

令和7年度における個別課題の現状および今後の予定

③ 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システム に関する研究開発 及び 代替処分オプションの研究開発

令和8年3月16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
BE資源・処分システム開発部

本日の内容

- 第4期中長期計画及び年度計画
- 令和7年度成果のまとめと話題
- 予算と実施項目の関係
- 令和7年度の成果



人工バリアの長期性能評価に関する室内試験



放射性物質の溶解・移行挙動等の試験研究

(1)地層処分システムに関する研究開発

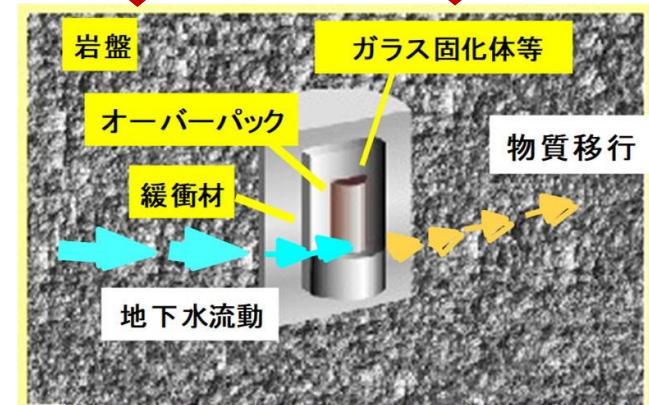
(1-1) **工学技術**の信頼性向上

- 1) 人工バリアの長期複合挙動等に関する研究
- 2) 人工バリアの基本特性データベースの拡充

(1-2) **安全評価**手法の高度化

- 1) 放射性核種の移行に係る現象理解とそれに基づく評価モデルの高度化
- 2) 放射性核種の移行に係るデータベース開発

(2) **代替処分オプション**の研究開発



地層処分における核種移行モデルの高度化

- 熱力学・収着・拡散データベース
- 緩衝材基本特性データベース
- グラウトデータベース
- ガラス溶解データベース
- オーバーパックデータベース



各種データベースの整備 (Web公開)

第4期中長期計画及び年度計画(1/2)

(2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

3) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分システムに関する研究開発

中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）

深地層の研究施設計画や地質環境の長期安定性に関する研究の成果も活用し、処分事業の進展に応じ、関係機関と一層の連携を図りながら、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化を図る。

年度計画（令和7年4月1日～令和8年3月31日）

地層処分に係る処分システムの構築及び構築したシステムの評価を行うための解析技術の先端化・体系化を図るための検討を継続して進める。令和7年度は、多重バリアの構成要素間の相互作用等がもたらす場の状態変遷の評価、緩衝材の温度が100℃を超えることによる緩衝材の特性に与える影響を評価するための室内試験や原位置試験試料の分析を行う。また、ニアフィールド・天然バリア及び生活圏のそれぞれにおける核種移行に関するモデルの開発・検証・適用性確認やそのためのデータ取得、人工バリア特性や核種移行に関するデータベースの拡充を継続して実施する。その際は、地層処分基盤研究施設及び地層処分放射化学研究施設を活用し、また、深地層の研究施設計画や地質環境の長期安定性に関する研究の成果も用いて、関係機関と一層の連携を図りながら進める。

第4期中長期計画及び年度計画(2/2)

- (2) 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発
4) 代替処分オプションの研究開発

中長期計画（令和4年4月1日～令和11年3月31日）

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、海外の直接処分等に関する最新の技術動向を調査するとともに、高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発の成果を活用しつつ、使用済燃料の直接処分等代替処分オプションに特徴的な現象に着目した研究を着実に進める。

年度計画（令和7年4月1日～令和8年3月31日）

使用済燃料の直接処分に特徴的な現象を把握するため、令和7年度は、使用済燃料から一部の放射性核種が処分後速やかに放出される現象等に関するデータの取得等を継続するとともに、燃料の溶解に関する長期の試験データの取得等も進める。また、海外における最新の技術動向の調査の一環として、超深孔処分を対象として、日本における成立性に関する検討等を進めるための情報収集を継続する。

令和7年度の成果のまとめ

(1-1) 工学技術の信頼性向上

1) 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究：

セメント変質に関する熱力学データや、100℃超を含む温度条件下における緩衝材の挙動試験データの取得を実施し、現象理解の進展やモデルの高度化に貢献。

2) 人工バリア等の基本特性データベースの拡充：

「高温水環境下における長期浸漬試験」の**水素濃度分析結果40件**を「**オーバーパックデータベース**」に、海水条件下での**溶液型グラウト特性データ16件**を「**グラウトデータベース**」に追加。データベースを活用した性能評価の信頼性向上に貢献。

(1-2) 安全評価手法の高度化

1) 放射性核種の移行に係る現象理解とそれに基づく評価モデルの高度化：

種々の環境における核種移行データ取得とモデル化等を継続的に実施し、現象理解の進展やモデルの高度化に貢献。

2) 放射性核種の移行に係るデータベースの拡充を継続、収着データベース報告書公開*。

(2) 代替処分オプションの研究開発：

使用済燃料からの核種溶解挙動評価試験や、直接処分・（超）深孔処分の成立性に関する調査検討等を継続的に実施し、現象理解の進展等に貢献。

報告順序

No.	分野	予算	標題	pp.
①	代替	エネ庁	直接処分等代替処分総合評価技術開発	6-11 99-145
②	工学	エネ庁	地層処分安全評価確証技術開発 (ニアフィールド長期環境変遷評価技術開発)	12-14 26-52
③	工学 安全	文科省	機構内外競争的資金(科研費等)研究 運営費交付金研究	14 24-25, 53
④	安全	エネ庁	地層処分安全評価確証技術開発 (核種移行総合評価技術開発) 沿岸部地質環境調査・処分システム評価統合化技術開発	15-17 53-82
	工学 安全	NUMO	ニアフィールドシステムの長期挙動評価 及び核種移行挙動評価	83-98

P. 20以降(薄字)は参考資料。

代替処分オプションとは

- **福島第一原子力発電所事故を受け**，平成24年に原子力委員会から直接処分を可能とするための技術開発に着手するよう提言；平成25年度に着手。
- **第4次エネルギー基本計画**（平成26年4月11日閣議決定）から代替処分オプションの記載（下記は第7次エネルギー基本計画（令和7年2月18日閣議決定）の記述）。

「併せて、地層処分を前提に取組を進めつつ、将来に向けた幅広い選択肢を確保する観点から、使用済燃料の直接処分等の代替処分オプション（中略）に関する調査研究等を進め、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。」

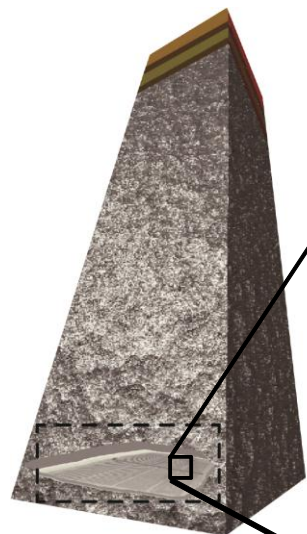
・ **前提（国の政策）**：**ガラス固化体およびTRU廃棄物の地層処分**

・ **代替処分オプション**：**直接処分** **その他の代替処分オプション**

（超）深孔処分 ...

代替処分オプションの研究開発の位置づけ

直接処分



燃料集合体

燃料多様性

炉型(PWR/BWR), 燃料種類 (UO₂/MOX), 燃焼度

長尺廃棄体

BWR
PWR

臨界

処分容器

緩衝材

母岩

使用済

燃料

処分容器

緩衝材

セメント

母岩

(発熱量増大に伴う) 温度影響

腐食生成物

RNs

瞬時放出

核分裂生成ガス 金属(合金)の気泡・トンネル 酸化物等

総称して「ギャップ」

焼き締り等によるクラック

ペレット-被覆管クリアランス

被覆管(酸化膜)

リム領域微細結晶粒と空隙で再構成



長期溶解

UO₂ ベレット

燃料ピン断面

UO₂±結晶粒(燃料マトリクス)

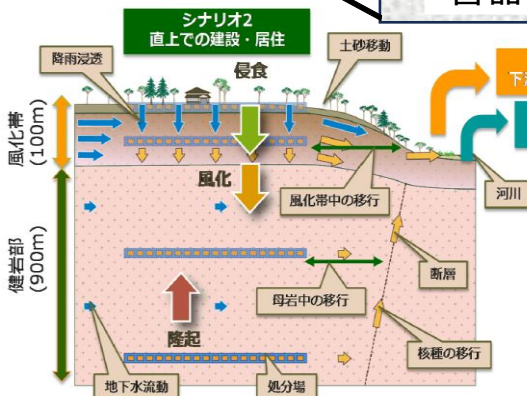
被覆管(ジルカロイ)

α線影響

炭酸影響

(廃棄体の長寿命化や高放射線量に伴う)

隆起・侵食による処分場の地表接近・地表露出による影響



- ガラス固化体を使用済燃料に置き換えたシステム（北欧諸国と同様）
 - ガラス固化体の地層処分と共通する項目が多いものの一部が特徴的

代替処分オプションの研究開発の位置づけ

【概括的評価である「直接処分第1次取りまとめ*」において抽出された課題】

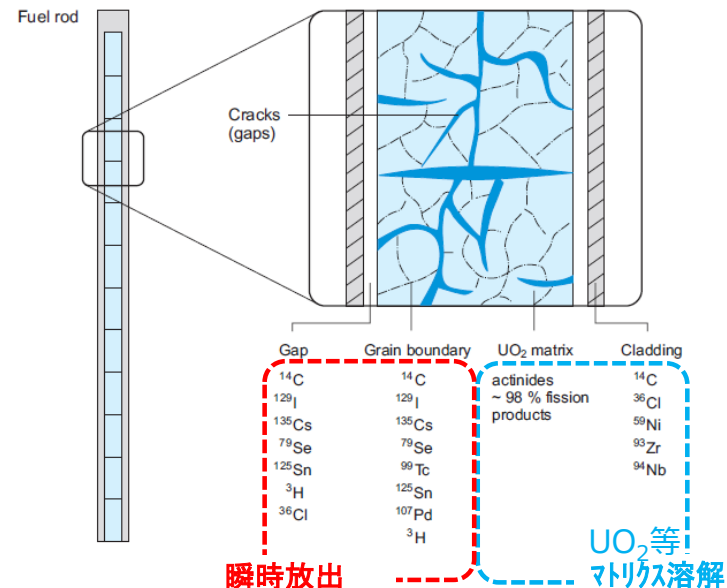
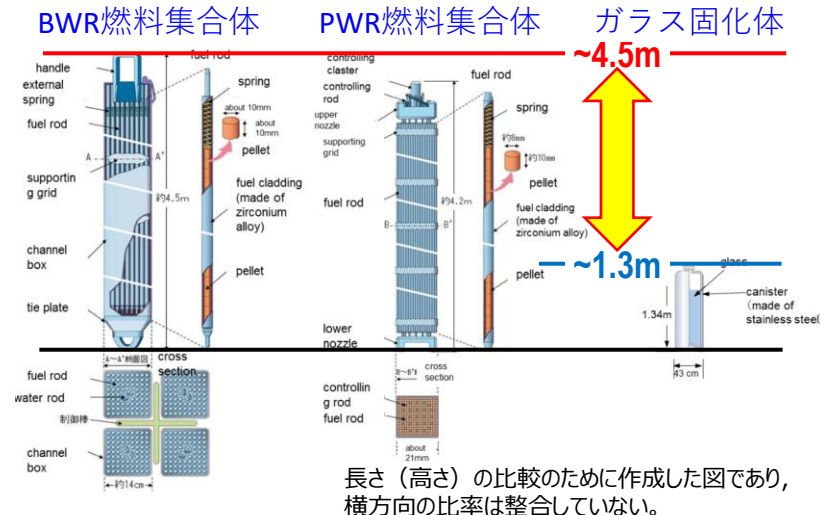
● 限られた前提条件を対象とした予備的な検討をより包括的なものとするための課題

- 地質環境条件の多様性（地層処分と共通）
- **使用済燃料の多様性**
- 安全評価のシナリオの拡充（地層処分と共通）
- **様々な処分概念オプションの考慮**

● 使用済燃料に特有の主な課題

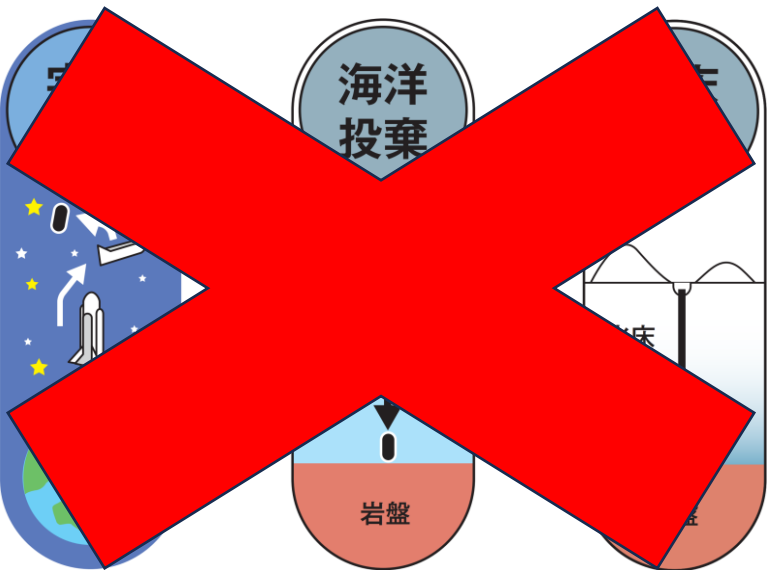
- 工学技術：**保障措置・核物質防護**，**廃棄体発熱量の増大**，**臨界安全性評価**，**長寿命処分容器の検討**，**長尺廃棄体の搬送・定置**，等
- 安全評価：**燃料および構造材からの核種の溶解・放出挙動評価**，**放射線（特にα線）影響評価**，等

青太字：現在対応中，緑字：過去に検討実績

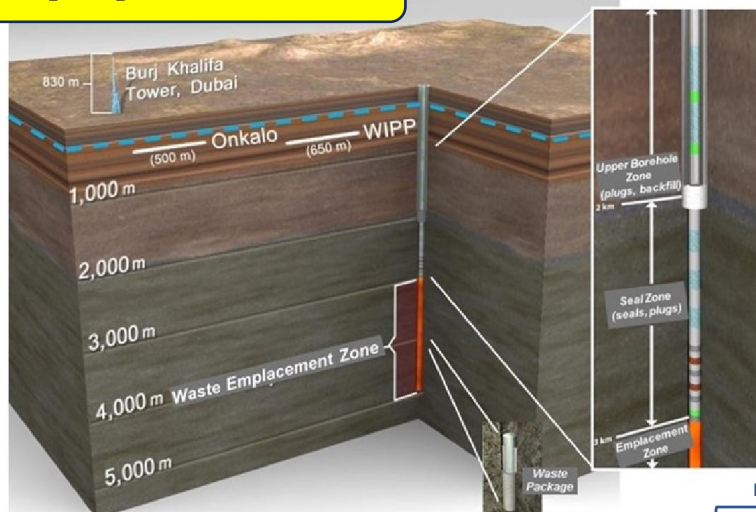


代替処分オプションの研究開発の位置づけ

その他の代替処分オプション



(超) 深孔処分



深部
(~5,000m)
への掘削可能性

廃棄体定置の
実現性

Freeze et al. (2019)

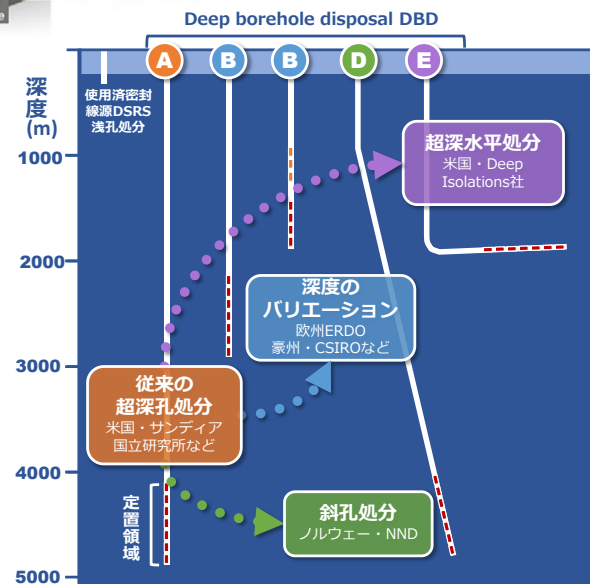
核変換

未臨界状態での核分裂の連鎖反応抑制
核分裂の連鎖反応抑制

≠ 処分

短寿命の核種

長寿命の核種



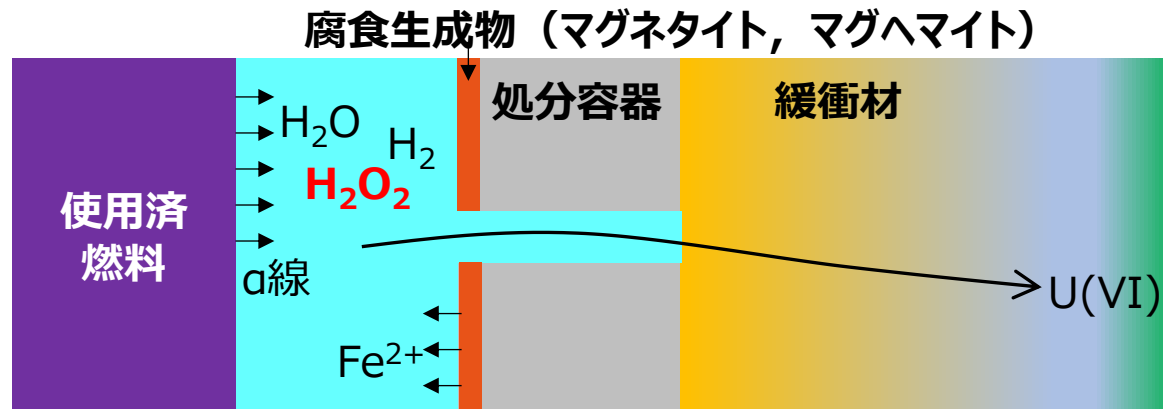
(3)直接処分システムの成立性の検討に向けた基盤情報の整備

酸化還元フロントの移行が核種移行にもたらす影響の把握

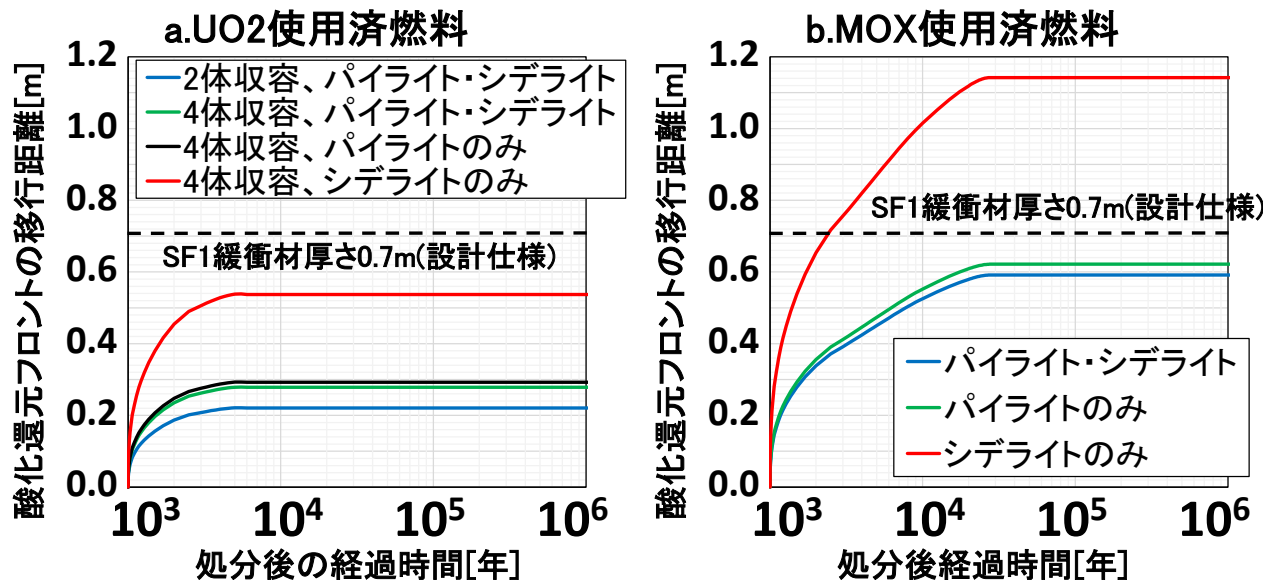
➤放射線（特にα線）による水の放射線分解で、過酸化水素などの酸化剤が生成し、処分環境が酸化性となり、核種の移行が促進されるおそれ。

➤放射線影響評価（右図）を実施し、燃料溶解速度と酸化還元フロントの進展を評価。

➤UO₂使用済燃料の場合、酸化還元フロントは緩衝材を貫通せず、安全性への影響も軽微である可能性が高い。なお、緩衝材を薄くする場合やMOX使用済燃料の場合、酸化還元フロントが緩衝材を貫通し、安全性への影響が無視できない場合もあることに留意が必要。



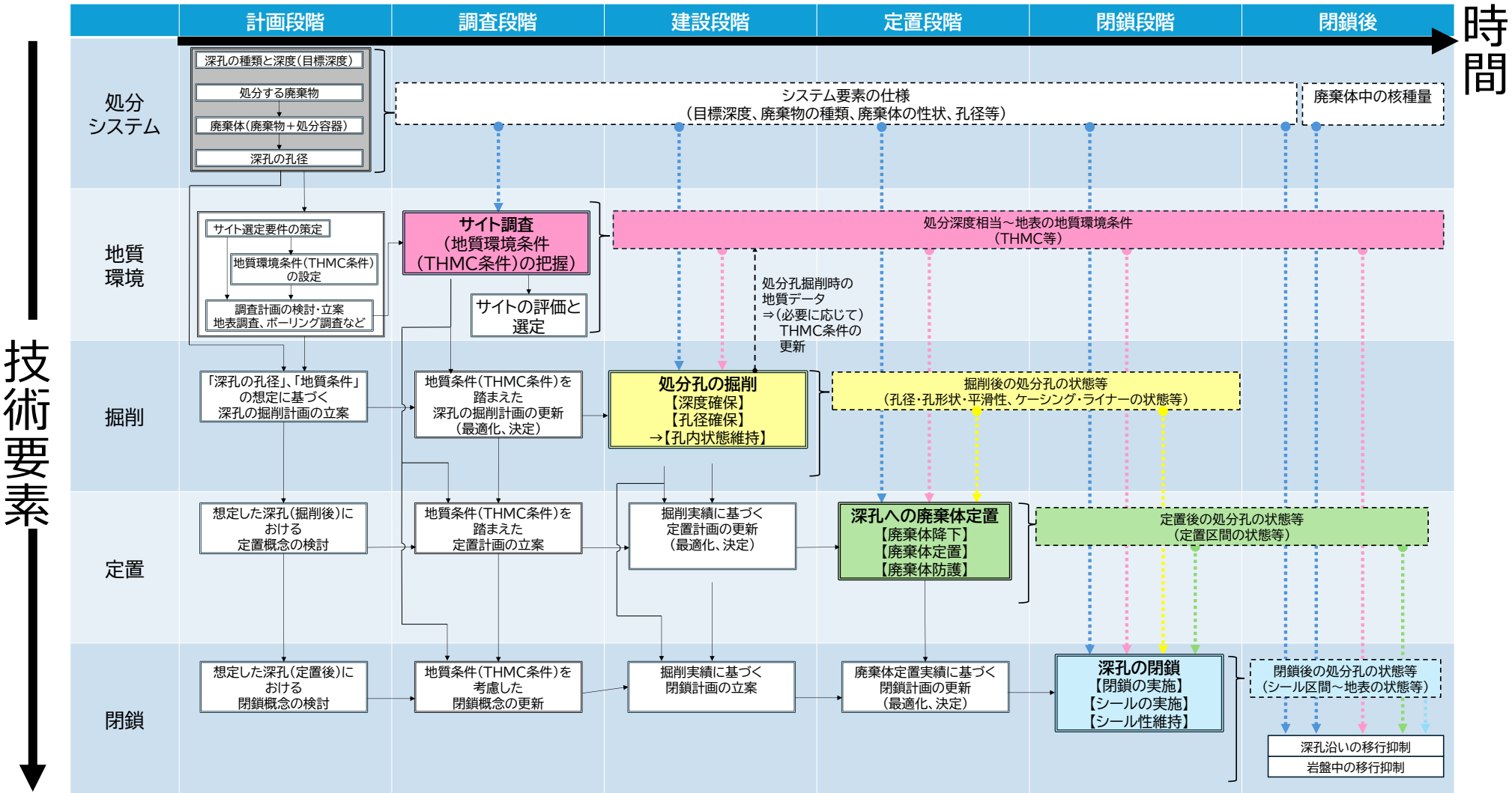
放射線影響評価のモデルの概念
(Johnson and Smith(2000), 山口・油井(2008)を参考に作成)



酸化還元フロント進展の評価結果

その他の代替処分オプション（深孔処分）

➤ 調査・建設・操業・閉鎖のそれぞれの段階で実施する項目・内容・方法・手順等を、一連の工程や相互の関連性も踏まえたフローとして可視化。



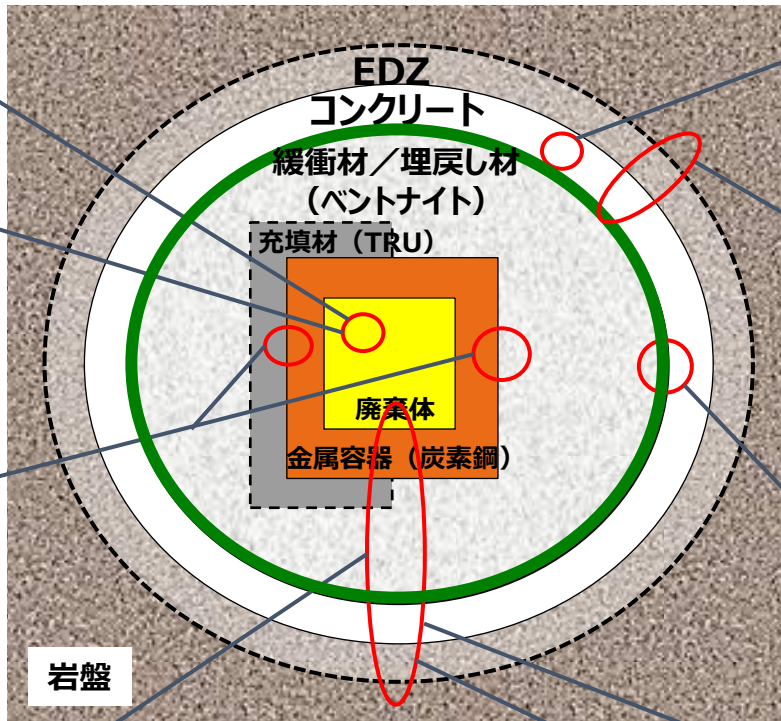
地層処分でのニアフィールドにおける材料配置と現象・材料間の相互作用

廃棄体からの核種溶解
(他機関で実施)

ガス発生

腐食, 残留応力
影響 (SCC)
鉄/ベントナイト
相互作用

ガス移行
(他部署・機関で実施)



セメント変質

坑道周辺の
状態変遷

セメント/ベントナイト
相互作用

THMC連成現象,
隙間充填,
長期変遷

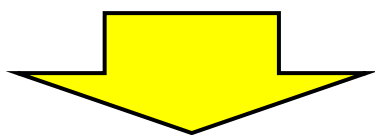
高温影響

実施内容の再整理

- 実施内容を処分場閉鎖の時間や事象で区切る形で再整理。
- 核種移行挙動評価への反映（連携）の明示。

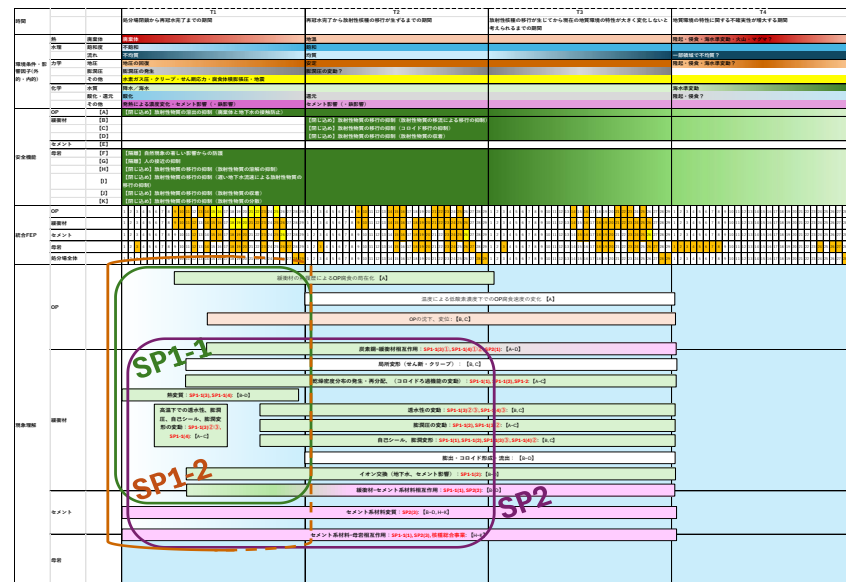
当初のサブプロジェクト名

- ニアフィールド状態変遷評価技術の高度化
- 熱影響評価技術の高度化



再編後のサブプロジェクト名

- 再冠水期のニアフィールド状態変遷の評価技術の高度化
 - 数値解析の高度化に資するニアフィールド現象の事象抽出
 - ニアフィールド現象理解と数値解析の高度化
- 飽和後のニアフィールド状態変遷の評価技術の高度化
- 核種移行総合評価技術開発との連携

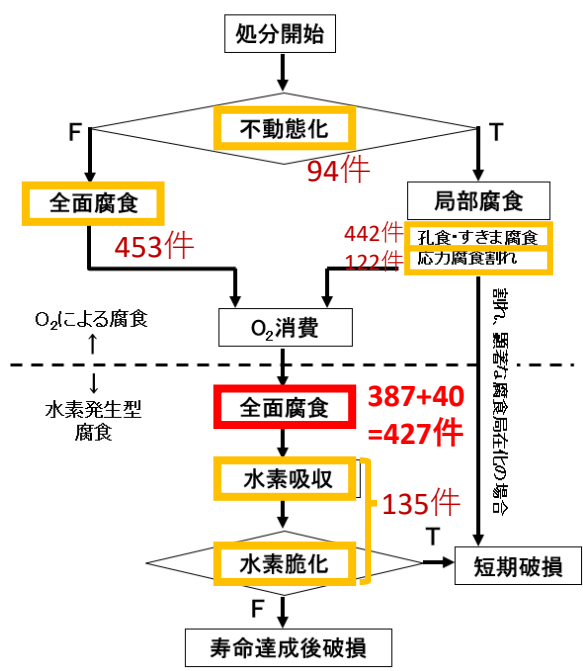


	NUMO-SCにおける処分後の経過時間 →	T1 処分場閉鎖から再冠水完了まで	T2 再冠水完了から放射性核種の移行が生ずるまで	T3 放射性核種の移行が生じてから現在の地質環境の特性が大きく変化しないと考えられるまで	T4 地質環境の特性に関する不確実性が增大する期間
現象理解					
事象抽出		(1)-1	(2)		
解析		(1)-2			

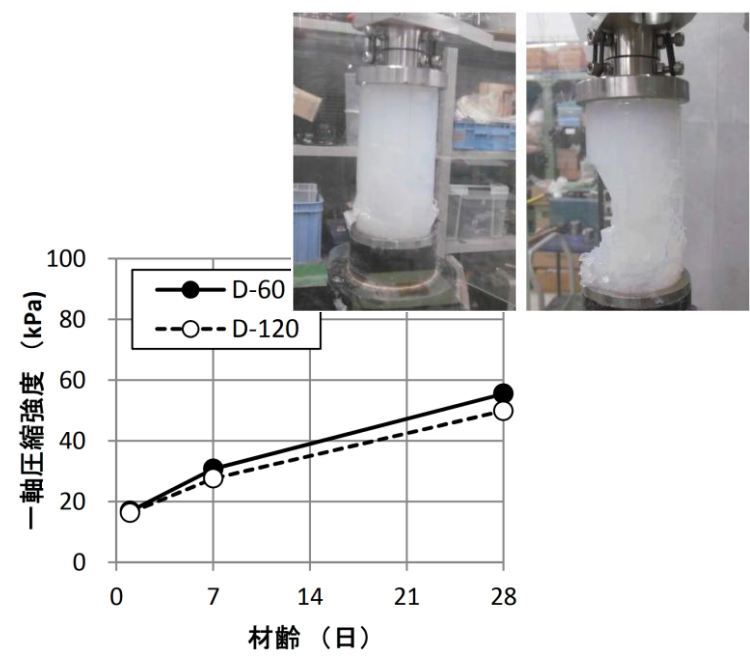
(5)

データベースの拡充

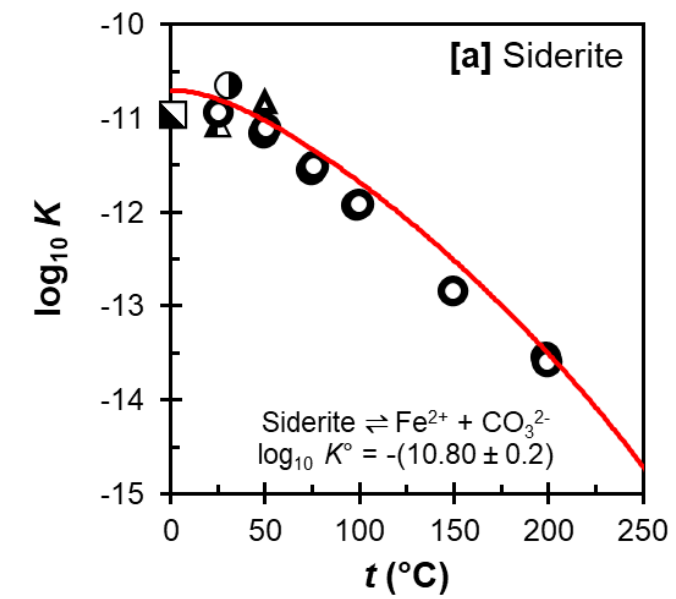
- **オーバーパックデータベース**：緩衝材接触条件における人工海水中の炭素鋼の全面腐食（水素発生型）に関するデータ**40件**を追加。データベースを活用した腐食解析モデルの信頼性向上への寄与などが期待される。
- **グラウトデータベース**：室内試験で取得された海水条件下での溶液型グラウト特性データ**16件**を追加。
- **鉱物-水反応に関する熱力学データベース（JAEA-TDB-GC）**：反応式全1,046件中**476件**更新済；今後も内部整合性を担保しつつ継続し，**完了後に公開予定**。



炭素鋼オーバーパックの腐食シナリオと基本特性データの登録件数

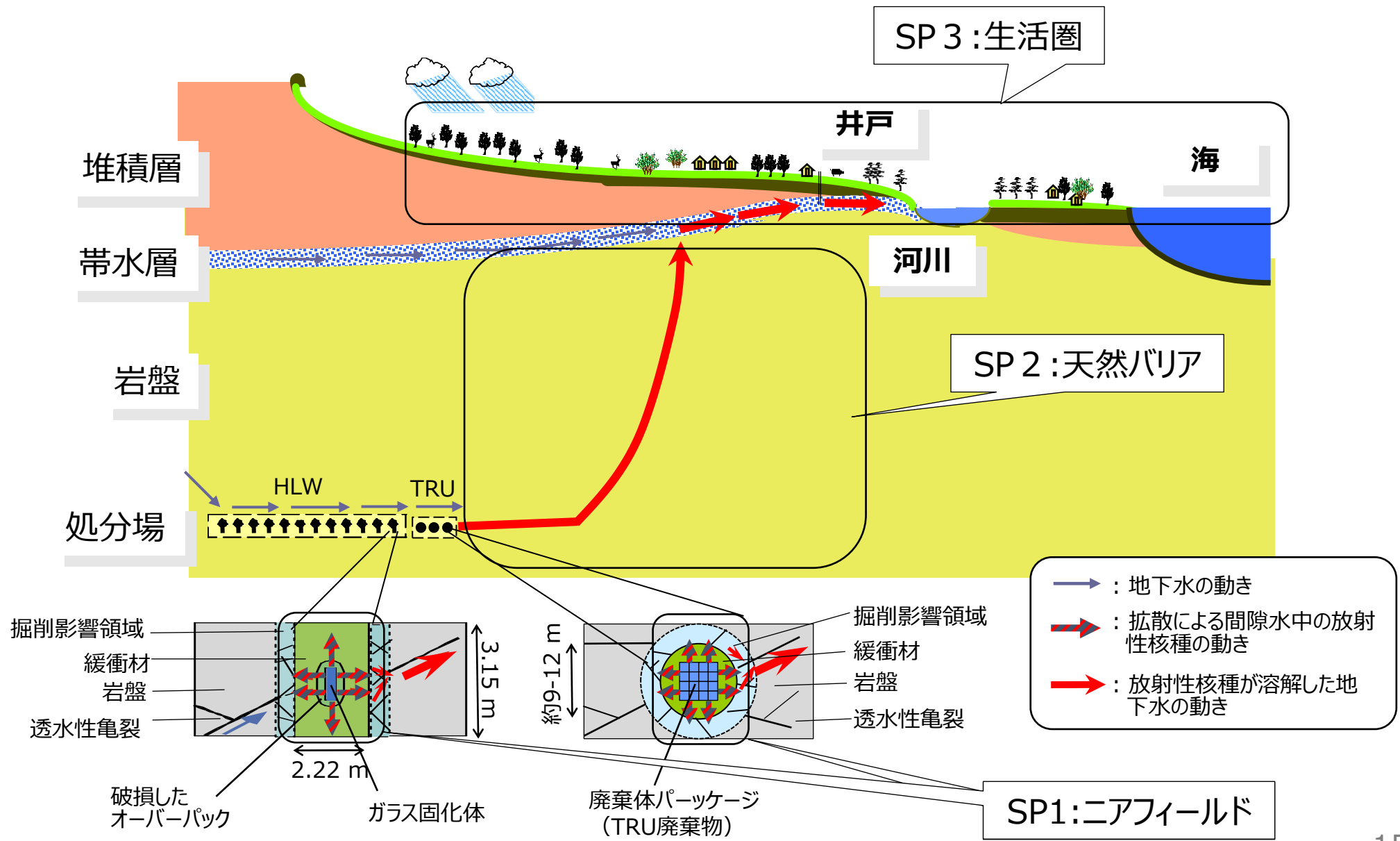


グラウトデータベースに登録した一軸圧縮試験結果の例



菱鉄鉱 (siderite) の溶解の平衡定数の温度依存性

核種移行経路と各サブプロジェクト（SP）で対象とする領域

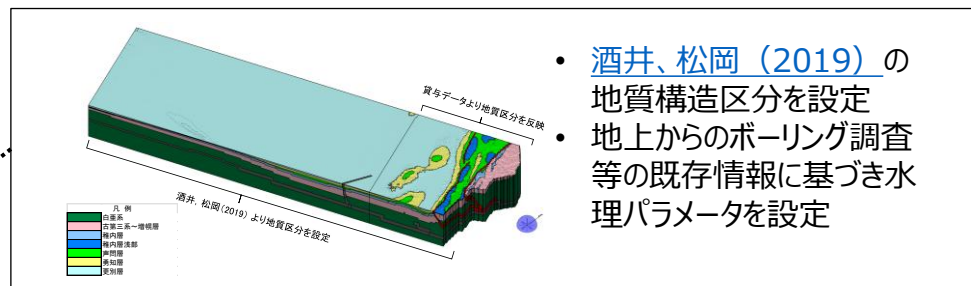


岩盤中の核種移行評価技術開発

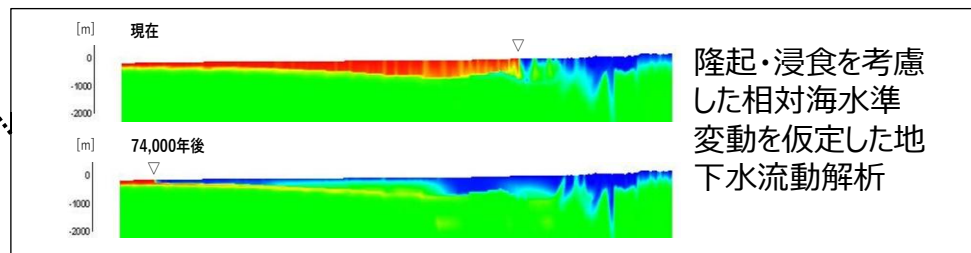
地下水流動解析から核種移行解析までの流れ

- 幌延の地質環境を事例に、パラメータや核種移行モデルの違いが岩盤の性能に与える影響評価を試行。

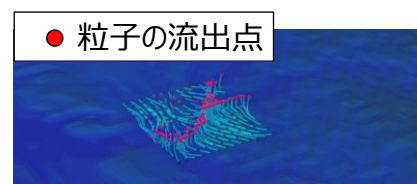
①密度流を考慮した地下水流動解析



②粒子追跡線解析に基づく移行経路情報の抽出



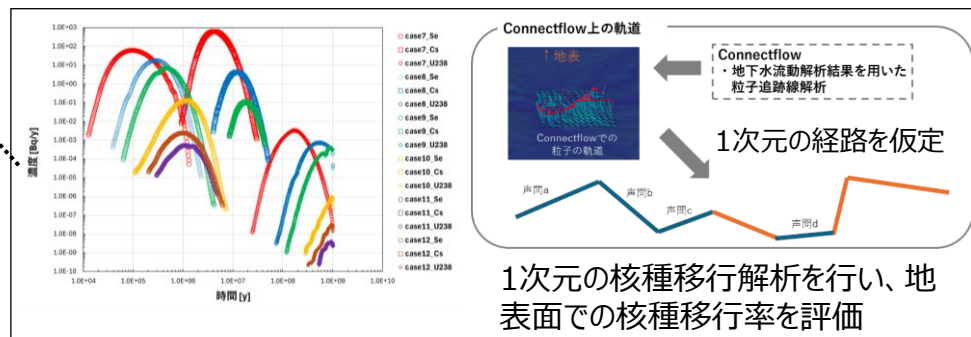
- 全経路を考慮
- 最短・最長・平均（移行時間）経路を抽出



- 稚内層（深度350m, 500m）を起点とした粒子追跡線解析
- 核種移行解析に必要な経路情報（代表経路）を抽出

③核種移行解析

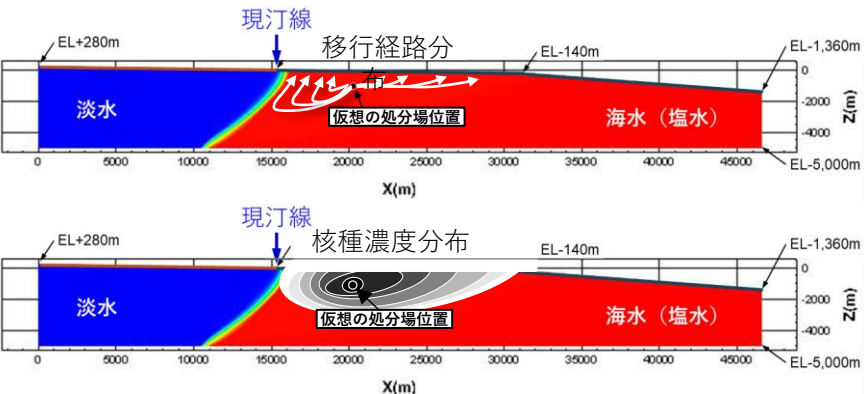
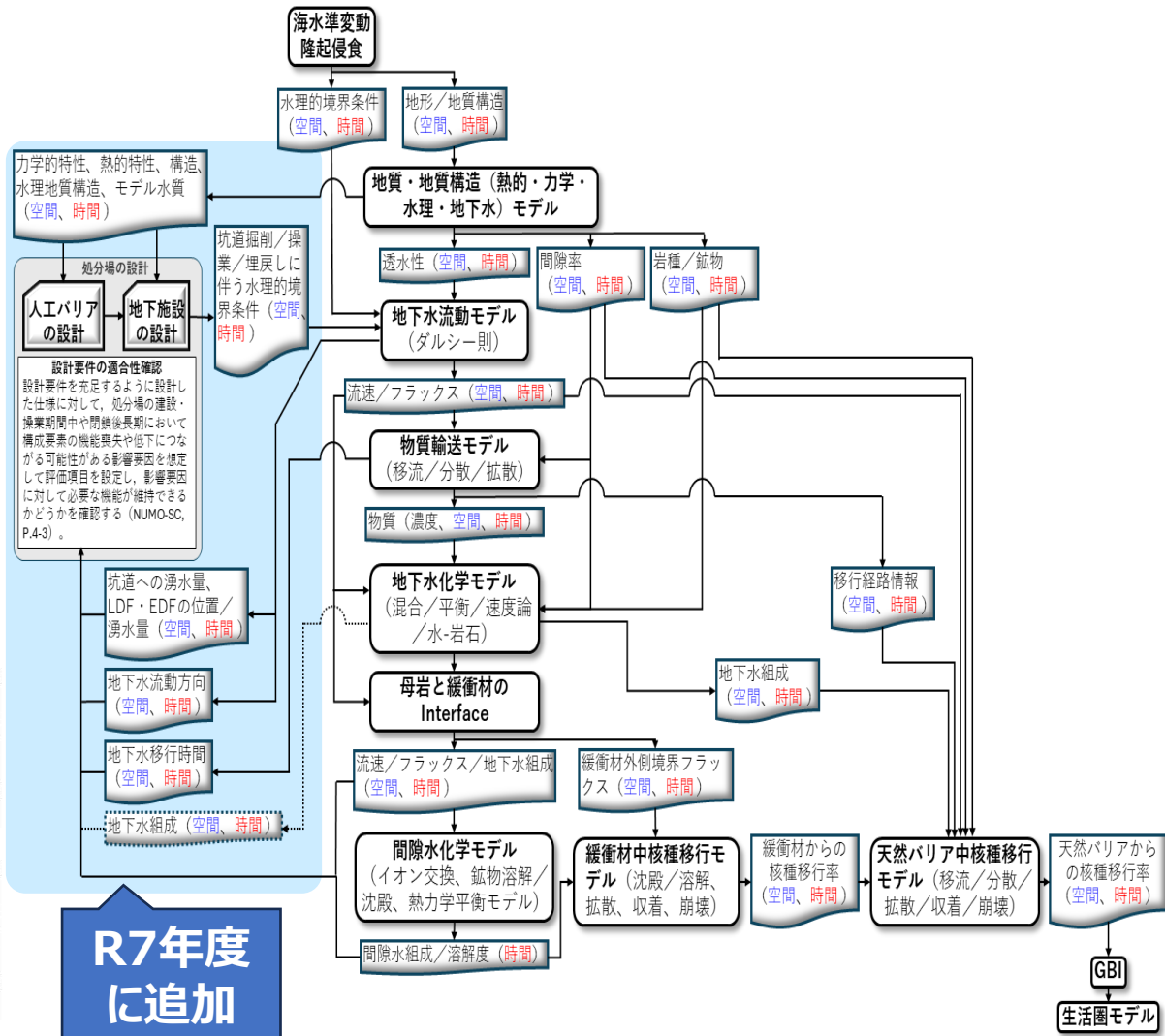
- 1次元、定常・均質を仮定（基本ケース）
- 1次元、非定常を仮定
- 3次元



沿岸海底下特有の地質環境を加味した処分システムの統合化に向けた研究

処分システムの統合化に向けた方法論の研究

- 地下水環境に影響を及ぼす因子が処分場の設計や安全評価に及ぼす影響を検討する手法や課題についての調査・整理を継続し、モデル/データフロー図を追加/更新するとともに課題を整理。
- 既存技術の調査と試解析の検討。



地下水環境の変遷を考慮した、処分場～広域スケールを対象とした核種移行解析手法の検討の概念図

理解促進活動・人材育成

○理解促進活動

- エントリー・クオリティの**施設見学**対応：45件469名。
- 青少年のための**科学の祭典**2025全国大会に出展。
 - ミネラルウォーターの味が違うって本当？ みんなで理由を考えよう！
- J-PARC 原子力科学研究所 **施設公開**2025に出展。
 - ベントナイト実験とアロマ石鹸づくり
 - サイエンスカフェ
「不思議な粘土・ベントナイト ～石けんから地層処分まで～」

○人材育成

- **夏期休暇実習生**3名の受入れ。
- 文部科学省「**国際原子力人材育成イニシアティブ事業**」での核種移行解析実習を6名の学生が受講。
- **東大専門職大学院**や**大学連携ネットワーク**での**講義・実習**



今後の計画

地層処分システムに関する研究開発

- 多重バリアの構成要素間の相互作用等がもたらす場の状態変遷の挙動、緩衝材の温度が100℃を超えることによる緩衝材の特性に与える影響を評価するための室内試験や原位置試験試料の分析を実施。
- ニアフィールド・天然バリア及び生活圏のそれぞれにおける核種移行に関するモデルの開発・検証・適用性確認やそのためのデータ取得、人工バリア特性や核種移行に関するデータベースの拡充を継続して実施。

代替処分オプションの研究開発

- 使用済燃料から一部の放射性核種が処分後速やかに放出される現象等に関するデータの取得等を継続するとともに、固相の表面状態の分析等を行い、溶解等のメカニズムに関する知見を拡充。
- 深孔処分を対象として、日本における成立性に関する検討等を進めるとともに、情報収集を継続。