

第3期中長期計画の研究開発における これまでの成果

④ 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

平成31年2月21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
基盤技術研究開発部

高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発における研究項目

高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

- 1.1 人工バリア等の基本特性データベースの拡充及びデータベース開発 ※※
- 1.2 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究 ※※
- 1.3 工学技術の信頼性向上 ※※

2. 安全評価手法の高度化

- 2.1 システム性能評価に係る手法の開発 ※※
- 2.2 放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発 ※※

※資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

※※一部を資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上(1/3)

1.1 人工バリア等の基本特性データベースの拡充及びデータベース開発^{0.15}

(研究の背景・狙い・目標・意義)

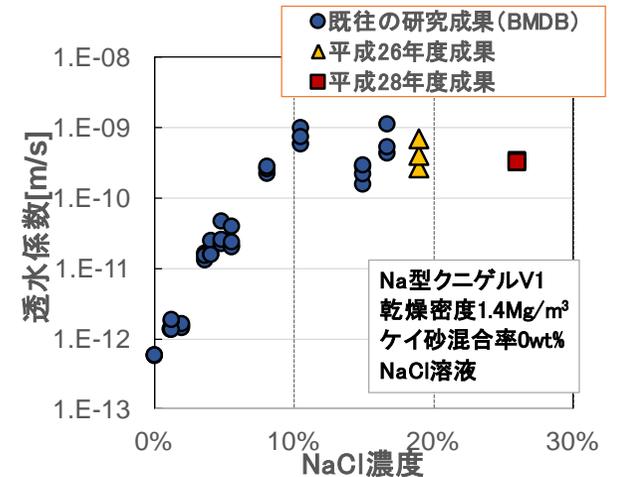
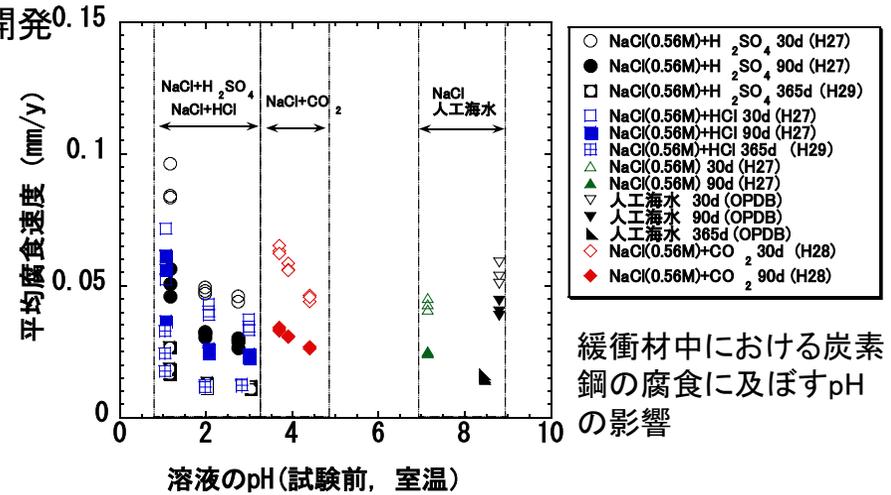
オーバーパックの腐食挙動や緩衝材の基本特性は地下水水質等の環境条件による影響を受けるため、地質環境特性に応じた適切な人工バリア設計や、長期的な環境条件の変遷に応じた人工バリア挙動の評価を行うには、幅広い地質環境条件とその時間的な変化を考慮した広範な条件に対してデータを整備することが重要である。また、その知見の幅広い活用を図る観点から、既に開発したデータベースを最新の情報に更新することも必要である。

(実施内容)

- 高塩濃度の地下水や酸性条件の地下水等の設計の前提条件を逸脱した環境条件を含む幅広い条件に対してオーバーパックの腐食試験、緩衝材の基本特性試験を実施してデータを拡充し(右図)、データベースを更新した。オーバーパックデータベースについては、本中期計画期間で88件のデータを追加。計1,799件のデータが登録済。
- オーバーパックの長期腐食挙動や緩衝材の長期圧密挙動に関する現象理解と長期挙動評価のための長期試験に着手した。
- 幌延深地層研究開発センターの地下水条件を想定した水溶液を用いて埋め戻材の基本特性に関する試験を実施中。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 高塩濃度の地下水や酸性条件の地下水および環境条件が過渡的な期間における地下水水質の変化などを含めて、幅広い条件に対する人工バリアの適用性や堅牢性、長期的な挙動の推定に資するための基礎的情報が得られた。



緩衝材の透水係数に及ぼすNaCl濃度の影響

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上(2/3)

1.2 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

(研究の背景・狙い・目標・意義)

ニアフィールドを構成する人工バリア等の材料の劣化・変質や材料間の相互作用などによりニアフィールドの環境条件は時間とともに変化し、バリア構成要素の安全機能や核種移行挙動に影響を与える可能性がある。そのため、ニアフィールドの環境変遷を評価する技術の開発とその妥当性の確認が必要である。過渡期におけるオーバーパットの腐食挙動の経時変化および緩衝材中のpHの変遷を連続的に計測可能なセンサーの開発やニアフィールドの環境変遷を評価するための連成解析コードの開発等を実施する。

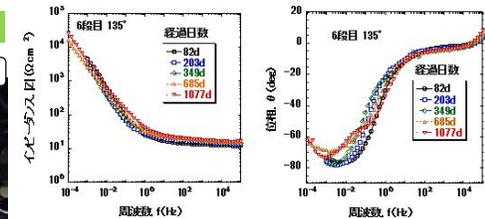
(実施内容)

- 原位置計測技術の開発
室内試験と原位置試験により緩衝材中の環境条件やオーバーパット腐食挙動等を評価するための計測技術の適用性を確認した。
- 人工バリアの連成現象評価技術の開発
熱-水-応力連成解析モデルの高度化を行い、幌延深地層研究センターの地下施設(幌延URL)の原位置試験データとの比較により解析コードの妥当性の確認を行った。
- ナチュラルアナログ研究
セメンテーションのナチュラルアナログとして月布鉱床のベントナイト原鉱石を選定し、試料採取、加工を含む、基本特性把握(膨潤圧、透水係数等)のための手法を構築した。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

原位置試験を活用して人工バリアの挙動に関する計測技術や連成現象解析技術の適用性が確認され、人工バリア挙動をより現実的に把握できる技術の構築に貢献した。

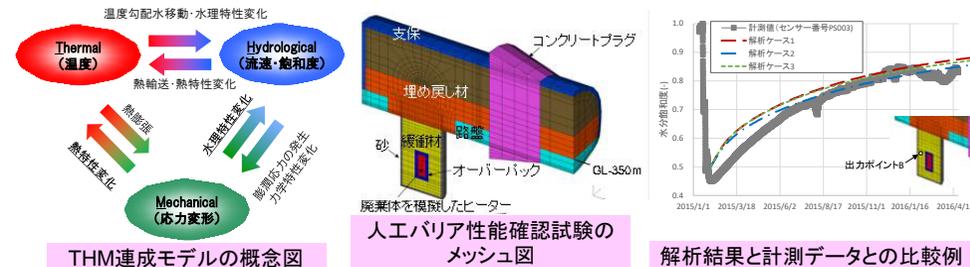
原位置計測技術の開発



腐食センサーによる測定結果例 (交流インピーダンス法)

人工バリアの連成現象評価技術の開発

連成モデルの概念と幌延人工バリア性能確認試験に対する連成解析の適用評価例



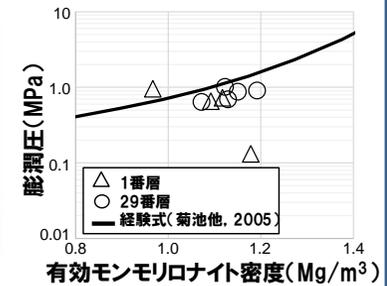
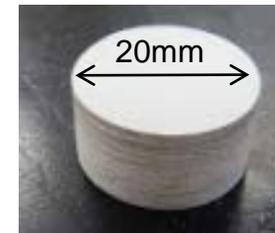
THM連成モデルの概念図

人工バリア性能確認試験のメッシュ図

解析結果と計測データとの比較例

ナチュラルアナログ研究

月布鉱床のベントナイト原鉱石を用いた膨潤圧試験



月布鉱床のベントナイト原鉱石

原鉱石の膨潤圧測定用供試体

原鉱石の膨潤圧測定結果の例

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上(3/3)

1.3 工学技術の信頼性向上

(研究の背景・狙い・目標・意義)

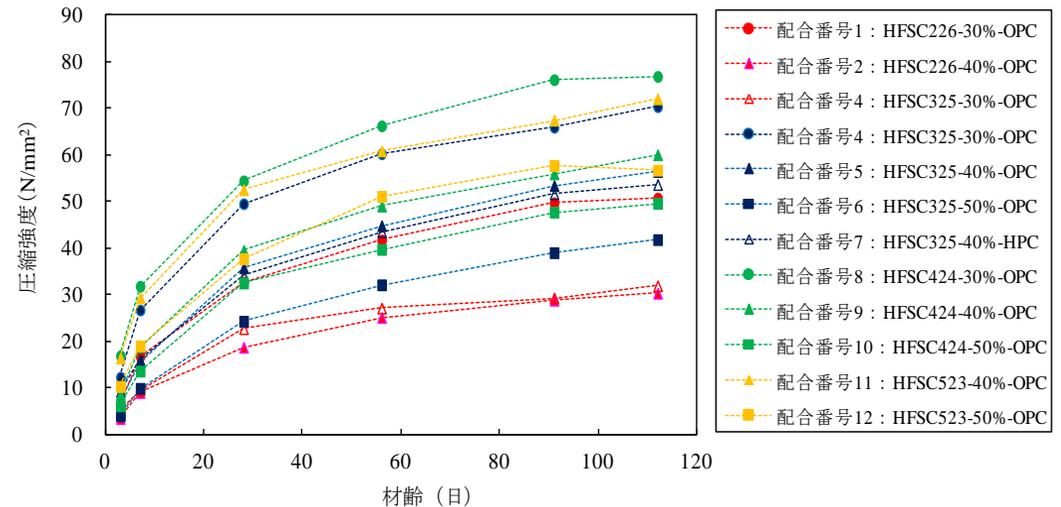
地質環境への化学的な影響の少ない支保工等のコンクリート構造物の材料として低アルカリ性セメント(HFSC)が開発され、幌延URLを活用して地下坑道への施工性についても確認されている。一方、比較的新しいセメント系材料であることから、施工後の坑道周辺の力学的安定性や長期挙動、岩盤への化学的な影響等に関わる基本特性データが必要である。また、実際の地下施設の設計では岩盤条件に応じて適切な配合を選定する必要があり、幅広い地質環境条件への対応をはかる観点から種々の配合に対してデータを整備する必要がある。

(実施内容)

- 低アルカリ性セメントを用いた支保工(場所打ちコンクリート)に関して配合をパラメータとした基本特性データ(圧縮強度、静弾性係数、ポアソン比、割裂引張強度)を取得した。
- 幌延URLに広く分布する堆積軟岩を用いて含水比をパラメータとした力学特性試験を行い、力学挙動に対する含水比の影響の特徴を把握した。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- 岩盤の力学条件等に応じて配合選定が可能となる低アルカリ性セメントを用いた支保工の基本特性に関するデータを整備した。
- 堆積軟岩を対象に、坑道の設計に反映するための岩盤の力学挙動を評価する手法の確立に向けた知見を整備した。



低アルカリ性セメントの配合をパラメータとした基本特性データの例(材齢と圧縮強度の関係)

HFSCの後の数値は、セメント(C)、シリカフェーム(SF)、フライアッシュ(FA)の重量比を示す。OPC:普通ポルトランドセメント、HPC:早強ポルトランドセメント

2. 安全評価手法の高度(1/3)

2.1 システム性能評価に係る手法の開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

地表環境の長期的な変遷を考慮した地層処分システムの安全評価をより現実的に実施するため、シナリオ構築と評価手法の開発を行う。また、地層処分システムの安全性をより高めるために、想定外とされていた事象や未知の事象(過酷事象)を探索するための手法構築を行う。

(実施内容)

- 地表環境の長期的な変遷の一つである隆起・侵食については、これまで動的平衡(隆起速度=侵食速度)が成立すると仮定した簡易な評価が実施されてきた。より現実的に評価を行うため、動的平衡が成立しない場合においても、隆起・侵食による処分場の地表への接近・露出の影響(影響を受ける廃棄体数の時間変化等)を定量的に把握するための評価技術を整備した。
- 人への甚大な影響を及ぼす条件の分析と不安・懸念から発端事象・状態を抽出する手法とを組み合わせ、地層処分システムにおける過酷事象を探索するための検討フローを構築した。

(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- さまざまな地表・地質環境の変遷のうち、隆起速度と侵食速度が釣り合わない場合に想定される起伏の変化と、それによる処分場深度の時空間的な変化を、安全評価に取り込むことが可能となった。
- 過酷事象の探索をステークホルダーの不安・懸念を考慮しつつ行うことで、地層処分の信頼性向上と理解促進に資する新たな知見を創出することが可能となる。

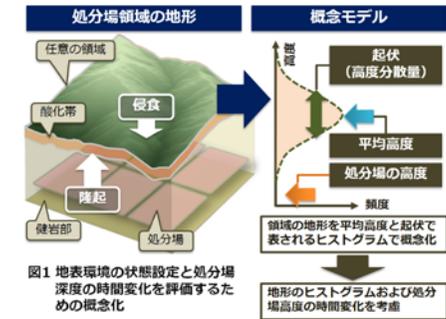
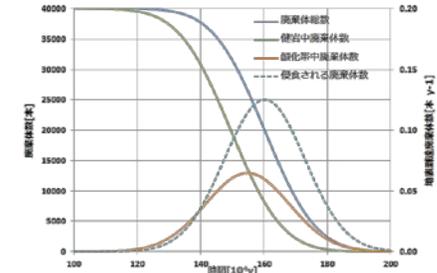
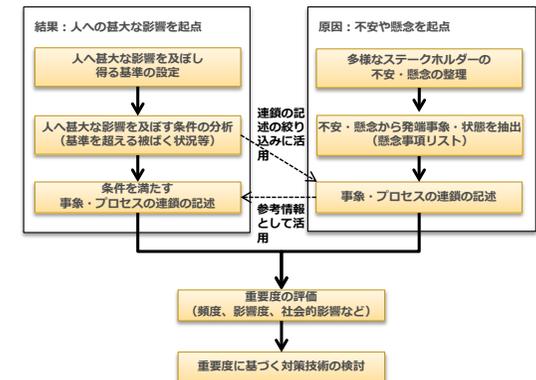


図1 地表環境の状態設定と処分場深度の時間変化を評価するための概念化

隆起・侵食による処分場の地表への接近・露出の評価方法



影響を受ける廃棄体数の時間変化



地層処分システムにおける過酷事象の検討フロー

2. 安全評価手法の高度化(2/3)

2.1 放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発

(研究の背景・狙い・目標・意義)

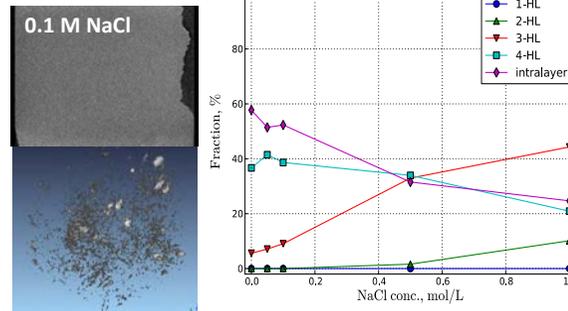
緩衝材及び岩石中の核種移行をより現実的に評価するため、先端的な計算・分析技術に基づく現象理解と、それを反映したバリア材共存を含むシステム変遷や微生物等の影響を考慮した核種移行モデルとデータベースを、室内試験及び原位試験等を通じて開発・確証する。また、超長期においては、表層環境が変化し、核種移行プロセスや被ばくの形態も変化する可能性がある。この変化の影響を評価するため、表層環境の変遷を生活圏モデルに反映する方法論を構築する。

(実施内容)

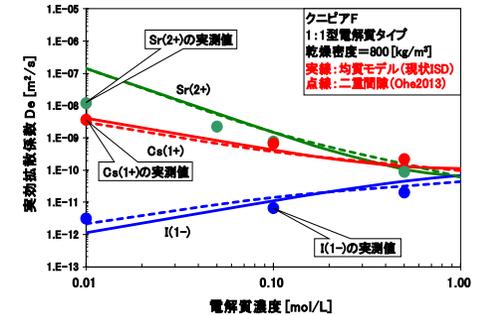
- ▶ 先端的分析・計算科学技術を適用して、緩衝材中の間隙構造の不均質性や核種の収着・拡散メカニズムを解明するとともに、それらを反映して核種移行モデルの高度化を図った。
- ▶ 国内外の最新知見に基づき、地質環境などのサイトの条件やサイトの調査段階に応じて、適切に核種移行パラメータを設定できる包括的な手法を構築するとともに、収着分配係数及び拡散係数データベースを更新した。

- 収着分配係数データベース:
本中期計画期間で約16,977件のデータを追加。
計62,977件のデータが登録済。
- 拡散係数データベース:
本中期計画期間で約3,013件のデータを追加。
計5,013件のデータを登録済。

ナノX線CT及びNMRによる圧縮ベントナイト中の間隙構造分析



間隙構造の不均質性を反映した拡散モデル

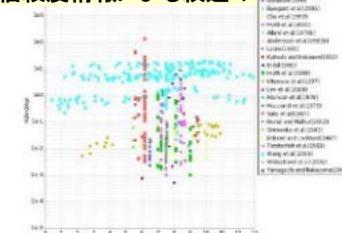


圧縮ベントナイト中の間隙構造分析と拡散モデルの高度化例

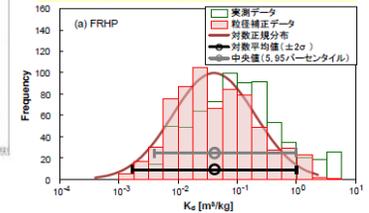
JAEA-SDBからのデータ抽出



信頼度情報による絞込み



データ分布の分析
設定値と不確実性の幅の設定



岩石に対する放射性核種の収着分配係数の設定手法の構築例

2. 安全評価手法の高度化(3/3)

2.2 放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発

(実施内容(続き))

- 幌延URL及び海外の地下研究施設における原位置トレーサー試験との連携による岩石マトリクス部及び割れ目中の核種移行モデルの構築や原位置条件への適用性評価を実施した。
- 深部地下環境下のコロイド・有機物・微生物による核種移行への影響評価について、幌延URL等を活用したデータ取得とモデル開発を実施した。
- 地形変化や気候・海水準変動といった表層環境の長期変動性を考慮した核種移行プロセスや被ばくの形態の概念モデル構築の考え方や流れを統合化データフローの形式で取りまとめた。

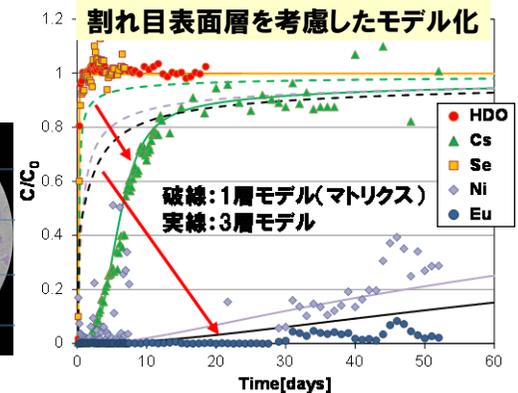
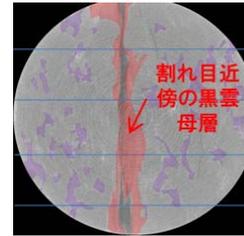
(成果・地層処分事業や他分野への貢献)

- ニアフィールドの長期環境変遷や実際の地質環境の特徴を反映した緩衝材・岩石中の核種移行モデルとデータベース、及びサイトが与えられた際の岩石中の核種移行や有機物・微生物等影響評価手法の構築と妥当性確認の手順を提示した。
- 上記の研究開発を通して収着データベース等の整備・拡充を進めるとともに、諸外国の最新知見も反映した最新の核種移行パラメータ設定手法を構築し、NUMOの包括的技術報告書(レビュー版)に反映した。

室内トレーサー試験



ナノX線CTによる割れ目近傍の黒雲母分布

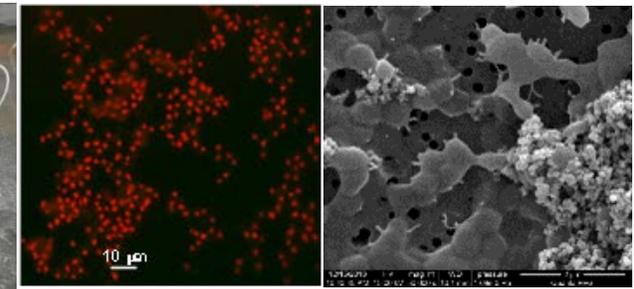


スイスのグリムゼル原位置試験場から採取した岩の割れ目中の核種移行モデル開発の成果例

バイオフィーム形成試験状況



岩石割れ目表面に形成されたバイオフィーム



幌延URLにおけるバイオフィーム形成試験の成果例

成果のまとめ(1/2)

【高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発】

以下のような成果が得れている。

1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

(成果のまとめ)

- 高塩濃度の地下水や酸性条件の地下水および環境条件が過渡的な期間における地下水水質の変化などを含めて、幅広い条件に対する人工バリアの適用性や堅牢性、長期的な挙動の推定に資するための基礎的情報が得られた。
- 原位置試験を活用して人工バリアの挙動に関する計測技術や連成現象解析技術の適用性を確認した。
- 岩盤の力学条件等に応じて配合選定が可能となる低アルカリ性セメントを用いた支保工の基本特性に関するデータを整備した。
- 堆積軟岩を対象に、坑道の設計に反映するための岩盤の力学挙動を評価する手法の確立に向けて、含水比が力学挙動に大きな影響を及ぼす等のデータを整備した。

(地層処分事業や他分野への貢献)

⇒この技術開発成果は、幅広い地質環境条件に対応した人工バリアや地下施設の設計に寄与する重要な成果の一つと考えられる。

⇒NUMOの技術の蓄積や技術報告書作成等に資する技術情報を提供できる。

⇒原子力発電所の解体に伴い発生する炉内構造物等の廃棄物の中深度処分における人工バリアや地下施設の設計にも貢献できる。

成果のまとめ(2/2)

【高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発】

2. 安全評価手法の高度化

(成果のまとめ)

- さまざまな地表・地質環境の変遷のうち、隆起速度と侵食速度が釣り合わない場合に想定される起伏の変化と、それによる処分場深度の時空間的な変化を、安全評価に取り込むことが可能となった。
- ニアフィールドの長期環境変遷や実際の地質環境の特徴を反映した緩衝材・岩石中の核種移行モデルとデータベース、及びサイトが与えられた際の岩石中の核種移行や有機物・微生物等影響評価手法の構築と妥当性確認の手順を提示した。
- 上記の研究開発を通して収着データベース等の整備・拡充を進めるとともに、諸外国の最新知見も反映した最新の核種移行パラメータ設定手法を構築し、NUMOの包括的技術報告書(レビュー版)に反映した。

(地層処分事業や他分野への貢献)

- ⇒この技術開発成果は、地層処分システムの安全評価をより現実的に実施することに寄与する重要な成果の一つと考えられる。
- ⇒NUMOの技術の蓄積や技術報告書作成等に資する技術情報を提供できる。
- ⇒原子力発電所の解体に伴い発生する炉内構造物等の廃棄物の中深度処分における安全評価にも貢献できる。