材の小規模施工試験の結果
(クニゲルV1 : 15%、玄武岩 : 砕石・砕砂)



(1) 全体実施概要（設定課題）

地層処分事業への可逆性・回収可能性の導入という新たな施策に対する社会の信頼感を更に高めて行くために、それを裏付ける回収可能性という技術的能力に対する信頼性を高める

① 回収技術の実証的整備

- 処分坑道横置き・PEM方式に対する、搬送・定置から回収までの一連の操業技術を地下原位置実環境において技術実証

② 回収可能性の維持に伴う影響の定量化手法の整備

（回収の容易性を高めた代替設計オプションの検討を含む）

- 基本方針が要求している回収可能性に係る調査研究課題(※)への対応

※最終処分施設を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等に関する調査研究

※平成23～26年度 地層処分回収技術高度化開発

参考) 処分孔縦置き方式に対する回収技術は2014年度までに地上施設で実証済み※



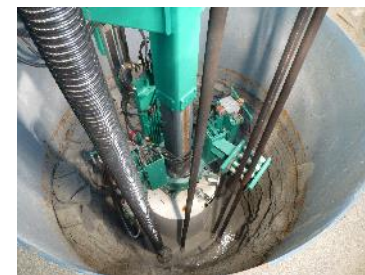
遠隔操作設備



塩水リユース設備



噴射・吸引設備



模擬オーバーパック周囲の緩衝材の除去の様子

緩衝材除去システムの整備

(2) 本年度（5カ年事業の最終年度）までに得られた主要な成果（見通し）

① 回収技術の実証的整備

- 横置き・PEM方式に関する一連の**操業および回収に係る主要な要素技術を開発・整備**
 - 主要な要素技術：1)搬送・定置、2)隙間充填、3)充填材除去、4)廃棄体回収・搬出
※1)と4)は逆動線を前提とした同一の装置で実現
- 開発・整備した要素技術を用いて、**地下原位置実環境（幌延URL）における実規模スケールでの技術実証を完了**
- 要素技術開発から原位置実証に至る開発プロセスをとおして、**各技術の特性データ（運転パラメータ等）や施工限界（環境条件）等に係る情報を取得・整備**（将来の拡張性等を分析・整理）

上段）JAEA幌延深地層研究センターで実施した実規模実証試験【処分孔横置き・PEM方式】

下段）要素技術の特性把握等のための地上での要素試験

1) 搬送・定置 / 4) 回収・搬出
（エア・ベアリング駆動方式）



2) 隙間充填
（狭隘部スクルーフィーダ方式）



2) 隙間充填
（開放部吹き付け工法）



3) 充填材除去
（ウォータージェット、オーガ掘削）



②-1 回収可能性の維持に伴う影響の定量化手法の整備

● 定量化すべき情報および定量化に必要な技術検討項目を整理

➤ 『操業期間中の安全性』と『閉鎖後長期の安全性』の観点から整理（右下図）

● 定量化すべき項目ごとに、影響の定量化手法の整備および課題の抽出を実施

➤ 定量化技術の要素を抽出（以下、技術要素の例）

- 1) 短期的な実験等から導かれる経験式
- 2) 類似環境での実事例（経験則）
- 3) 数値解析的アプローチ（モデル開発・整備）

➤ 各要素の技術開発状況の調査、分析・整理

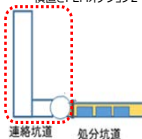
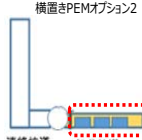
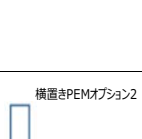
➤ 定量化手法の不確実性の要因分析

②-2 回収の容易性を高めた代替設計オプションの検討

● 『廃棄体へのアクセス性』、『ハンドリング性』の2つの観点から回収の容易性向上のポイントや具体的な工学技術を整理

● 回収容易性を高めた代替設計オプションの構築に向けた方策を整備（代替設計オプション案を例示）

定量化等に向けて必要となる技術検討項目

R&R 検討会で示された「定量化すべき情報」と、例示された「今後の技術検討項目」			
定量化すべき情報		定量化に必要な技術検討項目(例)及び技術検討の視点	検討対象(イメージ)
1. 安全性 への影 響	(1) 操業期 間中の 安全性 への影 響	① 回収可能性 維持期間中 の開放坑道 の安全性へ の影響	1)開放坑道内の作業空間の安全性 保守管理のために開放坑道内に人が出入りするため、開放坑道内の作業空間の安全性確保の観点から、以下の評価・検討や技術の具体化を行う。 a.開放坑道の健全性（空間安定性） b.開放坑道内（作業空間）への廃棄体からの熱影響 
		② 回収作業時 の安全性へ の影響（回 収を実施す る場合）	1)回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性 一度埋め戻した坑道の再掘削／再利用を前提とする場合に 、回収時に再利用する坑道内の作業空間の安全性確保の観点から、以下の評価・検討や技術の具体化を行う。 a.埋め戻した坑道の再利用時の健全性 b.再利用する坑道内（作業空間）への廃棄体からの熱影響 
	(2) 閉鎖後長期の安全性への影響 ：回収可能性維持期間の後に回収せずに最終閉鎖する場合の、人工バリアや天然バリア（母岩）に期待する閉鎖後長期の安全機能への影響	2)回収時の廃棄体容器の健全性 回収装置による把持・取り出しの際には、廃棄体容器に一定の機械強度が要求されることから、廃棄体容器の健全性に関する評価や検討を行う。	
		1)回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う人工バリア等に期待する安全機能への影響 維持期間中の開放坑道の存在を踏まえ、人工バリア（及び他の地下構造物）に期待する閉鎖後長期の安全機能への影響を下記観点から評価する。 a.開放坑道を介した空気（酸素）の持ち込みによる人工バリア等の地下構造物の機能劣化等の影響 b.廃棄体からの熱による影響 c.坑道開放期間中に継続する坑内湧水の影響 2)回収可能性維持期間中の開放坑道の存在に伴う天然バリア(母岩)に期待する安全機能への影響 維持期間中の開放坑道の存在を踏まえ、天然バリア（母岩）に期待される閉鎖後長期の安全機能に係る次のような影響を評価する。 a.地下水の引き込みによる擾乱影響の範囲と程度（化学組成の異なる地下水の引き込みの影響） b.開放坑道を介した酸素の供給や乾燥環境の持ち込みによる母岩側への影響範囲と程度 c.ベースライン（建設前の元の地下環境の状態）への回復過程と回復の程度 	

5. まとめ

- 資源エネルギー庁の3つの研究開発事業において、現行の全体計画（平成30～34年度）に沿った工学的な課題について研究開発を推進。
 - ① ニアフィールドシステム評価確証技術開発
 - ② 地層処分施設閉鎖技術確証試験
 - ③ 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

- 上記の①および②では、5ヵ年計画における**当初2ヵ年の取組としての成果の見通しを得た**。
引き続き現行の全体計画（平成30～34年度）に沿って5ヵ年の目標成果の達成を目指す。

- 上記の③についても、処分坑道横置き・PEM方式に対する回収技術の実証など5ヵ年計画における**当初2ヵ年の取組としての成果の見通しを得た**。このような進捗を踏まえ、例えば回収の迅速化や容易性の向上などについて、現行の全体計画の一部の表現を見直すことが適当と考える。