

H L W処分における平成 1 7 年度までの成果と
『次期 5 ヶ年』の研究開発計画 - 工学技術について -
報告概要

1. 表題

実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

2. 審議事項

工学技術の開発に対するニーズを踏まえた取り組みのアプローチ、知識ベースへの反映が適切なものであるか審議頂きたい。

3. ニーズ

原子力政策大綱では、機構を中心とした研究開発機関に、「深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」ことを求めており、研究開発成果については、「海外の知見も取り入れつつ、地層処分にかかわる最新の知識基盤として整備・維持され、NUMO（原子力発電環境整備機構）の最終処分事業や国の安全規制において有効に活用されることが重要」としている。

さらに、原子力安全委員会において検討されている原子力の重点安全研究計画に係わる研究課題の整理（放射性廃棄物分野）（案）（原子力安全研究専門部会放射性廃棄物安全研究分科会資料）では、人工バリア等の信頼性向上に関する研究として「人工バリアや地下施設についての長期評価モデルや設計・施工技術の高度化、信頼性確認を行い、処分場の設計に適用すべき安全基準・指針等の作成に資する。」ことを求めている。

これらを踏まえ、工学技術の開発においては、実際の地質環境への適用性確認を念頭においた設計・建設技術や長期健全性評価モデルの体系化とその成果の知識ベースへの反映が求められている。

4. 対象研究項目とアプローチ

1) 対象研究項目

高レベル放射性廃棄物地層処分に関する国の基盤的研究開発を対象に、その実施機関であるサイクル機構等の関係機関による共同作業や大学等有識者との意見交換を通じて、体系的かつ中長期的な研究開発計画（重要課題、研究開発の方向性など）として、平成 16 年度に研究開発全体マップ（以下、「全体マップ」）

の整備が実施された。これを踏まえ、平成 17 年 7 月には、国の基盤的研究開発を実施する関係研究機関によって、「地層処分基盤研究開発調整会議」が設置され、研究開発全体計画の策定や成果の体系化を推進するとともに、国の委員会等へ積極的に情報を発信して評価を受けることを通じ、国の基盤的研究開発の計画的かつ効率的な推進を図るための仕組みが構築され、「全体マップ」の見直し作業を進めている。

本計画では、「全体マップ」を参考として対象研究項目を以下のように設定する。

- ・総合的な工学技術
 - URL における適用性検討
 - 工学技術オプション
- ・設計・施工技術
 - 人工バリア（オーバーパック、緩衝材）
 - 支保・グラウト・シーリング（シーリング、支保（低アルカリ性セメント）グラウト）
- ・長期健全性評価技術
 - 緩衝材（長期力学的変形挙動、長期変質挙動、流出・侵入挙動）
 - セメント・コンクリート
 - 岩盤（長期力学的変形挙動、長期変質挙動）
 - 熱-水-応力 化学連成挙動
 - ガス移行挙動
 - 人工バリアせん断応答挙動

2) アプローチ

当面の 5 カ年においては、処分事業における精密調査地区選定や精密調査、あるいは安全規制における安全審査基本指針の策定に資するため、第 2 次取りまとめと平成 17 年取りまとめまでに開発した工学技術の開発に関わる設計、施工技術、モデルやデータベースについて深地層の研究施設計画の地質環境に適用し、改良や信頼性向上を図るとともに、必要に応じ測定手法等に関して標準化を行う。以上を通じて、処分事業と規制の基盤となる工学技術に関して、以下の点に留意して取りまとめる。

- 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認
- 実際の地質環境へ適用可能な長期健全性評価モデルの整備
- 実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

5. 各研究課題ごとの報告の構成

各研究課題ごとに以下の構成で報告する。

- 研究目的と第2次取りまとめ、H17 レポート、H17 年度下期における研究成果
- 当面5ヵ年の計画（平成22年度頃まで）
- 知識ベースへの反映

6. 知識ベースへの反映

工学技術の開発は、前述のように主に深地層の研究施設計画における実際の地質環境における適用性確認を念頭に研究開発を進めるが、一方で幅広い地質環境を視野に入れた手法開発の体系化も必要である。

このような体系化されるべき工学技術の技術基盤としては、設計、施工方法、モデル、データベース、測定手法、設定手法、品質管理手法等があり、これらは最新の科学的知見や技術動向を反映して知識ベースとして随時更新する必要がある。これら最新の技術基盤は常に事業、規制側に提供できるように事前に公開が必要であり、必要に応じ土木学会等とも協議し標準化に向けた活動も行う。

本報告では、上記各研究項目から提供される5年後の下記のような技術基盤例を紹介する。

緩衝材の基本特性データベースの公開

緩衝材の基本特性測定手法の標準化

長期健全性評価に関わる各計算コードと付随するデータベースの公開

空洞安定性の基準（案）の更新

グラウト材料選定の考え方とグラウト技術の提示

設計、施工に関わる安全基準の考え方

品質管理の考え方

閉鎖性能評価手法の提示 など

以上

実際の地質環境への適用性を 考慮した工学技術の体系化

地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット
ニアフィールド¹研究グループ
藤田朝雄、棚井憲治、谷口直樹

◆ 審議事項

- ニーズを踏まえたアプローチ、成果と今後の計画、知識ベースへの反映が適切か

◆ H16全体マップ

- 国の基盤的研究開発を対象に、体系的かつ中長期的な研究開発計画として整備（現在、「地層処分基盤研究開発調整会議」によって見直し中）

◆ ニーズ

➤ 原子力政策大綱

- ・ 地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発, 安全規制のための研究開発の着実な推進
- ・ 成果の知識基盤としての整備

➤ 重点安全研究計画 (原子力安全研究専門部会 放射性廃棄物安全研究分科会)

- ・ 人工バリアや地下施設についての長期評価モデルや設計・施工技術の高度化, 信頼性確認
- ・ 安全基準・指針等の作成に資する検討

実際の地質環境への適用性確認を念頭においた設計・建設技術や長期健全性評価モデルの体系化とその成果の知識ベースへの反映

◆ アプローチ

➤ 事業と規制の基盤となる工学技術として総合的に整備

- ・ 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認
- ・ 実際の地質環境へ適用可能な長期健全性評価モデルの整備
- ・ 実際の地質環境への適用性を考慮した工学技術の体系化

➤ 他分野との連携、関係機関との協力

H17までの課題構造

1. 人工バリアの基本特性データベース

- オーバーパックの基本特性
- 緩衝材の基本特性
- 人工バリア等の性能保証に関する基盤情報整備

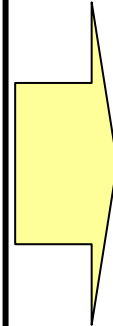
2. 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

- 人工バリア等の変形・変質等の長期挙動に関する研究
- ・緩衝材の力学的変形挙動
- ・岩盤の力学変形挙動
- ・緩衝材の流出・侵入挙動
- ・人工バリアの変質・劣化挙動
- 熱-水-応力-化学連成挙動
- 人工バリア性能の維持限界条件
- ・緩衝材のガス透気回復挙動
- ・人工バリアせん断応答挙動
- ナチュラルアナログ研究

3. 人工バリア等の工学技術の検証

- 閉鎖技術
- 低アルカリ性コンクリートの開発

4. 設計手法の適用性確認



H18以降の課題構造

1. 処分場の総合的な工学技術

- URLにおける適用性検討
- 工学技術オプション

2. 処分場の設計・施工技術

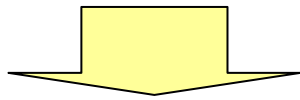
- 人工バリア
- ・オーバーパック(ナチュラルアナログ含む)
- ・緩衝材
- 支保・グラウト・シーリング
- ・シーリング
- ・支保(低アルカリ性セメント)
- ・グラウト
- 建設・操業・閉鎖等の工学技術
- ・建設技術
- ・操業技術
- ・閉鎖技術
- ・品質管理

3. 長期健全性評価技術

- 緩衝材の長期力学的変形挙動
- 緩衝材の長期変質挙動
- 緩衝材の流出・侵入挙動
- 岩盤の長期力学変形挙動/長期変質挙動
- 熱-水-応力-化学連成挙動
- ガス移行挙動
- 人工バリアせん断応答挙動

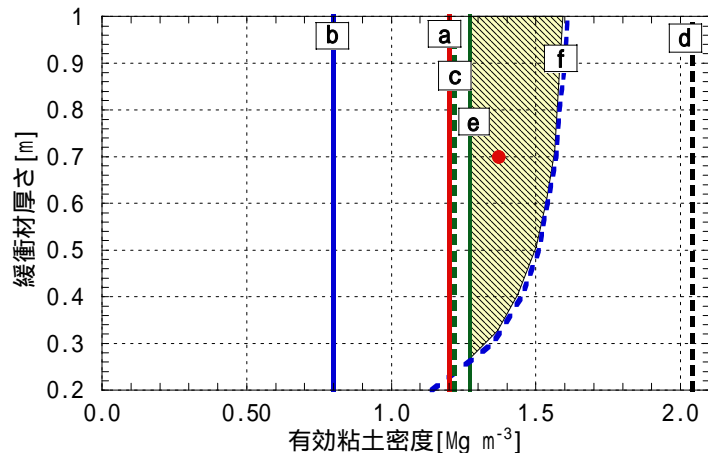
➤ H 1 2 までの成果

幅広い地質環境を一般化して扱う人工バリアの設計の考え方を例示

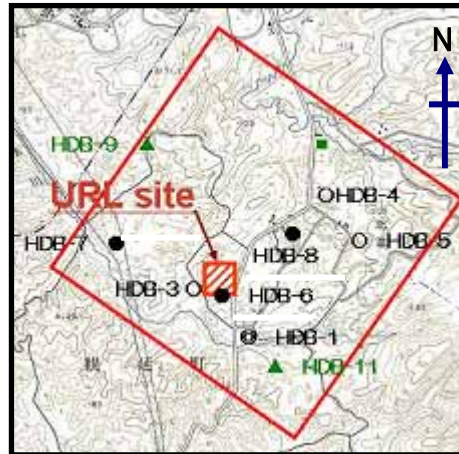


➤ H17取りまとめ

設計手法の適用性確認を通じて、地上からの調査段階における留意点を整理



緩衝材設計例(ブロック方式)



試錐調査配置図

幌延における地上からの調査によって得られたデータをもとに力学、水理、熱及び地下水化学特性をそれぞれ設定

地下水化学特性の設定例

幌延を一例とした検討

Na, K, Ca, Mg, Cl については、水質分析結果より、pH, Eh, C, Fe, S については、一般的な深部地下水に関する地球化学的知見とその不確実性をもとに地球化学モデルにより推定

地上からの調査段階における留意点の整理

処分孔の安定性の適切な評価

・建設・操作中の岩盤クリープ挙動の考慮

地下水化学データの取得

・大気との接触が避けられない場合、地下水水質の深度依存性に関する知見、熱力学的解析結果及び地層中に認められる鉱物に関する情報を総合的に考慮

埋め戻し材設計

・ベントナイト配合率が低い埋め戻し材の海水条件での自己シール性に係るデータの拡充

緩衝材設計

・設計要件の一つである自己シール性の範囲を設定するための判断基準の整備

➤ 今後5カ年の計画

【～H22】

◆地質環境条件

- ・幌延等の具体的な地質環境条件(坑道掘削段階により得られる情報)

◆設計手法・考え方

- ・処分坑道横置き方式を一例とした全体フロー更新
- ・H17設計の見直し
- ・設計手法の体系化

【H17】

◆地質環境条件

- ・幌延等の具体的な地質環境条件(地上からの調査段階により得られた情報)

◆設計手法・考え方

- ・処分孔縦置き方式を一例とした全体フローの更新
- ・人工バリア・埋め戻し材設計フローの構築
- ・試設計の実施と留意点の整理

【知識ベースへの反映】

坑道掘削段階において得られる情報を基にした、処分場設計の考え方や設計手法の提供

坑道掘削段階において適用した施工方法や対策工法の適用事例及び留意点の提供

地質環境に応じた処分場設計要件

【H12】

◆地質環境条件

- ・幅広い地質環境を一般化(硬岩系/軟岩系)

◆設計手法・考え方

- ・処分場全体設計の基本的な考え方の例示
- ・人工バリア設計の考え方の例示

➤ 今後 5 カ年の計画

第2次取りまとめ概念の拡張あるいは全く異なる概念オプションの成立性や実現性において鍵となる要素技術(人工バリアや処分場の設計・製作/施工, 長期健全性評価, 処分場の操業・閉鎖, 廃棄体の回収, モニタリングなど)の特定

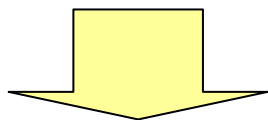
国内外の技術開発の動向を踏まえた検討を行い, 緩衝材の温度制限, セメント, 放射線などの影響評価や処分場の長期性能に関わる施工・操業・閉鎖技術の留意点など, 概念オプションの成立性及び実現性に共通的な課題について, それらの技術基盤を提示

【知識ベースへの反映】

概念オプションの成立性や実現性に係る技術基盤情報の提供

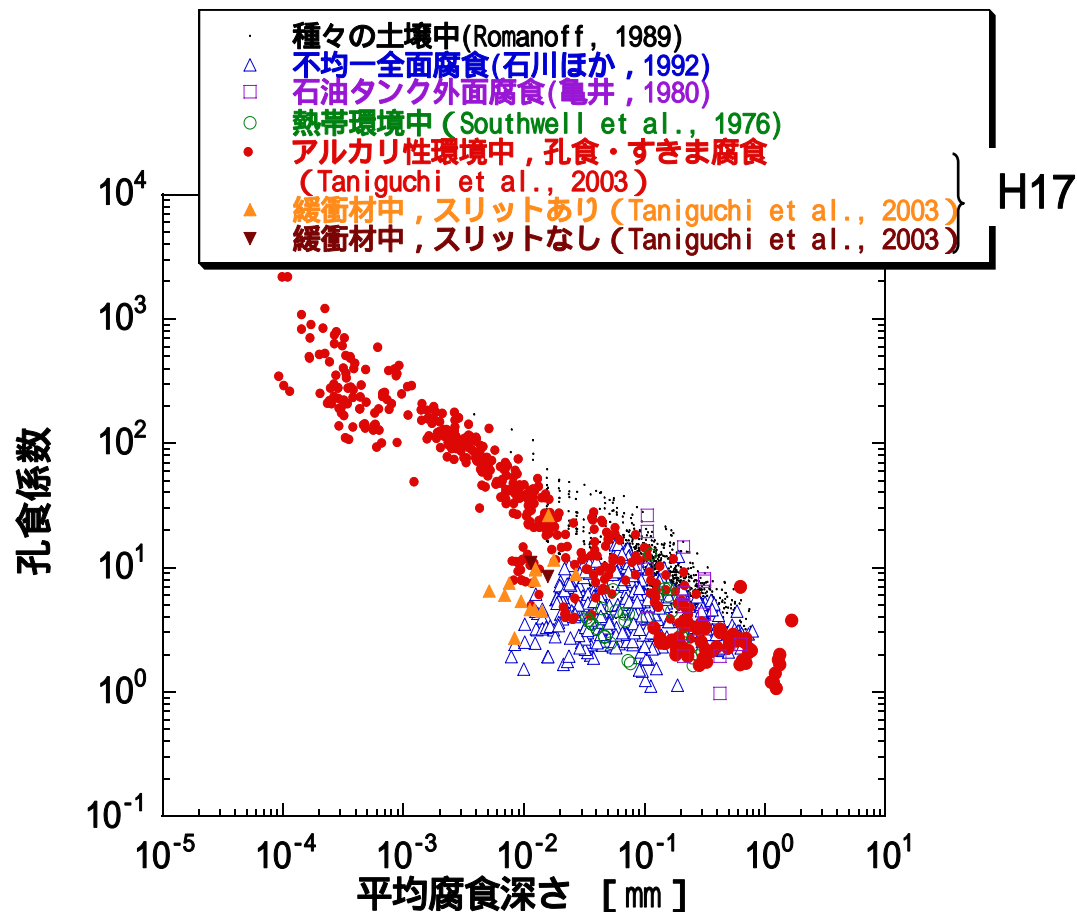
➤ H 1 2 までの成果

日本における地下水条件の範囲内での腐食挙動評価を実施。セメントによる影響、マグネタイトによる腐食加速などは限られたデータに基づく評価



➤ H 1 7 年取りまとめ

セメント、マグネタイト影響、数年間の長期データを含めた実験データの拡充により(右図に一例)、1,000年間の腐食寿命評価の信頼性が向上

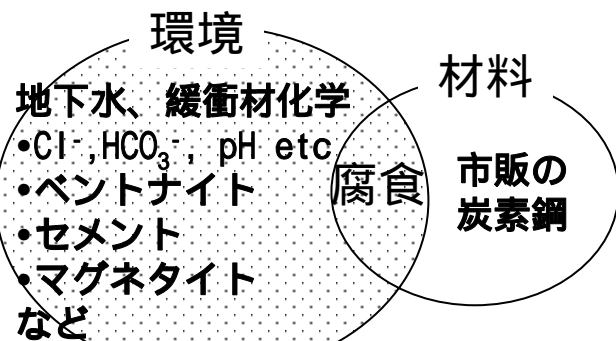


炭素鋼の孔食係数の平均腐食深さ依存性

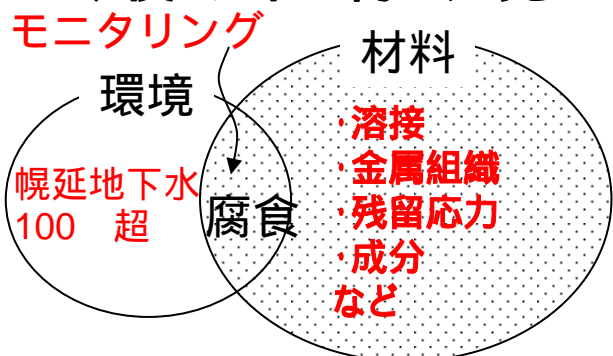
高pH環境において炭素鋼が不動態化して局部腐食を生じたとしても顕著な腐食の局在化は生じない。

▶ 今後5カ年の計画

H17までの知見

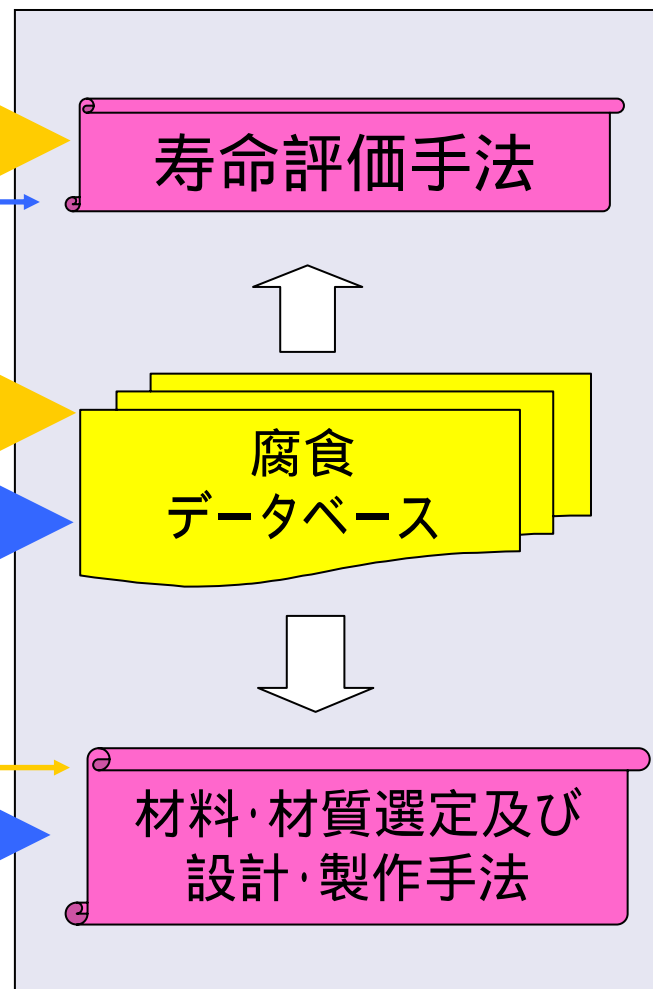


今後5カ年で得る知見



- ・溶接部の耐食性 (ANRE事業との連携)
- ・材料中成分濃度等の影響
- ・幌延環境における寿命評価手法の適用性
- ・腐食モニタリング手法の検討
- ・100 超の条件での耐食性 (ANRE事業との連携)

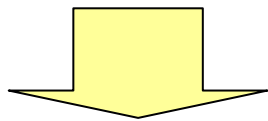
知識ベースへの反映



➤ H 1 2 までの成果

チタン: すきま腐食生起条件の実験データ整備、文献データに基づく水素脆化の評価

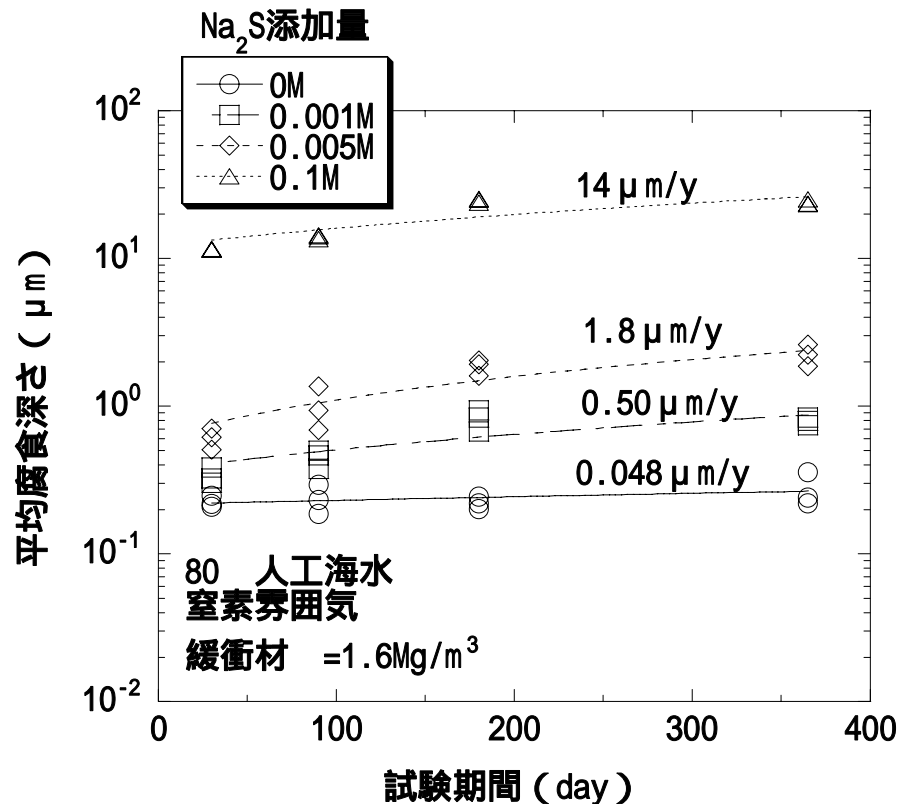
銅: 文献データに基づく簡略的腐食量評価



➤ H 1 7 年取りまとめ

チタン: 水素脆化に関する実験データ取得と寿命評価

銅: 電気化学特性、硫化物影響など基礎データ取得(右図に一例)とH12評価の保守性の確認



低酸素濃度雰囲気下, 硫化物共存系における純銅の腐食挙動

硫化物濃度 < 0.001M であれば腐食速度は極めて小さい 超長寿命化の可能性を示唆

➤ 今後5カ年の計画

H17までの知見

- チタンのすきま腐食、水素脆化挙動
- 銅の電気化学特性、硫化物環境での耐食性

今後5カ年で得る知見

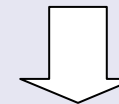
- 銅の**局部腐食**、**応力腐食割れ**に関する**実験データの拡充**
 - チタンと銅の**溶接部における耐食性評価**(ANRE事業との連携)
- 地質環境に対する**適用条件の提示**
- 銅オーバーパックの**超長寿命化**(10^4 年以上)の可能性

知識ベースへの反映

寿命評価手法



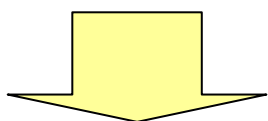
腐食
データベース



材料・材質選定及び
設計・製作手法

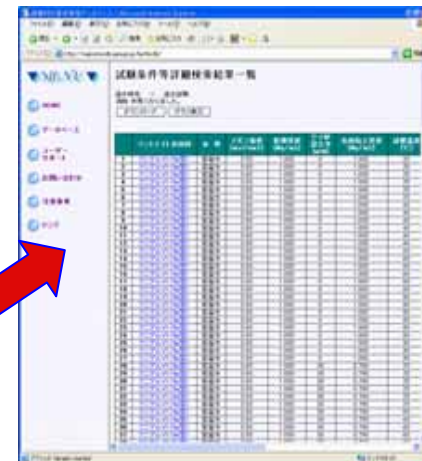
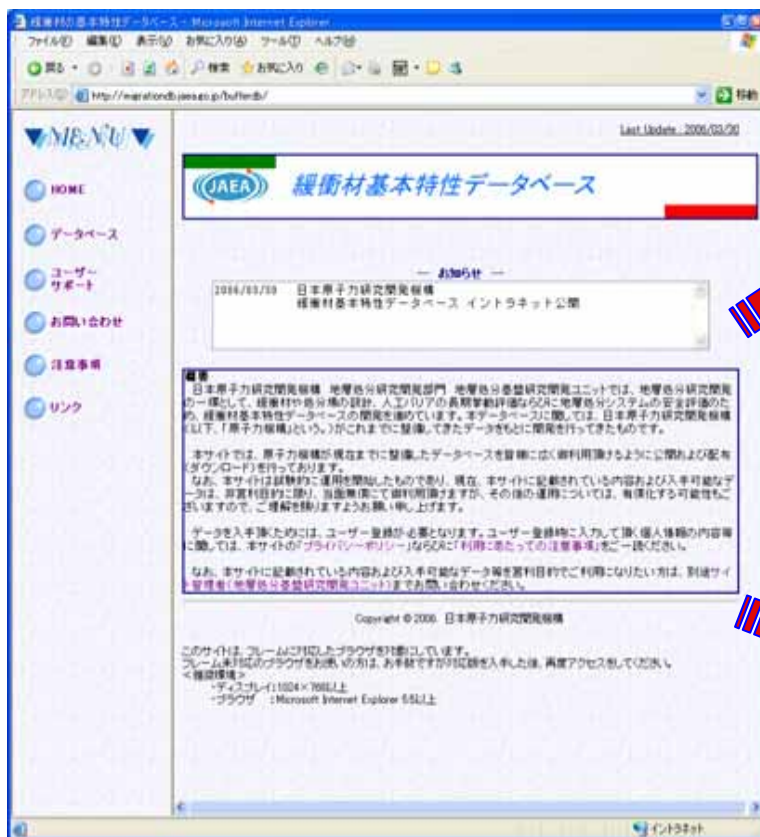
➤ H 1 2 までの成果

降水系地下水条件下における各基本特性データを整備し関係式を提案。設計の考え方を例示。



➤ H 1 7 取りまとめ

海水系地下水条件下におけるデータの拡充と関係式の提示及び**緩衝材基本特性データベースのWeb公開(H17下期成果)**。具体的な地質環境での試設計の例示と課題の抽出



データ検索機能



グラフ作成機能

緩衝材の基本特性データ

透水特性	透水試験	力学特性	一軸圧縮試験
膨潤特性	飽和膨潤応力試験 不飽和膨潤応力試験 飽和膨潤ひずみ試験 不飽和膨潤ひずみ試験		圧裂試験 一次元圧密試験 非圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸クリープ試験
締固め特性	動的締固め試験 静的締固め試験		動的三軸試験
熱特性	熱物性測定(熱伝導率・熱拡散率)		弾性波速度測定
乾燥収縮特性	乾燥収縮試験		液状化試験

➤ 今後 5 カ年の計画

【～ H22】

◆ 環境条件

- ・ **セメント影響**を考慮したデータの取得

◆ データ

- ・ 関係式の整理 (セメント影響) 及び国内外の知見を踏まえた **データベースの拡張** (ANRE事業との連携)

◆ 標準化

- ・ 委員会等による測定手法の標準化に向けた体制の構築

◆ 設計

- ・ 自己シール性に関するデータの拡充と設計基準に係る基盤情報の整理 (ANRE事業との連携)

【知識ベースへの反映】

緩衝材基本特性データベースの更新
膨潤応力等の測定手法の標準化
緩衝材の設計基準に関わる基盤情報及び
設計の考え方の提供

【H17】

◆ 環境条件

- ・ **海水系**地下水でのデータ取得

◆ データ

- ・ 関係式の整理 (海水条件) 及び **データベースの構築・公開**

◆ 標準化

- ・ 影響因子 (圧縮成型時の残留応力) の特定

◆ 設計

- ・ 具体的な地質環境での試設計の例示と課題の抽出

【H12】

◆ 環境条件

- ・ **降水系**地下水でのデータ取得

◆ データ

- ・ **関係式**の整理 (降水条件)

◆ 標準化

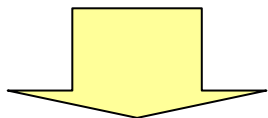
- ・ 試料の寸法等が膨潤応力に影響

◆ 設計

- ・ 設計の考え方を例示

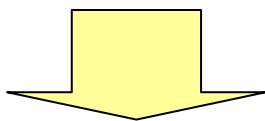
2. 処分場の設計・施工技術 支保・グラウト・シーリング [シーリング]

➤ H 1 2 までの成果
埋め戻し材仕様の例示と結
晶質岩(カナダ)においてプ
ラグの施工の確認



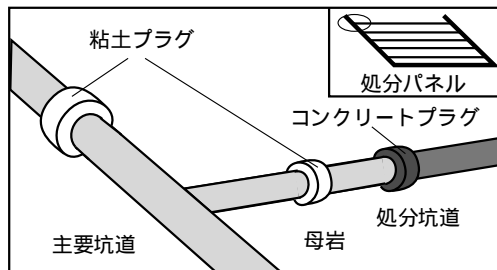
➤ H 1 7 取りまとめ

閉鎖シナリオの検討。海水系
埋め戻し材仕様を例示。原
位置施工されたプラグの低透
水性を確認

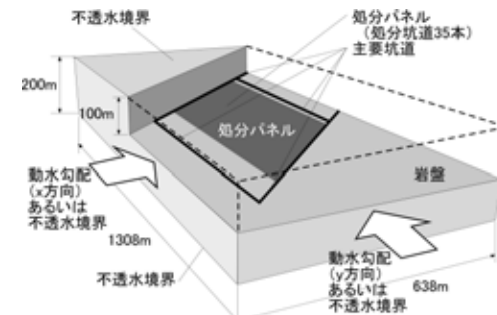


➤ H 1 7 年度 (下期)

閉鎖構成要素を考慮した水理
解析 (NUMOとの連携)

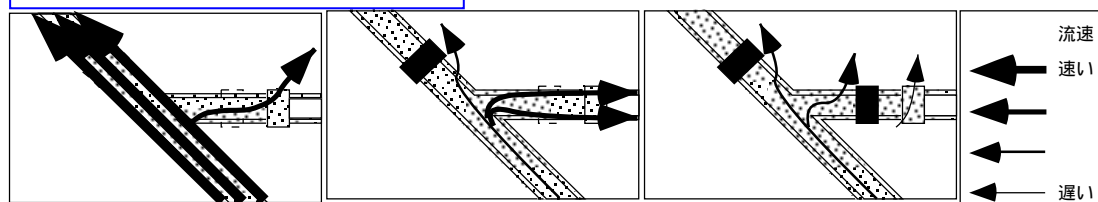


坑道交差部モデル



パネルモデル

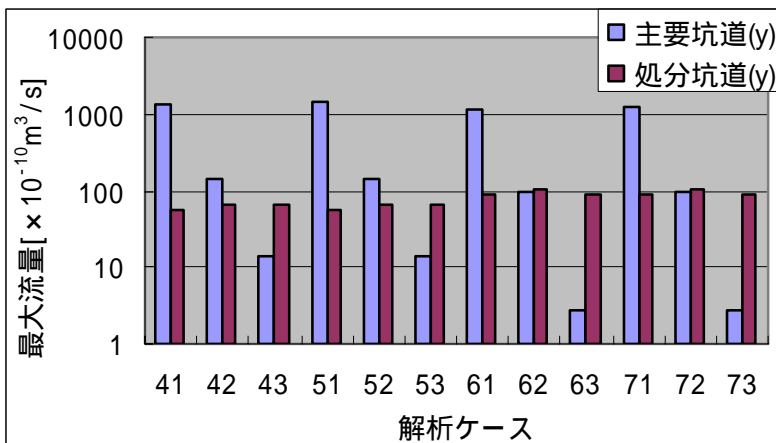
坑道交差部モデル解析結果



プラグ無し

プラグ1箇所

プラグ2箇所



パネルモデル
解析結果

ケースNo.	粘土プラグ 処 主	主要坑 道(m/s)	その他
41		10 ⁻⁵	処分坑道:
42		10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ m/s
43		10 ⁻⁷	コンクリート:
51	×	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ m/s
52	×	10 ⁻⁶	岩盤:
53	×	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶ m/s
61	×	10 ⁻⁵	粘土プラグ:
62	×	10 ⁻⁶	10 ⁻¹¹ m/s
63	×	10 ⁻⁷	
71	×	×	10 ⁻⁵
72	×	×	10 ⁻⁶
73	×	×	10 ⁻⁷

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ 閉鎖要件

・処分場のレイアウト規模を対象とした解析評価及び結晶質岩に関わる閉鎖要素の要件の明確化

◆ 基盤情報

・ズリ、ベントナイト含有率をパラメータとした材料特性データ取得

◆ 原位置実規模試験

・堆積岩(幌延)における閉鎖性能試験に関わる知見の蓄積・整備

◆ 長孔の止水確保

・国内外事例の整備

【H17】

◆ 閉鎖要件

・水理解析及びFaultツリー分析を行い、閉鎖シナリオを提示

◆ 基盤情報

・海水系での埋め戻し材の隙間充填性能に着目した基礎試験結果から埋め戻し材仕様を例示

◆ 原位置実規模試験

・施工されたプラグの低透水性を確認し、プラグ設置部の物質移行挙動を解析評価

【H12】

◆ 閉鎖要件

・埋め戻し材に期待される役割と設計上考慮すべき項目を設定

◆ 基盤情報

・膨潤、透水性等のデータから埋め戻し材仕様を例示

◆ 原位置実規模試験

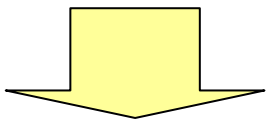
・結晶質岩(カナダ)においてプラグの施工を確認

【知識ベースへの反映】

閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件の提供
閉鎖材料及び性能に係るデータベースの提供

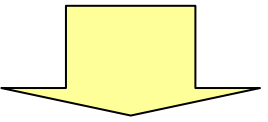
➤ H 1 2 までの成果

普通セメントによる地下水のpH上昇を抑制するため低アルカリ性セメント(HFSC、pH11以下を目標)の使用を推奨



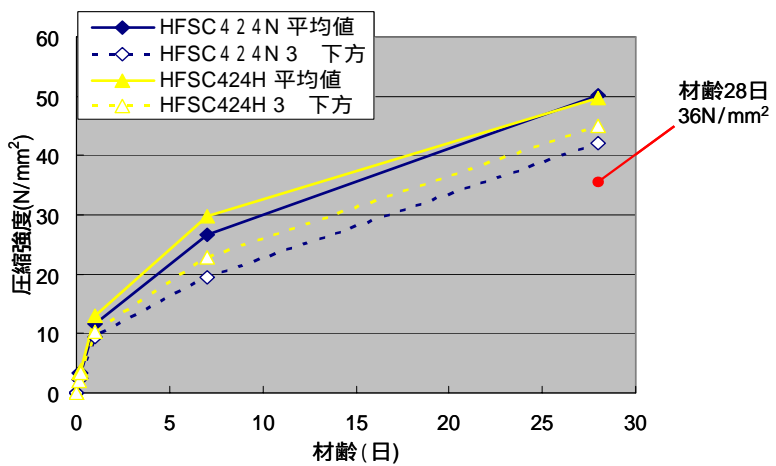
➤ H 1 7 取りまとめ

- コンクリート打設性能や吹き付け性能等の施工性について問題ないことを確認
- pHの低下挙動のデータ取得・モデル開発とpH目標達成についての見通し



➤ H 1 7 下期成果

幌延における支保工の設計基準強度(材零28日で36N/mm²)を満足するコンクリート配合の選定、模擬トンネルに対する吹き付け施工試験を実施



セメント種類	スランブ(cm)	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)										急結剤
				W	OPC	HPC	SF	FA	S	G	減水剤			
HFSC 424N	18±2	40	60	200	200	-	100	200	950	645	C × 1.1%	HFSC × 10%		
HFSC 424H		45	60	203	-	180	90	180	975	663	C × 1.2%	HFSC × 10%		

➤ 今後5カ年の計画

【～H22】

◆ 施工性

・幌延での試験施工により、吹き付け性能、材料分離抵抗性、品質変動等について確認(CRIEPIとの連携)

◆ 強度特性

・掘削時の詳細支保設計に必要な強度を確保するための配合選定を実施(CRIEPIとの連携)

◆ 低アルカリ性

・pH低下予測の精度向上のため、ポゾラン反応の反応速度データの拡充し、速度パラメータを再評価(CRIEPIとの連携)

◆ 低腐食性

・海上暴露試験を継続し、鉄筋腐食の進行性を確認

【H17】

◆ 施工性

・場所打ち、吹き付け性能を確認(HFSC424)

◆ 強度特性

・設計基準強度を満足することを確認(HFSC424)

◆ 低アルカリ性

・モデル解析によりpH低下の評価に見通し

◆ 低腐食性

・海上暴露試験により鉄筋の発錆を確認(HFSC226)

【知識ベースへの反映】

低アルカリ性コンクリートの材料特性データベースの提供・公開

配合選定方法の標準化(マニュアル)

施工管理基準(マニュアル)の提供

【H12】

◆ 緩衝材や周辺岩盤への影響を考慮し、低アルカリセメントの使用を推奨

➤ 今後 5 カ年の計画

従来用いられているグラウト材料について、材質、止水性、施工性、耐久性、周辺環境への影響の観点から比較し整理する。グラウト材の処分施設への適用性の観点から、岩盤や緩衝材との長期的な相互作用について検討を進める。

低アルカリ性セメントのグラウト材料への適用性検討として、実際の岩盤への注入施工性を確認するために、亀裂条件等により材料混合比を見直したグラウト材料の注入試験等を行い、注入材料としての適用性を確認する。

【知識ベースへの反映】

グラウト材料の長期評価手法の提供

グラウト施工技術の提供

➤ 今後5カ年の計画

【～H22】

◆設計手法:

- ・幌延での掘削時に得られた地質環境情報に基づき、地上からの調査段階に置ける地下施設の設計手法の適用性確認、留意点の抽出
- ・情報化施工計画の立案、適用事例の提示
- ・地下深部における坑道群の設計体型の整備、妥当性の検証

◆設計上の留意点:

- ・ニアフィールドの観点から建設技術に要求される要件(掘削影響領域[EDZ]、水みち、掘削対策工に用いられる材料選定)の整理

◆原位置試験の計画:

- ・幌延での地質環境データを用いた予備解析による連成挙動の把握、腐食・環境モニタリング手法の検討 等

【H17】

◆設計条件:

- ・地上からの調査結果を基に設計用物性値の設定例を提示

◆設計手法:

- ・上記設計用物性値に基づく単一坑道の設計例を提示
- ・地下研究施設における防災、耐震を考慮した試設計事例を提示

◆設計上の留意点:

- ・情報化施工に関する手法の整備
- ・ニアフィールドにおける地質環境、建設技術の整理 等

【知識ベースへの反映】

- 地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方の提供
- 情報化施工システムの提供

【H12】

- ◆幅広い地質環境を対象に、当時の技術で実現可能と考えられる建設技術を例示

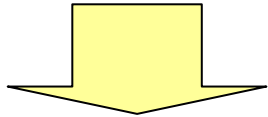
➤ 今後 5 カ年の計画

幌延の掘削段階を通じて得られる地質環境条件を基に、原位置で確認すべき操業技術及び閉鎖技術項目を整理するとともに試験計画案の提示（ANRE事業との連携）

【知識ベースへの反映】

原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目の提供

➤ H 1 2 までの成果
設計要件, 製作・施工方法及び品質管理項目を整理。緩衝材ブロックの継目の水理, 力学特性の把握



➤ H 1 7 取りまとめ
性能保証項目を抽出し, 評価方法, ツール等を整理。緩衝材隙間に対するオーバーパック腐食。

処分場の長期安全性確保のための考え方

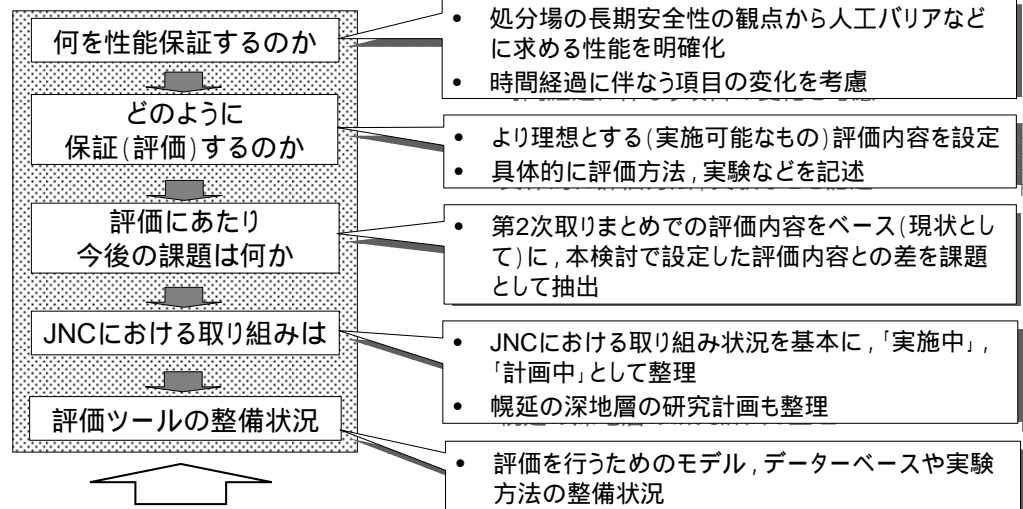
工程, 手順の流れ

構成要素	ガラス固化体, オーバーバック, 緩衝材, 埋め戻し材, プラグ, 支保工, アクセス・連絡・主要・処分各坑道および処分孔					
	設計	製作	建設・施工	モニタリング	安全評価	
閉鎖前	設計の要件	何を品質管理するのか	何を施工管理するのか	何をモニタリングするのか	左の欄に対して	
・操業	どう保証するのか	・品質管理対象	・施工管理対象	・測定対象	1) 性能保証	
・埋め戻し	・具体的な保証方法, 手法	・管理(計測)項目	・管理(計測)項目	・測定項目	できる項目	
閉鎖後	・現状での対応	・管理(計測)方法, 検査方法 など	・管理(計測)方法, 検査方法 など	・測定方法など	条件設定	
・緩衝材不飽和	・課題	[個別研究項目]	[個別研究項目]	[個別研究項目]	2) 性能保証できない項目	
・緩衝材飽和					評価項目	
・核種移行						

処分場における時間軸

手順

検討のポイント



最新の知見による見直し

性能保証に関わる検討の手順

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ 品質管理

・人工バリアと処分施設設計に必要な情報と幌延URL掘削段階に得られるデータを整理し、品質管理計画の例示。

◆ 定置精度

・幌延URLで検討すべき項目の整理 (ANRE事業との連携)

【H17】

◆ 品質管理

・性能保証項目の抽出・整理、評価方法、ツール等の整理

◆ 定置精度

・緩衝材隙間に対するオーバーパック腐食への影響を確認

【H12】

◆ 品質管理

・設計要件、製作・施工方法及び品質管理項目を整理

◆ 定置精度

・緩衝材ブロックの継目の水理、力学特性の把握

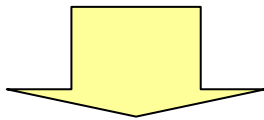
【知識ベースへの反映】

人工バリア等の長期安全性の観点からの品質管理の考え方の提供

人工バリア等に係わる性能保証データの計測技術の提供

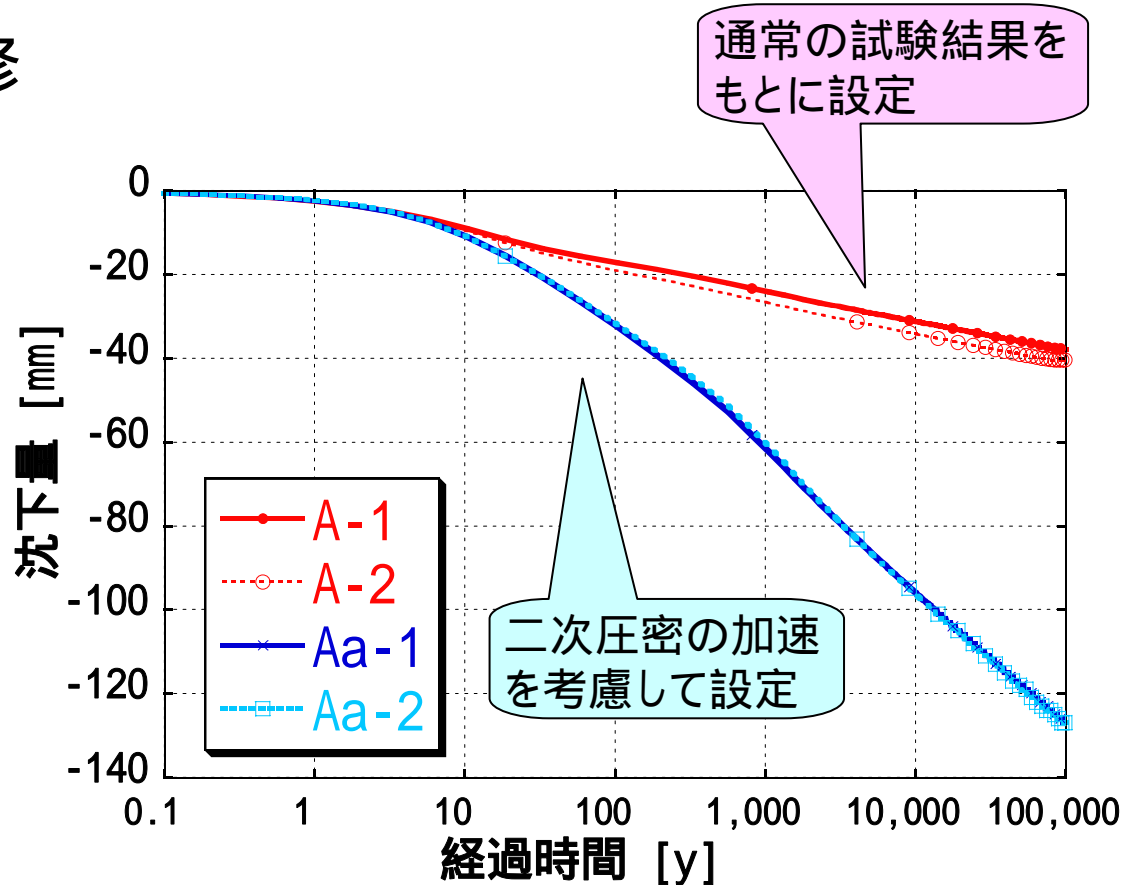
➤ H12までの成果

関口-太田モデルや修正Cam-clayモデルによる概略評価



➤ H17取りまとめ

降水条件での実験データとの比較を通じたモデルの適用性を確認



オーバパック自重沈下解析結果

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ クリープモデル/評価

- ・ 海水系地下水条件でのモデルの適用性 確認
- ・ 緩衝材/岩盤連成モデル の構築 (降水系条件)

◆ データ取得

- ・ 海水系地下水条件 でのデータ取得及びパラメータ設定方法の考え方を整理
- ・ 長期圧密試験 による二次圧密係数の加速の有無に係るデータの取得

【H17】

◆ クリープモデル/評価

- ・ モデルを再度整理・選定 し、実験結果との比較を通して 降水系地下水条件でのモデルの妥当性 を確認
- ・ 二次圧密係数の加速 も考慮した評価の実施

◆ データ取得

- ・ 降水系地下水条件 でのデータ取得及びパラメータ設定方法の考え方を整理
- ・ 海水系地下水条件 での一部データ取得

【知識ベースへの反映】

緩衝材/岩盤応力連成モデルの提供

降水/海水条件での解析パラメータ設定方法の考え方の提供

パラメータ等のデータベースの提供

【H12】

◆ クリープモデル/評価

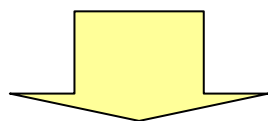
- ・ 既存のモデル を利用し概略的な影響評価を実施 (関口-太田モデル: 沈下, 修正 Cam-clayモデル: 腐食膨張)

◆ データ取得

- ・ 降水系地下水条件 でのデータ取得

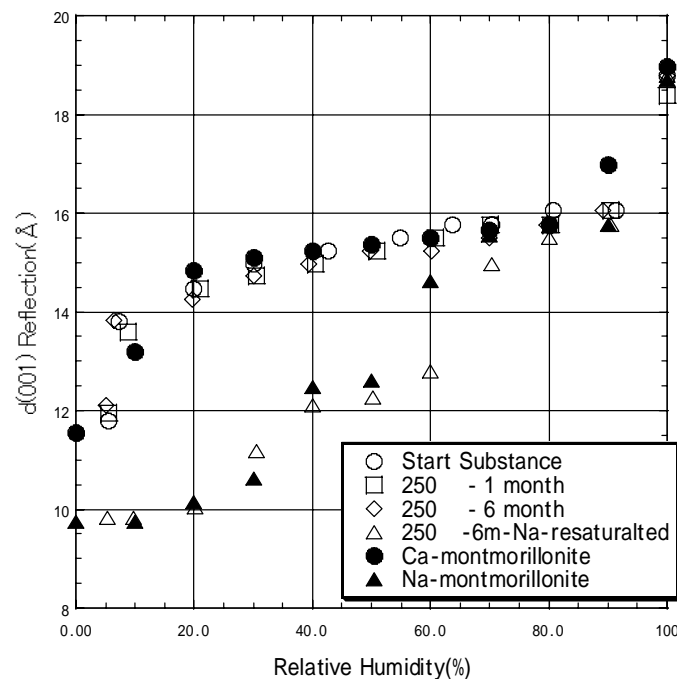
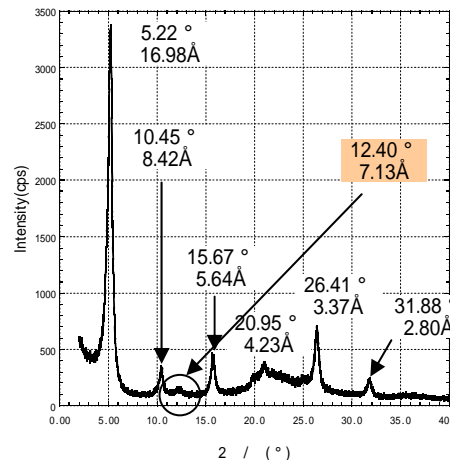
➤H12までの成果

緩衝材の温度制限と低アルカリセメントの利用を前提に既存文献の調査等に基づいて緩衝材の長期的な性能は維持され得ると判断



➤H17取りまとめ

鉄型ベントナイト水熱試験による変質生成物の同定, 鉄型化に関する予測解析を実施し, 鉄型化進展範囲の概略的把握



鉄型ベントナイトを出発試料とした水熱試験結果

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

- ◆ オーバーパック腐食生成物と緩衝材材料との相互作用に関する実験研究及び熱力学的な評価を実施し、変質可能性とそれが安全機能に及ぼす影響に関する評価手法の整備
- ◆ セメント系材料の利用による緩衝材の変質挙動に関する予測解析及びその安全機能に及ぼす影響に関する評価の実施

【H17】

- ◆ アルカリ変質及び腐食生成物による変質に関する現象理解に基づいた評価の実施
 - ・ 高pH条件でのスメクタイト溶解速度データ取得
 - ・ 鉄型化に関する予測解析及び進展範囲の概略的把握
 - ・ 鉄型ベントナイト水熱試験による変質生成物の同定

【知識ベースへの反映】

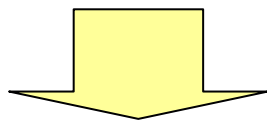
緩衝材長期変質挙動評価手法の提供

緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法の提供

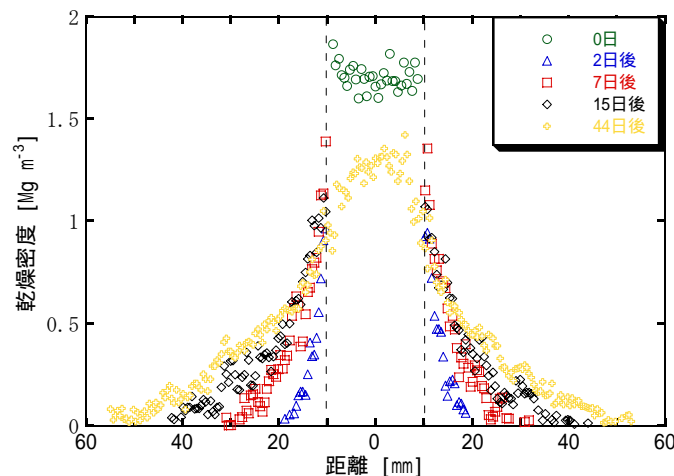
【H12】

- ◆ 温度制限100 と低アルカリ性セメントの利用を前提に既存文献の調査等に基づき概略的に評価

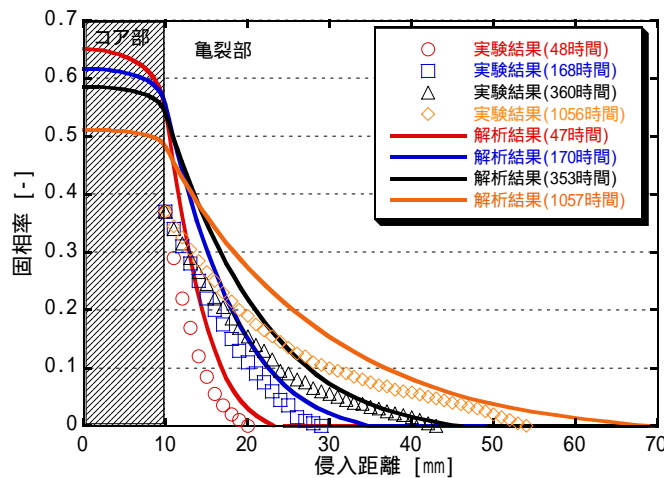
- H12までの成果
- ・ 実験データに基づく経験則による評価



- H17取りまとめ
- ・ 第2次取りまとめでは得られていなかった緩衝材の亀裂侵入密度のデータをX線CTを用いて取得
- ・ CTデータ等を用いた拡散モデルの適用性確認
- ・ 緩衝材の侵入現象は、海水系地下水よりも降水系地下水環境の方が顕著



(X線CTを用いた侵入密度分布測定結果)



(実験結果のシミュレーション解析結果)

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

- ◆ **環境条件**: 降水系地下水
- ◆ **実験系**
 - ・侵入: 岩盤亀裂(レプリカを含む)
 - ・浸食: 平行平板亀裂
- ◆ **モデル/評価**
 - ・侵入: 侵入現象モデルの改良
 - ・浸食: ベントナイトコロイドの生成条件の把握

【H17】

- ◆ **環境条件**: 海水系地下水
- ◆ **実験系**: 平行平板亀裂
- ◆ **モデル/評価**
 - ・侵入: X線CTにより得られた亀裂侵入密度データなどを用い**モデルの適用性を確認**
 - ・浸食: **臨界流速よりも低流速でコロイドが生成する可能性を示唆**

【知識ベースへの反映】

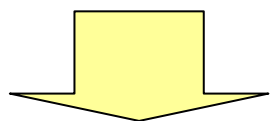
- 緩衝材侵入現象モデルの提供
- 流出・侵入データベースの提供・公開
- ベントナイトコロイド生成条件の提供

【H12】

- ◆ **環境条件**: 降水系地下水
- ◆ **実験系**: 平行平板亀裂
- ◆ **モデル/評価**
 - ・侵入: 侵入距離と時間の関係を用い拡散として取扱モデル化
 - ・浸食: 定性的にベントナイトコロイドが生成する**臨界流速を評価**

➤ H12までの成果

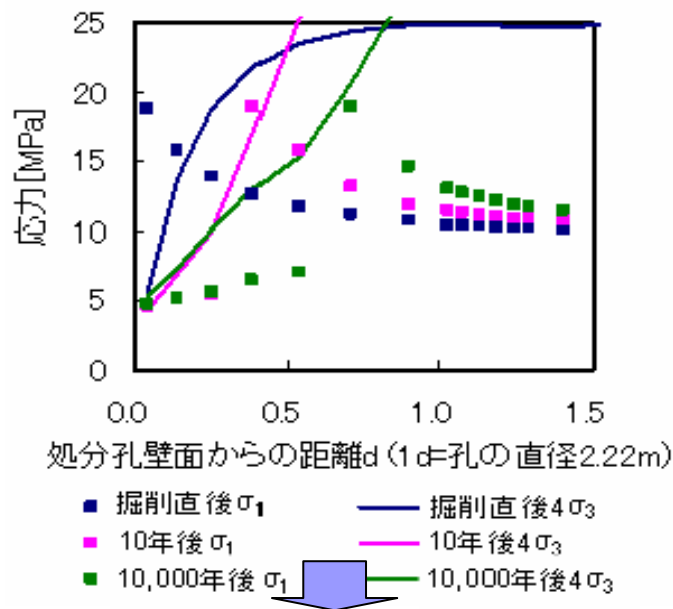
- コンプライアンス可変型構成方程式による解析的検討(横置き処分坑道を対象)
 - 硬岩系岩盤 長期にわたり安定
 - 軟岩系岩盤 クリープにより掘削影響領域(EDZ)が増大



➤ H17取りまとめ

- 幌延における解析用物性値の取得・初期地圧の異方性を考慮した解析事例の提示
- 地圧現象を用いた長期への外挿方法の提示
- 岩盤の自己回復(強度・透水性)特性
EDZの力学特性回復の可能性

コンプライアンス可変型構成方程式を用いた空洞周辺応力の予測例



掘削後10年以上10,000年経過

$$1 < 4 \cdot 3$$

岩盤が力学的に安定している地圧条件

$$1 < 4 \cdot 3 \quad (\text{国外5地点の実測結果})$$

岩盤クリープが収束、安定に至る条件

3. 長期健全性評価技術 岩盤の長期力学変形挙動

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ データ

- ・坑道掘削時に得られる計測データの取得、岩盤の力学特性に関する諸情報の整理

◆ 予測手法

- ・掘削時データを用いた予測手法の再現性検証
- ・予測に用いる物性値やモデル定数の設定方法の例示
- ・緩衝材の膨潤、オーバパックの腐食、支保工を組み込んだ予測手法の提示

◆ 設計への反映

- ・EDZの自己回復特性など岩盤の長期特性変化に関する検討

【H17】

◆ データ

- ・予測に必要な地質環境データを幌延の地上調査から取得

◆ 予測手法

- ・初期地圧の異方性を考慮した予測手法を提示
- ・地圧現象を用いた長期予測への外挿方法の提示

◆ 設計への反映

- ・長期力学挙動評価の観点から設計時に考慮すべき留意点の抽出

【知識ベースへの反映】

岩盤物性データベースの提供・公開
長期力学変形挙動予測モデルの提供
解析パラメータ設定の考え方の提供

【H12】

◆ データ

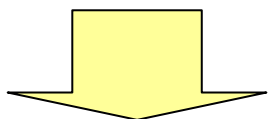
- ・力学的地質情報を統計的に整理

◆ 予測手法

- ・コンプライアンス可変型構成方程式

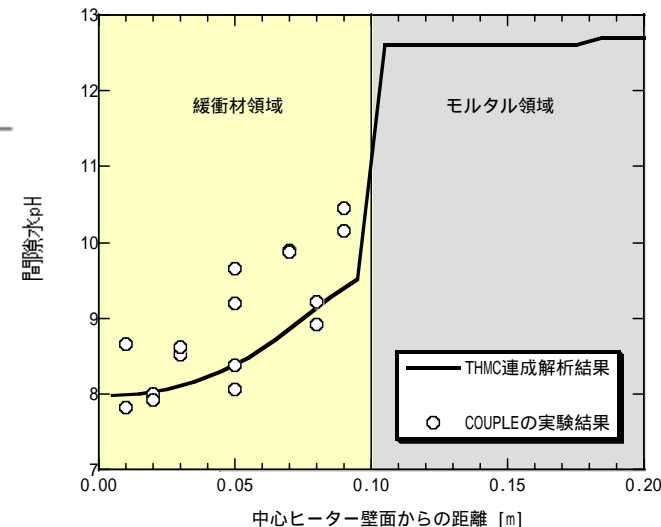
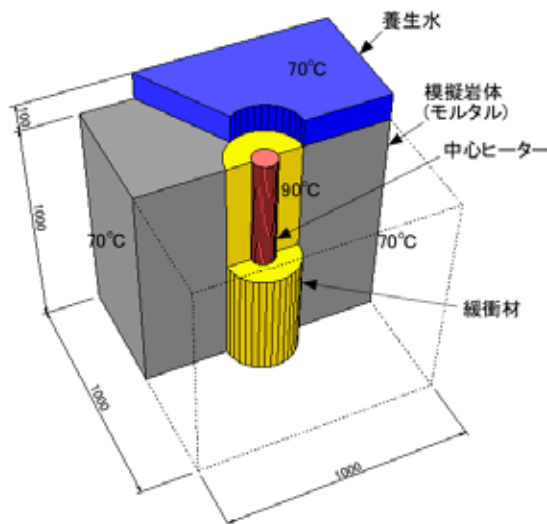
➤ H12までの成果

熱 - 水 - 応力連成モデルの開発及び検証を行い, 廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価



➤ H17取りまとめ

熱 - 水 - 応力 - 化学連成モデルを開発し, **室内連成試験等を通じた検証**を実施し, 廃棄体定置後のニアフィールド挙動を評価



室内連成試験装置 (COUPLE) 180日後のpH分布と解析結果

室内連成試験による連成モデルの検証

➤ 今後 5 カ年の計画

【～ H22】

◆ 解析モデル

・化学現象から他の現象への影響モデルの精緻化

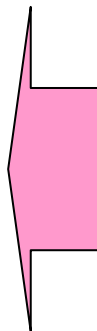
◆ 検証

・室内連成試験, 塩の蓄積挙動 (ANRE事業との連携), ベンチマーク試験 (国際共研) に対する検証解析

・連成データ計測技術の開発 (ANRE事業との連携)

◆ 解析評価

・幌延の地質環境条件における解析の実施 (適用事例の拡充)



【H17】

◆ 解析モデル

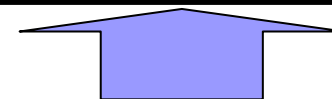
・熱-水-応力連成コードに物質移行及び地球化学コードを付加したプロトタイプ・コードの構築

◆ 検証

・室内連成試験, 塩の蓄積挙動, YMP 坑道加熱試験 (国際共研) に対する検証解析

◆ 解析評価

・第2次取りまとめにおける結果の妥当性を確認



【知識ベースへの反映】

熱-水-応力-化学連成モデル及びデータベースの提供

熱-水-応力-化学連成データ計測技術の提供
数値実験技術の提供

【H12】

◆ 解析モデル

・熱-水-応力連成モデルの構築

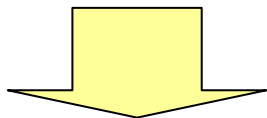
◆ 検証

・釜石人工バリア試験, BIG-BEN, 国際共研での検証解析

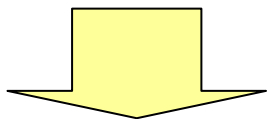
◆ 解析評価

・第2次取りまとめの概念での評価

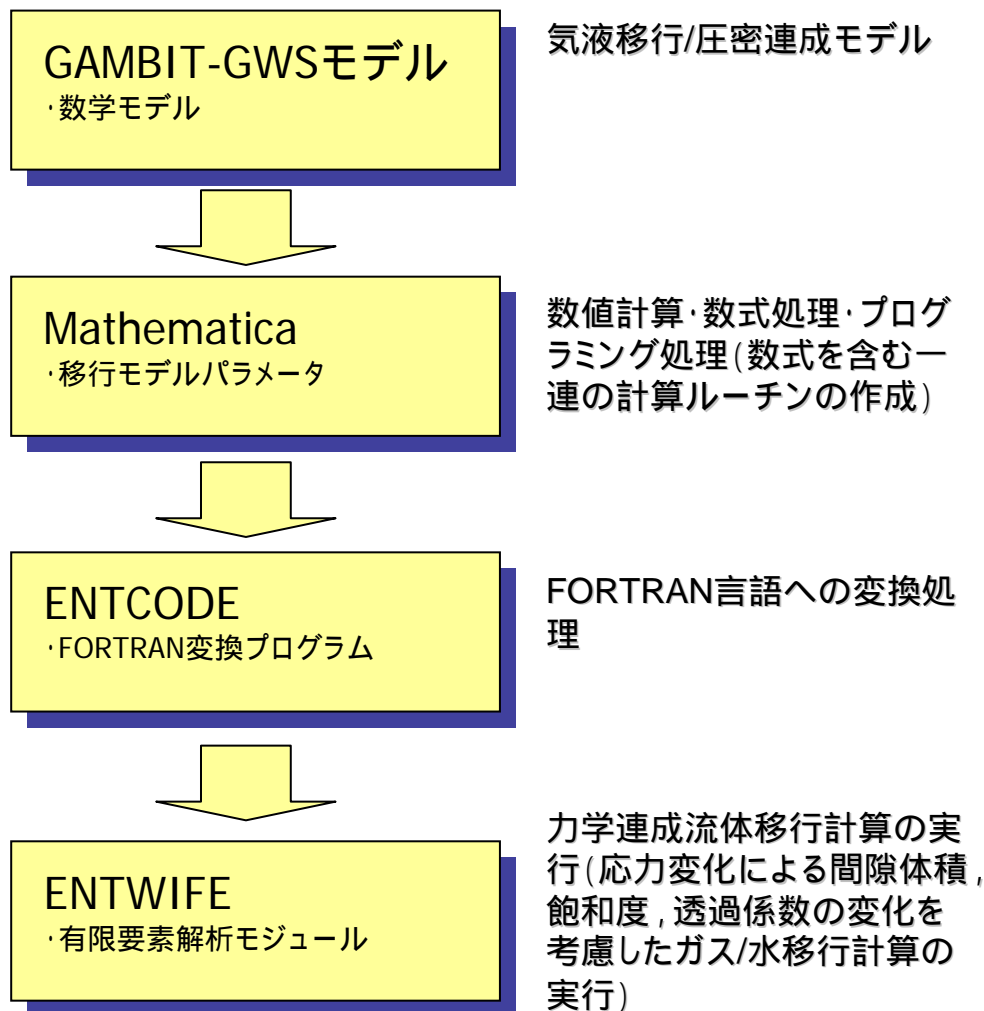
- H12までの成果
- ・ガス圧力の測定データに基づく評価



- H17取りまとめ
- ・緩衝材中のガス移行メカニズムを把握するために、X線CT法の適用可能性を確認
- ・選択的移行経路の形成による移行挙動の確認



- H17下期成果
- ・応力連成ガス移行モデルの導入



GAMBITモデルの解析フロー

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ データ取得

・ 幌延コアの透気特性

◆ 現象理解

・ X線CTによる3次元的な把握(緩衝材)

◆ モデル/評価

・ 応力連成モデルによる実験結果の再現及び改良

・ モデルの検証を目的とした幌延原位置試験計画の立案及び予備解析

【H17】

◆ データ取得

・ 海水系地下水条件での緩衝材の透気特性

◆ 現象理解

・ X線CTによる可視化試験の可能性を確認

◆ モデル/評価

・ 改良型TOUGH2による実験結果の再現
・ 応力連成モデルの導入

【知識ベースへの反映】

ガス移行 - 応力連成モデルの提供

解析パラメータ設定方法の考え方の提供

透気特性(岩盤・緩衝材)データベースの提供・公開

【H12】

◆ データ取得

・ 降水系地下水条件での緩衝材の透気特性

◆ 現象理解

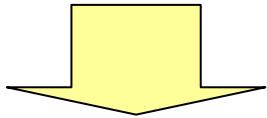
・ 破過圧力や膨潤応力などから推定

◆ モデル/評価

・ 二相流モデルTOUGH2による概略評価

➤H12までの成果

人工バリアに0.2mの断層ずれが生じた場合のオーバーパックの健全性を評価

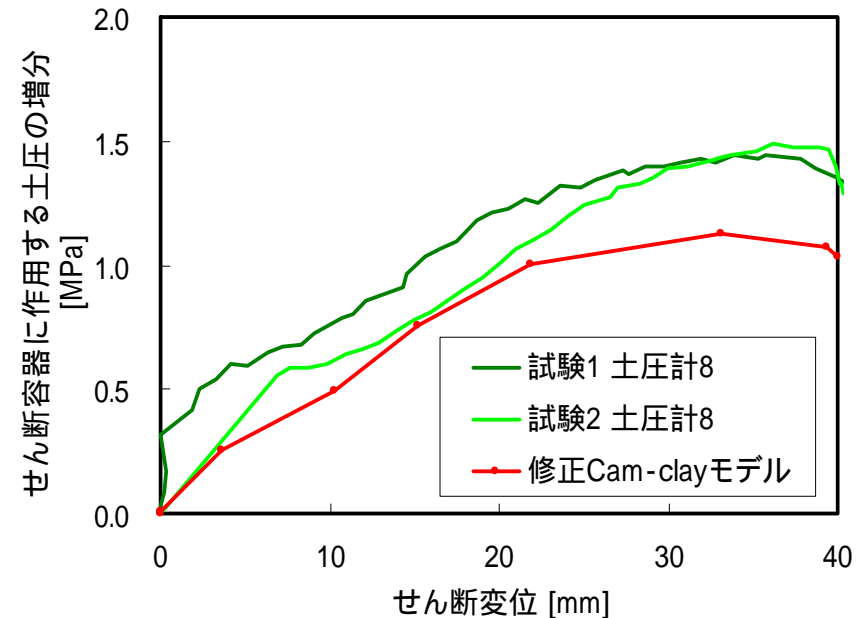


➤H17取りまとめ

1/20模型実験によるデータの取得及び修正Cam-clayにより実験結果を概略的に表現できることを確認



せん断後のオーバーパックの様子



実験と解析結果の比較

➤ 今後 5 カ年の計画

【～H22】

◆ データ取得

- ・せん断速度をパラメータとしたデータの取得

◆ モデル/評価

- ・せん断速度影響を評価可能なモデルの選定
- ・パラメータ設定に関する考え方の整理

【H17】

◆ データ取得

- ・1/20模型実験によるデータの取得

◆ モデル/評価

- ・実験結果のシミュレーション解析を実施しモデルの適用性を確認

【知識ベースへの反映】

人工バリアの限界条件の提供

解析パラメータ設定方法の考え方の提供

【H12】

◆ データ取得

- ・なし

◆ モデル/評価

- ・SKBの解析結果を参考に0.2m程度せん断変位した場合の影響を概略的に評価

知識ベースに反映する成果の例	分類の例
<ul style="list-style-type: none"> ・オーバーパック腐食データベース【オーバーパック】 ・緩衝材基本特性データベース【緩衝材】 ・閉鎖材料及び性能に係るデータベース【シーリング】 ・低アルカリ性コンクリートの材料特性データベース【支保】 ・原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目【操業・閉鎖】 ・緩衝材/岩盤応力連成評価に用いるパラメータ等のデータベース【緩衝材の長期力学的変形挙動】 ・緩衝材流出・侵入データベース【緩衝材の流出・侵入挙動】 ・岩盤長期力学変形挙動に関わる物性データベース【岩盤の長期力学変形挙動】 ・熱-水-応力-化学連成挙動評価用データベース【熱-水-応力-化学連成挙動】 ・透気特性(岩盤・緩衝材)データベース【ガス移行挙動】 	データ
各種公開技術資料, レビュー報告書	ドキュメント
<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材/岩盤応力連成モデル【緩衝材の長期力学的変形挙動】 ・緩衝材侵入現象モデル【緩衝材の流出・侵入挙動】 ・岩盤長期力学変形挙動予測モデル【岩盤の長期力学変形挙動】 ・熱-水-応力-化学連成モデル【熱-水-応力-化学連成挙動】 ・ガス移行 - 応力連成モデル【ガス移行挙動】 	ソフトウェア

知識ベースに反映する成果の例	分類の例
<ul style="list-style-type: none"> ・坑道掘削段階において得られる情報を基にした、処分場設計の考え方や設計手法【URLにおける適用性検討】 ・概念オプションの成立性や実現性関わる技術基盤情報【工学技術オプション】 ・オーバーパック腐食評価手法【オーバーパック】 ・オーバーパック材料・材質選定及び設計・製作手法【オーバーパック】 ・標準化した緩衝材膨潤応力等の測定手法(土木学会と連携予定)【緩衝材】 ・緩衝材の設計基準に関わる基盤情報及び設計の考え方【緩衝材】 ・閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件【シーリング】 ・低アルカリ性コンクリート配合選定方法【支保】 ・低アルカリ性コンクリート施工管理基準【支保】 ・グラウト材料の長期評価手法【グラウト】 ・グラウト施工技術【グラウト】 ・地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方【建設】 ・情報化施工システム【建設】 ・人工バリア等の長期安全性の観点からの品質管理の考え方【品質管理】 ・人工バリア等に係わる性能保証データの計測技術【品質管理】 ・降水/海水条件での緩衝材/岩盤応力連成解析パラメータ設定方法の考え方【緩衝材の長期力学的変形挙動】 ・緩衝材長期変質挙動評価手法【緩衝材の長期変質挙動】 ・緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法【緩衝材の長期変質挙動】 ・ベントナイトコロイド生成条件【緩衝材の流出・侵入挙動】 ・岩盤長期力学変形挙動解析パラメータ設定の考え方【岩盤の長期力学変形挙動】 ・熱-水-応力-化学連成データ計測技術【熱-水-応力-化学連成挙動】 ・ガス移行解析パラメータ設定方法の考え方【ガス移行挙動】 ・人工バリアの限界条件【人工バリアのせん断応答挙動】 ・人工バリアのせん断応答挙動解析パラメータ設定方法の考え方【人工バリアのせん断応答挙動】 	<p>経験・ノウハウ (方法論など)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・坑道掘削段階において適用した施工方法や対策工法の適用事例及び留意点【URLにおける適用性検討】 ・ナチュラルアナログに関する統合データ【オーバーパック】 	<p>統合化した知識</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・地質環境に応じた処分場設計要件【URLにおける適用性検討】 	<p>ガイダンス</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・数値実験技術【熱-水-応力-化学連成挙動】 	<p>プレゼンテーション素材</p>